

342 | 1976

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

W. Schöttelndreyer

**Der Einfluß des  
Ladungsmengenrisikos auf die  
optimale Flottenstruktur von  
Handelsschiffen im Liniendienst**

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

**Der Einfluß des Ladungsmengenrisikos auf die optimale Flottenstruktur von Handelsschiffen  
im Liniendienst**

W. Schöttelndreyer, 1. Auflage, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1976

© Technische Universität Hamburg-Harburg

Schriftenreihe Schiffbau

Schwarzenbergstraße 95c

D-21073 Hamburg

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

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 342

Der Einfluß des Ladungsmengenrisikos  
auf die optimale Flottenstruktur von Handelsschiffen  
im Liniendienst

von

Werner Schöttelndreyer

1976

Diese Arbeit ist im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 98 "Schiffstechnik und Schiffbau", Teilprojekt C, entstanden.

Mein Dank gilt besonders Herrn Professor O. Krappinger für Anregungen und kritische Diskussionen.

Zu Dank bin ich auch Herrn B. Bolender verpflichtet, der als Mitglied des Vorstandes der HAPAG-LLOYD AG mir die Durchführung einer Feldstudie im Bereich der Umschlagsanlage am Schuppen 73 in Hamburg ermöglichte.

Werner Schöttelndreyer

## Inhalt

Seite

### Literatur

#### Verzeichnis der im Text verwendeten Symbole

1.	Problemstellung	1
2.	Der Ladungsfluß im Liniendienst	5
2.1	Qualitative Beschreibung des Ladungsflusses	5
2.2	Quantitative Erfassung des Ladungsflusses	9
2.2.1	Am Schuppen eintreffende Ladungsmengen	9
2.2.2	Zur Verschiffung bereitstehende Ladungsmengen	11
2.2.3	Exemplarische Darstellung des Ladungsmengenrisikos	17
3.	Berücksichtigung der Risikosituation im Flotten- entwurf	26
3.1	Die Entscheidungsparameter des Reeders	26
3.2	Die Bedeutung der Parameterwahl für Reeder und Befrachter	29
3.3	Ein Kriterium für die Auswahl der Entschei- dungsparameter	35
4.	Die Ermittlung der Erlös- und Kostenfunktion	39
5.	Die Auswirkungen des Ladungsmengenrisikos auf Struktur und Rentabilität des Liniendienstes	48
5.1	Bestimmung der optimalen Entscheidungs- parameter für einen Modellfall	48
5.2	Ein Vergleich unterschiedlicher Risiko- situationen	50

### Tabellen

### Bilder

Anhang

A	Das Rechenprogramm	I
A1	Das Rechenprogramm FNOLA	I
A2	Das Unterprogramm ENFRA	III
A3	Das Unterprogramm DIFUL	IV
B	Der funktionale Zusammenhang zwischen Dienst- und Probefahrtgeschwindigkeit	V

## Literatur

- (1) Schöttelndreyer, W.:  
Die Einwirkung von Umwelteinflüssen auf die optimale Flottenstruktur bei Handelsschiffen im Liniendienst, Hamburg 1974, IfS-Bericht 314
- (2) Krappinger, O.:  
Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung, Vorlesungsmanuskript Nr. 7, IfS, Hamburg 1973
- (3) Heinhold/Gaede:  
Ingenieur-Statistik, 3. Auflage, Oldenburg, München, Wien 1972
- (4) Hoel, Paul:  
Introduction to Mathematical Statistics, John Wiley & Sons, New York - London, 1962  
3. Auflage
- (5) Störmer, H.:  
Mathematische Theorie der Zuverlässigkeit, München 1970
- (6) Smirnow, N.W./Dunin-Barkowski, J.W.:  
Mathematische Statistik in der Technik, Berlin 69, 2. Auflage
- (7) Brown, R.G.:  
Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series, London, 1963
- (8) Krappinger, O.:  
Seegang und Schiffsbewegungen als stochastische Prozesse, Vorlesungsmanuskript Nr. 6, IfS Hamburg, 1973

- (9) Bartsch, H.:  
Statistische Methoden zur Untersuchung  
der Bewegungen eines Schiffes im Seegang,  
Schiffstechnik 1959, Band 6
- (10) Keil, H.:  
Über die Bestimmung von Spektren des  
Seegangs und der Schiffsbewegungen,  
IfS Hamburg, Nr. 128
- (11) Price, W.G. / Bishop, R.E.D.:  
Probabilistic Theory of Ship Dynamics,  
London 1974
- (12) Grim, O.:  
Beitrag zu dem Problem der Sicherheit  
des Schiffes im Seegang, Schiff und Hafen  
1961, Nr. 6
- (13) Schenzle, P. / Boese, P. / Blume, P.:  
Ein Programmsystem zur Berechnung der  
Schiffsgeschwindigkeit unter Dienstbe-  
dingungen, IfS, Bericht Nr. 303,  
Hamburg 1974
- (14) Gutenberg, E.:  
Der Absatz, Springer-Verlag, Berlin 1970,  
12. Auflage
- (15) Jacob, H.:  
Preispolitik, Gabler, Wiesbaden 1963,  
55./56. Lieferung
- (16) Krappinger, O.:  
Grundlagen für die Aufstellung von  
rationalen Entscheidungskriterien,  
IfS Hamburg 1968

## Verzeichnis der im Text verwendeten Symbole

A	Koeffizient der Leistungsfunktion
AE	dem Eigenkapital entsprechender Abschreibungsanteil
AS	Anzahl der Schiffe
B	Koeffizient der Leistungsfunktion
$b_i$	Klassenbreite der Klasse i
BRT	Bruttovermessung der Schiffe
BS	Breite auf Spanten
C	Koeffizient der Leistungsfunktion
CT	Treibstoffkonstante
d	Rundreisestrecke
DIST	Halbreisestrecke
$E\{\dots\}$	Erwartungswert von
$E(\dots), E$	Erlös, abhängig von ...; Erlös
$e'$	Grenzerlös
$e_i$	Anzahl der Werte in Klasse i aufgrund der Verteilungsfunktion
EK	Eigenkapital
EK-RENT	Eigenkapitalrentabilität
$\bar{E}_0$	Erlös des Reeders bei unverändertem Befrachterverhalten bei $t_0$
$\bar{E}_{\text{REEDER}}$	Erlöse des Reeders bei unverändertem Befrachterverhalten
$E_{\text{REEDER}}$	Erlöse des Reeders bei Reaktionsmöglichkeit der Befrachter
ERL	Erlös pro Halbkreise
ERLFL	Erlös der Flotte pro Jahr
$E_1, E_2$	Erlöse aufgrund der Frachtrate $p_1, p_2$
$f(x)$	Dichtefunktion der Mengenvariablen x
$F(x)$	Verteilungsfunktion der Mengenvariablen x
FFK	Flottenfaktor
FKZ	Fremdkapitalzinssatz
FRATE	Frachtrate
$G(\dots)$	Gewinn des Reedereiunternehmens als Funktion von ...
$G^+(\dots)$	Gewinn unter Berücksichtigung der fiktiven Kosten $K^+$

$h_i$	Dichte der Klasse $i$
HID	Seitenhöhe bis zum 1. Deck
$k$	Zeitdifferenz zwischen zwei Meßwertnahmen
$k'$	Grenzkosten des Reedereiunternehmens
$K$	Anzahl der Mengenklassen
$K(\dots)$	Kosten, abhängig von
$K^+$	Fiktive Kosten der Schadensersatzleistung
KB	Baukosten der Schiffe
$\bar{K}_{\text{BEFRACHTER}}$	Kosten der Befrachter bei unveränderlichem Befrachterverhalten
KD	Dispositions- oder Verwaltungskosten
KDS	Dispositionskostensatz
KFIXJ	jährliche Fixkosten
KFL	jährliche Kosten der Flotte
KH	Hafenkosten
KHS	Hafenkostensatz
KHR	Kosten einer Halbreise
KIR	Kosten für Instandhaltung und Reparatur
KKD	Kapitaldienst des Fremdkapitals
KL	Lohnkosten für Bordpersonal
KLS(...)	Lohnkostensatz für Bordpersonal als Funktion von ...
$K_{\text{REEDER}}$	Kosten des Reeders bei Reaktionsmöglichkeit der Befrachter
$\bar{K}_{\text{REEDER}}$	Kosten des Reeders bei unveränderlichem Befrachterverhalten
KT	Treibstoffkostensatz
KTR	Treibstoffkosten
KV	Versicherungskosten
KVS	Versicherungskostensatz
$K_{\text{ZL}}$	Kosten der zurückgelassenen Ladung
$L(\dots)$	Likelihood-Funktion von ...
LPP	Länge zwischen den Loten
$l(t)$	zur Verschiffung bereitstehende Ladungsmenge
$M, m$	Anzahl der Häfen pro Region
$m(t)$	in der Sammelstelle täglich eingehende Ladungsmenge

N	Anzahl der registrierten Tagesmenge (Meßwerte)
n	Intervalllänge
$n_i$	Anzahl der Meßwerte in Klasse i
ND(...)	Leistungsaufnahme unter Dienstbedingungen als Funktion von ...
NDO	Leistungsaufnahme unter Dienstbedingungen bei vollständiger Beladung
NI	installierte Leistung
P	Sicherheitswahrscheinlichkeit
P(...)	Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des Ereignisses ...
p, p <sub>1</sub> , p <sub>2</sub>	Frachtraten
r	Rundreisezeit
RF	Faktor für Reservemannschaft
$R_{\xi_m \xi_m}(\dots)$	Autokovarianz der Variablen $\xi_m$ von ...
$S^2$	Empirische Varianz
$S_{\xi_m}(\omega)$	Spektraldichtefunktion der Variablen $\xi_m$
$S_{\xi_m, n}$	Intervallspektrum
SBV	Spezifischer Brennstoffverbrauch
SEQU	Intervalllänge zwischen zwei Abfahrten
t	Zeitvariable
$t_H$	Hafenzeiten
TA	Abschreibungszeitraum
TDW	Tragfähigkeit der Schiffe
u	Anzahl der Einzelpartien pro Tag
$u_k^2$	$\chi^2$ -verteilte Größe für K Klassen
$v_s$	Schiffsgeschwindigkeit
VD	Schiffsgeschwindigkeit unter Dienst- bedingungen
VSP	Schiffsgeschwindigkeit unter Probefahrt- bedingungen
WL	Wert der Ladung
x	Tagesmengenvariable
$x_i$	i-ter Wert der Tagesmengenvariablen x
$\bar{X}$	arithmetisches Mittel
X	Zufallsmenge der Ladung pro Abfahrt
XI	Ladekapazität der Schiffe

$y$	Ladekapazität der Schiffe
$y_i$	mengenmäßiger Umfang einer einzelnen Ladungspartie
$z$	Anzahl der Schiffe
$z_m$	Tagesmenge der Ladung aus $m$ Häfen
$z_{m,n}$	Ladungsaufkommen aus $m$ Häfen während $n$ Tage
ZB	Besatzungsstärke eines Schiffes
$\varepsilon(\omega)$	Zufallsphase
$\xi_m(t)$	Abweichung der Menge $z_m$ vom Mittelwert $\mu_{z_m}$ als Zufallsvariable der Zeit
$\xi_{m,n}$	Mittelwert von $\xi_m$ über ein Zeitintervall $n$
$\Lambda$	Erwartungswert für die Anzahl der Einzelpartien pro Tag
$\Delta t$	Zeitintervall
$\lambda$	Parameter der Exponentialverteilung
$\mu$	Mittelwert einer Verteilung
$\nu$	Anzahl der Freiheitsgrade einer $\chi^2$ -verteilten Größe
$\sigma^2$	Varianz einer Verteilung
$\tau$	Zeitdifferenz
$\omega$	Kreisfrequenz

## 1. Problemstellung

Neben der Einführung des maschinellen Antriebs hat es wohl keinen entscheidenderen Einfluß auf den Schiffsentwurf gegeben als den Anpassungsprozeß der Handelsschiffe im Überseeverkehr an die Ladung.

Zu den ersten Fahrzeugen, die für Speziellladung entworfen wurden, zählen die Teeklipper. Es folgten die reinen Passagierschiffe, die in den Schnelldampfern ihren technischen Höhepunkt und gleichzeitig ihr wirtschaftliches Ende fanden, weil der Spezialisierungsprozeß sich fortsetzte: Flugzeuge, Fähren und Kreuzfahrtschiffe sind die Nachfolger. Danach entstanden Tankschiffe und Bulkcarrier für Massengüter sowie Kühlschiffe für Fleisch und Obst.

Auch im allgemeinen Stückgüterverkehr ist in jüngerer Zeit eine weitere Spezialisierung eingetreten: Liniendienste zwischen industrialisierten Regionen mit hohem Ladungsaufkommen werden heute mit Containerschiffen betrieben; konventionelle schnelle Linienschiffe, die erst vor zehn Jahren in Fahrt gebracht wurden, mußten nach wenigen Jahren in (noch) nicht containerisierbare Liniendienste ausweichen. Auch sie wurden technisch und wirtschaftlich überholt durch Schiffe, die den Güterströmen besser angepaßt waren. Selbst die Containerschiffe der ersten Generation sind nach nur sieben Jahren am Ende ihrer wirtschaftlichen Lebensdauer angelangt, zumindest in dem Fahrtgebiet, für das sie einmal konzipiert worden sind.

Auch eine parametrische Studie (1), die zum Ziel hatte, quantitative Zusammenhänge zwischen den Schiffsparemtern und der Rentabilität einerseits

sowie Änderungen von Randbedingungen der relevanten Umwelt andererseits aufzuzeigen, wies darauf hin, daß die Anpassung der Schiffe an die Ladungsbelange von großer Bedeutung für die Rentabilität der Flotte ist.

Sind die Schiffe jedoch auf ein bestimmtes Fahrtgebiet und dessen Ladungsaufkommen spezialisiert, so ist es häufig schwierig, bei starkem Konkurrenzdruck in andersartige Linien auszuweichen. Es ist daher notwendig, die Risiken, denen die in den Schiffen gebundenen hohen Investitionsmittel ausgesetzt sind, genau zu analysieren. Je besser der geplante Liniendienst der erkannten Risikosituation angepaßt wird, desto eher ist eine möglichst hohe Rentabilität des eingesetzten Kapitals im Wettbewerb zu erreichen.

Zur Lösung dieses Problems ist es notwendig, ein Entscheidungsmodell für das Reedereiunternehmen zu entwickeln, das folgenden Anforderungen gerecht wird:

- das Modell muß operabel sein

Diese Forderung beinhaltet, daß im Modell der Liniendienst so weit abstrahiert wird, daß die Zahl der Variablen überschaubar ist, die kausalen Zusammenhänge noch erkennbar sind und damit die Ergebnisse nachprüfbar bleiben. Außerdem dürfen die Rechenzeiten ein vertretbares Maß nicht überschreiten.

- das Modell muß gleichgewichtig sein

Hiermit ist gemeint, daß die Teilbereiche des Modells in ihrem Grad an Genauigkeit entsprechend dem Einfluß auf das Ergebnis behandelt werden sollten. Diese Genauigkeit muß auch ein ausgewogenes Verhältnis zur Operabilität haben.

- das Modell muß strukturell richtig sein

Das bedeutet, daß alle essentiellen Beziehungen befriedigend erfaßt und berücksichtigt sind, sowohl die technischen als auch die ökonomischen.

Die Analyse und Einbeziehung von Risiken in ein solches Planungs- und Entscheidungsmodell setzt die Quantifizierbarkeit von möglichen Störungen des Liniendienstes voraus. Ein grundsätzliches Risiko entsteht für das Reedereiunternehmen schon durch die Teilnahme am Seeverkehr selbst. Die Wahrscheinlichkeit eines Schiffsunfalles läßt sich aus der entsprechenden Statistik einer Route ermitteln, jedoch ist dieses Risiko der typische Versicherungsfall für Schiff und Ladung. Träger des Risikos sind die Versicherer, nicht der Reeder.

Dieses Risiko und alle die Risiken, die den Bestand des Unternehmens bei Eintritt des ungünstigen Ereignisses infrage stellen, sollen hier nicht berücksichtigt werden, das Gebot der Vorsicht und des Gläubigerschutzes oder gesetzliche Vorschriften erzwingen die Verlagerung solcher Risiken vom Reeder auf die Versicherer.

Im folgenden soll eine Art von Risiko behandelt werden, die in dem Bereich des unternehmerischen Risikos angesiedelt ist: Das Ladungsmengenrisiko.

Die Ladungsmenge, die pro Abfahrt eines Linienschiffes zur Verladung bereit steht, ist im allgemeinen nicht determiniert, sondern wird von Abfahrt zu Abfahrt von unterschiedlichem Umfang sein.

Damit steht der Reeder vor dem Problem, welche Schiffsgröße er wählen soll. Entscheidet er sich

für ein relativ kleines Fahrzeug, so kann er zwar zunächst mit einer guten Auslastung rechnen, muß jedoch auch häufig Befrachter abweisen, weil für das Schiff keine Ladung mehr angenommen werden kann. In diesem Fall wird er mit der Abwanderung von Befrachtern zu den Wettbewerbern rechnen müssen. Wählt der Reeder dagegen ein im Verhältnis zu den durchschnittlichen Ladungsmengen recht großes Schiff, so gerät er zwar nur selten in die Situation, aus Kapazitätsgründen auf angebotene Ladung verzichten zu müssen, ist aber durch den größeren Fahrzeugtyp gezwungen, ein höheres Kostenniveau für seinen Liniendienst einzuplanen. Der unregelmäßige Anfall an Ladungsmengen, der die skizzierte Risikosituation des Reeders schafft, soll in das Modell des Liniendienstes einbezogen werden, indem die Ladungsmenge als Zufallsgröße eingeführt wird. Dadurch erhält der Reeder die Möglichkeit, diese in seinen Forderungen an den Schiffsentwurf, mit denen er sich dem zeitlichen Fluß der Ladung optimal anpassen will, berücksichtigen zu können.

## 2. Der Ladungsfluß im Liniendienst

### 2.1 Qualitative Beschreibung des Ladungsflusses

Als Ladungsfluß soll im Rahmen dieser Arbeit der zeitliche Ablauf folgender Vorgänge bezeichnet werden:

- Eingang einzelner Ladungspartien aus dem Hinterland durch Lastwagen, Bahn etc. im Lagerschuppen eines Seehafens

und

- Sammeln dieser Partien während eines bestimmten Zeitintervalls im Lagerschuppen und Bereitstellung zur Verschiffung auf Fahrzeuge eines regelmäßig verkehrenden Liniendienstes.

Dieser Ladungsfluß ist kennzeichnend für den Liniendienst mit konventionellen Schiffen. Für andere Güter wäre obiger Ablauf zu modifizieren:

bei Gütern im containerisierten Verkehr liegt das Pufferlager Sammelstelle, das der Lagerschuppen für das konventionell verpackte Stückgut darstellt, in den im Hinterland befindlichen Containersammelstellen, so daß die Container in der Regel nicht einzeln, sondern in großen Schüben und weitgehend pünktlich auf den Abfahrtstermin des Seeschiffes abgestimmt den Umschlagplatz im Hafen erreichen,

bei Massengut entfällt das Sammeln von Partien in einem Pufferlager ganz, weil in der Regel eine der Menge nach im voraus bekannte Ladung für einen bestimmten Termin zur Verfügung steht und zumeist kontinuierlich angeliefert wird.

Während beim Massengut somit bekannte Mengen in unregelmäßigen Intervallen (Trampmarkt) oder regel-

mäßig verschifft werden (Konzernverkehr), wird der Stückgutdienst mit konventionellen Schiffen oder Containerschiffen durch Ladungsmengen gekennzeichnet, die von vornherein dem Umfang nach nicht bekannt sind, für die jedoch in regelmäßigen Intervallen Verschiffungsmöglichkeiten in ein bestimmtes Fahrtgebiet existieren.

Bei Abfahrtsintervallen von mehr als 14 Tagen wird ein Befrachter die Bereitstellung seiner Ladung zum Abfahrtstermin genau planen, weil sich die Transportzeit für seine Güter beim Verpassen einer Abfahrt fühlbar erhöht. Die meisten Liniendienste weisen jedoch Abfahrtsintervalle auf zwischen ein und zwei Wochen. Es ist nun zu ermitteln, ob der Befrachter den Transport seiner Güter vom Produktionsbetrieb zum Seeschiff zeitlich so abstimmen und organisieren kann, daß sie pünktlich bis Ladeschluß am Kai sind oder ob die Güter, sobald sie zum Versand bereit stehen, zum Sammler expediert werden, um das nächste erreichbare Schiff zu nehmen.

Als erste Hypothese wäre denkbar:

- a) die eingehenden Ladungsmengen am Schuppen sind genau auf die Abfahrtstermine disponiert.

Wenn diese Hypothese zutrifft, müßten sich die im Sammler eingehenden Partien in einem relativ kurzen Zeitraum vor dem Abfahrtstermin häufen:

- für den konventionellen Stückgutverkehr wenige Tage vor dem avisierten Termin im Schuppen des Verschiffungshafens,
- für den Containerverkehr in den Sammelstellen im Hinterland.

Die täglich in der Sammelstelle eingehenden Ladungsmengen hätten etwa den zeitlichen Verlauf  $m(t)$ , die Mengen pro Abfahrt den Verlauf  $l(t)$  (Bild 1). Die pro Tag eingehende Ladungsmenge wird an den einzelnen Tagen unterschiedlich groß sein, aber auch die bei jeder Abfahrt an Bord genommenen Ladungsmengen werden unterschiedlichen Umfang haben.

Bei Richtigkeit der obigen Hypothese kann man vermuten, daß das Abfahrtsintervall für die Dispositionssicherheit der Befrachter wahrscheinlich von großer Bedeutung ist. Die mittlere Verweildauer der Ladung im Schuppen, die für den Befrachter ein Kostenfaktor ist, beträgt im obigen Bild ca. 2 Tage. Durch eine Veränderung der Intervalllänge müßte der Reeder befürchten, daß bei kürzerer Intervalllänge die Befrachter unter Umständen die Partiegrößen herabsetzen. Größere Intervalle würden für einen Teil der Befrachter längere Lieferzeit seiner Güter bedeuten, zumindest eine Serviceverschlechterung darstellen. Beides gilt natürlich für unveränderte Dauer des Seetransportes. Wichtig erscheint, daß eine Änderung des Abfahrtsintervalls für die Befrachter fühlbar ist. Daher wird eine solche Änderung Reaktionen bei den Befrachtern hervorrufen, so daß das Reedereiunternehmen damit rechnen muß, daß sich das mengenmäßige Ladungsaufkommen ändert.

Die zweite mögliche Hypothese wäre die, daß

- b) der Abfahrtstermin nicht den Zeitpunkt der Anlieferung von Ladungspartien bestimmt

Unter der Voraussetzung, daß die Befrachter sich nicht auf die Abfahrtstermine einstellen oder nicht einstellen können, müßte sich in den Sammelstellen etwa ein täglicher Ladungseingang  $m(t)$  entsprechend

Bild 2 ergeben mit den pro Abfahrt verladene Mengen  $l(t)$ .

Ein solcher zeitlicher Verlauf läßt darauf schließen, daß die Befrachter ihre Güter zum nächstmöglichen Abfahrtstermin verschiffen lassen, eine Intervalländerung wird daher für den Befrachter nicht von entscheidender Bedeutung sein. In diesem Fall wird ein Reedereiunternehmen in der Lage sein, durch eine Änderung des Abfahrtsintervalls um einige Tage seine Kostensituation zu verbessern, ohne Ladungseinbußen zu erleiden. Eine Verkürzung oder Verlängerung des Intervalls um  $\Delta t$  wird die mittlere Verweildauer der Partien im Sammler nur um  $\Delta t/2$  verkürzen oder verlängern, die Fühlbarkeit der Intervalländerung ist dadurch vermindert.

Um zu prüfen, welche Hypothese für den Liniendienst zutreffend ist, wurde eine Feldstudie durchgeführt. Für einen Containerdienst wäre es notwendig gewesen, die Einzelmengen in den verschiedenen Sammelstellen im Hinterland zu messen, die dort täglich eingehen. Es war jedoch einfacher und für den Zweck der vorliegenden Arbeit hinreichend, einen konventionellen Stückgutdienst mit wöchentlicher Abfahrt zu untersuchen mit nur einer Registrierstelle im Lagerschuppen des Seehafens. Es soll bemerkt werden, daß diese Linie nicht durch einen parallelen Containerdienst bedient wird. Die Zeitreihe der täglich eintreffenden Ladungsmengen ist in Bild 3 aufgetragen, die Tageswerte liegen fortlaufend über 16 Wochen ohne Unterbrechung vor. Die dargestellte Zeitreihe läßt erkennen, daß die zweite Hypothese wohl unterstellt werden kann. Auch die Aufzeichnungen für andere Liniendienste, selbst bei längeren Abfahrtsintervallen, deuteten darauf hin, daß die erste Hypothese hier unberücksichtigt bleiben kann.

## 2.2 Quantitative Erfassung des Ladungsflusses

Um bereits in der Planungsphase Zahl und Entwurfsdaten der für einen Liniendienst vorgesehenen Schiffe dem dortigen Güterstrom bestmöglich anpassen zu können, muß man über geeignete Methoden verfügen, die eine quantitative Erfassung des Ladungsflusses in den einzelnen Häfen ermöglichen und dadurch eine Prognose der sich innerhalb eines Abfahrtsintervalls ansammelnden und zur Verschiffung bereitstehenden Ladung aus allen ausgehend bedienten Häfen zulassen.

Zu diesem Zweck werden im Folgenden theoretische Modelle bereitgestellt, von denen allgemeine Aussagen und Hilfe im Einzelfall erwartet werden können.

### 2.2.1 Am Schuppen eintreffende Ladungsmengen

Aus der Feldstudie geht hervor, daß die am Schuppen registrierten Tagesmengen der eintreffenden einzelnen Ladungspartien unregelmäßige Schwankungen aufweisen, die offensichtlich unabhängig vom Abfahrtstermin des Seeschiffes sind. Es liegt daher nahe, die Tagesmenge als Zufallsgröße aufzufassen. Eine Abschätzung möglicher Verteilungsfunktionen des täglichen Ladungsaufkommens soll durch nachstehende Betrachtung erfolgen.

Die am Schuppen festgestellte Tagesmenge ist die Summe der im Laufe eines Tages dort eintreffenden Einzelpartien. Bezeichnet man die Anzahl der täglichen Partien mit  $u$  und ihren mengenmäßigen Umfang mit  $y_i$ , so läßt sich die Tagesmenge angeben mit

$$x_u = \sum_{i=1}^u y_i$$

Folgende Angaben über die Partiemenge erscheinen zulässig:

- kleinere Partien treten häufig auf,
- große Einzelpartien kommen selten vor,
- nur positive Mengen sind möglich.

Die Menge einer Ladungspartie ist somit eine zufällige Variable mit linksteiler Dichtefunktion entsprechend Bild 4. Unter der Voraussetzung, daß täglich genau eine Partie im Schuppen eintrifft, ist die Dichtefunktion der Menge einer Einzelpartie identisch mit der Dichtefunktion der Tagesmenge. Treffen täglich genau zwei voneinander unabhängige Partien mit den Einzelmengen  $y_1$  und  $y_2$  ein, so findet man die Verteilung der Tagesmenge durch Faltung

$$f_x(x) = f_{y_1}(y_1) * f_{y_2}(y_2)$$

Darunter versteht man folgende Operation

$$f_x(x) = \int_0^{+\infty} f_{y_1}(y_1) \cdot f_{y_2}(x-y_2) dy_1$$

bzw.

$$f_x(x) = \int_0^{+\infty} f_{y_2}(y_2) \cdot f_{y_1}(x-y_2) dy_2$$

Für die Summe von  $u$  derartiger Partien kann man als Dichtefunktion angeben

$$f_{x_u}(x) = f_{y_1}(y_1) * f_{y_2}(y_2) * \dots * f_{y_u}(y_u)$$

Die Dichtefunktion der Tagesmenge als Summe von  $u = 2$  bzw.  $u = 3$  Einzelpartien ist in Bild 5 als die einer bedingten Verteilung dargestellt

$$f_x(x | u) = f_{x_u}(x)$$

fenden Einzelpartien und der Verteilung ihres mengenmäßigen Umfangs berechnet werden können unter der Voraussetzung, daß die Einzelpartien unabhängig voneinander sind.

Diese Bedingung ist auch für die Ermittlung der zur Verschiffung bereitstehenden Ladungsmenge methodisch von Bedeutung. Da die Feststellung von Unabhängigkeit oder Korrelation der täglichen Ladungsmengen in einem Hafen bzw. der Tagesmengen der ausgehend bedienten Häfen nur im Einzelfall gegeben ist, muß eine theoretische Behandlung des Ladungsflusses beide Möglichkeiten berücksichtigen.

Bei Unabhängigkeit der Tageswerte können die oben erwähnten Verteilungsfunktionen als Grundlage einer Prognose für den Reeder herangezogen werden.

