

320 | Februar 1975

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

J. Bakenhus

Ein Beitrag zur Berücksichtigung von  
Risiko und Unsicherheit beim  
Schiffsentwurf

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

## Ein Beitrag zur Berücksichtigung von Risiko und Unsicherheit beim Schiffsentwurf

J. Bakenhus, 1. Auflage, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1975

© Technische Universität Hamburg-Harburg

Schriftenreihe Schiffbau

Schwarzenbergstraße 95c

D-21073 Hamburg

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

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr.320

Ein Beitrag zur Berücksichtigung von  
Risiko und Unsicherheit  
beim Schiffsentwurf

von

Johannes Bakenhus

Februar 1975

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Aufgabenstellung	1
2.	Umwelt und ihre quantitative Erfassung	6
3.	Bestimmung der Alternativen	26
4.	Bestimmung einzelner Eigenschaften	35
5.	Bewertungsmaß und Präferenzen	75
6.	Berechnung der Verteilungen von Eigenschaften und Nutzen	81
7.	Ergebnisse	99
8.	Vertrauensgrenzen und Gültigkeitsbereich der Ergebnisse	123
9.	Zusammenfassung	129
10.	Schrifttum	133

Anhang

## 1. Einleitung und Aufgabenstellung

Beim Studium des Schiffbautechnischen Schrifttums fällt auf, daß man sich bisher hauptsächlich darauf beschränkt hat, technisch-physikalische Probleme zu behandeln. Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit sind weitaus weniger Arbeiten erschienen. Erst in letzter Zeit läßt sich hier ein Wandel feststellen. Ein Grund für die weitgehende Vernachlässigung von Problemen der Wirtschaftlichkeit mag sein, daß es sehr schwierig ist, den wirtschaftlichen Erfolg von Schiffen zu messen. Solche Schwierigkeiten bestehen nicht zuletzt darin, daß im Gegensatz zur Physik bei der Wirtschaftlichkeit auch subjektive Größen eine große Rolle spielen. Wirtschaftliche Problemstellungen können bei verschiedenen Personen aufgrund ihrer subjektiven Vorstellungen über die Bewertung verschiedener Größen zu einer unterschiedlichen Beurteilung führen.

Hinzu kommt, daß man von der klassischen Physik gewohnt ist, in determinierten Begriffen zu denken. Es ist jedoch allen mit der Schifffahrt Vertrauten bekannt, daß die Wirtschaftlichkeit der Schiffe von vielen Zufälligkeiten abhängt. In bisher erschienenen Arbeiten über die Wirtschaftlichkeit ist diesen Problemen nur in sehr wenigen Fällen und in sehr beschränktem Maße Rechnung getragen worden.

Von den in letzter Zeit erschienenen Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Wirtschaftlichkeit im Zusammenhang mit Schiffen seien die Arbeiten von Aas (1966), Benford (1965), Gallin (1967), Goss (1968), Nowacki u.a. (1970), Schneekluth (1957), Völker (1959/1966) genannt. Die vorgenannten Verfasser gehen durchweg davon aus, daß eine einzige ökonomische Größe kennzeichnend für die Wirtschaftlichkeit und damit ein Wirtschaftlichkeitskriterium wäre. Bezüglich der Frage, welche ökonomische Größe (z.B. der Jahresgewinn, die jährlichen Kosten, die Mindestfrachtrate, die Verzinsung des eingesetzten Kapitals oder der Devisenüberschuß)

verwendet werden sollte, gehen die Meinungen auseinander. So wird in den Arbeiten von Benford, Gallin, Goss und Völker die Frage nach dem "richtigen" Kriterium für die Wirtschaftlichkeit recht ausgiebig behandelt. Sie halten dabei verschiedene Größen für maßgebend zur Kennzeichnung der Wirtschaftlichkeit, was dazu führt, daß bei der Behandlung des gleichen Problems jeweils verschiedene Lösungen optimal erscheinen. Diese aus dem Geldfluß abgeleiteten ökonomischen Größen geben jedoch nur jeweils einen Aspekt der Wirtschaftlichkeit wieder. Sie sind deshalb nur unter weitgehenden Einschränkungen brauchbar; je nach Zielsetzung und der Gesamtsituation eines Unternehmens können sie verschieden gut zur Kennzeichnung der Wirtschaftlichkeit geeignet sein.

In den bisher erwähnten Arbeiten wird auch unterstellt, daß alle vorkommenden Größen determiniert sind und daß damit auch das Ergebnis determiniert ist. Bekanntlich sind jedoch viele Größen mit Unsicherheiten behaftet. So ist z.B. das Ladungsangebot zufällig, die Frachtraten sind nicht vorhersehbar und auch über die Geschwindigkeit und die Umschlagsleistung können nur Wahrscheinlichkeitsaussagen gemacht werden.

Die Berücksichtigung von Zufallerscheinungen bei der Behandlung schiffbaulicher Probleme ist nicht neu. So wurde z.B. von Wendel 1960 die Sicherheit von Schiffen unter dem Gesichtspunkt behandelt, daß bei Kollisionen die Treffstelle und Abmessungen des Lecks zufällige Größen sind. Die realistische Behandlung der Bewegungen und Belastungen eines Schiffes im Seegang geht auf St. Denis und Pierson (1954) zurück, die gezeigt haben, daß sich diese Größen ebenso wie der Seegang als zufällige Prozesse beschreiben lassen.

Im Zusammenhang mit Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen werden Zufälligkeiten von Wing 1966 beachtet, der in seiner Arbeit unter sehr einfachen Bedingungen die Wirtschaftlichkeit von Dampf- und Segelschiffen verglichen hat. Das Problem der günstigsten Schiffsgröße bei verteiltem Ladungsangebot ist für ein stark vereinfachtes Modell eines Liniendienstes von Bakenhus 1969 behandelt worden. Bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen sind jedoch, wenn sie zu realistischen Ergebnissen führen sollen, weitaus mehr Einflußgrößen als in diesen Arbeiten zu berücksichtigen, Mittel für die Behandlung solcher komplexer Probleme liefern u.a. die Systemtechnik (systems engineering) und die Unternehmensforschung (operations research). Sie werden bei der Behandlung von Problemen der Wehrtechnik und auf einigen Gebieten der Wirtschaftswissenschaften seit längerem eingesetzt. Einige Ansätze, sie auf die Probleme des Schiffbaus anzuwenden, gehen auf Krappinger (1967, 1968, 1971) zurück. 1968 hat K. das Problem der Dimensionierung von Zwischenbunkern auf Fischdampfern mit Hilfe Markoff'scher Ketten, 1967 die quantitative Berücksichtigung der Sicherheit und Zuverlässigkeit bei der Konstruktion von Schiffen behandelt und 1971 den Zusammenhang zwischen Wirtschaftlichkeit und Sicherheit von Schiffen aufgezeigt.

Zur Ermittlung der Hauptdaten eines Schiffes sind solche Methoden bisher aber noch nicht verwendet worden. Diese Größen werden zu einem großen Teil nach Gefühl und Erfahrung bestimmt. Es erscheint möglich, auf diesem Gebiet Fortschritte zu erzielen, indem man die bereits entwickelten Methoden der Systemtechnik und der Unternehmensforschung auf die Probleme des Schiffbaus anwendet. Es ist das Anliegen dieser Arbeit aufzuzeigen, wie die im Entwurfsstadium zu treffenden Entscheidungen mit Hilfe dieser Methoden auf eine rationale Basis gestellt werden können. Dies betrifft insbesondere die Berücksichtigung der gerade in diesem Stadium bestehenden Unsicherheiten. Dabei wird nicht Vollständigkeit angestrebt, jedoch wird gezeigt, wie Größen, deren Zufälligkeiten verschiedene Ursachen haben, im Entwurfsstadium berücksichtigt werden können.

Für die hier durchgeführten Untersuchungen wird von folgendem Beispiel ausgegangen:

Es sei ein Stückgutschiff zu entwerfen, daß einen fahrplanmäßigen Liniendienst zwischen zwei Hafengruppen versehen soll. Die anfallende Ladung soll auch Kühlgut enthalten. Ein Linienschiff ist hier als Beispiel deshalb geeignet, weil beim Entwurf eines solchen Schiffes Risiko und Unsicherheit eine weit- aus größere Rolle spielen als z.B. beim Entwurf eines Tankers oder Massengutschiffes. Im einzelnen werden hier folgende Größen als zufällig angenommen:

- Ladungsaufkommen
- Frachtraten
- Umschlagsleistung
- Seegang, Nebel
- Wartezeiten auf Reede
- Zeiten, die zur Beseitigung zufällig aufgetretener Schäden erforderlich sind.

Außerdem wird berücksichtigt, daß im Entwurfsstadium das Schiffsgewicht und die Probefahrtgeschwindigkeit ungewiß sind.

Im Entwurfsstadium sind eine Vielzahl von Entwurfsgrößen zu bestimmen. Der erforderliche Aufwand zur Lösung dieser Aufgabe unter Berücksichtigung von Unsicherheiten ist jedoch unvergleichlich höher als im determinierten Fall.

Um den Aufwand in Grenzen zu halten, wird die hier durchgeführte Untersuchung darauf beschränkt, Tragfähigkeit, Gesamtladerauminhalt bzw. Räume und Anzahl und Inhalt der Kühlladeräume optimal zu bestimmen; andere Parameter, insbesondere die Geschwindigkeit, werden konstant gehalten. Dieser Rahmen reicht aus, um die Behandlung von Unsicherheiten im Entwurfsstadium zu zeigen.

Die Erfassung der statistischen Ausgangsdaten stellt ein Problem für sich dar. Zur Beantwortung der Frage, wie die zufälligen Daten im Rahmen des Entwurfs berücksichtigt werden können, ist es nicht notwendig, sich eingehend damit zu beschäftigen. Es genügt, für sie sinnvolle Annahmen zu treffen. Ebenso ist es in diesem Zusammenhang nicht erforderlich, beim konventionellen Teil des Entwurfs bis ins letzte Detail zu gehen.

Grundsätzlich können diese Vereinfachungen jederzeit durch genauere Verfahren, die z.T. reichlich vorhanden sind, ersetzt werden.

Zur Lösung der Aufgabe erscheint es zweckmäßig, die Entwurfsarbeit als Entscheidungsaufgabe zu formulieren. Auf diese Weise lassen sich die im Entwurf anfallenden vielfältigen und verschiedenartigen Aufgaben in einen logischen Zusammenhang bringen. Alle Entscheidungsaufgaben können auf das gleiche Grundmodell zurückgeführt werden. Auf die Bedeutung dieses Entscheidungsmodells für die Belange des Schiffbaus hat Krappinger (1968) hingewiesen. Bild 1 zeigt das Schema einer solchen Entscheidungsaufgabe und ihre Elemente. Es handelt sich dabei um ein logisches Schema, nicht um ein Ablaufschema.

Der Entscheidende hat Alternativen (d.h., verschiedene Möglichkeiten, für die Gestaltung und Dimensionierung der Schiffe) zur Verfügung. Die physikalischen und ökonomischen Eigenschaften dieser Alternativen werden wesentlich von den Umweltbedingungen mitbestimmt. Wie gut diese Eigenschaften vorherbestimmt werden können, hängt nicht nur von den verwendeten Modellen bzw. Methoden ab, sondern auch davon, wie weit die Umwelt erfaßt wird. Für jede Alternative erhält man im allgemeinen eine Menge von Eigenschaften. Wegen der Zufälligkeit der Umweltgegebenheiten und auch wegen der Unsicherheiten, mit denen die verfügbaren Rechenmethoden behaftet sind, erhält man für diese Eigenschaften Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Aufgrund dieser muß der Entscheidende nun die optimale Alternative auswählen. Dazu muß ein Bewertungsmaß eingeführt werden.

## 2. Umwelt und ihre quantitative Erfassung

### 2.1 Einleitung

Unter Umwelt sollen hier nur die Gegebenheiten verstanden werden, die einen wesentlichen Einfluß auf die Eigenschaften der jeweiligen Alternativen haben. Es handelt sich also nicht um die gesamte, sondern um die jeweils relevante Umwelt.

Die relevante Umwelt wird sowohl durch determinierte als auch durch verteilte Größen beschrieben.

Determinierte Größen sind z.B. Entfernungen und mit gewissen Einschränkungen die Ausstattung der angelaufenen Häfen.

Zu den nicht determinierten Größen gehören z.B.:

Seegang  
Nebel  
Ladungsangebot und  
Frachtraten.

Solche Umweltgrößen können deshalb nur durch stochastische Variable und ihre Verteilung beschrieben werden. Die Verteilung stochastischer Variabler kann aufgrund von objektiven oder subjektiven Wahrscheinlichkeiten ermittelt werden. Von objektiven Wahrscheinlichkeiten spricht man, wenn die Wahrscheinlichkeiten aufgrund von Beobachtungen bestimmt werden.

Wenn Beobachtungen nicht vorliegen, lassen sich für die stochastischen Variablen nur persönliche oder subjektive Wahrscheinlichkeiten angeben. Diese ergeben sich aufgrund von persönlichen Ansichten, Intuition und Erfahrungen, gegebenenfalls in Verbindung mit einigen sachlichen Informationen. Subjektive Wahrscheinlichkeiten werden ausführlich von Savage (1954) behandelt, Angaben über ihre Ermittlung finden sich bei Grayson (1960). Die Einführung von subjektiven Wahrscheinlichkeiten beruht auf der Tatsache, daß in der Praxis offensichtlich auch in den Fällen Entscheidungen getroffen werden, in denen keine objektiven Wahrscheinlichkeiten vorliegen.

Auch für subjektive Wahrscheinlichkeiten gelten alle in der Wahrscheinlichkeitstheorie entwickelten Gesetzmäßigkeiten, so daß man bei der mathematischen Behandlung der Probleme auf die Art der Wahrscheinlichkeiten keine Rücksicht zu nehmen braucht.

Es ist im Rahmen dieser Arbeit (nicht Ziel) nicht nötig, auf genaue Verteilungen einzugehen, sondern mehr oder weniger willkürliche Ausgangsdaten für die weitere Behandlung des Problems zu schaffen. Sowohl für objektive als auch für subjektive Verteilungen werden hier deshalb plausible vereinfachende Annahmen getroffen, auf die im folgenden näher eingegangen wird.

## 2.2 Wegverhältnisse

Der geplante Linienverkehr soll sich zwischen den Hafengruppen A und B abspielen. Jede Hafengruppe besteht aus 3 einzelnen Häfen (vgl. Bild 8). Die 3 Häfen der Gruppe A und 2 Häfen der Gruppe B liegen nicht am offenen Meer, sondern sind nur über Revierwege zu erreichen. Es wird hier angenommen, daß die Geschwindigkeit in den Revieren in der Hafengruppe A höchstens 8 kn betragen darf, in den Revieren in der Hafengruppe B höchstens 15 kn. Die Länge der hier angesetzten Revierwege beträgt für die einzelnen Häfen:

Hafen	:	A1	A2	A3	B3	B2	B1
Revierweglänge							
SR in sm		75	70	20	0	60	60

Für die zwischen den einzelnen Häfen liegenden Seewege (ohne Revierwege) werden folgende Längen angenommen:

Seeweg zwischen den Häfen:	A1-A2	A1-A3	A2-A3	A3-B3	B3-B2	B3-B1	B2-B1
Seeweglänge							
S in sm	0	200	200	5200	1000	1000	0

## 2.3 Seegang und Nebel

### 2.3.1 Einleitung

Seegang und Nebel bewirken im allgemeinen einen Geschwindigkeitsverlust und beeinflussen somit den Ablauf einer Rundreise. Die Stärken des Seegangs und die horizontale Sichtweite, -bei Sichtweiten unterhalb einer gewissen Grenze wird von Nebel gesprochen-, sind zufällige Größen, deren Verteilung von der Jahreszeit und von der geographischen Lage abhängt.

Seegang und Nebel werden hier wie folgt definiert:

Da der Seegang von der jeweils herrschenden Windstärke abhängt, wird hier vereinfachend angenommen, daß die Stärke des Seegangs durch die Windstärke beschrieben werden kann. Nach Roll (1953) werden dabei den Windstärken WS die im folgenden angegebenen Werte für die kennzeichnende Wellenhöhe  $2h_{1/3}$  und die durchschnittliche Wellenperiode  $\tilde{T}$  zugeordnet.

WS (Bft)	$2h_{1/3}$ (m)	$\tilde{T}$ (sec)
3	1.4	5.9
5	2.15	6.5
7	3.75	7.8
9	6.2	9.0
11	8.9	10.0

Weiter wird vereinfachend angenommen, daß die Laufrichtung der Wellen stets entgegen der Fahrtrichtung des Schiffes ist.

Unter dem Begriff Nebel sollen hier Sichtweiten verstanden werden, die geringer als 2 km sind. Es wird angenommen, daß bei größeren Sichtweiten keine Fahrtbehinderungen auftreten.

### 2.3.2 Verteilung von Seegang und Sichtweite

Seegang und Sichtweite sind miteinander korreliert. Erfahrungsgemäß treten geringe Sichtweiten fast nur bei geringen Wind- und Seegangsstärken auf. Es wird deshalb angenommen, daß Sichtweiten unter 2 km nur bei Seegangsstärken vorkommen, bei denen

mit Sicherheit noch kein Geschwindigkeitsverlust infolge Widerstandserhöhung eintritt. Fahrtbehinderungen können somit entweder nur durch Nebel oder durch Seegang verursacht werden. Deshalb genügt es, die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Nebel unabhängig von dem dabei herrschenden Seegang und die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten geschwindigkeitsmindernder Seegangsstärken unabhängig vom Auftreten von Nebel zu erfassen.

Die Annahmen über die Verteilung der Sichtweite bei Nebel und ihre Abhängigkeit von der Jahreszeit werden hier in Anlehnung an die Angaben von Markgraf und Binting (1960) über Beobachtungen im Nord- und Ostseeraum getroffen.

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Nebel beträgt im Jahresmittel 0.05; im Winter etwa 0.09 und im Sommer etwa 0.01. Es wird deshalb folgende Abhängigkeit von der Jahreszeit eingeführt:

$$W \{ SW \leq 2 \text{ km} \} = 0.05 + 0.04 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot TJ\right)$$

Hierin ist TJ die vom Jahresbeginn an zählende Zeit in Tagen.

Die Wahrscheinlichkeit von Sichtweiten größer als 2 km ist

$$W \{ SW > 2 \text{ km} \} = 1 - W \{ SW \leq 2 \text{ km} \}$$

Eine Ortsabhängigkeit wird nicht eingeführt.

Die Dichte  $f(SW)$  der Sichtweiten bei Nebel kann als konstant angenommen werden. Damit ergibt sich für die Verteilung der Sichtweiten:

$$f(SW) = \frac{W \{ SW \leq 2 \text{ km} \}}{2.0} \quad [1/\text{km}]$$

Für die Verteilung des auf eine Windstärke WS zurückgeführten Seegangs wird näherungsweise angenommen, daß ihre Dichte  $f(WS)$  linear mit der Windstärke abnimmt. Die größte, noch berücksichtigte Windstärke ist  $WS_{\max}$ . Um jahreszeitlich bedingten Änderungen Rechnung zu tragen, wird hier in Anlehnung an die Angaben von Hogben und Lumb (1967) über Seegänge in der Nordsee und im Nordatlantik für die maximale Windstärke folgende Zeitabhängigkeit

eingeführt:

$$WS_{\max} = 8.5 + \cos \left( \frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot TJ \right) \quad [\text{Bft}]$$

Dabei ist TJ die vom Jahresbeginn an zählende Zeit in Tagen.

Auf die Einführung einer Ortsabhängigkeit wird verzichtet.

Mit dieser Beziehung ergeben sich als maximale Windstärken im Winter 9.5 Bft; im Sommer 7.5 Bft. Die nach dieser Näherung unberücksichtigten Windstärken  $WS > WS_{\max}$  kommen z.B. in der Nordsee und auch in der Biskaya im Jahresmittel mit weniger als 1 % vor.

Für die Dichte der Windstärken erhält man damit:

$$f(WS) = \frac{2}{WS_{\max}} \cdot \left( 1 - \frac{WS}{WS_{\max}} \right) \quad [1/\text{Bft}]$$

Im Bereich der Windstärken  $WS \lesssim 4$  Bft weicht diese Näherung von tatsächlichen, aus Beobachtungen ermittelten Verteilungen ab. Für die weiteren Untersuchungen ist es jedoch ohne Belang, wie die Windstärken in diesem Bereich verteilt sind, so daß dieser Mangel keine Auswirkungen auf die späteren Ergebnisse hat.

### 2.3.3 Veränderungen der Wetterbedingungen während der Reise

Die während einer Reise an verschiedenen Orten zu erwartenden Sichtweiten und Windstärken sind korreliert. So ist z.B. nicht sehr wahrscheinlich, daß man nach Durchfahren eines kurzen Weges vom starken Seegang in glattes Wasser kommt. Vielmehr wird sich der Seegang nur allmählich mit der Zeit und der Entfernung von diesem Ort ändern. Es ist deshalb leicht einzusehen, daß der an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit auftretende Seegang nicht unabhängig von dem vorher angetroffenen Seegang ist.

Diese stochastische Abhängigkeit wird hier vernachlässigt und durch folgende vereinfachende Annahmen ersetzt:

Der auf einer Rundreise zurückzulegende Seeweg S wird in  $n_s$  Teilwege der Länge  $\Delta S$  unterteilt. In allen Seeabschnitten gelten unabhängig voneinander die oben eingeführten Verteilungsgesetze für

die Windstärken und die Sichtweiten. Die für einen bestimmten Seeabschnitt jeweils geltende Sichtweite bzw. Windstärke wird für die Fahrt durch den ganzen Abschnitt konstant angenommen. Diese Annahme ist weniger unrealistisch als es auf den ersten Blick erscheinen mag:

Nachdem den einzelnen Seeabschnitten zufällige Wetterbedingungen zugeordnet worden sind, kann man sie in eine solche Reihenfolge bringen, daß der durch sie dargestellte Wetterablauf nicht allzusehr von einem tatsächlich möglichen Ablauf abweicht.

Der Seeweg  $S_{A_3B_3} = 5200$  sm wird in 15 Abschnitte unterteilt; die Länge eines Abschnitts beträgt dann  $\Delta S_{A_3B_3} \approx 347$  sm. Der See-

weg  $S_{A_1A_3} = S_{A_2A_3} = 1000$  sm wird in 3 Abschnitte der Länge

$\Delta S_{B_1B_3} = \Delta S_{B_2B_3} \approx 333$  sm unterteilt. Für den kurzen Seeweg

$S_{A_1A_3} = S_{A_2A_3} = 200$  sm wird keine Unterteilung in Abschnitte vorgenommen.

## 2.4 Ladungsangebot

### 2.4.1 Beschreibung und Bezeichnung des Ladungsangebots

Die anfallende Ladung wird hier unterteilt in normale Stückgutladung und Kühlladung. Normale Stückgutladung wird in beiden Hafengruppen angeboten; Kühlladung nur in der Hafengruppe B. Für die normale Stückgutladung wird angenommen, daß sie auch für die Unterbringung in Kühlräumen geeignet ist. Allerdings wird in den Kühlräumen entweder nur Kühlladung oder normales Stückgut, nicht aber beides gemeinsam gefahren.

Bei der normalen Stückgutladung wird unterschieden zwischen Gewichtsladung und Volumenladung. Diese Unterteilung ist notwendig im Hinblick auf die unterschiedliche Berechnung der Frachteinahmen und Umschlagszeit. Ob eine bestimmte Ladungspartie als Gewichts- oder Volumenladung anzusehen ist, hängt dabei von ihrem Gewicht  $mg_j$  und ihrem Volumen  $mv_j^*$  bzw. vom Verhältniswert  $Stj^* = mv_j^*/mg_j$  ab. Der Rauminhalt einer Ladungspartie  $mv_j^*$  wird dabei nach bestimmten Regeln an Land ermittelt (vgl. Rotermund/Koch 1962). Eine Ladungspartie ist dann als Gewichtsladung anzusehen, wenn  $Stj^* \leq 1 m^3/Mp$  ist. Volumenladung ist dadurch gekennzeichnet, daß  $Stj^* > 1 m^3/Mp$  ist.

Bei der Bestimmung von  $mv_j^*$  werden Stauverluste berücksichtigt. Man kann deshalb näherungsweise davon ausgehen, daß der Raum, den eine Partie im Schiff einnimmt, genau so groß ist wie das an Land ermittelte Volumen; d.h.  $mv_j = mv_j^*$ . Daraus folgt, daß auch  $Stj^*$  und der Staukoeffizient der Partie  $Stj = mv_j/mg_j$  gleich sind. Eine Unterteilung der Kühlladung in Gewichts- und Volumenladung ist nicht erforderlich, da die Kühlladung hier stets eine Volumenladung ist.

Die in den einzelnen Häfen jeweils zu den Schiffsabfahrten (s. Fahrplan) angebotenen Ladungsmengen setzen sich aus mehreren Einzelpartien zusammen. Da diese Einzelpartien relativ sehr klein sind, wird im weiteren nicht von diesen, sondern von zusammengefaßten Partien ausgegangen. Zusammengefaßt werden jeweils in jedem Hafen

einer Gruppe diejenigen Partien, die für den jeweils gleichen Hafen der anderen Hafengruppen bestimmt sind. Diese Ladungsmengen werden durch drei Buchstaben und zwei Indices bezeichnet:

Der erste Buchstabe kennzeichnet die Ladungsart:

G = Gewichtsladung  
V = Volumenladung  
K = Kühlladung

Durch den zweiten Buchstaben wird gekennzeichnet, ob es sich um das Gewicht G oder das Volumen V einer bestimmten Ladungsart handelt. Der dritte Buchstabe (A bzw. B) gibt die Hafengruppe an, in der die Ladung zum Versand angeboten wird.

Der erste Index i bezieht sich auf die Nummer des Ladehafens, der zweite k, auf die Nummer des Löschhafens. Dabei wird vorausgesetzt, daß der Transport von Gütern von einem Hafen zu einem anderen der gleichen Gruppe ausgeschlossen ist.

Für Gewichte und Volumen der zu den Schiffsabfahrten angebotenen Ladungsmengen ergeben sich damit folgende Bezeichnungen:

Gewichte

	Hafengruppe A	Hafengruppe B
Gewichtsladung	GGA <sub>ik</sub>	GGB <sub>ik</sub>
Volumenladung	VGA <sub>ik</sub>	VGB <sub>ik</sub>
Kühlladung	-	KGB <sub>ik</sub>

Volumen

	Hafengruppe A	Hafengruppe B
Gewichtsladung	GVA <sub>ik</sub>	GVB <sub>ik</sub>
Volumenladung	VVA <sub>ik</sub>	VVB <sub>ik</sub>
Kühlladung	-	KVB <sub>ik</sub>

Unter dem Volumen der angebotenen Ladung soll hier das Volumen verstanden werden, daß die Ladung unter Berücksichtigung aller Stauverluste im Schiff einnimmt.

Neben der Kennzeichnung der Ladung durch Gewicht und Volumen ist auch eine Kennzeichnung durch Gewicht und Staukoeffizienten üblich. Da sich die oben eingeführten Mengen aus mehreren Partien zusammensetzen, handelt es sich bei diesem Staukoeffizienten um einen mittleren Wert. Dieser mittlere Staukoeffizient wird wie folgt bezeichnet:

Staukoeffizienten

	Hafengruppe A	Hafengruppe B
Gewichtsladung	$StmGA_{ik}$	$StmGB_{ik}$
Volumenladung	$StmVA_{ik}$	$StmVB_{ik}$
Kühlladung	-	$StmKB_{ik}$

Für die weitere Rechnung werden nicht nur die in jeweils einem Hafen einer Gruppe für jeweils einen andern Hafen der anderen Gruppe angebotenen Mengen benötigt, sondern auch zusammengefaßte Mengen. Sie können durch nachstehende Summenbildung ermittelt werden.

Die jeweils in einer Hafengruppe angebotene Ladung:

Gewichtsladung

	Hafengruppe A		Hafengruppe B	
Gewicht:	$GGA = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3$	$GGA_{ik}$ ;	$GGB = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3$	$GGB_{ik}$
Volumen:	$VGA = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3$	$VGA_{ik}$ ;	$VGB = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3$	$VGB_{ik}$

Volumenladung

	Hafengruppe A		Hafengruppe B	
Gewicht:	$VGA = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3$	VGA <sub>ik</sub> ,	$VGB = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3$	VGB <sub>ik</sub>
Volumen:	$VVA = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3$	VVA <sub>ik</sub> )	$VVB = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3$	VVB <sub>ik</sub>

Kühlladung

	Hafengruppe A		Hafengruppe B	
Gewicht:	-		$KGB = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3$	KGB <sub>ik</sub>
Volumen:	-		$KVB = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3$	KVB <sub>ik</sub>

Gewicht des normalen  
Stückguts

GA = GGA + VGA ,

SGB = GGB + VGB

Volumen des normalen  
Stückguts

VA = GVA + VVA ,

SVB = GVB + VVB

Gewicht des Gesamt-  
angebots

GA

GB = SGB + KGB

Volumen des Gesamt-  
angebots

VA

VB = SVB + KVB

Die jeweils in einem Hafen i angebotene Menge:

Gewichtsladung

	Hafengruppe A		Hafengruppe B	
Gewicht	$GGA_{io} = \sum_{k=1}^3$	$GGA_{ik}$	$GGB_{io} = \sum_{k=1}^3$	$GGB_{ik}$
Volumen	$GVA_{io} = \sum_{k=1}^3$	$GVA_{ik}$	$GVB_{io} = \sum_{k=1}^3$	$GVB_{ik}$

Volumenladung

Gewicht	$VGA_{io} = \sum_{k=1}^3$	$VGA_{ik}$	$VGB_{io} = \sum_{k=1}^3$	$VGB_{ik}$
Volumen	$VVA_{io} = \sum_{k=1}^3$	$VVA_{ik}$	$VVB_{io} = \sum_{k=1}^3$	$VVB_{ik}$

Kühlladung

Gewicht	-		$KGB_{io} = \sum_{k=1}^3$	$KGB_{ik}$
Volumen	-		$KVB_{io} = \sum_{k=1}^3$	$KVB_{ik}$

Die jeweils für einen Hafen k der anderen Gruppe bestimmte Menge:

Gewichtsladung

	Hafengruppe A		Hafengruppe B	
Gewicht	$GGA_{ok} = \sum_{i=1}^3$	$GGA_{ik}$	$GGB_{ok} = \sum_{i=1}^3$	$GGB_{ik}$

Hafengruppe A

Hafengruppe B

Volumen  $GVA_{ok} = \sum_{i=1}^3$   $GVA_{ik}$  ;  $GVB_{ok} = \sum_{i=1}^3$   $GVB_{ik}$

Volumenladung

Gewicht  $VGA_{ok} = \sum_{i=1}^3$   $VGA_{ik}$  ;  $VGB_{ok} = \sum_{i=1}^3$   $VGB_{ik}$

Volumen  $VVA_{ok} = \sum_{i=1}^3$   $VVA_{ik}$  ;  $VVB_{ok} = \sum_{i=1}^3$   $VVB_{ik}$

Kühlladung

Gewicht -  $KGB_{ok} = \sum_{i=1}^3$   $KGB_{ik}$

Volumen -  $KVB_{ok} = \sum_{i=1}^3$   $KVB_{ik}$

Mittelwerte dieser Mengen werden durch quergestrichene Buchstaben-  
gruppen gekennzeichnet.

#### 2.4.2 Angebotene Ladungsmengen

Die jeweils zu den Abfahrtsterminen angebotenen Ladungsmengen hängen vom Zufall und im allgemeinen auch von der Jahreszeit ab. Zur Beschreibung der angebotenen Ladungsmengen sind deshalb Angaben über ihre Verteilung und deren Abhängigkeit von der Jahreszeit erforderlich. Für die hier durchgeführten Untersuchungen wird das Ladungsangebot wie folgt angenommen:

Als Verteilungsgesetz für die Gewichte der jeweils für den Transport zwischen 2 Häfen angebotenen normalen Stückgutladung wird hier eine Verteilung mit konstanter Dichte angesetzt, wobei die Gewichte Werte zwischen null und dem zweifachen Mittelwert annehmen.

Als Verteilungsgesetz für die Gewichte der in den Häfen der Hafengruppe B jeweils angebotenen Kühlladung wird eine beidseitig abgeschnittene Normalverteilung angenommen. Die Streuung der zugrundeliegenden unbeschnittenen Normalverteilung wird dabei gleich  $1/3$  des jeweiligen Mittelwerts gesetzt. (Werte außerhalb der  $3\sigma$ -Grenze werden nicht berücksichtigt).

Mit diesen Annahmen lassen sich die Verteilungen des Gewichts der jeweils für den Transport zwischen 2 Häfen angebotenen Ladungsmengen durch die Angabe ihres Mittelwertes vollständig beschreiben. Die Abhängigkeit von der Jahreszeit kann dann dadurch berücksichtigt werden, indem die Mittelwerte als Funktion der Jahreszeit angesetzt werden.

Da sich aus statistischen Jahrbüchern [69]<sup>\*</sup> für den Versand von Gütern von Hamburg (stellvertretend für einen Hafen der Hafengruppe A) keine saisonalen Schwankungen ableiten lassen, wird für die Hafengruppe A von jeweils konstanten Mittelwerten für die angebotene Ladung ausgegangen. Die hier angenommenen Mittelwerte sind im folgenden angegeben. Dabei entspricht das Verhältnis von Gewichtsladung zu Volumenladung etwa den tatsächlichen Gegebenheiten.

\* Die Ziffer in der Klammer bezieht sich auf das Schrifttum

		Gewichtsladung $\overline{GGA}_{ik}$ [Mp]		
		Löschhafen		
		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
Ladehafen	A <sub>1</sub>	150	75	150
	A <sub>2</sub>	100	50	100
	A <sub>3</sub>	150	75	150

		Volumenladung $\overline{VGA}_{ik}$ [Mp]		
		Löschhafen		
		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
Ladehafen	A <sub>1</sub>	600	300	600
	A <sub>2</sub>	400	200	400
	A <sub>3</sub>	600	300	600

Für das mittlere Gesamtangebot der Hafengruppe A erhält man damit

$$\overline{GGA} = 1000 \text{ Mp} \quad \text{und}$$

$$\overline{VGA} = 4000 \text{ Mp}$$

Als Streuung für das Gewicht der zusammengefaßten Gewichts- und Volumenladung erhält man

$$\sigma_{GA} \approx 840 \text{ Mp}$$

Die Tendenz der angenommenen Abhängigkeit der in der Hafengruppe B angebotenen mittleren Ladungsmengen von der Jahreszeit beruht auf realistischen Werten, die aus der "Statistik des Hamburgischen Hafens 1968" stammen. Da man annehmen kann, daß die in der Gruppe B anfallenden mittleren Mengen  $\overline{GGB}_{ik}$ ,  $\overline{VGB}_{ik}$  und  $\overline{KGB}_{ik}$  für jeweils alle k tendenzmäßig in der gleichen Weise von der Jahreszeit abhängen, lassen sich diese mittleren Mengen jeweils als Teile der insgesamt in einem Hafen der Gruppe B anfallenden mittleren Mengen  $\overline{GGB}_{i0}$ ,  $\overline{VGB}_{i0}$  und  $\overline{KGB}_{i0}$  angeben.

Die Mittelwerte der in den einzelnen Häfen der Gruppe B anfallenden Mengen  $\overline{GGB}_{10}$ ,  $\overline{GGB}_{20}$ ,  $\overline{GGB}_{30}$ , und  $\overline{VGB}_{10}$ ,  $\overline{VGB}_{20}$ ,  $\overline{VGB}_{30}$ ,  $\overline{KGB}_{10}$ ,  $\overline{KGB}_{20}$ ,  $\overline{KGB}_{30}$  sind in Bild 2 über der Jahreszeit aufgetragen. Zur Beschreibung der Abhängigkeit von der Jahreszeit wurden sin- bzw. cos-Funktionen verwendet.

$\overline{GGB}_{10}$  und  $\overline{GGB}_{20}$  sind dabei gleich null; d.h. in den Häfen B1 und B2 fällt keine Gewichtsladung an.

Die Aufteilung der zusammengefaßten mittleren Mengen in mittlere, zwischen zwei Häfen zu transportierende Mengen wird über das ganze Jahr konstant angenommen. Sie erfolgt für die Gewichts- und Volumenladung nach den in der folgenden Tabelle angegebenen Prozentsätzen:

Gewichtsladung  $\overline{GGB}_{ik}$  in % von  $\overline{GGB}_{i0}$  und  
 Volumenladung  $\overline{VGB}_{ik}$  in % von  $\overline{VGB}_{i0}$

		Löschhafen		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
Ladehafen i = 1,2,3	B <sub>i</sub>	40	20	40

Für die Kühlladung wird die folgende Aufteilung angenommen:

Kühlladung  $\overline{KGB}_{ik}$  in % von  $\overline{KGB}_{i0}$

		Löschhafen		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
Ladehafen i = 1,2,3	B <sub>i</sub>	33.33	33.33	33.33

Mit diesen so angenommenen mittleren Mengen erhält man die nachstehend über ein Jahr gemittelten mittleren Mengen:

$$\overline{\text{GGB}} = 1000 \text{ Mp}$$

$$\overline{\text{VGB}} = 3178 \text{ Mp}$$

$$\overline{\text{KGB}} = 975 \text{ Mp}$$

Diese Mengen liegen nach Angaben von Reedereien im Bereich von tatsächlich mit konventionellen Schiffen beförderten Mengen.

Gewicht und Volumen der angebotenen Ladung sind korreliert. Zur Darstellung der zweidimensionalen Verteilung von Gewicht und Volumen ist es zweckmäßig, von der Verteilung des Gewichts und der Verteilung des mittleren Staukoeffizienten auszugehen. Unter der Annahme, daß eine kleine Ladungsmenge im statistischen Sinne genauso zusammengesetzt ist wie eine große, ist die Verteilung des mittleren Staukoeffizienten unabhängig von der jeweiligen Ladungsmenge.

Ferner wird vereinfachend angenommen, daß die

jeweils drei Ladungsmengen (für jede der drei Ladungsarten), die von einem Hafen einer Gruppe zu den drei Häfen der anderen Gruppe transportiert werden sollen, den gleichen mittleren Staukoeffizienten haben.

Es genügt deshalb, für jeden Hafen und jede Ladungsart jeweils nur eine Verteilung des mittleren Staukoeffizienten anzugeben.

Aufgrund der zugrundeliegenden Statistiken ist darüberhinaus die Annahme gerechtfertigt, daß die Verteilungen der mittleren Staukoeffizienten für alle Häfen einer Gruppe als gleich angesehen werden können.

Als Verteilungsgesetz für die mittleren Staukoeffizienten wird für die verschiedenen Ladungsarten eine Normalverteilung verwendet.

Den für die normale Stückgutladung angenommenen Parametern der Verteilung für die Hafengruppen A und B liegen Statistiken über den Versand und Empfang von Gütern im Hamburger Hafen zugrunde.

Im einzelnen wird für die Mittelwerte gesetzt:

$$\left. \begin{array}{ll} \overline{\text{StmGA}}_i = 0,8 \text{ m}^3/\text{Mp} & ; \quad \overline{\text{StmVA}}_i = 2,1 \text{ m}^3/\text{Mp} \\ \overline{\text{StmGB}}_i = 0,8 \text{ m}^3/\text{Mp} & ; \quad \overline{\text{StmVB}}_i = 1,80 \text{ m}^3/\text{Mp} \end{array} \right\} i = 1,2,3$$

und für die Streuung:

$$\left. \begin{array}{ll} \sigma_{\text{StmGA}}_i = 0,04 \text{ m}^3/\text{Mp} & ; \quad \sigma_{\text{StmVA}}_i = 0,2 \text{ m}^3/\text{Mp} \\ \sigma_{\text{StmGB}}_i = 0,04 \text{ m}^3/\text{Mp} & ; \quad \sigma_{\text{StmVB}}_i = 0,2 \text{ m}^3/\text{Mp} \end{array} \right\} i = 1,2,3$$

Für den Mittelwert des mittleren Staukoeffizienten der Kühlladung wird  $\overline{\text{StmKB}}_i = 2,7 \text{ m}^3/\text{Mp}$  gesetzt;

für die Streuung  $\sigma_{\text{StmKB}}_i = 0,1 \text{ m}^3/\text{Mp}$ ;  $i = 1,2,3$ .

Diese Werte stellen realistische Annahmen für Obst dar.

Mit den so angenommenen mittleren Staukoeffizienten erhält man für das Volumen des mittleren Gewichts der angebotenen Ladung folgende Werte:

Hafengruppe A:

Gewichtsladung:

$$\overline{\text{GVA}} = 1000 \cdot 0,8 = 800 \text{ m}^3$$

Volumenladung:

$$\overline{\text{VVA}} = 4000 \cdot 2,1 = 8400 \text{ m}^3$$

Hafengruppe B:

Gewichtsladung :

$$\overline{\text{GVB}} = 1000 \cdot 0,8 = 800 \text{ m}^3$$

Volumenladung:

$$\overline{\text{VVB}} = 3178 \cdot 1,8 \approx 5700 \text{ m}^3$$

Kühlladung:

$$\overline{KVB} = 975 \cdot 2,7 \approx 2630 \text{ m}^3$$

Mit der Verteilung des Gewichts der angebotenen Ladung und der Verteilung des mittleren Staukoeffizienten kann die zweidimensionale Verteilung von Gewicht und Volumen wie folgt bestimmt werden:

Es sei  $f_g (G)^*$  die Verteilung des Gewichts einer angebotenen Ladungsmenge,  
 $f_{St} (Stm)^*$  die als unabhängig angenommene Verteilung des mittleren Staukoeffizienten.

Zunächst wird unter der Voraussetzung, daß das Gewicht  $G$  der angebotenen Ladungsmenge einen bestimmten Wert annimmt, die Verteilung des Volumens  $f_{1V} (V|G)$  dieser Menge bestimmt. Dies ist die bedingte Verteilung des Volumens  $V$  unter der Hypothese  $G = \text{const.}$  Da zwischen Volumen  $V$  und mittlerem Staukoeffizienten  $Stm$  eine einfache lineare Beziehung besteht,  $Stm = Stm(V) = V/G$ , läßt sich  $f_{1V} (V|G)$  durch eine lineare Transformation bestimmen. Es gilt

$$f_{1V} (V|G) \cdot dV = f_{St} (Stm(V)) \cdot dStm$$
$$f_{1V} (V|G) = f_{St} (Stm(V)) \cdot \frac{dStm(V)}{dV}$$

Es ist  $\frac{dStm(V)}{dV} = \frac{d Stm(V)}{d (G \cdot Stm(V))} = 1/G$

und es ergibt sich  $f_{1V} (V|G) = \frac{1}{G} \cdot f_{St} (Stm(V))$

Mit dieser bedingten Verteilung und der Verteilung des Gewichts der angebotenen Ladung erhält man die zweidimensionale Verteilung von Gewicht und Volumen zu

$$f_{GV} (G, V) = f_G (G) \cdot f_{1V} (V|G) = f_G (G) \cdot \frac{1}{G} \cdot f_{St} (Stm(V))$$

\*  $G$  steht hier allgemein für irgendein zufälliges Gewicht einer Ladung, und  $Stm$  für einen entsprechenden zufälligen mittleren Staukoeffizienten.

## 2.5 Frachtraten

Die Frachtrate ist gleich der Frachteinnahme für den Transport einer "Frachttonne" (Frt.). Diese "Frachttonne" kann eine Gewichts- oder eine Volumeneinheit sein. Im Fall der Gewichtsladung ist die "Frachttonne" eine "Gewichtstone". Die Frachteinnahme ergibt sich dabei durch Multiplikation der Frachtrate mit dem Gewicht der Gewichtsladung. Im Fall der Volumenladung ist die "Frachttonne" eine "Volumentonne", und zur Ermittlung der Frachteinnahmen ist die Frachtrate mit dem Volumen dieser Ladung zu multiplizieren.

Die insgesamt in einem Hafen angebotenen Gewichts-, Volumen- und Kühlladungen setzen sich jeweils aus mehreren Parteien zusammen, für deren Transport auch bei gleichem Zielhafen unterschiedliche Frachtraten bezahlt werden. Die Zusammensetzung der jeweiligen insgesamt angebotenen Ladungsmengen aus Einzelpartien ist zufällig. Deshalb sind auch für die mittleren Frachtraten, -das sind die auf die jeweilige Gesamtmenge einer Güterart bezogenen Einnahmen-, nicht konstant, sondern verteilt. Die Verteilungen dieser Frachtraten können anhand der durch Konferenzen festgelegten Frachtraten und einer Statistik über die Zusammensetzung der angebotenen Ladung ermittelt werden. Für die hier durchgeführten Untersuchungen wird der Einfachheit halber davon ausgegangen, daß die mittleren Frachtraten für den Transport der insgesamt in einer Hafengruppe angebotenen Ladungsmengen zu den Häfen der anderen Hafengruppe normal verteilt sind.

Mittelwerte und Streuungen werden wie folgt angenommen:

$$\begin{array}{ll} \text{für Gewichtsladung : } \overline{RG} = 60 \text{ DM/Mp ; } & G_{RG} = 10 \text{ DM/Mp} \\ \text{für Volumenladung : } \overline{RV} = 60 \text{ DM/m}^3 ; & G_{RV} = 10 \text{ DM/m}^3 \\ \text{für Kühlladung : } \overline{RV} = 120 \text{ DM/m}^3 ; & G_{RK} = 20 \text{ DM/m}^3 \end{array}$$

Es wird vorausgesetzt, daß diese Verteilungen unabhängig von der jeweils angebotenen Gesamtmenge einer Güterart sind und daß die Verteilungen der Frachtraten für Gewichtsladung und Volumenladung für beide Hafengruppen gleich sind.

## 2.6 Wartezeit auf Reede

Zufällige Wartezeiten können beispielsweise infolge Mangels an Kaiplätzen oder Arbeitskräften auftreten. Deshalb ist bei vielen, kleinen und unzureichend ausgerüsteten Häfen mit Wartezeiten zu rechnen. In der Regel hat der Reeder keinen Einfluß auf solche Wartezeiten; sie sind deshalb als ein Bestandteil der relevanten Umwelt anzusehen.

Die Zufälligkeit der Wartezeit ergibt sich u.a. aus den unregelmäßigen Schiffankünften und den zufälligen Abfertigungszeiten. Stauungen, die vor Abfertigungsstellen entstehen, lassen sich durch sogenannte Warteschlangenmodelle beschreiben; die Verteilung der Wartezeiten kann bestimmt werden, wenn die Anzahl der Abfertigungsstellen und die Verteilung der Zugänge und Abfertigungszeiten bekannt sind.

Eine Abschätzung der Verteilung der Wartezeiten kann auch durch direkte statistische Erhebungen erfolgen. Im folgenden wird nicht näher darauf eingegangen, sondern für die Verteilung der Wartezeit wird die nachstehende Gesetzmäßigkeit angenommen:

Die Häufigkeit für das Auftreten der Wartezeit  
 $TW = 0$  sei:

$$F(TW = 0) = 0,87$$

und die Verteilungsfunktion für Wartezeiten  $> 0$

$$F(TW) = F(TW = 0) + \int_0^{TW} \frac{1}{24} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{TW+64}{48} \right)^2 \right] dTW$$

Damit ergibt sich die mittlere Wartezeit zu  $TW = 2,8$  h; in 99,7 % aller Fälle ist die Wartezeit geringer als 72 h.

Diese Verteilung der Wartezeiten möge für jeden Anlauf eines jeden Hafens der Gruppe B gelten.

Für die Häfen der Gruppe A wird vorausgesetzt, daß bei ihrem Anlauf keine Wartezeiten auftreten.

### 3. Bestimmung der Alternativen

#### 3.1 Einleitung

Im vorliegenden Fall sind die Alternativen Schiffsentwürfe.

Das Schaffen von Alternativen ist ein Problem, das an dieser Stelle nicht weiter untersucht werden soll. Für die Entscheidungsaufgabe ist es ohne Belang, woher die Alternativen stammen bzw. wie sie entstanden sind.

Mit den Informationen über die Umwelt und aufgrund der Erfahrung läßt sich der Bereich der infrage kommenden Schiffe schon stark einschränken. So wird hier vorausgesetzt, daß konventionelle, dieselgetriebene Schiffe mit Kühlräumen und einer vorgegebenen Geschwindigkeit eingesetzt werden sollen. Der Einsatzplan soll für alle Schiffe gleich sein. Frei wählbare Parameter sind nur: Tragfähigkeit, Laderauminhalt bzw. Räumte und der Anteil des Kühlladeraums am Gesamtladeraum.

Für den Transport der angebotenen Ladung kommen Schiffe in Frage, deren Tragfähigkeit  $d_w$  im Bereich von 5000 - 9000 Mp liegt und deren Räumte etwa 1,8 bis 2,5  $m^3/Mp$  beträgt. Der Anteil des Kühlraums am gesamten Laderaum wird auf etwa 0,2 bis 0,6 angenommen.

Aus diesen Bereichen werden 8 Alternativen ausgewählt, die sich durch verschiedene Kombinationen von Tragfähigkeit, Laderauminhalt und Kühlrauminhalt unterscheiden. Die gewählten Größen sind in den oberen drei Zeilen der Tabelle 1 angegeben. Von diesen ausgehend sind zunächst weitere Daten der Alternativen zu ermitteln\*. Da detaillierte Entwurfsrechnungen kein Anliegen der hier durchgeführten Untersuchungen sind, werden sie überschlägig durchgeführt. Die Bestimmung der hier benötigten Schiffsdaten erfolgen mit Hilfe der Bilder 3-7. Diese Bilder beruhen auf Angaben von Wegner (1961), Bosse (1963) und Bakenhus (1969). Die Angaben gehen auf Daten gebauter Schiffe zurück.

\* Die Grenzen zwischen Alternativen und Eigenschaften sind fließend. Ob eine bestimmte Größe eine Alternative kennzeichnet oder ob durch diese Größe schon eine Eigenschaft beschrieben wird, richtet sich danach, was zum Zeitpunkt der Entscheidung bekannt ist.

### 3.2 Technischer Teil des Alternativenbereichs

#### 3.2.1 Verdrängung, Tragfähigkeit und Eigengewicht

Ausgehend von den angenommenen Tragfähigkeiten  $d_w$  wird die Verdrängung  $\Delta$  der Schiffe für eine bestimmte Räume und einen bestimmten Anteil an Kühlladeraum aus Bild 3 ermittelt. Dabei wird für die Bestimmung des mittleren Wertes  $\frac{d_w}{\Delta}$  für Schiffe mit einzelnen Kühlräumen zwischen den im Bild 3 angegebenen Graden für reine Kühlschiffe und Schiffe ohne Kühlraum linear interpoliert.

#### 3.2.2 Rauminhalte und Raumaufteilung

Der Laderauminhalt ergibt sich aus der vorgegebenen Räume und der Tragfähigkeit\*. Brutto- und Nettorauminhalte folgen aus Bild 4. Diese Daten sind in Tabelle 1 angegeben.

Die Unterteilung der Schiffe in einzelne Laderäume wurde in Anlehnung an gebaute Schiffe vorgenommen. Für alle hier untersuchten Schiffe beträgt die Anzahl der Räume 5. Der Rauminhalt der einzelnen Räume und ihr Anteil am Gesamtladeraum findet sich in der Tabelle 1.

Dieses sind realistische Werte, die bei Frachtschiffen der betrachteten Art im üblichen Bereich liegen.

#### 3.2.3 Schiffslänge

Für die Bestimmung der Schiffslänge wird von Bild 7 ausgegangen; es beruht auf Angaben von Bosse.

#### 3.2.4 Erforderliche Antriebsleistung

Für die Ermittlung der erforderlichen Antriebsleistung wird von Bild 5 ausgegangen. Dort sind die für eine Probefahrtgeschwindigkeit von 18 kn erforderlichen Leistungen, -es wird angenommen, daß es sich dabei um Wellenleistungen handelt-, über der Verdrängung aufgetragen. Der Einfluß der Dienstbedingungen wird pauschal dadurch erfaßt, daß man diesen Leistungen eine sogenannte Dienstgeschwindigkeit von 17 kn zuordnet.

Die Antriebsleistungen der Schiffe sind in Tabelle 1 angegeben.

\* Zur Ermittlung des für Stückgut nutzbaren Laderauminhalts wurde der Kornladeraum um 8 % verringert.

