

448 | Juli 1984

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

K.H. Rupp

**Ein Beitrag zum rechnergestützten
Entwerfen von Containerschiffen**

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Ein Beitrag zum rechnergestützten Entwerfen von Containerschiffen

K.-H. Rupp, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1984

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

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

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 448

Ein Beitrag zum rechnergestützten Entwerfen
von Containerschiffen

von

Karl-Heinz Rupp

Hamburg, Juli 1984

A b s t r a c t

RUPP, KARL-HEINZ:

EIN BEITRAG ZUM RECHNERGESTÜTZTEN ENTWERFEN VON CONTAINERSCHIFFEN

Zum Vorentwurf von Containerschiffen wurde ein ingenieurwissenschaftliches Modell aufgestellt. Darin wurden alle wesentlichen Entwurfs- und Sicherheitsbedingungen berücksichtigt, so daß ein praxisnahes Modell entstand. Mit Hilfe dieses Modells können Containerschiffe entworfen und nach ihren wirtschaftlichen Daten bewertet werden. Die technischen Daten der Containerschiffe werden mit Hilfe eines Optimierungsalgorithmus nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimiert. Da die Ziele der am Bau bzw. Betrieb der Schiffe Beteiligten nicht gleich sind, wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Zielfunktionen auf die technischen und wirtschaftlichen Daten von Containerschiffen aufgezeigt.

Nichtlineare Optimierung ist bei CHWARISMI nur möglich, wenn die Unbekannten als reelle Zahlen dargestellt werden. Die Anzahl der Containerbays, der Stapel und der Lagen ist jedoch nur mit ganzen Zahlen darstellbar. Deshalb wurde zuerst mit reellen Zahlen das Optimum gesucht und dann in dessen Nähe mit ganzen Zahlen weiter gerechnet. Diese einfache Vorgehensweise erwies sich als brauchbar für dieses Problem.

Es werden die Auswirkungen einzelner Entwurfsbedingungen wie Abmessungsbeschränkungen, Ballastwasser und verschiedene Stabilitätskriterien auf technische und wirtschaftliche Daten der Entwürfe untersucht.

Mit dem hier erarbeiteten Modell können Industrie, Schifffahrt und Behörden die Auswirkungen von Entwurfsbedingungen auf die technischen und wirtschaftlichen Daten von Containerschiffen untersuchen und bewerten.

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

	Seite
Einleitung	1
1. EDV-Entwurfsmodelle	4
1.1 Allgemeines über EDV-Entwurfsmodelle	4
1.2 Übersicht über vorhandene Entwurfsmodelle	6
1.2.1 Entwurfsmodelle für verschiedene Schiffstypen	6
1.2.1.1 OPTIMA, Vorentwurfsprogramm für Frachtschiffe	7
1.2.1.2 Synthesemodelle für den Vorentwurf von Schiffen	8
1.2.2 Entwurfsmodelle für Containerschiffe	9
1.2.2.1 Entwurfsmodell von Heinecke	9
1.2.2.2 Andere Entwurfsmodelle	10
1.3 Die CHWARISMI-Compiler	10
1.4 Zielsetzung für das angestrebte Entwurfsmodell und Vergleich mit vorhandenen Entwurfsmodellen	11
2. Lösungsansätze zu den gesetzten Zielen im Entwurfsmodell "Containerschiff"	17
2.1 Containergerechte Abmessungen	17
2.1.1 Schiffslänge, Breite und Seitenhöhe	17
2.1.2 Containervölligkeitsgrad	20
2.2 Anzahl der Deckscontainer	24
2.3 Ungleichheitsnebenbedingungen	24

	Seite	
2.4	Mögliche Zielfunktionen bei der Optimierung	25
2.4.1	Minimale Baukosten	26
2.4.2	Zielfunktionen, die Betriebs- und Kapitalkosten berücksichtigen	26
2.4.3	Auswirkungen der verschiedenen Zielfunktionen auf das Schiff	29
3.	Abgrenzungen des Entwurfsmodells "Containerschiff" innerhalb der Transportkette	31
3.1	Transportkette Stückgut - Transportkette Container	31
3.1.1	Stückgut	31
3.1.2	Container	32
3.2	Optimale Transportkette - optimale Flottenstruktur - optimales Schiff	32
3.2.1	Optimale Transportkette	32
3.2.2	Optimale Flottenstruktur für ein bestimmtes Fahrtgebiet	34
3.2.3	Optimales Schiff	35
3.3	Schlußfolgerung	37
4.	Beschreibung des Entwurfsmodells "Containerschiff"	38
4.1	Programmaufbau	39
4.2	Freie Unbekannte und die bei der Auswertung verwendeten Zielfunktionen	40

	Seite	
4.3	Abhängige Unbekannte und Eingabeparameter	42
4.3.1	Geometrie des Schiffes	45
4.3.2	Widerstand und Propulsion des Schiffes	56
4.3.3	Volumen- und Masseberechnungen	64
4.3.4	Beschreibung der Rundreise	73
4.3.5	Schwerpunktsbestimmung und Stabilitäts- rechnungen	77
4.3.6	Kostenberechnung	85
4.3.6.1	Baukostenberechnung	85
4.3.6.2	Betriebskostenberechnung	90
4.3.6.3	Annuität und erforderliche Frachtrate	97
4.4	Ungleichheitsnebenbedingungen	98
5.	Ergebnisse und Auswertung	102
5.1	Abhängigkeit der erforderlichen Frachtrate von Schiffsgröße und Schiffsgeschwindigkeit	105
5.2	Stabilität des Schiffes bei der Optimierung	107
5.2.1	Einfluß des Stabilitätsumfangs auf die RFR bei baukosten- und RFR-optimalen Schiffen	107
5.2.2	Vergleich zweier Stabilitätskriterien	110
5.2.3	Einfluß der Anfangsstabilität bei der Optimierung	113
5.3	Auswirkungen schiffsbetrieblicher Maßnahmen auf das optimale Schiff	114

	Seite
5.3.1 Ballastwasser und Festballast	114
5.3.2 Inhomogene Stauung der Container	117
5.3.3 Einfluß der Containermasse	119
5.4 Verwendung des Entwurfsmodells "Containerschiff" im Vorentwurfsstadium	120
5.5 Einfluß der Maschinenleistung auf den Baupreis und die Betriebskosten des Schiffes	122
5.6 Systematische Variationen	125
Literaturverzeichnis	135
Lebenslauf	141
<u>Anhang</u>	
Abkürzungsverzeichnis	143
Abbildungen	160
Programm Entwurfsmodell "Containerschiff"	208
Funktionen im Entwurfsmodell "Containerschiff"	215
Ausdruck der Eingabewerte	255
Ausdruck der Ergebnisse	261

Verwendetes Maßsystem

Das Maßsystem entspricht dem Internationalen Einheitssystem (SI-System). Folgende Abkürzungen wurden verwendet:

h	Stunde
kg	Kilogramm
kW	Kilowatt
m	Meter
N	Newton
s	Sekunde
t	Tonne zu 1 000 kg
kn	Knoten
sm	Seemeilen

Das Abkürzungsverzeichnis befindet sich im Anhang (Seite 143 bis 160).

E i n l e i t u n g

Bei der Anfertigung eines Schiffsentwurfs werden Hauptabmessungsverhältnisse und Völligkeitsgrade auch heute immer häufig nach bewährten Entwurfsformeln gewählt. Diese Formeln bilden gleichsam die Summe der Erfahrungen von Schiffbauern und Reedern; sie sind mit der Schifffahrt und dem Schiffbau in einem historischen Prozeß allmählich aus der Praxis entstanden und werden i.a. nur langsam und behutsam geändert, um Fehlschläge wirtschaftlicher und technischer Art zu vermeiden.

In einer sich rasch ändernden technischen und wirtschaftlichen Umwelt - man denke nur an die Schwankungen der Ölpreise oder an die Fortschritte in der Umschlagstechnik - wäre es notwendig, die Entwurfsformeln sehr schnell an die Umwelt anzupassen. Das wäre aber äußerst aufwendig und brächte nur beschränkten Nutzen, da in diesen traditionellen Entwurfsformeln die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen an das zu entwerfende Schiff nur indirekt berücksichtigt werden.

Hier ermöglicht moderne Rechentechnik einen neuen Schritt. Auch komplizierte technische und wirtschaftliche Zusammenhänge können in den meisten Fällen als Gleichungen, Ungleichungen und andere Rechenanweisungen EDV-gerecht geschrieben werden. Auf diese Weise lassen sich alle wesentlichen Entwurfsbedingungen für einen Schiffsentwurf mathematisch formulieren. Man kann optimale Lösungen dieses Systems von Gleichungen und Ungleichungen mit Rechnerhilfe finden, wenn ein Gütekriterium (Zielfunktion) hinzugefügt wird. Die Zielfunktion gibt an, welche wirtschaftliche oder technische Größe zu optimieren ist.

Im Vergleich dazu sind die eingangs erwähnten Entwurfsformeln grobe und unsichere Hilfsmittel. Mit Hilfe des EDV-Programms ist es nämlich möglich, Umwelteinflüsse sowie technische und wirtschaftliche Gegebenheiten direkt zu berücksichtigen.

Solche EDV-Programme können allerdings schon für ziemlich "ein-

fache", konventionelle Schiffe sehr umfangreich werden. Obwohl sie mit Hilfe spezieller Unterprogramme oder gar mit Precompilern bearbeitet werden, benötigen sie dann lange Rechenzeiten.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein Programm zum Entwurf von Containerschiffen geschrieben mit einer Genauigkeit, wie sie im Schiffsvorentwurf üblich ist. Das Programm ist einfach strukturiert und praxisnah. Es können die verschiedenen Entwurfsbedingungen eingehalten und deren Folgen auf den Schiffsentwurf und die Wirtschaftlichkeit aufgezeigt werden, wie etwa auf folgenden Anwendungsgebieten:

- Reedereien können den Einfluß von Entwurfsbedingungen wie Tiefgangsbeschränkungen, Treibstoffpreisen und Umschlagsleistungen auf die technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften der Schiffe untersuchen.
- Werften können den Einfluß von Materialkosten, Arbeitsstundenlöhnen und Bauplatzbeschränkungen auf die Hauptabmessungen des Entwurfs bestimmen und Daten von optimierten Containerschiffsvorentwürfen berechnen.
- Behörden können mit Hilfe dieses Programms studieren, welche Auswirkungen Änderungen von Sicherheitsbestimmungen wie Stabilität und Freibord auf die Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen haben werden.

Es soll nun ein kurzer Überblick über den Inhalt dieser Arbeit folgen:

Im ersten Kapitel werden bereits veröffentlichte Entwurfsmodelle zum Schiffsentwurf vorgestellt und erläutert.

Im zweiten Kapitel sind Lösungsmöglichkeiten für ein Entwurfsmodell "Containerschiff" aufgezeigt. Hier wird auf containergerechte Schiffsabmessungen und auf die Anzahl der Deckscontainer, unter Berücksichtigung von Entwurfs- und Sicherheitsbedingungen, eingegangen. Die verschiedenen wirtschaftlichen Kri-

terien, nach denen der Schiffsentwurf beurteilt werden kann, werden diskutiert.

Das dritte Kapitel enthält Beschreibungen der Transportkette für Stückgut; die Unterschiede des Containertransports zum konventionellen Stückguttransport werden herausgestellt und Vergleichsmöglichkeiten diskutiert.

Im vierten Kapitel wird das aufgestellte Entwurfsmodell ausführlich beschrieben. Der Leser bekommt hier die Möglichkeit, ohne Kenntnis einer Programmiersprache die eingegebenen Strukturen des Rechenmodells und die verwendeten Formeln, die von eigenen Auswertungen und aus der Literatur stammen, zu beurteilen. Bei Kenntnis der Vorgehensweise im Entwurfsmodell werden die Ergebnisse von systematischen Untersuchungen verschiedener Entwurfsbedingungen und Sicherheitsvorschriften verständlich.

Im fünften Kapitel werden mit dem Entwurfsmodell Berechnungen durchgeführt. Fragen der Schiffsstabilität, wie der Einfluß der Anfangsstabilität, des Stabilitätsumfangs, des verwendeten Stabilitätskriteriums auf die wirtschaftlichen und technischen Daten eines Containerschiffes, werden aufgezeigt und in Abbildungen dargestellt. Weiterhin wird untersucht, ob Ballastwasser aus Stabilitätsgründen beim Entwurf des Schiffes von vornherein vorgesehen werden soll. Die Einflüsse einer Änderung der Abmessungen, des Völligkeitsgrades, der Containermasse usw. werden aufgezeigt und in Abbildungen dargestellt. Weiterhin wird gezeigt, wie Werft und Reederei rational ihre durchaus verschiedenen Ziele - nämlich das werftoptimale und das reedereioptimale Schiff - abgleichen können.

1. EDV-Entwurfsmodelle

Unter einem Entwurfsmodell wird in dieser Arbeit ein mathematisches Modell zur Berechnung der technischen und wirtschaftlichen Daten eines Schiffsprojektes verstanden. Die technischen und wirtschaftlichen Daten werden dabei miteinander verknüpft. Für den Schiffsentwurf bedeutet dies, daß technische Daten wie Hauptabmessungen, Hauptformparameter, Massen und Volumina ebenso wie die dazugehörigen wirtschaftlichen Daten wie Baupreise und Betriebskosten berechnet werden.

1.1 Allgemeines über EDV-Entwurfsmodelle

Mit Hilfe von Entwurfsmodellen können vielfältige Fragen untersucht werden. Im einfachsten Anwendungsfall wird ein Parameter systematisch verändert. Die Einflüsse dieser Variationen auf die übrigen Parameter oder auf ein Gütekriterium können festgestellt werden. Als Optimum wird der Punkt bezeichnet, an dem das Gütekriterium (Zielfunktion) am kleinsten (Minimierung) oder am größten (Maximierung) ist. Diese Vorgehensweise bezeichnet man als Parameterstudie.

Im Schiffbau ist dies seit eh und je üblich gewesen. Man fertigte 2 oder 3 Entwürfe und verglich sie. Entsprechende Handrechnungen mit mehreren Variationen sind aber sehr zeitaufwendig. Es kann daher nicht überraschen, daß mit dem Aufkommen von elektrischen Rechenanlagen eine Vielzahl von Rechenmodellen für den Schiffsentwurf entstanden ist (siehe 1.2). Mit solchen Programmen konnte man in kürzester Zeit mehrere Entwurfsvarianten durchrechnen und vergleichen.

Dem Konstrukteur liefern solche Parameterstudien die Möglichkeit, Grenzen und Konsequenzen verschiedener Annahmen genauer und schneller zu überschauen als bei Handrechnungen.

Programme zur Optimierung unterscheiden sich von Programmen zur Parametervariation dadurch, daß die Suche nach dem optimalen Entwurf einem Suchprogramm überlassen wird. Die dort ver-

wendeten Suchverfahren enthalten eine problemunabhängige Entscheidungslogik. Der Vorteil der Suchverfahren liegt darin, daß sie durch gezielte Suche das Optimum der vorgegebenen Zielfunktion finden. Eine Beschreibung von verschiedenen Suchverfahren wird in /1/ und /2/ gegeben.

Bei der Optimierung wird zwischen sogenannten abhängigen und freien Unbekannten unterschieden. Die Anzahl abhängiger Unbekannter entspricht der Anzahl von Gleichheitsnebenbedingungen; diese Unbekannten werden aus den Gleichungen bestimmt. Bei Optimierungsproblemen hat man zusätzlich freie Unbekannte. Diese werden so bestimmt, daß die Zielfunktion optimal wird, wobei alle angegebenen Ungleichungen zu erfüllen sind. Bei Optimierungsaufgaben gibt es immer viele Lösungen, da mehr Unbekannte als Gleichungen vorhanden sind (unterbestimmtes System). Darüberhinaus ergeben sich für derartige Gleichungssysteme außer dem globalen "besten" Optimum leider auch oft mehrere lokale Optima, die die Suche nach dem globalen Optimum erschweren.

Die Verfahren beginnen die Suche immer bei Anfangsschätzwerten, die der Programmbenutzer variieren muß, um dann (zufällig, aber mit einer mit der Zahl der Rechengänge steigenden Sicherheit) zum globalen Optimum zu gelangen. Für das Suchverfahren stellt sich also folgende Aufgabe:

Gesucht wird der Vektor $(x_1 \dots x_N)$,
für den die Zielfunktion $f(x_1 \dots x_N)$
minimal bzw. maximal wird und für die gleichzeitig gilt, daß

$$g_i(x_1 \dots x_N) > 0 \quad \text{für } i = 1 \dots I$$

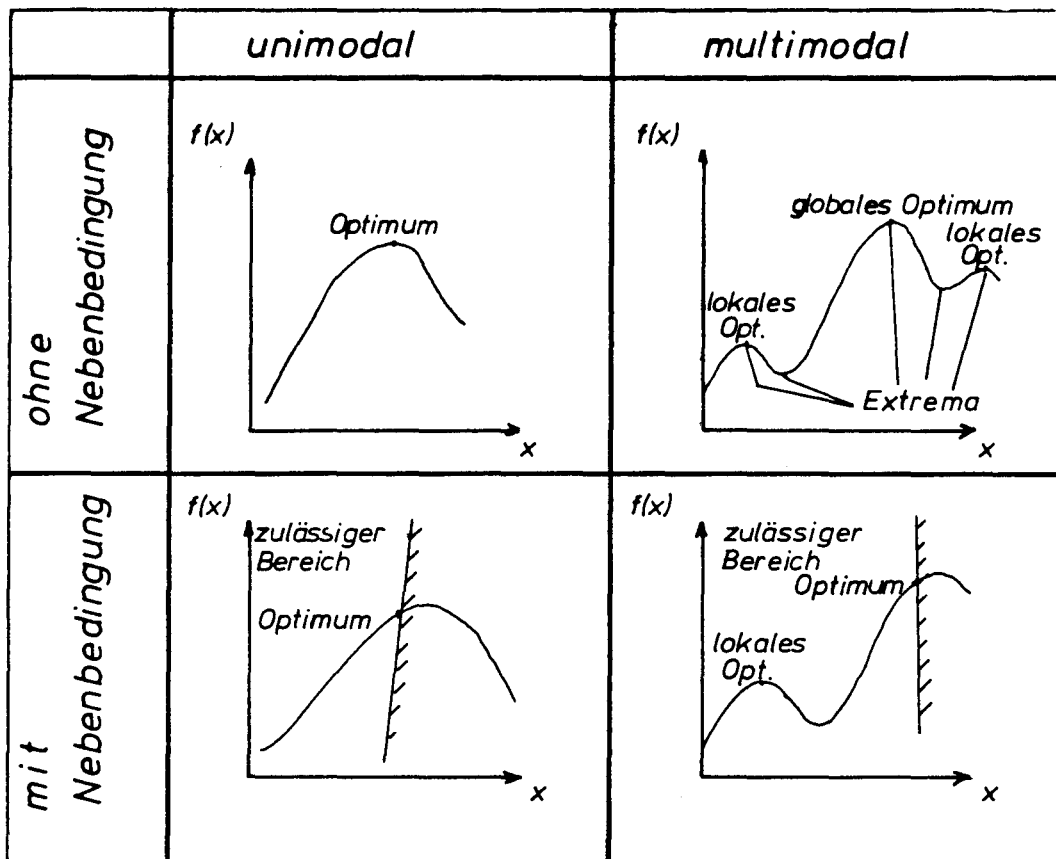
$$h_j(x_1 \dots x_N) = 0 \quad \text{für } j = 1 \dots J$$

x = freie Unbekannte

g sind Ungleichheitsnebenbedingungen

h sind Gleichheitsnebenbedingungen.

Für eine freie Unbekannte x mit der Zielfunktion $f(x)$ werden nachstehend die Grundbegriffe der Optimierung an Hand von Skizzen dargestellt (nach /2/).



1.2 Übersicht über vorhandene Entwurfsmodelle

In der Literatur findet man zahlreiche Entwurfsmodelle, die jedoch nicht detailliert veröffentlicht sind und sich daher einer wissenschaftlichen, kritischen Analyse entziehen.

Im folgenden wird daher eine bewertende Analyse bestehender Entwurfsmodelle auf zwei von der TH Aachen und der TU Berlin stammende Entwurfsmodelle beschränkt. Außerdem werden zwei Entwurfsmodelle für Containerschiffe beschrieben. Eine Übersicht über vorhandene Entwurfsmodelle kann /3/ und /4/ entnommen werden.

1.2.1 Entwurfsmodelle für verschiedene Schiffstypen

1.2.1.1 OPTIMA, ein Vorentwurfsprogramm für Frachtschiffe

Das Programm OPTIMA wird an der Rhein. Westf. Technischen Hochschule in Aachen verwendet /5/. Optimiert wird durch Variation der Schiffslänge und des Völligkeitsgrades CB.

Als Zielfunktion können angegeben werden die Baukosten, Betriebskosten mit Kapitaldienst oder die Rentabilität bezüglich Eigen- oder Gesamtkapital. Die Zielfunktionen, die im Programm OPTIMA verwendet werden können, sind ausführlich in /6/ und /7/ beschrieben. In der vorliegenden Arbeit wird in Abschnitt 2.4 auf mögliche Zielfunktionen eingegangen.

Die übrigen Hauptdaten des Schiffes sowie die wirtschaftlichen Daten werden passend dazu berechnet. Dies erfolgt durch Vorgabe eines Näherungswertes, der dann durch mehrere ineinandergeschachtelte Iterationen bis zu einer bestimmten vorgegebenen Genauigkeit korrigiert wird. Randbedingungen wie Tiefgangsbeschränkungen u.a. können eingegeben werden.

Es wird davon ausgegangen, daß Breite und Seitenhöhe optimal sind, wenn die vorgegebene Mindest-Querstabilität MG gerade erreicht ist. Diese Aussage wird in Abschnitt 1.4 kommentiert.

Ist ein Vergleichsschiff vorhanden, kann das Programm mit Korrekturwerten darauf abgestimmt werden. Nach der Optimierung können die einzelnen gefundenen Lösungen oder nur die nach der vorgegebenen Zielfunktion gefundene optimale Lösung ausgegeben werden. Die Ausgabe umfaßt die Gesamtergebnisse wie Hauptabmessungen, Formparameter, Widerstand und Propulsion, Massedaten und Gestehungskosten.

Das Programm gibt dem Benutzer die Möglichkeit, aus einer Vielzahl von Näherungsverfahren für die verschiedenen technischen Details die für ihn passenden Verfahren auszusuchen und damit die Optimierung durchzuführen. Als Beispiel seien die Möglichkeiten der Berechnung des Schleppwiderstandes genannt, die nach

- Danckwardt (Fischereifahrzeuge) /8/
- Danckwardt (Frachtschiffe) /8/
- Lap/Aufm Keller /9/
- Gulddammer/Harvald /10/
- Taylor/Gertler /11/
- Taylor/Gertler mit Ergänzungen /12/

durchgeführt werden können.

1.2.1.2 Synthesemodelle für den Vorentwurf von Schiffen

Für Tanker, Bulkcarrier und Stückgutfrachter wurden von der TU Berlin Entwurfsmodelle (Synthesemodelle) zur Optimierung von Länge LBP, Breite B, Tiefgang TT, Seitenhöhe D, Völligkeitsgrad CB, Geschwindigkeit V und Tragfähigkeit TDW in /4/ veröffentlicht. Optimiert wird nach der minimalen erforderlichen Frachtrate RFR. Diese Frachtrate deckt gerade die anfallenden Kosten (siehe hierzu Abschnitt 2.4).

Im folgenden wird das Entwurfsmodell für Stückgutfrachter näher betrachtet, weil es dem hier behandelten Entwurfsmodell für Containerschiffe ähnelt.

Als freie Unbekannte werden hier verwendet: LBP, LBP/B, LBP/D, B/TT und CB. Die Hauptabmessungen unterliegen nur den Einschränkungen der Ungleichheitsnebenbedingungen. Diese sind:

Anfangsstabilität: $GM > 0.025 \cdot B$ (beladen)

Rollperiode: $T > 15 \text{ sec}$, woraus ein GM_{\max} folgt

Freibord: SOLAS-Konvention 1966,
Typ-B-Schiff

und Bereichsgrenzen für die freien Unbekannten.

Bei der Auswertung der Ergebnisse zeigt sich nach /4/, daß die Nebenbedingung "Rollperiode größer als 15 sec" (entspricht einer maximal erlaubten Anfangsstabilität) dazu führt, daß das Optimum stets an dieser Grenze liegt. Dies steht im Widerspruch zur Vorgehensweise bei OPTIMA. Diskutiert wird dies in Abschnitt 1.4.

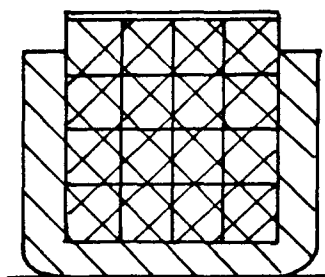
1.2.2 Entwurfsmodelle für Containerschiffe

1.2.2.1 Entwurfsmodell von Heinecke /13/

Mit dem Entwurfsmodell von Heinecke können außer Stückgutschiffen auch Containerschiffe berechnet werden. Mit den Eingangswerten Containerzahl, Geschwindigkeit oder Leistung und einer groben Generalplanskizze werden für gegebene oder systematisch variierte Breite, Tiefgang und Völligkeitsgrad CB Hauptabmessungsvorschläge mit dazugehörigen Volumina, Gewichten, Vermessung, Antriebsleistung bzw. Geschwindigkeit usw. berechnet. Länge und Seitenhöhe werden so bestimmt, daß die Reedereiforderungen und die Freibordvorschrift oder eine benötigte Höhe bei Containerschiffen erfüllt sind. Die Anfangsstabilität wird überprüft.

Die Containerzahl unter Deck wird bestimmt aus der Containeranzahl im Hauptspantquerschnitt unter Deck, der Anzahl der Bays und der Containervölligkeit γ_C . Mit Bay bezeichnet man den Stauplatz der Container in der Schiffslängsrichtung. Die empirische Formel für γ_C lautet:

$$\gamma_C = 1.37 - 0.8 \cdot \frac{\text{Laderaumquerschnitt am Hauptspant}}{\text{Hauptspantfläche incl. Lukenquerschnitt}}$$



/// Laderaumquerschnitt am Hauptspant

/// Hauptspantfläche incl.
Laderaumquerschnittfläche

1.2.2.2 Andere Entwurfsmodelle

Am ehemaligen Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffstheorie der TU Hannover entstanden schon 1974 im Rahmen von Studienarbeiten die ersten Entwurfsmodelle für Containerschiffe. Diese einfachen Modelle berechneten Abmessungen, Leistung, Schwerpunkte, Masse und Anfangsstabilität von Schiffsvorentwürfen mittels empirischer Formeln. Hierzu wurden die von Söding (und später von Wrede) entwickelten CHWARISMI-Compiler benutzt /14/, vgl. Abschnitt 1.3.

In späteren, vom Verfasser betreuten Studienarbeiten von H. Böttcher und U. Dopichaj /39/ wurden weitere Entwurfsmodelle für Containerschiffe aufgestellt. Als Ergebnis erhielt man Hauptabmessungen, die aber den Abmessungen der Container und somit der Containerschiffe insofern nicht gerecht wurden, als bei Containerschiffen die Schiffsbreite nicht kontinuierlich, sondern nur in Stufen entsprechend der Anzahl nebeneinander zu stauender Container veränderbar ist. Nicht so ausgeprägt sind diese Stufen bei der Seitenhöhe, weil unterschiedliche Doppelboden- und Lukensüllhöhen diese Stufung undeutlich werden lassen.

Darüberhinaus wurden neue Formelansätze des Verfassers für Schiffslänge, Breite und Seitenhöhe sowie Containeranzahl auf Deck erprobt. Von der eingegebenen Anzahl der nebeneinander- und aufeinanderstehenden Container am Hauptspant wird dabei auf die Breite und auf die Seitenhöhe geschlossen.

1.3 Die CHWARISMI - Compiler

Rechenmodelle für den Schiffsentwurf sollen den wechselnden Aufgabenstellungen leicht angepaßt werden können. Diese Schwierigkeit kann überwunden werden, wenn:

- bei der Programmierung alle möglichen Aufgabenstellungen bereits bedacht werden, so daß der Benutzer über Kennwerte das Programm steuern kann, oder

- das Hauptprogramm wird je nach Aufgabenstellung abgeändert oder teilweise neu geschrieben. Dies wird durch die CHWARISMI-Compiler wesentlich vereinfacht.

Mit Hilfe der CHWARISMI-Compiler können Lösungen von Gleichungssystemen und Optimierungsaufgaben berechnet werden. Die Programme werden in einem erweiterten FORTRAN geschrieben, das die Compiler in STANDARD-FORTRAN-Programme übersetzt.

Die Spracherweiterungen, die diese Compiler verarbeiten, betreffen die Optimierung stetig veränderlicher Unbekannter mit nichtlinearen Gleichungen und nichtlinearen Ungleichungen als Nebenbedingungen. Da die nichtlinearen Gleichungssysteme häufig mehrere Lösungen besitzen und oft auch mehrere lokale Optima vorliegen, müssen Anfangswerte (Schätzwerte) für alle Unbekannten gegeben werden; diese Schätzwerte werden dann vom Rechner iterativ so lange verbessert, bis die Lösung genügend genau (entsprechend anzugebenden Genauigkeiten) angenähert ist. Der Optimierungsalgorithmus basiert auf der sog. Tangent Search Method von Hilleary /15/. Ergebnis dieser Suche ist ein lokales Optimum; ob es das gesuchte globale Optimum ist, kann im Zweifel durch Start von verschiedenen Schätzwertkombinationen aus geprüft werden.

1.4 Zielsetzung für das angestrebte Entwurfsmodell und Vergleich mit vorhandenen Entwurfsmodellen

Für die Zielsetzung ist es notwendig, einige Besonderheiten eines Containerschiffes aufzuzeigen. Das Containerschiff unterscheidet sich von anderen Stückgutschiffen durch folgende, für die vorliegende Arbeit wichtige Merkmale:

- Containergerechte Abmessungen

Die Ladung ist in genormten Behältern (Containern) gestaut, die hauptsächlich in zwei Längen (20' und 40') vorkommen. Weltweit gebräuchlich ist hier die Maßeinheit "Fuß" und "Zoll". Die Breite beträgt einheitlich 8'. Es gibt Höhen von

8' bis 9'06" und halbhohere oben offene Container. Die übliche Standardhöhe beträgt 8'06". Durch die rechteckigen Container bedingt, entstehen in der gestrahten Schiffsform Leerräume, die als Tanks genutzt werden.

Infolge der genormten Containerabmessungen sind die Schiffshauptabmessungen, wie bereits erwähnt, mehr oder weniger nur in Stufen variierbar. Außer der Ladung im Container (Nutzladung) muß die Containerleermasse (~ 2.1 t bei 20' und $\sim 3,6$ t bei 40' Containern) mitbefördert werden, wodurch bei gleicher Nutzladungsmasse eine höhere Tragfähigkeit als beim Stückgutschiff erforderlich wird.

Für die vorliegende Arbeit stellt sich dann folgende Aufgabe:

Die Anzahl der Containerstapel pro Bay und die Anzahl der Container pro Stapel sowie die Anzahl der Bays soll ganzzahlig sein bei vorgegebener Containeranzahl. Die Hauptabmessungen sind zu optimieren.

Die Forderung nach containergerechten Schiffsabmessungen wird von Heinecke /13/ und Dopichaj /39/ erfüllt. Beide geben die Anzahl der Bays, die Anzahl der Containerstapel pro Bay und die Anzahl der Container pro Stapel am Hauptspant vor. Für jede Kombination dieser Eingabedaten kann ein optimales Schiff gesucht werden.

Mit dem Entwurfsmodell der TU Berlin können Containerschiffe nicht gerechnet werden, da als freie Unbekannte für die Schiffsabmessungen mit LBP, LBP/B, LBP/D und B/TT gerechnet wird. Hier ist eine Stufung nicht möglich.

Bei OPTIMA kann B und D als Sollwert vorgegeben werden. Hier kann B und D containergerecht eingegeben werden. Der Zusammenhang zwischen Anzahl der Container unter Deck und dem einzugebenden Laderaumvolumen bis Außenhaut ist nicht gegeben.

In der vorliegenden Arbeit können Schiffsabmessungen containergerecht optimiert werden. Die Vorgehensweise ist in Abschnitt 2.1 beschrieben.

- Containerzahl an Deck

Container können an Deck in mehreren Lagen (TIER) gestaut werden. Konventionelles Stückgut kann dagegen nicht so problemlos an Deck gestaut werden. Übereinander ist dies nur in Ausnahmefällen möglich, z.B. kann nur bei Holz, Röhren und ähnlichen Ladungen die Decksladung so hoch gestaut werden, daß die Stabilitätsgrenze erreicht wird.

Für das Entwurfsmodell "Containerschiff" gilt daher:

Die Containeranzahl an Deck soll nur durch Ungleichheitsnebenbedingungen begrenzt werden. Als Ungleichheitsnebenbedingungen werden hierzu die Stabilitätsvorschriften eingegeben (siehe Abschnitt 2.3).

Im Entwurfsmodell von Dopichaj wird die Anzahl der Containerlagen an Deck und somit die Containeranzahl an Deck optimiert. Als Ungleichheitsnebenbedingungen werden Ober- und Untergrenze der Anfangsstabilität berücksichtigt.

Bei OPTIMA wird die Masse der Decksladung als variationsunabhängig angenommen. Diese Vorgehensweise war zeitgemäß, als es noch keine Container gab. Im Entwurfsmodell für Stückgutfrachter der TU Berlin wird in /4/ keine Aussage über die Masse der Decksladung gemacht. Die Vorgehensweise im Entwurfsmodell "Containerschiff" wird in Abschnitt 2.2 beschrieben.

- Umschlagsleistungen mit Containern

Die Umschlagsgeschwindigkeit steigerte sich beim Containerschiff gegenüber konventionellen Stückgutschiffen enorm. Beispielsweise können bei 2 Containerbrücken pro Stunde ca. 40 - 60 Container umgeschlagen werden ($\sim 50 \dots 400$ t pro Mann und Stunde bei $\sim 2 \dots 10$ Mann an Bord), während beim vergleichbaren konventionellen Stückgutschiff mit 5 Gängen und 5 Umschlagseinrichtungen (Kräne, Ladegeschirr) je nach Art der Ladung und Arbeitsleistung der etwa 50 Arbeiter im Schiff nur ca. 2 - 6 t pro Mann und Stunde umgeschlagen wer-

den können /16, 17, 18/. Dadurch haben Containerschiffe einen wesentlich höheren Anteil an Seezeit als Stückgutschiffe bezogen auf eine Rundreise.

Mit dem Entwurfsmodell "Containerschiff" sollen die Einflüsse unterschiedlicher Umschlagsgeschwindigkeiten auf das Containerschiff untersucht werden. Abhängigkeiten der Umschlagsgeschwindigkeit von Hauptabmessungen konnten nicht festgestellt werden.

Jedoch können die Umschlagsgeschwindigkeiten wesentliche Entwurfsparameter wie Schiffsgeschwindigkeit und Schiffgröße beeinflussen. Es ist möglich, verschiedene Umschlagleistungen für Laderaum- und Deckscontainer einzugeben.

Aussagen zur Umschlagsgeschwindigkeit sind in den beschriebenen Entwurfsmodellen nicht vorhanden.

Bisher wurde nur auf die Besonderheiten der Containerschiffe eingegangen. Unabhängig vom Schiffstyp müssen Entwurfsmodelle in der Lage sein, die unterschiedlichsten Entwurfsbedingungen einzuhalten.

- Entwurfsbedingungen

Unter Entwurfsbedingungen versteht man Begrenzungen des Schiffsentwurfs wie Abmessungsbeschränkungen, einzuhaltende Sicherheitsvorschriften und Bedingungen, die sich aus dem Fahrtgebiet oder reedereiinternen Gegebenheiten ergeben.

Unter die Sicherheitsvorschriften, die die Schiffsabmessungen beeinflussen, fallen Freibord- und Stabilitätsvorschriften. Die Freibordvorschrift wird von OPTIMA und vom Entwurfsmodell der TU Berlin eingehalten. Alle in Abschnitt 1.2 aufgeführten Entwurfsmodelle berücksichtigen die Untergrenze der Anfangsstabilität, einige auch eine Obergrenze; Stabilitätsumfang, Maximalwert der Hebelarmkurve und Fläche unter der Hebelarmkurve werden nicht berücksichtigt. Bei OPTIMA /5/, Seite 12, wird zur Stabilität folgendes gesagt: "Es lohnt sich z.B.

nicht, die Breite oder die Hauptverhältniswerte B/T oder B/D als zusätzliche freie Variable (Unbekannte) einzuführen, da diese Größen i.a. automatisch optimal sind, wenn die Mindestquerstabilität gerade erreicht ist. Diese Mindestquerstabilität kann im Programm OPTIMA durch Vorgabe einer minimalen metazentrischen Höhe beliebig gewählt werden (Eingabe)". Bei der Optimierung von Stückgutschiffen von Nowacki /4/ liegt das Optimum dagegen an der Obergrenze der Anfangsstabilität.

Dieser Widerspruch zeigt, daß vereinfachende Annahmen, wie sie bei OPTIMA gemacht wurden, gefährlich sind. Man schränkt, wenn man dergleichen vorgibt, die Möglichkeiten, wirkliche Optima zu finden, drastisch ein. Die Stabilitätsvorschriften sind - insbesondere für Containerschiffe - so wichtig, daß sie von einem Entwurfsmodell vollständig berücksichtigt werden müssen.

- Abstimmen des Modells auf ein Vergleichsschiff

Das Abstimmen empirischer Formeln auf ein Vergleichsschiff ist beim Programm OPTIMA möglich und sollte für alle Entwurfsmodelle eine Selbstverständlichkeit sein. Variationsunabhängige Größen wie Lukensüllhöhe, Abstand zwischen den Luken, Deckshausmasse mit Schwerpunkt und Deckshausvolumen usw. müssen eingegeben werden.

- Propelleroptimierung

Weder OPTIMA noch das Entwurfsmodell der TU Berlin optimiert den Propeller. Für den Propellerwirkungsgrad η_0 werden einfache Formeln benutzt. Diese Näherungsformeln für η_0 führen, vor allem bei hohen Brennstoffpreisen, über die dann falsch berechnete Hauptmaschinenleistung mit deren Brennstoffverbrauch zu groben Ungenauigkeiten in den Brennstoffvorräten und Brennstoffkosten, die beide alle anderen Entwurfparameter beeinflussen. Bei größeren Schiffen sind die Brennstoffkosten der größte Kostenanteil innerhalb der Betriebskosten. Dies hat bei Zielfunktionen, die die Betriebskosten

berücksichtigen, Einfluß auf die Schiffshauptabmessungen.

Im Entwurfsprogramm "Containerschiff" wird der Propeller nach der Wageninger-B-Serie optimiert (siehe Abschnitt 4.2).

Schlußfolgerung

OPTIMA und das Entwurfsmodell der TU Berlin sind für Stückgutschiffe geschrieben worden, die keine Container transportieren. Solche Stückgutschiffe werden heute nicht mehr gebaut. Aus den für Containerschiffe typischen Eigenschaften resultieren neue Abhängigkeiten im Entwurfsmodell "Containerschiff". So war z.B. bisher nicht ausreichend bekannt, welche Auswirkungen vorgegebene Stabilitätswerte auf die Entwurfparameter von Containerschiffen haben. Untersuchungen dieser Art sind mit dem hier beschriebenen Entwurfsmodell möglich.

In Kapitel 5 wird daher systematisch untersucht, welche Einflüsse

- Abmessungsbeschränkungen
- Anforderungen an die Schiffsstabilität
- Schiffsbetriebliche Maßnahmen zur Stabilität
- Äußere Einflüsse wie Brennstoffpreise

auf die gesetzte Zielfunktion und die Schiffshauptabmessungen haben.

2. Lösungsansätze zu den gesetzten Zielen im Entwurfsmodell "Containerschiff"

2.1 Containergerechte Abmessungen

Ausgehend von der bei Heinecke /13/ verwirklichten Idee, die Containerzahl unter Deck mit der Containerfülligkeit γ_c zu bestimmen und bei der Eingabe eine grobe Generalplanskizze mit-zuverwenden, wurde im Entwurfsmodell "Containerschiff" (Beschreibung siehe Kapitel 4.) ein ähnlicher Weg beschritten. Mit Hilfe der Anzahl der Containerbays (RNL), der Anzahl von Containerstapeln pro Bay (RNB) und der Anzahl der Container pro Stapel (RND) läßt sich die Laderaumlänge (DBLENG), die Breite (B) und die Seitenhöhe (D) berechnen. Die Abbildungen 1 und 2 verdeutlichen dies.

2.1.1 Schiffslänge, Breite und Seitenhöhe

Die Laderaumlänge (= Doppelbodenlänge RLDB) ergibt sich wie folgt (siehe Abbildung 1):

$$RLDB = RNL \cdot 6.4 + \left(\frac{RNL}{2} + 2 \right) \cdot DBHC$$

DBHC = Breite der Lukenquerriegel
Distance between hatch coamings

Die Schiffslänge LBP (siehe Abbildung 1):

$$LBP = RLDB + RLER + RLAP + RLFP$$

RLER = Länge des Maschinenraums
Length of engine room

$$RLAP = \text{Länge der Achterpiek}$$

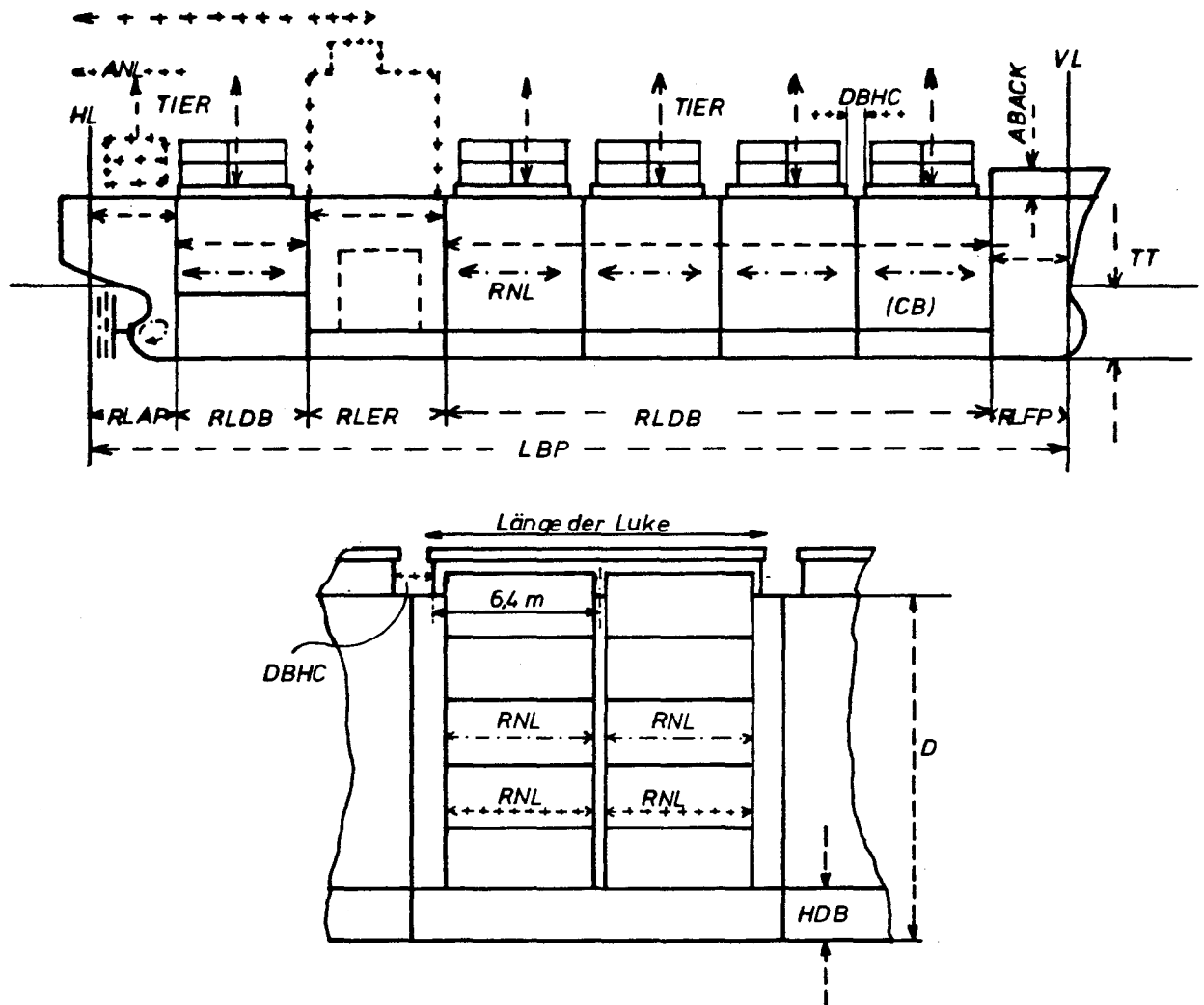
Length of aft peak

$$RLFP = \text{Länge der Vorpiek}$$

Length of forepeak

Maschinenraum- und Pieklängen werden mit empirischen Formeln berechnet.

(siehe Formel 1. und 5. im 4. Kapitel)



+++ Eingabe Daten

- Deckshaus, Masse und Volumen
- Backhöhe (ABACK)
- Differenz der Containerbays an Deck und im Laderaum (ANL)
- Lage des Maschinenraums (achtern oder auf 1/3 von LBP von achtern)
- Abstand zwischen den Lukensäulen (DBHC)

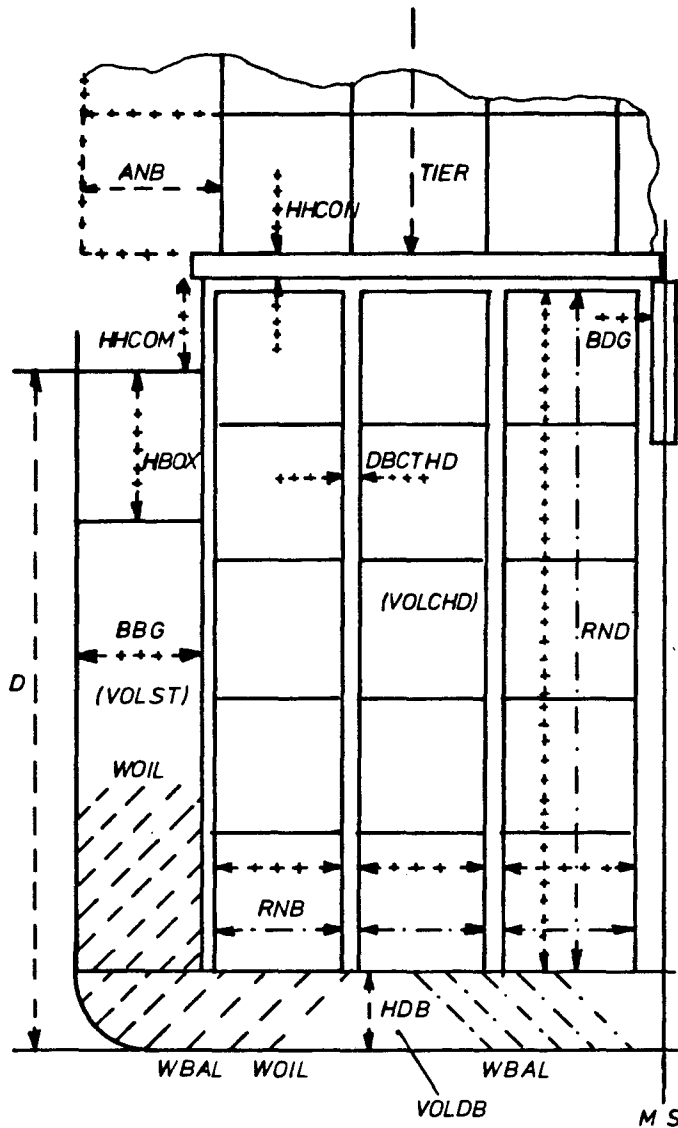
--- Abhängige Unbekannte

- Anzahl der Containerlagen an Deck (TIER)
- Länge Achter- und Vorpiek, Maschinenraum (RLAP, RLFP, RLER)
- Länge des Laderaumbereichs (RLDB)
- Tiefgang (TT)
- Schiffslänge (LBP)

--- Freie Unbekannte

- Anzahl der Containerbays (RNL)
- Volligkeitsgrad (CB)
- Propellerdurchmesser (DIAM)
- Propellerdrehzahl (REVPRO)

ABB. 1: SCHIFFSLÄNGSSCHNITT, BEGRIFFSERKLÄRUNGEN



+++ Eingabe Daten

Differenz der Containerstapel pro Bay an Deck und im Laderaum (ANB)

Lukendeckelhöhe (HHCov)

Lukensüllhöhe (HHCOM)

Höhe des Betriebsganges (HBOX)

Abstand zwischen den Containern (DBCTHD)

Breite des Deckstreifens (BBG)

Breite des Decksgirders (BDG)

Anzahl Containerstapel pro Bay mitschiffs unter Deck (RNB)

Anzahl Container pro Stapel mitschiffs, unter Deck (RND)

--- Abhängige Unbekannte

Containerlagen an Deck (TIER)

Seitenhöhe (D)

Masse Öl (WOIL) und dazugehöriges Tankvolumen in Seitentank und Doppelboden, keine Weckseltanks

Volumen Seitentank (VOLST)

Volumen Doppelboden (VOLDB)

Volumen Laderaum (VOLCHD)

Doppelbodenhöhe (HDB)

---- Freie Unbekannte

Anzahl Containerstapel pro Bay mitschiffs, unter Deck (RNB)

Anzahl Container pro Stapel mitschiffs, unter Deck (RND)

Wasserballastmenge (WBAL)

ABB. 2: SCHIFFSHAUPTSPANT, BEGRIFFSERKLÄRUNGEN

Die Schiffsbreite B (siehe Abbildung 2)

Die Schiffsbreite ergibt sich durch Aufsummieren der Einzelstrecken in der Breitenrichtung (siehe Abb. 2), d.h.

$$B = RNB \cdot 2.44 + (RNB + 1) \cdot DBCTHD + BDG \cdot RNDG + RNDG \cdot DBCTHD + 2 \cdot BBG \quad (\text{s. Formel 6.})$$

DBCTHD = Abstand zwischen den Containern im Laderaum
Distance between container in hold

BDG = Breite der Längsträger
Breadth of deck girder

RNDG = Anzahl der Längsträger
Number of deck girder

BBG = Breite des Decksstreifens
Breadth of box girder

Die Seitenhöhe D

$$D = HDB + RND \cdot 2.59 - HHCOM \quad (\text{s. Formel 8.})$$

HDB = Höhe des Doppelbodens
Height of double bottom

HHCOM = Höhe des Lukensülls
Height of hatch coaming

2.1.2 Containervölligkeitsgrad

Multipliziert man die Anzahl der Containerbays RNL mit der Anzahl der Containerstapel pro Bay RNB und der Anzahl der Container pro Containerstapel (RNL x RNB x RND), so erhält man die Anzahl der Container des beschriebenen Quaders. Infolge der Schiffsförmung finden bei abnehmendem Völligkeitsgrad immer weniger Container Platz im Schiffskörper. Daher wird analog zur Völligkeit der Verdrängung ein Containervölligkeitsgrad CBCT definiert:

$$CBCT = \frac{\text{Anzahl der Container im Laderaum CTHLD}}{RNL \cdot RNB \cdot RND}$$

(CTHLD = Number of container in hold)

Durch Auswerten gebauter Containerschiffe wurde die in Abb. 3 gezeigte Formel für CBCT gefunden.

Durch diese Vorgehensweise ist ein Zusammenhang zwischen der Containeranzahl unter Deck und der Länge, Breite und Seitenhöhe des Schiffes sowie dem Völligkeitsgrad bis zum Hauptdeck CBDCK hergestellt. Wird RNL, RNB und RND fest vorgegeben, so kann sich die Schiffslänge zwar noch geringfügig ändern, da nur die Laderaumlänge festliegt, Breite und Seitenhöhe aber sind somit fest vorgegeben. Das heißt, daß die Abmessungen praktisch festliegen. Da so nicht optimiert werden kann, wurde wie folgt vorgegangen:

Zuerst werden die Parameter RNL, RNB und RND als freie Unbekannte behandelt. Nach der 1. Optimierung erhält man nicht-containergerechte Abmessungen mit nicht ganzzahligem RNL, RNB und RND. Aus der so gefundenen Breite und Seitenhöhe wählt man eine darüber- und darunterliegende ganzzahlige Anzahl von RNB und RND aus und optimiert jetzt diese 4 Fälle mit RNL als freier Unbekanntem. Somit erhält man 4 mögliche, für die jeweils vorgegebenen ganzzahligen RNB und RND optimale Schiffe mit unterschiedlichem Ergebnis in der Zielfunktion.

Aus diesen 4 optimalen Schiffen mit unterschiedlichen Schiffsabmessungen und -daten wählt der Benutzer das für ihn passende Schiff aus nach den Ergebnissen in der Zielfunktion oder nach individuellen Gesichtspunkten. RNL ist damit aber immer noch nicht ganzzahlig!

Mit dieser Vorgehensweise ist es möglich, Containerschiffe mit containergerechten Abmessungen zu erhalten. Der letzte Schritt ist die Feinabstimmung der übrigen freien Unbekannten auf die ganzzahlig einzugebenden RNL, RNB und RND. Bei Bedarf kann auch die installierte Motorenleistung, Propellerdrehzahl und/oder Propellerdurchmesser fest eingegeben werden.

Der Grund für diese etwas umständliche Vorgehensweise liegt darin, daß als Unbekannte nur Realzahlen vereinbart werden können und daß das Einhalten von ganzzahligen RNL, RNB und RND

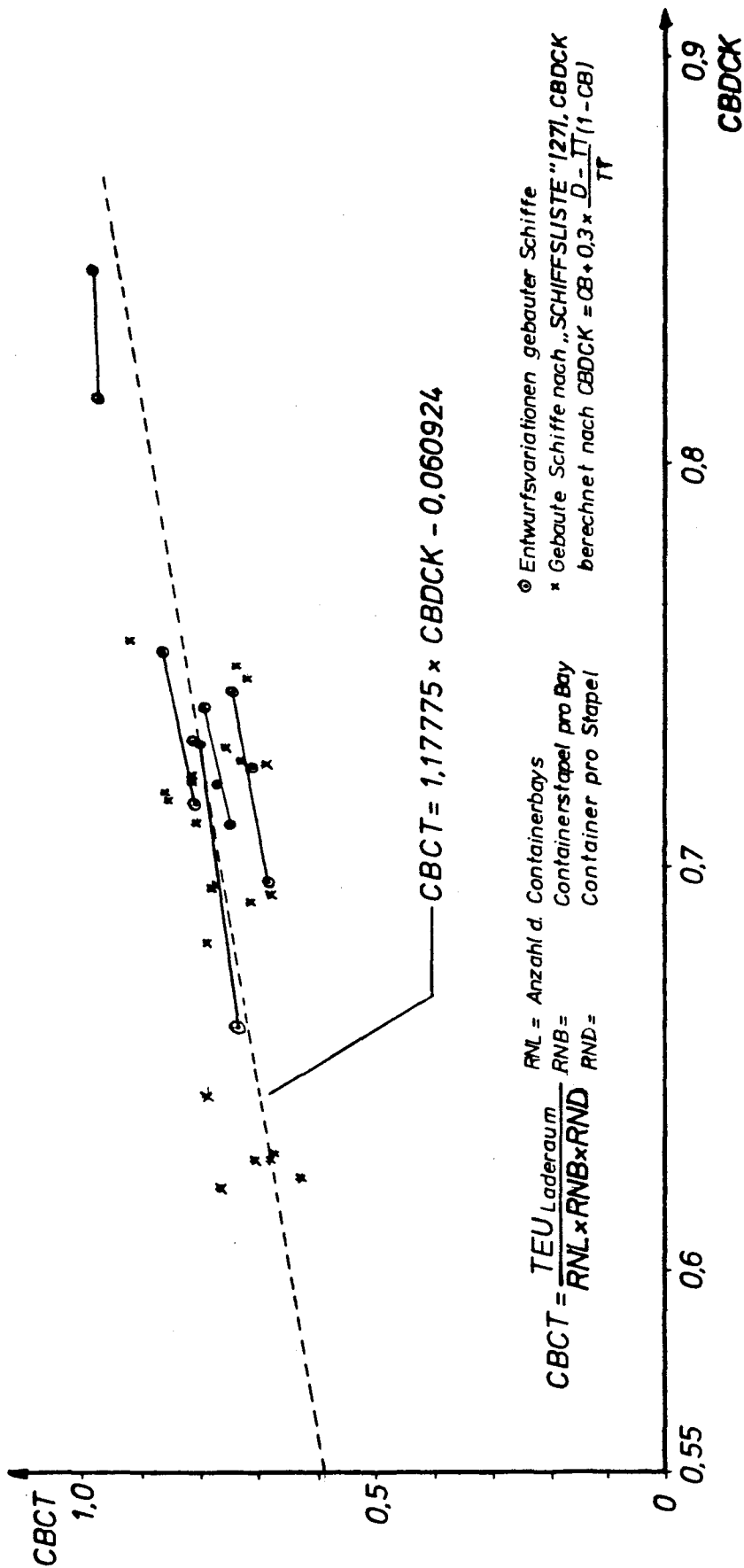


ABB. 3: CONTAINERVÖLLIGKEITSGRAD, EINE AUSWERTUNG GEBAUTER SCHIFFE UND ENTWURFSVARIANTEN GEBAUTER SCHIFFE

viele lokale Optima der Zielfunktion erzeugt, so daß das Suchprogramm je nach Startwert in einem dieser lokalen Optima das globale Optimum sieht und das Suchen beendet. Deutlich ist dies bei einem ähnlich gelagerten Problem in Abbildung 4 (nach Lee /19/) zu erkennen, wo - entsprechend den genormten Containerabmessungen - die installierte Maschinenleistung entsprechend der Zylinderanzahl gestuft wurde.

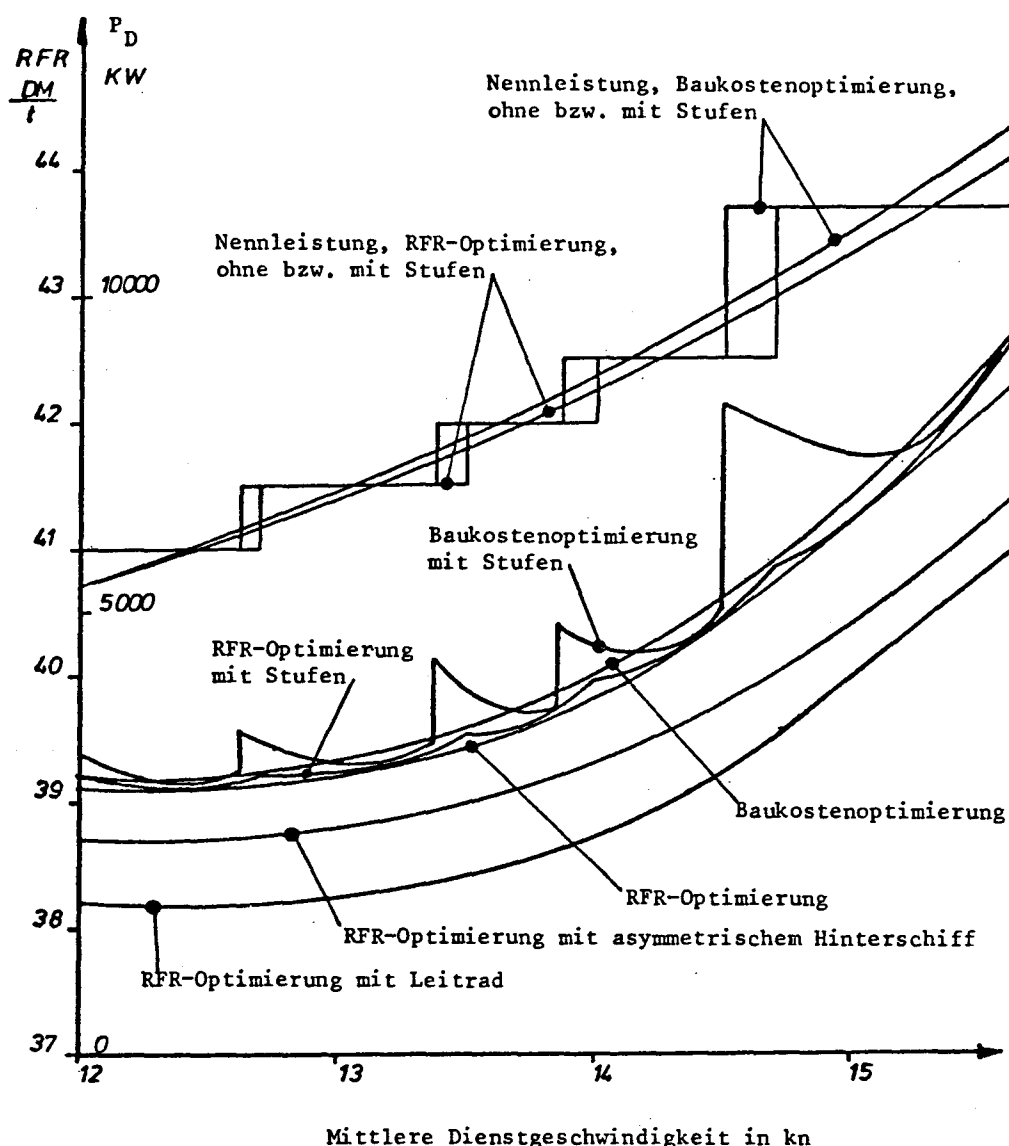


ABB. 4: ERFORDERLICHE FRACHTRATEN VON 70.000-TDW-MASSENGUTSCHIFFEN BEI VERSCHIEDENEN ENERGIESPARMASSNAHMEN UND BERÜCKSICHTIGUNG VON NENNLEISTUNGSSTUFEN INFOLGE ZYLINDERZAHL

2.2 Anzahl der Deckscontainer

Die Containerzahl an Deck ist im Entwurfsmodell eine abhängige Unbekannte. Sie ergibt sich als Differenz zwischen der vorgegebenen Containeranzahl TEU und der Containerzahl im Laderaum CTHLD.

Die Anzahl der Containerbays auf Deck ist fast immer größer als die Anzahl der Containerbays im Laderaum (RNL). Der Eingabewert ANL ist die Differenz zwischen der Anzahl der Containerbays auf Deck und RNL. Die Anzahl der Containerbays auf Deck ist: $RNL + ANL$. Analog hierzu verhält es sich mit den Containerstapeln pro Bay auf Deck. Die Anzahl der Containerstapel per Bay auf Deck ist: $RNB + ANB$.

Die Anzahl der Container einer Containerlage (TIER) beträgt somit $(RNL + ANL) \cdot (RNB + ANB) \cdot FCDCK$. Mit dem Faktor FCDCK wird berücksichtigt, daß vor allem im Vorschiff die Anzahl der Containerstapel per Bay abnimmt. Die Anzahl der Containerlagen an Deck (TIER) ist:

$$TIER = \frac{CTDCK}{(RNL + ANL) \cdot (RNB + ANB) \cdot FCDCK} \quad (\text{s. Formel 18.})$$

CTDCK = Anzahl der Deckscontainer in 20'
Containern

Number of container on deck

Der Schwerpunkt der Deckscontainer kann über Momentenrechnung berechnet werden.

Der Eingabewert der Masse eines Deckscontainers kann von der Masse eines unter Deck stehenden Containers verschieden sein. Somit kann auch inhomogene Stauung berücksichtigt werden.

2.3 Ungleichheitsnebenbedingungen

Eine Reihe von Entwurfsbedingungen wird mit Ungleichheitsnebenbedingungen dargestellt. So soll z.B. der Tiefgang immer kleiner als ein vorgegebener maximaler Tiefgang sein, oder die

2.4.1 Minimale Baukosten

Ein Projekt, welches den technischen Anforderungen einer Reedereianfrage genügt und dabei das billigste Angebot ist, hat Aussicht auf Auftragserteilung. Somit sind minimale Baukosten, vom Standpunkt der Werft aus gesehen, oft das beste Ziel.

Von diesem Ziel kann auf einer Werft im Projektstadium und bei der Bauausführung abgewichen werden, wenn

- einzelne Abteilungen und deren Belegschaft schlecht mit Arbeit ausgelastet sind,
- zur Steigerung der Verkaufsaussichten für Nachbauten auf Vielseitigkeit und Aussehen (Passagierschiffe) Rücksicht genommen werden soll,
- sich die Werft am Betriebsergebnis des Schiffes beteiligt.

Bei vorgegebener Schiffsgröße (TEU) und vorgegebener Schiffsgeschwindigkeit wird das Baukostenoptimum zwischen den Kosten für das Schiff mit dem optimalen Schiffsrumpf und den Kosten für das Schiff mit der optimalen Maschinenanlage liegen. Die Kosten für den Schiffsrumpf und für die Maschinenanlage sind hauptsächlich abhängig von den Hauptabmessungen und der Völligkeit des Schiffes, wobei bei kleiner Völligkeit die Hauptabmessungen größer werden, so daß in Verbindung mit dem entsprechend höheren Anteil an formabhängigen Bauteilen die Rumpfkosten steigen. Hierbei sinkt die Antriebsleistung und somit die Kosten für die Maschinenanlage. Die Kosten für Einrichtung wurden bei dieser Betrachtung als konstant angesehen.

Die Betriebskosten des Schiffes (z.B. Brennstoffkosten, Kapitalkosten) werden hierbei nicht berücksichtigt.

2.4.2 Zielfunktionen, die Betriebs- und Kapitalkosten berücksichtigen

Bevor Zielfunktionen mit Betriebs- und Kapitalkosten diskutiert werden, sei eine kurze Übersicht über die vom Reeder zu tragen-

den Kosten gegeben.

Schiffe haben verschiedene Einsatzarten. So kann ein Schiff im Liniendienst fahren oder unter den verschiedensten Charterbedingungen in der Trampfahrt. Die folgende Übersicht nach Brockmann /20/ gibt Auskunft über die Aufteilung anfallender Betriebskosten.

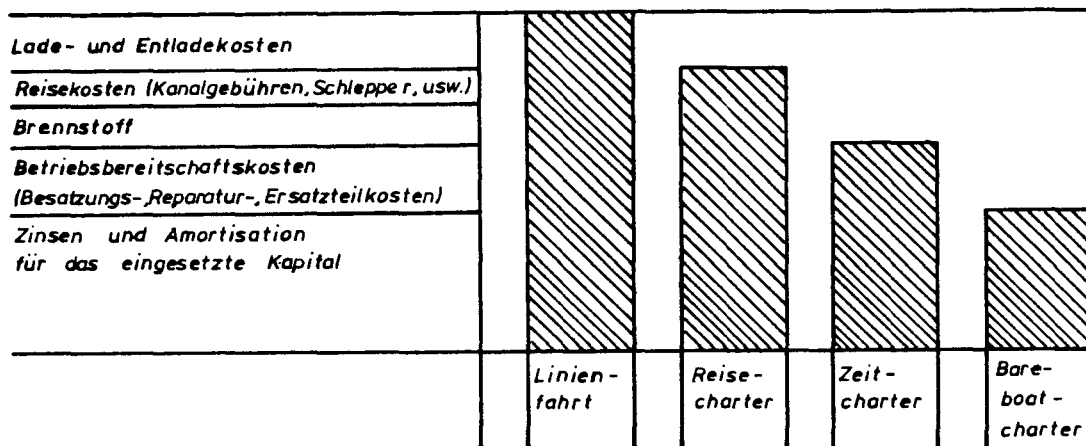


ABB. 5: ÜBERSICHT ÜBER DIE VOM REEDER ZU TRAGENDEN KOSTEN BEI DEN VERSCHIEDENEN BESCHÄFTIGUNGSFORMEN

Aus der Skizze ist zu ersehen, daß bestimmte Betriebskosten des Schiffes je nach Chartervertrag vom Reeder oder vom Charterer getragen werden. Hier stellt sich die Frage:

Inwieweit beeinflusst ein günstiger Brennstoffverbrauch des Schiffes die Höhe der Charter?

Wenn der Brennstoffverbrauch bei der Erteilung einer Charter und/oder bei der Höhe der Charter berücksichtigt wird, so sind Zielfunktionen, die die Betriebskosten berücksichtigen, auch für den Trampreeder von Interesse.

- Minimale Betriebs- und Kapitalkosten

Als Vergleichskriterium innerhalb einer Reederei kann dieses Kriterium verwendet werden, wenn alle Schiffe gleiche Fracht-

erlöse minus Hafenkosten erzielen. Ist dies jedoch unterschiedlich, so wählt man als Zielfunktion den

- maximalen Gewinn vor Steuer pro Zeiteinheit (z.B. ein Jahr).

Der Gewinn ist definiert als Einnahmen (Fracht) minus Ausgaben (Betriebs- und Kapitalkosten des Schiffes). Der Gewinn kann auch bezogen werden auf die in einer Zeiteinheit transportierte Ladungsmenge.

- Maximale Rentabilität (Rendite)

Hier wird unterschieden zwischen der Eigenkapital-Rentabilität, wobei der Gewinn auf das Eigenkapital bezogen wird, und der Gesamrentabilität, für die der Gewinn auf das gesamte investierte Kapital bezogen wird.

$$\text{Gesamrentabilität} = \frac{\text{Gewinn} + \text{Fremdkapitalzinsen}}{\text{gesamtes investiertes Kapital}} \cdot 100$$

$$\text{Eigenkapitalrentabilität} = \frac{\text{Gewinn}}{\text{Eigenkapital}} \cdot 100$$

Bei Zielfunktionen, die den Gewinn beinhalten, müssen die zukünftigen Erträge aus Charterverträgen oder Frachten geschätzt werden. Diese Vorhersage ist unsicher. Daher wählt man als Zielfunktion die

- minimale erforderliche Frachtrate (RFR).

Dies ist die mittlere, zeitlich konstante Frachtrate, die benötigt wird, damit das Schiff bei vorgegebener Verzinsung von Eigen- und Fremdkapital gerade Kapital- und Betriebskosten decken kann.

$$\text{RFR} = \frac{\text{jährliche Betriebs- + Kapitalkosten}}{\text{Jahrestransportleistung}}$$

Die erforderliche Frachtrate läßt sich nach Casas /21/ wie folgt darstellen:

$$\begin{aligned} \text{Kosten pro Ladungseinheit} &= \frac{\text{feste Tageskosten}}{\text{RFR} \cdot \text{Ladungseinheit}} \\ &\cdot \left(\frac{\text{Seestrecke in Seemeilen}}{24 \cdot \text{Geschwindigkeit}} + \text{Hafenzeit} \right) \text{Reise} \\ &+ \frac{\text{Seemeile} \cdot \text{Verbrauchskosten pro Seemeile}}{\text{Ladungseinheit}} \\ &+ \frac{\text{Reiseabhängige Kosten ohne Brennstoff}}{\text{Ladungseinheit}} \end{aligned}$$

(Ladungseinheit = Transportleistung im betrachteten Zeitraum)
Geschwindigkeit in Seemeilen pro Stunde.

Für jede Zielfunktion erhält man ein anderes optimales Schiff. Jede Zielfunktion hat dabei ihre Berechtigung, je nach der Interessenlage des am Markt handelnden Unternehmens.

2.4.3 Auswirkungen der verschiedenen Zielfunktionen auf das Schiff

Bei der Optimierung mit den Zielfunktionen, die die Betriebs- und Kapitalkosten eines Schiffes enthalten, erhält man Schiffe, die gegenüber baukostenoptimierten Schiffen eine größere Länge, ein kleineres CB, eine kleinere Antriebsleistung und somit geringere Brennstoffkosten und einen größeren Baupreis haben. Die Brennstoffkosten haben großen Einfluß auf die Betriebskosten, wenn das Verhältnis Seezeit zu Hafenzeit groß ist oder bei hohen Brennstoffpreisen.

Hier sind die Abweichungen zum baukostenoptimierten Schiff groß. Das RFR optimierte Schiff nähert sich dem baukostenoptimierten Schiff, wenn der Einfluß der Brennstoffkosten abnimmt. Die Zinsen für Eigen- und Fremdkapital haben Einfluß auf die Kapitalkosten. Bei hohen Zinsen verschiebt sich daher das Optimum zum billigen Schiff hin, um den sich durch die höheren Zinsen ergebenden höheren Kapitalkosten Rechnung zu tragen.

Es stellt sich die Frage, durch welche Maßnahmen der Reeder die Werft dazu bringen kann, das für ihn und nicht für die Werft optimale Schiff zu erhalten. Hierzu machte Söding in /48/ folgenden Vorschlag:

"Die Reederei kalkuliert, welche Baupreissteigerungen ihr z.B. gleichwertig zu einer mittleren Brennstoffersparnis von 1 t/Tag erscheinen, und teilt diese Zahl in ihrer Neubau-Anfrage den Werften mit. Die Werften konkurrieren dann gegeneinander auch über den Brennstoffverbrauch des von ihnen angebotenen Schiffes. Sie werden daher nicht das billigste Schiff anbieten, das die Mindestforderungen der Anfrage erfüllt, sondern überlegen, bis zu welchem Grade Mehrkosten beim Bau des Schiffes, die den Brennstoffverbrauch senken (z.B. ein schlankerer Schiffsrumpf oder eine bessere Energieausnutzung), durch Mehrpreisforderungen gegenüber dem Reeder aufgefangen werden können, ohne daß die Attraktivität ihres Angebotes für den Reeder nach dessen eigener Bewertung sinkt. Wenn so vorgegangen wird, fallen die Optima für die Werft und für den Reeder zusammen. D.h., die Werft wird sich im eigenen Interesse bemühen, ein reederoptimales Schiff anzubieten".

Im 5. Kapitel wird gezeigt, wie sich der Baupreis und die Schiffsabmessungen ändern, wenn die Maschinenleistung ($\hat{=}$ Brennstoffersparnis) sich verringert.

3. Abgrenzungen des Entwurfsmodells "Containerschiff" innerhalb der Transportkette

Die Transportkette verbindet Absender und Empfänger der Ladung. Die einzelnen Kettenglieder symbolisieren die verschiedenen Verkehrsträger auf dem Transportweg. Das Handelsschiff übernimmt beim Transport von Ladung zwischen zwei Orten den Abschnitt des Seetransports. An Hand des Beispiels im 1. Abschnitt werden im 2. Abschnitt unterschiedliche Abgrenzungen für das Entwurfsmodell Containerschiff diskutiert. Es ist ja eine offene Frage, ob es zulässig ist, sich allein auf das Schiff zu beschränken und inwieweit angrenzende Glieder der Transportkette näherungsweise berücksichtigt werden müssen.

Die beschriebenen Transportketten sind stark vereinfacht.

3.1 Transportkette Stückgut - Transportkette Container

3.1.1 Stückgut

Die Ladung für ein konventionelles Stückgutschiff wird beim Absender der Ladung in Kisten und Kartons verpackt und eventuell auf Paletten gestaut oder unverpackt seefest hergerichtet.

Der Transport zum Seehafen erfolgt mit LKW, Eisenbahn, Binnenschiff oder durch Kombinationen dieser Verkehrssysteme. Im Hafen wird in vielen Fällen die Ladung im Lagerschuppen gesammelt und bis zur nächsten Ankunft des Stückgutschiffes einer bestimmten Route zwischengelagert. Die Ladung wird an Land zu Hieven von 1 - 5 t zusammengefaßt und mit der Umschlagseinrichtung in das Schiff gesetzt. Dort wird die Ladung seefest verstaut.

Rücktransporte von Verpackungsmaterialien sind nicht üblich. Damit hat das Schiff nach dem Löschen seine Transportaufgabe für diese Ladung erfüllt. Die Ladung erreicht dann mit den oben beschriebenen Verkehrsträgern ihren Bestimmungsort.

Eine ausführliche Beschreibung des arbeitsintensiven Umschlagvorgangs ist in Literatur /18/ und /16/ enthalten.

3.1.2 Container

Beim Containerverkehr wird im Idealfall der Container beim Hersteller (Händler) gepackt und erst am Bestimmungsort wieder geöffnet. In einigen Fällen wird der Container im Hafen gepackt und dient somit nur als Zusatzverpackung für den Seetransport und zum schnelleren Ladungsumschlag. Für den Landtransport der Container kommen hauptsächlich Eisenbahn und LKW in Frage. Im Hafen benötigt man große Stellflächen zum Zwischenlagern und Vorstauen der Container für das Containerschiff. In das Containerschiff gelangen die Container mit Hilfe von Containerbrücken. Container haben genormte Abmessungen (übliche Längen 20' und 40'). Somit ist die Ladung in relativ großen "Hieven" zusammengestellt. Im Zellencontainerschiff stehen im Laderaum die Container in Führungsschienen, so daß keine weiteren Zurrarbeiten erforderlich sind. An Deck und bei Mehrzweckfrachtschiffen auch im Laderaum müssen Container gegen Verrutschen seefest gelascht werden.

Die Unterschiede zwischen normalem Stückguttransport und Containertransport werden in Tabelle I zusammengefaßt.

3.2 Optimale Transportkette - optimale Flottenstruktur - optimales Schiff

3.2.1 Optimale Transportkette

Der Ladungstransport vom Absender zum Empfänger kann mit Hilfe verschiedener Verkehrsträger erfolgen. Bei der Optimierung der Transportkette ist folgendes gegeben:

- Abgangs- und Bestimmungsort der Ladung.
- Ladungsart und die daraus resultierenden Einschränkungen (Abmessungen, Temperatur-, Feuchte- und Stoß-

Tabelle I.

	Konventionelles Stückgutsschiff	Containerschiff
Häufigkeit der Umschlagshandlungen für das einzelne "parcel" in der gesamten Transportkette	Sehr viele Umschlagshandlungen z.B. aus Fabrik in LKW, in Lagerhalle, zu einer Hieve zusammengestellt ins Schiff umgesetzt, im Schiff mehrmaliges Bewegen und Festlaschen	nur zwei Umschlagshandlungen: Ein- und Auspacken im Container, dann nur Containerumschlag Haus zu Haus Transport
Aufwand für die Verpackung	vielfältig, aber meist recht billig (Kisten, Säcke, Karton Ballen u.s.w.)	eigentlich nur der Container, dieser ist sehr aufwendig
Wiederverwendung der Verpackung	so gut wie nie, Ausnahmen bei Paletten	immer; durch nicht ausgeglichenen Ladungsfluß Rücktransport von Leer-Containern (ca 12 %), aufwendige Organisation
Umschlagzeiten Land - Schiff - Land	10 - 40 t/h und Luke	150 - 300 t/h und Containerbrücke
Personaleinsatz im Schiff, Kosten beim Umschlag	sehr hoch, Größenordnung ~ 50 Mann 30 ÷ 50 DM/t	Größenordnung ~ 2 ÷ 10 Mann ~ 15 DM/t
Raumausnutzung im Schiff	sehr gut, Unterstau möglich	schlecht, nicht containergerechte Resträume gehen für die Ladung verloren
Decksladung	Nur bei wenigen Ladungsarten möglich, übereinanderstauen von verschiedenen Lagen, Decksladung nur selten	Container in mehreren Lagen übereinander staubar
Schutz der Ladung	mangelhaft, vor allem wegen der vielen Umschlags- und Stauvorgänge Beschädigungen	sehr guter Schutz durch den Container

empfindlichkeit der Ladung).

- Ladungswert und Zinssatz, wenn der Empfänger bei Auslieferung der Ware bezahlt.
- Die maximale, vom Absender erlaubte Transportzeit.

Unbekannt sind der zu wählende Transportweg und die in Frage kommenden Verkehrsträger auf diesem Transportweg mit ihren Transportpreisen.