Die Verteilungsfunktion der täglichen Ladungsmenge eines bestimmten Hafens sei zunächst allgemein als  $F_i(x)$  bezeichnet mit Mittelwert  $\mu_{ix}$  und Varianz  $\sigma_{ix}^2$ . Der Liniendienst soll insgesamt  $m$  Häfen ausgehend bedienen. Für einen täglich verkehrenden Dienst steht dann eine Ladungsmenge  $z$  bereit, die sich als Summe der Tagesmengen aus  $m$  Häfen ergibt

$$z_m = \sum_{i=1}^m x_i$$

Da die Tagesmengen  $x_i$  zufällig sind, ist auch ihre Summe  $z_m$  eine Zufallsgröße, deren Dichtefunktion man wiederum durch Faltung findet:

$$f_{zm}(z) = f_1(x_1) * f_2(x_2) * \dots * f_m(x_m)$$

Die Verteilungsfunktion erhält man durch Integration

$$F_{zm}(z) = \int_{-\infty}^z f_{zm}(z) dz$$

Die Berechnung der Dichtefunktion  $f_{zm}$  durch Faltung

von in der Regel unterschiedlichen Verteilungsdichten der Tagesmengen aus den  $m$  Häfen ist aufwendig. Mit Hilfe des zentralen Grenzwertsatzes kann jedoch eine brauchbare Näherung ermittelt werden (3):

sind die Summanden  $x_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ) unabhängige Zufallsgrößen mit Mittelwert  $\mu_{ix}$  und Varianz  $\sigma_{ix}^2$ , so ist die Summe  $z_m$  näherungsweise normal verteilt mit dem Mittelwert

$$\mu_{zm} = \sum_{i=1}^m \mu_{ix}$$

und der Varianz

$$\sigma_{zm}^2 = \sum_{i=1}^m \sigma_{ix}^2$$

Erfahrungsgemäß kann man schon für wenige Summanden eine gute Annäherung erwarten. Das bedeutet für praktische Fälle, daß die in Bild 7b skizzierten Randverteilungen nicht ermittelt zu werden brauchen, die Feststellung der Mittelwerte  $\mu_{ix}$  und der Varianzen  $\sigma_{ix}^2$  ist für obige Näherung hinreichend. Die Näherung des täglichen Ladungsaufkommens aus  $m$  Häfen durch eine Normalverteilung ist umso besser, je mehr schon die Randverteilungen selbst sich einer Normalverteilung angleichen.

Für einen Reeder ist jedoch die Kenntnis dieser Verteilungsfunktion  $F_{zm}(z)$  noch nicht ausreichend, er benötigt eine Darstellung, die die Ladungsmenge angibt, mit der er nach einem Zeitraum von  $n$  Tagen in den  $m$  Häfen insgesamt zur Verschiffung rechnen kann. Auch diese Menge ist durch Faltung berechenbar. Eine  $n$ -fache Faltung der Dichtefunktion  $f_{zm}(z)$  liefert die Verteilungsdichte  $f_{zm,n}(z)$ , als Verteilungsfunktion

erhält man

$$F_{zm,n}(z) = \int_{-\infty}^z f_{zm,n}(z) dz$$

Diese Verteilungsfunktion nähert sich noch weiter der einer Normalverteilung an. Mittelwert und Varianz erhält man nach den bekannten Regeln leicht als

$$\mu_{zm,n} = n \cdot \mu_{zm}$$

und

$$\sigma_{zm,n}^2 = n \cdot \sigma_{zm}^2$$

Damit ist das Modell zur quantitativen Darstellung des Ladungsflusses eines Liniendienstes, der  $m$  Häfen in einem Intervall von  $n$  Tagen bedient, bei Unabhängigkeit der Tageswerte verfügbar.

Sind die Tagesmengen zwar zufällig, aber zeitlich voneinander abhängig, so liegt Korrelation der Tageswerte vor. In diesem Fall reichen die Verteilungsfunktionen der täglichen Ladungsmengen nicht aus für eine Prognose des gesamten Ladungsaufkommens. Es muß jetzt die Zeitreihe der in geeigneter Weise (entsprechend dem Zeitplan des Anlaufens der ausgehend bedienten Häfen) summierten täglichen Ladungsmengen aus den  $m$  Häfen  $z_m(t)$  betrachtet werden. Die Tagesmengen der Ladung lassen sich darstellen als

$$z_m(t) = \mu_{zm} + \xi_m(t)$$

Die Autokovarianz der Abweichung  $\xi_m(t)$  einzelner Tageswerte vom Mittelwert  $\mu_{zm}$  ist nicht für alle Differenzen  $k \geq 0$  der Zeitreihenwerte gleich Null.

$$R_{\xi_m \xi_m}(k) = E \left\{ \xi_m(t) \cdot \xi_m(t+k) \right\}$$

Setzt man für die Zufallsvariable  $\xi_m(t)$  voraus, daß sie normalverteilt ist, kann der Ladungsfluß als Gaußscher Prozeß behandelt werden. Dazu wird auf die Methoden zurückgegriffen, die im Zusammenhang mit der Untersuchung der Bewegungen von Schiffen im Seegang entwickelt worden sind, bzw. auf denen diese fußen (8,9,10,11).

Wie der Seegang als Abweichung vom zeitlichen Mittelwert aller Ordinaten dargestellt wird, lassen sich die Schwankungen der täglichen Ladungsmengen als Abweichung vom Mittelwert der Tagesmengen analog betrachten.

Grundlegender Gedanke der mathematischen Behandlung des Seegang für den stationären Fall ist die Auffassung seiner unregelmäßigen Wellen als Überlagerung einer großen Zahl harmonischer Schwingungen mit Zufallsphase, durch die der Seegang an einem bestimmten Ort ebenfalls zufällige Werte annimmt.

Dies wird für den Ladungsfluß analog ausgedrückt durch

$$\xi_m(t) = \int_0^{\infty} \cos[\omega t + \varepsilon(\omega)] \cdot \sqrt{2 \cdot S_{\xi_m}(\omega)} d\omega$$

$\varepsilon(\omega)$  ist eine Zufallsphase, die alle Werte zwischen 0 und  $2\pi$  mit gleicher Wahrscheinlichkeit annehmen kann.  $S_{\xi_m}(\omega)$  wird als Spektrum der Schwankungen bezeichnet.

Zur Berechnung des Spektrums  $S_{\xi_m}(\omega)$  wird im Prinzip davon Gebrauch gemacht, daß nach dem Theorem von Wiener die Spektraldichtefunktion die Fouriertransformation der Autokovarianz ist:

$$S_{\xi_m}(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R_{\xi_m \xi_m}(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau$$

Aus dem Spektrum folgt für die Varianz

$$\sigma_{\xi_m}^2 = \int_0^{\infty} S_{\xi_m}(\omega) d\omega$$

Bei stationären Prozessen sind die Mittelwerte unabhängig von der Zeit. Daher kann man bei der Berechnung der Verteilung für die mittleren täglichen Ladungsmengen, die nach einem Intervall von n Tagen zur Verschiffung bereitstehen, folgendermaßen vorgehen (12):

$$\begin{aligned} \xi_{m,n}(t) &= \frac{1}{n} \int_{t-\frac{n}{2}}^{t+\frac{n}{2}} \xi_m(t) dt \\ &= \frac{1}{n} \int_{t-\frac{n}{2}}^{t+\frac{n}{2}} \int_0^{\infty} \cos[\omega t + \varepsilon(\omega)] \cdot \sqrt{2 S_{\xi_m}(\omega)} d\omega dt \end{aligned}$$

Nach Integration über die Zeit und geeigneter Umformung erhält man

$$\xi_{m,n}(t) = \int_0^{\infty} \cos[\omega t + \varepsilon(\omega)] \sqrt{2 S_{\xi_m}(\omega) \left[ \frac{\sin(\omega \cdot \frac{n}{2})}{\omega \cdot \frac{n}{2}} \right]^2} d\omega$$

Führt man für den Mittelwert der Tagesmengen im Zeitraum von n Tagen den Begriff eines Intervallspektrums ein,

$$S_{\xi_{m,n}}(\omega) = S_{\xi_m}(\omega) \left[ \frac{\sin(\omega \cdot \frac{n}{2})}{\omega \cdot \frac{n}{2}} \right]^2$$

läßt sich die Zufallsgröße  $\xi_{m,n}(t)$  wieder in der bekannten Form angeben

$$\xi_{m,n}(t) = \int_0^{\infty} \cos [\omega t + \varepsilon(\omega)] \sqrt{2 \cdot S_{\xi_{m,n}}(\omega)} d\omega$$

Das bedeutet, daß der Ladungsfluß für beliebige Intervalllängen  $n$ , in denen  $m$  Häfen bedient werden sollen, auch bei Korrelation der Tageswerte theoretisch beschrieben werden kann. Die Varianz läßt sich nach folgender Beziehung berechnen

$$\sigma_{zm,n}^2 = n^2 \int_0^{\infty} S_{\xi_{m,n}}(\omega) d\omega$$

den Mittelwert erhält man unverändert als

$$\mu_{zm,n} = n \cdot \mu_{zm}$$

### 2.2.3 Exemplarische Darstellung des Ladungsmengenrisikos

Zunächst einmal soll gezeigt werden, daß die tatsächlich auftretenden Tagesmengenverteilungen mit der Form der theoretisch vorhergesagten übereinstimmen. Darüber hinaus wird nachgewiesen, daß auch bei exponentialverteilten Tagesmengen der einzelnen Häfen das tägliche Ladungsaufkommen aus z.B. fünf Häfen schon näherungsweise als normalverteilt angesehen werden kann.

Die Tagesmengen, die mit Hilfe der Feldstudie ermittelt wurden, sind in Tabelle 1 aufgezeichnet. Sie werden für eine Abschätzung der Verteilungsfunktion  $F(x)$  herangezogen.

Dazu wird der Bereich, der die ermittelten Ladungsmengen überdeckt, in Klassen eingeteilt. Für jede Klasse  $i$  läßt sich dann die Anzahl der einzelnen Klassen zugehörigen Tageswerte feststellen und die relative Häufigkeit, mit der die Klassen vertreten sind, berechnen.

Für die Anzahl der Klassen, die bei  $N$  Meßwerten eingerichtet werden sollten, gibt Krappinger (2) als Richtwert

$$K = 1 + 3,3 \cdot \log_{10} N$$

an, somit im vorliegenden Fall mit  $N=112$

$$K = 7,78 \approx 8$$

Heinhold/Gaede (3) empfehlen

$$K = \sqrt{N} = 10,58 \approx 11$$

wobei leere Klassen zu vermeiden sind.

Gewählt werden  $K=8$  Klassen mit einer Klassenbreite von  $b_i=50$  ME. In Tabelle 2 sind die absoluten und relativen Häufigkeiten der Mengenklassen eingetragen. Im Histogramm (Bild 8) sind die Häufigkeiten der Klassen dargestellt. Klasse 1 wurde noch einmal unterteilt, die Wahrscheinlichkeit der Tagesmenge Null entsprechend der Darstellung für die Randverteilungen separat eingezeichnet.

Für die weitere Rechnung werden jedoch die Häufigkeiten für  $x=0$ ,  $0 < x \leq 25$  und  $25 < x \leq 50$  zur Klasse 1 zusammengefaßt (Tabelle 2).

Als Dichtefunktion wird aufgrund der Histogrammform die einer Exponentialverteilung unterstellt

$$f(x) = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot x)$$

Der unbekannte Parameter  $\lambda$  ist nun so zu wählen, daß das Histogramm durch die Funktion  $f(x)$  bestmöglich angenähert wird.

Zur Bestimmung eines Schätzwertes für  $\lambda$  eignet sich das "Maximum-Likelihood-Verfahren" (3,4).

Für die Stichprobe von  $N$  Meßwerten lautet die Likelihood-Funktion

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda) = \prod_{j=1}^N f(x_j, \lambda)$$

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda) = \lambda^N \cdot \exp \left[ -\lambda \left( \sum_{j=1}^N x_j \right) \right]$$

Zur Berechnung des Maximums ist zu bilden:

$$\frac{dL(\lambda)}{d\lambda} = \lambda^{N-1} \cdot \exp \left[ -\lambda \left( \sum_{j=1}^N x_j \right) \right] \cdot \left\{ N - \lambda \left( \sum_{j=1}^N x_j \right) \right\} = 0$$

Daraus folgt

$$\lambda = \frac{N}{\sum_{j=1}^N x_j}$$

als Extremwert der Likelihood-Funktion.

Aus

$$\frac{d^2L(\lambda = N / \sum_{j=1}^N x_j)}{d\lambda^2} = - \frac{\exp \left[ -\lambda \left( \sum_{j=1}^N x_j \right) \right]}{\left( \sum_{j=1}^N x_j \right)^{N-2}} N^{(N-1)}$$

folgt, daß der berechnete Extremwert tatsächlich ein Maximum ist.

Aus den Stichprobenwerten erhält man

$$\lambda = 0,0114$$

Ob die Annahme gerechtfertigt ist, daß die Stichprobenwerte gemäß

$$F(x) = 1 - \exp(-0,0114 \cdot x)$$

verteilt sind, läßt sich mit Hilfe des  $\chi^2$ -Tests klären. Mit  $n_i$  als Anzahl der aus der Stichprobe entnommenen und  $e_i$  als Anzahl der sich aus der Dichtefunktion  $f(x)$  ergebenden Werte einer Klasse  $i$  ist die Größe

$$u_k^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i}$$

$\chi^2$ -verteilt mit  $\nu = k-1$  Freiheitsgraden.

Die Hypothese

"die Grundgesamtheit hat die Verteilung, aus der die  $e_i$  berechnet wurden"

ist bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von  $P\%$  abzulehnen, wenn  $u_k^2 > \chi_{\nu, P\%}^2$  ist.

Der Test gilt exakt nur für  $n \rightarrow \infty$ , darf aber angewendet werden, wenn  $e_i \geq 4$  ist (3).

Sind Parameter der Verteilung, aus der die  $e_i$  berechnet wurden, mit Hilfe des "Maximum-Likelihood-Verfahrens" geschätzt, so ist für jeden Schätzwert die Zahl der Freiheitsgrade der  $\chi^2$ -Verteilung um einen zu vermindern (4). Aus Tabelle 3 kann der für den Test berechnete Wert  $u_k^2$  entnommen werden mit

$$u_k^2 = 5,58$$

Aus der Tafel der  $\chi^2$ -Verteilung erhält man mit  $\nu = 6-2 = 4$  Freiheitsgraden und einer üblichen

Sicherheitswahrscheinlichkeit von  $P = 5 \%$

$$\chi_{\nu, P}^2 = 9,49$$

Da  $u_k^2 < \chi_{\nu, P}^2$  ist, ist die Hypothese annehmbar, daß die Stichprobe die Teilmenge einer Grundgesamtheit ist, die die Verteilungsfunktion

$$F(x) = 1 - \exp(-0,0114 \cdot x)$$

besitzt.

Die Summe  $z$  der Tagesmengen mehrerer Häfen findet man bei Unabhängigkeit durch Faltung. Der Einfachheit halber sei vorausgesetzt, daß obige Verteilungsfunktion für alle fünf Häfen Gültigkeit habe.

Für die Summe zweier Häfen erhält man

$$f_z(z) = \int_0^z \lambda_{x_1} \exp[-\lambda_{x_1} \cdot x_1] \cdot \lambda_{x_2} \cdot \exp[-\lambda_{x_2}(z-x_1)] dx_1$$

Da  $\lambda_{x_1} = \lambda_{x_2} = \lambda$ , kann man vereinfachen

$$f_z(z) = \lambda^2 \cdot \exp(-\lambda \cdot z) \int_0^z dx_1$$

$$f_z(z) = \lambda^2 \cdot \exp(-\lambda \cdot z) \cdot z$$

und

$$F_z(z) = 1 - \exp[-\lambda \cdot z] (1 + \lambda \cdot z)$$

Diesem Beispiel entsprechend läßt sich die Verteilungsfunktion der Summe für  $m$  Häfen berechnen. Sind die Summanden wie in diesem Fall identisch exponential verteilt, so erhält man die Erlangverteilung (5):

$$F_{z_m}(z) = 1 - \exp[-\lambda \cdot z] \cdot \left[ 1 + \lambda \cdot z + \dots + \frac{(\lambda \cdot z)^{m-1}}{(m-1)!} \right]$$

mit Mittelwert und Varianz

$$\mu_{z_m} = \frac{m}{\lambda} \qquad \sigma_{z_m}^2 = \frac{m}{\lambda^2}$$

Die Erlangverteilung, die als exakte Verteilung von identisch exponential verteilten Summanden durch Faltung gewonnen wurde, ist für  $m=5$  in Bild 9 mit durchgezogener Linie dargestellt, eine Normalverteilung mit gleichem Mittelwert und gleicher Varianz ist als Näherung mit unterbrochener Linie angegeben.

Sowohl die Ähnlichkeit des Histogramms in Bild 8 mit den Randverteilungen in Bild 7b als auch die Übereinstimmung der Verteilungsfunktionen in Bild 9 erscheinen ausreichend.

Für die Berechnung des Ladungsmengenrisikos bei Unabhängigkeit der täglichen Ladungsmengen kann man somit in praktischen Fällen auf die Ermittlung von Verteilungsfunktionen für die einzelnen Häfen verzichten. Da man weiß, daß das Ladungsaufkommen mit guter Näherung normalverteilt ist für  $m$  Häfen und  $n$  Tage, verbleibt lediglich die Berechnung von Varianz und Mittelwert entsprechend

$$\mu_{z_{m,n}} = n \cdot \sum_{i=1}^m \mu_{ix} \quad \text{und} \quad \sigma_{z_{m,n}}^2 = n \cdot \sum_{i=1}^m \sigma_{ix}^2$$

Zur Abschätzung von  $\mu_{ix}$  und  $\sigma_{ix}^2$  können die empirischen Größen

$$\bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j \quad \text{und} \quad S_i^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x}_i)^2$$

verwendet werden, die unverzerrte Schätzwerte sind (6):

$$\mu_{ix} = E \left\{ \bar{x}_i \right\} \quad \text{und} \quad \sigma_{ix}^2 = E \left\{ S_i^2 \right\}$$

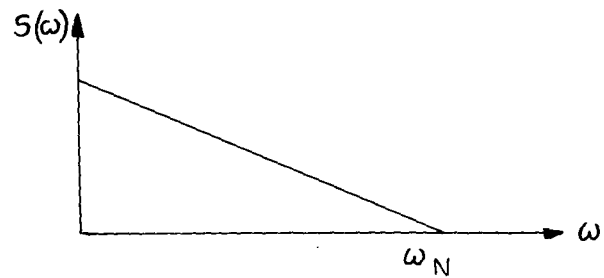
Diese einfache Handhabung könnte es nahelegen, auch im Fall korrelierter Tageswerte näherungsweise Unabhängigkeit anzunehmen.

Es ist gezeigt worden, daß für die Verteilung des Ladungsaufkommens der Mittelwert über einen Zeitraum von  $n$  Tagen bei unabhängigen und korrelierten Tageswerten gleich ist. Die Varianz der Verteilung ist jedoch eine Funktion der Spektraldichtefunktion. Unterschiedlich korrelierte Zeitreihen  $z_m(t)$  haben auch voneinander abweichende Spektraldichtefunktionen, die bei einer Integration über  $n$  Tage den Verlauf der Varianz als Funktion der Intervalllänge beeinflussen werden. Da die Varianz ein wichtiges Maß des vorhandenen Risikos ist, bedeutet eine möglichst treffsichere Berechnung der Varianz für den Reeder das Erkennen des Risikos, dem seine Entscheidung bei der Wahl von Zahl und Entwurfsforderungen der vorgesehenen Schiffe des Liniendienstes unterliegt.

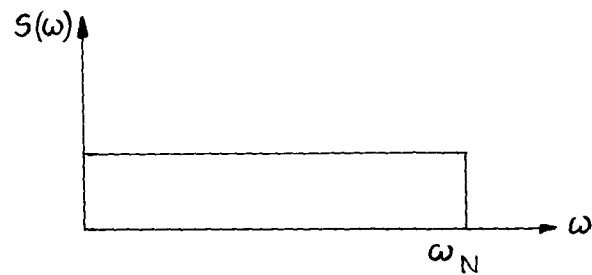
Zeitreihen von Tageswerten aus mehreren Häfen sind nicht verfügbar, daher sollen zur Veranschaulichung dieses Zusammenhanges hypothetische Beispiele gewählt werden. Ausgangspunkt dieser vergleichenden Betrachtung sei noch einmal das Beispiel der Feldstudie für den Fall von  $m=5$  Häfen mit identisch verteilten Ladungsmengen. Die den Reeder interessierende Abhängigkeit des Mittelwertes und der Varianz bzw. der Standardabweichung von der Wahl des Abfahrtsintervalls  $n$  ist in den Bildern 10 und 11 bei Unabhängigkeit der Tageswerte dargestellt.

Für korrelierte Tagesmengen sollen nun folgende theoretische Spektraldichtefunktionen herangezogen werden:

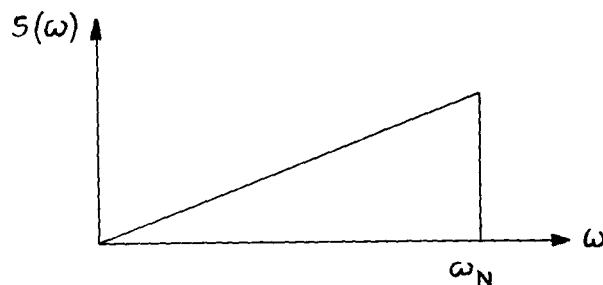
- a) es liegen überwiegend harmonische Komponenten mit großen Perioden vor:



- b) die Komponenten aller Perioden haben gleiche Intensität:



- c) es sind überwiegend Komponenten mit kurzen Perioden in der Zeitreihe vorherrschend:



und

- d) der Ladungsfluß ist determiniert, die Tageswerte sind konstant, das Spektrum verschwindet.

Zur Vergleichbarkeit wird vorausgesetzt, daß die Fläche unter der Spektraldichtefunktion  $S(\omega)$  in den Fällen a, b und c denselben Wert hat, die Varianz der Tagesmengen ist somit in allen diesen Fällen gleich, sie entspricht der für den Fall der Unabhängigkeit.

$$\sigma_{z_m, i}^2 = \int_0^{\omega_N} 2 S_i(\omega) d\omega = \sigma_{z_m}^2 \text{ unabhängig}$$

Die Varianzen der unabhängigen und unterschiedlich korrelierten Tagesmengen wurden als Funktion der Intervalllänge berechnet und in Bild 12 eingezeichnet. Wie man am unterschiedlichen Verlauf der Funktionen erkennt, hat die Form des Spektrums einen großen Einfluß. Der Unterschied zwischen dem Fall b und dem unabhängiger Tagesmengen ist sehr gering, so daß auf eine gesonderte Einzeichnung verzichtet werden kann. Benutzt man als Näherung die bei Unabhängigkeit gültige Methode, so kann das sowohl zu einer spürbaren Überschätzung des tatsächlichen Risikos als auch zu einer Unterschätzung führen, die Spektralanalyse ermöglicht dagegen die Ermittlung des jeweiligen Risikos.

### 3. Berücksichtigung der Risikosituation im Flottenentwurf

Ergebnis der bisherigen Überlegungen ist ein Modell zur Darstellung des Ladungsflusses für die von einem Liniendienst bedienten Häfen.

Das Risiko, dem ein Reeder durch zufällig schwankende Ladungsmengen ausgesetzt ist, läßt sich kennzeichnen durch Angabe von Mittelwert und Standardabweichung des Ladungsaufkommens als Funktion der Intervalllänge zwischen zwei Abfahrten.

Um dieser Risikosituation bei Planung und Entwurf der Flotte Rechnung zu tragen, ist zu klären, welche Entscheidungsparameter dem Reeder dazu zur Verfügung stehen, welche Auswirkungen die Wahl bestimmter Parameterkonstellationen hat bzw. wie diese zu bewerten ist.

#### 3.1 Die Entscheidungsparameter des Reeders

Die Neugestaltung eines Liniendienstes stellt den Reeder u.a. vor folgende Entscheidungen:

- Festlegung der anzulaufenden Häfen  $m$ ,
- Dauer der Rundreisezeit  $r$ ,
- Abfahrtsintervall der Fahrzeuge  $n$ ,
- Anzahl der zu beschaffenden Einheiten  $z$
- Notwendige Dienstgeschwindigkeit der Schiffe  $v_s$
- Ladefähigkeit der Fahrzeuge  $y$ .

Für die vorliegende Arbeit wird vorausgesetzt, daß die Häfen, die angelaufen werden sollen, festgelegt sind, und eine Entscheidung über die Dauer der Rundreisezeit bereits gefallen ist; eine qualitative Betrachtung des Einflusses der Rundreisedauer, die aus Gründen des Wettbewerbs zumeist den Planungsrahmen bildet, erfolgt weiter unten.

Zwischen der Anzahl der Fahrzeuge  $z$ , dem Abfahrtsintervall  $n$  und der Rundreisedauer  $r$  besteht folgender Zusammenhang:

$$z \cdot n = r$$

Die notwendige Geschwindigkeit  $v_s$ , die die Fahrzeuge im Durchschnitt erreichen müssen, ist durch die Rundreisedistanz  $d$  implizit festgelegt:

$$\begin{aligned} \text{Rundreisedauer} &= \text{Hafenzeiten} + \text{Seezeiten} \\ r &= t_H + d/v_s \\ z \cdot n &= t_H + d/v_s \\ v_s &= d/(z \cdot n - t_H) \end{aligned}$$

Für den Reeder verbleibt damit lediglich die Auswahl einer Kombination der Entscheidungsparameter

- Anzahl der Fahrzeuge  $z$  und
- Abfahrtsintervall  $n$ .

Beide sind außerdem nur in gewissen Grenzen frei wählbar, denn einerseits ist wegen der starken Auswirkung auf die Reedereikosten nur ein relativ enger Geschwindigkeitsbereich möglich, andererseits darf das Abfahrtsintervall nicht zu stark von dem der übrigen Wettbewerber abweichen.

Mit der Forderung einer notwendigen Schiffsgeschwindigkeit ist die tatsächliche Schiffsgeschwindigkeit natürlich keineswegs determiniert, sie bleibt schon wegen ihrer Wetterabhängigkeit eine Zufallsgröße. Es ist jedoch möglich, den Erwartungswert der Schiffsgeschwindigkeit unter Dienstbedingungen schon im Entwurfsstadium zu berechnen (13). In einem Zeitraum von mehreren Wochen wirken sich Schlechtwetter- und

Gutwetterperioden ausgleichend auf die Rundreisezeit aus, außerdem kann der Reeder bei geeigneter Fahrplangestaltung darauf Einfluß nehmen: Bei langfristig guter Wetterlage kann zur Einhaltung des Fahrplans die Geschwindigkeit reduziert werden, bei langfristiger Schlechtwetterlage ist es möglich, die Umschlagsleistung zu intensivieren, mithin die Hafenzeiten zu verkürzen, oder es wird - soweit durchführbar - ein Hafen ausgelassen und die Ladung zum nächsten Hafen umgefahren. Man wird daher, ohne einen großen Fehler zu machen, mit dem Erwartungswert für die Rundreisedauer rechnen können und die Verteilung der Rundreisezeit wegen der zu erwartenden geringen relativen Standardabweichung unberücksichtigt lassen. Es ist ebenfalls anzunehmen, daß sich Mehr- oder Minderkosten durch Schlechtwetter- und Gutwettereinfluß in der Rechnungsperiode eines Jahres ausgleichen.

Bezieht man nun die Ladungsmenge als Zufallsgröße in die Planung des Liniendienstes ein, so kommt ein dritter Entscheidungsparameter für den Reeder hinzu: Er muß zusätzlich festlegen, mit welcher Schiffsgröße er sich dem schwankenden Ladungsangebot am besten anpassen kann. Da in diesem Fall keine ausgleichende Einflußnahme des Reeders möglich ist, - Ladungsmengen unterhalb der Ladekapazität des Schiffes können nicht bei der nächsten Abfahrt durch Mengen ausgeglichen werden, die das Fassungsvermögen überschreiten ("im Mittel ist das Schiff voll") -, erscheint es notwendig, diesen Zusammenhang genauer zu betrachten.

### 3.2 Die Bedeutung der Parameterwahl für Reeder und Befrachter

Die festgestellten Entscheidungsparameter des Reeders:

- Intervalllänge der Abfahrten,
- Anzahl der Fahrzeuge

und

- Ladekapazität der Fahrzeuge

werden die Partner des Reeders - die Befrachter - für sich allein als nichtssagend empfinden.