### 3.2.5 Leistung der Hilfsmaschinen

Die Leistung PH der Hilfsdiesel ohne die für den Betrieb der Kühlmaschinen erforderliche Leistung ist eine Funktion der Leistung der Hauptmaschinen. Die in Tabelle 1 angegebenen Leistungen PH wurden mit Hilfe von Bild 6 bestimmt. Dieses Bild ist eine Näherung und beruht auf Angaben des Lehrstuhls für Schiffsmaschinenbau.

Die für den Betrieb der Kühlmaschinen erforderliche Leistung PK richtet sich u.a. nach der Größe der für Kühlladung vorgesehenen Räume. Als Anhaltswert aufgrund von Daten gebauter Schiffe wird hier von einer spez. Kühlleistung von  $0,07 \text{ PS/m}^3$  (Kühlraum) ausgegangen. Die sich damit ergebenden Kühlleistungen für die einzelnen Schiffe sind in Tabelle 1 eingetragen.

### 3.2.6 Kleinste projektierte Tragfähigkeit

Die Nutztragfähigkeit ergibt sich aus der Tragfähigkeit  $d_w$  abzüglich aller Verbrauchsstoffe, Reedereinventar, Mannschaften und Effekten. Die Menge der an Bord befindlichen Verbrauchsstoffe ist veränderlich. Wenn volle Vorräte an Bord sind, ist die Nutztragfähigkeit am kleinsten.

Die Größe der Bunker richtet sich nach der größten zu übernehmenden Menge, die sich im allgemeinen aus der Entfernung der auf der Rundreise angelaufenen Bunkerstationen ergibt. Für die Berechnung der größten zu übernehmenden Mengen werden folgende Annahmen getroffen:

- Während der Rundreise werden nur einmal Vorräte übernommen.
- Während der Fahrt gibt die Hauptmaschine auf See und im Revier die volle Leistung ab.\*
- Der spez. Brennstoffverbrauch der Hauptmaschine beträgt  $0,165 \text{ kp/PS.h}$ ; der Schmierölverbrauch  $0,00075 \text{ kp/PS.h}$ .
- Von den Hilfsdieseln wird während der Fahrzeit die volle Leistung abgegeben.
- Während der Rückreise, auch während der Hafenzeiten, wird zur Kühlung die volle Leistung der Kühlmaschinen gebraucht.
- Der spez. Brennstoffverbrauch der Hilfsmaschinen beträgt  $0,170 \text{ kp/PS.h}$ .

\* Im Verlauf der Rundreise wird jedoch mit den tatsächlich abgegebenen Leistungen und damit echten Brennstoffverbräuchen gerechnet.

Als Fahrzeiten bzw. Hafenzeiten werden die im Fahrplan vorgesehenen Zeiten eingesetzt.

Da während der Reise nicht immer die volle Leistung gebraucht wird, sind in diesen Ansätzen schon Reserven vorhanden. Als weitere Reserve wird zu den Brennstoffmengen ein Zuschlag von 10 % gemacht. Die daraus resultierenden Werte für die bei der ersten Ausreise zu übernehmenden Betriebsstoffmengen sind in Tabelle 1 eingetragen.

Der Berechnung der Proviant- und Frischwassermengen liegen folgende Annahmen zugrunde:

Der Frischwasserbedarf beträgt 0,2 Mp/Mann · d; für Proviant wird 5 kp/Mann · d angesetzt. Die Anzahl der Besatzungsmitglieder ist für jedes Schiff in Tabelle 1 angegeben.

Mit diesen Angaben erhält man Proviant- und Frischwassermengen, die ebenfalls in Tabelle 1 eingetragen sind.

Das Gewicht von Mannschaften und Effekten wird der Einfachheit halber für alle Schiffe gleich zu 10 Mp angesetzt; für Reedereiinventar 0,5 % der jeweiligen Tragfähigkeit.

Mit den nach den vorstehenden Angaben berechneten Gewichten für Verbrauchsstoffe, Reedereiinventar und Mannschaften + Effekten erhält man die in Tabelle 1 angegebene kleinste projektierte Nutztragfähigkeit G 00.

### 3.2.7 Propeller

Die Auswahl eines Propellers für jede Alternative ist erforderlich, weil später der Einfluß geschwindigkeitsmindernder Größen untersucht werden soll. Da die Antriebsleistung bereits aufgrund von Daten über gebaute Schiffe ermittelt wurde, ist nun ein Propeller mit Durchmesser und Drehzahl so zu wählen, daß dieser bei einer Geschwindigkeit von 18 kn die um eine Leistungsreserve verminderte installierte Leistung aufnimmt. Da es hierzu eine Vielzahl von Durchmesser-Drehzahl-Kombinationen gibt, werden diese Größen anhand von Angaben über gebaute Schiffe geschätzt. Aufgrund einer solchen Schätzung kann man dann annehmen, daß der vom Propeller

erzeugte Schub gleich demjenigen Schub ist, der zur Überwindung des Schiffswiderstandes erforderlich ist.

Für alle Alternativen werden Propeller der Wageningen B-Serie mit 4 Flügeln, einem Flächenverhältnis von 0,55 und einem Steigungs-Durchmesser-Verhältnis von 1,0 gewählt. Bei diesem Steigungs-Durchmesser-Verhältnis ist der Propeller über einen großen Bereich der in Frage kommenden Schubbelastungsgrade optimal. Es wird vorausgesetzt, daß diese Propeller kavitationsfrei arbeiten. Für den Nachstrom wird  $w_0 = 0.27$  gesetzt und für die Sogziffer  $t_0 = 0.1625$ . Ferner wird vorausgesetzt, daß die geforderte Probefahrtgeschwindigkeit von 18 kn bei Nenndrehzahl und 95-%-iger Auslastung der Hauptmaschine erreicht wird. Für das Produkt von Nenndrehzahl  $n_0$  und Propellerdurchmesser  $D_p$  wird  $n_0 \cdot D_p = 11$  m/sec für alle Schiffe gleich angenommen.

Mit diesen Annahmen läßt sich nun als Grundlage für die weiteren Untersuchungen die Geschwindigkeit und Leistung als Funktion des Schubbelastungsgrades angeben. In Bild 9 ist über dem in den Auswahl-diagrammen gebräuchlichen verkürzten Schubbelastungsgrad  $c_s$  die Geschwindigkeit  $V$  und - mit dem Propellerdurchmesser als Parameter- die erforderliche Leistung  $P$  angegeben. Die Geschwindigkeit ergibt sich dabei mit dem aus dem Diagramm abgelesenen Wert für  $\Lambda$  zu

$$V = \frac{\Lambda \cdot n_0 \cdot D_p}{(1-w_0)}$$

und die Leistung zu

$$P = \frac{c_s \cdot \rho \cdot V^3 \cdot (1-w_0)^3 \cdot D_p^2}{\eta_p \cdot \xi_a}$$

Hierin sind

$\rho$  = Dichte des Wassers

$\eta_p$  = Wirkungsgrad des Propellers,  
abgelesen im Auswahl-diagramm

$\xi_a$  = Gütegrad 1er Anordnung, der hier  
= 1,0 gesetzt wird.

Es zeigt sich, daß die Geschwindigkeit von 18 kn bei einem Schubbelastungsgrad von 0,56 erreicht wird. Der Propellerdurchmesser ist jeweils so anzunehmen, daß bei  $c_s = 0,56$  95 % der Nennleistung vom Propeller aufgenommen werden.

Unabhängig durchgeführte Widerstands- und Propellerrechnungen für Frachtschiffe von etwa 125 bis 145 m Länge haben ergeben, daß die Beziehungen in Bild 9 bei entsprechender Wahl des Propellerdurchmessers und der Drehzahl näherungsweise für alle hier untersuchten Schiffe gelten.

### 3.3 Betrieblicher Teil des Alternativenbereichs

#### 3.3.1 Bedienung der Häfen

Die Bedienung der Häfen ist wie folgt vorgesehen (vgl. Bild 8):  
Auf der Hinreise werden im Normalfall, ausgehend vom Hafen A1, nacheinander die Häfen A2 und A3 angelaufen, in denen nur Ladung übernommen wird. Die Ladung aus der Hafengruppe A wird in den Häfen der Gruppe B in der Reihenfolge B3, B2, B1 gelöscht. Während die Häfen B3 und B2 auf der Hinreise nur zum Löschen angelaufen werden, schließt sich im Endhafen B1 an das Löschen der Ladung aus der Gruppe A das Beladen des Schiffes mit Ladung für die Gruppe A an. Auf der Rückreise werden nun die Häfen B2 und B3 nur zum Beladen angelaufen. Die für die Hafengruppe A bestimmte Ladung wird in den Häfen A3, A2, A1 gelöscht, wobei sich im Hafen A1 an das Löschen das Beladen anschließt und eine neue Hinreise beginnt. Außer in den Häfen A1 und B1 wird also während der Hafentiegezeit entweder nur geladen oder nur gelöscht.  
Es ist vorgesehen, daß das Schiff während der Rundreise nur im Hafen A1 Vorräte übernimmt. Die Möglichkeit, bei einem sehr großen Ladungsangebot nur Teilmengen zu bunkern, um keine oder weniger Ladung zurücklassen zu müssen, wird nicht in die Untersuchungen einbezogen.

3.3.2 Fahrplan

Der Fahrplan wird meist aufgrund von Erfahrungen festgelegt. Dabei wird berücksichtigt, daß die tatsächlichen Seezeiten und die für den Umschlag erforderlichen Zeiten zufällige Schwankungen unterworfen sind und daß auch zufällige Wartezeiten entstehen können. Da im Liniendienst großen Wert auf Pünktlichkeit gelegt wird, sind Reedereien darum bemüht, einen einmal aufgestellten Fahrplan möglichst einzuhalten; deshalb enthält er gewisse Reserven, die zufällig entstehende Verspätungen ausgleichen sollen. Beim Auftreten von Verspätungen werden alle Möglichkeiten ausgenutzt, diese wieder aufzuholen. Dabei wird auch von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, sich dem Fahrplan durch das Auslassen von Häfen wieder anzupassen. Diese Maßnahme wird hier auf die Häfen A2 und B2 beschränkt, da der mit dem Nichtanlaufen verbundene Frachtausfall für diese Häfen am geringsten ist.

Aufgrund der in Abschnitt 5 vorgenommenen Bewertung der Verspätung und des Nichtanlaufens wird der Hafen A2 nicht angelaufen, wenn die Verspätung im Hafen A1 mehr als 88 h beträgt. Der Hafen B2 wird nicht bedient, wenn die Verspätung im Hafen B1 83 h übersteigt.

Der Fahrplan wird aufgrund einer Abschätzung wie folgt festgelegt:

Die angegebenen Zeiten sind Stunden

1. Reise nach Indienststellung oder Dockung			normale Reise und letzte Reise vor Dockung bzw. Außerdienststellung	
Hafen	Anlegen	Ablegen	Anlegen	Ablegen
A1	0	33.2	0	96
A2	54.4	77.5	117.2	140.3
A3	103.6	136.8	166.4	199.6
B3	460.3	495.5	523.1	558.3
B2	561.3	580.4	621.4	643.2
B1	591.4	666.8	654.2	729.6
B2	677.8	690.4	740.6	753.2
B3	756.2	789.8	819.0	852.6
A3	1113.3	1147.0	1176.1	1209.8
A2	1173.1	1194.2	1235.9	1257.0
A1	1215.4		1278.2	1311.2

Dockung
↓ letzte Reise

### Fahrplanmäßige Dauer der Rundreisen

Vom Zeitpunkt der Indienststellung an werden nacheinander in der im Fahrplan vorgeschriebenen Weise Rundreisen durchgeführt. Die erste Rundreise beginnt mit dem Beladen des Schiffes im Hafen A1 und endet mit dem Beginn des Umschlags nach der Rückkehr in diesen Hafen. Nach dem Fahrplan dauert diese Rundreise 1215,4 h. Die dann folgenden Reisen werden gerechnet vom Umschlagsbeginn im Hafen A1 bis zum erneuten Umschlagsbeginn in diesem Hafen. Diese Reisen dauern 1278,2 h. Die letzte Rundreise vor einer Dockung bzw. vor der Außerdienststellung endet dann mit dem Abschluß des Umschlags im Hafen A1; die fahrplanmäßige Dauer dieser letzten Reise beträgt jeweils 1311,9 h.

### Rundreisen über der Lebensdauer

Im ersten Jahr nach der Indienststellung werden 6 vollständige Rundreisen durchgeführt. Da das Ende eines Jahres nicht mit dem Ende einer Rundreise zusammenfällt, wird die 7. im ersten Jahr begonnene Rundreise erst im 2. Jahr abgeschlossen. Danach ist eine Dockung vorgesehen. Weitere Dockungen erfolgen jeweils beim ersten Anlauf des Hafens A1 nach Vollendung eines weiteren ganzen Jahres seit der Indienststellung.

Bei einer angenommenen Lebensdauer von 15 Jahren fallen dann in das 2., 3., 5., 7., 9., 10., 14. Jahr jeweils 6 vollständige Rundreisen. Hierzu kommen am Anfang des Jahres ein Anteil an der letzten im Vorjahr begonnenen Reise und am Ende des Jahres der Anteil einer Reise, die in dem jeweiligen Jahr nicht mehr vollendet wurde. Für das 4., 6., 8., 11., 13., und 15. Jahr ergeben sich nur 5 vollständige Reisen. Die am Anfang und Ende des Jahres liegenden Teilreisen haben dafür eine entsprechend längere Dauer.

### 3.3.3 Stauung der Ladung

Zum betrieblichen Teil des Alternativenbereichs gehört ein Plan, der die Ladungsverteilung auf die verschiedenen Laderäume regelt. Wegen der Verschiedenartigkeit der Ladungen in den Häfen der Gruppe A und B sind dabei verschiedene Fälle möglich:

#### Hafengruppe A

Beim Transport normaler Stückgutladung aus den Häfen A nach den Häfen B werden alle Laderäume einschließlich der Kühlräume benutzt. Die in den einzelnen Räumen gestauten Mengen richten sich nach der Laderaumgröße. Es wird hier angenommen, daß alle Einzelmengen in einem bestimmten Verhältnis auf die einzelnen Räume verteilt werden. Das Verhältnis ist gegeben durch den Quotienten von Einzelladerauminhalt zu Gesamtladerauminhalt. Diese Ladungsaufteilung gilt sowohl für die Beladung in den Häfen der Gruppe A als auch für die Entladung in den Häfen der Gruppe B. Die möglichst gleichmäßige Stauung aller zu ladenden und zu löschenden Mengen in alle Räume entspricht der Praxis (vgl. Rotermund/Koch 1962); es kann dann an allen Luken gleichzeitig gearbeitet werden. Von der beschriebenen Ladungsverteilung wird in der Praxis abgewichen, wenn sehr geringe Mengen ( $\lesssim 50$  Mp) zu laden sind. Da die hier betrachteten Mengen im Hafen mit dem geringsten Ladungsanfall zu 99,8 % über 200 Mpliegen, wird diese Ausnahme nicht weiter beachtet.

#### Hafengruppe B

Im Gegensatz zur normalen Stückgutladung, die sowohl in normalen als auch in Kühlräumen untergebracht werden kann, wird Kühlladung nur in den jeweils dafür vorgesehenen Räumen gefahren. Um den Energiebedarf für die Kühlung möglichst gering zu halten, wird die anfallende Kühlladung in so wenig wie möglich Kühlräume gestaut. Falls für die Unterbringung der Kühlladung mehr als ein Kühlraum erforderlich ist, wird auch diese Ladung gleichmäßig auf die jeweils erforderliche Anzahl der Kühlräume verteilt. Ein weiterer Vorteil dieser Vorgehensweise liegt darin, daß Kühlräume ohne Kühlladung für normales Stückgut zur Verfügung stehen. Die vorhandene normale Stückgutladung wird, wie bei der Hafengruppe A, gleichmäßig auf alle hierfür verfügbaren Räume verteilt.

#### 4. Bestimmung einzelner Eigenschaften

##### 4.1 Einleitung

Aus Alternativen und Umwelt ergeben sich eine Vielzahl von Eigenschaften. Diese werden hier in technische, ökonomische und betriebliche Eigenschaften unterteilt. Unter den betrieblichen Eigenschaften sollen dabei diejenigen Eigenschaften verstanden werden, durch die z.B. die Zuverlässigkeit beschrieben werden kann, mit der ein Schiff seinen Dienst versieht.

Für die Auswahl des optimalen Schiffes sind nur die relevanten Eigenschaften maßgeblich.

Bei einigen wichtigen Eigenschaften wird man sich mit der Feststellung begnügen, daß gewisse Mindestanforderungen eingehalten werden. Beispiele für solche Eigenschaften sind:

- Sinksicherheit und Stabilität
- Seeverhalten
- Festigkeit
- Vibrationen
- Sicherheit der Schiffsbetriebsanlagen

Für die weitere Untersuchung wird vorausgesetzt, daß alle Alternativen die an sie gestellten Mindestforderungen erfüllen und somit hinsichtlich dieser Eigenschaften als gleichwertig angesehen werden können.

Zur Bewertung herangezogen werden die folgenden Eigenschaften. Unter Punkt 3. handelt es sich um Eigenschaften durch die der Begriff "Zuverlässigkeit des Dienstes" zu erfassen versucht wird.

1. Technische Eigenschaften:

- 1.1 Eigengewicht, Tragfähigkeit, Verdrängung, Rauminhalt
- 1.2 Geschwindigkeit, Seezeit\*, Brennstoffverbräuche
- 1.3 Umschlagsleistung, Umschlagszeit\*
- 1.4 Reparaturzeit

2. Ökonomische Eigenschaften:

- 2.1 Frachteinnahmen
- 2.2 Kosten
- 2.3 Jährlicher Gewinn, Kapitalwert

3. Betriebliche Eigenschaften:

- 3.1 Verspätung, mit der ein Schiff einen Hafen verläßt
- 3.2 Nichtanlaufen eines Hafens bedingt durch die Notwendigkeit, Verspätungen wieder aufzuholen
- 3.3 Zurücklassen von Ladung wegen nicht ausreichender Kapazität des Schiffes und/oder wegen Nichtanlaufen eines Hafens.

Zur Berechnung der Eigenschaften aus den Daten der Alternativen und den Variablen, durch die die Umwelt beschrieben wird, müssen geeignete Rechenmodelle und -verfahren eingeführt werden. Herkömmliche Verfahren und Modelle reichen dazu oft nicht aus, da sowohl determinierte als auch stochastische Variable bzw. Gesetzmäßigkeiten auftreten.

Wenn das Modell die Wirklichkeit ausreichend gut durch eine determinierte Beziehung zwischen Eingangsgrößen und Ergebnissen darstellt, ergeben sich für den Fall, daß die Variablen, durch die die Umwelt beschrieben wird und die Daten für die Alternativen determinierte Größen sind, auch determinierte Eigenschaften. Im Fall einer durch stochastische Variable beschriebenen Umwelt kann dann aus der Verteilung dieser Variable die Verteilung der Eigenschaften bestimmt werden.

\* Seezeit und Umschlagszeit können auch zu den betrieblichen Eigenschaften gerechnet werden. Wegen ihres engen Zusammenhangs mit Geschwindigkeit und Umschlagsleistung werden sie hier im Rahmen der technischen Eigenschaften abgehandelt.

Wegen ihrer Kompliziertheit lassen sich Zusammenhänge zwischen Eingangsgrößen\* und Ergebnissen\* häufig nicht determiniert angeben. Man ist dann auf Rechenmodelle angewiesen, mit denen man die wirklichen Verhältnisse näherungsweise zu erfassen versucht. Es kann sich dabei um mathematisch mehr oder weniger aufwendige Modelle handeln. Über sie ist manchmal nicht mehr bekannt, als daß sie brauchbare Anhaltswerte für die Eigenschaften liefern, wobei die aufwendigen Modelle in der Regel zu den treffenderen Ergebnissen führen. Oft wird man sich mit den weniger aufwendigen Modellen zufrieden geben, da ein größerer Aufwand im Hinblick auf das Ziel nicht gerechtfertigt ist.

Die mit Hilfe solcher Modelle berechneten Eigenschaften weichen deshalb in der Regel von denen ab, die sich in der Wirklichkeit einstellen. In einem solchen Fall kann man über das Ergebnis auch dann nur Wahrscheinlichkeitsaussagen machen, wenn die Eingangsgrößen in determinierter Form vorliegen.

Sind ausreichende Vergleichsmöglichkeiten vorhanden zwischen Ergebnissen, die auf das Rechenmodell zurückgehen und tatsächlichen Ergebnissen, lassen sich über den Streubereich für die Ergebnisse objektive Wahrscheinlichkeiten angeben. Fehlen solche Vergleichsmöglichkeiten, kann man über den Streubereich nur subjektive Aussagen machen.

Wenn aus verteilten Eingangsgrößen mit Hilfe solcher Modelle Verteilungen von Ergebnissen zu berechnen sind, so kommt man stets zu größeren Streuungen für das Ergebnis als bei Verwendung einer determinierten Beziehung.

Wie die Eigenschaften und ihre Verteilungen hier im einzelnen berechnet werden, bzw. wenn dies aufgrund mangelnder Informationen nicht möglich ist, wie sie in der Entscheidungsaufgabe berücksichtigt werden, wird im folgenden gezeigt.

\* Eingangsgrößen sind hier die Daten der Alternativen und die Variablen, durch die die Umwelt beschrieben wird; Ergebnisse sind Eigenschaften.

## 4.2 Technische Eigenschaften

### 4.2.1 Verdrängung, Tragfähigkeit und Eigengewicht

Erfahrungsgemäß lassen sich geometrische Größen beim Bau eines Schiffes relativ leicht einhalten, so daß es hinsichtlich dieser Größen kaum zu Abweichungen von den Entwurfsdaten kommt. Da die Verdrängung proportional einer geometrischen Größe ist, kann deshalb angenommen werden, daß die Verdrängung des Schiffes mit der im Entwurf ermittelten Verdrängung gut übereinstimmt.

Welche Tragfähigkeit sich schließlich für das Schiff ergibt, hängt vom Schiffsgewicht ab. Um die Unsicherheiten, die mit der Vorhersage des Schiffsgewichts verbunden sind, zu berücksichtigen, wird hier als Verteilung für das Schiffsgewicht eine Normalverteilung angenommen, deren Mittelwert gleich dem im Entwurf gefundenen Schiffsgewicht ist; als Streuung werden 0,5 % dieses Gewichts angesetzt. Nach Auskunft von Werften ist dies ein realistischer Wert. Das mittlere Schiffsgewicht ist in Tabelle 1 angegeben.

Für die Tragfähigkeit und Nutztragfähigkeit ergeben sich damit ebenfalls Verteilungen, deren Streuungen gleich der Streuung des Eigengewichts sind.

Für die Brutto- und Nettorauminhalte sowie für die Laderauminhalte können determinierte Werte angesetzt werden, da die Abmessungen des gebauten Schiffes mit den entsprechenden Entwurfsdaten meist gut übereinstimmen.

#### 4.2.2 Geschwindigkeit und Leistung, Seezeit, Brennstoffverbräuche

##### 4.2.2.1 Geschwindigkeit und Leistung in einem Seeabschnitt

Die Geschwindigkeit eines Schiffes ist nicht determiniert. Sie kann aus mehreren Gründen von den in der Entwurfsrechnung ermittelten Geschwindigkeiten abweichen. Diese Abweichungen beruhen einerseits auf Unzulänglichkeiten der Berechnungsmethoden und andererseits hängt die tatsächliche Geschwindigkeit von einer Reihe sich ändernder Größen ab. Im weiteren soll hier zwischen drei verschiedenen Geschwindigkeits- und Leistungsänderungen im Betrieb des Schiffes unterschieden werden.

- Geschwindigkeits- und Leistungsänderungen infolge gegenüber dem Entwurf abweichender Schraubenbelastung.
- Verringerung der Geschwindigkeit im Seegang zur Vermeidung von starken Bewegungen.
- Verringerung der Geschwindigkeit bei Nebel.

##### Änderungen der Schraubenbelastung

Im Betrieb des Schiffes ergeben sich infolge von Änderungen des Schiffswiderstandes auch Änderungen der Schraubenbelastung. Die hier berücksichtigten Ursachen für Widerstandsänderungen sind im folgenden angegeben:

- Abweichungen der Verdrängung infolge verschiedener Beladungszustände von der im Entwurf zugrundegelegten Verdrängung
- Zunahme des Widerstandes infolge Bewuchs
- Zunahme des Widerstandes im Seegang

Bekanntlich können auch die Prognosen über

- Widerstand
- Nachstrom
- Sog

von den tatsächlich auftretenden Werten abweichen und so zu einer anderen als der im Entwurf ermittelten Schraubenbelastung führen.

Die Änderung der aufgeführten Größen läßt sich als Änderung des bei der Propellerauswahl bereits eingeführten Schubbelastungsgrades  $c_S$  darstellen. Diese Darstellung wurde hier gewählt, um die Auswirkungen auf die Geschwindigkeit und Leistung zu erfassen.

Die Veränderung des Schubbelastungsgrades wird wie folgt ausgedrückt:

$$c_S = c_{S0} \cdot c_{c_B} \cdot c_{c_{\Delta}} \cdot c_{c_{WS}} \cdot c_{c_{Pr}}$$

Darin ist

$c_{S0}$  der Schubbelastungsgrad des Propellers unter Entwurfsbedingungen.

Durch die Koeffizienten

$c_{c_B}$ ,  $c_{c_{\Delta}}$ ,  $c_{c_{WS}}$ ,  $c_{c_{Pr}}$  werden die im Betrieb tatsächlich auftretenden Abweichungen von dem in der Entwurfsrechnung gefundenen Schubbelastungsgrad berücksichtigt. Diese Koeffizienten werden dabei unabhängig voneinander angenommen.

Im folgenden wird auf diese Koeffizienten näher eingegangen.

Durch den Koeffizienten  $c_{c_B}$  wird die Widerstandsvergrößerung infolge Bewuchs berücksichtigt. Da über Zufälligkeiten im Zusammenhang mit der Widerstandserhöhung infolge Bewuchs nichts bekannt ist, wurde hier in Anlehnung an Aertssen folgende determinierte Beziehung eingeführt (vgl. Anhang ):

$$c_{c_B} = 1 + k_B \cdot \frac{d}{b + d}$$

Mit

$d$  = Anzahl der Tage, die seit der Indienststellung bzw. der letzten Dockung vergangen sind.

$b$  = 180 Tage

$k_B$  = ist für die hier untersuchten Schiffe in der nachstehenden Tabelle angegeben.

Schiff	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$k_B$	0,108	0,114	0,122	0,126	0,126	0,130	0,119	0,123

Die Veränderlichkeit dieses Koeffizienten ergibt sich aus der bei jeder Reise unterschiedlichen Zeit nach der Dockung.

$cc_{\Delta}$  ist der Koeffizient, durch den die Widerstandsänderungen erfaßt werden, die sich aus dem zufälligen Beladungszustand des Schiffes ergeben. Für die Abschätzung des Widerstandes eines nicht voll abgeladenen Schiffes wird davon ausgegangen, daß er proportional der benetzten Oberfläche ist und daß diese proportional der dritten Wurzel aus dem Quadrat der Verdrängung ist. Damit ergibt sich der Koeffizient zu :

$$cc_{\Delta} = \sqrt[3]{(\Delta / \Delta_0)^2} \quad *$$

Hierin ist

$\Delta_0$  = Verdrängung des voll abgeladenen Schiffes

$\Delta$  = Verdrängung des Schiffes

Wegen der Zufälligkeit des Beladungszustandes ist auch der Koeffizient  $cc_{\Delta}$  eine zufällige Variable.

Durch den Koeffizienten  $cc_{WS}$  wird der Widerstandserhöhung im Seegang Rechnung getragen. Da sich das Seegangsspektrum, daß der Berechnung der Widerstandserhöhung zugrunde gelegt wurde, auf die Windstärke zurückführen läßt, wird  $cc_{WS}$  hier als Funktion der Windstärke angegeben. Auf der Grundlage der im Anhang mitgeteilten Ergebnisse, die z.T. aus der Arbeit von Andersson stammen, werden folgende Beziehungen als Näherung eingeführt:

$$cc_{WS} = 1 \quad \text{für } WS \leq WS_R$$

$$cc_{WS} = 1 + k_{WS} \cdot (WS - WS_R) \quad \text{für } WS > WS_R$$

\* Es wird angenommen, daß der Beladungszustand keinen Einfluß auf Nachstrom, Sog und Gütegrad der Anordnung hat.

Mit

- WS = Windstärke
- $WS_R$  = diejenige, von der Schiffsgröße abhängige Windstärke, bis zu der ein Widerstandszuwachs nicht berücksichtigt wird, da er praktisch unbedeutend ist.
- $k_{WS}$  = von der Schiffsgröße abhängige Konstante (vgl. Anhang)

Für die hier untersuchten Schiffe sind  $WS_R$  und  $k_{WS}$  in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Schiff	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$WS_R$	4.61	4.69	4.77	4.87	4.86	4.94	4.74	4.82
$k_{WS}$	0.115	0.125	0.136	0.145	0.143	0.152	0.131	0.139

Da die Windstärke WS dem Zufall unterliegt, ist auch der Koeffizient  $cc_{WS}$  eine zufällige Variable.

$cc_{Pr}$  ist der Koeffizient, durch den Abweichungen von den im Entwurf ermittelten Schubbelastungsgrad  $c_{SO}$  erfaßt werden, die auf Unzulänglichkeiten der Berechnungsmethoden zur Bestimmung von Probefahrtgeschwindigkeit und -leistung beruhen. Die Prognosen über Widerstand, Nachstrom und Sog sind mit einem zufälligen Fehler behaftet. Um den daraus folgenden Unsicherheiten für die Probefahrtgeschwindigkeit und -leistung Rechnung zu tragen, werden für diese Größen Verteilungen angesetzt.

Als Verteilungsgesetz für den tatsächlichen Widerstandsbeiwert unter Probefahrtbedingungen bezogen auf den Widerstandsbeiwert unter Entwurfsbedingungen wird eine Normalverteilung verwendet:

$$f(c_{TPr}/c_{T00}) = N(1; 0.03)$$

$c_{T00}$  = Widerstandsbeiwert, mit dem die Entwurfsrechnung durchgeführt wurde.

$c_{TPr}$  = tatsächlicher Widerstandsbeiwert unter Probefahrtbedingungen.

Für die Verteilung von Sog  $t$  und Nachstrom  $w$  wird von folgendem Gesetz ausgegangen:

$$f(t, w) = f(t) \cdot f(w|t)$$

wobei für  $f(t)$  und die bedingte Verteilung  $f(w|t)$  Normalverteilungen angesetzt werden.

$$f(t) = N(t_0; 0,02)$$

$$f(w|t) = N(\bar{w} = 1,66 \cdot t; 0,01)$$

$$t_0 = 0,1625$$

$$w_0 = 1,66 \cdot t_0 = 0,27$$

sind die im Entwurf angenommenen Werte für Sog und Nachstrom.

Die Annahmen über die Verteilungsgesetze für den Widerstandsbeiwert und für Nachstrom und Sog beruhen auf den Angaben von Chirila (1967). Die Korrelation von Nachstrom und Sog wird in Anlehnung an Schoenherr (70)\* durch die Beziehung  $\bar{w} = 1,66 \cdot t$  berücksichtigt.

Mit den zufälligen Werten für den Widerstandsbeiwert, Nachstrom und Sog ergibt sich für den zufälligen Koeffizienten  $cc_{Pr}$ :

$$cc_{Pr} = \frac{c_{TPr}/c_{TOO}}{\left[ \frac{(1-t)}{(1-t_0)} \right] \cdot \left[ \frac{(1-w)}{(1-w_0)} \right]^2}$$

Mit den eingeführten Koeffizienten lassen sich nun einige Schubbelastungsgrade angeben, die für die weitere Rechnung von besonderem Interesse sind:

$$c_{SPr} = c_{SO} \cdot cc_{Pr} ; \text{ dies ist der Schubbelastungsgrad bei der Probefahrt (glatte Außenhaut, glattes Wasser, Schiff voll abgeladen) unter Berücksichtigung der zufälligen Werte für Widerstand, Nachstrom und Sog.}$$

\* Die Ziffer in der Klammer bezieht sich auf das Schrifttum

$c_{SG1} = c_{Spr} \cdot c_{cB} \cdot c_{c\Delta}$  ; dies ist der Schubbelastungsgrad bei Fahrt in glattem Wasser unter Berücksichtigung des Widerstandszuwachses infolge Bewuchs und abweichendem Beladungszustand.

$c_{SWS} = c_{SG1} \cdot c_{cWS}$  ; bei diesem Schubbelastungsgrad ist zusätzlich der Einfluß des Seegangs berücksichtigt.

Geschwindigkeits- und Leistungsänderungen bei Belastungsänderungen ohne Berücksichtigung der Leistungsbegrenzungen.

Für die Berechnung der Geschwindigkeit und Leistung bei den verschiedenen im Betrieb möglichen Schraubenbelastungen, -ausgedrückt durch entsprechende  $c_S$ -Werte-, wird von den Abhängigkeiten in Bild 9 Gebrauch gemacht. Um die Handhabung dieser Abhängigkeiten zu vereinfachen, werden sie zunächst durch einfache Formeln angenähert.

Als Näherung für die Geschwindigkeit für den hier in Frage kommenden Bereich der Schubbelastungsgrade zeigt sich folgende Formel als geeignet (vgl. Bild 11):

$$v = 1 / \sqrt{0.0012 + 0.00333 \cdot c_S} \quad [kn]$$

Diese Geschwindigkeit ist nur dann gleich der mit dem Schiff erreichbaren Geschwindigkeit, wenn die Drehzahl, unabhängig vom  $c_S$ -Wert, gleich der Nenndrehzahl  $n_0$  ist. Dies ist nur möglich, wenn keine Leistungsbegrenzung vorhanden ist.

Wegen der Zufälligkeit von  $c_S$  ist auch die Geschwindigkeit  $V$  eine zufällige Variable.

Zur einfacheren Beschreibung der Leistungen als Funktion des Schubbelastungsgrades wurden zunächst für verschiedene Propellerdurchmesser Verhältnismerte  $P/P_0$  mit  $P_0 = P (c_S = 0.56)$  ermittelt. Es zeigte sich, daß durch die Bildung dieses Verhältnismertes die Abhängigkeiten auf eine, näherungsweise für alle hier betrachteten Propeller ( Durchmesser von etwa 4,5 bis 5,5 m) gültige Abhängigkeit

zurückgeführt werden konnte. Als geeignete Näherung für die Abhängigkeit dieses Verhältniswertes von  $c_S$  wird die folgende Formel angenommen (vgl. Bild 12):

$$P/P_0 = V^2 \cdot (0.00025 + 0.00502 \cdot c_S) \quad *$$

Hierin bedeuten

- $V$  = Geschwindigkeit in kn bei  $n_0 = \text{const}$
- $P$  = Leistung an der Welle in PS, die bei der Geschwindigkeit  $V$  und der Drehzahl  $n_0$  von der Schraube aufgenommen wird.
- $P_0$  = Leistung an der Welle bei einem Schubbelastungsgrad von  $c_B = 0.56$  in PS
- $c_S$  = Schubbelastungsgrad des Propellers

$P$  ist infolge der Zufälligkeiten von  $c_S$  ebenfalls eine zufällige Variable. Außer durch den zufälligen  $c_S$ -Wert können Zufälligkeiten in der Leistung  $P$  auf Unsicherheiten zurückgeführt werden, mit dem der Gütegrad der Anordnung  $\xi_a$  behaftet ist. Um dies zu berücksichtigen wird für  $\xi_a$  eine Normalverteilung angesetzt

$$f(\xi_a) = N(1.0; 0.01)$$

Mit der Einführung der zufälligen Größe  $\xi_a$  erhält man dann für die Leistung  $P$ :

$$P = \frac{P_{00}}{\xi_a} \cdot V^2 (0.00025 + 0.00502 \cdot c_S) \quad [PS]$$

Hierin ist

- $P_{00}$  = Leistung an der Welle, die unter den im Entwurf angenommenen Bedingungen dem Schiff eine Geschwindigkeit von 18 kn verleiht.  
(= 95 % der in Tabelle 1 angegebenen Nennleistung)

Zufällige Schwankungen des Propellerwirkungsgrades werden hier nicht berücksichtigt.

\* Die Näherungen wurden durch "Probieren" gefunden; sie gelten nur für die hier betrachteten Propeller.

Solange die erforderliche Antriebsleistung  $P$  geringer ist als die verfügbare Nennleistung, können die angegebenen Formeln direkt zur Bestimmung der Schiffsgeschwindigkeit und der zugehörigen Leistung verwendet werden, da sich der Betriebspunkt des Propellers in diesem Fall aus dem Schnittpunkt der Propellerkennlinie mit der Geraden  $n_0 = \text{const}$  ergibt. (vgl. Bild 10, Betriebspunkte bei Propellerkennlinien im Bereich I ).

### Geschwindigkeit und Leistung bei Berücksichtigung der Leistungsbegrenzungen.

Im Betrieb des Schiffes sind auch Schraubenbelastungen denkbar, bei denen der Schnittpunkt der Propellerkennlinie mit der Geraden  $n_0 = \text{const}$  oberhalb der Leistung  $P_N$  liegt. (vgl. Bild 10, Propellerkennlinien im Bereich II ). In solchen Fällen reicht die installierte Leistung nicht aus, um bei der Nenndrehzahl  $n_0$  zu fahren. Der Betriebspunkt ergibt sich dann aus dem Schnittpunkt der Propellerkennlinie mit der Motorenkennlinie, die hier durch das konstant angenommene Drehmoment gegeben ist.

Zur Bestimmung dieses Schnittpunktes und damit der dazu gehörigen Schiffsgeschwindigkeit und Leistung wird nun angenommen, daß der Schub proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit ist und somit der Schubbelastungsgrad konstant bleibt. Inwieweit diese Annahme in dem hier betrachteten Geschwindigkeitsbereich berechtigt ist, zeigt Bild 13. In diesem Bild sind für ein 150 m Schiff die Näherungen gerechneten Werten gegenübergestellt. Die gerechneten Werte beruhen z.T. auf den Angaben von Andersson. Für Geschwindigkeit und Leistung ergeben sich mit dieser Annahme die folgenden Beziehungen für die Schiffsgeschwindigkeit und die zugehörige Leistung:

$$P_B = P_N \cdot \sqrt{P_N/P}$$

$$V_B = V \cdot P_B/P_N = V \cdot \sqrt[3]{P_B/P}$$

Hierin bedeuten:

- $V_B$  = Geschwindigkeit für den Betriebspunkt in kn
- $V$  = Geschwindigkeit ohne Leistungsbegrenzung in kn
- $P$  = Leistung ohne Leistungsbegrenzung in PS
- $P_N$  = Nennleistung des Motors (Wellenleistung) in PS
- $P_B$  = Leistung für den Betriebspunkt in PS

Die Verteilungen von Probefahrtgeschwindigkeit, Glattwassergeschwindigkeit und Geschwindigkeit im Seegang sowie die der zugehörigen Leistungen lassen sich nicht explizit angeben. Für ihre Ermittlung ist man deshalb auf Näherungsmethoden angewiesen, auf die später eingegangen wird.

Normalerweise werden Schiffe so gefahren, daß entweder die volle Drehzahl  $n_0$  erreicht wird oder das volle Drehmoment  $P_N/n_0$  abgegeben wird. Ausnahmen liegen vor, wenn z.B. starker Nebel oder starker Seegang herrscht, so daß, um Kollisionen oder Slamming und Überkommen von Wasser zu vermeiden, die Geschwindigkeit reduziert werden muß.

#### Verringerung der Geschwindigkeit in starkem Seegang

Die Bewegungen eines Schiffes können bei starkem Seegang unerwünschte Ausmaße annehmen und zu Schäden für das Schiff, die Besatzung und die Ladung führen. Von der Schiffsführung werden in solchen Fällen Maßnahmen zu Reduzierung der Bewegungen ergriffen. Hier soll nur die Maßnahme der Geschwindigkeitsreduzierung behandelt werden; die Möglichkeit der Kursänderung soll unbeachtet bleiben.

Die Gründe für eine Geschwindigkeitsreduzierung sind zu häufige Slamstöße, zu häufiges Austauchen der Schraube und starkes Überkommen von Wasser. Während für beladene Volldecker und Tanker das Überkommen von Wasser in erster Linie maßgeblich für eine Reduzierung der Geschwindigkeit ist, ist es bei Schutzdeckern das Slamming. Dies liegt bei diesen Schiffen an der großen Bughöhe gegenüber einem relativ kleinen Tiefgang. Das Austauchen der

Schraube spielt eine geringere Rolle.

Da es sich bei den hier untersuchten Schiffen um Schutzdecker handelt, ist für die Reduktion der Geschwindigkeit das Slamming maßgeblich. Als obere Grenze für die Häufigkeit des Auftretens von Slamming werden hier zwei Slamstöße auf 100 Stampf-schwingungen zugelassen. Die dazu gehörige Geschwindigkeit ist die höchstzulässige Geschwindigkeit im Hinblick auf Slamming. Diese Geschwindigkeit ist eine Funktion des Seegangs. Da dieser hier durch Windstärken gekennzeichnet worden ist, läßt sich diese Geschwindigkeit auch in Abhängigkeit von der Windstärke angeben.

In Anlehnung an die Untersuchungen von Aertssen wird diese Geschwindigkeit  $V_{S1}$  hier näherungsweise linear mit der Windstärke  $WS$  abnehmend angenommen (vgl. Anhang). Die Gültigkeit dieser Näherung wird dabei auf den Windstärkenbereich von etwa 4,5 Bft bis 9,5 Bft beschränkt. Es gilt:

$$V_{S1} = V_{oo} \cdot \frac{\Delta}{\Delta_o} \left[ 1 - \sqrt{\frac{\Delta}{\Delta_o}} \cdot \frac{WS}{WS_o} \right] \quad [kn]$$

Mit

$\Delta$  = Verdrängung

$\Delta_o$  = Verdrängung des voll abgeladenen Schiffes

$V_{oo}, WS_o$  = Konstanten, die von der Schiffsgröße abhängen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Werte für die Größen  $V_{oo}$  und  $WS_o$  für die hier behandelten Schiffe angegeben.

Schiff	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$V_{oo}$ [kn]	49.56	49.76	50.16	50.52	50.46	50.76	50.06	50.31
$WS_o$ [Bft]	10.91	10.98	11.05	11.14	11.12	11.19	11.03	11.09

Für die bei der Geschwindigkeit  $V_{S1}$  abgegebene Leistung ergibt sich

$$P_{S1} = P_{WS} \cdot (V_{S1}/V_{WS})^3 \quad [PS]$$

Hierin ist :

$V_{WS}$  - die ohne Leistungsbegrenzung in dem betrachteten Seegang erreichbare Geschwindigkeit in kn

$P_{WS}$  - die zugehörige Leistung in PS

Infolge der verteilten Windstärke sind auch  $V_{S1}$  und  $P_{S1}$  zufällige Größen. Die Verteilung dieser Geschwindigkeit ergibt sich aus einer linearen Transformation der Verteilung der Windstärken zu

$$f(V_{S1}) = \frac{V_{00}}{WS_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^3} \cdot f(WS) \quad [1/kn]$$

Mit einer weiteren Transformation erhält man daraus die Verteilung der Leistung zu

$$f(P_{S1}) = 3 \cdot \frac{P_{WS}}{V_{WS}^3} \cdot [V_{S1}(P_{S1})]^2 \cdot f(V_{S1}(P_{S1})) \quad [1/PS]$$

#### Verringerung der Geschwindigkeit bei Nebel

Bei Nebel wird im allgemeinen die Geschwindigkeit der Sichtweite angepaßt, um Kollisionen zu vermeiden. Die jeweils zulässige Höchstgeschwindigkeit hängt von der technischen Ausrüstung des Schiffes und der subjektiven Einstellung der Schiffsführung ab. Die bei Nebel gefahrene Geschwindigkeit ist deshalb eine subjektive Grenzgeschwindigkeit, die die Schiffsführung im Hinblick auf die Kollisionsgefahr gerade noch vertreten will. Hier wird, für alle Schiffe gleich, der Sichtweite SW die folgende zulässige Höchstgeschwindigkeit  $V_{SW}$  zugeordnet:

$$V_{SW} = 5.0 + 7,5 \cdot SW \quad [kn]$$

für  $0 \leq SW \leq 2.0$  km

Für die geringste Sichtweite, für die hier  $SW = 0$  steht, beträgt die zulässige Höchstgeschwindigkeit 5 kn, der Sichtweite von 2 km wurde eine Geschwindigkeit von 20 kn zugeordnet.

Mit der getroffenen Annahme, daß Nebel nur bei geringen Windstärken auftritt, die keinen Einfluß auf den Widerstand des Schiffes haben, erhält man für die abgegebene Leistung:

$$P_{SW} = P_{G10} \cdot (V_{SW}/V_{G10})^3 \quad [PS]$$

Hierin ist:

$V_{G10}$  = die ohne Leistungsbegrenzung erreichbare Geschwindigkeit in kn ( $c_s = c_{SG1}$ )

$P_{G10}$  = die zugehörige Leistung in PS

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Geschwindigkeiten  $5 \text{ kn} \leq V_{SW} \leq 20 \text{ kn}$  infolge Nebels ist gleich der von der Jahreszeit abhängigen Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Nebel.

Mit der oben stehenden Beziehung und mit der eingeführten Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Nebel erhält man für die Wahrscheinlichkeitsdichte der zulässigen Höchstgeschwindigkeit

$$f(V_{SW} | TJ) = \frac{0.05 + 0.04 \cdot \cos(2\pi \cdot TJ / 365)}{15} \quad [1/kn]$$

für  $5 \text{ kn} \leq V_{SW} \leq 20 \text{ kn}$

4.2.2.2 Mittlere Geschwindigkeit und Seezeit für einen Seeweg unter Berücksichtigung von sich ändernden Wetterbedingungen.

Zur Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit und Seezeit für einen bestimmten Seeweg sind zunächst die Geschwindigkeiten  $V_i$  und Seezeiten  $T_i$  für die einzelnen Seeabschnitte zu bestimmen, in die der Seeweg unterteilt ist. Für die Fahrt durch die Teilabschnitte wurde vorausgesetzt, daß sich die jeweils zufällig angetroffenen Wetterbedingungen nicht verändern.

Im Hinblick auf die in einem Seeabschnitt  $i$  zufällig herrschenden Wetterbedingungen ist zunächst zwischen 2 Fällen zu unterscheiden:

1. In dem betrachteten Seegebiet herrscht Nebel. Der Seegang ist so gering, daß die Geschwindigkeit dadurch nicht beeinflußt wird. Die zulässige Geschwindigkeit  $V_{SW}$  richtet sich nach der Nebelintensität.

Wenn diese Geschwindigkeit kleiner ist als die Glattwassergeschwindigkeit, gilt für diesen Seeabschnitt

$$V_i = V_{SW} \quad \text{und}$$

$$P_i = P_{SW}$$

Andernfalls ist die erreichbare Geschwindigkeit mit  $c_s = c_{SG1}$  gleich der Glattwassergeschwindigkeit

$$V_i = V_{G1} \quad \text{und die zugehörige Leistung ist}$$

$$P_i = P_{G1}$$

Je nach der Schraubenbelastung kann dabei der Betriebspunkt zum Bereich I oder II gehören. (vgl. Bild 10)

2. Es liegt keine Sichtbehinderung vor, die Geschwindigkeit wird durch Nebel nicht beeinträchtigt. Die zufällig herrschende Windstärke sei  $WS$ . Für die Ermittlung der dabei erreichbaren Geschwindigkeit sind wiederum 2 Fälle möglich:

2.1  $WS \leq WS_R$ , d.h., die zufällig angetroffene Windstärke ist kleiner als diejenige, von der an sich eine Widerstandserhöhung ergibt. Die in diesem Seeabschnitt mögliche Geschwindigkeit ist dann mit  $c_S = c_{SG1}$

$$\begin{aligned} V_i &= V_{G1} && \text{und} \\ P_i &= P_{G1} && \text{die zugehörige} \\ &&& \text{Leistung.} \end{aligned}$$

2.2  $WS > WS_R$  : Für die erreichbare Geschwindigkeit kann sowohl die durch den Widerstandszuwachs verminderte Geschwindigkeit maßgeblich sein, als auch diejenige, die zur Vermeidung von Slammingstößen gefahren werden muß. Da nicht von vornherein festliegt, welche von beiden die kleinere ist, müssen beide berechnet und verglichen werden. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

Unter der Voraussetzung, daß unbegrenzt Leistung zur Verfügung steht und die Drehzahl konstant bleibt, werden zunächst für den Schubbelastungsgrad  $c_S = c_{SWS}$  die Geschwindigkeit  $V$  und die zugehörige Leistung  $P$  mit Hilfe der angegebenen Näherung berechnet. Wenn  $P$  kleiner ist als die Leistung  $P_N$  des Motors an der Welle ist, ist  $V$  gleich derjenigen Geschwindigkeit  $V_{WS}$ , die das Schiff bei dem durch den herrschenden Seegang hervorgerufenen Widerstandszuwachs noch fahren kann. Die zugehörige Leistung ist dann  $P_{WS} = P \leq P_N$ .

Ist die Leistung  $P_N$  kleiner als  $P$ , liegt der Betriebspunkt auf der Motorenkennlinie (Drehmoment = konstant). Unter den getroffenen Voraussetzungen beträgt dann die Leistung  $P_{WS} = P_N \cdot \sqrt{P_N/P}$  und die sich dabei einstellende Geschwindigkeit ergibt sich zu :

$$V_{WS} = V \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{WS}}{P}}$$

Die im Seegang im Hinblick auf Slamming mögliche Geschwindigkeit ist

$$V_{SL}$$

Aufgrund eines Vergleiches mit der oben berechneten Geschwindigkeit  $V_{WS}$  ergibt sich die im Seegang im i.-ten Seeabschnitt mögliche Geschwindigkeit  $V_i$ .

2.2.1 Sie ist für den Fall  $V_{WS} \leq V_{SL}$  :

$$V_i = V_{WS}$$

die Leistung ist dabei:

$$P_i = P_{WS}.$$

2.2.2 Im Fall  $V_{WS} > V_{SL}$  ist die mögliche Geschwindigkeit

$$V_i = V_{SL} \quad \text{und die dazugehörige Leistung}$$
$$P_i = P_{WS} \cdot \left[ \frac{V_{SL}}{V_{WS}} \right]^3$$

Aus der Länge des Seeabschnittes und der aufgrund der Umweltbedingungen möglichen Geschwindigkeit erhält man die Zeit, in der dieser Seeabschnitt durchfahren werden kann zu

$$T1_i = \frac{\Delta S}{V_i}$$

Hierin sind:

$\Delta S$  die Länge des Seeabschnitts

$V_i$  die Geschwindigkeit im i.-ten Seeabschnitt.

Die gesamte Zeit, in der ein bestimmter Seeweg, der aus mehreren Seeabschnitten besteht, zurückgelegt werden kann, ist dann

$$T1_s = \sum_{i=1}^{n_s} T1_i \quad ; \quad n_s = \text{Anzahl der Seeabschnitte.}$$

Die mittlere Geschwindigkeit, die dabei unter Berücksichtigung der zufälligen Wetterbedingungen erreicht werden kann, ist

$$\bar{V} = \frac{S}{T1_s} \quad ; \quad S = \text{Länge des gesamten Seewegs}$$

$\bar{V}$  und  $T1_s$  sind infolge der zufälligen Umwelt und infolge der unzulänglichen Entwurfsmethoden verteilte Größen.

### Brennstoffverbräuche

Die verbrauchten Treibstoffmengen für die Hauptmotoren sind proportional der abgegebenen Leistung und der Fahrzeit. Für die auf See verbrauchten Treibstoffmengen erhält man:

$$BA = \sum_{i=1}^{n_s} BA_i = \sum_{i=1}^{n_s} P_i \cdot T1_i \cdot BAS$$

Hierin bedeuten:

$P_i$  = abgegebene Leistung im i-ten Seeabschnitt

$n_s$  = Anzahl Seeabschnitte

$T1_i$  = Fahrzeit im i.-ten Seeabschnitt

BAS = spezifischer Brennstoffverbrauch einschließlich Schmierölverbrauch (0.165 Kp/PS h), der für den gesamten Betriebsbereich des Motors konstant angenommen wird.