Ziel der Optimierung sind minimale Transportkosten für den Absender der Ladung.

3.2.2 Optimale Flottenstruktur für ein bestimmtes Fahrgebiet

Ein Glied in der Transportkette ist der Seetransport. Der Transport erfolgt auf Schiffen, die von Reedern betrieben werden. Mehrere Schiffe sind eine Flotte, die eine bestimmte Struktur, gekennzeichnet durch Schiffstypen, Schiffsgrößen und verschiedene technische Eigenschaften, aufweisen.

Eingangswerte für die optimale Flottenstruktur sind:

- Das Ladungsaufkommen und die Ladungsarten, die Zufallsgrößen sind und durch Mittelwert-, Streuung und andere statistische Kennzahlen von Häufigkeitsverteilungen nur unzureichend beschrieben werden können,
- die Seedistanz,
- die Konkurrenz am Markt, deren Preise und Schiffe.

Unbekannt sind:

- Schiffstyp,
- Anzahl der Schiffe, Schiffsgröße und Schiffsgeschwindigkeit,

die mit dem Ziel "minimale Transportkosten" oder maximaler Gewinn der Flotte berechnet werden sollen.

Dieses Thema behandelt Schöttelndreyer in seiner Arbeit "Der Einfluß des Ladungsmengenrisikos auf die optimale Flottenstruktur von Handelsschiffen im Liniendienst" /22/.

Bei solchen Optimierungen wird das Ladungsaufkommen, die Kosten der Flotte, die Fahrtroute und der Reiseablauf eingehend behandelt. Hieraus ergibt sich eine bestimmte Anzahl von Schiffen entsprechender Größe und Geschwindigkeit. Für diese Optimierung genügen daher zur Beschreibung des Schiffes Formeln, aus denen Bau- und Betriebskosten als Funktion von Schiffsgröße und Geschwindigkeit berechnet werden können. Die Optimierung erfolgt für die gesamte Flotte.

Die Schwierigkeiten bei der Flottenoptimierung liegen in der Vorausbestimmung des Ladungsaufkommens. Dies muß auf mehrere Jahre vorausgeschätzt werden, wenn zu einem bestimmten Zeitpunkt ein Schiffsneubau in Dienst gehen soll. Die Schätzung wird völlig unzutreffend, wenn wettbewerbsverzerrende Maßnahmen in einigen Ländern beschlossen werden, ebenso durch Kriege und Blockaden (z.B. Suez-Kriege).

3.2.3 Optimales Schiff

Das optimale Schiff erfüllt alle vorgegebenen Entwurfsbedingungen und ist das wirtschaftlich günstigste Schiff, entsprechend der gewählten Zielfunktion.

Kennzeichnende Eingabewerte sind die Ergebnisse der Flottenoptimierung wie Ladefähigkeit des Schiffes (Tragfähigkeit, Laderauminhalt oder TEU), die Schiffsgeschwindigkeit und noch weitere Entwurfsbedingungen, die sich z.B. aus dem Fahrtgebiet ergeben.

Es sind zu berechnen:

- Hauptabmessungen
- Formparameter
- Schiffsstabilität und Freibord
- Tankvolumina und -inhalte

Leistung von Antriebs- und Hilfsmaschinen
Schiffsleermasse
Bau- und Betriebskosten,

wobei die gewählte Zielfunktion unter Berücksichtigung aller Entwurfsbedingungen minimal oder maximal werden soll.

Für das Entwurfsmodell "Containerschiff" wird mit vorgegebener TEU-Anzahl und Schiffsgeschwindigkeit das optimale Containerschiff berechnet. Die TEU-Angabe entspricht der Größe eines 20' Containers (20' x 8' x 8'06", l x b x h) und wird weiter definiert durch eine durchschnittliche Containermasse unter und auf Deck und einen Anteil an 40' Containern. Eine ausführliche Beschreibung des Entwurfsmodells befindet sich in Kapitel 4.

Mit dem Entwurfsmodell "Containerschiff" können mit Einschränkungen auch Flotten optimiert werden, wenn im Programm folgende Änderungen vorgenommen werden:

Eingabe: Jahrestransportleistung für ein Schiff

Zusätzliche freie Unbekannte: Schiffsgeschwindigkeit V

Zusätzliche abhängige Unbekannte:

$$\text{TEU} = \frac{\text{Jahrestransportleistung}}{2 \cdot \text{Rundreisen pro Jahr}}$$

Die Beschreibung der Rundreise entspricht nicht den Anforderungen, wie sie bei einer Flottenoptimierung benötigt werden, weil sie folgende Vereinfachungen aufweisen:

- Keine Berücksichtigung des Ladungsumschlags in den einzelnen Häfen und den daraus resultierenden Einflüssen auf das Schiff wie Tiefgang, Leistungsbedarf, Stabilität usw.,
- keine Berücksichtigung der Differenz in den Seestrecken bei der Berechnung der erforderlichen Frachtrate, wenn mehr als zwei Häfen angelaufen werden,
- keine Berücksichtigung von Abfahrtsintervallen, schwankendem Ladungsaufkommen und einer Bewertung der Konkurrenz am Markt.

Eine Berücksichtigung dieser Punkte im Reisemodell würde eine erhebliche Erweiterung darstellen. Bei gegebener Geschwindigkeit und Schiffsgröße hätte die Erweiterung nur geringen Einfluß auf das optimale Schiff.

3.3 Schlußfolgerung

Verschiedene Schiffstypen - wie Stückgutschiff, Container- und RoRo-Schiff - dürfen nicht isoliert von ihrer Stellung innerhalb der Transportkette miteinander verglichen werden.

Schiffsgröße und Geschwindigkeit sind substitutive Parameter; man kann sie also nur gemeinsam optimieren. Da bei der Wahl der Dienstgeschwindigkeit auch noch andere Einflüsse eine Rolle spielen als die Verzinsung des Ladungswertes, und da diese Einflüsse quantitativ nur schlecht formulierbar sind (Konkurrenz), ist es günstiger, Geschwindigkeit und Schiffsgröße fest vorzugeben und nur die anderen Parameter des Schiffes zu optimieren.

4. Beschreibung des Entwurfmodells "Containerschiff"

In Kapitel 2 wurden die wichtigsten Gleichungen zum Containerschiffsentwurf erläutert. Hier soll nun eine Übersicht über das Entwurfsmodell gegeben werden.

Der Programmtext befindet sich im Anhang.

Für die Optimierung werden die von Söding und Wrede entwickelten CHWARISMI-Compiler benutzt /14/. Diese Compiler wurden speziell für Entwurfsaufgaben entwickelt und ermöglichen es deshalb,

- einzelne Gleichheits- und Ungleichheitsbedingungen auszutauschen
- die Zielfunktion zu ändern (bzw. verschiedene Terme darin verschieden zu gewichten)
- Unbekannte als Eingabedaten umzudefinieren und umgekehrt
- zur Berechnung einer Größe abwechselnd verschiedene Funktionen zu nutzen

Die im Kapitel 5 beschriebenen Auswertungen beziehen sich auf die verschiedensten Entwurfsziele und -bedingungen. Trotzdem konnten alle diese Rechnungen mit einem Programm durchgeführt werden.

Im folgenden Entwurfsmodell wird ein Containerschiff entworfen, das in der Linienschiffahrt verkehrt und stets voll beladen ist. Es wird als Einschrauber von einem langsamlaufenden Schiffsmotor angetrieben, der etwa bei $\frac{1}{3}$ der Schiffslänge achtern angeordnet ist. Eingangsdaten sind Schiffsgeschwindigkeit und Anzahl der Containerstellplätze.

4.1 Programmaufbau

Das Programm besteht aus folgenden Teilen:

Eingabe:

Die Anforderung an das zu entwerfende Schiff, z.B. TEU-Anzahl, Schiffsgeschwindigkeit, Minimal- und Maximalwerte der freien Unbekannten.

Die Eingabedaten, sowie die Berichtigungswerte für die empirischen Formeln, werden im Kapitel 4.3 bei der Beschreibung der einzelnen Gleichungen erklärt. Bei Vorgabe eines Vergleichsschiffes errechnet sich das Programm die Berichtigungswerte selbst.

Anfangswerte:

Mit Hilfe von Näherungsformeln werden Anfangswerte für alle Unbekannten und Schrittweiten zur Steuerung der Optimierung berechnet.

Optimierung:

In diesem Teil des Programms, das die eigentliche Optimierung bewirkt, werden die freien und abhängigen Unbekannten definiert und die Gleichungen, Ungleichungen sowie die Zielfunktionen angegeben. Das fertig kompilierte Programm führt die Optimierung iterativ durch. In der Regel werden etwa 100 bis 1000 Kombinationen von freien Unbekannten generiert; zu jeder dieser Kombinationen wird das Gleichungssystem für die abhängigen Unbekannten näherungsweise gelöst.

Weiterverarbeitung:

Aus den optimalen Schiffsparametern werden weitere Daten ermittelt und die Ergebnisse ausgedruckt.

Es wird eine Bibliothek mit Unterprogrammen für schiffstechnische Standard-Berechnungen (ESS-Bibliothek /25/), Ein- und Ausgabe-Routinen benutzt.

4.2 Freie Unbekannte und die bei der Auswertung verwendeten Zielfunktionen

Für das Entwurfsmodell werden folgende Größen als freie Unbekannte angesehen:

a) Für das Optimieren mit containergerechter Breite und Seitenhöhe:

- | | |
|--|-------|
| - Anzahl der Containerbays unter Deck | RNL |
| - Völligkeitsgrad | CB |
| - Propellerdurchmesser | DIAM |
| - Wasserballastmenge am Ende der Reise | WBALE |

b) Bei nicht containergerechter Breite und Seitenhöhe werden die

- Anzahl der Containersäulen pro Bay unter Deck (RNB) und die
- Anzahl der Container pro Containerstapel unter Deck (RND) am Hauptspant

zusätzlich zu a) als freie Unbekannte gesetzt.

c) Bei Arbeiten des Verfassers zu /23/ und /24/ wurde weiterhin als freie Unbekannte verwendet:

- | | |
|--|--------|
| - Wasserballast am Anfang der Reise | WBALA |
| - Propellerdrehzahl | REVPRO |
| - Verhältnis der für Wasserballast und Treiböl gebrauchten Doppelbodenhöhe zu minimaler Doppelbodenhöhe nach Vorschriften des Germanischen Lloyd /26/. | |

Verwendete Zielfunktionen:

Bei der Auswertung im Kapitel 5 wurden entweder die erforderliche Frachtrate RFR oder die Baukosten als Zielfunktion gewählt.

4.3 Abhängige Unbekannte und Eingabeparameter

Es werden 53 abhängige Unbekannte berechnet, deren Werte aus ebensovielen Gleichungen ermittelt werden. Die folgende Aufzählung gibt eine Übersicht zum besseren Verständnis der in Kapitel 5 folgenden Auswertungen.

Um schnell eine Übersicht über dieses Gleichungssystem zu erhalten, wurde Tabelle II aufgestellt. In den Zeilen (horizontal) stehen die Gleichungen der abhängigen Unbekannten und die in die Gleichung eingehenden abhängigen und freien Unbekannten. In den Spalten (vertikal) kann für jede Unbekannte nachgeschaut werden, in welchen Gleichungen sie auftritt.

Berichtigungswerte und Korrekturwerte

Alle empirischen Gleichungen können mit einem Berichtigungswert oder Korrekturwert auf ein gebautes Vergleichsschiff abgestimmt werden. Der mit der abgestimmten Gleichung berechnete Wert ist dann gleich dem entsprechenden Wert des Vergleichsschiffes. Wird das gesamte Entwurfsmodell auf ein Vergleichsschiff abgestimmt und das Gleichungssystem gelöst (keine freien Unbekannten), so erhält man die technischen und wirtschaftlichen Daten des Vergleichsschiffes als Ergebnis. Es kann dann davon ausgegangen werden, daß bei einer Optimierung mit dem abgestimmten Entwurfsmodell "Containerschiff" die Ergebnisse sehr genau sind, wenn die Abweichungen vom Vergleichsschiff gering sind. Das Entwurfsmodell wurde auf ein 1755 TEU Containerschiff abgestimmt,

soweit die entsprechenden Werte zur Verfügung standen. Die Berichtigungswerte werden in den nachfolgenden Abschnitten bei jeder empirischen Formel gesondert angegeben.

Berichtigungswerte werden aus den Vergleichsschiffsdaten vom Programm berechnet. Ist kein Vergleichsschiff vorhanden, so können die Berichtigungswerte nach Erfahrung eingelesen werden, oder es wird der Standardwert des Programms (=1) benutzt.

Korrekturwerte berichtigen ebenso wie die Berichtigungswerte empirische Formeln. Sie werden aber bei Vorgabe eines Vergleichsschiffes vom Programm nicht berechnet und müssen bei Abweichung vom Standardwert, der gleich 1 ist, vom Benutzer eingegeben werden.

Berichtigungs- und Korrekturwerte berichtigen die empirischen Gleichungen durch Addition eines Wertes oder durch Multiplikation. Bei Multiplikation wird die Bezeichnung in Berichtigungs- oder Korrekturfaktor geändert.

Weiterhin hat der Programmbenutzer bei einigen Gleichungen die Möglichkeit, sie durch Faktoren gewünschten Entwurfsbedingungen anzupassen (Bezeichnung: Faktor für...).

Bei jeder abhängigen Unbekannten (gekennzeichnet durch -) werden die Eingabe- und Berichtigungswerte vollständig angegeben. Freie und abhängige Unbekannte werden definiert, sofern sie noch nicht definiert wurden.

Symbole

Aufgrund der vielfachen Programmänderungen und -erweiterungen ist ein einheitliches System für die verwendeten Symbole nur teilweise vorhanden. Einige Symbole beruhen auf Abkürzungen, die auf englische Bezeichnungen zurückzuführen sind. Wurde eine Funktion der Programmbibliothek (weiterhin als ESS-Bibliothek /25/ bezeichnet) des ehemaligen Instituts für Entwerfen von Schiffen und Schiffstheorie benutzt, so

wurden die dort verwendeten Symbole, soweit sie im Entwurfsmodell noch nicht definiert waren, übernommen. Im Anhang befindet sich eine alphabetische Liste aller Symbole und deren Definition des Entwurfsmodells "Containerschiffe" in deutscher und englischer Sprache. Folgende Kenntnis einiger Symbole erleichtern das Lesen:

F.....	Berichtigungs-, Korrekturfaktor, Faktor allgemein
W.....	Masse von.... (mass(<u>w</u> eight))
ETA...	Wirkungsgrad.... η
RHO...	Dichte.... ρ
SFC...	spezifischer Brennstoffverbrauch von.. (specific fuel consumption of...)
TIM...	Zeit für.... (time)
VOL...	Volumen von....
ZKG...	Gewichtsschwerpunkt über Basis von....
..FP..	Vorpiek (fore peak)
..ER..	Maschinenraum (engine room)
..DB..	Doppelboden
...MAX oder ..MA	Maximalwert
...MIN oder ..MI	Minimalwert
..CT.. oder ..CON.	bedeutet Container
..DK.. oder ..DCK.	bedeutet Deck
..HD.. oder ..HLD.	bedeutet Laderaum (hold)

4.3.1 Geometrie des Schiffes

- Schiffslänge LBP

Die Schiffslänge ist die Addition der Länge der Pieks (RLAP, RLFP), des Maschinenraums (RLER) und des Laderaums (RLDB)

$$LBP = RLAP + RLER + RLDB + RLFP \quad (1.)$$

abhängige Unbekannte:

RLAP = Länge der Achterpiek
length of after peak

RLER = Länge des Maschinenraums
length of engine room

RLFP = Länge der Vorpiek
length of fore peak

RLDB = Länge des Laderaums
length of double bottem

- Vorpieklänge RLFP

Die Länge der Vorpiek RLFP ist definiert als Länge vom vorderen Laderaumschott bis zum vorderen Lot. Aus der Auswertung gebauter Containerschiffe läßt sich nur eine Abhängigkeit von der Schiffslänge erkennen. Entsprechend den vom Germanischen Lloyd vorgegebenen Grenzen wurde folgende Formel aufgestellt (Abbildung 6):

$$RLFP = 0.17 \cdot LBP^{0.8} \cdot FRLFP \quad (2.)$$

Berichtigungswert:

FRLFP = Berichtigungsfaktor für die
Vorpieklänge
=1.035 /-/

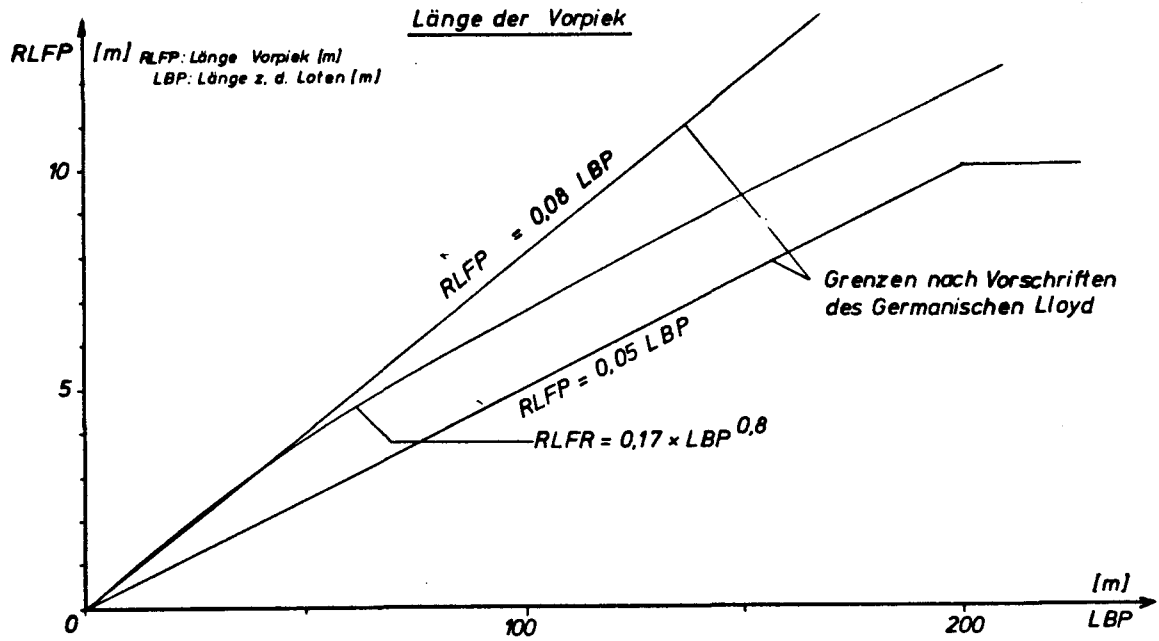


ABB. 6: VORPIEKLÄNGE

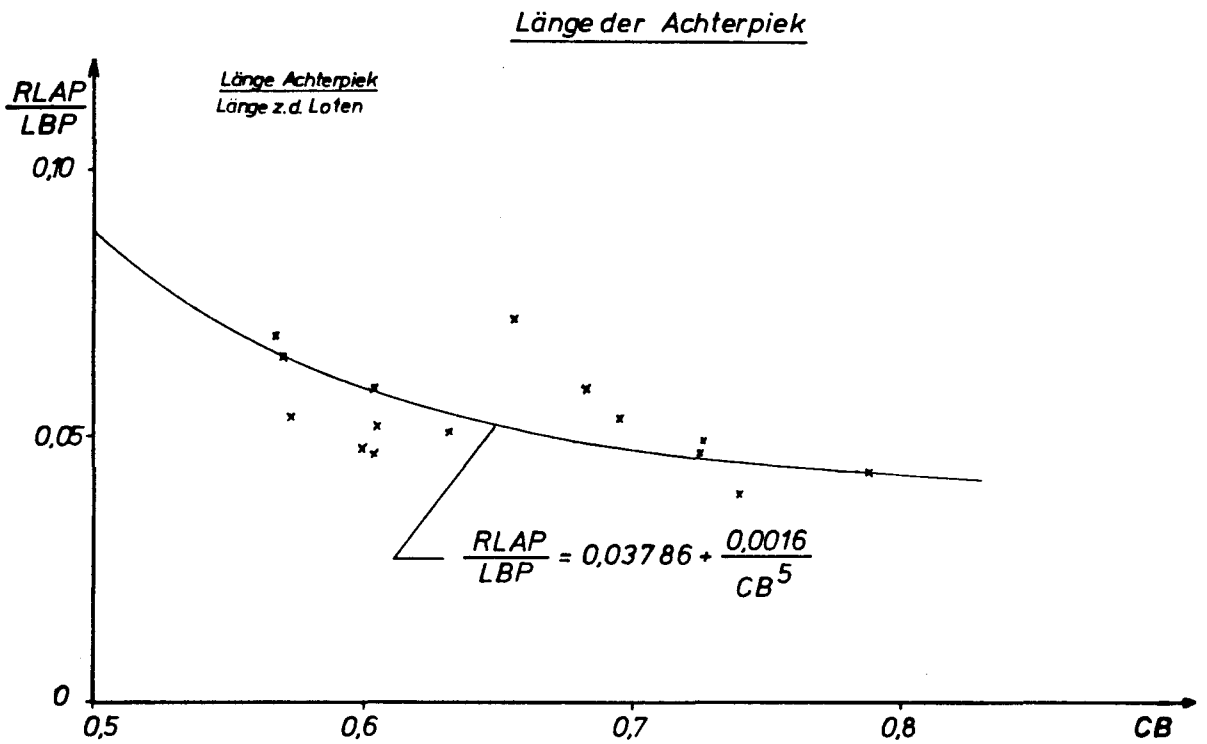


ABB. 7: ACHTERPIEKLÄNGE, EINE AUSWERTUNG GEBAUER CONTAINERSCHIFFE

- Länge der Achterpiek RLAP

Die Achterpieklänge ist hier definiert vom hinteren Lot bis zum Stopfbuchschott

$$RLAP = \left(0.03786 + \frac{0.0016}{CB^5}\right) \cdot LBP \cdot FRLAP \quad (3.)$$

(Abbildung 7)

freie Unbekannte:

$$CB = \text{Völligkeitsgrad der Verdrängung /-/}$$

Berichtigungswert:

$$FRLAP = \text{Berichtigungsfaktor für die Achterpieklänge} \\ = 1.25 \quad /-/$$

- Länge des Maschinenraums RLER

(Funktion XLER, (4.0)
siehe Anhang)

Folgende Möglichkeiten wurden untersucht und in Abb. 8 eingezeichnet:

Langsamläufer und Mittelschnellläufer achtern

Langsamläufer auf etwa 1/3 der Schiffslänge von achtern.

Die im kleinen Leistungsbereich gezeichneten Überschneidungen der Kurven sind lediglich Folgen der vorhandenen Daten; man kann daraus keine Rückschlüsse auf die verwendete Technik ziehen. Sollten Schiffe mit Antriebsleistungen unter 4000 kW gerechnet werden, so müssen hierfür neue Kurven erstellt werden.

Langsamläufer achtern

$$RLER = 0.7473 \cdot POWER^{0.3844} \cdot FRLER \quad (4.1)$$

Mittelschnellläufer achtern

$$RLER = 3.4072 \cdot POWER^{0.1956} \cdot FRLER \quad (4.2)$$

Langsamläufer auf 1/3 von LBP von achtern

$$RLER = 1.837 \cdot POWER^{0.2696} \cdot FRLER \quad (4.3)$$

Interne Bezeichnung:

POWER = installierte Hauptmotorenleistung

Eingabe:

IENGRO = Steuerzahl für die Lage des Maschinenraums im Schiff und für den Motorentyp
0=Langsamläufer achtern
1=Langsamläufer auf etwa 1/3 LBP von achtern
2=Mittelschnellläufer achtern

FMCR = Faktor für Nenndauerleistung MCR
MCR=(Max. Continuous Rating) bei 100 % Leistung und 100 % Drehzahl
MCR=installierte Hauptmotorenleistung POWER. FMCR ist in dieser Arbeit definiert als:

$$= \frac{PB \text{ (durchschnittliche Leistung unter Dienstbedingungen)}}{POWER \text{ (installierte Hauptmotorenleistung)}} \\ = 0.8 \text{ /-/}$$

Berichtigungswert:

FRLER = Berichtigungsfaktor für die Maschinenraumlänge
=1.045 /-/

Länge des Maschinenraumes

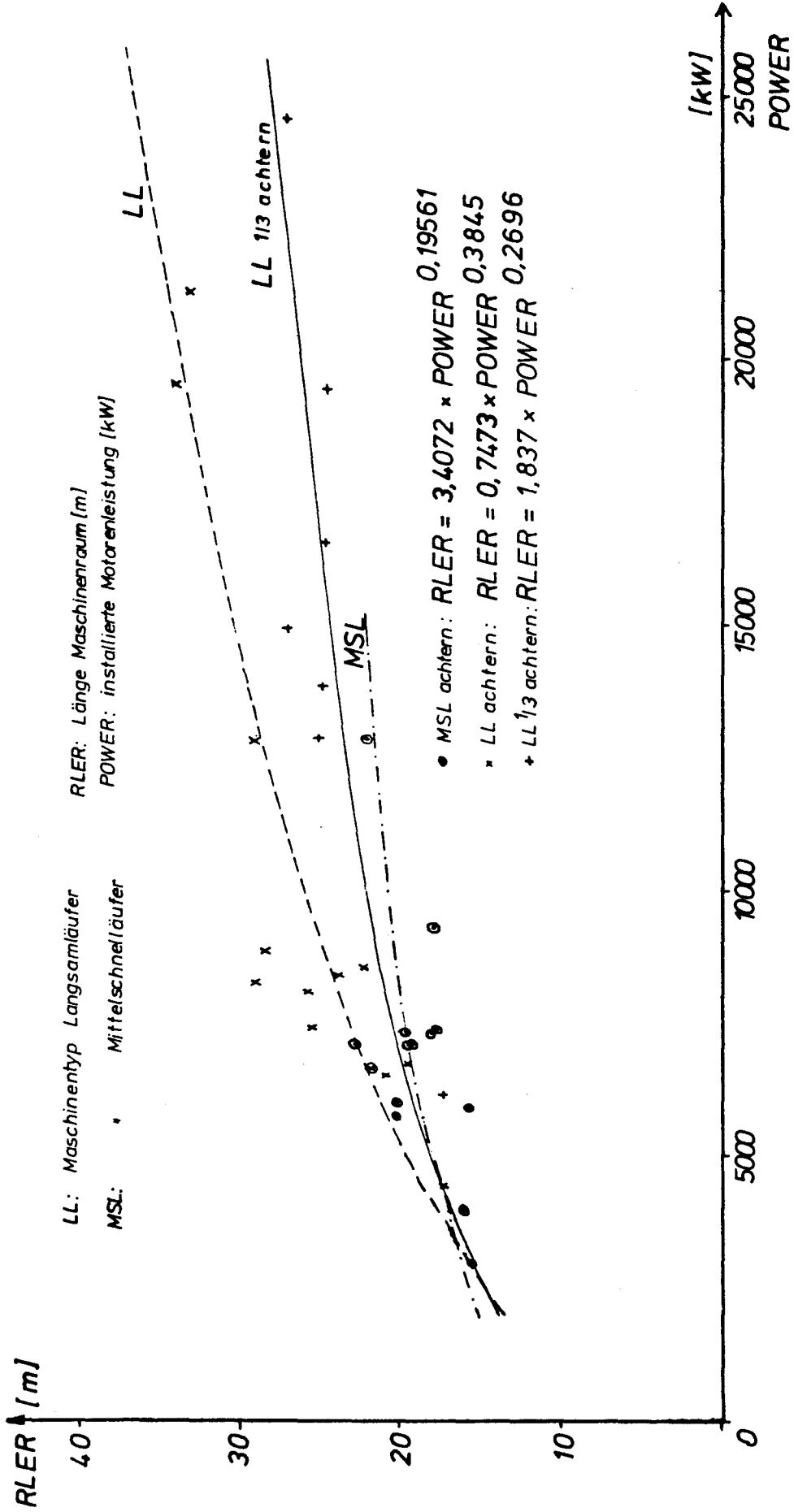
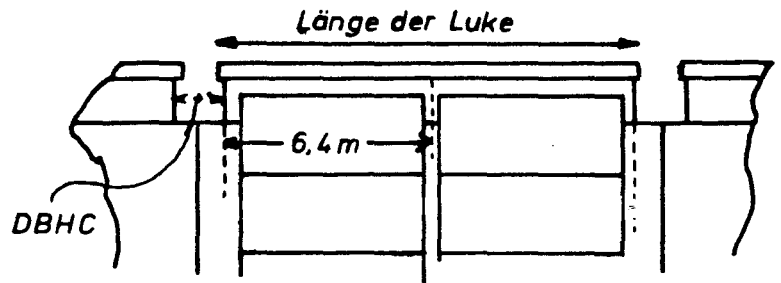


ABB. 8: MASCHINENRAUMLÄNGEN GEBAUTER CONTAINERSCHIFFE FÜR LANGSAMLÄUFER
 UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER LAGE DES MASCHINENRAUMES UND FÜR
 MITTELSCHNELLÄUFER MIT ACHTERN LIEGENDEM MASCHINENRAUM

- Länge des Laderaumbereichs RLDB

$$RLDB = RNL \cdot 6.4 + \left(\frac{RNL}{2} + 2\right) \cdot DBHC \quad (5.)$$



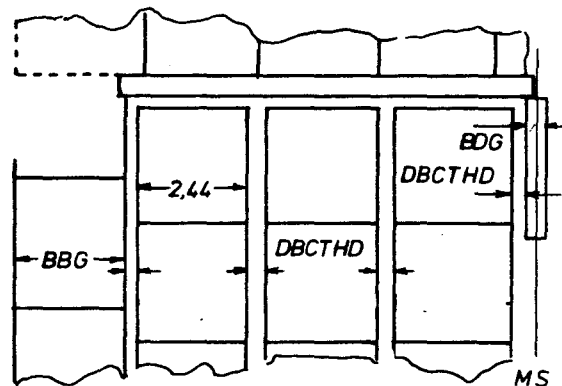
Freie Unbekannte:

RNL = Anzahl der Containerbays im Laderaum

Eingabe:

DBHC = Abstand zwischen den Lukensäulen
distance between hatch coamings
 = 1.5 /m/

- Schiffsbreite B



$$B = RNB \cdot 2.44 + (RNB + 1) \cdot DBCTHD + BDG \cdot RNDG + RNDG \cdot DBCTHD + 2 \cdot BBG \quad (6.)$$

freie Unbekannte:

RNB = Anzahl der Containerstapel per Bay
 mittschiffs im Laderaum

Eingabe:

- BBG = Breite des Decksstreifens neben dem Luken-
längssüll
breadth of box girder
=2.1 /m/
- DBCTHD = mittlerer Abstand zwischen den Container-
stapeln im Laderaum
distance between container in the hold
=0.2 /m/
- BDG = Breite des Deckslängsträgers
breadth of longitudinal deck girders (if fitted)
=0.5 /m/
- RNDG = Anzahl der Deckslängsträger
number of longitudinal deck girders
=2 /-/

- Doppelbodenhöhe HDB

Die Doppelbodenhöhe wird nach einer Formel des Germanischen Lloyds /26/ berechnet.

$$HDB = \frac{(350 + 45 \cdot B)}{1000} \cdot FHDB \quad (7.)$$

Berichtigungswert:

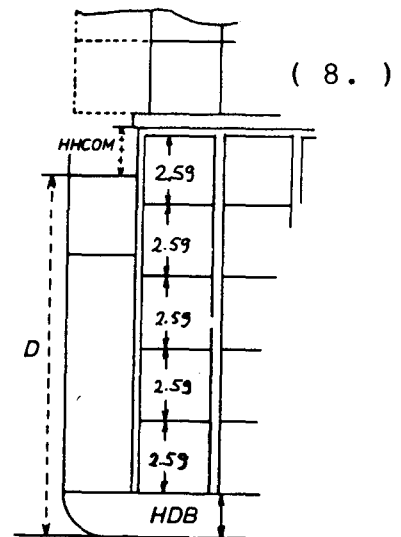
- FHDB = Berichtigungsfaktor für die empirischen
Formeln der Doppelbodenhöhe nach den Angaben
des Germanischen Lloyd /26/
=1.08 /-/

- Seitenhöhe D

$$D = HDB + RND \cdot 2.59 - HHCOM + 0.15 \quad (8.)$$

Die Umrechnung der Containerhöhe von 8' 06" \cong 2.59 /m/

Mit den 0.15 m wird ein kleiner Abstand zum Lukendeckel erreicht.



Freie Unbekannte:

RND = Anzahl der Container eines Containerstapels mittschiffs unter Deck

Eingabe:

HHCOM = Höhe des Lukensülls
height of hatch coamings
= 1.4

- Tiefgang TT

$$TT = \frac{DISP}{LBP \cdot B \cdot CB \cdot 1.03} \quad (9.)$$

Die Berücksichtigung der spezifischen Masse des Seewassers und der Verdrängung der Außenhaut erfolgt mit dem Faktor 1.03

Abhängige Unbekannte:

DISP = Displacement, Masse der Verdrängung
(siehe Abschnitt 4.3.4)

- Freibord FREEB

(10.0)

Freibord wird nach dem Internationalen Freibordabkommen von 1966 berechnet. Hierzu wird eine Routine der ESS-Bibliothek /25/ benutzt.

Eingabe:

ABACK = Höhe der Back
(Länge der Back = Vorpieklänge)
=3.0 /m/
APOOP = Höhe der Poop
=0. /m/
POOP = Länge der Poop
=0. /m/

(weitere Eingaben möglich, siehe ESS-Bibliothek /25/)

- Containervölligkeitsgrad CBCT

Durch Auswerten gebauter Schiffe wurde eine empirische Gleichung für den Containervölligkeitsgrad CBCT aufgestellt. Container in Back und Poop, die höher stehen als in den Mittschiffs-Laderäumen, werden in dieser Formel nicht berücksichtigt. Diese Container werden zu den Deckscontainern gezählt.

Es zeigt sich, daß der Containervölligkeitsgrad CBCT in erster Linie vom Völligkeitsgrad bis zum Deck CBDCK abhängig ist. Versuche, weitere Parameter oder auch quadratische Abhängigkeiten in die Formel aufzunehmen, brachten keine Verbesserungen. In Abbildung 3 auf Seite 22 ist CBCT für Containerschiffe aufgetragen, bei denen die Seitenhöhe durch Hinzufügen von Containerlagen verändert wurde /52/. Diese Kurven laufen fast parallel zu der empirischen Formel

$$\text{CBCT} = (1.77775 \cdot \text{CBDCK} - 0.060924) \cdot \text{FCBCT} \quad (11.)$$

Eingabe:

FCBCT = Berichtigungsfaktor für die
empirische Formel für den Container-
völligkeitsgrad
=0.9322 /-/

- Wasserlinienvölligkeit CWP, Hauptspantvölligkeit CM
und Verdrängungsschwerpunkt der Länge nach XLCB

Die hier verwendeten Formeln wurden von Bögemann /28/ durch
Auswerten der SCHIFFSLISTE /27/ ermittelt. Die SCHIFFSLISTE
ist ein Programm zur Speicherung und Auswahl von Vergleichs-
schiffen.

$$CWP = 0.9811 \cdot CB^{0.4824} \cdot FCWP \quad (12.)$$

$$CM = \frac{1}{1 + (1-CB)^{3.65}} \cdot FCM \quad (13.)$$

$$XLCB = 17.988 \cdot (CB - 0.6939) \cdot FLCB \quad (14.)$$

Grenzen: (- 1.5 % \leq XLCB \leq + 1.5 % in Prozenten von LBP)

Berichtigungsfaktoren:

FCM, FCWP, FLCB (alle = 1)

- Völligkeitsgrad der Verdrängung bis Seite Deck CBDCK

$$CBDCK = CB - FCBDCK \cdot \frac{D - TT}{TT} \cdot (1 - CB) \quad (15.)$$

Berichtigungswert:

FCBDCK = Berichtigungsfaktor für die empirische
Formel von CBDCK, mit dem der Spant-
charakter des Schiffes angegeben wird
=0.254 /-/

- Anzahl der Laderaumcontainer CTHLD in TEU
(siehe Abschnitt 2.1.2) (number of container in holds)

$$\text{CTHLD} = \text{RNL} \cdot \text{RNB} \cdot \text{RND} \cdot \text{CBCT} \quad (16.)$$

- Anzahl der Deckscontainer CTDCK in TEU
(number of container on deck)

$$\text{CTDCK} = \text{TEU} - \text{CTHLD} \quad (17.)$$

In CTDCK sind somit auch die Container in den Aufbauten (Back, Poop) oberhalb der Linie Unterkante Lukensüll enthalten.

Eingabe:

TEU = Gesamtanzahl der Container im Schiff, bezogen auf 20' Container mit folgenden Abmessungen:
Länge 20'
Breite 8'
Höhe 8' 06"
Mit den z.Z. benutzten Formeln und Funktionen sind Beispiele mit etwa $500 \leq \text{TEU} \leq 3000$ gut zu optimieren
Soweit nicht anders erwähnt, beziehen sich die Ergebnisse auf Schiffe mit 1500 TEU.

- Anzahl der Containerlagen auf Deck, TIER
(siehe Abschnitt 2.3)

$$\text{TIER} = \frac{\text{CTDCK}}{(\text{RNB} + \text{ANB}) \cdot (\text{RNL} + \text{ANL}) \cdot \text{FCDCK}} \quad (18.)$$

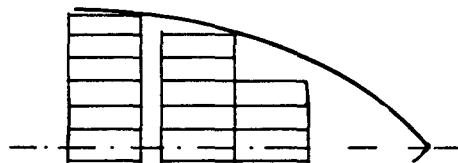
Eingabe:

ANB = Differenz zwischen Containerstapel
an Deck und im Laderaum
=2. /-/

ANL = Differenz zwischen Containerbays an
Deck und im Laderaum
=2. /-/

Berichtigungswert:

FCDCK = Berichtigungsfaktor für die Abnahme
der Containerstapel per Bay an Deck
zu den Schiffsenden hin
=0.94 /-/



*unterste Deckscontainerlage
im Vorschiffsbereich*

4.3.2 Widerstand und Propulsion des Schiffes

- Schiffswiderstand RT, Nachstrom WF, Sog TD und Gütegrad
der Anordnung ETAR.

Der Schiffswiderstand wird nach Lap/Aufm Keller /9/ mit
Korrekturen nach Keil und Schenzle /30/ berechnet.
Zusammen mit Funktion für Nachstrom, Sog und Gütegrad
der Anordnung wird der Schiffswiderstand als Funktion aus
der ESS-Bibliothek /25/ aufgerufen.

Eine Korrekturmöglichkeit beim Schiffswiderstand ist der
übliche Korrelationszuschlag CA für Projektrechnung nach Lap
und der Probefahrt. Mit dem prozentualen Berichtigungsfaktor

ZUSCHL, der sich auf den Probefahrschiffwiderstand bezieht, wird der Widerstand des Schiffes auf Dienstbedingungen korrigiert. Diese Korrektur beinhaltet die im betreffenden Fahrtgebiet über einen längeren Zeitabschnitt gemittelten Widerstandserhöhungen durch Wetterverhältnisse (Wind, Seegang) und Bewuchs des Schiffes.

Bei Arbeiten des Verfassers /23, 24/ wurden Widerstand, Nachstrom, Sog und Gütegrad der Anordnung nach Holtrop und Mennen /31/ berechnet.

Es zeigt sich aber, daß durch dieses Widerstandsverfahren zahlreiche und ausgeprägtere lokale Optima entstanden als bei der Verwendung des Widerstandsverfahrens nach Lap. Dies ist ein großer rechentechnischer Nachteil. Die Kurven der Wellen- bzw. Restwiderstandsbeiwerte verlaufen zwar bei Schiffen wellenförmig, das Verfahren von Holtrop/Mennen gibt also die Natur des Wellenwiderstandes gut wieder, das Verfahren ist jedoch - wie alle Widerstandsprognoseverfahren - so ungenau, daß dieser wellenförmige Verlauf ganz in der Bandbreite der Treffsicherheit des Verfahrens verschwindet. Deshalb ist ein Verfahren, das den wellenförmigen Verlauf eines Teilwiderstandes etwas einebnet, nützlich beim Streben nach möglichst gleichen Ergebnissen bei der Optimierung, wenn von verschiedenen Startpunkten aus begonnen wird.

Dazu ein Beispiel: Der Startwert für die Anzahl der Containerbays wurde von 16 bis 20 variiert. Dabei wurde die größte Differenz Δ der Zielfunktion bei optimalen Lösungen, ausgedrückt in Prozent der jeweiligen kleinsten optimalen Lösung:

$\Delta = 0.104 \%$, wenn mit Lap/Aufm Keller,

$\Delta = 0.782 \%$, wenn mit Holtrop/Mennen gerechnet wurde.

- Schiffswiderstand RT

RT = RLAP (ESS-Bibliothek /25/ (19.0)

Freie Unbekannte: CB

Abhängige Unbekannte: LBP, B, TT, CM, XLCB

Eingabe:

V = Durchschnittliche Dienstgeschwindigkeit des Schiffes
=9. /m/s/

CA = Korrelationszuschlag für Projektrechnung - Probefahrt
=0.0002

SALIN = Salzgehalt des Wassers in %
=3.5 /%/

TEMP = Wassertemperatur
= 15 °C

ZUSCHL = prozentualer Widerstandszuschlag zwischen Probefahrts- und Dienstbedingungen, bezogen auf den Probefahrtswiderstand
=17. /%/

- Nachstrom WF

WF = WFT (ESS-Bibliothek /25/) (20.0)

Nachstrom, Sog und Gütegrad der Anordnung werden nach von Ortmerssen /51/ berechnet.

Freie Unbekannte CB, DIAM (=Propellerdurchmesser)

Abhängige Unbekannte CM, LBP, XLCB, B

Eingabe:

V = Schiffsgeschwindigkeit
= /m/s/

ANZP = Anzahl Propeller
=1 /-/

- SOG TD, Gütegrad der Anordnung ETAR (21.0)

aus ESS-Bibliothek /25/, Parameter wie beim Nachstrom,
Literatur /51/.

- Flächenverhältnis AEAO

Das Flächenverhältnis der gestreckten Propellerflügelfläche zur Propellerkreisfläche AEA wird in Anlehnung an die Formel von I. auf'm Keller /32/ so bestimmt, daß der Propeller gerade noch keine Blasen kavitation erzeugt.

$$\text{AEAO} = \left(\frac{(1.3 + 0.3 \text{ ANZB}) \cdot \frac{RT}{1-TD}}{\text{ANZP} \left(9.81 \cdot (0.95 \cdot TT - 0.5 \cdot \text{DIAM}) + \text{DAMPFD} (\text{TEMP}) \right) \cdot \text{DIAM}^2} + 0.05 \cdot (3 + \text{RMAT} - \text{ANZP}) \right) / \text{FKAV} \quad (22.)$$

Freie Unbekannte:

DIAM = Propellerdurchmesser /m/

Eingabe:

ANZB = Anzahl der Propellerblätter (2....7)
=5

ANZP = Anzahl der Propeller
=1

TEMP = Wassertemperatur

DAMPFD Funktion zur Berechnung des Dampfdruckes aus der
ESS-Bibliothek /25/

RMAT = Korrekturwert für Propellerblatt-
dicke und Propellermaterial

RMAT = 2 für Einschrauber mit Bronze-
propeller, ca 10° Rücklage der
Flügelspitzen; für Zweischrauber
mit Bronzepropeller

RMAT = 1 für Einschrauber mit Kupfer -
Nickel-Aluminium Propeller;
für Zweischrauber mit Kupfer -
Nickel - Aluminium Propeller

RMAT = 0 für Propeller schneller Schiffe
wie Zerstörer oder Fregatten
=1

FKAV = Korrekturwert für Flächenverhältnis
(Kavitation)
=1

- Drehmoment Q und Propellersteigung PITCH

$$Q = \rho \cdot \text{REVPRO}^2 \cdot \text{DIAM}^5 \cdot KQ \cdot \frac{\text{ANZP}}{\text{ETAR}} \quad (23.)$$

Der Schubbeiwert K_T (Funktion THRC1) und der Drehmomenten-
beiwert K_Q (Funktion TORC;) werden nach der Wageningen
B-Serie berechnet /33/.

Die Funktionen THRC1 und TORC1 haben die gleichen Parameter

$$(\text{AEAO}, \frac{\text{PITCH}}{\text{DIAM}}, \frac{V \cdot (1 - \text{WF})}{\text{REVPRO} \cdot \text{DIAM}}, \text{ANZB})$$

Die Propellersteigung PITCH wird aus dem Propellerschub bestimmt.

$$\frac{RT}{(1-TD)} = \rho \cdot \text{REVPRO}^2 \cdot \text{DIAM}^5 \cdot \text{KT} \cdot \text{ANZP} \quad (24.)$$

Eingabe:

SALIN = Salzgehalt des Wassers in %
= 3.5 %

ρ = spezifische Masse des Wassers, wird mit der Funktion DICHT (SALIN) berechnet /25/

REVPRO = Propellerdrehzahl $/\frac{1}{s}/$
revolution of propeller
= 2. $/\frac{1}{s}/$

- Leistung des Hauptmotors unter Dienstbedingungen PB

In PB sind die Zuschläge für Dienstbedingungen enthalten.
Mit PB werden die Ölverbräuche des Hauptmotors berechnet.

$$PB = \frac{Q \cdot 2 \cdot \Pi \cdot \text{REVPRO}}{\text{ETAM} \cdot \text{ETAG}} \quad (25.)$$

Die installierte Hauptmotorenleistung POWER beinhaltet noch eine Leistungsreserve FMCR

$$\text{POWER} = \frac{PB}{\text{FMCR}} \quad (25.1)$$

Eingabe:

ETAG = Getriebewirkungsgrad
=1. /kein Getriebe/
ETAM = mechanischer Wirkungsgrad
der Propellerwellenleitung
=0.98
FMCR = Faktor für die installierte
Hauptmotorenleistung POWER
=0.8
REVPRO = Propellerdrehzahl
2 /1/s/

- Installierte Generatorleistung POWGEN

(Funktion EGEN siehe Anhang)

(26.0)

Die Generatorleistung wird nach einer statistischen Untersuchung von Schreiber berechnet /34/. Sie wird auf die installierte Hauptmotorenleistung und auf die Tragfähigkeit TDW bezogen. Für Containerschiffe ist die Formel für POWGEN:

POWGEN = Power of generator

$$\begin{aligned} \text{POWGEN} = & \left(0.1045 + 0.0696 \frac{\text{TDW}}{1000} + 0.0886 \cdot \frac{\text{POWER}}{1000} \right. \\ & - 0.00157 \cdot \left(\frac{\text{TDW}}{1000} \right)^2 + 0.000828 \left(\frac{\text{POWER}}{1000} \right)^2 \\ & \left. - 0.00189 \cdot \frac{\text{TDW} \cdot \text{POWER}}{10^6} \right) \cdot 1000 + \text{APOWGE} \end{aligned} \quad (26.1)$$

POWER = installierte Hauptmotorenleistung
/kW/

TDW = Tragfähigkeit des Schiffes
/to/

Eingabe:

FMCR = Faktor für die installierte
Hauptmotorenleistung POWER
(siehe Abschnitt 4.3.1)

Berichtigungswert

APOWGE = additiver Berichtigungswert für
die nach Schreiber berechnete
Generatorleistung
=0.

4.3.3 Volumen- und Masseberechnungen

In diesem Abschnitt wird berechnet:

- a) Brennstoffmenge
- b) Volumina allgemein und Tankvolumen
- c) Masse des leeren Schiffes
- d) Verdrängung

a) Brennstoffmenge

Die Brennstoffmenge für Schweröl WFO, Dieselöl WDO und Schmieröl WLUB wird für eine Rundreise inklusive der jeweils eingegebenen Brennstoffreserve an Bord genommen. Am Ende der Rundreise sind nur noch die Brennstoffreserven an Bord.

Die benötigte Brennstoffmenge berechnet sich aus drei Zeitanteilen, und zwar der Seezeit TIMSEA (time at sea), der Revierzeit TIMCW (time in confined water) und der Hafenzzeit TIMPRT (time in port).

- Schweröl WFO pro Rundreise (weight fuel oil)

$$WFO = PB \cdot \frac{SFCME}{1000} \cdot FFOR \cdot (TIMSEA + TIMCW \cdot FPBCW) \quad (27.)$$

$$\text{Schweröl am Ende der Rundreise} = WFO \cdot \left(1 - \frac{1}{FFOR} \right) \quad (27.1)$$

Eingabe:

FFOR = Faktor für die Schwerölreserve
= 1.2 /-/

FPBCW = Faktor für die verringerte Antriebsleistung der Hauptmaschine (PB) bei Revierfahrt (geringere Schiffsgeschwindigkeit)
= 0.5 /-/

SFCME = spezifischer Brennstoffverbrauch der Hauptmaschine (specific fuel consumption of main engine)

$$= 0.2 \frac{\text{kg}}{\text{kW h}}$$

TIMCW = Revierzeit in Stunden pro Rundreise

$$= 0. \text{ /h/}$$

- Dieselöl WDO (weight diesel oil)

Dieselöl wird für die Dieselgeneratoren benötigt.

$$\text{WDO} = \text{POWGEN} \cdot \text{FDOR} \cdot \frac{\text{SFCAE}}{1000} \cdot \quad (28.)$$

$$(\text{FPGSEA} \cdot \text{TIMSEA} + \text{FPGCW} \cdot \text{TIMCW} + \text{FPGPRT} \cdot \text{TIMPRT})$$

$$\text{Dieselöl am Ende der Rundreise} = \text{WDO} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{FDOR}} \right) \quad (28.1)$$

Eingabe:

FDOR = Faktor für die Dieselölreserve
= 2.0 /-/

FPGCW = Faktor für die benötigte Generatorleistung bei Revierfahrt (factor power of generator in confined waters)
= 0.5 /-/

FPGPRT = Faktor für die benötigte Generatorleistung im Hafen (factor power of generator in port)
= 0.3 /-/

FPGSEA = Faktor für die benötigte Generatorleistung auf See (factor power of generator at sea)
= 0.2 /-/

SFCAE = Spezifischer Brennstoffverbrauch der Dieselgeneratoren (specific fuel consumption of auxiliary engine)
= 0.22 $\frac{\text{kg}}{\text{kW h}}$

- Schmierölmasse WLUB (weight of lubrication oil)

Schmierölmasse WLUB wird für die Hauptmaschine und die Dieselgeneratoren berechnet.

$$\text{WLUB} = \left(\frac{\text{SLUBME}}{1000} \cdot \text{PB} \cdot \text{TIMSEA} + \frac{\text{SLUBAE}}{1000} \cdot \text{POWGEN} \cdot \text{TIMRT} \cdot 0.3 \right) \cdot \text{FLUBR} \quad (29.)$$

$$\text{Schmieröl am Ende der Rundreise} = \text{WLUB} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{FLUBR}} \right) \quad (29.1)$$

Eingabe:

FLUBR = Faktor für die Schmierölreserve
= 3.0

SLUBAE = Spezifischer Schmierölverbrauch
Dieselgeneratoren
= 0.001 / $\frac{\text{kg}}{\text{kW h}}$ /

SLUBME = Spezifischer Schmierölverbrauch
Hauptmaschine
= 0.0015 / $\frac{\text{kg}}{\text{kW h}}$ /

b) Volumenberechnung

Allgemeines

Die Volumenberechnung basiert auf einer Auswertung gebauter und mit Hilfe des Programms "APRESS" /35/ verzerter Schiffe. Die Ergebnisse der Volumenberechnungen wurden von Goß /36/ mit Hilfe des Programms SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) /37/ ausgewertet.

Das Volumen eines Raumes ist nach dieser Arbeit die Differenz zweier Volumenberechnungen, multipliziert mit dem Volumen des

Schiffsrumpfes VOLHUL = LBP · B · D · CBDCK

Ein Raum wird begrenzt durch Schotte, Decks und Außenhaut. Die Entfernung eines Schotts vom hinteren Lot und eines Decks von der Basis wird auf die Schiffslänge LBP bzw. auf die Seitenhöhe D bezogen. Das mit der Formel von M.Goß berechnete Volumen (VOL) gilt für einen Raum, der sich vom hinteren Lot bis zum eingegebenen Deck erstreckt.

x = Längskoordinate im Schiff vom hinteren Lot aus gerechnet/LBP

z = Höhenkoordinate im Schiff von der Basis aus gerechnet/D

Formel von M.Goß:

$$\frac{\text{VOL}}{\text{VOLHUL}} = (5.9 \cdot x^3 - 3.06x^2 + 1.64x) \cdot (4.036x^{(LBC \cdot 3.4)} \cdot e^{(-4.468 \cdot x)}) \\ (1.62 \cdot z^{1.7} + 3.13z) \cdot (1.119z - 1.267z \cdot \frac{CB}{CBDCK} \\ + 1.15 \cdot \frac{CB}{CBDCK})$$

(Funktion VOLX, s. Anhang)

(30.)

- Volumen des Doppelbodens VOLDB (Funktion VOLDBX, s. Anhang)

(30.0)

Nach der Formel von M.Goß wird das Volumen des Doppelbodens vom Stopfbuchsen- bis zum Kollisionsschott berechnet. Der Doppelboden des Maschinenraums wird dabei nicht mit einbezogen, da dieses Volumen für diverse kleine Tanks (Schmierölauf-, Kühlwassertanks usw.) benutzt wird.

Berichtigungswert:

$$\text{FVOLDB} = \text{Berichtigungsfaktor für die empirische Formel} \\ \text{für die Berechnung des Doppelbodenvolumens} \\ = 1.0 \text{ /-/}$$

- Volumen des Seitentanks VOLST (Function VOLSTX, s. Anhang)

(31.0)

Das Volumen der Seitentanks errechnet sich aus dem Volumen des Schiffsrumpfes VOLHUL abzüglich von

Volumen Achterpiek	VOLAP
" Vorpiek	VOLFP
" Maschinenraum	VOLER
" Doppelboden	VOLDB
" Laderaum ohne Luken- schachtvolumen	VOLCHD und den
" für zwei Betriebsgänge, falls vorhanden (= BBG · HBOX · RLDB · 2)	

Bis auf die beiden letzten Volumina werden die aufgezählten Räume nach der Formel von M.Goß /53/ berechnet.

Das Laderaumvolumen, ohne das Volumen des Lukenschachts, berechnet sich zu:

$$\text{VOLCHD} = ((B - 2 \cdot \text{BBG}) \cdot \text{RCDB} \cdot (D + \text{HHCOM} - \text{HDB}) \cdot \text{CBCT} \cdot \text{FVOLCH} - \text{RNL} \cdot 6.4 \cdot (B - 2 \cdot \text{BBG}) \cdot \text{HHCOM}) \quad (31.1)$$

Eingabe:

BBG	= Breite des Decksstreifens neben den Lukenlängssäulen (<u>b</u> readth of <u>b</u> ox <u>g</u> irders) = 2.1 /m/
HBOX	= Höhe des Betriebsganges, falls vorhanden (<u>h</u> eight of <u>b</u> ox <u>g</u> irder) = 3.8 /m/
HHCOM	= Höhe des Lukensülls (<u>h</u> eight of <u>h</u> atch <u>c</u> oamings) = 1.4 /m/
IENGRO	= Steuerzahl für die Lage des Maschinenraums im Schiff und den Maschinentyp 0 = Langsamläufer achtern 1 = - " - auf etwa 1/3 der Schiffslänge von achtern 2 = Mittelschnellläufer achtern

Berichtigungswerte:

FVOLAP	= Berichtigungsfaktor für die empirische Formel zur Berechnung des Achterpiekvolumens = 0.8 /-/
--------	--

FVOLCH = Berichtigungsfaktor für die empirische
Formel zur Berechnung des Laderaumvolumens
= 1 /-/

FVOLER = Berichtigungsfaktor für die empirische
Formel zur Berechnung des Maschinenraum-
volumens
= 1 /-/

FVOLFP = Berichtigungsfaktor für die empirische
Formel zur Berechnung des Vorpiekvolumens
= 0.89 /-/

Tankvolumen

Das Tankvolumen für die Brennstoffmenge berechnet sich aus der für die Rundreise benötigten Brennstoffmenge einschließlich Reserven oder aus der Brennstoffmenge, die für eine einzugibende Aktionsweite DISTMA ohne Reserve benötigt wird. Der jeweils größte Wert wird für die Bereitstellung des Tankvolumens benutzt.

Tanks im Maschinenraum

Für Kühlwasser-, Schmierölauf-, Restöl- und andere Tanks ist im Entwurfsmodell "Containerschiff" das Volumen des Doppelbodens im Maschinenraum vorgesehen. Die Tankgröße der Schmieröl-, Tages- und Setztanks wurde entsprechend dem vierfachen Tagesverbrauch von Schweröl festgelegt.

Doppelboden- und Seitentanks

Wenn Tages- und Setztanks gefüllt sind, wird die übrige Brennstoffmenge in Doppelboden- oder Seitentanks untergebracht. Der Programm Benutzer hat mit dem Faktor FOILDB die Möglichkeit, den Brennstoff auf Doppelboden- und/oder Seitentanks zu verteilen. Wenn bei der vom Benutzer gewählten Aufteilung des Brennstoffes ein zur Verfügung stehender Tankraum nicht ausreicht, wird von der vorgegebenen Brennstoffverteilung abge-

wichen. Eine Fehlermeldung erfolgt erst, wenn die Doppelboden- und Seitentanks nicht für die erforderliche Brennstoffmenge ausreichen.

Um diese Situation zu vermeiden, wurde in der Arbeit des Verfassers /23, 24/ ein Vergrößerungsfaktor für den Doppelboden FHDB als freie Unbekannte gesetzt. Diese Maßnahme erwies sich bei der gewählten Schiffsgröße, Seestrecke und Geschwindigkeit als überflüssig. Daher konnte diese freie Unbekannte für die im Abschnitt 5 folgende Auswertung weggelassen werden.

Für Ballastwasser steht zur Verfügung das Tankvolumen, das für Brennstoff nicht benutzt wird.

- Volumen für Ballastwasser im Doppelboden VOLBDB (Funktion VOLBDX s. Anhang) (32.0)

Eingabe:

FOILDB = Verteilungsfaktor für Brennstoff in Doppelboden- und/oder Seitentanks
0 = kein Brennstoff im Doppelbodentank
1 = aller " " " " "
= 0.45 /-/

DISTMA = Aktionsweite des Schiffes in Seemeilen ohne Brennstoffreserven (distance maximal)
= 10 000 /sm/

DISTVO = halbe Seestrecke einer Rundreise in Seemeilen (distance voyage)
= 5 000 /sm/

c) Masse des leeren Schiffes WLS (Funktion WLSXX) (33.0)

Die Leerschiffsmasse WLS (weight light ship) setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

Masse Stahlrumpf WSTHUL (weight steel hull)

Die Masse für den Stahlrumpf incl. Lukensäule wird berechnet nach Schneekluth /29/.

$$\begin{aligned}
 \text{WSTHUL} &= \text{LBP} \cdot \text{B} \cdot \text{D} \cdot \text{CBDCK} \cdot 0.1102 \\
 &\quad (1 + 17 \cdot (\text{LBP} - 110)^2 \cdot 10^{-6}) \\
 &\quad (1 + 0.033 \cdot (\frac{\text{LBP}}{\text{D}} - 12)) \\
 &\quad (1 + 0.06 \cdot (1 - \frac{\text{D}}{4})) \\
 &\quad (1 + 0.05 \cdot (1.85 - \frac{\text{B}}{\text{D}})) \\
 &\quad (1 + 0.2 \cdot (\frac{\text{TT}}{\text{D}} - 0.85)) \\
 &\quad (0.92 + (1 - \text{CBDCK})^2 \cdot \text{FWSTHU} \qquad (33.1)
 \end{aligned}$$

Masse für Back und Poop WSTUP

$$\text{WSTUP} = 0.1 \cdot \text{B} \cdot (\text{RLFP} \cdot \text{ABACK} \cdot 0.6 + \text{POOP} \cdot \text{APOOP}) \quad (33.2)$$

Masse Stahl Deckshaus WSTDH (Eingabe)

Masse für die gesamte Maschinenanlage WMACH

Masse für die Hauptmaschine und die übrige Maschinenanlage

$$\begin{aligned}
 \text{WMACH} &= (9.98 \cdot (\frac{\text{PB}}{\text{FMCR} \cdot \text{REVENG} \cdot 60})^{0.86} \qquad (33.3) \\
 &\quad + 4.619 \cdot (\frac{\text{PB}}{\text{FMCR}})^{0.557}) \cdot \text{FWMACH}
 \end{aligned}$$

Masse für Ausrüstung und Einrichtung WOUTF (weight of outfit)
 Die Ausrüstungs- und Einrichtungsmasse nach /28/

$$\text{WOUTF} = (275.842 + 0.379 \cdot \text{LBP}) \cdot \frac{\text{LBP} \cdot \text{B}}{1000} \cdot \text{FWOUTF} \quad (33.4)$$

Die Formeln für die Maschine- und Ausrüstungsmasse wurden von Bögemann /28/ durch Auswerten der Daten der SCHIFFSLISTE /27/ gewonnen. Die Formelstruktur wurde angelehnt an Formeln von Watson und Gilfillan /38/.

Eingabe:

$$\begin{aligned}
 \text{WSTDH} &= \text{Stahlmasse des Deckshauses} \\
 &= 300 \text{ /t/}
 \end{aligned}$$

REVENG = Drehzahl der Hauptmaschine in /1/s/
hier: REVENG = REVPRO, da der Propeller
direkt von einem langsam laufenden Diesel-
motor angetrieben wird, daher wird
ETAG = 1 /-/
ABACK = Höhe der Back
(Länge der Back = Vorpieklänge)
= 3.0 /m/
APOOP = Höhe der Poop
= 0. /m/
ETAG = Getriebewirkungsgrad
= 1. (kein Getriebe)
FMCR = Faktor für die Leistungsreserve der Haupt-
maschine (s. Abschnitt 4.3.1)
POOP = Länge der POOP
= 0. /m/

Berichtigungswerte:

FWMACH = Berichtigungsfaktor für die empirische Formel
der Maschinenanlagemasse
= 1 /-/
FWOUTF = Berichtigungsfaktor für die empirische Formel
der Ausrüstungsmasse
= 0.98 /-/
FWSTHU = Berichtigungsfaktor für die empirische Formel
der Rumpfstahlmasse
= 1.184 /-/

d) Masse der Verdrängung DISP

(34.)

Die Masse der Verdrängung ist die Summe einzelner Massenanteile.
Die Brennstoffmenge kann, entsprechend dem Faktor FDISPF, am
Anfang der Reise (FDISPF = 1) oder auf einen Zwischenwert be-
rechnet werden. Für diesen Zustand des Schiffes wird das zu
entwerfende Schiff optimiert.

Die zur Einhaltung der Stabilitätsvorschriften benötigte Wasser-
ballastmenge wird Ende der Reise berechnet. Diese Ballastwasser-
menge wird jedoch schon gebunkert in dem Zeitpunkt im Reiseab-
lauf, für den das Schiff optimiert werden soll. Dadurch wird
die Stabilität für die gesamte Reise gewährleistet.

Eingabe:

- FDISPF = Faktor zur Bestimmung der vorhandenen Brennstoffmenge, bei dem das Schiff optimiert werden soll (1 = Anfang der Reise, 0 = Ende der Reise ohne Brennstoffvorräte)
= 0.5
- WCONDK = durchschnittliche Masse eines Deckscontainers in TEU (weight container on deck)
= 14. /to/
- WCONHD = durchschnittliche Masse eines Laderaumcontainers in TEU (weight container in hold)
14. /to/
- WFW = Masse Frischwasser, nicht variabel, Frischwassererzeuger an Bord (weight of fresh water)
= 348 /to/ (nach Vergleichschiff)
- WSOBA = Masse Festballast (weight of solid ballast)
= 0. /to/
- WSTORE = Masse von Besatzung, Effekten und Stores (weight of stores)
= 200 /to/ (nach Vergleichschiff)

4.3.4 Beschreibung der Rundreise

Bei dem hier beschriebenen Rundreisemodell wird davon ausgegangen, daß im Hafen auf die Stellplätze der gelöschten Container wieder neue geladen werden, so daß das Schiff stets voll beladen fährt. Bei einem ausführlichen Reisemodell müßten für jeden Hafen folgende Eingabedaten verarbeitet werden:

Das Itenerar, also eine Zusammenstellung aller Häfen und Fahrstrecken in der Reihenfolge der Rundreise, Anzahl der zu ladenden Container, deren Massen und Bestimmungshäfen. Im Reisemodell müßte dann für jeden Hafen kontrolliert werden, ob die vorgesehenen Container vollzählig übernommen werden können (Stabilität, Stauplatz, Tragfähigkeit). Weiterhin müßten für einige der Häfen mit unterschiedlich langen Seestrecken für die an Bord befindlichen Container die erforderlichen Frachtraten berechnet werden. Da einige der Häfen nicht direkt angelaufen werden können, entstehen für die Schiffe Umwege. Die dadurch

entstehenden Kosten müssen auf die an Bord befindlichen Containern aufgeteilt werden.

Der Verfasser ist der Ansicht, daß der optimale Entwurf für solch ein ausführliches Reisemodell sich nicht wesentlich vom optimalen Entwurf unterscheidet, der sich beim benutzten stark vereinfachten Reisemodell ergibt. Daher wurde das Reisemodell wie folgt vereinfacht:

Die Anzahl der zu löschenden und zu ladenden Container und deren Masse ist gleich groß, so daß das Schiff stets die gleiche Ladungsmenge an Bord hat. Für die Berechnung der erforderlichen Frachtrate eines Containers wird bei der Berechnung der Brennstoffkosten die Reisedistanz DISTVO zugrunde gelegt. Die Möglichkeit, mehr als zwei Häfen anzugeben, bewirkt, daß die Hafenkosten, die nicht von der Ladung abhängen, steigen. Für die Fahrt auf begrenztem Fahrwasser (Revier) sowie für das An- und Ablegen des Schiffes können pro Rundreise entsprechende Zeiten eingegeben werden (Wartezeit TIMW und Revierzeit TIMCW). Diese Bedingungen können auch bei der Rundreise mit nur 2 Häfen einer realistischen Rundreise mit mehreren Häfen angeglichen werden.

- Hafenzzeit TIMPRT (time in port)

Hafenzzeit = Umschlagzeit + Wartezeit

Bei der Umschlagzeit wird berücksichtigt, daß Laderaumcontainer nicht mit der gleichen Geschwindigkeit umgeschlagen werden wie Deckscontainer. Ein Teil der TEU's sind 40' Container. Die Umschlagleistung bei diesen Containern ist gleich denen der 20' Container. Bei der Berechnung der Umschlagzeit wird daher der Anteil der 40' Container mit dem Wert CONT40 berücksichtigt. CONT40 ist die Anzahl der 40' Container in Prozenten von TEU.

Anzahl der umzuschlagenden Container 20' und 40' an Deck:

$$\text{ACTDCK} = \text{CTDCK} - \left(\text{CTDCK} \cdot \frac{\text{CONT40}}{2 \cdot 100} \right) \quad (35.1)$$

Anzahl der umzuschlagenden Container 20' und 40' im Laderaum:

$$\text{ACTHLD} = \text{CTHLD} - \left(\text{CTHLD} \cdot \frac{\text{CONT40}}{2 \cdot 100} \right) \quad (35.2)$$

$$\text{TIMPRT} = \frac{\left(\frac{\text{ACTHLD}}{\text{CBRID} \cdot \text{CPHLD}} + \frac{\text{ACTDCK}}{\text{CBRID} \cdot \text{CPHDCK}} \right) \cdot 4 + \text{TIMW}}{\text{PORTN}} \quad (35.3)$$

Die Containeranzahl des Schiffes wird auf einer Rundreise in einer Region, z.B. Europa, geladen, in einer anderen Region, z.B. Amerika, gelöscht. Die Rückladung wird dort geladen und in Europa wieder gelöscht. Damit hat man auf einer Rundreise vier Umschlagshandlungen.

Eingabe:

CBRID = Anzahl der Containerbrücken
= 2. /-/

CONT40 = Anzahl der 40' Container in Prozent von TEU
= 0. /%/

CPHLD = Umschlagsleistung in Containern 20' und 40'
pro Containerbrücke und Stunde bei Laderaum-
containern
= 20. /TEU/(h · CBRID) /

CPHDCK = Umschlagsleistung in Containern 20' und 40'
pro Containerbrücke und Stunde bei Deckscon-
tainern
= 20 /TEU/(h · CBRID)/
TIMW = Wartezeit pro Rundreise
= 0 /h/
PORTN = Hafenzahl pro Rundreise
= 2. /-/

- Rundreisezeit TIMRT (time round trip)

Rundreisezeit = Seezeiten + Revierzeiten + Hafenzeiten

$$\text{TIMRT} = \frac{2 \text{ DISTVO} \cdot 0.5144}{V} + \text{PORTN} \cdot \text{TIMPRT} + \text{TIMCW} \quad (36.)$$

Eingabe:

DISTVO = halbe Seedistanz einer Rundreise in Seemeilen
/sm/ (distance voyage)
= 5000. /sm/
PORTN = Hafenzahl einer Rundreise (port number)
= 2. /-/
TIMCW = Revierzeit pro Rundreise in Stunden
(time in confined water)
= 0 /h/

- Anzahl der Rundreisen pro Jahr RTNPY (roundtrip number per year)

Rundreiseanzahl = $\frac{\text{Einsatzzeit des Schiffes}}{\text{Rundreisezeit}}$

$$\text{RTNPY} = \frac{8760 - \text{TIMYAR}}{\text{TIMRT}} \quad (37.)$$

Eingabe:

TIMYAR = Schiff außer Betrieb in Stunden
(time in yard)
= 240 /h/

4.3.5 Schwerpunktbestimmung und Stabilitätsrechnungen

Bei der Schwerpunktbestimmung wird zwischen zwei Anteilen unterschieden. Der erste Anteil verändert sich im Reiseablauf nicht (ZKGKON). Im zweiten Teil werden die Brennstoffverbräuche und Änderungen der Beballastung berücksichtigt.

- Die vom Reiseverlauf unabhängige Masse WKON

WKON = Masse des leeren Schiffes WLS
+ Masse der Ladung (CTHLD · WCONHD + CTDCK · WCONDK)
+ Masse Frischwasser WFW
+ Masse Festballast WSOBA
+ Masse Besatzung, Effekten und Stores WSTORE (38.)

Eingabe:

WCONDK = durchschnittliche Masse eines Deckscontainers in TEU
= 14. /to/
WCONHD = durchschnittliche Masse eines Laderaumcontainers in TEU
= 14. /to/
WFW = Masse Frischwasser, nicht variabel, Frischwassererzeuger an Bord
= 348 /to/ (nach Vergleichsschiff)
WSOBA = Masse Festballast
= 0. /to/
WSTORE = Masse von Besatzung, Effekten und Stores
= 200 /to/ (nach Vergleichsschiff)

- Der zu WKON gehörende Schwerpunkt ZKGKON

(Funktion ZKGXXX, s. Anhang) (39.0)

Schwerpunkt der Laderaumcontainer ZKGCHD

Der Schwerpunkt der Laderaumcontainer über Basis ZKGCHD wird nach einer empirischen Formel berechnet, die durch Auswerten

von Containerstauplänen gebauter Schiffe entstanden ist. Bei der Regressionsanalyse konnte nur eine Abhängigkeit von CBDCK nachgewiesen werden (s. Abbildung 9).

$$KGCT = 5.682 - 5.194 \cdot CBDCK^{0.0333} \quad (39.1)$$

$$ZKGCHD = HDB + KGCT \cdot RND \cdot 2.59 + AKGCHD \quad (39.2)$$

Berichtigungswert:

AKGCHD = additiver Berichtigungswert für die empirische Formel für den Schwerpunkt der Container unter dem Hauptdeck
= 0.47 /m/

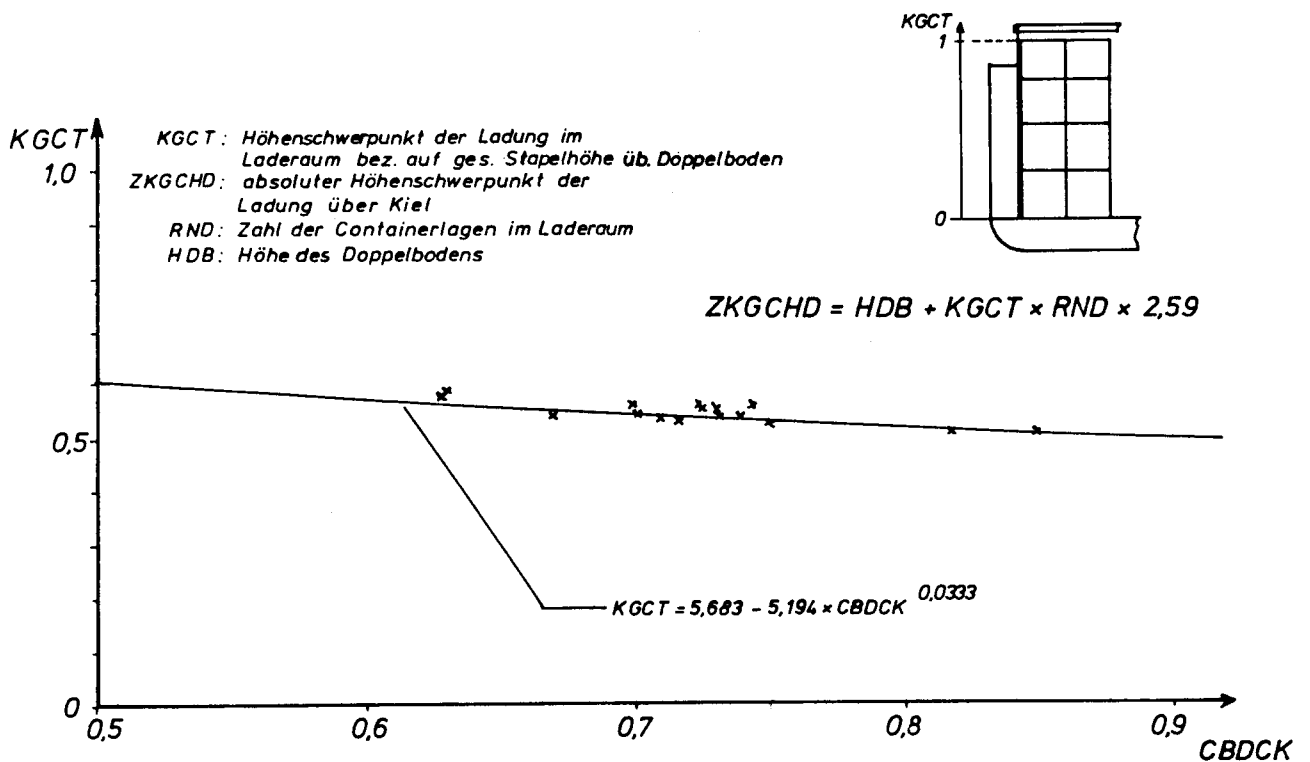


ABB. 9: HÖHENSCHWERPUNKT DER CONTAINER UNTER DECK

Schwerpunkt der Deckscontainer

Der Schwerpunkt der Deckscontainer über Basis ist die Summe aus dem Abstand Basis - OK Lukendeckel plus der halben Stauhöhe aller vollständigen Deckscontainerlagen und der obersten nicht vollständigen Deckscontainerlage (Momentenrechnung).

Eingabe:

HHCOV = Lukendeckelhöhe (height of hatch cover)
= 0.75 /m/
HHCOM = Höhe des Lukensülls (height of hatch coaming)
= 1.4 /m/
WCONDK = durchschnittliche Masse eines Deckscontainers in TEU
= 14. /to/

Berichtigungswert:

AKGCOD = additiver Berichtigungsfaktor für den Schwerpunkt der Deckscontainer. Hiermit kann eine eventuell im Vorschiff erfolgende Stufung der Deckscontainer in Längsrichtung berücksichtigt werden (Grund: Sichtverhältnisse von der Schiffsbrücke nach vorne).
= 0 /m/

Schwerpunkt des Deckshauses (Stahl) ZKGDH

$$ZKGDH = DHKG + D \quad (39.3)$$

Eingabe:

DHKG = Schwerpunkt des Deckshauses über Deck
= 6.0 /m/

Schwerpunkt des Maschinenraums ZKGER

$$ZKGER = D \cdot ZKGERD \quad (39.4)$$

Eingabe:

ZKGERD = Schwerpunkt der Hauptmaschine und der übrigen Maschinenanlage auf die Seitenhöhe bezogen
= 0.46 /-/

Schwerpunkt der schiffbaulichen Ausrüstung ZKGOUT

$$\text{ZKGOUT} = D \cdot \text{ZKGOUD} \quad (39.5)$$

Eingabe:

$$\begin{aligned} \text{ZKGOUD} &= \text{Schwerpunkt der Ausrüstung bezogen auf die} \\ &\quad \text{Seitenhöhe} \\ &= 1.00 \text{ /-}/ \end{aligned}$$

Schwerpunkt des Schiffsrumpfs ZKGHUL

Aus Unterlagen des ehemaligen Instituts für Entwerfen von Schiffen und Schiffstheorie und dem Programm SCHIFFSLISTE /27/ wurden von Dölling mit Hilfe des Programms SPSS /37/ die Konstanten der Schwerpunktsformel des Schiffsrumpfes von Schneekluth /29/ neu bestimmt.

$$\begin{aligned} \text{ZKGHUL} &= (58.2561 + 0.1572 \cdot (0.8237 - \text{CBDCK}) \cdot \left(\frac{\text{LBP}}{D}\right)^2 \cdot \frac{D}{100} \cdot \\ &\quad \cdot \text{FKGHUL} \quad (39.6) \end{aligned}$$

Berichtigungsfaktor:

$$\begin{aligned} \text{FKGHUL} &= \text{Berichtigungsfaktor für die empirische For-} \\ &\quad \text{mel für den Schwerpunkt des Schiffsrumpfes} \\ &= 0.927 \text{ /-}/ \end{aligned}$$

Schwerpunkte von Stores, Frischwasser und Festballast

$$\text{Schwerpunkt der Stores, Besatzung und Effekten} = D \cdot \text{ZKGSTO} \quad (39.7)$$

$$\text{Schwerpunkt für Frischwasser} = D \cdot \text{ZKGFW} \quad (39.8)$$

Eingabe:

$$\begin{aligned} \text{ZKGFW} &= \text{Schwerpunkt des Frischwassers bezogen auf} \\ &\quad \text{die Seitenhöhe} \\ &= 0.614 \text{ /-}/ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ZKGSOB} &= \text{Schwerpunkt des Festballastes über Basis} \\ &= 0.5 \text{ /m/} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ZKGSTO} &= \text{Schwerpunkt der Stores etc. bezogen auf die} \\ &\quad \text{Seitenhöhe des Schiffes} \\ &= 0.97 \text{ /-}/ \end{aligned}$$

- Schwerpunkt des Schiffes am Ende der Reise ZKGFLX

(Funktion ZKGFLX, s. Anhang).

(40.0)

In dieser Funktion wird am Ende der Reise der Schwerpunkt des Öls und des Ballastwassers berechnet. Der Schwerpunkt des Schiffes wird in einer Momentenrechnung für den Zustand Ende der Reise bestimmt.

Brennstoff am Ende der Reise

Brennstoff wird in folgenden Tanks untergebracht:

- Tages- und Setztank im Maschinenraum
- Doppelbodentanks
- Seitentanks.

Der Brennstoff wird zuerst aus den Seitentanks und dann aus dem Doppelboden verbraucht. Brennstoffreserven von weniger als vierfachem Tagesverbrauch an Schweröl befinden sich im Tages- und Setztank (s. hierzu Abschnitt 4.3.3 Tankvolumen).