Intervalllänge und Anzahl der Schiffe werden aber durch den Fahrplan für den Befrachter zu einem Leistungsmaßstab: der Transportzeit. Da dem Verfrachter üblicherweise Preispolitik nicht möglich ist, - die Frachtrate als Mittel des Wettbewerbs scheidet weitgehend aus -, ist die Transportzeit eine ökonomisch wirksame Wettbewerbsgröße, die direkt auf die Entscheidung des Befrachters einwirkt.

Die Ladekapazität der Fahrzeuge dagegen ist für den einzelnen Befrachter eine Erfahrungsgröße: solange seine Transportgüter nicht aus Kapazitätsgründen zurückgewiesen werden, bleibt dieser Entscheidungsparameter für ihn ohne fühlbare Auswirkung. Erst die Erfahrung über die Zuverlässigkeit, mit der seine Güter termingerecht transportiert worden sind, lassen aus diesem Parameter für ihn ein Kriterium der Qualität des Liniendienstes werden, Ladekapazität wird damit zu einer Wettbewerbsgröße in Form der Zuverlässigkeit.

Für den Befrachter wird daher die Transportzeit ein wesentliches Auswahlkriterium sein, das Transportangebot eines Reeders überhaupt anzunehmen, während

die Zuverlässigkeit darüber entscheidet, ob er auch in Zukunft weiterhin über diesen Reeder verladen wird.

Im Modell eines Liniendienstes sind diese beiden aus der Parameterwahl resultierenden Größen - Transportzeit und Zuverlässigkeit - simultan zu behandeln. Zur Darstellung der Beziehungen zwischen Reeder und Befrachtern sollen sie jedoch wegen der dadurch erreichbaren Deutlichkeit getrennt betrachtet werden. Obwohl die Festlegung der Transportzeit außerhalb des Rahmens dieser Arbeit liegt, soll dieses Merkmal des Liniendienstes wegen seiner 'Signalwirkung' wenigstens qualitativ behandelt werden. Dazu ist es vorteilhaft, sich der Methode eines Planspiels zu bedienen. Ausgangssituation dieses Planspiels ist die vom Reeder gewählte Transportzeit  $t_0$ , auf die die Befrachter mit einer Ladungsmenge  $x(t_0)$  pro Abfahrt reagiert haben. Nun möge der Reeder auf der Suche nach der für ihn günstigsten Transportzeit diese ändern wollen, wobei das Ladungsangebot der Befrachter von ihm als konstant zugrunde gelegt wird. Verkürzt er die Transportzeit auf  $t < t_0$ , steigen seine Transportkosten gegenüber der Ausgangssituation stark an, verlängert er die Transportzeit auf  $t > t_0$ , sinken seine Kosten zunächst auf ein Minimum zur Zeit  $t_1$ , danach steigen sie wieder an (Bild 13.1). Der Verlauf der Kostenkurve des Reeders,  $\bar{K}_{\text{REEDER}}(t)$ , wird bei einer Verkürzung der Transportzeit hauptsächlich durch einen überproportionalen Anstieg der notwendigen Maschinenleistung seiner Schiffe beeinflusst, bei längeren Transportzeiten macht sich die zunehmende Zahl an benötigten Fahrzeugen bemerkbar. Da der Reeder die angebotene Ladungsmenge als von der Transportzeit unabhängig ansieht, betrachtet er auch seinen Erlös bei konstanter Frachtrate  $p$  als unverän-

änderlich

$$\bar{E}_{\text{REEDER}} = x_0 \cdot p = \bar{E}_0$$

Als günstigste Transportzeit sieht der Reeder die Zeit  $t_1$  an, weil für diese sein Gewinn

$$G(t) = \bar{E}_{\text{REEDER}} - \bar{K}_{\text{REEDER}}(t)$$

ein Maximum annimmt.

Die Schiffe seiner Flotte können bei der Wahl der Transportzeit  $t_1$  eine geringere Geschwindigkeit aufweisen.

Setzt man im vorliegenden Planspiel voraus, daß die angebotene Ladungsmenge der Befrachter tatsächlich unabhängig ist von der Transportzeit, dann gilt für die Befrachter die Kostenfunktion  $\bar{K}_{\text{BEFRACHTER}}(t)$  in Bild 13.1. Der Anstieg dieser Kostenfunktion wird verursacht durch die Zunahme der Finanzierungskosten der Ladung bei wachsender Transportzeit. In diesem Fall könnte der Reeder die obige Transportzeitänderung durchsetzen zu Lasten der Befrachter.

Bedienen jedoch mehrere Wettbewerber die fragliche Linie, so werden die Befrachter auf eine Änderung der Transportzeit durch den Reeder mit einer Änderung der Ladungsmenge reagieren. Die Funktion  $x(t)$  in Bild 13.2 soll die Abhängigkeit der angebotenen Ladungsmenge pro Abfahrt von der Transportzeit  $t$  kennzeichnen; bei einer Verlängerung der Transportzeit von  $t_0$  auf  $t_1$  sinkt die Ladungsmenge von  $x(t_0)$  auf  $x(t_1)$ . Der Verlauf dieser Funktion ist dadurch zu erklären, daß dem Reeder eine Vielzahl von Befrachtern gegenübersteht, die nicht einheitlich reagieren werden. Die Transportzeit ist nicht das alleinige Kriterium der Befrachter, daneben beeinflußt das 'akquisitorische Potential' (14) eines

Reedereiunternehmens die Entscheidung des einzelnen Befrachters. Sorgfältige Behandlung der Ladung, reibungslose Erledigung von Formalitäten, Gewährung von Treueprämien und persönliche Beziehungen zwischen Reeder und Befrachter schaffen einen 'unvollkommenen Markt' (15), der dazu führt, daß der Reeder bei einer Änderung der Transportzeit nicht schlagartig das gesamte Ladungsaufkommen an sich zieht oder verliert, sondern mit einer kontinuierlichen Änderung der angebotenen Ladungsmenge rechnen kann. Bei einer Durchführung des Planspiels mit laufenden Änderungen der Transportzeit erhielte der Reeder die in Bild 13.3 dargestellte Erlösfunktion  $E_{\text{REEDER}}(t)$  und eine Kostenfunktion  $K_{\text{REEDER}}(t)$ .

Entsprechend dem erwerbswirtschaftlichen Prinzip ist die Flotte des Reeders optimal gestaltet, wenn Grenzkosten und Grenzerlöse in bezug auf die Transportzeit gleich sind, wie im Schnittpunkt der Funktionen  $e'(t)$  und  $k'(t)$  in Bild 13.4:

$$e' = \frac{d E_{\text{REEDER}}(t)}{dt} = k' = \frac{d K_{\text{REEDER}}(t)}{dt}$$

Der Reeder wird unter diesen Bedingungen die Transportzeit  $t_2$  wählen und müßte gegenüber  $t_0$  für seine Fahrzeuge eine höhere Geschwindigkeit vorsehen.

Wie dieses Planspiel zeigt, hängt die für den Reeder günstigste Schiffsgeschwindigkeit nicht nur von der Kostenfunktion  $K_{\text{REEDER}}(t)$ , sondern hauptsächlich von der Wettbewerbssituation ab, die durch den Verlauf der Funktion  $x(t)$  in Bild 13.2 beschrieben wird.

Neben den beiden Parametern Anzahl der Fahrzeuge und Intervalllänge der Abfahrten, die sich in der Transportzeit ausprägen, verbleibt dem Reeder als dritter Entscheidungsparameter die Auswahl der Ladekapazität, über die seine Fahrzeuge verfügen sollen. Während oben

davon ausgegangen wurde, daß zu einer angebotenen Transportzeit ein Ladungsmengenangebot gehört, das zwar von der Transportzeit abhängig aber determiniert ist, wird im folgenden dieses Mengenangebot als Zufallsgröße  $x$  betrachtet. Für eine festgelegte Transportzeit sei die Ladungsmenge  $x$  normalverteilt mit dem Mittelwert  $\mu_x$  und der Varianz  $\sigma_x^2$ . Die Dichtefunktion einer solchen Verteilung ist in Bild 14.1 dargestellt.

Eine Grundlage für die Entscheidung des Reeders über die Ladekapazität seiner Schiffe wird die Ladungsmenge sein, die pro Reise auf seinen Fahrzeugen effektiv transportiert wird, denn dieser Menge läßt sich ein Erlös direkt zurechnen. Da die Dichtefunktion  $f(x)$  der Ladungsmengen bekannt ist, kann er für jede Ladekapazität  $y$ , mit der die Schiffe ausgestattet sind, den Erwartungswert der effektiv transportierten Mengen berechnen:

$$E \left\{ y \right\} = \int_{-\infty}^y x \cdot f(x) dx + \int_y^{\infty} y \cdot f(x) dx$$

In Bild 14.2 ist der Erwartungswert der effektiv transportierten Ladungsmenge über der tatsächlichen Ladekapazität des Schiffes aufgetragen. Bis etwa zur Kapazität  $y_0$  sind Ladefähigkeit und effektiv transportierte Menge identisch, die tatsächlich angebotene Ladungsmenge übersteigt so gut wie immer die Kapazität des Schiffes. Will der Reeder das Ladungsangebot in größerem Umfang nutzen, muß er in zunehmendem Maße seine Fahrzeuge gegenüber dem Erwartungswert der effektiv transportierten Menge vergrößern. Bei  $y_{\max}$  transportiert er nahezu das gesamte Ladungsangebot, jedoch zu dem Preis, daß er für seine Schiffe lediglich mit einer durchschnittlichen Auslastung von 75 % rechnen kann.

Der Reeder muß nun ermitteln, bis zu welcher Ladekapazität  $y$  es sich für ihn lohnt, eine Schiffsgröße über  $y_0$  hinaus zu wählen. Trägt er wie in Bild 14.3 seine Erlöse und Kosten über dem Erwartungswert  $E \{y\}$  auf, hat die Erlösfunktion die Form einer Geraden

$$\text{ERLÖS } (E \{y\}) = p \cdot E \{y\} .$$

Bei unterschiedlicher Frachtrate  $p_1$  und  $p_2$  unterscheiden sich die Steigungen der Erlösfunktion  $E_1$  und  $E_2$ . Die Grenzkosten erhält er zu

$$k'_{\text{REEDER}} = \frac{dK_{\text{REEDER}}(E \{y\})}{dE \{y\}} .$$

Da eine Kapazitätssteigerung seiner Schiffe solange noch einen positiven Beitrag zum Gewinn leistet, bis die Kosten einer zusätzlichen effektiv transportierten Mengeneinheit gleich dem Erlös dafür sind, wird er bei einer erzielbaren Frachtrate von  $p_1$ , das ist der Grenzerlös, die Ladekapazität eines Schiffes auf  $y_1$  festlegen. Bei einer Frachtrate von  $p_2$  wird er die Kapazität weiter erhöhen auf  $y_2$ .

Auch für die Befrachter ist die Entscheidung des Reeders über die Ladekapazität der Schiffe, wie bereits erwähnt, nicht ohne Auswirkung. Je geringer die Kapazität im Verhältnis zur angebotenen Ladungsmenge der Befrachter ist, desto größer ist für den einzelnen Befrachter die Gefahr, daß seine Ladung oder ein Teil davon nicht zum nächsten Abfahrtstermin berücksichtigt wird. Neben einem Verlust an good-will beim Empfänger hat er mit zusätzlichen Kosten zu rechnen, denn bis zur nächsten Abfahrt eines Schiffes hat er Lager- und Finanzierungskosten zu tragen. Der Erwartungswert der Kosten für die zurückgelassene Ladung  $K_{ZL}(E \{y\})$  sind in Bild 14.3 eingezeichnet, um einen Eindruck ihrer Größenordnung zu vermitteln.

Macht der Befrachter die Erfahrung, ein Liniendienst habe nicht die von ihm verlangte Zuverlässigkeit, wird er zu einem Wettbewerber abwandern, bei dem er ein höheres Zuverlässigkeitsniveau und dadurch für sich eine Kostenreduzierung erwartet. In seiner Entscheidung über die Ladekapazität der Schiffe wird der Reeder dieser möglichen Reaktion des Befrachters Rechnung tragen und sie neben der Konstellation von Grenzkosten und Frachtrate berücksichtigen müssen.

### 3.3 Ein Kriterium für die Auswahl der Entscheidungsparameter

Als Entscheidungsparameter des Reedereiunternehmens sind oben

- die Intervalllänge  $n$  zwischen zwei Abfahrten,
- und - die Anzahl  $z$  der Schiffe,
- die Ladekapazität  $y$  der Schiffe

erkannt worden. Diese können innerhalb einer bestimmten Bandbreite frei gewählt werden. Durch jedes mögliche Parametertripel wird eine Alternative angegeben, wie der Unternehmenszweck - das Betreiben eines regelmäßigen Liniendienstes zwischen zwei Wirtschaftsregionen - erreicht und gestaltet werden kann.

Neben dem Unternehmenszweck muß sich ein Reedereiunternehmen jedoch, um rationale Entscheidungen über die Parameterauswahl treffen zu können, auch ein Unternehmensziel gesetzt haben. Als allgemeine Zielsetzung eines Unternehmens, das unter marktwirtschaftlichen Bedingungen arbeitet, kann das erwerbswirtschaftliche Prinzip angesehen werden. Gutenberg nennt das erwerbswirtschaftliche Prinzip - die Erwirtschaftung eines maximal möglichen Gewinns - "ein institutionell ver-

ankertes Regulativ, ohne das das (marktwirtschaftliche) System nicht funktionsfähig sein würde" (14). Dieses Prinzip soll daher für das hier betrachtete, sich in einem Wettbewerb befindliche Reedereiunternehmen gelten:

$$\text{Gewinn} = \text{Erlöse} - \text{Kosten} \rightarrow \max$$

Erlöse und Kosten lassen sich als Funktion der Parameter darstellen. Damit kann man folgende Zielfunktion angeben:

$$G(n, z, y) = E(n, z, y) - K(n, z, y) \rightarrow \max$$

Da es sich bei den Erlösen und Kosten, wie weiter oben gezeigt, um Erwartungswerte handelt, muß auch die daraus resultierende Größe, der Gewinn, ein Erwartungswert sein. Für die Unternehmensleitung wird nicht nur dieser Erwartungswert von Bedeutung sein, sondern auch die Verteilung des Gewinns. Subjektive Bewertungsmaßstäbe lassen sich durch Risikobewertungsfunktionen beschreiben (16), mit denen der Erwartungswert des subjektiven Nutzens berechnet werden kann. Da für diese Arbeit keine Aussage über eine Risikoaversion oder -freudigkeit der Unternehmensleitung notwendig erscheint, wird eine lineare Risikobewertungsfunktion angenommen. Der Erwartungswert des Risiko-Nutzens und des Gewinns sind dann gleich.

Im Zusammenhang mit der allgemeinen Behandlung des Parameters Ladekapazität wurde darauf hingewiesen, daß eine ausreichende Zuverlässigkeit des Liniendienstes für die Befrachter gewährleistet sein muß, um eine Abwanderung zu den Wettbewerbern zu vermeiden. Eine Definition der ausreichenden Zuverlässigkeit kann natürlich nicht allgemein gültig sein, weil es sich um eine subjektive Beurteilung handelt, die im Zusammenhang mit einer marktüblichen Zuver-

lässigkeit gesehen werden muß.

Entsprechend der Instandhaltungstheorie könnte man fordern, daß die Wahrscheinlichkeit für das Zurücklassen angebotener Ladung eine Zahl  $p$  nicht überschreiten darf. Eine solche Forderung ist jedoch nicht ganz frei von Willkür. Zudem ist die Verhältnismäßigkeit von Reederkosten und Befrachterschaden nicht gewahrt; bei kurzen Intervallängen ist der Schaden der Befrachter gering, die Kosten des Reedereiunternehmens sind jedoch hoch.

Eine andere Möglichkeit besteht in der Formulierung einer 'Straffunktion' für den Reeder, die den Schaden des Befrachters als Funktion der Parameterwerte erfaßt. Das Prinzip der Schadensersatzleistung erscheint dem Verfasser für die Berücksichtigung einer ausreichenden Zuverlässigkeit geeignet zu sein. Dies impliziert die Annahme, daß die Befrachter die Zuverlässigkeit eines Liniendienstes als ausreichend betrachten, wenn sich der Reeder bei der Auswahl seiner Entscheidungsparameter verhält, als sei er zum Schadensersatz verpflichtet.

Fügt man die Schadensersatzleistung der obigen Zielfunktion als fiktive Kosten  $K^+(n,z,y)$  hinzu, so erhält man

$$G^+(n,z,y) = E(n,z,y) - K(n,z,y) - K^+(n,z,y)$$

Die Parameterwerte sind derart auszuwählen, daß die Funktion  $G(n,z,y)$  ein Maximum erreicht. Die Zielfunktion ist damit ein Bewertungsmaß für alternative Parameterkombinationen. Gewöhnlich ist der relative Gewinn, die Rentabilität, anschaulicher als absolute Angaben in Geldeinheiten. Deshalb soll der Gewinn im vorliegenden Fall auf das vom Reedereiunternehmen festgelegte Eigenkapitalvolumen (EK) bezogen werden. Gewinn- und rentabilitätsmaximale Parameterkombination

stimmen in diesem Fall überein; Gewinn und Eigenkapitalrentabilität unterscheiden sich lediglich durch einen konstanten Faktor.

Die endgültige Zielfunktion lautet damit

$$\text{EK-RENT } (n, z, y) = \frac{E(n, z, y) - K(n, z, y) - K^+(n, z, y)}{\text{EK}} \cdot 100 \rightarrow \max$$

Neben den betrieblichen Entscheidungsparametern sind noch Entscheidungsparameter aus dem Unternehmensbereich vorhanden, die Größe und Lage des Maximums der Zielfunktion bezüglich der betrieblichen Parameter beeinflussen können. Diese Parameter liegen im Bereich

- der Organisation und
- der Finanzen. <sup>+</sup>)

Da die Auswahl solcher Entscheidungsparameter weitgehend von den individuellen Möglichkeiten der einzelnen Unternehmen abhängt, sind sie für die vorliegende Untersuchung nur am Rande von Bedeutung und sollen lediglich im Rahmen des Notwendigen erörtert werden. Bei der Formulierung der Kostenfunktion ist dem Verfasser durchaus bewußt, daß durch voneinander abweichende Organisationsstrukturen der Unternehmen durchaus unterschiedliche Kostenfunktionen für vergleichbare Leistungen denkbar sind. Ein anderer Parameter des Organisationsbereichs besteht in der Möglichkeit, den Liniendienst als Einzeldienst einzurichten oder ihn mit einem anderen Dienst zu verzahnen. Für den vorliegenden Fall wird angenommen, es handle sich um einen Einzeldienst, der als eine wirtschaftlich weitgehend unabhängige Abteilung des Gesamtunternehmens geführt wird.

---

<sup>+</sup>) Über die zugrunde liegenden Annahmen aus dem Bereich der Finanzen - Wahl des Verschuldungsgrades, Behandlung der Abschreibungen, Periodenlänge etc. - siehe (1).

4. Die Ermittlung der Erlös- und Kostenfunktion

Für die Ermittlung der Erlös- und Kostenfunktion des Reedereiunternehmens kann man sich zunächst auf die Betrachtung einer Rundreise beschränken, wenn die Flotte wie im vorliegenden Fall aus identischen Fahrzeugen besteht. Die Rundreise läßt sich aufteilen in eine ausgehende und eine einkommende Halbreise, deren Ladungsflüsse in der Regel unterschiedlich sein werden. Für eine Fallstudie müßte das Ladungsangebot jeder der beiden Regionen ermittelt und in die Rechnung einbezogen werden. Da es in dieser Untersuchung jedoch darum geht, den Einfluß unterschiedlicher Risikosituationen darzustellen, kann man die Betrachtung auf eine Halbreise reduzieren.

Im folgenden soll weitgehend auf die Symbolik des Rechenprogramms Rücksicht genommen werden. Deshalb werden eingeführt:

- X = Zufallsmenge der Ladung pro Abfahrt [ME]
- XI = Ladekapazität des Schiffes [ME]
- SEQU = Länge des Abfahrtsintervalls [Tage]
- AS = Anzahl der Schiffe
- $f_{\text{SEQU}}(X)$  = Dichtefunktion der Ladungsmenge X  $\left[ \frac{1}{\text{ME}} \right]$
- $F_{\text{SEQU}}(X)$  = Verteilungsfunktion der Ladungsmenge X

Die Ermittlung der Erlösfunktion setzt die Kenntnis der Frachtrate voraus. Für die einzelnen Güter, die im Stückgutverkehr verschifft werden, gibt es Kataloge mit speziellen Frachtraten, die Zu- und Abschläge für Gewichts- und Raumladung, für gefährliche Ladung, Decksladung, Ladung in Spezialbehältern, Kühlladung, etc. enthalten. Für Planungen der Reedereien wird daraus ein gewichteter Mittelwert FRATE berechnet, der auch hier Verwendung findet.

Der gewichtete Mittelwert FRATE bezieht sich auf die Mengeneinheit ME in metrischen Tonnen und gesamte Distanz zwischen den beiden Regionen.

Der Erwartungswert der effektiv transportierten Mengen ergab sich zu:

$$\begin{aligned}
 E \{ X \} &= \int_{-\infty}^{XI} X \cdot f_{\text{SEQU}}(X) \, dX + \int_{XI}^{\infty} XI \cdot f_{\text{SEQU}}(X) \, dX \\
 &= \mu_{\text{SEQU}} \cdot F_{\text{SEQU}}(XI) - \sigma_{\text{SEQU}}^2 \cdot f_{\text{SEQU}}(XI) \\
 &\quad + XI \cdot \left[ 1 - F_{\text{SEQU}}(XI) \right] \\
 &= (\mu_{\text{SEQU}} - XI) \cdot F_{\text{SEQU}}(XI) - \sigma_{\text{SEQU}}^2 \cdot f_{\text{SEQU}}(XI) + XI
 \end{aligned}$$

Die Erlöse pro Halbreise erhält man als

$$E \{ \text{ERL} \} = \text{FRATE} \cdot E \{ X \}$$

Die Anzahl der Halbreisen, die von der gesamten Flotte in der Rechnungsperiode eines Jahres durchgeführt werden, beträgt

$$\text{FFK} = 2 \cdot \frac{365}{\text{AS} \cdot \text{SEQU}} \cdot \text{AS} = \frac{730}{\text{SEQU}}$$

Als Erlösfunktion erhält man folgenden Erwartungswert:

$$\begin{aligned}
 E \{ \text{ERLFL} \} &= \text{FFK} \cdot \text{FRATE} \left[ (\mu_{\text{SEQU}} - XI) \cdot F_{\text{SEQU}}(XI) \right. \\
 &\quad \left. - \sigma_{\text{SEQU}}^2 \cdot f_{\text{SEQU}}(XI) + XI \right]
 \end{aligned}$$

Der Parameter AS ist implizit enthalten, denn die Erlösfunktion gilt nur, wenn die Anzahl der Schiffe ausreicht für eine ununterbrochene Transportkette.

Die Kostenfunktion des Reeders hängt von der Anzahl, Ladekapazität und Dienstgeschwindigkeit der im Liniendienst eingesetzten Fahrzeuge ab. Aus der Wahl eines Wertetripels (AS/SEQU/XJ) ergeben sich diese drei kennzeichnenden Größen der Flotte, die auch Eingangsgrößen eines Entwurfsprogramms sind für den hier zugrunde gelegten Schiffstyp eines Stückgutschiffes. Das Programm erlaubt, eine Vielzahl reproduzierbarer Schiffsentwürfe ohne großen zeitlichen Aufwand zu generieren. Tragfähigkeit und Dienstgeschwindigkeit sind jedoch gerade die Größen, die mit einem schiffbaulichen Entwurf nur iterativ zu erreichen sind. Zur Vermeidung unvertretbarer Rechenzeiten empfiehlt es sich, Iterationen weitgehend auszuschließen. Da in der vorliegenden Arbeit Einzelheiten eines Entwurfs wie z.B. die Flügelzahl des Propellers nicht explizit berücksichtigt werden, erschien als beste Lösung ein Entwurfsprogramm auf der Basis von Regressionsrechnungen. Dazu wurden die Daten von ca. vierzig geeigneten Schiffen herangezogen, die im Zeitraum von 1965 bis 1972 gebaut worden sind.

Angaben über erreichte Dienstgeschwindigkeiten lagen aus der Literatur nicht vor. Daher wurden aus dem Gültigkeitsbereich des Entwurfsprogramms mit zunächst der Probefahrtsgeschwindigkeit als Eingangsgröße zwölf Schiffsentwürfe generiert und die erreichbare Dienstgeschwindigkeit als Langzeitprognose für ein vorgegebenes Seegebiet mit Hilfe eines vorhandenen Programmsystems (13) berechnet. Dadurch war eine Regression von Probefahrtsgeschwindigkeit auf Dienstgeschwindigkeit bei gegebener Tragfähigkeit möglich (Anhang B).

Die Ausgangsgrößen des Entwurfsprogramms (Anhang A2) sind insbesondere Daten der Schiffsgeometrie, Vermessung, installierter Leistung der Antriebsanlage sowie die Baukosten der Schiffe. Die Abweichungen der mit Hilfe dieser Routine erzeugten Entwürfe von Kontrollschiffen

sind nur gering, so daß das Entwurfsprogramm für den vorliegenden Zweck als geeignet betrachtet werden kann.

Zu den Betriebskosten des Reedereiunternehmens zählen die Treibstoffkosten, die von der durchschnittlichen Leistungsaufnahme unter Dienstbedingungen und Beladungszustand des Schiffes  $ND(X, XI)$ , dem spezifischen Brennstoffverbrauch der Maschinenanlage  $SBV$ , dem Treibstoffkostensatz  $KT$  und der Dauer des Seetransports abhängen:

$$KTR = ND(X, XI) \cdot SBV \cdot KT \cdot \frac{DIST}{VD}$$

Für die Teilbeladungszustände  $X < XI$  läßt sich eine Leistungsfunktion abschätzen,

$$ND(X, XI) = A + B \cdot X - C \cdot X^2$$

deren Koeffizienten  $A$ ,  $B$  und  $C$  das Entwurfsprogramm als Funktion der vom Beladungszustand abhängigen Verdrängung und der Leistung unter Dienstbedingungen bei vollständiger Beladung  $ND(X = XI, XI) = NDO$  ausgibt. Eine weitere Betriebskostenart sind die zu entrichtenden Hafengebühren. Diese sind zwar nicht einheitlich für alle Häfen festgesetzt, beziehen sich aber zumeist auf die Bruttovermessung der Schiffe  $BRT$ . Mit einem durchschnittlichen Hafengebührensatz  $KHS$  erhält man für die Hafengebühren bei  $M$  Häfen pro Region

$$KH = KHS \cdot BRT \cdot M$$

Beide Kostenarten - Brennstoff- und Hafengebühren - gelten für eine Halbreise, die nachfolgenden Kostenarten sind jedoch üblicherweise auf die Rechnungsperiode eines Jahres bezogen.

Zu den jahresbezogenen Betriebskosten zählen die Lohnkosten für Bordpersonal. Die Besatzungsstärke eines Schiffes  $ZB$  hängt entsprechend den Bemannungsvorschriften

ten von der Bruttovermessung und der installierten Leistung des Fahrzeugs ab. Zur Berücksichtigung von Krankheitsfällen und Urlaub ist ein Faktor für die notwendige Reservemannschaft RF vorzusehen. Legt man einen mittleren Lohnkostensatz pro Person KLS zugrunde, der von der Größe der Besatzung abhängen wird, lassen sich die Lohnkosten des Bordpersonals ausdrücken durch

$$KL = ZB \cdot RF \cdot KLS(ZB) .$$

Für die Instandhaltungs- und Reparaturkosten hat sich folgender Ansatz als brauchbar erwiesen:

$$KIR = 2 \cdot (LPP \cdot BS \cdot HID + 4 \cdot NI)$$

mit

LPP = Länge zwischen den Loten  
BS = Breite auf Spanten  
HID = Höhe bis zum 1. Deck  
NI = Installierte Leistung

Als Grundlage der Versicherungskosten werden allgemein die Baukosten des Schiffes KB herangezogen, die mit einem konstanten Versicherungskostensatz KVS zu multiplizieren sind

$$KV = KB \cdot KVS .$$

Desgleichen findet man die Dispositions- oder Verwaltungskosten an den Baukosten mit einem festen Kostensatz KDS orientiert

$$KD = KB \cdot KDS .$$

Die Anlagekosten umfassen den Abschreibungsanteil, der dem Eigenkapital zuzurechnen ist, bei linearer Abschreibung mit einem Abschreibungszeitraum von TA-Jahren mit

$$AE = \frac{EK}{AS \cdot TA}$$

sowie Tilgung und Finanzierungskosten für das Fremdkapital (Kapitaldienst). Tilgungszeit und Abschreibungszeit mögen übereinstimmen. Bei einem gegebenen Fremdkapitalzinssatz FKZ erhält man dafür

$$KKD = (KB - EK/AS) \cdot FKZ \cdot \frac{(1+FKZ)^{TA}}{(1+FKZ)^{TA}-1} .$$

Es läßt sich damit folgende Kostenaufstellung angeben

TREIBSTOFFKOSTEN	KTR(SEQU,AS,XI,X(SEQU))
HAFENABGABEN	KH (SEQU,AS,XI)
LOHNKOSTEN	KL (SEQU,AS,XI)
INSTANDHALTUNGS- u. REPARATURKOSTEN	KIR(SEQU,AS,XI)
VERSICHERUNGSKOSTEN	KV (SEQU,AS,XI)
DISPOSITIONSKOSTEN	KD (SEQU,AS,XI)
ABSCHREIBUNGSANTEIL	AE (AS)
KAPITALDIENST	KKD(SEQU,AS,XI)

Eine Betrachtung dieser Aufstellung zeigt, daß nur die Treibstoffkosten von der transportierten Ladungsmenge abhängig sind. Das Kostenniveau eines Schiffes im Liniendienst ist fast ausschließlich durch ladungsmengenunabhängige fixe Kosten gekennzeichnet.

