

244 | 1969

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

J. Bakenhus

# Untersuchungen über die optimale Tragfähigkeit und Räume von Linienschiffen

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 244

Untersuchungen über die optimale Tragfähigkeit  
und Räume von Linienschiffen.

von

J. Bakenhus

Hamburg 1969

## 1. Einleitung

Als Grundlage für den Entwurf eines Schiffes dienen im allgemeinen die Forderungen des Reeders. Diese bestehen in der Vorgabe bestimmter Größen, z.B. Tragfähigkeit, Räume (bzw. Art der befördernden Ladung), Geschwindigkeit, Aktionsradius (bzw. Route), Ausrüstung mit Ladegerät, Einrichtung, usw. Für Werften ist das Zustandekommen der Reedereiforderungen meist von untergeordneter Bedeutung; sie sind in erster Linie darum bemüht, ein Schiff zu bauen, das bei den geringsten Kosten für die Werft den Wünschen des Reeders und auch den geltenden und in Frage kommenden Vorschriften (GL, SBG, ISSV, usw.) genügt.

Man kann davon ausgehen, daß der Reeder seine Forderungen mit dem Ziel festgesetzt hat, ein möglichst wirtschaftliches Schiff zu erhalten. Bei der Festsetzung der Schiffsdaten stützt man sich auf Erfahrungen mit vergleichbaren vorhandenen oder auch schon außer Dienst gestellten Schiffen. Für sie kann man berechnen, wie groß ihr wirtschaftlicher Erfolg für die Reederei gewesen ist.

Der zukünftige wirtschaftliche Erfolg für ein neues Schiff läßt sich jedoch nicht angeben, da einige der Größen, die in die Wirtschaftlichkeitsrechnung eingehen, nicht determiniert sind, sondern zufälligen Schwankungen unterliegen. Wegen der Zufälligkeit bestimmter Größen und weil man offensichtlich keinen Zusammenhang sah zwischen diesen Zufallsgrößen, den verschiedenen Schiffsdaten und der Wirtschaftlichkeit, enthält die Entscheidung für ein bestimmtes Schiff auch subjektive, gefühlsmäßige Momente.

Es ist denkbar, daß die aufgrund subjektiver Ansichten festgesetzten Forderungen nicht immer zu dem wirtschaftlich günstigsten Schiff führen. Einige Ansätze von Krappinger zeigen, daß eine Verbesserung der Entscheidungsgrundlage möglich ist mit Hilfe von Methoden, die in der Unternehmensforschung entwickelt worden sind. Durch sie läßt sich der Zusammenhang zwischen den Zufallsgrößen, den festzusetzenden Schiffsdaten und der Wirtschaftlichkeit quantitativ erfassen.

Um diese Methoden anwenden zu können, muß eine Reihe von Ausgangsdaten bekannt sein:

Es muß zunächst ermittelt werden, unter welchen Umweltbedingungen das Schiff eingesetzt werden soll. Unter Umweltbedingungen sollen hier alle Gegebenheiten in der Welt verstanden werden, die ein Schiff auf seiner Reise antrifft und die einen Einfluß auf seine Wirtschaftlichkeit haben. Dazu gehören z.B. die Art des Dienstes (Linien- oder Trampfahrt), die Route, die angebotene Ladungsmenge, die Frachtraten, die Wetterverhältnisse usw. Eine Reihe dieser Umweltbedingungen sind zufällige Größen. Diese müssen durch ihre Verteilung beschrieben sein.

Neben allen Schiffsdaten müssen alle Kosten bekannt sein, die beim Einsatz des Schiffes entstehen. Während die Schiffsdaten determinierte Größen sind, ergeben sich für einige Kosten Verteilungen, z.B. für die Umschlagkosten und Treibstoffkosten. Dies ist leicht einzusehen, wenn man beachtet, daß diese Kosten von verteilten Umweltgrößen, z.B. der Ladungsmenge bzw. den Wetterverhältnissen abhängen.

b.) Auswahl von Schiffen und Schiffsumlauf

Für den Transport der unter a.) beschriebenen Ladung mit entsprechend Bild 1a - 5a verteilten Gewichten und einer Staukoeffizientenverteilung gemäß Bild 7a kommen schätzungsweise Schiffe in Frage, deren Tragfähigkeit im Bereich von 5000 - 9000 t liegt und deren Räumte etwa 1.7 - 2.3 m<sup>3</sup>/t beträgt. Aus der Vielzahl der möglichen Schiffe werden 30 Varianten ausgewählt, - 6 verschiedene Tragfähigkeiten mit jeweils 5 verschiedenen Räumen - , für die später die Erwartungswerte des Gewinns berechnet werden. Die Tragfähigkeiten, Rauminhalte und Staukoeffizienten der gewählten Schiffe sind im Anhang B angegeben.

Die Dienstgeschwindigkeit wird für alle Schiffe konstant zu 17 kn angenommen. Bei einem Seeweg pro Rundreise von  $s_R = 2 \cdot 3500 = 7000$  sm ergibt sich eine Seezeit von  $t_{sR} = 7000 / 17 = 412$  h = 17.2 d pro Rundreise.

Nach Bild 7c im Anhang erhält man für die gewählten Schiffsgrößen maximale Lösch- bzw. Ladezeiten von 47 - 57 h. Der Einfachheit halber wird hier für alle Schiffe die Umschlagzeit gleich zu  $2 \cdot 54$  h = 108 h in einem Hafen festgesetzt. Pro Rundreise erhält man damit die Lade- und Löschzeiten, die gleich der Hafenzzeit angenommen werden, von  $t_{HaR} = 216$  h = 9 d.

Für Reparatur und Überholzeiten werden für alle Schiffe 1.8 d gerechnet. Damit kommt man zu einer einheitlichen Rundreisedauer von  $t_R = 28$  d für jedes der 30 ausgewählten Schiffe.

Wenn 14-tägige Abfahrten vorgesehen sind, folgt daraus ein Schiffspark von  $z = 2$  Schiffen. Die Anzahl der Rundreisen pro Jahr beträgt  $z_{RJ} = 365 / 28 \approx 13$  für ein Schiff.

Die Seezeit pro Jahr und Schiff beträgt  $t_s = 13 \cdot 17.2 = 223$  d/J, die Hafenzzeit  $t_{Ha} = 9 \cdot 13 = 117$  d/J. Die Zahl der Anläufe für ein Schiff ergibt sich zu  $z_{Ha} = 26$  1/J.

### c.) Frachtraten und Frachttonnen

Für die mittlere auf die Gesamtmenge bezogene Frachtrate werden die folgenden Werte angenommen:

$$\bar{R} = 12.5, 25, 37.5, 50 \text{ DM/t bzw. DM/m}^3$$

### d.) Kosten

Die hier berücksichtigten Kosten  $K_1$  werden im Anhang C berechnet. Für die ausgewählten Schiffe sind die Kosten  $K_1$  in Tabelle 1c zusammengestellt. Da über die Höhe der Kosten  $K_1$  Unsicherheiten bestehen und da sie auch Änderungen unterworfen sind, werden einige Rechnungen mit Kosten  $K_1$  durchgeführt, die bis zu 20% geringer und bis zu 40% höher sind als die in Tabelle 3c angegebenen.

Für das Zurücklassen einer Frachttonne Ladung werden die Kosten  $k_3 = \varkappa \cdot \bar{R}$  mit  $\varkappa = 0, 2, 4, 6$  angesetzt.

## 5. Ergebnisse systematischer Rechnungen

### a.) Art der Berechnung und Darstellung

Die numerische Auswertung der Gleichung für den Erwartungswert des Gewinns geschah mit Hilfe eines Rechenprogramms, das am Lehrstuhl für Entwerfen von Schiffen von Dipl.-Ing. H. Zunker aufgestellt wurde.

Aus der als kontinuierlich vorgegebenen Verteilung der anfallenden Ladung ergibt sich eine mit zunehmender Schiffsgröße kontinuierlich steigende Funktion für den Erwartungswert der Einnahmen. Die jährlichen Kosten der Schiffe haben über der Schiffsgröße einen stufenförmigen Verlauf. Stufen ergeben sich z.B. dort, wo der mit der Schiffsgröße veränderliche BRT- und NRT-Gehalt bestimmte Grenzwert überschreitet, bei der sich

die Zahl der Besatzungsmitglieder und damit die Personalkosten, die Hafengebühren oder ähnliches sprunghaft ändern.