Schwerpunkt von Tages- und Setztank: 0.6 der Seitenhöhe

- " - von Doppelbodentanks : 0.6 der Doppelbodenhöhe
- " - von Seitentanks : 0.55 der Seitentankhöhe

Zur Berechnung der Brennstoffmenge am Ende der Reise werden die Formeln entsprechend Abschnitt 4.3.3 benutzt.

Das Ballastwasser WBALE wird zuerst im Doppelboden und falls notwendig auch in die Seitentanks gepumpt. Schwerpunkte wie beim Brennstoff. Die Ballastwassermenge ist eine freie Unbekannte.

Es wird davon ausgegangen, daß jeweils nur ein Öl- oder Ballasttank teilgefüllt ist, so daß freie Oberflächen für die Vorwurfsoptimierung nicht berücksichtigt werden müssen.

Eingabe:

- FDOR = Faktor für die Dieselölreserve
= 2.0
- FFOR = Faktor für die Schwerölreserve
= 1.2
- FLUBR = Faktor für die Schmierölreserve
= 3.
- RHOBAL = spezifische Masse des Ballastwassers
= 1 /to/m³ /
- RHOOIL = spezifische Masse des Öls
= 0.921 /to/m³ /
- RHOSOB = spezifische Masse Festballast
= 4. /to/m³ /
- SFCME = spezifischer Brennstoffverbrauch der Hauptmaschine
= 0.2 $\frac{\text{kg}}{\text{kW}\cdot\text{h}}$
- WSOBA = Masse des Festballastes
= 0. /to/

- Die metazentrische Höhe am Ende der Reise ZKME

Die metazentrische Höhe ZKME am Ende der Reise wird nach einer Formel von H. Schneekluth /29/ berechnet:

$$ZKME = B \cdot \left(\left(\frac{0.08 \cdot B}{\sqrt{CM}} \cdot TTE \right) \cdot \frac{CWP \cdot 3}{\left(1 + \frac{2 \cdot CB}{\sqrt{CM}} \right)} + \frac{0.9 - 0.3 \cdot CM - 0.1 \cdot CB}{\frac{B}{TTE}} \right) \cdot FKM$$

(41.)

Da sich CB, CM und CWP beim Austausch des Schiffes vom Optimierungstiefgang TT zum Tiefgang am Ende der Reise nur sehr wenig ändern, wird auch ZKME mit den zu TT bestimmten Volligkeitsgraden bestimmt.

- Tiefgang am Ende der Reise TTE

Beim Verbrauch der Vorräte taucht das Schiff aus, bis am Ende der Reise der Tiefgang TTE erreicht ist. TTE wird mit der Näherung senkrechter Schiffsseitenwände aus dem Optimierungstiefgang berechnet.

$$TTE = TT - \left(\frac{\text{Ölmenge bei TT} - \text{Ölmenge am Ende der Reise}}{LBP \cdot B \cdot CWP \cdot 1.025} \right) \quad (42.)$$

- Die Anfangsstabilität GME am Ende der Reise

$$GME = ZKME - ZKGFLE \quad (43.)$$

- Seitenhöhe für die Pantokarenenberechnung DPANTO

Bei großen Neigungen des Schiffes tragen Aufbauten zur Stabilitätsverbesserung bei. Um diese in der nachfolgend beschriebenen Pantokarenenberechnung mit zu berücksichtigen, wurde das Volumen innerhalb der Lukensäule und -deckel sowie das Volumen der Back auf die Decksfläche (LBP · B) bezogen. Die so bestimmte "mittlere Aufbautenhöhe" wird zur Seitenhöhe hinzuaddiert. Ein Aufbau von 3 m Höhe und die Länge des Maschinenraums (RLER) ist in der "mittleren Aufbautenhöhe" enthalten.

$$\begin{aligned} DPANTO = D + & \left\{ (HHCOM + HHCOV) \cdot (B - 2 \cdot BBG) \right. \\ & \cdot (RNL \cdot 6.4 + \frac{RNL}{2-1} \cdot DBHC) + RLER \cdot B \cdot 3 \\ & \left. + RLFP \cdot B \cdot ABACK \cdot 0.66 \right\} / (LPB \cdot B) \quad (44.) \end{aligned}$$

Freie Unbekannte:

RNL = Anzahl der Containerbays im Laderaum

Abhängige Unbekannte:

B = Schiffsbreite

LBP = Schiffslänge zwischen den Loten

RLER = Länge des Maschinenraums

RLFP = Länge der Vorpiek

Eingabe:

ABACK = Höhe der Back
= 3.0 /m/

BBG = Breite des Deckstreifens neben den Luken-
süllen
= 2.1 /m/
DBHC = Abstand zwischen den Lukensäulen
= 1.5 /m/
HHCOM = Höhe des Lukensäulls
= 1.4 /m/
HHCOV = Lukendeckelhöhe
= 0.75 /m/

- Hebelarme für 15^o, 30^o, 45^o und 60^o GZ.. (Funktion Hebel 1)
(45.0)

Die Hebelarme werden nach Näherungsformeln für die Pantokarenen im Vorentwurf von Gudenschwager und Meyer berechnet /40/.

Bei dieser Arbeit wurden ausgehend von 3 Linienrissen (Urformen) mit einem Völligkeitsgrad von 0.6, 0.7 und 0.8 mit dem Programm PRESS /41/ 11 Schiffsgrundformen erzeugt. Von jeder dieser Grundformen wurden mit dem Programm APRESS /42/ 60 Varianten erzeugt. Somit konnte ein Bereich von

B/TT von 2.0 bis 4.5

D/TT von 1.3 bis 2.2

CB von 0.525 bis 0.8

für die Bestimmung von Regressionsformeln für Pantokarenen genutzt werden.

Die Formeln für die Pantokarenenrechnungen befinden sich im Anhang (Funktion HEBEL 1).

Berichtigungswerte:

FW... = Berichtigungsfaktoren für die empirischen
Formeln der Pantokarenen

FW 15 = 0.99378

FW 30 = 0.95603

FW 45 = 0.96264

FW 60 = 0.96264 (nach Vergleichschiff)

- Hebelarm für 50° GZ50

Der Hebelarm für 50° wird durch Interpolation über drei Stützstellen /43/ aus den berechneten Hebelarmen interpoliert (Funktion RLAGR4, s. Anhang).

4.3.6 Kostenberechnung

4.3.6.1 Baukostenberechnung (Funktion PSHIPB) (46.0)

Baukosten = (Materialkosten + Lohnkosten)

Berechnung der Baukosten für folgende Baugruppen:

- Schiffsrumpf und Deckshaus (Stahl)
- Maschinenanlage (Hauptmotor + übrige Maschinenanlage)
- Ausrüstung und Einrichtung
- Konstruktion und Sonstiges

Eine Abstimmung des Programms auf ein Vergleichsschiff konnte anhand von Unterlagen aus dem Jahr 1979 erfolgen. Selbstverständlich können über die Eingabedaten die aktuellen Kosten für Arbeit und Material eingegeben werden.

Schiffsrumpf und Deckshaus

Nach Kerlen /44/ wird der Materialverschnitt und der Stundensatz pro Tonne Nettostahl RSTH berechnet.

$$\text{VERSCH} = \left(\frac{9 \cdot 10^{10}}{\left(\frac{\text{VOLHUL}}{100} + 100\right)^{4.86}} + 14 + \text{ASCRAPI} \right) / 100 \quad (46.1)$$

$$\text{RSTH} = \left(\frac{45.36}{\left(\text{LBP} \cdot \text{B} \cdot \frac{\text{D}}{1000}\right)^{0.115}} + 3.5 \right) \cdot \frac{0.866}{\text{CB}^{0.333}} + \text{ARSTH} \quad (46.2)$$

Materialkosten PHULLM

$$\text{PHULLM} = \text{PRST} \cdot \underbrace{\frac{\text{WSTHUL}}{1-\text{VERSCH}}}_{\text{Brutto Stahlmasse}} \quad (46.3)$$

Produktionskosten PHULLP

$$\text{PHULLP} = \text{RSTH} \cdot \text{WSTHUL} \cdot \text{PRP} \quad (46.4)$$

Das Deckshaus (Stahl) wird nach den Stundensätzen des Schiffsrumpfes RSTH und dem Stahlpreis PRST berechnet.

$$\text{PSTDH} = \text{WSTDH} \cdot \text{RSTH} \cdot \text{PRP} + \text{WSTDH} \cdot \text{PRST} \cdot \frac{1}{1-\text{VERSCH}} \quad (46.5)$$

Freie Unbekannte:

CB = Völligkeitsgrad der Verdrängung

Abhängige Unbekannte:

B = Schiffsbreite

D = Seitenhöhe

LBP = Schiffslänge zwischen den Loten

WSTHUL = Nettostahlmasse des Schiffsrumpfes inclusive Lukensäule nach Schneekluth /29/

Eingabe:

PRP = Kosten für eine Produktionsstunde inclusive Gemeinkosten
= 60. /DM/, 1984

PRST = Preis pro Tonne Stahl
900. /DM/T/, 1984

WSTDH = Stahlmasse des Deckshauses
= 300 /to/

Berichtigungswerte:

ASCRA = additiver Berichtigungswert in % für den nach Kerlen /44/ ermittelten Verschnitt
= 0. /%/

ARSTH = additiver Berichtigungswert für den Stunden-
satz pro Tonne Nettostahl nach Kerlen /44/
= 16.2 /%/

Interne Abkürzungen

VOLHUL = Volumen des Schiffsrumpfes
VOLHUL = LBP · B · D · CBDCK
VERSCH = Stahlverschnitt bezogen auf die Brutto-
Stahlmasse nach Kerlen /44/
RSTH = Stundensatz pro Tonne Nettostahl nach
Kerlen /44/ /h/to/

Baugruppe Maschinenanlage

In Zusammenarbeit mit einer Werft hat Petritzis /45/ für Untergruppen der Maschinenanlage für Tanker Formeln für Masse, Materialkosten und Arbeitszeit aufgestellt. Um nicht diese große Anzahl von Formeln im Entwurfsmodell "Containerschiff" benutzen zu müssen, wurden vom Verfasser für verschiedene Schiffe mit diesen Formeln Installationszeiten und Materialkosten berechnet und über Regressionsanalyse neue Formeln aufgestellt. Die bei Petritzis vorhandenen Formeln für Ladeölpumpen und andere tankerspezifische Untergruppen wurden weggelassen.

Installationsstunden für die Hauptmaschine

$$\text{HENG} = 315.54 \cdot \text{POWER}^{0.33} \cdot \text{FPENGI} \quad (46.7)$$

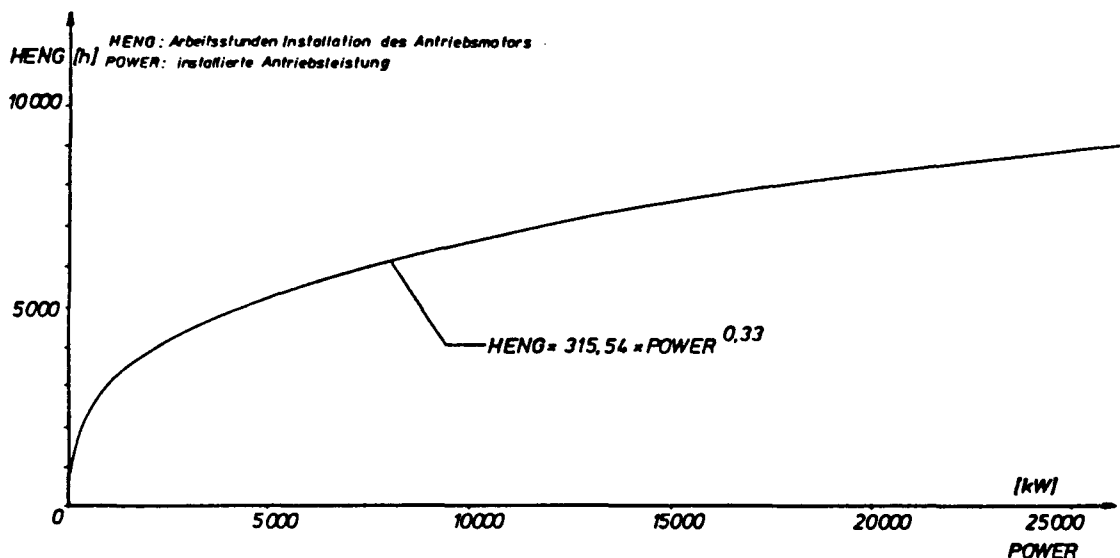


ABB. 10: ARBEITSSTUNDEN ZUR INSTALLATION DER HAUPTMASCHINE

Installationsstunden für die übrige Maschinenanlage

$$\begin{aligned} \text{HAUXI} &= 23683.165 \cdot (\text{POWER} + \text{POWGEN})^{0.1444} \\ &\cdot (\text{LBP} \cdot \text{B} \cdot \text{D} \cdot \text{CB})^{0.043685} \cdot \text{FAUXI} \quad (46.8) \end{aligned}$$

Materialkosten für die übrige Maschinenanlage

$$\begin{aligned} \text{PAUXM} &= 8671.288 \cdot (\text{POWER} + \text{POWGEN})^{0.659} \\ &\cdot (\text{LBP} \cdot \text{B} \cdot \text{CB})^{0.0616} \cdot \text{FPAUXM} \quad (46.9) \end{aligned}$$

Materialkosten für die Hauptmaschine liegen nach Angaben von Walter /46/ für 2-Takt-Dieselmotoren bei etwa 610 DM/kW (1983), für Mittelschnellläufer je nach Drehzahl und Bauweise (Reihen- oder V-Bauweise) zwischen 309 - 483 DM/kW (1983).

Interne Abkürzung:

POWER = installierte Hauptmotorenleistung in kW

Abhängige Unbekannte:

POWGEN = installierte Generatorleistung in kW

Eingabe:

PRME = Kilowattpreis der Hauptmaschine
= 610 /DM/kW/ (1983)

Berichtigungs-faktoren:

FPENGI = Faktor für die empirische Formel für die
Installationsstunden der Hauptmaschine
= 1 (-)

FPAUXM = Faktor für den Materialpreis der übrigen
Maschinenanlage
= 1 /-/

FAUXI = Faktor für die Installationsstunden der
übrigen Maschinenanlage
= 1 /-/

(Keine Korrekturen, da entsprechende Daten des
Vergleichsschiffes fehlen.)

Schiffbauliche Ausrüstung und Einrichtung WOUTF

Bei diesen beiden Baugruppen hat jede Reederei andere Wünsche. Dem Bedarf am besten angepaßt wäre daher eine Aufsummierung von Massen, Material- und Arbeitskosten aller Aus- und Einrichtungsgruppen, die unabhängig von Hauptabmessungsänderungen ist. Für die übrig gebliebenen A + E-Gruppen müßten Formeln für die einzelnen Ausrüstungsteile mit Abhängigkeit von Hauptabmessungen oder Containeranzahl u.a. aufgestellt werden, z.B. für Lukendeckel, Containerführungsschienen usw.

Damit könnte diese Baugruppe von den Kosten wie von der Masse und dem Schwerpunkt besser erfaßt werden. Diese Aufgabe konnte der Verfasser mangels Unterlagen nicht bearbeiten. Es wurden daher einfache, auf die Masse von A + E bezogene Formeln aufgestellt.

Arbeitsstunden für die schiffbauliche Ausrüstung und Einrichtung HOUTF

$$\text{HOUTF} = \text{ROUTFH} \cdot \text{WOUTF} \quad (46.10)$$

Materialkosten für die schiffbauliche Ausrüstung und Einrichtung = $\text{PROUTF} \cdot \text{WOUTF}$ (46.11)

Eingabe:

$\text{PROUTF} =$ spezifische Materialkosten für Ausrüstung und Einrichtung pro Tonne Ausrüstungs- und Einrichtungsmasse
 $= 8875 \text{ /DM/to/, 1979}$

$\text{ROUTFH} =$ spezifische Stundenzahl pro Tonne Ausrüstungs- und Einrichtungsmasse
 $= 95 \text{ /Std/to/}$

Die Summe der Einzelkosten der Baugruppen wird zur Erfassung der Konstruktionskosten um den Faktor $\text{PRCONS} = 1.065$ erhöht. Weiterhin kommen auf diese Summe nochmals 5 % für Versicherungs-, Reise-, Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten hinzu. Die so entstandenen Baukosten können mit dem Berichtigungs-

faktor P83 (P83 = 1) aktualisiert werden, sofern dies nicht über die einzelnen Baugruppen erfolgen kann.

PSHIP = (PHULLM + PHULLP + PSTDH (Stahlrumpf + Deckshaus)
+ HENG · PRP + POWER · PRME (Hauptmotor)
+ HAUXI · PRP + PAUXM (übrige Maschinenanlage)
+ HOUTF · PRP + PROUTF · WOUTF) (Ausrüstung + Einrich-
PRCONS · 1.05 · P83 tung)
(46.12)

Eingabe:

PRCONS = Konstruktionskosten in % von Rumpf-, Maschinen-
und Ausrüstungskosten
PRP = Kosten für eine Produktionsstunde inclusive
Gemeinkosten
= 60 /DM/, 1984
PRST = Preis pro Tonne Stahl
= 900 /DM/to/, 1984

Berichtigungswert:

P83 = Berichtigungsfaktor für die Baukosten

4.3.6.2 Betriebskostenberechnung

- Die Betriebskosten CSERVI (Funktion CSERVA) (47.0)

Folgende Kostengruppen sind in den Betriebskosten enthalten:

- a) Besatzungskosten pro Jahr CCREWA
- b) Reparatur- und Ersatzteilkosten
- c) Versicherungskosten CINSSA
- d) Brennstoffkosten und
- e) Hafen- und Umschlagskosten

a) Besatzungskosten

Die Anzahl der Besatzungsmitglieder richtet sich nach den Besatzungsvorschriften der See- und Berufsgenossenschaft, der Schiffsbesatzungs- und Ausbildungsverordnung und nach der Funk- sicherheitsverordnung. Die Besatzungskosten wurden in der vor- liegenden Arbeit nach Unterlagen des Verbands Deutscher Reeder /47/ und des Heuertarifvertrags von 1983 berechnet. Danach er- rechnen sich für eine Besatzung von 24 Mann Durchschnittskosten für ein Besatzungsmitglied von 74.052,- DM pro Jahr. Hier- in sind Urlaub, Sozialabgaben, Verpflegung usw. enthalten.

Besatzungskosten sind im Entwurfsmodell "Containerschiff" variationsunabhängig. Die in den Vorschriften vorgegebene Ab- hängigkeit der Besatzungszahl von Schiffsgröße, installierter Maschinenleistung, Ausrüstung (z.B. Mooringwinden, Rufanlage) und Fahrtgebiet ist vom Benutzer des Programms zu berücksichti- gen. Bei größeren Schiffen sind die Stufen in den Vorschriften weit, so daß bei Beachtung der Grenzen bei der Optimierung kei- ne Fehler gemacht werden. Bei kleinen Schiffen liegt das Opti- mum von Seiten der Besatzungszahl stets unterhalb einer vorge- schriebenen Erhöhung der Besatzungszahl, wie u.a. aus den ge- bauten "Paragraphenschiffen" zu errechnen ist (z.B. 299, 499 und 1599 BRT Schiffe).

Das Problem der Besatzungszahl und damit auch der Besatzungs- kosten ist vergleichbar mit dem Problem bei den containerge- rechten Abmessungen (s. Abschnitt 2.1). Die Besatzungszahl und die Anzahl der Container auf Breite, Seitenhöhe und Schiffs- länge können nur ganzzahlig sein. Dies führt bei der Optimie- rung zu lokalen Optima.

b) Reparatur- und Ersatzteilkosten

Die Reparatur- und Ersatzteilkosten für die Maschinenanlage wurden in Anlehnung an /45/ aufgestellt.

Reparaturkosten Maschinenanlage CREPMS

$$\begin{aligned} \text{CREPMS} = & \text{TIMSEA} \cdot \frac{\text{RTNPY}}{20000} \cdot \text{PSERVH} \cdot (765 + 9.258 \cdot \sqrt{\text{ANZY} \cdot \text{POWER}}) \\ & + 9.346014 \cdot (\text{POWER} + \text{POWGEN})^{0.51559} \cdot \text{PSERVH} \quad (47.1) \end{aligned}$$

Der Maschinentyp wird über die Anzahl der Zylinder ANZY berücksichtigt.

$$\text{CSPARE} = \text{PSPARE} \cdot \text{POWER} \quad (47.2)$$

Für den Schiffsrumpf werden die Reparatur- und Instandhaltungskosten auf den umbauten Raum bezogen.

$$\text{CREPHS} = \text{CREPHU} \cdot (\text{LBP} \cdot \text{B} \cdot \text{D}) \quad (47.3)$$

Eingabe:

- ANZY = Anzahl Zylinder
= 8 (-)
- PSERVH = Kosten für eine Servicestunde
= 40 /DM/Std/
- PSPARE = auf die installierte Antriebsleistung
POWER bezogene Ersatzteilkosten nach /45/
= 15.67 /DM/kW/, 1979
- CREPHU = Reparaturkosten für den Schiffsrumpf pro
Jahr, bezogen auf LBP · B · D
= 0.9 /DM/m³/

c) Versicherungskosten

Die Versicherungskosten beziehen sich auf die Baukosten

$$\text{CINSSA} = \text{CINSS} \cdot \text{PSHIP} \quad (47.4)$$

Eingabe:

- CINSS = Versicherungskosten pro Jahr als Faktor
der Baukosten
= 0.018 /-/

d) Brennstoffkosten

Die Brennstoffkosten pro Jahr werden für die einzelnen Verbräuche an Schweröl, Dieselöl und Schmieröl berechnet, und zwar:

Brennstoffkosten	Jahresverbrauch	Preis pro Tonne Oel	
Brennstoffkosten Schweröl CFOILA =	$\frac{WFO}{FFOR} \cdot RTNPY$	$\cdot PFOILT$	(47.5)
Brennstoffkosten = Dieselöl CDOILA	$\frac{WDO}{FDOR} \cdot RTNPY$	$\cdot PDOILT$	(47.6)
Kosten Schmieröl = CLUBA	$\frac{WLUB}{FLUBR} \cdot RTNPY$	$\cdot PLUBT$	(47.7)

Abhängige Unbekannte:

- RTNPY = Rundreisen des Schiffes pro Jahr
(round trip number per year)
- WDO = Dieselöl in Tonnen pro Rundreise einschließlich Reserven
- WLUB = Schmieröl in Tonnen pro Rundreise einschließlich Reserven
- WFO = Schweröl in Tonnen pro Rundreise einschließlich Reserven

Eingabe:

- FDOR = Faktor für die Dieselölreserve
= 2
- FFOR = Faktor für die Schwerölreserve
= 1.2
- FLUBR = Faktor für die Schmierölreserve
= 3
- PFOILT = Preis pro Tonne Schweröl
= 460 /DM/t/
- PDOILT = Preis für eine Tonne Dieselöl
620 /DM/t/
- PLUBT = Preis für eine Tonne Schmieröl
= 1500 /DM/t/

Die Preisangaben beziehen sich auf März
1984, Hafen Rotterdam nach /49/.

e) Hafen- und Umschlagskosten

Die Hafenkosten sind für das Jahr 1983/84 /50/ für den Hafen Bremerhaven bestimmt worden. Sie bestehen aus einer Raumgebühr, bezogen auf die Bruttotonnage, einer Kajegebühr, bezogen auf die geladene und gelöschte Ladungsmenge und aus einer Liegeplatzgebühr, bezogen auf Kubikmeter Nettotonnage und Hafenzzeit.

Raumgebühr

$$CPORTD = FPORTD \cdot PORTN \cdot \frac{GT}{100} \quad (47.8)$$

Interne Abkürzung:

GT = Bruttotonnage nach IMO Vermessungsregel von 1969

Eingabe:

FPORTD = Faktor Raumgebühr
= 28.20 /DM/100 GT/ im Tarif III für Linienschiff von Bremen/Bremerhaven nach Übersee (1983 - 1984)

PORTN = Anzahl der Häfen pro Rundreise

Kajegebühr

$$CPOQUA = \frac{POQUA \cdot 4}{PORTN} \cdot (CTHLD \cdot WCONHD + CTDCK \cdot WCONDK) \quad (47.9)$$

Auf einer Rundreise wird die TEU-Anzahl des Schiffes zweimal geladen und zweimal gelöscht, wenn keine Umstauungen auftreten oder zwischen den Häfen mit kurzen Seestrecken Container transportiert werden (Feederdienst).

Freie Unbekannte:

CTDCK = Anzahl der Deckscontainer auf 20' Container bezogen

CTHLD = Anzahl der Laderaumcontainer auf 20' Container bezogen

Eingabe:

POQUA = Kostenfaktor für die Kajegebühr
= 6.85 /DM/t/ (gepackte Ladung, Freihafen)

WCONDK = durchschnittliche Masse der Deckscontainer
bezogen auf 20' Container

WCONHD = durchschnittliche Masse der Laderaumcontainer
bezogen auf 20' Container

Liegeplatzgebühr

$$CPOTON = FPOTON \cdot VOLCHD \cdot 1.05 \cdot \frac{TIMPRT}{24} \quad (47.10)$$

(5 % für Sozialfonds)

Abhängige Unbekannte:

TIMPRT = Hafenzzeit pro Rundreise in Stunden

Eingabe:

FPOTON = Faktor für die Liegeplatzgebühr
= 0.24 /DM/m³ pro Tag/

Interne Bezeichnung:

VOLCHD = Laderaumvolumen in m³

Die Umschlagskosten PRCONT für einen Container von 20' oder 40' Länge betragen nach Auskunft der Bremer Lagerhaus-Gesellschaft 180-190,- DM (Laden oder Löschen). Hierin enthalten ist das Umsetzen vom Schiff an Land und der Transport zur Stellfläche sowie eine Freilagerzeit von 8 Tagen. Das Umsetzen von der Stellfläche auf LKW, Waggon oder Binnenschiff kostet nochmals 80,- DM (1984). In der vorliegenden Arbeit werden die Umschlagskosten bis zur Stellfläche berechnet.

Die Umschlagskosten sind für 20' und 40' Container gleich. Um weiterhin im Entwurfsmodell "Containerschiff" in 20' Einheiten rechnen zu können, werden die Umschlagskosten auf 20' Einheiten umgerechnet PRCONT^x.

$$PRCONT^x = PRCONT \cdot \left(TEU - \frac{TEU \cdot CONT40}{2 \cdot 100} \right) \quad (47.11)$$

Mit $PRCONT^X$ berechnen sich die Umschlagskosten des Schiffes pro Rundreise CCARGO zu:

$$CCARGO = PRCONT^X \cdot TEU \cdot 4 \quad (47.12)$$

Eingabe:

CONT 40 = Anzahl der 40' Container bezogen auf TEU in Prozent

PRCONT = Umschlagskosten für eine Umsetzung eines 20' oder 40' Containers

TEU = Transportkapazität des Schiffes in 20' Einheiten (20' x 8' x 8'06", Länge · Breite · Höhe)

Die Hafenkosten setzen sich zusammen aus:

$$CPORT = (CPILOT + CTUG + CAGENC + CPOCON) \cdot PORTN + CPORTD + CPOQUA + CPOTON + CCARGO \quad (47.13)$$

Eingabe:

CAGENC = Kosten für den Agenten, Makler pro Hafen

CPILOT = Lotsenkosten (Pilot Costs) pro Hafen

CTUG = Schlepperkosten pro Hafen (Tug)

CPOCON = Diverse Gebühren pro Hafen wie Festmachen, Schiffsmeldedienst, Seemannsmission, Rettungsdienst u.a.

Die Betriebskosten pro Jahr sind dann:

$$\begin{aligned} CSERVI &= CPORT \cdot RTNPY && \text{Hafen- und Umschlagskosten pro Jahr} \\ &+ CINSSA && \text{Versicherungskosten} \\ &+ CCREWA && \text{Besatzungskosten} \\ &+ CREPMS && \text{Reparaturkosten Maschinenanlage} \\ &+ CSPARE && \text{Ersatzteilkosten Maschinenanlage} \\ &+ CREPHS && \text{Reparatur und Instandhaltung des Schiffsrumpfes} \\ &+ CFOILA && \text{Schwerölkosten pro Jahr} \\ &+ CDOILA && \text{Dieselölkosten pro Jahr} \\ &+ CLUBA && \text{Schmierölkosten pro Jahr} \end{aligned} \quad (47.14)$$

4.3.6.3 Annuität und erforderliche Frachtrate

- Annuität ANUIT

Die Annuität ist die Summe von Zinsen und Tilgung.

Mit dem Wert CCOMPА können die dem Reeder während der Bauzeit des Schiffes entstandenen Kosten wie

- Finanzierungskosten
- Vertragskosten (Beratung, Bauaufsicht usw.)
- Indienststellungskosten (evtl. Überführung des Schiffes, Besatzungsbereitstellungskosten)
- Eventuell Zoll
- Steuer (-subventionen)

eingetragen werden. Die Annuität wird für die Schiffsgestehungskosten des Reeders berechnet.

$$\text{ANUIT} = (\text{PSHIP} + \text{CCOMPА}) \frac{\text{ZINS} (1 + \text{ZINS})^{\text{TA}}}{(\text{ZINS} + 1)^{\text{TA}} - 1} \quad (48.)$$

Abhängige Unbekannte

PSHIP = Baukosten des Schiffes
(= Baupreis des Schiffes)

Eingabe:

CCOMPА = Kosten, die der Reederei vor und während der Bauzeit des Schiffes bis zur Indienststellung entstanden sind DM
= 0

TA = Abschreibungszeit in Jahren
= 15

ZINS = Jahreszinssatz
= 0.1

- Die erforderliche Frachtrate RFR (Funktion RFRXX, s. Anhang)

$$\text{RFR} = \frac{\text{jährliche (Kapital- und Betriebskosten)}}{\text{Jahrestransportleistung}} \quad (49.0)$$

Weiter können in der erforderlichen Frachtrate die Zinsen auf den Wert der Ladung berücksichtigt werden.

$$\text{ZINSC} = \text{PRCART} \cdot \text{TEU} \cdot \text{RTNPY} \cdot 2 \cdot \text{ZINSCA} \cdot \frac{(8760 - \text{TIMYAR})}{8760} \quad (49.1)$$

Somit ergibt sich die erforderliche Frachtrate RFR zu:

$$\text{RFR} = \frac{\text{ANUIT} + \text{CSERVI} + \text{ZINSC}}{\text{TEU} \cdot \text{RTNPY} \cdot 2} \quad (49.2)$$

Abhängige Unbekannte:

ANUIT = Annuität
CSERVI = Betriebskosten des Schiffes pro Jahr
RTNPY = Rundreiseanzahl pro Jahr

Eingabe:

PRCART = Ladungswert in DM pro TEU
price rate cargo per TEU
= 0

TEU = Maximale Anzahl von Containern in
20' Containern gerechnet
= 1500

TIMYAR = Werftzeit des Schiffes pro Jahr in
Stunden
time in yard
= 240

ZINSCA = Jahreszinssatz für den Ladungswert
= 0

4.4 Ungleichheitsnebenbedingungen

Durch Ungleichheitsnebenbedingungen werden im Entwurfsmodell Grenzen gesetzt, die folgendermaßen unterteilt werden können:

- a) Begrenzungen aus der Gültigkeit von Formeln
- b) Begrenzungen aus dem Einsatzgebiet des Schiffes (Abmessungsbeschränkungen)
- c) Begrenzungen aufgrund von Sicherheitsvorschriften
- d) Begrenzungen zur Raumaufteilung.

Im Entwurfsmodell kann mit Hilfe der Anweisung "Größer gleich" und "Kleiner gleich" jede Ungleichheitsnebenbedingung aus

freien und abhängigen Unbekannten und sonstigen Variablen gebildet werden. Für den Fall, daß aufgrund der gesetzten Nebenbedingungen keine Lösung existieren kann, bricht das Programm nach erfolgloser Startpunktsuche ab. Im vorliegenden Entwurfsmodell wird mit folgenden Nebenbedingungen gerechnet:

- Zu a)
- LBP/B \leq 10
 - LBP/B \geq 5 Widerstandsfunktion (Hottrop)
 - CB/CM \leq 0.9 Widerstandsfunktion (LAP)
 - PITCH \leq 1.4 Propeller, KT, KQ nach
 - PITCH \geq 0.5 Wageninger B-Serie
 - AEAO \leq 1.0
 - AEAO \geq 0.35

$$\frac{V \cdot (1 - WF)}{REVPRO \cdot DIAM} \leq \frac{PITCH}{DIAM}$$

Mit der letzten Bedingung soll der Bereich $KQ < 0$, $KT < 0$ von der Suche ausgeschlossen werden.

Zu b)

Die Abmessungsbegrenzungen werden mit Ober- und Untergrenzen eingegeben. Im praktischen Entwurf sind es meist die Obergrenzen, die zuerst erreicht werden. Zur Vermeidung unrichtiger Ergebnisse wurden Untergrenzen gesetzt, um mögliche negative Abmessungen und deren Folgen bei der Optimierung zu vermeiden.

Länge: $50 \leq LBP \leq LBP_{MAX}$

Breite: $10 \leq B \leq B_{MAX}$

Tiefgang: $4 \leq TT \leq TT_{MAX}$

Seitenhöhe: $5 \leq D \leq D_{MAX}$

Anzahl der Containerlagen auf Deck

$$TIER \leq TIER_{MA}$$

Leistungsbegrenzung $PB_{MIN} \leq PB \leq 60\ 000$.

PB_{MIN} sollte nicht kleiner als etwa 4 000 kW gesetzt werden (siehe Abschnitt 4.3.1, Abb. 8, Maschinenraumlänge).

Wird mit dem Propellerdurchmesser als freie Unbekannte gerech-

net, so muß gesetzt werden:

$$\text{DIAM} \leq \text{DIAMTT} \cdot \text{TT}$$

Eingabe:

LBP_{MAX}, B_{MAX}, TT_{MAX}, D_{MAX}, TIER_{MA}, PB_{MIN}

DIAMTT = maximaler Propellerdurchmesser
bezogen auf den Tiefgang
= 0.7

Zu c)

Im Entwurfsmodell wurden folgende Sicherheitsvorschriften berücksichtigt:

Freibord: $D \geq \text{TT} + \text{FREEB}$

(Seitenhöhe größer als Tiefgang + Freibord).

Nach den Regeln des Germanischen Lloyd /26/ soll das Längen-Höhenverhältnis $\text{LBP}/D \leq 14$ (16) sein.

Stabilitätsvorschriften

Die Stabilitätsvorschriften der SBG können eingegeben werden. Die Ungleichheitsnebenbedingungen sind in Abschnitt 2.3 beschrieben.

Ein von der HSVA vorgeschlagenes Stabilitätskriterium kann an Stelle des SBG-Stabilitätskriteriums gesetzt werden. Hier wird von einem Formfaktor C ausgegangen, mit dem die Grenzwerte multipliziert werden. S. Abb. 11.

Die Grenzwerte sind dann:

C · Hebelarm 30°	≥ 0.04 m
C · Maximaler Hebelarm	≥ 0.05 m
C · Hebelarmfläche bis 30°	≥ 0.012 rad m
C · Hebelarmfläche bis 40°	≥ 0.02 rad m
C · Hebelarmfläche zwischen 30° und 40°	≥ 0.007 rad m
C · gesamte Hebelarmfläche	≥ 0.035 rad m

In Kapitel 5 wird untersucht, wie sich verschiedene Stabilitätskriterien auf Schiffparameter und Wirtschaftlichkeit auswirken.

Zu d)

$$W_{BALE} \leq (VOL_{BDB} + VOL_{BST}) \cdot \rho_{HOBAL}$$

Ballastwassermenge \leq Ballastwassertankvolumen
spez. Dichte des Ballastwassers.

Die Überprüfung des gesamten Tankvolumens (Ballast- und Brennstofftanks) kann entfallen, da das Ballastwassertankvolumen sich aus der Differenz zwischen dem vorhandenen Tankvolumen und dem Brennstofftankvolumen ergibt.

$$C = \frac{T \cdot D'}{B} \sqrt{\frac{T}{KG}} \frac{C_B}{C_W} \sqrt{\frac{100}{L}}$$

mit $L \geq 100$

$KG \geq T$

$$D' = D + d \frac{2b - B}{B} \cdot \frac{\sum l_i}{L_i}; b \geq \frac{B}{2}$$

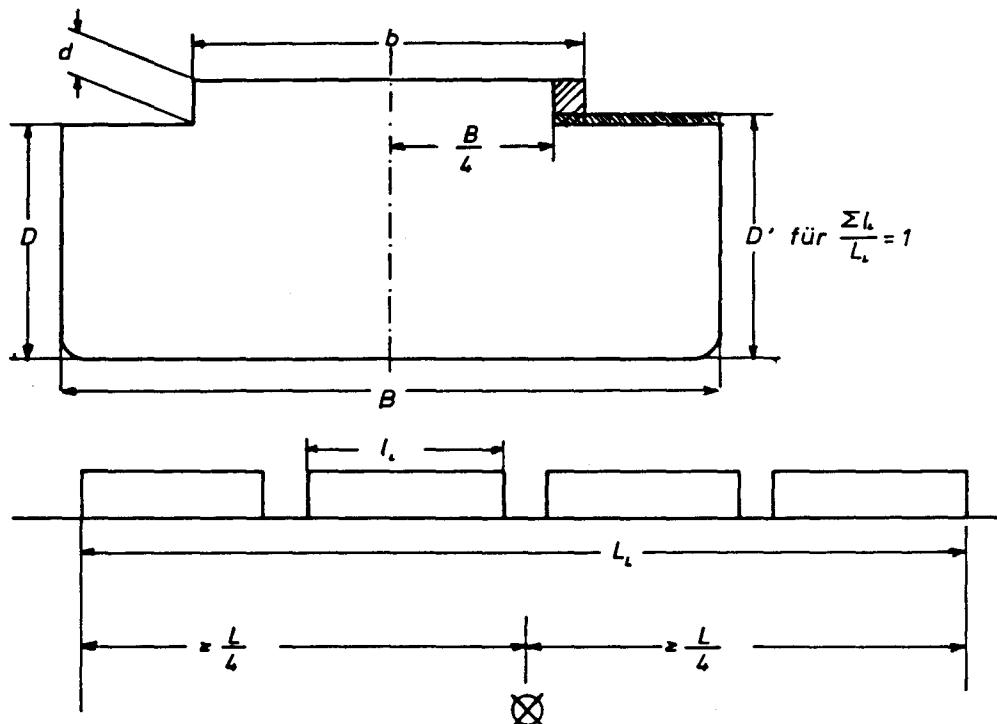


ABB. 11: EIN STABILITÄTSKRITERIUM, VORGESCHLAGEN VON DER HAMBURGISCHEN SCHIFFBAU-VERSUCHSANSTALT

5. Ergebnisse und Auswertung

In diesem Kapitel werden die mit dem Entwurfsmodell Containerschiff durchgeführten Berechnungen vorgestellt und beurteilt. Dabei werden einige Teile aus dem Vortrag "Der Einfluß von Anfangsstabilität und Stabilitätsumfang auf Wirtschaftlichkeit und Hauptabmessungen von Containerschiffen" /23/ des Verfassers übernommen.

Bei den Optimierungsergebnissen zeigte sich, daß bei praktisch gleichen erforderlichen Frachtraten Schiffe unterschiedliche Hauptabmessungen haben können. Für Optimierungsprobleme dieser Art gilt generell, daß die Zielfunktion in der Umgebung des Optimums praktisch unveränderlich ist, so daß mäßige Abweichungen von der optimalen Parameterkombination nur sehr geringen Einfluß auf den Wert der Zielfunktion haben. Der Verlauf der Zielfunktionen ist bei den hier behandelten Problemen flach, wie aus den Abbildungen 17 bis 72 zu ersehen ist.

In die Zielfunktion "Erforderliche Frachtrate" (RFR) gehen sowohl Bau- als auch Betriebskosten ein; sie haben etwa die gleiche Größenordnung, verhalten sich aber entgegengesetzt: sinken die Baukosten durch eine kürzere, völligere Bauweise, so steigen die Betriebskosten auf Grund der erforderlichen höheren Antriebsleistung des Schiffes. In der Nähe des Optimums heben sich die Veränderungen gerade auf, so daß die RFR praktisch konstant bleibt.

In Tabelle III sind einige Beispiele aufgeführt für ein 1500 TEU-Schiff mit 9 m/s Schiffsgeschwindigkeit. Eine aktive Entwurfsgrenze (Ungleichheitsnebenbedingung) war jedesmal der Hebelarmumfang von 50° (Hebelarmumfang $\geq 50^{\circ}$).

Als aktive Entwurfsgrenze wird die Ungleichheitsnebenbedingung bezeichnet, an deren Grenze das Optimum gefunden wurde. Es zeigt sich, daß kombinierte Veränderungen des Längen-Breiten-Verhältnisses und der Völligkeit praktisch identische Frachtraten ergeben. Vergleicht man die Zeilen 3 bis 5 miteinander, so ist zu erkennen, daß bei etwa gleicher Schiffslänge und

Tabelle III

1500 TEU-Schiff, Schiffsgeschwindigkeit 9 m/s, Hebelarmumfang = 50° (keine containergerechten Abmessungen)

Zeilen-Nr.	RFR DM/TEU	LBP m	B m	D m	TT m	CB	CTHLD	TIER	WBALE t	GM m	POWER kW	PSHIP Mill.DM	CSERVI Mill.DM
1	1218.4	170.88	32.58	13.57	8.84	0.662	622	4.05	1446	2.345	13 257	88.731	31.494
2	1216.3	170.69	32.54	14.54	8.62	0.662	681	3.78	394	1.821	12 919	88.941	31.392
3	1221.4	187.09	32.28	12.92	8.33	0.635	631	3.66	292	2.792	12 061	93.670	30.952
4	1221.2	185.88	30.05	13.38	8.59	0.700	659	3.81	1893	1.474	12 701	91.188	31.272
5	1219.2	185.60	29.92	13.56	8.42	0.712	678	3.74	1524	1.345	12 590	90.957	31.233
6	1222.5	196.95	28.24	14.07	8.46	0.727	727	3.48	1915	0.488	12 077	93.212	31.050
7	1222.4	196.25	28.24	13.79	8.60	0.726	705	3.60	2409	0.608	12 232	92.843	31.097
8	1221.8	174.2	34.84	12.45	8.49	0.609	570	3.95	0	4.367	12 776	91.629	31.236
9	1221.6	167.13	34.84	13.01	8.69	0.624	582	4.08	427	3.863	13 310	89.544	31.500

Schiffsbreite von 32.28 bis 29.92 m der Völligkeitsgrad von 0.635 bis 0.712 sich verändert. Der Baupreis sinkt mit zunehmender Völligkeit und die Betriebskosten steigen. In den Zeilen 8 und 9 erscheinen bei festgehaltener Schiffsbreite unterschiedliche Schiffslängen (174.2 m und 167.1 m). Die Völligkeit des Schiffes steigt von 0.609 auf 0.624 bei gleicher RFR.

Weiter zeigt sich in Zeile 1 und 2 und in Zeile 6 und 7, daß die Seitenhöhe durch eine Zunahme von Ballastwasser (WBALE) verringert werden kann bei gleichbleibender Länge, Breite und Völligkeit des Schiffes. Durch größere Ballastwassermengen im Doppelboden steigen Anfangsstabilität und Hebelarmumfang; deshalb darf die Seitenhöhe dann geringer sein (keine containergerechten Abmessungen).

Bei größeren Ballastwassermengen steigt der Tiefgang, woraus höhere Betriebskosten resultieren, während die verringerte Seitenhöhe den Baupreis geringfügig verkleinert, solange noch Ballastwassertankvolumen zur Verfügung steht. Das Ballastwassertankvolumen wurde bei den durchgeführten Rechnungen nie voll ausgenutzt.

Breite und Ballastwasser lassen sich ebenfalls gegenseitig substituieren, wie aus den Zeilen 4, 5 und 8 zu erkennen ist. Bei der Optimierung mit verschiedenen Startwerten ergeben sich in anderen Fällen nicht nur gleiche Frachtraten, sondern auch praktisch gleiche Schiffskennwerte. Entscheidend hierfür ist vor allem, welche Ungleichheitsnebenbedingungen "aktiv" sind, d.h. ohne Reserve gerade eben noch von dem berechneten Optimalschiff erfüllt werden. Solange die Anzahl der Containerstapel pro Bay RNB und die Anzahl der Container pro Stapel RND als freie Unbekannte gesetzt wurden, war immer der Stabilitätsumfang die aktive Bedingung.

Weiter ist in den Abbildungen 17 bis 20 zu erkennen, daß mit abnehmender Zahl der freien Unbekannten die RFR-Kurve über einem variierten Parameter steiler verläuft. Außerdem sind die Werte der Zielfunktion bei der Optimierung um so ungünstiger, je kleiner die Anzahl der freien Unbekannten ist.

Hieran ist klar zu erkennen, daß bei der Variation eines Parameters, wie es bei Entwürfen ohne Rechnerhilfe üblich ist, sich ein eindeutiges Optimum ergibt. Dieses Optimum ist nur durch Zufall identisch mit dem globalen Optimum bei der Optimierung mit mehreren freien Unbekannten.

5.1 Abhängigkeit der erforderlichen Frachtrate von Schiffsgröße und Schiffsgeschwindigkeit

In diesem Abschnitt werden Schiffe mit folgenden Betriebsdaten untersucht. (Die in Abschnitt 5.1 und 5.2.1 verwendeten Eingabedaten und Entwurfsbedingungen unterscheiden sich durch die nachfolgend aufgezählten Punkte von den Angaben im Abschnitt 4.3. Die Berechnungen sind aus der Arbeit des Verfassers /23/ entnommen):

Entfernung zwischen den 2 ange- laufenen Häfen	3 000 Seemeilen
Aktionsradius	10 000 Seemeilen
Werftzeit	10 Tage jährlich
Abschreibungszeitraum	10 Jahre
Baukostenverzinsung	10%
Benötigte Leistung für Dienst- geschwindigkeit	80% der Motor-Nenn- leistung
Schiff ist stets voll beladen	
Stabilitätsumfang der Hebel- armkurve	50°, 60° und 70°
Anfangsstabilität GM	≥ 0.4 m
Widerstandsverfahren nach Holtrop/Mennen	/31/

Durch Variation von Schiffsgeschwindigkeit und der Transportkapazität des Schiffes in TEU wird in Abbildung 12 gezeigt, welchen Einfluß Schiffsgeschwindigkeit und Schiffsgröße auf die erforderliche Frachtrate haben.

Eingezeichnet wurde auch die zugehörige Jahrestransportkapazität. Es ergaben sich wesentlich kleinere optimale Geschwindigkeiten, als in der Praxis gefahren werden.

Einer von mehreren Gründen hierfür dürfte sein, daß bei der Berechnung keine Zinskosten für den Wert der Ladung berücksichtigt wurden; auch wenn diese Kosten nicht vom Betreiber des Schiffes bezahlt werden, sondern vom Eigentümer der Ladung, führt dies über die Konkurrenz verschiedener Reeder untereinander indirekt zu einer Berücksichtigung solcher Kosten in der Praxis und damit zu höheren Geschwindigkeiten (siehe hierzu Kapitel 3).

Der Einfluß von verschiedenen Ladungswerten auf die optimale Schiffsgeschwindigkeit von Massengutschiffen ist in /42/ beschrieben (Abb. 13, Original in englisch).

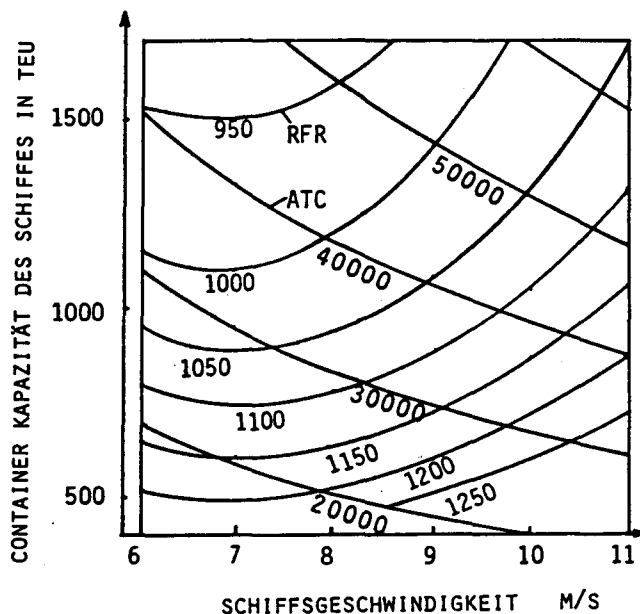


ABBILDUNG 12

ABB. 12: ERFORDERLICHE FRACHTRATE RFR UND JAHRESTRANSPORTKAPAZITÄT ATC VON CONTAINERSCHIFFEN, ABHÄNGIG VON SCHIFFSGRÖSSE UND GESCHWINDIGKEIT FÜR RFR-OPTIMIERTE ENTWÜRFE

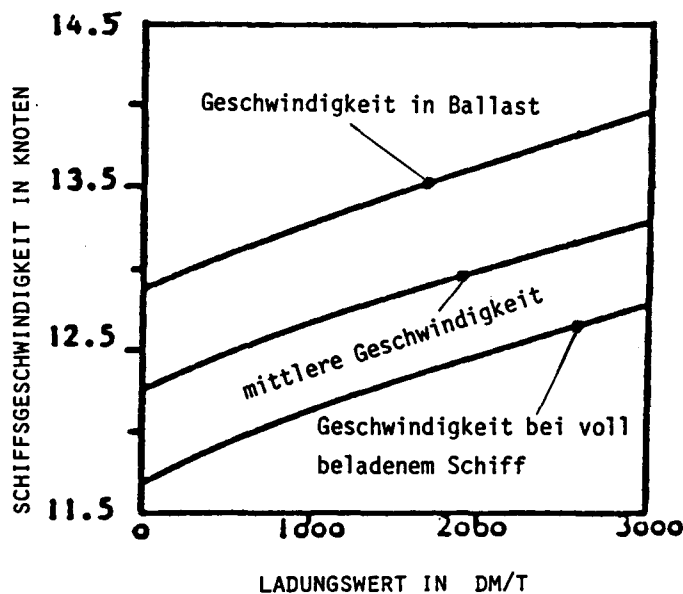


ABBILDUNG 13

ABB. 13: EINFLUSS DES LADUNGSWERTES AUF DIE OPTIMALE DIENSTGESCHWINDIGKEIT EINES 70 000-TDW-BULK CARRIERS

5.2 Die Stabilität des Schiffes bei der Optimierung

Bei der Optimierung mit dem Entwurfsmodell "Containerschiff" zeigte sich, daß die Schiffsstabilität entscheidenden Einfluß auf den Entwurf ausübt. In Abschnitt 5.2.1 wird der Einfluß des Stabilitätsumfanges auf die RFR bei RFR-optimierten Schiffen und bei baukostenoptimalen Schiffen aufgezeigt. Ein Vergleich zwischen dem Stabilitätskriterium der See-Berufsgenossenschaft (SBG) und einem von der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt (HSVA) vorgeschlagenen Stabilitätskriterium wird in Abschnitt 5.2.2 vorgenommen. Der Einfluß der Anfangsstabilität auf die Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen wird in Abschnitt 5.2.3 behandelt.

5.2.1 Einfluß des Stabilitätsumfanges auf RFR bei baukosten- und RFR-optimalen Schiffen

Für 1500-TEU-Schiffe wurden verschiedene Stabilitätsumfänge untersucht. Dazu wurde der Hebelarmumfang zwischen 50° und 70° variiert für verschiedene Schiffsgeschwindigkeiten. Als Zielfunktion wurde entweder die erforderliche Frachtrate RFR (durchgezogene Linie) oder die Baukosten (gestrichelte Linie) eingesetzt. Die übrigen Entwurfsbedingungen entsprechen denen von Abschnitt 5.1 (nach /23/).

In Abbildung 14 ist zu erkennen, daß die erforderliche Frachtrate mit höherem Stabilitätsumfang steigt, da weniger Decksladung gefahren werden kann. Dadurch muß das Schiff größer gebaut werden. Die erforderliche Frachtrate von RFR-optimalen Schiffen unterscheidet sich von der erforderlichen Frachtrate von baukostenoptimalen Schiffen nur bei höheren Geschwindigkeiten. Die erforderliche Leistung steigt mit etwa der 3. ... 4. Potenz der Schiffsgeschwindigkeit. Entsprechend steigen die Brennstoffverbräuche und Brennstoffkosten. Bei RFR-optimierten Schiffen gewinnen die Brennstoffkosten innerhalb der Betriebskosten bei steigender Schiffsgeschwindigkeit an Bedeutung, so daß durch entsprechende Kombinationen der freien Unbekannten

versucht wird, diese Kosten unter Berücksichtigung der Baukosten zu senken. Beim baukostenoptimalen Schiff hingegen wird das Optimum nur zwischen den Kosten der Antriebsanlage und den übrigen Schiffskosten gesucht.

Im Vergleich zu RFR-optimierten Schiffen haben baukostenoptimierte Schiffe bei größeren Geschwindigkeiten eine

- geringere Länge
- größere Völligkeit
- größere Antriebsleistung
- höhere Betriebskosten
- und natürlich einen geringeren Baupreis.

Daß die Kurven der baukosten- und RFR- optimalen Schiffe bei Schiffsgeschwindigkeiten von 6 und 7 m/s praktisch identisch sind, liegt daran, daß bei beiden Zielfunktionen die gesetzte Grenze des Völligkeitsgrades der Verdrängung ($CB = 0.8$) erreicht wurde. Die Baukosten und Betriebskosten RFR- und baukostenoptimaler Schiffe sind in Abb. 15 gezeigt.

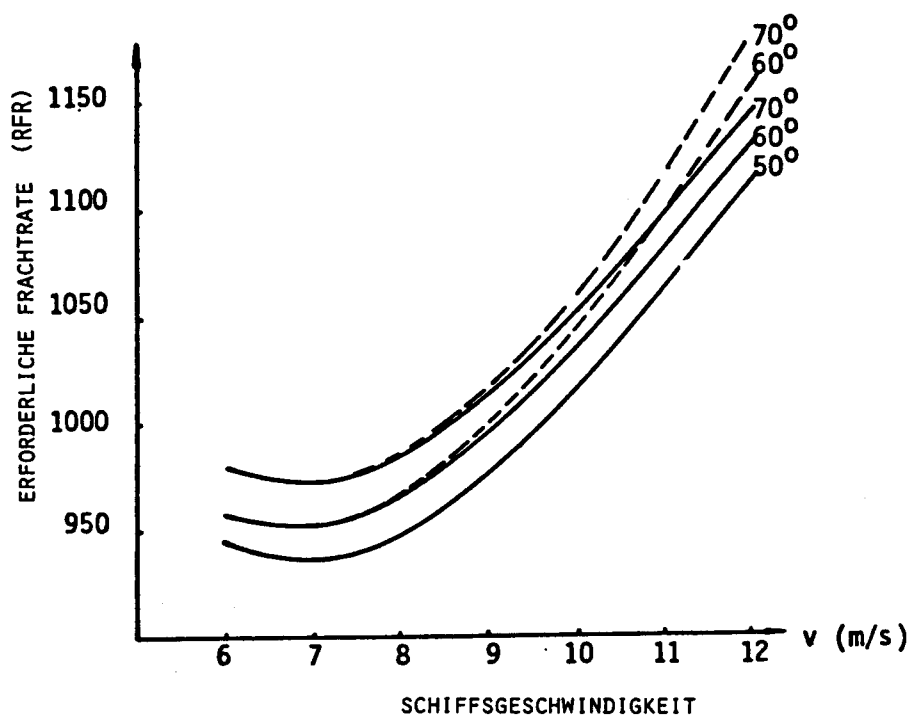


Abb. 14: ERFORDERLICHE FRACHTRATE RFR VON 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFEN, OPTIMIERT NACH RFR (DURCHGEZOGENE LINIE) ODER BAUKOSTEN (GESTRICHELTE LINIE), ABHÄNGIG VON DER SCHIFFSGESCHWINDIGKEIT UND DEM UMFANG DER HEBELARMKURVE

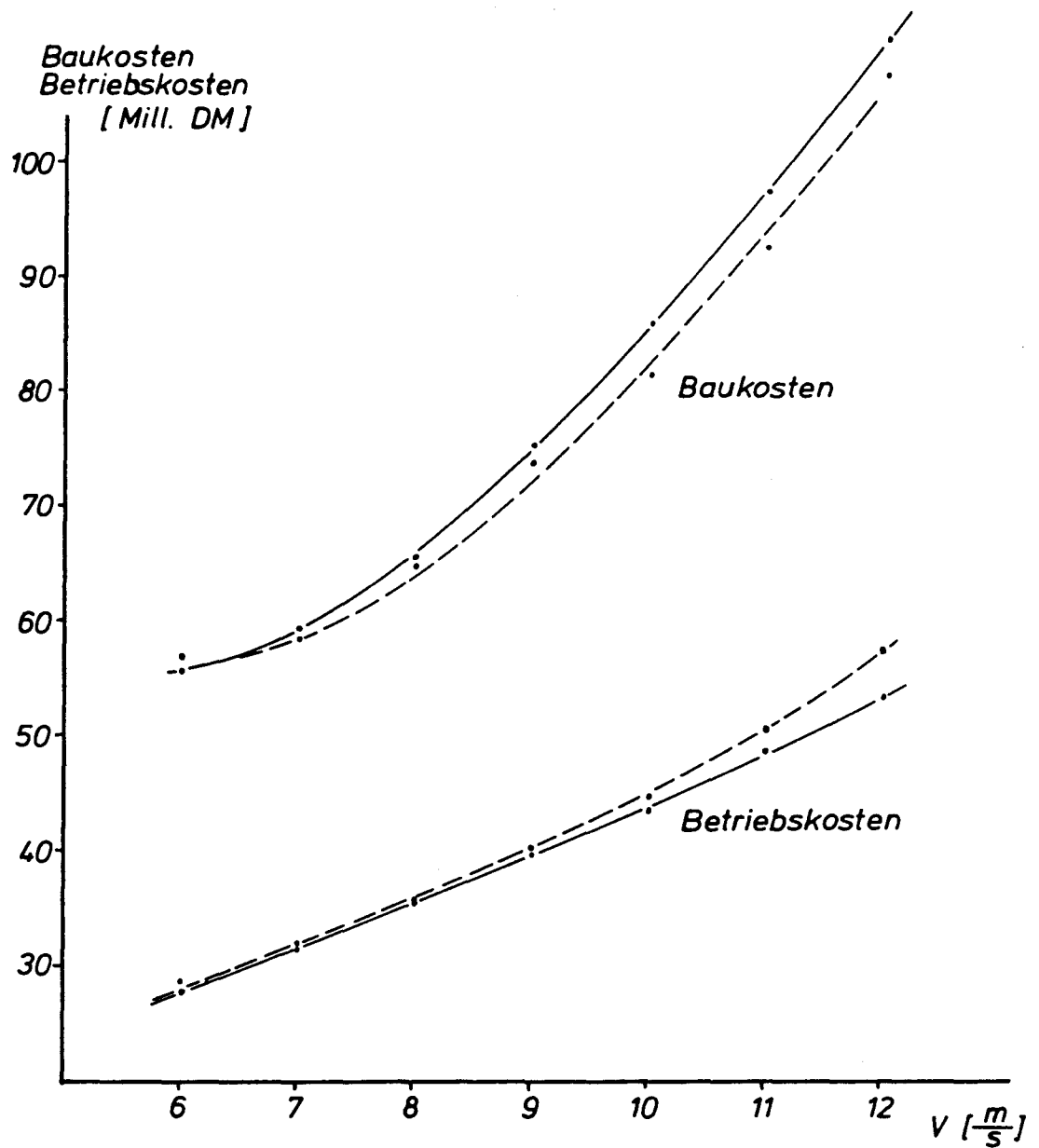


Abb. 15: BAU- UND BETRIEBSKOSTEN FÜR EIN 1500-TEU-SCHIFF, OPTIMIERT NACH RFR (DURCHGEZOGENE LINIE) ODER BAUKOSTEN (GESTRICHELTE LINIE) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER SCHIFFSGESCHWINDIGKEIT FÜR EINEN HEBELARMUMFANG VON 60°

5.2.2 Vergleich zweier Stabilitätskriterien

In diesem Abschnitt wird gezeigt, wie mit dem Entwurfsmodell "Containerschiff" Vorschläge zu Sicherheitskriterien mit bestehenden Vorschriften verglichen werden können bezüglich der Kosten, nicht aber bezüglich der Sicherheit.

Dazu das folgende Beispiel:

Für die Stabilität des Schiffes müssen die Richtlinien der Seeb Berufsgenossenschaft (SBG) eingehalten werden. Zur Zeit bestehen Überlegungen, diese Richtlinien zu ändern. Die Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt (HSVA) stellte nach mehreren Kenterversuchen mit Schiffsmodellen im Seegang ein neues Stabilitätskriterium auf. Die Auswirkung dieses Stabilitätskriteriums auf gebaute Schiffe läßt sich schnell nachrechnen. Die Frage nach dem optimalen Schiff bei neuen Richtlinien und ein Vergleich mit bestehenden Richtlinien läßt sich ohne Rechnerhilfe nur mit viel Aufwand durchführen.

Im Entwurfsmodell Containerschiff wird mit den Eingabedaten, beschrieben in Abschnitt 4.3, entweder das Stabilitätskriterium der SBG oder das der HSVA als eine Gruppe von Ungleichheitsnebenbedingungen eingegeben und 1500-TEU-Schiffe verschiedener Aufteilung nach RFR optimiert. Das Stabilitätskriterium der SBG ist in Abschnitt 2.3 und der Vorschlag der HSVA in Abschnitt 4.4 beschrieben.

Die Anzahl der Containerstapel pro Bay wurde hierzu von 8 bis 11 und die Anzahl von Container pro Stapel unter Deck von 5 - 8 variiert. Damit sind alle möglichen 1500-TEU-Containerschiffe erfaßt.

Unabhängig vom Stabilitätskriterium zeigt sich, daß die optimale Schiffsbreite bei 9 bis 10 Containerstapel pro Bay liegt. Die Zielfunktion erreicht ihr Optimum bei etwa 5 Containern pro Containerstapel (RND).

In Abbildung 16 sind Kurven für 9 und 10 Containerstapel pro Bay (RNB) ($B = 29.56$ und 32.2 m) für beide Kriterien einge-

zeichnet. Die jeweilig angesprochene Ungleichheitsnebenbedingung wird in Tabelle IV angegeben.

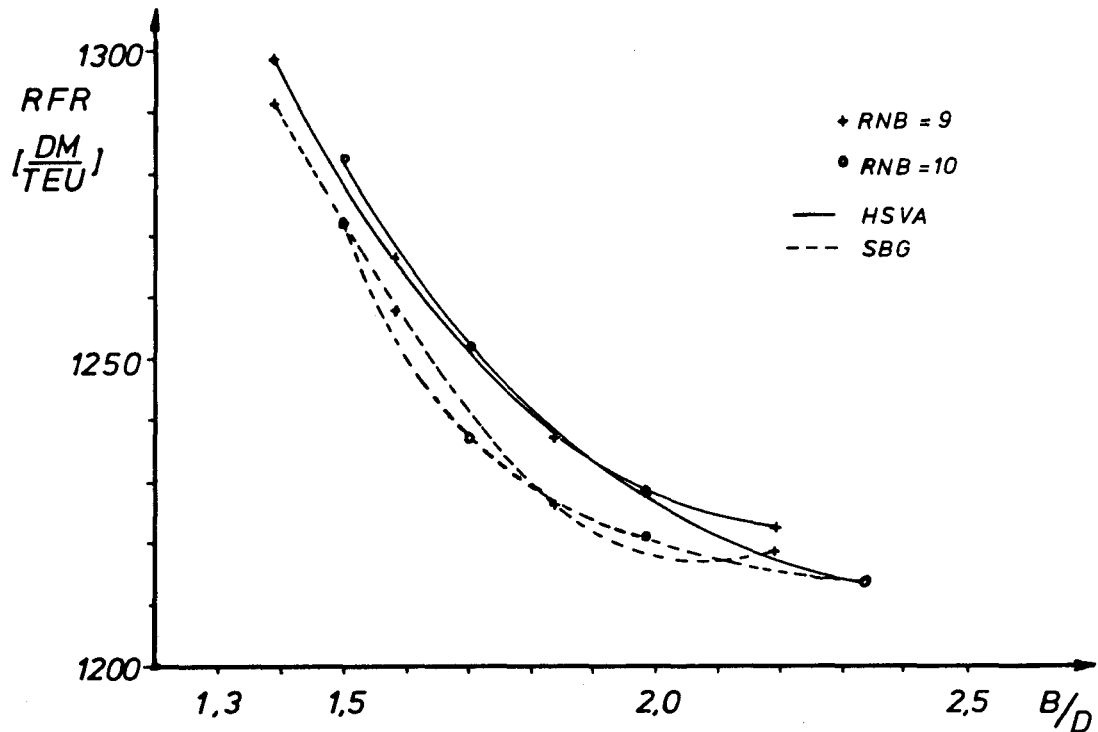


ABB. 16: VERGLEICH ZWEIER VERSCHIEDENER STABILITÄTSKRITERIEN AUF DIE ERFORDERLICHE FRACHTRATE

Der Vergleich zeigt, daß durch das vorgeschlagene Stabilitätskriterium der HSVA bei niedrigen Seitenhöhen (= RND = 5 und 6) die Fläche unter der Hebelarmkurve das entscheidende Kriterium darstellt. Der Hebelarmumfang wird dabei größer als 50° , mit Ausnahme des breiten flachen Schiffes (RNB = 10, RND = 5). Bei größerer Seitenhöhe (RND = 7 und 8) ist die Hebelarmfläche bis 30° das entscheidende Kriterium. Bei RNB = 9 und RND = 7 beträgt die Anfangsstabilität nur 0.08 m. Eine Grenze für die Anfangsstabilität muß nach Ansicht des Verfassers in das HSVA-Stabilitätskriterium eingeführt werden, damit Schiffe mit solch geringem GM und der daraus resultierenden sehr langen Rollperiode vermieden werden.

Beim SBG-Stabilitätskriterium ist der Hebelarmumfang für geringe Seitenhöhen entscheidend (RND = 5 und 6). Beim schmalen Schiff (RNB = 9, B = 29.56 m) wird die Anfangsstabilität zum entscheidenden Kriterium (RND=7 und 8) und beim breiten Schiff (RNB = 10) die Hebelarmfläche bis 30°.

Im Anhang sind in Abbildungen 21 bis 26 die Schiffsdaten aufgetragen.

Tabelle IV

Anzahl Containerstapel per Bay →	SBG - Stabilitätskriterium		Vorschlag HSVA - Stabilitätskriterium	
	RNB = 9	RNB = 10	RNB = 9	RNB = 10
Anzahl Container pro Stapel ↓				
RND = 5	RFR = 1218.9 Hebelarmumfang = 50°	RFR = 1214.3 Hebelarmumfang = 50°	RFR = 1222.1 gesamte Hebelarmfläche Hebelarmumfang = 51°	RFR = 1213.7 gesamte Hebelarmfläche Hebelarmumfang = 48.8°
RND = 6	RFR = 1226.7 Hebelarmumfang = 50°	RFR = 1221.1 Hebelarmumfang = 50°	RFR = 1237.5 gesamte Hebelarmfläche Hebelarmumfang 55.2°	RFR = 1228.9 gesamte Hebelarmfläche Hebelarmumfang 53.0°
RND = 7	RFR = 1257.6 Anfangsstabilität = 0.15 m Hebelarmumfang 60.4°	RFR = 1238.0 Hebelarmfläche bis 30° = 0.055 m rad Hebelarmumfang = 51.7°	RFR = 1266.2 Hebelarmfläche bis 30° Hebelarmumfang = 62.7° Anfangsstabilität = 0.08 m	RFR = 1251.5 Hebelarmfläche bis 30° Hebelarmumfang = 58.8°
RND = 8	RFR = 1291.0 Anfangsstabilität = 0.15 m Hebelarmumfang 70°	RFR = 1272.1 Hebelarmfläche bis 30° Hebelarmumfang 70°	RFR = 1298.3 Hebelarmfläche bis 30° Hebelarmumfang 70°	RFR = 1282.2 Hebelarmfläche bis 30° Hebelarmumfang 70°

In der zweiten Zeile jeder Variation ist angegeben, an welcher Ungleichheitsnebenbedingung die Suche nach dem Optimum beendet wurde.

5.2.3 Einfluß der Anfangsstabilität bei der Optimierung

Aus Tabelle IV ist ersichtlich, daß erst mit zunehmender Seitenhöhe die Anfangsstabilität zur entscheidenden Ungleichheitsnebenbedingung wird. Es ist aus Tabelle IV weiter zu ersehen, daß bei der Optimierung mit RNB und RND als freie Unbekannte (= Schiffsbreite und Seitenhöhe) die Anfangsstabilität keine Rolle spielt. Erst wenn der Benutzer bestimmte Werte für RNB und RND vorgibt, wie in Tabelle IV geschehen, kann die Anfangsstabilität zur entscheidenden Ungleichheitsnebenbedingung werden. In Abb. 32 bis 35 wird untersucht, welchen Einfluß eine Verschiebung des Ladungsschwerpunktes ergibt. Der Ladungsschwerpunkt der Container an Deck und im Laderaum wurde von -2 m bis +2 m vom Ausgangswert variiert, wie es bei der Stauung bei inhomogener Masseverteilung bei den Containern vorkommen kann. Auch hierbei blieb die entscheidende Ungleichheitsnebenbedingung der Stabilitätsumfang.

In Abb. 47 bis 50 wurde eine Breitenvariation durchgeführt. Hier ist zu erkennen, daß die Breite in einem Bereich von ca. 5 m ohne großen Einfluß auf die RFR verändert werden kann. In die Anfangsstabilität geht (über \overline{BM}) die Breite quadratisch ein. Somit läßt sich die Anfangsstabilität ohne RFR-Erhöhung einhalten. Mit zunehmender Seitenhöhe wird der geforderte Stabilitätsumfang übererfüllt, so daß die Anfangsstabilität oder die Fläche unter der Hebelarmkurve bis 30° Neigung zur aktiven Ungleichheitsnebenbedingung wird.

Damit läßt sich die in Abschnitt 1.4 gestellte Frage wie folgt beantworten:

Bei der Optimierung mit freier Schiffslänge (\cong RNL), Breite (\cong RNB) und Seitenhöhe (\cong RND) ist der Stabilitätsumfang die entscheidende Begrenzung.

Die Aussage, daß Breite und Seitenhöhe optimal sind, wenn die vorgegebene Mindest-Querstabilität GM gerade erreicht ist /5/, gilt nur für Schiffe, die auf Grund von Breite und Seitenhöhe den geforderten Stabilitätsumfang übererfüllen und die Anfangs-

stabilität als aktive Ungleichheitsnebenbedingung haben.

5.3 Auswirkungen schiffsbetrieblicher Maßnahmen auf das optimale Schiff

Für 1500-TEU-Schiffe mit Eingabedaten entsprechend Abschnitt 4.3 und dem SBG-Stabilitätskriterium werden in diesem Kapitel untersucht, welchen Einfluß

- Ballastwasser und Festballast
- inhomogene Stauung der Container
- und die Containermasse

auf Zielfunktion und Schiffparameter haben.

5.3.1 Ballastwasser und Festballast

Ballastwasser wird im Schiffsbetrieb benötigt, um:

- Ballasttiefgang
- die Trimmlage
- die Beanspruchung der Längsfestigkeit des Schiffes
- die Stabilität

innerhalb vorgeschriebener Werte zu halten.

Im Entwurfsmodell "Containerschiff" kann von diesen Einflüssen nur die Stabilität berücksichtigt werden; diese ist auf jeden Fall beim Vorentwurf mit Priorität vor den anderen genannten Einflüssen zu berücksichtigen.

Es soll hier geklärt werden, ob es aus Stabilitätsgründen sinnvoll ist, Ballastwasser an Bord zu nehmen. Durch Ballastwasser vergrößert sich der Tiefgang, woraus ein höherer Schiffswiderstand resultiert, der bei gleicher Schiffsgeschwindigkeit durch höhere Hauptmotorenleistung überwunden werden muß.

Dies führt zu höheren Brennstoffkosten. Auf der anderen Seite wird durch Ballastwasser der Höhenschwerpunkt KG des Schiffes verkleinert, so daß mehr Container an Deck gefahren werden können.

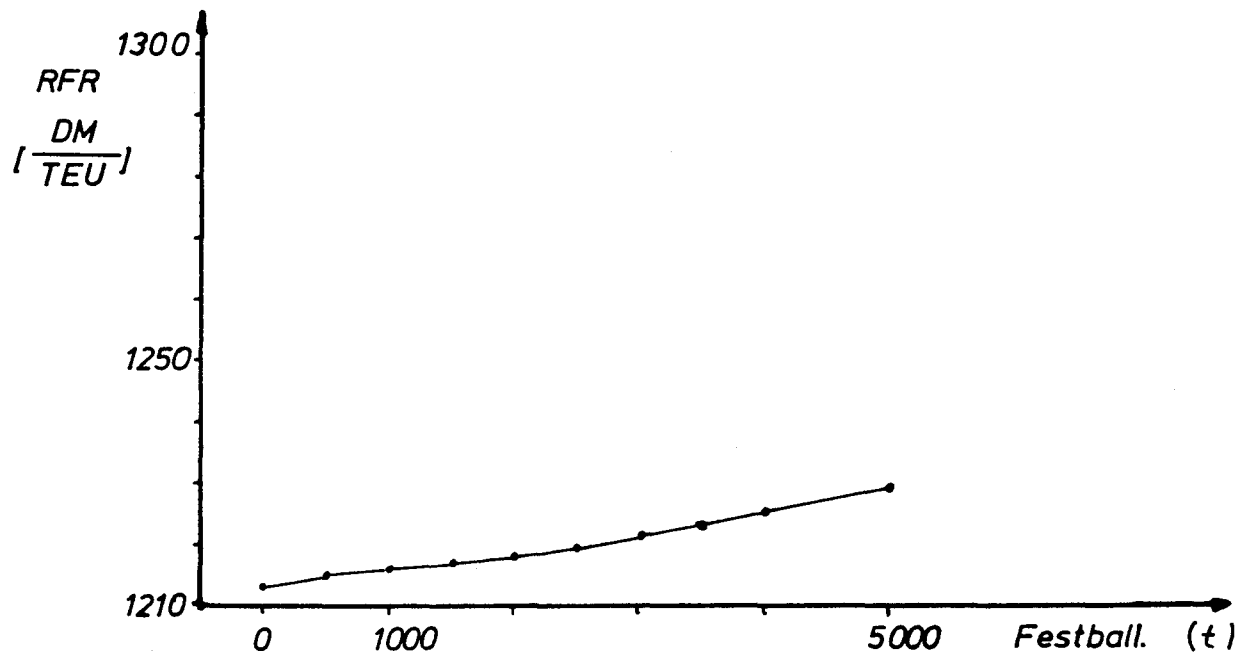
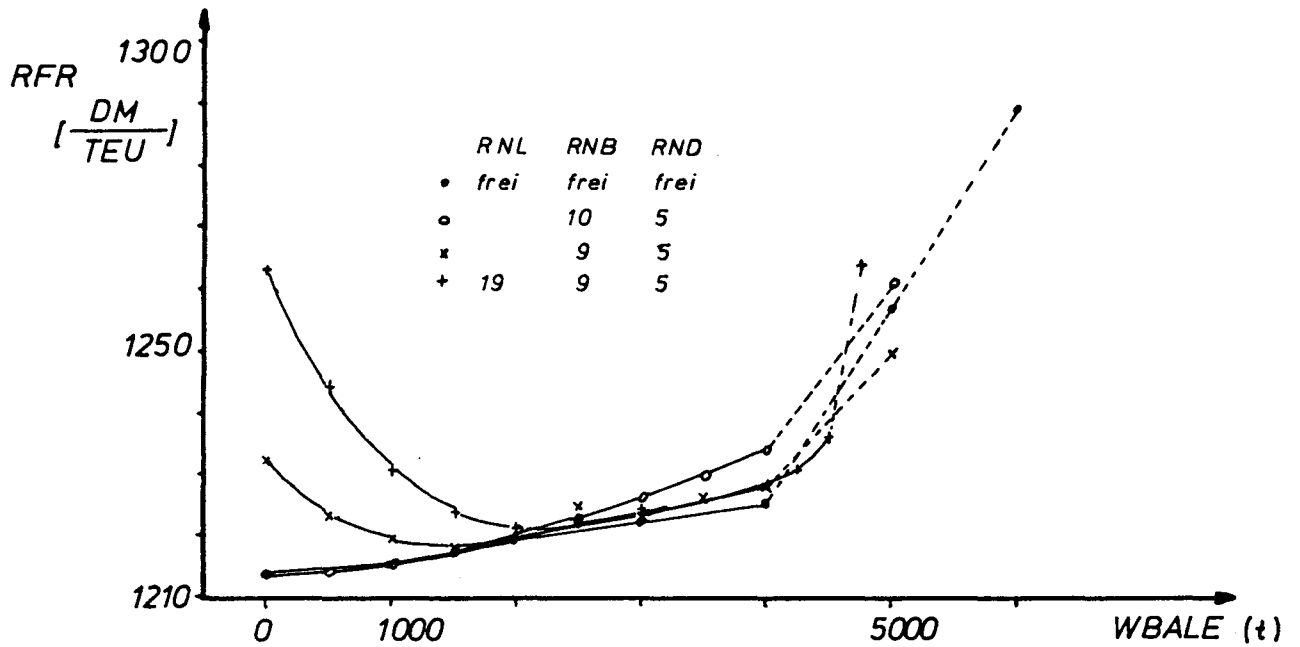


Abb. 17: EINFLUSS VON BALLAST AUF DIE ERFORDERLICHE FRACHTRATE BEI 1500-TEU-SCHIFF, 9 M/S SCHIFFSGESCHWINDIGKEIT, RFR-OPTIMIERT MIT UNTERSCHIEDLICHER ANZAHL FREIER UNBEKANNTEN

Nicht betrachtet werden hier Schiffe, die auf Grund ihres Bugwulstes in einem bestimmten Tiefgangsbereich bei Tiefgangsvergrößerung einen geringeren Schiffswiderstand haben (siehe Abbildung 11 und 12 in Literatur /20/).

Dies wird durch ein Widerstandsverfahren, wie das von Holtrop/Mennen /31/ berücksichtigt, was aber wegen der in Abschnitt 4.3.2 genannten Gründe vermieden wurde.

Die Menge des Ballastwassers wird im Entwurfsmodell "Containerschiff" von 0 bis 5 000 t variiert. Es ergaben sich dabei folgende Ergebnisse (Abbildung 17):

Bei nichtcontainergerechter Breite und Seitenhöhe ist es am besten, kein Ballastwasser zu nehmen. Die Schiffsabmessungen sind so gewählt, daß Ballastwasser überflüssig wird.

Werden 10 Containerstapel pro Bay ($B = 32.2$ m) und 5 Container pro Stapel ($D = 13.62$ m) vorgegeben, so erübrigt sich Ballastwasser bei der hier untersuchten Schiffsgröße von 1500 TEU.

Bei einer Schiffsbreite von 29.56 m und 13.49 m Seitenhöhe ergibt sich für Ballastwasser ein Optimum bei 1500 t. Wird die Anzahl der Containerstapel per Bay auf 9, die Container pro Stapel auf 5 und die Anzahl der Bays auf 19 begrenzt, so ergibt sich eine optimale Ballastwassermenge zu ca. 2 000 t.

Ballastwasser wurde nur in den Doppelboden gepumpt. Der zur Verfügung stehende Tankraum wurde nicht voll ausgenutzt.