Die von den Hauptmotoren im Revier verbrauchten Treibstoffmengen ergeben sich zu:

$$BA = P_R \cdot T1_R \cdot BAS$$

mit  $P_R$  = in der Revierfahrt abgegebene Leistung

$T1_R$  = Revierzeit

Für die Ermittlung der Brennstoffverbräuche der Hilfsmotoren wird angenommen, daß sie während der Fahrzeit auf See und im Revier stets die volle Leistung abgeben. Die auf einer Rundreise von den Hilfsmotoren verbrauchten Brennstoffmengen ergeben sich dann zu:

$$BH = P_H \cdot T1_F \cdot BHS$$

BHS = spezifischer Brennstoffverbrauch  
(0.170 Kp/PS.h)

$P_H$  = Nennleistung der Hilfsmotoren

$T1_F$  = Fahrzeit pro Rundreise

Die Brennstoffverbräuche während der Hafentiegezeit werden nicht berücksichtigt, da sie sehr gering sind.

Die von den Kühlmaschinen verbrauchten Brennstoffmengen werden wie folgt berechnet:

$$BK = p_K \cdot V_K \cdot TK_R \cdot BHS$$

Darin ist:

$p_K$  = 0.07 = die pro  $m^3$  Kühlraum erforderliche Leistung in PS

$V_K$  = der Inhalt der für Kühlladung benutzten Räume

$TK_R$  = die Zeit vom Anlegen im Hafen B1 bis Ende des Löschvorgangs im Hafen A1.

Alle Brennstoffverbräuche sind wegen der verteilten Leistung und/oder der verteilten Seezeit ebenfalls zufällige Größen.

### 4.2.3 Umschlagsleistung und Umschlagszeiten

#### 4.2.3.1 Gesamtumschlagszeiten

Die Gesamtumschlagszeit setzt sich zusammen aus Rüstzeiten, Arbeitszeiten und Verlustzeiten.

#### Rüstzeiten

Die Rüstzeiten werden hier für alle Schiffe und Hüfen konstant angenommen. In Anlehnung an die Untersuchungen von Berg und Hebeler werden sie zu 3 h angesetzt. Diese Rüstzeiten umfassen das Klarmachen des Ladegeschirrs und der Umschlagshilfsmittel sowie das Öffnen der Luken vor dem Lade- bzw. Löschbeginn und das Seeklarmachen und Lukenschließen nach Abschluß der Umschlagsarbeiten. Ferner sollen hierin die Rüstarbeiten enthalten sein, die während des Lade- und Löschbetriebs erforderlich sind.

#### Arbeitszeiten und Verlustzeiten

Der eigentliche Umschlag setzt sich aus 3 verschiedenen Arbeitsvorgängen zusammen.

1. dem Zusammenstellen der Hieve
2. dem Transport der Hieve mit der Umschlagseinrichtung
3. dem Verstauen der Hieve im Schiff beim Laden bzw. dem Abtransport und Lagern der Hieve im Schuppen beim Löschen oder, wenn über Leichter gelöscht wird, dem erneuten Stauen der Hieve im Leichter.

Das An- bzw. Abschlagen der Hieve wird zu den Arbeiten an Land bzw. im Schiff gezählt.

Diese 3 Arbeitsvorgänge schließen aneinander an. Es bildet sich eine Arbeitskette mit 3 Gliedern. Die Leistungsfähigkeit einer solchen Arbeitskette wird bestimmt durch das langsamste Glied in dieser Kette. Trotz des Bestrebens, die Leistungsfähigkeit der 3 Glieder gleich groß zu machen, kommt es häufig zu Ungleichförmigkeiten. Nach den Studien von Hebeler und Berg ergibt sich, daß die Umschlagsleistung von jedem der drei Arbeitsvorgänge bestimmt werden kann. D.h. die Stelle der geringsten Leistung liegt

nicht fest, sondern sie kann bei allen Gliedern auftreten. Bei unterschiedlichen Leistungsfähigkeiten in den 3 Bereichen ergeben sich für die zwei Arbeitsbereiche mit der höheren Leistungsfähigkeit zwangsläufig Wartezeiten.

Die Leistung in den drei Arbeitsbereichen ist nicht konstant, sondern verteilt. Dies ergibt sich u.a. aus der unterschiedlichen Beschaffenheit einer Hieve hinsichtlich Gewicht, Volumen, Stoßempfindlichkeit und Sperrigkeit. Doch auch für Hieven gleicher Beschaffenheit kann nicht mit konstanten Leistungen in den drei Arbeitsgängen gerechnet werden.

Verschieden lange Arbeitszeiten können an Land z.B. durch unterschiedliche Anzahl von Arbeitskräften und deren unterschiedliche Leistungsfähigkeit sowie durch Unterschiede in den verwendeten Hilfsmitteln entstehen. Auch kann das Sortieren beim Löschen verschieden lange dauern.

Verschieden lange Kranspielzeiten können herrühren von der Beschaffenheit des Krans bzw. des Bordgeschirrs und den Fähigkeiten des Kranführers.

Im Laderaum hängt die Arbeitsleistung ab von der Anzahl der Arbeitskräfte, den Stauwegen und den Fähigkeiten der Stauer.

#### 4.2.3.2 Abschätzung der Verteilung der Leistungsfähigkeit in den einzelnen Arbeitsbereichen.

##### Die Leistungsfähigkeit des Bordgeschirrs bzw. der Krane

Im folgenden werden, aufbauend auf die von Berg und Hebeler gefundenen Ergebnisse über die Gewichte und Staukoeffizienten der Hieve und über die Umschlagsleistung für Landkrane und Bordgeschirre, die Verteilung der Umschlagsleistung dieser Geräte abgeschätzt.

Bei der Zusammenstellung der Hieve ist zweierlei zu beachten:

1. darf das Hievengewicht die Tragfähigkeit des Umschlagsgeschirrs nicht übersteigen
2. ist der Umfang (d.h. das Volumen) der Hieve zu begrenzen, um ein Auseinanderfallen während des Umschlags zu verhindern. Die Grenze für das Hievvolumen liegt nicht fest; sie wird von den Packern aufgrund der Beschaffenheit der Güter gefühlsmäßig festgesetzt.

In der Praxis bleiben die tatsächlichen Hievengewichte und Volumen meist weit unter diesen Grenzwerten. Ein Anhalt über die mittleren Hievengewichte und Volumen läßt sich aus den Angaben von Berg und Hebler ermitteln, die Hievengewichts- und Staukoeffizientenmessungen bei 3-t-Umschlagsgeschirren vorgenommen haben. Für die hier gegebene Volumenladung mit Staukoeffizienten zwischen etwa 1,5 und 2,3 m<sup>3</sup>/Mp ergeben sich Hievengewichte von etwa 1,03 ÷ 0,7 Mp.

Dazu gehören Hievvolumen, die im Mittel mit 1,55 m<sup>3</sup> bzw. 1,6 m<sup>3</sup> etwa gleich sind.

Aus den wenigen Daten für die Gewichtsladung ergibt sich als mittleres Hievengewicht 1,85 Mp.

Zur Abschätzung der Umschlagsleistung wird das ebenfalls von Berg und Hebler angegebene Umschlagsleistungsdiagramm für Landkräne und Bordgeschirr herangezogen, in dem über dem Hievengewicht die Umschlagsleistung aufgetragen ist. Das Diagramm gilt für Volumen- und Gewichtsladung. Für Volumenladung mit einem Staukoeffizienten von 2,3 m<sup>3</sup>/Mp und dem dazugehörigen mittl. Hievengewicht beträgt die mittlere Umschlagsleistung 14,7 Mp/h oder  $14,7 \cdot 2,3 = 33,8$  m<sup>3</sup>/h. Für Ladung mit einem Staukoeffizienten von 1,5 m<sup>3</sup>/Mp beträgt die mittlere Umschlagsleistung 21,4 Mp/h oder  $21,4 \cdot 1,5 = 32,1$  m<sup>3</sup>/h. D.h., die mittlere Umschlagsleistung, gemessen in m<sup>3</sup>/h, ist für Volumenladungen mit Staukoeffizienten von etwa 1,5 - 2,3 m<sup>3</sup>/Mp etwa gleich. Das Ergebnis läßt vermuten, daß die Umschlagsleistung für Volumenladung nahezu konstant und vom Hievengewicht unabhängig ist,

wenn man sie in  $\text{m}^3/\text{h}$  angibt. Um dies näher zu untersuchen, wurden die von Berg und Hebeler mitgeteilten Meßwerte über Hievengewichte und Staukoeffizienten im Hievengewichtsbereich von 0,2 Mp bis 1,25 Mp statistisch ausgewertet. Dazu wurden die Meßwerte in 4 Hievengewichtsklassen eingeteilt:

1. 0,2 Mp  $\leq$  HG  $\leq$  0,5 Mp
2. 0,5 Mp  $\leq$  HG  $\leq$  0,75 Mp
3. 0,75Mp  $\leq$  HG  $\leq$  1,0 Mp
4. 1,0 Mp  $\leq$  HG  $\leq$  1,25 Mp

und für jede Klasse das mittlere Volumen der Volumenladung bestimmt. In Bild 14 sind die Mittelwerte und die dazugehörigen 95 % - Vertrauensgrenze aufgetragen.

Mit den so gefundenen Mittelwerten für das Hievvolumen und den aus dem Umschlagsleistungsdiagramm entnommenen Werten über die mittlere Umschlagsleistung in (Mp/h), kommt man zu den in Bild 15 dargestellten Umschlagsleistungen in ( $\text{m}^3/\text{h}$ ). Danach ist es gerechtfertigt, mit einer mittleren Umschlagsleistung von  $35 \text{ m}^3/\text{h}$  für alle Volumenladung zu rechnen. Es wird hier angenommen, daß diese Umschlagsleistung näherungsweise auch für Kühlgut gilt.

Aus den angegebenen Daten ergibt sich für die Gewichtsladung ein mittleres Hievengewicht von etwa 1,85 Mp. Der zugehörige 95 % Konfidenzbereich beträgt  $\pm 0,523$  Mp. Damit erhält man aus dem Umschlagsleistungsdiagramm mittlere Umschlagsleistungen von etwa  $35,5 \text{ Mp/h}$  für den Mittelwert,  $27,3 \text{ Mp/h}$  für die untere Grenze und  $42 \text{ Mp/h}$  für die obere Grenze des Mittelwertes.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß man für Volumen- und Gewichtsladung mit dem gleichen Wert für die mittlere Umschlagsleistung rechnen kann, wenn man sie für Volumenladung in der Dimension  $\text{m}^3/\text{h}$  und für Gewichtsladung in  $\text{Mp/h}$  ansetzt. Mit der bereits eingeführten Bezeichnung "Frachttonne" (Frt) für eine Ladungseinheit, beträgt die mittlere Umschlagsleistung etwa  $35 \text{ Frt/h}$ .

Durch diesen Mittelwert wird nur die reine Arbeitszeit erfaßt. Um Verlustzeiten infolge Arbeitspausen zu berücksichtigen, wird dieser Wert um etwa 20 % vermindert. Damit erhält man als mittlere Umschlagsleistung etwa 28 Frt/h.

Aus den Angaben von Berg und Hebler lassen sich kaum Rückschlüsse auf die Streuung der Leistungsfähigkeit ziehen. Nimmt man an, daß die in den Umschlagsleistungsdiagrammen angegebenen Grenzen für die Leistung  $\pm$  der einfachen Streuung entsprechen, so kommt man für die Streuung zu etwa 7 Mp/h bzw.  $m^3/h$ . Diese Streuung wird hier zurückgeführt auf die unterschiedliche technische Ausstattung der Kräne bzw. der Umschlagsgeschirre und auf die unterschiedlichen Fähigkeiten der sie bedienenden Personen. Unter dieser Voraussetzung kann die Streuung der Umschlagsleistung unabhängig von der jeweils umzuschlagenden Menge angenommen werden.

Das genaue Verteilungsgesetz konnte nicht festgestellt werden; die hier getroffene Annahme einer Normalverteilung dürfte zumindest näherungsweise zutreffen.

#### Die Leistungsfähigkeit der Arbeiter im Laderaum und an Land bzw. in der Schute.

Nach Angaben von Hebler und Berg sind die Mittelwerte für die Umschlagsleistung in den 3 Arbeitsbereichen etwa gleich groß und eine dort angegebene Übersicht über beobachtete Wartezeiten zeigt, daß Wartezeiten in allen 3 Arbeitsbereichen etwa gleich häufig vorkommen. Da keine weiteren Angaben zur Verfügung stehen für die Leistungen im Raum, an Land bzw. in der Schute wird auch für diese Fälle die Verteilung der Umschlagsleistung für Kräne und Bordgeschirre verwendet. Diese Annahme erfüllt die Bedingung, daß die Wahrscheinlichkeit, maßgeblich für die Umschlagszeit zu sein, für alle 3 Bereiche gleich ist.

Die Streuung wird hier zurückgeführt auf unterschiedliche Fähigkeiten der Stauer oder jeweils unterschiedliche Anzahl der Arbeitskräfte; sie kann dann unabhängig von der jeweils umzuschlagenden Ladungsmenge angenommen werden.

Die Leistungsfähigkeit in den einzelnen Bereichen beim Einsatz von zwei Kränen bzw. Bordgeschirren an einer Luke.

Die mittlere Umschlagsleistung von zwei Gangs an einer Luke ist wegen der gegenseitigen Behinderung nicht doppelt so groß wie die Umschlagsleistung einer Gang. Um den Behinderungseffekt zu berücksichtigen, ist nach Berg und Hebeler die doppelte Umschlagsleistung um etwa 10 % zu verringern. Das gibt für diesen Fall einen Mittelwert von etwa 50 Frt/h. Unter Berücksichtigung der Streuung bei Einsatz von einer Gang wird hier mit einer Streuung von etwa 10 Frt/h gerechnet.

4.2.3.3 Die Umschlagsleistung an einer Luke als Funktion der Umschlagsleistung in den drei Arbeitsbereichen.

Für die Berechnung der Umschlagsleistung an einer Luke wird davon ausgegangen, daß die Leistungen in den verschiedenen Arbeitsbereichen voneinander unabhängig sind.

Die Verteilung der Umschlagsleistung  $f_u(l)$  an einer Luke entsteht aus den 3 voneinander unabhängigen Leistungsverteilungen für die beteiligten Arbeitsvorgänge. Für die geschlossene Darstellung von  $f_u(l)$  als Funktion von  $f_1(l_1)$ ,  $f_2(l_2)$  und  $f_3(l_3)$  wird zunächst die mehrdimensionale Wahrscheinlichkeitsdichte  $f_g(l_g) = f_1(l_1) \cdot f_2(l_2) \cdot f_3(l_3)$  ermittelt.

$l_g$  ist eine dreidimensionale Größe mit den Komponenten  $l_1, l_2, l_3$ .

Entsprechend den Voraussetzungen sind die Randverteilungen dieser Wahrscheinlichkeitsdichte die Leistungsverteilungen in den einzelnen Arbeitsbereichen. Die Wahrscheinlichkeit, daß keine Komponente der Größe  $l_g$  kleiner ist als eine beliebige Größe  $l$ , ist gleich der Wahrscheinlichkeit, daß kein Wert aus den 3 Einzelverteilungen kleiner als  $l$  wird.

Es gilt also:

$$\begin{aligned} W_u(l) = 1 - F_u(l) &= \iiint_G f(l_g) dl_g \\ &= \iiint_G f_1(l_1) f_2(l_2) f_3(l_3) \cdot dl_1 \cdot dl_2 \cdot dl_3 \end{aligned}$$

Das Gebiet  $G$  umfaßt dabei alle Werte  $l_1, l_2, l_3$ , die größer oder gleich  $l$  sind.

$F_u \{l_g \leq 1\}$  ist gleich einem Wert der Verteilungsfunktion für die Umschlagsleistung 1.

Für die Verteilungsdichte der Umschlagsleistung ergibt sich:

$$f_u(l) = \frac{d F_u(l)}{dl} = f_1(l) \cdot \int_1^{\infty} f_2(l_2) dl_2 \cdot \int_1^{\infty} f_3(l_3) dl_3 \\ + f_2(l) \cdot \int_1^{\infty} f_1(l_1) dl_1 \cdot \int_1^{\infty} f_3(l_3) dl_3 \\ + f_3(l) \cdot \int_1^{\infty} f_1(l_1) dl_1 \cdot \int_1^{\infty} f_2(l_2) dl_2$$

Mit der oben getroffenen Annahme  $f_1(l_1) = f_2(l_2) = f_3(l_3) = f_0(l_0)$  vereinfacht sich der Ausdruck zu:

$$f_u(l) = 3 \cdot f_0(l) \cdot \left[ \int_1^{\infty} f_0(l_0) \cdot dl_0 \right]^2$$

#### 4.2.3.4 Umschlagszeit

Die für den Umschlag erforderlichen Zeiten ergeben sich aus den an den einzelnen Luken umzuschlagenden Mengen und den zufälligen Umschlagsleistungen an jeder Luke. Maßgeblich für die erforderliche Umschlagszeit in einem Hafen ist diejenige Luke, für die sich die größte zufällige Umschlagszeit ergibt.

$$\text{Es gilt } TU = \text{Max} \left| m_j \cdot l_j \right| \quad j = 1 \dots n$$

Hierin ist  $m_j$  diejenige Ladungsmenge in (Frt), die an der j.-ten Luke umgeschlagen wird,  $l_j$  die zufällige Umschlagsleistung an dieser Luke und  $n$  die Anzahl der Luken.

Für die Berechnung der Umschlagszeit wird davon ausgegangen, daß stets genügend Gangs zur Verfügung stehen, so daß an jeder Luke 2 Gangs eingesetzt werden können. Für Laden und Löschen werden die gleichen Verteilungen der Umschlagsleistung angesetzt.

#### 4.2.4 Reparaturzeit

Aufgrund von Angaben von Reedereien wird für die Zeit, die für die Behebung der während einer Rundreise zufällig auftretenden Schäden erforderlich ist, eine einseitige abgestumpfte Normalverteilung angesetzt:

$$f(\text{TRP}) = \frac{1}{36\sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ - \frac{\text{TRP}^2}{10368} \right] \quad \text{für TRP} \geq 0$$

Hierin bedeutet:

TRP die zufällige, für die Reparatur erforderliche Zeit in Stunden;  
die Streuung der nicht abgestumpften Normalverteilung beträgt hierbei 72 h.

Damit ergibt sich, daß 32 % aller zufälligen Reparaturen länger dauern als 72 h; etwa 10 % dauern länger als 96 h und 4,5 % länger als 144 h. Die mittlere Reparaturzeit beträgt etwa 56 h.

Für die weitere Rechnung wird vereinfachend angenommen, daß diese Reparaturen ausschließlich im Hafen A1 durchgeführt werden.

#### 4.2.5 Zeiten für Schleppen und Anlegen und Revierzeiten.

Zeiten für Schleppen und Anlegen bzw. Ablegen und Schleppen werden in allen Häfen mit jeweils 1,5 h determiniert angenommen.

Die Revierzeiten ergeben sich aus der Revierweglänge und den in den Revieren zulässigen Geschwindigkeiten.

Mit den determiniert angenommenen Geschwindigkeiten im Revier erhält man vor den einzelnen Häfen etwa folgende ebenfalls determinierten Revierzeiten.

Hafen	A1	A2	A3	B3	B2	B1
Revierzeit h	9,2	8,8	2,5	0	4	4

### 4.3 Ökonomische Eigenschaften

#### 4.3.1 Frachteinnahmen

Die Frachteinnahmen ergeben sich aus den transportierten Ladungsmengen und den Frachtraten. Maßgeblich für die Einnahmen sind das Gewicht der Gewichtsladung, das Volumen der Volumenladung und das Volumen der Kühlladung.

Wenn GG, VV und KV die von einer Hafengruppe zur anderen transportierten Gewichts-, Volumen- und Kühlladungsmengen darstellen, ergeben sich für die einzelnen Ladungsarten folgende Frachteinnahmen:

$$EIG = GG \cdot RG$$

$$EIV = VV \cdot RV$$

$$EIK = KV \cdot RK$$

RG, RV, RK sind dabei die zugehörigen zufälligen Frachtraten. Damit und mit den zufälligen Ladungsmengen ergeben sich auch für die Einnahmen Verteilungen.

#### 4.3.2 Kosten

##### 1. Neubaukosten von Schiffen und Annuität

Die in dieser Arbeit angesetzten Baukosten für neue Schiffe  $K_n$  wurden nach J. Cruz (1957) bestimmt. Sie sind in Tabelle 2 angegeben.

##### 1.1 Berechnung der Annuität

Es wird angenommen, daß der Wert des Schiffes nach 15 Jahren bis auf einen Schrottwert von  $S_W = 0,025 K_n$  abgeschrieben ist. Der jährlich nachschüssig für Verzinsung und Tilgung fällige Betrag ist:

$$KA = \frac{K_n - S_W}{a_n} + S_W \cdot i$$

Dabei bedeutet  $a_n = \frac{1}{q} \cdot \frac{q^n - 1}{q - 1}$  mit  $q = 1 + i$

und  $i$  der jährliche Zinsfuß. Er wird mit  $i = 6\%$  angenommen.

$$\text{Mit } S_W = 0,025 K_n$$

$$a_n = 1/0,103$$

erhält man

$$KA = K_n \cdot 0,975 \cdot 0,0015 = K_n \cdot 0,1019$$

$KA$  sind fixe Kosten. Sie treten unabhängig davon auf, ob das Schiff fährt oder nicht und ob viel oder wenig Ladung befördert wird.

$KA$  ist in Tabelle 2 eingetragen.

## 2. Kosten für Instandhaltung und Reparatur

Nach Angaben verschiedener Reedereien belaufen sich die jährlichen Instandhaltungskosten auf etwa 1 bis 1,5 % der Neubaukosten. Diese meist pauschal angegebenen Kosten lassen sich in einen konstanten und in einen zufälligen Anteil aufteilen. Es wird hier angenommen, daß die Instandhaltungskosten konstant sind, da die Instandhaltung und Pflege des Schiffes meist nach einem vorher festgelegten Schema durchgeführt wird. Für diese Kosten werden hier jährlich 1 % der Neubaukosten angesetzt. Hierin sollen auch diejenigen Kosten enthalten sein, die auf die jährliche Dockung entfallen. Die Reparaturkosten werden proportional dem Neuwert des Schiffes und der ebenfalls zufälligen Reparaturzeit angenommen.

$$KRP = KRPS \cdot K_n \cdot TRP$$

Hierin bedeuten:

$$KRPS = \text{Spezifische Reparaturkosten } \frac{\text{DM}}{\text{DM h}}$$

$$TRP = \text{zufällige Reparaturzeit}$$

$$K_n = \text{Neubaukosten}$$

Ein plausibler Wert für die spezifischen Reparaturkosten wird wie folgt ermittelt:

Die mittlere Reparaturzeit beträgt etwa 56 h. Pro Jahr können etwa 6 Rundreisen durchgeführt werden. Unter der Annahme, daß die mittleren zufälligen Reparaturkosten etwa  $0,002 \cdot K_n$  im Jahre betragen, erhält man für die spezifischen Reparaturkosten

$$\text{KRPS} = 5,95 \frac{\text{DM}}{\text{DM} \cdot \text{h}}$$

In diesen spezifischen Kosten ist ein Überstundenanteil enthalten. Falls für die Reparatur mehr Zeit zur Verfügung steht, als für sie erforderlich ist, z.B. bei Verzögerungen im Umschlag oder weil fahrplanmäßig ausreichend Zeit vorhanden ist, ermäßigen sich die Reparaturkosten entsprechend. Dabei wurde davon ausgegangen, daß Überstunden 50 % höher vergütet werden als normale Arbeitszeit. Mit den jährlichen Kosten für die Arbeiten während der Dockzeit ergeben sich dann insgesamt für Instandhaltung und Reparatur im Mittel Kosten in Höhe von etwa 1,2 %  $K_n$ .

### 3. Besatzungskosten

Die Besatzungskosten sind abhängig von der Anzahl der Besatzungsmitglieder und deren Dienstgrad. Unter der Annahme, daß der Anteil der einzelnen Dienstgrade an der Besatzung der hier untersuchten Schiffe etwa gleich ist, sind die Besatzungskosten der Anzahl aller Besatzungsmitglieder proportional.

Die Anzahl der Besatzungsmitglieder der hier betrachteten Schiffe ist in Tabelle 1 angegeben.

Die mittleren jährlichen Kosten je Besatzungsmitglied werden hier zu 20.000,-- DM/Mann und Jahr angesetzt. Damit ergeben sich die in Tabelle 2 eingetragenen jährlichen Besatzungskosten KB. Die Besatzungskosten werden konstant angenommen.

4. Verwaltungskosten

Die Verwaltungskosten werden in der Praxis meist in Abhängigkeit von den jährlichen Kapitalkosten und den Besatzungskosten angegeben. Nach Reedereiangaben betragen die Verwaltungskosten etwa 8 % der Kosten nach 1 und 3 :  $KV = 0,08 (KA + KB)$ .

Sie werden konstant und unabhängig von der Menge der beförderten Fracht und dem Verhältnis von Hafenzeit zu Seezeit angenommen.

5. Versicherungskosten

Da die Versicherungsmöglichkeiten sehr vielfältig sind, lassen sich über sie nur sehr schwer genaue Angaben machen. Um sie größenordnungsmäßig zu erfassen, wird von einer von Bosse aufgestellten Formel für die jährlichen Versicherungskosten ausgegangen:

$$KVS = 120 + 8,3 \cdot \frac{K_n}{10^6} \cdot 365$$

Danach setzen sich die jährlichen Versicherungskosten aus einem konstanten Anteil und einem Anteil zusammen, der den Neubaukosten des Schiffes proportional ist.

6. Hafengeld

Das Hafengeld richtet sich nach dem Nettoraumgehalt eines Schiffes. Es wird unabhängig von der Dauer der Liegezeit einmalig erhoben. Der Nettoraumgehalt  $NR [m^3]$  ist für die hier untersuchten Schiffe in Tabelle 1 angegeben. Das spezifische Hafengeld in "Deutsches Schifffahrts- und Hafenjahrbuch" von 1968 ist für den Hamburger Hafen zu  $kHA=0,13 \text{ DM/NR}$  pro Hafenbenutzung angegeben. Die für jeden Hafenanlauf abzugebenden Hafengelder  $KHA1 = kHA \cdot NR$  sind für die verschiedenen Schiffe in Tabelle 2 eingetragen. Diese Kosten werden hier für alle Häfen gleich angesetzt.

## 7. Kaigebühren

### 7.1 Raumgeld

Das Raumgeld zählt zu den Kaigebühren. Es ist wie das Hafengeld nach dem Nettoraum der Schiffe bemessen; jedoch ist es proportional der Liegezeit. Im Hamburger Hafen beträgt das spezifische Raumgeld kRA nach "Deutsches Schifffahrts- und Hafenjahrbuch" für Schiffe mit

$$\begin{aligned} 0 \leq \text{NR} \quad [\text{m}^3] < 3000 & : 0,09 \text{ DM/NR} \cdot d \\ 3000 \leq \text{NR} \quad [\text{m}^3] < 6000 & : 0,10 \text{ DM/NR} \cdot d \\ 6000 < \text{NR} \quad [\text{m}^3] & : 0,11 \text{ DM/NR} \cdot d \end{aligned}$$

Für alle hier behandelten Schiffe beträgt demnach das spezifische Raumgeld 0,11 DM/NR · d. Die für einen Tag zu zahlenden Raumgelder KRG 11 sind in Tabelle 2 angegeben. In Anlehnung an die tatsächliche Raumgelderhebung wird hier für jede angefangene 24 h der volle Tagessatz berechnet. Es wird angenommen, daß dieser Tagessatz in allen Häfen gleich ist. Da die Hafenzeiten nicht konstant sind, ist auch das Raumgeld verteilt. Es wird für jeden Hafen berechnet nach der Formel

$$\text{KRG1} = \text{KRG11} \cdot \text{'ENTIER'} \left[ \frac{\text{DT}}{24,0} + 1 \right]$$

Hierin bedeutet 'ENTIER' [Z] in Anlehnung an die Programmiersprache "Algol" die Zahl, die sich ergibt, wenn man bei Z die Stellen nach dem Komma wegläßt. DT ist die Hafenziegezeit in h, die für jeden Hafenanlauf neu berechnet wird.

### 7.2 Gewichtsgeld

Das Gewichtsgeld KGG1 wird in jedem Hafen entsprechend dem Gewicht der umgeschlagenen Ladungsmenge erhoben. Das spezifische Gewichtsgeld kGG beträgt nach "Deutsches Schifffahrts- und Hafenjahrbuch" 3,-- DM/Mp im Hamburger Hafen; es ist für einkommende und ausgehende Ladung gleich. Der Einfachheit halber wird angenommen, daß es für alle Häfen gleich ist. Das Gewichtsgeld wird für jeden Hafen nach der Beziehung ermittelt:

$\text{KGG1} = \text{kGG} \cdot \text{DL}$ , mit DL = Gewicht der umgeschlagenen Ladungsmenge. Da DL nicht konstant ist, ergibt sich auch für das Gewichtsgeld eine Verteilung.

8. Umschlagskosten

Die Umschlagskosten KUM hängen im wesentlichen nur von der umgeschlagenen Ladungsmenge ab. Ihre Berechnung erfolgt wie die Frachteinnahmenberechnung nach Frachttonnen. D.h., wenn 1 Mp Ladung weniger als 1 m<sup>3</sup> Schiffsraum in Anspruch nimmt, werden die Umschlagskosten nach dem Gewicht berechnet, wenn 1 Mp mehr als 1 m<sup>3</sup> einnimmt, nach dem Volumen. Die spezifischen Umschlagskosten sind für Laden und Löschen verschieden. Sie betragen im Hamburger Hafen für Beladen KBS = 8,-- DM/Frt  
und für Löschen KES = 3,15 DM/Frt

Es wird angenommen, daß diese spezifischen Kosten auch für Kühlladung gelten und daß sie in allen Häfen gleich sind. Die Umschlagskosten während einer Rundreise lassen sich dann wie folgt berechnen:

$$KUM = (GG + VV + KV) \cdot (KBS + KES)$$

Darin sind GG, VV, KV die auf einer Rundreise umzuschlagenden Ladungsmengen.

Die Umschlagskosten sollten zwar unabhängig davon sein, ob tags oder nachts, werktags, sonntags oder feiertags geladen oder gelöscht wird. Die Praxis hat jedoch gezeigt, daß Mehrkosten entstehen, wenn außerhalb der normalen Arbeitszeit gearbeitet wird. Dann müssen auch Arbeitskräfte bezahlt werden, die mit dem eigentlichen Umschlag nichts zu tun haben (z.B. wartende Lastwagenfahrer). Um dies näherungsweise zu berücksichtigen, werden für die während der Überstunden umgeschlagenen Ladungsmengen zusätzlich 6,-- DM/frt angesetzt. Sonn- und Feiertage werden hierbei nicht erfaßt; ihr Einfluß auf die Kosten wird vernachlässigt. Die o.a. spezifischen zusätzlichen Umschlagskosten von KUS = 6,-- DM/Frt werden für alle Häfen gleich angenommen.

## 9. Kosten für Schlepper und Festmacher

Es wird hier für alle Schiffe davon ausgegangen, daß zum An- und Ablegen die Hilfe von 2 Schleppern erforderlich ist. Die Kosten für das Schleppen und Festmachen richten sich nach dem BRT-Gehalt der Schiffe. Die hierfür in Tabelle 2 angegebenen Kosten enthalten nur die Grundpreise für die Schlepper und einen Zuschlag für das Festmachen. Dieser Zuschlag wurde aus Mangel an genauen Daten auf 50 % der Schleppergrundpreise festgesetzt. Die Grundpreise für die Schlepper stammen aus [68]\*. Der Einfachheit halber werden die gleichen Kosten für Anlegen und Ablegen angenommen, und sie werden für alle Häfen gleich und konstant angesetzt.

## 10. Lotsenkosten

Es wird hier davon ausgegangen, daß nur in den Revieren vor den Häfen der Gruppe A Lotsenzwang besteht. Die Lostenkosten richten sich nach dem Bruttoreaumgehalt der Schiffe. Um die Rechnungen zu vereinfachen, wird angenommen, daß sie proportional der Revierweglänge sind. Als Grundlage für die Rechnungen dienen die Lotsengebühren für die Elbe. Mit den in [68]\* angegebenen Gebühren und der zugehörigen Revierweglänge von 75 sm ergeben sich damit die in Tabelle 2 eingetragenen spezifischen Lotsenkosten.

## 11. Betriebsstoffkosten

### 11.1 Hauptmaschine

Die Brennstoffkosten für die Hauptmaschine ergeben sich aus dem Brennstoffverbrauch und den spez. Brennstoffkosten. In europäischen Häfen kostet 1 Mp Brennstoff etwa  $kBA = 65,--$  DM/Mp. Der Preis für Additive ist hierin enthalten. Für Schmieröl müssen etwa  $kBS = 1.200,--$  DM/Mp bezahlt werden. Mit den in Abschn. 3 angegebenen spezifischen Verbräuchen lassen sich die Brennstoffkosten nach folgender Beziehung berechnen:

$$KBA = BA \cdot (kBA + 0,0047 \cdot kBS)$$

Darin ist BA die verbrauchte Menge Brennstoff.

\* Die Ziffern in der Klammer beziehen sich auf das Schrifttum

## 11.2 Hilfsmaschinen

Die spezifischen Brennstoffkosten für das von den Hilfsmaschinen verbrauchte Dieselöl beträgt etwa  $k_{BH} = 120,- \text{ DM/Mp}$ . Mit den verbrauchten Mengen  $BH$  ergeben sich die Dieselölkosten zu  $K_{BH} = BH \cdot k_{BH}$ .

### 4.3.3 Jährlicher Gewinn und Kapitalwert.

Der jährliche Gewinn ergibt sich aus den im Laufe eines Jahres mit dem Transport von Ladung erzielten Einnahmen und den im gleichen Zeitraum entstandenen Kosten. Da die Einnahmen und zahlreiche Kosten zufällige Größen sind, ist auch der jährliche Gewinn verteilt.

Der Kapitalwert ist die Summe aller diskontierten Geldwerte, die im Laufe des Lebens des Schiffes anfallen bzw. die Summe aller diskontierten jährlichen Gewinne. Für den Kapitalwert erhält man, wie für den jährlichen Gewinn, eine Verteilung. Die Verteilung des Kapitalwertes ergibt sich dabei nach Faltung der einzelnen Verteilungen der diskontierten, im Laufe des Lebens des Schiffes anfallenden jährlichen Gewinne.

## 4.4 Betriebliche Eigenschaften

### Verspätung, Nichtanlaufen eines Hafens und zurückgelassene Ladungsmengen.

Verspätungen ergeben sich aus dem Vergleich der tatsächlichen und fahrplanmäßigen Zeiten. Da die Fahr- und Liegezeiten eines Schiffes zufälligen Schwankungen unterworfen sind, kann es in jedem Hafen zu zufälligen Verspätungen kommen. Sie werden hier bei der Ankunft und bei der Abfahrt in jedem Hafen bestimmt. Mit diesen Verspätungen werden dann die jeweils für den Umschlag und für das Zurücklegen eines bestimmten Seeweges verfügbaren Zeiten ermittelt. Da Verspätungen so schnell wie möglich wieder aufgeholt werden sollen, sind diese Zeiten maßgeblich dafür, ob beim Umschlag Überstunden geleistet werden müssen bzw. mit welcher Geschwindigkeit gefahren wird.

Die Verspätungen beim Anlaufen der Häfen A1 und B2 werden darüber hinaus als Entscheidungsgrundlage dafür benutzt, ob die Häfen A2 bzw. B2 angelaufen werden oder nicht, um diese Verspätungen aufzuholen.

Außer beim Nichtanlauf eines Hafens werden Ladungsmengen zurückgelassen, wenn das Ladungsangebot die Kapazität des Schiffes übersteigt. In diesem Fall werden die mitgenommenen Mengen mit Hilfe eines Reduktionsfaktors ermittelt, so daß in jedem Hafen einer Gruppe jeweils die gleichen Prozentsätze der angebotenen Ladung zurückgelassen bzw. mitgenommen werden. Dabei wird davon ausgegangen, daß das Ladungsangebot in allen Häfen einer Gruppe bereits beim Anlaufen des Hafens A1 bzw. B1 bekannt ist, so daß schon zu diesem Zeitpunkt entschieden werden kann, ob und wieviel Ladungsmengen in den einzelnen Häfen zurückbleiben müssen bzw. wieviel mitgenommen werden können. Dieses Vorgehen stimmt mit der Realität besser überein, als wenn nur im jeweils zuletzt angelaufenen Hafen Ladung zurückgelassen würde.

Auf die in den Hafengruppen A und B jeweils möglichen Fälle der Überschreitung der Ladefähigkeit und die Berechnung der Reduktionsfaktoren wird im folgenden näher eingegangen:

#### Hafengruppe A

1. Die Tragfähigkeit ist kleiner als das Gewicht der angebotenen Ladung
2. Der Laderauminhalt ist kleiner als das Volumen der angebotenen Ladung
3. Tragfähigkeit und Laderauminhalt sind kleiner als das Gewicht bzw. das Volumen der angebotenen Ladung

Im Fall 1 ergibt sich der Reduktionsfaktor zu

$$FM = FMG = \frac{\text{Nutztragfähigkeit}}{\text{Gesamtgewicht der angebotenen Ladung}}$$

Im Fall 2 ist

$$FM = FMV = \frac{\text{Laderaumvolumen}}{\text{Gesamtvolumen der angebotenen Ladung}}$$

Im Fall 3 sind zunächst beide Faktoren FMG und FMV zu ermitteln. Der kleinere ist maßgeblich für die Ermittlung der mitgenommenen und zurückgelassenen Mengen.

$$\begin{array}{ll} FM = FMG & \text{für } FMG \leq FMV \\ FM = FMV & \text{für } FMG > FMV \end{array}$$

#### Hafengruppe B

1. Das Volumen der angebotenen Kühlladung übersteigt den Kühlladerauminhalt.
  - 1.1 Die verbleibende Kapazität des Schiffes reicht aus, die angebotene normale Stückgutladung unterzubringen.
  - 1.2 Das Gewicht der angebotenen normalen Stückgutladung plus dem Gewicht der reduzierten Kühlladung überschreiten die Tragfähigkeit des Schiffes.
  - 1.3 Das Volumen des angebotenen normalen Stückguts ist größer als der Inhalt der dafür vorgesehenen Räume.
  - 1.4 Tragfähigkeit und Laderaumvolumen reichen nicht aus, die angebotene normale Stückgutladung unterzubringen.
2. Das Volumen der angebotenen Kühlladung ist geringer als der Kühlladerauminhalt oder ihm gleich.
  - 2.1 Die für normales Stückgut verbleibende Ladefähigkeit reicht aus, diese unterzubringen.
  - 2.2 Die Tragfähigkeit ist geringer als das Gesamtgewicht der angebotenen normalen Stückgutladung und der Kühlladung.
  - 2.3 Das Volumen der für normales Stückgut verbleibenden Laderäume ist geringer als das Volumen der angebotenen normalen Stückgutladung.
  - 2.4 Die Ladefähigkeit reicht gewichts- und raummäßig nicht zur Unterbringung der angebotenen normalen Stückgutladung aus.

Im Fall 1 wird zunächst der Reduktionsfaktor für die angebotene Kühlladung bestimmt:

$$FK = \frac{\text{Volumen aller Kühlladeräume}}{\text{Volumen der angebotenen Kühlladung}}$$

Im Fall 1.1 braucht keine weitere Ladung zurückgelassen werden.

Im Fall 1.2 werden aus Tragfähigkeitsgründen keine weiteren Kühlladungsmengen zurückgelassen, sondern nur normales Stückgut. Der Reduktionsfaktor hierfür beträgt

$$FM = FMG = \frac{\text{Tragfähigkeit des Schiffes} - \text{Gewicht d. redu. Kühll.}}{\text{Gewicht der angebotenen normalen Stückgutladung}}$$

Im Fall 1.3 ergibt sich der Reduktionsfaktor für alle Mengen normalen Stückguts zu

$$FM = FMV = \frac{\text{Volumen d. f. normales Stückgut verfügbaren Räume}}{\text{Volumen der angebotenen normalen Stückgutladung}}$$

Im Fall 1.4 werden zunächst die beiden Faktoren FMG und FMV ermittelt. Der kleinere ist dann maßgeblich für die zurückgelassenen und mitgenommenen Mengen des angebotenen normalen Stückguts.

$$\begin{array}{ll} FM = FMG & \text{für } FMG \leq FMV \\ FM = FMV & \text{für } FMG > FMV \end{array}$$

Im Fall 2 wird die gesamte angebotene Kühlladung mitgenommen. Um möglichst wenig Kühlräume kühlen zu müssen und um weiteren Raum für normales Stückgut zur Verfügung zu haben, werden dabei so wenig Kühlräume wie möglich in Anspruch genommen.

In den Fällen 2.1 bis 2.4 werden die Reduktionsfaktoren für die normale Stückgutladung in der gleichen Weise berechnet wie in den Fällen 1.1 bis 1.4. Dabei ist zu berücksichtigen, daß in dem für normales Stückgut verfügbaren Raum Kühlräume enthalten sein können.

## 5. Präferenzen und Bewertungsmaß

### 5.1 Einleitung

Die Kenntnis der Eigenschaften der Schiffe allein reicht im allgemeinen nicht zur Auswahl des optimalen Schiffes aus. Hierfür gibt es zwei Gründe.

Erstens sind bei einer Entscheidung meistens mehrere, verschiedenartige Eigenschaften zu berücksichtigen, die sich bei den Alternativen oft in verschiedenen Richtungen (konfliktär) unterscheiden und

zweitens hat man es in der Praxis meistens mit verteilten Eigenschaften zu tun. Die Aufgabe des Entscheidenden besteht somit darin, sowohl Eigenschaftskombinationen jeweils verschiedener Alternativen als auch Unbestimmtheiten zu bewerten.

In beiden Fällen wird in der Regel auch heute noch nach "Gefühl und Erfahrung" entschieden, da es den Entscheidenden bisher oft an geeigneten Methoden mangelt, die Entscheidung auf einer rationalen Basis zu treffen. Erst seit kurzer Zeit zeichnet sich hier mit der Einbeziehung der Systemtechnik in die Ingenieurwissenschaften ein Wandel ab.

Je nachdem, in welcher Form die Eigenschaften vorliegen, kommt man zu verschiedenen Entscheidungssituationen. Unter der Voraussetzung, daß mit Sicherheit bekannt ist, welche Werte die Variablen annehmen, durch die die relevante Umwelt beschrieben wird und auch durch die verwendeten Rechenmethoden keine Unbestimmtheiten in das Ergebnis gebracht werden, ergeben sich determinierte Eigenschaften. In diesem Fall hat man es mit einer

Sicherheitssituation

zu tun. Eine

Risikosituation

liegt vor, wenn eine Entscheidung aufgrund von verteilten Eigenschaften zu treffen ist.

Neben dem Fall der Risikosituation gibt es noch den Fall der Unsicherheitssituation. Er liegt vor, wenn auch die Verteilungen unbekannt sind. In dieser Arbeit spielt er keine Rolle.

## 5.2 Nutzen

Um Eigenschaftskombinationen vergleichen zu können und damit eine Basis für die Beurteilung der Alternativen zu schaffen, muß ein gemeinsames Maß für die einzelnen Eigenschaften gefunden werden, das als Nutzen bezeichnet wird. Unter Nutzen ist dabei dasjenige zu verstehen, auf das es den Entscheidenden schließlich ankommt. In der Regel liefern alle Eigenschaften einen additiven Beitrag zum Nutzen einer Eigenschaftskombination; Ausnahmen lassen sich auf diesen Fall zurückführen, indem zwei oder mehrere Eigenschaften zu einer übergeordneten Eigenschaft zusammengefaßt werden, die additiv zum Nutzen beiträgt.

In vielen Fällen läßt sich der Nutzen monetär ausdrücken. Von dieser Möglichkeit soll auch hier Gebrauch gemacht werden. Allerdings muß auch in einem solchen Fall beachtet werden, daß zu verschiedenen Zeitpunkten anfallende Beträge nicht gleichwertig sind. Dieser Tatsache wird dadurch Rechnung getragen, daß alle monetären Werte in Form eines Geldflusses berücksichtigt werden.

Außer in einigen Sonderfällen ist es schwierig, eine Prioritätenordnung für verschiedene Alternativen aufgrund der jeweils zugehörigen Geldflußdiagramme herzustellen. Es werden deshalb Größen verwendet, die aus dem Geldfluß abgeleitet und jeweils für bestimmte Aspekte der Wirtschaftlichkeit kennzeichnend sind.

Die Beschränkung auf eine ökonomische Eigenschaft mag darin begründet sein, daß aus dem Geldfluß bis heute noch kein übergeordnetes Wirtschaftlichkeitskriterium abgeleitet worden ist, das alle Aspekte der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt.

Da es nicht Aufgabe dieser Arbeit ist, näher auf diese Fragen einzugehen, wird hier die Bewertung der Geldflußdiagramme der Alternativen aufgrund des für jeden Geldfluß leicht zu berechnenden Kapitalwerts vorgenommen. Diese Größe wurde gewählt, da nach Massé (1968) die Optimierung des Kapitalwerts einem "allgemeinen Wohl"

Rechnung trägt. Darüberhinaus ist bekannt, daß der Kapitalwert bei der Investitionsentscheidung von Reedern eine maßgebliche Rolle spielt.

Oben ist davon ausgegangen worden, daß sich alle Eigenschaften im Geld ausdrücken lassen. Einige Eigenschaften fallen als Geldbeträge an; schwierig ist die monetäre Bewertung von zunächst nicht in monetären Einheiten gegebenen, für die Wirtschaftlichkeit praktisch aber sehr wichtigen Eigenschaften, wie z.B. die Zuverlässigkeit des Liniendienstes.

Die Befrachter stellen den Versand ihrer Waren auf den Fahrplan ein und sie erwarten, daß dieser eingehalten wird. Unregelmäßigkeiten in den Abfahrten bzw. Ankünften wirken sich nachteilig im Ladungsangebot aus. Um solche Nachteile zu erfassen, werden hier in jedem Hafen fiktive Kosten angesetzt, wenn Verspätungen auftreten. Dabei erscheint es realistisch, diese Kosten nicht proportional der Verspätung auszusetzen, sondern ein Ansteigen mit dem Quadrat der Verspätung anzunehmen. Dadurch wird erreicht, daß kleinere Verspätungen, die auch die Befrachter bereit sind in Kauf zu nehmen, nicht zu stark bewertet werden. Für die hier durchgeführten Untersuchungen wird für die Verspätungskosten gesetzt:

$$KVSP = kVSP \cdot TVSP^2$$

$$TVSP = \text{Verspätung [h]}$$

$$kVSP = 10 \quad [\text{DM/h}^2]$$

Neben der Pünktlichkeit erwarten die Befrachter, daß die von ihnen angebotene Ladung mitgenommen wird. Durch das Zurückweisen von Ladung werden die Kunden verärgert und sie wandern möglicherweise zur Konkurrenz ab.

Auch das Zurücklassen der Ladung wird bewertet. Diese Kosten werden proportional der zurückgelassenen Menge und der <sup>mittleren</sup> Frachtrate angenommen. Für die drei Ladungsarten (Volumenladung, Gewichtsladung und Kühlladung) werden die fiktiven Kosten nach folgenden Beziehungen berechnet.

$$KZV = ZVV \cdot \overline{RV}$$

$$KZG = ZGG \cdot \overline{RG}$$

$$KZK = ZVK \cdot \overline{RK}$$

ZVV = Volumen der zurückgelassenen Volumenladung

ZVK = Volumen der zurückgelassenen Kühlladung

ZGG = Gewicht der zurückgelassenen Gewichtsladung

$\overline{RV}, \overline{RK}, \overline{RG}$  = mittlere Frachtraten der 3 Ladungsarten

Durch die Tatsache, daß das Schiff abweichend vom Fahrplan nicht in den Hafen einläuft, muß nicht nur Ladung zurückgelassen werden, sondern man muß auch damit rechnen, daß dadurch eine zusätzliche Verärgerung der Kunden eintritt. Um dies zu berücksichtigen, werden hierfür fiktive Kosten in Höhe von KAUS = 10.000,- DM angesetzt, wenn ein Hafen nicht angelaufen wird.

Der jährliche Gewinn unter Berücksichtigung der Zuverlässigkeit läßt sich nun wie folgt anschreiben:

$$GF = G - JKVSP + JKZV + JKZG + JKAUS$$

Hierin ist

G = jährlicher Gewinn

JKVSP = jährliche fiktive Kosten infolge  
Bewertung der Verspätung

JKZV

JKZG = jährliche fiktive Kosten infolge  
Bewertung des Zurücklassens von  
Ladung.

JKAUS = jährliche fiktive Kosten infolge  
Bewertung des Auslassens von Häfen.

\* Da in dem jährlichen Gewinn GF fiktive Kosten enthalten sind, handelt es sich bei GF um einen fiktiven jährlichen Gewinn.

Aus den N über der Lebenszeit eines Schiffes anfallenden jährlichen Gewinnen  $GF_i$  kann ein Kapitalwert unter Berücksichtigung der Zuverlässigkeit  $KWF$  bestimmt werden, der hier für die weitere Untersuchung gleich dem Nutzen  $u$  gesetzt wird.

$$u = KWF \cdot \sum_{i=1}^N GF_i \cdot PWF_i$$

Mit

$PWF_i$  = Abzinsungsfaktor für das i.-te Jahr nach der Indienststellung.

$GF_i$  = Gewinn unter Berücksichtigung der Zuverlässigkeit im i.-ten Jahr nach der Indienststellung.

### 5.3 Risiko-Nutzen

Im Fall, daß die Eigenschaften einer Alternativen verteilt sind, steht der Entscheidende vor der Aufgabe, meist mehrdimensionale Wahrscheinlichkeitsfelder zu bewerten. Wenn der Nutzen für die Eigenschaftskombinationen bekannt ist, läßt sich eine solche mehrdimensionale Verteilung auf die eindimensionale Verteilung des Nutzens zurückführen. Die Aufgabe des Entscheidenden besteht dann darin, eindimensionale Verteilungen zu vergleichen und zu bewerten.

Eine Möglichkeit, hier auf rationaler Basis eine Entscheidung herbeizuführen, besteht in der Einführung des Konzepts des Risiko-Nutzens. Für die Einführung dieses Konzepts findet man im Schrifttum zwei Begründungen:

1. Es kann als normatives Kriterium aufgefaßt werden, d.h., - daß es zwingend für rationales Verhalten ist -.
2. Aufgrund von Beobachtungen ist festgestellt worden, daß es ein Modell für das menschliche Verhalten in Risiko-Situationen darstellt.

Dieses Konzept geht auf Bernoulli zurück. Es besteht darin, daß in Risiko- bzw. Unsicherheitssituationen nicht der Nutzen die Basis der Entscheidung ist, sondern eine dem Nutzen zugeordnete Risikobewertungsfunktion  $U_B(u)$ , deren Erwartungswert der Entscheidende

zu optimieren versucht.  $U_B(u)$  wird auch mit Bernoulli-Nutzen oder Risiko-Nutzen bezeichnet.

Die Risikobewertungsfunktion ist ein Charakteristikum des Entscheidenden. Durch eine solche Funktion wird sein subjektives Verhalten in Risikosituationen ausgedrückt. Dieses Verhalten wird auch von denjenigen Umständen beeinflusst, die zum Zeitpunkt der Beurteilung herrschen. Da sich diese Umstände mit der Zeit ändern können, ist auch die Risikobewertungsfunktion eines Individuums keine unveränderliche Größe. Risikoaversion drückt sich aus durch den unterproportionalen Verlauf von  $U_B(u)$  (vgl. Bild 16 Kurve a). In einem solchen Fall wird ein möglicher Verlust, d.h. ein negativer Nutzen  $u$  stärker bewertet als ein gleich großer positiver Nutzen. Ein überproportionales Ansteigen der Risiko-Nutzenfunktion  $U_B(u)$  läßt auf Risikofreudigkeit des Entscheidenden schließen (Kurve b in Bild 16). Hier steigt der Risiko-Nutzen um so stärker, je größer der Nutzen  $u$  ist; Verluste werden weniger bewertet als Gewinne.

Fragen der Bestimmung der Risikobewertungsfunktion liegen ebenso wie eine kritische Auseinandersetzung mit diesem Konzept außerhalb des Rahmens dieser Arbeit. Es sei hier auf die Arbeit von Lorange (1971) hingewiesen, in der für norwegische Reeder ermittelte Risikobewertungsfunktionen gebracht werden. In dieser Arbeit wird beispielhaft die in Bild 17 dargestellte Risikobewertungsfunktion  $U_B(u)$  verwendet. Sie kann durch folgende Beziehung beschrieben werden:

$$U_B(u) = \frac{13.9}{10^7} \cdot \left[ 1.5 u - \frac{1}{10^7} u^2 \right] \quad \text{für } -\infty < u \leq 0$$
$$U_B(u) = 13.9 \cdot \left[ \sqrt{\frac{u}{10^7} + \frac{1}{9}} - \frac{1}{3} \right] \quad \text{für } 0 < u < \infty$$

Wie schon erwähnt wird die mathematische Erwartung der Risikobewertungsfunktion als Entscheidungskriterium verwendet.