Ein Beispiel für einen stufenförmigen Verlauf der Kosten als Funktion der Tragfähigkeit ist in Bild 2 angegeben, entsprechend der in Bild 2c angenommenen Zahl der Besatzungsmitglieder ergeben sich für diesen Fall bei Tragfähigkeiten von etwa 4800, 5200, 5600, 6200, 6750, 7400, 8150, 8900, 9700 t Sprünge in der Kurve der jährlichen Kosten von etwa 20 000,-- DM. Ein Sprung von etwa 16 000,-- DM im Bereich von 6000 - 7000 t folgt aus einer Sprungstelle im Verlauf der Kaigebühren (Raumgeld) über der Tragfähigkeit (vgl. Bild 5c).

Die Kurve des Erwartungswertes des Gewinns über der Schiffsgröße weist an den gleichen Stellen wie die Kostenkurve Sprungstellen auf (vgl. Bild 2). Im folgenden werden der Einfachheit halber solche Sprünge nicht berücksichtigt. Der in Wirklichkeit unstetige Verlauf des Gewinnerwartungswertes wird durch eine stetige Kurve angenähert. Es ergibt sich somit für den Erwartungswert des Gewinns - über der Räumte und Tragfähigkeit aufgetragen - eine stufenlos gewölbte Fläche (Bild 3).

Zur einfacheren Ermittlung des Optimums des Gewinnerwartungswertes empfiehlt es sich jedoch, von einer ebenen Darstellungsweise auszugehen, anstatt von der dreidimensionalen. Diese besteht aus den zwei Parameterdarstellungen  $E(G) \{r, dw = \text{const}\}$  und  $E(G) \{dw, r = \text{const}\}$  (vgl. Bild 4). Aus solchen Bildern kann die optimale Tragfähigkeit und Räumte näherungsweise in der folgenden Weise ermittelt werden: Zunächst werden aus der Kurvenschar  $E(G) \{r, dw = \text{const}\}$  die jeweiligen Räumten  $r_g$  bestimmt, für die bei jeweils konstantem  $dw$  die Erwartung des Gewinns ein Maximum annimmt.

Ähnlich wird aus den Kurven  $E(G) \{dw, r = \text{const}\}$   $dw_g$  als Funktion von  $r$  ermittelt. Die so gefundenen Funktionen  $r_g(dw)$  und  $dw_g(r)$  werden in einem Koordinatensystem aufgetragen und zum Schnitt gebracht. Die aus Bild 4 ermittelten Kurven  $dw_g(r)$  und  $r_g(dw)$  sind in Bild 5 eingezeichnet. Für den Schnittpunkt kann man  $dw_{\text{opt}}$  und  $r_{\text{opt}}$  ablesen.

Wegen der erwähnten Stufen im Erwartungswert des Gewinns wird das so gefundene Optimum nur in den wenigsten Fällen mit dem übereinstimmen, das sich unter Berücksichtigung der Kostensprünge ergibt. Wenn man die Größe der auftretenden Kostensprünge  $\Delta K$  kennt, kann man jedoch angeben, in welchem Bereich das wirkliche Optimum zu suchen ist. Man erhält diesen Bereich, indem man diejenigen  $dw - r$  - Kombinationen ermittelt, die zu solchen Gewinnerwartungswerten führen, die um  $\Delta K$  geringer sind als der optimale Wert. In Bild 5 sind für einen Fall solche Bereiche für verschiedene  $\Delta K$  angegeben.

b.) Die optimale Schiffsgröße bei verschiedenen Verteilungsgesetzen des Gewichts der angebotenen Ladung

Für die im Anhang angegebenen Verteilungen (Bilder 1a - 5a) wurden die Erwartungswerte der Gewinne berechnet, die sich beim Einsatz verschiedener Schiffe ergeben. Den Verlauf des Gewinnerwartungswertes über der Räume  $r$  und der Tragfähigkeit  $dw$  zeigt für einen Fall (normalverteiltes Ladungsgewicht mit dem Mittelwert  $\bar{M}_G$  und der Streuung  $\sigma_{MG}$ ) Bild 6. Bei anderen Verteilungsgesetzen und Streuungen ergeben sich für den Gewinnerwartungswert die gleichen Tendenzen im Verlauf der Kurven; auch die Beträge des Gewinns unterscheiden sich bei sonst gleichen Parametern relativ wenig. Es wird deshalb auf weitere Darstellungen  $E(G)$  über  $r$  und  $dw$  verzichtet.

Aus Bild 6 ergibt sich, daß der Erwartungswert des Gewinns bei jeweils konstanter Tragfähigkeit über der Räumte ziemlich flach verläuft.  $E(G)$  fällt von seinem jeweils maximalen Wert zu den kleineren Räumen hin stärker ab als zu den größeren. Das Maximum der Kurven verlagert sich mit zunehmender Tragfähigkeit zu den kleineren Räumen hin. Je größer die Tragfähigkeit umso flacher ist der Verlauf der Kurven.

Die Tragfähigkeit hat einen stärkeren Einfluß auf den Erwartungswert des Gewinns als die Räumte. Mit zunehmender Größe  $dw$  steigt  $E(G)$  zunächst stark an. Bei jeweils konstanter Räumte ergeben sich als maximale Gewinnerwartungswerte für die hier untersuchten Fälle Werte, die um etwa 500.000,-- bis 700.000,-- DM höher liegen als an der Stelle  $dw = 5000$  t. Mit weiter wachsender Tragfähigkeit nimmt  $E(G)$  wieder ab. Der Abfall zu den größeren Tragfähigkeiten (vom Maximum aus gesehen) ist schwächer als zu den kleineren. Für zunehmende Räumte verschiebt sich das jeweilige Maximum der Kurven zu den kleineren Tragfähigkeiten hin.

Für die verschiedenen Verteilungsgesetze und Streuungen des Gewichts der angebotenen Ladung wurde die optimale Tragfähigkeit und Räumte entsprechend der in Abschnitt 4a beschriebenen Weise ermittelt. In den Bildern 7 - 11 sind auf der linken Seite die Kurven  $dw_g(r)$  und  $r_g(dw)$  aufgetragen. Hieraus kann entnommen werden, daß bei jeweils konstanter Streuung des Ladungsgewichts die günstigste Räumte  $r_g$  umso kleiner ist, je größer die Tragfähigkeit wird. Die günstigste Tragfähigkeit  $dw_g$  nimmt mit zunehmender Räumte ab. Eine größere Streuung hat zur Folge, daß die Kurven  $r_g(dw)$  und  $dw_g(r)$  zu größeren Räumen bzw. Tragfähigkeiten hin verschoben werden. Auf der rechten Seite der Bilder ist über der Streuung des Gewichts der angebotenen Ladung die optimale Tragfähigkeit  $dw_{opt}$  und die optimale Räumte  $r_{opt}$  aufgetra-

gen. Es zeigt sich, daß  $dw_{opt}$  mit der Streuung zunimmt. Die optimale Räume bleibt bei den verschiedenen Streuungen etwa konstant. Bei konstanter Streuung ergibt sich für jedes Verteilungsgesetz eine andere optimale Tragfähigkeit. Diese ist in allen Fällen kleiner als die größte vorkommende Angebotsmenge und größer als ihr Mittelwert. Aus einer einfachen Gegenüberstellung der optimalen Tragfähigkeit und der dazugehörigen Verteilungsfunktion des Gewichts der angebotenen Ladung kann man ermitteln, in wieviel Prozent aller Fälle das Angebot die Schiffskapazität übersteigt bzw. nicht übersteigt (vgl. Bilder 12 - 14). Für alle untersuchten Verteilungen ergibt sich (bei sonst gleichen Voraussetzungen), daß die optimale Tragfähigkeit in etwa 86% der Fälle ausreicht, die angebotene Ladung mitzunehmen. Wenn hinsichtlich des Laderauminhalts keine Beschränkungen bestünden, könnten also optimale Schiffe in 86% aller Fälle gewichtsmäßig nicht voll ausgelastet werden.