Festballast wird nur mit freien Hauptabmessungen untersucht. Die Tendenz entspricht der von Ballastwasser. Die Entscheidung, ob fester Ballast oder Wasserballast wirtschaftlicher ist, hängt vom jeweiligen Schiff und seinem Fahrtgebiet ab.

Schlußfolgerung:

Durch die Mitnahme von Ballastwasser steigt die erforderliche Frachtrate. Durch containergerechte Abmessungen ergibt sich für das schmale Schiff eine optimale Ballastwassermenge bei

einer höheren RFR als beim breiteren Schiff ohne Ballastwasser.

Im Anhang sind in Abbildungen 27 bis 31 die Schiffsdaten aufgetragen.

5.3.2 Inhomogene Stauung der Container

Im Entwurfsmodell "Containerschiff" kann inhomogene Stauung durch Eingabe unterschiedlicher Durchschnittsmassen von Laderaum- und Deckscontainern erreicht werden. Weiter kann über die additiven Berichtigungswerte für die Schwerpunkte der Container im Laderaum und an Deck beliebige Inhomogenität der Containerladung simuliert werden.

In Abbildung 18 ist zu sehen, welchen Einfluß eine Verschiebung des Ladungsschwerpunktes auf die RFR hat. Es ist klar, daß es günstig ist, schwere Container nach unten zu stauen, damit mehr Container an Deck gefahren werden können. Durch

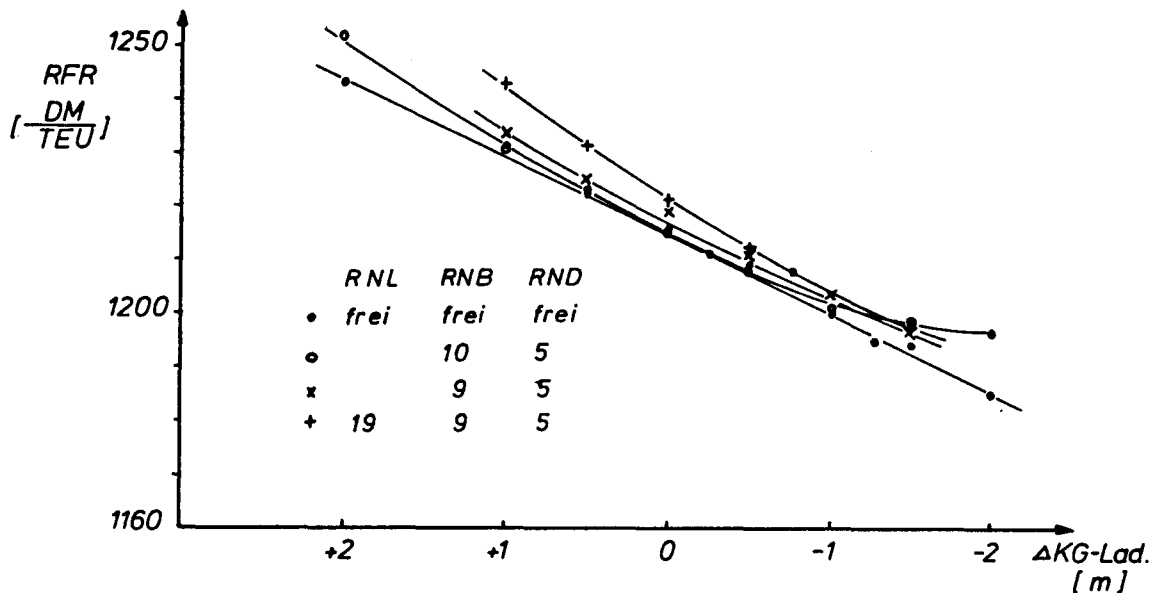


ABB. 18: INHOMOGENE STAUUNG DER CONTAINER, VERSCHIEBUNG DES LADUNGSSCHWERPUNKTES AUSGEHEND VON HOMOGENER BELADUNG FÜR 1500-TEU-SCHIFFE, 9 M/S SCHIFFSGESCHWINDIGKEIT, RFR-OPTIMIERT, VERSCHIEDENE ANZAHL FREIER UNBEKANNTER, DURCHSCHNITTMASSE EINES TEU = 14 T

diese Maßnahme sinkt die RFR, da das Schiff kleiner gebaut werden kann, da mehr Container an Deck gefahren werden können. Dadurch steigt die Anzahl der Containerlagen an Deck. Daher sind folgende Punkte zu beachten:

- Umschlagsgeschwindigkeit der Deckscontainer gegenüber den Laderaumcontainern
- Kosten für die Befestigungen der Container bei mehreren Containerlagen an Deck
- Kosten, die durch höhere Belastung der Luken- deckel entstehen.

Die Umschlagsgeschwindigkeit der Deckscontainer kann im Entwurfsmodell "Containerschiff" eingegeben werden. Für die letzten beiden Punkte wurden mangels Daten keine Kostenfunktionen erstellt, konnten also auch keine Abhängigkeiten gefunden werden.

Schlußfolgerung:

Ausgehend von einem homogen beladenen Schiff kann durch in homogener Stauung der Container mit einer Verschiebung des Ladungsschwerpunktes nach unten die erforderliche Frachtrate bei gleicher Transportkapazität des Schiffes gesenkt werden. Umgekehrt erhöht sich bei einem gegebenen Schiff die Transportkapazität, wenn der Ladungsschwerpunkt gesenkt wird. Daher muß zu der Angabe der Transportkapazität des Schiffes mit angegeben werden, welche Massen und Schwerpunktslagen der Ladung in die Berechnung eingegangen sind, mit weiteren Angaben zu den Vorräten. Fehlen diese Angaben, so kann durch eine Anzahl von Leercontainern an Deck die Transportkapazität des Schiffes gegenüber dem homogen beladenen Schiff scheinbar wesentlich erhöht werden, ohne daß eine wirkliche Steigerung der Transportkapazität vorliegt. Konventionelle Stückgutschiffe werden durch Laderauminhalt und Tragfähigkeit gut beschrieben. Bei Containerschiffen ist es erforderlich, maximale Tragfähigkeit, Verteilung der Ladungsmasse in Höhenrichtung und die sich ergebende maximale Containerzahl anzugeben.

5.3.3 Einfluß der Containermasse

Für ein homogen beladenes Schiff wurde der Einfluß der Containermasse auf die Schiffsabmessungen untersucht. Es zeigt sich, daß mit zunehmender Masse die RFR steigt und das Schiff größer gebaut wird, da weniger Container an Deck gefahren werden können.

Bei freien Schiffshauptabmessungen (Abb. 36) kann durch Längen- und Breitenänderung die höhere Tragfähigkeit erreicht werden. Bei vorgegebener Anzahl der Containerstapel pro Bay und der Anzahl der Container pro Stapel unter Deck (Abbildungen 37 und 38) steigen Schiffslänge und Völligkeitsgrad der Verdrängung stark an (von 0.6 bis 0.745).

Eine Aussage, welche durchschnittliche Containermasse pro TEU für das zu optimierende Schiff angenommen werden soll, kann nur durch Auswerten des Ladungsaufkommens eines Fahrtgebietes und Voraussagen über mögliche Veränderungen in der Zukunft beantwortet werden.

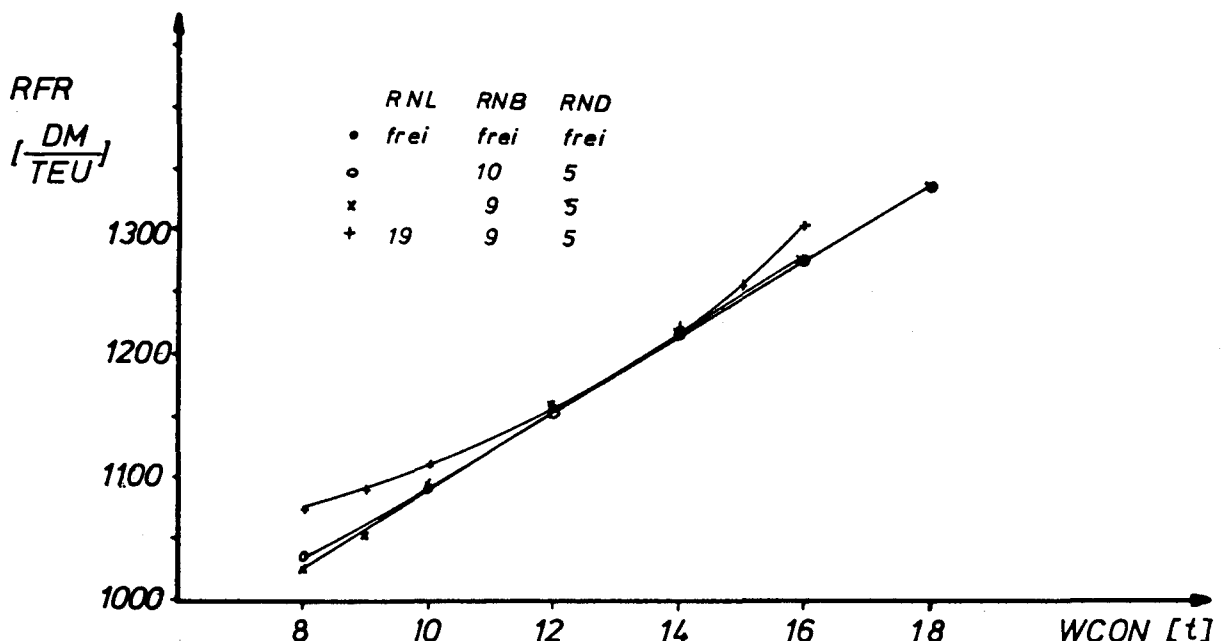


ABB. 19: AUSWIRKUNGEN VERÄNDERTER DURCHSCHNITTLICHER CONTAINERMASSEN PRO TEU AUF RFR-OPTIMIERTE 1500-TEU-SCHIFFE MIT 9 M/S SCHIFFSGESCHWINDIGKEIT

5.4 Verwendung des Entwurfsmodells "Containerschiff" im Vor-
entwurfsstadium

In diesem Abschnitt werden für das Vergleichsschiff, auf das das Entwurfsmodell "Containerschiff" abgestimmt wurde, alternative Entwürfe optimiert. Entsprechend dem Vergleichsschiff werden jetzt 1755-TEU-Schiffe mit einer durchschnittlichen Containermasse von 11.4 t und 11.06 m/s (entspr. 21.5 Knoten) Schiffsgeschwindigkeit gerechnet. Die Eingabedaten und die Ergebnisse für das nichtoptimierte Vergleichsschiff befinden sich als Beispiel für Ein- und Ausgabe der Werte im Anhang.

Wie in Abschnitt 4.3 beschrieben, können die empirischen Formeln des Entwurfsmodells "Containerschiff" mit Hilfe eines Vergleichsschiffes geeicht werden. Für das Vergleichsschiff werden alternative Entwürfe optimiert und in Tabelle V zur Übersicht zusammengestellt. Im Anhang (Abbildungen 40 und 41)

Tabelle V

RNB	RND	5	6	7	8	9
8	RFR		1366.1			
	Hebelarmumfang		60.6			
	Anfangsstabilität		0.15			
	Containerlagen an Deck		3.27			
9	RFR	1213.6	1223.0	1260.1	1308.7	1368.5
	Hebelarmumfang	=50	52.2	64.4	>70	>70
	Anfangsstabilität	1.201	0.15	0.15	0.15	0.32
	Containerlagen an Deck	4.40	3.93	2.82	1.50	0.23
10	RFR	1214.2	1224.4	1241.6	1272.4	1307.8
	Hebelarmumfang	=50	=50	53	65.2	>70
	Anfangsstabilität	2.17	0.75	0.175	0.299	0.241
	Containerlagen an Deck	4.54	4.20	3.36	2.27	1.50
RNB = 10 RND = 7	RNL	19	20	21	22	Vergleichsschiff ohne Optimierung
	RFR	1241.7	1244.1	1256.9	1277.4	1266.9
	Hebelarmumfang	57	53.4	56.4	61	61
	Anfangsstabilität	0.18	0.36	0.77	1.13	0.82
	Containerlagen an Deck	3.36	3.04	2.65	2.33	3.02

	RFR DM/TEU	LBP m	B m	D m	TT m	CB	CTHLD	TIER	WBALE t	GM m	Hebelarm- umfang	POWER kW	PSHIP Mill.DM	CSERVI Mill.DM
1	1266.9	202.39	32.20	18.85	9.38	0.600	1006	3.02	2042	0.82	61°	24 483	122.689	43.015
19-10-7	1241.7	194.16	32.20	18.85	9.34	0.603	960	3.36	1340	0.18	57°	24 599	117.482	42.519
20-10-7	1244.1	202.68	32.20	18.85	9.13	0.589	1001	3.04	524	0.36	53.4°	23 614	121.086	42.159
21-10-7	1256.9	210.58	32.00	18.85	8.82	0.591	1066	2.65	0	0.77	56.4°	23 264	125.601	42.164
22-10-7	1277.4	218.72	32.00	18.85	8.69	0.592	1124	2.33	0	1.23	61°	23 385	130.995	42.409
2	1212.8	207.08	30.30	14.12	9.30	0.623	690	4.42	2893	1.10	≈50°	23 411	115.416	41.443

1 Vergleichsschiff ohne Optimierung berechnet.

2 Vergleichsschiff mit Optimierung berechnet. Freie Unbekannte: RNL, RNB, RND, RNB, RND, CB, DIAM, WBALE; RFR-optimiert.

20-10-7 Bedeutet: RNL = 20, RNB = 10, RND = 7. Freie Unbekannte: CB, DIAM, WBALE; RFR-optimiert.

sind die Ergebnisse dieser Optimierung für 9 und 10 Containerstapel pro Bay und verschiedene Seitenhöhen aufgetragen.

Es zeigt sich, daß die geringste erforderliche Frachtrate bei nicht containergerechter Abmessung und bei der niedrigsten Seitenhöhe bei containergerechter Breite und Seitenhöhe erreicht wird. Bei containergerechter Abmessung steigt mit zunehmender Seitenhöhe, entsprechend der Anzahl der Container pro Stapel unter Deck, die erforderliche Frachtrate RFR, wobei sie beim Schiff mit 9 Containerstapel per Bay stärker ansteigt. Mit steigender Seitenhöhe wird natürlich die Anzahl der Containerlagen an Deck kleiner.

Ein Reeder kann mit Hilfe der Tabelle V und den Abbildungen 40 und 41 schneller entscheiden, mit welchen Parametern er sein Schiff entwerfen lassen will.

Unter der Annahme - wie beim Vergleichsschiff - einer Breite von 32.2 m (RNB = 10) und einer Seitenhöhe von 18.85 m (RND = 7) können weitere freie Unbekannte als Eingabedaten behandelt werden. In Tabelle VI wird gezeigt, welche Auswirkungen auf RFR und die Schiffsdaten sich ergeben, wenn die Anzahl der Containerbays variiert wird.

Der Unterschied in der RFR beim nichtoptimierten Vergleichsschiff und den optimierten alternativen Entwürfen ist darauf zurückzuführen, daß die Ergebnisse für die Unbekannten besser zueinander passen.

Mit dem Entwurfsmodell "Containerschiff" kann schnell eine Vielzahl von optimierten Vorentwürfen auf eine Reedereianfrage erstellt werden. Reeder und Werft erhalten somit schnell wirtschaftliche und technische Daten für ein Projekt.

5.5 Einfluß der Maschinenleistung auf den Baupreis und die Betriebskosten

Für die in Abschnitt 4.3 beschriebenen Eingabedaten wird hier der Einfluß der Maschinenleistung auf ein 1500-TEU-Container-

schiff aufgezeigt, das eine Breite von 32.2 m, eine Seitenhöhe von 13.62 m und eine Dienstgeschwindigkeit von 9 m/s hat.

Mit der erforderlichen Leistung sind direkt die Brennstoffkosten verbunden. In Abbildung 20 ist der Verlauf der Brennstoffmenge pro Seetag, der Baukosten und der erforderlichen Frachtraten für 1500-TEU-Containerschiffe aufgetragen. Gesamtwirtschaftlich, d.h. für Reederei und Werft zusammen, also unter Berücksichtigung von Bau- und Betriebskosten, liegt das Optimum bei etwa 10000 kW Antriebsleistung. Wenn der Preis, den die Werft für das Schiff erzielen kann, nicht von der Antriebsleistung oder vom Brennstoffverbrauch abhängt, hat die Werft das Bestreben, der Reederei das billigere, weil kürzere und völligere Schiff von etwa 11200 kW Antriebsleistung anzubieten. Für die Reederei ist dieses Schiff ungünstiger, weil es wegen gleicher Tragfähigkeit und Geschwindigkeit auch gleiche Frachteinnahmen wie das 10000 kW-Schiff erzielt, dafür aber mehr Brennstoff verbraucht. Selbst wenn die Werft dieses Schiff entsprechend den geringeren Baukosten billiger liefert, wäre es für die Reederei - wie die höhere RFR zeigt - ungünstiger als das 10000 kW-Schiff.

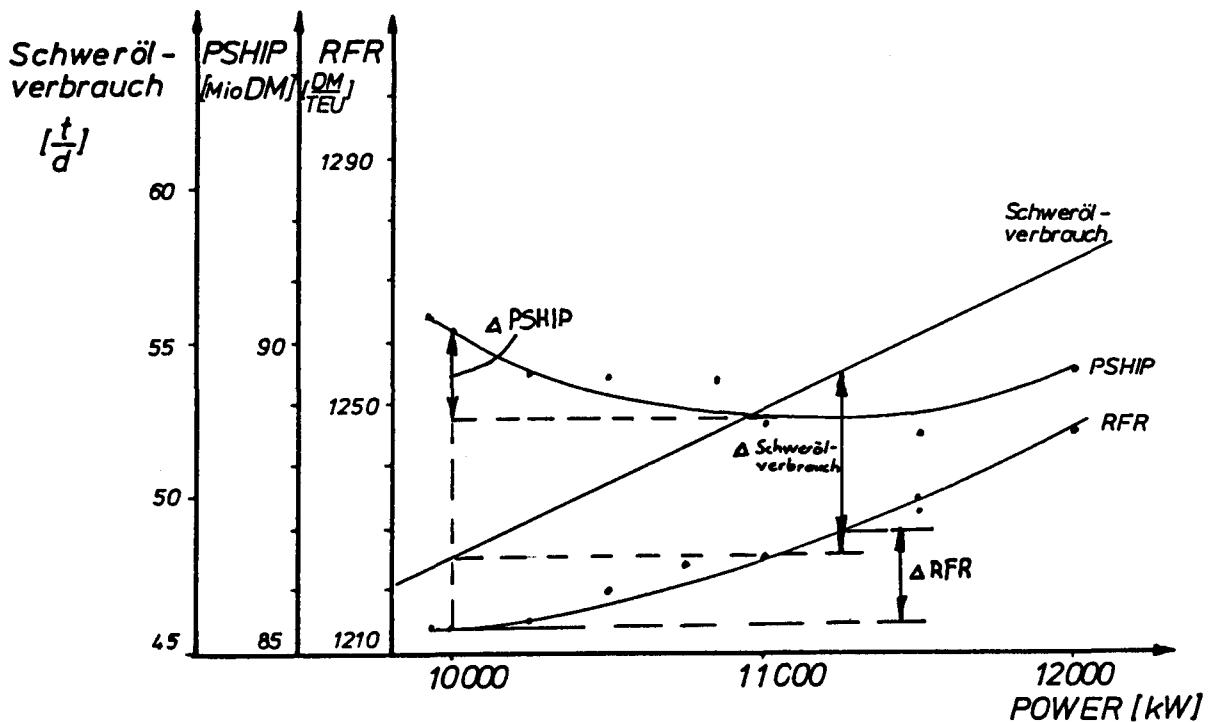


ABB. 20: ERFORDERLICHE FRACHTRATE, SCHWERÖLVERBRAUCH PRO TAG UND DIE BALKOSTEN DES SCHIFFES BEI VARIATION DER MASCHINENLEISTUNG UNTER DIENSTBEDINGUNGEN

Das Entwurfsprogramm kann in der Hand einer Reederei dazu dienen, solche für die Reederei ungünstigen Entwürfe zu erkennen und zu verbessern, z.B. durch Vorgabe der Antriebsleistung oder des Brennstoffverbrauchs. Praktisch wird dies schwierig sein, weil die Abhängigkeit der Baukosten von den Schiffparametern, die in dem Programm enthalten sind, im Einzelfall unzutreffend oder ungenau sein kann und die Reederei meist nicht die Detailkenntnis über die Baukosten hat, die für eine Korrektur notwendig wäre. Der auf Seite 30 beschriebene Vorschlag von Söding /48/ hat das Ziel, die Optimierung der Reederei und der Werft voneinander so zu entkoppeln, daß jeder Partner nur die in seinem Betrieb anfallenden Informationen zu einer Optimierung benötigt; wenn jeder Partner damit für sein Unternehmen das Optimum findet, wird das Ergebnis wieder das gesamtwirtschaftlich optimale 10000 kW-Schiff sein.

Am Beispiel der Abbildung 20 läßt sich dies so zeigen: Eine Brennstoffersparnis von einer Tonne pro Seetag entspricht, bei 15 Jahren Lebensdauer des Schiffes, 10% Verzinsung und 480,- DM/t Brennstoffpreis (inklusiv anteilig Schmieröl und Dieselöl) einem Barwert von:

$$480 \cdot \frac{\text{DM}}{\text{Seetag}} \cdot 281 \text{ Seetage} \cdot \frac{0.1 \cdot (1 + 0.1)^{15}}{(0.1 + 1)^{15} - 1} = 1\,025\,908,-\text{DM}$$

Eine Ersparnis von einer Tonne Schweröl pro Seetag ist für die Reederei attraktiv, solange sie weniger als 1,026 MDM Mehrkosten beim Kauf des Schiffes erfordert. Diese Zahl kann von der Reederei - wenn nötig mit reedereibetrieblichen Verfeinerungen, aber ohne Kenntnis der Baukosten des Schiffes - ermittelt und der Werft mitgeteilt werden. Die Werft kann mit ihrer Kenntnis der Baukostenstruktur die Kurve PSHIP berechnen und stellt dabei z.B. fest:

Antriebsleistung für die Dienstgeschwindigkeit (kW)	9000	10000	11000
Baukosten (MDM)	96.0	90.2	89.5
Schwerölverbrauch pro Seetag (t)	43.2	48.0	52.8
Baukostenunterschied gegenüber 11000 kW-Schiff	6.5	0.7	0.0
Erzielbarer Mehrpreis von der Reederei gegenüber 11000 kW-Schiff infolge kleinerem Schwerölverbrauch (MDM)	9.85	4.92	0.0
Differenz Mehrpreis - Baukostenunterschied (MDM)	3.35	5.22	0.0

Das für die Werft günstigste Angebot ist also das 10000 kW-Schiff, gleichgültig ob sie die Verbesserung gegenüber dem 11000 kW-Schiff als Erhöhung ihres Gewinns ansieht oder zur Verbesserung der Attraktivität ihres Angebots nutzt. Es läßt sich zeigen, daß diese Vorgabe nicht nur die Tendenz hat, die Antriebsleistung gegenüber der Baukostenminimierung zu senken, sondern exakt auf das RFR-Optimum führt, wenn Werft und Reederei realistische Zahlenwerte für ihre Berufe einsetzen.

5.6 Systematische Untersuchungen

Für 1500-TEU-Containerschiffe (Eingabedaten siehe 4.3.3) wird in diesem Abschnitt folgendes variiert:

- Anzahl der Containerbays RNL
- Anzahl der Containerstapel pro Bay RNB
- Anzahl der Container pro Stapel RND
- Völligkeitsgrad CB
- Propellerdurchmesser DIAM
- Anzahl der Containerlagen an Deck TIER

Dabei wird jeweils einer der o.a. Parameter variiert, die anderen optimiert. Für jede Variation wird ein Diagrammblatt gezeigt, in dem über den variierten Parameter die erforderliche Frachtrate RFR sowie einige wesentliche andere Parameter der

optimalen Entwürfe dargestellt werden.

Auf den folgenden Seiten werden die Abbildungen kurz kommentiert. Zu jeder Variation wurde ein Übersichtsdiagramm gezeichnet, in dem nur die Abhängigkeit von der erforderlichen Frachtrate eingezeichnet ist. Die Abbildung befindet sich an der jeweiligen Stelle im Text.

- Anzahl der Containerbays RNL

RNL wurde von 16 bis 21 variiert mit folgenden Kombinationen von freien Unbekannten:

- a) Außer RNL keine weiteren Einschränkungen in den freien Unbekannten, so daß mit RNB, RND, CB, DIAM und WBALE nach RFR optimiert werden konnte (Abb. 44).
- b) RNB = 10, RND = 5, d.h. Schiffsbreite = 32.2 m und Seitenhöhe = 13.62 m (Abbildung 45).
- c) RNB = 9 und RND = 5, d.h. Schiffsbreite = 29.56 m und Seitenhöhe = 13.49 m (Abbildung 46).

Es zeigt sich, daß bei a) das Optimum sehr flach verläuft und durch die Einschränkungen steiler wird. Beim breiten Schiff mit RNB = 10 liegt das Optimum bei einer kleineren Anzahl von Containerbays als beim schmaleren Schiff RNB = 9. Die Unterschiede in der erforderlichen Frachtrate sind gering. Die Überschneidung der Kurven von a und c bei RNL = 20 konnte nicht geklärt werden.

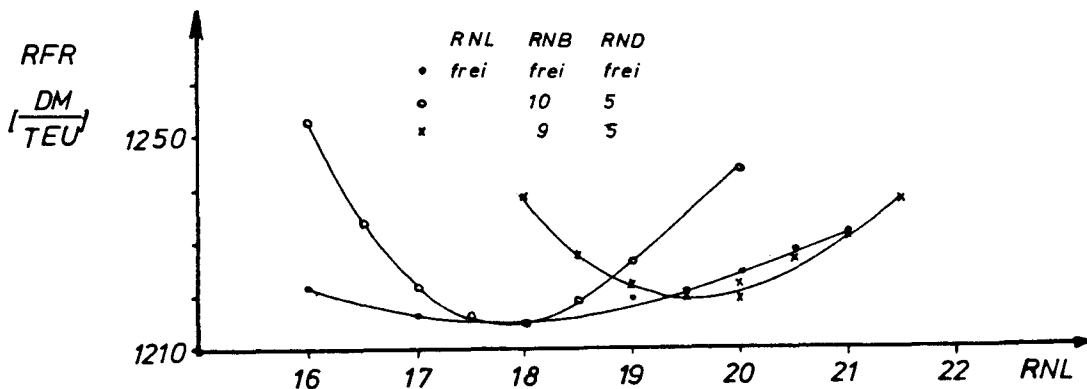


ABB. 43: ERFORDERLICHE FRACHTRATE RFR BEI VARIATION DER CONTAINERBAYS
1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
FREIE UNBEKANNTE: UNTERSCHIEDLICHE ANZAHL

RFR-OPTIMIERT

- Anzahl der Containerstapel pro Bay RNB

RNB wurde von 8 bis 11 variiert. Dieses ergibt dann Schiffsbreiten von 26.9 bis 34.84 m. Folgende Kombinationen wurden gerechnet:

- a) Nur RNB variiert, so daß RNL, RND, CB, DIAM und WBALE als freie Variable blieben (Abbildung 48).
- b) RNL = 17 und RND = 5 (Abbildung 49).
- c) RNL = 19 und RND = 5 (Abbildung 50).

Es ist ersichtlich, daß die Schiffsbreite in einem großen Bereich ohne wesentliche Änderung in der RFR variiert werden kann. Mit zunehmender Breite muß dazu der Völligkeitsgrad CB verkleinert werden. Die Schiffsdaten sind uneinheitlich, da im Fall a) durch Kombinationen von Längen und CB-Änderungen gleiche RFR erzielt werden. Die optimale Schiffsbreite liegt für diese Schiffsgröße bei 10 Containerstapel pro Bay.

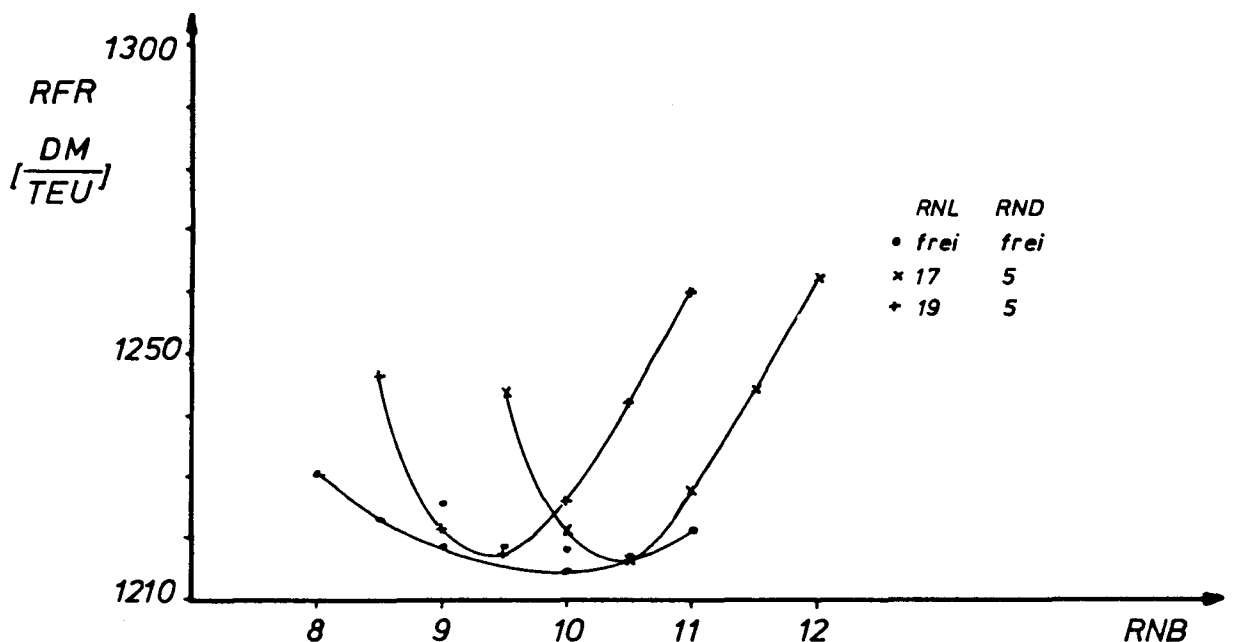


ABB. 47: ERFORDERLICHE FRACHTRATE RFR BEI VARIATION DER CONTAINERSTAPEL PRO BAY RNB, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
FREIE UNBEKANNTE: UNTERSCHIEDLICHE ANZAHL

RFR-OPTIMIERT

- Anzahl der Container pro Containerstapel unter Deck RND

RND wurde von 4.5 bis 8 variiert. Bei der niedrigen Seitenhöhe wird die Ungleichheitsnebenbedingung des Freibords aktiv. Mit zunehmender Seitenhöhe wird der geforderte Stabilitätsumfang besser erfüllt und die Anfangsstabilität wird zur aktiven Ungleichheitsnebenbedingung.

Folgende Kombinationen wurden gerechnet:

a) RND variiert mit RNL, RNB, CB, DIAM, WBALE als freie Unbekannte. Abbildung 52 Anhang

b) RNL = 17, RNB = 10; CB, DIAM, WBALE als freie Unbekannte. Abbildung 53 Anhang

c) RNL = 19, RNB = 9; freie Unbekannte wie bei b). Abbildung 54

Es zeigt sich, daß bei a) RND 5 optimal ist. Werden RNL und RNB vorgegeben, so liegt das Optimum für diese Kombinationen bei höheren Werten von RND. Mit steigender Seitenhöhe steigt der Stabilitätsumfang. Wie auch in Abbildung 14 zu sehen ist, steigt dadurch die erforderliche Frachtrate RFR.

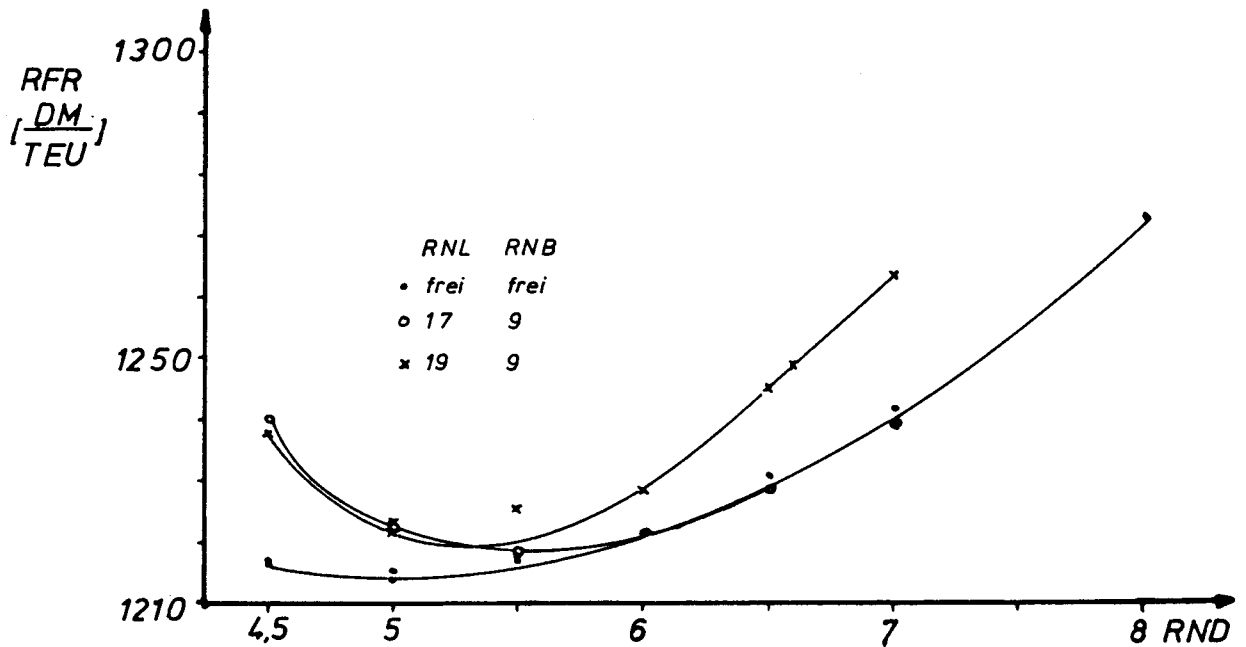


ABB. 51: ERFORDERLICHE FRACHTRATE RFR BEI VARIATION DER CONTAINER PRO CONTAINERSTAPEL RND, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
FREIE UNBEKANNTE: UNTERSCHIEDLICHE ANZAHL

RFR-OPTIMIERT

- Völligkeitsgrad CB

Der Völligkeitsgrad wurde von 0.5 bis 0.8 variiert. Bei der Kombination a) mit freien Unbekannten RNL, RNB, RND, DIAM, WBALE zeigt sich, daß mit zunehmendem CB die Schiffslänge größer und die Schiffsbreite kleiner wurde. Werden Breite und Seitenhöhe, entsprechend RNB und RND, vorgegeben, so verringert sich die Schiffslänge bei zunehmendem CB. Der Bereich des Optimums ist bei b) und c) wesentlich schmaler geworden. Weiter wurde die Begrenzung des Propellerdurchmessers bei den höheren Völligkeiten weggelassen. Es zeigt sich, daß durch den größeren Propeller bessere erforderliche Frachtraten erzielt werden.

a) CB variiert mit RNL, RNB, RND, DIAM, WBALE als freie Unbekannte. Abbildung 56

b) RNB = 10, RND = 5, freie Unbekannte RNL, DIAM, WBALE. Abbildung 57

c) RNB = 9, RND = 5, freie Unbekannte RNL, DIAM, WBALE. Abbildung 58

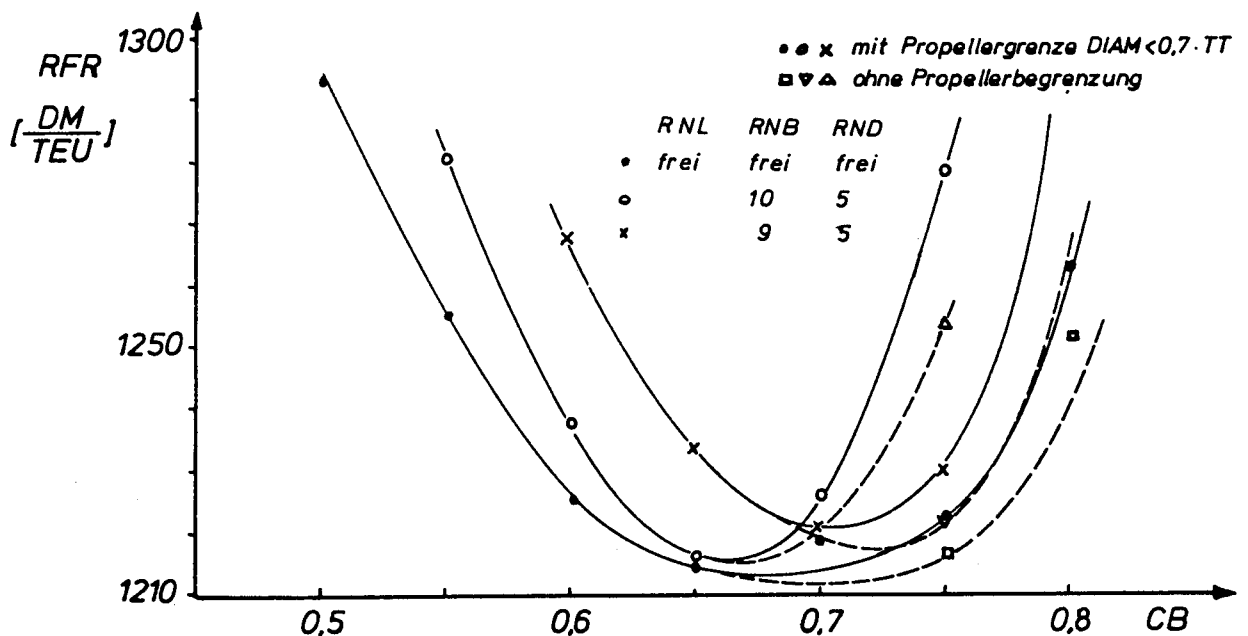


ABB. 55: ERFORDERLICHE FRACHTRATE RFR BEI VARIATION DES VÖLLIGKEITSGRADES CB, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
FREIE UNBEKANNTE: UNTERSCHIEDLICHE ANZAHL

RFR-OPTIMIERT

- Propellerdurchmesser DIAM

Der Propellerdurchmesser wurde von 5 bis 6 m variiert. Bei den größeren Propellerdurchmessern wurde mit und ohne Ungleichheitsnebenbedingung $DIAM \leq 0.7$ Tiefgang gerechnet. Wenn die Bedingung bei gegebenen Propellerdurchmessern eingehalten werden soll, so müssen die Schiffsabmessungen verändert werden. Die Auswirkungen sind in den Abbildungen zu sehen.

- a) Variation von DIAM freie Unbekannte
RNL, RNB, RND, CB, WBALE Abbildung 65
- b) RNB = 10, RND = 5 freie Unbekannte
RNL, CB, WBALE Abbildung 66
- c) RNB = 9, RND = 5 freie Unbekannte
wie b) Abbildung 67

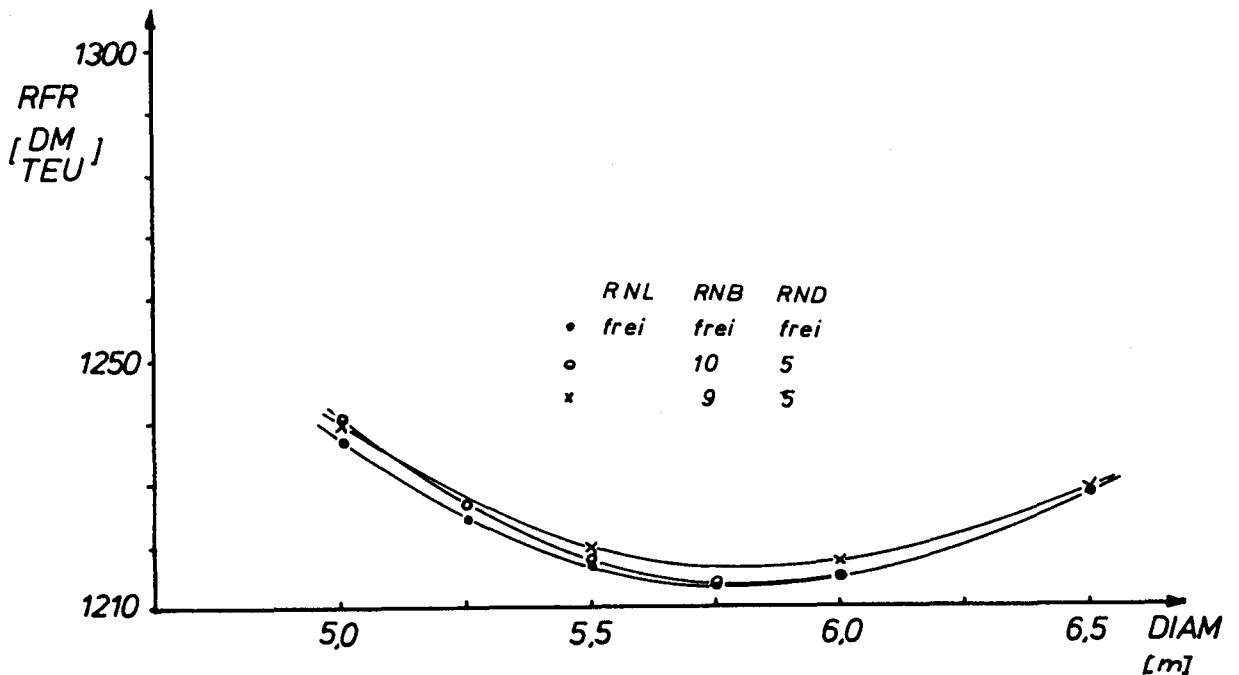


ABB. 64: ERFORDERLICHE FRACHTRATE RFR BEI VARIATION DES PROPPELLERDURCHMESSERS DIAM, 1500 TEU CONTAINERSCHIFFE
FREIE UNBEKANNTE: UNTERSCHIEDLICHE ANZAHL

RFR-OPTIMIERT

- Tiefgang TT

Schiffe sollten möglichst viele Häfen anlaufen können. Da viele Häfen nur eine beschränkte Fahrwassertiefe haben, wird häufig der Tiefgang der Schiffe beschränkt. Hier wird gezeigt, wie sich Änderungen des Tiefgangs gegenüber dem optimalen Tiefgang auf RFR und andere Schiffparameter auswirken. Mit kleiner werdendem Tiefgang steigt CB an. Damit verbunden ist eine höhere Antriebsleistung, woraus höhere Betriebskosten und evtl. höhere Baukosten resultieren. Bei zunehmendem Tiefgang sinken CB und die Antriebsleistung. Die Antriebsleistung steigt nach ihrem Minimum wieder langsam an.

a) Tiefgangsvariation mit folgenden freien Unbekannten

RNL, RNB, RND, CB, DIAM, WBALE

Abbildung 60

b) RNB = 10, RND = 5, freie Unbekannte RNL, CB, DIAM, WBALE

Abbildung 61

c) RNB = 9, RND = 5, freie Unbekannte wie b)

Abbildung 62

d) RNL = 19, RNB = 9, RND = 5, freie Unbekannte CB, DIAM,

WBALE

Abbildung 63

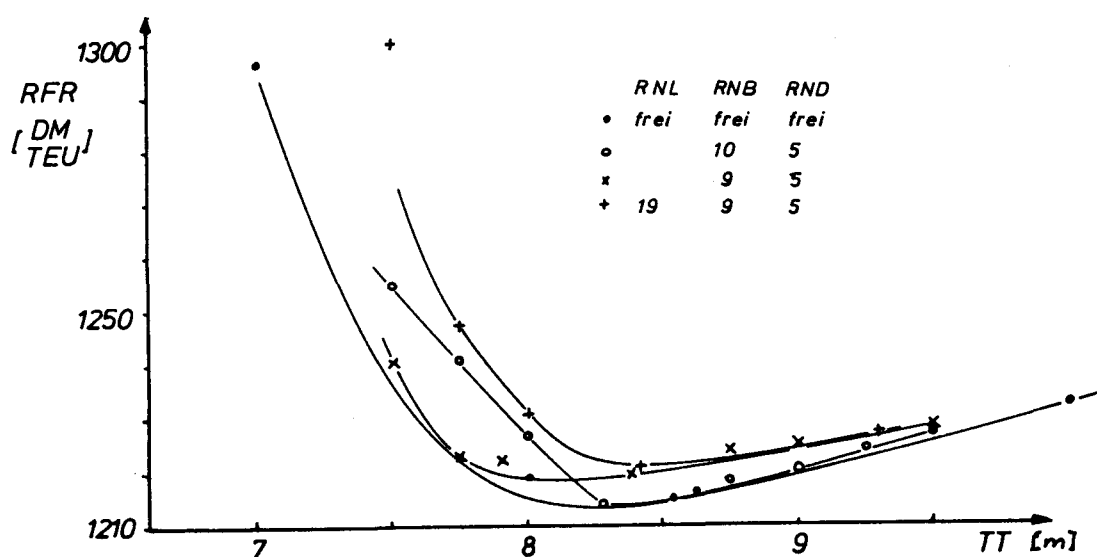


ABB. 59: ERFORDERLICHE FRACHTRATE RFR BEI TIEFGANGSBEGRENZUNGEN
1500 TEU CONTAINERSCHIFFE
FREIE UNBEKANNTE: UNTERSCHIEDLICHE ANZAHL

RFR-OPTIMIERT

- Anzahl der Containerlagen an Deck TIER

Bei der Variation der Containerlagen an Deck ergab sich unabhängig von den Kombinationen a) bis d) praktisch dasselbe Optimum bei 3.9 Containerlagen. Der Grund liegt darin, daß bei allen hier untersuchten Kombinationen an dieser Stelle die gleichen Ungleichheitsnebenbedingungen, nämlich die die Stabilität betreffenden, aktiv waren.

a) Variation von TIER, freie Unbekannte RNL, RNB, RND, CB, DIAM, WBALE
Abbildung 69

b) RNB = 10, RND = 5, freie Unbekannte RNL, CB, DIAM, WBALE
Abbildung 70

c) RNB = 9, RND = 5, freie Unbekannte wie b)
Abbildung 71

d) RNL = 19, RNB = 9, RND = 5, freie Unbekannte CB, DIAM, WBALE
Abbildung 72

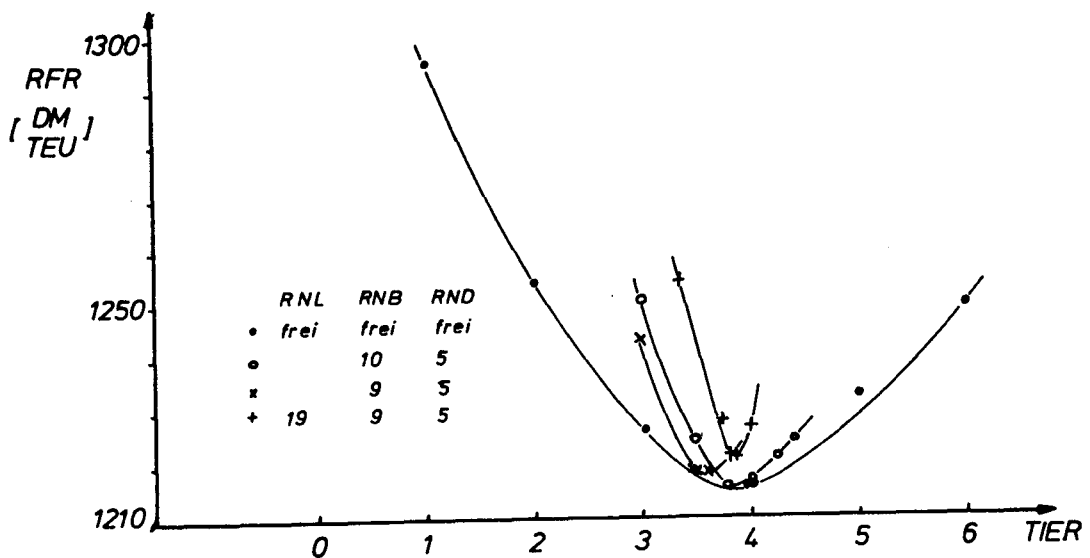


Abb. 68: ERFORDERLICHE FRACHTRATE BEI VARIATION DER CONTAINERLAGEN AN DECK TIER
1500 TEU CONTAINERSCHIFFE
FREIE UNBEKANNTE: UNTERSCHIEDLICHE ANZAHL
RFR-OPTIMIERT

Literaturverzeichnis

- /1/ SOEDING, H.:
Rechnergestützter Schiffsentwurf, Vorlesungsmanuskript,
Institut für Entworfen von Schiffen und Schiffstheorie, Universität Hannover, Bericht Nr. 22, 1977.
- /2/ NOWACKI, H.:
Einführungen in die Methoden der Optimierung,
Kontakt-Studium: "Rechnergestützter Schiffsentwurf",
Institut für Schiffbau der Universität Hamburg,
9. Fortbildungskurs, 1976.
- /3/ SOEDING, H.:
EDV Programme für den Schiffsentwurf,
Handbuch der Werften, Band XIV, Schiffahrts-Verlag
"Hansa", (1978), S. 68 ff.
- /4/ NOWACKI, H.:
Synthesenmodelle für den Vorentwurf von Schiffen,
Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft,
70. Band (1976), S. 89 ff.
- /5/ SCHNEEKLUTH, H., MALZAHN, H.:
OPTIMA, ein EDV-Programm für Probleme des Vorentwurfs
von Frachtschiffen,
Forschungszentrum des Deutschen Schiffbaus,
Bericht Nr. 81/1978.
- /6/ MALZAHN, H., SCHNEEKLUTH, H.:
Prüfung der Abhängigkeit der optimalen Schiffshaupt-
abmessungen von bisher benutzten Berechnungsverfahren
mit vereinfachten Annahmen,
Forschungszentrum des Deutschen Schiffbaus,
Bericht Nr. 63/1976.

- /7/ SCHNEEKLUTH, H.:
Optimierung der Hauptabmessungen und Formparameter,
Kontakt-Studium:
"Rechnergestützter Schiffsentwurf", Institut für
Schiffbau der Universität Hamburg,
9. Fortbildungskurs, 1976.
- /8/ DANCKWARDT, E.:
Ermittlung des Widerstandes von Frachtschiffen und
Hecktrawlern beim Entwurf.
Schiffbauforschung 1969, S. 124 ff.
- /9/ LAP, A.J.W.; AUFM KELLER, W.H.:
Extended Diagrams for Determining the Resistance and
Required Power for Single-Screw Ships.
International Shipbuilding Progress 1973, S. 133 ff.
- /10/ GULDHAMMER, H.E.; HARVALD, S.A.:
Ship Resistance, Effect of Form and Principal
Dimensions (Revised).
Akademisk Forlag Kopenhagen, 1974.
- /11/ TAYLOR, D.W.; GERTLER, M.:
A Reanalysis of the Original Test Data for the Taylor
Standard Series.
David Taylor Model Basin, Washington 1954.
- /12/ HÄHNEL, G.; LABES, K.-H.:
Systematische Widerstandsversuche mit Taylor-Modellen
mit einem Breiten-Tiefgangsverhältnis $B/T = 4,50$.
Schiffbauforschung 1964, S. 123 ff.
- /13/ HEINECKE, N.:
Rechenprogramme in der Schiffsentwurfspraxis.
Fachausschuß "Schiffsentwurf und Schiffssicherheit" der
Schiffbautechnischen Gesellschaft, 1975.

- /14/ SÖDING, H.:
CHWARISMI I und II. Compiler für technische Entwurfs-
probleme,
Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffstheorie der Universität Hannover, Bericht Nr. 15, 1976
- /15/ HILLEARY, R.R.:
The tangent search method of constrained minimization,
United States Naval Postgraduate School, Tech. Rep./
Res. Paper No. 59, March 1966.
- /16/ BERGHAUS, B.; HENNEY, K.A.:
Bewegungsstudien an Stückgutkränen,
Hansa, 89. Jahrgang (1952), S. 593 ff und Hansa,
90. Jahrgang (1953), S. 967 ff.
- /17/ ISENSEE, J.; RUPP, K.H.; TAJIB, A.:
Einfluß von Ladung und Umschlag auf den Schiffsentwurf,
Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffstheorie,
Bericht Nr. 35, 1980.
- /18/ HEBELER, H.; BERG, H.:
Hafenliegezeiten von Linienfrachtern,
Schiffstechnik, Band 4 (1957), S. 245 ff.
- /19/ LEE, K.-Y.:
Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beim Schiffsvor-
entwurf,
Schiffstechnik, Band 30 (1983), S. 68 ff.
- /20/ BROCKMANN, W.:
Das Containerschiff aus der Sicht des Trampreeders,
Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft,
76. Band (1982), S. 191 ff.

- /21/ CASAS, J.:
Shipping costs and Revenues,
Institut of Shipping Economics Bremen,
Lectures & Contributions No. 31, 1981.
- /22/ SCHÖTTELNDREYER, W.:
"Der Einfluß des Ladungsmengenrisikos auf die optimale
Flottenstruktur von Handelsschiffen im Liniendienst".
Institut für Schiffbau, Universität Hamburg,
Bericht Nr. 342, 1976.
- /23/ RUPP, K.H.:
Der Einfluß von Anfangsstabilität und Stabilitäts-
umfang auf Wirtschaftlichkeit und Hauptabmessungen von
Containerschiffen. Sonderforschungsbereich 98,
Schiffstechnik und Schiffbau, 18. Kolloquium am
Institut für Schiffbau der Universität Hamburg, 1984.
- /24/ RUPP, K.H.; Lee, K.-Y.:
Economic Consequences of Different Dimensions,
Stability Requirements and Propulsion Concepts in
Cargo Ships,
West European Conference on Marine Technology, Paris,
1984.
- /25/ Progammbibliothek des ehemaligen Instituts für Ent-
werfen von Schiffen der Universität Hannover, unver-
öffentlicht.
- /26/ Germanischer Lloyd, Vorschriften für Klassifikation
und Bau von stählernen Seeschiffen, Band 1, S. 8-2,
Ausgabe 1980.
- /27/ ARP, P.; KASTNER, S.:
SCHIFFSLISTE, Gebrauchsanleitung für ein Programm zur
Speicherung und Auswahl von Vergleichsschiffen,
Institut für Entwerfen von Schiffen, Universität
Hannover, Bericht Nr. 37, 1980.

- /28/ BÖGEMANN, CH.:
Näherungsformeln für wichtige Parameter des schiff-
baulichen Vorentwurfs,
Diplomarbeit unveröffentlicht, Institut für Entwerfen
von Schiffen, Universität Hannover 1982.
- /29/ SCHNEEKLUTH, H.:
Entwerfen von Schiffen, Vorlesungen,
Koehlers Verlagsgesellschaften, 1980.
- /30/ KEIL, U.; SCHENZLE, P.:
Modellversuche mit extrem breiten Schiffenformen,
Institut für Schiffbau der Universität Hamburg,
Bericht Nr. 333, 1975.
- /31/ HOLTROP, J.; MENNEN, G.G.J.:
A Statistical Power Prediction Method,
International Shipbuilding Progress, Volume 25 (1978),
S. 253.
- /32/ AUF'M KELLER, J.:
Enige aspecten bij het ontwerpen von sloopsschroeven,
Ship en Werft No. 24 (1966).
oder aufgeführt bei P. van Oossanen
A Method for Minimizing the Occurrence of Cavitation
on Propellers in a Wake,
International Shipbuilding Progress, Volume 18 (1971),
S. 321 ff.
- /33/ OOSTERVELD, M.W.C.; OOSSANEN, P.:
Further Computer Analyzed Data of the Wageningen
B-Screw Serie.
International Shipbuilding Progress, Volume 25,
July 1978.
- /34/ SCHREIBER, H.:
Statistische Untersuchung zur Bemessung der Generator-
leistung von Handelsschiffen.
Hansa, 114 Jahrgang (1977), S. 2117 ff.

- /35/ KNOP, R.; RABIEN, U.:
Transformation von Schiffsförmern im Vorentwurfs-
stadium, Gebrauchsanleitung für das Programm APRESS,
Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffstheorie,
Universität Hannover, Bericht Nr. 42, 1981.
- /36/ GOß, M.:
Näherungsformeln zur Volumen- und Schwerpunktbe-
stimmung von Schiffsräumen im Vorentwurfsstadium,
Diplomarbeit unveröffentlicht, Arbeitsgruppe Schiffss-
technik, Universität Hannover, 1984.
- /37/ NIE, H.H.; HULL, C.H.:
SPSS 8 Statistik-Programm-System für die Sozial-
wissenschaften, Gustav Fischer Verlag, 1980.
- /38/ WATSON, D.G.M.; GILFILLAN, A.W.:
Some Ship Design Methods,
The Royal Institution of Naval Architects,
The Naval Architect, July 1977, S. 279 ff.
- /39/ DOPICHAJ, U.:
Entwurfsprogramm für Containerschiffe, unveröffent-
lichte Diplomarbeit, Institut für Entwerfen von
Schiffen und Schiffstheorie, Universität Hannover 1983.
- /40/ GUDENSCHWAGER, H.; MEYER, J.:
Näherungsformeln für Pantokarenen im Vorentwurf.
Diplomarbeit unveröffentlicht, Institut für Entwerfen
von Schiffen und Schiffstheorie der Universität
Hannover, 1982.
- /41/ RABIEN, U.:
Gebrauchsanleitung für das Programm PRESS zur Trans-
formation von Schiffsförmern, Institut für Entwerfen
von Schiffen und Schiffstheorie, Universität Hannover,
Bericht Nr. 13, 1976.

- /42/ LEE, K.-Y.:
Economic Ship Design for Variable Operating
Conditions.
PRADS 83, The 2nd International Symposium on
Practical Design in Shipbuilding, Tokyo & Seoul, 1983.
- /43/ BRONSTEIN-SEMENDJAJEW
Taschenbuch der Mathematik.
Verlag Harri Deutsch.
- /44/ KERLEN, H.:
Über den Einfluß der Völligkeit auf die Rumpfstahl-
kosten von Frachtschiffen.
Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische
Hochschule Aachen, 1981.
- /45/ PETRITZIS, N.:
Maschinenräume breiter, flacher Tanker.
Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffstheorie
der Universität Hannover, Bericht Nr. 40, 1980.
- /46/ WALTER, C.:
Untersuchung von Leistungsgewichten und Preisen von
im Handel befindlichen Schiffsdieselmotoren mit einer
unteren Leistungsgrenze von 500 kW,
Studienarbeit unveröffentlicht, Institut für Schiffs-
maschinen, Universität Hannover, 1983.
- /47/ N.N.:
Verband Deutscher Reeder: Das künftige Schiff und
seine Besatzung, 1976.
- /48/ SÖDING, H.; LEE, K.Y.:
Optimierung von Bau- und Betriebskosten, Symposium
"Wirtschaftliche Schiffsführung - welchen Beitrag
können Nautik und Technik leisten" ?
Fachhochschule Hamburg, Fachbereich Seefahrt,
Oktober 1982.

- /49/ N.N.:
The Motor Ship, Volume 64, Nr. 752, Rubrik "Bunkers",
März 1984.
- /50/ Bremen and Weserports, General Information
Tariffs-Expenses 1983/84, K.O. Storck Verlag, Hamburg.
- /51/ OORTMERSSSEN, G. van.:
A Power Prediction Method and its Application to
small Ships,
International Shipbuilding Progress, Volume 18,
(1971), S. 397 ff.
- /52/ GUDENSCHWAGER, H.:
Hydrostatische Berechnungen zu dem Projekt
"Wirtschaftlichkeit und Sicherheit von Container-
schiffen" unveröffentlicht, 1983.

A N H A N G

Abkürzungsverzeichnis

- AEA0 = FLAECHEVERHAELTNISS ;GESTRECKTE PROPELLERFLUEGEL-
FLAECHE (AE) ZU PROPELLERKREISFLAECHE (A0)
= EXPANDED BLADE AREA TO DISC AREA
- AKGCHD = ADDITIVER BERICHTIGUNGSWERT FUER DIE EMP. FORMEL
FUER DEN SCHWERPUNKT DER LADERAUMCONTAINER
= ADDITIONAL CORRECTION TO THE EMPIRICAL
FORMULA FOR THE CENTRE OF GRAVITY OF THE CONTAINER
IN HOLDS
- AKGCOB = ADDITIVER BERICHTIGUNGSWERT FUER DIE EMP. FORMEL
FUER DEN SCHWERPUNKT DER DECKSCONTAINER
= ADDITIONAL CORRECTION TO THE EMPIRICAL
FORMULA FOR THE CENTRE OF GRAVITY OF THE CONTAINER
ON DECK
- ANB = DIFFERENZ ZWISCHEN CONTAINERSTAPEL PER BAY AN DECK
UND CONTAINERSTAPEL PER BAY IM LADERAUM
= DIFFERENCE BETWEEN CONTAINERSTAKS PER BAY ON DECK
AND IN THE HOLDS
- ANL = DIFFERENZ ZWISCHEN CONTAINERBAYS AN DECK
UND CONTAINERBAYS IM LADERAUM
= DIFFERENCE BETWEEN CONTAINERBAYS ON DECK AND IN THE
HOLDS
- ANUIT = ANNUITAET
= ANNUITY
- ANZB = ZAHL DER PROPELLERFLUEGEL (2 BIS 7)
= NUMBER OF PROPELLER BLADES (2 TO 7)
- ANZP = ZAHL DER PROPELLER
= NUMBER OF PROPELLERS
- ANZY = ANZAHL DER ZYLINDER DER HAUPTMASCHINE
= NUMBER OF CYLINDERS OF MAIN ENGINE
- APOOP = HOEHE DER POOP
= HEIGHT OF POOP
- APOWGE = ADDITIVER BERICHTIGUNGSWERT FUER DIE NACH SCHREIBER
/34/ , INSTALLIERTE GENERATORLEISTUNG
= ADDITIONAL CORRECTION OF THE EMP. FORMULA TO THE
INSTALLED GENERATOR POWER
- ARSTH = ADDITIVER BERICHTIGUNGSWERT FUER DIE EMP. FORMEL
FUER DEN STUNDENSATZ PRO TONNE NETTOSTAHL
= ADDITIONAL CORRECTION OF THE EMP. FORMULA
TO THE HOURS PER TON NET STEELWEIGHT OF THE SHIPHULL
- ASCRAPI = ADDITIVER BERICHTIGUNGSWERT IN % FUER DIE EMP.
FORMEL FUER DEN VERSCHNITT, BEZOGEN AUF BRUTTOSTAHL-
MASSE
= ADDITIONAL CORRECTION IN % OF THE EMP.
FORMULA FOR SCRAP, IN RELATION TO GROSS STEEL MASS

- B = BREITE AUF MALLKANTE
= MOULDED BEAM
- BBG = BREITE EINES DECKSSTREIFEN NEBEN DEN LUKEN (EINE SEITE)
= BREATH OF BOX GIRDER (ONE SIDE)
- BDG = BREITE EINES DECKSLAENGSTRAEGERS ZWISCHEN DEN LUKEN (WENN MONTIERT)
= BREATH OF LONGITUDINAL DECKGIRDERS BETWEEN HATCHES (IF FITTED)
- BMAX = MAXIMAL ERLAUBTE SCHIFFSBREITE B
= MAXIMUM ADMISSIBLE BEAM B
- CA = KORRELATIONSZUSCHLAG FUER PROJEKTRERCHNUNG - PROBEFAHRT
= IN RIMENTAL RESISTANCE COEFFICIENT FOR RESISTANCE CALCULATION - SEATRIAL CORRELATION
- CAGENC = KOSTEN FUER DEN AGENTEN PRO HAFEN
= COSTS FOR AGENCY IN ONE PORT
- CB = VOELLIGKEIT DER VERDRAENGUNG AUF DEM OPTIMIERUNGSTIEFGANG
= BLOCK COEFFICIENT
- CBCT = CONTAINERVOELLIGKEITSGRAD = $CTHLD / (RNL * RNB * RND)$
= CONTAINER CB = $CTHLD / (RNL * RNB * RND)$
- CBDCK = VOELLIGKEIT DER VERDRAENGUNG BIS HAUPTDECK
= BLOCK COEFFICIENT TO MAIN DECK
- CBRID = ANZAHL DER IM HAFEN FUER DEN CONTAINERUMSCHLAG EINGESETZTEN CONTAINERBRUECKEN
= NUMBER OF CONTAINER BRIDGES USED IN PORT
- CCARGO = LADUNGSUMSCHLAGKOSTEN PRO RUNDREISE
= COSTS FOR LOADING AND DISCHARGING THE CARGO PER ROUNDTRIP
- CCOMPA = KOSTEN DIE DER REEDEREI VOR UND WAEHREND DER BAUZEIT DES SCHIFFES BIS ZUR INDIENSTSTELLUNG ENSTANDEN SIND
= COSTS FOR THE SHIPPING COMPANY BEFORE AND DURING THE SHIPBUILDING UNTIL COMMISSIONING
- CCREW = JAEHRLICHE DURCHSCHNITTLICHE KOSTEN FUER EIN BESATZUNGSMITGLIED
= ANNUAL COSTS OF ONE CREW MEMBER
- CCREWA = BESATZUNGSKOSTEN PRO JAHR
= ANNUAL CREW COSTS
- CDOILA = DIESELOELKOSTEN PRO JAHR
= ANNUAL DIESEL OIL COSTS

- CFOILA = SCHWEROELKOSTEN PRO JAHR
= ANNUAL FUEL OIL COSTS
- CHSVA = FORMFAKTOR FUER DAS STABILITAETSKRITERIUM NACH "HSVA"
= FORMFACTOR FOR THE STABILITYCRITERION
ACCORDING TO "HSVA"
- CINSPS = FAKTOR FUER VERSICHERUNG , BEZOGEN AUF DIE BAUKOSTEN
= FACTOR FOR INSURANCE PREMIUM IN RELATION TO THE
BUILDINGCOSTS
- CINSSA = JAEHRLICHE KOSTEN FUER VERSICHERUNGEN
= ANNUAL INSURANCE COSTS PER SHIP
- CLUBA = SCHMIEROELKOSTEN PRO JAHR
= ANNUAL LUBRICATION OIL COSTS
- CM = HAUPTSPANTVOELLIGKEIT
= MIDSHIP SECTION COEFFICIENT
- COILA = JAEHRLICHE BRENNSTOFFKOSTEN
= ANNUAL OIL COSTS
- CONT40 = ANZAHL DER 40' CONTAINER IN % BEZOGEN AUF TEU
= NUMBER OF 40' CONTAINER IN % IN RELATION TO TEU
- CPHDCK = CONTAINERUMSCHLAGSLEISTUNG EINER CONTAINERBRUECKE
PRO STUNDE BEI DECKSCONTAINERN
= CONTAINER CAPACITY OF A CONTAINERBRIDGE
PER HOUR LOADING/DISCHARGING CONTAINER ON DECK
- CPHHL D = CONTAINERUMSCHLAGSLEISTUNG EINER CONTAINERBRUECKE
PRO STUNDE BEI LADERAUMCONTAINERN
= CONTAINERCAPACITY OF A CONTAINERBRIDGE PER HOUR
LOADING/DISCHARGING CONTAINER IN HOLD
- CPOCON = DIVERSE HAFENGEBUEHREN PRO HAFEN(FESTMACHEN,
SEEMANNSMISSION,RETTUNGSDIENST,USW.)
= DIVERSE PORT DUES(CONTRIBUTION TO LIFEBOATSERVICE,
MOORING,UNMOORING,ETC.)
- CPOQUA = KAJEGEBUEHR BEZOGEN AUF GELADENE UND GELOESCHTE
LADUNG IN TONNEN
= QUAY DUES
- CPORTA = JAEHRLICHE HAFENKOSTEN
= ANNUAL PORT COSTS
- CPORTD = RAUMGEBUHR BEZOGEN AUF BRUTTOTONNAGE
= PORT DUES
- CPOTON = LIEGEPLATZGERUEHR BEZOGEN AUF M3 NETTOTONNAGE
UND 24 H HAFENENTLADEZEIT
= TONNAGE DUES

- CREPHU = REPERATURKOSTEN FUER DEN SCHIFFSRUMPF PRO JAHR
BEZOGEN AUF LBP*R*D
= COSTS FOR REPARING SHIP HULL IN RELATION
TO LBP*R*D
- CREPMS = REPERATURKOSTEN FUER MASCHINENANLAGE
= COSTS FOR REPARING SHIP ENGINE
- CREWN = ANZAHL DER BESATZUNGSMITGLIEDER
= NUMBER OF CREW
- CSERVI = JAEHRLICHE BETRIEBSKOSTEN
= ANNUAL SERVICE COSTS
- CSPARE = ERSATZTEILKOSTEN MASCHINENANLAGE
= COSTS FOR SPARE PARTS FOR ENGINE
- CTUG = SCHLEPPERKOSTEN PRO HAFEN
= COSTS FOR TUGS IN ONE PORT
- CPILOT = LOTSENKOSTEN PRO HAFEN
= COSTS FOR PILOTS IN ONE PORT
- CPORT = HAFENKOSTEN PRO HAFEN
= HARBOUR COST PER HARBOUR
- CTDCK = ANZAHL DER CONTAINER AN DECK IN TEU
= NUMBER OF CONTAINERS ON DECK IN TEU
- CTHLD = ANZAHL DER CONTAINER IN DEN LADERAEUMEN IN TEU
= NUMBER OF CONTAINERS IN THE HOLDS IN
- CWP = WASSERLINIENVOELLIGKEIT
= WATERPLANE COEFFICIENT
- D = SEITENHOEHE BIS HAUPTDECK
= DEPTH TO MAIN DECK
- DBCTHD = MITTLERER ABSTAND DER CONTAINER ZUEINANDER UND ZU DEN
LAENGLUKENSUELLEN IM LADERAUM
= AVERAGE DISTANCE BETWEEN CONTAINER IN THE HOLD (B)
- DBHC = ABSTAND ZWISCHEN DEN LUKENSUELLEN
= DISTANCE BETWEEN TWO HATCH COAMINGS (LBP)
- DHKG = KG DES DECKSHAUSES UEBER DECK
= KG OF DECKHOUSE ABOVE DECK
- DIAM = PROPELLERDURCHMESSER
= DIAMETER OF PROPELLER
- DIAMTT = MAXIMAL ERLAUBTER PROPELLERDURCHMESSER
BEZOGEN AUF DEN TIEFGANG
= MAXIMUM ADMISSIBLE DIAMETER OF
PROPELLER IN RELATION TO THE DRAUGHT

- DISP = VERDRAENGUNG IN TONNNEN
= DISPLACEMENT IN TONS
- DISPE = VERDRAENGUNG AM ENDE DER RUNDREISE
= DISPLACEMENT IN THE END OF VOYAGE IN TONS
- DISTMA = AKTIONSWEITE DES SCHIFFES OHNE BRENNSTOFFRESERVE
= MAXIMUM RANGE OF THE SHIP WITHOUT OIL RESERVE
- DISTVO = HALBE SEESTRECKE EINER RUNDREISE
= HALF SEADISTANCE OF A VOYAGE (ROUNDRIP)
- DMAX = MAXIMAL ERLAUBTE SEITENHOEHE D
= MAXIMUM ADMISSIBLE DEPTH D
- DPANTO = SEITENHOEHE FUER DIE BERECHNUNG DER PANTOKARENEN
= DEPTH CORRECTED FOR CROSS CURVES OF STABILITY
CALCULATION
- ETAG = GETRIEBEWIRKUNGSGRAD
= GEERING EFFICIENCY
- ETAM = MECHANISCHER WIRKUNGSGRAD DER WELLENLEITUNG
= EFFICIENCY OF PROPELLER SHAFT
- ETAR = GUETEGRAD DER ANORDNUNG
= RELATIV ROTATIVE EFFICIENCY
- FCBCT = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL
FUER DEN CONTAINERVOELLIGKEITSGRAD
= CORRECTION FACTOR OF THE EMPIRICAL FORMULA
FOR CONTAINER BLOCKCOEFFICIENT
- FCBDCK = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL FUER CBDCK,
MIT DEM DER SPANTCHARAKTER DES SCHIFFES ANGEGBEN
WIRD
= FACTOR FOR CBDCK: U-FRAME =0.25, V-FRAME =0.5
;FORMULA ACC. TO /29/
- FCDCK = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE ABNAHME DER CONTAINER-
STAPEL PER BAY AN DECK ZU DEN SCHIFFSENDEN HIN
= REDUCING FACTOR FOR DECKSCONTAINER
 $FCDCK = CTDCK / (RNL + ANL) * (RNB + ANB) * TIER$
- FCM = BERICHTIGUNGSWERT FUER DIE EMP. FORMEL
FUER DIE HAUPTSPANTVOELLIGKEIT
= CORRECTIONFACTOR OF THE EMPIRICAL FORMULA
FOR MIDSHIPSECTION COEFFICIENT
- FCWP = BERICHTIGUNGSWERT FUER DIE EMP. FORMEL
FUER DIE WASSERLINIENVOELLIGKEIT
= CORRECTION FACTOR OF THE EMPIRICAL FORMULA
FOR WATERPLANE COEFFICIENT

- FLUBR = FAKTOR FUER SCHMIEROELRESERVE (> 1)
= FACTOR FOR LUB OIL RESERVE (> 1)
- FOILDB = VERTEILUNGSFAKTOR FUER BRENNSTOFF IN DOPPELBODEN
UND/ODER SEITENTANK
0 = KEIN BRENNSTOFF IM DOPPELBODEN
1 = ALLER BRENNSTOFF IM DOPPELBODEN
= FACTOR FOR OIL IN DOUBLE BOTTOM
0 = NO OIL IN DOUBLE BOTTOM
1 = ALL OIL IN DOUBLE BOTTOM
- FPAUXI = FAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL DER INSTALLATIONSSTUNDEN
DER UEBRIGEN MASCHINENANLAGE
= CORRECTION FACTOR OF THE EMP. FORMULA OF THE
INSTALLATION HOURS OF ENGINE ROOM OUTFIT
- FPAUXM = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL DER MATERIAL-
KOSTEN AN DER UEBRIGEN MASCHINENANLAGE
= CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA FOR THE
MATERIAL COSTS OF ENGINE ROOM OUTFIT
- FDISPF = FAKTOR ZUR BESTIMMUNG DER VORHANDENEN
BRENNSTOFFMENGE BEI DEM DAS SCHIFF OPTIMIERT WERDEN
SOLL
= FACTOR TO DEFINE THE EXISTING OIL QUANTITY ON WHICH
THE SHIP WILL BE OPTIMIZED
- FRLAP = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL
FUER DIE ACHTERPIEKLAENGE
CORRECTION FACTOR OF THE EMPIRICAL FORMULA
FOR LENGTH OF AFT PEAK
- FFOR = FAKTOR FUER TREIROELRESERVE (>1)
= FACTOR FOR FUEL OIL RESERVE (> 1)
- FDOR = FAKTOR FUER DIESELOELRESERVE (>1)
= FACTOR FOR DIESEL OIL RESERVE (>1)
- FHDB = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP.
FORMEL FUER DIE DOPPELBODENHOEHE
= CORRECTION FACTOR OF THE EMPIRICAL FORMULA
OF THE DOUBLE BOTTOM HEIGHT
- FKAV = KORREKTURWERT FUER DIE EMP. FORMEL
DES FLAECHEVERHAELTNISSES AEA0
= CORRECTION FACTOR OF THE EMPIRICAL FORMULA FOR AEA0
- FKGHUL = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DEN
SCHWERPUNKT DES SCHIFFRUMPFES
= CORRECTION FACTOR OF THE EMPIRICAL FORMULA
FOR KG OF SHIPS HULL
- FKM = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL DER
METAZENTRISCHEN HOEHE
= CORRECTION FACTOR OF THE EMPIRICAL FORMULA OF THE
TRANSVERSE METACENTRE ABOVE MOULDED BASE
- FMCR = FAKTOR FUER NENNDAUERLEISTUNG (MCR) (PB/POWER)
= FACTOR FOR MAX. CONTINOUS RATING (PB/POWER)

- FPBCW = FAKTOR FUER VERRINGERTE ANTRIEBSLEISTUNG DER
HAUPTMASCHINE BEI REVIERFAHRT
= FACTOR FOR REDUCED POWER OF MAIN ENGINE
IN CONFINED WATERS
- FPGCW = FAKTOR FUER DIE BENOETIGTE GENERATORLEISTUNG BEI
REVIERFAHRT
= FACTOR FOR NEEDED GENERATOR POWER IN CONFINED WATER
- FPGPRT = FAKTOR FUER DIE BENOETIGTE GENERATORLEISTUNG IM HAFEN
= FACTOR FOR NEEDED GENERATOR POWER IN PORT
- FPGSEA = FAKTOR FUER DIE BENOETIGTE GENERATORLEISTUNG AUF SEE
= FACTOR FOR NEEDED GENERATOR POWER AT SEA
- FPOQUA = KAJEGEBUEHR PRO UMGESCHLAGENE TONNE LADUNG
= QUAY DUES FOR LOADED OR DISCHARGED CARGO PER TON
- FPORTD = RAUMGEBUEHR PRO 100 TONNEN BRUTTO TONNAGE
= PORT DUES PER 100 TONS GROSS TONNAGE
- FPOTON = LIEGEPLATZGERUEHR PRO NETTO TONNAGE IN M**3 UND TAG
= TONNAGE DUES PER M**3 NET TONNAGE PER DAY
- FREEB = FREIBORD NACH INTERNAT. FREIBORDABKOMMEN 1966
= FREEBOARD ACC. TO INTERNAT. FREEBOARD CONVENTION 1966
- FVOLAP = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL FUER DAS VOLUMEN
DER ACHTERPIEK
= CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA
FOR THE VOLUME OF AFTPEAK
- FVOLCH = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL FUER DAS
LADERAUMVOLUMEN
= CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA FOR
THE CARGO HOLD VOLUME
- FVOLDB = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL
FUER DAS DOPPELBODENVOLUMEN
= CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA
FOR THE DOUBLE BOTTOM VOLUME
- FVOLER = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL FUER DAS
MASCHINENRAUMVOLUMEN
= CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA
FOR THE ENGINE ROOM VOLUME
- FVOLFP = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL FUER DAS
VOLUMEN DER VORPIEK
= CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA
FOR THE VOLUME OF FORE PEAK

- FWMACH = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL FUER DIE GESAMTE MASCHINENMASSE
= CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA FOR THE MAIN ENGINE AND ENGINE ROOM OUTFIT WEIGHT
- FWOUTF = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL FUER DIE AUSRUESTUNG
= CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA FOR THE OUTFIT
- FWSTHU = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL FUER DIE STAHLRUMPFMASSE
= CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA FOR THE HULL STEEL WEIGHT
- FW15 = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL DES PANTOKARENEWERTES BEI 15 GRAD
= CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA OF CROSS CURVES OF STABILITY OF 15 DEGREES
- FW30 = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL DES PANTOKARENEWERTES BEI 30 GRAD
= CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA OF CROSS CURVES OF STABILITY OF 30 DEGREES
- FW45 = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER EMP. FORMEL DES PANTOKARENEWERTES BEI 45 GRAD
= CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA OF CROSS CURVES OF STABILITY OF 45 DEGREES
- FW60 = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL DES PANTOKARENEWERTES BEI 60 GRAD
= CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA OF CROSS CURVES OF STABILITY OF 60 DEGREES
- GME = METAZENTRISCHE HOEHE AM ENDE DER REISE
= METACENTRIC HEIGHT AT THE END OF ROUNDTRIP
- GT = BRUTTO TONNAGE IMO 1969
= GROSS TONNAGE IMO 1969
- GZ15 = HEBELARM BEI 15 GRAD NEIGUNG DES SCHIFFES
= RIGHTING ARM OF STABILITY, ANGLE OF INCLINATION = 15 DEG.
- GZ30 = HEBELARM BEI 30 GRAD NEIGUNG DES SCHIFFES
= RIGHTING ARM OF STABILITY, ANGLE OF INCLINATION = 30 DEG.
- GZ45 = HEBELARM BEI 45 GRAD NEIGUNG DES SCHIFFES
= RIGHTING ARM OF STABILITY, ANGLE OF INCLINATION = 45 DEG.
- GZ60 = HEBELARM BEI 60 GRAD NEIGUNG DES SCHIFFES
= RIGHTING ARM OF STABILITY, ANGLE OF INCLINATION = 60 DEG.
- GZ70 = HEBELARM BEI 70 GRAD NEIGUNG DES SCHIFFES