Sie ergibt sich zu

$$E \left\{ U_B(u) \right\} = \int_{-\infty}^{+\infty} U_B(u) \cdot f_u(u) \cdot du$$

wobei  $f_u(u)$  die Verteilungsdichte des Nutzens  $u$  ist.

## 6. Berechnung der Verteilungen von Eigenschaften und Nutzen.

### 6.1 Monte - Carlo - Methode.

Die Berechnung der Verteilung des Nutzens und die Ermittlung der Verteilungen der Eigenschaften ist, abgesehen von Einzelfällen, in geschlossener Form nicht möglich. Sie erfolgt deshalb anhand eines Simulationsmodells.

Die Anwendung von Verfahren zur Simulation technischer und/oder wirtschaftlicher Vorgänge, bei denen der Zufall eine Rolle spielt, wird als Monte-Carlo-Methode bezeichnet.

Das Ziel der Simulation stochastischer Vorgänge besteht darin, grundsätzliche Erkenntnisse zu gewinnen, indem man aus der Gesamtheit aller möglichen Ergebnisse eine Stichprobe ermittelt und dann von der Stichprobe auf die Gesamtheit schließt.

Zur Berechnung eines Stichprobenwertes werden zunächst zufällige Zahlenwerte für alle im Modell berücksichtigten verteilten Eingangsgrößen gewählt. Aus diesen Eingangsdaten wird mit Hilfe von gegebenen Rechenvorschriften jeweils ein Zahlenwert für die Eigenschaften und den Nutzen ermittelt.

Ein wesentlicher Teil der Monte-Carlo-Technik besteht in der Zufallsauswahl der Eingangsgrößen. Dazu wird ein Zufallszahlengenerator benutzt. Solche Generatoren erzeugen zunächst gleichverteilte Zufallszahlen. Durch Transformationen können dann nach beliebigen vorgegebenen Gesetzen verteilte Größen ermittelt werden. Eine solche Transformation soll anhand von Bild 18 erläutert werden:

Ausgegangen wird von Zufallszahlen, die zwischen 0 und 1 gleichverteilt sind. Links im Bild ist eine solche Verteilung über der Variablen  $RU$  aufgetragen. Rechts ist die Verteilungsfunktion  $F(x)$  einer Größe  $x$  dargestellt, von der ein Wert realisiert werden soll. Diese Verteilungsfunktion, die entsprechend ihrer Definition nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann, ist die Transformationsfunktion für die Variable  $RU$  auf die Variable  $x$ . Aus einer realisierten Zufallszahl  $RU = RU_1$  erhält man eine nach  $F(x)$  verteilte Zufallsgröße  $x_1$ , indem man  $RU_1 = F(x_1)$  setzt und diese Gleichung nach  $x_1$  auflöst.

Einige Zufallszahlengeneratoren zur Erzeugung einiger nach häufig verwendeten Gesetzen verteilter Zufallszahlen sind von Martin (1968) beschrieben worden.

Da sich echte Zufallszahlen digital nicht erzeugen lassen, wird für praktische Rechnungen von Pseudo-Zufallszahlen ausgegangen. Im Gegensatz zu echten Zufallszahlen sind Pseudo-Zufallszahlen periodisch. Dies steht dem Begriff der Zufälligkeit grundsätzlich entgegen. Es ist jedoch gelungen, diese Periode so groß zu machen, daß Pseudo-Zufallszahlen für praktische Belange wie echte Zufallszahlen verwendet werden können. Pseudo-Zufallszahlen haben den Vorteil, daß sie reproduzierbar sind.

Einige Methoden zur Erzeugung von Pseudo-Zufallszahlen werden von Tocher (1963) mitgeteilt.

Nach der Ermittlung der Stichproben steht man vor der Aufgabe, Schätzungen für die Verteilungen der Eigenschaften sowie für deren Parameter zu berechnen. In den meisten Fällen handelt es sich bei den Parametern um Mittelwert und Streuung von Verteilungen. Wegen der begrenzten Anzahl der Stichprobenwerte kann man über die Verteilung und über die Parameter der Verteilung der Eigenschaften nur Wahrscheinlichkeitsaussagen machen. Wie gut sich die Verteilungsfunktion und die Parameter bestimmen lassen, hängt dabei von der Anzahl der Stichprobenwerte ab. Dieser Einfluß wird unter Abschnitt 9 näher untersucht.

## 6.2 Rechenmodelle zur Ermittlung von Stichproben für Eigenschaften und Nutzen.

Mit der in Abschnitt 4.1.1 angenommenen Verteilung werden zunächst ein zufälliger Wert für das

Schiffsgewicht

und mit zufällig gewählten Werten für Widerstand, Nachstrom, Sog und Gütegrad der Anordnung mit den Beziehungen in Abschnitt 4.1.2 zufällige Werte für  
Probefahrt-Geschwindigkeit und die dabei  
abgegebene Leistung berechnet.

Mit einem Schiff, das damit und mit den in Abschnitt 3 determiniert angenommenen Daten gekennzeichnet ist, werden danach Rundreisen simuliert. Im Verlauf der Rundreise trifft das Schiff auf eine Umwelt, für deren Größen zufällige Werte ausgewählt werden. Welche Vorgänge und Ereignisse in den Häfen, im Revier und auf See im einzelnen berücksichtigt werden, ist im folgenden angegeben. Die Berechnung der Eigenschaften und des Nutzens geschieht dabei in der in Abschn. 4 u.5 angegebenen Weise. Ein Blockdiagramm zum Berechnungsablauf ist in Bild 19 dargestellt. Durch die Blöcke sind zugleich Unterprogramme des aufgestellten Rechenprogramms gekennzeichnet.

### Vorgänge und Ereignisse im Hafen A1 (erste Rundreise)

Die erste Rundreise beginnt zu einem zufälligen Zeitpunkt mit dem Verholen des Schiffes zum Ladeplatz. Dabei wird die Hilfe von zwei Schleppern in Anspruch genommen. Nach dem Festmachen werden die Vorbereitungen zur Ladungsübernahme getroffen (Öffnen der Luken, Klar machen des Ladegeschrirs).

Das Schiff trifft hier auf ein zufälliges Ladungsangebot. Wie vorausgesetzt, liegt zu diesem Zeitpunkt das Ladungsangebot aus allen Häfen der Gruppe A vor. Durch einen Vergleich der Menge der insgesamt angebotenen Ladung mit der Kapazität des Schiffes wird festgestellt, ob und wieviel Ladung nicht mitgenommen werden kann.

Bei der Ermittlung der verfügbaren Nutztragfähigkeit des Schiffes wird nicht berücksichtigt, daß diese bis zum Anlaufen des Hafens A3 um die bis dahin verbrauchten Brennstoffmengen größer wird. Diese Annahme ist gerechtfertigt, da die Häfen der Gruppe A nahe beieinander liegen.

Bei der Berechnung der Umschlagszeit\*\* wird wie folgt vorgegangen:

Beim Anlaufen des Hafens wird festgestellt, welche Ladungsmengen an den einzelnen Luken umzuschlagen sind und wieviel Zeit für den Umschlag zur Verfügung steht. Für die Berechnung der verfügbaren Umschlagszeit wird angenommen, daß das Schiff den Hafen fahrplanmäßig verläßt.

Mit einer zufällig ausgewählten tatsächlichen Umschlagsleistung an jeder Luke wird nun die für jede Luke erforderliche Umschlagszeit ermittelt. Diese Zeiten sind Arbeitszeiten, in denen Arbeitspausen und andere Verluste berücksichtigt sind. Die so für jede Luke gefundenen erforderlichen Umschlagszeiten werden mit der im Hafen verfügbaren Zeit verglichen. Dabei sind drei verschiedene Fälle möglich:

- Die erforderlichen Zeiten sind an jeder Luke geringer als  $\frac{2}{3}$ \* der verfügbaren Zeit. Daraus ergibt sich, daß der Fahrplan eingehalten werden kann und daß die Ladung umgeschlagen werden kann, ohne daß Überstunden erforderlich werden. Wegen der Forderung, daß der Fahrplan so gut wie möglich einzuhalten ist, kommt eine vorzeitige Abfahrt jedoch nicht in Frage.
- Alle der an den einzelnen Luken erforderlichen Umschlagszeiten sind kleiner als die verfügbare Zeit; jedoch sind alle oder einige größer als  $\frac{2}{3}$  dieser Zeit. Für jede Luke wird nun ermittelt, um wieviel Arbeitsstunden die erforderliche Zeit über  $\frac{2}{3}$  der ver-

\* Um zu berücksichtigen, daß ein Arbeitstag aus zwei normalen Arbeitsschichten und einer Überstundenschicht besteht, werden  $\frac{1}{3}$  der laufenden Zeit als Überstunden gerechnet. Sonn- und Feiertage werden nicht berücksichtigt.

\*\* Solche Berechnungen werden für den Umschlag in allen Häfen durchgeführt.

fügbaren Zeit liegt. Diese Arbeitsstunden werden als Überstunden angesehen, und für sie werden zusätzliche Kosten angesetzt.

Der Fahrplan kann in diesem Fall nur durch das Einlegen von Überstunden eingehalten werden.

- Alle oder einige der an den einzelnen Luken erforderlichen Umschlagszeiten sind größer als die verfügbare Zeit. Daraus folgt, daß das Schiff den Hafen nicht fahrplanmäßig verlassen kann, auch wenn Überstunden angesetzt werden. Die Liegezeit des Schiffes richtet sich nun nach der Luke mit der größten erforderlichen Umschlagszeit. Es wird vorausgesetzt, daß an dieser Luke ununterbrochen gearbeitet wird. Ununterbrochene Arbeitsstunden bestehen entsprechend der vereinbarten Näherung zu  $1/3$  aus Überstunden und zu  $2/3$  aus normaler Arbeitszeit.

Die an den übrigen Luken erforderlichen Zeiten werden nunmehr mit der erforderlichen Zeit an der "langsamsten Luke" verglichen. Man kommt bezüglich der insgesamt abzuleistenden Überstunden auf Fälle, wie sie bereits beschrieben worden sind mit der Abwandlung, daß für die verfügbare Zeit die für die langsamste Luke erforderliche Umschlagszeit zu setzen ist.

Nach Abschluß des Beladungsvorganges einschließlich des Schließens der Luken und des Seeklarmachens des Ladegeschirrs legt das Schiff mit Schlepperhilfe ab und verläßt den Hafen A1.

Durch einen Vergleich der im Hafen A1 insgesamt verbrachten Zeiten mit der fahrplanmäßig vorgesehenen Zeit wird nun festgestellt, ob der Fahrplan eingehalten worden ist bzw. welche Verspätung sich ergeben hat.

Die zu diesem Zeitpunkt vorhandene Verdrängung wird durch eine Gewichtsberechnung bestimmt. Im Hafen A1 wird dabei als Zuladung außer dem Gewicht der an Bord genommenen Ladung auch die übernommenen Vorräte berücksichtigt. Zu Beginn der ersten Rundreise werden in diesem Hafen volle Vorräte an Bord genommen; bei späteren Reisen werden nur die verbrauchten Vorräte ergänzt.

Danach erfolgt die Ermittlung einiger in der Zeit vom Rundreisebeginn bis zum Verlassen des Hafens entstandener Kosten. An dieser Stelle werden zunächst nur die folgenden nicht konstanten Kosten berechnet:

Betriebsstoffkosten  
Umschlagskosten  
Raumgeld  
Gewichtsgeld

Die Bestimmung weiterer Kosten z.B. derjenigen Kosten, die bei jedem Hafenanlauf in gleicher Höhe anfallen, erfolgt am Ende einer Rundreise und die festen Kosten (z.B. Kapitaldienst, Verwaltungskosten) werden erst am Ende eines Betriebsjahres bestimmt.

Außer diesen Kosten werden gegebenenfalls fiktive Kosten infolge Bewertung der Verspätung angesetzt.

Da ebenfalls schon bekannt ist, welche Ladungsmengen in den Häfen A1, A2 und A3 zurückgelassen werden können hier gegebenenfalls die

fiktiven Kosten infolge Bewertung des  
Zurücklassens von Ladung

für die Hafengruppe A berechnet werden.

Den Kosten stehen Einnahmen gegenüber, die sich aus dem Transport der Ladung ergeben. Die Höhe der Einnahmen richtet sich nach der Menge der beförderten Ladung und der Frachtrate, deren Höhe zufällig ist. Da im Hafen A1 schon feststeht, welche Ladungsmengen in den Häfen A2 und A3 übernommen werden, wird an dieser Stelle schon die Höhe der Einnahmen berechnet, die sich insgesamt aus dem Transport von Ladung aus der Hafengruppe A zur Hafengruppe B ergibt.

### Vorgänge und Ereignisse im Revier

Die Berechnungen hierzu beziehen sich ausschließlich auf die Revierzeit und auf die im Revier verbrauchten Brennstoffmengen.

Die für die Dienstleistung des Lotsen zu entrichtende Gebühr wird nach Abschluß der Rundreise berücksichtigt; Kosten für verbrauchte Brennstoffe fallen ebenfalls erst nach Beendigung der Rundreise an.

Die Revierzeit ist eine konstante Größe. Unter der getroffenen Voraussetzung, daß die im Revier zulässige Geschwindigkeit auch bei Nebel gefahren werden kann, ergibt sich, daß im Revier weder Verspätungen aufgeholt noch zusätzliche Verspätungen entstehen können. Die Verspätung, mit der das Schiff den Hafen verläßt, ist deshalb gleich der Verspätung, mit der das Schiff die offene See erreicht.

Zur Berechnung des verbrauchten Brennstoffes müssen die von den Haupt- und Hilfsmaschinen abgegebenen Leistungen bekannt sein. Für die Hilfsmaschinen wurde angenommen, daß außer während der Liegezeit im Hafen stets die volle Leistung abgegeben wird. Da Seegangseinflüsse im Revier keine Rolle spielen, hängt die von der Hauptmaschine abgegebene Leistung ab von der erreichbaren Glattwassergeschwindigkeit, der zugehörigen Leistung und der zulässigen Geschwindigkeit im Revier. Ein Einfluß einer begrenzten Fahrwassertiefe wird nicht berücksichtigt.

Die im Revier zulässige Geschwindigkeit ist hier stets kleiner als die erreichbare Glattwassergeschwindigkeit.

Bei der Ermittlung der erreichbaren Glattwassergeschwindigkeit wird wie folgt vorgegangen:

Zu Beginn einer Rundreise im Hafen A1 wird als Funktion der seit der Indienststellung bzw. letzten Dockung vergangenen Zeit der relative Widerstandszuwachs infolge Bewuchs nach den angegebenen Beziehungen berechnet. Dieser relative Widerstandszuwachs wird für die ganze Rundreise konstant angenommen. Da das Schiff während der Reise älter wird, wird die halbe Rundreisendauer von etwa 26 d bei der Bestimmung der Zeit seit der Indienststellung bzw. der letzten Dockung berücksichtigt. Nach Abschluß des Umschlagvorganges wird in jedem Hafen die Verdrängung aufgrund der geladenen bzw. gelöschten Mengen und der bis dahin verbrauchten Schweröl- und Dieselölmengen neu berechnet. Nach den in Abschnitt 4 angegebenen Beziehungen wird dann die relative Widerstandsänderung bestimmt. Damit und mit der Widerstandsänderung infolge Bewuchs ergibt sich dann die Glattwassergeschwindigkeit des Schiffes und die dazugehörige Leistung.

Je nach Größe der Widerstandserhöhung und der vorhandenen Leistungsreserve kann der Betriebspunkt von Propeller und Motor auch in diesem Fall schon auf der Motorenkennlinie  $P_N/n_o = \text{const.}$  liegen.

Eine Veränderung der Glattwassergeschwindigkeit zwischen zwei Häfen infolge Brennstoffverbrauchs und der damit verbundenen Verdrängungsänderung wird, um den Rechenaufwand zu verringern, nicht berücksichtigt. Der Fehler, der sich dadurch für den längsten vorkommenden Seeweg ergibt, beträgt für die Geschwindigkeit etwa 0,5 % für die Leistung 1,5 %. Bei allen Rechnungen wird davon ausgegangen, daß die Leistungsfähigkeit des Motors sich mit der Zeit nicht verändert.

#### Vorgänge und Ereignisse auf See

Die Berechnungen beziehen sich ausschließlich auf die Bestimmung von Zeiten und Brennstoffverbräuchen. Die Seezeit und der Brennstoffverbrauch sind eine Funktion der Geschwindigkeit. Maßgeblich für die Geschwindigkeit auf See sind die Glattwassergeschwindigkeit und die zu der betreffenden Jahreszeit herrschenden Wetterverhältnisse.

Zur Bestimmung der erreichbaren Reisegeschwindigkeit werden bei Beginn der Rundreise als Funktion der Jahreszeit die Verteilungen von Seegang und Nebel ermittelt. Dabei wird die Jahreszeit um die halbe Rundreisedauer weitergerechnet. Diese Verteilungen werden für die Dauer der Rundreise konstant gehalten.

Danach wird die aufgrund der zufällig angetroffenen Wetterbedingungen erreichbare Reisegeschwindigkeit  $\bar{V}$  in der in Abschnitt 4 angegebenen Weise berechnet. Diese Geschwindigkeit  $\bar{V}$  stimmt meist nicht überein mit derjenigen Geschwindigkeit  $\bar{V}_F$ , die zur Einhaltung des Fahrplans erforderlich ist. Wenn diese Geschwindigkeit größer als die erreichbare ist, ergibt sich am Ende des Seeweges eine Verspätung, die im Verlauf der weiteren Reise aufgeholt werden muß.

Falls die zur Einhaltung des Fahrplans erforderliche Geschwindigkeit kleiner ist als die erreichbare, wird so gefahren, daß das Schiff fahrplanmäßig im nächsten Hafen eintrifft. Der Einfachheit halber wird angenommen, daß die in den einzelnen Seeabschnitten erreichbare Geschwindigkeit  $V_i$  im Verhältnis  $F_V = \bar{V}_F/\bar{V}$  verringert wird.

$$V_{Fi} = V_i \cdot F_V$$

Die dabei abgegebene Leistung verringert sich dann mit dem Faktor

$$F_p = (\bar{V}_F/\bar{V})^3, \text{ so daß sich ergibt}$$

$$P_{Fi} = P_i \cdot F_p = P_i \cdot F_V^3$$

Die Fahrzeit in den einzelnen Seeabschnitten vergrößert sich dabei entsprechend

$$T1_{Fi} = T1_i \cdot \frac{1}{F_V}$$

Für den Brennstoffverbrauch ergibt sich dann in einem Seeabschnitt

$$BA_{Fi} = BA_i \cdot F_V^2$$

und insgesamt

$$BA_F = \sum_{i=1}^{n_s} BA_{Fi}$$

Vorgänge und Ereignisse in den Häfen A2 und A3 (Hinreise)

Nach dem Anlegen, das ebenso wie das Ablegen mit Hilfe von 2 Schleppern erfolgt, und dem Festmachen wird sofort mit den vorbereitenden Arbeiten für das Laden der aus den Häfen A2 bzw A3 jeweils mitzunehmenden Ladung begonnen. Die zufällige Menge der mitzunehmenden Ladung wurde bereits vor Ladebeginn im Hafen A1 bestimmt. Ob beim Umschlag Überstunden zu leisten sind, hängt von der zufälligen Umschlagszeit und von der im Hafen verfügbaren Zeit ab. Im Falle einer Verspätung bei der Ankunft im Hafen ist die verfügbare Zeit geringer als die im Fahrplan vorgesehene Zeit; sie kann auch negativ werden.

Beim Auslaufen aus den Häfen A2 und A3 werden jeweils die Verspätung und die Verdrängung, die sich infolge der Zuladung im Hafen verändert hat, neu berechnet.

Neben

Umschlagskosten  
Raumgeld und  
Gewichtsgeld

werden in den Häfen A2 und A3 gegebenenfalls fiktive Kosten infolge Bewertung der verspäteten Abfahrt berechnet.

Vorgänge und Ereignisse in den Häfen B3 und B2 (Hinreise)

Auf der Hinreise werden die Häfen B3 und B2 nur zum Löschen der für sie bestimmten Ladung angelaufen. Hierbei kann es infolge Mangels an Kaiplätzen oder auch an Arbeitskräften zu Wartezeiten kommen. Im weiteren Verlauf der Rundreise wird versucht, dadurch verursachte Verspätungen wieder aufzuholen.

Revierfahrten zu den Häfen der Gruppe B werden ohne Lotsenhilfe durchgeführt. In diesen Häfen wird, wie in den Häfen der Gruppe A, die Hilfe von 2 Schleppern in Anspruch genommen. Das Löschen der Ladung in Hafen B3 und B2 geschieht analog dem Beladen des Schiffes in den Häfen A2 und A3. Zufällige Umschlagszeiten und -kosten folgen aus der Zufälligkeit der zu löschenden Mengen und der Zufälligkeit der Umschlagsleistung. Die Ermittlung der in den Häfen verfügbaren

Zeit, der verbrauchten Vorräte, der Verspätung der Verdrängung beim Verlassen der Häfen und der Kosten geschieht wie oben beschrieben.

#### Vorgänge und Ereignisse im Hafen B1

Beim Anlauf des Hafens B1 spielen sich bis zum Umschlagsbeginn die gleichen Vorgänge ab wie beim Anlauf der Häfen B2 und B3.

Da der Hafen B1 auf der Rundreise jedoch nur einmal angelaufen wird, muß sowohl Ladung gelöscht als auch Ladung für den Transport zur Hafengruppe A übernommen werden. Bei der Berechnung der Umschlagszeit wird angenommen, daß an jeder Luke sofort mit dem Laden begonnen wird, sobald das Löschen dort abgeschlossen ist. Für Laden und Löschen wird jeweils mit der gleichen zufälligen Umschlagsleistung gerechnet.

Die Menge der hier anfallenden Ladung hängt außer vom Zufall von der Jahreszeit ab. Entsprechend den Annahmen für den Hafen A1 wird auch hier vorausgesetzt, daß alle in den Häfen der Gruppe B angebotenen Ladungsmengen unter Berücksichtigung der Jahreszeit bereits zum Zeitpunkt des Ladebeginns im Hafen B1 bekannt sind. Die Kapazität des Schiffes, die für den Transport von Ladung von der Hafengruppe B zur Gruppe A zur Verfügung steht, wird unter Beachtung der bisher verbrauchten Brennstoffmengen ermittelt. Um zu berücksichtigen, daß Proviant und Frischwasser teilweise verbraucht sind und daß bis zum Ladebeginn im Hafen B3 weitere Vorräte verbraucht sein werden, wird die Nutztragfähigkeit um 100 Mp höher angesetzt, als sie im Hafen B1 beträgt.

Die Menge der in der Hafengruppe B zurückgelassenen Ladung hängt auch davon ab, ob der Hafen B2 auf der Rückreise angelaufen wird.

Die Verteilung der Ladung auf die verschiedenen Räume unterscheidet sich insofern von der in der Hafengruppe A, als hier auch die Besonderheit bei der Stauung der Kühlladung berücksichtigt werden.

Bei der Berechnung der Brennstoffverbräuche wird auf der Rückreise der Verbrauch der Kühlmaschinen berücksichtigt. Dabei wird angenommen, daß die Kühlmaschinen im Hafen B1 vom Löschbeginn an in Betrieb sind. Die für den Umschlag verfügbare Zeit, die Verspätung und die Verdrängung beim Auslaufen werden wie in den vorher angefahrenen Häfen bestimmt.

Neben  
Umschlagskosten  
Raumgeld  
Gewichtsgeld

und gegebenenfalls

fiktiven Kosten infolge Bewertung  
einer Verspätung

werden an dieser Stelle die Einnahmen aus dem Transport von Ladung aus der Hafengruppe B zur Hafengruppe A und -falls Ladung zurückgelassen wird und/oder der Hafen B2 nicht angelaufen wird-, die

fiktiven Kosten infolge Bewertung  
des Zurücklassens von Ladung und  
die  
fiktiven Kosten infolge Bewertung  
des Auslassens des Hafens B2

berechnet.

Vorgänge und Ereignisse auf der Rückreise bis zum Anlegen im  
Hafen A1.

Auf der Rückreise werden nach Verlassen des Hafens B1 die Häfen B2 und B3 zur Übernahme der für die Gruppe A bestimmten Ladung und die Häfen A3 und A2 zum Löschen der für die bestimmten Ladung in der genannten Reihenfolge angelaufen. Abgesehen von dem zusätzlichen Brennstoffverbrauch der Kühlmaschinen spielen sich im übrigen auf der Rückreise die gleichen Vorgänge ab wie auf der Hinreise.

Vorgänge und Ereignisse bei Rückkehr in den Hafen A1

Bei Rückkehr in den Hafen A1 sind neben den bereits beschriebenen Vorgängen bei der Indienststellung des Schiffes weitere Vorgänge und Ereignisse zu beachten.

Während bei der ersten Reise nach der Indienststellung bzw. auch bei der ersten Fahrt nach jeder der jährlich vorgesehenen Dockungen im Hafen A1 nur geladen wird, muß im Normalfall wie im Hafen B1 zunächst Ladung gelöscht werden, bevor das Schiff wieder beladen wird. Ob der Hafen A1 fahrplanmäßig verlassen werden kann, wird nicht nur durch den Lade- und Löschvorgang bestimmt. Maßgeblich für die Liegezeit kann auch die für Reparaturarbeiten erforderliche Zeit sein. Wenn die Reparaturzeit so groß ist, daß sie zu einer Verschiebung des fahrplanmäßigen Abfahrtstermins führt, ist diese Zeit der Umschlagsrechnung als verfügbare Zeit zugrunde zu legen. Ergibt die Umschlagsrechnung, daß die Umschlagszeit größer als die Reparaturzeit ist, so steht für die Reparatur mehr Zeit als erforderlich zur Verfügung. Dadurch wird der Anteil der für die Reparatur notwendigen Überstunden geringer. Maßgeblich für die Verspätung ist die jeweils größere der ermittelten Zeiten.

Ob der Hafen A2 angelaufen wird oder nicht, wird aufgrund der Verspätung beim Anlegen im Hafen A1 entschieden. Danach richtet sich auch die Menge der in den Häfen der Gruppe A zurückgelassenen Ladung.

Im Berechnungsablauf werden an dieser Stelle neben

Brennstoffkosten für die ergänzten Vorräte,  
Umschlagskosten,  
Raumgeld,  
Gewichtsgeld,  
Kosten für die Beseitigung zufälliger Schäden,  
fiktiven Kosten\* und  
Einnahmen für den kommenden Transport von Ladung  
von der Hafengruppe A zur Hafengruppe B

\* In den fiktiven Kosten sind hier gegebenenfalls auch diejenigen enthalten, die sich aufgrund der Bewertung des Auslassens des Hafens A2 ergeben.

auch diejenigen im Verlauf der vergangenen Rundreise entstandenen Kosten bestimmt, die für jeden Hafenanlauf konstant angesetzt wurden.

Dazu gehören

Lotsenkosten  
Kosten für Schlepper und Festmacher und  
Hafengeld.

Wenn beim Anlaufen des Hafens A1 erstmalig mehr als ein Jahr oder ein ganzes Vielfaches davon seit der Indienststellung vergangen ist, endet die Rundreise mit dem Abschluß der Löscharbeiten. Danach wird das Schiff zur jährlichen Überholung eingedockt. Dafür werden 15 Tage angesetzt. Gleichzeitig mit dieser planmäßigen Überholung werden auch die zufälligen Schäden beseitigt. Eine getrennte Kostenrechnung hierfür entfällt dann.

Die letzte Rundreise vor der Dockung endet im allgemeinen nicht mit dem Ablauf eines vollen Jahres. Von den oben genannten Kosten ist ein Teil vor Ablauf des vollen Jahres, ein Teil danach entstanden. Sie gehören deshalb teilweise zur Jahresabrechnung des vergangenen Jahres und teilweise zu der des neuen Jahres\*. Für die Teilung wird hier der Einfachheit halber angenommen, daß diese während der Rundreise angefallenen Kosten gleichmäßig über der Rundreisedauer verteilt sind. Der Anteil der Kosten, der zum vergangenen Jahr gehört, ist dann genau so groß wie der Anteil der Rundreisedauer, der in das vergangene Jahr fällt. In dem gleichen Verhältnis werden auch die Einnahmen für die Rundreise auf das vergangene und das neue Jahr verteilt.

Zur Ermittlung des jährlichen Gewinns mit und ohne Berücksichtigung fiktiver Kosten infolge Bewertung der Zuverlässigkeit, werden nun die jährlich als fest angenommenen Kosten berechnet. Es sind dies

Annuität  
Besatzungskosten  
Verwaltungskosten  
Versicherungskosten und vom 2. Lebensjahr an  
Kosten für die planmäßige Überholung

\* Die Abrechnungen werden hier auf volle Jahre nach der Indienststellung bezogen, nicht auf Kalenderjahre.

Die Diskontierung des jährlichen Gewinns mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit liefert einen Beitrag zum Nutzen der Alternativen.

Die jeweils auf eine Dockung folgende Rundreise spielt sich im wesentlichen nach den bereits beschriebenen Vorgängen ab. Zusätzlich wird berücksichtigt, daß zu Beginn der neuen Rundreise eine Verspätung auftreten kann. Unter der vereinfachenden Annahme, daß während der Dockzeit keine Verspätung aufgeholt werden kann und auch keine zusätzlichen Verspätung entsteht, ist die Verspätung zu Beginn der neuen Reise gleich der Verspätung, die am Ende der letzten Reise vor der Dockung festgestellt wurde.

Wenn beim Anlaufen des Hafens A1 die als Lebensdauer des Schiffes angesetzte Zeit überschritten ist, wird nur noch die an Bord befindliche Ladung gelöscht. Vorräte werden nicht mehr übernommen und Reparaturen nicht mehr ausgeführt. Der Gewinn mit bzw. ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit dieses letzten Jahres wird in der gleichen Weise ermittelt wie in den vorhergehenden Jahren. Die außerhalb der angenommenen Lebensdauer liegenden Geldwerte werden bei der Berechnung des Nutzens nicht berücksichtigt.

Einen Stichprobenwert für den Nutzen erhält man durch die Summierung aller im Verlauf des Lebens aufgetretenen diskontierten jährlichen Gewinne mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit.

Der beschriebene Berechnungsablauf wurde programmiert. Der erforderliche Rechenzeitaufwand zur Ermittlung einer angemessenen Anzahl von Stichprobenwerten erwies sich jedoch als unangemessen groß. Es war deshalb erforderlich, das Rechenmodell zu vereinfachen. Hierzu bot sich an, die Eigenschaften und den Gewinn mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit für ein "mittleres" Jahr zu bestimmen, diese für alle Lebensjahre des Schiffes gleich anzunehmen und daraus den Nutzen zu berechnen.

### 6.3 Vereinfachtes Rechenmodell

Im vereinfachten Rechenmodell werden mit einem Schiff, dessen Gewicht und Probefahrtgeschwindigkeit zufällig sind, Rundreisen in einem "mittleren" Betriebsjahr simuliert. Aus rechentechnischen Gründen wird dabei vorausgesetzt, daß dieses Betriebsjahr mit dem Eindocken des Schiffes beginnt. Unter der Annahme, daß der Zeitpunkt des Eindockens über das ganze Jahre gleichverteilt ist, wird hierfür ein zufälliger Wert für die Jahreszeit gewählt. Im Anschluß an die Dockung im Hafen A1, für die 15 Tage angesetzt werden, geginnt die 1. Rundreise. Die Verspätung zu diesem Zeitpunkt wird für die erste Rundreise gleich null gesetzt. Im Verlauf des Jahres werden 6 vollständige Rundreisen durchgeführt. Die Vorgänge und Ereignisse, die dabei berücksichtigt werden, sind die gleichen wie die unter 6.2 beschriebenen. Nach Ende der 7. Rundreise, die vor Ablauf des Jahres nicht mehr beendet werden kann, erfolgt die Jahresabrechnung. Als Ergebnis dieser Rechnung erhält man jeweils einen Stichprobenwert für den jährlichen Gewinn ohne und mit Berücksichtigung fiktiver Kosten infolge Bewertung der Zuverlässigkeit. Die bei dieser Rechnung ermittelten, außerhalb des betrachteten Betriebsjahres liegenden Geldwerte werden für die weitere Rechnung nicht mehr verwendet.

Zur Ermittlung von weiteren Stichprobenwerten werden diese Rechnungen wiederholt. Begonnen wird jeweils mit der Bestimmung von zufälligen Werten für Schiffsgewicht, Probefahrtgeschwindigkeit und zugehörige Leistung. Die Rundreisen in jedem "mittleren" Betriebsjahr werden somit im Hinblick auf diese Größen mit einem anderen Schiff durchgeführt. Dadurch werden die diesbezüglichen Unzulänglichkeiten der Entwurfsmethoden erfaßt. Die jeweils ersten 15 Tage des neuen Jahres, das mit einem von der vorhergehenden Rundreise unabhängigen zufälligen Zeitpunkt beginnt, entfallen auf die planmäßige Überholung im Dock. Die Zufallsauswahl für diesen Zeitpunkt wird damit begründet, daß der Indienststellungstermin und damit auch der Beginn von Rundreisen und der Zeitpunkt des Eindockens zufällige Größen sind. Mit diesem Vorgehen wird gleichzeitig erreicht, daß das Schiff zu Beginn der ersten Reise nach der Dockung nicht in jedem Jahr auf das gleiche von der Jahreszeit abhängige mittlere Ladungsangebot trifft.

Um zu berücksichtigen, daß auch zu Beginn jeweils der 1. Rundreise nach einer Dockung eine Verspätung möglich ist, werden diese vom 2. "mittleren" Betriebsjahr an mit derjenigen Verspätung begonnen, die am Ende der letzten Rundreise im vorhergehenden "mittleren" Betriebsjahr festgestellt wurde.

Dieses Vorgehen ist nicht ganz exakt, da die Verteilung der Verspätung am Ende einer Reise von der Jahreszeit abhängt und die jeweils 1. Rundreisen zu einer zufälligen anderen Jahreszeit beginnen als die jeweils vorhergehenden endeten. Die Abhängigkeit der Verspätung von der Jahreszeit ergibt sich aus den in der Hafengruppe B mit der Jahreszeit veränderlichen Ladungsmengen und den mit der Jahreszeit veränderlichen Wetterverhältnissen. Um den Einfluß der Jahreszeit auf die Verteilung der Verspätung und damit den mit diesem Vorgehen verbundenen Fehler abzuschätzen, wurden zwei Verteilungsfunktionen von Verspätungen ermittelt, die in Bild 20 dargestellt sind.

$f(TVSP|TJ = \text{Juli})$  ist eine bedingte Verteilung der Verspätung, die sich nach der 7. Rundreise ergibt, wenn diese im Juli beendet wird. In dieser Zeit ist der Ladungsanfall in der Hafengruppe B relativ gering und die auftretenden Seegangsstärken führen in dieser Zeit zu den kleinsten Geschwindigkeitsverlusten. Deshalb ergeben sich für diese Jahreszeit etwa die kleinsten Verspätungen.

Die Verteilung  $f(TVSP)$  ist eine Randverteilung, die sich aus den bedingten Verteilungen der Verspätung ergibt:

$$f(TVSP) = \int_{1\text{Jahr}} f(TVSP|TJ) \cdot f(TJ) \cdot dTJ$$

wobei  $f(TJ) = 1$  ist.

Die Bewertung der Verspätung zu Beginn der ersten Rundreise nach der Dockung ist nur eine von 70 im Verlauf des Jahres vorzunehmenden Bewertungen für verspätete Abfahrten. Der aus dem Unterschied der Verteilungsfunktionen resultierende Fehler ist deshalb unerheblich; für das Beispiel in Bild 20 beträgt der Unterschied der fiktiven Kosten infolge Bewertung der jeweiligen mittleren Verspätungen etwa 1500.- DM.

Durch Wiederholung der beschriebenen Rechnungen kommt man zu einer Reihe von Stichprobenwerten für die Eigenschaften und den Gewinn mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit für ein "mittleres" Jahr.

Anhand dieser Stichprobenwerte lassen sich die Parameter der Verteilung des Gewinns mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit abschätzen. Der Mittelwert ist

$$\overline{GF} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N GF_i$$

und die Varianz

$$s_{GF}^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (GF_i - \overline{GF})^2$$

Hierin ist

- N = Stichprobenumfang
- GF<sub>i</sub> = Gewinn mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit im i.-ten "mittleren" Jahr.

Unter der Annahme, daß die Eigenschaften in allen Jahren der Lebensdauer des Schiffes nach dem gleichen Gesetz verteilt sind wie die Eigenschaften im "mittleren" Betriebsjahr, ist mit diesen Größen auch die Verteilung des Nutzens bekannt.

Für sie erhält man mit guter Näherung eine Normalverteilung. Der Schätzwert für den Mittelwert ist

$$\bar{u} = \overline{GF} \cdot \sum_{k=1}^{15} PWF_k$$

und für die Varianz

$$s_u^2 = s_{GF}^2 \cdot \sum_{k=1}^{15} PWF_k^2$$

mit PWF<sub>k</sub> = Abzinsungsfaktor für das k.-te Jahr nach Indienststellung. Der jährliche Zinssatz wurde für die Rechnung zu 6 % angenommen.

## 7. Ergebnisse

### 7.1 Geschwindigkeiten, Leistungen, Brennstoffverbräuche

Es ist bekannt, daß die tatsächliche bei Probefahrten erreichte Geschwindigkeit immer mehr oder weniger von der im Entwurf bestimmten Geschwindigkeit abweicht.

Chirila (1967) versuchte die Unsicherheiten für die Übertragung der Modellversuche auf die Großausführung durch die Ausarbeitung "besserer" Übertragungsmethoden zu beheben. Doch auch die von ihm erarbeiteten Übertragungsmethoden lassen keine determinierten Aussagen über Widerstand und Propulsion der Großausführung aufgrund von Modellversuchen zu.

Es erscheint deshalb realistischer zu sein, sich damit abzufinden, daß determinierte Aussagen nicht möglich und diesen Unsicherheiten dadurch Rechnung zu tragen, daß man die beteiligten Größen als zufällige Variable auffaßt.

Wenn z.B., wie hier angenommen, die Verteilungen für den Widerstandsbeiwert, den Nachstrom, den Sog und des Gütegrads der Anordnung bekannt sind, ergibt sich die in Bild 21 dargestellte Verteilung der tatsächlichen Probefahrtgeschwindigkeit und der vom Propeller aufgenommenen Leistung bezogen auf die Leistung unter Entwurfsbedingungen. Diese Verteilungen wurden mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode berechnet. Sie gelten für alle hier untersuchten Schiffe. Es zeigt sich, daß die Geschwindigkeit und Leistung etwa symmetrisch um die in der Entwurfsrechnung gefundenen Werte verteilt sind. Die Streuung für die Geschwindigkeit beträgt etwa  $\pm 0,27$  kn, die Streuung der Leistung etwa  $\pm 1,8$  % der Leistung unter Entwurfsbedingungen.

Aufgrund dieser Ergebnisse kann festgestellt werden, für welche Probefahrtgeschwindigkeit ein Schiff entworfen werden soll, damit mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eine vorgegebene Geschwindigkeit nicht unterschritten wird.

Praktisch wichtiger als Angaben über die Probefahrtgeschwindigkeit sind solche über unter Dienstbedingungen erreichbaren Geschwindigkeiten. Dabei kommt es weniger auf die unter bestimmten Bedingungen (z.B. Seegang, Nebel) erreichbaren Geschwindigkeiten an, als auf die Durchschnittsgeschwindigkeit während einer Reise. Es wurde deshalb am Beispiel des Schiffes III der Einfluß der Jahreszeit, der Verdrängung, der im Entwurf vorgesehenen Leistungsreserve, der seit der Dockung vergangenen Zeit und der Länge des Seeweges auf diese Durchschnittsgeschwindigkeit untersucht. Die Verteilungen wurden ebenfalls mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode ermittelt. Dabei wurde von einer festen Probefahrtgeschwindigkeit von 18 kn ausgegangen. Wegen der Zufälligkeit der Wetterbedingungen kann man hier nicht von einer bestimmten Geschwindigkeit unter Dienstbedingungen sprechen; vielmehr ist deshalb diese Reisegeschwindigkeit verteilt.

Den Einfluß der Verdrängung auf die Reisegeschwindigkeit bei einem Seeweg von 5200 sm zeigt Bild 22. Konstant sind dabei die Jahreszeit, die Zeit nach der Dockung und die Leistungsreserve. Die Reisegeschwindigkeit des zu 70 % abgeladenen Schiffes ist danach um etwa 1,2 kn größer als die des voll abgeladenen Schiffes.

Diese Rechnungen können auch dazu verwendet werden, diejenige Leistungsreserve festzustellen, die zu bestimmten Jahreszeiten und bestimmten Zeiten nach der Dockung erforderlich ist, um eine bestimmte Reisegeschwindigkeit mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit nicht zu unterschreiten.

Wird bei der Propellerauslegung z.B. eine Leistungsreserve von etwa 5 % der Nennleistung vorgesehen, ergibt sich im späteren Dienstbetrieb auf einem Seeweg von 5200 sm eine um 0,25 kn höhere Geschwindigkeit als bei einer Auslegung ohne Reserve, (vgl. Bild 23). Vorausgesetzt wurde hierbei eine konstante Verdrängung, eine bestimmte Jahreszeit und eine bestimmte Zeit nach der Dockung.

Um auch den Einfluß der Widerstandszunahme infolge Bewuchs auf die Verteilung der Reisegeschwindigkeiten aufzuzeigen, wurde diese für zwei verschiedene Zeiten nach der Dockung berechnet. Konstant gehalten wurden dabei die Verdrängung, die Jahreszeit und die Leistungsreserve.

Im ersten Fall beträgt die Zeit nach der Dockung 26 Tage, das entspricht etwa der halben Rundreisedauer; im zweiten Fall beträgt sie 209 Tage (Beginn der Rundreise =  $1/2$  Jahr nach der Dockung). Das Ergebnis ist in Bild 24 dargestellt. Danach beträgt der Geschwindigkeitsverlust, der auf Bewuchs zurückzuführen ist, nach einem halben Jahr etwa 0,25 kn.

Den Einfluß der Jahreszeit auf die Reisegeschwindigkeit bei konstanten Werten für Verdrängung, Zeit nach dem Docken und Leistungsreserve bei einem Seeweg von 5200 sm zeigt Bild 25. Für den Zentralwert der Reisegeschwindigkeit ergibt sich im Sommer ein um etwa 0,3 kn größerer Wert als im Winter. Die Streuung beträgt im Sommer etwa  $\pm 0,1$  kn im Winter etwa  $\pm 0,4$  kn.

Solche Rechnungen können dazu verwendet werden, den Fahrplan der Jahreszeit und der Zeit nach dem Docken so anzupassen, daß eine vorgegebene Wahrscheinlichkeit für bestimmte Reisezeiten nicht unterschritten wird.

Die Verteilung der Reisegeschwindigkeit hängt besonders stark von der Länge des Seeweges ab (vgl. Bild 26). Je kürzer der Seeweg und je kleiner damit die Anzahl der Seeabschnitte ist, um so häufiger treten sowohl sehr kleine Geschwindigkeiten als auch große auf. Die maximal erreichbaren sind dabei jeweils gleich der Glattwassergeschwindigkeit. Diese Tatsache ist wie folgt zu erklären:

Während der Fahrt längs eines kurzen Seeweges ändern sich die einmal angetroffenen Wetterbedingungen nicht. Wird ein kurzer Seeweg sehr häufig durchfahren, so können alle möglichen Wetterbedingungen entsprechend ihrer Häufigkeit maßgeblich für die Reisegeschwindigkeit sein. Die Verteilung dieser Geschwindigkeit würde sich in diesem Fall durch eine Transformation der Verteilung der Wetterbedingungen ergeben.

Auf einem längeren Seeweg werden verschiedene Wetterzustände angetroffen und die Reisegeschwindigkeit auf diesem Seeweg ergibt sich durch die Mittelwertbildung der verschiedenen in den einzelnen Seeabschnitten möglichen Geschwindigkeiten.

Für die im Rahmen dieser Arbeit gewählte Schifffahrtslinie interessiert im Entwurfsstadium besonders die Verteilung der Reisegeschwindigkeit unter Berücksichtigung aller verteilten Größen. Unsicher ist zu diesem Zeitpunkt neben den die Umwelt kennzeichnenden Größen auch die Probefahrtgeschwindigkeit. Bild 27 zeigt die Verteilungen der Reisegeschwindigkeit der hier untersuchten Schiffe auf dem Seeweg von der Hafengruppe A zur Hafengruppe B. Die Zeit nach dem Docken wurde dabei zwischen 0 und 365 Tagen gleichverteilt angenommen.

Die Zentralwerte für die Reisegeschwindigkeit liegen im Bereich von  $17,3 \div 17,6$  kn. Die Streuung der Reisegeschwindigkeit ist für alle Schiffe etwa gleich groß; sie beträgt etwa  $\pm 0,9$  kn. Die kleinste Reisegeschwindigkeit ergibt sich für Schiff I, für Schiff IV erhält man den größten Wert. Dieses Ergebnis hat zweierlei Ursachen. Erstens führt der Seegang bei einem kleineren Schiff häufiger als bei einem größeren zu einem Geschwindigkeitsverlust und zweitens ist infolge des jeweils gleichen Ladungsangebots das kleinere im Mittel relativ weiter abgeladen und damit langsamer als das größere.

Wegen der geringen zulässigen Geschwindigkeiten bei starkem Nebel und Seegang, die gegebenenfalls nur 5 bis 6 kn betragen, sind die Verteilungen der Reisegeschwindigkeit im Gegensatz zur Verteilung der Probefahrtgeschwindigkeit stark unsymmetrisch. Die Wahrschein-

lichkeit für Reisegeschwindigkeiten, die den Zentralwert um mehr als 1,5 kn überschreiten, ist praktisch gleich null, während die Wahrscheinlichkeit für Reisegeschwindigkeiten, die den Zentralwert um mehr als 1,5 kn unterschreiten noch 15 % beträgt. Die Geschwindigkeit von 17 kn, die bei der Entwurfsrechnung unter der pauschalen Berücksichtigung der Dienstbedingungen als sogenannte Dienstgeschwindigkeit angenommen wurde, kann je nach Schiffsgröße in 63 bis 72 % aller Reisen eingehalten werden.

Der Begriff Dienstgeschwindigkeit könnte anhand solcher Rechnungen neu festgelegt werden. Er ließe sich z.B. als diejenige Reisegeschwindigkeit definieren, die mit einer bestimmten noch festzulegenden Wahrscheinlichkeit nicht unterschritten wird.

Bei allen Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen spielt der Brennstoffverbrauch eine bedeutende Rolle. Um den Einfluß der bereits eingeführten zufälligen Größen auf den Brennstoffverbrauch aufzuzeigen, wurde er hier beispielsweise für die Reise von der Hafengruppe A zur Hafengruppe B berechnet. Wie nicht anders zu erwarten, sind auch die Brennstoffverbräuche verteilt. Die Verteilungen sind in Bild 28 dargestellt. Die Zentralwerte steigen mit der Schiffsgröße an, sie liegen zwischen etwa 425 und 475 Mp. Die Streuung ist für alle Schiffe mit  $\pm 26$  Mp etwa gleich groß.

Die berechneten Verteilungen können dazu verwendet werden, die Bemessung der Brennstoffreserven auf eine rationale Basis zu stellen. Es erscheint sinnvoll für die Bestimmung der Mindestreserven zu fordern, daß diese "fast immer" (mit der Wahrscheinlichkeit 1) ausreichen sollen. Als kennzeichnend dafür soll hier der maximale Wert angenommen werden, der bei der Simulation von 1000 Reisen festgestellt worden ist. In der nachstehenden Tabelle sind der Zentralwert  $BA_{50}$  und der jeweils größte berechnete Wert  $BA_{max}$  denjenigen Brennstoffmengen  $BAE$  gegenübergestellt, die nach den Annahmen bei der Entwurfsrechnung für den Seeweg von 5200 sm vorzusehen wären.

Schiff	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
BAE [Mp]	520	535	555	570	565	580	545	560
BA <sub>50</sub> [Mp]	427	436	444	450	455	472	437	450
BA <sub>max</sub> [Mp]	479	491	506	517	516	532	500	510

Danach sind die vorgesehenen Brennstoffvorräte um etwa 9 % höher als die jeweils maximal verbrauchten Mengen.

## 7.2 Umschlagszeiten

Während die zufälligen Seezeiten bedingt sind durch die zufälligen Reisegeschwindigkeiten hängen die zufälligen Hafenzeiten von den zufälligen Umschlagsmengen und Umschlagsleistungen ab. Da die zufälligen Umschlagsleistungen im Entwurfsstadium im Hinblick auf den Fahrplan besonders interessieren wurden hier als Beispiel für die tatsächlichen Umschlagszeiten die Verteilungen der Ladezeiten im Hafen A1 für die jeweils 1. Reise nach einer Dockung berechnet. Diese Verteilungen sind in Bild 29 angegeben. Die Verteilungen der Ladezeiten für die Schiffe III bis VIII sind nahezu gleich; für Schiff I und II ergeben sich geringere Zeiten. Die Ursache hierfür liegt darin, daß die zu übernehmenden Ladungsmengen für Schiff I und II wesentlich geringer sind als die bei den übrigen Schiffen. (Vgl. hierzu auch die Bilder über zurückgelassene Ladungsmengen). Der Zentralwert für die Ladezeiten beträgt für die Schiffe III bis VIII etwa 23 h, für Schiff II 22.5 h und für Schiff I 21 h. Für die Streuung ergibt sich bei Schiff III bis VIII etwa  $\pm$  8.5 h, bei Schiff II etwa  $\pm$  8 h und für Schiff I  $\pm$  7 h.

Die dem Fahrplan zugrunde gelegte Zeit von 30.5 h reichen in etwa 78  $\pm$  90 % aller Fälle für das Beladen aus.

So berechnete zufällige Umschlagszeiten können zusammen mit den aus den zufälligen Reisegeschwindigkeiten folgenden Seezeiten dazu verwendet werden, fahrplanmäßige Seezeiten und Hafenziegezeiten aufeinander abzustimmen. Dadurch kann dann vermieden werden, daß beispielsweise fahrplanmäßige Seezeit reichlich vorhanden ist, die Hafenziegezeiten im Fahrplan aber zu knapp bemessen sind und deshalb häufiger nicht eingehalten werden können.

7.3 Verspätungen, Auslassen der Häfen A2 und B2, zurückgelassene Ladungsmengen.

Es ist im Liniendienst nicht immer möglich, einen einmal festgelegten Fahrplan einzuhalten. Vielmehr wird es bei den Ankünften und Abfahrten zu zufälligen Verspätungen kommen. Mit den bisher üblichen, auf determinierte Werte für die Umwelt abgestellten Methode wird der Fahrplan so ausgelegt, daß sich scheinbar keine Verspätungen bei Ankünften und Abfahrten ergeben. Dabei ist es deshalb nicht möglich, Verspätungen bei der Beurteilung von Schiffen zu berücksichtigen. Die hier eingeführte Methode erlaubt es dagegen, diesen Aspekt quantitativ zu erfassen. Grundsätzlich wäre es mit dieser Methode möglich, den Fahrplan für jedes Schiff zu optimieren und die Frage nach den im Fahrplan vorzusehenden Zeitreserven zu beantworten. Der günstigste Fahrplan wäre dabei nicht derjenige, der zu den geringsten Verspätungen, sondern zu der größten Wirtschaftlichkeit führt. In Bild 30 ist beispielhaft die Verteilung der Verspätung bei Ankunft im Hafen A1 vor einer Dockung angegeben. Daraus folgt, daß die hier untersuchten Schiffe je nach Lade-fähigkeit am Ende von etwa  $50 \div 66$  % aller letzten Rundreisen im Jahr keine Verspätung haben. Eine Verspätung von einem Tag wird mit einer Wahrscheinlichkeit von  $10 \div 29$  % überschritten; zwei Tage Verspätung werden mit einer Wahrscheinlichkeit von  $4 \div 18$  % überschritten und Verspätungen von mehr als 4 Tagen kommen mit einer Wahrscheinlichkeit von weniger als 5 % vor.