Ein Einfluß des Verteilungsgesetzes und der Streuung des Gewichts der angebotenen Ladung auf die optimale Räume läßt sich nicht eindeutig erkennen. Aus einer Auftragung der optimalen Räume über der optimalen Tragfähigkeit (Bild 15) kann man entnehmen, daß die optimale Räume und der optimale Staukoeffizient des Schiffes in geringem Maße mit der Schiffsgröße abnimmt. Der optimale Staukoeffizient  $St_{0opt}$  umfaßt je nach Schiffsgröße etwa 87 - 91% aller möglichen Staukoeffizienten  $St_m$  der Ladung.

Mit den Angaben über die optimale Tragfähigkeit und Räume kann bestimmt werden, wieviel Prozent der angebotenen Ladung im Optimalfall in die verschiedenen Gebiete I - V fallen. Es interessieren dabei besonders die Gebietsgruppen I + II, III + IV und Gebiet V (vgl. Bild 1). Das Gebiet I+II umfaßt alle Mengen, die kleiner oder gleich der Kapazität des Schiffes sind.

Wenn Ladung anfällt, die im Gebiet III + IV liegt, ergibt sich ein abgeladenes Schiff. (Es war vorausgesetzt worden, daß die zurückgelassene Ladung den gleichen Staukoeffizienten hat, wie die insgesamt angebotene). Schließlich führen alle Angebotsmengen aus dem Gebiet V zur vollen Raumausnutzung des Schiffes. Die Integration der Verteilungsdichte des 2-dimensionalen Ladungsangebots  $\varphi(M_G, M_V)$  über diese Gebiete liefert bei allen untersuchten Streuungen  $\sigma_{MG}$  näherungsweise folgende Werte:

$$\begin{aligned}\Phi_{I+II} &\approx 85 \% \\ \Phi_{III+IV} &\approx 13 \% \\ \Phi_V &\approx 2 \%\end{aligned}$$

Wenn also Ladung zurückgelassen werden muß, so deshalb, weil in 85% dieser Fälle die Tragfähigkeit nicht ausreicht; aus Mangel an Laderaum wird nur in 15% der Fälle Ladung zurückgelassen.

Das mittlere transportierte Ladungsgewicht ändert sich mit der Streuung des Gewichts der angebotenen Ladung nur sehr wenig. Es liegt etwa 50 - 150 t unter dem Mittelwert  $\bar{M}_G = 5000$  t. Daraus ergibt sich, daß der Erwartungswert der Einnahmen der optimalen Schiffe auch nahezu gleich ist. Da aber die Kosten der größeren Schiffe höher liegen als bei kleineren, ergibt sich ein Gewinnerwartungswert, der mit der Streuung  $\sigma_{MG}$  abfällt (vgl. Bild 16 oben). Die mittlere Ausnutzung der Tragfähigkeit der optimalen Schiffe nimmt ebenfalls mit zunehmender Streuung  $\sigma_{MG}$  ab. Bei  $\sigma_{MG} = 740$  t beträgt die mittlere Ausnutzung etwa 86%, bei  $\sigma_{MG} = 1850$  t etwa 70% (vgl. Bild 16 unten).

Bild 17 zeigt neben den Kurven der optimalen Tragfähigkeit über der Streuung des Gewichts der angebotenen Ladung je zwei weitere Kurven. Diese kennzeichnen diejenigen Tragfähigkeiten, die bei jeweils günstigsten Räumen zu 25.000,-- DM geringeren Gewinnerwartungswerten führen als im Optimalfall.

Es zeigt sich, daß der Abstand der Kurven mit wachsender Streuung  $\mathcal{G}_{MG}$  zunimmt. D.h., je größer die Streuung im Ladungsangebot ist, umso größer ist der Bereich der Tragfähigkeiten der Schiffe, für die sich nahezu gleiche Gewinnerwartungswerte ergeben.

c.) Der Einfluß des Mittelwertes  $\bar{M}_G$  des Gewichts der angebotenen Ladung auf die optimale Schiffsgröße

Die günstigsten und optimalen Schiffsgrößen, die sich bei verschiedenen mittleren Angebotsmengen ergeben, sind in Bild 18 dargestellt. Bei einer mittleren Menge von  $\bar{M}_G = 4000$  t ergibt sich ein  $M_{GO_{opt}}$ , das in etwa 80% der Fälle ausreicht, bei  $M_G = 6000$  t ergibt sich eine optimale Tragfähigkeit, die größer ist als 89% aller möglichen Angebotsmengen; im Fall  $M_G = 5000$  t war  $M_{GO_{opt}}$  größer als 86% aller angebotenen Mengen. Es kann also nicht generell gesagt werden, daß Schiffe dann optimal sind, wenn sie bei 86% aller Reisen gewichtsmäßig nicht voll ausgelastet sind, wie es sich in Abschnitt 4b ergeben hat. Vielmehr wird der Anteil der zurückgelassenen Ladung bei größeren Mittelwerten  $\bar{M}_G$  des Ladungsangebots kleiner.

Bild 19 zeigt im oberen Teil den Gewinnerwartungswert über der Tragfähigkeit mit dem Mittelwert  $\bar{M}_G$  als Parameter. Bei kleinen Tragfähigkeiten weichen die Gewinnerwartungswerte relativ wenig voneinander ab, bei großen ergeben sich jedoch stark unterschiedliche Werte für  $E(G)$ . Im unteren Teil des Bildes ist über dem Mittelwert  $\bar{M}_G$  für verschiedene Schiffsgrößen die Größe  $\Delta E(G)$  aufgetragen.  $\Delta E(G)$  ist der Betrag, um den der Gewinnerwartungswert geringer ist als der maximal mögliche, der sich für die jeweils optimale Schiffsgröße ergeben würde.

Die optimale Räumte der Schiffe schwankt zwischen  $2.2 \text{ m}^3/\text{t}$  und  $2.27 \text{ m}^3/\text{t}$ . Der optimale Staukoeffizient ist für alle

Mittelwerte nahezu konstant. Er ist größer als etwa 88% aller möglichen Staukoeffizienten der Ladung. Dieser Wert stimmt mit den unter Abschnitt 4b gefundenen Werten etwa überein. Man kann deshalb annehmen, daß der Mittelwert des Gewichts der angebotenen Ladung  $\bar{M}_G$  kaum einen Einfluß auf den optimalen Staukoeffizienten hat. Die optimale Räumte ändert sich in diesem Fall entsprechend der Beziehung  $r_{opt} = (\xi(dw) / \eta) St_{opt}$  (vgl. Bild 18).

d.) Die optimale Schiffsgröße bei normal verteilten Staukoeffizienten  $St_m$  verschiedener Streuung

Der Erwartungswert des Gewinns wurde für 5 verschiedene Streuungen des Staukoeffizienten  $St_m$  der angebotenen Ladung berechnet. Bild 20 zeigt die Ergebnisse, die sich bei einem mit der Streuung  $\sigma_{MG} = 1110$  t normal verteilten Gewicht des Ladungsangebots ergeben. Offensichtlich ist die optimale Tragfähigkeit  $dw_{opt}$  nicht von der Streuung  $\sigma_{St_m}$  des Staukoeffizienten abhängig. Bei allen untersuchten  $\sigma_{St_m}$  ergibt sich für  $dw_{opt}$  etwa 6900 t. Die optimale Räumte  $r_{opt}$  bzw. der optimale Staukoeffizient des Schiffes  $St_{opt}$  nehmen beide nahezu linear mit  $\sigma_{St_m}$  zu. Aus Bild 21 ist zu entnehmen, daß etwa 89% aller möglichen Werte von  $St_m$  kleiner sind als der optimale Staukoeffizient des Schiffes.