= RIGHTING ARM OF STABILITY, ANGLE OF
INCLINATION = 70 DEG.
HAUXI = INSTALLATIONSSTUNDEN DER UEBRIGEN MASCHINENANLAGE
= INSTALLATION HOURS FOR ENGINE ROOM OUTFIT

HBOX = HOEHE EINS BOXGIRDERS
= HEIGHT OF BOX GIRDER

HDB = HOEHE DES DOPPELRODENS
= HEIGHT OF DOUBLE BOTTOM

HHCOM = HOEHE DES LUKENSUELLS
= HEIGHT OF HATCH COAMING

HHCov = HOEHE DES LUKENDECKELS
= HEIGHT OF HATCH COVER

HOUTF = ZAHL DER ARBEITSSTUNDEN FUER DIE GESAMTE AUSTRUERUNG
= HOURS FOR TOTAL OUTFIT WORK

IENGRO = LAGE DES MASCHINENRAUMS UND DER HAUPTMASCHINENTYP
0 = ACHTERN. LANGSAMLAEUFER
1 = AUF ETWA 1/3 * LPP VON ACHTERN, LANGSAMLAEUFER
2 = ACHTERN. MITTELSCHNELLAEUFER
= POSITION OF ENGINE ROOM AND MAIN ENGINE TYP
0 = AFT, SLOW SPEED ENGINE
1 = ABOUT 1/3 OF LBP FROM AFT, SLOW SPEED ENGINE
2 = AFT, MEDIUM SPEED ENGINE

LBP = LAENGE ZWISCHEN DEN LOTEN
= LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS

LBPMAX = MAXIMAL ERLAUBTE SCHIFFSLAENGE LBP
= MAXIMUM ADMISSIBLE LENGTH LBP

PAUXI = LOHNKOSTEN FUER DIE UEBRIGE MASCHINENANLAGE
= LABOUR COSTS OF ENGINE ROOM OUTFIT

PAUXM = MATERIALKOSTEN FUER DIE UEBRIGE MASCHINENANLAGE
= MATERIAL COSTS OF ENGINE ROOM OUTFIT

PB = LEISTUNG DES HAUPTMOTORS UNTER DIENSTBEDINGUNGEN [KW]
= POWER OF MAIN ENGINE UNDER SERVICE CONDITION [KW]

PD = WELLENLEISTUNG AM PROPELLER [KW]
= DELIVERED POWER AT PROPELLER [KW]

PBMIN = UNTERGRENZE DER LEISTUNG DES HAUPTMOTORS PB
= LOWER LIMITATION OF MAIN ENGINE POWER PB

PDOILT = PREIS FUER EINE TONNE DIESELOEL
= PRICE OF DIESEL OIL PER TON

PENGI = LOHNKOSTEN FUER DIE HAUPTMASCHINE
= LABOUR COSTS FOR MAIN ENGINE INSTALLATION

PENGM	= MATERIALKOSTEN FUER DIE HAUPTMASCHINE = MATERIAL COSTS OF MAIN ENGINE
PFOILT	= PREIS EINER TONNE SCHWEROEL = PRICE OF FUEL OIL PER TON
PHULL	= KOSTEN FUER DEN STAHLSCIFFSKOERPER = COSTS OF STEEL SHIP HULL
PHULLM	= MATERIALKOSTEN FUER DEN STAHLRUMPF = MATERIAL COSTS OF STEEL SHIP HULL
PHULLP	= LOHNKOSTEN FUER DEN STAHLRUMPF = LABOUR COSTS OF STEEL SHIP HULL
PITCH	= PROPELLERSTEIGUNG [M] = PITCH OF PROPELLER [M]
PLUBT	= PREIS FUER EINE TONNE SCHMIEROEL = PRICE OF LUBRICATION OIL PER TON
PMACH	= KOSTEN FUER DIE HAUPTMASCHINE UND DIE UEBRIGE MASCHINENANLAGE = PRICE OF COMPLETE ENGINE + ENGINE OUTFIT
PMOUTF	= KOSTEN FUER AUSTRUESTUNGSMATERIAL = PRICE FOR OUTFIT MATERIAL
POOP	= LAENGE DER POOP = LENGTH OF THE POOP
PORTN	= ANZAHL DER HAEFEN PRO RUNDREISE (>=2) = NUMBER OF PORTS PER ROUNDTrip (>=2)
POUTF	= KOSTEN FUER DIE SCHIFFBAULICHE AUSTRUESTUNG UND EINRICHTUNG = COSTS FOR OUTFIT
POWER	= INSTALLIERTE HAUPTMOTORENLEISTUNG [KW] = MAXIMUM CONTINUOUS RATING OF MAIN ENGINE [KW]
POWGEN	= LEISTUNG DER INSTALIERTEN HILFSDIESEL = POWER OF INSTALLED AUXILIARY GENERATORS
PRCART	= WERT DER LADUNG PRO TEU = VALUE OF CARGO PER TEU
PRCONS	= KOSTEN FUER DIE KONSTRUKTION IN % DES BAUPREISES = CONSTRUCTION COSTS IN % OF BUILDING COSTS
PRCONT	= UMSCHLAGSKOSTEN FUER EINEN 20' ODER 40' CONTAINER = COSTS FOR LOADING OR DISCHARGING ONE 20' OR 40' CONTAINER
PRME	= KILOWATTPREIS DER HAUPTMASCHINE = COSTS OF MAIN ENGINE PER KW

PROUTF	= KOSTEN PRO TONNE SCHIFFBAULICHE AUSRUESTUNGS- UND EINRICHTUNGSMASSE = COSTS FOR OUTFIT PER TON
PRP	= KOSTEN EINER ARBEITSSTUNDE INCL. SOZIALLEISTUNGEN UND GEMEINKOSTEN = COSTS OF ONE PRODUCTION HOUR
PRST	= PREIS EINER TONNE STAHL = PRICE OF STEEL PER TONNE
PSERVH	= KOSTEN EINER REPERATURSTUNDE = COSTS FOR ONE HOUR SERVICE (MAINTAINANCE)
PSHIP	= BAUKOSTEN DES SCHIFFES = SHIPS COSTS
PSPARE	= KOSTEN FUER ERSATZTEILE DER MASCHINEN PRO KILOWATT DER HAUPTMASCHINE = SPARE PART COSTS FOR ENGINES PER KW OF MAIN ENGINE
PSTDH	= KOSTEN FUER STAHL DES DECKSHAUSES = COSTS FOR STEEL OF DECKHOUSE
P83	= FAKTOR FUER DIE GESAMTEN BAUKOSTEN = FACTOR FOR THE TOTAL BUILDING COSTS OF THE SHIP
Q	= DREHMOMENT = TORQUE
REVENG	= DREHZAHLE DER HAUPTMASCHINE IN 1/S = REVOLUTIONS OF MAIN ENGINE PER SECOND
REVPRO	= PROPELLERDREHZAHLE IN 1/S = PROPELLER REVOLUTIONS PER SECOND
RFR	= ERFORDERLICHE FRACHTRATE = REQUIRED FREIGHT RATE
RHO	= SPEZIFISCHE DICHTEN VON ... = MASS DENSITY OF ...
RHOBAL	= SPEZIFISCHE DICHTEN DES BALLASTWASSERS = MASS DENSITY OF BALLASTWATER
RHOIL	= SPEZIFISCHE DICHTEN DES OELS = MASS DENSITY OF OIL
RHOSOB	= SPEZIFISCHE DICHTEN DES FESTEN BALLASTS = MASS DENSITY OF SOLID BALLAST
RLAFP	= LAENGE DER ACHTERPIEK = LENGTH AFTPEAK
RLDB	= LAENGE DES LADERAUMBEREICHES (DOPPELBODEN) = LENGTH OF CARGO HOLDS (DOUBLR BOTTOM)

- RLER = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL
FUER DIE MASCHINENRAUMLAENGE
= CORRECTION FACTOR OF THE EMPIRICAL FORMULA
FOR LENGTH OF ENGINE ROOM
- RLFP = BERICHTIGUNGSFAKTOR FUER DIE EMP. FORMEL
FUER DIE VORPIEKLAENGE
= CORRECTION FACTOR OF THE EMPIRICAL FORMULA
FOR LENGTH OF FORE PEAK
- KMAT = KORREKTURWERT FUER PROPELLERBLATTDICKE UND PROPELLER-
MATERIAL
RMAT = 2 FUER EINSCHRAUBER MIT BRONZEPROPELLER
CA. 10 GRAD RUECKLAGE DER FLUEGELSPITZEN
FUER ZWEISCHRAUBER MIT BRONZEPROPELLER
RMAT = 1 FUER EINSCHRAUBER MIT KUPFER-, NICKEL-,
ALUMINIUMPROPELLER; FUER ZWEISCHRAUBER
MIT KUPFER-, NICKEL-, ALUMINIUMPROPELLER
RMAT = 0 FUER PROPELLER SCHNELLER SCHIFFE WIE
ZERSTOERER UND FREGATTEN
= CORRECTION FACTOR DEPENDING ON EFFECTIVE PROPELLER
BLADE THICKNESS AND MATERIAL
RMAT = 2 FOR SINGLE SCREW SHIPS WITH BRONZE
PROPELLERS
AND A RAKE OF APPROXIMATELY 10 DEGREES
AND FOR TWIN SCREW SHIPS WITH BRONZE
PROPELLERS
RMAT = 1 FOR SINGLE SCREW SHIPS WITH COPPER-, NICKEL-,
ALUMINIUM PROPELLERS AND TWIN SCREW SHIPS
WITH COPPER-, NICKEL-, ALUMINIUM PROPELLERS
AND SMALL RAKE
RMAT = 0 FOR PROPELLERS FOR FAST SHIPS SUCH AS
DESTROYERS AND FRIGATES
- RNB = ANZAHL DER CONTAINERSTAPEL MITSCHIFFS UNTER
DECK PER BAY
= NUMBER OF CONTAINER STACKS PER BAY MIDSHIPS IN THE
HOLD
- RND = ANZAHL DER CONTAINER PRO CONTAINERSTAPEL IM LADERAUM
MITSCHIFFS
= NUMBER OF CONTAINER PER STACK IN THE HOLD, MIDSHIPS
- RNDG = ANZAHL DER DECKSLAENGSTRAEGER ZWISCHEN DEN LUKEN
(WENN VORHANDEN)
= NUMBER OF LONGITUDINAL GIRDERS BETWEEN HATCHES
(IF PRESENT)
- RNL = ANZAHL DER CONTAINER BAYS IM LADERAUM
= NUMBER OF CONTAINER BAYS IN THE HOLD
- ROUTFH = ARBEITSSTUNDEN PRO TONNE AUSTRUESTUNGS-
UND EINRICHTUNGSMASSE
= RATE OF PRODUCTION HOURS FOR OUTFIT PER TONS
- RSTH = ARBEITSSTUNDEN PRO TONNE STAHL DES SCHIFFSRUMPFES
= RATE OF PRODUCTION HOURS FOR STEEL OF SHIP HULL

RT	= GESAMTWIDERSTAND IN KN = TOTAL RESISTANCE IN KN
RTNPY	= ANZAHL DER RUNDREISEN PRO JAHR = ROUND TRIP NUMBRER PER YEAR
SALIN	= SALZGEHALT DES WASSERS IN % = SALINITY OF WATER IN %
SFCAE	= SPEZIFISCHER BRENNSTOFFVERBRAUCH DER HILFSDIESEL IN KG PRO KWH = SPECIFIC FUEL CONSUMPTION OF AUXILIARY ENGINES (KG/KWH)
SFCME	= SPEZIFISHER BRENNSTOFFVERBRAUCH DER HAUPTMASCHINE IN KG PRO KWH = SPECIFIC FUEL CONSUMPTION OF MAIN ENGINE IN (KG/KWH)
SLUBAE	= SPEZIFISCHER SCHMIEROELVERBRAUCH DER HILFSMASCHINEN IN KG PRO KWH = SPECIFIC LUBRICATION OIL CONSUMPTION OF AUXILIARY ENGINES IN KG/KWH
SLUBME	= SPEZIFISCHER SCHMIEROELVERBRAUCH DER HAUPTMASCHINE IN KG PRO KWH = SPECIFIC LUB OIL CONSUMPTION IN (KG/KWH) OF MAIN ENGINE
TA	= ABSCHREIBUNG DES SCHIFFES IN JAHREN = DEPRE IATION OF THE SHIP IN YEARS
TDW	= TRAGFAEHIGKEIT = DEADWEIGHT
TEMP	= WASSERTEMPERATUR IN GRAD CELSIUS = TEMPERATURE IN CENTIGRADES (WATER)
TD	= SOGZIFFER = THRUST DEDUCTION FACTOR
TEU	= TRANSPORTKAPAZITAET DES SCHIFFES IN 20' EINHEITEN (20'*8'*8'06'') = TRANSPORTCAPACITY OF THE SHIP IN TWENTY FEET EQUIVALENT UNITS (20'*8'*8'06'')
TEUYEA	= JAHRESTRANSPORTLEISTUNG = ANNUAL TRANSPORT CAPACITY IN
TIER	= ANZAHL DER CONTAINER PRO CONTAINER- STAPEL AN DECK = NUMBER OF TIERS ON DECK
TIERMA	= MAXIMAL ERLAUBTE CONTAINERLAGEN AN DECK = MAXIMUM ADMISSIBLE TIERS OF CONTAINERS ON DECK
TIMCW	= ZEIT FUER REVIERFAHRT PRO RUNDREISE IN STUNDEN = TIME IN CONFINED WATERS PER ROUND TRIP IN HOURS

TIMRT = ZEIT FUER EINE RUNDREISE IN STUNDEN
= TIME FOR ONE ROUND TRIP IN HOURS

TIMPRT = HAFENZEIT PRO RUNDREISE IN STUNDEN
= TIME IN PORT IN HOURS PER ROUND TRIP

TIMSEA = ZEIT AUF SEE PRO RUNDREISE IN STUNDEN
= TIME AT SEA PER ROUND TRIP IN HOURS

TIMW = WARTEZEIT IM HAFEN PRO RUNDREISEWEG
= TIME FOR WAITING IN PORT PER ROUND TRIP

TIMYAR = SCHIFF AUSSER DIENST PRO JAHR IN STUNDEN
= TIME OUT OF SERVICE PER YEAR IN HOURS (YARD)

TT = OPTIMIERUNGSTIEFGANG
= OPTIMIZATION DRAUGHT

TTE = TIEFGANG AM ENDE DER REISE
= DRAUGHT IN THE END OF THE VOYAGE (ROUNDRIP)

TTMAX = MAXIMAL ERLAUBTER TIEFGANG
MAXIMUM ADMISSIBLE DRAUGHT

V = DURCHSCHNITTLICHE DIENSTGESCHWINDIGKEIT IN M/S
= AVERAGE SERVICE SPEED IN M/S

VERSCH = MATERIALVERSCHNITT (STAHL) BEZOGEN AUF BRUTTO STAHL-
MASSE
= SCRAP OF STEEL IN RELATION TO THE BRUTTO STEEL MASS

VOLAP = VOLUMEN DER ACHTERPIEK
= VOLUMEN OF AFTPEAK

VOLBAL = TANKVOLUMEN FUER BALLASTWASSER
= TANK VOLUME FOR BALLAST WATER

VOLBDB = TANKVOLUMEN BALLASTWASSER IM DOPPELBODEN
= TANK VOLUME BALLAST WATER IN DOUBLE BOTTOM

VOLBST = TANKVOLUMEN BALLASTWASSER IN SEITENTANKS
= TANK VOLUME BALLAST WATER IN SIDE TANKS

VOLCHD = VOLUMEN DER LADERAEUME
= VOLUME OF CARGO HOLD

VOLDB = VOLUMEN DES DOPPELBODENS
= VOLUME OF DOUBLE BOTTOM

VOLER = VOLUMEN DES MASCHINENRAUMS
= VOLUME OF ENGINE ROOM

VOLDH = VOLUMEN DES DECKHAUSES
= VOLUME OF DECKHOUSE

VOLFP = VOLUMEN DER VORPIEK
= VOLUME OF FOREPEAK

VOLGT	= VOLUMEN ZUR BERECHNUNG DER BRUTTOTONNAGE = VOLUME FOR GROSS TONNAGE
VOLHUL	= VOLUMEN DES ZUR SCHIFFES BIS SEITENHOEHE = VOLUME OF HULL
VOLST	= VOLUMEN DER SEITENTANKS = VOLUMEN OF SIDE TANKS
WBALE	= MASSE BALLASTWASSER AM ENDE DER REISE = MASS OF BALLAST WATER ,END OF VOYAGE
WCONDK	= DURCHSCHNITTLICHE MASSE EINES DECKSCONTAINERS IN = AVERAGE WEIGHT OF ONE DECK CONTAINER IN
WCONHD	= DURCHSCHNITTLICHE MASSE EINES LADERAUMSCONTAINERS IN = AVERAGE WEIGHT OF ONE CONTAINER IN HOLD IN
WDO	= MASSE DES DIESELÖLS FÜR EINE RUNDREISE INCL. RESERVEN = WEIGHT OF DIESEL OIL FOR ONE ROUNDTRIP INCL. RESERVE
WDOMAX	= MAXIMALE MÖGLICHE MASSE DES DIESELÖLS = MAXIMUM POSSIBLE WEIGHT OF DIESEL OIL
WF	= NACHSTROMZIFFER = WAKE FRACTION
WFO	= MASSE DES SCHWEROELS FÜR EINE RUNDREISE INCL. RESERVEN = WEIGHT OF FUEL OIL FOR ONE ROUNDTRIP INCL. RESERVE
WFOMAX	= MAXIMAL MÖGLICHE MASSE DES SCHWEROELS = MAXIMUM POSSIBLE WEIGHT OF FUEL OIL
WFW	= MASSE DES FRISCHWASSERS = WEIGHT OF FRESH WATER
WKON	= DIE VOM REISE VERLAUF UNABHÄNGIGE MASSE DES BELADENEN SCHIFFES = WEIGHT OF LOADED SHIP INDEPENDENT OF VOYAGE
WLS	= SCHIFFSLEERMASSE = LIGHTSHIP WEIGHT
WLUB	= MASSE DES SCHMIEROELS FÜR EINE RUNDREISE IN L. RESERVEN = WEIGHT OF LUB OIL INCL. RESERVE
WLUBMA	= MAXIMAL MÖGLICHE MASSE DES SCHMIEROELS = MAXIMUM POSSIBLE WEIGHT OF LUBRICATION OIL
WMACH	= MASSE DER GESAMTEN MASCHINENANLAGE = MACHINERY WEIGHT

WOIL	= MASSE BRENNSTOFF INCL. SCHMIEROEL = WEIGHT OF OIL
WOILE	= BUNKERMENGE AM ENDE DER REISE = WEIGHT OF OIL AT THE END OF VOYAGE
WOILMA	= MAXIMAL MOEGLICHE BUNKERMENGE = MAXIMUM POSSIBLE WEIGHT OF OIL
WOUTF	= MASSE DER SCHIFFRAULICHEN AUSRUESTUNG UND EINRICHTUNG = OUTFIT WEIGHT
WSOBA	= MASSE DES FESTBALLASTES = WEIGHT OF SOLID BALLAST
WSTDH	= STAHLMASSE DES DECKSHAUSES = STEELWEIGHT OF DECKHOUSE
WSTHUL	= STAHLMASSE DES SCHIFFRUMPFES = STEELWEIGHT OF HULL
WSTORE	= MASSE VON BESATZUNG ,EFFKTEN UND STORES = WEIGHT OF STORES ,CREW ETC.
WSTSUP	= MASSE VON BACK UND POOP = WEIGHT OF SUPERSTRUCTURE FORECASTLE AND POOP
XLGB	= POSITION VON LCB IN PROZENT-LBP VOR HAUPTSPANT = POSITION OF LCB IN PER CENT OF LBP FORWARD OF MIDSIPS (+)
ZINS	= JAHRESZINS AUF DAS INVESTIERTE KAPITAL = INTEREST RATE ON THE INVESTED CAPITAL
ZINSCA	= JAHRESZINSEN AUF DEN WERT DER LADUNG = INTEREST RATE ON THE VALUE OF THE CARGO
ZKGCOD	= KG DER CONTAINER AN DECK = KG OF CONTAINER ON DECK
ZKGCHD	= KG DER CONTAINER IN DEN LADERAEUMEN = KG OF CONTAINER IN HOLDS
ZKGDH	= KG DES DECKSHAUSES = KG OF DECKHOUSE
ZKGER	= KG DER HAUPTMASCHINE UND DER MASCHINENRAUM- AUSRUESTUNG = KG OF ENGINE AND ENGINE ROOM OUTFIT
ZKGERD	= SCHWERPUNKT DER HAUPTMASCHINE UND DER UEBRIGEN MASCHINENANLAGE BEZOGEN AUF DIE SEITENHOEHE = CENTRE OF GRAVITY ABOVE BASE FOR ENGINE AND ENGINE ROOM OUTFIT IN RELATION TO THE DEPTH OF THE SHIP

- ZKGFLE = SCHWERPUNKT DES SCHIFFES AM ENDE DER REISE
= CENTRE OF GRAVITY OF COMPLETE SHIP IN THE END OF VOYAGE
- ZKGFW = KG DES FRISCHWASSERS
= KG OF FRESHWATER
- ZKGFWD = KG DES FRISCHWASSERS BEZOGEN AUF DIE SEITENHOEHE
= KG OF FRESHWATER IN RELATION TO THE DEPTH OF THE SHIP
- ZKGHULL = KG DES STAHLRUMPFES
= KG OF STEEL HULL
- ZK GKON = SCHWERPUNKT DES SCHIFFES OHNE
VERBRAUCHSGUETER UEBER BASIS
= CENTRE OF GRAVITY OF WKON
- ZKGLS = KG DES LEERSCHIFFES
= KG OF LIGHT SHIP
- ZKGOUD = SCHWERPUNKT DER AUSRUESTUNG BEZOGEN AUF DIE SEITENHOEHE
= CENTRE OF GRAVITY OF OUTFIT IN RELATION TO THE
DEPTH OF THE SHIP
- ZKGOUT = KG DER AUSRUESTUNG
= KG OF OUTFIT
- ZKGSOB = KG DES FESTBALLASTS UEBER BASIS
= KG OF SOLID BALLAST ABOVE BASE
- ZKGSTO = SCHWERPUNKT VON WSTORE BEZOGEN AUF D
= CENTRE OF GRAVITY ABOVE BASE OF WSTORE IN RELATION TO D
- ZKME = METAZENTRISCHE HOEHE UEBER BASIS AM ENDE DER REISE
= TRANSVERSEMETACENTRE ABOVE BASE ,END OF VOYAGE
- ZSCRAP = STAHLVERSCHNITT BEZOGEN AUF NETTOSTAHLMASSE
= STEEL SCRAP IN RELATION TO NET STEEL MASS
- ZUSCHL = PROZENTUALER WIDERSTANDSZUSCHLAG ZWISCHEN
PROBEFAHRTS- UND DIENSTBEDINGUNGEN BEZOGEN AUF DIE
PROBEFAHRT
= RESISTANCE SURCHARGE IN % BETWEEN TRIAL AND SERVICE
CONDITION IN RELATION TO THE TRIAL

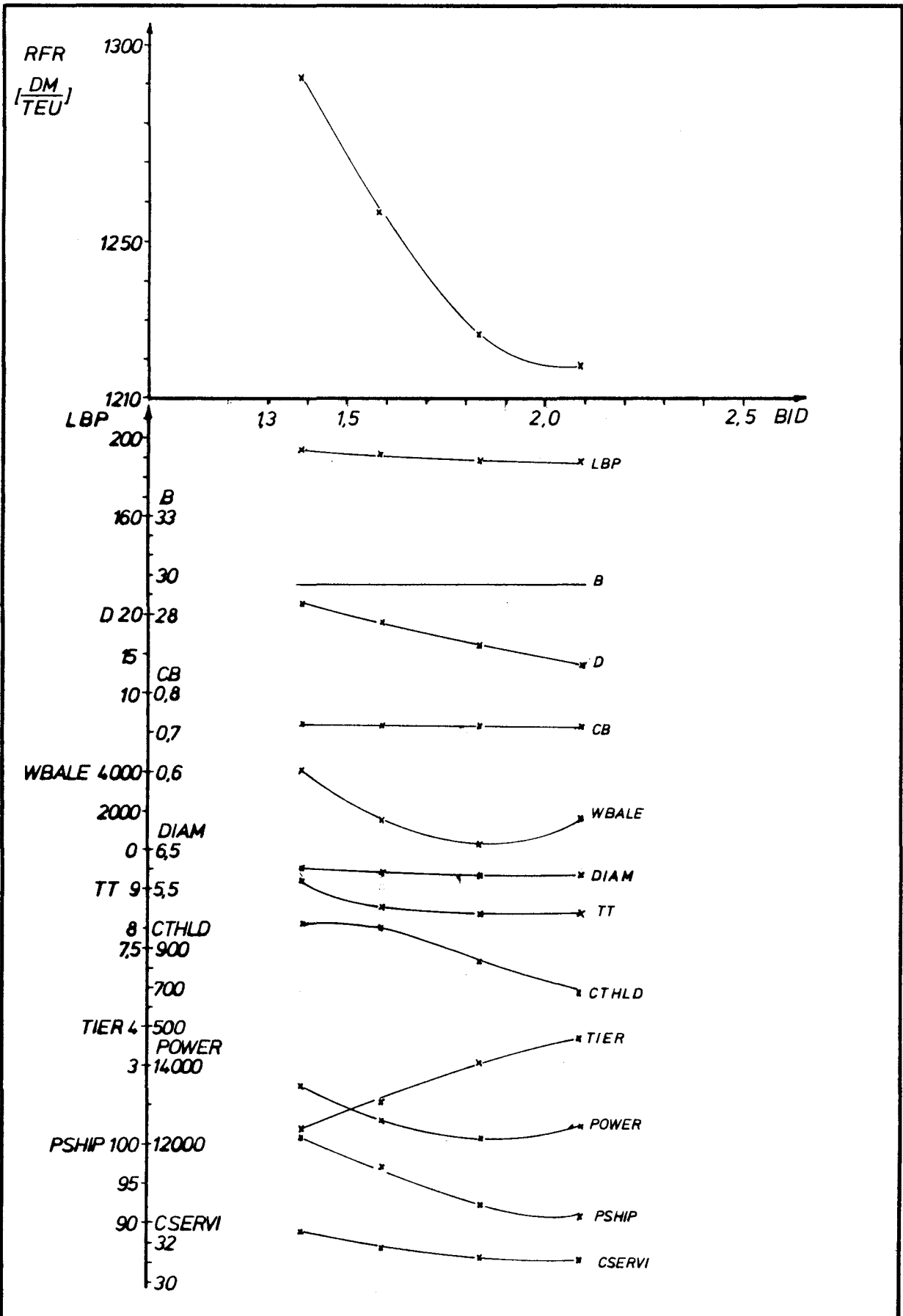


ABB. 21: SCHIFFSBREITE 29,56 M, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFF
 SEITENHÖHE VON 13,49 BIS 21,34 M, SBG-STABILITÄTSKRITERIUM
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

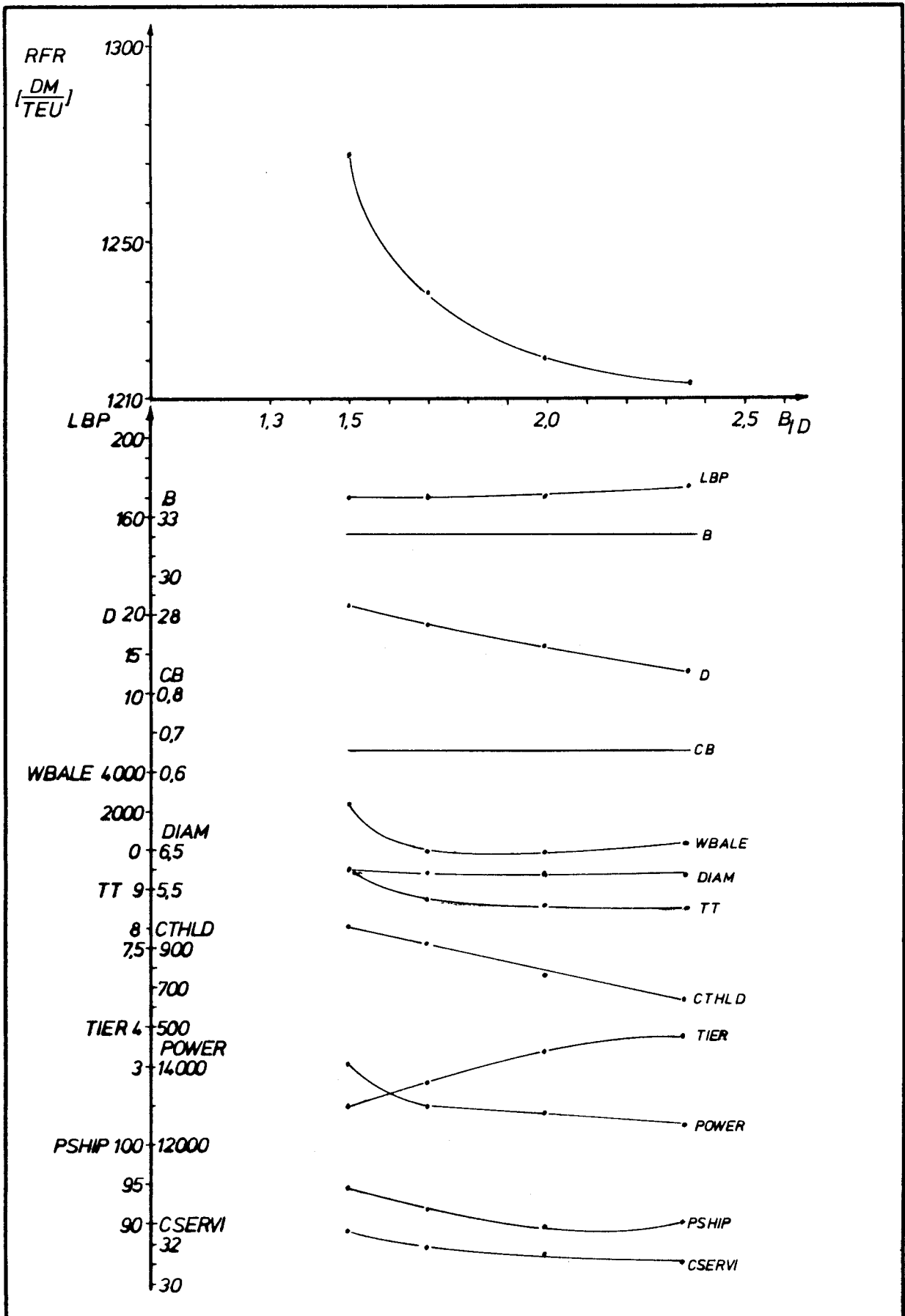


ABB. 22: SCHIFFSBREITE 32,20 M, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFF
 SEITENHÖHE VON 13,61 BIS 21,46 M, SBG-STABILITÄTSKRITERIUM
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

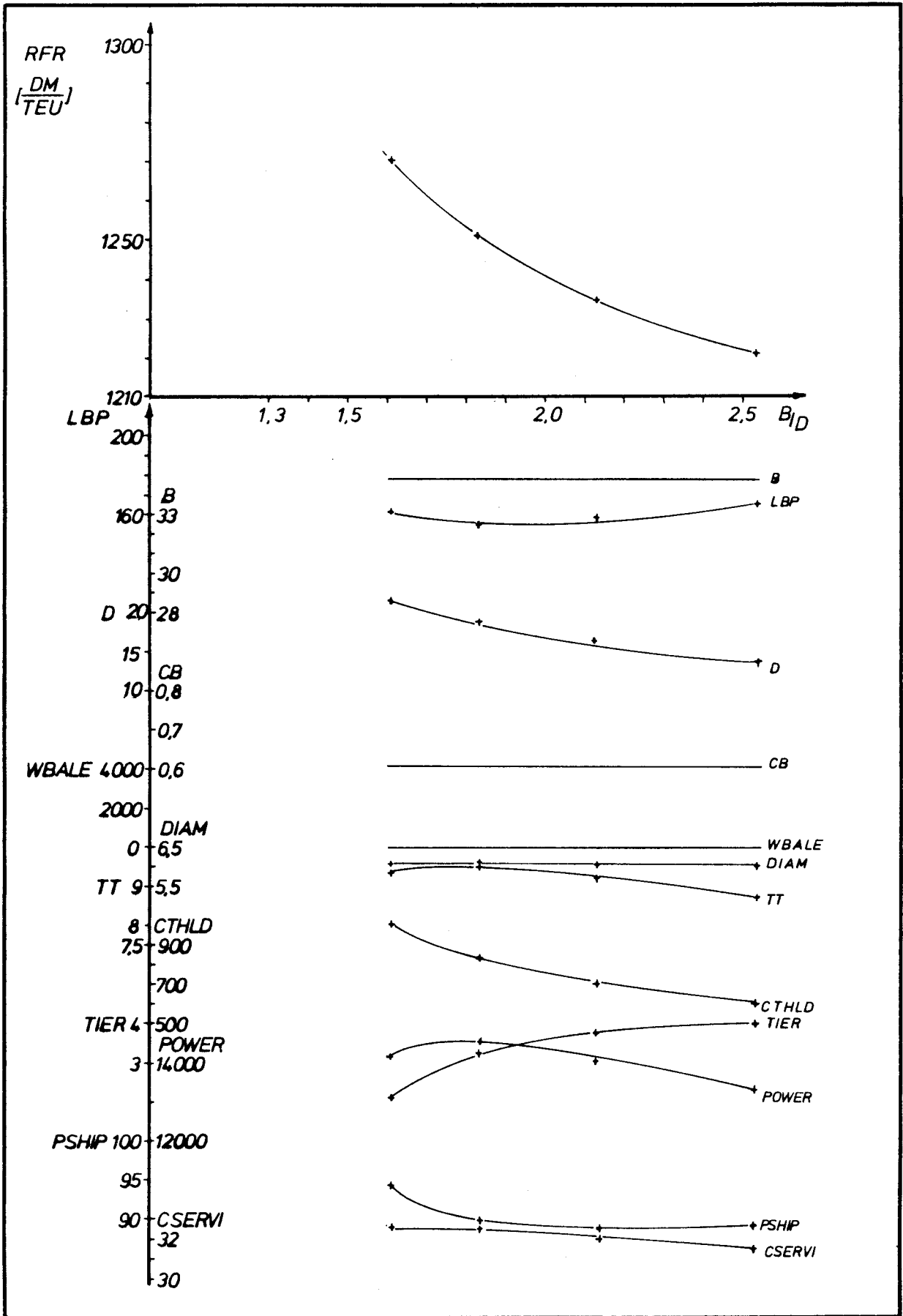


ABB. 23: SCHIFFSBREITE 34,84 M, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFF
 SEITENHÖHE VON 13,75 BIS 21,59 M, SBG-STABILITÄTSKRITERIUM
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

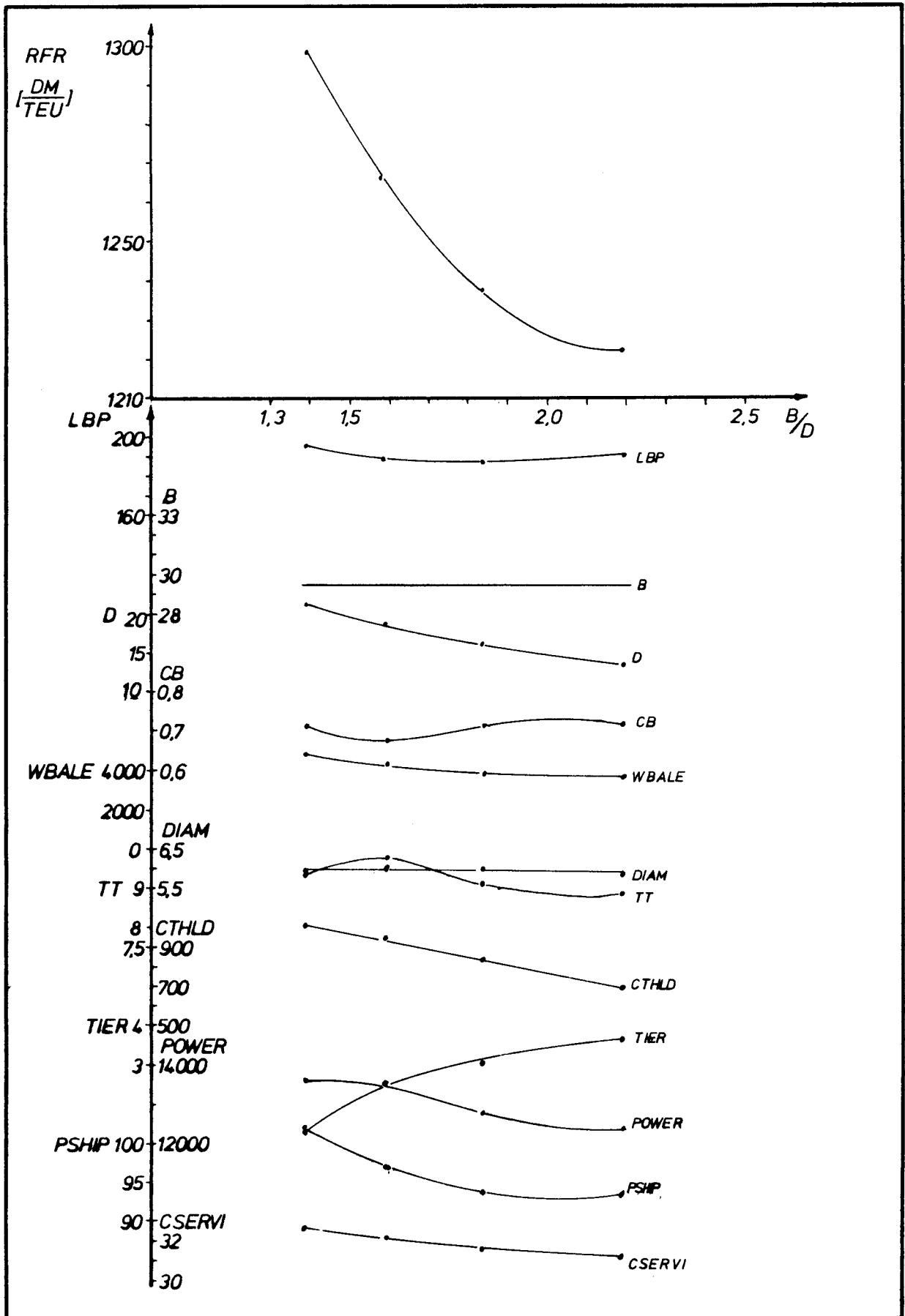


ABB. 24: SCHIFFSBREITE 29,56 M, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFF
SEITENHÖHE VON 13,49 BIS 21,34 M, HSVA-STABILITÄTSKRITERIUM
FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

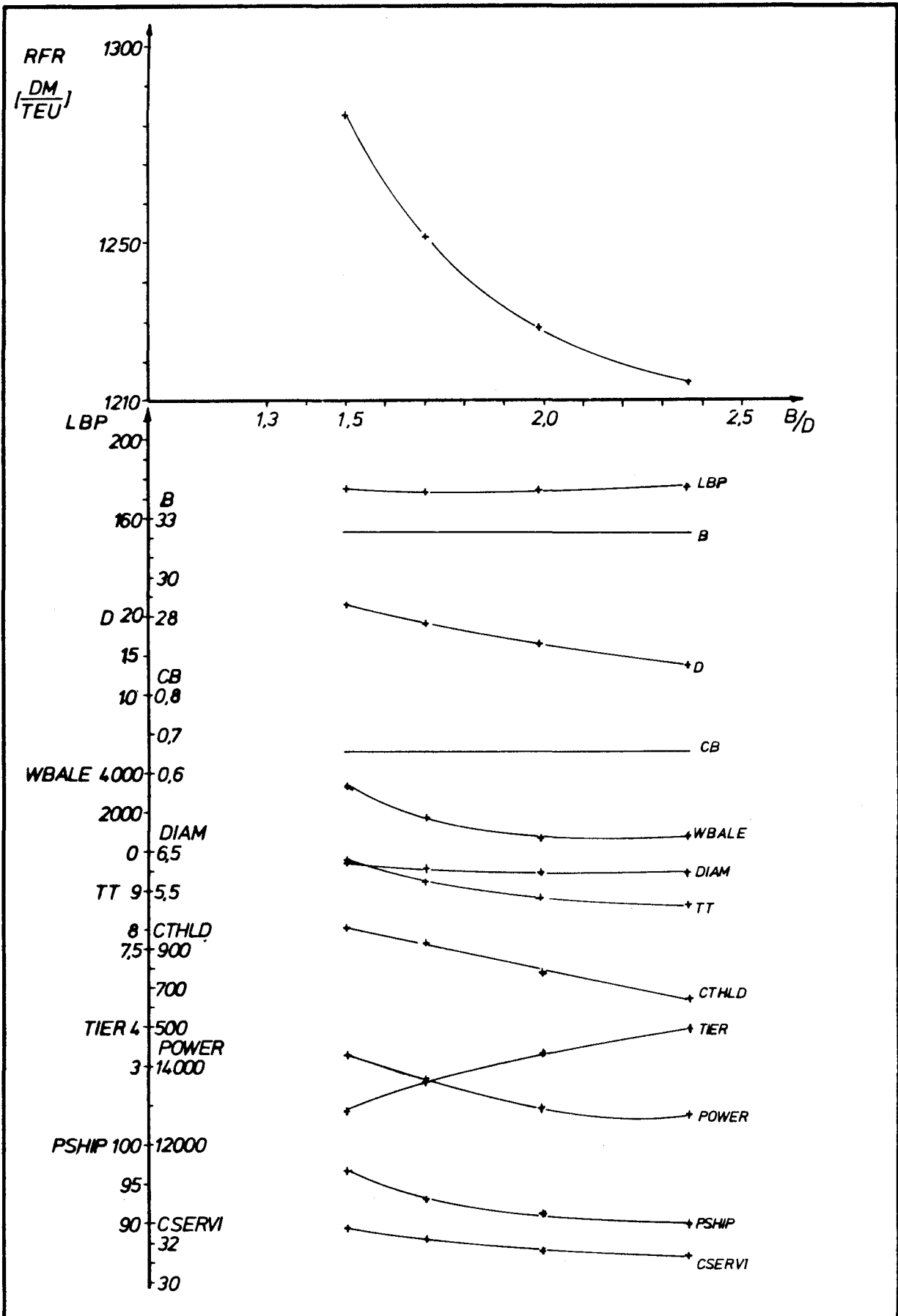


ABB. 25: SCHIFFSBREITE 32,20 M, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFF
 SEITENHÖHE VON 13,61 BIS 21,46 M, HSVA-STABILITÄTSKRITERIUM
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

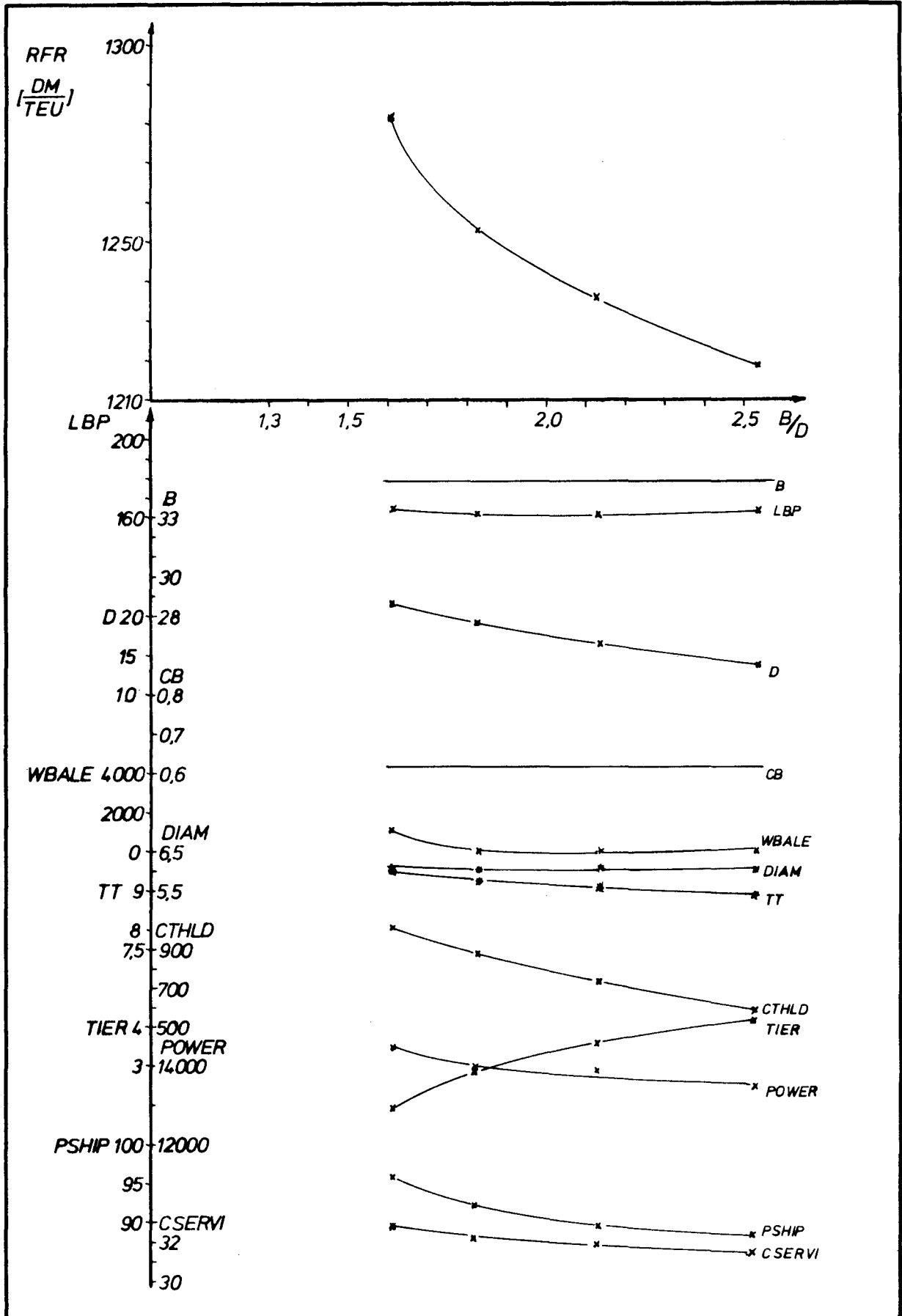


Abb. 26: SCHIFFSBREITE 34,84 m, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFF
 SEITENHÖHE VON 13,75 BIS 21,59 m, HSVA-STABILITÄTSKRITERIUM
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

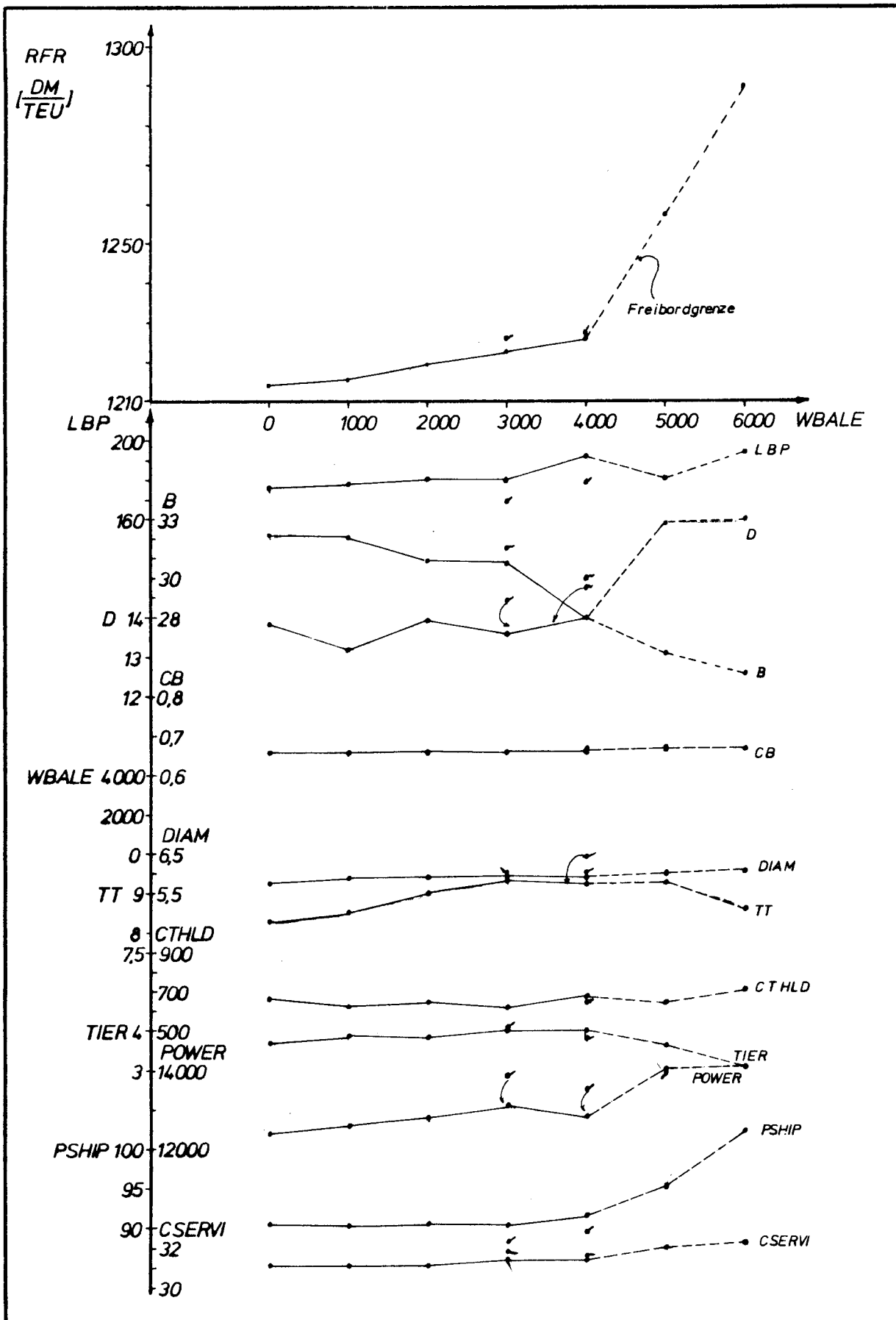


ABB. 27: BALLASTWASSER, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 FREIE UNBEKANNTE RNL, RNB, RND, CB, DIAM;

RFR-OPTIMIERT

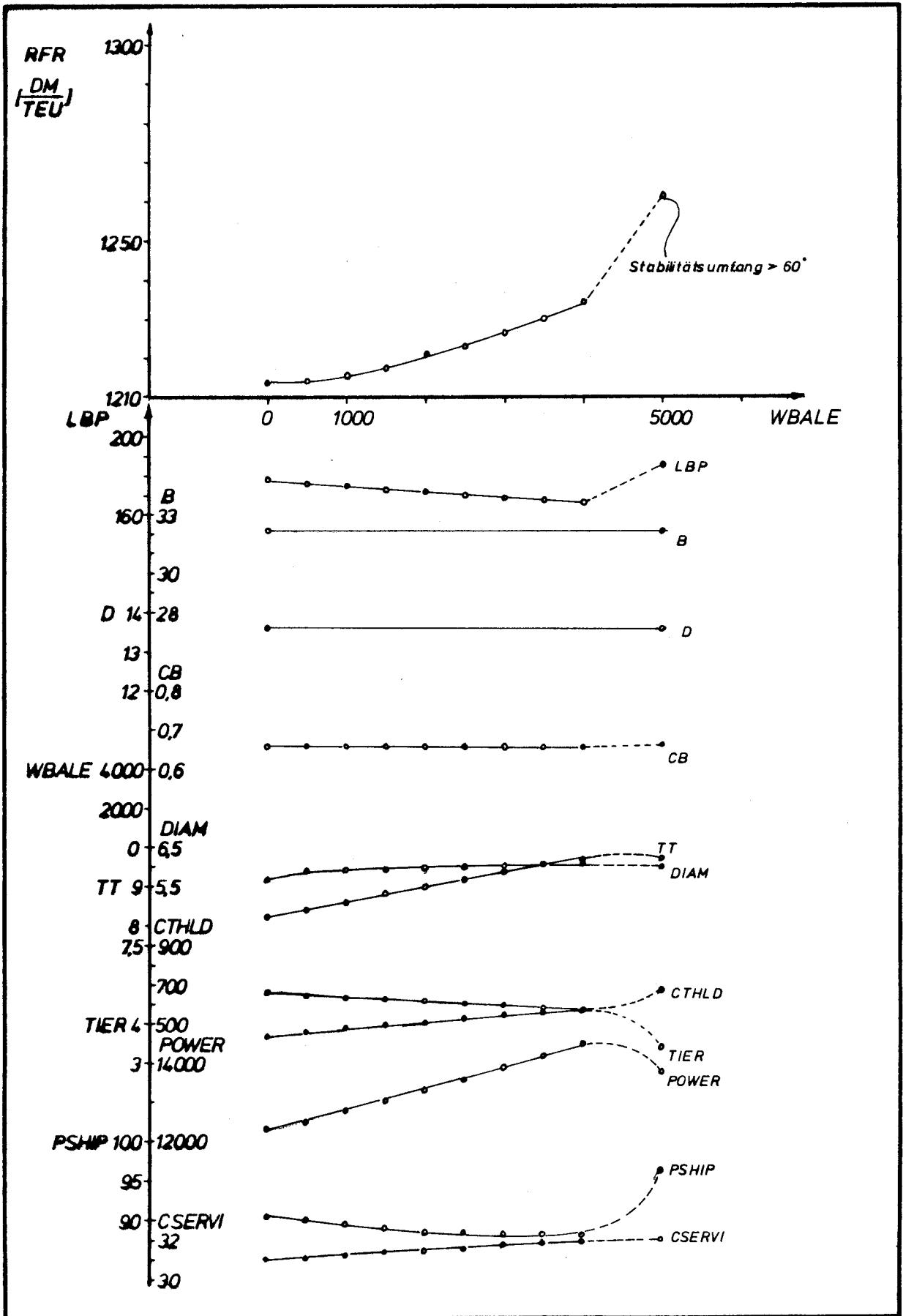


ABB. 28: BALLASTWASSER, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 BREITE = 32,2 M, SEITENHÖHE = 13,62 M
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM;

RFR-OPTIMIERT

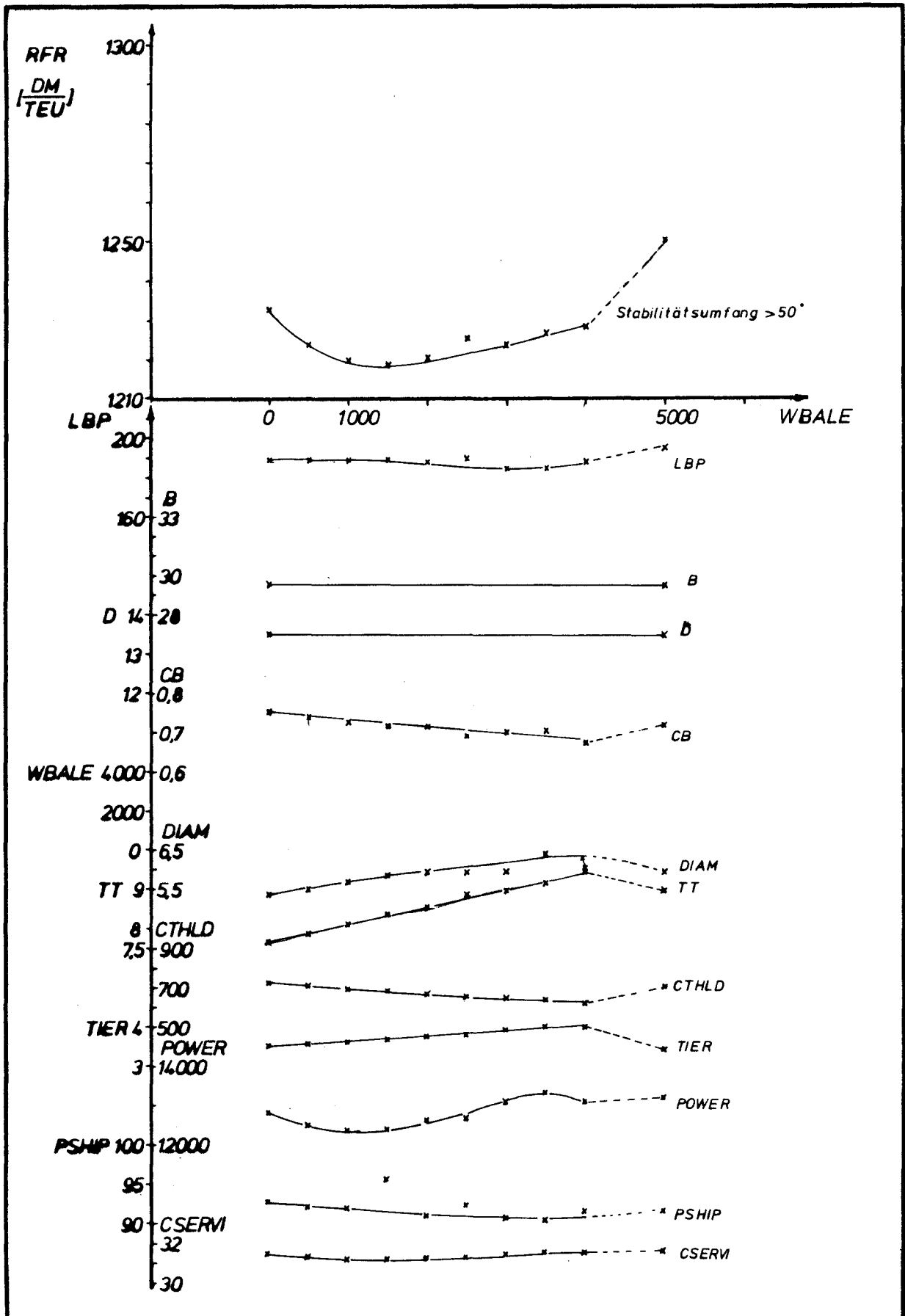


ABB. 29: BALLASTWASSER, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 BREITE 29.56 M, SEITENHÖHE 13.49 M
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM;

RFR-OPTIMIERT

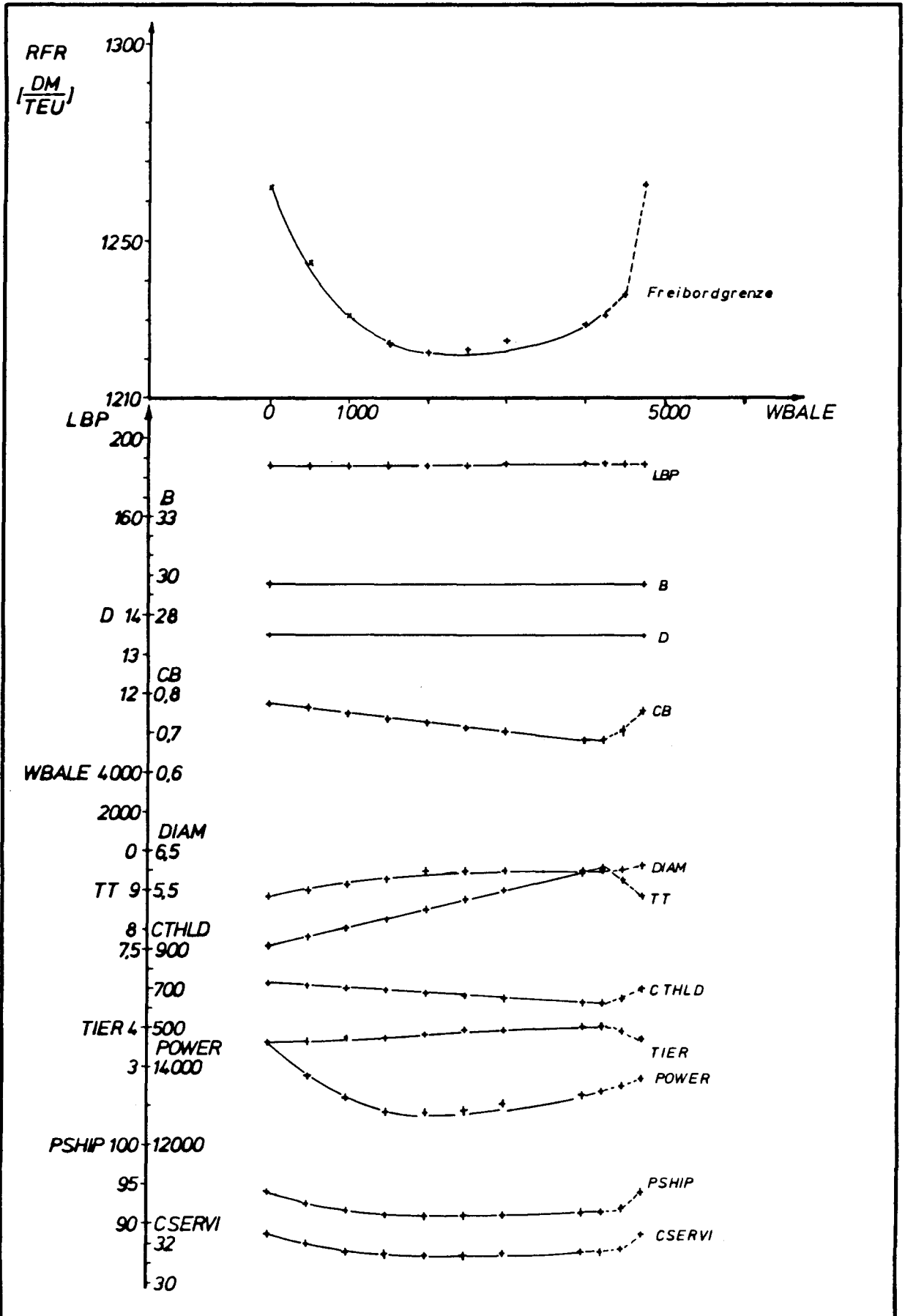


ABB. 30: BALLASTWASSER, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERBAYS = 19, BREITE 29,56 M, SEITENHÖHE 14,49 M
 FREIE UNBEKANNTE CB, DIAM;

RFR-OPTIMIERT

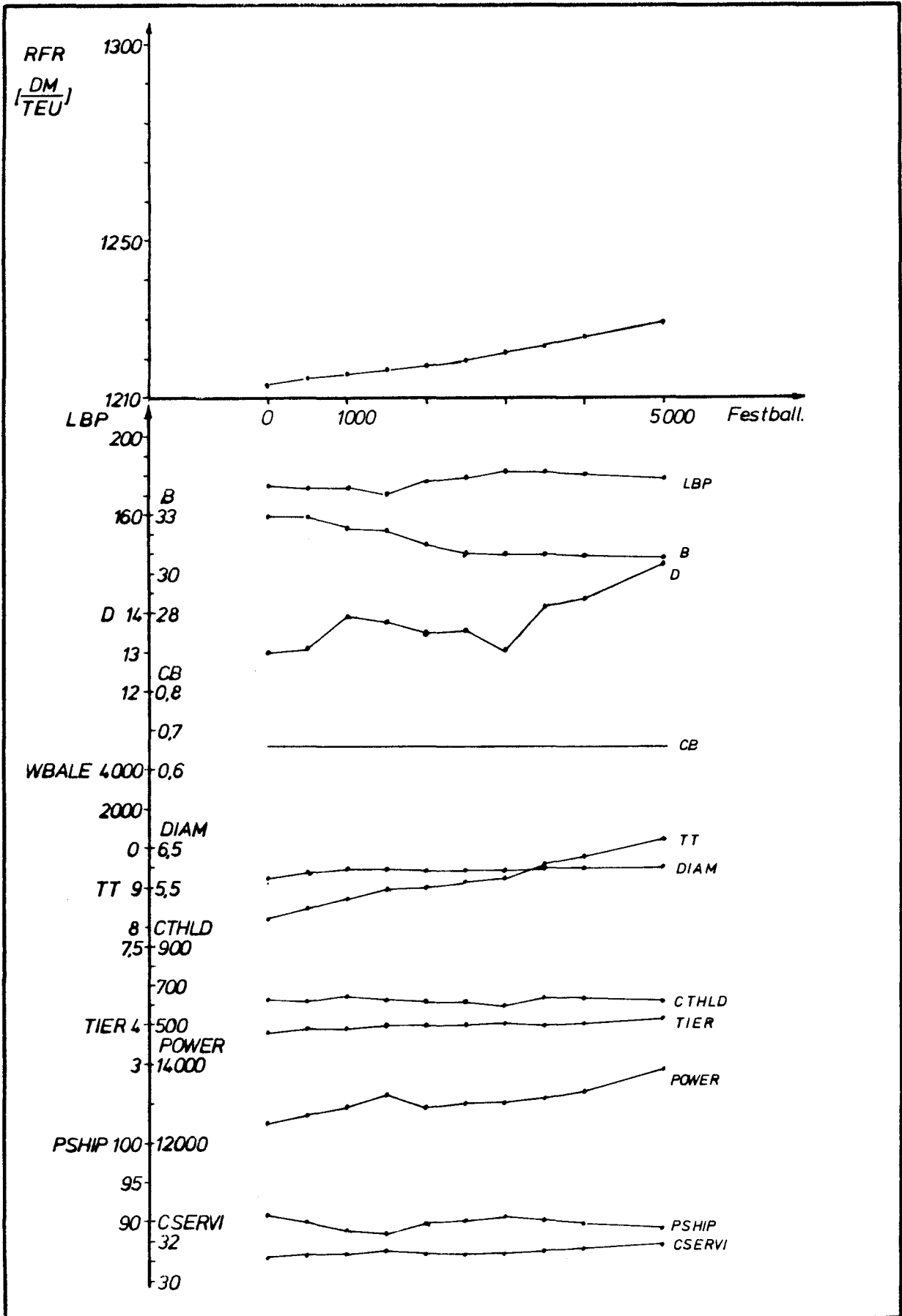


ABB. 31: FESTBALLAST, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE

WASSERBALLAST = 0 T

FREIE UNBEKANNTE RNL, RNB, RND, CB, DIAM;

RFR-OPTIMIERT

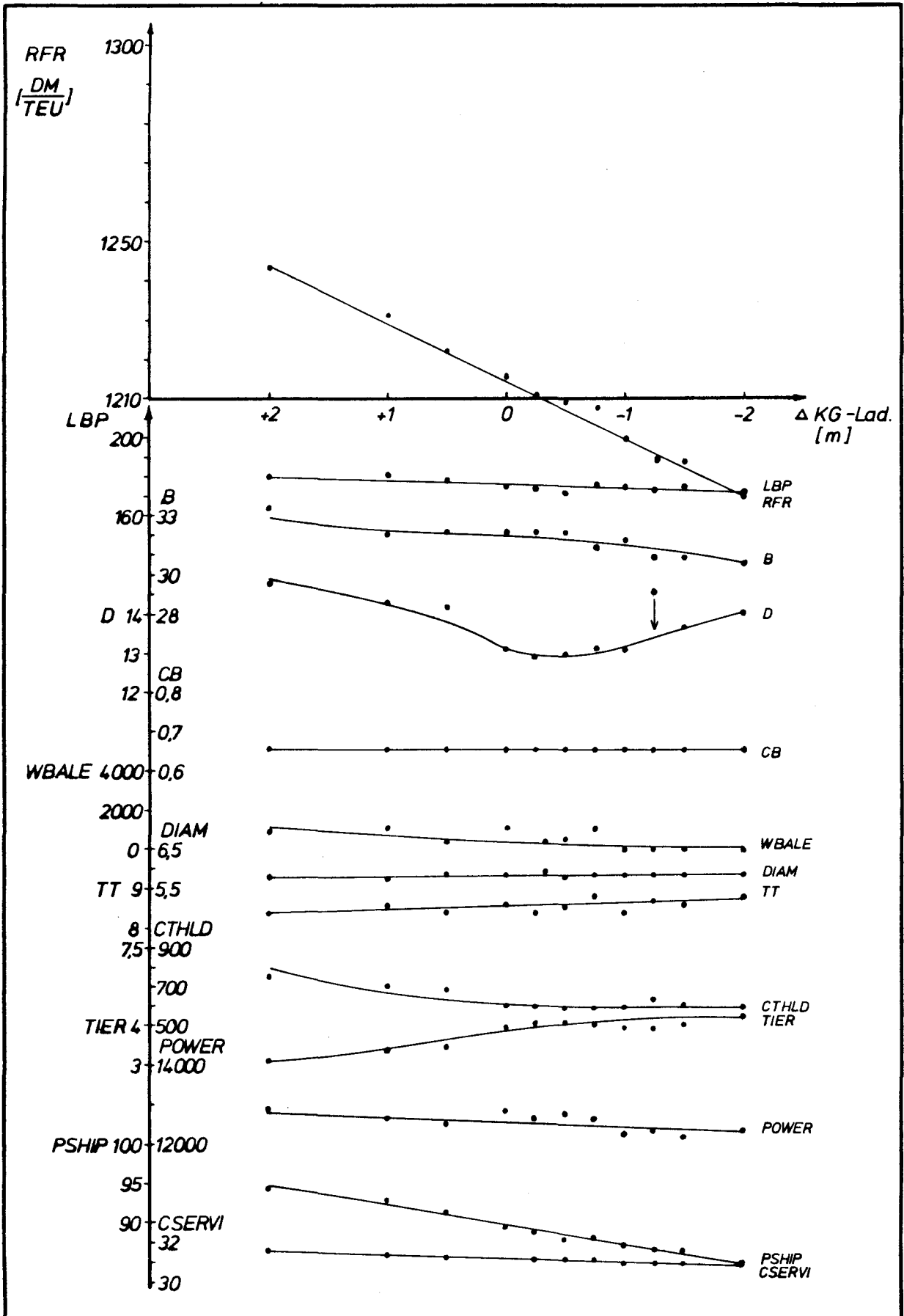


ABB. 32: INHOMOGENE LADUNGSVERTEILUNG, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 FREIE UNBEKANNTE RNL, RNB, RND, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

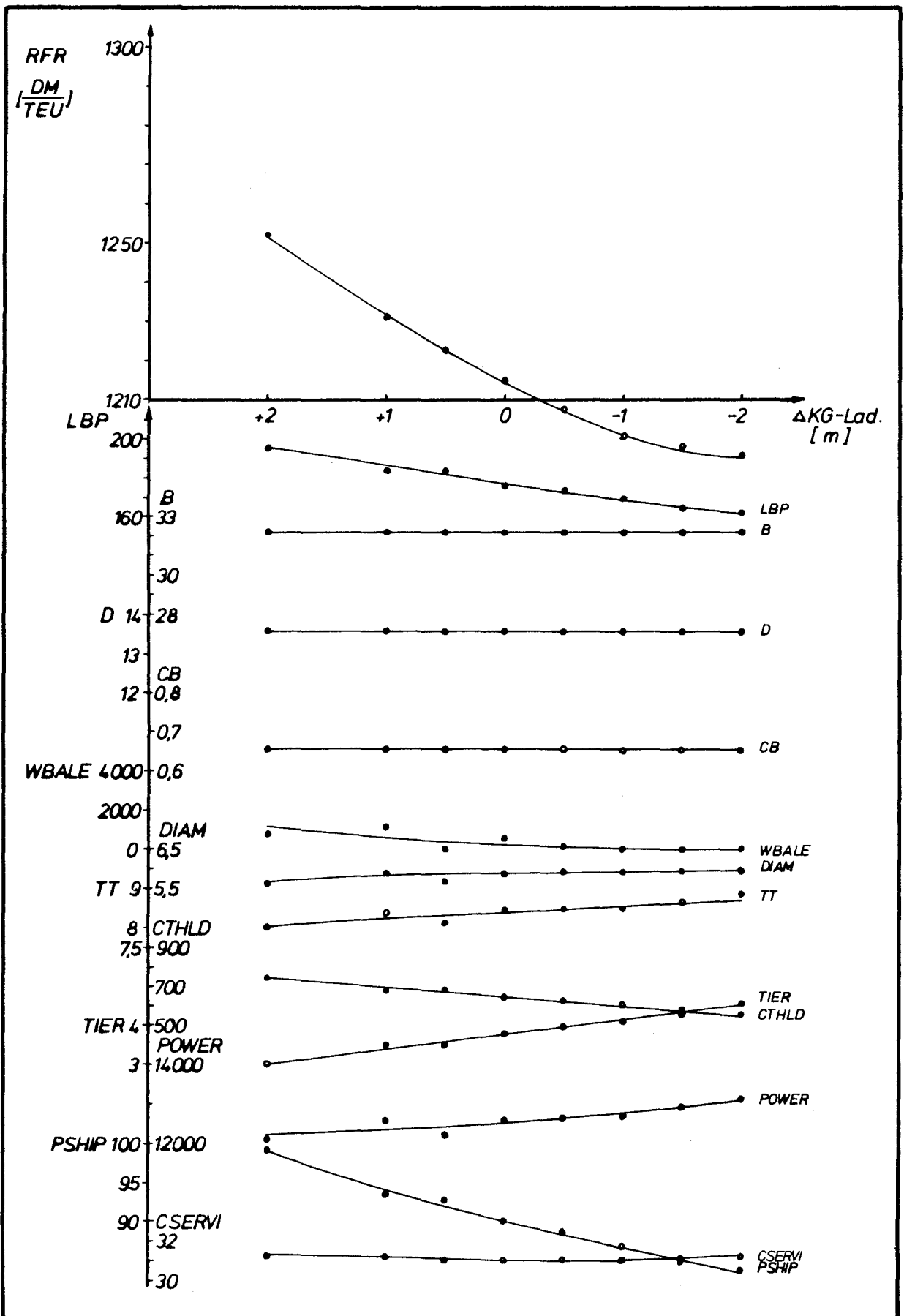


ABB. 33: INHOMOGENE LADUNGSVERTEILUNG, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 BREITE = 32,2 m, SEITENHÖHE = 13,62 m
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

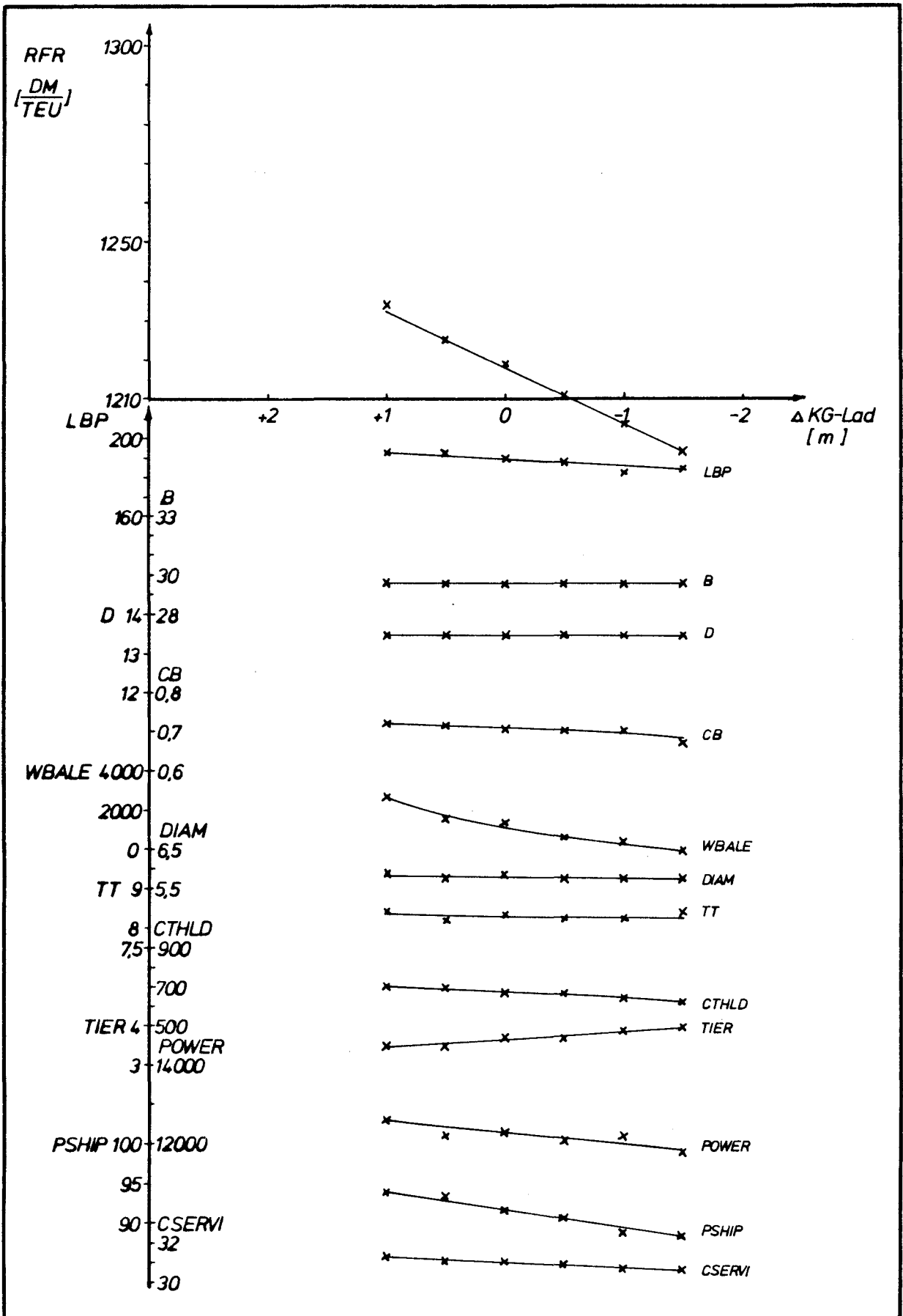


Abb. 34: INHOMOGENE LADUNGSVERTEILUNG, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 BREITE = 29,56 m, SEITENHÖHE = 13,49 m
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