Die mittleren Verspätungen sind in der folgenden Tabelle zusammen-gestellt. Diese Tabelle enthält zusätzlich die Angaben über die jeweils größten Laderäume für Kühlgut und normales Stückgut, da diese hauptsächlich für die Verspätung maßgeblich sind.

Schiff	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
größter Kühl- laderaum [m <sup>3</sup> ]	2750	3070	3400	3700	3950	4500	2720	3400
größter Lade- raum [m <sup>3</sup> ]	2750	3070	3400	3700	3950	4500	3400	3400
dw [Mp]	6500	7250	8000	8750	8000	8000	8000	8000
$\overline{\text{TVSP}}$ [h]	9.1	12.3	14.7	16.3	18.6	19.7	10.4	13.2

Mit zunehmender Tragfähigkeit (Räume = const.) und zunehmendem Laderauminhalt ergeben sich hier größere Verspätungen. Diese Tatsache läßt sich mit den unterschiedlichen Umschlagszeiten für die verschiedenen Schiffe erklären. Die Umschlagszeiten für die in der Hafengruppe A geladenen Mengen sind im Mittel der größten jeweils in einem Raum transportierten Ladungsmengen proportional. Aufgrund der angenommenen Ladungsverteilung auf die einzelnen Räume ist für das Beladen in der Hafengruppe A und für das Löschen in der Hafengruppe B jeweils der größte Laderaum maßgeblich.

In der Hafengruppe B wird Kühlladung nur dann auf 2 bzw. 3 Kühlräume gleichmäßig verteilt, wenn der Inhalt eines Kühlraumes bzw. zweier Kühlräume für die angebotene Kühlladung zu klein ist. Deshalb ist die Auslastung der Kühlräume im Mittel größer als die der normalen Laderäume. Sie sind deshalb häufiger maßgeblich für die Umschlagszeit (Laden in der Hafengruppe B, Löschen in der Hafengruppe A) und damit für die Verspätung als andere evtl. größere Räume.

Die großen Verspätungen des Schiffes VI sind in erster Linie darauf zurückzuführen, daß sich auf diesem Schiff der absolut größte Kühlladeraum befindet. Die geringfügig kleinere Reisege-

schwindigkeit für diese Schiffe gegenüber den Schiffen III und V mit den nächst kleineren Kühlkabinenräumen ist von geringerer Bedeutung.

Da der einzige Kühlkabinenraum des Schiffes VII 20 % des Gesamtkabinenrauminhalts umfaßt und die jeweils größten Kühlräume der Schiffe III und VIII je 25 % umfassen, ergibt sich für Schiff VII die kleinste Verspätung. Bei den Schiffen III und VIII treten etwa die gleichen Verspätungen auf.

In direktem Zusammenhang mit der Verspätung steht die Häufigkeit, mit der der Hafen A2 bzw. B2 nicht angelaufen wird. Für den Fall sehr vieler Rundreisen ist sie identisch mit der Wahrscheinlichkeit mit der beim Anlaufen des Hafens A2 bzw. B2 eine Verspätung von 83 h bzw. 88 h überschritten wird. Bei jeweils 200 Rundreisen ist für die verschiedenen Schiffe in der folgenden Tabelle angegeben, wie häufig der Hafen A2 bzw. B2 ausgelassen wird;

Schiff	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Hafen A2	4	6	5	6	9	15	4	8
Hafen B2	2	3	2	5	2	3	4	2

Dieses Ergebnis zeigt, daß bei dem auf determinierten Werten beruhenden Fahrplan zumindest bei einigen Schiffen der Hafen A2 häufiger nicht angelaufen wird als der Hafen B2. Der Grund hierfür ist, daß die Umschlagszeiten auf der Rückreise wegen der im Mittel relativ volleren Kühlräume größer sind und es deshalb zu größeren Verspätungen kommt als auf der Hinreise, bei der die Ladung gleichmäßig auf alle Räume verteilt wird. Ebenso wie die Verteilungen der Verspätungen bei den Ankünften und Abfahrten in den verschiedenen Häfen könnten auch diese Ergebnisse bei einer Fahrplanoptimierung verwendet werden.

Wegen des zufälligen Ladungsangebots muß je nach Ladefähigkeit des Schiffes mehr oder weniger häufig bei den einzelnen Reisen Ladung zurückgelassen werden. Bei einer determinierten Betrachtungsweise ist es nicht möglich, dieser Tatsache bei der Ermittlung der Wirtschaftlichkeit Rechnung zu tragen, da die Ladefähigkeit des Schiffes so ausgelegt wird, daß die gesamte Ladungsmenge untergebracht werden kann. Deshalb ist es unrealistisch, auf der Grundlage einer determinierten Umwelt ein optimales Schiff zu ermitteln. Erst mit der Einführung von zufälligen Größen können die wegen nicht ausreichender Ladefähigkeit zurückgelassenen Ladungsmengen quantitativ bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit verschiedener Schiffe berücksichtigt werden. In den Bildern 31, 32, 33 sind die Verteilungen der jeweils in den Hafengruppen A und B zurückgelassenen Ladungsmengen dargestellt. Aufgetragen sind jeweils die in "Frachttonnen" gemessenen Mengen. Da diese Mengen maßgeblich für die Berechnung der Einnahmen sind, geben diese Bilder gleichzeitig einen Überblick über die entgangenen Einnahmen. Bei der Berechnung der zurückgelassenen Ladungsmengen sind auch diejenigen Mengen berücksichtigt, die zurückbleiben, wenn der Hafen A2 bzw. B2 nicht angelaufen wird.

In der folgenden Tabelle ist zusammengestellt, wie häufig (in %) Ladung von den verschiedenen Schiffen zurückgelassen wird. Projektierte Tragfähigkeit  $d_w$ , Laderauminhalt  $V_0$  und Kühladerauminhalt  $V_K$  sind wegen ihres ursächlichen Zusammenhangs mit den zurückgelassenen Mengen ebenfalls angegeben. Zusätzlich sind auch die Häufigkeiten in % in der Tabelle enthalten, mit denen nur aufgrund der Tatsache Ladung\* zurückbleibt, daß der Hafen A2 bzw. B2 nicht angelaufen wird.

\* Wenn der Hafen A2 nicht angelaufen wird, betragen die dadurch bedingten im Mittel zurückgelassenen Mengen 2350 Frt normales Stückgut; wird der Hafen B2 nicht angelaufen, werden im Mittel 440 Frt Kühlgut und 675 Frt normales Stückgut zurückgelassen.

Häufigkeit (%) , mit der Ladung zurückgelassen wird.

Schiff	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
dw [Mp]	6500	7250	8000	8750	8000	8000	8000	8000
V <sub>o</sub> [m <sup>3</sup> ]	11000	12300	13600	14800	15800	18000	13600	13600
V <sub>k</sub> [m <sup>3</sup> ]	4400	4920	5440	5920	6320	7200	2720	8160

Hafengruppe A								
norm. Stückgut	62.5	32.0	10.0	6.0	12.0	15.5	9.5	11.5
wegen Auslassen A2	2.0	3.0	2.5	3.0	4.5	7.5	2.0	4.0

Hafengruppe B								
norm. Stückgut	30.5	10.5	4.0	2.5	4.0	5.5	2.5	7.0
Kühlgut	20.0	19.0	16.0	13.0	9.5	4.0	32.5	2.5
wegen Auslassen B2	1.0	1.5	1.0	2.5	1.0	1.5	2.0	1.0

Mit wachsender Tragfähigkeit (Schiff I bis IV) nimmt die Wahrscheinlichkeit, daß Ladungsmengen zurückgelassen werden, erwartungsgemäß ab. Für die Schiffe III, V, VI bei denen bei konstanter Tragfähigkeit der Laderauminhalt verschieden ist, ergibt sich mit steigendem Laderauminhalt eine gegenläufige Tendenz. Rechnet man von diesen Wahrscheinlichkeiten diejenige

ab, die darauf zurückzuführen ist, daß der Hafen A2 nicht angelaufen wird, so erhält man nahezu gleiche Werte. Man kann daraus schließen, daß selbst bei dem kleinsten dieser Schiffe praktisch keine Ladung aus Mangel an Schiffsraum zurückgelassen wird. Da die Wahrscheinlichkeit, mit der der Hafen A2 nicht angelaufen wird, eine Folge des für alle Schiffe gleich angenommenen Fahrplans ist, wird die Verteilung der zurückgelassenen Mengen deshalb auch vom Fahrplan beeinflusst. Die unterschiedliche Wahrscheinlichkeit, mit der der Hafen A2 nicht angelaufen wird, ist auch mit eine Ursache dafür, daß von Schiff VII häufiger Ladung zurückgelassen wird als von Schiff VIII. Der Unterschied zwischen den zurückgelassenen Ladungsmengen wird bei diesen Schiffen noch verstärkt durch die geringere Lade-fähigkeit des Schiffes VIII, dessen Brennstoffvorräte wegen der größeren installierten Leistung der Kühlmaschinen um etwa 80 Mp größer ist.

Die in der Hafengruppe B zurückgelassenen Ladungsmengen sind im Mittel kleiner als die in der Hafengruppe A. Das liegt daran, daß hier gegenüber der Hafengruppe A bereits je nach Schiffsgröße etwa 600 bis 650 Mp Brennstoff verbraucht worden sind und die Tragfähigkeit entsprechend größer ist. Auch hier zeigt sich, daß die zurückgelassenen Mengen für normales Stückgut und Kühlgut mit der Tragfähigkeit abnehmen. Die geringsten zurückgelassenen Mengen normalen Stückguts ergeben sich für Schiff VII, das nur einen Kühlraum besitzt und deshalb im Mittel mehr normales Stückgut mitnehmen kann als alle andern Schiffe. Die zurückgelassenen Kühlgutmengen sind dagegen bei diesem Schiff am größten.

7.4 Jährlicher Gewinn ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit des Dienstes

Durch die Berücksichtigung von Zufälligkeiten bei der Berechnung des jährlichen Gewinns wird man den tatsächlichen Verhältnissen sicher besser gerecht, als wenn man nur determiniert rechnen würde. Mit der hier eingeführten Methode werden entsprechend ihrer Wahrscheinlichkeit auch Wertekombinationen für Umweltgrößen erfaßt, die sich ungünstig auf den jährlichen Gewinn auswirken (geringes Ladungsangebot, niedrige Frachtrate, lange Umschlagszeiten, schlechte Wetterbedingungen, große Wartezeiten). Entsprechendes gilt auch für Wertekombinationen, die den Gewinn günstig beeinflussen.

Die auf den Stichproben beruhenden Verteilungsfunktionen für den jährlichen Gewinn zeigt Bild 34. Die berechneten Mittelwerte und Streuungen sind in den nachstehenden Tabellen angegeben.

Schiff	I	II	III	IV
Tragfähigkeit dw [Mp]	6500	7250	8000	8750
Gesamtladerraum- inhalt $V_0$ [m <sup>3</sup> ]	11000	12300	13600	14800
Kühladerraum- inhalt $V_k$ [m <sup>3</sup> ]	4400	4920	5440	5920
mittlerer Gewinn $\bar{G}$ (in 10 <sup>6</sup> DM)	1.821	1.943	1.898	1.825
Streuung $S_G$ (in 10 <sup>6</sup> DM)	0.332	0.367	0.390	0.404

$$\begin{aligned} \text{Räume } r &= 1,85 \text{ m}^3/\text{Mp} \\ &= \text{const} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_k/V_0 &= 0.4 \\ &= \text{const} \end{aligned}$$

Schiff	III	V	VI
Räume $r$ [m <sup>3</sup> /Mp]	1.85	2.15	2.45
Gesamtladeraum- inhalt $V_o$ [m <sup>3</sup> ]	13600	15800	18000
Kühladeraum- inhalt $V_K$ [m <sup>3</sup> ]	5440	6320	7200
mittl. Gewinn $\bar{G}$ (in 10 <sup>6</sup> DM)	1.898	1.865	1.778
Streuung $S_G$ (in 10 <sup>6</sup> DM)	0.390	0.396	0.400

$dw = 8000 \text{ Mp}$   
 $= \text{const.}$

$V_K/V_o = 0.4$   
 $= \text{const.}$

Schiff	VII	III	VIII
$V_K/V_o$	0.2	0.4	0.6
Kühladeraum- inhalt $V_K$ [m <sup>3</sup> ]	2720	5440	8160
mittlerer Gewinn $\bar{G}$ (in 10 <sup>6</sup> DM)	1.877	1.898	1.657
Streuung $S_G$ (in 10 <sup>6</sup> DM)	0.366	0.390	0.406

$dw = 8000 \text{ Mp}$   
 $= \text{const.}$

$r = 1.85 \text{ m}^3/\text{Mp}$   
 $= \text{const.}$

$V_o = 13600 \text{ m}^3$   
 $= \text{const.}$

### Einfluß der Tragfähigkeit

Für die Schiffe I bis IV, die bei jeweils gleicher Räume und dem gleichen Anteil des Kühladeraums am Gesamtladeraum verschiedene Tragfähigkeiten haben, ergibt sich mit zunehmender Tragfähigkeit zunächst auch eine Zunahme des mittleren jährlichen Gewinns. Den größten Wert erhält man für Schiff II. Mit weiter zunehmender Tragfähigkeit wird der mittlere jährliche Gewinn wieder geringer.

Diese Abhängigkeit kann wie folgt erklärt werden:

Wie sich aus dem Vorhergehenden ergibt, werden von größeren Schiffen weniger häufig und im Mittel kleinere Mengen Ladung zurückgelassen als von kleineren Schiffen. Von den größeren Schiffen wird deshalb im Mittel mehr Ladung transportiert, so daß auch die im Mittel erzielten Einnahmen bei einem größeren Schiff größer sind als bei einem kleineren.

Den Mehreinnahmen stehen die mit der Tragfähigkeit zunehmenden Kosten gegenüber. Von einer bestimmten Schiffsgröße an steigen diese Kosten stärker als die mittleren Mehreinnahmen. Das liegt daran, daß der Mittelwert der mitgenommenen Mengen wegen der selten auftretenden großen Ladungsmengen in immer schwächerem Maße zunimmt und schließlich nicht größer wird als der Mittelwert der angebotenen Ladungsmengen.

Die mit der Tragfähigkeit steigende Streuung des jährlichen Gewinns ist in erster Linie auf die Streuung der Einnahmen zurückzuführen; bei einem großen Ladungsangebot sind bei einem großen Schiff größere Einnahmen möglich als bei einem kleinen. Bei einem kleinen Ladungsangebot sind die Einnahmen für das große und kleine Schiff gleich.

#### Einfluß der Räume

Die Schiffe III, V und VI haben bei etwa konstanter Tragfähigkeit verschieden große Rauminhalte. Es zeigt sich, daß der mittlere jährliche Gewinn mit zunehmendem Laderauminhalt zunächst wenig, dann stärker abnimmt. Die zusätzlichen Mehreinnahmen übertreffen bei wachsendem Laderauminhalt offensichtlich nicht die höheren Kosten.

Die Streuungen des jährlichen Gewinns nehmen mit dem Laderauminhalt zu.

Dies kann auf die gleichen Ursachen zurückgeführt werden, wie die Zunahme der Streuung des jährlichen Gewinns bei wachsender Tragfähigkeit.

### Einfluß des Kühlladerauminhalts

Die Schiffe VII, VIII und III unterscheiden sich im wesentlichen durch ihren Kühlladerauminhalt. Tragfähigkeit und Gesamtladerauminhalt sind für die drei Schiffe nahezu gleich.

Die mittleren jährlichen Gewinne der Schiffe III und VII unterscheiden sich kaum; der des Schiffes VIII ist geringer. Für dieses Schiff gibt es zwar einzelne Reisen, bei denen gegenüber den anderen Schiffen größere Einnahmen möglich sind; offensichtlich sind die mittleren Mehreinnahmen aus dem Transport von Kühlladung jedoch geringer als die Mehrkosten, die mit der Installation und dem Betrieb jeweils eines weiteren Kühlraumes verbunden sind.

Die Streuung des mittleren jährlichen Gewinns nimmt mit der Größe des Kühlladerauminhalts zu. Die Ursache liegt darin, daß bei größerem Kühlladerauminhalt wesentlich größere Einnahmen möglich sind als bei einem kleinen Kühlladerauminhalt.

### 7.5 Jährlicher Gewinn mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit des Dienstes

Mit den bisher üblichen, auf determinierten Größen beruhenden Verfahren ist es nicht möglich, die Zuverlässigkeit des Dienstes bei der Beurteilung von Schiffen zu berücksichtigen. Erst mit der Einführung zufälliger Variabler und der monetären Bewertung dieser Zuverlässigkeit wurden die hierfür notwendigen Voraussetzungen geschaffen.

Um aufzuzeigen, wie sich die Einbeziehung der Bewertung der Zuverlässigkeit des Dienstes auswirkt, wurde ein jährlicher Gewinn GF berechnet, in dem fiktive Kosten berücksichtigt sind, die sich aufgrund der Bewertung

des Zurücklassens von Ladung  
der Verspätung und  
des Auslassens des Hafens A2 bzw. B2

ergeben.

Da die jährlichen Kosten unter Einbeziehung der fiktiven Kosten nicht mehr als nahezu konstant angesehen werden können, ist auch die Streuung des jährlichen Gewinns mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit größer als ohne diese. Die aus Stichproben ermittelten Verteilungsfunktionen für diesen jährlichen Gewinn sind in Bild 35 dargestellt. Da die Verteilung für die zurückgelassenen Ladungsmengen und für die Verspätung an der Stelle null eine diskrete Wahrscheinlichkeit besitzen, ergeben sich für den jährlichen Gewinn unter Berücksichtigung der Zuverlässigkeit stark unsymmetrische Verteilungen. Diese Verteilungen besitzen eine negative Schiefe, d.h., die Dichten sind "rechtssteil". Wegen des kleineren Mittelwerts und der größeren Streuung ergeben sich hier auch negative Werte. Die Wahrscheinlichkeit hierfür ist mit etwa 13 % für Schiff VI am größten, für Schiff III mit etwa 4 % am kleinsten. Bei den übrigen Schiffen treten negative Werte mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 5 bis 8 % auf. Die errechneten Mittelwerte, Streuungen und die Differenzen dieser Mittelwerte zu dem entsprechenden ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit sind in folgenden Tabellen zusammengestellt.

Schiff	I	II	III	IV
Tragfähigkeit $d_w$ [Mp]	6500	7250	8000	8750
Gesamtladerauminhalt $V_o$ [m <sup>3</sup> ]	11000	12300	13600	14800
Kühlladerauminhalt $V_K$ [m <sup>3</sup> ]	4400	4920	5440	5920
mittlerer Gewinn $\overline{GF}$ (in 10 <sup>6</sup> DM)	0.698	1.123	1.194	1.171
Streuung $s_{GF}$ (in 10 <sup>6</sup> DM)	0.544	0.608	0.626	0.640
Differenz $\Delta \overline{G} = \overline{G} - \overline{GF}$ (in 10 <sup>6</sup> DM)	1.123	0.820	0.704	0.654

$r = 1.85 \text{ m}^3/\text{Mp} = \text{const}$

$V_K/V_o = 0.4 = \text{const.}$

Schiff	III	V	VI
Räume r [m <sup>3</sup> /Mp]	1.85	2.15	2.45
Gesamtladerraum- inhalt V <sub>o</sub> [m <sup>3</sup> ]	13600	15800	18000
Kühladerraum- inhalt V <sub>K</sub> [m <sup>3</sup> ]	5440	6320	7200
mittlerer Gewinn $\overline{GF}$ (in 10 <sup>6</sup> DM)	1.194	1.119	0.916
Streuung s <sub>GF</sub> (in 10 <sup>6</sup> DM)	0.626	0.669	0.748
Differenz $\Delta\overline{G} = \overline{G} - \overline{GF}$ (in 10 <sup>6</sup> DM)	0.704	0.746	0.862

dw = 8000 Mp  
= const.

r = 1.85 m<sup>3</sup>/Mp  
= const.

V<sub>o</sub> = 13600 m<sup>3</sup>  
= const.

Schiff	VII	III	VIII
V <sub>K</sub> /V <sub>o</sub>	0.2	0.4	0.6
Kühladerraum- inhalt [m <sup>3</sup> ]	2720	5440	8160
mittlerer Gewinn $\overline{GF}$ (in 10 <sup>6</sup> DM)	0.867	1.194	1.069
Streuung s <sub>GF</sub> (in 10 <sup>6</sup> DM)	0.559	0.626	0.662
Differenz $\Delta\overline{G} = \overline{G} - \overline{GF}$ (in 10 <sup>6</sup> DM)	1.010	0.704	0.588

dw = 8000 Mp  
= const.

r = 1.85 m<sup>3</sup>/Mp  
= const.

V<sub>o</sub> = 13600 m<sup>3</sup>  
= const.

### Einfluß der Tragfähigkeit

Die Berücksichtigung der Zuverlässigkeit des Dienstes bringt für alle Schiffe eine Verminderung des mittleren Gewinns. Diese Verminderung, die im wesentlichen auf der Bewertung des Zurücklassens von Ladung und der Verspätung beruht, nimmt mit der Tragfähigkeit ab. Der Vorteil, daß mit steigender Tragfähigkeit weniger Ladung zurückgelassen wird, überwiegt hier den Nachteil, daß die Verspätung mit der Tragfähigkeit zunimmt. Die sich deshalb bei größeren Schiffen weniger stark auswirkende Bewertung der Zuverlässigkeit führt dazu, daß sich der größte Wert für den mittleren Gewinn  $\overline{GF}$  für Schiff III ergibt. Nach den Mittelwerten geordnet erhält man hier deshalb eine andere Reihung als bei der Reihung nach dem Mittelwert des jährlichen Gewinns ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit.

### Einfluß der Räumte

Für die Schiffe III, V und VI führt die Beurteilung aufgrund des Mittelwertes  $\overline{GF}$  zu der gleichen Reihung wie vorher. Die Unterschiede zwischen den Mittelwerten sind hier jedoch größer, was wie folgt erklärt werden kann.

Wegen der mit wachsender Räumte zunehmenden Häufigkeit, mit der der Hafen A2 nicht angelaufen wird, steigen auch die zurückgelassenen Ladungsmengen. Da die Verspätungen ebenfalls mit der Räumte zunehmen, addieren sich die Nachteile.

### Einfluß des Kühlladerauminhalts

Für die Schiffe mit unterschiedlichem Kühlladerauminhalt ergibt sich hier nach aufsteigenden Mittelwerten  $\overline{GF}$  geordnet die Reihung: VII, VIII, III. Die veränderte Reihung gegenüber der Reihung nach  $\overline{G}$  ist darauf zurückzuführen, daß die fiktiven Kosten infolge der Bewertung des Zurücklassens der Kühlladung für Schiff VII, das nur einen Kühlladeraum besitzt, besonders hoch sind.

Wie das Ergebnis für Schiff VIII zeigt, wiegt andererseits die Möglichkeit, auch bei den selten vorkommenden großen Kühlladungsangeboten nahezu alle Kühlladung befördern zu können, die Mehrkosten infolge eines dritten Kühlladeraums nicht auf.

7.6 Kapitalwert und Erwartungswert des Risiko-Nutzens

In den folgenden Tabellen sind zunächst der Mittelwert und die Streuung des Kapitalwertes und der Erwartungswert des Risiko-Nutzens jeweils ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit angegeben.

Schiff	Kapitalwert ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit		Erwartungswert des Risiko-Nutzens $E \{ U_{BG} \}$
	Mittelwert $\bar{u}_G$ [ $10^6$ DM]	Streuung $s_{uG}$ [ $10^6$ DM]	
I	17.705	0.861	14.427
II	18.886	0.950	15.016
III	18.449	1.010	14.800
IV	17.739	1.040	14.442

III	18.449	1.010	14.800
V	18.126	1.025	14.638
VI	17.283	1.036	14.210

VII	18.245	0.948	14.698
III	18.449	1.010	14.800
VIII	16.107	1.053	13.596

Ordnet man die Schiffe nach abnehmenden mittleren Kapitalwert  $\bar{u}_G$  und abnehmendem Erwartungswert für den Risiko-Nutzen  $E \{ U_{BG} \}$ , ergeben sich folgende Reihungen:

Stellenwert	1	2	3	4	5	6	7	8
nach $\bar{u}_G$ *	II	III	VII	V	IV	I	VI	VIII
nach $E \{ U_{BG} \}$	II	III	VII	V	IV	I	VI	VIII

\* Die Reihung nach  $\bar{u}_G$  ist gleich der Reihung nach  $\bar{G}$

Es zeigt sich, daß eine Beurteilung der Alternativen aufgrund des Risiko-Nutzens zu dem gleichen Ergebnis führt, wie die Beurteilung aufgrund des mittleren Kapitalwerts.

Der Grund für die gleiche Reihung ist darin zu suchen, daß die gewählte Risikobewertungsfunktion im Bereich der hier gefundenen großen Kapitalwerte nur schwach gekrümmt ist, so daß sich deshalb die Streuungen, die sich hier nur wenig unterscheiden, kaum auf das Ergebnis auswirken. Ein wesentlicher Einfluß der Risikobewertungsfunktion würde sich erst bei solchen Mittelwerten und Streuungen des Kapitalwerts ergeben, bei denen auch negative Kapitalwerte mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftreten würden.

Wenn man bei der Beurteilung der Schiffe vom Erwartungswert des Risiko-Nutzens ohne Bewertung der Zuverlässigkeit ausgehen würde, müßte die Entscheidung zugunsten des Schiffes II ausfallen.

In der Hafengruppe A reicht die Kapazität dieses Schiffes in etwa 69 % aller Reisen aus; in der Hafengruppe B kann das angebotene normale Stückgut in 90 % und das angebotene Kühlgut in etwa 81 % aller Reisen mitgenommen werden.

Zum Vergleich sind in den nachstehenden Tabellen der Mittelwert und die Streuung des Kapitalwerts und der Erwartungswert des Risiko-Nutzens jeweils mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit angegeben.

Schiff	Kapitalwert mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit		Erwartungswert des Risiko-Nutzens $E \{U_{BGF}\}$
	Mittelwert $\bar{U}_{GF} [10^6 \text{ DM}]$	Streuung $s_{uGF} [10^6 \text{ DM}]$	
I	6.793	1.409	7.673
II	10.913	1.575	10.575
III	11.610	1.621	11.011
IV	11.390	1.659	10.873

III	11.610	1.621	11.011
V	10.876	1.734	10.544
VI	8.909	1.936	9.212

VII	8.430	1.449	8.904
III	11.610	1.621	11.011
VIII	10.390	1.715	10.231

Danach ergeben sich, nach abnehmendem mittleren Kapitalwert  $\bar{U}_{GF}$  und abnehmendem Erwartungswert des Risiko-Nutzens  $E \{U_{BGF}\}$  geordnet, die folgenden Reihungen:

Stellenwert	1	2	3	4	5	6	7	8
nach $\bar{u}_{GF}$	III	IV	II	V	VIII	VI	VII	I
nach $E \{U_{BGF}\}$	III	IV	II	V	VIII	VI	VII	I

Da auch hier der mittlere Kapitalwert erheblich größer als die Streuung ist, führt die direkte Betrachtung zu dem gleichen Ergebnis wie die Beurteilung aufgrund des Risiko-Nutzens.

Gegenüber dem vorher untersuchten Fall ergibt sich durch die Berücksichtigung der Zuverlässigkeit jedoch eine völlig andere Reihung. Der Erwartungswert des Risiko-Nutzens ist hier für das Schiff III am größten, so daß die Entscheidung zugunsten dieses Schiffes ausfallen müßte. Es hat eine größere Tragfähigkeit, mehr Laderauminhalt und einen größeren Kühladerauminhalt als das ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit optimale Schiff II, das hier an dritter Stelle steht.

In der Hafengruppe A überschreitet die angebotene Ladungsmenge in 90 % aller Reisen nicht die Ladefähigkeit des Schiffes III. In der Hafengruppe B reicht die Ladefähigkeit aus, um in 96 % aller Reisen das angebotene normale Stückgut und in 84 % aller Reisen die angebotene Kühlladung unterzubringen.

Sowohl das ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit optimale Schiff II als auch das mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit optimale Schiff III unterscheidet sich von demjenigen Schiff, das optimal wäre, wenn man von determinierten Mittelwerten ausgehen würde. Optimal wäre unter diesen Voraussetzungen ein Schiff, dessen Ladefähigkeit so ausgelegt ist, daß die als determiniert angenommene Ladungsmenge gerade untergebracht werden kann.

In der Hafengruppe A beträgt das mittlere Gewicht der angebotenen Ladung 5000 Mp, das Volumen 9200 m<sup>3</sup>. In der Hafengruppe B ergeben sich für das mittlere Gewicht der angebotenen normalen Stückgutladung 4178 Mp; für das mittlere Gewicht der angebotenen Kühlladung 975 Mp. Das mittlere Volumen der normalen Stückgutladung beträgt 6500 m<sup>3</sup> und das mittlere Volumen der Kühlladung 2630 m<sup>3</sup>.

Ein Schiff mit einer entsprechenden Ladefähigkeit und einem entsprechenden Kühladeraum befindet sich zwar nicht unter den hier betrachteten Alternativen; jedoch würde ein Schiff mit der Ladefähigkeit des Schiffes I und dem Kühladerauminhalt des Schiffes VII den Anforderungen am nächsten kommen. Es ist ohne weitere Rechnung leicht einzusehen, daß ein solches Schiff im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen weit vom Optimum entfernt ist.

8. Vertrauensgrenzen und Gültigkeitsbereich der Ergebnisse.

Um eine gute Übereinstimmung der empirischen mit der tatsächlichen Verteilungsfunktion zu erzielen wird zwar eine möglichst große Anzahl der Stichprobenwerte angestrebt; sie läßt sich jedoch wegen des damit verbundenen großen Rechenaufwands meist nicht verwirklichen. Bei der Wahl des Stichprobenumfangs muß ein Kompromiß zwischen der Genauigkeit einerseits und der tragbaren Rechenzeit andererseits gemacht werden.

Die in den Bildern 24 bis 37 dargestellten Verteilungsfunktionen sind empirische Verteilungsfunktionen, die auf einer beschränkten Anzahl von Simulationen beruhen. Es muß deshalb damit gerechnet werden, daß man bei einer Wiederholung mit anderen Zufallszahlen zu anderen Ergebnissen kommt.

Um die möglichen Abweichungen der empirischen von den tatsächlichen Verteilungsfunktionen aufzuzeigen, wird nach einem von Kolmogoroff-Smirnow angegebenen Verfahren diejenige größte Differenz  $C_S$  zwischen den beiden Verteilungen berechnet, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit  $S$  nicht überschritten wird.

Der Bereich, der entsteht, wenn man  $C_S$  nach oben und nach unten von der empirischen Verteilungsfunktion abträgt, heißt Vertrauensbereich. Er überdeckt mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit  $S$  die tatsächliche Verteilungsfunktion.

Im folgenden werden die für eine Sicherheitswahrscheinlichkeit  $S = 95\%$  berechneten Vertrauensgrenzen für die empirischen Verteilungsfunktionen angegeben. Sie sind der Übersichtlichkeit halber nicht in die Bilder eingezeichnet.

Die Anzahl der Stichprobenwerte, die zur Ermittlung der in Bild 21 bis 26 dargestellten Verteilungen der Geschwindigkeit, der Probefahrtgeschwindigkeit und der zugehörigen Leistung berechnet wurden, beträgt  $N = 5000$ . Damit ergibt sich für den  $95\%$  - Vertrauensbereich ein Wert von

$$C_{95} = \pm 0.0192$$

Den Verteilungen der mittleren Geschwindigkeit, des Brennstoffverbrauchs und der Ladezeit im Hafen A1 (Bild 27 bis 29) liegt ein Stichprobenumfang von  $N = 1000$  zugrunde. Der Vertrauensbereich ergibt sich in diesem Fall zu

$$C_{95} = \pm 0.043$$

Die Anzahl der Stichprobenwerte zur Bestimmung der Verteilungen für die Verspätung, die zurückgelassenen Ladungsmengen, den Gewinn mit und ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit (Bild 30 bis 35) beträgt  $N = 200$ . Für die Breite des 95 % - Vertrauensbereich erhält man damit den Wert

$$C_{95} = \pm 0.096$$

Auch der für die Beurteilung der Schiffe maßgebliche Mittelwert des Kapitalwerts bzw. des Gewinns (vgl. Abschn. 7) unterliegt wegen des begrenzten Stichprobenumfangs zufälligen Schwankungen. Aus dem Unterschied zwischen solchen Mittelwerten darf deshalb nicht ohne weiteres geschlossen werden, daß das Schiff mit dem größeren Mittelwert besser ist als das mit dem kleineren. Nur wenn der Unterschied genügend groß ist, darf man annehmen, daß er nicht zufallsbedingt ist. Um festzustellen, was in diesem Zusammenhang "genügend groß" ist, wird wie folgt vorgegangen:

Es wird zunächst angenommen, daß der tatsächliche Mittelwert des Gewinns des Schiffes X gleich dem des Schiffes Y ist (Nullhypothese). Mit dieser Annahme ist die Differenz der beiden Stichprobenmittel  $\bar{G}_x^*$  und  $\bar{G}_y^*$  näherungsweise\*\* mit dem Mittelwert 0 und einer noch zu bestimmenden Varianz  $\sigma^2$  normalverteilt. Wenn diese Verteilung bekannt ist, kann ein Wert  $d_\alpha$  bestimmt werden, der nur mit der Wahrscheinlichkeit  $\alpha$  (wobei  $\alpha$  klein gewählt wird) überschritten wird. Stellt man nun fest, daß die Differenz zwischen den Stichprobenmitteln  $\bar{d} = \bar{G}_x - \bar{G}_y$  größer als  $d_\alpha$  ist, kann dies zweierlei Gründe haben:

\*  $\bar{G}_x$  bzw.  $\bar{G}_y$  steht hier sowohl für den Mittelwert des Gewinns mit als auch ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit.

\*\* Bei dem hier vorliegenden Stichprobenumfang kann mit einer sehr guten Näherung gerechnet werden.

Entweder ist die Nullhypothese richtig und ein sehr unwahrscheinliches Ereignis ist eingetreten oder

die Nullhypothese ist falsch und  $\bar{G}_y$  ist tatsächlich kleiner als  $\bar{G}_x$ .

Wenn man den zweiten Grund annimmt, ist die Wahrscheinlichkeit, sich dabei zu irren, gleich  $\alpha$ . Durch geeignete Wahl der Irrtumswahrscheinlichkeit kann diese klein gehalten werden. Man sagt in einem solchen Fall, daß  $\bar{G}_x$  signifikant größer ist als  $\bar{G}_y$ .

Die Signifikanzgrenze  $d_\alpha$  kann mit Hilfe der Tafeln der Normalverteilung bestimmt werden. Man entnimmt diesen den Wert  $z_\alpha$ , der mit der Wahrscheinlichkeit  $\alpha$  nicht überschritten wird. Damit ergibt sich

$$d_\alpha = z_\alpha \cdot \sigma$$

Die Varianz der Differenz der Stichprobenmittel ist

$$\sigma^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 - 2 \cdot \sigma_{xy}$$

wobei

$$\sigma_x^2 = \text{Varianz von } \bar{G}_x$$

$$\sigma_y^2 = \text{Varianz von } \bar{G}_y$$

$$\sigma_{xy} = \text{Kovarianz zwischen } \bar{G}_x \text{ und } \bar{G}_y$$

Je kleiner  $\sigma^2$  ist, desto kleiner wird bei gleicher Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  die Differenz  $d_\alpha$ , bei der ein signifikanter Unterschied feststellbar ist.

Werden bei der Simulation  $\bar{G}_x$  und  $\bar{G}_y$  unabhängig voneinander bestimmt, wird  $\sigma_{xy} = 0$ . Geht man jedoch so vor, daß die einzelnen Werte für  $G_x$  und  $G_y$  paarweise unter Benutzung der gleichen Zufallszahlen ermittelt werden, kann man damit rechnen, daß sie mehr oder weniger stark korreliert sind und daß deshalb  $\sigma_{xy} \neq 0$  wird. Da bei diesem Vorgehen  $\sigma^2$  und damit  $d_\alpha$  kleiner wird als im erstgenannten Fall, ist in der vorliegenden Arbeit durchweg mit solchen "gepaarten Stichproben" gearbeitet worden.

Bei Verwendung gepaarter Stichproben kann  $\sigma^2$  aus einer Schätzung\* für die Varianz der Differenz von Wertpaaren bestimmt werden. Die Schätzung für diese Varianz ist

$$s_d^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (d_i - \bar{d})^2$$

wobei  $d_i = G_x - G_y =$  Differenz des Wertepaares  $i$

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (G_x - G_y) = \bar{G}_x - \bar{G}_y$$

$N =$  Stichprobenumfang (Anzahl der Wertepaare)

Damit läßt sich der Schätzwert für die Varianz  $\sigma^2$  der Differenz der Stichprobenmittel wie folgt berechnen

$$s^2 = \frac{1}{N} \cdot s_d^2$$

Die Anwendung des Tests wird hier darauf beschränkt festzustellen, ob die jeweils größten berechneten Mittelwerte für den Gewinn mit und ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit sich von den nächst kleineren (vgl. die folgende Tabelle, die mehr enthält) signifikant unterscheiden. Deshalb wird hier der Test für die einseitige Signifikanzgrenze durchgeführt. Als Signifikanzzahl (Irrtumswahrscheinlichkeit) wird  $\alpha = 5\%$  gewählt. Aus den Tafeln für die Normalverteilung erhält man damit

$$z_d = 1.65$$

In den folgenden Tabellen sind für verschiedene Alternativenpaare die Signifikanzgrenzen  $d_\alpha = z_d \cdot s$  und die Differenzen der Mittelwerte angegeben.

\* Bei den hier vorliegenden Stichprobenumfängen kann auch bei der Schätzung der Varianz aus den Stichprobenwerten die Normalverteilung als gute Näherung für die Verteilung von  $\bar{d}$  verwendet werden.

Vergleich der mittleren Gewinne ohne Berücksichtigung  
der Zuverlässigkeit

Alternativenpaar		Differenz d. Mittelwerte	
Schiff X	Schiff Y	$\bar{G}_x - \bar{G}_y$	DM
II	III	44 980	6500
II	VII	65 970	12400
II	V	78 210	9050
II	IV	117 990	9650

Vergleich der mittleren Gewinne mit Berücksichtigung  
der Zuverlässigkeit

Alternativenpaar		Differenz d. Mittelwerte	
Schiff X	Schiff Y	$\overline{GF}_x - \overline{GF}_y$	DM
III	IV	22 570	11250
III	II	71 712	17700

Danach sind die mittleren Gewinne ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit der Schiffe VII, V und IV signifikant kleiner als die des Schiffes II und die mittleren Gewinne mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit der Schiffe IV und II signifikant kleiner als die des Schiffes III.

Um im zuletzt genannten Fall aufgrund von unabhängigen Stichproben zu der gleichen Aussage zu kommen, wären bei gleichen Werten für Mittelwerte und Streuungen

$$\begin{array}{l} N_{u,III-IV} = 12\ 200 \\ \text{bzw.} \quad N_{u,III-II} = 6\ 600 \end{array} \quad \begin{array}{l} \\ \\ \text{Stichprobenwerte er-} \\ \text{forderlich.} \end{array}$$

Durch diese Zahlen wird der große Vorteil der Verwendung verbundener Stichproben gegenüber der unabhängiger Stichproben deutlich.

Ein Test dafür daß sich zwei Verteilungsfunktionen, die auf gepaarten Stichproben beruhen, signifikant unterscheiden, existiert nicht. Es ist jedoch zu erwarten, daß die Verwendung verbundener Stichproben auch beim Vergleich zweier Verteilungsfunktionen ähnlich vorteilhaft ist wie beim Vergleich der Mittelwerte.

Aufgrund der beschränkten Anzahl der Stichprobenwerte für den Gewinn bei Berücksichtigung der Zuverlässigkeit lassen sich über die Verteilungsfunktion des Nutzens bzw. über die Parameter dieser Verteilung (Mittelwert und Streuung) nur Wahrscheinlichkeitsaussagen machen. Der Mittelwert ist normal verteilt und die Varianz ist  $\chi^2$ -verteilt.

Eine Entscheidungssituation, in der für mehrere Alternativen solche Stichprobenrechnungen vorliegen, ist dadurch gekennzeichnet, daß eine Entscheidung aufgrund einer verteilten Verteilung des Nutzens getroffen werden muß. Man könnte diese Situation als eine Risiko-Situation auf einer höheren Ebene bezeichnen; eine Risiko-Situation deshalb, weil die Verteilung der Parameter der Verteilung bekannt ist.

Mit der Behandlung solcher Probleme hat sich Tintner (1941) auseinandergesetzt; für die hier durchgeführten Untersuchungen wird darauf nicht weiter eingegangen, da eine Entscheidung aufgrund einer Stichprobenfunktion, die in der beschriebenen Weise gewonnen wurde, näherungsweise zu dem gleichen Ergebnis führt wie eine Entscheidung aufgrund einer wahren Verteilungsfunktion.

## 9. Zusammenfassung

Bei der Bestimmung der Hauptdaten eines Schiffes, die hier zu den Entwurfsaufgaben gerechnet wird, stehen Wirtschaftlichkeitsfragen im Vordergrund. Zahlreiche Größen, die auf die Eigenschaften eines Schiffes und seinen zukünftigen wirtschaftlichen Erfolg einen Einfluß haben, sind zufällig. Dies sind vor<sup>u</sup>allem die für das Schiff relevanten Umweltgrößen. Deshalb läßt sich auch der wirtschaftliche Erfolg eines geplanten Schiffes nicht als determinierte Größe vorhersagen.

Da bisher ein quantitativer Zusammenhang zwischen diesen zufälligen Größen, den Eigenschaften und dem wirtschaftlichen Erfolg des Schiffes nicht bekannt ist, wurden und werden die Hauptdaten eines Schiffes meist aufgrund von Erfahrungen festgelegt. In allen daran anschließenden Entwurfs- und Wirtschaftlichkeitsrechnungen werden Zufälligkeiten bisher nicht beachtet.

In der vorliegenden Arbeit wird am Beispiel eines Linienschiffes gezeigt, wie Tragfähigkeit, Laderauminhalt und Kühlladerauminhalt bestimmt werden können, wenn für wesentliche, die Umwelt beschreibende Größen, zufällige Variable eingeführt werden. Darüberhinaus werden auch Zufälligkeiten berücksichtigt, die aus der Unzulänglichkeit der im Entwurfsstadium verwendeten Rechenmodelle entstehen.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird die Entwurfsarbeit als Entscheidungsaufgabe aufgefaßt und auf ein für alle Entscheidungsaufgaben gleichermaßen gültiges Grundmodell zurückgeführt.

Alternativen sind hier 8 Entwürfe von Linienschiffen, bei denen Tragfähigkeit, Räume und das Verhältnis von Kühlladerauminhalt zu Gesamtladerauminhalt systematisch variiert werden. Alle Schiffe werden dabei für die gleiche Probefahrtgeschwindigkeit ausgelegt und das Ladegeschirr wird für alle Schiffe gleich angenommen.

Als für den wirtschaftlichen Erfolg relevante Umwelt werden Wahrscheinlichkeitsverteilungen angesetzt; unter anderem

für die Zusammensetzung, das Gewicht und Volumen der pro Reise in den zwei angelaufenen Hafengruppen A und B angebotenen Ladung,

für die Frachtraten und

für Größen, durch die Seegang und Nebel gekennzeichnet werden.

Die Eigenschaften der Schiffe werden hier unterteilt in technische, ökonomische und betriebliche Eigenschaften.

Zu den technischen Eigenschaften zählen hier u.a. die tatsächliche Tragfähigkeit und Verdrängung des Schiffes, die Reisegeschwindigkeit und die Umschlagsleistung.

Ökonomische Eigenschaften sind Kosten, Frachteinnahmen, Gewinn und Kapitalwert.

Unter betriebliche Eigenschaften fallen die Eigenschaften, mit denen die Zuverlässigkeit des Dienstes zu erfassen versucht wird.

Das sind hier:

- die Verspätung, mit der ein Schiff beispielsweise einen Hafen verläßt
- das Auslassen eines Hafens auf der Rundreise bedingt durch die Notwendigkeit, Verspätungen wieder aufzuholen
- das Zurücklassen von Ladung wegen nicht ausreichender Kapazität des Schiffes und/oder wegen des Auslassens eines Hafens.

Aufgrund der durch stochastische Variable gekennzeichneten Umwelt und Unzulänglichkeiten, die sich durch die Rechenmodelle ergeben, erhält man für diese Eigenschaften ebenfalls Verteilungen.

Für die Beurteilung der Schiffe ist bisher meist nur eine aus dem Geldfluß abgeleitete ökonomische Größe verwendet worden. Dieses Vorgehen wird den tatsächlichen Bedürfnissen jedoch nicht ausreichend gerecht, da auch Größen von Bedeutung sind, die sich quantitativ nicht auf den Geldfluß auswirken. Im Linienverkehr sind dies beispielsweise die Eigenschaften, mit denen hier die Zuverlässigkeit des Dienstes

beschrieben wird. Bei der bisher üblichen determinierten Betrachtungsweise war es nicht möglich, diese Größen zu berücksichtigen, da die erst mit der Einführung von zufälligen Variablen in Erscheinung treten.

Um der Zuverlässigkeit des Dienstes bei der Beurteilung der Schiffe Rechnung zu tragen, wird ein Nutzenkonzept eingeführt. Dazu wird zunächst eine monetäre Bewertung dieser Zuverlässigkeit des Dienstes vorgenommen, die eine Einbeziehung in den Geldfluß möglich macht. Als Nutzen wird der Kapitalwert des so erweiterten Geldflusses gewählt; er ist, wie die Eigenschaften, eine verteilte Größe.

Zur Beurteilung von Schiffen aufgrund von verteilten Nutzen wird das Bernoulli-Prinzip verwendet; damit läßt sich die Verteilung des Nutzens auf einen einzigen Zahlenwert, den Erwartungswert für den Risiko-Nutzen, zurückführen.

Wegen der Komplexität des Problems lassen sich die Verteilungen der Eigenschaften und des Nutzen nicht geschlossen bestimmen. Sie werden deshalb näherungsweise mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode ermittelt. Um die Aussagefähigkeit der Ergebnisse aufgrund der durch Simulationen erzielten Stichproben zu erhöhen, werden verbundene Stichproben verwendet.

Von den untersuchten 8 Alternativen ist dasjenige Schiffe optimal, für das sich der maximale Erwartungswert des Risiko-Nutzens ergibt. Dieses Schiff besitzt zwei Kühlräume, die 40 % des Gesamtladerauminhalts umfassen. Die Ladefähigkeit dieses Schiffes reicht in der Hafengruppe A in 90 %, in der Hafengruppe B in 96 % aller Reisen aus, die angebotene normale Stückgutladung unterzubringen. Das Volumen der angebotenen Kühlladung übersteigt in 84 % aller Reisen nicht den Kühlladerauminhalt des Schiffes. Dies bedeutet, daß die für normales Stückgut verfügbaren Räume dieses Schiffes in nur etwa 5 % aller Reisen voll sind bzw. das Schiff abgeladen ist und daß die Kühlraumkapazität in nur etwa 12 % der Reisen voll genutzt wird.

Die Erwartungswerte des Risiko-Nutzens für die Schiffe mit der nächst größeren bzw. kleineren Ladefähigkeit sind nur wenig geringer als der maximale. Es besteht also für die Festlegung der Ladefähigkeit eines Schiffes ein Spielraum, innerhalb dessen Grenzen nicht mit nennenswerten Unterschieden in der Wirtschaftlichkeit zu rechnen ist.

Wird der Zuverlässigkeit des Dienstes keine Bedeutung zugemessen und auf ihre Bewertung verzichtet, ist ein Schiff mit einer geringeren Ladefähigkeit optimal. In diesem Fall reicht die Ladefähigkeit in der Hafengruppe A in 69 % und in der Hafengruppe B in 90 % aller Reisen für die Unterbringung der normalen Stückgutladung aus; die angebotene Kühlladung kann in 81 % der Reisen vollständig mitgenommen werden. Unterschiedliche Bewertung der Zuverlässigkeit des Dienstes führt also bei gleicher relevanter Umwelt zu jeweils andern als optimal zu bezeichnenden Schiffen.

Sowohl das mit Berücksichtigung als auch das ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit des Dienstes jeweils optimale Schiff hat eine wesentlich größere Tragfähigkeit, einen größeren Laderauminhalt und mehr Kühlladerauminhalt als dasjenige Schiff, das bei determiniert angenommenen Mittelwerten für die relevanten Umweltgrößen optimal wäre. Die Wirtschaftlichkeit eines solchen Schiffes ist in der tatsächlichen, nicht determinierten Umwelt jedoch sehr viel geringer als die Wirtschaftlichkeit derjenigen Schiffe, deren Hauptdaten unter Berücksichtigung von Zufälligkeiten ermittelt wurden.

Das in dieser Arbeit entwickelte Modell ist nicht nur beim Schiffsentwurf, sondern auch für die Einsatzplanung zu verwenden. Durch die Kenntnis der Verteilungen für die Umschlagszeiten in den einzelnen Häfen und der Verteilungen der aus den zufälligen Reisegeschwindigkeiten folgenden Seezeiten kann bei Fahrplangestaltung vermieden werden, daß beispielsweise Seezeit reichlich vorhanden ist, Hafenzeiten jedoch zu kurz bemessen werden. Dabei lassen sich auch die Auswirkungen saisonaler Schwankungen im Ladungsangebot und in den Wetterverhältnissen auf die Hafenliegezeit bzw. Seezeit berücksichtigen.