Den Erwartungswert der Kosten pro Halbreise erhält man als

$$E \left\{ KHR \right\} = E \left\{ KTR + KH + KL + KIR + KV + KD + AE + KKD \right\}$$

$$\begin{aligned}
 E \{ KHR \} &= \int_{-\infty}^{XI} (A + BX - CX^2) \left[ SBV \cdot KT \cdot \frac{DIST}{VD} \right] f_{SEQU}(X) dX \\
 &+ \int_{XI}^{\infty} NDO \cdot \underbrace{\left[ SBV \cdot KT \frac{DIST}{VD} \right]}_{= CT} \cdot f_{SEQU}(X) dX \\
 &+ KHS \cdot BRT \cdot M \\
 &+ ZB \cdot RF \cdot KLS/FFK \\
 &+ Z (LPP \cdot BS \cdot HID + 4 NI)/FFK \\
 &+ KB (KUS + KDS) / FFK \\
 &+ (KB - EK/AS) \cdot FKZ \frac{(1+FKZ)^{TA}}{((1+FKZ)^{TA}-1) \cdot FFK} \\
 &+ EK/AS \cdot TA \cdot FFK
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\int_{-\infty}^{XI}} \right\} = KFIXJ/FFK$$

Nach Lösung der Integrale und Zusammenfassen ergibt sich

$$\begin{aligned}
 E \{ KHR \} &= CT \left[ A \cdot F_{SEQU}(XI) + B (F_{SEQU}(XI) \cdot \sigma_{SEQU}^2 - f_{SEQU}(XI) \right. \\
 &\quad \left. - C (F_{SEQU}(XI) \left[ \sigma_{SEQU}^2 + \mu_{SEQU}^2 \right] - f_{SEQU}(XI) \right. \\
 &\quad \left. \cdot \sigma_{SEQU}^2 (\mu_{SEQU} + XI) \right. \\
 &\quad \left. + NDO (1 - F_{SEQU}(XI)) \right] \\
 &+ KHS \cdot BRT \cdot M \\
 &+ KFIXJ/FFK
 \end{aligned}$$

Für die Jahreskosten der Flotte kann man daher angeben

$$E \left\{ K_{FL} \right\} = FFK \cdot E \left\{ K_{HR} \right\}$$

Als fiktive Kosten  $K^+$  soll der Schaden gelten, der dem Befrachter bei Nichtberücksichtigung seiner Ladung zur Verschiffung entsteht. Ist sein Ladungsangebot aus Kapazitätsgründen zurückgewiesen, wird er die nächste mögliche Abfahrt eines Wettbewerbers nutzen; bis zu diesem Zeitpunkt muß er zusätzliche Finanzierungskosten hinnehmen. Da ihm eventuell noch Nebenkosten z.B. für eine Zwischenlagerung der Ladung entstehen, soll der Schaden derart abgeschätzt werden, als hätte er Finanzierungskosten für eine volle Intervalllänge zu tragen. Seine Kosten hängen dann von der Intervalllänge  $SEQU$ , dem Ladungswert  $WL$ , der Ladungsmenge und dem Finanzierungszinssatz  $FKZ$  ab.

Ähnlich der Frachtrate ist es für das Reedereiunternehmen durch Stichproben an Hand der Konnossemente möglich, ein gewichtetes Mittel für den Ladungswert zu berechnen. Die Kosten für die gesamte zurückgelassene Ladung  $X - XI$  betragen

$$\begin{aligned} X \leq XI & \quad K_{ZL1} = 0 \\ X > XI & \quad K_{ZL2} = (X - XI) \cdot WL \cdot FKZ \cdot SEQU/365 \end{aligned}$$

Als Erwartungswert erhält man für eine Halbreise

$$\begin{aligned} E \left\{ K_{ZL} \right\} &= \int_{-\infty}^{XI} K_{ZL1} \cdot f_{SEQU}(X) dx + \int_{XI}^{\infty} K_{ZL2} \cdot f_{SEQU}(X) dx \\ E \left\{ K_{ZL} \right\} &= \frac{WL \cdot FKZ \cdot SEQU}{365} \left[ \int_{XI}^{\infty} X \cdot f_{SEQU}(X) dx \right. \\ &\quad \left. - XI \int_{XI}^{\infty} f_{SEQU}(X) dx \right] \end{aligned}$$

$$E \left\{ K_{ZL} \right\} = \frac{WL \cdot FKZ \cdot SEQU}{365} \left[ (1 - F_{SEQU}(XI)) (\mu - XI) + \sigma_{SEQU}^2 \cdot f_{SEQU}(XI) \right]$$

Als fiktive Kosten der Flotte sind somit pro Jahr in der Zielfunktion zu berücksichtigen

$$K^+ = FFK \cdot E \left\{ K_{ZL} \right\}$$

Damit liegen die Erlös- und Kostenfunktionen für das Entscheidungsmodell des Reedereiunternehmens unter Berücksichtigung des Ladungsmengenrisikos in Gestalt der Varianz vor.

5. Die Auswirkungen des Ladungsmengenrisikos  
auf Struktur und Rentabilität des Liniendienstes

5.1 Bestimmung der optimalen Entscheidungsparameter  
für einen Modellfall

In den vorangegangenen Kapiteln ist gezeigt worden, wie die Risikosituation des Reeders mit Hilfe eines Modells des Ladungsflusses beschrieben werden kann und welche Entscheidungsparameter diesem zur Gestaltung der Flotte zur Verfügung stehen. Aufgrund der Zielfunktion ist er zudem in der Lage, schon im Planungsstadium das Parametertripel bestimmen zu können, mit dem die Zielfunktion optimiert wird.

Eine solche Planungsrechnung soll an dieser Stelle für einen Modellfall durchgeführt werden.

Zwischen zwei Regionen A und B wird mit konventionellen Stückgutschiffen ein Liniendienst durchgeführt. Auf einer Halbreise legen die Schiffe eine Seestrecke von 5000 Seemeilen zurück und laufen in jeder Region fünf Häfen an. Das Ladungsangebot aller fünf Häfen zusammen beträgt im Mittel 1000 t pro Tag in jeder Region. Als Rundreisedauer läßt die Wettbewerbssituation eine Zeitspanne von acht Wochen zu, das Abfahrtsintervall kann zwischen vier und zwölf Tagen betragen.

Da Anzahl der Schiffe AS und Intervalllänge zwischen zwei Abfahrten SEQU substitutiv zusammenhängen, entsprechend

$$\text{SEQU} \cdot \text{AS} = \text{Rundreisedauer} = 56 \text{ Tage,}$$

ist nur noch einer der beiden Entscheidungsparameter frei wählbar wegen Unteilbarkeit der Schiffe der Parameter AS.

Für diese beiden Parameter stehen dem Reedereiunternehmen folgende Kombinationen zur Verfügung:

AS	5	6	7	8	9	10	11
SEQU	11,2	9,33	8	7	6,23	5,6	5,09

Jeder dieser Kombinationen können alternative Ladekapazitäten XI für die Schiffe zugeordnet werden, dieser dritte Entscheidungsparameter ist wieder frei wählbar. Da für jede Intervalllänge Mittelwert und Standardabweichung der Ladungsverteilung bekannt sind, kann für jede Ladekapazität der entsprechende Erwartungswert der Eigenkapitalrentabilität berechnet werden.

Als Beispiel sei die Kombination AS = 8 Schiffe und SEQU = 7 Tage betrachtet. Dafür erhält man als Mittelwert der Ladungsmengenverteilung  $\mu_{\text{SEQU}=7} = 7000 \text{ t}$ , und eine Standardabweichung von  $\sigma_{\text{SEQU}=7} = 1500 \text{ t}$ . Die Dichtefunktion dieser Verteilung ist in Bild 15.1 dargestellt.

Die Berechnung der Zielfunktion für alternative Wertetripel (AS=8/SEQU=7/XJ) erfolgt mit Hilfe eines Rechenprogramms (Anhang A1). Variiert man wie in diesem Fall die Ladefähigkeit XJ innerhalb einer bestimmten Bandbreite in geeigneten Abständen, so lassen sich die Werte der Eigenkapitalrentabilität als Funktion der Ladefähigkeit auftragen (Bild 15.2). Diese Rentabilitätsfunktion weist ein ausgeprägtes Maximum auf bei XI = 6100 t. Entsprechend diesem Beispiel lassen sich auch für die anderen Kombinationen AS/SEQU die Zielfunktionswerte EK-RENT(XI) berechnen und darstellen wie in Bild 17. Durch Vergleich der Einzelmaxima ist die optimale Kombination der Entscheidungsparameter leicht zu ermitteln.

## 5.2 Ein Vergleich unterschiedlicher Risikosituationen

Im Kapitel 2.2.3 wurde gezeigt, daß Zeitreihen, deren Tageswerte gleichen Mittelwert und gleiche Streuung aufweisen, aufgrund unterschiedlicher Korrelation zu verschiedenen Funktionen der relativen Standardabweichung  $\sigma_{zm,n}/\sigma_{zm}$  von der Intervalllänge  $n$  führen (Bild 12).

Die Auswirkungen dieser vier Risikosituationen auf den Verlauf der Zielfunktion (EK-RENT) und die optimale Flottenstruktur sollen nun mit Hilfe des oben skizzierten Modells eines Liniendienstes betrachtet werden. Für die im Modell angegebenen möglichen Kombinationen AS/SEQU wird die Ladekapazität XI, die der Tragfähigkeit TDW der Schiffe entsprechen soll, variiert. In den Bildern 16, 17 und 18 ist der Verlauf der Eigenkapitalrentabilität über der Tragfähigkeit aufgetragen, darüber die den Tragfähigkeiten entsprechenden notwendigen Probefahrtgeschwindigkeiten der Schiffe. Alle Rentabilitätskurven weisen ausgeprägte Maxima auf. Die den Maximalwerten zugehörigen Tragfähigkeiten sind ausnahmslos kleiner als der Mittelwert der entsprechenden Ladungsmengenverteilung, nur im Fall d) - determinierte Ladungsmengen - stimmen sie überein (Tabelle 4). Die optimalen Parameterkombinationen sind in den Bildern gekennzeichnet, die Werte dieser Parameter, der Eigenkapitalrentabilität und zweier abgeleiteter Größen (Geschwindigkeit und Transportgrad) in Bild 19 und Tabelle 5 zusammengestellt.

In den Fällen a, b und c würde man acht Fahrzeuge einsetzen, im Fall d neun. Geschwindigkeit und Tragfähigkeit steigen bei abnehmendem Risiko in den Fällen a, b und c von 15,7 Kn über 15,9 Kn auf 16,2 Kn bzw. von 6100 t über 6250 t auf 6600 t an. Für ein determiniertes Ladungsangebot (Fall d) erhält man eine

geringere Geschwindigkeit (15,9 Kn) und Tragfähigkeit (6230 t) wegen der größeren Anzahl der Schiffe. Die Intervalllänge zwischen zwei Abfahrten ist bei konstanter Rundreisezeit durch die Anzahl der Schiffe bereits festgelegt, sie beträgt in den Fällen a, b und c 7 Tage, im Fall d 6,2 Tage. Die Eigenkapitalrentabilität zeigt für abnehmendes Risiko einen Anstieg von 16,4 % über 19,6 % und 23,8 % auf 27,2 %. Diese Angaben für eine effektive Eigenkapitalrentabilität unterscheiden sich von den Optimalwerten der Bilder 16, 17 und 18 dadurch, daß die Kosten der zurückgelassenen Ladung nur fiktiv sind. Diese Kosten brauchen nach Auswahl der optimalen Kombination der Entscheidungsparameter in der Berechnung der für das Reedereiunternehmen zu erwartenden effektiven Eigenkapitalrentabilität nicht mehr berücksichtigt zu werden. Schließlich ist noch ein Transportgrad angegeben, der den prozentualen Anteil des Erwartungswertes der effektiv transportierten an der insgesamt angebotenen Ladungsmenge angibt. Er steigt von 83,2 % über 86,7 % und 93,2 % auf 100 % im Fall determinierter Ladungsmengen an.

Die Unterschiede zwischen den Werten der optimalen Entscheidungsparameter für die vier betrachteten Risikosituationen sind nicht sehr groß: das Abfahrtsintervall differiert um 18,5 Stunden (ca. 10 %), die Anzahl der Schiffe weicht um eine Einheit ab (12,5 %) und die Tragfähigkeiten weisen eine maximale Differenz von 500 t auf (8,2 %), die Schiffsgeschwindigkeit variiert in einem Bereich von 0,5 Kn (3 %).

Im Gegensatz dazu weist der Erwartungswert der Eigenkapitalrentabilität stark voneinander abweichende Ergebnisse auf. Diese steigen von 16,4 % (Fall a)) auf 27,2 % (Fall d)) an, die Änderung beträgt 65,7 %.

Für das betrachtete Modell eines Liniendienstes kann man somit feststellen, daß das Ladungsmengenrisiko

die Struktur der Flotte schwach, die Eigenkapitalrentabilität jedoch sehr stark beeinflusst.

Da die Risikosituation eines Liniendienstes im konkreten Fall als Datum betrachtet werden muß, ist es für das Reedereiunternehmen unbedeutend zu wissen, welche Verbesserung des Unternehmenserfolges zu erzielen wäre, wenn eine günstigere Situation herrschte. Es wird jedoch interessant sein zu wissen, welche Verbesserung des Ergebnisses zu erwarten ist, wenn man das Ladungsmengenrisiko einer gründlichen Analyse unterzieht und diese bei der Wahl der Entscheidungsparameter berücksichtigt.

Es soll daher für das obige Modell ermittelt werden, welcher Unternehmenserfolg zu erwarten wäre, wenn eine Risikosituation entsprechend Fall a, b oder c vorliegt, die Flottenstruktur dagegen auf der Annahme determinierter Ladungsmengen basiert. Diesen Ergebnissen sollen dann die Erwartungswerte des Unternehmenserfolges gegenübergestellt werden, die sich bei einer Einbeziehung des Ladungsmengenrisikos im Flottenentwurf ergeben.

Aufgrund determinierter Ladungsmengen wäre die dem Fall d) entsprechende Flotte gewählt worden mit 9 Schiffen, die eine Tragfähigkeit von 6230 t und eine Probefahrtgeschwindigkeit von 15,9 Kn aufweisen. Die Eigenkapitalrentabilität wäre mit 27,2 % ermittelt worden.

Für diese Flotte kann man bei Vorliegen von Fall a) aus Bild 16 einen Wert der Zielfunktion von 4,4 % entnehmen, diesem sind die fiktiven Kosten in Höhe von 3,5 % zuzuschlagen, so daß mit einer effektiven Eigenkapitalrentabilität von 7,9 % gerechnet werden kann. Bei einer Berücksichtigung der Risikosituation schon im Entwurfsstadium kann jedoch ein Erwartungswert der Eigenkapitalrentabilität von 16,4 % erreicht

werden (Tabelle 5). Das bedeutet eine mögliche Steigerung des Unternehmenserfolges um 107 %.

Für die Risikosituation entsprechend Fall b) und c) kann eine Zunahme um 53,3 % bzw. 20,1 % festgestellt werden.

Die Größenordnung dieser möglichen Verbesserungen wird deutlich, wenn man sie z.B. einer Verbesserung des Wirkungsgrades des Antriebs um 10 % gegenüberstellt. Läßt man einmal außer Acht, daß solche Steigerungen häufig nicht ohne erhebliche Zusatzinvestitionen zu erreichen sind, so würde ein solcher Anstieg des Wirkungsgrades den Unternehmenserfolg im obigen Modell lediglich um ca. 15 % anheben (1).

Die Berücksichtigung des Ladungsmengenrisikos bei der Festlegung der beiden wichtigsten Entwurfsgrößen eines Stückgutschiffes im Liniendienst - Tragfähigkeit und Probefahrtgeschwindigkeit - kann man somit durchaus als eine wesentliche Verbesserung der Planungssicherheit bezeichnen, die für die Investitionsentscheidung eines Reedereiunternehmens nicht ohne Bedeutung sein wird.

Tabellen

## ERMITTELTE TAGESWERTE

XR( 1)=	40.	XR( 57)=	80.
XR( 2)=	65.	XR( 58)=	30.
XR( 3)=	30.	XR( 59)=	0.
XR( 4)=	0.	XR( 60)=	0.
XR( 5)=	10.	XR( 61)=	125.
XR( 6)=	0.	XR( 62)=	115.
XR( 7)=	105.	XR( 63)=	180.
XR( 8)=	400.	XR( 64)=	180.
XR( 9)=	128.	XR( 65)=	50.
XR( 10)=	0.	XR( 66)=	140.
XR( 11)=	0.	XR( 67)=	0.
XR( 12)=	80.	XR( 68)=	80.
XR( 13)=	20.	XR( 69)=	160.
XR( 14)=	210.	XR( 70)=	130.
XR( 15)=	44.	XR( 71)=	70.
XR( 16)=	0.	XR( 72)=	320.
XR( 17)=	146.	XR( 73)=	130.
XR( 18)=	0.	XR( 74)=	0.
XR( 19)=	0.	XR( 75)=	70.
XR( 20)=	350.	XR( 76)=	110.
XR( 21)=	20.	XR( 77)=	0.
XR( 22)=	180.	XR( 78)=	140.
XR( 23)=	0.	XR( 79)=	162.
XR( 24)=	100.	XR( 80)=	0.
XR( 25)=	0.	XR( 81)=	0.
XR( 26)=	0.	XR( 82)=	90.
XR( 27)=	75.	XR( 83)=	30.
XR( 28)=	150.	XR( 84)=	56.
XR( 29)=	0.	XR( 85)=	15.
XR( 30)=	155.	XR( 86)=	10.
XR( 31)=	60.	XR( 87)=	0.
XR( 32)=	0.	XR( 88)=	0.
XR( 33)=	140.	XR( 89)=	110.
XR( 34)=	230.	XR( 90)=	130.
XR( 35)=	280.	XR( 91)=	0.
XR( 36)=	30.	XR( 92)=	260.
XR( 37)=	50.	XR( 93)=	140.
XR( 38)=	200.	XR( 94)=	0.
XR( 39)=	0.	XR( 95)=	0.
XR( 40)=	0.	XR( 96)=	70.
XR( 41)=	150.	XR( 97)=	10.
XR( 42)=	205.	XR( 98)=	20.
XR( 43)=	196.	XR( 99)=	40.
XR( 44)=	192.	XR(100)=	150.
XR( 45)=	90.	XR(101)=	30.
XR( 46)=	0.	XR(102)=	0.
XR( 47)=	70.	XR(103)=	175.
XR( 48)=	0.	XR(104)=	80.
XR( 49)=	170.	XR(105)=	115.
XR( 50)=	125.	XR(106)=	140.
XR( 51)=	60.	XR(107)=	290.
XR( 52)=	40.	XR(108)=	0.
XR( 53)=	0.	XR(109)=	0.
XR( 54)=	245.	XR(110)=	80.
XR( 55)=	210.	XR(111)=	60.
XR( 56)=	230.	XR(112)=	0.

STOP

ENDE STDHP 1.46

Tabelle 1

Klassenr.	Bereich	Anzahl der Meßwerte	rel. Häufig- keit	Dichte $h_i$
$i$		$n_i$	$n_i/N$	$h_i = \frac{n_i}{N \cdot b_i} \left[ 10^{-3} \right]$
1	$0 < x \leq 50$	51	0,45536	9,1072
2	$50 < x \leq 100$	18	0,16072	3,2164
3	$100 < x \leq 150$	20	0,17857	3,5714
4	$150 < x \leq 200$	11	0,09821	1,9642
5	$200 < x \leq 250$	6	0,05357	1,0714
6	$250 < x \leq 300$	3	0,02678	0,5356
7	$300 < x \leq 350$	2	0,01786	0,3572
8	$350 < x \leq 400$	1	0,00893	0,1786
		$N = 112$	$\sum = 1,00000$	

Tabelle 2

$i$	$n_i$	$e_i$	$u_i^2 = \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i}$
1	51	48,7	0,11
2	18	27,55	3,31
3	20	15,56	1,27
4	11	8,77	0,57
5	6	4,95	0,22
6	} 6	5,26	0,10
7			
8			
			$U_K^2 = \sum = 5,58$

Tabelle 3

AS	7	8	9	10	11
EK-RENT [%]	22,5	26,8	27,2	26,2	24,2
TDW [t]	8000	7000	6230	5600	5090
VSP [Kn]	17,7	16,58	15,87	15,28	14,8

Tabelle 4

Fall	a	b	c	d
AS	8	8	8	9
VSP [Kn]	15,71	15,81	16,18	15,87
TDW [t]	6100	6250	6600	6230
SEQU [Tage]	7	7	7	6,23
EK-RENT [%]	16,42	19,63	23,78	27,2
Transp.grad [%]	83,2	86,7	93,2	100