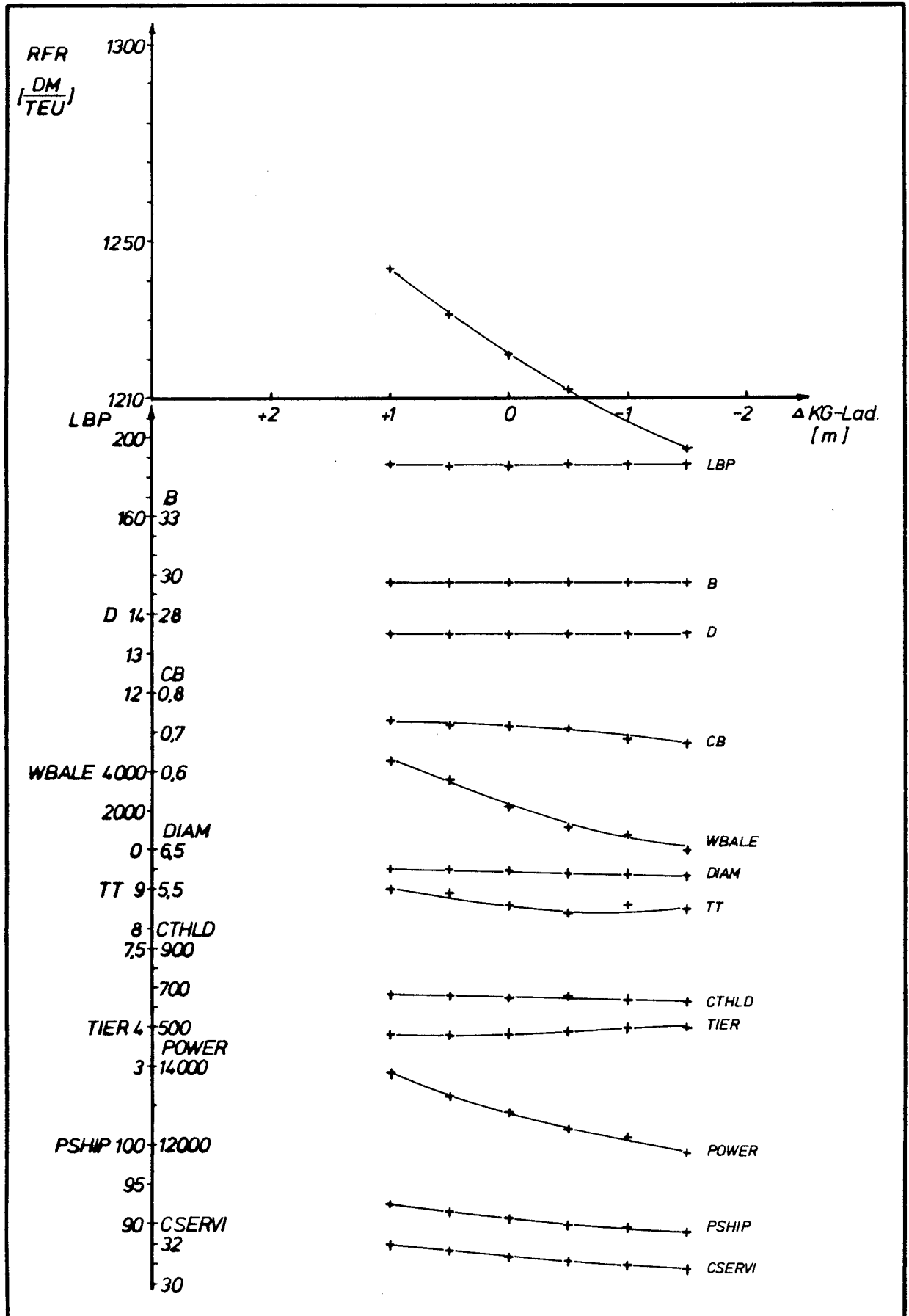


ABB. 35: INHOMOGENE LADUNGSVERTEILUNG, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERBAYS = 19, BREITE 29,56 M, SEITENHÖHE = 13,49 M
 FREIE UNBEKANNTE CB, DIAM, WBALE; RFR-OPTIMIERT

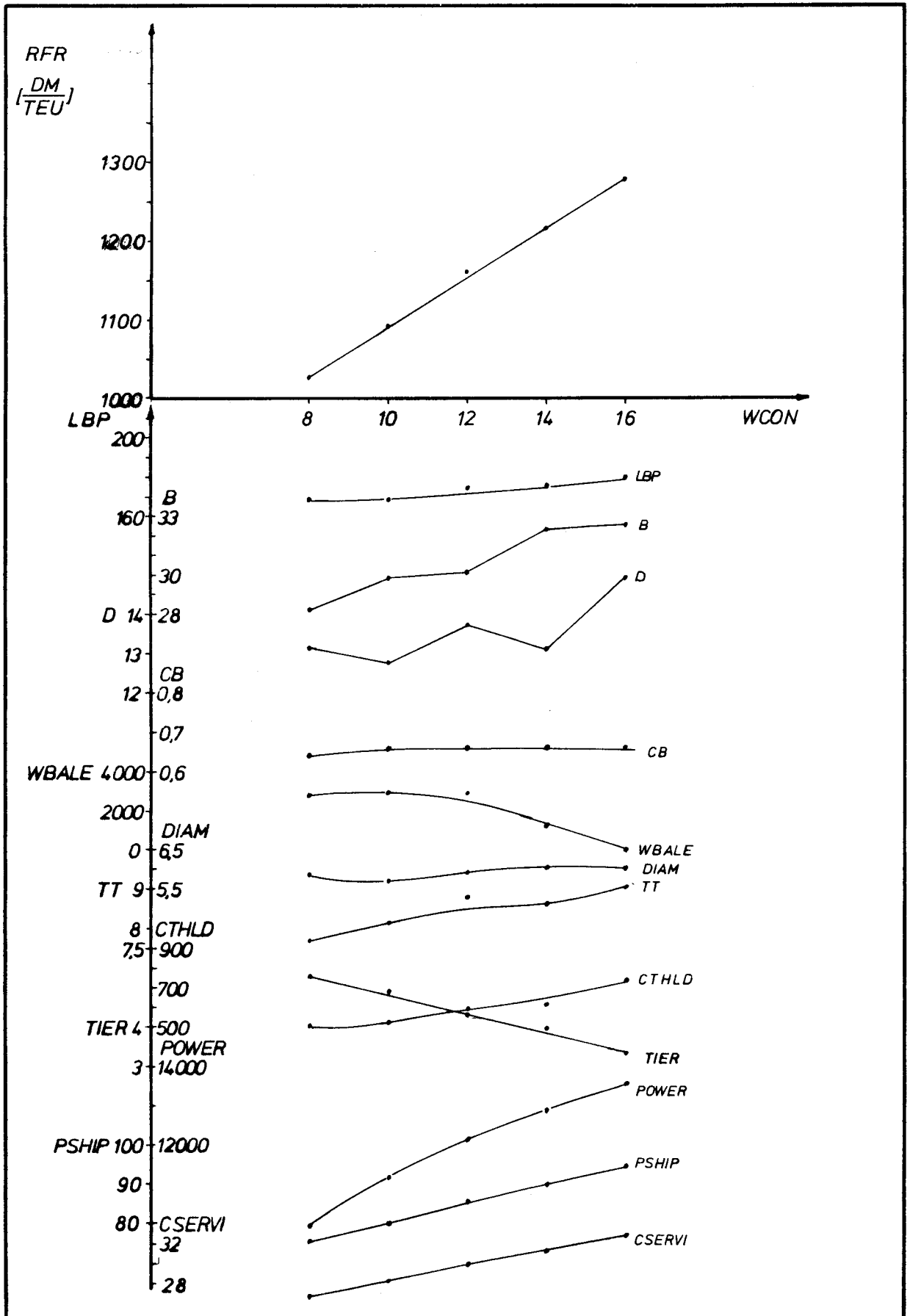


ABB. 36: VERÄNDERTE CONTAINERMASSE PRO TEU, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 FREIE UNBEKANNTE RNL, RNB, RND, CB, WBALE, DIAM;

RFR-OPTIMIERT

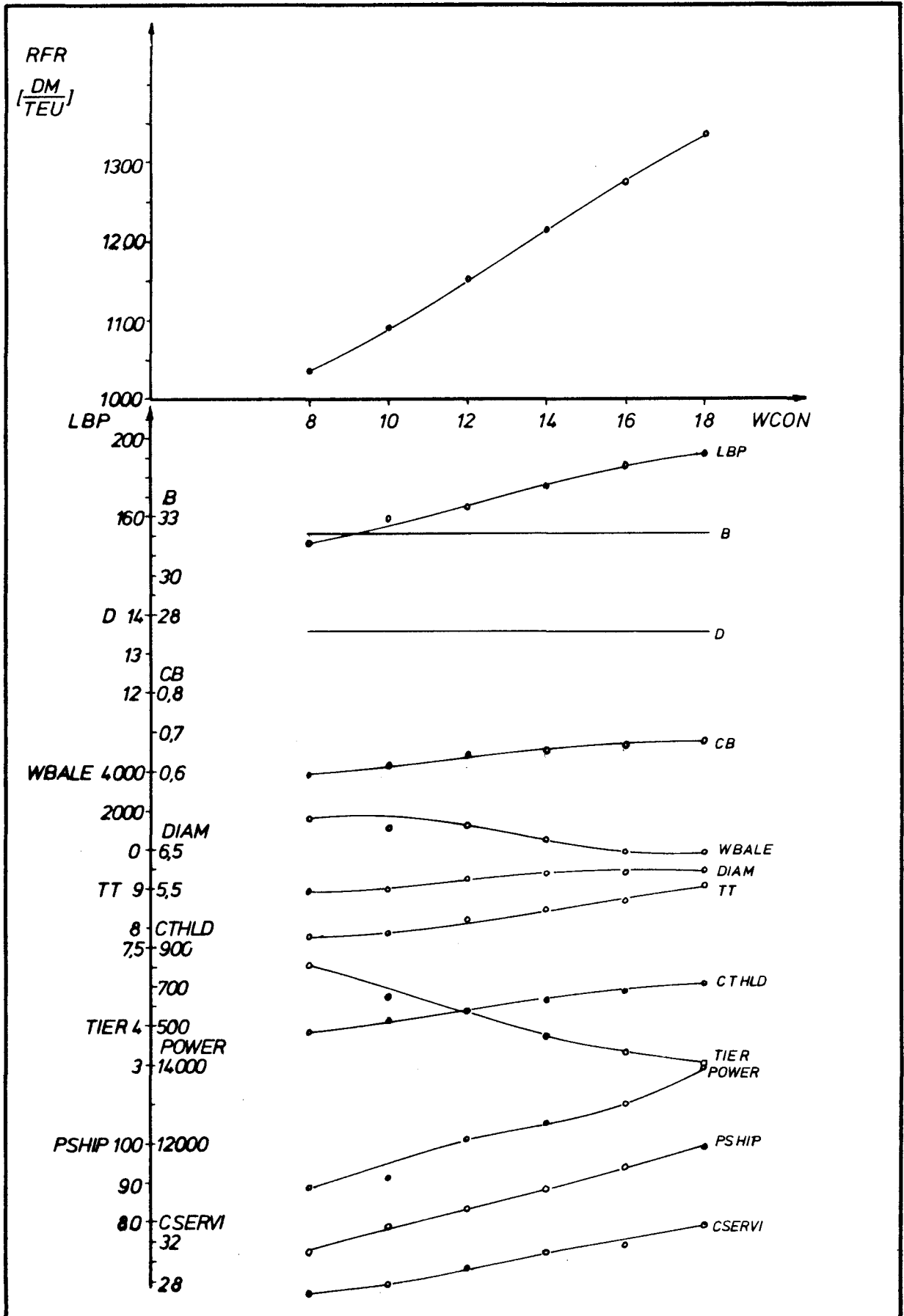


ABB. 37: VERÄNDERTE CONTAINERMASSE PRO TEU, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 SCHIFFSBREITE = 32,2 M, SEITENHÖHE = 13,62 M
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, WBALE, DIAM;

RFR-OPTIMIERT

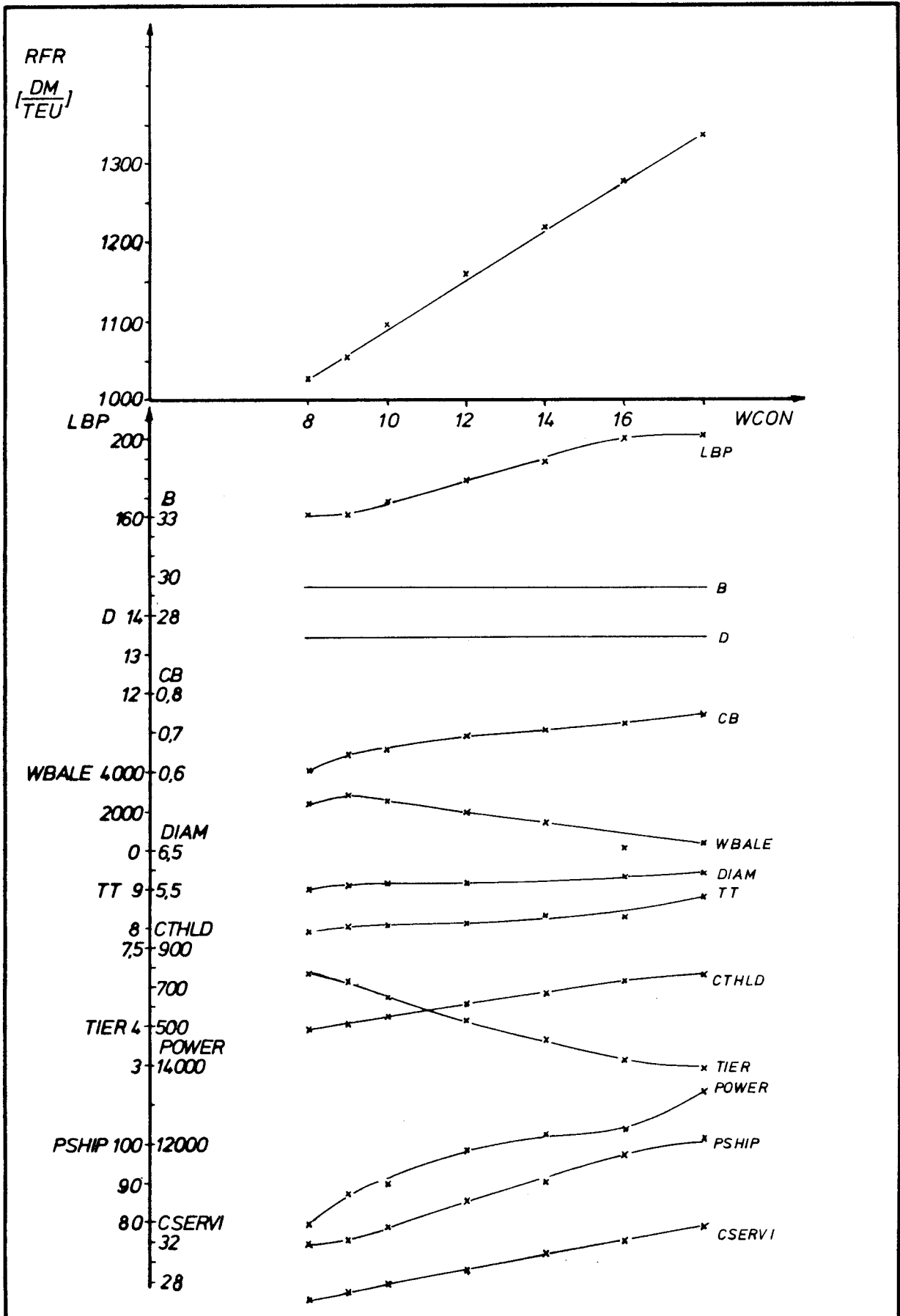


Abb. 38: VERÄNDERTE CONTAINERMASSE PRO TEU, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 SCHIFFSBREITE = 29,56 m, SEITENHÖHE = 13,49 m
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, WBALE, DIAM;

RFR-OPTIMIERT

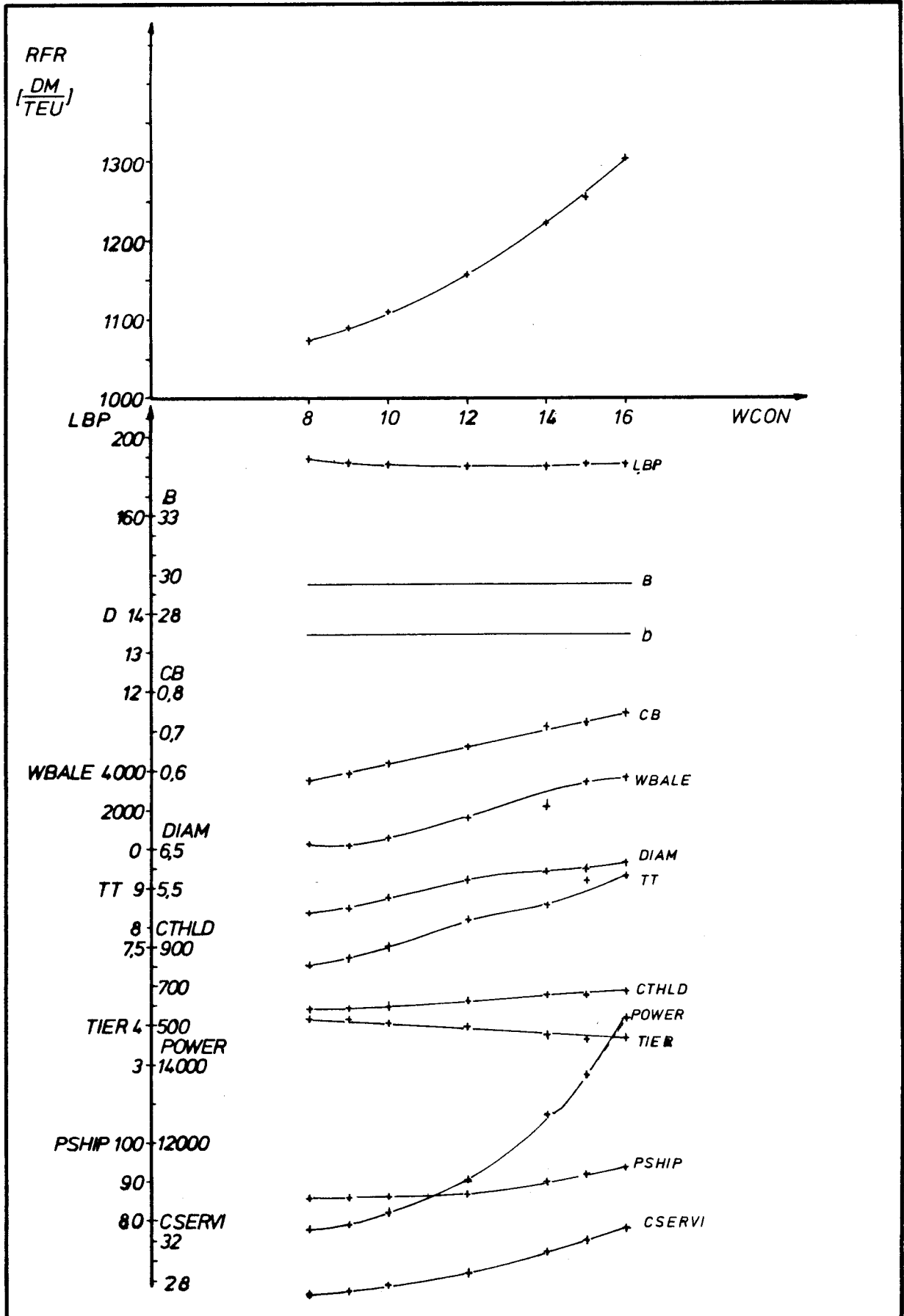


Abb. 39: VERÄNDERTE CONTAINERMASSE PRO TEU, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERBAYS = 19, BREITE = 29,56 m, SEITENHÖHE = 13,49 m
 FREIE UNBEKANNTE CB, WBALE, DIAM; RFR-OPTIMIERT

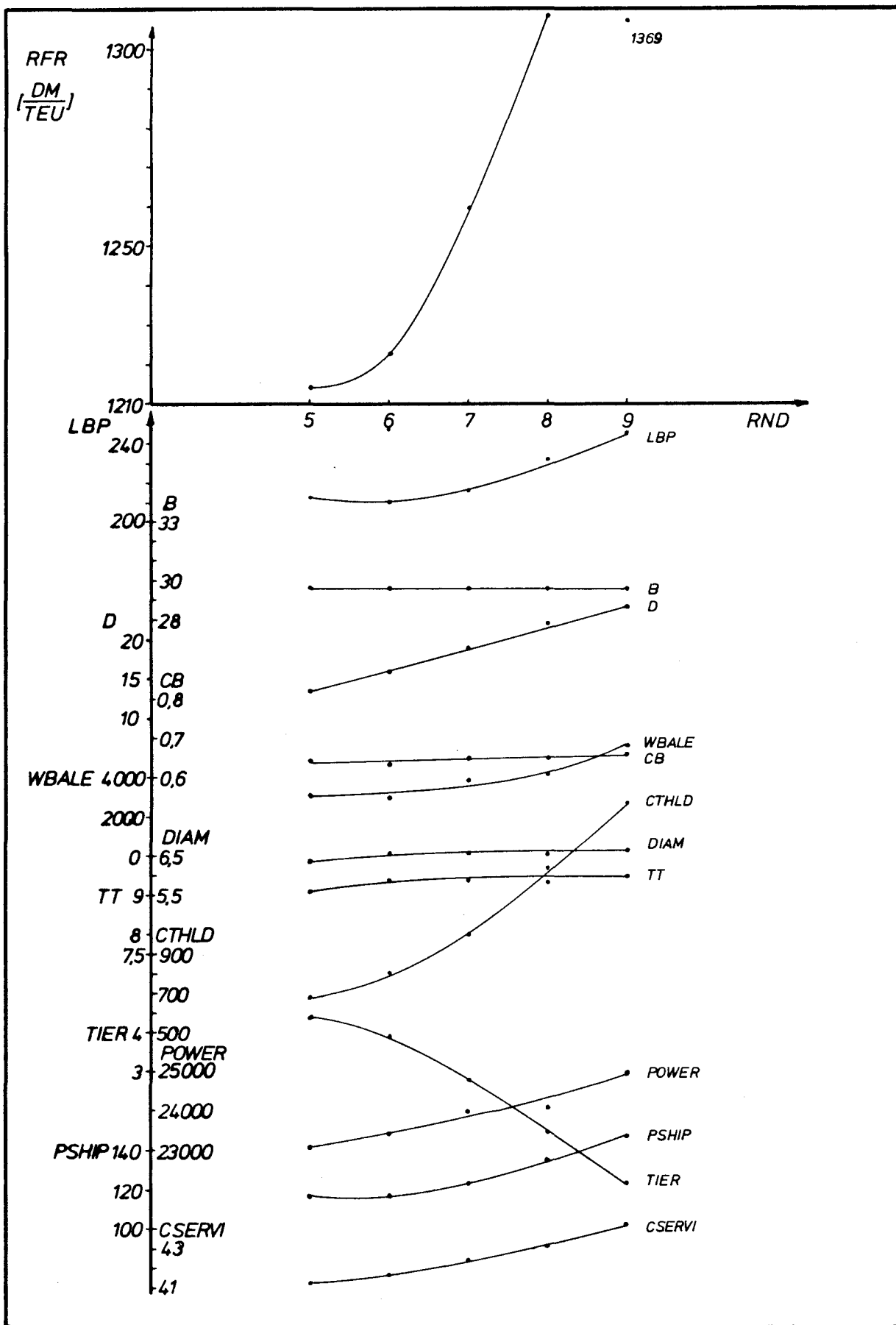


Abb. 40: 1755-TEU-CONTAINERSCHIFFE, SCHIFFSBREITE = 29,56 M
 SCHIFFSGESCHWINDIGKEIT 11,06 m/s, CONTAINERMASSE 11,4 t/TEU
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

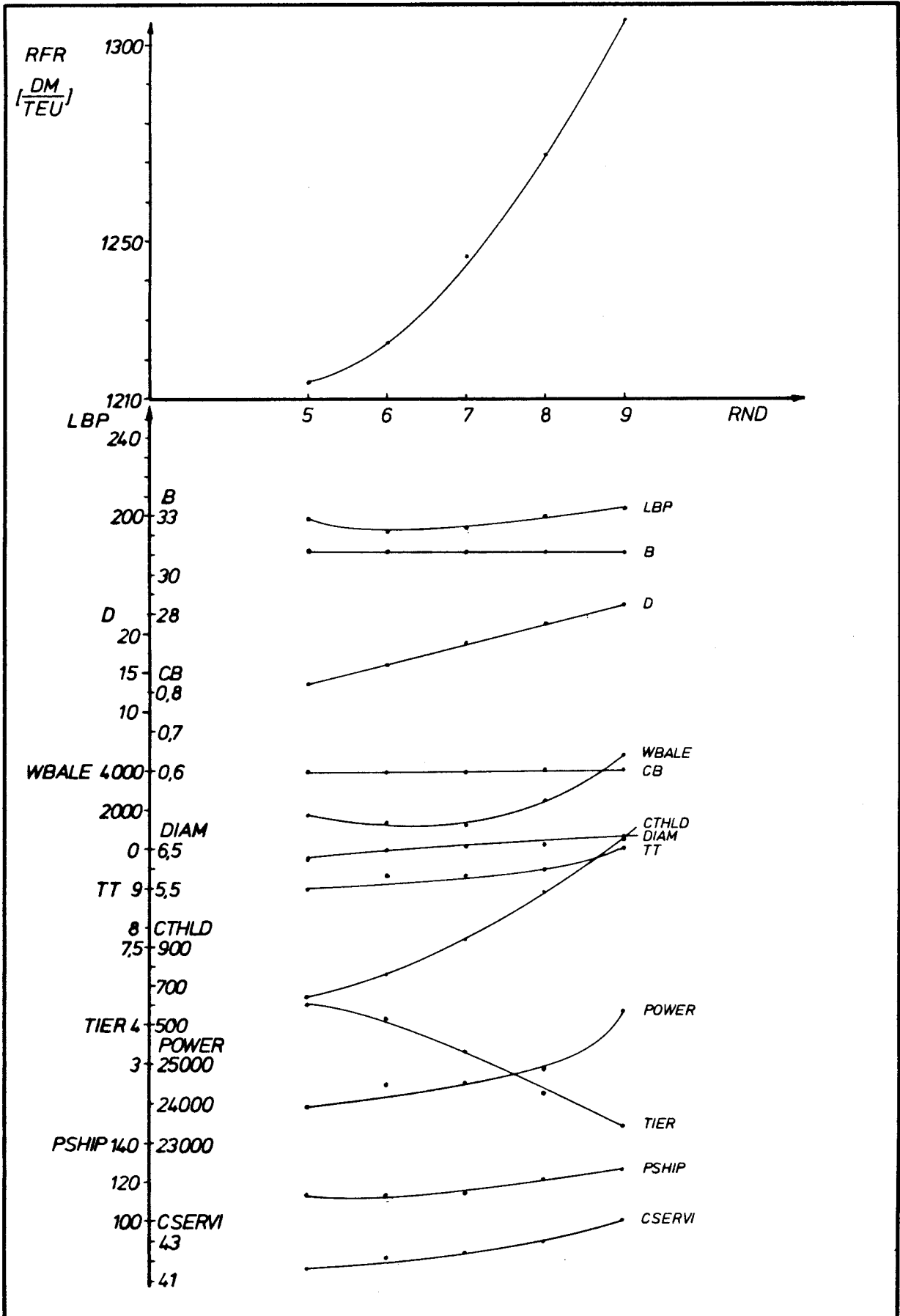


Abb. 41: 1755-TEU-CONTAINERSCHIFFE, SCHIFFSBREITE = 32,20 M
 SCHIFFSGESCHWINDIGKEIT 11,06 M/S, CONTAINERMASSE 11,4 T/TEU
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

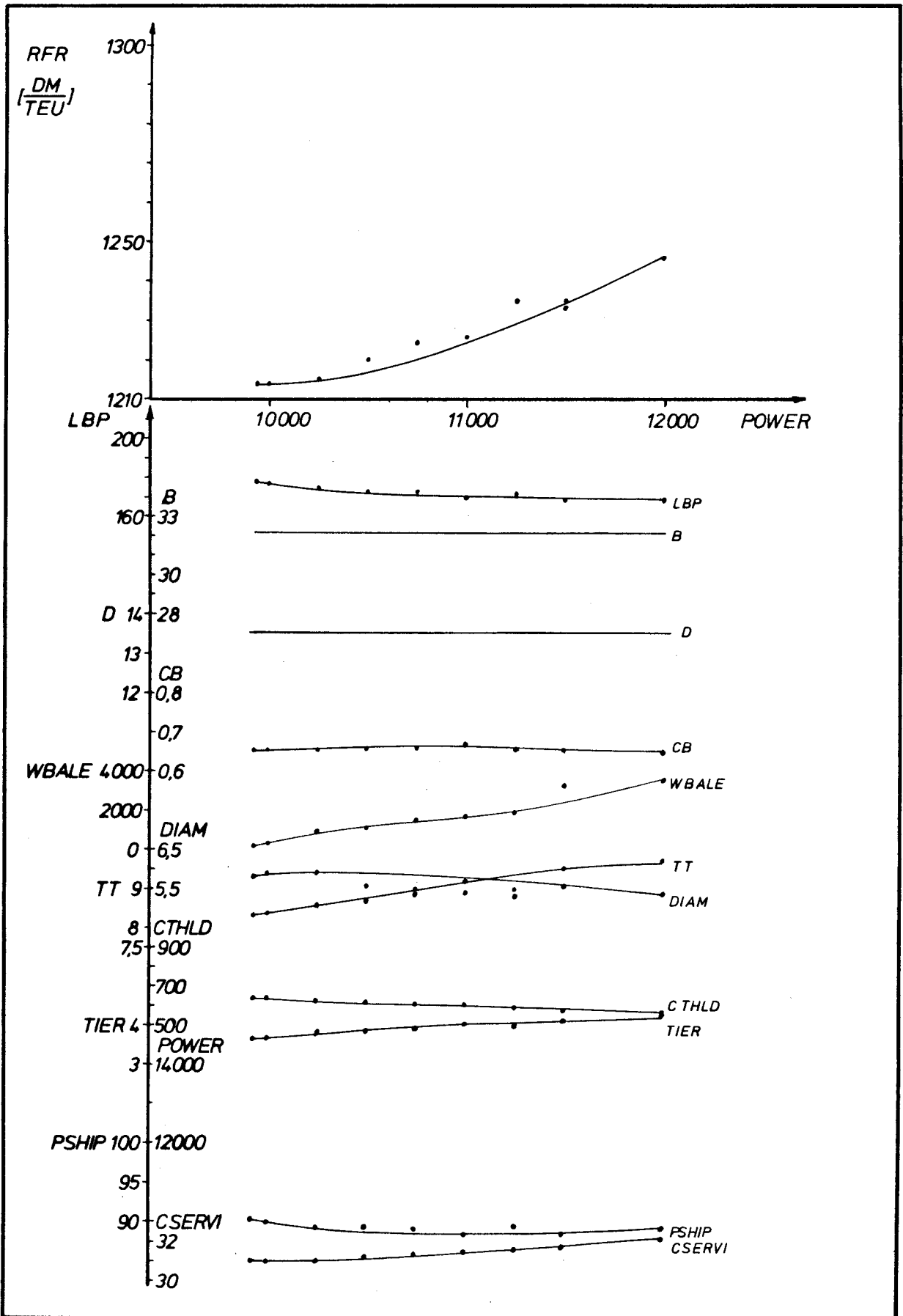


ABB. 42: VARIATION DER HAUPTMASCHINENLEISTUNG, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 BREITE = 32,2 M, SEITENHÖHE = 13,62 M
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

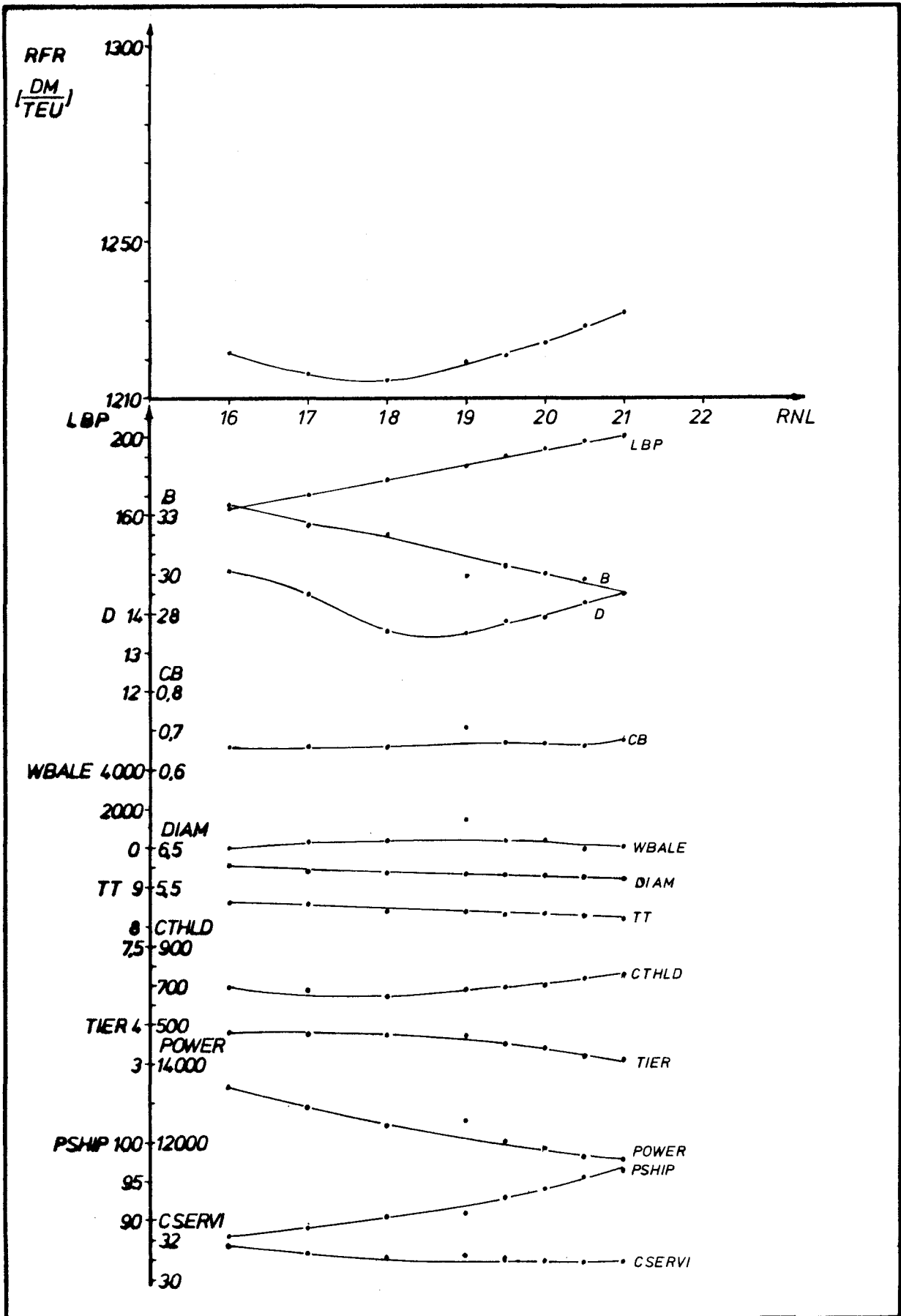


Abb. 44: VARIATION DER CONTAINERBAYS, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 FREIE UNBEKANNTE RNB, RND, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

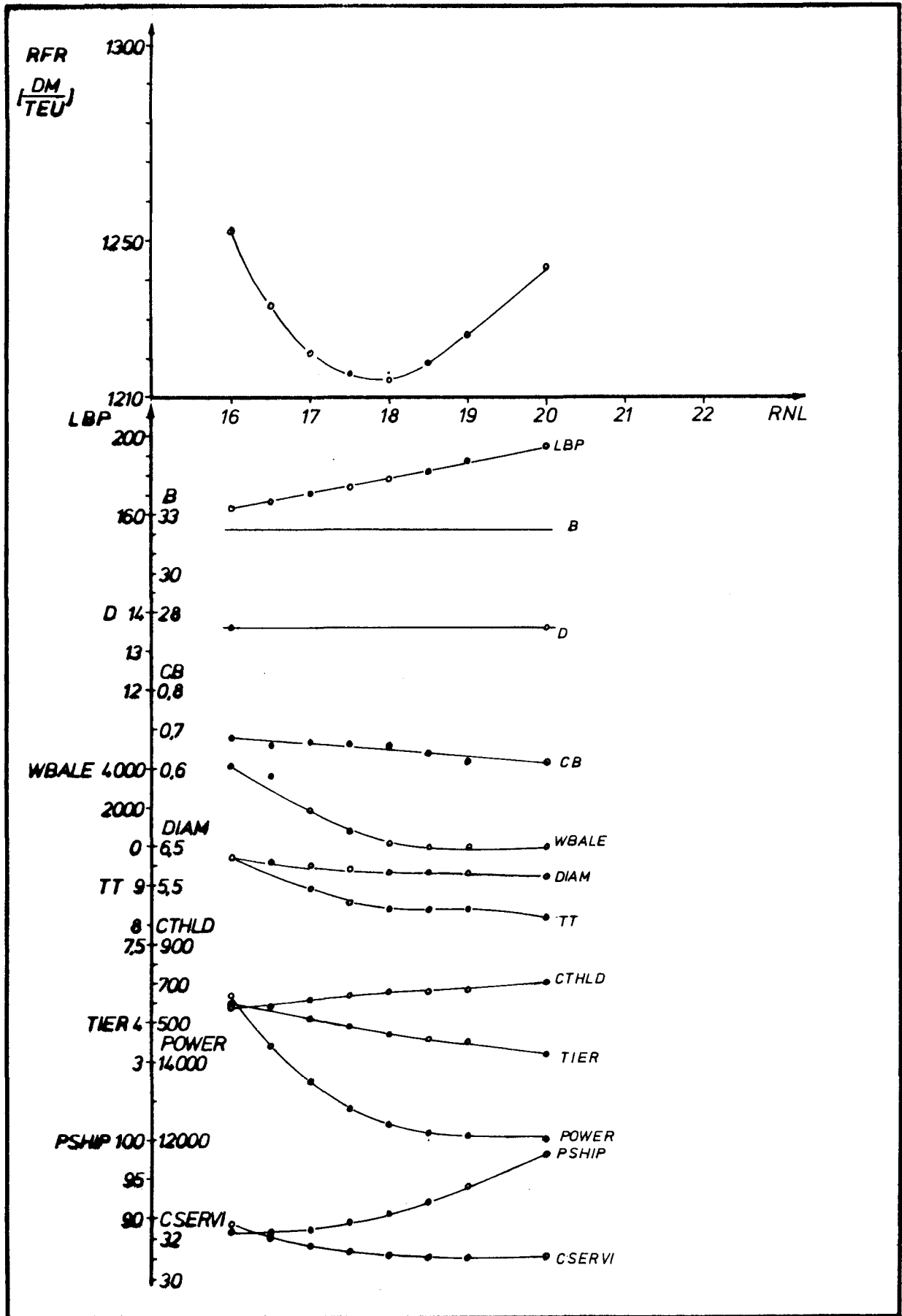


ABB. 45: VARIATION DER CONTAINERBAYS, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 BREITE = 32,2 m, SEITENHÖHE = 13,62 m
 FREIE UNBEKANNTE CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

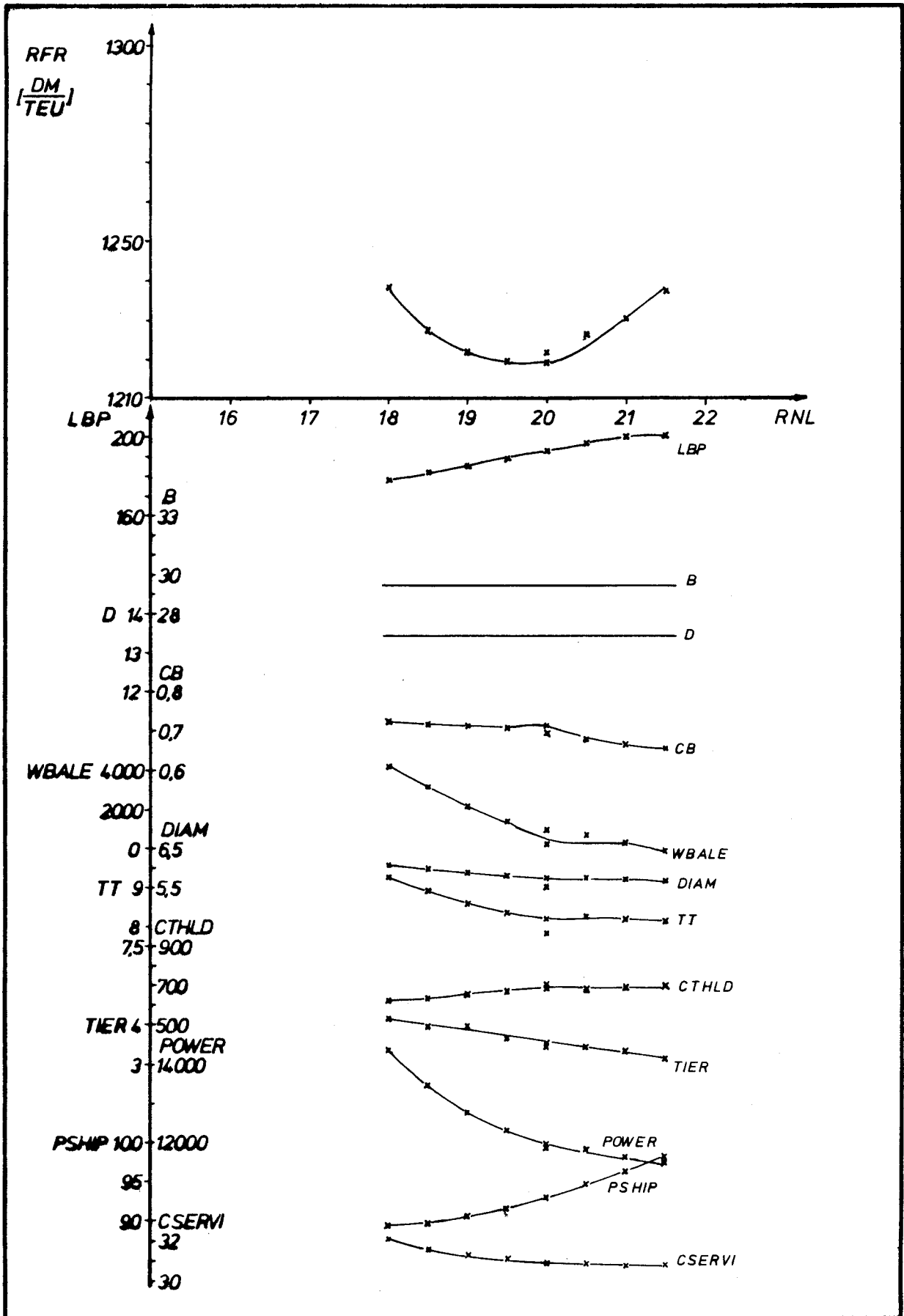


ABB. 46: VARIATION DER CONTAINERBAYS, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 BREITE = 29,56 M, SEITENHÖHE = 13,49 M
 FREIE UNBEKANNTE CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

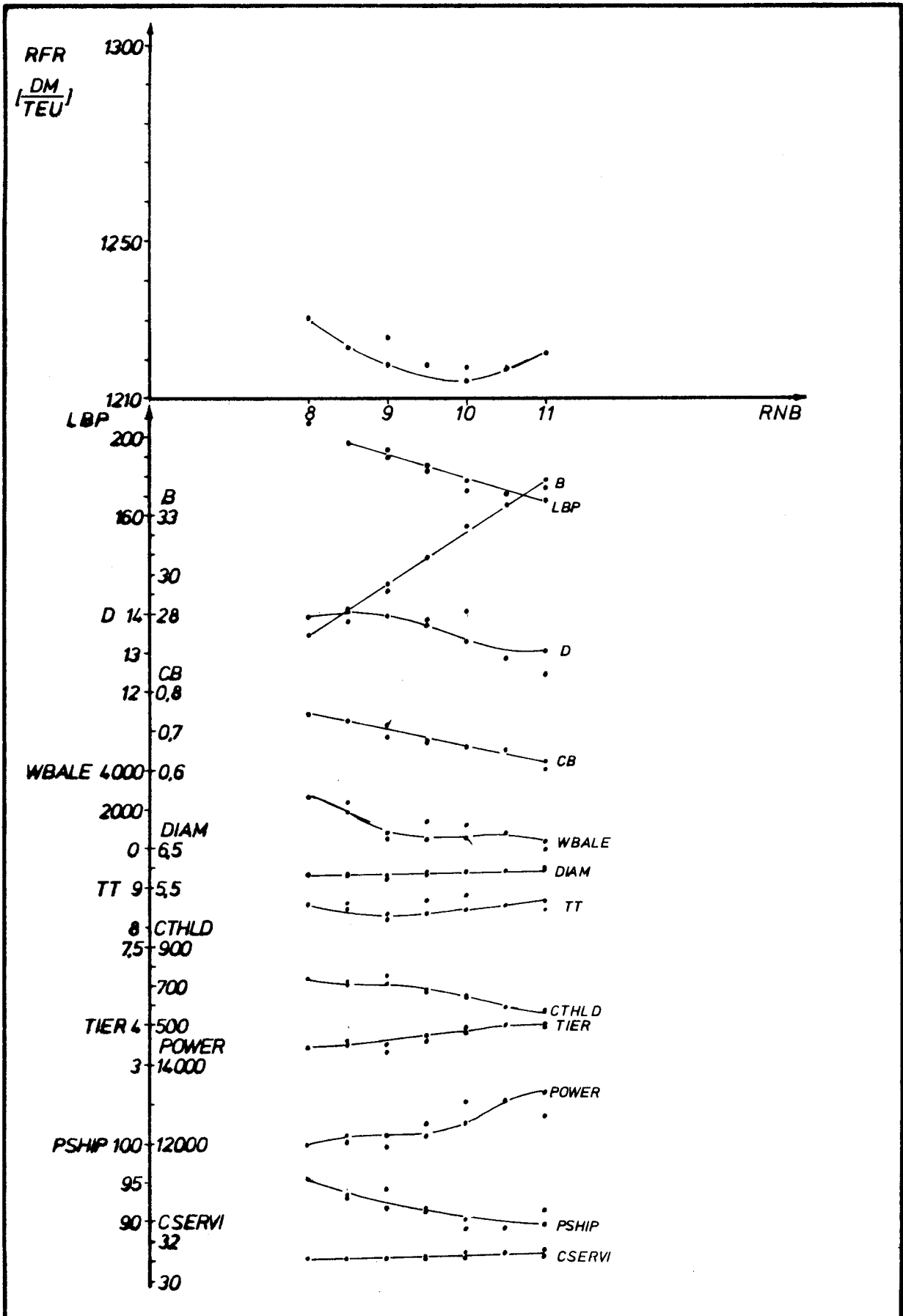


ABB. 48: VARIATION DER CONTAINERSTAPEL PRO BAY
 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 FREIE UNBEKANNTE RNL, RND, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

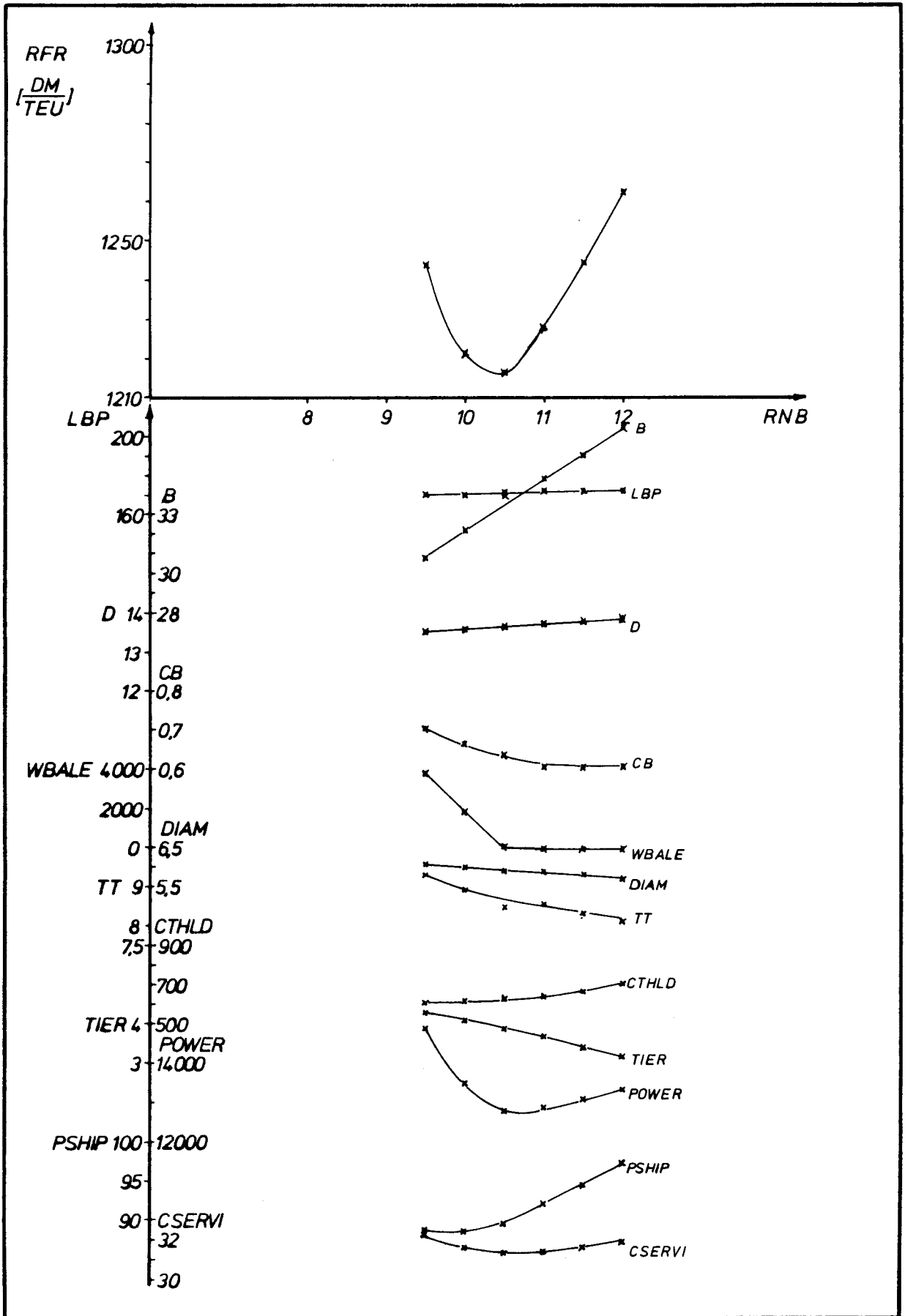


ABB. 49: VARIATION DER CONTAINERSTAPEL PRO BAY, 1500-TEU-SCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERBAYS = 17, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL RND = 5
 FREIE UNBEKANNTE CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

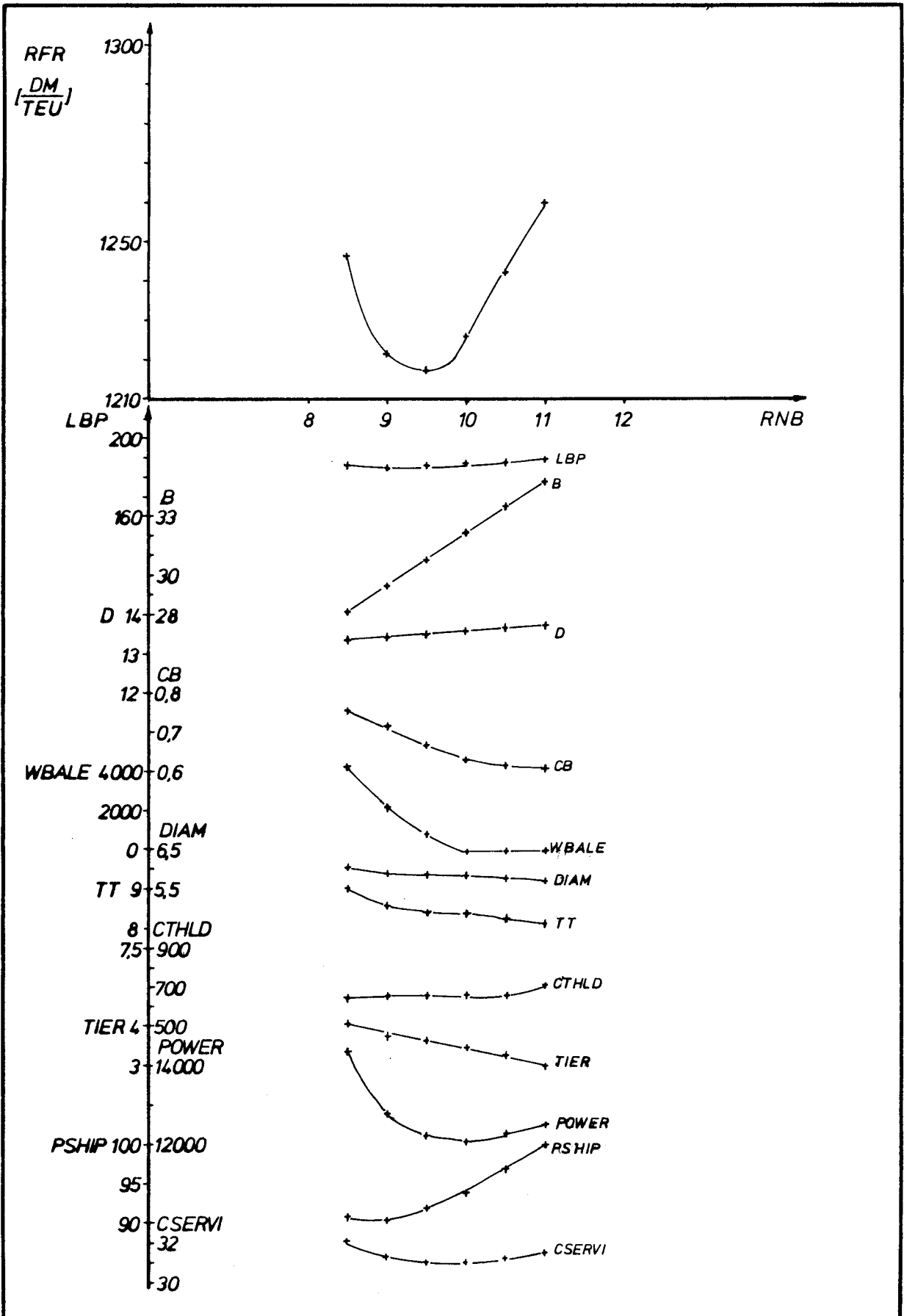


ABB. 50: VARIATION DER CONTAINERSTAPEL PRO BAY, 1500-TEU-SCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERBAYS = 19, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL RND = 5
 FREIE UNBEKANNTE CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

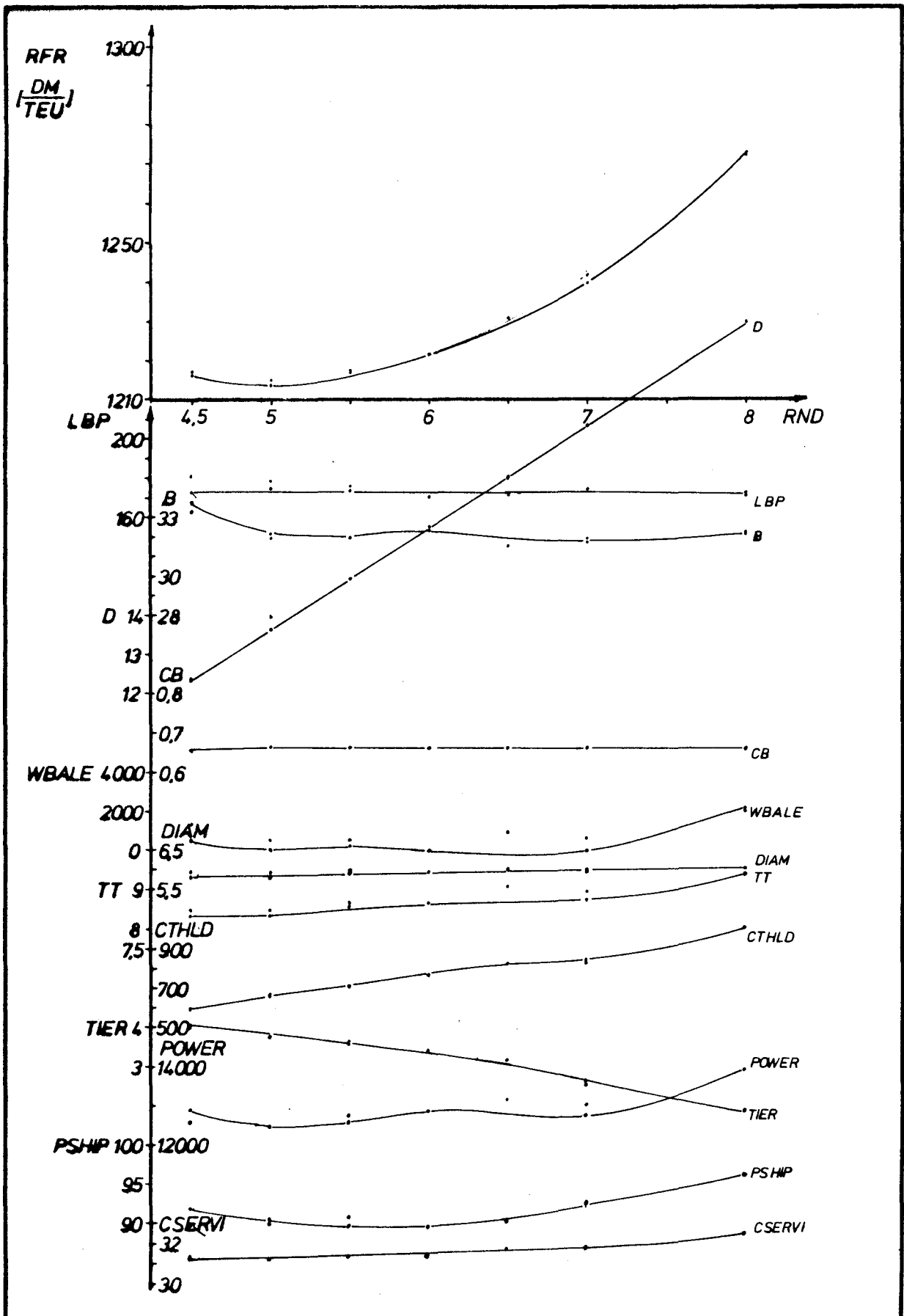


ABB. 52: VARIATION DER CONTAINER PRO CONTAINERSTAPEL RND
 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 FREIE UNBEKANNTE RNL, RNB, RND, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

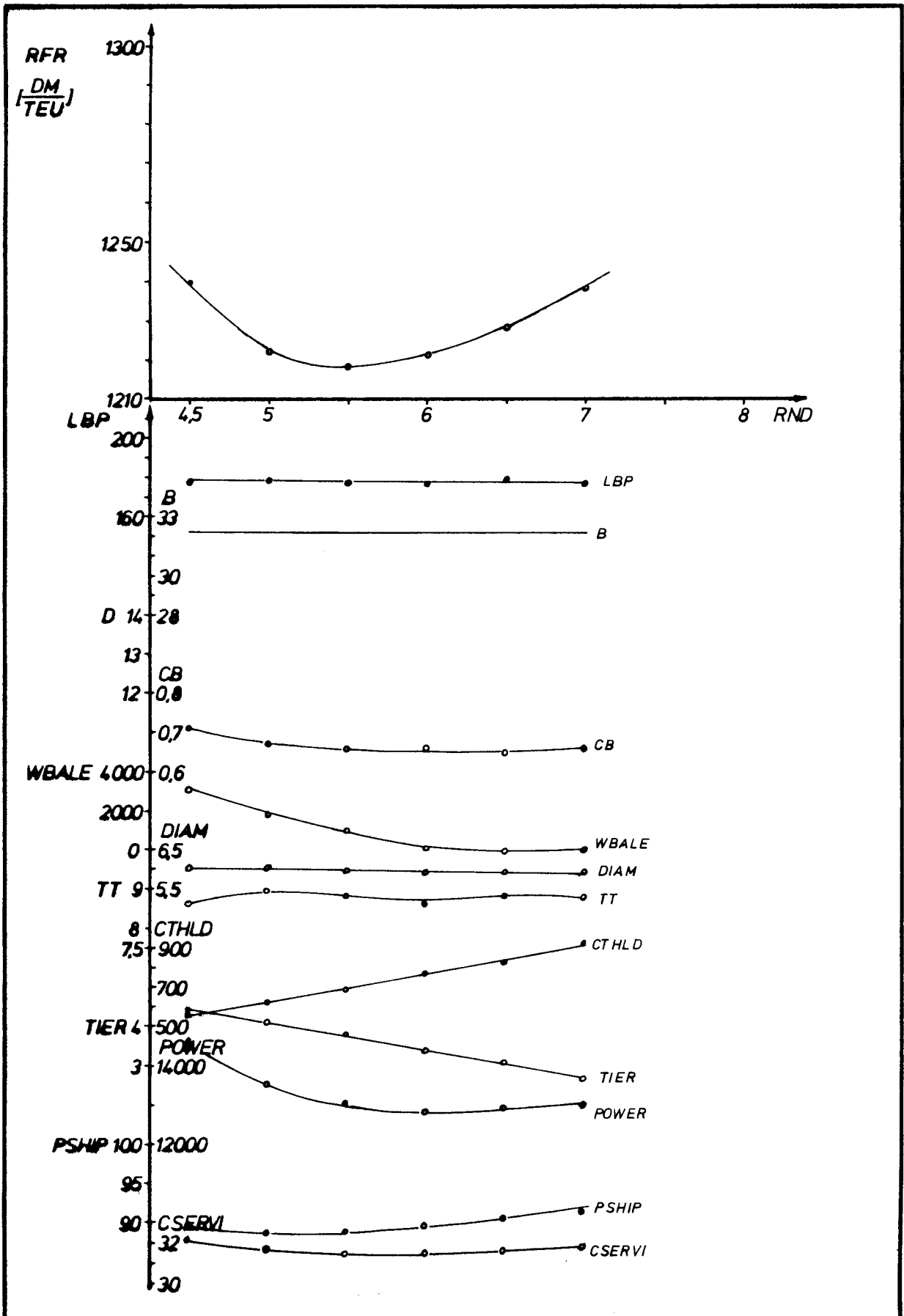


ABB. 53: VARIATION DER CONTAINER PRO CONTAINERSTAPEL RND, 1500-TEU-SCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERBAYS = 17, ANZAHL CONTAINERSTAPEL PRO BAY = 10
 FREIE UNBEKANNTE CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

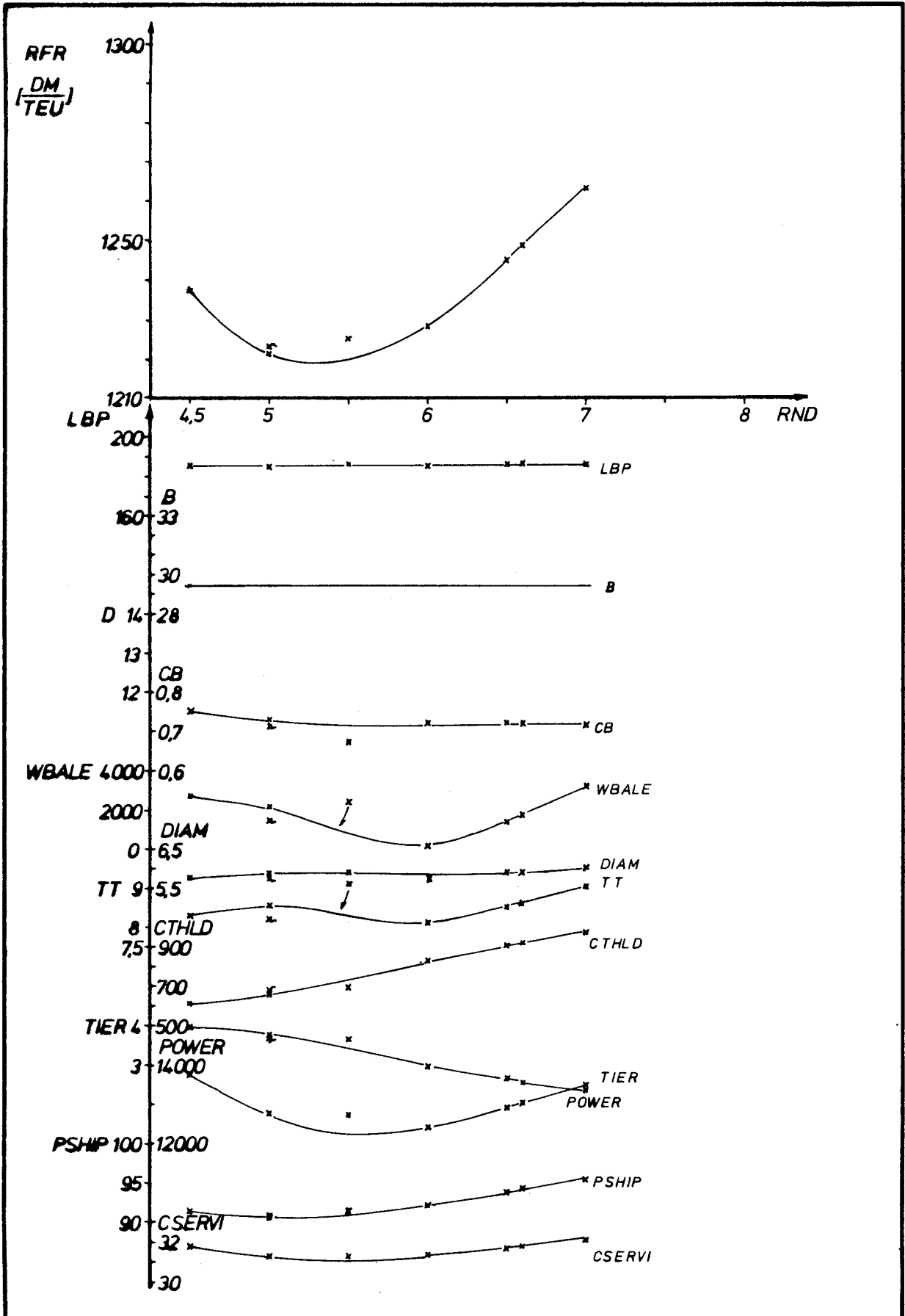


ABB. 54: VARIATION DER CONTAINER PRO CONTAINERSTAPEL RND, 1500-TEU-SCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERBAYS = 19, ANZAHL CONTAINERSTAPEL PRO BAY = 9
 FREIE UNBEKANNTE CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

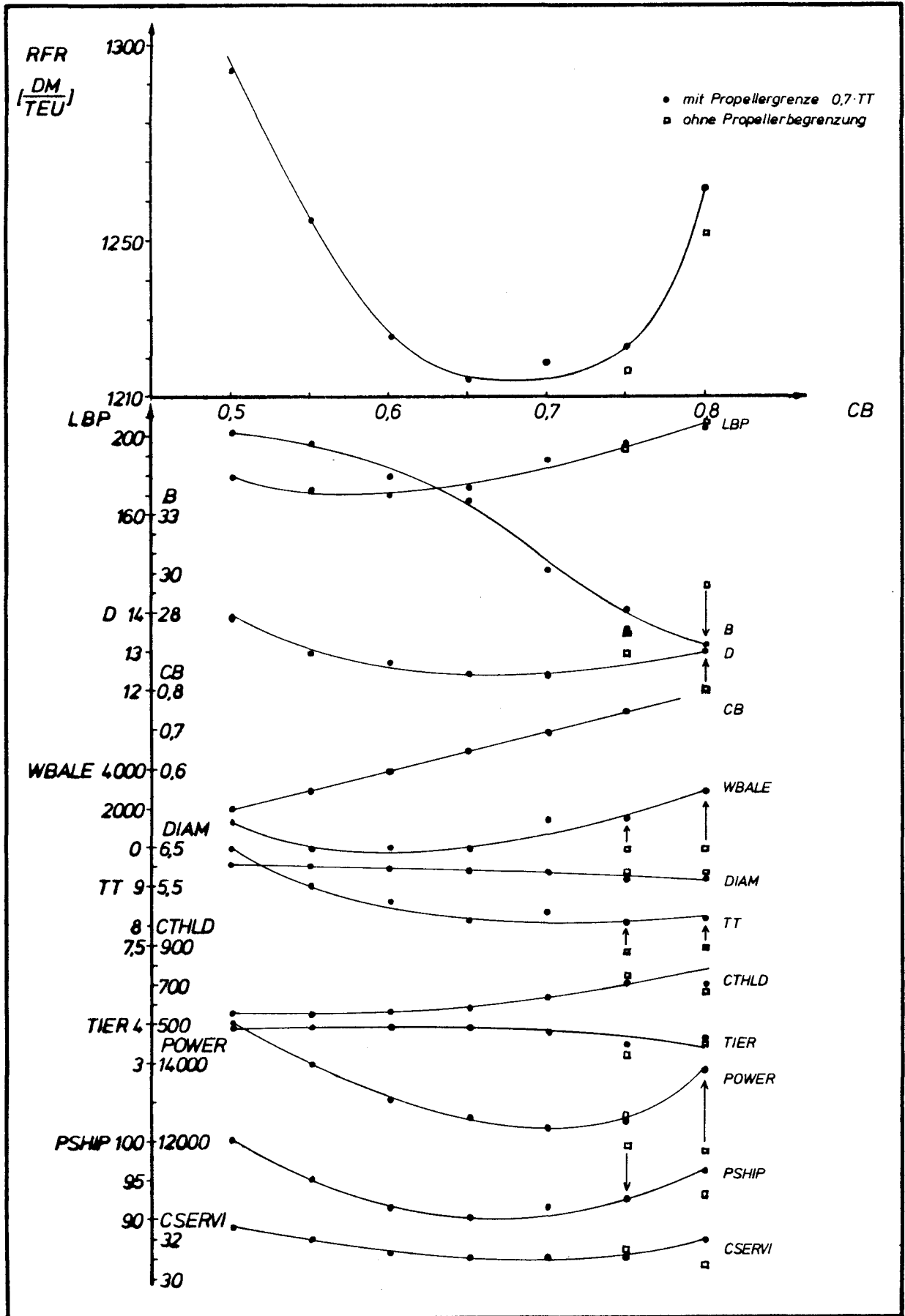


ABB. 56: VARIATION DES VÖLLIGKEITSGRADES CB
 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 FREIE UNBEKANNTE RNL, RNB, RND, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

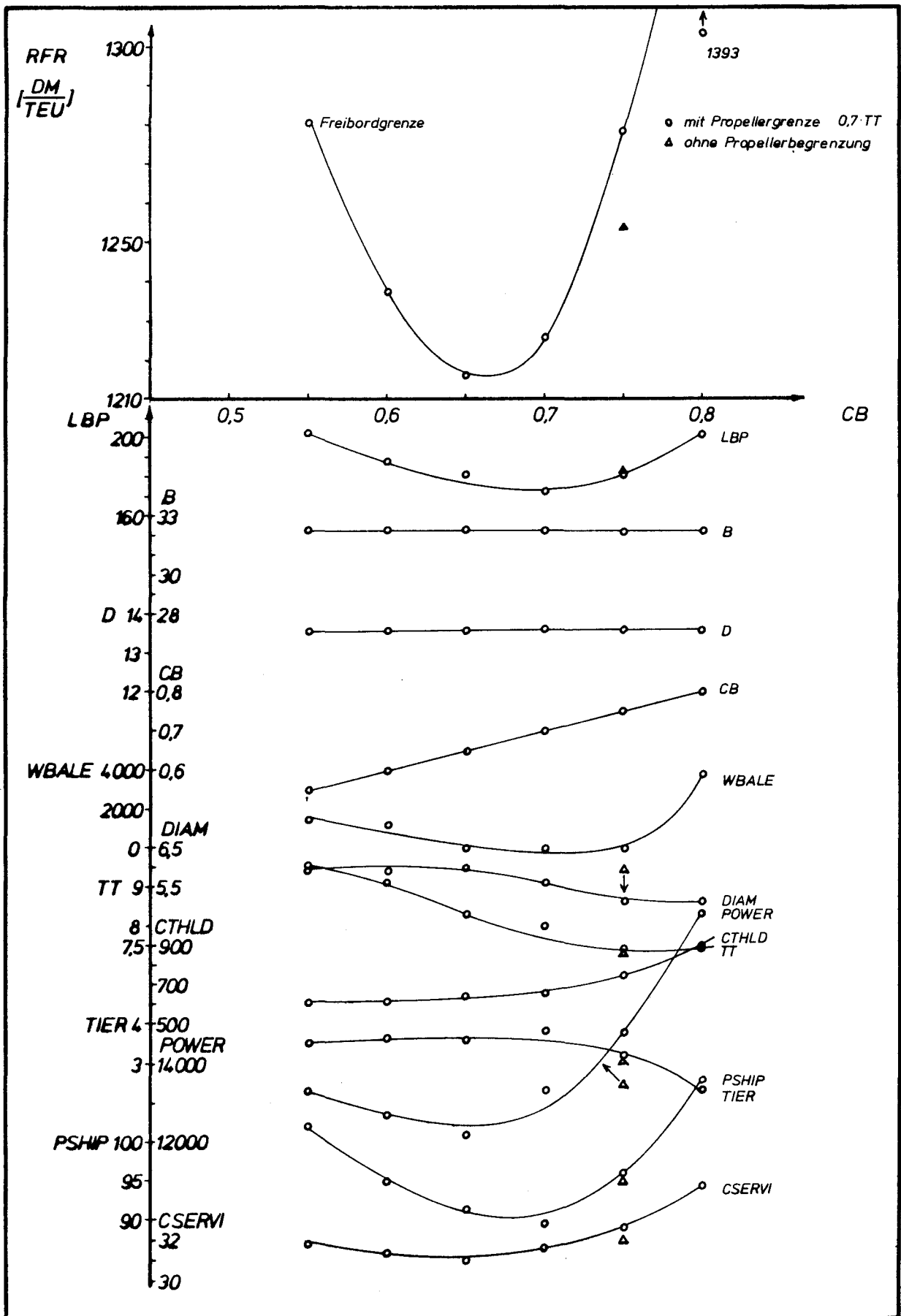


ABB. 57: VARIATION DES VÖLLIGKEITSGRADES CB, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERSTAPEL PRO BAY = 10, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL = 5
 FREIE UNBEKANNTE RNL, DIAM, WBALE; RFR-OPTIMIERT

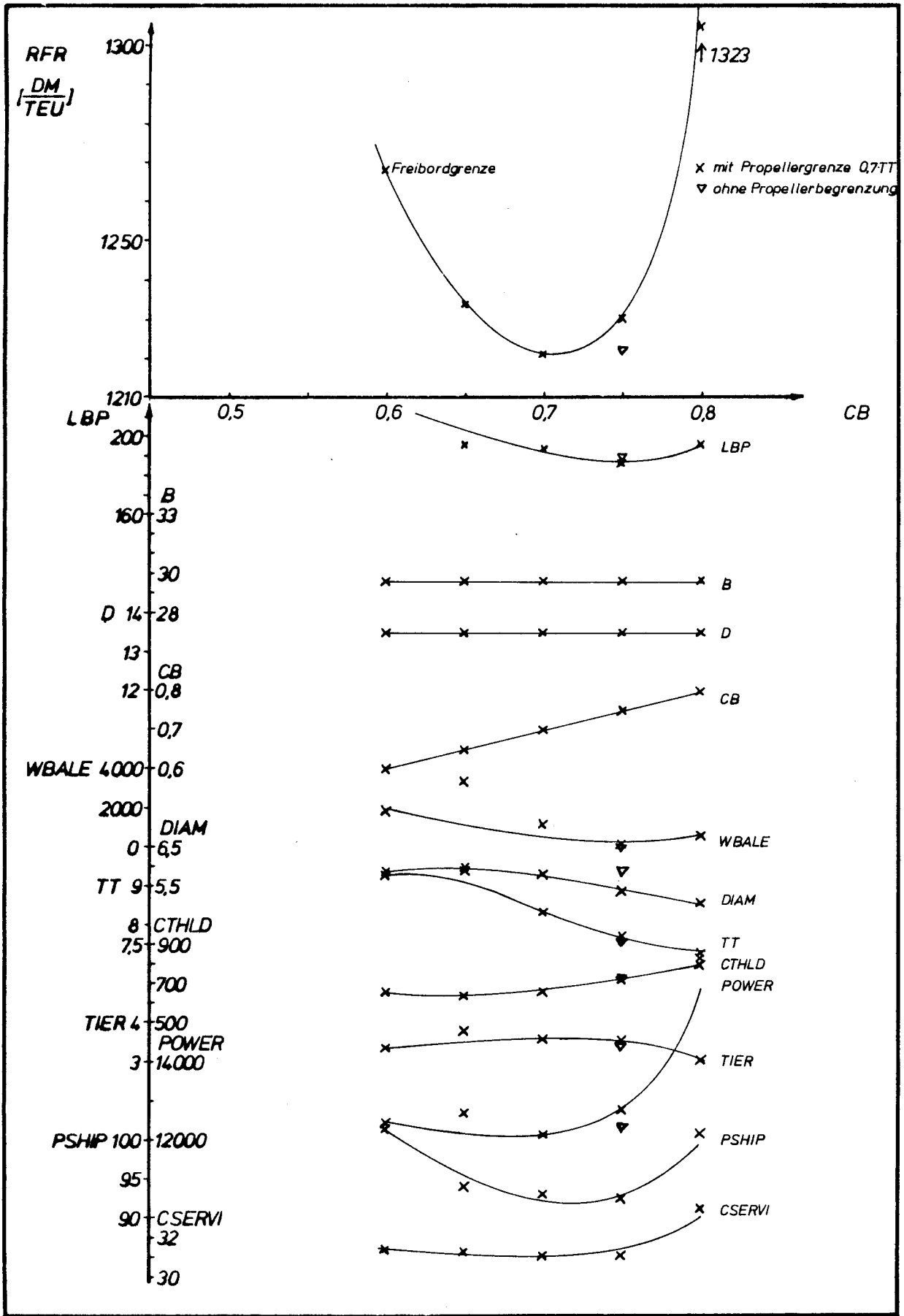


ABB. 58: VARIATION DES VÖLLIGKEITSGRADES CB, 1500-TEU-SCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERSTAPEL PRO BAY = 9, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL = 5
 FREIE UNBEKANNTE RNL, DIAM, WBALE; RFR-OPTIMIERT