10. Schrifttum

- 1 Aas, H. L.  
"Zur Methodik der Optimierungsrechnungen für Handelsschiffe"  
Schiffstechnik 1966
- 2 Aertssen, G.  
"Laboring of Ships in Rough Seas"  
SNAME 1968 Diamond Jubilee International Meeting
- 3 Andersson, Gerd  
"Schubzuwachs und relative Bugbewegung in unregelmäßigen Wellen"  
Diplomarbeit, 1964, unveröffentlicht
- 4 Bakenhus, J.  
"Die Eintauchung von Schiffen in unregelmäßigem Seegang"  
Hansa 1964
- 5 Bakenhus, J.  
"Untersuchungen über die optimale Tragfähigkeit und Räume  
von Linienschiffen"  
Institut für Schiffbau, Bericht Nr. 244, 1969
- 6 Becker, R.  
"Kostenpositionen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung eines  
Schiffes"  
Schiff und Hafen, Heft 8/1967
- 7 Benford, Harry  
"Fundamentals of Ship Design Economics"  
Ann Arbor, Michigan, 1965
- 8 Benford, Harry  
"Practical Application of Economics to Merchant Ship Design"  
Koninklijk Instituut van Ingenieurs Afdeling v. Werktuig en  
Scheepsbouw, 1965

- 9 Benford, Harry  
"Measures of Merit for Ship Design"  
Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1969
- 10 Berg, C. und Hebeler, H.  
"Be- und Entladen von Stückgutschiffen"  
Schiffstechnik u. Hansa, 1957
- 11 Bosse, K.  
"Grundsätzliche Kostenbetrachtung zum Problem der Organisation  
des Gütertransportes in der Seeschifffahrt"  
Diplomarbeit, unveröffentlicht
- 12 Brauer, Gerg  
"Schiffswirtschaftlichkeit - ein Investitionsproblem"  
interner Bericht, 1968, unveröffentlicht
- 13 Bühlmann, H., Loeffel, H. und Nievergelt, E.  
"Einführung in die Theorie und Praxis der Entscheidung bei  
Unsicherheit"  
Springer-Verlag, 1967
- 14 Buslenko, N. P. und Schreider, J. H.  
"Die Monte-Carlo-Methode und ihre Verwirklichung mit elektro-  
nischen Digitalrechnern"  
B. G. Teubner Leipzig 1964
- 15 Chirila, J. V.  
"Widerstand und Propulsion der Schiffe"  
STG-Jahrbuch Bd. 61, 1967, Springer-Verlag
- 16 Mc Dowell and Gibbs  
"Ocean Transportation"  
McGraw-Hill Book Company, 1954
- 17 Eilon, Samuel  
"Tafeln u. Tabellen f. Wirtschaft u. Industrie"  
R. Oldenbourg München u. Wien 1964

- 18 Elle, Björn J.  
"The Size of Aircraft for a Fluctuating Transport Demand"  
Saab Aktiebolag, Linköping Sweden September 1967
- 19 Everett, J. L.  
"Seaport Operations as a Stochastic Process"  
Journal of the Operations Research Society of America,  
vol. 1, p. 76, 1953, Abstract.
- 20 Gallin, C.  
"Entwurf wirtschaftlicher Schiffe mittels Elektronen-Rechner"  
STG-Jahrbuch Bd. 61 1967, Springer-Verlag
- 21 Goss, R. O.  
"Economic Criteria for Optimal Ship Designs"  
SNAME 1966
- 22 Grayson jr. u. Jackson, C.  
"Decisions Under Uncertainty"  
Harvard University, Boston 1960
- 23 Hall, Arthur D.  
"A Methodology for Systems Engineering"  
D. Van Nostrand Company, Inc., 1962
- 24 Horn, F.  
"Beitrag zur Theorie ummantelter Schiffsschrauben"  
STG-Jahrbuch Bd 44, 1950
- 25 Henn, R. und Künzi, H. P.  
Einführung in die Unternehmensforschung I"  
Springer-Verlag 1968
- 26 Hogben, N. and F. E. Lumb  
"Ocean Wave Statistics"  
London, Her Majesty's Stationary Office 1967
- 27 Illetschko, Leopold L.  
"Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure"  
Springer-Verlag 1965

- 28 Krappinger, O.  
"Grundlagen für die Aufstellung von rationalen Entscheidungskriterien"  
Vorlesung am IfS. unveröffentlicht, 1968
- 29 Krappinger, O.  
"Some Stochastic Aspects of Ship Design Economics"  
University of Michigan
- 30 Krappinger, O.  
"Systemtechnik - Eine aktuelle Ergänzung der Schiffstheorie"  
Hansa 1970
- 31 Kreyszig, Erwin  
"Statistische Methoden und ihre Anwendungen"  
Vandenhoeck u. Ruprecht, Göttingen 3. Aufl.  
1. Aufl. 1965, 2. Aufl. 67, 3. Aufl. 68
- 32 Kromphardt, Henn u. Förstner  
"Lineare Entscheidungsmodelle"  
Springer-Verlag, 1962
- 33 Lageveen-van Kugk, H.J.  
"Cost Relations of the Treatments of Ship Hulls and the Fuelconsumption of Ships"
- 34 Lewis, Edward V.  
"Optimum Fullness for Deadweight Cargo Ships in Moderate-Weather Service"  
Journal of Ship Research, Nov. 57 S. 7
- 35 Markgraf, H. und P. Binting  
"Klimatologie der Nordwesteuropäischen Gewässer,"  
Teil 3 Einzelveröffentlichung Nr. 10  
Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt Hamburg
- 36 Martin, Francis F.  
"Computer Modeling and Simulation"  
John Wiley u. Sons, Inc. 1968

- 37 Nowacki, H., Brusis, F. und Swift P.M.  
"Tanker Preliminary Design - An Optimization Problem with  
Constraints"  
SNAME 1970
- 38 von Neumann, John und Morgenstern, Oskar  
"Spieltheorie und wirtschaftliches Verhalten"  
Physica-Verlag-Würzburg 1971
- 39 Pfanzagl, J.  
"Allgemeine Methodenlehre der Statistik"  
Sammlung Göschen Band 746/746 a u. 747/747 a, 1968
- 40 Pollak, E. G. und Frankel, E. G.  
"Aspects of Ship Operation Effectiveness"  
International Shipbuilding Progress 1967, Nr. 153 S. 129
- 41 Rasch, D.  
"Elementare Einführung in die Mathematische Statistik"  
VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1968
- 42 Roll, H. U.  
"Höhe Länge und Steilheit der Meereswellen im Nordatlantik".  
Seewetteramt Hamburg 1953
- 43 Rotermund, W. und Koch, W.  
"Die Ladung", Band 1 und Band 2  
Eckardt u. Messtorff 1962, 1961
- 44 Saaty, Thomas L.  
"Mathematical Methods in Operations Research"  
McGraw-Hill Book Company, Inc. 1959
- 45 Savage, Leonard J.  
"The Foundations of Statistics"  
John Wiley u. Sons, Inc. 1954
- 46 Schneekluth, H.  
"Die wirtschaftliche Länge von See-Frachtschiffen und ihre  
Einflussfaktoren"  
Schiffstechnik 1957

- 47 Schneeweiß, H.  
"Entscheidungskriterien bei Risiko"  
Springer-Verlag 1967
- 48 Smirnow, N. W. und Dunin-Barkowski, L. W.  
"Mathematische Statistik in der Technik"  
VEB-Verlag 1969
- 49 Starr, Martin Kenneth  
"Product Design and Decision Theory"  
Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 1963
- 50 Swaan, W. A. and Rijken  
"Speed Loss at Sea as a Funktion of  
Longitudinal Weight Distribution,"  
International Shipbuilding Progress 1963
- 51 Tintner, G.  
"The Theory of Choice under Subjective Risk and Uncertainty"  
Econometrica 9 S. 298/304
- 52 Tocher, K. D.  
"The Art of Simulation"  
The English Universities Press Ltd London 67
- 53 Vlahavas, G. N.  
"Economic Speed Considerations"  
The Motor Ship 60 S. 10
- 54 Völker, H.  
"Über günstigste Hauptproportionen u. Maschinendrehzahlen"  
JSTG 1935 S. 398
- 55 Völker, H.  
"Grundlagen für den Entwurf opt. Handelsschiffe"  
JSTG 1959 S. 133
- 56 Völker, H.  
"Wirtschaftlichkeitsrechnungen beim Schiffsentwurf"  
Schiff und Hafen 1966 S. 449

- 57 Vossers, G., W.A. Swaan und H. Rijken  
"Experiments with Serie - 60 - Models in Waves"  
SNAME 1960
- 58 Wegner, U.  
"Größenverhältnisse von Seeschiffen"  
Hansa 1961 S. 575
- 59 Wendel, K.  
"Die Wahrscheinlichkeit des Überstehens von Verletzungen"  
Schiffstechnik 1960
- 60 Wendel, K.  
"Die Bewertung von Unterteilungen"  
Jahrbuch der STG 1961
- 61 Wendel, K.  
"Subdivision of Ships. Proceedings 1968"  
Diamond International Meeting, SNAME 1968
- 62 Wing, John F.  
"Economics in Ship Design and Operation"  
The University of Michigan Engineering Summer Conferences, 1966
- 63 Woodward, J. B. Benford, H. und Nowacki, H.  
"Systems Analysis in Marine Transport"  
SNAME 1968
- 64 "Maritime Transportation of Unitized Cargo"  
National Academy of Sciences - National Research  
Council, 1959, Publication 745
- 65 "San Francisco Port Study", Volume I und Volume II  
National Academy of Sciences - National Research  
Council, 1964, Publication 1140A und 1140B
- 66 "Research Techniques in Maritime Transportation"  
National Academy of Sciences - National Research  
Council, 1959, Publication 720

- 67 " Deutsches Schifffahrts- und Hafenjahrbuch 1968/69 "  
Schifffahrtsverlag " Hansa "
- 68 " Von See auf Hamburg "  
Verlag Carl Griese, Hamburg
- 69 " Statistik des Hamburgischen Staates  
Handel und Schifffahrt des Hafens Hamburg."  
Jahrgänge 1966, 1967 und 1968  
Hrsgg. Stat. Landesamt d. Freien u. Hansestadt Hamburg.
- 70 " Schiffbautechnisches Handbuch "  
2. Auflage Bd. 1  
VEB Verlag Technik Berlin

Tabelle 1 : Schiffdaten  
(Entwurfsdaten)

	Schiff							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Tragfähigkeit $\Delta w$ [Mp]	6 500	7 250	8 000	8 750	8 000	8 000	8 000	8 000
Räume $r$ [m <sup>3</sup> /Mp]	1,85	1,85	1,85	1,85	2,15	2,45	1,85	1,85
Kühladeraum- inhalt $V_K$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,6
Gesamtaderaum- inhalt $V_0$								
Verdrängung $\Delta$ [Mp]	10 830	12 100	13 350	14 600	14 400	15 700	12 900	13 800
mittleres Gewicht des fertig leeren Schiffes $\Delta_0$ [Mp]	4 330	4 850	5 350	5 850	6 420	7 700	4 900	5 800
Bruttorauminhalt GRT [RT]	4 130	4 660	5 200	5 750	5 700	6 200	4 970	5 350
Nettorauminhalt NRT [RT]	2 230	2 570	2 950	3 280	3 750	3 650	2 780	3 060
Stückgutladeraum [m <sup>3</sup> ]	11 000	12 300	13 600	14 800	15 800	18 000	13 600	13 600
Anzahl der Kühl- räume NK	2	2	2	2	2	2	1	3
Inhalt der einzelnen Kühlräume [m <sup>3</sup> ] (durch X gekennz.)	1 650 2 750 ] K	1 850 3 070 ] K	2 040 3 400 ] K	2 220 3 700 ] K	2 370 3 950 ] K	2 700 4 500 ] K	2 720 K 2 040	2 040 2 720 ] K
und Stückgutlade- räume	2 530 2 200 1 870	2 830 2 460 2 090	3 130 2 720 2 310	3 400 2 960 2 520	3 630 3 160 2 690	4 140 3 600 3 060	3 400 3 130 2 310	3 400 3 130 2 310
Antriebsleistung P[PS]	9 300	9 600	9 900	10 200	10 100	10 400	9 800	10 000
Leistung der Hilfsdiesel PH [PS]	515	525	535	545	550	565	535	545
Leistung der Kühlmaschinen PK [PS]	308	345	380	415	442	505	190	570
Dankermengen für: Hauptmaschine BA <sub>0</sub> [Mp]	1 395	1 440	1 485	1 530	1 510	1 560	1 470	1 500
Hilfsdiesel BH <sub>0</sub> [Mp]	82	83	85	86	87	90	85	87
Kühlmaschinen BK <sub>0</sub> [Mp]	36	40	44	48	52	59	22	66
Proviand und Friscwasser BP <sub>0</sub> [Mp]	138	141	143	144	143	143	143	143
Mannschaften + Effek- ten + Reedereiinventar MER [Mp]	43	46	50	54	50	50	50	50
Schiffslänge L [m]	126	131	136,5	142	141	146	134,5	138,5
Anzahl der Besat- zungsmitglieder ZB	44	45	40	47	46	46	46	46
kleinste projektierte Nutztragfähigkeit G <sub>00</sub> [Mp]	4806	5506	6193	6883	6158	6098	6220	6154

Tabelle 2 : Kosten

## Schiff

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Neubaukosten [DM·10 <sup>-3</sup> ]	16 056,6	16 822,6	17 595,2	18 214,0	17 890,2	18 194,2	15 102,6	20 087,8
Annuität [DM·10 <sup>-3</sup> ]	1 636,2	1 714,2	1 793,0	1 856,0	1 823,0	1 854,0	1 539,0	2 047,0
Jährliche Besatzungskosten [DM·10 <sup>-3</sup> ]	880,0	900,0	920,0	940,0	920,0	920,0	920,0	920,0
Jährliche Versicherungskosten [DM·10 <sup>-3</sup> ]	92,4	94,8	97,1	99,0	98,0	98,9	89,6	104,7
Hafengeld pro Anlauf [DM]	820	950	1 080	1 210	1 200	1 340	1 030	1 130
Raumgeld pro Tag [DM]	693	803	912	1 022	1 010	1 130	868	956
Kosten für Schlep- per u. Festmacher für jeweils An- und Ablegen pro Hafen [DM]	600	600	690	690	690	775	600	690
Lotsenkosten pro sm Revierweg [DM]	4,59	4,91	5,23	5,51	5,48	5,73	6,45	6,60

Bild 1 Logisches Schema für Entscheidungs -  
aufgaben. n. Krappinger

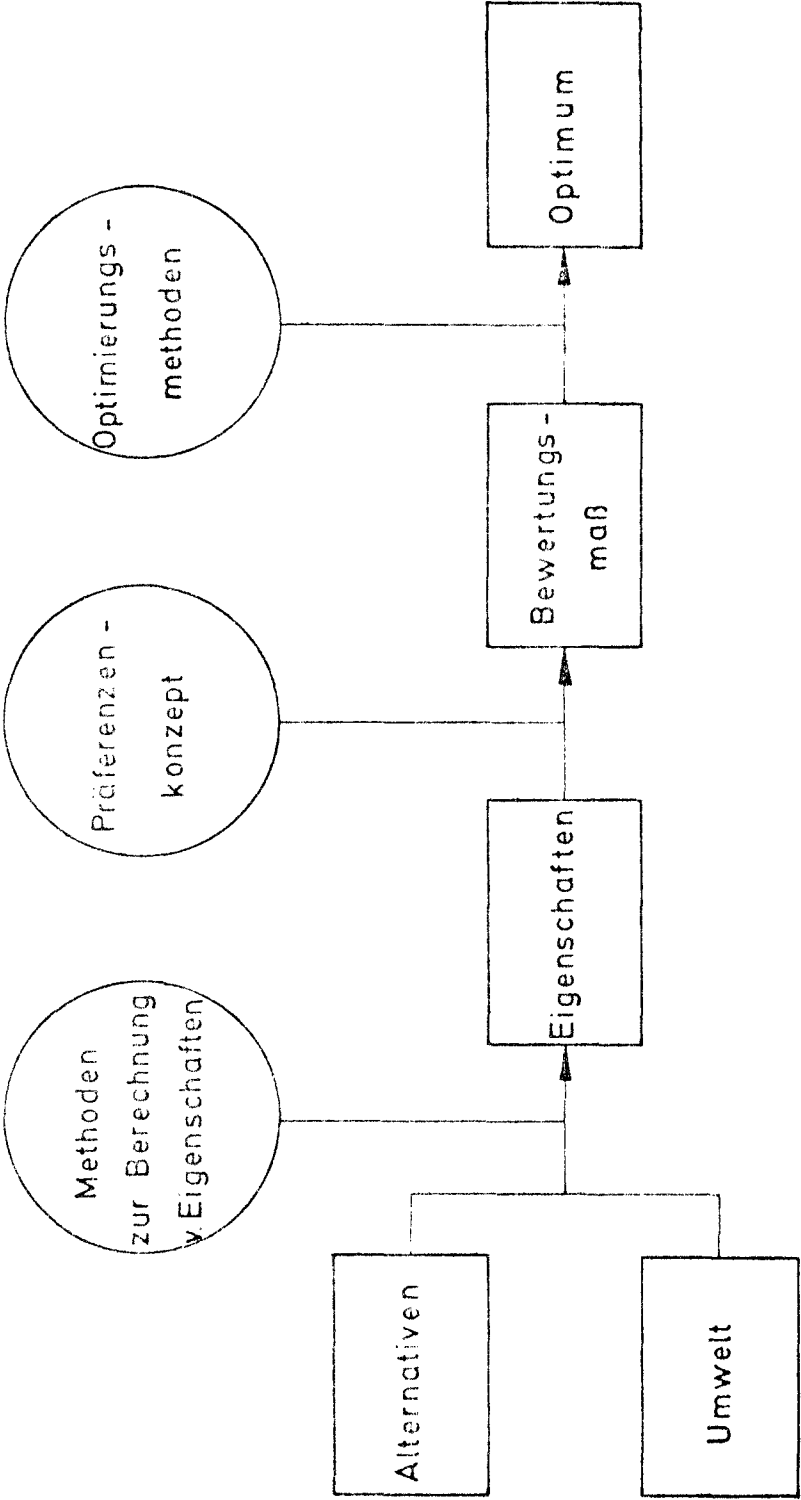


Bild 2 Mittelwerte des Gewichts der je Abfahrt in der Hafengruppe B angebotenen Ladung.

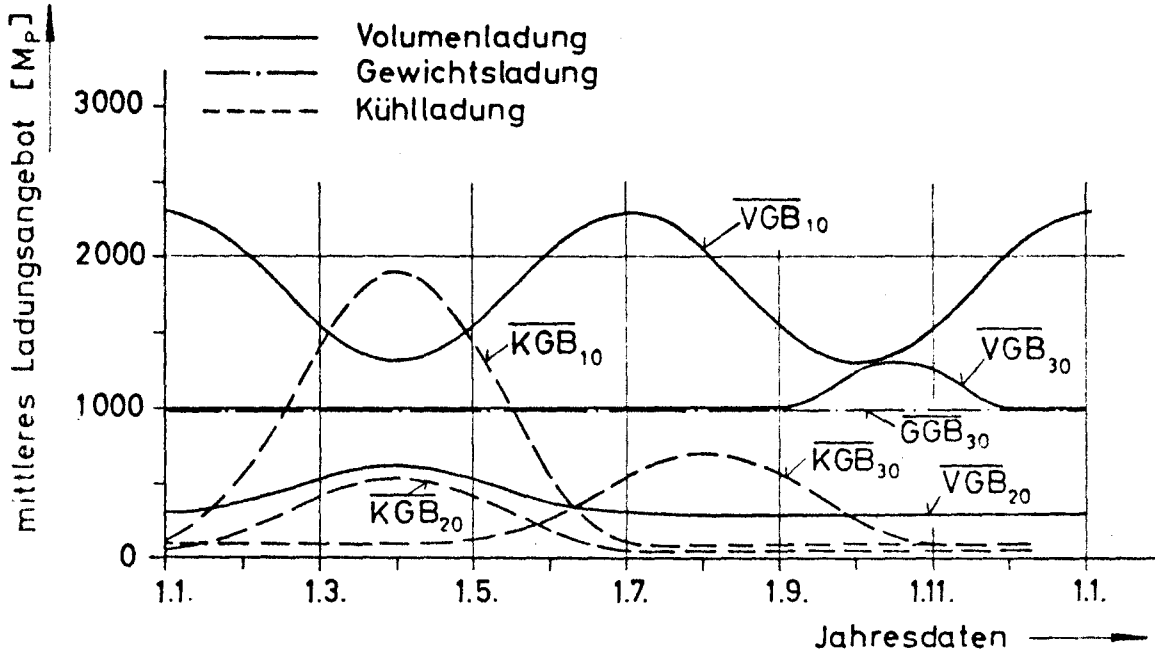


Bild 3  $\frac{dw}{\Delta}$  für Trockenfrachter.

$\Delta, x$  : gebaute Schiffe ohne Kühlraum  
 $\circ$  : gebaute Kühlschiffe

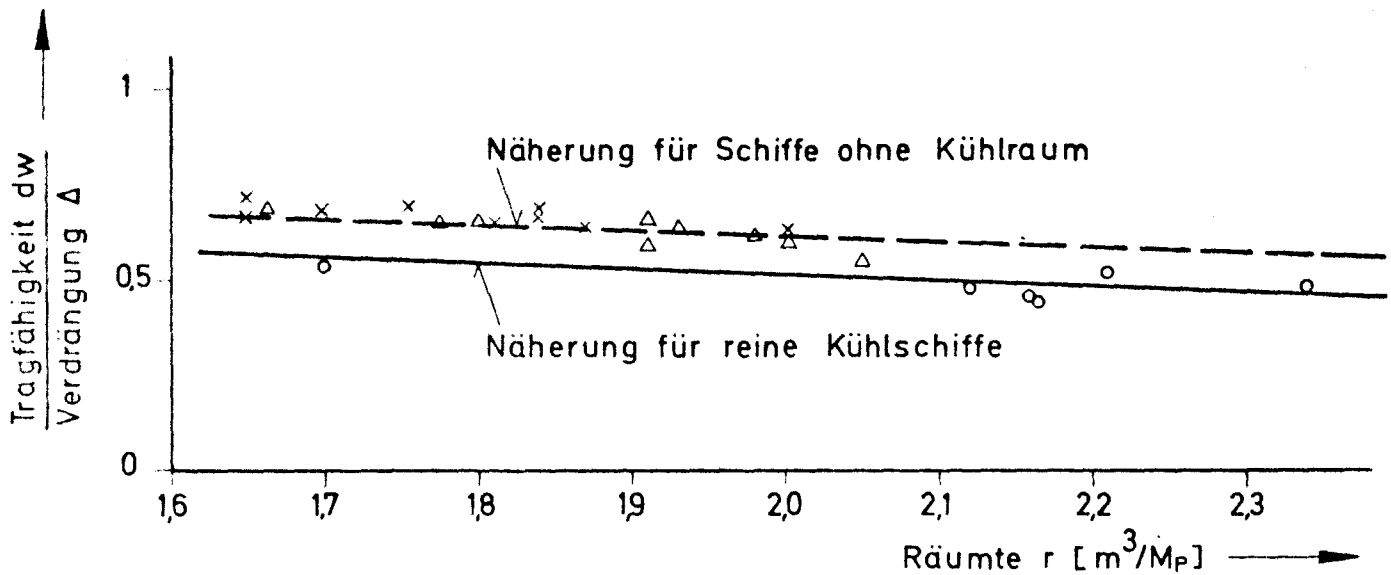


Bild 4 Rauminhalte von Frachtschiffen  
(Schutzdecker)

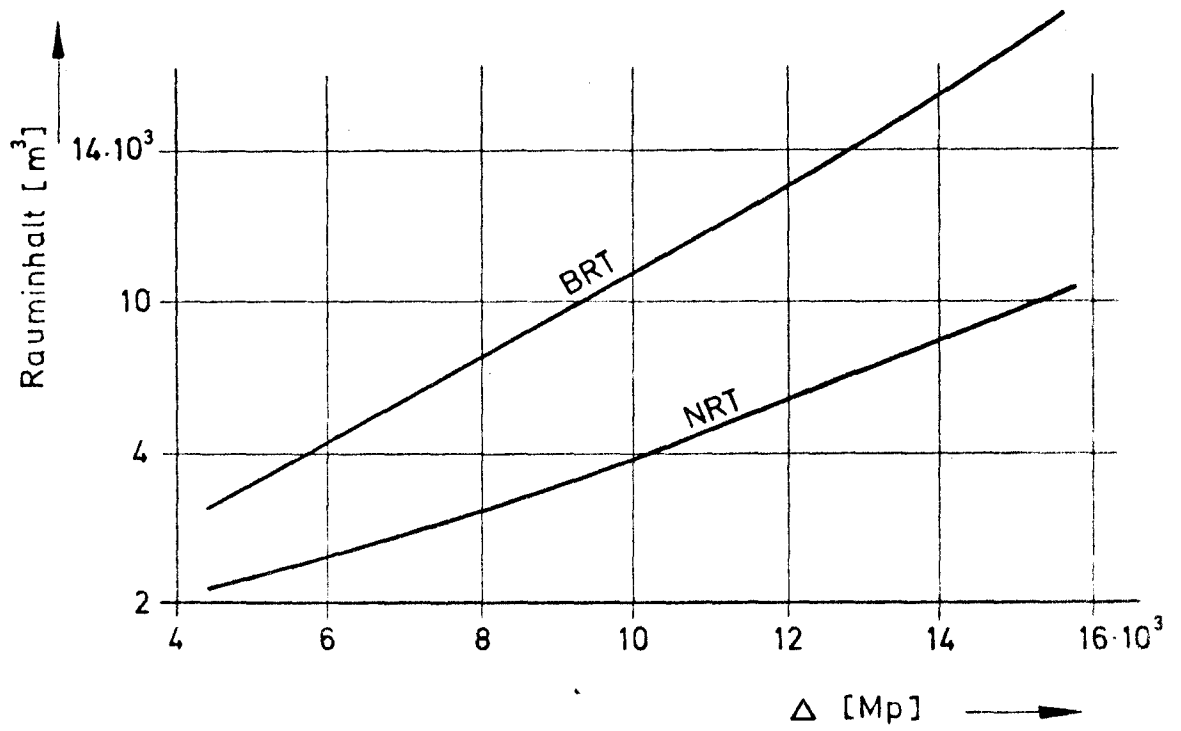


Bild 5 Antriebsleistung von Frachtschiffen  
(für eine Probefahrtgeschwindigkeit von 18 kn)

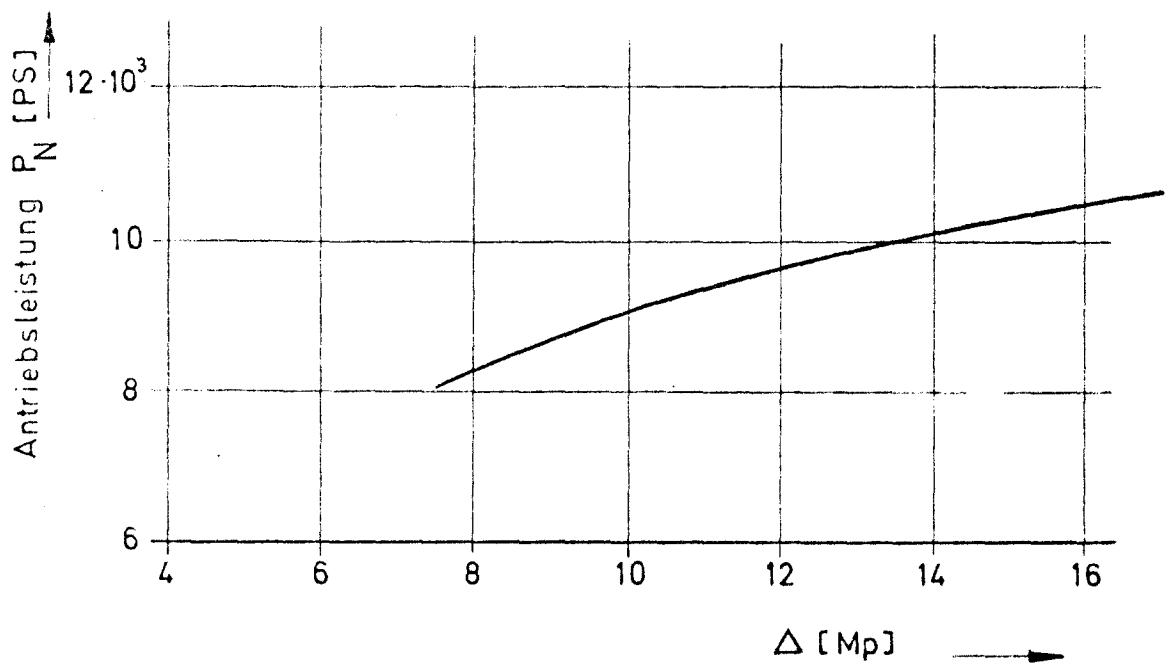


Bild 6 Spezifische Leistung von Hilfsdieseln.

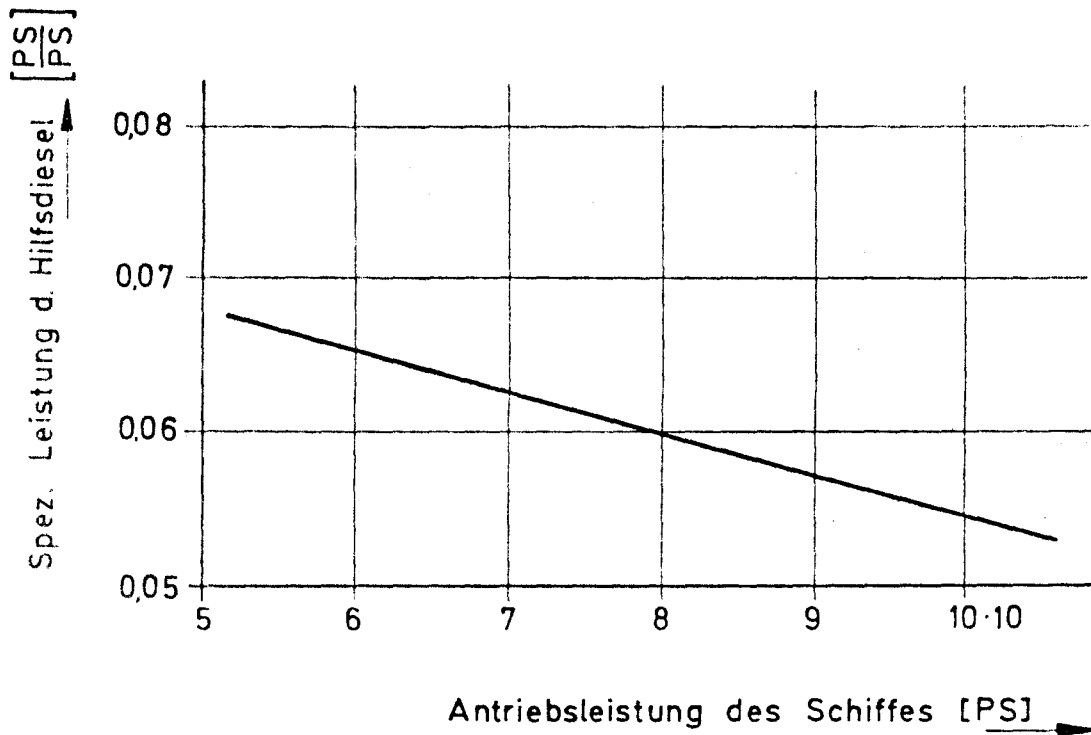


Bild 7 Länge von Frachtschiffen mit einer Dienstgeschwindigkeit von 17 kn (n. Bosse)

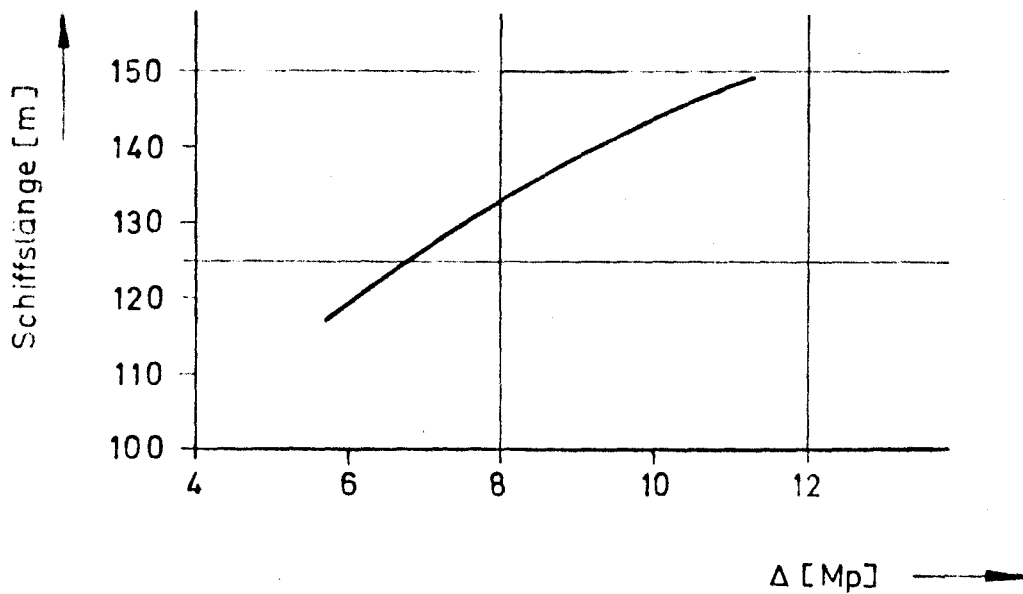
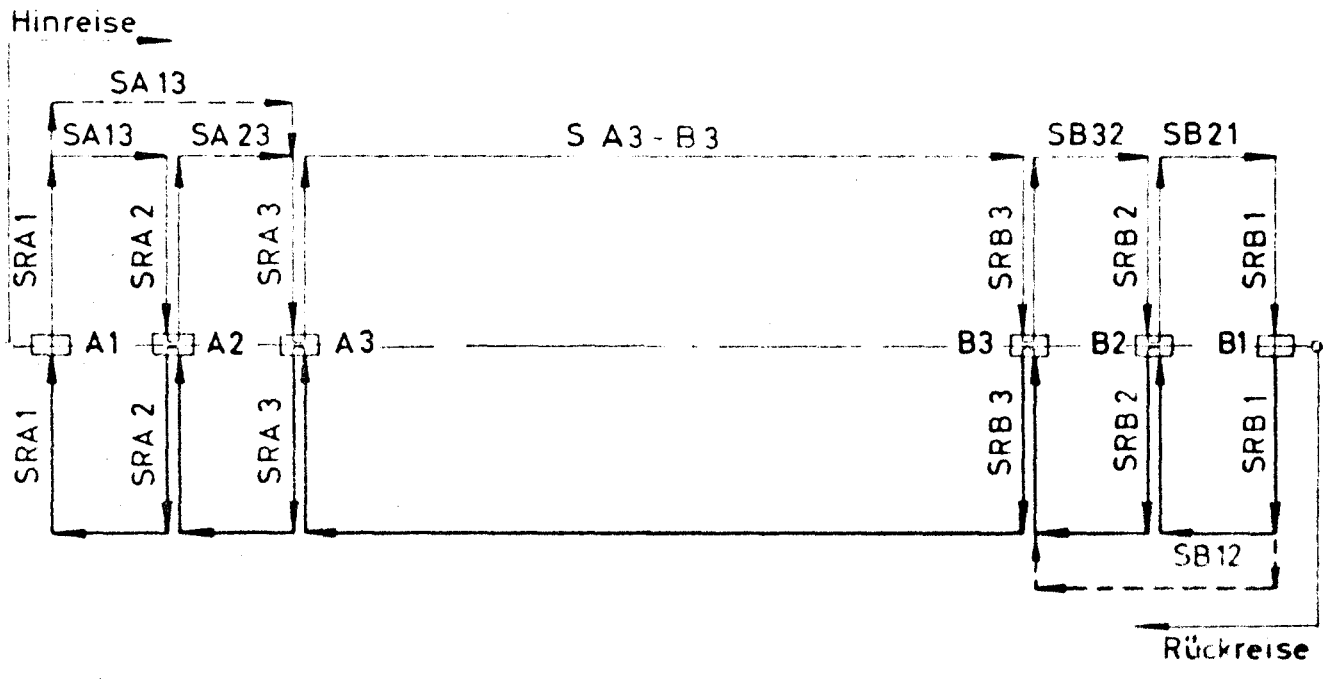


Bild 8 Rundreiseübersicht.

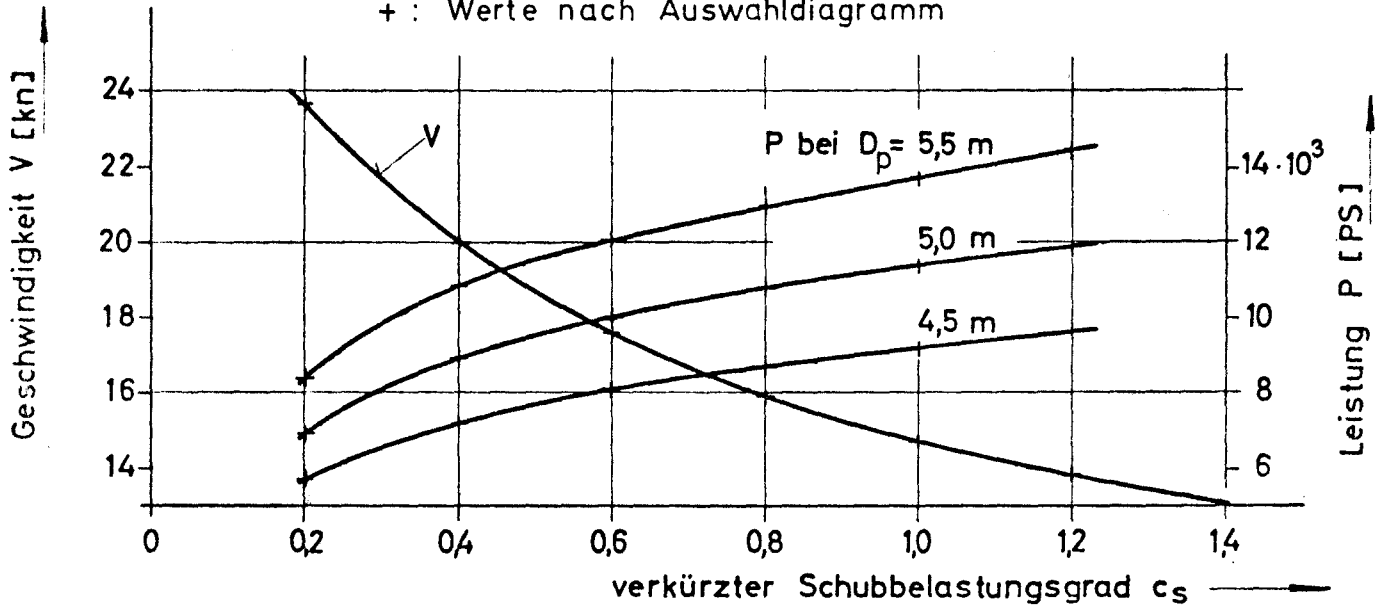
Seewege (Hinreise)  
 " (Rückreise)  
 Revierwege



**Bild 9** Geschwindigkeit und Leistung bei Propellern der Serie B-4-55.  $H/D_p = 1.0$

Annahme: Fortschrittsgrad  $\Lambda = \text{const}$  bei  $c_s = \text{const}$  für alle Propellerdurchmesser

+ : Werte nach Auswahldiagramm



**Bild 10** Betriebspunkte bei verschiedenen Schraubbelastungen

o = Betriebspunkt, wenn  $P_{(n_0)} \leq P_N$

x = " " " "  $P_{(n_0)} > P_N$

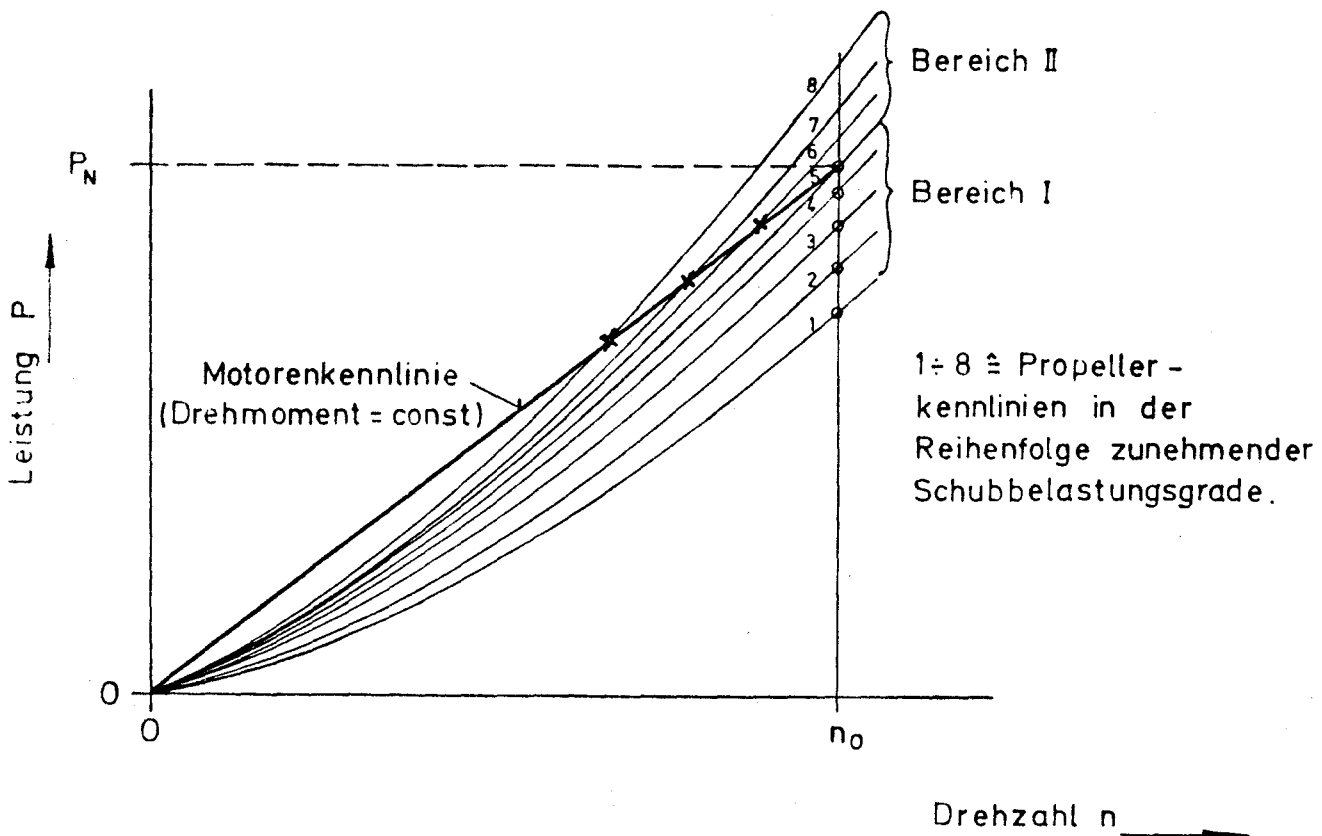


Bild 11 Näherung für die Geschwindigkeit  
nach Bild 9

o = Werte n. Auswahldiagramm

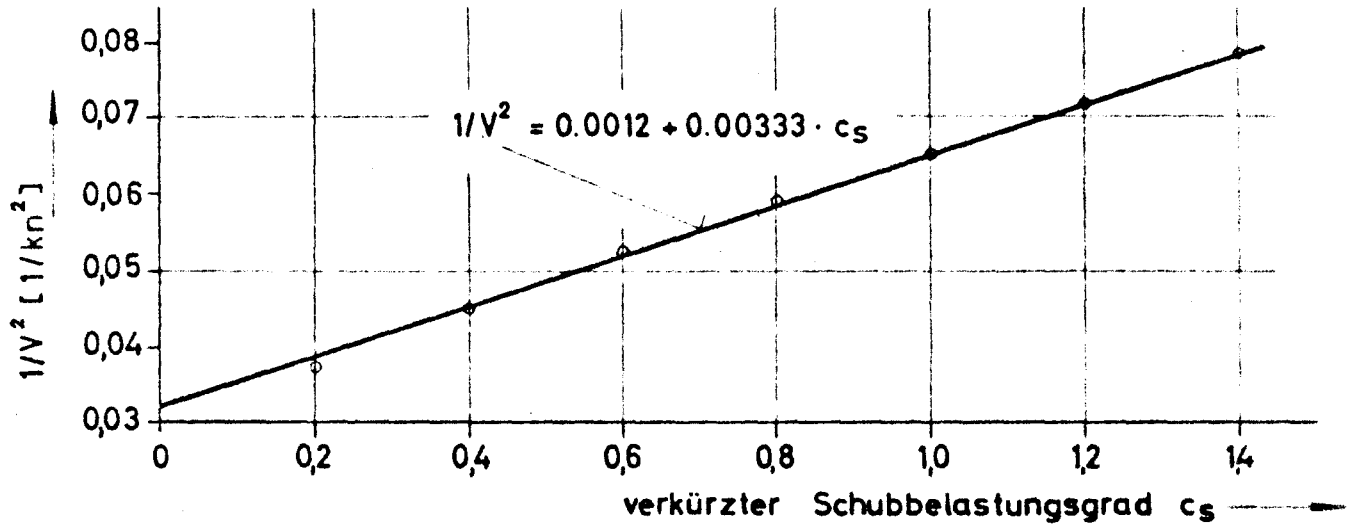


Bild 12 Näherung für die Leistung am Propeller  
für Propellerdurchmesser von 4,5 ÷ 5,5 m  
n. Bild 9 ;  $P_0$  = Leistung bei  $c_s = 0,56$  in PS  
 $V$  = Geschwindigkeit in kn

+ = Werte n. Auswahldiagramm

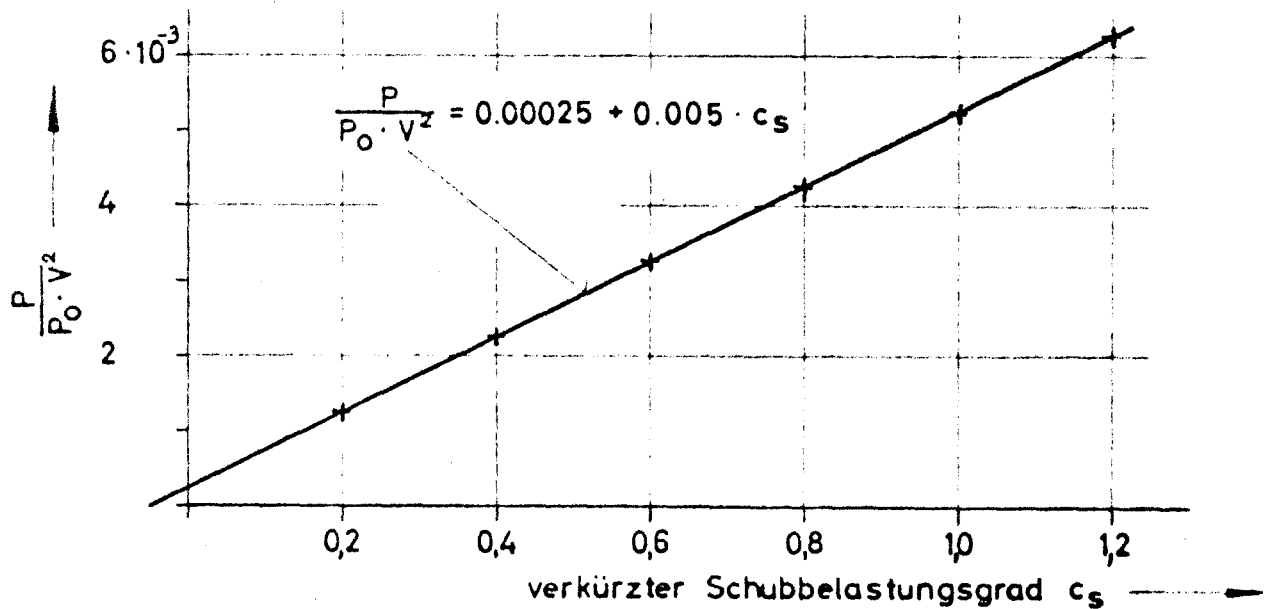


Bild 13 Erforderlicher Schub für ein  
150 m - Schiff im Seegang.  
 $\delta = 0,65$ ,  $L/B = 7,0$ ,  $L/T = 17,5$

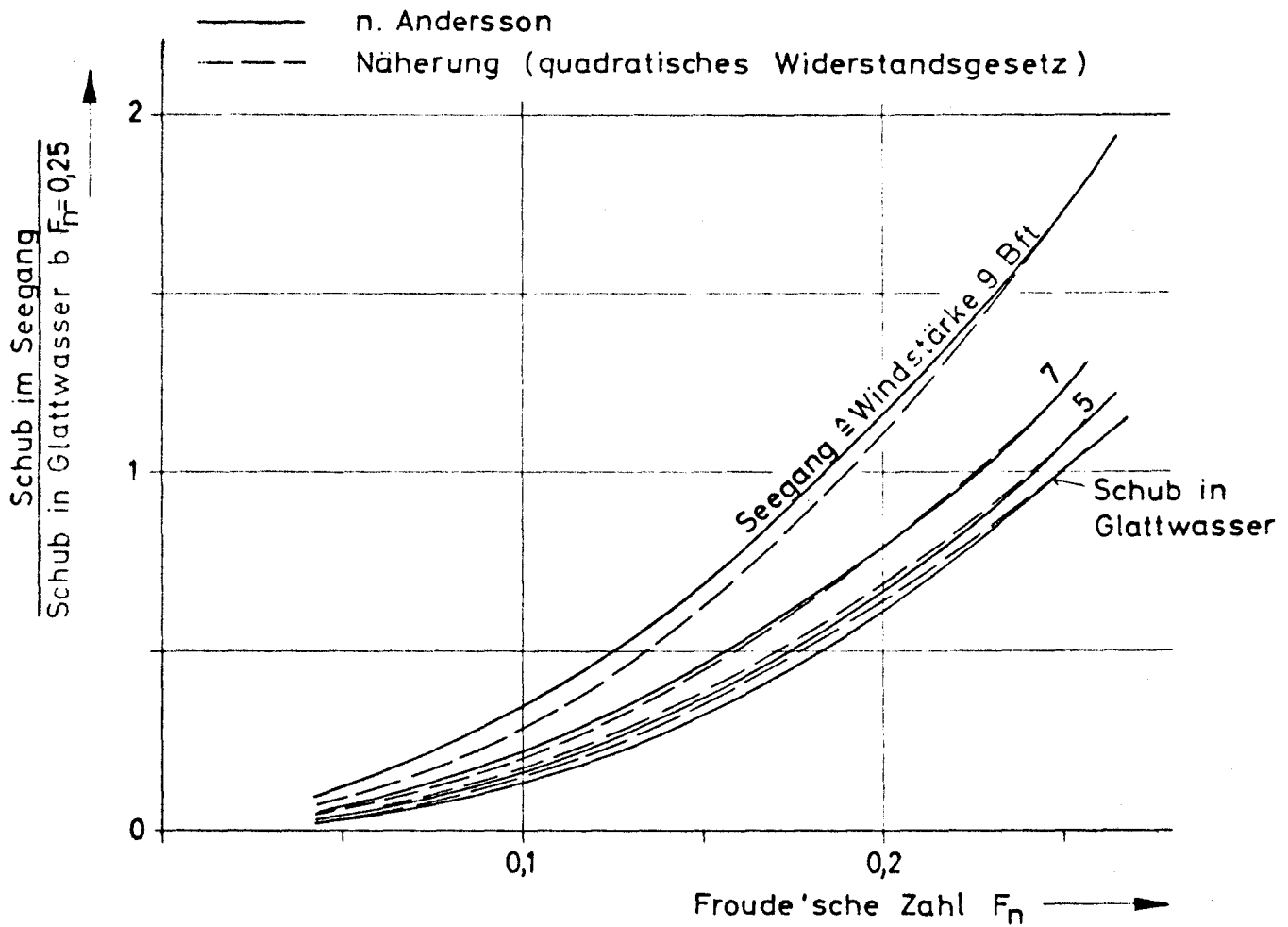


Bild 14 Mittleres Hievvolumen der Volumenladung.

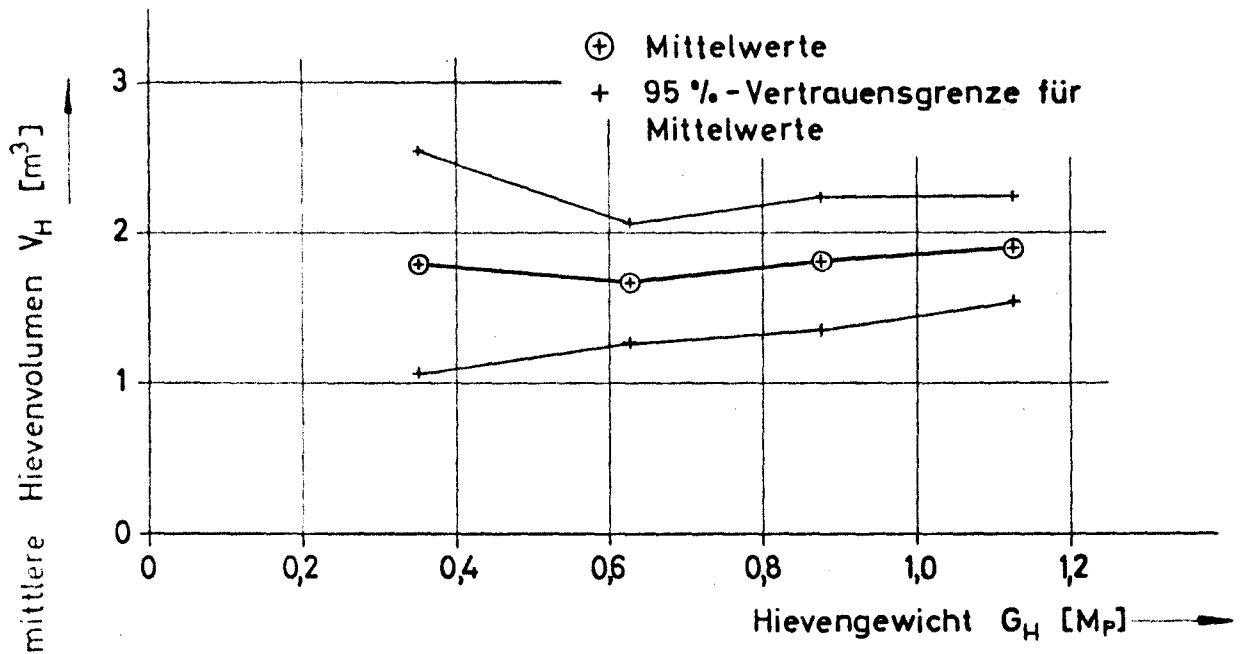


Bild 15 Mittlere Umschlagsleistung von Kränen und gekuppelten Bäumen beim Umschlag von Volumenladung.