Zu dem gleichen Ergebnis für  $St_{opt}$  und  $r_{opt}$  kommt man, wenn man von einer Streuung  $\sigma_{MG} = 1480$  t des angebotenen Ladungsgewichts ausgeht. Für die optimale Tragfähigkeit ergibt sich in diesem Fall bei allen untersuchten Streuungen  $\sigma_{St_m}$  des Staukoeffizienten etwa der Wert  $dw_{opt} \approx 7300$  t.

e.) Der Einfluß der verschiedenen Mittelwerte  $\overline{St}_m$  auf die optimale Räume

Die günstigsten und optimalen Tragfähigkeiten und Räumen die sich mit den drei mittleren Staukoeffizienten der angebotenen Ladung  $\overline{St}_m = 1.7, 1.85, 2.0 \text{ m}^3/\text{t}$  ergeben, sind in Bild 22 aufgetragen. Die optimale Räume  $r_{opt}$  bzw. der optimale Staukoeffizient des Schiffes  $St_{opt}$  nimmt mit wachsendem  $\overline{St}_m$  zu.  $St_{opt}$  und  $r_{opt}$  ändern sich um etwa denselben Betrag wie  $\overline{St}_m$  geändert wird. In jedem der untersuchten Fälle wird  $St_{opt}$  von etwa 11% aller vorkommenden Staukoeffizienten der Ladung  $St_m$  überschritten.

f.) Der Zusammenhang zwischen optimaler Schiffsgröße und zurückgelassener Ladung, wenn für diese Kosten angesetzt werden.

Für die zurückgelassene Ladung wurden Kosten angesetzt, die das  $\alpha = 2$ -, 4-, 6-fache der Frachtrate betragen. Den Einfluß von  $\alpha$  auf die optimale Tragfähigkeit und Räume zeigt Bild 23. Sowohl  $dw_{opt}$  als auch  $r_{opt}$  nehmen mit steigenden Kosten für die nicht transportierte Ladung zu. Die optimale Tragfähigkeit reicht bei  $\alpha = 0$  in etwa 86%, bei  $\alpha = 6$  in etwa 98% aller Fälle aus, die angebotene Ladung mitzunehmen. Das optimale Staumaß beträgt bei  $\alpha = 0$  etwa  $St_{opt} = 2.18 \text{ m}^3/\text{t}$ , bei  $\alpha = 6$  etwa  $2.25 \text{ m}^3/\text{t}$ . Etwa 88% aller vorkommenden Staukoeffizienten der Ladung sind kleiner als  $2.18 \text{ m}^3/\text{t}$ , 93% sind kleiner als  $2.25 \text{ m}^3/\text{t}$ .

Bild 24 zeigt den Erwartungswert des Gewinns als Funktion von Tragfähigkeit und  $\alpha$  bei jeweils optimaler Räume. Wenn keine Kosten für das Zurücklassen von Ladung angesetzt werden, bewegt sich der zu erwartende Gewinn bei den hier untersuchten Tragfähigkeiten von 4000 - 9000 t im Bereich von etwa  $2.0 \cdot 10^6$  bis  $2.8 \cdot 10^6$  DM, bei  $\alpha = 6$ , d.h., wenn die Ko-

sten pro Frachttonne zurückgelassener Ladung das 6-fache der Frachtrate betragen, liegt der Gewinnerwartungswert (im gleichen Tragfähigkeitsbereich) zwischen  $-3.7 \cdot 10^6$  und  $+2.6 \cdot 10^6$  DM. Der Gewinnerwartungswert für Schiffe kleinerer Tragfähigkeiten fällt am stärksten mit zunehmenden  $\alpha$ -Werten. Mit wachsender Schiffsgröße hat  $\alpha$  einen immer geringer werdenden Einfluß auf die Höhe des Erwartungswertes des Gewinns.

g.) Der Einfluß der Frachtrate auf die optimale Schiffsgröße

In Bild 25 sind die optimalen Tragfähigkeiten und Räumten bei verschiedenen hohen Frachtraten für einige Ladungsangebote dargestellt. Mit steigender Frachtrate werden die optimalen Tragfähigkeiten größer. Dies gilt für alle untersuchten Streuungen des angebotenen Ladungsgewichts. - Die optimale Räumte wächst wie die optimale Tragfähigkeit mit der Frachtrate und bleibt nahezu unbeeinflusst von der Streuung des Gewichts der angebotenen Ladung.

Für ein Ladungsangebot ist in Bild 27 der Erwartungswert des Gewinns bei verschiedenen Frachtraten  $\bar{R}$  über der Tragfähigkeit angegeben. Zu den Frachtraten  $\bar{R} = 12.5, 25$  und  $50$  DM/Frt gehören näherungsweise die Schiffsgrößen  $d_{w_{opt}} = 6100, 6450$  und  $6800$ t. Im unteren Teil des Bildes ist für diese Schiffsgrößen über der Frachtrate  $\Delta E(G)$  aufgetragen. Dieser Darstellung läßt sich entnehmen, um wieviel geringer der Gewinnerwartungswert ist, wenn statt der jeweils optimalen Schiffe die hier gewählten Schiffe eingesetzt werden.

In Bild 28 oben ist der Erwartungswert des Gewinns über der optimalen Tragfähigkeit aufgetragen; Parameter sind dabei die Streuung des Gewichts der angebotenen Ladung und die

Frachtrate. Aus diesem Bild läßt sich ebenfalls ablesen, daß die optimale Tragfähigkeit mit abnehmender Frachtrate und damit abnehmendem Gewinnerwartungswert kleiner wird. Im Schnittpunkt der Kurven ( $\sigma_{MG} = \text{const}$ ) mit der Abszisse kann man diejenigen optimalen Tragfähigkeiten ablesen, für die der Gewinnerwartungswert gleich null wird. Dazu gehört bei jeder Streuung im Gewicht der angebotenen Ladung eine bestimmte Mindestfrachtrate  $\bar{R}_{\min}$ . Diese Mindestfrachtrate muß mindestens gezahlt werden, damit ein Schiff im Mittel ohne Verlust betrieben werden kann. Sie ist, wie der Erwartungswert des Gewinns, eine statistische Größe und ist nicht identisch mit dem Wert

$$RK = \frac{\text{Summe aller Kosten pro Reise}}{\text{Nutzladefähigkeit}}$$

---

$\bar{R}_{\min}$  nimmt mit größer werdender Streuung des Gewichts der angebotenen Ladung zu. Man kann dies dadurch erklären, daß der mittlere Ausnutzungsgrad bei geringer Streuung größer ist als bei großer Streuung. Um zu gleichen Gewinnen zu kommen, muß also die Frachtrate im Falle einer größeren Streuung im Ladungsangebot auch größer sein.

Bild 28 unten zeigt den Verlauf der optimalen Tragfähigkeit über der Streuung  $\sigma_{MG}$  mit der Mindestfrachtrate  $\bar{R}_{\min}$  bzw. einigen Vielfachen hiervon als Parameter. Hieraus ist der Einfluß des Kriteriums, das zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit benutzt wird, auf die optimale Tragfähigkeit ersichtlich.

Die optimalen Tragfähigkeiten sind z.B. im Fall  $\bar{R} = 2 \cdot \bar{R}_{\min}$  um etwa 7 - 13% größer als die bei  $\bar{R} = \bar{R}_{\min}$  optimale Tragfähigkeit.

### Der Einfluß der jährlichen Kosten auf die optimale Schiffsgröße

Da für die Höhe der anzusetzenden Kosten Unsicherheiten bestehen und da sie auch Änderungen unterworfen sind, wurden hierfür einige Varianten durchgerechnet. In Bild 29 ist die optimale Tragfähigkeit für verschiedene Kosten aufgetragen. Die Kosten sind dabei auf die ursprünglich angesetzten Kosten  $K_1$  (vgl. Tabelle 1c) der jeweiligen Schiffsgrößen bezogen.

Es ergibt sich, daß die optimale Tragfähigkeit mit wachsenden Kosten abnimmt. In dem hier betrachteten Kostenbereich  $0.8 K_1$  bis  $1.4 K_1$  fällt die optimale Tragfähigkeit  $dw_{opt}$  von etwa 6950 t bei  $K = 0.8 K_1$  näherungsweise linear ab auf etwa 6550 t bei  $K = 1.4 K_1$ .

Der Verlauf des Gewinnerwartungswertes über der Tragfähigkeit ist für verschiedene hohe Kosten Bild 30 zu entnehmen. Da die Kurven flach verlaufen, ergibt sich bei geringfügigen Änderungen der Tragfähigkeit in der Nähe des Optimums kaum ein Einfluß auf den Erwartungswert des Gewinns. Die bei  $0.8 K_1$  optimale Schiffsgröße führt im Fall, daß die Kosten auf  $1.4 K_1$  ansteigen, nur zu 30 000,-- DM geringeren Werten für den Gewinnerwartungswert, als das bei  $1.4 K_1$  optimale Schiff (vgl. Bild 32 unten).