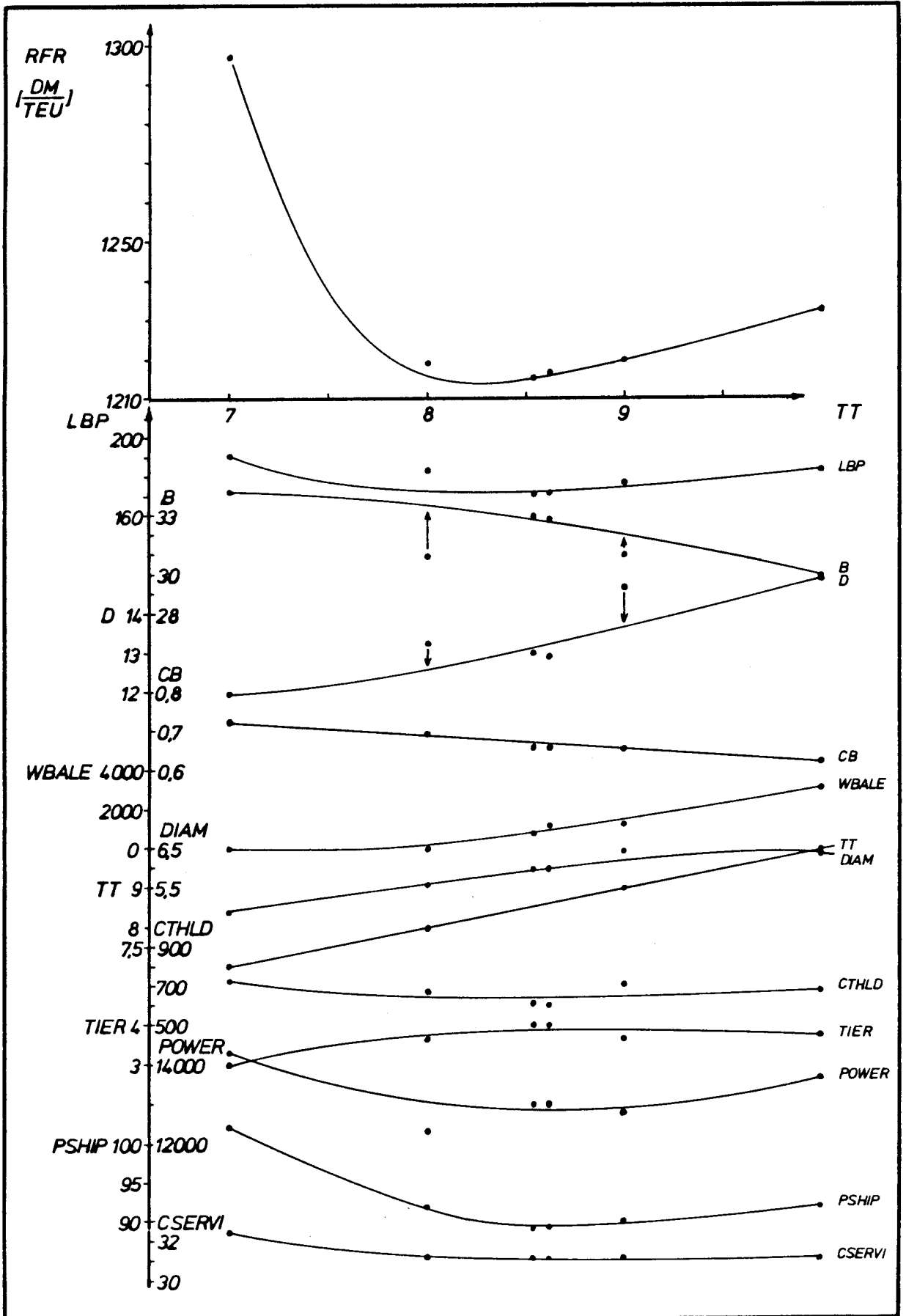


ABB. 60: TIEFGANGSBEGRENZUNGEN, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 FREIE UNBEKANNTE RNL, RNB, RND, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

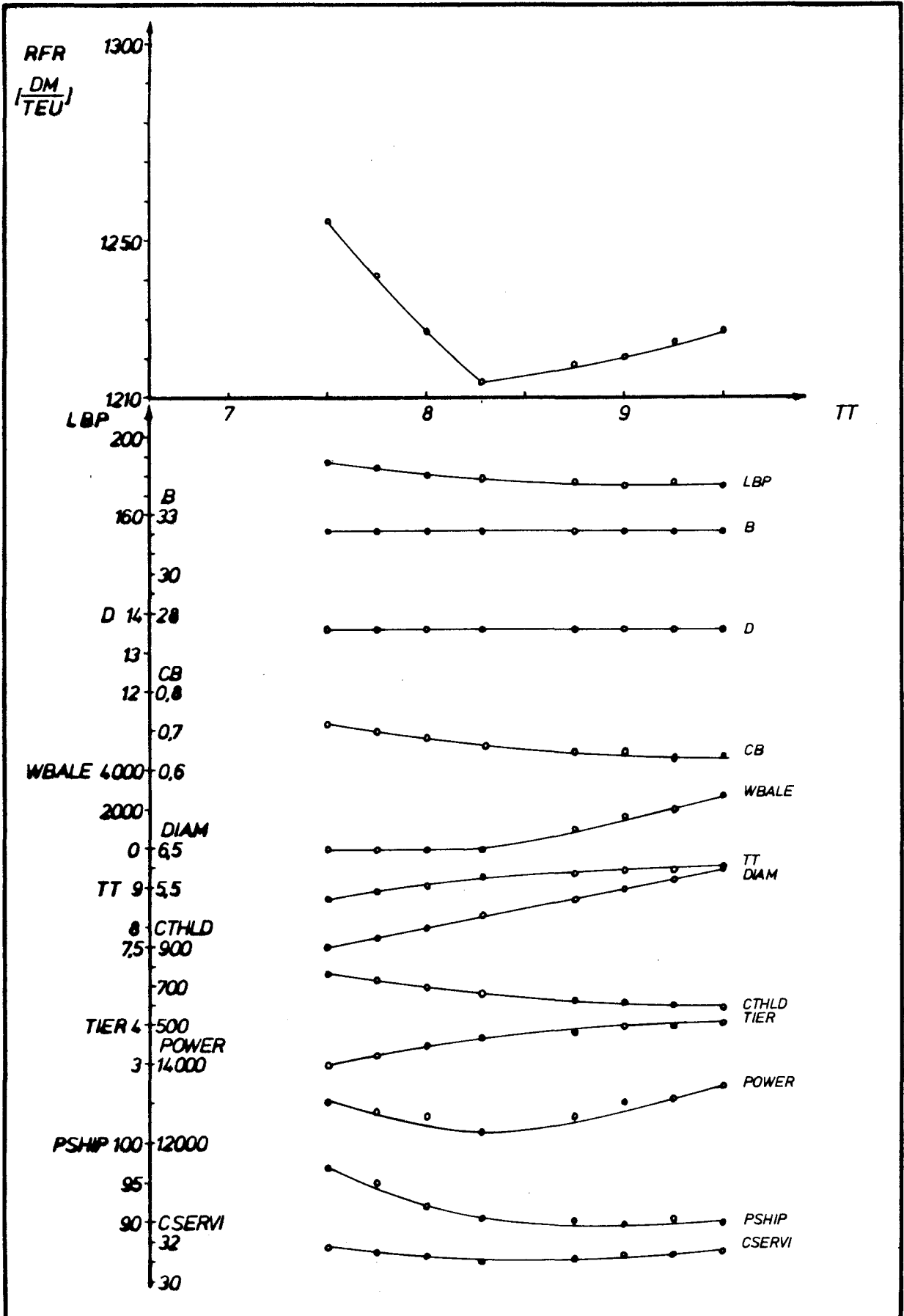


ABB. 61: TIEFGANGSBEGRENZUNGEN, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERSTAPEL PRO BAY = 10, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL = 5
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE; RFR-OPTIMIERT

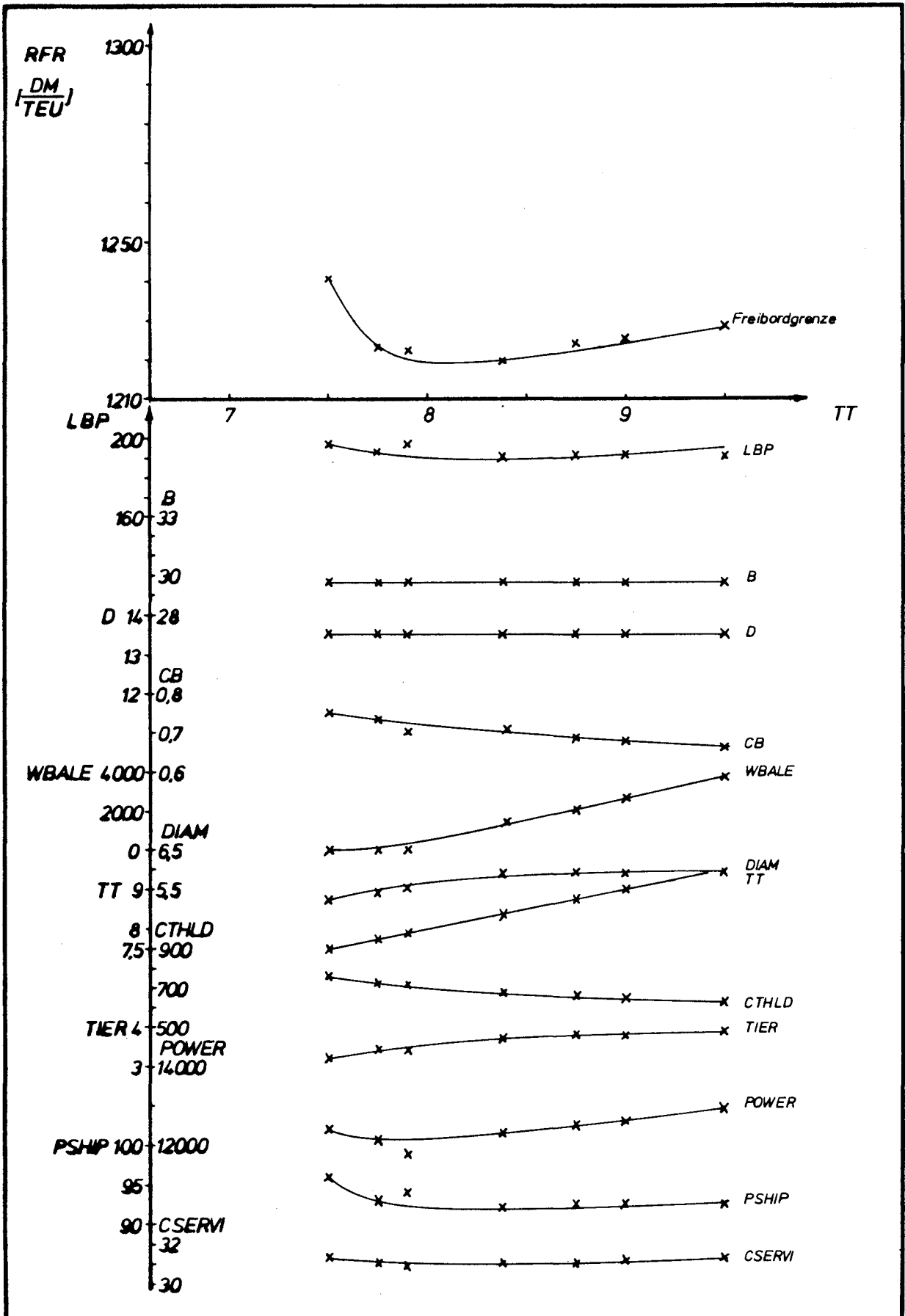


Abb. 62: TIEFGANGSBEGRENZUNGEN, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERSTAPEL PRO BAY = 9, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL = 5
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE; RFR-OPTIMIERT

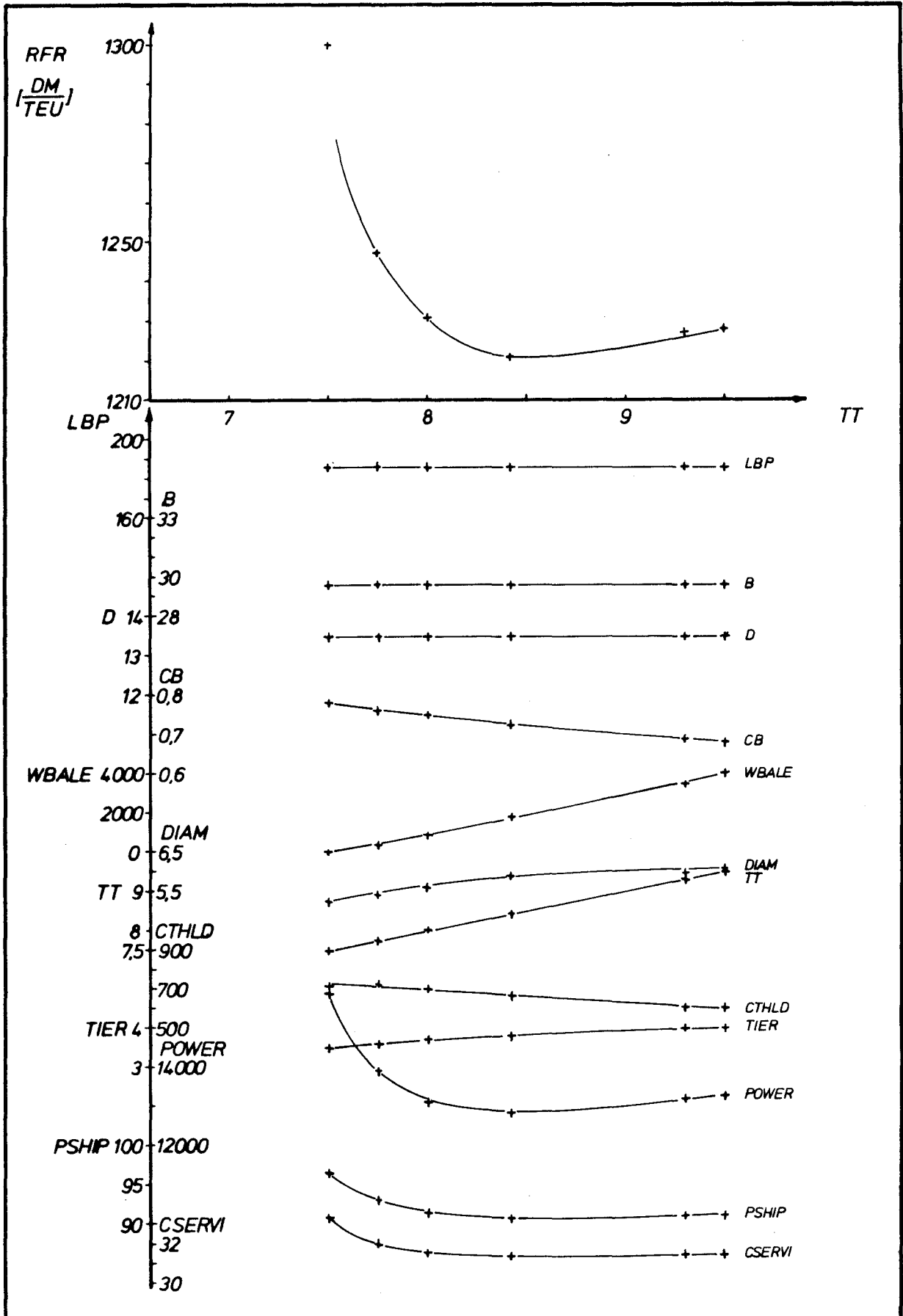


ABB. 63: TIEFGANGSBEGRENZUNGEN, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE

ANZAHL BAYS = 19, ANZAHL STAPEL PRO BAY = 9, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL = 5
 FREIE UNBEKANNTE CB, DIAM, WBALE RFR-OPTIMIERT

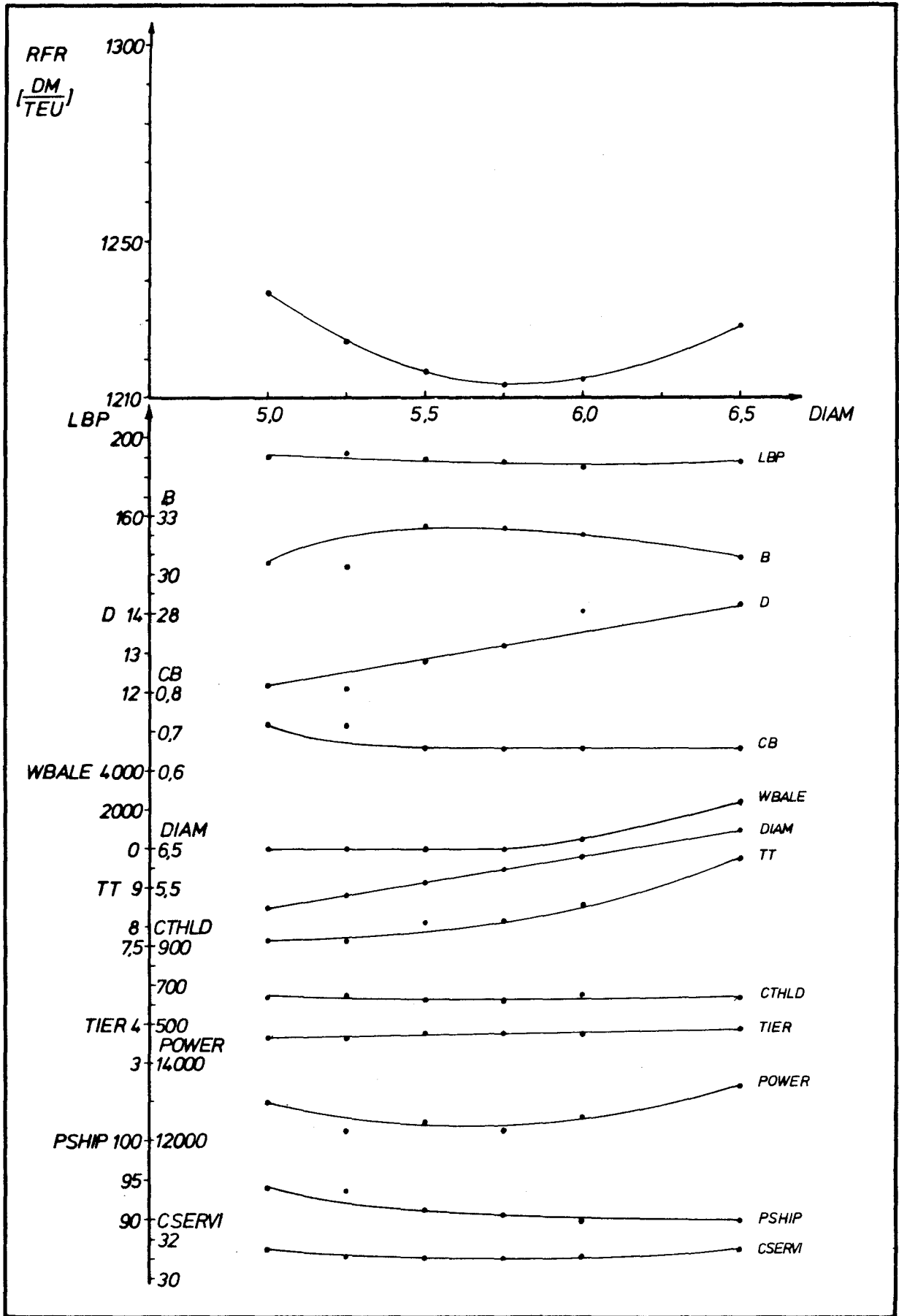


ABB. 65: VARIATION DES PROPPELLERDURCHMESSERS

1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE

FREIE UNBEKANNTE RNL, RNB, RND, CB, DIAM, WBALE;

RFR-OPTIMIERT

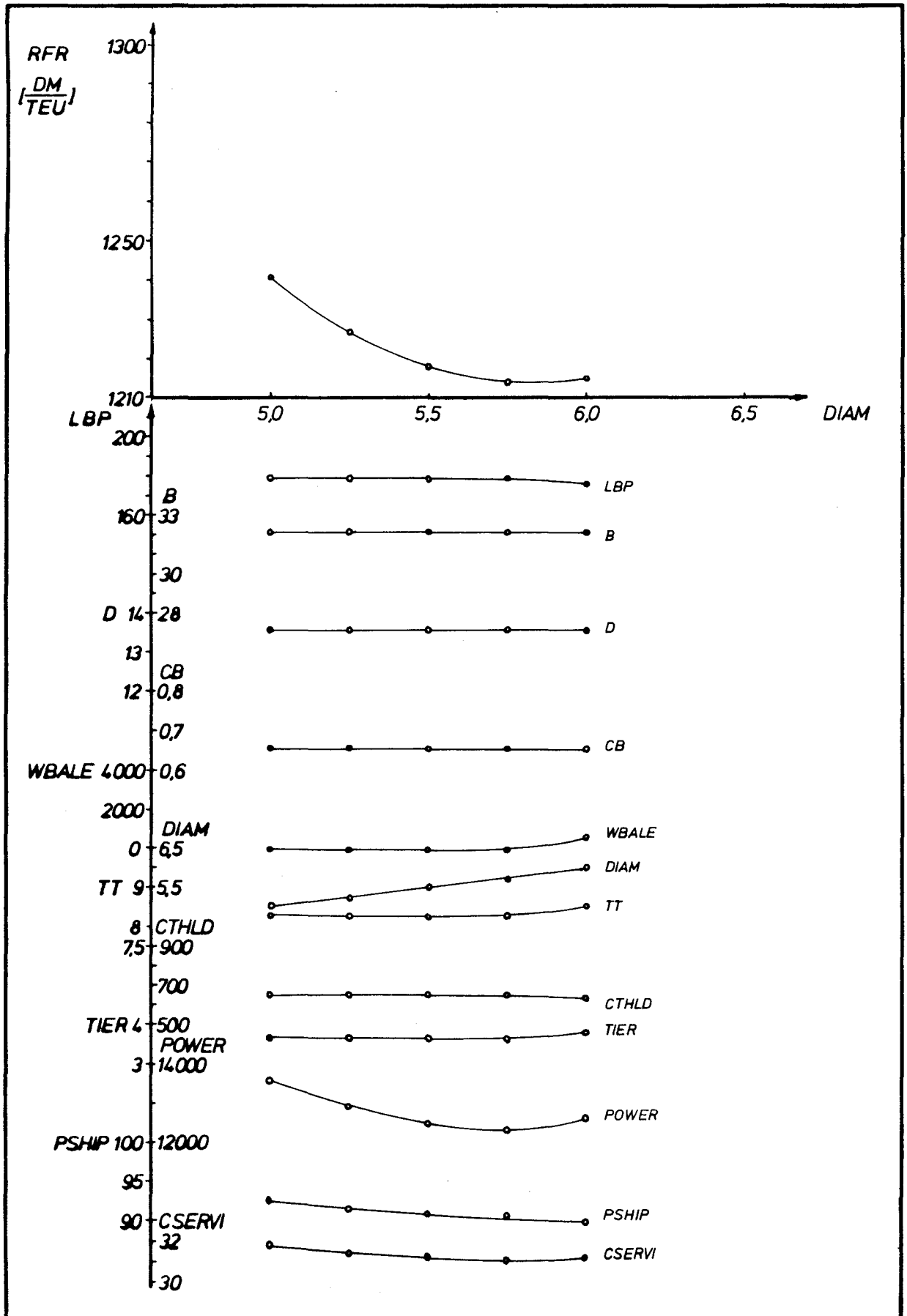


ABB. 66: VARIATION DES PROPELLERDURCHMESSERS, 1500-TEU-SCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERSTAPEL PRO BAY = 10, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL = 5
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE; RFR-OPTIMIERT

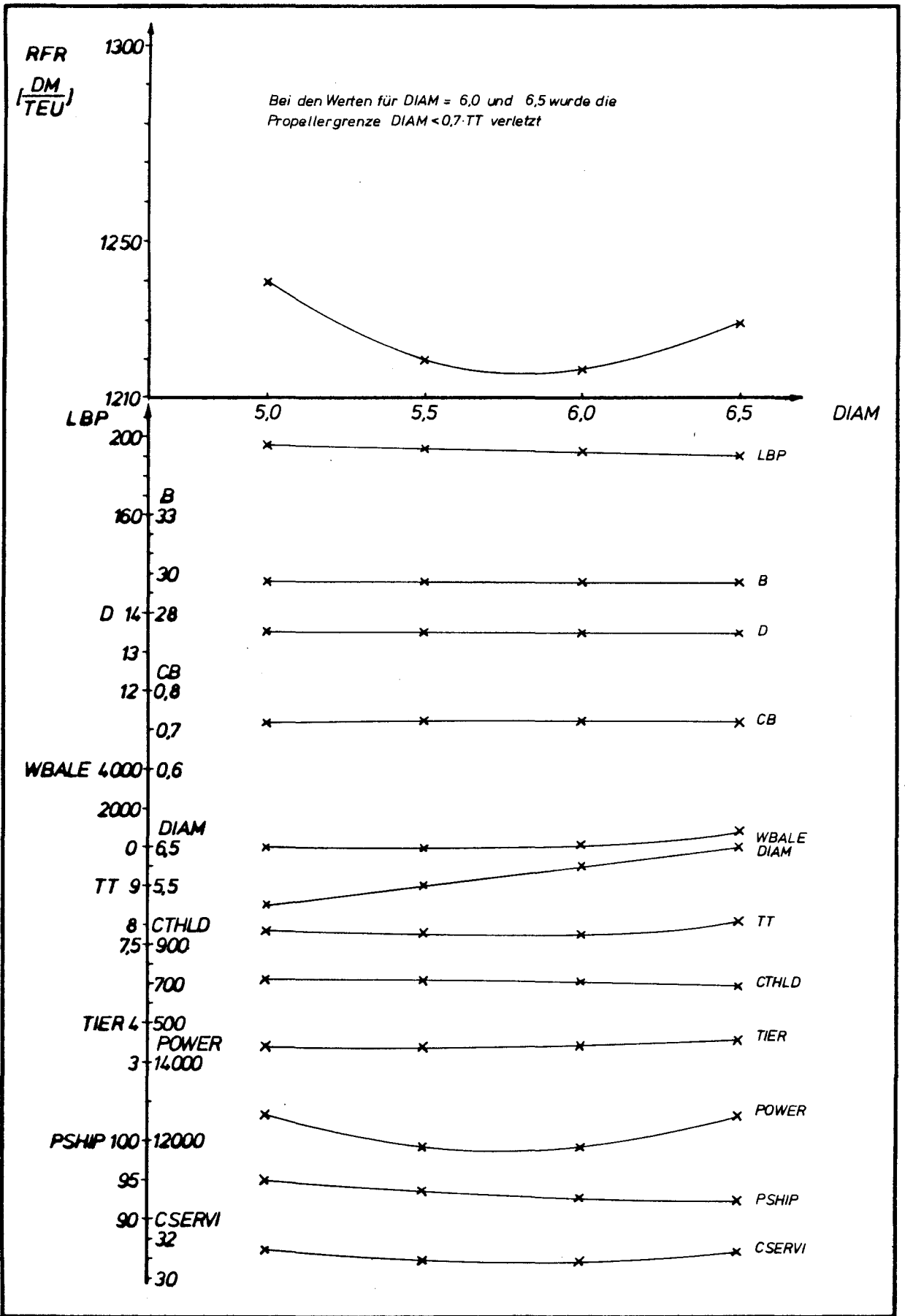


Abb. 67: VARIATION DES PROPELLERDURCHMESSERS, 1500-TEU-SCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERSTAPEL PRO BAY = 9, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL = 5
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE; RFR-OPTIMIERT

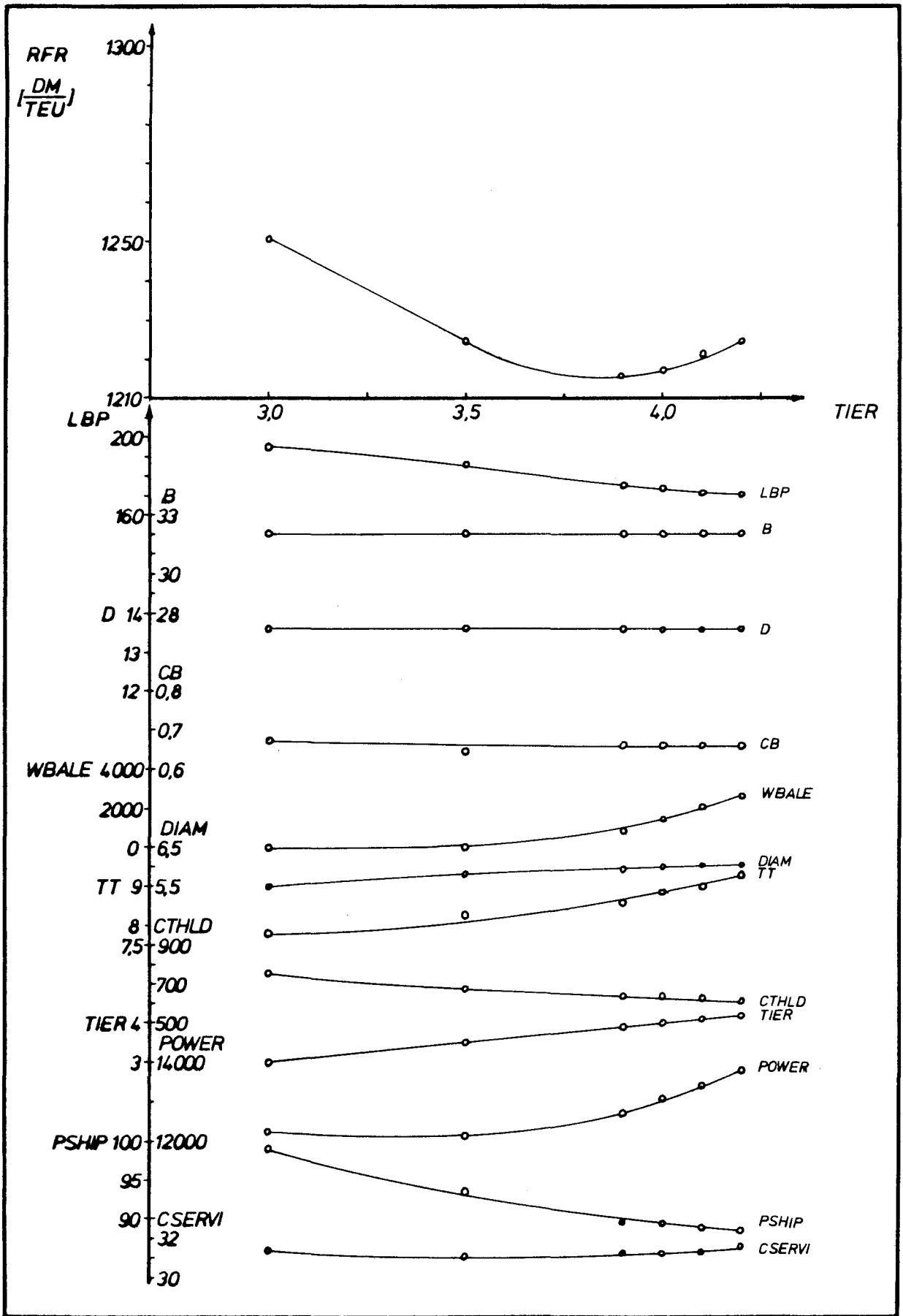


ABB. 70: VARIATION DER CONTAINERLAGEN AN DECK, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERSTAPEL PRO BAY = 10, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL = 5
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE; RFR-OPTIMIERT

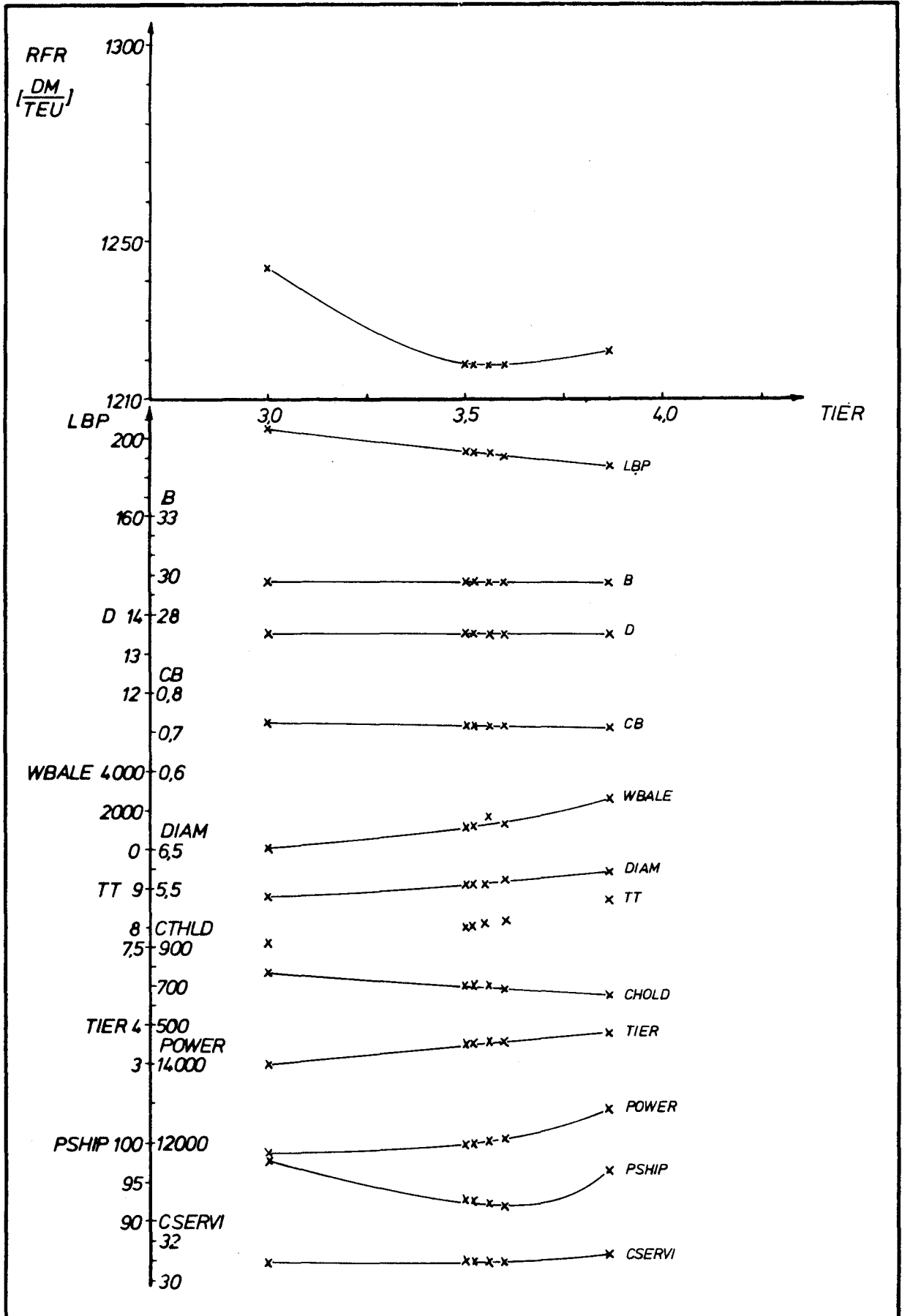


ABB. 71: VARIATION DER CONTAINERLAGEN AN DECK, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 ANZAHL CONTAINERSTAPEL PRO BAY = 9, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL = 5
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE; RFR-OPTIMIERT

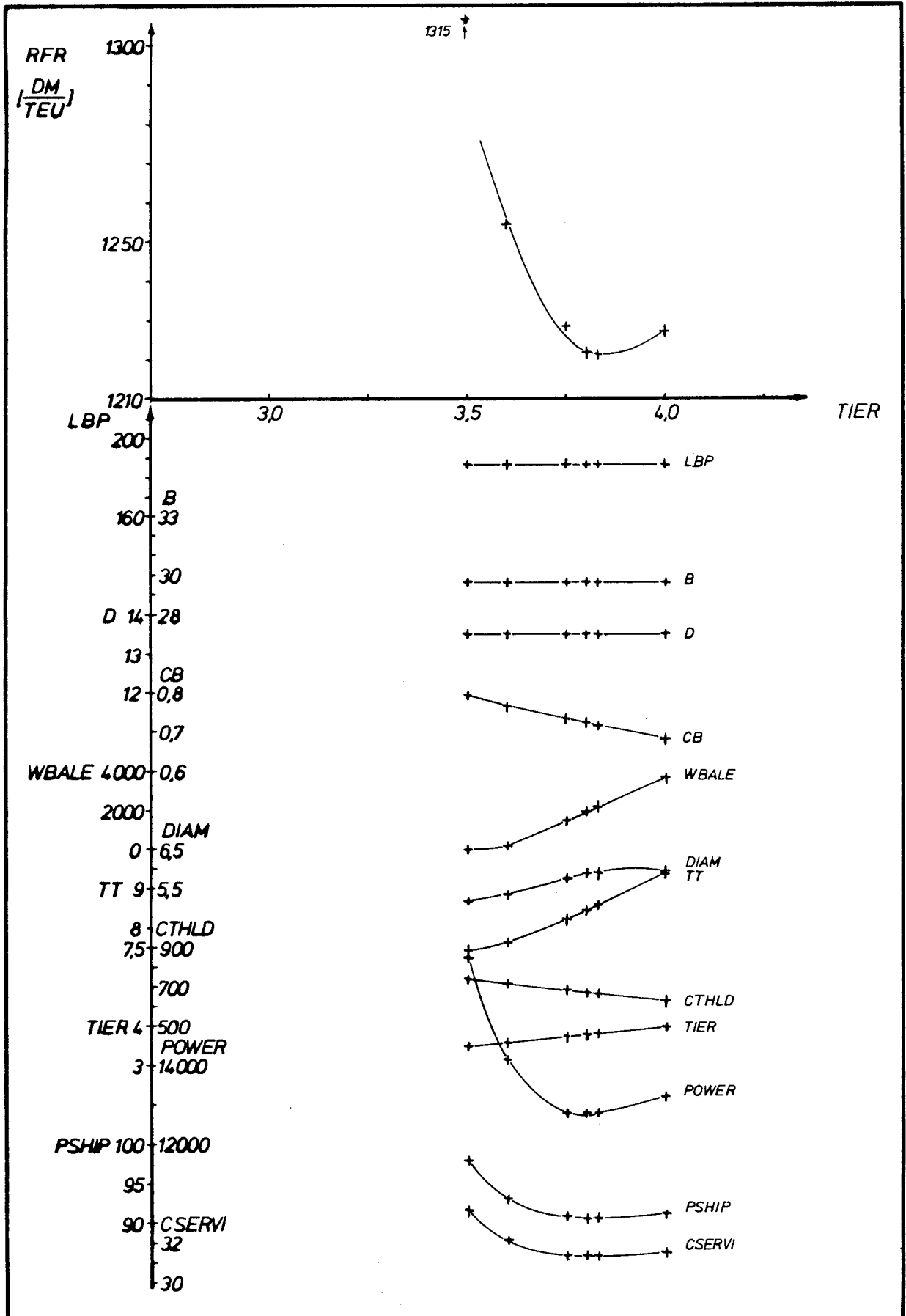


ABB. 72: VARIATION DER CONTAINERLAGEN AN DECK, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 ANZAHL BAYS = 19, ANZAHL STAPEL PRO BAY = 9, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL = 5
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE; RFR-OPTIMIERT

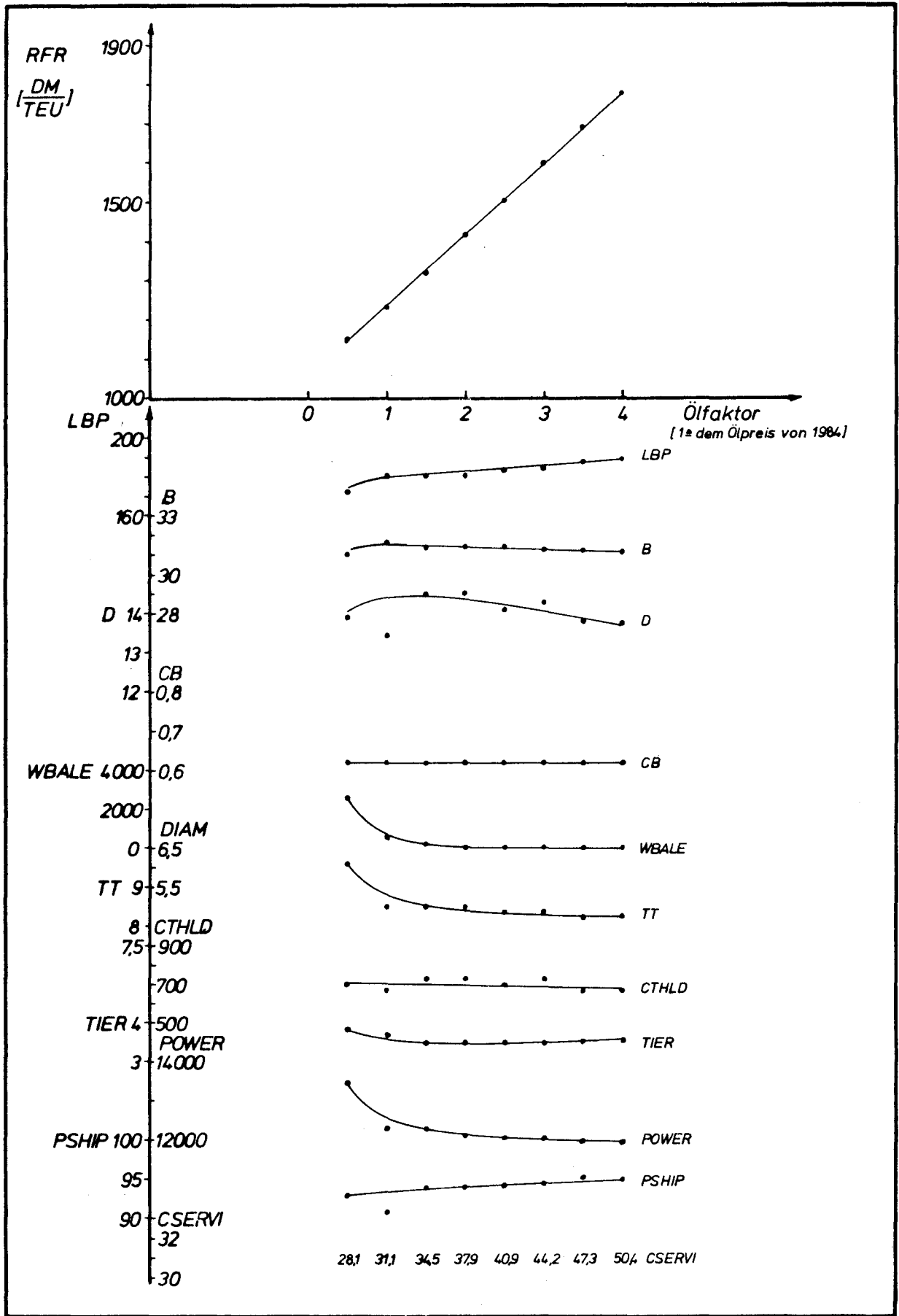


ABB. 74: VARIATION DES ÖLPREISES, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 ÖLPREISFAKTOR "1" ENTSPR. DEM ÖLPREIS VON 1984
 FREIE UNBEKANNTE RNL, RNB, RND, CB, DIAM, WBALE

RFR-OPTIMIERT

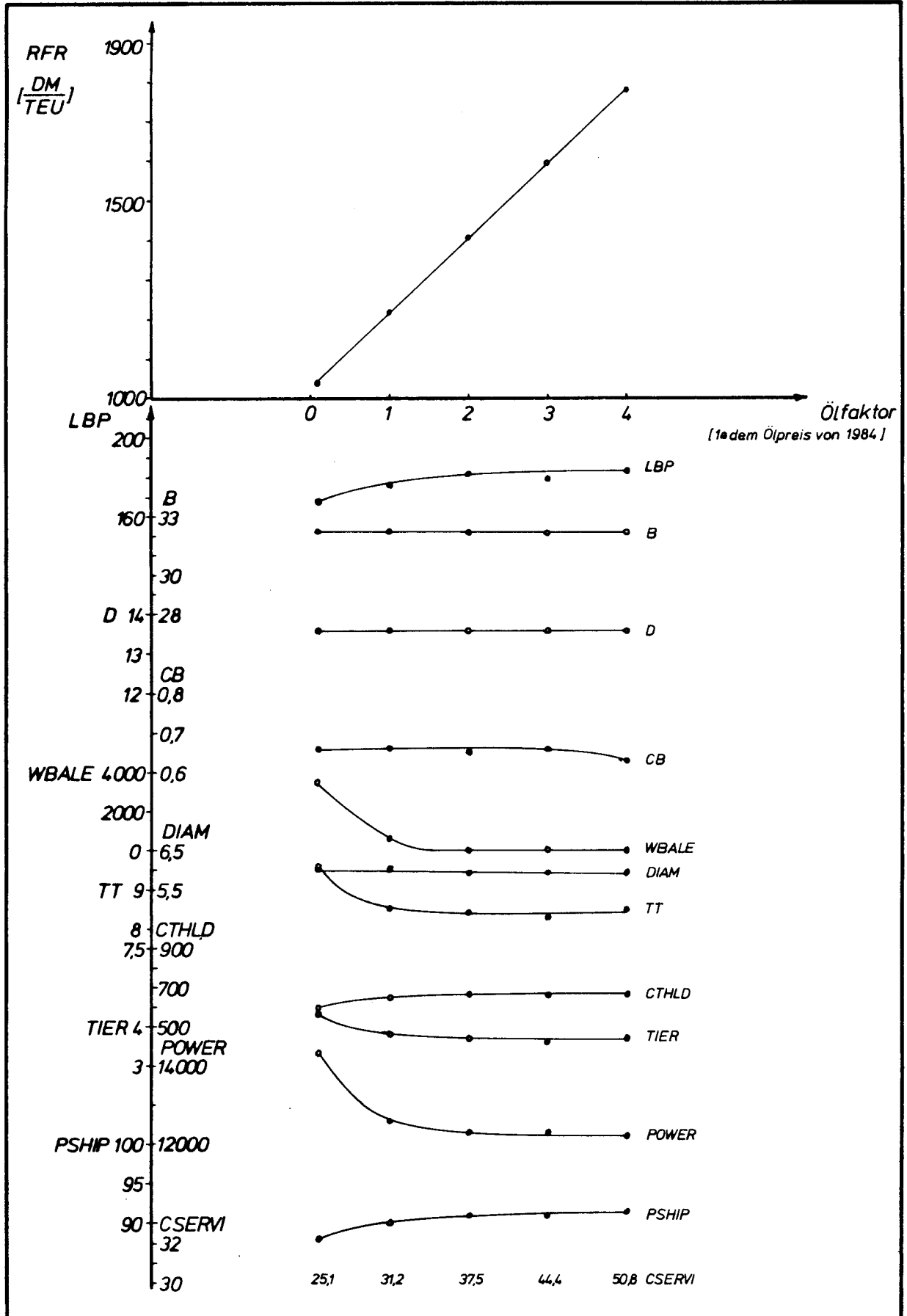


ABB. 75: VARIATION DES ÖLPREISES, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 ANZAHL DER CONTAINERSTAPEL PRO BAY = 10, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL = 5
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM, WBALE RFR-OPTIMIERT

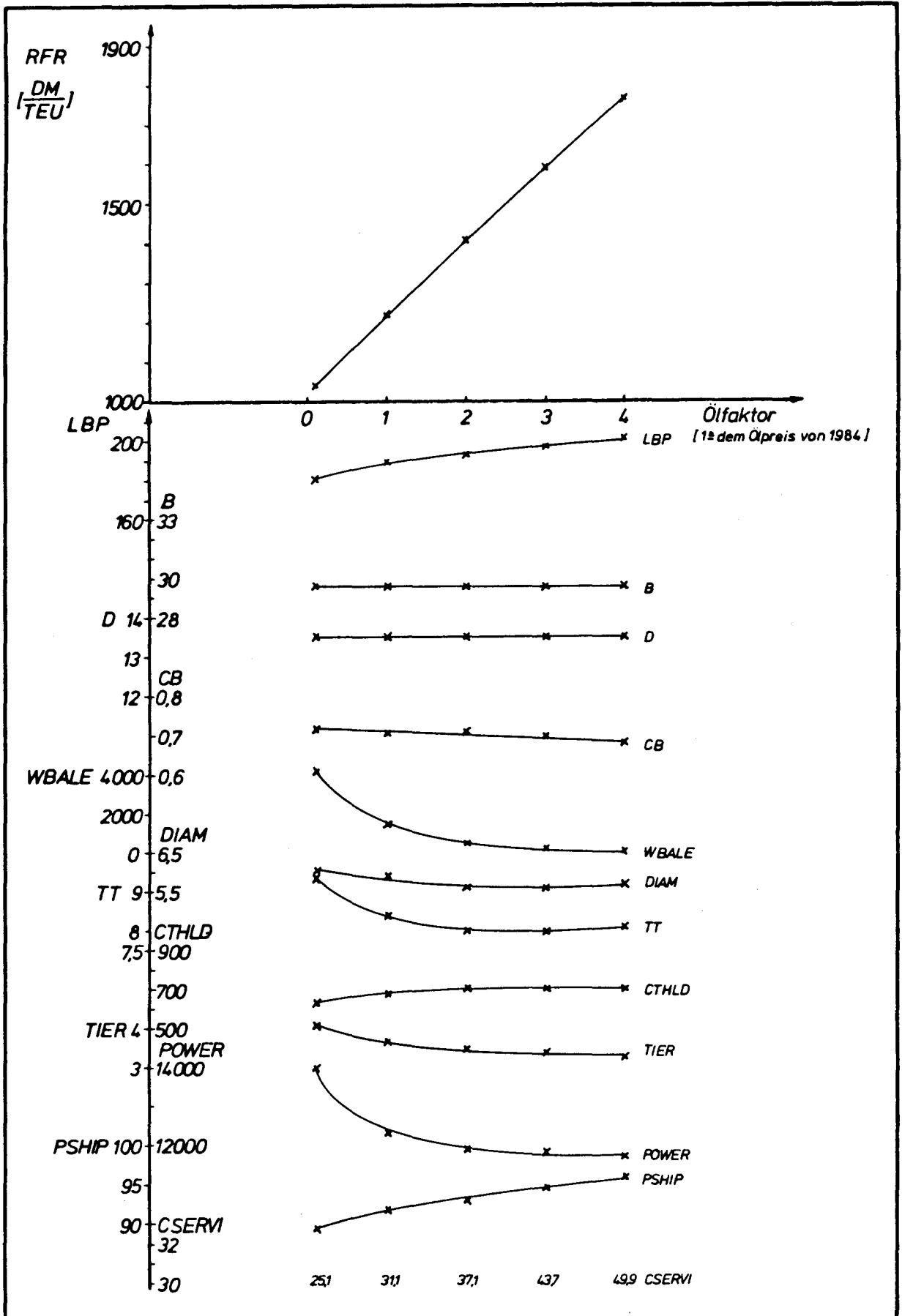


ABB. 76: VARIATION DES ÖLPREISES, 1500-TEU-CONTAINERSCHIFFE
 ANZAHL DER CONTAINERSTAPEL PRO BAY = 9, ANZAHL CONTAINER PRO STAPEL = 5
 FREIE UNBEKANNTE RNL, CB, DIAM? WBALE RFR-OPTIMIERT

Programm Entwurfsmodell "Containerschiff"

```

RLAFP = RLAP
C UNKNOWN S RE VPR 0 (REVPR1,REVPR2,REVPR3,REVPR4,REVPR5)
UNKNOWN S RNB (RNB1,RNB2,RNB3,RNBMIN,RNBMAX)
UNKNOWN S RND (RND1,RND2,RND3,RNDMIN,RNDMAX)
UNKNOWN S WBALE (WBAL,WBAL2,WBAL3,WBALMI,WBALMA)
UNKNOWN S CB (CBEST,CB2,CB3,CBMIN,CBMAX)
UNKNOWN S DIAM (DIAM1,DIAM2,DIAM3,DIAMIN,DIAMAX)
UNKNOWN S RNL (RNL1,RNL2,RNL3,RNLMIN,RNLMAX)
C UNKNOWN S FHDB (FHDB1,0.00003,0.015,1.0,1.5)
UNKNOWN S AEAO (UAEAO,EXACT*UAEAO)
UNKNOWN S ANUIT (UANUIT,EXACT5*UANUIT)
UNKNOWN S B (UB, EXACT4*UB)
UNKNOWN S CBCT (UCBCT, EXACT*UCBCT)
UNKNOWN S CBDC (UCBDC,EXACT*UCBDC)
UNKNOWN S CM (UCM, EXACT*UCM)
UNKNOWN S CSERVI (UCSERV,EXACT5*UCSERV)
UNKNOWN S CTDC (UCTDC,EXACT3*UCTDC)
UNKNOWN S CTHLD (UCTHLD,EXACT3*UCTHLD)
UNKNOWN S CWP (UCWP, EXACT*UCWP)
UNKNOWN S D (UD, EXACT4*UD)
UNKNOWN S RLDB (URLDB,EXACT3*URLDB)
UNKNOWN S DISP (UDISP, EXACT4*UDISP)
UNKNOWN S DPANTO (UPANTC, EXACT3*UPANTO)
UNKNOWN S ETAR (1., EXACT)
UNKNOWN S RLAFP (URLAFP, EXACT*URLAFP)
UNKNOWN S RLER (URLER, EXACT3*URLER)
UNKNOWN S RLFP (URLFP, EXACT*URLFP)
UNKNOWN S FREEB (UFREEB,EXACT3*UFREEB)
UNKNOWN S GME (GMHIGH, EXACT3*GMHIGH)
UNKNOWN S GZ15 (0.01, EXACT)
UNKNOWN S GZ30 (0.01, EXACT)
UNKNOWN S GZ45 (0.01, EXACT)
UNKNOWN S GZ60 (0.01, EXACT)
UNKNOWN S GZ50 (0.01, EXACT)
UNKNOWN S HDB (UHDB, EXACT*UHDB)
UNKNOWN S LBP (ULBP, EXACT4*0.1*ULBF)
UNKNOWN S PB (UPB, EXACT4*UPB)
UNKNOWN S PITCH (DIAM1, EXACT*DIAM1)
UNKNOWN S POWGEN (UPOWGE,EXACT4*UPOWGE)
UNKNOWN S PSHIP (UPSHIP,EXACT5*UPSHIP)
UNKNOWN S Q (UQ, EXACT3*UQ)
UNKNOWN S RFR (URFR, EXACT4*URFR)
UNKNOWN S RT (URT, EXACT3*URT)
UNKNOWN S TD (UTD, EXACT*UTD)
UNKNOWN S TIER (UTIER,EXACT3*UTIER)
UNKNOWN S TIMPR (UTIMPR,EXACT3*UTIMPR)
UNKNOWN S TIMRT (UTIMRT,EXACT3*UTIMRT)
UNKNOWN S RTNPY (URTPY,EXACT*URTPY)
UNKNOWN S TT (UTT, EXACT3*UTT)
UNKNOWN S VOLDB (UVOLDB,EXACT4*UVOLDB)
UNKNOWN S VOLST (UVOLST,EXACT4*UVOLST)
UNKNOWN S VOLBDB (UWBALD,EXACT4*UWBALD)
C UNKNOWN S VOLBST (UWBALS,EXACT4*UWBALS)

```

UNKNOWN S WF (UWF, EXACT*UWF)
 UNKNOWN S WKON (UWKON, EXACT*UWKON)
 UNKNOWN S WLS (UWLS, EXACT4*UWLS)
 UNKNOWN S WDO (UWDO, EXACT3*UWDO)
 UNKNOWN S WFO (UWFO, EXACT3*UWFO)
 UNKNOWN S WLUB (UWLUB, EXACT3*UWLUB)
 UNKNOWN S XLCB (UXLCB, EXACT*UXLCB)
 UNKNOWN S ZKGFLA (UKGFLA, EXACT3*UKGFLA)
 UNKNOWN S ZKGKON (UZKGKO, EXACT3*UZKGKO)
 UNKNOWN S ZKME (UZKM, EXACT3*UZKM)
 UNKNOWN S DIAM (UDIAM, EXACT3*UDIAM)
 UNKNOWN S CHSVA (UCHSVA, EXACT*UCHSVA)
 UNKNOWN S TTE (UTT, EXACT3*UTT)

C
C
C
C
C
C

USUAL SHIPBUILDING FORMULA

CWP = 0.9811*CB**0.4827 * FCWP
 CM = 1./{1.+(1.-CG)**3.65} * FCM
 CBDOCK = CB*FCBDOCK*(D-TT)/TT*(1.-CB)
 DISP = WLS*CTHLD*WCONHD*CTDCK*WCONDK*WSOBA+WFW+WSTORE+
 1 (WFO+WDO+WLUB)*FDISPF+WBALE
 XLCB = FXLCB(CB,FLCB)

C
C
C
C
C
C

DIE SCHIFFSABMESSUNGEN WERDEN ENTSPRECHEN DER WAHL VON
"FDISPF" ZWISCHEN ANFANG-U.ENDE DER REISE OPTIMIERT.

CONTAINERSHIP MAIN PARTICULARS

HDB = (350.+45*B)/1000. * FHD3
 D = HDB+RND*2.59-HHCOM+0.025*RND
 B = RN3*2.44+(RN3*1.)*D3CTHD+9CG*RNDG+RNDG*D8CTHD+2.*BBG
 TT = DISP/(LBP*B*CB*1.03)
 RLFP = 0.17*LBP**0.8 *FRLFP
 RLAFP = (0.037866+0.001614/(C3**5))*LBP *FRLAFP
 RLER = XLER(PB,FPCR,FRLER,IENGR0)
 CBCT = (1.17775*CBDOCK-0.060924) * FCBCT
 CTHLD = RNL*RNB*RND*CBCT
 CTDCK = TEU-RNL*RNB*RND*CBCT
 TIER = CTDCK/((RNL+ANL)*(RN3+AN3)*FCDOCK)
 RLDB=RNL*6.4+(RNL/2.+2.)*D9HC
 FREEB = FREEB(LBP,RLFP,ABACK,0.,0.,0.,0.,POOP,APOOP,D,TT,
 1 CB,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,2,1)
 LBP = RLFP+RLAFP+RLER+RLDB
 D.GE.TT+FREEB
 B.GE.BMIN
 B.LE.BMAX
 D.GE.5.
 D.LE.DMAX
 TT.GE.4.

TT.LE.TTMAX
 LBP/B.LE.RL18MA
 LBP/B.GE.RL18MI
 LBP/D.LE.RL10MA
 LBP/D.GE.RL10MI
 LBP.LE.LBPMAX
 LBP.GE.50.
 CB/CM.LE.0.9
 TIER.LE.TIERMA

C
 C
 C

RESISTANCE AND PROPULSION

RT =RLAP(LBP,B,TT,CB,CM,XLCB,CA,RHO,XNU,V)*(1.+ZUSCHL/100.)
 WF =WFT(CB/CM,V,LBP,XLCB,B,DIAM,IFIX(ANZP+0.5))
 TD =TJF(CB/CM,V,LBP,XLCB,B,DIAM,IFIX(ANZP+0.5))
 ETAR =EFR(CB/CM,V,LBP,XLCB,B,DIAM,IFIX(ANZP+0.5))

C
 C

USE OPQ(TT,V,TEMP,SALIN,Q,REVPRO,ANZP,ANZB,DIAM,
 1 AEAQ,PITCH,FKAV,RMAT,RT,WF,TD,ETAR)
 PB=6.2839*REVPRO*Q/(ETAM*ETAG)
 POWGEN=EEGEN(DISP,WLS,PB,FMCR,APOWGE)

C
 C
 C

DIAM=DIAMTT*TT

PITCH.LE.1.4*DIAM
 PITCH.GE.0.5*DIAM
 AEAQ.LE.1.0
 AEAQ.GE.0.35
 PB.GE.PBMIN
 PB.LE.60000.
 V*(1.-WF)/REVPRO/DIAM.LE.PITCH/DIAM

C
 C

DIAM.LE.DIAMTT*TT

C
 C
 C

PARTICULAR CAPACITY OF HULL

VOLST =VOLSTX(VOLDB,B,BBG,RLD3,D,HHCOM,
 1 HDB,CBCT,FVOLCH,XLCB,CB,CBDOCK,RLAFP/LBP,FVCLAP,RLFP/LBP,
 1 FVOLFP,IENGRO,RLER,RNL,DBHC,LBP,ANL,FVOLER,
 1 HBOX)

C
 C
 C
 C
 C
 C
 C

VOLBST=VOLST-(1.-FOILDB)*WOIMAX(DISTMA,WFC,V,PB,
 1 SFCME,SFCAE,POWGEN,FPGSEA,TIMRT,TIMPRT*PORTN,TIMCW,
 1 FPGCW,FPGPR,FPBCW,WDO,WLUB,SLUBAE,SLUBME)/RHOIL

C

VOLDB =VOLDBX(IENGRO,XLCB,CB,CBDOCK,RLAFP/LBP,RLER,RLFP/LBP,
 1 RNL,DBHC,ANL,HDB,D,B,LBP,DIAM
 1) *FVOLDB

C
C

```
EQUATIONS OPQ(TT,V,TEMP,SALIN,Q,REV,ANZP,ANZB,DIAM,  
1 AEA0,PITCH,FKAV,RMAT,RT,WF,TD,ETAR)  
AEA0=((1.3+0.3*ANZB)*RT/(1.-TD)/ANZP/((9.81*(0.95*TT-0.5*DIAM)+  
* 190.-DAMPFO(TEMP))*DIAM*DIAM)+0.05*(3.+RMAT-ANZP))/FKAV  
RT/(1.-TD)=DICHTE(SALIN)*REV*REV*DIAM**4*THRC1(AEA0,PITCH/DIAM,  
1 V*(1.-WF)/(REV*DIAM),IFIX(ANZB+0.5))*ANZP  
Q=DICHTE(SALIN)*REV*REV*DIAM**5*TORCC1(AEA0,PITCH/DIAM,  
1 V*(1.-WF)/(REV*DIAM),IFIX(ANZB+0.5))*ANZP/ETAR  
END
```

C

FUNCTION CSERVA

Die Funktion berechnet die Servicekosten für ein Schiff pro Jahr.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

PSHIP	Schiffspreis (DM)
CCREW	jährliche durchschnittliche Kosten für ein Besatzungsmitglied (DM)
CREWN	Anzahl der Besatzungsmitglieder (-)
FDOR	Faktor für Dieselölreserve (> 1.)
PDOILT	Preis für eine Tonne Dieselöl (DM)
RTNPY	Anzahl der Rundreisen pro Jahr (-)
FFOR	Faktor für Schwerölreserve (> 1.)
PFOILT	Preis für eine Tonne Schweröl (DM)
FLUBR	Faktor für Schmierölreserve (> 1.)
PLUBT	Preis für eine Tonne Schmieröl (DM)
CPILOT	Kosten für den Lotsen pro Hafen (DM)
CAGENC	Kosten für den Agenten pro Hafen (DM)
CTUG	Kosten für Schlepper pro Hafen (DM)
CPOTON	Liegeplatzgebühr bezogen auf m ³ Nettotonnage und 24 h Hafentladezeit (DM)
PB	Bremsleistung der Hauptmaschine unter Dienstbedingungen (kW)
FMCR	Faktor für die Leistungsreserve (-)
PSPARE	Kosten für Ersatzteile der Hauptmaschine (DM)
POWGEN	Leistung der installierten Hilfsgeneratoren (kW)
PSERVH	Kosten für eine Reparaturstunde (DM)
ANZY	Anzahl der Zylinder der Hauptmaschine (-)
TIMSEA	Zeit auf See pro Rundreise (h)
WDO	Masse des Dieselöls für eine Rundreise incl. Reserven (t)
WFO	Masse des Schweröls für eine Rundreise incl. Reserven (t)
WLUB	Masse des Schmieröls für eine Rundreise incl. Reserven (t)
LBP	Länge zwischen den Loten (m)
CBDCK	Völligkeit der Verdrängung bis Hauptdeck (-)
VOLDH	Volumen des Deckshauses (m ³)
HHCOM	Höhe des Lukensülls (m)
HHCOV	Höhe eines Lukendeckels (m)
B	Breite auf Spanten (m)
BBG	Breite eines Decksstreifens auf einer Seite neben den Luken (m)
RNL	Anzahl der Container Bays (-)
RLDB	Länge des Doppelbodens (m)
HDB	Höhe des Doppelbodens (m)

CBCT Containervölligkeitsgrad
= $CTHLD / (RNL * RNB * RND)$ (-)
D Seitenhöhe bis Hauptdeck (m)
FPORTD Raumgebühr pro 100 GT (DM)
FPOQUA Kajegebühr pro umgeschlagene Tonne
Ladung (DM)
CTHLD Anzahl der Container im Laderaum (TEU)
WCONHD Masse eines Laderaumcontainers (t/TEU)
CTDCK Anzahl der Container an Deck (TEU)
WCONDK Masse eines Deckscontainers (t/TEU)
PRCONT Umschlagskosten für ein TEU (DM)
CPOCON diverse Hafengebühren pro Hafen (DM)
TIMPRT durchschnittliche Hafenzzeit (h)
CREPHU Reparaturfaktor für den Schiffsrumpf,
bezogen auf $LBP * B * D$ (-)
CINSPS Faktor für Versicherung, bezogen auf
die Baukosten (-)
PORTN Anzahl der Häfen pro Rundreise (-)
LBP Länge zwischen den Loten (m)

FUNKTIONSWERT:

CSERVA Servicekosten pro Jahr (DM)

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 145 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

FUNCTION EEGEN

Die Funktion EEEEN berechnet die Generatorleistung für ein Containerschiff mit Motorantrieb .

LIT.: H.Schreiber; Statistische Untersuchungen zur Bemessung der Generatorleistung von Handelsschiffen; HANSA 1977

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

DISP Masse der Verdrängung bei der
 Optimierung (t)
WLS Schiffsleermasse (t)
PB Bremsleistung der Hauptmaschine unter
 Dienstbedingungen (kW)
FMCR Faktor für die Leistungsreserve (-)
APOWGE additiver Berichtigungswert für die
 nach Schreiber installierte Gene-
 ratorleistung

FUNKTIONSWERT:

EEGEN Generatorleistung für ein Containerschiff
 mit Motorantrieb (kW)

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 35 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

C

```
REAL FUNCTION EEEEN(DISP,WLS,PB,FMCR,APOWGE)
TOW   =DISP-WLS
X1 = TOW/1000.
X2 = PB/FMCR/1000.
EEGEN = 0.1045+0.0696*X1+0.0886*X2-0.00157*X1**2.+0.000823*X2**2.
1-0.00189*X1*X2
EEGEN = EEEEN*1000. + APOWGE
RETURN
END
```

FUNCTION FHSVA

Die Funktion berechnet die Fläche unter der Hebelarmkurve bis zum Nulldurchgang des Hebelarms.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

H15 Hebelarm für 15 Grad (m)
H30 Hebelarm für 30 Grad (m)
H45 Hebelarm für 45 Grad (m)
H50 Hebelarm für 50 Grad (m)
H60 Hebelarm für 60 Grad (m)

FUNKTIONSWERT:

FHSVA Fläche unter der Hebelarmkurve (mrad)

EXTERNALS:

RLAGRA Interpolation nach Lagrange

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 106 Worten zu 60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
REAL FUNCTION FHSVA(H15,H30,H45,H50,H60)
RAD(WI)=WI*3.141592/180.
SIMPS(H,Y1,Y2,Y3)=(Y1+4.*Y2+Y3)*H/3.
LINEAR(Y,X1,Y1,X2,Y2)=(Y-Y1)*(X2-X1)/(Y2-Y1)+X1
IF(H60.GE.0.000001) GOTO10
PHI=LINEAR(0.,50.,H50,60.,H50)
HX=(PHI-30.)/2.
HPhi=RLAGRA((30.+HX),30.,H30,45.,H45,60.,H60)
HEBFL=SIMPS(RAD(15.),0.,H15,H30)+SIMPS(RAD(HX),H30,HPhi,0.)
GOTO20
10 CONTINUE
HPhi70=RLAGRA(70.,30.,H30,45.,H45,60.,H60)
PHI6X=LINEAR(0.,60.,H60,70.,HPhi70)
HX=(PHI6X-60.)/2.
HPhi=RLAGRA((60.+HX),30.,H30,45.,H45,60.,H60)
HEBFL=SIMPS(RAD(15.),0.,H15,H30)+SIMPS(RAD(15.),H30,H45,H60)
1 +SIMPS(RAD(HX),H60,HPhi,0.)
20 CONTINUE
FHSVA=HEBFL
RETURN
END
```

FUNCTION FXLCB

Die Funktion berechnet die Lage des Verdrängungsschwerpunktes der Länge für die Funktion RLAP.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

CB Völligkeit der Verdrängung auf
dem Optimierungstiefgang (-)
FLCB Berichtigungsfaktor für Lage des
Verdrängungsschwerpunktes der Länge (-)

FUNKTIONSWERT:

FXLCB Lage des Verdrängungsschwerpunktes der Länge
vor Hauptspant (%)

GRENZEN:

-1.49 <= FXLCB <= +1.49
Liegt der Verdrängungsschwerpunkt außerhalb
dieser Grenzen, so wird als Größtwert der
entsprechende Grenzwert gesetzt.

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 23 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
REAL FUNCTION FXLCB(CB,FLCB)
XLCB =17.988*(CB-0.6939)* FLCB
IF(XLCB.GE.1.49) XLCB=1.49
IF(XLCB.LE.-1.49) XLCB=-1.49
FXLCB =XLCB
RETURN
END
```

FUNCTION GKORR

Die Funktion ermittelt den Korrekturfaktor für die Stabilitäts-
werte nach der von der HSVA vorgeschlagenen Methode in
Abhängigkeit von der Schiffsform .

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

EINGABEDATEN:

RL Länge zwischen den Loten (m)
RLILL Summe der Längen der Einzelluken zur gesamten
durch die Luken überstrichenen Länge des
Lukenbereiches innerhalb L/2 symmetrisch
zum Hauptspant
BLUK Lukenbreite (m)
HSULL Lukensüllhöhe (m)
B Breite auf Spanten (m)
T Tiefgang (m)
D Seitenhöhe (m)
CB Völligkeit der Verdrängung auf T (-)
CW Völligkeit der Wasserlinienfläche (-)
RKG Höhe des Gewichtsschwerpunktes (m)

FUNKTIONSWERT:

GKORR Korrekturfaktor für den Stabilitätswert
nach HSVA (-)

ANMERKUNGEN:

Ist $RKG < T$ oder $RL < 100.$, so ist $GKORR=1.$
Ist $BLUK > B/2.$ und $RLILL \leq 1.$,
so wird die Seitenhöhe korrigiert um das
verschmierte Lukenvolumen.

FEHLERMELDUNGEN:

keine

EXTERNALS:

SQRT Wurzelfunktion (REAL)

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 43 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
FUNCTION GKORR (RL,RLILL,BLUK,HSULL,B,T,D,CB,CW,RKG)
C   BERECHNUNG DES KORREKTURFAKTORS FUER DIE STABILITAET NACH HSVA
    GKORR=1.
    DSTR=D
    IF ((RL.LT.100.).OR.(RKG.LT.T)) GO TO 999
    IF((BLUK.GE.(B/2.)).AND.(RLILL.LE.1.))
$DSTR=D+HSULL*(2.*BLUK-B)/B*RLILL
    GKORR=T*DSTR/(B*B)*SQRT((T/RKG))*(CB/CW)*SQRT((100./RL))
999  CONTINUE
    RETURN
    END
```

FUNCTION GZ30N

Die Funktion korrigiert den Hebelarm für 30 Grad nach der Größe des Stabilitätsumfangs.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

EINGABEDATEN:

LBP Länge zwischen den Loten (m)
H50 Hebelarm 50 Grad (m)
H60 Hebelarm 60 Grad (m)

FUNKTIONSWERT:

GZ30N Hebelarm korrigiert in Abhängigkeit von der Größe des Hebelarmumfangs

BEMERKUNGEN:

Der Nulldurchgang der Hebelarmkurve im Bereich von 50 Grad wird linear interpoliert aus den Werten von 50 und 60 Grad. Ist der Hebelarmumfang größer als 60 Grad wird keine Korrektur des Hebelarms für 30 Grad vorgenommen.

FEHLERMELDUNGEN:

keine

EXTERNALS:

GZ30S0 Mindesthebelarm für PHI = 30 Grad

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 29 Worten zu 60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
C FUNCTION GZ30N (RL,H50,H60)
  STABILITAETSKRITERIEN NACH S8G NEUE RICHTLINIEN
  LINEAR (Y,X1,Y1,X2,Y2)=(Y-Y1)*(X2-X1)/(Y2-Y1)+X1
  PHI0=60.
  IF ( H60.LT. 0.) PHI0=LINEAR ( 0.,50.,H50 ,60.,H60)
  GZ30N=GZ30S0(RL)+0.01*(60.-PHI0)
  RETURN
END
```

FUNCTION GZ30S0

Die Funktion ermittelt den Mindesthebelarm für 30 Grad in Abhängigkeit von der Länge des Schiffes.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

EINGABEDATEN:

RL Länge zwischen den Loten (m)

FUNKTIONSWERT:

GZ30S0 Mindesthebelarm 30 Grad (m)

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 22 Worten zu 60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
C      FUNCTION GZ30S0 (RL)
      HE9ELARM BEI 30 GRAD NACH S3G ( MINDESTANFORDERUNG )
      GZ30S0 = RL*0.002
      IF (RL.LT. 100. ) GZ30S0=0.2
      IF ( RL.GT. 200.) GZ30S0=0.4
      RETURN
      END
```

FUNCTION HEBEL1

Die Funktion berechnet die Hebelarmkurvenwerte mit den Regressionsgleichungen von Gudenschwager/Meyer.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

EINGABEDATEN:

IPHI Schlüsselzahl für den Winkel
=1 Hebelarm für den Winkel 5 Grad
=2 Hebelarm für den Winkel 10 Grad
=3 Hebelarm für den Winkel 15 Grad
=4 Hebelarm für den Winkel 30 Grad
=5 Hebelarm für den Winkel 45 Grad
=6 Hebelarm für den Winkel 60 Grad

B Breite auf Spanten (m)
T Tiefgang CWL (m)
D Seitenhöhe 1. Deck (m)
CB Völligkeit der Verdrängung auf CWL (-)
CWP Völligkeit der CWL (m)
KM Breitenmetazentrische Höhe (m)
KG Höhenlage des Gewichtsschwerpunktes (m)
WKORR Korrekturfaktor für die Pantokarenenwerte (-)

FUNKTIONSWERT:

HEBEL1 Hebelarm des entsprechenden Winkels (m)

GÜLTIGKEITSBEREICH:

2.0 <= B/T <= 4.5
1.3 <= D/T <= 2.2
0.525 <= CB <= 0.850
0.700 <= CWP <= 0.930
0.390 <= KM/B <= 0.525

FEHLERMELDUNGEN:

Bei Überschreitungen des Gültigkeitsbereiches wird eine informative Meldung ausgegeben.

EXTERNALS:

WT3 - WT6 Funktionen mit den zugehörigen Regressionskoeffizienten

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 160 Worten zu 60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
FUNCTION HEBEL1(IPHI,B,T,D,CB,CWP,KM,KG,WKORR)
C   HEBELARMKURVENWERTE NACH REGRESSIONSGLEICHUNG MEYER-GUDENSCHWAGE
C
C   REAL KM,KG
C   DIMENSION F(37)
C   SCHREIBE KOMMENTAR BEI BEREICHSUEBERSCHREITUNG
C   IF(IPHI.LT.0.OR.IPHI.GT.6) GO TO 101
C   IF (B/T.LT.2.0.OR.B/T.GT.4.5) WRITE(6,C 201) B/T
C 201  FORMAT (/ ,15X, "EXTRAPOLATION IN HEBEL1 - - - B/T=",F5.2,/)
C   IF (D/T.LT.1.3.OR.D/T.GT.2.2) WRITE(6,C 202) D/T
C 202  FORMAT (/ ,15X, "EXTRAPOLATION IN HEBEL1 - - - D/T=",F5.2,/)
C   IF (CB.LT.0.525.OR.CB.GT.9.850 ) WRITE (6,C 203) CB
C 203  FORMAT (/ ,15X, "EXTRAPOLATION IN HEBEL1 - - - CB=",F5.3,/)
C   IF (CWP.LT.0.700.OR.CWP.GT.0.930) WRITE (6,C 204) CWP
C 204  FORMAT (/ ,15X, "EXTRAPOLATION IN HEBEL1 - - - CWP=",F5.3,/)
C   IF (KM/B.LT.0.390.OR.KM/B.GT.0.525) WRITE (6,C 205) KM/B
C 205  FORMAT (/ ,15X, "EXTRAPOLATION IN HEBEL1 - - - KM/B=",F6.3,/)
C   SETZE ZAEHLER FUER DEN VERTEILER
C   BERECHNE VARIABLEN FUER DIE REGRESSIONSGLEICHUNG
C   F(1)=CB
C   F(2)=CWP
C   F(3)=B/T
C   F(4)=D/T
C   F(5)=KM/B
C   F(6)=B/D
C   F(7)=F(1)*F(1)
C   F(8)=F(2)*F(2)
C   F(9)=F(3)*F(3)
C   F(10)=F(4)*F(4)
C   F(11)=F(5)*F(5)
C   F(12)=F(6)*F(6)
C   F(13)=F(7)*F(1)
C   F(14)=F(9)*F(3)
C   F(15)=F(10)*F(4)
C   F(16)=F(3)*F(4)
C   F(17)=F(1)/F(3)
C   F(18)=F(1)/F(4)
C   F(19)=F(1)/F(6)
C   F(20)=F(2)/F(3)
C   F(21)=F(2)/F(4)
C   F(22)=F(2)/F(6)
C   F(23)=F(5)/F(3)
C   F(24)=F(5)/F(4)
C   F(25)=F(5)/F(6)
C   F(26)=F(1)/F(12)
C   F(27)=F(1)/F(10)
C   F(28)=F(2)/F(9)
C   F(29)=F(2)/F(10)
C   F(30)=F(2)/F(12)
C   F(31)=F(3)*F(13)
C   F(32)=F(3)*F(12)
C   F(33)=F(4)*F(9)
C   F(34)=F(4)*F(12)
C   F(35)=F(5)/F(10)
C   F(36)=F(30)/F(6)
```

```
F(37)=1.
C   VERTEILE
GO TO (1,2,3,4,5,6),IPHI
101 CONTINUE
WRITE (6,200) IPHI
200 FORMAT (//,15X," KENNZAHL AUSSERHALB DES ZULAESSIGEN BEREICHES - -
$ - KENNZAHL=",I5,/)
HEBEL1=0.
GO TO 1000
1   CONTINUE
C   WINKEL FUENF GRAD
C   HEBEL1=WT1(F)*T*WKORR-KG*0.08715543
GO TO 1000
2   CONTINUE
C   WINKEL ZEHN GRAD
C   HEBEL1=WT2(F)*T*WKORR-KG*0.173648178
GO TO 1000
3   CONTINUE
C   WINKEL FUENFZEHN GRAD
HEBEL1=WT3(F)*T*WKORR-KG*0.258819045
GO TO 1000
4   CONTINUE
C   WINKEL DREISSIG GRAD
HEBEL1=WT4(F)*T*WKORR-KG*0.500000000
GO TO 1000
5   CONTINUE
C   WINKEL FUENFUNDVIERZIG GRAD
HEBEL1=WT5(F)*T*WKORR-KG*0.707106781
GO TO 1000
6   CONTINUE
C   WINKEL SECHZIG GRAD
HEBEL1=WT6(F)*T*WKORR-KG*0.866025404
1000 CONTINUE
RETURN
END
```

FUNCTION WT3(F)

```
C
C   VERKNUEPFUNG VARIABLE UND Koeffizienten DER REGR.GLEICHUNGS
C   WINKEL FUENFZEHN GRAD
C   HEBELARMKURVENWERTE NACH REGRESSIONSGLEICHUNG MEYER-GUDENSCHWAGER
C   - - - - - VERSION 28.11.1982 - - - -
C
DIMENSION F(37),A(37)
DATA (A(I),I=1,37) /
1 0., 0.51519045, -5.6019484, 3.2402557, 2.3672406, 3.8659291,
2 -.19849613, .27785373, -.95122941, -1.6987122, -1.8253734,
3 -1.0864717, 0., .13819294E-02, .32632983, 3.9034909, -.28490935,
4 1.7549163, 0., 1.8059592, -3.6906138, -.70839993, -1.1007000,
5 2.8188084, 0., 0., -1.4254154, 0., 2.1899312, 0., -.56277365,
6 .49559558E-02, .18329896, 1.7012711, -2.7485156, 0., -2.8279053 /
WT=0.
DO 10 I=1,37
WT=WT+A(I)*F(I)
10 CONTINUE
WT3=WT
RETURN
END
```

FUNCTION WT4(F)

C
C VERKNUEPFUNG VARIABLE UND KOEFFIZIENTEN DER REGR.GLEICHUNG
C WINKEL DREISSIG GRAD
C HEBELARMKURVENWERTE NACH REGRESSIONSGLEICHUNG MEYER-GUDENSCHWAGER
C - - - - - VERSION 28.10.1982 - - - -
C

```
DIMENSION F(37),A(37)
DATA (A(I),I=1,37) /
1 6.0975364, -6.2629303, 4.7132798, -3.8557787, 0., -2.0715648,
2 -1.5591875, 2.1408338, 0.23604158, 1.5528592, -1.5012451,
3 .36773319, 0., 0., -.16477264, -1.6435557, 3.0498185, -5.1244850,
4 -4.5764014, 2.5403646, 0., 3.4956468, -6.3531471, 9.0715316,
5 4.5249664, 1.5526762, 2.2315038, -2.4533510, 0., -2.1749144,
6 .14281300, 0.26281742E-01, 0., -.89071672, -3.8670192, 0.,
7 0.83748309 /
WT=0.
DO 10 I=1,37
WT=WT+A(I)*F(I)
10 CONTINUE
WT4=WT
RETURN
END
FUNCTION WT5(F)
```

C
C VERKNUEPFUNG VARIABLE UND KOEFFIZIENTEN DER REGR.GLEICHUNG
C WINKEL FUENFUNDVIERZIG GRAD
C HEBELARMKURVENWERTE NACH REGRESSIONSGLEICHUNG MEYER-GUDENSCHWAGER
C - - - - - VERSION 28.10.1982 - - - -
C

```
DIMENSION F(37),A(37)
DATA (A(I),I=1,37) /
1 8.3944560, -3.4926893, -2.3905650, 4.0674105, 4.2361594,
2 1.6428243, -9.2650743, .94220651, -1.0068422, -2.6849158,
3 -2.5765860, -.58317480, 4.0982249, .20640178E-01, .51333854,
4 2.6463126, 0., -2.2238891, 0., 4.4742455, 0., -.66387176E-01,
5 2.2389703, 0., 0., 0., 1.2079742, -4.2525789, 0., 0.,
6 -.51531143, 0., .14097479, 1.1500080, 0., 0., -5.7759170 /
WT=0.
DO 10 I=1,37
WT=WT+A(I)*F(I)
10 CONTINUE
WT5=WT
END
FUNCTION WT6(F)
```

C
C VERKNUEPFUNG VARIABLE UND KOEFFIZIENTEN DER REGR.GLEICHUNG
C WINKEL SECHZIG GRAD
C HEBELARMKURVENWERTE NACH REGRESSIONSGLEICHUNG MEYER-GUDENSCHWAGER
C - - - - - VERSION 28.10.1982 - - - -
C

```
DIMENSION F(37),A(37)
DATA (A(I),I=1,37) /
1 3.6634412, -6.6668769, 0., -.92594565, 4.9199597, -.68653273,
2 -1.1854371, 1.6927395, -.45534022, 0., -2.6548164, 0., 0.,
3 .23028339E-01, 0., 1.0414503, 0., -2.8081956, -.76787230,
4 3.1226927, 3.8220331, 1.2567979, -1.0085182, 1.5358279,
5 0., .28379620, 1.3541882, -3.3803878, -1.7553521, -.19455971,
6 -.12317220, -.29733259E-01, 0., .46757980, -1.3799758, 0.,
7 0.28186662 /
WT=0.
DO 10 I=1,37
WT=WT+A(I)*F(I)
10 CONTINUE
WT6=WT
RETURN
END
```

FUNCTION HEBFL

Die Funktion ermittelt die Flächen unter der Hebelarmkurve im Bereich 15 bis 45 Grad nach Simpson in m rad .