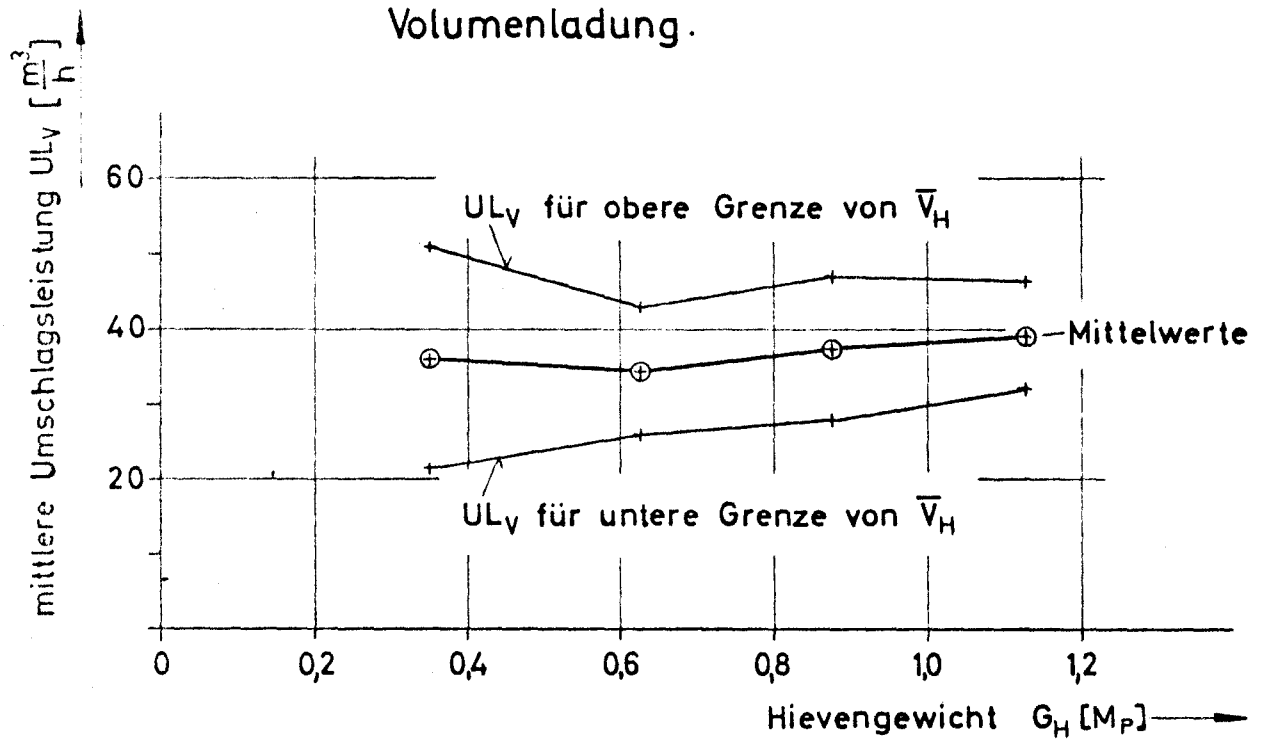


Bild 16 Risikobewertungsfunktionen

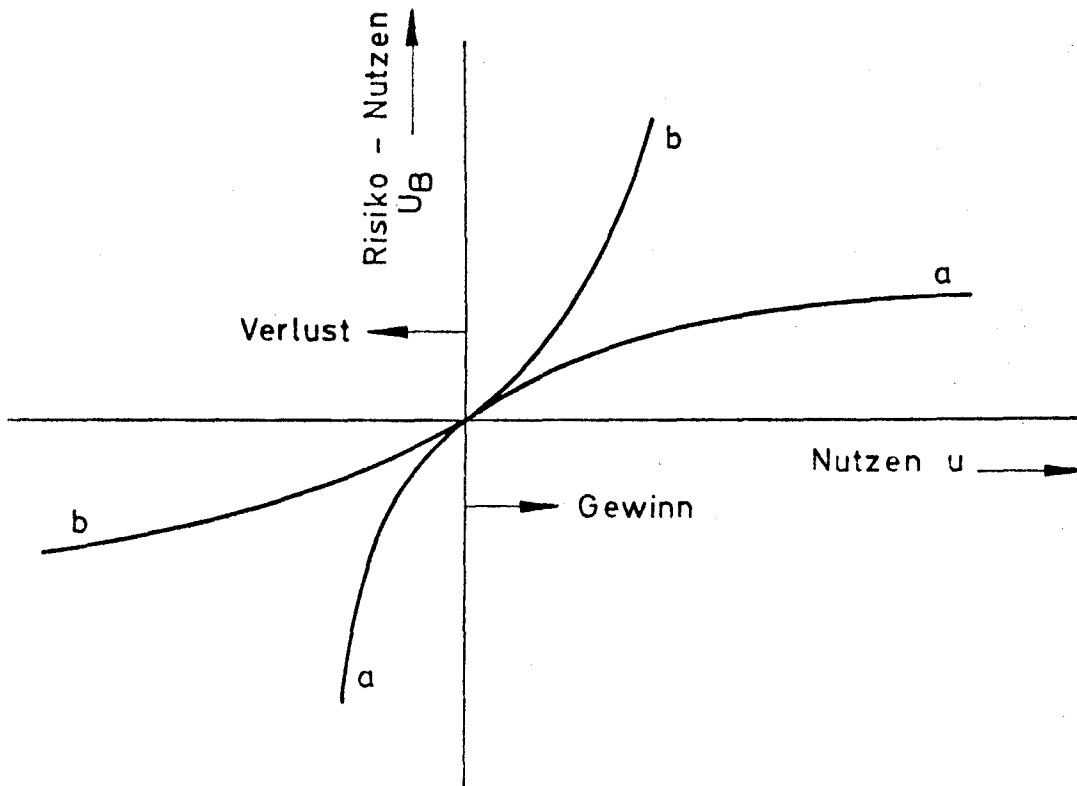


Bild 17 Gewählte Risikobewertungsfunktion

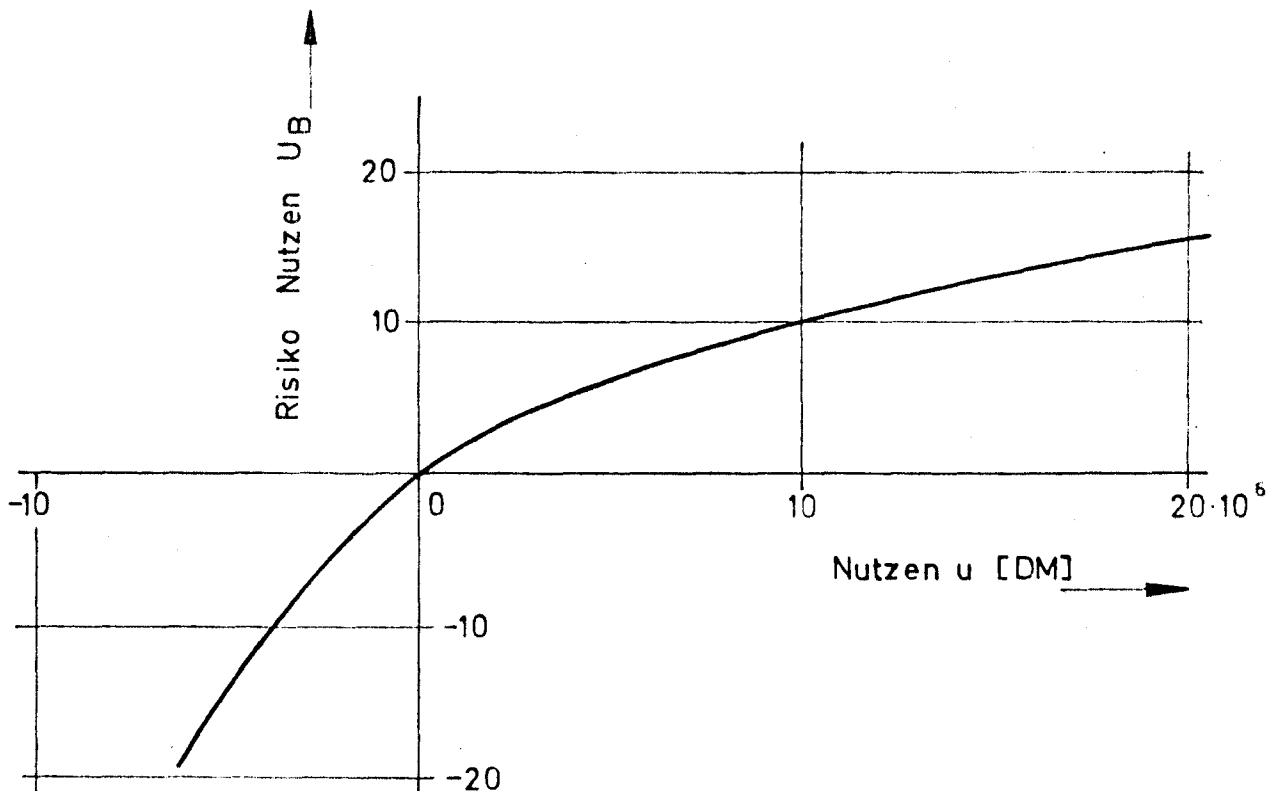


Bild 18 Umwandlung von gleichverteilten Zufallszahlen RU in Zufallsgrößen mit der Dichte  $f(x)$ .

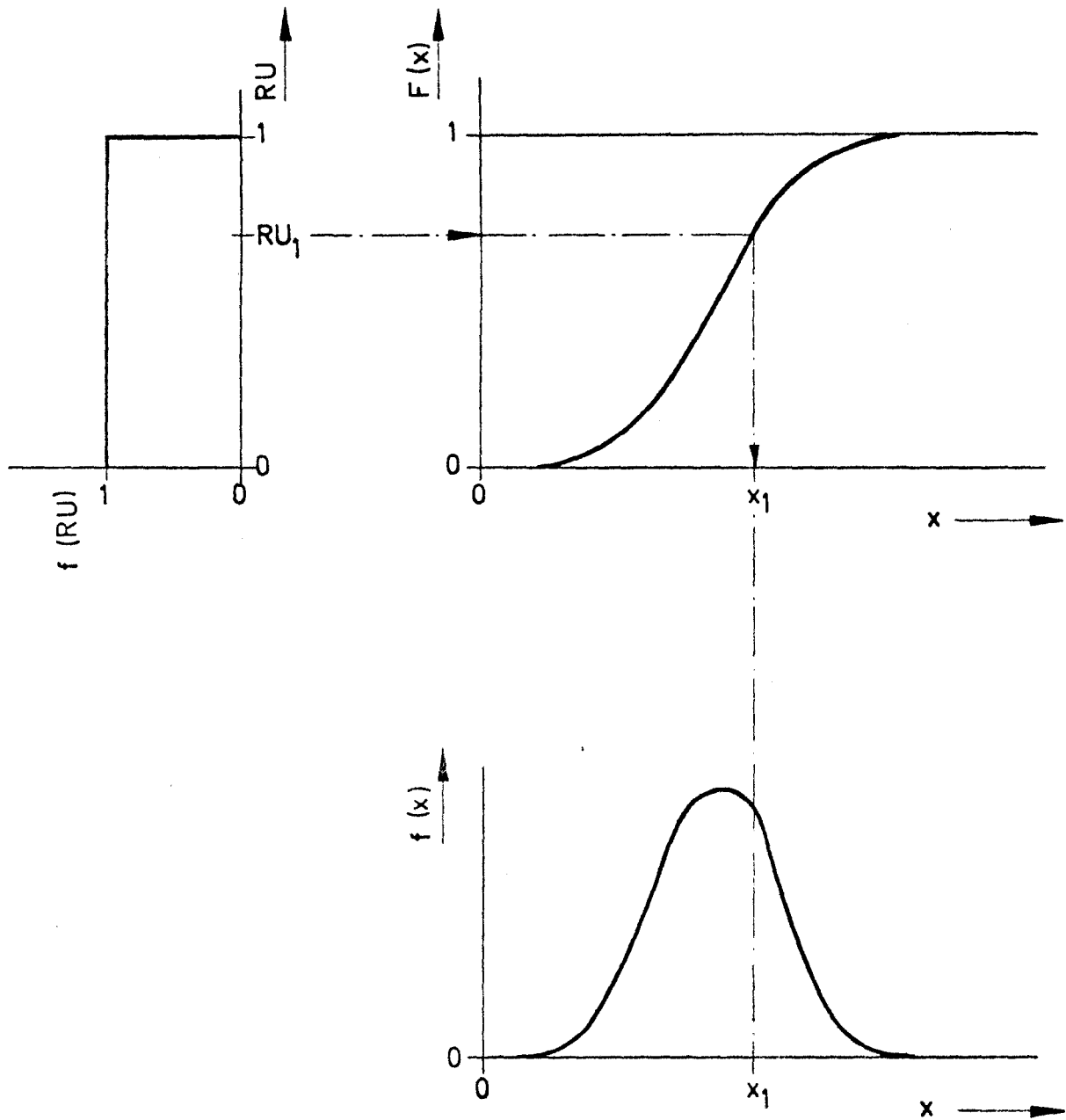
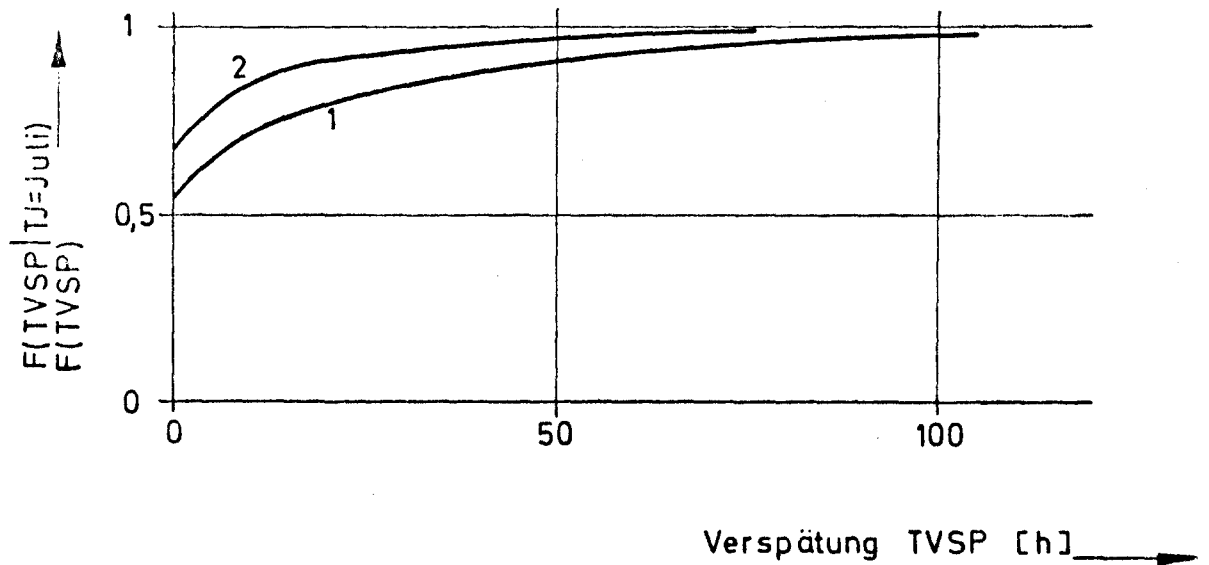




Bild 20 Verteilung der Verspätung am Ende der Rundreise vor einer Dockung. (Schiff III)

1. Das Ende der Rundreise ist mit konstanter Dichte über das ganze Jahr verteilt.
2. Die Rundreise endet im Juli.



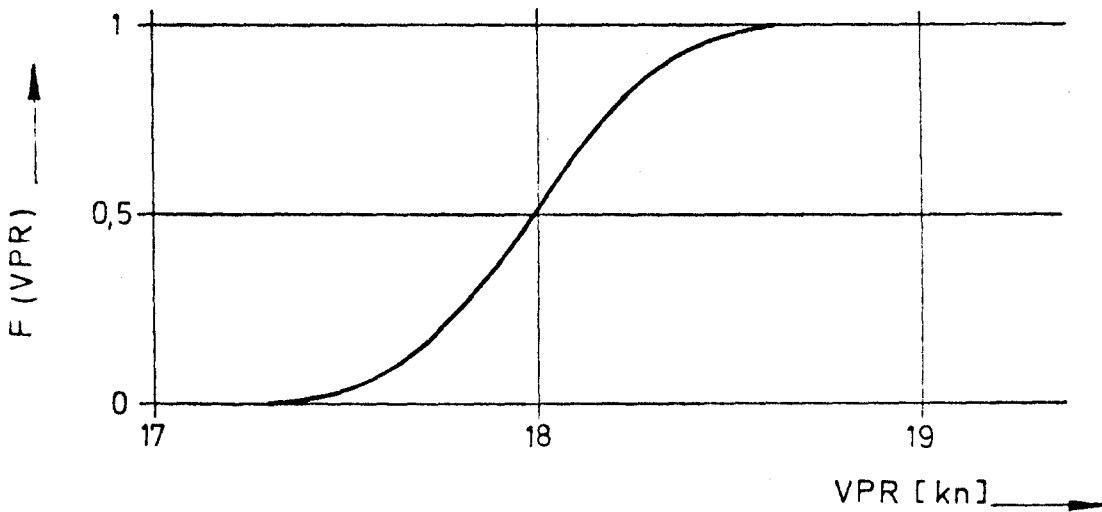
# Bild 21 Verteilungsfunktion der Probefahrtgeschwindigkeit

zugrunde liegende Verteilungen:

Widerstandsbeiwert :  $f(c_T/c_{T0}) = N(1,0; 0,01)$ ;  $c_T = c_{T0} + \Delta c_T$

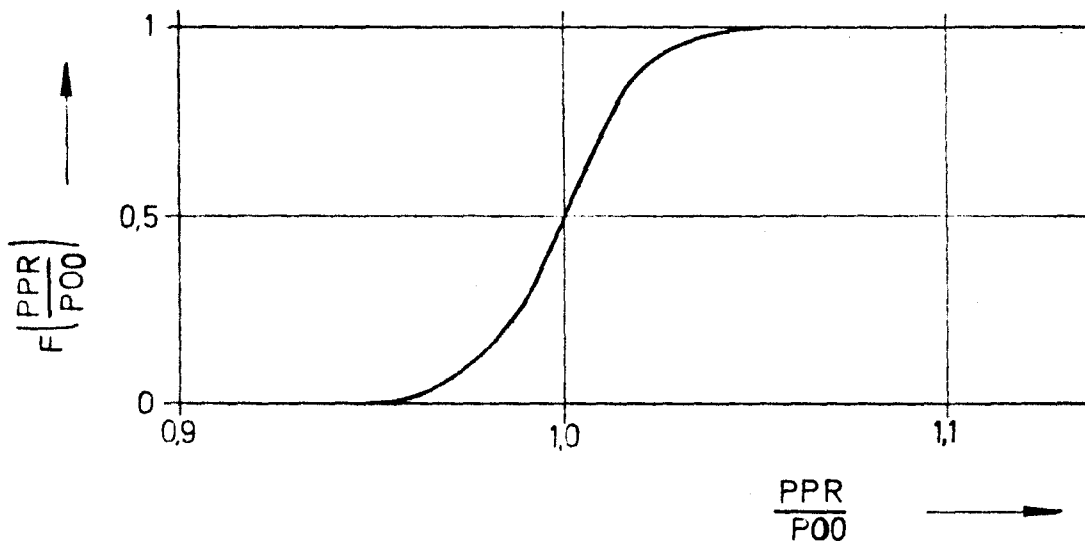
Sog :  $f(t) = N(0,1625; 0,02)$

Nachstrom :  $f(w|t) = N(1,66 \cdot t; 0,01)$



Verteilung von Leistung bei Probefahrtgeschwindigkeit PPR  
Leistung unter Entwurfsbedingungen P00

mit Verteilung für Gütegrad der Anordnung  $f(\xi_a) = N(1,0; 0,01)$



Stichprobenumfang = 5000

# Verteilungsfunktionen der Reisegeschwindigkeit.

Bezeichnungen in Bild 22 bis 26

TJ = Jahreszeit

T<sub>1</sub> = Zeit nach dem Docken in Tagen

Pres/P<sub>N</sub> = Leistungsreserve in % der Nennleistung

$\Delta/\Delta_0$  = Verdrängung in % der vollen Verdrängung

s = Länge des Seewegs in sm

n<sub>s</sub> = Anzahl der Seeabschnitte

N = Anzahl der Stichprobenwerte

Bild 22

N = 5000

TJ = Winter  
 T<sub>1</sub> = 209 d  
 Pres/P<sub>00</sub> = 5 %  
 s = 5200 sm  
 n<sub>s</sub> = 15

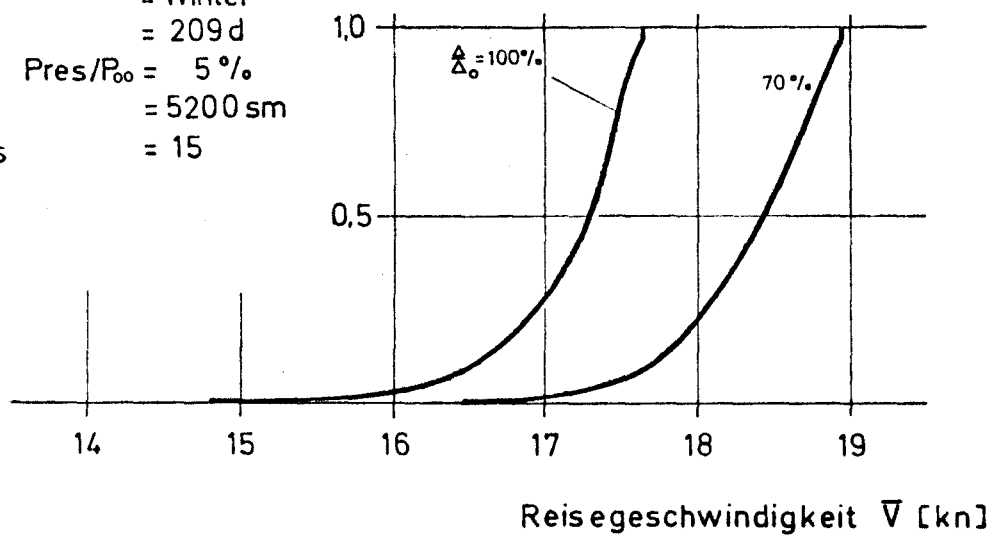


Bild 23

TJ = Winter  
 T<sub>1</sub> = 209 d  
 $\Delta/\Delta_0$  = 100 %  
 s = 5200 sm  
 n<sub>s</sub> = 15

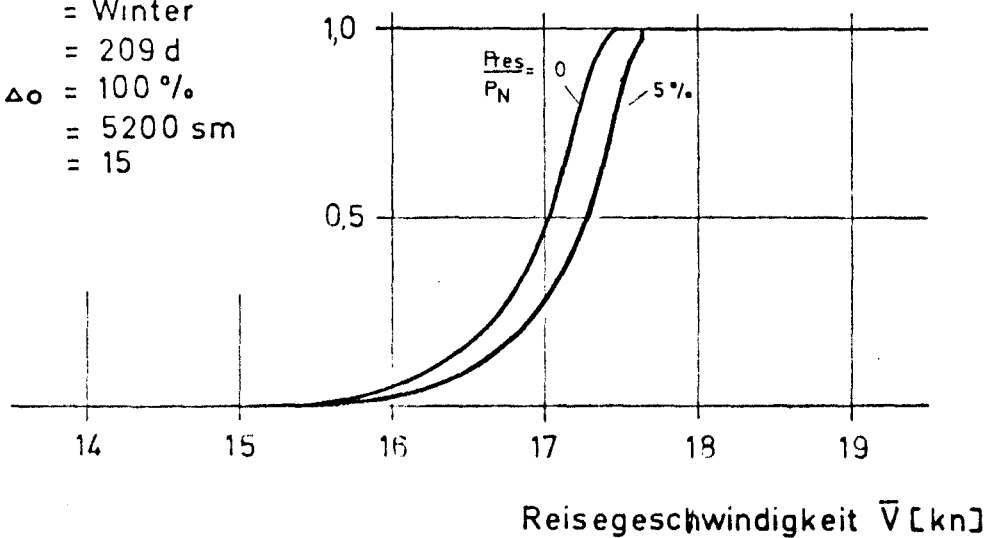


Bild 24

N = 5000

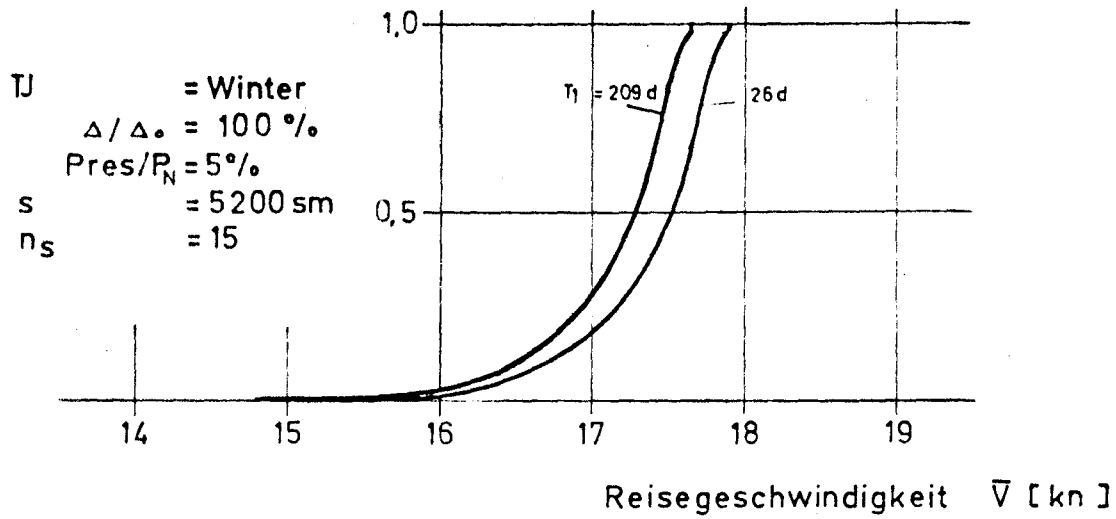


Bild 25

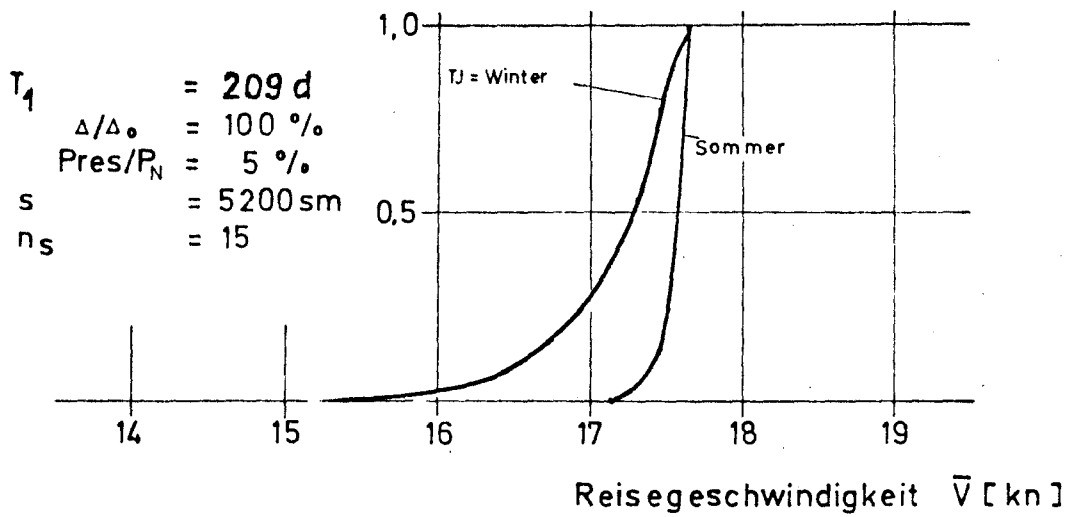


Bild 26

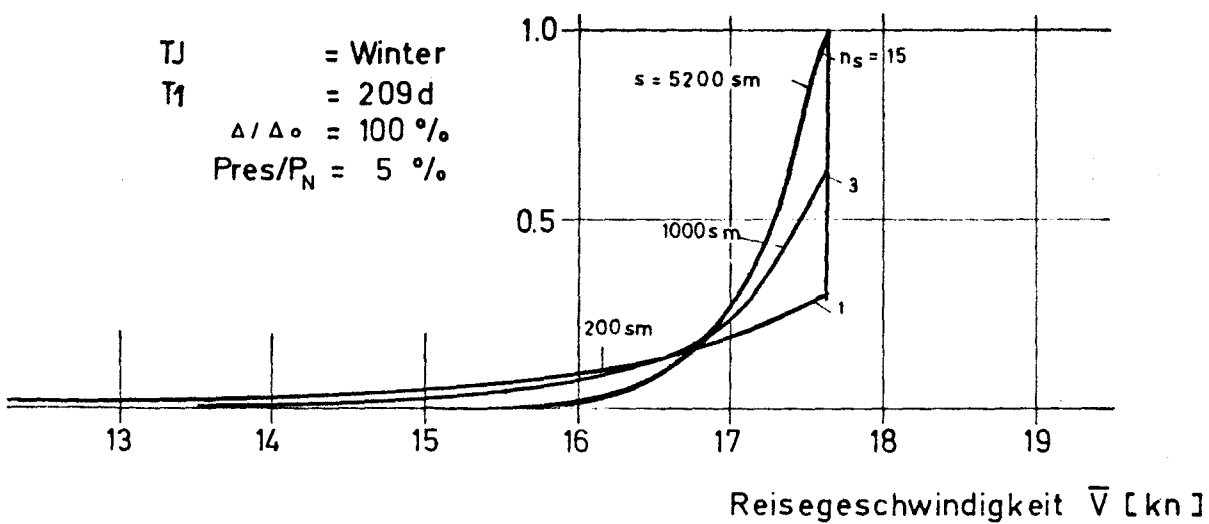


Bild 27 Verteilungsfunktionen der Reise-  
geschwindigkeit VSM bei einem Seeweg  
von 5200 sm

N = 1000

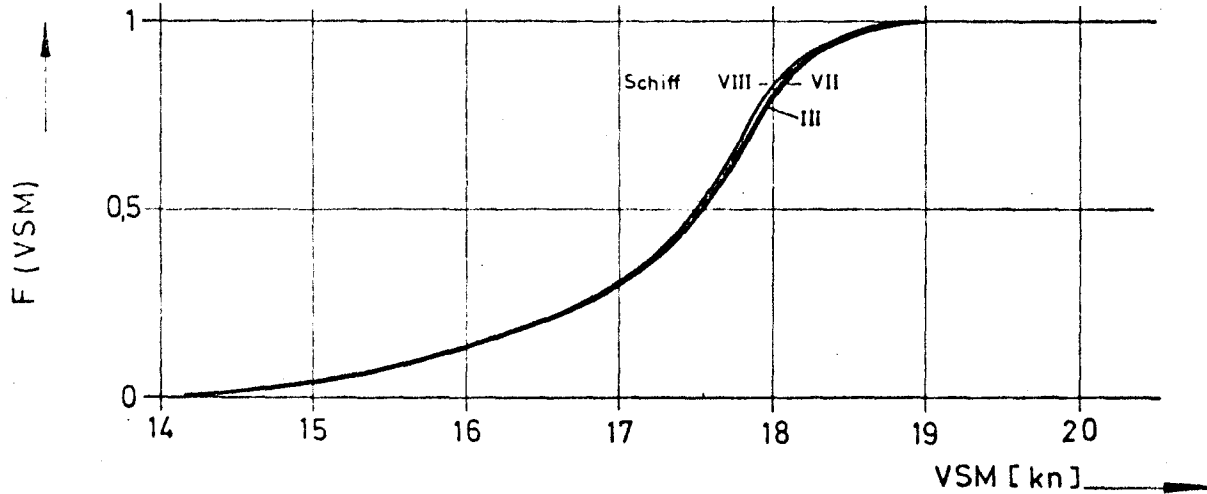
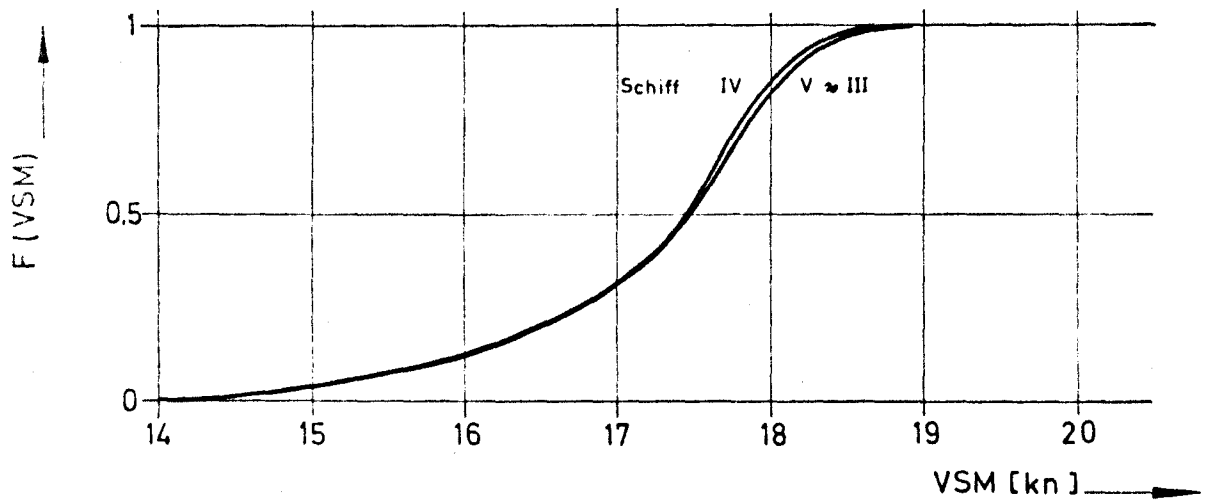
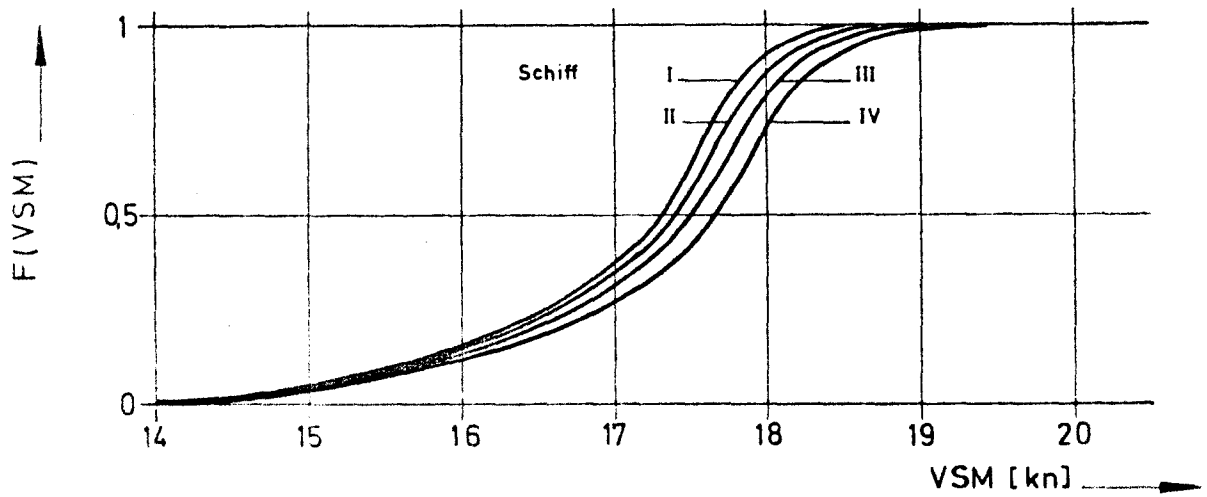


Bild 28 Verteilung des Brennstoffverbrauchs BA der Hauptmaschine auf einem Seeweg von 5200 sm

N = 1000

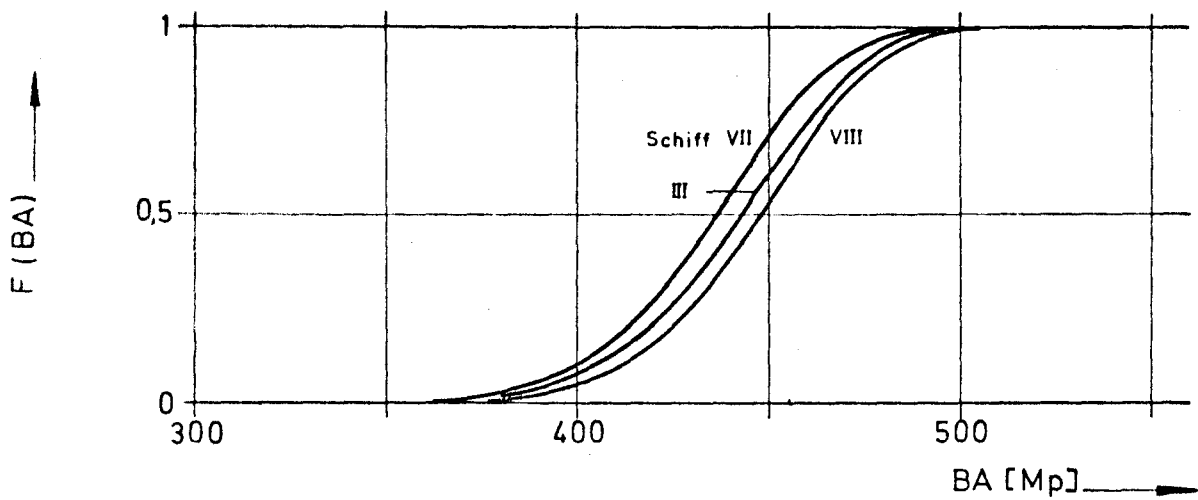
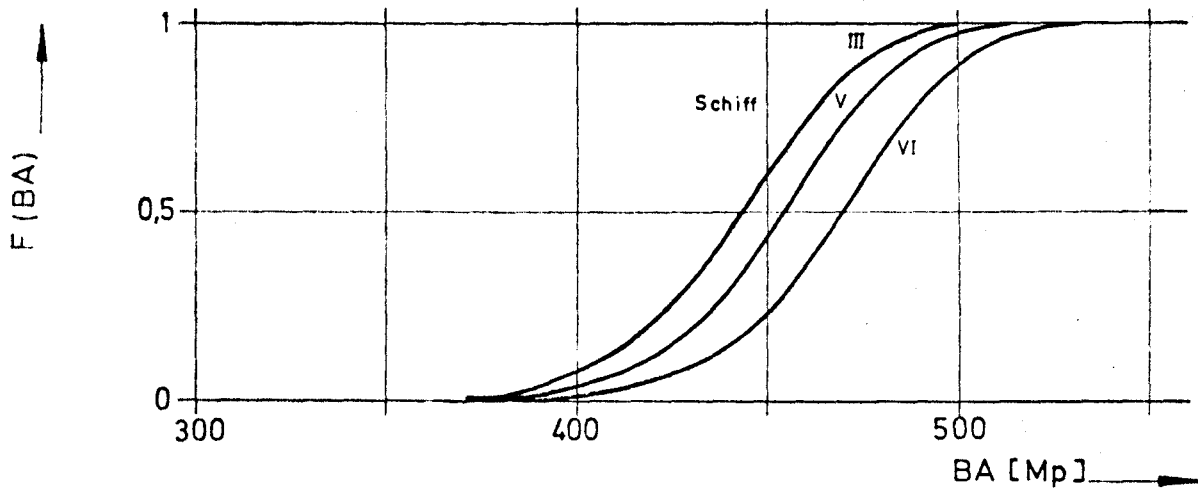
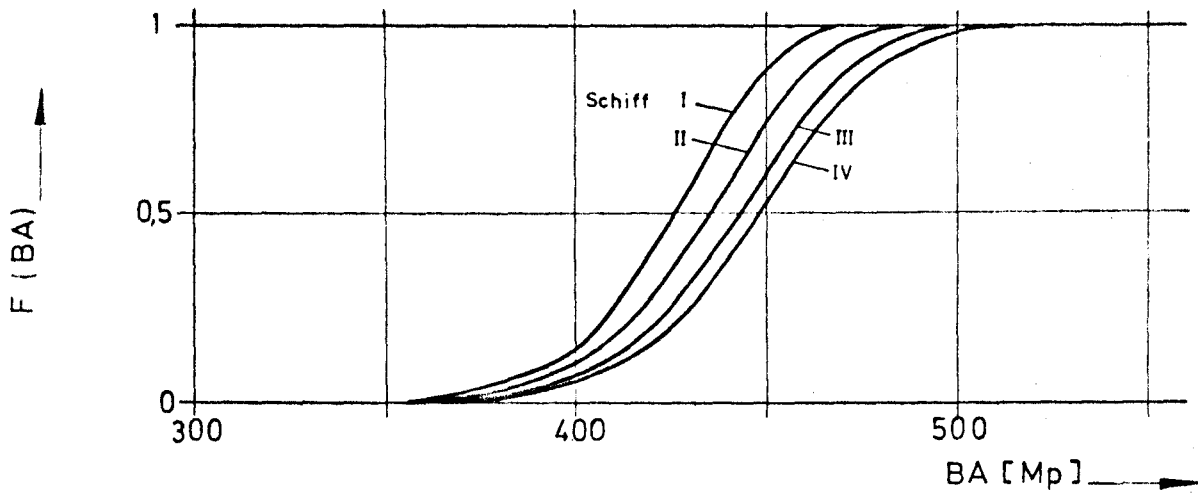


Bild 29 Verteilungsfunktionen der Ladezeiten TU im Hafen A1

N = 1000

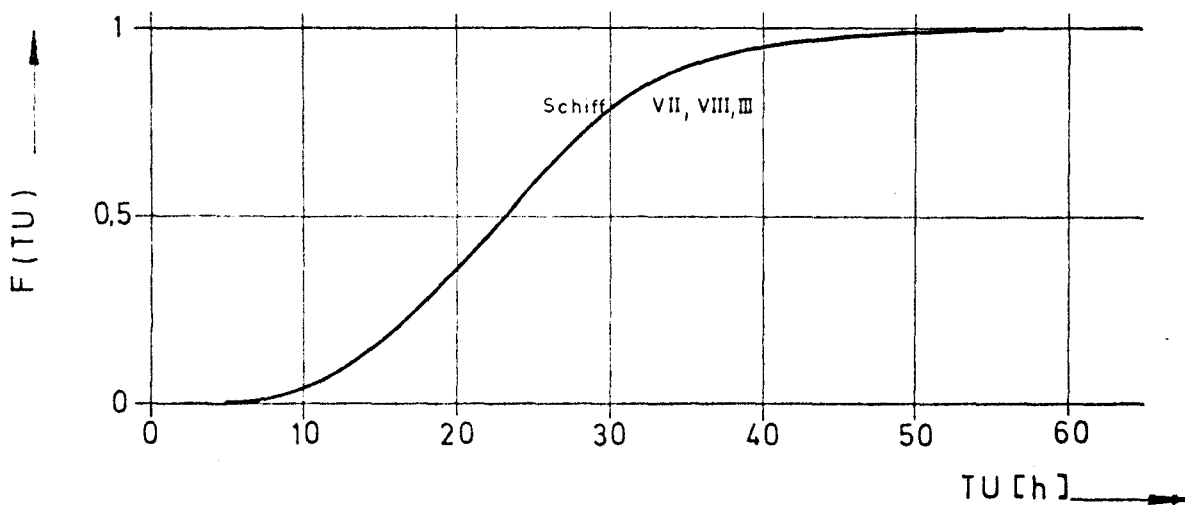
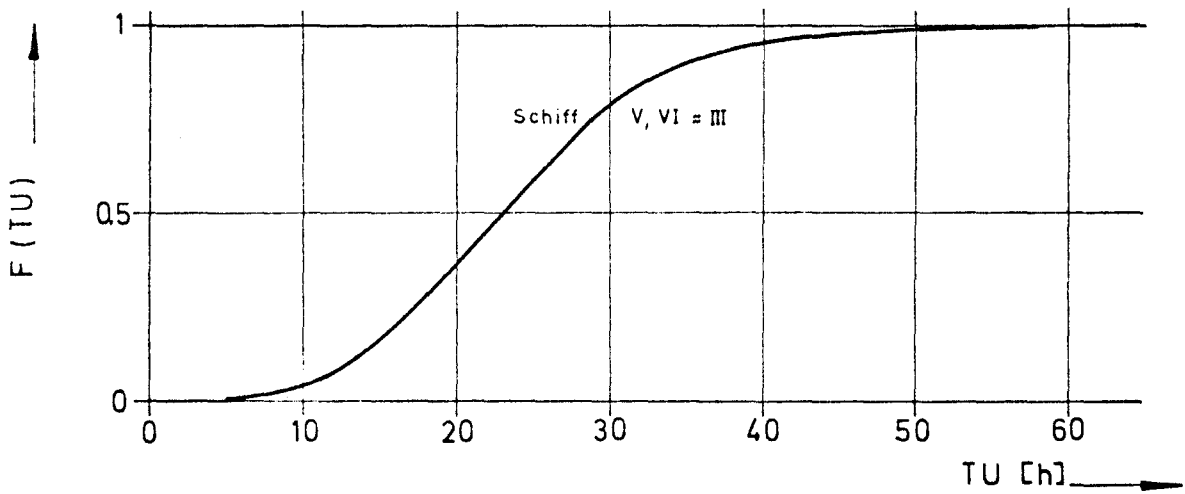
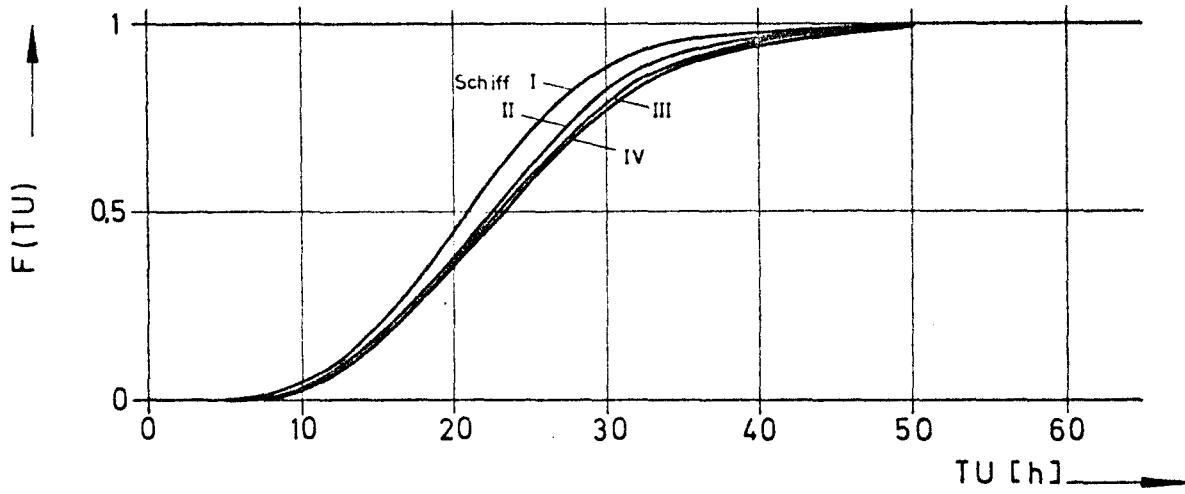


Bild 30 Verteilungsfunktionen der Verspätung am Ende der Rundreise vor einer Dockung

N = 200

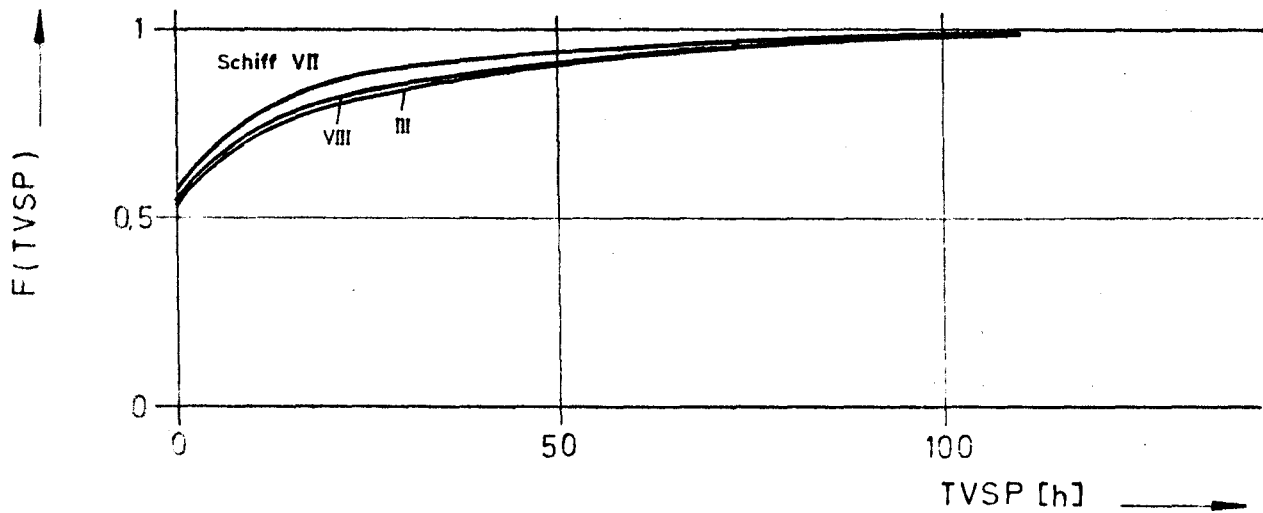
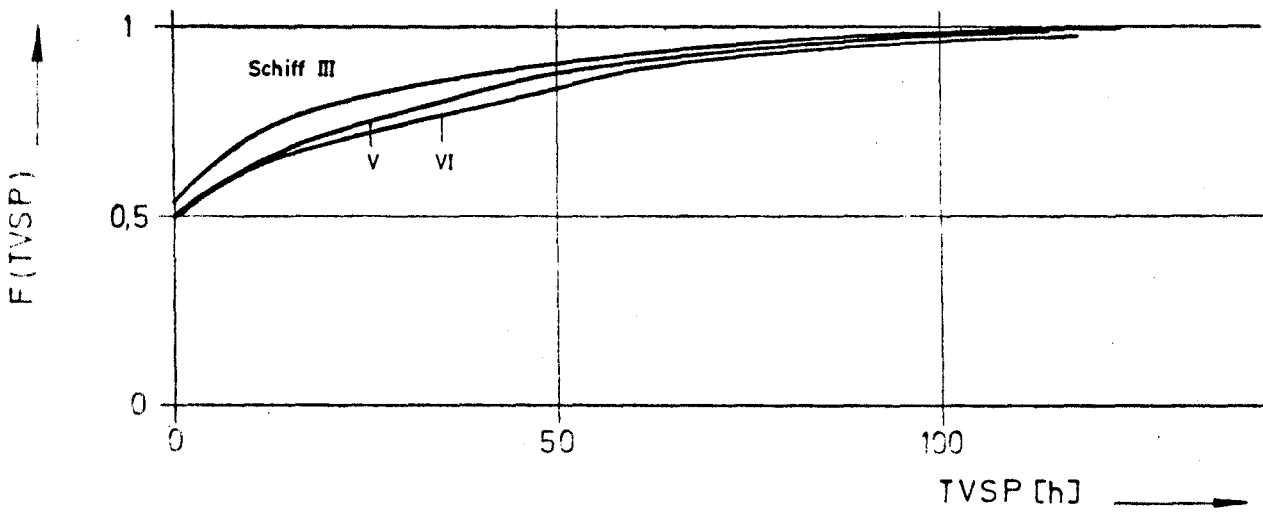
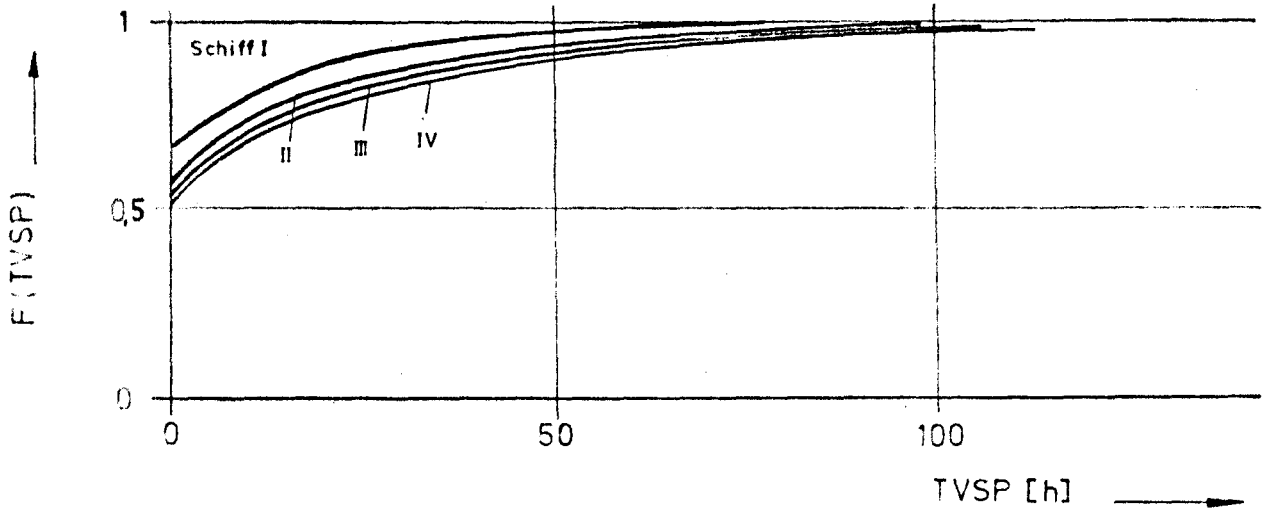