### 6. Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß die optimale Schiffsgröße von der Verteilung des Ladungsangebots abhängt. Die optimale Nutztragfähigkeit ist gleich einem bestimmten Quantil <sup>+</sup>)  $Q(p)$  des Gewichts der Angebotsmenge, d.h., die opti-

---

<sup>+</sup>) Allgemein versteht man unter dem Quantil  $Q(p)$  einer Zufallsveränderlichen  $x$  denjenigen Wert  $x_1$ , für die die Verteilungsfunktion der Variablen  $x$  den Wert  $F(x_1) = p$  annimmt.

male Nutztragfähigkeit ist gleich demjenigen Gewicht des Ladungsangebots, bei dem die Verteilungsfunktion des Gewichts den Wert  $p$  annimmt. Der Wert  $p$  ist bei sonst gleichen Voraussetzungen nahezu unabhängig vom Verteilungsgesetz. Je nach Höhe der Frachtrate und der Kosten und je nachdem, wie das Zurücklassen von Ladung bewertet wird, wurden für  $p$  Zahlenwerte gefunden, die zwischen 0.8 und 0.98 liegen. D.h., daß ein Schiff je nach Voraussetzung dann optimal ist, wenn in 80% bis 98% aller Fälle das Gewicht der anfallenden Ladung nicht ausreicht, das Schiff tragfähigkeitsmäßig voll auszunutzen. Die Verteilung des Staukoeffizienten der angebotenen Ladung hat keinen Einfluß auf die optimale Tragfähigkeit.

Für die optimale Räume bzw. das optimale Staumaß des Schiffes gelten entsprechend ähnliche Zusammenhänge. Das optimale Staumaß ist gleich einem bestimmten Quantil  $Q(q)$  der Staukoeffizienten der Ladung. Der Wert  $q$  ist nahezu unabhängig von der Streuung der Staukoeffizienten. Für die hier angenommenen Frachtraten und Kosten ergaben sich für  $q$  Werte zwischen 0.8 und 0.95. D.h., die Räume eines optimalen Schiffes ist so bemessen, daß bei voller Ausnutzung der Tragfähigkeit etwa 80% bis 95% aller möglichen Ladungskombinationen raummäßig untergebracht werden können.

Für den Fall, daß das Ladungsangebot die Kapazität des Schiffes übersteigt, kommt man damit zu den Verhältniswerten : voll abgeladenes Schiff zu voller Laderaum von etwa 80/20 bis 90/10. Das optimale Staumaß kann näherungsweise unabhängig von der Verteilung des Gewichts der angebotenen Ladung angenommen werden.

Nach den hier gefundenen Ergebnissen brauchen also Stückgutschiffe, die häufig voll bzw. abgeladen sind, keine Optimalschiffe zu sein. Wenn Linienschiffe bei fast jeder Reise voll werden, ist dies für die Reederei keine optimale Lö-

sung der Transportaufgabe. Ein Schiff verdient zwar das Höchstmögliche, wenn es voll ist; für die Reederei gilt jedoch, daß man mit einem größeren Schiff mehr verdienen könnte. Voraussetzung ist hierbei stets, das man es mit einem verteilten Ladungsangebot zu tun hat.

Wird von den Optimalwerten der Tragfähigkeit und der Räume geringfügig abgewichen, so hat dies bei den hier behandelten Schiffen kaum einen Einfluß auf die Höhe des Gewinnerwartungswertes, da dieser über der Tragfähigkeit und der Räume ziemlich flach verläuft. Die vertretbaren Abweichungen von der optimalen Schiffsgröße hängen von einer angenommenen, zulässigen Minderung des maximalen Gewinnerwartungswertes und von der Streuung des Ladungsangebots ab.

Bei einer zulässigen Minderung von etwa 25 000,-- DM und bei kleineren Streuungen betragen die vertretbaren Abweichungen von der optimalen Tragfähigkeit und Räume etwa 5%, bei größeren Streuungen etwa 10%. Größere Verringerungen der Tragfähigkeit bzw. der Räume bringen eine stark zunehmende Minderung möglicher Gewinne. Eine Erhöhung der Tragfähigkeit und Räume über diese Grenzen hinaus haben einen weniger starken Einfluß auf den Gewinnerwartungswert. Wenn über die Streuung des Ladungsangebots Zweifel bestehen, sollte man deshalb eher ein zu großes als ein zu kleines Schiff einsetzen.

Aus den Untersuchungen über die optimale Schiffsgröße bei verschiedenen Mittelwerten der angebotenen Ladung läßt sich der Schluß ziehen, daß es ungünstig ist, bei veränderlichem Angebot ein Schiff für einen kleinen Mittelwert  $\bar{M}_G$  auszuwählen. Bei steigendem Angebot ergeben sich dann nur relativ geringe Zunahmen für den Erwartungswert des Gewinns. Wesentlich höhere Gewinne sind zu erwarten, wenn man ein größeres Schiff einsetzt, das bei einem großen Mittelwert  $\bar{M}_G$  optimal ist. Bei geringem Ladungsanfall ergeben sich dann zwar etwas kleinere Gewinne; die Steigerung des Gewinns bei zunehmendem

Ladungsangebot beträgt jedoch ein Vielfaches von dem, was sich mit einem kleinen Schiff erreichen ließe.

Je nach Bewertung der zurückgelassenen Ladung kommt man für das gleiche Ladungsangebot zu verschiedenen optimalen Schiffsgrößen. Mit zunehmenden fiktiven Kosten, die für die zurückgewiesene Ladung angesetzt werden, nehmen auch die optimalen Tragfähigkeiten und Räumten zu. Das kann dazu führen, daß verschiedene Reeder, denen auf der gleichen Linie etwa die gleiche Menge Ladung angeboten wird, verschiedene Schiffsgrößen als optimal bezeichnen.

Die Höhe der Frachtrate ist bei der Wahl der Schiffsgröße weniger bedeutungsvoll als z.B., die angebotene Ladungsmenge. Ein Schiff, das bei einer relativ hohen Frachtrate optimal ist, verdient auch bei niedrigen Frachtraten fast so viel wie ein Schiff, das für diesen Fall ausgelegt ist. Etwas ungünstiger sind die Verhältnisse, wenn ein bei niedriger Frachtrate optimales Schiff oder auch ein Schiff, das für eine minimale mittlere Mindestfrachtrate ausgelegt wurde, bei hohen Frachtraten eingesetzt wird.

Der Einfluß der Kosten auf die optimale Schiffsgröße ist bei dem hier untersuchten Kostenbereich nur gering zu bewerten. Es scheint nicht notwendig, bei der Festlegung der Schiffsgröße auf mögliche Kostenänderungen Rücksicht zu nehmen.

Mit diesen Voraussetzungen lassen sich Kenngrößen für die Wirtschaftlichkeit berechnen. Wenn bekannt ist, mit welchem Kriterium der wirtschaftliche Erfolg gemessen werden soll, kann man dann quantitative Angaben über die Wirtschaftlichkeit machen. Solche Angaben sind wegen der Zufälligkeit einiger Ausgangsgrößen Wahrscheinlichkeitsaussagen.

Wegen der Vielfältigkeit des Problems und weil nur wenig Informationen über die einzelnen Größen zur Verfügung stehen, wird hier auf eine umfassende Behandlung des Problems verzichtet. Im Rahmen dieser Arbeit wird als einziger frei wählbarer Parameter die Schiffsgröße (Tragfähigkeit und Räume) angenommen. Andere Schiffsdaten werden gleich bzw. ähnlich angenommen. Gleich bleiben z.B. die Art der Antriebsmaschine, die Geschwindigkeit, die Art des Ladegeschirrs usw.. Ähnlich ändern sich entsprechend der Schiffsgröße z.B. die Antriebsleistung, die Anzahl der Ladegeschirre und der BRT - Gehalt der Schiffe. Diese Änderungen werden nicht mit Hilfe physikalischer und geometrischer Ähnlichkeitsgesetze ermittelt, sondern aufgrund von Daten gebauter Schiffe abgeschätzt.