Tabelle 5

Bilder

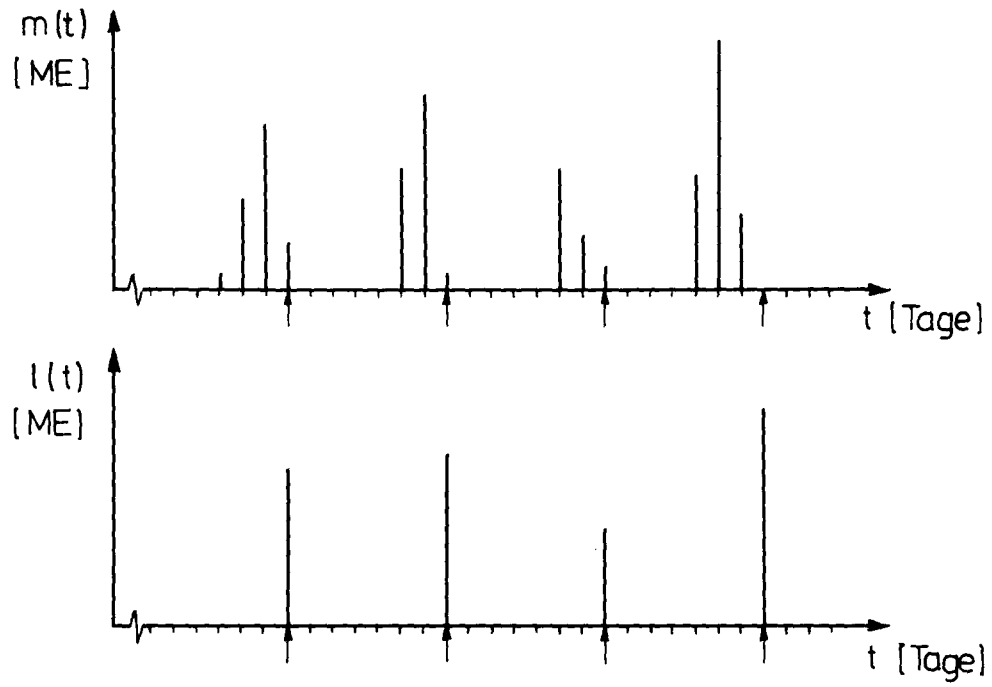


Bild 1

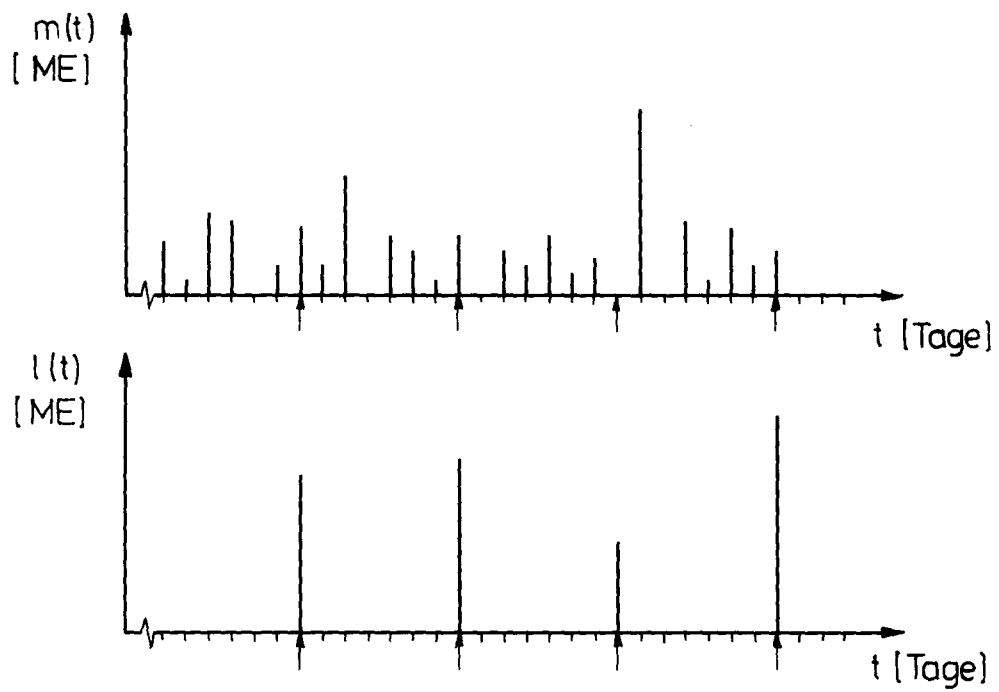


Bild 2

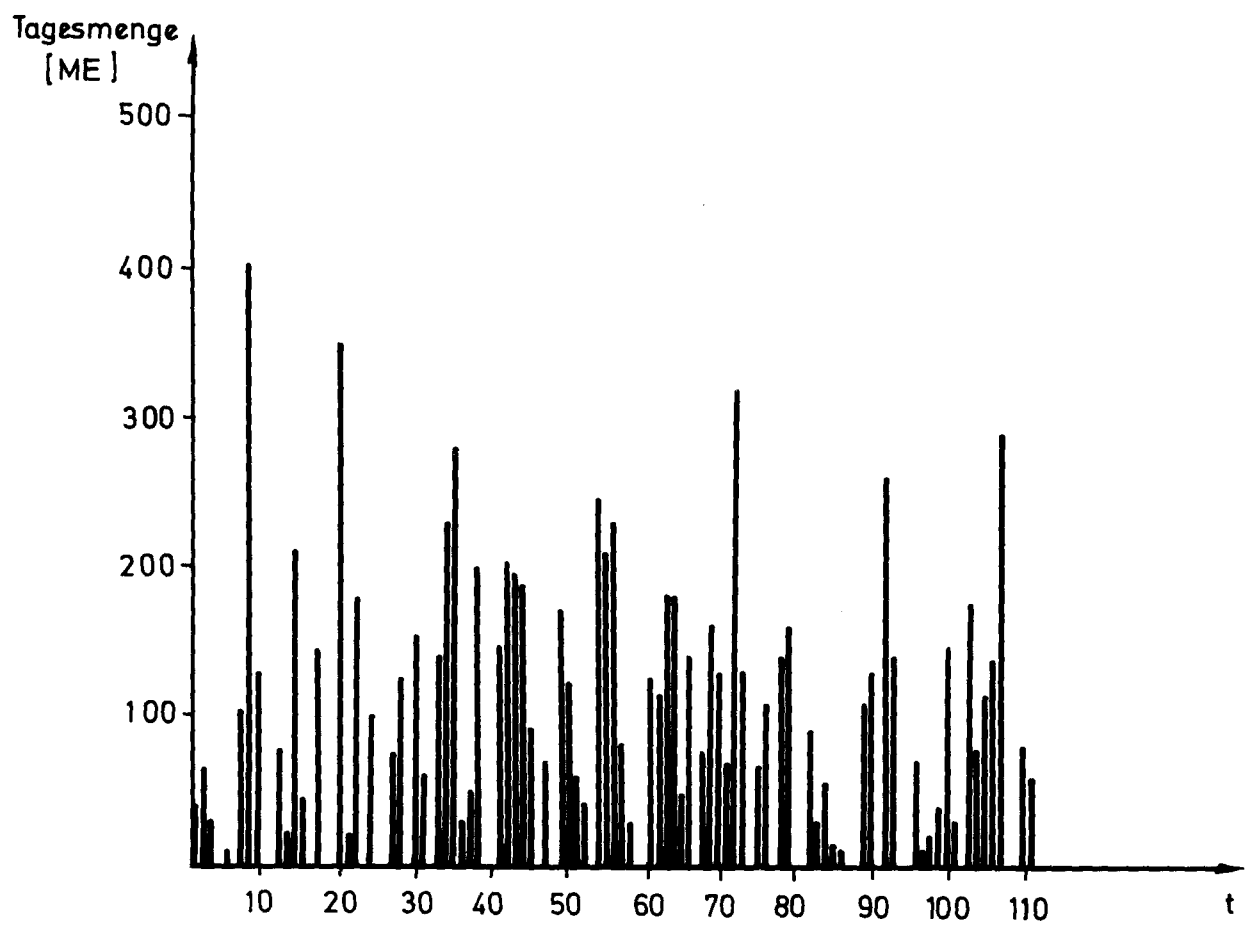
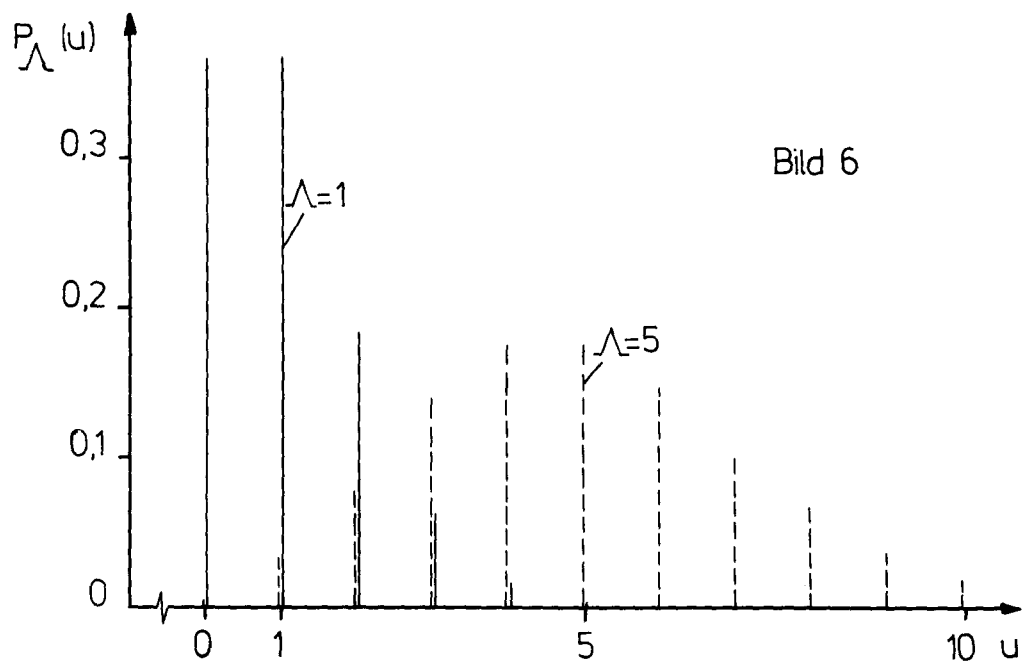
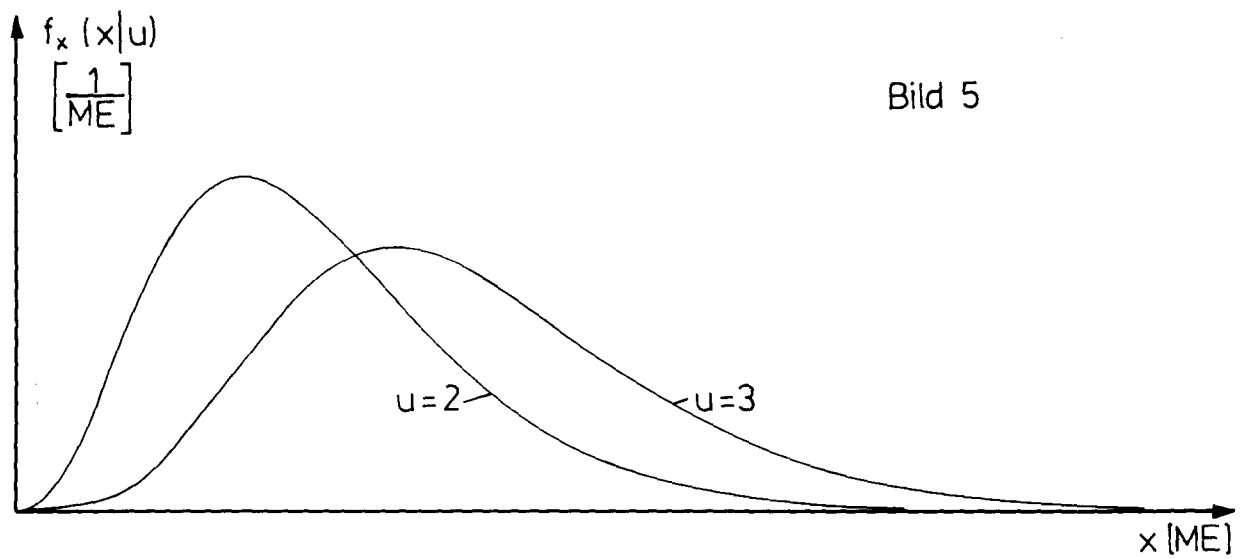
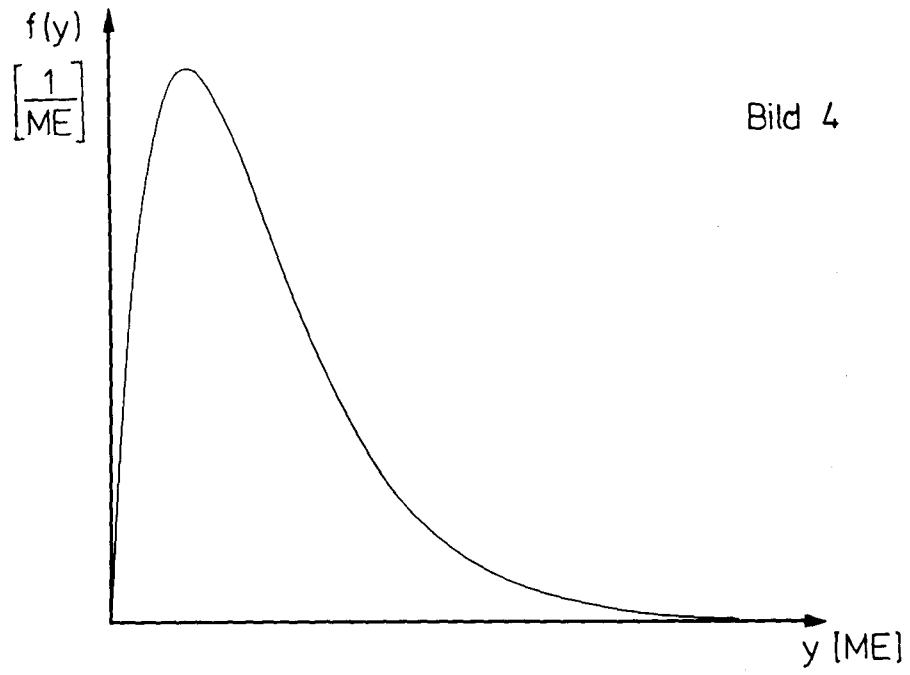


Bild 3 Tagesmengen für 16 Wochen



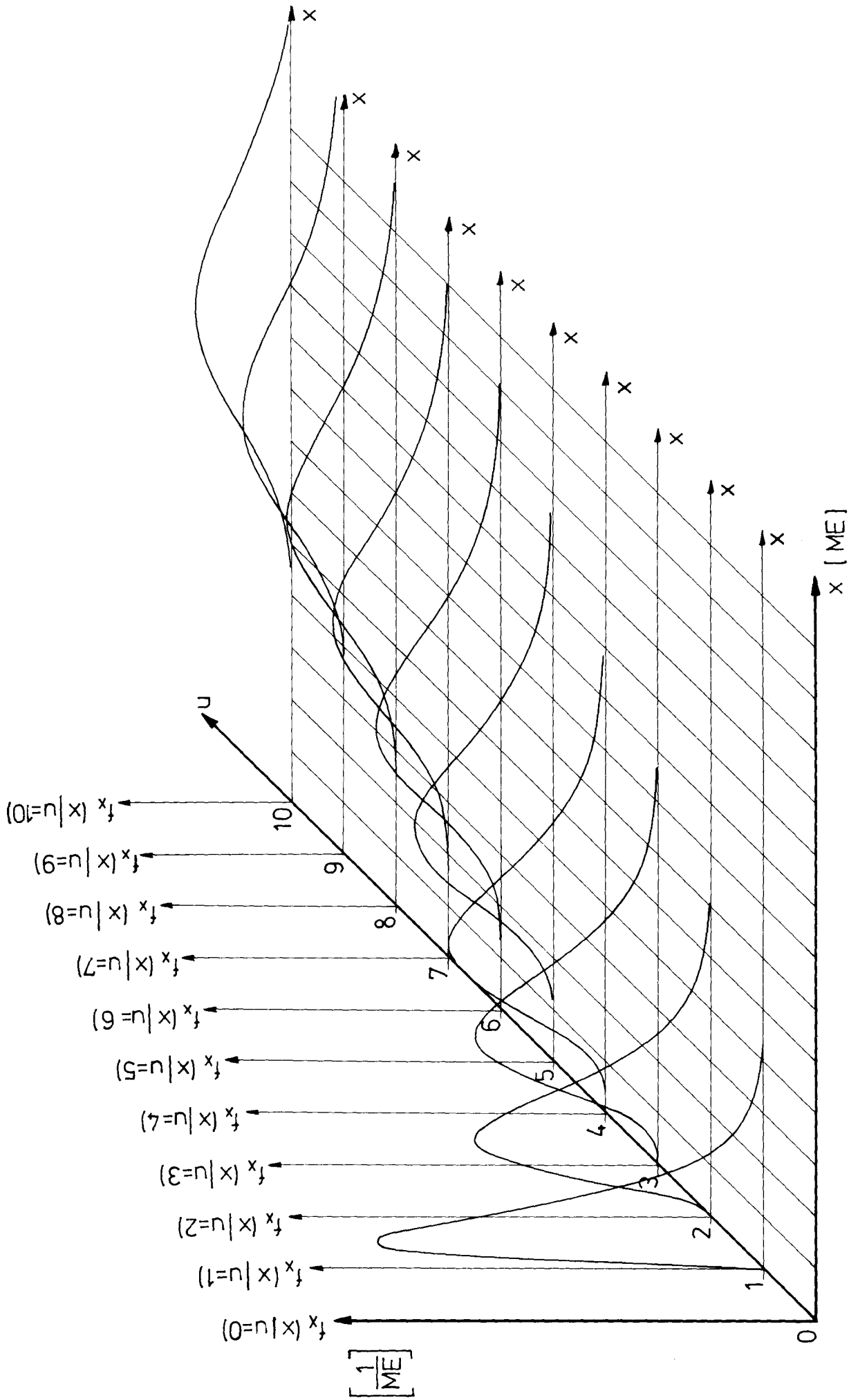


Bild 7a

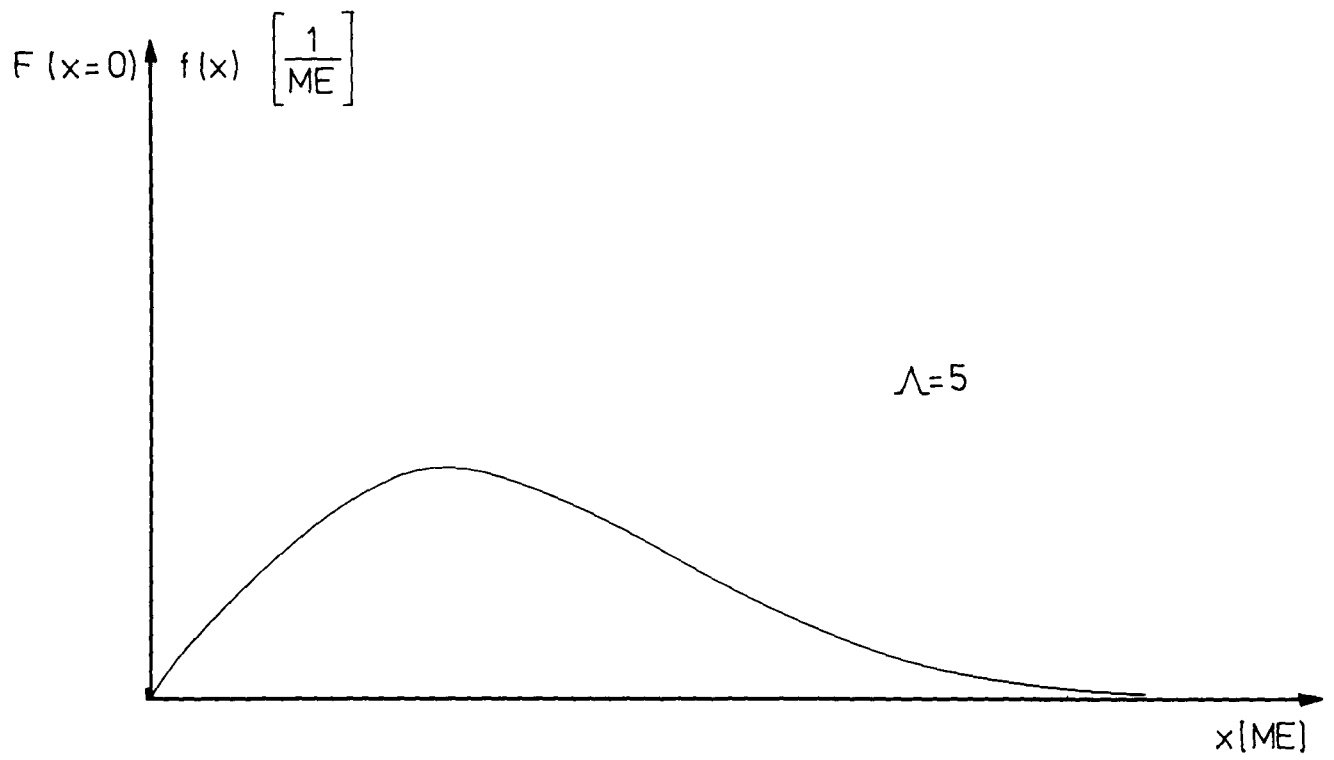
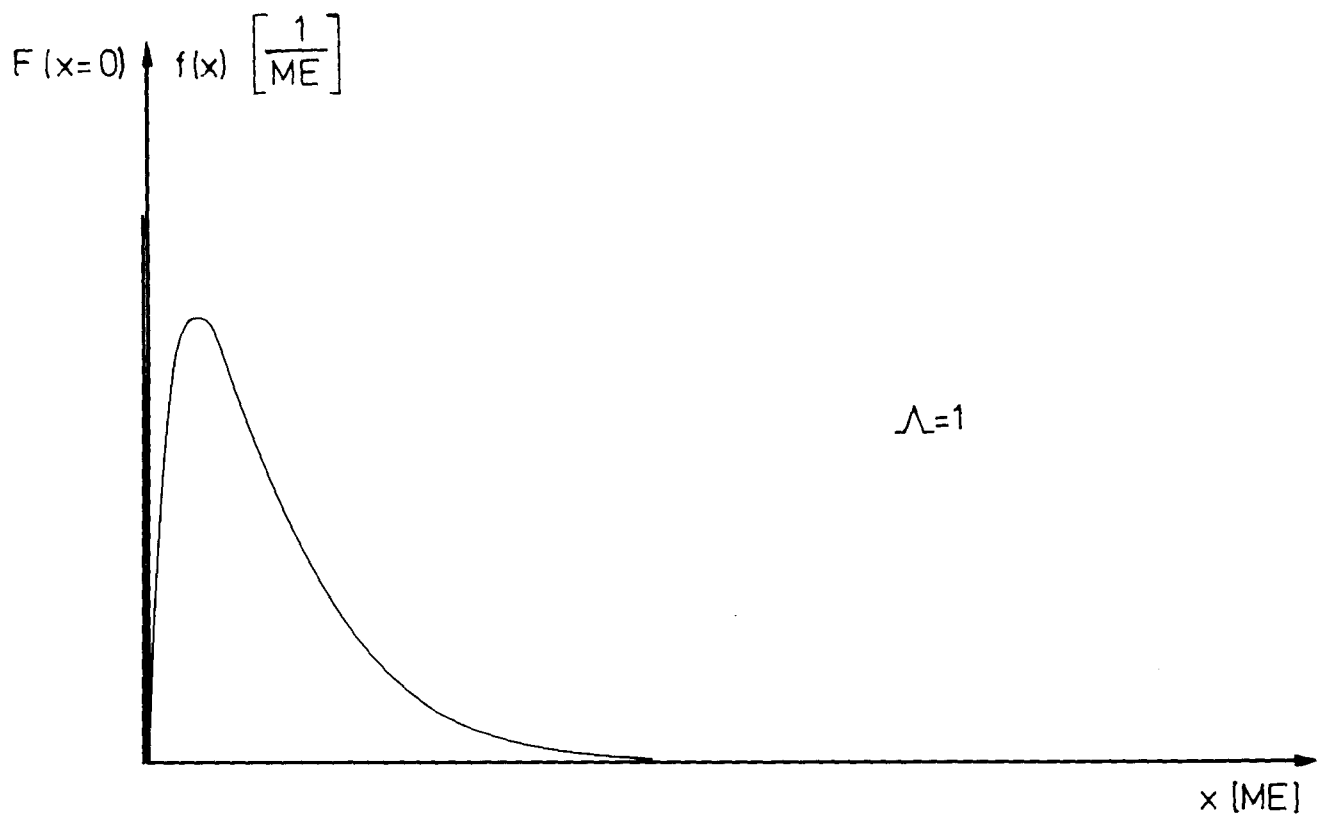