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

EINGABEDATEN:

PHI Winkel bis zu dem die Fläche ermittelt werden soll (GRAD)
H15 Hebelarm 15 Grad (m)
H30 Hebelarm 30 Grad (m)
H45 Hebelarm 45 Grad (m)

FUNKTIONSWERT:

HEBFL Fläche unter der Hebelarmkurve von 0 bis PHI (mrad)

FEHLERMELDUNGEN:

keine

EXTERNALS:

RLAGRA Interpolation nach Lagrange

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 66 Worten zu 60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
FUNCTION HEBFL (PHI,H15,H30,H45)
C  HEBELARMFLAECHE UNTER DER HEBELARMKURVE VON 15 BIS 45 GRAD
  RAD(WI)=WI*3.141592/180.
  SIMPS(H,Y1,Y2,Y3) = (Y1+4.*Y2+Y3)* H/3.
  HPHI=RLAGRA (PHI,15.,H15,30.,H30,45.,H45)
  HX=(PHI-30.)/2.
  HPHI2=RLAGRA ((30.+HX),15.,H15,30.,H30,45.,H45)
  HEBFL=SIMPS (RAD (15.),0.,H15,H30)+SIMPS (RAD (HX),HPHI,HPHI2,H30)
  RETURN
END
```

FUNCTION HEBMAX

Die Funktion ermittelt den maximalen Hebelarm in Grad.
Es werden mit der Funktion RLAGR4 zu gegebenen X-Koordinaten die Y-Koordinaten ermittelt und die Y-Differenzen von 2 Koordinaten mit einer vorgegebenen Abbruchschranke von 0.001m verglichen.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

EINGABEDATEN:

H15 Hebelarm für 15 Grad (m)
H30 Hebelarm für 30 Grad (m)
H45 Hebelarm für 45 Grad (m)
H60 Hebelarm für 60 Grad (m)

FUNKTIONSWERT:

HEBMAX maximaler Hebelarm (m)

BESONDERHEITEN:

Wird keine Lösung bis 70 Grad gefunden, so ist der Wert von HEBMAX das Mittel der letzten beiden untersuchten Hebelarmstützwerte.
Werden mehr als 15 Iterationsschritte zur Lösungsfindung gebraucht, so wird die Iteration abgebrochen und für HEBMAX der Mittelwert des letzten Intervalls gesetzt.

EXTERNALS:

RLAGR4 Interpolation nach Lagrange mit 4 Stützstellen

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 65 Worten zu 60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
FUNCTION HEBMAX (H15,H30,H45,H60)
  DELTA=0.01
  DX=15.
  I=0
  X1=0.
  Y1=0.
10  CONTINUE
  I=I+1
  X2=X1+DX
  IF(X2.GT.70. .OR. I.GT.15) GO TO 999
  Y2=RLAGR4(X2,15.,H15,30.,H3),45.,H45,60.,H60)
  DY=Y2-Y1
  IF(DY.LE.0.) GO TO 20
  IF(DY.LT.0.DELTA) GO TO 999
  X1=X2
  Y1=Y2
  GO TO 10
20  CONTINUE
  DX=DX/3.
  GO TO 10
999 CONTINUE
  HEBMAX=(Y1+Y2)/2.
  RETURN
END
```

FUNCTION PSHIPB

Die Funktion berechnet die Baukosten für ein Schiff.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

i) EINGABE

CBDCK	Völligkeit der Verdrängung bis Hauptdeck (-)
ASCRA	additiver Berichtigungswert in % für die empirische Formel für den Verschnitt, bezogen auf die Bruttostahlmasse
LBP	Länge zwischen den Loten (m)
B	Breite auf Spanten (m)
D	Seitenhöhe bis Hauptdeck (m)
CB	Völligkeit der Verdrängung auf dem Optimierungstiefgang (-)
ARSTH	additiver Berichtigungswert für die empirische Formel für den Stundensatz pro Tonne Nettostahl (h/t)
PB	Bremsleistung der Hauptmaschine unter Dienstbedingungen (kW)
FMC	Faktor für die Leistungsreserve (-)
PRME	Kosten Hauptmaschine (DM/kW)
PRST	Kosten für eine Tonne Stahl (DM)
PRP	Kosten für eine Produktionsstunde (DM)
POWGEN	Leistung der installierten Hilfsgeneratoren (kW)
WSTOH	Stahlmasse des Deckshauses (t)
ROUTFH	Produktionsstunden pro Tonne Ausrüstungs- und Einrichtungsmasse (h)
PROUTF	Kosten pro Tonne Ausrüstungs- und Einrichtungsmasse (DM)
PRCONS	Kosten für die Konstruktion in % des Baupreises konstruktion (%)
P83	Kostensteigerungsfaktor der gesamten Baukosten
TT	Optimierungstiefgang (m)
FWDUTF	Berichtigungsfaktor für die mit der empirischen Formel berechneten Ausrüstungs- und Einrichtungsmasse (-)
FWSTHU	Berichtigungsfaktor für die empirische Formel zur Berechnung der Stahlrumpfmasse (-)
POOP	Länge der Poop (m)
APOOP	Höhe der Poop (m)
RLFP	Länge Vorpiek (m)
ABACK	Höhe der Back (m)
FPENGI	Berichtigungsfaktor für die mit der empirischen Formel berechneten Arbeitsstunden an der Hauptmaschine (-)
FPAUXM	Berichtigungsfaktor für die mit der empirischen Formel berechneten Materialkosten an der übrigen Maschinenanlage (-)
FPAUXI	Berichtigungsfaktor für die empirische Formel zur Berechnung der Installationsstunden der übrigen Maschinenanlage (-)

ii) AUSGABE

ZSCRAP	Stahlverschnitt bezogen auf Netto - Stahlmasse (-)
PHULLM	Materialkosten für den Stahlrumpf (DM)
PHULLP	Lohnkosten für den Stahlrumpf (DM)
PHULL	Kosten für den Schiffskörper (DM)
PENGM	Materialkosten für die Hauptmaschine (DM)
PENGI	Lohnkosten für die Hauptmaschine (DM)
PAUXM	Materialkosten für die übrige Maschinen- anlage (DM)
PAUXI	Lohnkosten für die übrige Maschinen- anlage (DM)
PMACH	Kosten für die gesamten Maschinen und die Maschinenanlagenausrüstung (DM)
PSTDH	Kosten Stahl Deckshaus (DM)
HOUTF	Anzahl der Stunden für die gesamte Ausrüstung (h)
PQUTF	Kosten für die Ausrüstung und Einrichtung (DM)
WREST	Masse der übrigen Maschinenanlage (t)
RSTH	Produktionsstunden pro Tonne Stahl (h/t)

FUNKTIONSWERT:

PSHIPB gesamte Baukosten (DM)

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 192 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
REAL FUNCTION PSHIPB(CBDOCK,ASCRA P,LBP,B,D,CB,ARSTH,PB,  
1 FMCR,PRME,PRST,PRP,POWGEN,WSTDH,  
1 ROUTFH,PROUTF,PRCONS,ZSCRAP,PHULLM,  
1 FPENGI,FPAUXM,FPAUXI,PHULLP,PHULL,PENGM,PENGI,PAUXM,PAUXI,  
1 PMACH,PSTDH,HOUTF,POUTF,P83,WREST,RSTH,  
1 TT,FWOUTF,FWSTHU,POOP,APOOP,RLFP,ABACK)
```

```
C  
REAL LBP
```

```
C  
C PHULL NACH KERLEN, EINFLUSS DER VOELIGKEIT AUF DIE RUMPF-  
C STAHLKOSTEN VON FRACHTSCHIFFEN
```

```
C  
WSTHUL=LBP*B*D*CBDOCK*0.103*1.07*(1.+17.*(LBP-110)**2/1000000.)  
1 *(1.+0.733*(LBP/D-12.))  
1 *(1.+0.06*(1.-D/4.))  
1 *(1.+0.05*(1.85-B/D))  
1 *(1.+0.2*(TT/D-0.85))  
1 *(0.92+(1-CBDOCK)**2) * FWSTHU  
1 +0.1*B*(RLFP*ABACK*0.6+POOP*APOOP)  
WOUTF=(275.842+0.379*LBP)*LBP*9/1000. * FWOUTF
```

```
C  
VOLHUL=LBP*B*D*CBDOCK  
VERSCH=(9.E10/(VOLHUL/1000.+100.))**4.86+14.+ASCRA P)/100.  
ZSCRAP=1./(1.-VERSCH)  
RSTH=(45.36/(LBP*B*D/1000.))**0.115+3.5)*0.866/CB**0.333  
1 +ARSTH  
PHULLM=PRST*WSTHUL*ZSCRAP  
PHULLP=RSTH*WSTHUL*PRP  
PHULL=(PHULLM+PHULLP)
```

```
C  
POWER=PB/FMCR  
WREST=4.619*POWER**0.557  
PENGM=PRME*POWER  
PENGI=315.54*POWER**0.33*PRP *FPENGI  
PAUXM=8671.298*(POWER+POWGEN)**0.659*(LBP*B*D*CB)**0.0616  
1 *FPAUXM  
PAUXI=23683.165*(POWER+POWGEN)**0.1444*(LBP*B*D*CB)**0.043685  
1 *FPAUXI  
1 *PRP
```

```
C  
C PMACH=(PENGM+PENGI+PAUXM+PAUXI)
```

```
C  
C PSTDH=WSTDH*RSTH*PRP+WSTDH*PRST*ZSCRAP  
C HOUTF=ROUTFH*WOUTF  
C POUTF=HOUTF*PRP+PROUTF*WOUTF
```

```
C  
C PSHIPB=(PHULL+PMACH+PSTDH+POUTF)*P83*1.05*(1.+PRCONS/10)  
C DER WERT 1.05 BEINHALTET VERSICHERUNGSKOSTEN, REISEKOSTEN,  
C VERWALTUNGS-UND VERTRIEBSGEMEINKOSTEN
```

```
RETURN  
END
```

FUNCTION RFRXX

Die Funktion berechnet die erforderliche Mindestfrachtrate.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

ANUIT Anuität (DM/a)
CSERVI jährliche Betriebskosten (DM)
TEU maximal mögliche Anzahl von Containern im Schiff;
gerechnet auf 20' Einheiten (TEU)
RTNPY Anzahl der Rundreisen pro Jahr (-)
PRCART Wert der Ladung (DM)
ZINSCA Ladungszinsen (%/a)
TIMYAR Dauer der Werftzeit (h/a)
CCOMPA Kosten die der Reederei vor und während
der Bauzeit des Schiffes bis zur
Indienststellung entstanden sind (DM)

FUNKTIONSWERT:

RFRXX erforderliche Mindestfrachtrate (DM/TEU)

FEHLERMELDUNGEN:

keine

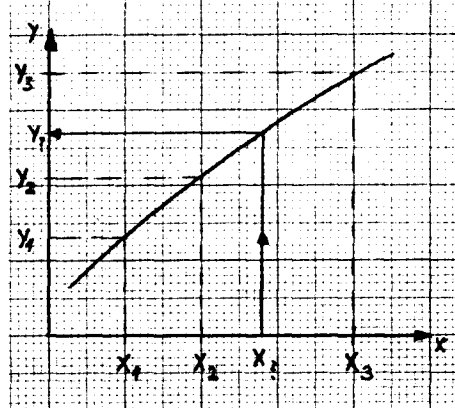
PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 24 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
REAL FUNCTION RFRXX(ANUIT,CSERVI,TEU,RTNPY,PRCART,ZINSCA,TIMYAR,  
1  CCOMPA)  
PCARGO=PRCART*TEU*RTNPY*2.  
ZINSC =PCARGO*ZINSCA*(8760.-TIMYAR)/8760.  
RFRXX =(ANUIT+CSERVI+ZINSC+CCOMPA)/(TEU*RTNPY*2.)  
RETURN  
END
```

FUNCTION RLAGRA

Die Funktion interpoliert zu einer gegebenen x-Koordinate die zugehörige y-Koordinate zwischen 3 Stützpunkten nach Lagrange.



PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

EINGABEDATEN:

X X-Koo. des zu interpolierenden Punktes
X1,Y1 Koordinaten des ersten Stützpunktes
X2,Y2 Koordinaten des zweiten Stützpunktes
X3,Y3 Koordinaten des dritten Stützpunktes

FUNKTIONSWERT:

RLAGRA zur X-Koordinate interpolierter Y-Wert

FEHLERMELDUNGEN:

keine

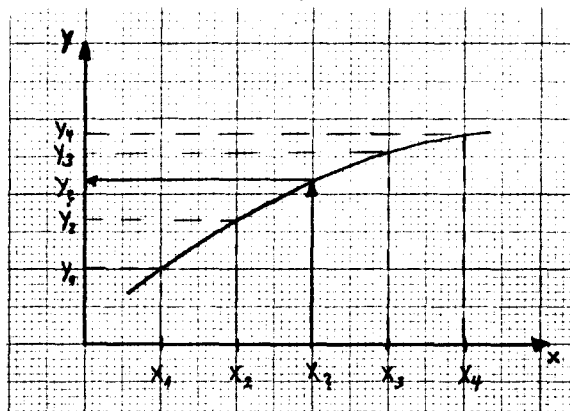
PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 27 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
C        FUNCTION RLAGRA ( X, X1, Y1,X2,Y2,X3,Y3)
         INTERPOLATION NACH LAGRANGE
         FAKT (ST,A,B,C) = (ST-B)*(ST-C)/(A-B)/(A-C)
         C1=FAKT(X,X1,X2,X3)
         C2=FAKT(X,X2,X1,X3)
         C3=FAKT(X,X3,X1,X2)
         RLAGRA=C1*Y1+C2*Y2+C3*Y3
         RETURN
         END
```

FUNCTION RLAGR4

Die Funktion interpoliert zu einer gegebenen x-Koordinate die zugehörige y-Koordinate zwischen 4 Stützpunkten nach Lagrange.



PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

EINGABEDATEN:

X X-Koo. des zu interpolierenden Punktes
X1,Y1 Koordinaten des ersten Stützpunktes
X2,Y2 Koordinaten des zweiten Stützpunktes
X3,Y3 Koordinaten des dritten Stützpunktes
X4,Y4 Koordinaten des vierten Stützpunktes

FUNKTIONSWERT:

RLAGR4 zur X-Koordinate interpolierter Y-Wert

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 49 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
FUNCTION RLAGR4 ( X, X1, Y1,X2,Y2,X3,Y3,X4,Y4)
C INTERPOLATION NACH LAGRANGE
FAKT(ST,A,B,C,D)=(ST-B)*(ST-C)*(ST-D)/(A-B)/(A-C)/(A-D)
C1=FAKT(X,X1,X2,X3,X4)
C2=FAKT(X,X2,X1,X3,X4)
C3=FAKT(X,X3,X1,X2,X4)
C4=FAKT(X,X4,X1,X2,X3)
RLAGR4=C1*Y1+C2*Y2+C3*Y3+C4*Y4
RETURN
END
```

FUNCTION VOLBDX

Die Funktion VOLBDX berechnet das Tankvolumen im Doppelboden für Ballastwasser.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

VOLDB	Volumen des Doppelbodens (m ³)
VOLST	Volumen der Seitentanks (m ³)
FOILDB	Faktor für Treibstoff im Doppelboden (-)
RHOIL	spezifische Masse des öls (t/m ³)
WSDBA	Gewicht des Festballasts (t)
RHOSDB	Dichte des Festballastes (t/m ³)
DISTMA	Aktionsweite ohne Reserve (sm)
WFO	Masse des Schweröls für eine Rundreise incl. Reserven (t)
V	Dienstgeschwindigkeit (m/s)
PB	Bremsleistung der Hauptmaschine unter Dienstbedingungen (kW)
SFMCE	Spezifischer Brennstoffverbrauch der Hauptmaschine (kg/kWh)
SFCAE	spezifischer Brennstoffverbrauch der Hilfsmaschinen (kg/kWh)
PDWGEN	Leistung der installierten Hilfs- generatoren (kW)
FPGSEA	Faktor für die installierte Hilfsgeneratoren- leistung für die Seezeit (-)
TIMRT	Zeit für eine Rundreise (h)
TIMPRT	Hafenzeit pro Rundreise (h)
TIMCW	Zeit für Revierfahrt pro Rundreise (h)
FPGCW	Faktor für die installierten Hilfsgeneratoren- leistung bei Revierfahrt (-)
FPGPRT	Faktor für die installierten Hilfsgeneratoren- leistung für die Hafenliegezeit (-)
FPBCW	Faktor für Reduktion der Bremsleistung der Hauptmaschine bei Revierfahrt (-)
WDD	Masse des Dieselöls für eine Rundreise incl. Reserven (t)
WLUB	Masse des Schmieröls für eine Rundreise incl. Reserven (t)
SLUBAE	spezifischer Schmierölverbrauch der Hilfsmaschinen (kg/kWh)
SLUBME	spezifischer Schmierölverbrauch der Hauptmaschine (kg/kWh)

FUNKTIONSWERT:

VOLBDX Tankvolumen für Ballastwasser im Doppelboden
(m³)

EXTERNALS:

WOIMAX max. Treibstoff- und Schmierölmengen

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 110 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
REAL FUNCTION VOLBOX(VOLDB,VOLST,FOILDB,RHOOIL,WSOBA,RHOS)B,
1  DISTMA,WFO,V,PB,SFCME,SFCAE,
1  POWGEN,FPGSEA,TIMRT,TIMPRT,TIMCW,
1  FPGCW,FPGPRT,FPBCW,WOO,WLUB,SLUBAE,SLUBME)
C
  VOLOIL = WOIMAX(DISTMA,WFO,V,PB,SFCME,SFCAE,
1  POWGEN,FPGSEA,TIMRT,TIMPRT,TIMCW,
1  FPGCW,FPGPRT,FPBCW,WOO,WLUB,SLUBAE,SLUBME)/RHOOIL
C
  VOILDS = VOLUMEN TAGES- UND SETZTANK, ORT: IM MASCHINENRAUM
  VOILOS=PB*SFCME/1000.*96./RHOOIL
  VOLOIL=VOLOIL-VOILOS
C
  VOLOBW=VOLOB-WSOBA/RHOSOB
  IF(VOLOIL.GE.(VOLOBW+VOLST))GO TO 5
  VOLOID=VOLOIL*FOILDB
  VOLOIS=VOLOIL-VOLOID
C
  IF(VOLOIS.LE.VOLST) GOTO6
  VOLOIS=VOLST
  VOLOID=VOLOIL-VOLST
6 CONTINUE
C
  IF(VOLOID.LE.VOLOBW) GOTO 7
  VOLOID=VOLOBW
  VOLOIS=VOLOIL-VOLOBW
7 CONTINUE
  GOTO 9
5 WRITE(6,8)
8 FORMAT(3X,"VOLUMEN FOR OIL BIGGER THAN VOL.OF DOUBLE BOTTOM
1 AND SIDE TANK")
9 CONTINUE
VOLBOX=VOLOBW-VOLOID
RETURN
END
```

FUNCTION VOLDBX

Die Funktion berechnet das Doppelbodenvolumen.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

IENGR0 Lage des Maschinenraumes (-)
0 = achtern; Langsamläufer
1 = etwa auf 1/3 der Schiffslänge von
achtern; Langsamläufer
2 = achtern; Mittelschnelläufer
XLCB Lage des Verdrängungsschwerpunktes der
Länge in % LPP vor Hauptspant
CB Völligkeit der Verdrängung auf
dem Optimierungstiefgang (-)
CBDCK Völligkeit der Verdrängung bis Hauptdeck (-)
RLAFP Länge Achterpiek (m)
RLER Länge des Maschinenraumes (m)
RLFP Länge Vorpiek (m)
RNL Anzahl der Container Bays (-)
DBHC Abstand zwischen zwei Lukensäulen (m)
ANL Differenz der Containerbays an Deck und im
Laderaum
HDB Höhe des Doppelbodens (m)
D Seitenhöhe bis Hauptdeck (m)
B Breite auf Spanten (m)
LBP Länge zwischen den Loten (m)
DIAM Propellerdurchmesser (m)

FUNKTIONSWERT:

VOLDBX Volumen des Doppelbodens (m³)

EXTERNALS:

VOLX Volumen eines Raumes
IFIX Umwandlung Real- in Integerzahl

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 103 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
REAL FUNCTION VOLDBX(IEINGRO,XL,CB,CB,CBDOCK,RLAFP,RLER,RLFP,
1      RNL,DBHC,ANL,HDB,D, B,LBP,DIAM
1      )
REAL LBP
C
RLER=RLER/LBP
VOLHUL=LBP*B*D*CBDOCK
C
C ABFRAGE NACH LAGE DES MASCHINENRAUMS
C
IF(IEINGRO.EQ.1) GOTO 10
C MASCHINENRAUM ACHTERN
C
X1 =RLAFP+RLER
X2 =1.-RLFP
Z1 =HDB/D
VOLDBX=VOLX(XL,CB,CB,CBDOCK,X1,X2,Z1,Z1,VOLHUL)
GO TO 20
10 CONTINUE
C MASCHINENRAUMLAGE ETWA AUF 1/4 DER LAENGE VON ACHTERN,
C DOPPELBODEN WIRD AUFGETEILT IN DOPPELBODEN ACHTERN -VCLD9A-
C UND IN DOPPELBODEN VOR DEM MASCHINENRAUM -VOLDBF-
C
RNLA =(RNL+ANL)/4.
RNLA= IFIX(RNLA+0.5)
RNLAHD=RNLA-ANL
C
C HINTERE BEGRENZUNG DES DOPPELBODENS ACHTERN = RLAFP
C VORDERE BEGRENZUNG DES DOPPELBODENS ACHTERN
X2 = RLAFP+(RNLAHD*6.4+(IFIX(RNLAHD/2.+0.51)+1.)
1 *DBHC)/LBP
C DOPPELBODENHOEHE ACHTERN
C DAS RASTER IN DER HOEHE DER CONTAINERSTAUNG VOR DEM MASCHINEN-
C RAUM WIRD DABEI EINGEHALTEN. (HAT KEINEN EINFLUSS AUF CTHLD!!)
C
XDA =(DIAM+0.4-HDB)/2.59
HDBA =IFIX(XDA)+HDB
Z1 =HDBA/D
VOLDBA=VOLX(XL,CB,CB,CBDOCK,RLAFP,X2,Z1,Z1,VOLHUL)
C
C DOPPELBODEN VOR DEM MASCHINENRAUM
C
X1 =X2+RLER
X2 =1.-RLFP
Z1 =HDB/D
C
VOLDBF=VOLX(XL,CB,CB,CBDOCK,X1,X2,Z1,Z1,VOLHUL)
VOLDBX=VOLDBA+VOLDBF
20 CONTINUE
RLER=RLER*LBP
RETURN
END
```

FUNCTION VOLSTX

Die Funktion berechnet das Volumen der Seitentanks aus

- dem Volumen des Schiffsrumpfes bis Seitenhöhe D
 - dem Volumen des Doppelbodens
 - dem Volumen des Maschinenraumes
 - dem Volumen der Vor- und Achterpiek
 - dem Laderaumvolumen ohne Lukenvolumen
- und dem Volumen des Betriebsganges.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

VOLDB	Volumen des Doppelbodens (m ³)
B	Breite auf Spanten (m)
BBG	Breite eines Decksstreifens auf einer Seite neben den Luken (m)
RLDB	Länge des Doppelbodens (m)
D	Seitenhöhe bis Hauptdeck (m)
HHCOM	Höhe des Lukensülls (m)
HDB	Höhe des Doppelbodens (m)
CBCT	Containervölligkeitsgrad = CTHLD/(RNL*RNB*RND) (-)
FVOLCH	Berichtigungsfaktor für die empirische Formel zur Ermittlung des Laderaumvolumens (-)
XLCB	Lage des Verdrängungsschwerpunktes der Länge in % LPP vor Hauptspant
CB	Völligkeit der Verdrängung auf CWL (-)
CBDCK	Völligkeit der Verdrängung bis Hauptdeck (-)
RLAFP	Länge Achterpiek (m)
FVOLAP	Berichtigungsfaktor für die empirische Formel zur Ermittlung des Volumens der Achterpiek (-)
RLFP	Länge Vorpiek (m)
FVOLFP	Berichtigungsfaktor für die empirische Formel zur Ermittlung des Vorpiekvolumens (-)
IENGRO	Lage des Maschinenraumes (-) 0 = achtern; Langsamläufer 1 = etwa auf 1/3 der Schiffslänge von achtern; Langsamläufer 2 = achtern; Mittelschnellläufer
RLER	Länge des Maschinenraumes (m)
RNL	Anzahl der Container Bays (-)
DBHC	Abstand zwischen zwei Lukensüllen (m)
LBP	Länge zwischen den Loten (m)
ANL	Differenz der Containerbays an Deck und im Laderaum
FVOLER	Berichtigungsfaktor für die empirische Formel für das Volumen des Maschinenraumes (-)
HBOX	Höhe eines Boxgirders (m)

FUNKTIONSWERT:

VOLSTX Volumen der Seitentanks (m³)

FEHLERMELDUNGEN:

keine

EXTERNALS:

VOLX Volumen eines in x und z-Richtung be-
grenzten Raumes des Schiffskörpers (m³)
VOLXX Volumen des Maschinenraumes (m³)

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 106 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
REAL FUNCTION VOLSTX(VOLD3,B,BBG,RLDB,D,HHCOM,  
1      HDB,CBCT,FVOLCH,XLCB,CB,CBDCK,RLAFP,FVCLAP,RLFP,  
1      FVOLFP,IENGRO,RLER,RNL,DBHC,LBP,ANL,FVCLER,  
1      HBOX )  
C  
C      REAL LBP  
VOLCHD=(B-2.*BBG)*RLDB*(D+HHCOM-HDB)*CBCT *FVOLCH  
1      -RNL*6.4*(B-2.*BBG)*HHCOM  
VOLHUL=LBP*B*D*CBDC  
VOLAP =VOLX(XLCB,CB,CBDCK,0.0001,RLAFP,1.,1.,VOLHUL) *FVOLAP  
VOLFP =VOLX(XLCB,CB,CBDCK,1.-RLFP,1.,1.,1.,VOLHUL)*FVOLFP  
VOLER =VOLXX(IENGRO,XLCB,CB,CBDCK,RLAFP,RLER,RNL,DBHC,  
1      VOLHUL,LBP,ANL) *FVOLER  
VOLSTX = (VOLHUL-VOLCHD-VOLD3-VOLER-VOLAP-VOLFP  
1      -BBG*HBOX*RLDB*2.)  
RETURN  
END
```

FUNCTION VOLX

Die Funktion berechnet das Volumen eines eingegebenen Raumes ausgehend von den eingegebenen Begrenzungen in x-Richtung und z-Richtung.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

XLCB Lage des Verdrängungsschwerpunktes der Länge
in % LPP vor Hauptspant
CB Völligkeit der Verdrängung auf
dem Optimierungstiefgang (-)
CBDOCK Völligkeit der Verdrängung bis Hauptdeck (-)
X1 hintere Längenbegrenzung des Raumes vom HL
gemessen (m)
X2 vordere Längenbegrenzung des Raumes vom VL
gemessen (m)
Z1 untere Höhenbegrenzung des Raumes von der Basis
gemessen (m)
Z2 obere Höhenbegrenzung des Raumes von der Basis
gemessen (m)
VOLHUL Volumen des Schiffsrumpfes bis Seitenhöhe (m³)

FUNKTIONSWERT:

VOLX Volumen des durch X1,X2,Z1,Z2 beschriebenen
Raumes (m³)

EXTERNALS:

EXP e-Funktion

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 85 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
C REAL FUNCTION VOLX(XLCB,CB,CBDOCK,X1,X2,Z1,Z2,VOLHUL)
C DAS VOLUMEN EINES RAUMES WIRD
C WIE FOLGT BERECHNET
C VOLUMEN VOM HL BIS ZUR STELLE X2 UND DER HOEHE VON
C DER BASIS BIS Z2 MINUS VOLUMEN(X1,Z1).
C X1<X2,Z1<Z2
C
C
C XLCB = (50.+XLCB)/100.
VOLX1 = (5.9*X1**3-3.06*X1**2+1.64*X1)*(4.036*X1**(XLCB*3.4)
1 *EXP(-4.468*X1))
VOLZ1 = (1.6*Z1**1.7+3.13*Z1)*(1.119*Z1-1.267*Z1*CB/CBDOCK
1 +1.15*CB/CBDOCK)
VOLX2 = (5.9*X2**3-3.06*X2**2+1.64*X2)
1 *(4.036*X2**(XLCB*3.4)*EXP(-4.468*X2))
VOLZ2 = (1.6*Z2**1.7+3.13*Z2)*(1.119*Z2-1.267*Z2*CB/CBDOCK
1 +1.15*CB/CBDOCK)
VOLX = (VOLX2-VOLZ2-VOLX1*VOLZ1)*VOLHUL
XLCB = (XLCB-0.5)*100.
RETURN
END
```

FUNCTION VOLXX

Die Funktion berechnet das Volumen des Maschinenraumes.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

IENGRO Lage des Maschinenraumes (-)
0 = achtern; Langsamläufer
1 = etwa auf 1/3 der Schiffslänge von
achtern; Langsamläufer
2 = achtern; Mittelschnelläufer
XLCB Lage des Verdrängungsschwerpunktes der Länge
in % LPP vor Hauptspant
CB Völligkeit der Verdrängung auf
dem Optimierungstiefgang (-)
CBDCK Völligkeit der Verdrängung bis Hauptdeck (-)
RLAFP Länge Achterpiek (m)
RLER Länge des Maschinenraumes (m)
RNL Anzahl der Container Bays (-)
DBHC Abstand zwischen zwei Lukensäulen (m)
VOLHUL Volumen des Schiffsrumpfes bis Seitenhöhe (m³)
LBP Länge zwischen den Loten (m)
ANL Differenz der Containerbays an Deck und im
Laderaum

FUNKTIONSWERT:

VOLXX Volumen des Maschinenraumes (m³)

EXTERNALS:

VOLX Volumen eines Raumes
IFIX Umwandlung Real- in Integerzahl

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 79 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
      REAL FUNCTION VOLXX (IENGRO,XLCB,CB,CBDOCK,RLAFP,RLER,RNL,DBHC,  
1      VOLHUL,LBP,ANL)  
      REAL LBP  
C      ABFRAGE NACH LAGE DES MASCHINENRAUMES ( IENGRO = 0 D.H. ACHTERN  
C      IENGRO = 1 D.H. MASCHINENRAUM ETWA AUF 1/4 VON LBP VON ACHTERN  
C  
      RLER=RLER/LBP  
  
C      IF(IENGRO.EQ.1) GOTO 10  
C      MASCHINENRAUM ACHTERN  
C  
      X2 = RLAFP+RLER  
      VOLXX=VOLX(XLCB,CB,CBDOCK,RLAFP,X2,1.,1.,VOLHUL)  
      GO TO 20  
10 CONTINUE  
C      MASCHINENRAUMLAGE ETWA 1/4 DER LAENGE VON ACHTERN  
C  
      RNLA = (RNL+ANL)/4.  
      RNLA = IFIX(RNLA+0.5)  
      RNLAHD=RNLA-ANL  
  
C      LAGE DES HINTEREN MASCHINENRAUMSCHOTTS  
C  
      X1      =RLAFP+(RNLAHD*6.4+(IFIX(RNLAHD/2.+0.51))+1.)  
1      *DBHC)/LBP  
  
C      LAGE DES VORDEREN MASCHINENRAUMSCHOTTS  
C  
      X2 = X1+RLER  
      VOLXX= VOLX(XLCB,CB,CBDOCK,X1,X2,1.,1.,VOLHUL)  
20 CONTINUE  
      RLER=RLER*LBP  
      RETURN  
      END
```

FUNCTION WLSXX

Die Funktion berechnet die Masse des leeren Schiffes.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

REVPRO Propellerdrehzahl (s-1)
ETAG Getriebewirkungsgrad (-)
Anm.: kein Getriebe ETAG=1
LBP Länge zwischen den Loten (m)
B Breite auf Spanten (m)
D Seitenhöhe bis Hauptdeck (m)
CBDCK Völligkeit der Verdrängung bis Hauptdeck (-)
TT Optimierungstiefgang (m)
FWSTHU Berichtigungsfaktor für die empirische Formel
zur Berechnung der Stahlrumpfmasse (-)
PB Bremsleistung der Hauptmaschine unter
Dienstbedingungen (kW)
FMCR Faktor für die Leistungsreserve (-)
REVENG Drehzahl der Hauptmaschine (s-1)
FWMACH Berichtigungsfaktor für die empirische
Formel zur Ermittlung der Maschinenmasse (-)
FWOUTF Berichtigungsfaktor für die mit der
empirischen Formel berechneten Ausrüstungs
und Einrichtungsmasse (-)
WSTDH Stahlgewicht Deckshaus (t)
POOP Länge der Poop (m)
APOOP Höhe der Poop (m)
RLFP Länge der Vorpiek (m)
ABACK Höhe der Back (m)

FUNKTIONSWERT:

WLSXX Masse des leeren Schiffes (t)

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 99 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
REAL FUNCTION WLSXX (REVPRO,ETAG,LBP,B,D,CBDOCK,TT,FWSTHU,PB,FMCR,  
1 REVENG,FMACH,FWOUTF,WSTOH,POOP,APOOP,RLFP,ABACK)  
C  
REAL LBP  
IF (ETAG,GE.1.) REVENG=REVPRO  
C  
WSTHUL=LBP*B*D*CBDOCK*0.103*1.07*(1.+17.*(LBP-110)**2/1000000.)  
1 *(1.+0.033*(LBP/D-12.))  
1 *(1.+0.06*(1.-D/4.))  
1 *(1.+0.05*(1.85-B/D))  
1 *(1.+0.2*(TT/D-0.65))  
1 *(0.92+(1-CBDOCK)**2) * FWSTHU  
1 +0.1*B*(RLFP*ABACK*0.6+POOP*APOOP)  
WMACH =(9.98*(PB/FMCR/REVENG/60.))**0.86 +  
1 4.619*(PB/FMCR)**0.557) * FMACH  
WOUTF =(275.842+0.379*LBP)*LBP*B/1000. * FWOUTF  
WLSXX =WSTHUL+WSTOH+WOUTF+WMACH  
C  
RETURN  
END
```

FUNCTION WOIMAX

Die Funktion berechnet für Schwer-, Diesel- und Schmieröl die maximalen Mengen, die sich entweder aus der eingegebenen Aktionsweite ohne Reserve (DISTMA) oder der aktuellen Rundreise (2*DISTVO) mit Reserven ergeben.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

DISTMA	Aktionsweite ohne Brennstoffreserven (sm)
WFO	Masse des Schweröls für eine Rundreise incl. Reserven (t)
V	Dienstgeschwindigkeit (m/s)
PB	Bremsleistung der Hauptmaschine unter Dienstbedingungen (kW)
SFCME	spez. Brennstoffverbrauch der Hauptmaschine (kg/kWh)
SFCAE	spezifischer Brennstoffverbrauch der Hilfsmaschinen (kg/kWh)
POWGEN	Leistung der installierten Hilfsgeneratoren (kW)
FPGSEA	Faktor für die benötigte Leistung der Hilfsgeneratoren auf See (-)
TIMRT	Zeit für eine Rundreise (h)
TIMPRT	Hafenzeit pro Rundreise (h)
TIMCW	Zeit für Revierfahrt pro Rundreise (h)
FPGCW	Faktor für die benötigte Leistung der Hilfsgeneratoren bei Revierfahrt (-)
FPGPRT	Faktor für die benötigte Leistung der Hilfsgeneratoren im Hafen (-)
FPBCW	Faktor für Reduktion der Bremsleistung bei Revierfahrt (-)
WDO	Masse des Dieselöls für eine Rundreise incl. Reserven (t)
WLUB	Masse des Schmieröls für eine Rundreise incl. Reserven (t)
SLUBAE	spezifischer Schmierölverbrauch der Hilfsmaschinen (kg/kWh)
SLUBME	spezifischer Schmierölverbrauch der Hauptmaschine (kg/kWh)

FUNKTIONSWERT:

WOIMAX	maximale Menge für Schwer-, Diesel- und Schmieröl (t)
--------	---

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 54 Worten zu 60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
REAL FUNCTION WOIMAX(DISTMA,WFO,V,PR,SFCME,SFCAE,  
1 POWGEN,FPGSEA,TIMRT,TIMPRT,TIMCW,  
1 FPGCW,FPGPRT,FPBCW,WDO,WLUB,SLUBAE,SLUBME)
```

C
C

```
TIMSEM=DISTMA*0.5144/V  
WFOMAX  =(SFCME/1000.*PR*TIMSEM +SFCME/1000.  
1      *PB*TIMCW*FPBCW)  
IF(WFOMAX.LE.WFO) WFOMAX=WFO  
WDOMAX  =SFCAE/1000.*(POWGEN*FPGSEA*TIMSEM +POWGEN*FPGCW*TIMCW  
1      +POWGEN*FPGPRT*TIMPRT)  
IF(WDOMAX.LE.WDO) WDOMAX=WDO  
WLUBMA  =(PR*TIMSEM *SLUBME/1000.+POWGEN*.3  
1      *TIMRT*SLUBAE/1000.)  
IF(WLUBMA.LE.WLUB) WLUBMA=WLUB  
WOIMAX=WFOMAX+WDOMAX+WLUBMA  
RETURN  
END
```

FUNCTION XLER

Die Funktion XLER berechnet die Länge des Laderaumes.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

PB Bremsleistung der Hauptmaschine unter
 Dienstbedingungen (kW)
FMCR Faktor für die Leistungsreserve (-)
FRLER Berichtigungsfaktor für die empirische
 Formel zur Ermittlung der Maschinen-
 raumlänge (-)
IENGRO Lage des Maschinenraumes (-)
 0 = achtern; Langsamläufer
 1 = etwa auf 1/3 der Schiffslänge von
 achtern; Langsamläufer
 2 = achtern; Mittelschnelläufer

FUNKTIONSWERT:

XLER Länge des Maschinenraumes (m)

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 33 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
REAL FUNCTION XLER(PB,FMCR,FRLER,IENGRO)
POWER = PB/FMCR
IF(IENGRO.EQ.0) GOTO 10
IF(IENGRO.EQ.1) GOTO 20
C LAENGE MASCHINENRAUM, -MITTELSCHNELLAUFER- LAGE ACHTERN
C
XLER=3.4072*POWER**0.19561
GOTO 30
10 CONTINUE
C LAENGE MASCHINENRAUM, -LANGSAMLÄUFER- LAGE ACHTERN
XLER=0.7473*POWER**0.38445
GOTO 30
20 CONTINUE
C LAENGE MASCHINENRAUM, -LANGSAMLÄUFER- LAGE UMGEF.1/3 VON ACHTERN
XLER=1.837*POWER**0.2696
30 CONTINUE
XLER = XLER * FRLER
RETURN
END
```

FUNCTION ZKGFLX

Die Funktion ZKGFLX berechnet den Gesamthöhenschwerpunkt des Schiffes am Ende der Reise bzgl. Basis .

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

WDO	Masse des Dieselöls für eine Rundreise incl. Reserven (t)
WFO	Masse des Schweröls für eine Rundreise incl. Reserven (t)
WLUB	Masse des Schmieröls für eine Rundreise incl. Reserven (t)
FDOR	Faktor für Dieselölreserve (-)
FFOR	Faktor für Schwerölreserve (-)
FLUBR	Faktor für Schmierölreserve (> 1.)
PB	Bremsleistung der Hauptmaschine unter Dienstbedingungen (kW)
SFCME	spezifischer Brennstoffverbrauch der Hauptmaschine (kg/kWh)
RHOOIL	spezifisches Gewicht des öls (t/m ³)
VOLDB	Volumen des Doppelbodens (m ³)
VOLBDB	Volumen für Ballasttanks im Doppelboden (m ³)
HDB	Höhe des Doppelbodens (m)
D	Seitenhöhe bis Hauptdeck (m)
HBOX	Höhe eines Boxgirders (m)
RHOBAL	Dichte des Ballastwassers (t/m ³)
WSOBA	Masse Des Festballastes (t)
RHOSOB	Dichte des Festballastes (t/m ³)
WBALX	Masse des Ballastwassers am Ende der Reise (t)
ZKGKON	Schwerpunkt des Schiffes ohne Verbrauchsstoffe über Basis (m)
WKON	Masse des Schiffes ohne Verbrauchsstoffe (t)

FUNKTIONSWERT:

ZKGFLX	Gesamtschwerpunkt des Schiffes Ende der Reise über Basis (m)
--------	--

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 100 Worten zu 60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
REAL FUNCTION ZKGFLEX(WDD,WFO,WLUB,FDOR,FFOR,FLURR,PR,SFCME,  
1 RHOIL,VOLDB,VOLBDB,HDB,D,HBOX,RHOBAL,  
1 WSOBA,RHOSOB,WBALX,ZKGKON,  
1 WKON)  
  
C  
C  
WDOE=WDD*(1.-1./FDOR)  
WFOE=WFO*(1.-1./FFOR)  
WLUBE=WLUB*(1.-1./FLURR)  
WOILE=WDOE+WFOE+WLUBE  
DISPX=WOILE+WKON+WBALX  
C  
C  
WOILDS= OEL IM TAGES-UND SETZTANK, JE ZWEI TAGES- UND  
SETZTANKS, FUER CA 4 TAGE BRENNSTOFF  
WOILDS=PR*SFCME/1000.*96.  
IF(WOILDS.GE.WOILE)GO TO 21  
WOILTA=WOILE-WOILDS  
  
C  
C  
IF((WOILTA/RHOIL).LE.(VOLDB-VOLBDB-WSOBA/RHOSOB)) GOTO20  
ZKGOIX=((VOLDB-VOLBDB)*RHOIL*HDB*0.6+(WOILTA-  
1 (VOLDB-VOLBDB)*RHOIL)*  
1 (HDB+(D-HDB-HBOX)*.55))/(WOILTA+1.E-8)  
GOTO 24  
20 ZKGOIX=HDB*0.6  
GO TO 24  
21 CONTINUE  
WOILDS=WOILE  
WOILTA=0.  
  
C  
24 CONTINUE  
IF(WBALX/RHOBAL.LE.(VOLBDB-WSOBA/RHOSOB)) GOTO 22  
ZKGBAX=((VOLBDB-WSOBA/RHOSOB)*RHOBAL*HDB*0.6+  
1 (HDB+(D-HDB-HBOX)*0.55)*(WBALX-(VOLBDB-WSOBA/RHOSOB)  
1 *RHOBAL))/(WBALX + 0.001)  
GOTO 25  
22 ZKGBAX=(WBALX*HDB*0.6)/(WBALX + 0.001)  
25 CONTINUE  
ZKGFLEX=(ZKGKON*WKON+ZKGOIX*WOILTA+0.65*0*WOILDS+ZKGBAX*WBALX)/  
1 DISPX  
  
C  
RETURN  
END
```

FUNCTION ZKGXXX

Die Funktion berechnet den Höhschwerpunkt des Schiffes ohne Verbrauchsgüter.

PROGRAMMSPRACHE:

FORTRAN IV

ÜBERGABEPARAMETER:

CTDCK	Anzahl der Container an Deck (TEU)
CTHLD	Anzahl der Container im Laderaum (TEU)
WCONHD	durchschnittliche Masse eines Laderaumcontainers (t/TEU)
WCONDK	durchschnittliche Masse eines Deckscontainers (t/TEU)
D	Seitenhöhe bis Hauptdeck (m)
HHCOM	Höhe des Lukensülls (m)
HHCOV	Höhe eines Lukendeckels (m)
DHKG	Höhschwerpunkt des Deckshauses über Hauptdeck (m)
ZKGERD	Schwerpunkt der Maschinenanlage bezogen auf D (-)
ZKGOUD	Schwerpunkt der Ausrüstung und Einrichtung bezogen auf D
HDB	Höhe des Doppelbodens (m)
CBDCCK	Völligkeit der Verdrängung bis Hauptdeck (-)
RND	Anzahl der Container pro Containerstapel im Laderaum (-)
AKGCHD	Berichtigungswert für die empirischen Formel zur Ermittlung des Schwerpunktes der Laderaumcontainer (additiv)
LBP	Länge zwischen den Loten (m)
FKGHUL	Berichtigungsfaktor für die empirische formel zur Ermittlung des Schwerpunktes des Schiffsrumpfes (-)
WSTDH	Stahlgewicht Deckshaus (t)
WLS	Schiffsleergewicht (t)
WFW	Gewicht des Frischwassers (t)
POOP	Länge der Poop (m)
APOOP	Höhe der Poop (m)
RLFP	Länge Vorpiek (m)
ABACK	Höhe der Back (m)
ZKGFW	Schwerpunkt des Frischwassers bezogen auf D (-)
ZKGSOB	Höhschwerpunkt des Festballasts (m)
WSDBA	Masse des Festballastes (t)
WKON	Masse des Schiffes ohne Verbrauchsgüter (t)
WSTORE	Masse der Stores, Besatzung und Effekten (t)
ZKGSTO	Schwerpunkt von WSTORE bezogen auf D
TIER	Anzahl der Container pro Containerstapel an Deck (-)

B Breite auf Spanten (m)
TT Optimierungstiefgang (m)
FWSTHU Berichtigungsfaktor für die empirische
 Formel zur Ermittlung der Rumpfstahlmasse (-)
PB Bremsleistung der Hauptmaschine bei
 Dienstbedingungen (kW)
FMCR Faktor für die Leistungsreserve (-)
REVENG Drehzahl der Hauptmaschine (1/s)
FWMACH Berichtigungsfaktor für die empirische
 Formel zur Ermittlung der Maschinenmasse (-)
FWOUTF Berichtigungsfaktor für die mit der
 empirischen Formel berechneten Ausrüstungs
 und Einrichtungsmasse (-)
AKGCOD additiver Berichtigungswert für die
 empirische Formel für den Schwerpunkt
 der Deckscontainer (-)

FUNKTIONSWERT:

ZKGXXX Höhenschwerpunkt des Schiffes ohne
 Verbrauchsgüter bzgl. Basis (m)

EXTERNALS:

IFIX Umwandlung Real- in Integerzahl

FEHLERMELDUNGEN:

keine

PROGRAMMLÄNGE:

Das Programm hat eine Länge von 178 Worten zu
60 Bit auf der Cyber76 des RRZN - Hannover.

```
REAL FUNCTION ZKXXXX(CTDCK,CTHLD,WCONHD,WCONDK,D,HHCOM,  
1   HRCOV,DHKG,ZKGERD,ZKGJUD,HOB,CROCK,RND,AKGCHD,  
1   LBP,FKGHUL,WSTDH,WLS,WFW,POOP,APOOP,RLFP,ABACK,  
1   ZKGFW,ZKGSOB,WSOBA,WKON,WSTORE,ZKGSTO,TIER,  
1   B,TT,FWSTHU,PB,FMCR,REVENG,FWMACH,FWOUTF,AKGCOD)
```

C
C
C
C
C

REAL LBP

IN DIESER FUKTION WERDEN DIE SCHWERPUNKTE BERECHNET
UND ZU ZKGMON ZUSAMMENGEFASST,DIE UNABHAENIG VOM REISE-
ABLAUF SIND.

```
WSTHUL=LBP*B*D*CROCK*0.103*1.07*(1.+17.*(LBP-110)**2/1000000.)  
1   *(1.+0.033*(LBP/D-12.))  
1   *(1.+0.06*(1.-D/4.))  
1   *(1.+0.05*(1.85-B/D))  
1   *(1.+0.2*(TT/D-0.85))  
1   *(0.92+(1-CROCK)**2) * FWSTHU  
WMACH =(9.98*(PB/FMCR/REVENG/60.))**0.86 +  
1   4.619*(PB/FMCR)**0.557) * FWMACH  
WOUTF =(275.842+0.379*LBP)*LBP*B/1000. * FWOUTF  
WSTSUP=0.1*B*(RLFP*ABACK*0.5+POOP*APOOP)
```

C
C
C
C
C

```
ZKGCOD=(((IFIX(TIER)*CTDCK/(TIER+1.E-8)*WCONDK*IFIX(TIER)*1.3)  
1   +((TIER-IFIX(TIER))*CTDCK/(TIER+1.E-8)*WCONDK*(IFIX(TIER)  
1   *2.6+1.3)))  
1   /(CTDCK*WCONDK+1.E-8))+D+HHCOM+HRCOV + AKGCOD
```

```
ZKGDH =D+DHKG  
ZKGER =D*ZKGERD  
ZKGOUT=D*ZKGJUD  
ZKGCHD=HOB+(5.683-5.194*CROCK**0.0333)*RND*2.59+AKGCHD  
ZKGHUL=(58.2561+0.1572*(0.8237-CROCK)*(LBP/D)**2)  
1   *D/100. * FKGHUL  
ZKGLS =(ZKGHUL*WSTHUL+ZKGDH*WSTDH+ZKGER*WMACH+ZKGOUT*WJTF  
1   +WSTSUP*(D+ABACK*0.66))/WLS  
ZKXXXX=(ZKGLS*WLS+ZKGCHD*CTHLD*WCONHD +ZKGCOD*CTDCK*WCONDK+  
1   WSTORE*D*ZKGSTO+  
1   WSOBA*ZKGSOB+ D*ZKGFW*WFW)/WKON
```

C

RETURN
END

INPUT DATA OF PROGRAM C O N T A I N E R S H I P D E S I G N

T E S T B E I S P I E L

INPUT OF MAIN DATA

CONTAINER CAPACITY OF THE SHIP IN TEU	=	1755.000
NUMBER OF 40' CONTAINER IN % OF TOTAL NUMBER OF TEU	=	0.000
HALF DISTANCE FOR ONE ROUNDTRIP IN NAUT. MILES	=	5000.000
MAXIMUM DISTANCE IN NAUT. MILES	=	10000.000
SERVICE SPEED IN M/S	=	11.060
ENGINE REVOLUTIONS PER SECOND	=	2.000
POSITION OF ENGINE ROOM AND TYP OF ENGINE	=	1.000
FACT. FOR OPTIMISATION OF DISPLACEMENT	=	.500
KEY FOR LISTING (0=SHORT,1=LONG)	=	1.000
COMPARISON SHIP ? (0=NO,1=YES)	=	1.000

FREE UNKNOWNNS

PROPELLER REVOLUTIONS (MINIMUM)	=	1.700
PROPELLER REVOLUTIONS (MAXIMUM)	=	2.300
PROPELLER REVOLUTIONS (ESTIMATION)	=	2.000
BLOCKCOEFFICIENT (MINIMUM)	=	.500
BLOCKCOEFFICIENT (MAXIMUM)	=	.800
BLOCKCOEFFICIENT (ESTIMATION)	=	.600
PROPELLER DIAMETER (MINIMUM)	=	4.000
PROPELLER DIAMETER (MAXIMUM)	=	6.500
PROPELLER DIAMETER (ESTIMATION)	=	5.000
WATERBALLAST (MINIMUM)	=	0.000
WATERBALLAST (MAXIMUM)	=	10000.000
WATERBALLAST (ESTIMATION)	=	2000.000
NUMBER OF CONTAINER BAYS (MINIMUM)	=	12.000
NUMBER OF CONTAINER BAYS (MAXIMUM)	=	24.000
NUMBER OF CONTAINER BAYS (ESTIMATION)	=	21.000
NUMBER OF STACKS OF CONTAINER PER BAY (MINIMUM)	=	5.000
NUMBER OF STACKS OF CONTAINER PER BAY (MAXIMUM)	=	12.000
NUMBER OF STACKS OF CONTAINER PER BAY (ESTIMATION)	=	8.500
CONTAINER PER STACK IN THE HOLD MIDSHIPS (MINIMUM)	=	3.000
CONTAINER PER STACK IN THE HOLD MIDSHIPS (MAXIMUM)	=	10.000
CONTAINER PER STACK IN THE HOLD MIDSHIPS (ESTIMATION)	=	6.500

INPUT DATA OF BLOCKNR 1

MEASURES

AVERAGE DISTANCE BETWEEN TWO HATCH COAMINGS	=	1.500
AVERAGE DISTANCE BETWEEN CONTAINER IN THE HOLD	=	.230
HEIGHT OF BOX GIRDER	=	3.800
BREADTH OF BOX GIRDER	=	2.100
NUMBER OF LOGITUDINAL GIRDERS BETWEEN HATCHES (IF FITTED)	=	2.000
BREADTH OF LONGITUDINAL GIRDERS	=	.500
HEIGHT OF HATCH COAMING	=	1.400
HEIGHT OF HATCH COVER	=	.750

INPUT DATA OF BLOCKNR 2

RESISTANCE AND PROPULSION

FOREWARD DRAFT - AFT. DRAFT (HOLTROP/MENNEN)	=	0.000
TRANSVERSE SECTION AREA OF BULB (HOLTROP/MENNEN)	=	5.000
WETTED SURFACE OF APPENDAGES (HOLTROP/MENNEN)	=	80.000
FORMFACTOR 1+K OF APPENDAGES (HOLTROP/MENNEN)	=	2.500
LENGHT OF RUN, 0, IF STANDARD VALUE SHOULD BE USED (H/M)	=	0.000
NUMBER OF PROPELLERS	=	1.030
NUMBER OF PROPELLER BLADES	=	5.000
EFFICIENCY OF PROPELLER SHAFT (<1)	=	.930
GEARING EFFICIENCY (<1)	=	1.000
FACTOR FOR MAXIMUM CONTINUES RATEING (<1)	=	.800
CORRECTION FACTOR FOR THE EMP. FORMULA FOR AEA0	=	1.000
FACT. FOR PROPELLER MATERIAL	=	1.000
RESISTANCE SURCHARGE IN % BETWEEN TRIAL AND SERVICE	=	17.000
COEFFICIENT FOR MODEL-SHIP CORRELATION	=	.0002
SALINITY OF WATER IN %	=	3.500
TEMPERATURE OF WATER	=	15.000

INPUT DATA OF BLOCKNR 3

VOYAGE

TIME OUT OF SERVICE PER YEAR IN HOURS (YARD)	=	240.000
TIME IN CONFINED WATERS PER ROUNDRIP IN HOURS	=	0.000
TIME FOR WAITING IN PORT	=	0.000
NUMBER OF CONTAINER BRIDGES USED IN PORT	=	2.000
CONTAINER CAPACITY OF ONE BRIDGE PER HOUR (DECK)	=	20.000
CONTAINER CAPACITY OF ONE BRIDGE PER HOUR (HOLD)	=	20.000

INPUT DATA OF BLOCKNR 4

FUEL

NUMBER OF CYLINDERS OF THE MAIN ENGINE	=	8.000
SPECIFIC FUEL CONSUMPTION OF MAIN ENGINE [KG/KWH]	=	.200
SPECIFIC LUB OIL CONSUMPTION OF MAIN ENGINE [KG/KWH]	=	.032
SPECIFIC FUEL CONSUMPTION OF AUXILIARY ENGINE [KG/KWH]	=	.220
SPECIFIC LUB OIL CONSUMPTION OF AUXILIARY ENGINE [KG/KWH]	=	.001
RHO OF OIL	=	.950

INPUT DATA OF BLOCKNR 5

STABILITY

AVERAGE CONTAINER WEIGHT PER TEU (HOLD)	=	11.400
AVERAGE CONTAINER WEIGHT PER TEU (DECK)	=	11.400
WEIGHT OF STEEL OF DECKHOUSE	=	300.000
VOLUME OF DECKHOUSE	=	4000.000
KG OF DECKHOUSE ABOVE MAIN DECK	=	6.000
WEIGHT OF CREW,EFFECTS,STORES	=	200.000
KG OF CREW,EFFECTS,STORES / D	=	.973
WEIGHT OF SOLID BALLAST	=	0.000
RHO OF SOLID BALLAST [T/M**3]	=	4.000
KG OF SOLID BALLAST [M]	=	.500
RHO OF BALLASTWATER [T/M**3]	=	1.000
WEIGHT OF FRESHWATER	=	348.000
KG OF FRESHWATER / D	=	.614
KG OF ENGINE AND ENGINE ROOM OUTFIT / D	=	.450
KG OF OUTFIT / D	=	1.000
METACENTRIC HEIGHT (MINIMUM)	=	.150

INPUT DATA OF BLOCKNR 6

PRICE YARD

ADDITIONAL CORRECTION TO THE RATE STEEL HOUR PER TON	=	16.200
RATE OF PRODUCTION HOURS FOR OUTFIT PER TON	=	95.000
COSTS OF STEEL PER TON	=	900.000
COSTS OF OUTFIT PER TON	=	8875.000
CONSTRUCTION COSTS IN % OF BUILDING COSTS	=	6.500
RATE OF RISE IN COSTS SINCE 1983	=	1.000
COSTS OF ONE PRODUCTION HOUR	=	60.000
COSTS RATE FOR MAIN ENGINE (DM/KW)	=	610.000
COSTS FOR SHIPPING COMP. DURING SHIPBUILDING TIME	=	0.000

INPUT DATA OF BLOCKNR 7

SERVICE AND CAPITAL COSTS

ANNUAL COSTS OF ONE CREW MEMBER	=	74052.000
NUMBER OF CREW MEMBERS	=	24.000
COSTS OF DIESEL OIL PER TON	=	620.000
COSTS OF FUEL OIL PER TON	=	460.000
COSTS OF LUB OIL PER TON	=	1500.000
COSTS FOR PILOT IN ONE PORT	=	5000.000
COSTS FOR AGENCY IN ONE PORT	=	5000.000
COSTS FOR TUGS IN ONE PORT	=	2000.000
COSTS OF SPARE PER KW MAIN ENGINE	=	15.670
COSTS FOR ONE SERVICE HOUR	=	40.000
INTEREST RATE IN (%/100)	=	.100
TIME FOR DEPRECIATION OF SHIP IN YEARS	=	15.000
VALUE OF CARGO (DM/TON)	=	0.000
INTEREST RATE OF CARGO (%)	=	0.000
PORT DUES (DM/100GT)	=	28.200
QUAY DUES PER TRANSHIPPED TON OF CARGO	=	6.850
DIVERSE DUES (LIFEBOATSERVICE, MOORING, ETC.)	=	1200.000
TONNAGE DUES (DM/MT PER DAY)	=	.240
TRANSHIPMENT COSTS PER CONTAINER	=	180.000
COSTFACTOR FOR HULLREPAIR RELATED TO L*B*D	=	.900
COSTFACTOR FOR INSURANCE RELATED TO BUILDING COSTS	=	.016
NUMBER OF PORTS PER ROUNDTrip	=	2.000

INPUT DATA OF BLOCKNR 8

FREE BOARD

HEIGHT OF FORECASTLE	=	3.000
LENGTH OF POOP	=	0.000
HEIGHT OF POOP	=	0.000

INPUT DATA OF BLOCKNR 9

CONTAINER STOWAGE

DIFFERENCE CONTAINER BAYS DECK - HOLD	=	2.000
DIFFERENCE CONTAINER STACKS PER BAY DECK-HOLD	=	2.000
REDUCING FACTOR FOR DECKSCONTAINER (<1)	=	.940

INPUT DATA OF BLOCKNR 10

LIMITED VALUES

LENGHT TO BREADTH RATIO (MAX)	=	10.000
LENGHT TO BREADTH RATIO (MIN)	=	5.000
LENGHT TO DEPTH RATIO (MAX)	=	16.000
LENGHT TO DEPTH RATIO (MIN)	=	8.000
MAXIMUM SHIP LENGHT (LBP)	=	300.000
MAXIMUM BREADTH (S)	=	40.000
MINIMUM BREADTH (B)	=	10.000
MAXIMUM DEPTH (D)	=	30.000
MAXIMUM DRAUGHT (T)	=	14.000
DELIVERED POWER (MINIMUM)	=	1000.000
MAXIMUM PROPELLER DIAMETER RELATED TO THE DRAUGHT	=	.700
NUMBER OF CONTAINER TIERS (MAXIMUM)	=	6.000

INPUT DATA OF BLOCKNR 11

CORRECTIVE FACTORS

FACT. FOR CB DECK (0.25 - 0.5)	=	.254
FACT. FOR CB CONTAINER	=	.938
FACT. FOR CM	=	1.000
FACT. FOR CWP	=	1.000
FACTOR FOR LCB	=	1.000
FACT. FOR LENGTH OF AFTERPEAK	=	1.250
FACT. FOR LENGTH OF FOREPEAK	=	1.035
FACT. FOR LENGTH OF ENGINE ROOM	=	1.044
FACT. FOR HEIGHT OF DOUBLE BOTTOM	=	1.030
FACT. FOR FUEL OIL RESERVE (>1)	=	1.200
FACT. FOR DIESEL OIL RESERVE (>1)	=	2.000
FACT. FOR LUB OIL RESERVE (>1)	=	3.000
FACT. FOR GENERATOR POWER AT SEA (<1)	=	.200
FACT. FOR GENERATOR POWER IN PORT (<1)	=	.300
FACT. FOR GENERATOR POWER IN CONFINED WATERS (<1)	=	.300
FACT. OF BRAKE POWER IN CONFINED WATERS (<1)	=	.500
FACT. FOR OIL IN DOUBLE BOTTOM (<1)	=	.400
ADDITIONAL FACT. FOR KG CONTAINER IN HOLD	=	.540
ADDITIONAL FACT. FOR KG CONTAINER IN DECK	=	0.000
FACT. FOR KG HULL	=	.910
FACT. FOR KM	=	1.049
FACT. FOR VOLUME AFTERPEAK	=	.800
FACT. FOR VOLUME DOUBLE BOTTOM	=	1.000
FACT. FOR VOLUME ENGINE ROOM	=	1.000
FACT. FOR VOLUME FOREPEAK	=	.890
FACT. FOR VOLUME SIDETANKS	=	1.000
FACT. FOR VOLUME CARGO HOLD	=	1.000
FACT. FOR WEIGHT OF ENGINE	=	1.000
FACT. FOR WEIGHT OF OUTFIT	=	.980
FACT. FOR WEIGHT OF STEEL HULL	=	1.134
FACT. FOR CROSS CURVES OF STABILITY (15 DEGR.)	=	.994
FACT. FOR CROSS CURVES OF STABILITY (30 DEGR.)	=	.956
FACT. FOR CROSS CURVES OF STABILITY (45 DEGR.)	=	.963
FACT. FOR CROSS CURVES OF STABILITY (60 DEGR.)	=	.953
CORRECTIVE FACTOR FOR HOURS OF INSTALLATION OF MAINENGINE	=	1.000
CORRECTIVE FACTOR FOR MATERIAL OF ENGINE ROOM OUTFIT	=	1.000
CORRECTIVE FACTOR FOR HOURS OF INSTALLATION OF ER OUTFIT	=	1.000
ADDITIONAL SCRAP IN %	=	0.000
ADDITIONAL CORR. OF INSTALLED GENERATOR POWER	=	1490.000

RESULTS OF PROGRAM CONTAINER

=====

MAINDATA

LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS	=	202.394
MOULDED BREADTH	=	32.200
DEPTH TO MAIN DECK	=	18.848
DESIGN DRAUGHT	=	9.375
SERVICE SPEED IN M/S	=	11.060
GROSS TONNAGE IMO 1969	=	29387.864
BLOCK COEFFICIENT	=	.600
WATERPLANE COEFFICIENT	=	.767
MIDSHIP SECTION COEFFICIENT	=	.966
LCB IN % LBP FORWARD OF MIDSHIPS	=	-1.490
LENGTH TO BREADTH RATIO	=	6.286
LENGTH TO DEPTH RATIO	=	10.738
BREATH TO DEPTH RATIO	=	1.708
BREATH TO DRAUGHT RATIO	=	3.435
DISPLACEMENT	=	37757.629
DEADWEIGHT	=	23837.550
SERVICE SPEED IN M/S	=	11.060
MCR OF MAIN ENGINE (KW)	=	24483.309
POWER OF INSTALLED AUXILARY GENERATORS	=	3923.980
TOTAL NUMBER OF TEU	=	1755.000
NUMBER OF CONTAINER IN HOLD	=	1006.215
NUMBER OF CONTAINER ON DECK	=	748.785
NUMBER OF CONTAINER TIERS ON DECK	=	3.017
CONTAINER CB	=	.719
NUMBER OF CONTAINER BAYS (LBP)	=	20.000
NUMBER OF CONTAINER STACKS PER BAY	=	10.000
NUMBER OF CONTAINER PER STACK, MIDSHIPS	=	7.000
FREEBORD	=	5.304
MAXIMUM DRAUGHT	=	13.544
MAXIMUM DEADWEIGHT	=	44737.210
MAXIMUM DISPLACEMENT	=	58657.289
VOLUME OF OIL	=	2693.920
VOLUME OF BALLAST	=	14872.206
SHIPS PRICE	=	122688997.
ANNUITY	=	16130386.
ANNUAL SERVICE COSTS	=	43015401.
REQUIRED FREIGHT RATE (RFR) PER TEU	=	1266.962

STABILITY,

DEPTH TO MAIN DECK	=	18.848
DEPTH FOR CROSS CURVES	=	20.709
DRAUGHT	END OF VOYAGE =	9.234
DISPLACEMENT	END OF VOYAGE =	37 036.060
METACENTRIC HEIGHT ABOVE KEEL	END OF VOYAGE =	15.253
METACENTRIC HEIGHT	END OF VOYAGE =	.816
KG OF STEEL HULL	=	10.363
KG OF OUTFIT	=	18.848
KG OF ENGINE ROOM	=	8.482
KG OF DECKHOUSE	=	24.848
KG OF LIGHT SHIP	=	11.800
(KG OF LIGHT SHIP)/ D	=	.626
KG OF CREW, EFFECTS, STORES	=	18.347
KG OF FRESHWATER	=	11.573
KG OF CONTAINER IN HOLD	=	12.449
KG OF CONTAINER ON DECK	=	24.928
KG OF CONTAINER HOLD AND DECK	=	17.773
KG OF LOADED SHIP WITHOUT FUEL AND BALLAST	=	15.302
KG OF BALLAST	END OF VOYAGE =	1.166
KG OF OIL	END OF VOYAGE =	9.198
KG OF FULL LOADED SHIP	END OF VOYAGE =	14.437
WEIGHT OF OIL	END OF VOYAGE =	518.980
WEIGHT OF BALLAST	END OF VOYAGE =	2042.000
RIGHTING ARM (15 DEGREES)	=	.256
RIGHTING ARM (30 DEGREES)	=	.783
RIGHTING ARM (45 DEGREES)	=	.848
RIGHTING ARM (50 DEGREES)	=	.689
RIGHTING ARM (60 DEGREES)	=	.099
RIGHTING ARM (70 DEGREES)	=	-.852

STABILITAETSKR. IMO A 167 ERWEITERT D. SBG

HEBELARMFL.BIS 30 GRAD (>0.055 M RAD)	=	.1576
HEBELARMFL.BIS 40 GRAD (>0.09 M RAD)	=	.3056
HEBELARMFL.ZWISCH.30-40(>0.03 M RAD)	=	.1480
HEBELARM ERFORDERLICH BEI 30 GRAD	=	.4000
HEBELARM ERF.BEI 30 HEBELARMUMFANG<60 GRAD	=	.4000

STABILITAETSKR. VORGESCHL.VON DER HSVA

KORREKTURWERT	=	.0779
KORREKTURW.*HEBELARM 30 GRAD (>0.040 M)	=	.0610
KORRW.*HEBELARMFL BIS 30 GRAD (>0.012 M RA))	=	.0123
KORRW.*HEBELARMFL.BIS 40 GRAD (>0.020 M RA))	=	.0238
KORRW.*HEBELARMFL.30-40GRAD (>0.007 M RA))	=	.0115
KORRW.*GESAMTE HEBELARMFL. (>0.035 M RA))	=	.0414
KORRW.*MAXIMALER HEBELARM (>0.050 M)	=	.0661

SHIPS DATA, WEIGHT AND VOLUMINA

LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS	=	202.394
MOULDED BREADTH	=	32.200
DEPTH TO MAIN DECK	=	18.848
DISPLACEMENT	=	37757.629
DISPLACEMENT BEGIN OF VOYAGE	=	38998.179
DISPLACEMENT END OF VOYAGE	=	37036.060
LENGTH OF AFTER PEAK	=	14.831
LENGTH OF ENGINE ROOM	=	29.250
LENGTH OF FORE PEAK	=	12.313
LENGTH OF CARGO HOLD	=	146.000
LENGTH OF CARGO HOLD (AFT.)	=	30.100
LENGTH OF CARGO HOLD (FOREWARD)	=	115.900
HEIGHT OF DOUBLE BOTTOM	=	1.943
BREADTH OF BOX GIRDER	=	2.100
NUMBER OF CONTAINER BAYS (LBP)	=	20.000
NUMBER OF CONTAINER STACKS PER BAY	=	10.000
NUMBER OF CONTAINER PER STACK, MIDSHIPS	=	7.000
BLOCK COEFFICIENT TO MAIN DECK	=	.703
BLOCK COEFFICIENT AT 0.8*D	=	.662
WEIGHT OF STEEL HULL	=	9068.540
WEIGHT OF STEEL OF DECKHOUSE	=	300.000
WEIGHT OF STEEL OF SUPERSTR. (FORECASTLE,POOP)	=	71.363
WEIGHT OF OUTFIT	=	2251.642
MACHINERY WEIGHT	=	2228.534
WEIGHT OF LIGHT SHIP	=	13920.079
WEIGHT OF CARGO	=	20007.000
WEIGHT OF FRESHWATER (INPUT)	=	348.000
WEIGHT OF CREW, EFFECTS, STORES	=	200.000
WEIGHT OF FUEL OIL	=	2186.337
WEIGHT OF DIESEL OIL	=	251.507
WEIGHT OF LUB OIL	=	43.256
WEIGHT OF OIL	=	2481.100
WEIGHT OF OIL (BEGIN OF VOYAGE)	=	2481.100
WEIGHT OF OIL (END OF VOYAGE)	=	518.980
MAXIMUM WEIGHT OF DIESEL OIL	=	251.507
MAXIMUM WEIGHT OF FUEL OIL	=	2186.337
MAXIMUM WEIGHT OF LUBRICATION OIL	=	43.256
MAXIMUM WEIGHT OF OIL	=	2481.100
WEIGHT OF BALLAST IN DOUBLE BOTTOM (END)	=	2042.000
WEIGHT OF BALLAST IN SIDE TANKS (END)	=	0.000
VOLUME OF AFTERPEAK	=	1378.861
VOLUME OF ENGINEROOM	=	15513.169
VOLUME OF DOUBLE BOTTOM	=	5460.577
VOLUME OF CARGO HOLD	=	53782.785
VOLUME OF FOREPEAK	=	1165.626
VOLUME OF SIDE TANKS	=	11697.227
VOLUME OF BOX GIRDERS	=	2330.160
VOLUMEN OF HATCHCOAMINGS	=	5017.600
VOLUME OF HULL	=	86310.805
VOLUME OF OIL	=	2693.920
VOLUME OF OIL IN DOUBLE BOTTOM	=	1005.663
VOLUME OF OIL IN SIDE TANKS	=	1279.935
VOLUME OF BALLAST IN DOUBLE BOTOM	=	4454.914
VOLUME OF BALLAST IN SIDE TANKS	=	10417.292
VOLUME FOR GROSS TONNAGE	=	98016.405

RESISTANCE AND PROPULSION

MCR OF MAIN ENGINE (KW)	=	24483.309
BRAKE POWER	=	19586.647
DELIVERED POWER	=	19194.914
POWER OF INSTALLED AUXILARY GENERATORS	=	3923.980
PROPELLER DIAMETER	=	6.562
DRAUGHT * 0.7	=	6.562
PROPELLER REVOLUTION PER SEC.	=	2.060
EXPANDED BLADE AREA RATIO	=	.751
PITCH OF PROPELLER	=	6.067
PITCH TO DIAMETER RATIO	=	.924
RELATIVE ROTATIVE EFFICIENCY	=	1.022
HEIGHT OF CENTRE OF BULB SECTION AREA ABOVE BASE	=	4.687
TORQUE	=	1482.848
THRUST DEDUCTION FACTOR	=	.216
WAKE FRACTION	=	.210
SERVICE SPEED IN M/S	=	11.060
TOTAL RESISTANCE IN KN	=	1112.668

V (M/S)	RT (KN)
8.00	546.102
9.00	712.974
10.00	887.732
11.00	1097.289
12.00	1470.909
13.00	2305.697

VOYAGE

TIME AT SEA PER ROUNDTRIP	=	465.099
TIME FOR ONE ROUNDTRIP IN HOURS	=	640.599
TIME IN ALL PORTS PER ROUNDTRIP	=	175.500
NUMBER OF ROUNDTRIPS PER YEAR	=	13.300
TIME FOR LOADING A.UNLOAD. CONTAINER ON DECK,R.T.	=	74.879
TIME FOR LOADINGA.UNLOAD. CONTAINER IN HOLD R.T.	=	100.621
TIME WAITING IN PORT (PER ROUNDTRIP,INPUT DATA)	=	0.000
TIME IN CONFINED WATERS (PER ROUND TRIP,INPUT)	=	0.000
ANNUAL TRANSPORT CAPACITY	=	46683.149

SERVICE COSTS

ANNUAL CREW COSTS	=	1777248.
ANNUAL COSTS FOR REPAIRS	=	244641.
ANNUAL COSTS FOR SPARE	=	383653.
ANNUAL INSURANCE COSTS PER SHIP	=	2208402.
ANNUAL SERVICE COSTS WITHOUT OIL A.PORT COSTS	=	4613944.
ANNUAL COSTS FOR FUEL OIL	=	11146712.
ANNUAL COSTS FOR DIESEL OIL	=	1036965.
ANNUAL COSTS FOR LUB OIL	=	287654.
ANNUAL COSTS FOR OIL	=	12471331.
ANNUAL SERVICE COSTS SHIP (WITHOUT PORT COSTS)	=	17085275.
PORT DUES (RAUMGELD) (ROUNDTRIP)	=	16575.
QUAY DUES (KAJEGBUEHR) (ROUNDTRIP)	=	548192.
TONNAGE DUES (LIEGEPLATZGEBUEHR) (ROUNDTRIP)	=	94861.
DIVERSE DUES IN PORT (INPUT, ONE P., ROUNDTRIP)	=	2400.
COSTS FOR LOAD AND DISCHARG. CARGO (ROUNDTRIP)	=	1263600.
COSTS FOR PILOTS, TUGS, AGENCY DUES (ROUNDTRIP)	=	24000.
COSTS IN ALL PORTS PER ROUNDTRIP	=	1949627.
ANNUAL COSTS IN ALL PORTS	=	25930126.
ANNUAL SERVICE COSTS	=	43015401.

RFR WITHOUT PORT COSTS PER TEU	=	711.5129
REQUIRED FREIGHT RATE (RFR) PER TEU	=	1266.962
DAILY CAPITAL COSTS	=	45437.7065
DAILY CAPITAL COSTS PER TEU	=	25.8904
DAILY FUEL COSTS (SEA-AND CONF. WATER TIME)	=	48386.6091
DAILY FUEL COSTS PER TEU	=	27.5707
DAILY SERVICE COSTS SHIP WITHOUT OIL	=	12997.0263
DAILY SERVICE COST SHIP WITHOUT OIL PER TEU	=	7.4057

RATE OF PRODUCTION HOURS FOR STEEL CONSTRUCTION	=	47.
PRICE FOR MATERIAL OF HULL	=	9658622.
PRICE FOR PRODUCTION OF HULL	=	25539864.
PRICE OF HULL	=	35198486.
HOURS FOR MAIN ENGINE WORK	=	8859.
PRICE FOR MAIN ENGINE	=	14934818.
PRICE FOR INSTALATION OF MAIN ENGINE	=	531536.
HOURS FOR OTHER MACHINERY WORK	=	169883.
PRICE FOR INSTALATION OF ENGINE OUTFIT	=	10192990.
PRICE FOR MATERIAL OF ENGINE OUTFIT	=	14884350.
PRICE OF COMPLETE ENGINE + ENGINE OUTFIT	=	40543694.
HOURS FOR STEEL WORK OF DECKHOUSE	=	13972.
PRODUCTION COSTS FOR STEEL WORK OF DECKHOUSE	=	838298.
MATERIAL COSTS FOR STEEL FOR DECKHOUSE	=	317026.
PRICE OF STEEL WORK OF DECKHOUSE	=	1155323.
HOURS FOR TOTAL OUTFIT WORK	=	213906.
PRODUCTION COSTS FOR OUTFIT	=	12834357.
MATERIAL COSTS FOR OUTFIT	=	19983319.
PRICE FOR OUTFIT	=	32817676.
HOURS FOR TOTAL SHIP	=	832284.
PRODUCTION COSTS FOR TOTAL SHIP	=	49937043.
MATERIAL COSTS FOR TOTAL SHIP	=	59778135.
PRICE FOR CONSTRUCTION	=	7131487.
DIVERSE 5%	=	5842333.
SHIPS PRICE	=	122688997.
ANNUITY	=	16130386.
REQUIRED FREIGHT RATE (RFR) PER TEU	=	1266.962