Die Untersuchungen werden für eine stark vereinfachte Form eines Liniendienstes durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, daß zwischen nur zwei Häfen Ladung transportiert wird. Für die angebotenen Ladungsmengen werden Verteilungen vorgegeben. Auch die Frachtrate wird zunächst verteilt angenommen. Die übrigen Umweltbedingungen werden determiniert angesetzt. Für die Kosten wird nur im Fall der Umschlagskosten entsprechend der beförderten Ladungsmenge eine Verteilung berücksichtigt; alle anderen Kosten werden determiniert angenommen. Schließlich wird vorausgesetzt, daß das Ladungsangebot unabhängig von der Schiffsgröße ist.

An dem Modell wird zunächst der Einfluß des Verteilungsgesetzes für die angebotene Ladungsmenge (Gewicht und Volumen) auf die optimale Schiffsgröße ermittelt. Weiterhin wird untersucht, wie die optimale Schiffsgröße von der mittleren Frachtrate und den Kosten abhängt und wie sich die optimale Schiffsgröße ändert, wenn man zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit verschiedene Kriterien verwendet.

Auf Kriterien zur Messung des wirtschaftlichen Erfolges wird in Abschnitt 2 näher eingegangen. In Abschnitt 3 werden nach einer kurzen Beschreibung einiger Besonderheiten des Liniendienstes der Gang der Rechnung erläutert und einige Vereinfachungen vorgenommen. Abschnitt 4 enthält weitere Vereinfachungen, die Eingangsdaten für die Rechnung und die variierten Größen. Die Ergebnisse einiger Rechnungen werden in Abschnitt 5 mitgeteilt. In Abschnitt 6 sind diese Ergebnisse zusammengefaßt.

## 2. Auswahl von Kriterien zur Beurteilung des wirtschaftlichen Erfolges

Über die Frage, was unter wirtschaftlichem Erfolge zu verstehen ist, gibt es verschiedene Ansichten. Zahlreiche Veröffentlichungen zeigen, daß es verschiedene Bewertungsmaßstäbe gibt, die offensichtlich auch mehr oder weniger häufig zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Schiffen verwendet werden. \*) Einige gebräuchliche Kriterien sind z.B. der Gewinn, die Mindestfrachtrate, der Kapitalwert (Barwert) und der interne Zinsfuß. Welches Kriterium schließlich verwendet wird, hängt u.a. von der Art des Unternehmens ab, von der Geschäftslage, von der Zielsetzung der Reederei und auch von der subjektiven Einstellung des Reeders.

Von einigen Reedereien ist bekannt, daß sie als Bewertungsmaßstab den Barwert benutzen. Der Barwert ist die Summe aller abdiskontierten Gewinne, die während der Lebensdauer des Schiffes entstehen.

Unter der Voraussetzung, daß sich die Ausgaben für das Schiff während der Lebensdauer nicht ändern und daß auch die Höhe der Einnahmen nicht von der Zeit abhängt, kommt man in der Bewertung verschiedener Schiffe zu der gleichen Reihung, wenn man statt des Barwerts den jährlichen Gewinn als Beurteilungsmaß für die Wirtschaftlichkeit verwendet. In den folgenden Untersuchungen werden die Einnahmen und Ausgaben zeitunabhängig angenommen. Die Rechnungen werden deshalb hauptsächlich mit dem jährlichen Gewinn als Bewertungsmaß durchgeführt.

Als weiteres Kriterium wird im Rahmen dieser Arbeit eine Mindestfrachtrate benutzt. Unter Mindestfrachtrate soll diejenige Frachtrate verstanden werden, die mindestens ge-

---

\*) vgl. Benford, Aas, Völker

zahlt werden muß, damit sich Frachteinnahmen und Gesamtkosten gerade ausgleichen; das Schiff wird dabei also ohne Gewinn oder Verlust betrieben.

Infolge des statistisch gegebenen Ladungsangebots kann man über den wirtschaftlichen Erfolg nur Wahrscheinlichkeitsaussagen machen. Es wird hier unterstellt, daß es dem Reeder auf den Erwartungsgewinn des Gewinns ankommt, bzw. wenn die Mindestfrachtrate als Kriterium verwendet wird, auf diejenige mittlere Mindestfrachtrate, bei der der Erwartungswert des Gewinns gleich Null wird. Diejenigen Schiffe, für die sich der größte Gewinnerwartungswert bzw. die kleinste mittlere Mindestfrachtrate ergibt, werden im folgenden als optimal bezeichnet.

### 3. Beschreibung des Lösungswegs

#### a.) Eigenheiten des Liniendienstes

Von Linienschiffsreedereien wird Frachtraum und eine regelmäßige Bedienung verschiedener Häfen angeboten. Die eingesetzten Schiffe übernehmen in der Regel den Transport aller möglichen Güter. Die Transportmöglichkeit wird im allgemeinen von mehreren Befrachtern genutzt. Die zwischen zwei Abfahrten zum Versand anfallende Ladungsmenge setzt sich aus mehreren von den verschiedenen Befrachtern angelieferten Einzelpartien zusammen. Eine einzelne Ladungspartie ist im Verhältnis zur Kapazität des Schiffes meistens klein; nach einer Angabe von Thorburn überschreitet ihre Menge selten ein Viertel des Schiffsraumes bzw. der Tragfähigkeit. Die Gesamtladung ist wegen der Vielfältigkeit der Güter häufig recht inhomogen.

Für verschiedene Güter werden im allgemeinen auch verschiedene Frachtraten gezahlt. Diese unterliegen nicht der freien Vereinbarung zwischen Befrachter und Reeder, sondern sie sind durch Konferenzen festgelegt. Je nach der Zusammensetzung der Gesamtladung aus Einzelpartien können sich recht verschiedene Frachteinnahmen ergeben.

Die Befrachter stellen den Versand ihrer Waren auf den Fahrplan ein und sie erwarten, daß dieser eingehalten wird. Da Unregelmäßigkeiten in den Abfahrten bzw. Ankünften sich für den Reeder im Frachtangebot nachteilig auswirken, ist er seinerseits um größtmögliche Pünktlichkeit bemüht.

Nachteile können dem Reeder auch dadurch entstehen, daß zum Transport angebotene Ladung zurückgewiesen werden muß, weil das Schiff voll ist. Z.B. kann dadurch ein Kunde verärgert werden und zur Konkurrenz abwandern. Es kann sich aber auch um direkte materielle Einbußen handeln, die z.B. durch Zahlung von Vertragsstrafen entstehen oder durch die Übertragung des Transports auf ein anderes Transportmittel.

#### b.) Über die Menge der zum Versand anfallenden Ladung

Die zwischen zwei Abfahrten anfallende Ladungsmenge wird mit  $\mathfrak{M}$  bezeichnet. Sie ist gekennzeichnet durch ihr Gewicht  $M_G$  [t] und ihr Volumen  $M_V$  [m<sup>3</sup>]. Das Verhältnis  $M_V/M_G = St_m$  stellt den Staukoeffizienten der insgesamt zum Versand angebotenen Ladungsmenge dar.

Im hier behandelten Fall des Stückgutliniendienstes ist die Ladungsmenge nicht konstant, sondern verteilt. Ihre Verteilungsdichte sei  $\varphi(M_G, M_V)$ . Nach Ansicht einiger Reedereien kann man näherungsweise annehmen, daß das Verhältnis  $St_m = M_V/M_G$  bei kleineren Ladungsmengen in den gleichen Grenzen schwankt, wie bei großen Ladungsmengen.