Bild 7b

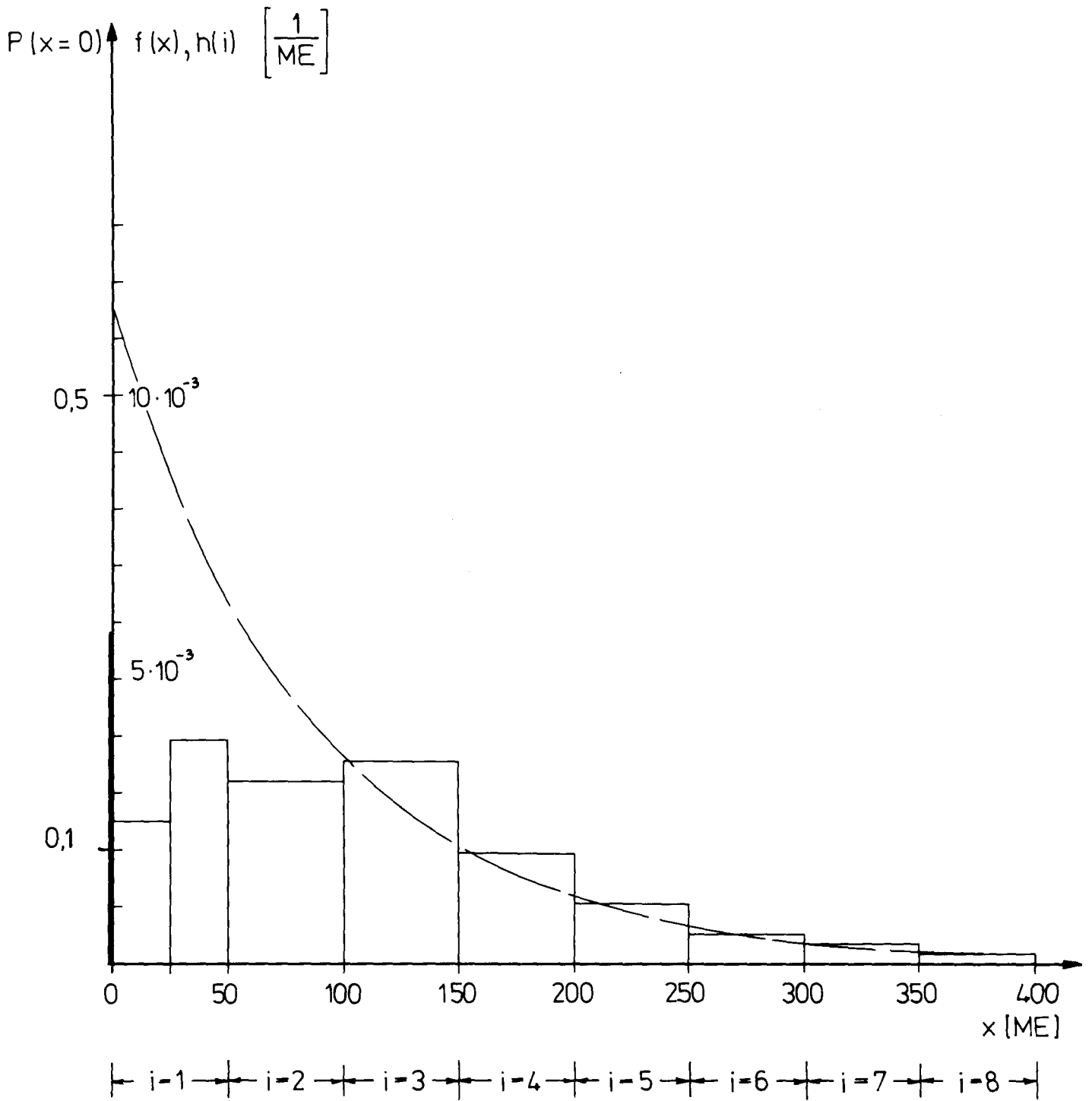


Bild 8

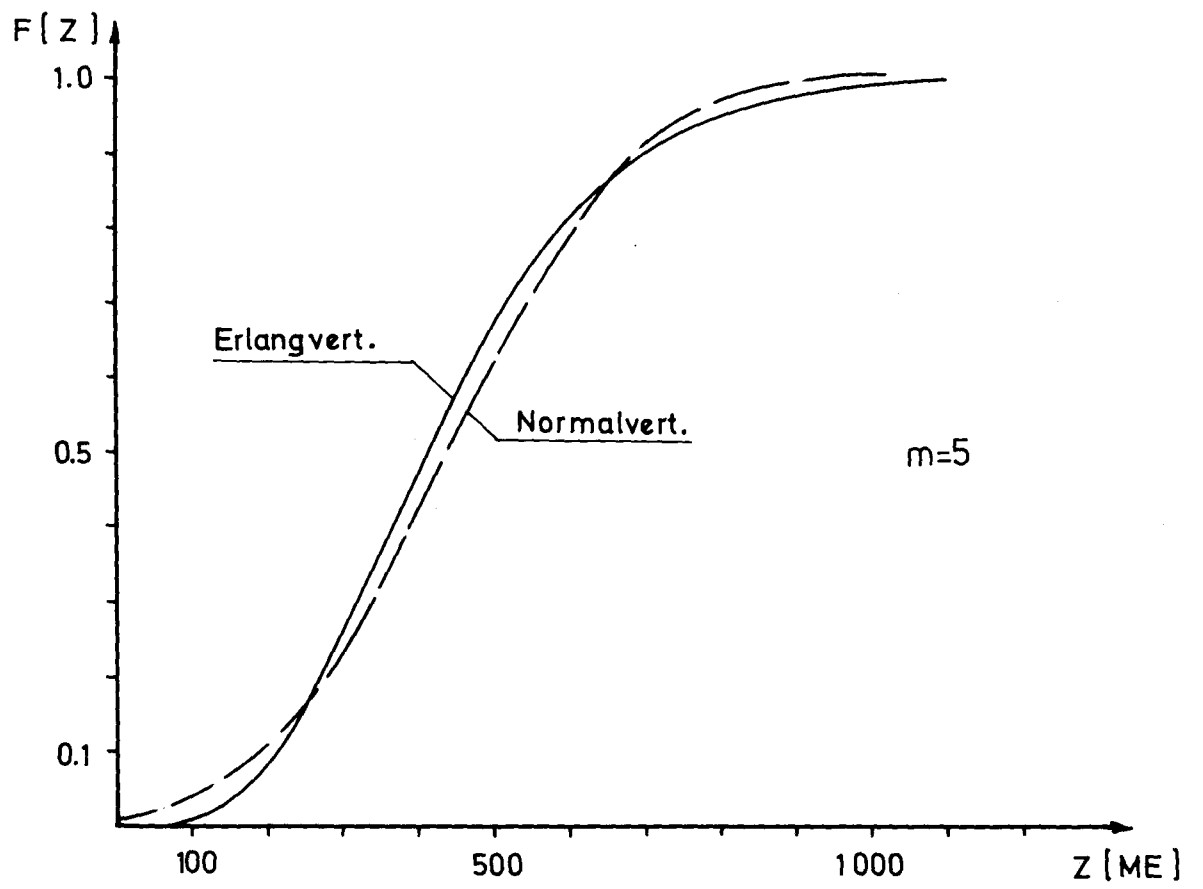


Bild 9

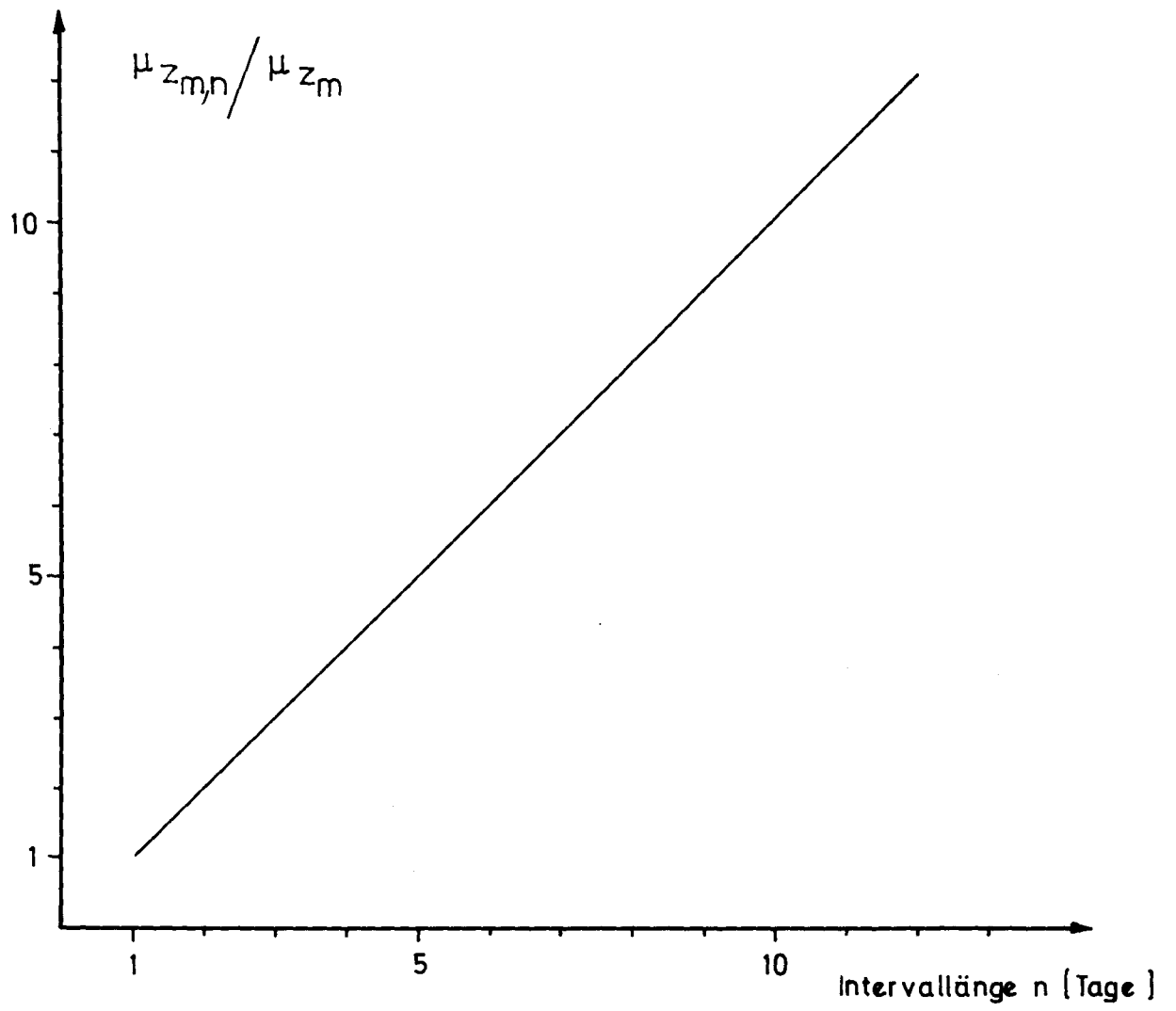


Bild 10

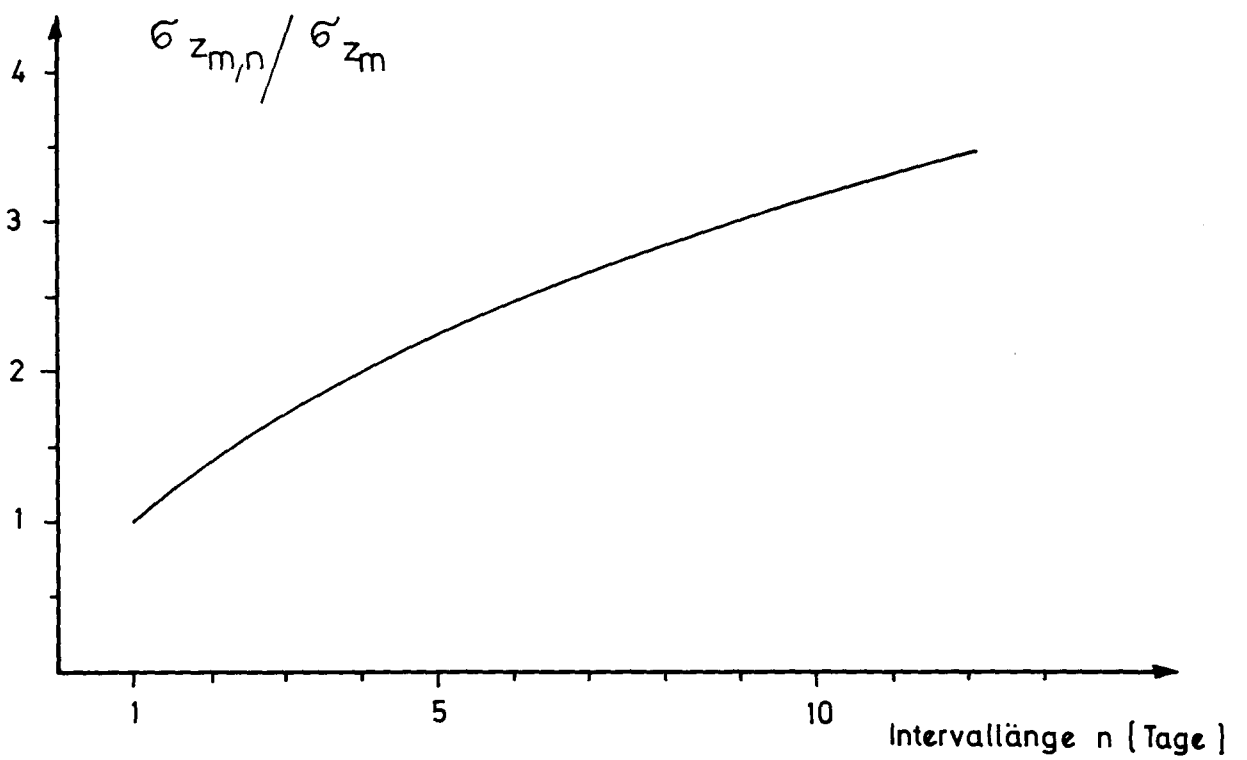


Bild 11

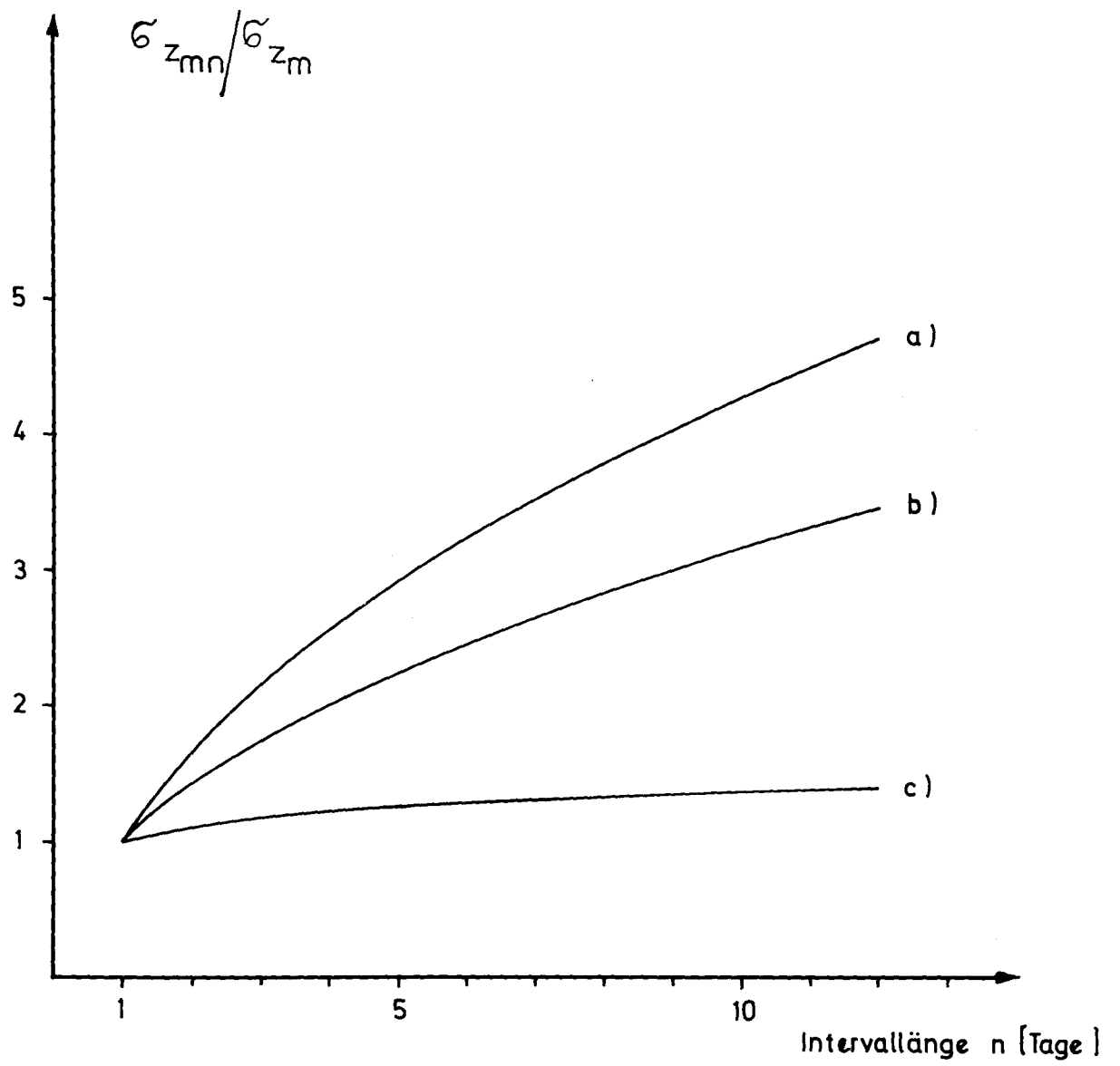


Bild 12

Bild 13.1

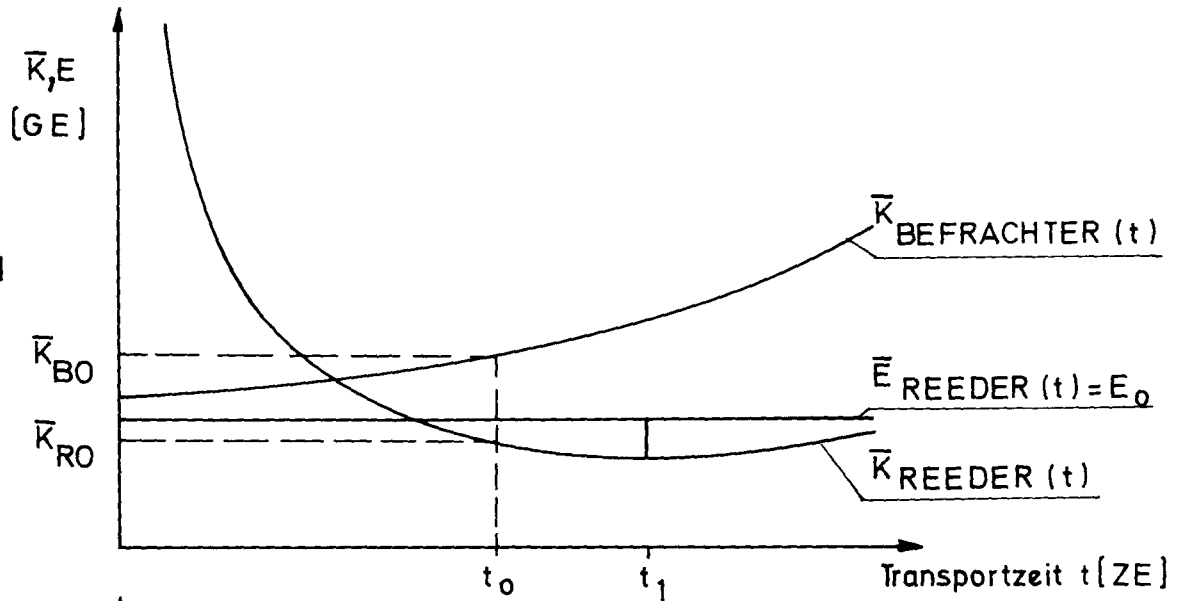


Bild 13.2

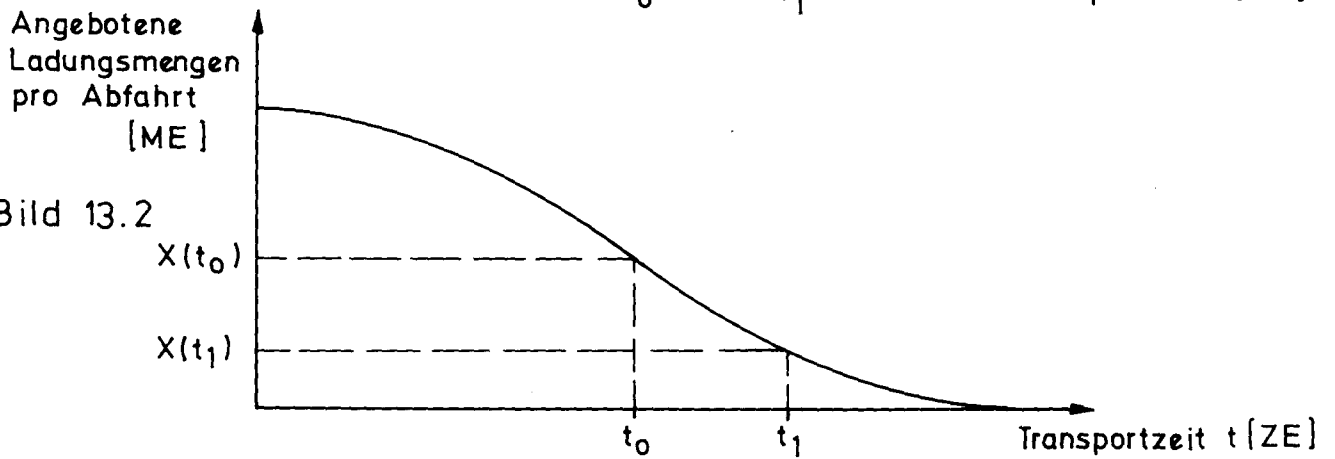


Bild 13.3

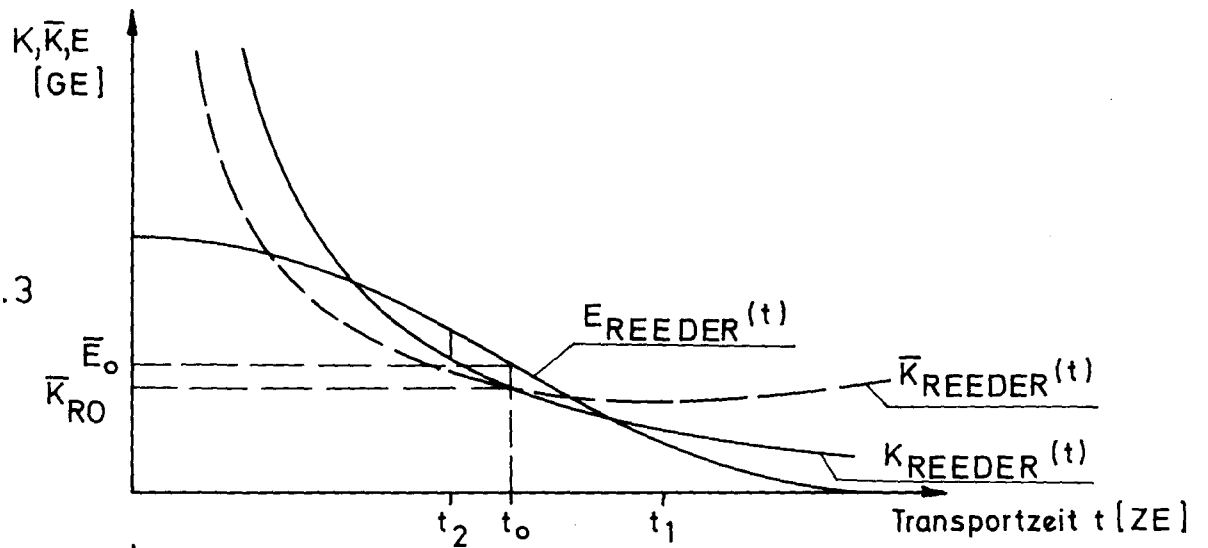
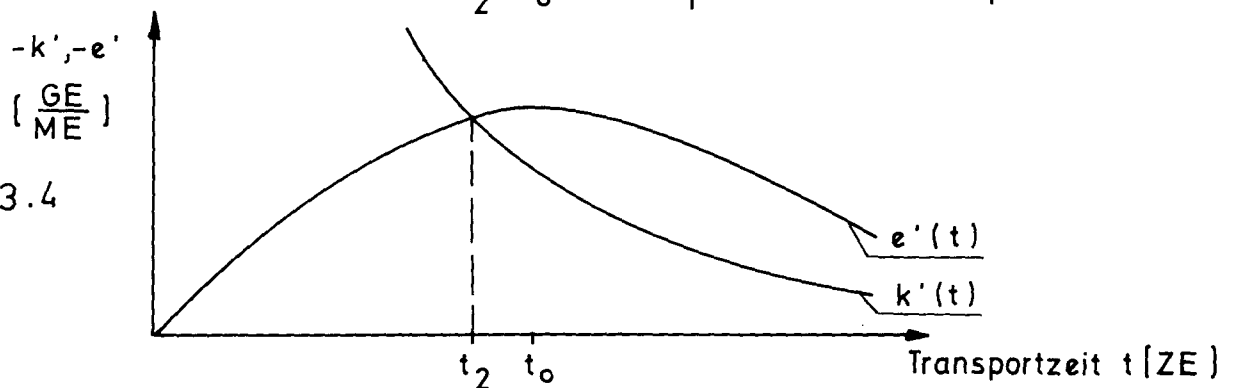