Bild 31 Verteilungsfunktionen des pro Rundreise in der Hafengruppe A zurückgelassenen normalen Stückguts

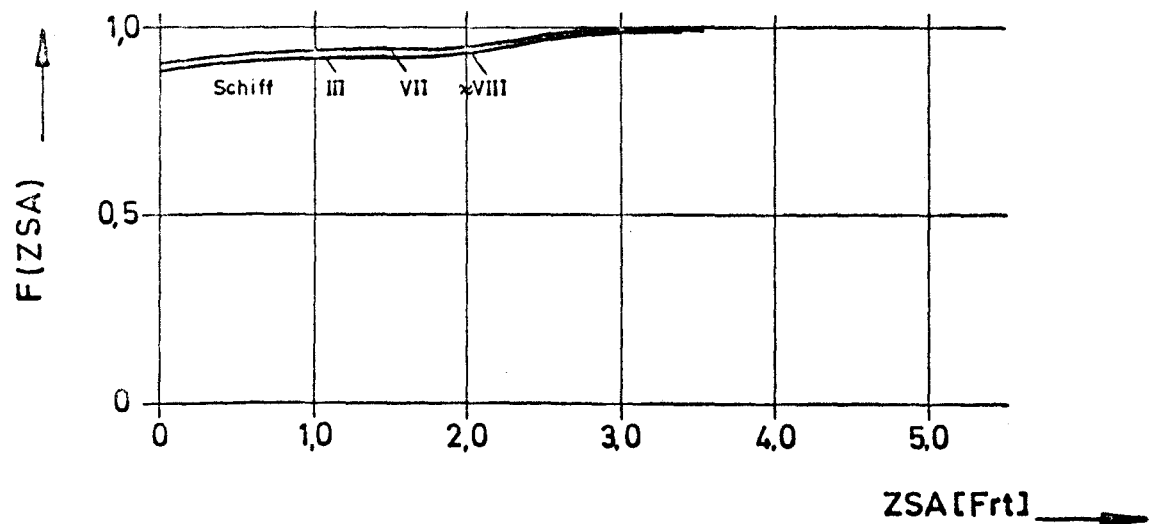
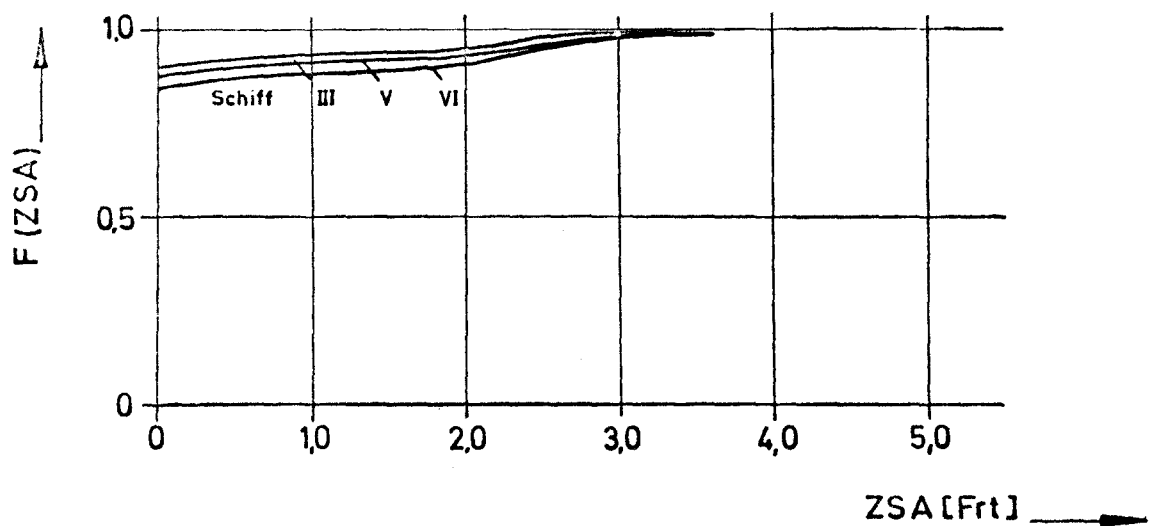
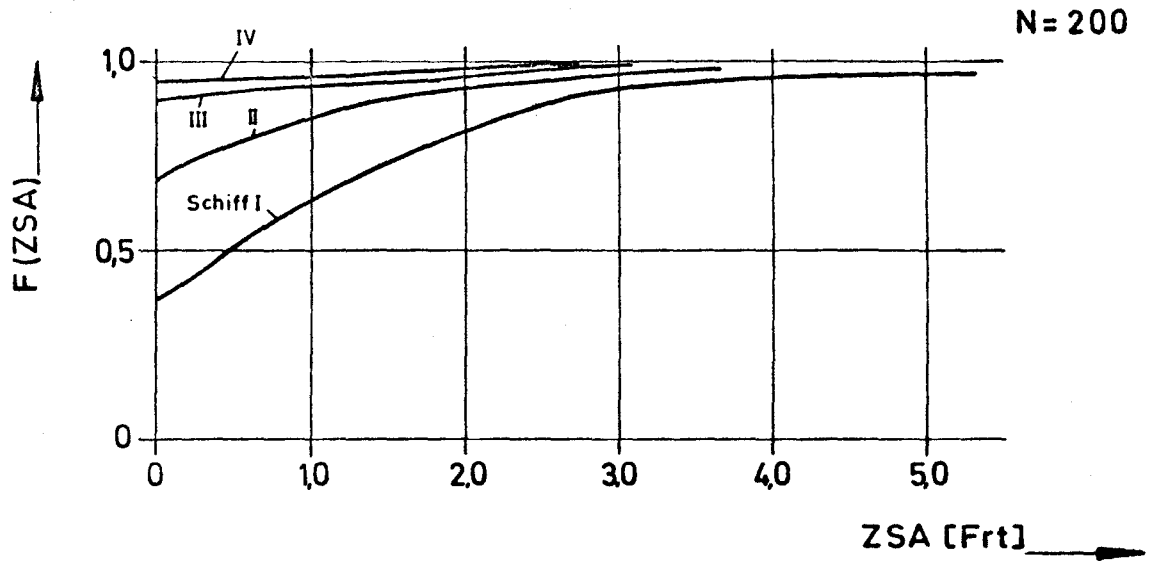


Bild 32 Verteilungsfunktionen des pro Rundreise in der Hafengruppe B zurückgelassenen normalen Stückguts

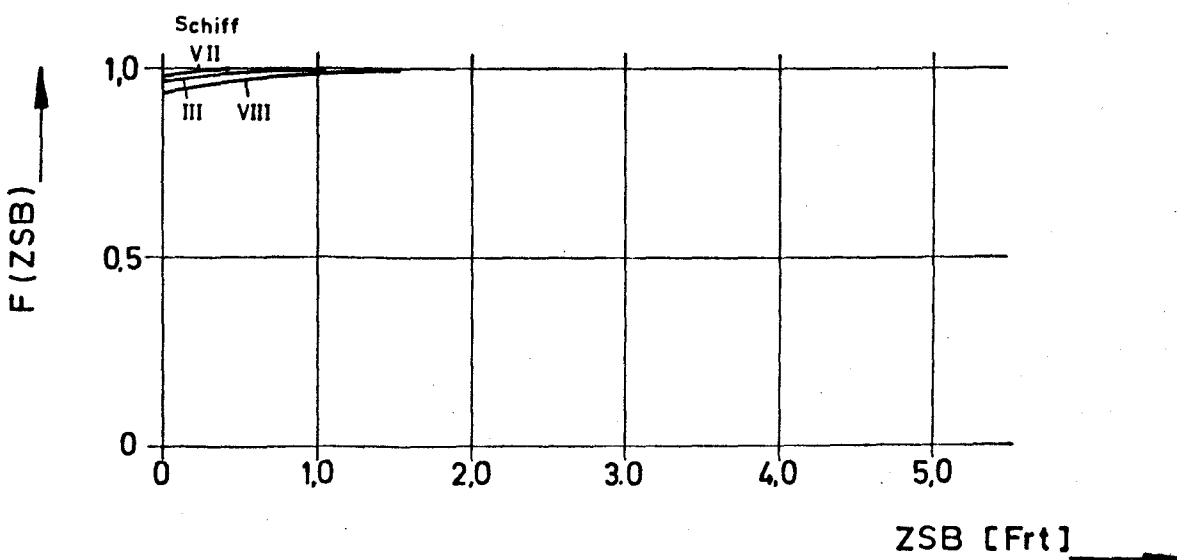
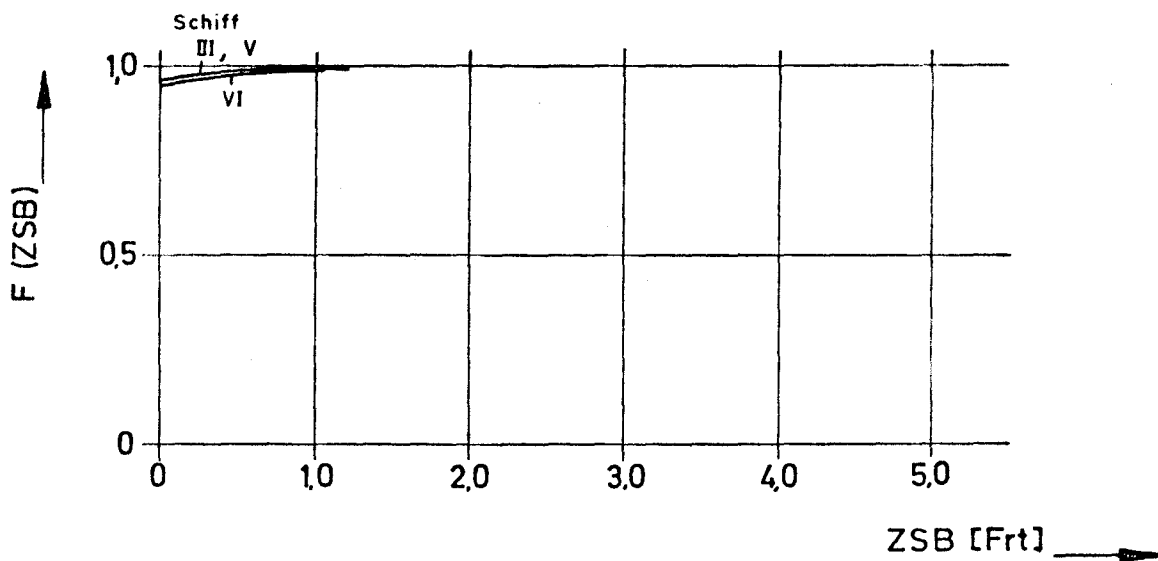
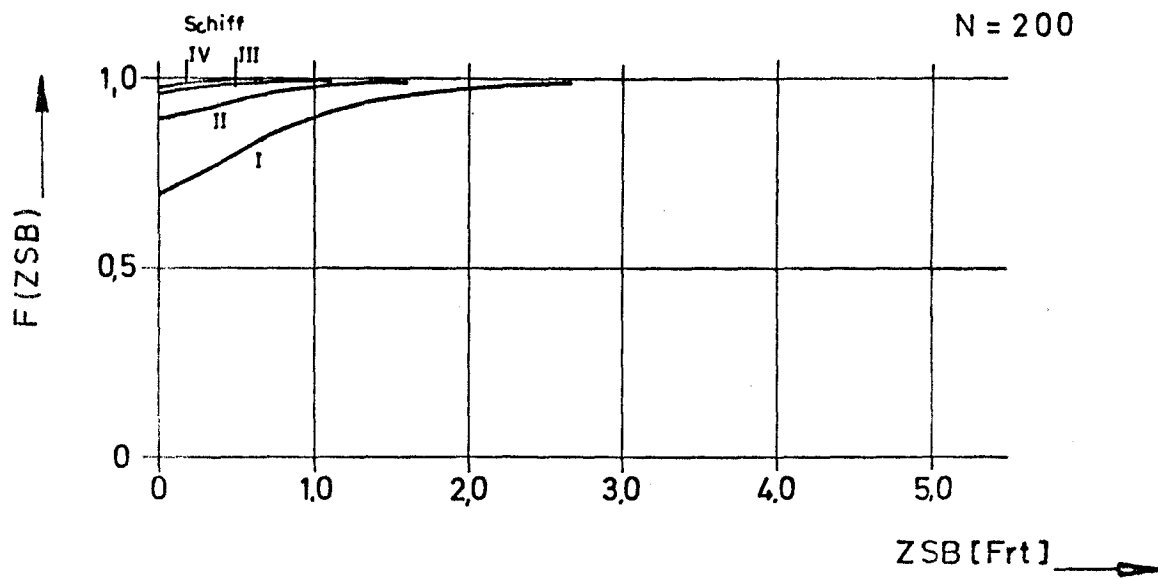
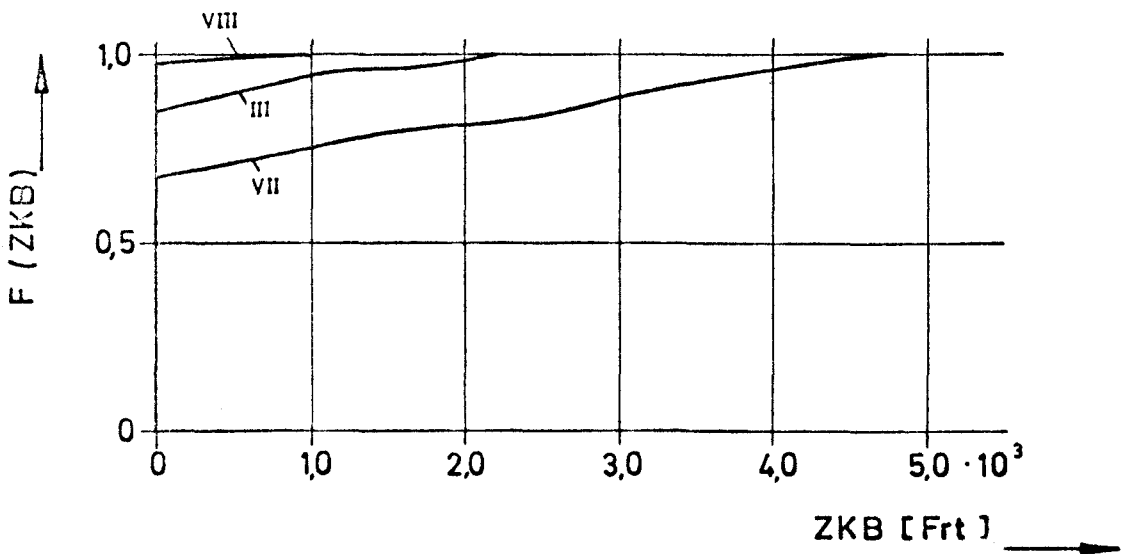
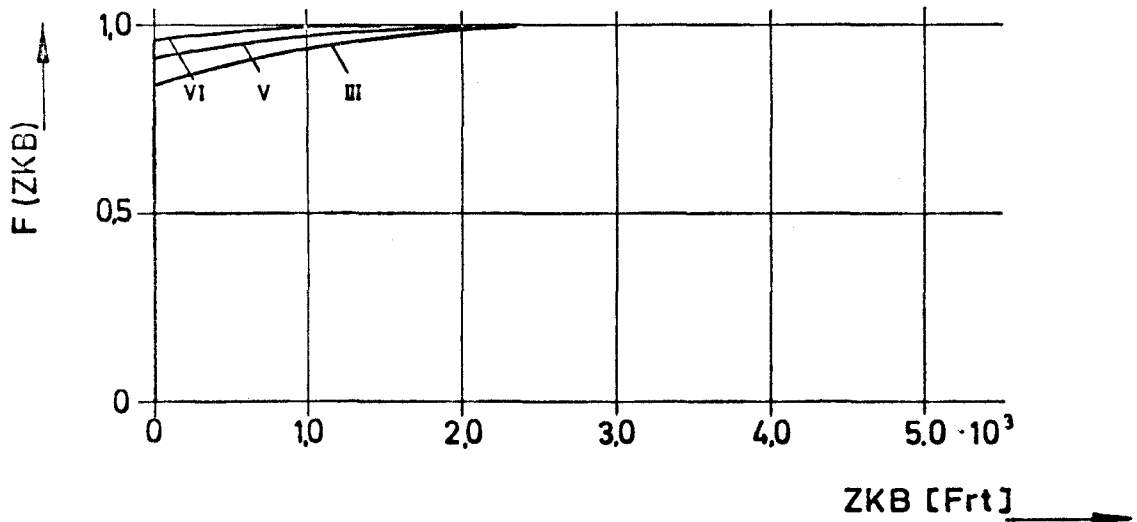
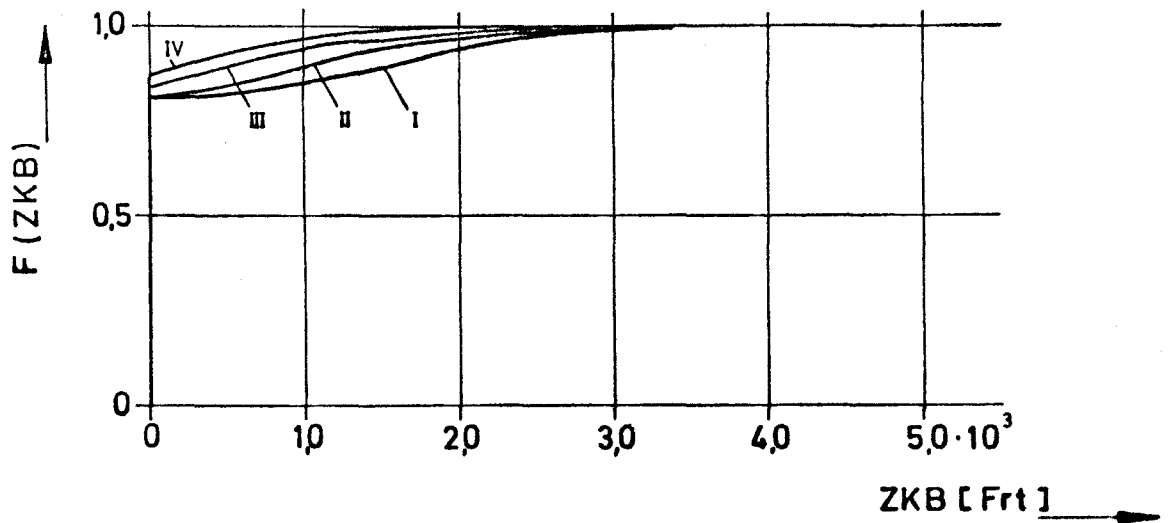


Bild 33 Verteilungsfunktionen des pro Rundreise zurückgelassenen Kühlguts

N = 200



**Bild 34** Verteilungsfunktionen des jährlichen Gewinns ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit

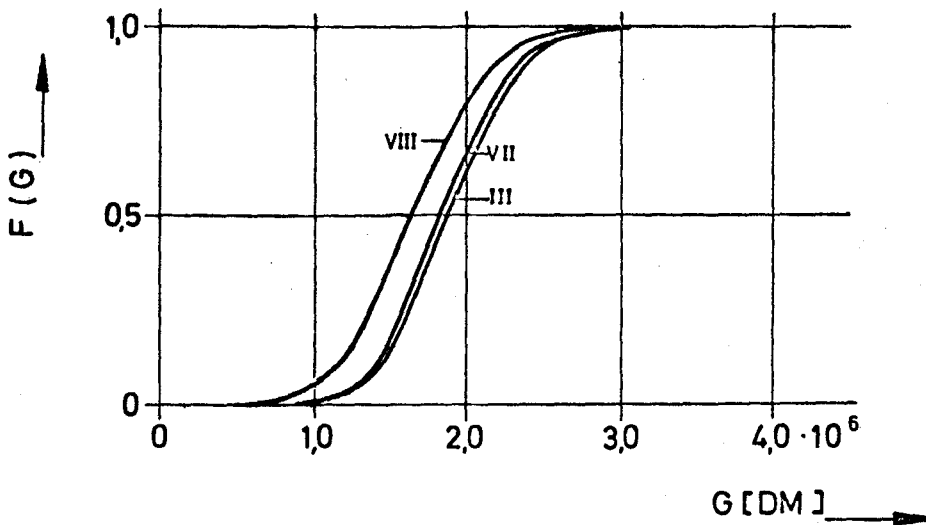
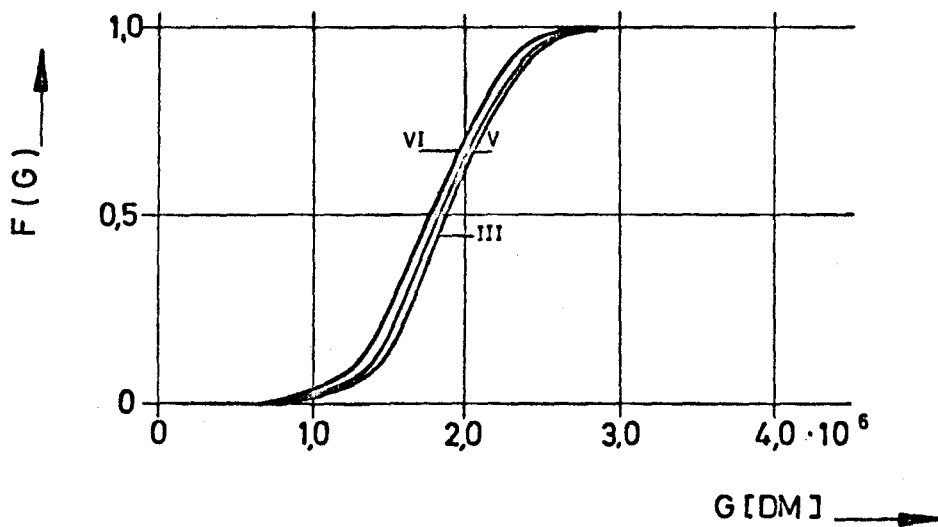
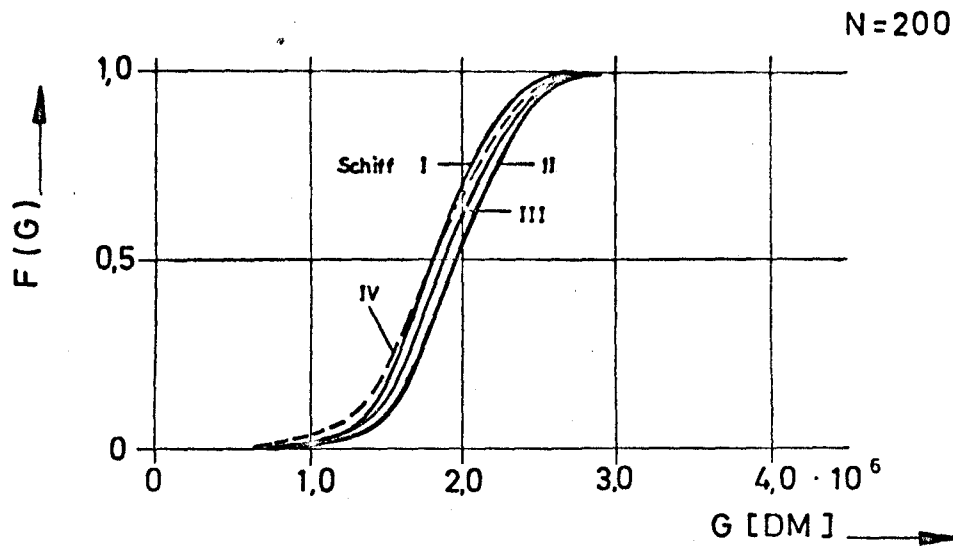
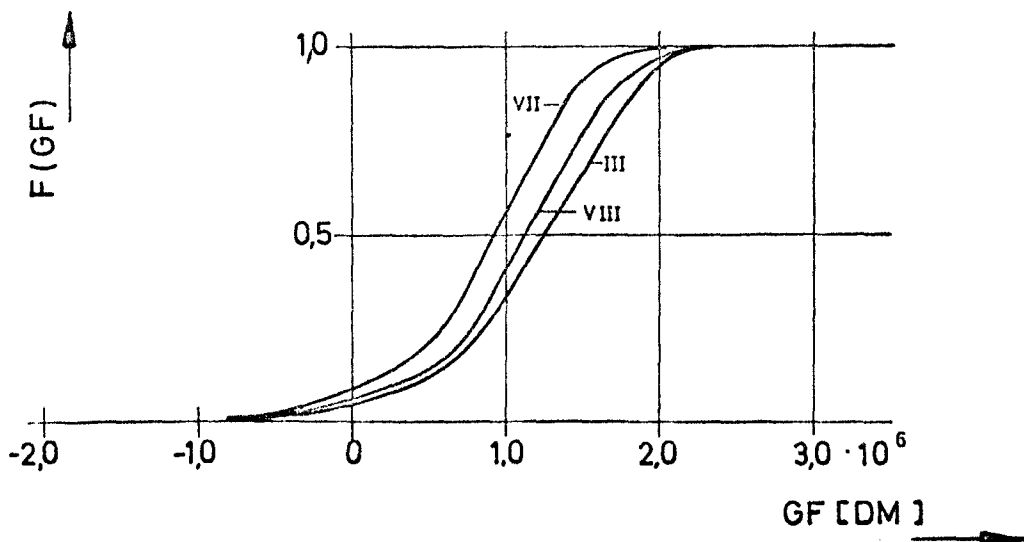
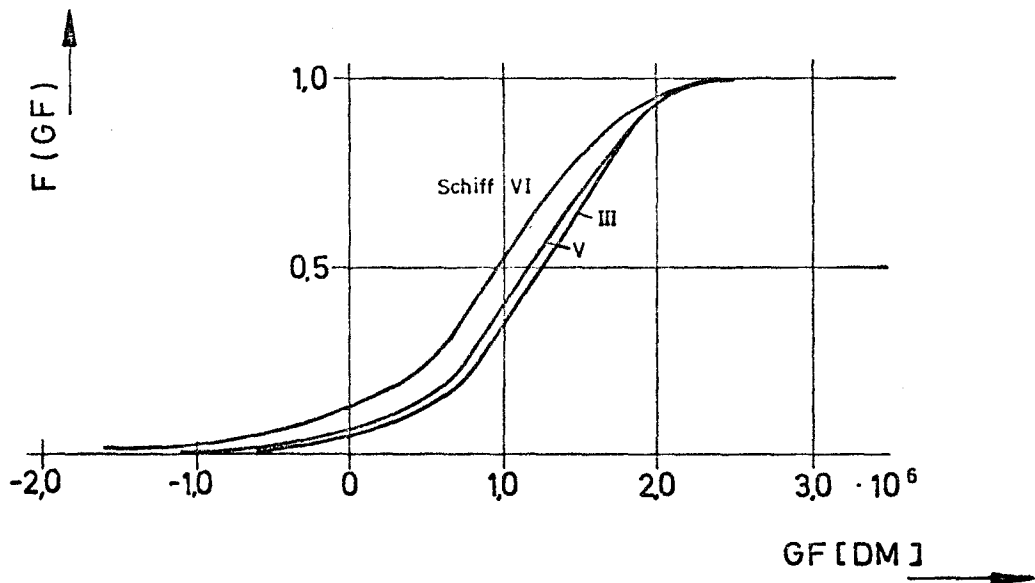
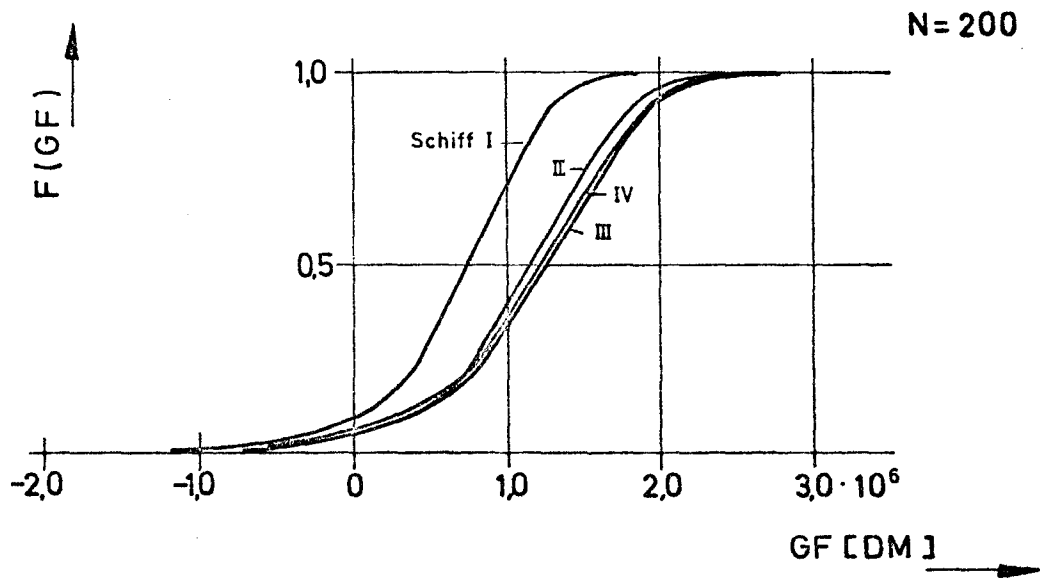


Bild 35 Verteilungsfunktionen des jährlichen Gewinns mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit





A n h a n g

Widerstandserhöhung infolge Bewuchs

Für die Vergrößerung des Reibungswiderstandes infolge Bewuchs gibt Aertssen folgende empirische Formel an:

$$\frac{\Delta c_f}{c_f} = \frac{a \cdot d}{b + d} + \frac{d_0}{c} \quad (\%)$$

Hierin sind  $d$  die Anzahl der Tage, die seit dem letzten Docken vergangen sind,  
 $d_0$  die Anzahl der Tage seit der Indienststellung,  
 $a, b$  sind Koeffizienten, die vom Schiffstyp, der Geschwindigkeit und der Route abhängen,

$c$  ist ein Koeffizient, der von der Oberflächenaufbereitung beim Docken abhängt. Für den hier angenommenen Fall, daß nach jeder Dockung im Hinblick auf die Rauigkeit der Zustand des neuen Schiffes wieder hergestellt wird, ist  $c = \infty$  und  $d_0/c = 0$ .

Für Schiffe in der Größenordnung von  $136 \div 156$  m Länge, einer Geschwindigkeit von  $15 \div 16,5$  kn und bei einer Fahrtroute von Europa nach Amerika bzw. Afrika kommen nach den Untersuchungen von Aertssen für  $a$  und  $b$  folgende Werte in Frage:

$$\begin{aligned} a &= 21 \\ b &= 180 \end{aligned}$$

Das Verhältnis von Reibungswiderstand zu Gesamtwiderstand für das neue Schiff ist bekannt. Der Widerstandszuwachs bei einer Geschwindigkeit von 18 kn wird deshalb wie folgt angegeben:

$$\begin{aligned} \text{Es ist } c_T &= c_{T0} + \Delta c_f = c_{T0} + c_f \cdot \left[ \frac{a \cdot d}{b + d} \cdot \frac{1}{100} \right] \\ c_T &= c_{T0} \left[ 1 + \frac{c_f}{c_{T0}} \cdot \frac{a \cdot d}{(b + d) \cdot 100} \right] \end{aligned}$$

- $c_{T0}$  = Gesamtwiderstandsbeiwert des neuen Schiffes.  
 $\Delta c_f$  = Zuschlag zum Widerstandsbeiwert infolge Bewuchs  
 $c_T$  = Gesamtwiderstandsbeiwert  
 $\frac{c_f}{c_{T0}}$  = Verhältnis von Reibungswiderstand zu Gesamtwiderstand bei neuen Schiffen.

Für die hier untersuchten Schiffe ergeben sich für die Größe

$$\frac{c_f}{c_{T0}} \cdot \frac{a}{100} = k_B \quad \text{folgende Werte:}$$

Schiff	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$k_B$	0,108	0,114	0,122	0,126	0,126	0,130	0,119	0,123

Es wird angenommen, daß der Bewuchs keinen Einfluß auf Sog, Nachstrom und Gütegrad der Anordnung hat.

Schubzuwachs infolge Seegang

Im Rahmen dieser Arbeit sind umfangreiche Rechnungen zu Bestimmung des mittleren Schubzuwachses im Seegang nicht möglich. Um den Einfluß des Seegangs tendenzmäßig zu berücksichtigen, wird die Berechnung des Schubzuwachses stark vereinfacht und vorausgesetzt, daß der Seegang stets von vorne kommt. Für diesen Fall ist der mittlere Schubzuwachs  $\bar{R}_{AW}$  für ein 150 m und ein 100 m langes Schiff für verschiedene Seegangsstärken und Geschwindigkeiten nach der folgenden Beziehung berechnet worden

$$\bar{R}_{AW} = 2 \cdot \int_0^{\infty} r^*(\omega_e) \cdot S_R(\omega_e) \cdot d\omega_e$$

mit  $r^*(\omega_e) = r(\omega) / (1 + 2 \cdot \frac{\omega \cdot V}{g})$

$$S_R(\omega_e) = R_{AW}(\omega_e) / \xi_A^2$$

wobei

V = Schiffsgeschwindigkeit

$\omega$  = absolute Kreisfrequenz

$\omega_e$  = Begegnungs-Kreisfrequenz

g = Erdbeschleunigung

r( $\omega$ ) = Seegangsspektrum

r\*( $\omega_e$ ) = transformiertes Seegangsspektrum

$R_{AW}$  = mittlerer Widerstandszuwachs in regelmäßigen Wellen mit der Amplitude  $\xi_A$

Zur Beschreibung des Seegangs wurde dabei von folgendem Seegangsspektrum ausgegangen:

$$r(\omega) = \frac{c_1}{\omega^6} \cdot e^{-\frac{c_2}{\omega^2}} \quad [m^2 \cdot sec]$$

mit  $c_1 = \frac{1}{T^5} \cdot 8,29 \cdot \pi^5 \cdot (2 h_{1/3})^2 \quad [m^2 \cdot sec^5]$

$$c_2 = \frac{6 \cdot \pi^2}{T^2} \quad \left[ \frac{1}{sec^2} \right]$$

$2 h_{1/3}$  ist die kennzeichnende Wellenhöhe und  
 $\tilde{T}$  die durchschnittliche Wellenperiode.

Diese aus [50] stammende Darstellung wurde gewählt, da hier einige Ergebnisse der Untersuchungen von Andersson (1964), die auf der Grundlage dieses Spektrums durchgeführt wurden, verwendet worden sind. Dazu werden die ebenfalls von Andersson benutzten kennzeichnenden Wellenhöhen und durchschnittlichen Perioden übernommen, die auf Beobachtungen von Roll (1953) zurückgehen. Sie sind auf Seite 8 in Abhängigkeit von der Windstärke WS angegeben. Damit kann der Seegang durch die Angabe einer Windstärke vollständig beschrieben werden.

Der Funktion  $S_R(\omega_p)$  liegen die Meßergebnisse von Vossers, Swaan und Rijken (1960) zugrunde.

In Bild 1 A ist der auf den Schub in Glattwasser bezogene Schubzuwachs eines 150 m langen und eines 100 m langen Schiffes bei einer Froude'schen Zahl von 0,25 in Abhängigkeit von der Windstärke aufgetragen. Dieser Froude'schen Zahl entspricht für die hier in Frage kommenden Schiffslängen eine Geschwindigkeit von näherungsweise 18 kn.

Es zeigt sich, daß der relative Schubzuwachs mit wachsender Windstärke zunächst nur sehr schwach zunimmt; von etwa der Windstärke 5 Bft. steigt er dann stärker an.

Der Verlauf dieser Kurven wird hier durch 2 Geraden angenähert; die 1. Gerade fällt mit der Abszisse zusammen, sie beginnt bei 0 und endet bei  $WS_R$ , wo die 2. Gerade mit der Steigung  $k_{WS}$  beginnt.  $WS_R$  beträgt für das 100 m Schiff etwa 4,15 Bft., für das 150 m Schiff etwa 5 Bft. Die Steigung der 2. Geraden wird im Fall des 100 m Schiffes zu  $k_{WS} = 0,068$  angenommen; beim 150 m Schiff zu  $k_{WS} = 0,16$ .

Für die hier behandelten Schiffe, die in ihren Abmessungen zwischen 125 und 150 m liegen, sind Werte für  $WS_R$  und die Steigung  $k_{WS}$  in der folgenden Tabelle angegeben. Sie wurden durch Interpolation ermittelt.

Schiff	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$k_{WS}$	0,115	0,125	0,136	0,145	0,143	0,152	0,131	0,139
$WS_R$	4,61	4,69	4,77	4,87	4,86	4,94	4,75	4,82

Der Einfachheit halber wird angenommen, daß der relative Schubzuwachs im Seegang für alle Beladungsfälle gleich ist. Ferner wird der relative Schubzuwachs unabhängig vom Ausmaß des Bewüchses angenommen.

### Geschwindigkeit bei starkem Seegang

Zur Abschätzung der Geschwindigkeit in starkem Seegang, für die die Häufigkeit des Auftretens von Slamming maßgeblich ist, wird von den Untersuchungen von Aertssen (1969) ausgegangen. Aertssen hat als Funktion der Seegangsstärke diejenigen Geschwindigkeiten angegeben, bei denen jeweils 1, 2 und 3 Slamstöße auf 100 Stampfschwingungen kommen. Die Häufigkeit von 2 Slamstößen auf 100 Stampfschwingungen wird hier als gerade noch erträglich angesehen. In Bild 2A sind die hierzu gehörenden Grenzgeschwindigkeiten für ein 125 m und ein 146 m langes, jeweils voll abgeladenes Schiff und für 2 teilbeladene Schiffe mit Längen von 136 m und 146 m dargestellt. Es zeigt sich, daß sich die Grenzgeschwindigkeit als Funktion der Windstärke\* in allen Fällen in dem praktisch interessierenden Bereich gut durch Geraden annähern läßt.

Der Schnittpunkt der verlängerten Geraden mit Ordinate bzw. Abszisse wird im Fall der vollbeladenen Schiffe mit  $V_{00}$  bzw.  $WS_0$  bezeichnet; im Fall der teilbeladenen Schiffe mit  $V_{\Delta}$  bzw.  $WS_{\Delta}$ .

Um die Grenzgeschwindigkeit für vollbeladene Schiffe mit hiervon abweichenden Längen zu ermitteln, wird zwischen den Werten  $V_{00}$  und  $WS_0$  der 146 m und 125 m langen Schiffe linear interpoliert.

Aus den Messungen von Aertssen läßt sich eine fundierte Abhängigkeit der Grenzgeschwindigkeit vom Beladungszustand nicht ableiten. Um den Einfluß einer geringeren Verdrängung wenigstens tendenzmäßig zu erfassen, wird angenommen, daß der Schnittpunkt der Näherungsgeraden mit der Ordinate durch die Beziehung  $V_{\Delta} = V_{00} \cdot (\Delta / \Delta_0)$  gegeben ist und für den Schnittpunkt der Geraden mit der Abszisse

$$WS_{\Delta} = WS_0 \cdot \sqrt{\Delta_0 / \Delta} \quad \text{gesetzt werden kann.}$$

Damit gilt dann für die im Hinblick auf Slamming zulässige Geschwindigkeit

$$V_{SL} = V_{\Delta} \cdot [1 - WS/WS_0] = V_{00} \cdot \frac{\Delta}{\Delta_0} \cdot \left[ 1 - \sqrt{\frac{\Delta}{\Delta_0}} \cdot WS/WS_0 \right]$$

\* Die von Aertssen angegebenen Seegangsstärken wurden auf die hier verwendeten Windstärken umgerechnet.

Da in der angenommenen Verteilung nur Windstärken bis 9,5 Bft. berücksichtigt werden, kommt man aufgrund von Slamming auf kleinste Geschwindigkeiten von etwa 6 kn. Diejenigen Windstärken WS, bei denen die zulässige Geschwindigkeit gleich 18 kn ist, liegen nach dieser Näherung für das vollbeladene Schiff bei etwa 7 Bft., bei leicht beladenen Schiffen bei etwa 5 Bft. Diesen Seegangsstärken entsprechen kennzeichnende Wellenhöhen von etwa 3,5 m bzw. 2,15 m.

Bei kleineren Windstärken ergibt sich danach für das teilbeladene Schiff eine kleinere Geschwindigkeit als für das abgeladene Schiff. Bei größeren Windstärken ist die Geschwindigkeit des vollbeladenen Schiffes kleiner als die Geschwindigkeit des teilbeladenen Schiffes. Dies ist auf das unterschiedliche Verhalten von beladenen und teilbeladenen Schiffen im Seegang zurückzuführen; die Verhältnisse liegen hier ähnlich wie beim Verhalten großer und kleiner Schiffe im Seegang (vgl. Bakenhus 1964). Das Maximum der Einflußfunktion für die relative Bugbewegung, die als maßgeblich für das Slamming angesehen werden kann, liegt für teilbeladene Schiffe offenbar bei größeren Frequenzen als beim vollbeladenen Schiff.

Abschätzung der fiktiven Kosten infolge Bewertung der Verspätung

In Bild 3A sind die mittleren Kosten aufgetragen, die entstehen, wenn eine beim Anlegen im Hafen A1 oder B1 festgestellte Verspätung aufgeholt werden soll. Bei der Berechnung wurde vereinfachend davon ausgegangen, daß die im Fahrplan vorgesehenen Reserven für die Seezeit und die Umschlagszeiten außer derjenigen im Hafen A1 im Mittel zur Hälfte für das Aufholen der anfänglichen Verspätung zur Verfügung stehen. Die Reserven des Hafens A1 wurden nicht berücksichtigt, da sie sowohl für den Umschlag als auch für die Beseitigung zufälliger Schäden vorgesehen sind.

Abschätzung der fiktiven Kosten und des Einnahmenausfalls bei Auslasseneines Hafens

Beim Auslassen eines Hafens entsteht ein Einnahmenverlust, der von der zurückgelassenen Ladungsmenge und der Frachtrate abhängt. Darüberhinaus ergeben sich fiktive Kosten infolge der Bewertung der zurückgelassenen Ladung. Bei einer mittleren Menge von 2350 Frt und einer mittleren Frachtrate von 60,- DM/Frt ergibt sich als mittlerer Einnahmenverlust und gleichzeitig für die Bewertung der zurückgelassenen Ladung im Hafen A2 ein Betrag von jeweils etwa 141.000,- DM. Eingespart werden Lotsen- und Hafengebühren in Höhe von rund 3000,- DM und an Lade- und Löschkosten für die nicht übernommene Ladung etwa 26.000,- DM. Evtl. eingesparte Kosten für Überstunden werden nicht berücksichtigt, da sie relativ gering sind.

Weitere fiktive Kosten, werden dafür angesetzt, daß das Schiff abweichend vom Fahrplan nicht in den Hafen einläuft, denn dadurch werden, ähnlich wie durch das Zurückweisen von Ladung oder durch eine größere Verspätung, Kunden verärgert. Für diese Kosten wurden hier 10.000,- DM angesetzt.

Grob gerechnet ist somit das Auslassen des Hafens A2 im Mittel mit einem Einnahmenverlust abzüglich eingesparter Kosten in Höhe von 112.000,- DM verbunden und dazu im Mittel mit fiktiven Kosten in Höhe von 151.000,- DM zu bewerten. Beim Auslassen des Hafens B2 werden im Mittel 675 Frt normales Stückgut und 440 Frt Kühlgut zurückgelassen. Für den Einnahmenverlust und für die Bewertung des

Zurücklassens sind bei einer mittleren Frachtrate von 60 DM/Frt jeweils etwa 94.000,- DM anzusetzen. Die eingesparten Kosten betragen etwa 15.000,- DM. Bei gleicher Bewertung des Abweichens vom Fahrplan kommt man beim Auslassen des Hafens B2 näherungsweise zu fiktiven Kosten in Höhe von 104.000,- DM und zu einem Einnahmenverlust von 79.000,- DM.

In Bild 3A sind die Kosten aufgetragen, die entstehen, wenn eine im Hafen A1 bzw. B1 festgestellte Verspätung z.T. durch Auslassen der Häfen A2 bzw. B2 aufgeholt werden soll. Unter der vereinfachenden Voraussetzung, daß die Entscheidung für das Übergehen eines Hafens beim Anlaufen der Häfen A1 bzw. B1 getroffen wird, kann man aus diesem Bild diejenige Verspätung ablesen, oberhalb der ein Auslassen der Häfen A2 bzw. B2 günstiger wird, als die Einhaltung der im Fahrplan vorgeschriebenen Bedienungsweise der Häfen. Diese Verspätung ergibt sich aus den Koordinaten des Schnittpunktes der in Bild 3A eingetragenen Kurven. Danach wird der Hafen A2 nicht angelaufen, wenn die Verspätung im Hafen A1 mehr als 83 h beträgt. Der Hafen B2 wird nicht bedient, wenn die Verspätung im Hafen B1 mehr als 88 h beträgt. Die Unterschiede ergeben sich daraus, daß sich beim Übergehen von A2 41,1 h und von B2 23,6 h einholen lassen.



Bild 1A Schubzuwachs im Seegang

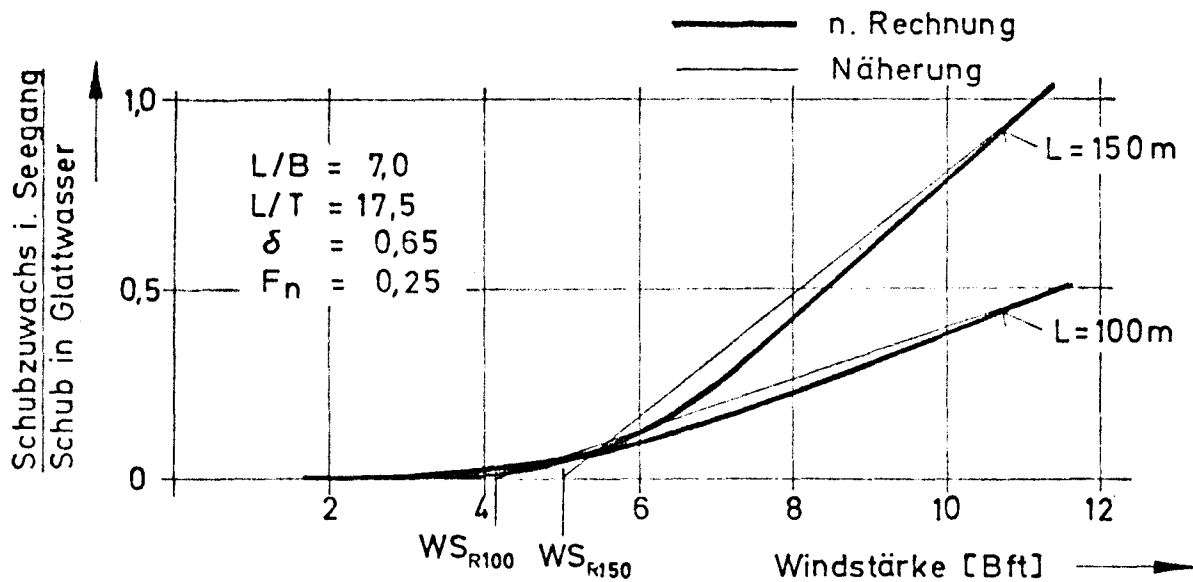


Bild 2A Näherungen für die zulässige Geschwindigkeit bei Seegang im Hinblick auf Slamming

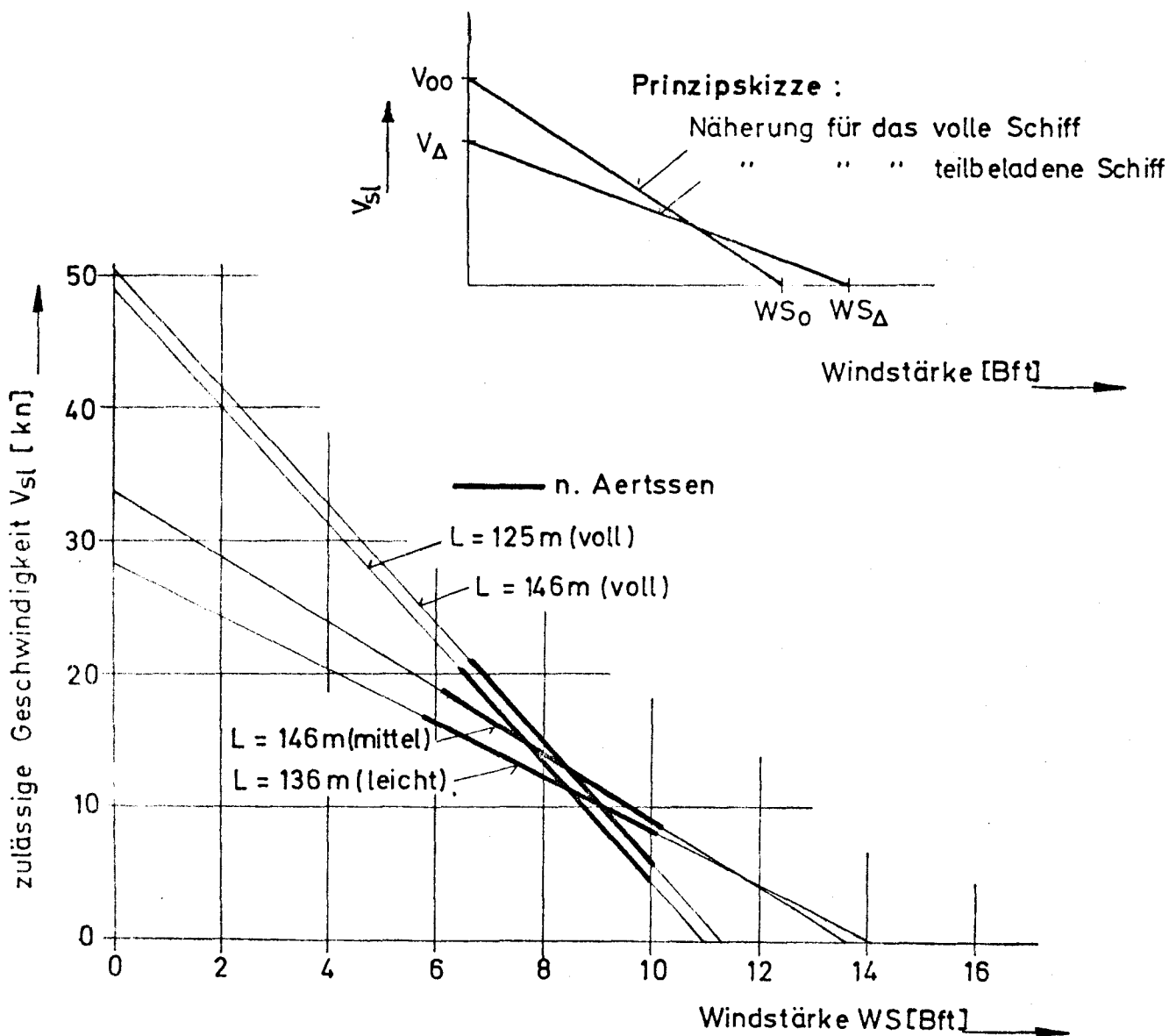


Bild 3A Abschätzung der Verspätung, von der an der Hafen A2 bzw. B2 nicht angelaufen wird

- ① : Fiktive Kosten infolge Bewertung der Verspätung. (Anlauf von A2 bzw. B2)  
 ② : (Mittl. Einnahmeverlust - mittl. eingesparte Kosten + mittl. fiktive Kosten infolge Bewertung des Zurücklassens von Ladung + fiktive Kosten infolge Bewertung der Verspätung und des Auslassens von A2 bzw. B2)