Man kann dann die Verteilung von  $\mathfrak{M}$  ermitteln, wenn die Verteilungsgesetze für das Gewicht der angebotenen Ladung  $f_1(M_G)$  und für das Staumaß  $g(St_m)$  bekannt sind. Zunächst wird unter der Voraussetzung, daß das Gewicht der angebotenen Ladung  $M_G$  einen bestimmten Wert annimmt, die Verteilung des Volumens  $f_2(M_V|M_G)$  dieser Ladung bestimmt. Dies ist die bedingte Verteilung des Volumens  $M_V$  unter der Hypothese  $M_G = \text{const.}$  Da zwischen Volumen  $M_V$  und Staukoeffizient  $St_m$  die einfache Beziehung  $M_V = M_G \cdot St_m$  besteht, läßt sich  $f_2(M_V|M_G)$  durch eine lineare Transformation ermitteln. Es gilt

$$f_2(M_V|M_G) \cdot dM_V = g(St_m) \cdot dSt_m$$

$$f_2(M_V|M_G) = g(St_m) \cdot \frac{dSt_m}{dM_V}$$

Es ist 
$$\frac{dM_V}{dSt_m} = \frac{d(M_G \cdot St_m)}{dSt_m} = M_G$$

und es ergibt sich 
$$f_2(M_V|M_G) = \frac{1}{M_G} \cdot g(St_m)$$

Mit dieser bedingten Verteilung und der Verteilung des Gewichts der angebotenen Ladung  $f_1(M_G)$  erhält man die Verteilung von  $\mathfrak{M}$ :

$$\begin{aligned} \varphi(\mathfrak{M}) &= \varphi(M_G, M_V) = f_1(M_G) \cdot f_2(M_V|M_G) = \\ &= f_1(M_G) \cdot \frac{1}{M_G} \cdot g(St_m) \end{aligned}$$

### c.) Schiffsdaten und Schiffsumlauf

Stückgutlinienschiffe herkömmlicher Bauart sind im wesentlichen gekennzeichnet durch die folgenden Größen: Tragfähigkeit  $dw$  [t], Räume  $r$  [m<sup>3</sup>/t], Geschwindigkeit  $v$  [kn] und Ausrüstung mit Ladegeschirr.

Die Nutztragfähigkeit  $M_{GO}$  des Schiffes ergibt sich aus der Beziehung:

$$M_{GO} = dw - (\text{Betriebsstoffe} + \text{Frischwasser} + \text{Vorräte} + \\ + \text{Reedereinventar} + \text{Mannschaften} + \\ + \text{Effekten}) \quad [t]$$

Im Gegensatz zu  $dw$  ist  $M_{GO}$  während der Rundreise nicht konstant, sondern ändert sich entsprechend den verbrauchten Betriebsstoffen und Vorräten. Die kleinste Nutztragfähigkeit ergibt sich in dem Hafen, in dem Brennstoff und Vorräte übernommen werden. In den anderen Häfen ist, wenn kein Ballastwasser genommen wird, die Nutztragfähigkeit größer. Der Einfachheit halber wird hier die Nutztragfähigkeit konstant angenommen und mit einem mittleren Verhältnis  $\zeta = M_{GO}/dw$  gerechnet.

Der für Stückgut maßgebliche Laderauminhalt (Ballenladeraum)  $M_{VO}$   $[m^3]$  läßt sich aus der Räumte  $r$  und der Tragfähigkeit  $dw$  herleiten. Es gilt die Beziehung

$$r = \frac{\text{Kornladeraum}}{\text{Tragfähigkeit}} = \frac{M_{VK}}{dw} \quad \left[ \frac{m^3}{t} \right]$$

Der Laderauminhalt  $M_{VO}$  ist geringer als der Kornladeraum  $M_{VK}$ . Mit  $\eta$  als Abminderungsfaktor ergibt sich  $M_{VO} = \eta \cdot M_{VK}$ . - Als Staumaß des Schiffes wird das Verhältnis  $St_0 = M_{VO}/M_{GO}$  definiert. Es wird hier entsprechend  $M_{GO}$  konstant angenommen.

Für die Berechnung der Seezeit wird vorausgesetzt, daß die Dienstgeschwindigkeit  $v$  immer gefahren werden kann. Mit  $s_R$  als Seeweg für eine Rundreise ergibt sich die Seezeit pro Rundreise zu  $t_{sR} = s_R/v$ .

Die Hafenzzeit wird im folgenden gleich der Umschlagszeit gesetzt. Die Umschlagszeit richtet sich nach der gelöschten und geladenen Menge. Bei der Aufstellung des Fahrplans wird im Hinblick auf eine größtmögliche Pünktlichkeit davon ausgegangen, daß die größtmögliche Ladungsmenge umgeschlagen werden muß. Mit einer mittleren spezifischen Umschlagsleistung  $l_1$  [t/h], die hier konstant angenommen wird, und unter der weiteren Voraussetzung, daß die spezifische Umschlagsleistung für Laden und Löschen gleich ist, kommt man zu einer Umschlagszeit von  $t_1 = 2 \cdot l_1 \cdot M_{GO}$  für einen Hafen. Die gesamte Hafenzzeit bei einer Rundreise ist dann  $t_{Ha} = n_{Ha} \cdot t_1$ . Darin ist  $n_{Ha}$  die Anzahl der angelaufenen Häfen. - Unter der Vorgabe einer Zeit  $t_{\ddot{u}}$  für Reparaturen und Überholungen pro Rundreise erhält man eine Rundreisedauer von  $t_R = t_{SR} + t_{Ha} + t_{\ddot{u}}$ . Die Anzahl der Rundreisen beträgt dann  $z_{RJ} = 365 / t_R$ .

#### d.) Frachteinnahmen

Für verschiedene Güter werden im allgemeinen verschiedene Frachtraten bezahlt. Die Berechnung der Frachteinnahmen für eine bestimmte Ladung erfolgt nach 'Frachttonnen' [Frt]. 'Frachttonnen' können 'Gewichtstonnen' oder 'Volumentonnen' sein. Ob für eine bestimmte Ladungspartie i 'Gewichtstonnen' oder 'Volumentonnen' anzusetzen sind, hängt vom Gewicht  $m_{Gi}$  und vom Rauminhalt  $m_{Vi}^*$  bzw. von dem 'Frachtmengenkoeffizienten'  $St_i^* = m_{Vi}^* / m_{Gi}$  dieser Ladung ab. Der Rauminhalt  $m_{Vi}^*$  wird dabei nach bestimmten Regeln an Land ermittelt.<sup>+) Die Frachteinnahme für eine Partie i mit der Frachtrate  $R_i$  beträgt  $P_i = R_i \cdot m_{Gi}$ , wenn der Rauminhalt  $m_{Vi}^*$  von 1000 kg dieses Gutes weniger als  $1m^3$  beträgt, d.h., wenn der 'Frachtmengenkoeffizient'  $St_i^*$  kleiner oder gleich dem Grenzwert  $St_{gr}^* = 1$  ist. Die Frachteinnahme ist gleich  $P_i = R_i \cdot m_{Vi}^*$  wenn 1000 kg mehr als  $1m^3$  messen,  $St_i^*$  also größer als  $St_{gr}^*$  ist.</sup>

<sup>+) vgl. Rotermund / Koch</sup>

Bei der Stauung der Ladung im Schiff treten Stauverluste auf, so daß im allgemeinen  $m_{Vi}^*$  verschieden ist von dem Raum  $m_{Vi}$ , den die Ladungspartie  $i$  im Schiff einnimmt. Entsprechend unterscheiden sich auch der 'Frachtmengenkoeffizient'  $St_i^*$  und der Staukoeffizient  $St_i = m_{Vi} / m_{Gi}$  der Ladungspartie  $i$  und die Grenzwerte für diese Koeffizienten  $St_{gr}^*$  und  $St_{gr}$ , die maßgeblich dafür sind, ob die Frachteinnahmen für eine Ladung nach Gewicht oder Volumen zu berechnen sind.  $St_{gr}$  ist der Staukoeffizient, der die Grenze zwischen 'Gewichts-' und 'Volumenladung' angibt.

Die Unterschiede zwischen den Rauminhalten  $m_{Vi}^*$  und  $m_{Vi}$  sind oft gering, da bei der Bestimmung von  $m_{Vi}^*$  schon Stauverluste berücksichtigt werden. Man kann deshalb näherungsweise davon ausgehen, daß 'Frachtmengenkoeffizient'  $St_i^*$  und Staukoeffizient  $St_i$  gleich sind. Für die Grenzwerte der Koeffizienten gilt dann  $St_{gr}^* = St_{gr} = 1 \cdot \left[ \frac{m^3}{t} \right]$ .