Bild 13.4



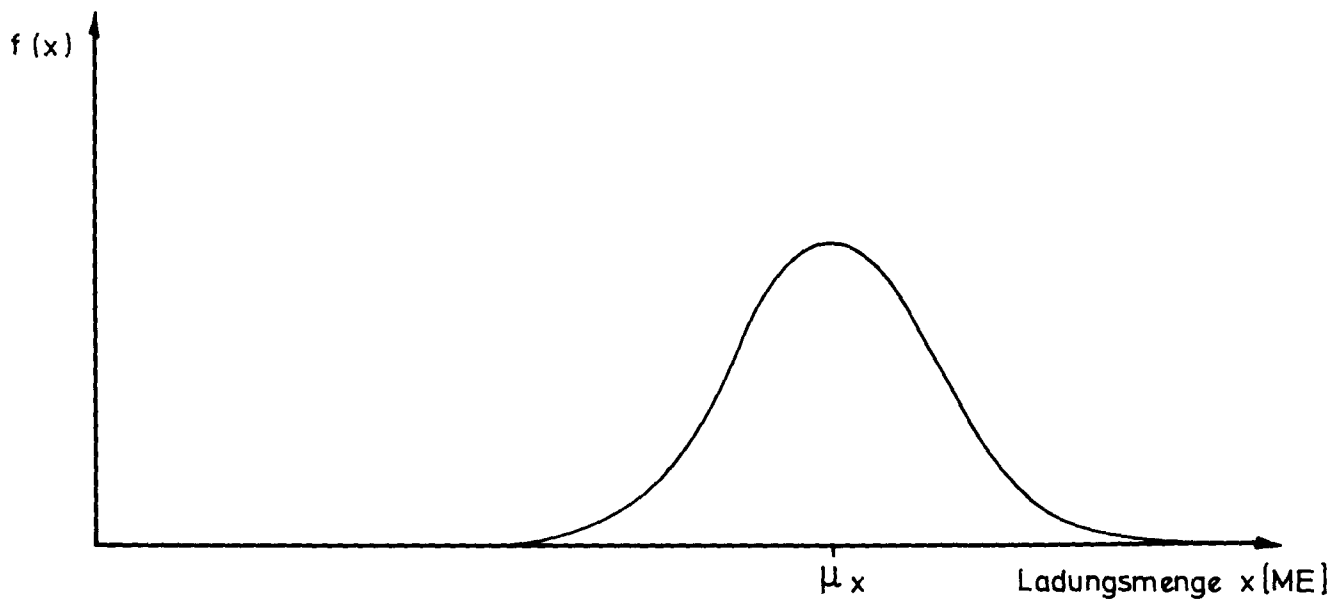


Bild 14.1 Dichtefunktion der Ladungsmengenverteilung

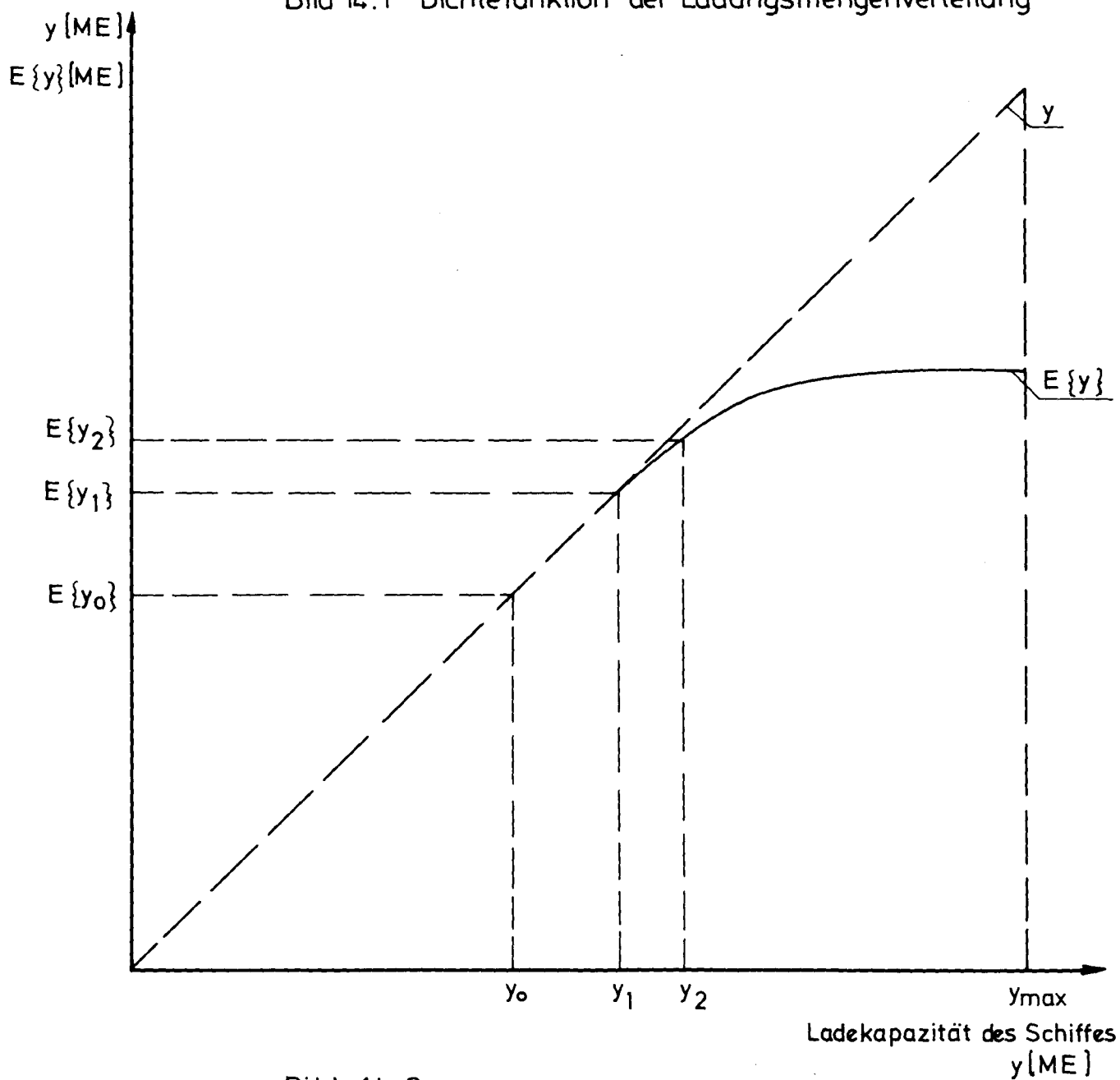


Bild 14.2

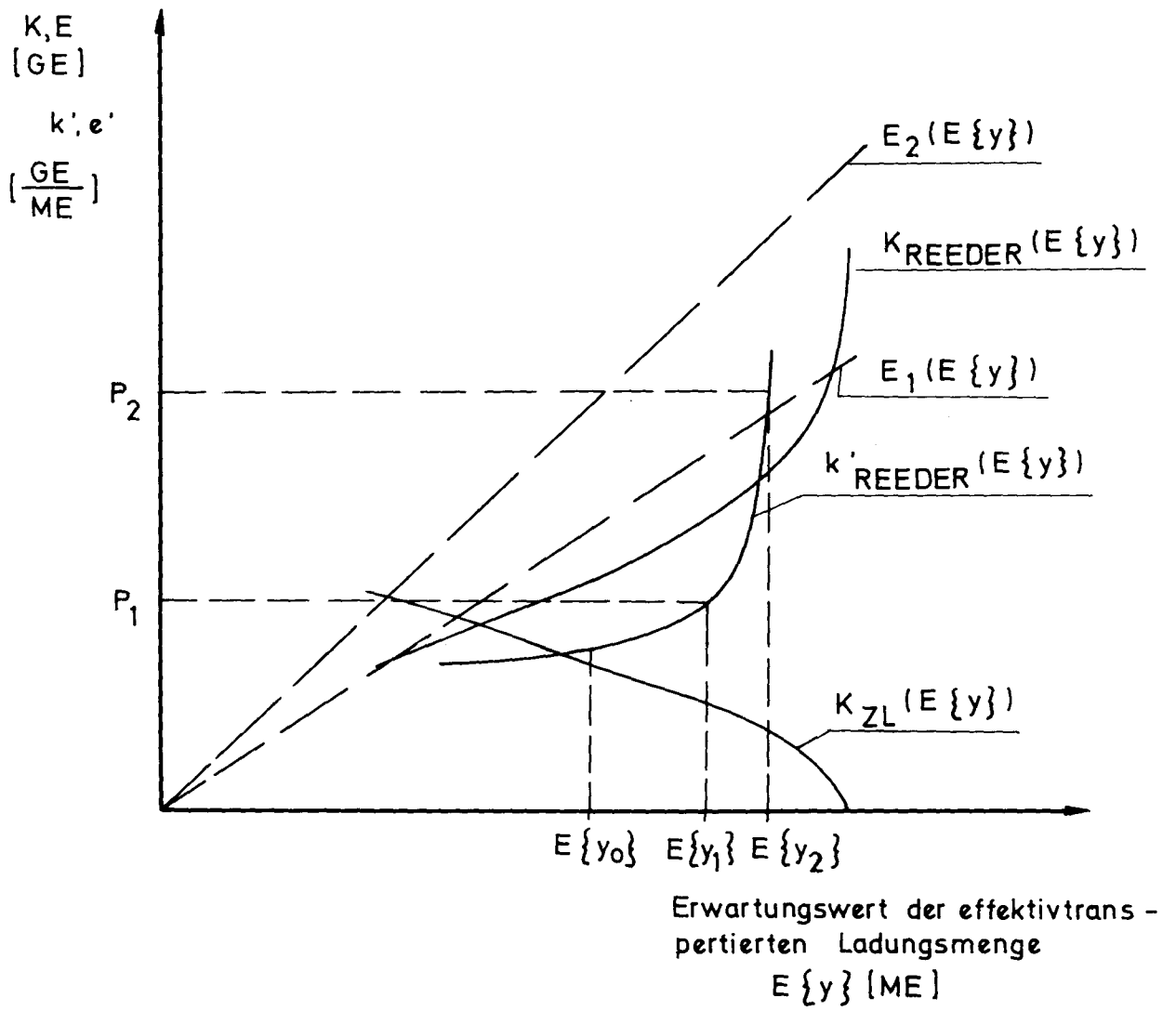


Bild 14.3

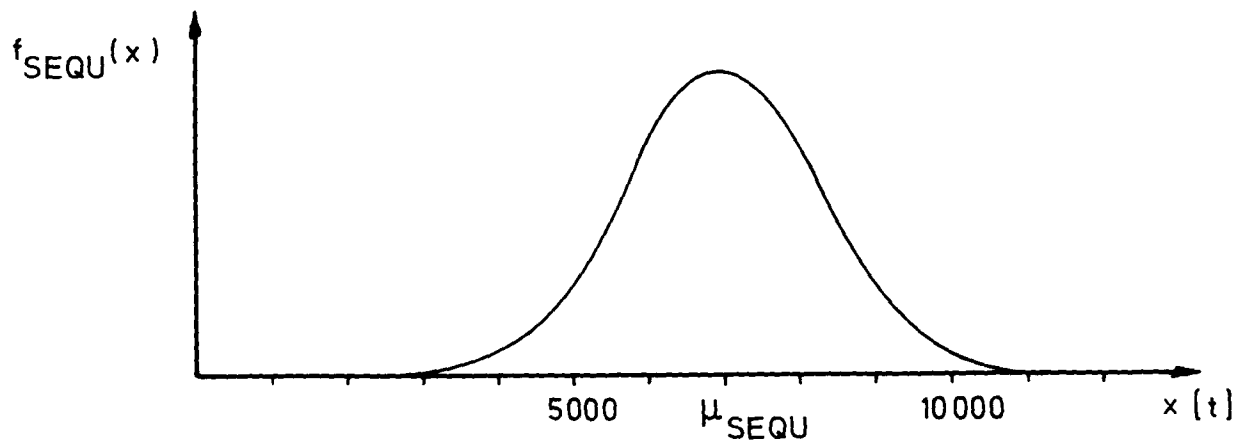


Bild 15.1

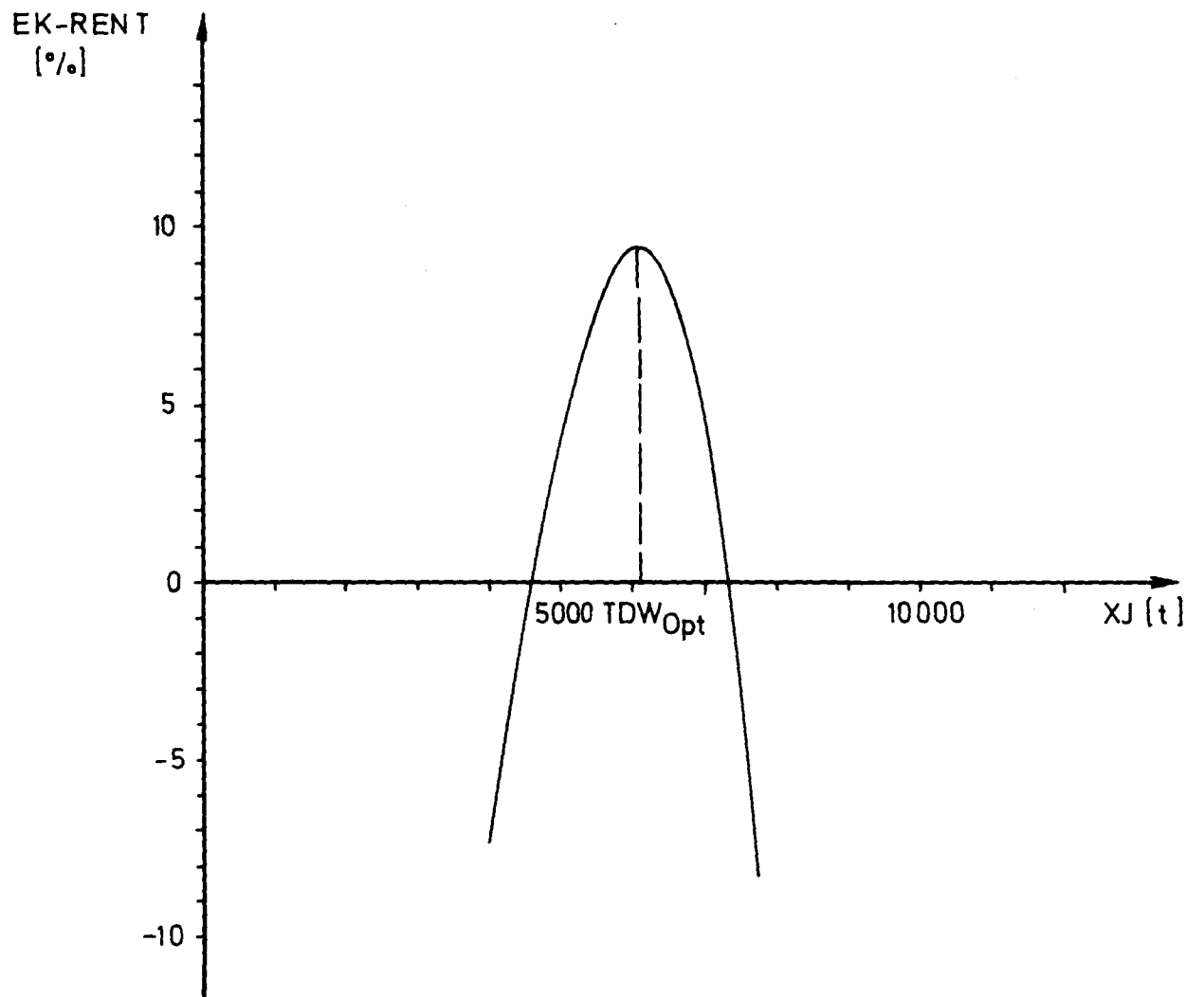


Bild 15.2

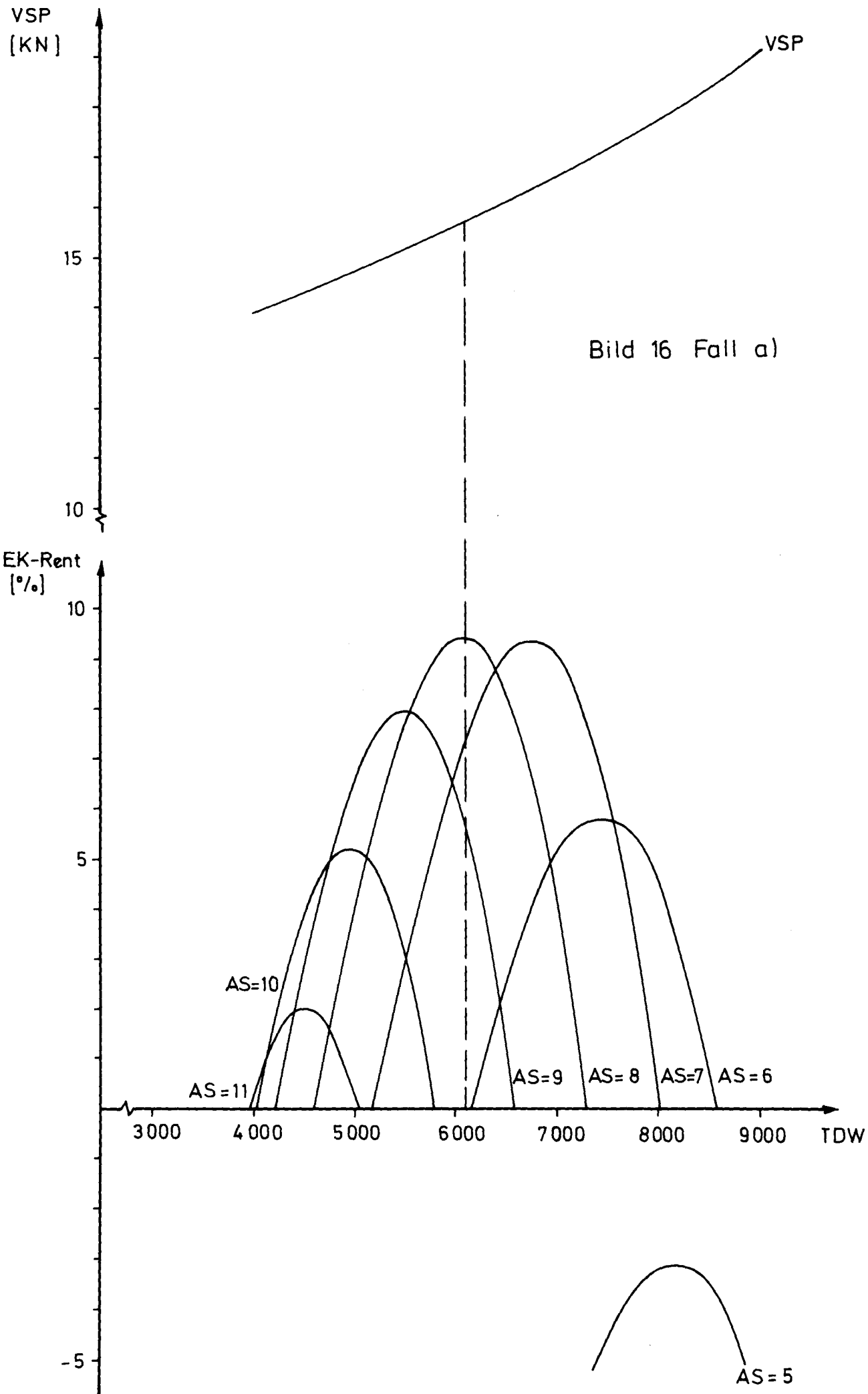


Bild 16 Fall a)

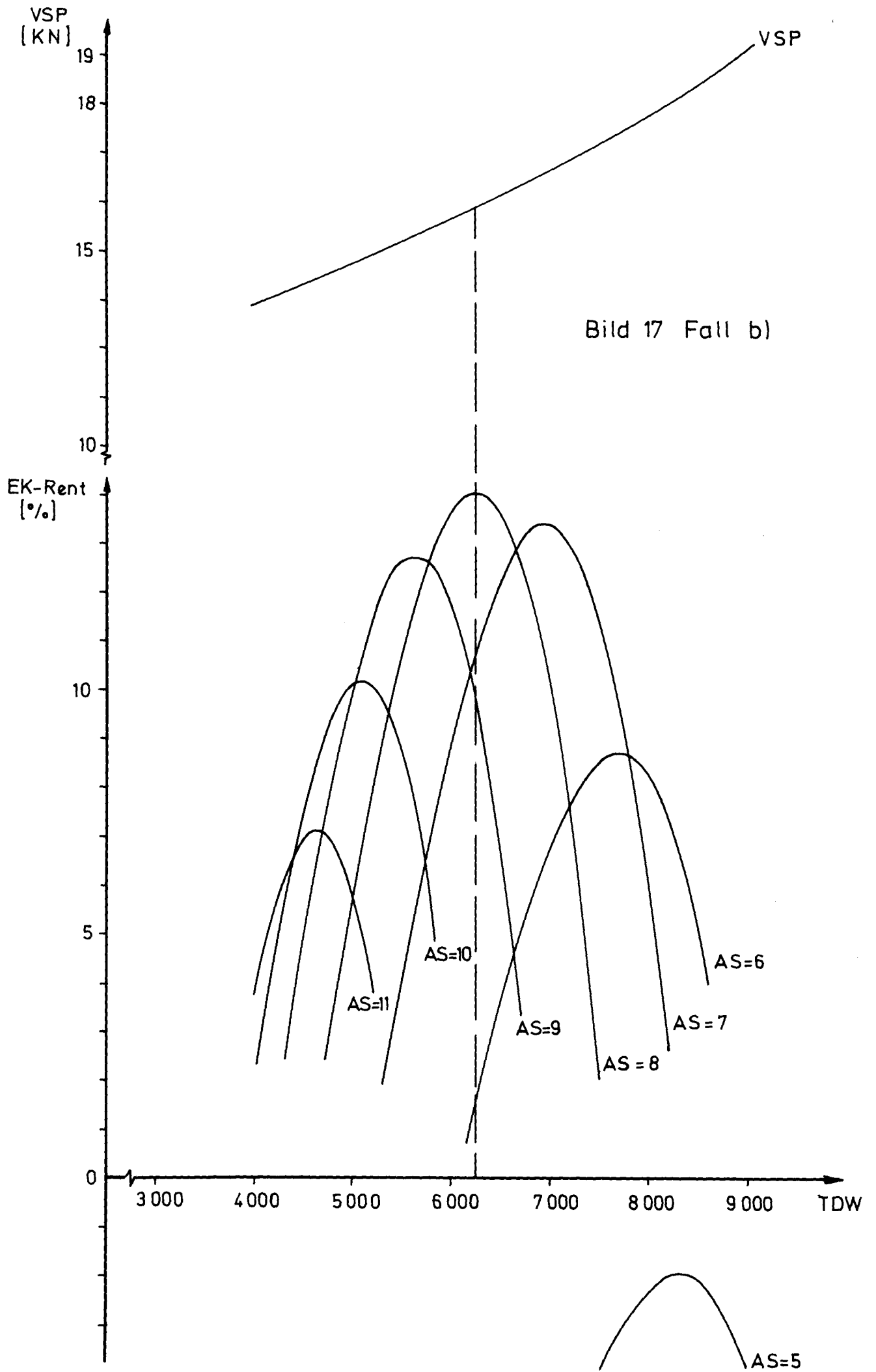


Bild 17 Fall b)

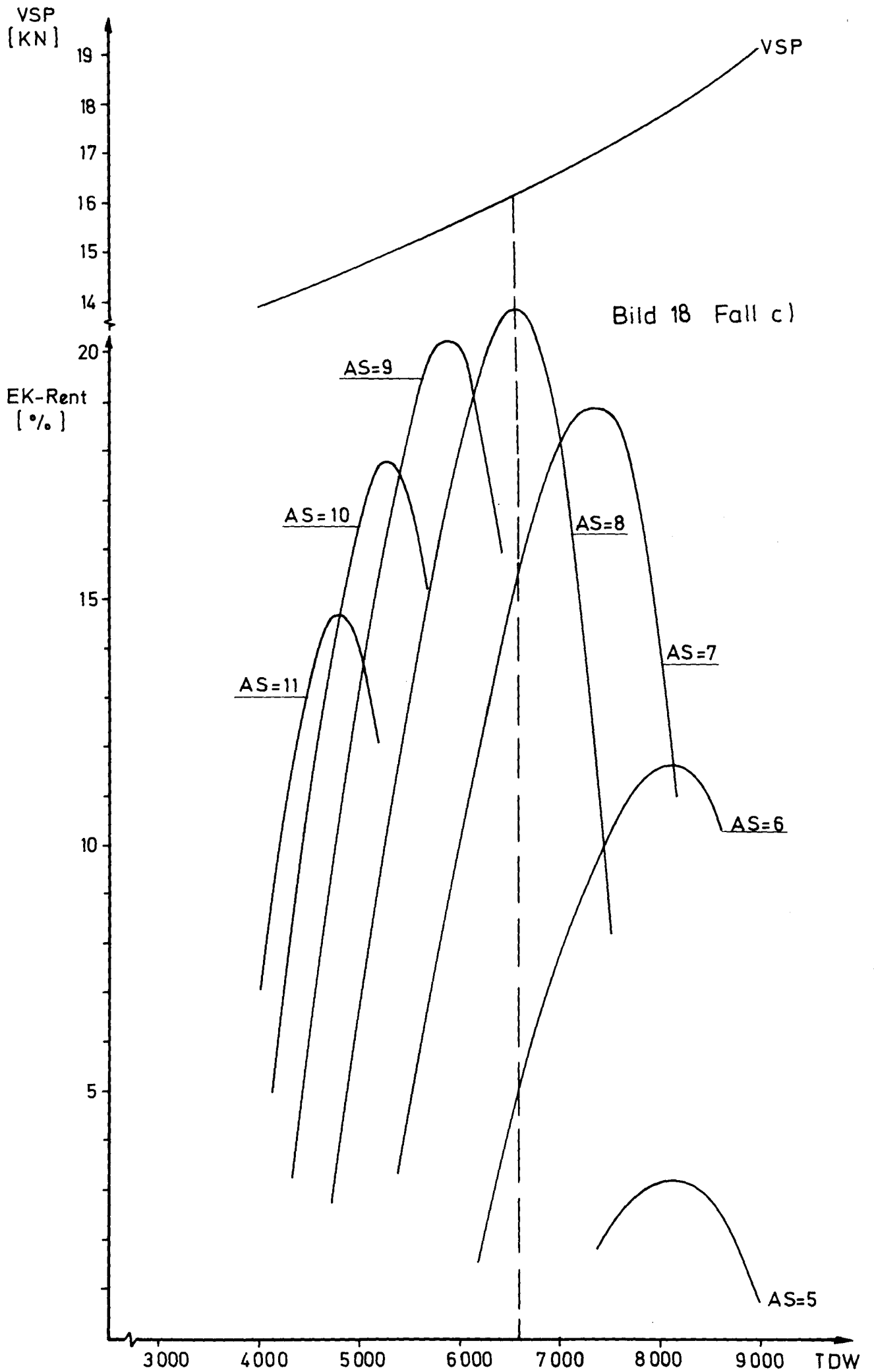


Bild 18 Fall c)

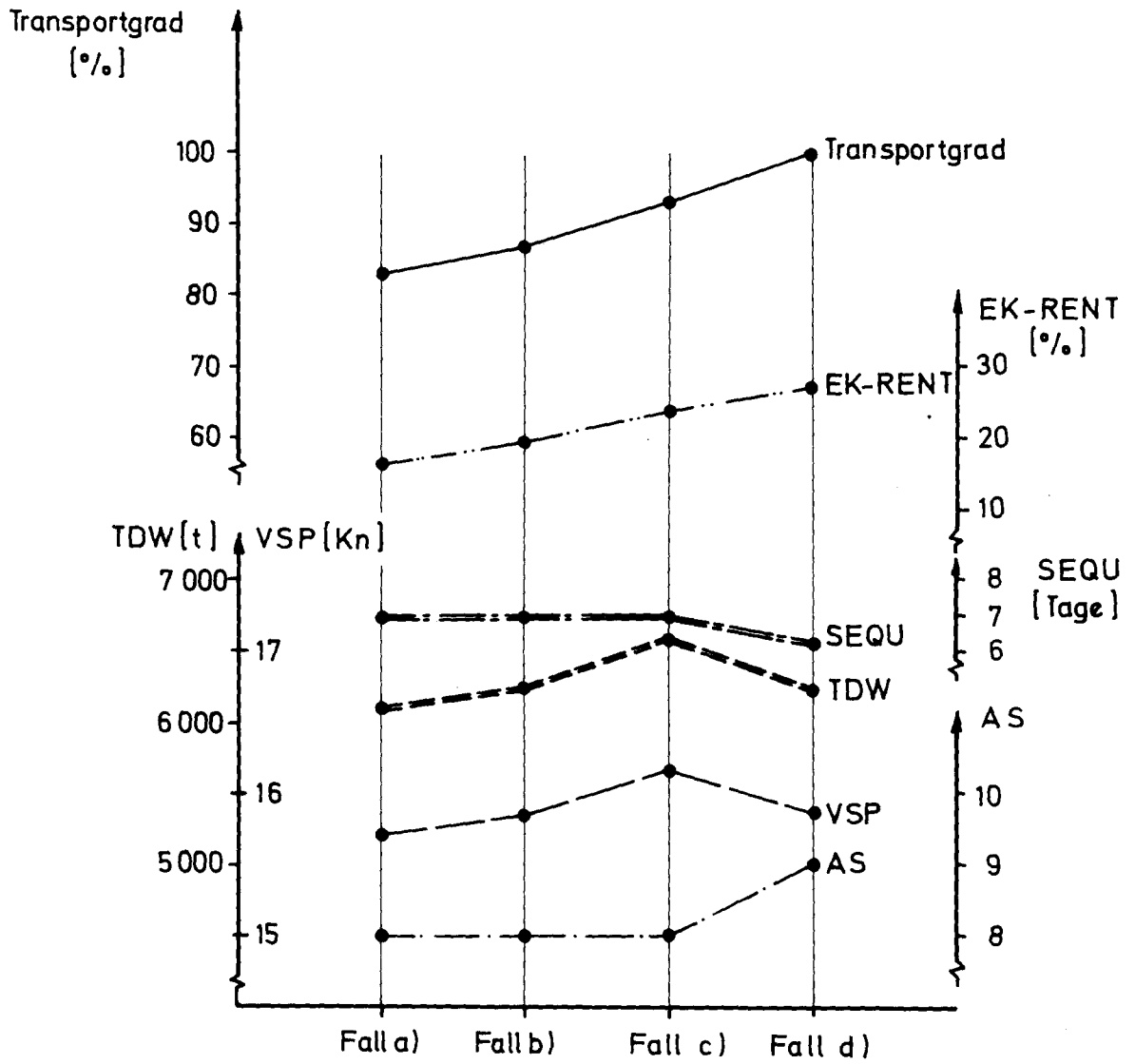


Bild 19

Anhang

## A Das Rechenprogramm

Das Rechenprogramm für das Modell eines Liniendienstes ist im Anhang beigelegt. Es ist in der Programmiersprache FORTRAN geschrieben und besteht aus einem Rahmenprogramm FNOLA sowie den beiden Unterprogrammen ENFRA und DIFUL.

### A 1 Das Rahmenprogramm FNOLA

Das Rahmenprogramm FNOLA beginnt mit dem Einlesen folgender Daten:

AS = Anzahl der Schiffe  
MAS = Anzahl der Kombinationsmöglichkeiten AS/SEQU  
SMU = Mittelwert der Ladungsmengen pro Tag  
SEQU = Der Anzahl der Schiffe entsprechende Intervalllänge  
TDWU = Untergrenze des Variationsbereichs für die Tragfähigkeit  
TDWO = Obergrenze des Variationsbereichs für die Tragfähigkeit

Danach werden Mittelwert und Standardabweichung für die eingelesenen Intervalllängen berechnet und zur Kontrolle mit dem Variationskoeffizienten und den Grenzen des Tragfähigkeitsbereichs ausgegeben. Es folgen darauf die fest eingegebenen ökonomischen Daten und eine Einteilung des Tragfähigkeitsbereichs in äquidistante Intervalle.

Anschließend beginnt das Programm mit der ersten Kombination der Entscheidungsparameter:

## II

- Die unterste Intervallgrenze des Tragfähigkeitsintervalls wird als erster Tragfähigkeitswert genommen.
- Berechnung einer der Tragfähigkeit entsprechenden mittleren Umschlagszeit für eine Halbreise.
- Berechnung der notwendigen Dienstgeschwindigkeit
- Rufen des Entwurfsprogramms ENFRA.
  - INPUT: Dienstgeschwindigkeit und Tragfähigkeit
  - OUTPUT: Alle für die Erlös- und Kostenrechnung benötigten Entwurfswerte.
- Berechnen der statistischen Größen
  - Festlegen der Ladekapazität  $XI = TDW$
  - Festlegen eines bestimmten Mittelwertes  $MW$
  - Festlegen einer bestimmten Standardabweichung  $SIGM$
- Rufen des Unterprogramms DIFUL
  - INPUT:  $XI, MW, SIGM$
  - OUTPUT: Numerisch berechneter Wert  $F(XI)$  einer Normalverteilung mit  $MW$  und  $SIGM$ .
- Berechnung des Wertes  $f(XI)$  einer Normalverteilung mit  $MW$  und  $SIGM$ .
- Berechnung der Einzelkosten entsprechend der Kostenfunktion
- Berechnung der Erlöse entsprechend der Kostenfunktion
- Ausgabe einer Gewinn- und Verlustrechnung der Flotte für die Periode eines Jahres

Danach beginnt das Programm den Durchlauf für den nächsten Tragfähigkeitswert, bis die der Tragfähigkeitsobergrenze entsprechende Tragfähigkeit abgearbeitet ist. Damit ist die erste Kombination AS/SEQU mit neun Variationen für  $XI$  durchgerechnet.

Anschließend wiederholt sich obiger Ablauf für die

### III

folgenden Kombinationen AS/SEQU.

#### A 2 Das Unterprogramm ENFRA

Eingabe dieses Entwurfsprogramms (1) sind Tragfähigkeit und notwendige Dienstgeschwindigkeit eines Stückgutschiffes. Mit den angegebenen Werten beginnt folgender Durchlauf:

- Berechnung der Probefahrtsgeschwindigkeit
- Berechnung des Rauminhaltes für Ladung
- Berechnung der Länge zwischen den Loten<sup>+</sup>)
- Berechnung der Länge über Alles
- Berechnung der Breite auf Spanten
- Berechnung der Froude-Zahl
- Berechnung des Blockkoeffizients
- Berechnung des Produkts Länge<sub>pp</sub> x Breite x Tiefgang
- Berechnung des Displacements
- Berechnung der installierten Maschinenleistung
- Berechnung des Schiffsgewichts
- Berechnung einer "mittleren" Maschinenleistung und Korrektur der Maschinenraumlänge für abweichende Leistung
- Vergleich der berechneten Tragfähigkeit mit der geforderten Tragfähigkeit
- Änderung des Rauminhalts bei abweichender Tragfähigkeit und Wiederholung des Durchlaufs ab<sup>+</sup>)
- Berechnung der mittleren Leistungsaufnahme unter Dienstbedingungen
- Berechnung des Produkts Länge<sub>pp</sub> x Breite x Seitenhöhe
- Berechnung der Seitenhöhe
- Berechnung des Freibords für Typ B
- Vergleich der Seitenhöhe und Korrektur
- Berechnung der tatsächlichen Räume

## IV

- Berechnung des Baupreises
- Berechnung der Bruttovermessung
- Berechnung der Besatzungsstärke
- Berechnung der Koeffizienten der Leistungsfunktion für Teilbeladung
- Berechnung einer Mindestbeladung (Ballast) und Mindestleistungsaufnahme
- Ausgabe der Entwurfswerte

Da das Programm nur in einem bestimmten Tragfähigkeits-/ Geschwindigkeitsbereich zulässig ist, sind im Programm Schranken vorhanden.

### A 3 Das Unterprogramm DIFUL

Eingabedaten dieses Programms sind Mittelwert MW und Standardabweichung SIGM einer Normalverteilung sowie der Wert XI. Das Programm berechnet die Werte  $f(X)$ , beginnend an der Stelle  $X = MW - 4 \cdot SIGM$ . Der Bereich zwischen diesem X-Wert und XI wird in tausend äquidistante Intervalle geteilt. An jeder Intervallgrenze ermittelt das Programm den entsprechenden Wert  $f(X)$ , multipliziert ihn mit der Intervallbreite und addiert diese Produkte in einem Speicher auf, bis es die Bereichsgrenze XI erreicht. Die Summe des Speichers entspricht dann mit sehr guter Näherung dem Wert  $F(XI)$ .

Für den nächsten größeren Wert von XI wird der Bereich zwischen dem vorhergehenden XI-Wert und dem neuen XI-Wert wieder in tausend äquidistante Intervalle geteilt. Obiges Verfahren wiederholt sich, die neue Produktsumme wird zu der alten Summe addiert und liefert den neuen  $F(XI)$  entsprechenden Speicherwert als Output.

## B Der funktionale Zusammenhang zwischen Dienst- und Probefahrtsgeschwindigkeit

Für die Berechnung der Schiffsgeschwindigkeit unter Dienstbedingungen kann man ein vorhandenes Programmsystem (13) benutzen, das jedoch umfangreiche Rechenzeit benötigt. Im Programm ENFRA ist die Eingangsgrösse des Schiffsentwurfs die Dienstgeschwindigkeit, aus der die Probefahrtsgeschwindigkeit ermittelt werden muss. Dies wäre mit obigem Programmsystem nur iterativ möglich; wegen der zu erwartenden Rechenzeit für die Berechnung der Dienstgeschwindigkeit aus alternativen Probefahrtsgeschwindigkeiten, Schiffsgemetrien und Widerstandskurven musste davon Abstand genommen werden.

Für die vorliegende Arbeit eignete sich jedoch ein Regressionsmodell, mit dem die Probefahrtsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Dienstgeschwindigkeit und Tragfähigkeit ermittelt wird. Zu diesem Zweck wurden aus dem zulässigen Probefahrtsgeschwindigkeits-/Tragfähigkeitsbereich zwölf Schiffe ausgewählt und ihre Dienstgeschwindigkeit mit dem Programmsystem berechnet.

Folgende Fläche nähert die erhaltenen Ergebnisse an:

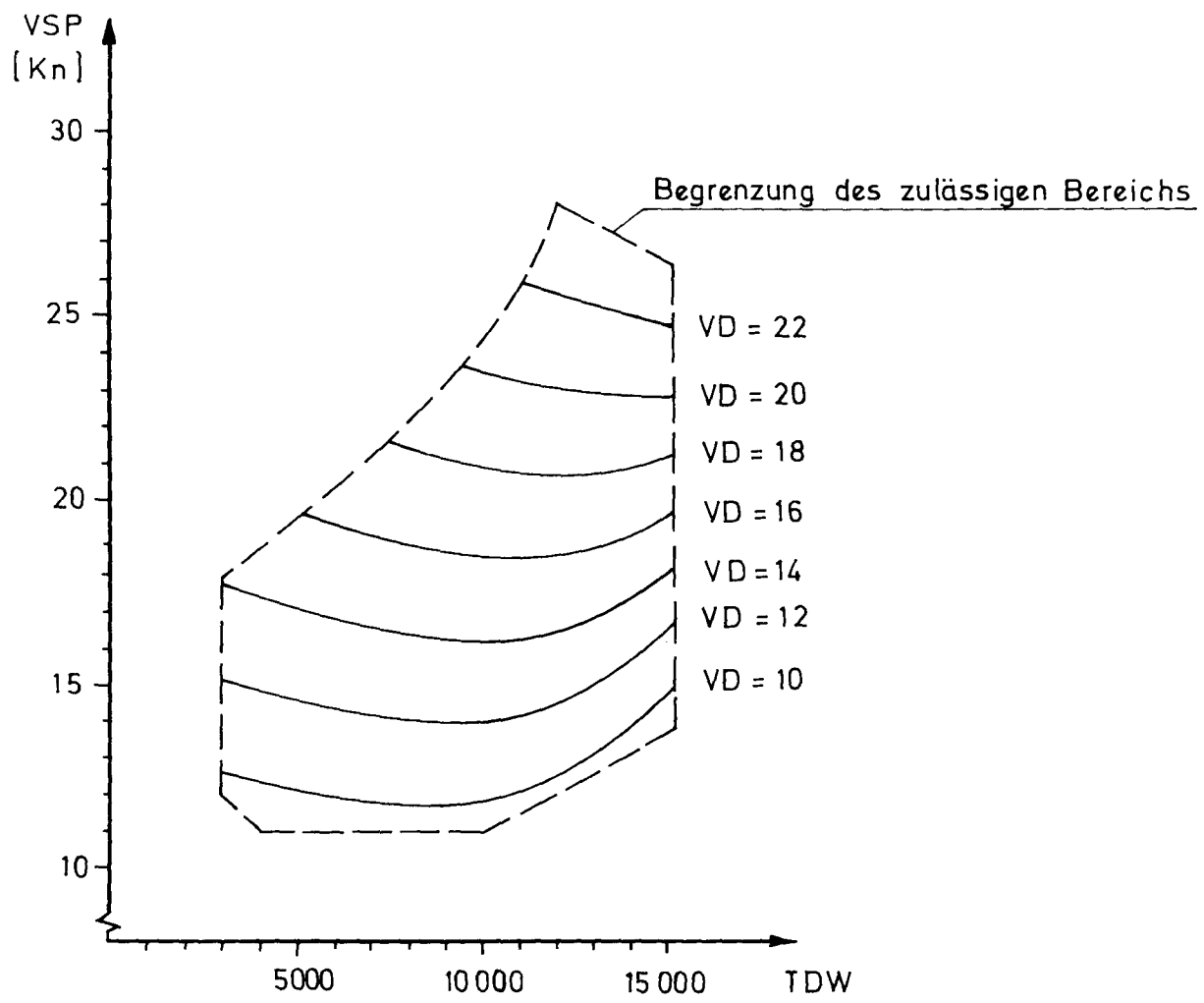
$$\hat{V}_{SP} = A \cdot VD + B \cdot VD \cdot TDW^2 + C \cdot VD \cdot TDW^3 + D \cdot VD^2 \cdot TDW^2 + E \cdot VD^2 \cdot TDW^3 + F \cdot VD^3 + G \cdot VD^3 \cdot TDW^2$$

Die Koeffizienten wurden nach dem Prinzip der kleinsten Fehlerquadrate berechnet

$$\sum (V_{SP} - \hat{V}_{SP})^2 \longrightarrow \min$$

sie können dem Programm ENFRA entnommen werden.

Eine ähnliche Regression wurde auch für die Ermittlung einer mittleren Leistungsaufnahme unter Dienstbedingungen vorgenommen.



Ergebnisse der Regression  $VD = f(VSP, TDW)$

0784#SB5030 SCHNETTELNDREYER

FNOLA

HH1 HAMBURG

24.11.75 1630

LAUF 281, RESTZEIT 41 MINUTEN

AUFTRAG 0784 24.11.75 19:31 163011 (0025.31) 0.07

DBIBANMELDE, BIBLIOTHEK=SB, TRAEGER=LEF, PROTOKOLL=M0

START PS&BIBTRANS (13.03)

MONTAGEOBJEKTE IN BIBLIOTHEK SB

DASHL	GELG	LABEL	MAMU	GMPRD
MINV	NUMB	RECT	REFLX	SAUF
SMOCT	SYMB	VCPY		

ENDE PS&BIBTRANS (13.03) 0.16

DUEBERSETZE, P.=-STD-, QUELLE=/FREMDSTRING

START PS&FTNCOMP (72.16)

M0 STDHP WURDE ERZEUGT

ANFANG PROTOKOLL

```
000010 C
000020 C FLOTTE IM LINIENDIENST MIT NORMALVERTEILTEM LADUNGS-AUFKOMMEN
000030 C
000040 DIMENSION SEQU(9),DMUE(9),SIGMA(9),TDWU(9),TDWD(9),VARKO(9)
000050 C
000060 REAL KDS,KHS,KLS,KT,KUS,KVS,KB
000070 REAL LBH,KFIX,KLHS,MUEA,MW,ND,NI
000080 C
000090 READ (5,40) AS,MAS,SMU
000100 READ(5,41) (SEQU(N),N=1,MAS)
000110 READ(5,43) (VARKO(N),N=1,MAS)
000120 READ(5,44) (TDWU(N),N=1,MAS)
000130 READ(5,45) (TDWD(N),N=1,MAS)
000140 C
000150 40 FORMAT(F3.0,I1,F5.0,/)
000160 41 FORMAT(9(F4.1,))//
000170 43 FORMAT(9(F5.4,))//
000180 44 FORMAT(9(F6.0,))//
000190 45 FORMAT(9(F6.0,))//
000200 C
000210 DO 5 I=1,9
000220 DMUE(I)=SMU*SEQU(I)
000230 SIGMA(I)=VARKO(I)*DMUE(I)
000240 5 CONTINUE
000250 C
000260 WRITE(6,3) (DMUE(N),N=1,MAS),(SIGMA(N),N=1,MAS)
000270 3 FORMAT(1H1,'MITTELWERT',1H,X,9(F6.0,3X))//,1H,'STAND.ABWEICHUNG'
000280 1/,1H,9(F7.0,2X)//)
000290 WRITE(6,6) (VARKO(N),N=1,MAS)
000300 6 FORMAT(1H,'VARIATIONSKOEFFIZIENT',1H,3X,9(F5.4,4X)//)
000310 WRITE(6,4) (TDWU(N),N=1,MAS),(TDWD(N),N=1,MAS)
000320 4 FORMAT(1H,'UNTERE TRAGFAEHIGKEITSGRENZE',1H,X,9(F6.0,3X))//,1H
000330 1'OBERE TRAGFAEHIGKEITSGRENZE',1H,X,9(F6.0,3X)//)
000340 C
000350 C AS=ANZAHL DER SCHIFFE
000360 C SEQU=ABFAHRTSINTERVALL
```

```

000370 C      ÖKONOMISCHE DATEN
000380 C      DIST=ENTFERNUNG ZWISCHEN ZWEI HAEFEN
000390      DIST=5000.
000400 C      EK=EIGENKAPITAL
000410      EK=20000000.
000420 C      FRATE=FRACHTRATE PRO TONNE UND RFISE
000430      FRATE=60.
000440 C      FKZ=FREMDKAPITALZINSSATZ
000450      FKZ=.075
000460 C      KDS=DISPOSITIONSKOSTENSATZ
000470      KDS=.00338
000480 C      KHS=HAFFENKOSTENSATZ IN DM PRO BRT
000490      KHS=1.2
000500 C      KLS=LOHNKOSTENSATZ
000510      KLS=30.E03
000520 C      KT=TREIBSTOFFKOSTEN DM PRO TONNE
000530      KT=180.
000540 C      KVS=VERSICHERUNGSKOSTENSATZ
000550      KVS=1.4E-02
000560 C      RF=RESERVEFAKTOR BORDPERSONAL
000570      RF=4./3.
000580 C      SBV=SPZ. BRENNSTOFFVERBRAUCH
000590      SBV=175.E-06
000600 C      TA=ABSCHREIBUNGSZEIT
000610      TA=12.
000620 C      WL=WERT DER LADUNG
000630      WL=8000.
000640 C      HM=ANZAHL DER HAEFEN
000650      HM=5.
000660 C
000670 C      AUSWAHL VON SCHIFFEN ALTERNATIVER TRAGFAEHIGKEIT
000680      DO 1 N=1,MAS
000690      IF(DMUE(N).LT.100.) GO TO 1
000700      IZ=0
000710 C      AE=ANZAHL DER ENTWUERFE
000720 C      SE=STEIFERUNGSINTERVALL DER SCHIFFSGROESSE
000730      AE=8.
000740      SE=(TDWD(N)-TDWU(N))/AE
000750      DO 2 IS=1,9
000760      TDWDD=TDWU(N)-SE+SE*IS
000770      UT=(15.-.00045*TDWDD)*(1.25+.36E-03*TDWDD)
000780      VSD=(2.*DIST*UT)/(AS*SEQU(N)*UT*24.-4.*TDWDD)
000790      CALL ENFRA(TDWDD,VSD,TDW,VSP,BRT,ND,CREW,KB,ALPH,BET,GAMM,THL,TDW
000800      1,NI,UGP)
000810 C      TDWDD=TRAGFAEHIGKEIT INPUT
000820 C      TDW =TRAGFAEHIGKEIT OUTPUT
000830 C      VSD= DIENSTGESCHWINDIGKEIT
000840 C      VSP= PROBEFAHRTSGESCHWINDIGKEIT
000850 C      BRT=BRUTTOVERMESSUNG
000860 C      ND= MITTLERER LEISTUNGSBEDARF UNTER DIENSTBEDINGUNGEN
000870 C      CREW= BESATZUNGSSTAERKE
000880 C      KB= BAUKOSTEN
000890 C      ALPH  KOEFFIZIENTEN DER LEISTUNGSFUNKTION
000900 C      BET   NEFO=ALPH + BET*LAB + GAMM*LAB*LAB
000910 C      GAMM  LAB= AN BORD BEFINDLICHE LADUNGSMENGE
000920 C      THL= LAENGE*BREITF*HOEHE
000930 C      TDWDD= NOTWENDIGE MINDESTLADUNG ODER BALLAST
000940      IF(UGP) 37,37,38
000950      37 GO TO 24
000960      38 CONTINUE
000970 C
000980 C      BERECHNUNG DER STATISTISCHEN GROESSEN

```

```

000990      XI=TDW
001000      MW=DMUE(N)
001010      SIGM=SIGMA(N)
001020      IZ=IZ+1
001030      CALL DIFUL(IZ,XI,MW,SIGM,F)
001040      A=ALPH
001050      B=BET
001060      C=-GAMM
001070      KB=1.E06*KB
001080      C      FHA=HAEUFIGK LADUNG A
001090      FHA=F
001100      C      MUEA=MITTELWERT LADUNG A
001110      MUEA=DMUF(N)
001120      C      SIGA= STANDARDABW LADUNG A
001130      SIGA=SIGMA(N)
001140      C      QMA= QUADRATISCHER MITTELWERT LADUNG A
001150      QMA=MUEA*MUEA
001160      C      VARA= VARIANZ LADUNG A
001170      VARA=SIGA*SIGA
001180      C      FDA= DICHTE LADUNG A
001190      ALPHA=SIGA*SQRT(2.*3.1416)
001200      BETA=((XI-MUEA)/SIGA)
001210      BETA=BETA*BETA
001220      FDA=(1./ALPHA)*EXP(-.5*BETA)
001230      C
001240      C      BERECHNUNG DER KONSTANTEN
001250      C
001260      C      CZL=KONSTANTE FUER ZURUECKGELASSENE LADUNG
001270      CZL=((WL*FKZ*SEQU(N))/365.)
001280      C      CT=TREIBSTOFFKOSTENKONSTANTE
001290      CT=SBV*KT*DIST/VSD
001300      C      FFK= FLOTTENFAKTOR
001310      FFK=730./((SEQU(N)*AS)
001320      C      CCH= HAFENKOSTEN
001330      CCH=KHS*RRT*HM
001340      C      CCL= LOHNNKOSTEN
001350      CCL=CREW*RF*KLS/FFK
001360      C      CCIR= INSTANDH. U. REPAR,KOSTEN
001370      CCIR=(2.*THL+8.*NI)/FFK
001380      C      CCV= VERSICHERUNGSKOSTEN
001390      CCV= KB*KVS/FFK
001400      C      CCD=DISPOSITIONSKOSTEN
001410      CCD=KB*KDS/FFK
001420      C      FRKAP=NOTWENDIGES FREMDKAPITAL PRO SCHIFF
001430      FRKAP=KB-(EK/AS)
001440      C      CCKD= KAPITALDIENST
001450      CCKD=((FRKAP*FKZ*((1.+FKZ)**TA))/(((1.+FKZ)**TA)-1.))/FFK
001460      C      AE=ABSCHREIBUNGSANTEIL FUER EK
001470      AE=((EK/AS)/TA)/FFK
001480      C      CCT=TREIBSTOFFKOSTEN
001490      CCT=CT*(A*FHA+B*(FHA*MUEA-FDA*VARA))+C*((FHA*(VARA+QMA))-(FDA*VARA/
001500      I(MUEA+XI)))+ND*(1.-FHA))
001510      C      CCZL=AUSFALLKOSTEN
001520      CCZL=CZL*((1.-FHA)*(MUEA-XI)+(VARA*FDA))
001530      C      TMEF= EFFEKTIV TRANSP.LADUNGSMENGE
001540      TMEF=(MUEA-XI)*FHA-VARA*FDA+XI
001550      C      FMEF= EFFEKTIV TRANSPORTIERTE MENGE DER FLOTTE
001560      FMEF=TMEF*FFK*AS
001570      ERLFL=FMEF*FRATE
001580      C      FKT=TREIBSTOFFKOSTEN DER FLOTTE
001590      FKT=CCT*FFK*AS
001600      C      FKA=AUSFALLKOSTEN

```

```

003380 991 WRITE(6,61) TDWC,VSP
003390 61 FORMAT(1H,'TDWC=',E12.6,2X,'VSP=',E12.6,2X,'RS ZU GROSS')
003400 UGP=UGP-1.
003410 GO TO 14
003420 992 WRITE(6,62) TDWC,VSP
003430 62 FORMAT(1H,'TDWC=',E12.6,2X,'VSP=',E12.6,2X,'PPL ZU GROSS')
003440 UGP=UGP-1.
003450 GO TO 14
003460 993 WRITE(6,63) TDWC,VSP
003470 63 FORMAT(1H,'TDWC=',E12.6,2X,'VSP=',E12.6,2X,'DEPLA ZU GROSS')
003480 UGP=UGP-1.
003490 GO TO 14
003500 994 WRITE(6,64) TDWC,VSP
003510 64 FORMAT(1H,'TDWC=',E12.6,2X,'VSP=',E12.6,2X,'DEPLA ZU KLEIN')
003520 UGP=UGP-1.
003530 GO TO 14
003540 995 WRITE(6,65) TDWC,VSP
003550 65 FORMAT(1H,'TDWC=',E12.6,2X,'VSP=',E12.6,2X,'NI ZU KLEIN')
003560 UGP=UGP-1.
003570 GO TO 14
003580 999 WRITE(6,19) TDWC,VSP
003590 19 FORMAT(1H,'TDWC=',E12.6,2X,'VSP=',E12.6,2X,'AUSSE RH.GELTBER')
003600 UGP=UGP-1.
003610 14 CONTINUE
003620 RETURN
003630 END

```

ENDE PROTOKOLL

UEBERSETZUNG FEHLERFREI

ENDE PS&FTNCOMP (72.16) 1.86

START PS&FTNCOMP (72.16)

MD DIFUL WURDE ERZEUGT

ANFANG PROTOKOLL

```

003640 C
003650 SUBROUTINE DIFUL(IZ,XI,MW,SIGM,F)
003660 REAL MW
003670 IF(IZ-1.5) 1,3,3
003680 1 Z=SIGM*SQRT(6.2832)
003690 D1=ABS((XI-(MW-(4.*SIGM)))/1000.)
003700 F=0.
003710 DO 2 M1=1,1000
003720 X=(MW-(4.*SIGM))-(D1/2.)+(D1*M1)
003730 A=((X-MW)/SIGM)
003740 A=A*A
003750 FD=(1./Z)*EXP(-.5*A)
003760 F=F+D1*FD
003770 2 CONTINUE
003780 XIF=XI
003790 GO TO 5
003800 3 D2=ABS(XI-XIF)/1000.
003810 DO 4 M2=1,1000
003820 X=XIF-(D2/2.)+D2*M2
003830 A=((X-MW)/SIGM)
003840 A=A*A
003850 FD=(1./Z)*EXP(-.5*A)
003860 F=F+D2*FD
003870 4 CONTINUE
003880 XIF=XI
003890 5 RETURN
003900 END

```

RAUMINHALT = 395791.CFT  
 RAEUMLICHKEIT = 63.70CFT/TONNE  
 LAENGE UEBER ALLES = 124.67METER  
 LAENGE ZW.D.LIENEN = 114.37METER  
 BREITEN = 17.59METER  
 HOEHE BIS 1.DECK = 11.02METER  
 FREI DECKERTIEFGANG = 6.83METER  
 TRAGFAEHIGKEIT = 6209.TONNEN  
 DEPLACEMENT = 9587.TONNEN  
 GEWICHT D. SCHIFFES = 3378.TONNEN  
 BLOCKKOEFFIZ. (LPP) = 0.70  
 VERMESSUNG = 3894.BRT  
 ANTRIEBSLEISTUNG = 5912.PS  
 GESCHWINDIGKEIT = 15.80KN  
 BESATZUNG = 28.PERSONEN  
 BALKOSTEN = 14.747MIO.DM

=====  
 GESCHW.DIENST = 13.15KN  
 LEISTUNG DIENST = 4303.PS  
 MINDESTZULADUNG = 1416.TONNEN  
 ENTSPR. LEISTUNG = 3268.PS  
 =====

## LEISTUNGSFUNKTION

NEF = 0.277633E+04 + 0.377427E+00\*LAB - 0.212753E-04\*(LAB\*2)

## GEWINN-U.VERLUSTRECHNUNG DER FLOTTE

ERLOESE	37763652.DMI	KAPITALDIENST	14332716.DM
		I DISPOSITIONSKOSTEN	398757.DM
		I VERSICHERUNGSKOSTEN	1651656.DM
		I INSTANDH.U.REP.KOSTEN	733317.DM
		I LOHNKOSTEN BORDPERSONAL	8897938.DM
		I HAFENARGABEN	2436269.DM
		I TREIRSTOFFKOSTEN	5345590.DM
		I AUSFALLKOSTEN	1157656.DM
		I	-----
		I GESAMTKOSTEN DER LINIE	34953900.DM
		I GEWINN	2809752.DM
		I EK-RENT=	14.05 PROZENT

ANZAHL DER SCHIFFE: 8  
 ABFAHRTSINTERVALL: 7.0

```

002760      IF (PPL-75.) 30,30,31
002770 C      DH=ZWISCHENDECKHOEHE
002780      30 DH=1.8
002790      GO TO 32
002800      31 IF (PPL-125.) 33,34,34
002810      33 DH=.01*PPL+1.05
002820      GO TO 32
002830      34 DH=2.3
002840      32 IF (PPL-122.) 35,36,36
002850      35 FBR=.00567567*PPL+.37757
002860 C      FBR=FREIBORDREDUKTION FUER DURCHLAUFENDES SCHUTZDECK
002870      GO TO 37
002880      36 FBR=1.07
002890 C      H1K=NOTWENDIGE SEITENHOEHE
002900      37 H1K=TFR+DH+FB-FBR
002910      IF (H1-H1K) 38,38,39
002920      38 H1=H1K
002930      39 RSC=RS+(DLMR*BS*H1)*35.31467*.9
002940      RA=RSC/TDW
002950      KBP=.125356E-04*VSP*TDW-.279435E-10*(VSP**2)*(TDW**2)
002960      1+.523945E-19*(VSP**3)*(TDW**3)-.174235E-14*VSP*(TDW**3)
002970      3+.180384E-07*(VSP**3)*TDW+.549018E-15*(VSP**2)*(TDW**3)
002980      4-.160545E-12*(VSP**3)*(TDW**2)
002990      KB=10.5*KBP
003000      BRT=308.9+.1616*THL
003010      CREW=18.+.001*(BRT+NI)
003020 C      LEISTUNGSFUNKTION NEF=ALPH+BET*LAB-(LAB**2)/GAM
003030 C      LAB=LADUNGSMENGE AN BORD IN TONNEN
003040      41 ALPH=(ND*.292503)+ND*1.16097*(DEPLA-TDW)/DEPLA
003050      1-ND*.454365*((DEPLA-TDW)/DEPLA)*((DEPLA-TDW)/DEPLA)
003060      BET=(ND*1.16097)/DEPLA-ND*.90873*(DEPLA-TDW)/(DEPLA*DEPLA)
003070      GAM=DEPLA*DEPLA/(ND*.454365)
003080      GAMM=1./GAM
003090      TDWD=TDW-DEPLA/2.
003100      IF (TDWD) 44,45,45
003110      44 TDWD=0.
003120      45 NEFD=ALPH+BET*TDWD-(TDWD/GAM)*TDWD
003130      11 WRITE(6,15) RSC,RA,0AL,PPL,BS,H1,TFR,TDW,DEPLA,GS,CB,BRT,NI,VSP
003140      15 FORMAT(1H1,'RAUMINHALT',10X,'=' ,F8.0,'CFT',/ ,1H , 'RAEUMTE',13X,
003150      1=' ,3X,F5.1,'CFT/TONNE',/ ,1H , 'LAENGE UEBER ALLES =',F 6.2,'ME
003160      2ER',/ ,1H , 'LAENGE ZW.D.LOTEN =',F 6.2,'METER',/ ,1H , 'BREITE',
003170      314X,'=' ,2X,F 6.2,'METER',/ ,1H , 'HOEHE BIS 1.DECK',4X,'=' ,F 6.2,
003180      4'METER',/ ,1H , 'FREIDECKERTIEFGANG =',2X,F 6.2,'METER',/ ,1H , 'TI
003190      5AGFAEHIGKEIT',6X,'=' ,F 6.0,'TONNEN',/ ,1H , 'DEPLACEMENT',9X,'=' ,
003200      6F 6.0,'TONNEN',/ ,1H , 'GEWICHT D. SCHIFFES =',F 6.0,'TONNEN',/ ,
003210      71H , 'BLOCKKOEFFIZ. (LPP) =',F 6.2,/ ,1H , 'VERMESSUNG',10X,
003220      8=' ,F 6.0,'BRT',/ ,1H , 'ANTRIEBSLEISTUNG',4X,'=' ,F 6.0,'PS',/ ,
003230      91H , 'GESCHWINDIGKEIT',5X,'=' ,3X,F 6.2,'KN',)
003240      WRITE(6,55) CREW,KB,VSD,ND,TDWD,NEFD,ALPH,BET,GAMM
003250      55 FORMAT(1H , 'BESATZUNG',11X,'=' ,4X,F4.0,'PERSONEN',/ ,1H , 'BAUKOST
003260      1N',11X,'=' ,F 6.3,'MIO DM',/ ,1H ,42('=' ,),/ ,1H , 'GESCHW.DIENST',
003270      2X,'=' ,F 6.2,'KN',/ ,1H , 'LEISTUNG DIENST',5X,'=' ,F 6.0,'PS',/ ,1H ,
003280      3MINDESTZULADUNG',
003290      4 5X,'=' ,F 6.0,'TONNEN',/ ,1H , 'ENTSPR. LEISTUNG',4X,'=' ,F 6.0,
003300      5'PS',/ ,1H ,42('=' ,),/ ,1H , 'LEISTUNGSFUNKTION',/ ,1H , ' NEF =',
003310      6E12.6,' +',E12.6,'*LAB -',E12.6,'*(LAB*2)',////)
003320      UGP=UGP+1.
003330      GO TO 14
003340      990 WRITE(6,60) TDWC,VSP
003350      60 FORMAT(1H , 'TDWC=' ,E12.6,2X,'VSP=' ,E12.6,2X,'RS ZU KLEIN')
003360      UGP=UGP-1.
003370      GO TO 14

```

```

001610      FKA=CCZL*FFK*AS
001620      FKP=CCKN*FFK*AS+AE*FFK*AS
001630  C      FKD=DISPOSITIONSKOSTEN DER FLOTTE
001640      FKD=CCD*FFK*AS
001650  C      FKV=VERSICHERUNGSKOSTEN DER FLOTTE
001660      FKV=CCV*FFK*AS
001670  C      FKI=INSTANDH.- U. REP.KOSTEN DER FLOTTE
001680      FKI=CCIR*FFK*AS
001690  C      FKP=BORDPERSONALKOSTEN DER FLOTTE
001700      FKP=CCL*FFK*AS
001710  C      FKH=HAFFENKOSTEN DER FLOTTE
001720      FKH=CCH*FFK*AS
001730  C      FKG=GESAMTKOSTEN DES LINIENDIENSTES
001740      FKG=FKPD+FKD+FKV+FKI+FKP+FKH+FKT+FKA
001750      WRITE(6,21) ERLFL,FKPD,FKD,FKV,FKI,FKP,FKH,FKT,FKA,FKG
001760  21  FORMAT(1H,'GEWINN-U.VERLUSTRECHNUNG DER FLOTTE',/,1H,61(' '),/,
001770      11H,'ERLOSEF',X,F10.0,'DM','I',X,'KAPITALDIENST',14X,F10.0,'DM',/,
001780      21H,20X,'I',X,'DISPOSITIONSKOSTEN',9X,F10.0,'DM',/,1H,20X,'I',X,'
001790      3VERSICHERUNGSKOSTEN',8X,F10.0,'DM',/,1H,20X,'I',X,'INSTANDH.U.REP
001800      4.KOSTEN',6X,F10.0,'DM',/,1H,20X,'I',X,'LOHNKOSTEN BORDPERSONAL',4
001810      5X,F10.0,'DM',/,1H,20X,'I',X,'HAFFENABGABEN',15X,F10.0,'DM',/,1H,2
001820      60X,'I',X,'TREIBSTOFFKOSTEN',11X,F10.0,'DM',/,1H,20X,'I',X,'AUSFAL
001830      7LKOSTEN',14X,F10.0,'DM',/,1H,20X,'I',28X,10(' '),/,1H,20X,'I',
001840      8GESAMTKOSTEN DER LINIE',5X,F10.0,'DM',/,)
001850      DIEK=ERLFL-FKG
001860      IF(DIEK) 34,35,35
001870  34  VERL=-DIEK
001880      WRITE(6,22) VERL
001890  22  FORMAT(1H,'VERLUST',X,F10.0,'DM','I',/,1H,61(' '),/,)
001900      GO TO 24
001910  35  GEW=DIEK
001920      RENT=(GEW/EK)*100.
001930      WRITE(6,23) GEW,RENT
001940  23  FORMAT(1H,20X,'I','GEWINN',21X,F10.0,'DM',/,1H,61(' '),/,1H,20
001950      1X,'I','EK-RENT=',F6.2,' PROZENT',/,1H,61(' '),/,)
001960  24  IAS=AS
001970      WRITE(6,26) IAS,SEQU(N)
001980  26  FORMAT(1H,'ANZAHL DER SCHIFFE:',I2,/,1H,'ABFAHRTSINTERVALL:',F
001990      14.1,/)
002000      2  CONTINUE
002010      1  CONTINUE
002020      STOP
002030      END

```

ENDE PROTOKOLL

UEBERSETZUNG FEHLERFREI

ENDE PS&amp;FTNCOMP (72.16) 1.78

START PS&amp;FTNCOMP (72.16)

MIDENFRA WURDE ERZEUGT

ANFANG PROTOKOLL

```

002040  C
002050      SUBROUTINE ENFRA (TDW00,VSD,TDW,VSP,BRT,ND,CREW,KB,ALPH,BET,GAMM,
002060      1THL,TDW0,NI,UGP)
002070      REAL KB,KBP,NI,NMIN,NMAX,NEFD,NIM,LMR1,LMR2,ND
002080  C      UGP=UMSCHALTGRÖSSE BEI NICHTGENERIERTEM ENTWURF
002090      UGP=0.
002100      TDWC=TDW00
002110  C      VSD=DIENSTGESCHWINDIGKEIT
002120  C      VSP=PROBEFAHRTSGESCHWINDIGKEIT
002130      TDWC=TDWC*.001

```

```

002140      VSD=VSD*.1
002150      VSP=0.129141E+01*VSD-0.517279E-02*VSD*TDWC*TDWC+0.626710E-03*VSD*
002160      1DWC*TDWC*TDWC-0.465007E-03*VSD*VSD*TDWC*TDWC-0.258983E-03*VSD*VSD*
002170      2TDWC*TDWC*TDWC+0.947423E-03*VSD*VSD*VSD+0.947511E-03*VSD*VSD*VSD*
002180      3DWC*TDWC
002190      TDWC=TDWC*1000.
002200      VSD=VSD*10.
002210      VSP=VSP*10.
002220  C     RL=R AEUMTE IN CFT/TDW
002230      RL=65.
002240  C     RS=R AUMINHALT IN CFT
002250      RS=TDWC*RL
002260      RSD=RS
002270      GO TO 16
002280      6 RS=RS-100.
002290      IF (RSD-RS.GT.RSD/ 3.) GO TO 990
002300      GO TO 16
002310      7 RS=RS+100.
002320      IF (RS-RSD.GT.RSD/ 3.) GO TO 991
002330      16 PPL=75.94+.9763E-04*RS
002340      PAL=8.469+1.016*PPL
002350      IF (PPL-175.) 3,3,992
002360      3 BS=PPL/6.5
002370      FR=.5144*VSP/SQRT (PPL*9.81)
002380      CB=1.227-2.18*FR
002390  C     TBL=LPP*RS*TFREIDECKER
002400      8 TBL=-35.55-106.532*PPL+1.98422*PPL*PPL
002410      TFR=TBL/ (PPL*BS)
002420      DEPLA=TBL*CB
002430      1 IF (DEPLA-4500.) 994,2,2
002440      2 NI=4.86752*DEPLA*FR-.296623E-02*(DEPLA**2)*(FR**2)
002450      1-.377918E-07*(DEPLA**3)*(FR**3)-30.4686*DEPLA*(FR**3)+.742004E-08*
002460      2 (DEPLA**3)*FR+.0110049*(DEPLA**2)*(FR**3)-.143925E-07*(DEPLA**3)
002470      3*(FR**2)
002480      NMIN=11045.3-187.631*PPL+.974159*PPL*PPL
002490      IF (NI-NMIN) 995,5,5
002500  C     GS=SCHIFFSGEWICHT
002510      5 GS=.791696E-02*NI*PPL-.120057E-07*(NI**2)*(PPL**2)
002520      1-.28964E-19*(NI**3)*(PPL**3)-.489958E-08*NI*(PPL**3)
002530      2+.617007E-10*(NI**3)*PPL+.570094E-10*(NI**2)*(PPL**3)
002540      3-.326461E-12*(NI**3)*(PPL**2)
002550      NIM=3532.+0.061024*DEPLA+.0000302103*DEPLA*DEPLA
002560      LMR1=.000782*NIM+10.67
002570      LMR2=.000782*NI+10.67
002580      DLMR=LMR1-LMR2
002590      TDW=DEPLA-GS
002600      DTW=ABS (TDW-TDWC)
002610      IF (DTW-10.) 10,10,17
002620      17 IF (TDW-TDWC) 7,7,6
002630      10 TDW=TDW/1000.
002640      NI=NI/1000.
002650      ND=0.664560E+00*NI+0.401988E-02*NI*TDW*TDW-0.423987E-03*NI*TDW*TDW
002660      1*TDW-0.277514E-04*NI*NI*TDW*TDW+0.139416E-04*NI*NI*TDW*TDW*TDW-0.2
002670      260024E-05*NI*NI*NI-0.260005E-05*NI*NI*NI*TDW*TDW
002680      ND=ND*1000.
002690      NI=NI*1000.
002700      TDW=TDW*1000.
002710  C     THL=LPP*BS*H1
002720      THL=-3130.+0.06281*RSD
002730      H1=THL/ (PPL*RS)
002740  C     FB=FREIBORD FUER TYP B AUS TABELLE
002750      FB=.02088*PPL-.81

```