Bei der Berechnung der Frachteinnahmen für die Gesamtladung wird hier in der gleichen Weise vorgegangen wie bei der Bestimmung der Einnahmen für Teile der Ladung. Die Frachteinnahmen für eine Ladung, die gekennzeichnet ist durch  $M_G$ ,  $M_V$  und eine auf die Gesamtmenge bezogene Frachtrate  $R$ , ergeben sich dann zu

$$P = R \cdot M_G, \text{ wenn } St_m = M_V / M_G \leq St_{gr} = 1 \text{ ist}$$

oder  $P = R \cdot M_V, \text{ wenn } St_m = M_V / M_G > 1 \text{ ist.}$

Dieses Vorgehen stellt eine Näherung dar. Die so berechneten Einnahmen können geringer sein als die tatsächlichen. Am Beispiel eines möglichen Ladefalls soll dies erläutert werden:

Das Ladungsangebot bestehe aus zwei verschiedenen Ladungsarten, einer spezifisch sehr schweren und einer spezifisch sehr leichten Art. Die Angebotsmenge sei größer als die gewichts- bzw. raummäßige Kapazität des Schiffes. Man könnte

ein Schiff zunächst mit der schweren Ladung bis annähernd auf den Freibordtiefgang abladen. Wegen des geringen Staukoeffizienten würde ein großer Teil des Laderaums dabei leer bleiben. Diesen verbleibenden Teil des Laderaums könnte man nun mit der spezifisch leichten Ladung auffüllen, ohne daß dabei der zulässige Tiefgang überschritten wird. In diesem Fall würde man zweifache Einnahmen erzielen; sie ergeben sich erstens aus der 'Gewichtsladung' und zweitens aus der 'Volumenladung'. Solche und ähnliche Fälle werden durch die Näherung nicht berücksichtigt. Die Näherung geht davon aus, daß die Gesamtladung sich entweder nur aus 'Gewichtsladungspartien' oder aus 'Volumenladungspartien' zusammensetzt.

Bei den oben angeschriebenen Einnahmen wurde vorausgesetzt, daß das Schiff groß genug ist, die Ladung mitzunehmen;  $M_G$  und  $M_V$  also in die Gebiete I oder II in Bild 1 fallen. Für den Fall, daß die angebotene Ladungsmenge die Kapazität des Schiffes übersteigt, muß Ladung zurückgelassen werden. Die Ladungsangebote im Gebiet III sind größer als die Tragfähigkeit  $M_{G0}$  des Schiffes und haben ein Staumaß  $St_m \leq 1$ . Die Menge  $\Delta M_G = M_G - M_{G0}$  muß jeweils zurückgelassen werden. Die Frachteinnahmen ergeben sich aus der mitgenommenen Ladung zu  $P = R \cdot M_{G0}$ .

Die Gebiete IV und V sind dadurch gekennzeichnet, daß die angebotene Ladungsmenge die Tragfähigkeit  $M_{G0}$  und/oder den Rauminhalt des Schiffes  $M_{V0}$  übersteigt. Das Staumaß ist dabei  $St_m > 1$ . Auch in diesen Fällen kann ein Teil der angebotenen Ladung nicht mitgenommen werden. Wenn das Angebot größer ist als  $M_{G0}$  und  $M_{V0}$ , liegt der zurückzulassende Teil jedoch nicht unbedingt fest: z.B. könnten solche Ladungspartien mitgenommen werden, daß zwar die Tragfähigkeit, nicht aber der Stückgutladeraum voll ausgenutzt wird. Auch der umgekehrte Fall ist möglich und schließlich könnte man erreichen, daß

sowohl Tragfähigkeit als auch Raum ganz ausgenutzt werden. Es wird hier angenommen, daß der mitgenommene Teil der Ladung den gleichen Staukoeffizienten  $St_m$  hat, wie die insgesamt angebotene Ladung. Der mitgenommene Anteil von einem Ladungsangebot entsprechend Gebiet IV hat dann das Gewicht  $M_{GO}$  und das Volumen  $M_{GO} \cdot St_m$ ; für den zurückgelassenen Teil ergibt sich das Gewicht  $\Delta M_G = M_G - M_{GO}$  und das entsprechende Volumen  $\Delta M_V = M_V - M_{GO} \cdot St_m$ . Aus einem Angebot entsprechend Gebiet V beträgt das Volumen der beförderten Ladung  $M_{VO}$  und das Gewicht  $M_{VO}/St_m$ . In diesem Fall hat die zurückgebliebene Ladung das Volumen  $\Delta M_V = M_V - M_{VO}$  und das Gewicht  $\Delta M_G = M_G - M_{VO}/St_m$ . Als Frachteinnahe für den Transport von Ladung aus den Gebieten IV und V ergibt sich

$$P = R \cdot M_{GO} \cdot St_m \quad \text{im Fall IV und}$$

$$P = R \cdot M_{VO} \quad \text{im Fall V.}$$

Die insgesamt angebotene Ladungsmenge setzt sich aus mehreren Partien zusammen. Für die Zusammensetzung der Ladungsmenge ( $M_G, M_V$ ) aus Einzelpartien gibt es sehr viel Kombinationsmöglichkeiten. Deshalb ergibt sich auch für die auf die Gesamtmenge bezogene Frachtrate kein bestimmter Wert, sondern man erhält für die Frachtrate bei konstanter Menge eine Verteilung  $f_3(R)$ . Die mittlere Frachtrate wird mit  $\bar{R}$  bezeichnet. Es wird angenommen, daß die Verteilung  $f_3(R)$  unabhängig von der Ladungsmenge ist, wenn die Frachtrate bei Ladungen mit einem Staukoeffizienten  $St_m \leq 1$  auf das Gewicht und bei Ladungen mit  $St_m > 1$  auf das Volumen bezogen ist.

#### e.) Kosten

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Gesamtkosten aufgeteilt in die Kosten  $K_1, K_2$  und  $K_3$ .

$K_1$  sind diejenigen Kosten, die unabhängig oder nahezu unabhängig von der beförderten Ladungsmenge sind. Dazu gehören z.B. Amortisation, Besatzungskosten, Kosten für Instandhaltung und Reparatur, Treibstoffkosten usw.

Die Kosten  $K_2$  stellen diejenigen Kosten dar, die etwa in ähnlicher Weise wie die Frachteinnahmen proportional der beförderten Ladungsmenge sind. Dazu zählen z.B. die Umschlagskosten, die Kosten für Lagerhaltung und ein Teil der Hafengebühren. Diese Kosten werden hier nicht weiter in die Rechnung einbezogen. Man kann sie sich näherungsweise dadurch berücksichtigt denken, daß die später angesetzten Frachtraten schon um den Betrag  $K_2/M_G$  bzw.  $K_2/M_V$  verringerten wirklichen Frachtraten darstellen.

Unter den Kosten  $K_3$  sind fiktive Kosten zu verstehen. Sie sind anzusetzen, wenn wegen eines zu großen Ladungsangebotes Ladung zurückgewiesen werden muß. In den folgenden Rechnungen werden sie proportional dem Gewicht der zurückgelassenen Ladung angenommen, wenn  $St_m \leq 1$  ist und proportional dem Volumen, wenn  $St_m > 1$  ist :

$$\begin{aligned} K_3 &= k_3 \cdot (M_G - M_{G0}) && \text{bei Ladung aus dem Gebiet III} \\ K_3 &= k_3 \cdot (M_V - M_{G0} \cdot St_m) && \text{bei Ladung aus dem Gebiet IV} \\ K_3 &= k_3 \cdot (M_V - M_{V0}) && \text{bei Ladung aus dem Gebiet V} \end{aligned}$$

#### f.) Gewinne

Der Gewinn ist die Differenz zwischen Einnahmen und Kosten. Er ist damit eine Funktion der Frachtmenge und Frachtrate. Je nachdem in welches der Gebiete I bis V (vgl. Bild 1) die angebotene Ladungsmenge fällt, errechnet sich der Gewinn auf verschiedene Weise. Nachstehend ist für jedes der fünf Gebiete der Gewinn angegeben, der sich jeweils für einen Ladungstransport ergibt:

$$\text{Gebiet I : } G = M_G \cdot R - K_1 / z_t$$

$$\text{II : } G = M_V \cdot R - K_1 / z_t$$

$$\begin{aligned} \text{III: } G &= M_{G0} \cdot R - k_3 - K_1 / z_t \\ &= M_{G0} \cdot R - k_3 (M_G - M_{G0}) - K_1 / z_t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{IV : } G &= M_{G0} \cdot St_m \cdot R - k_3 - K_1 / z_t \\ &= M_{G0} \cdot St_m \cdot R - k_3 (M_V - M_{G0} \cdot St_m) - K_1 / z_t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{V : } G &= M_{V0} \cdot R - k_3 - K_1 / z_t \\ &= M_{V0} \cdot R - k_3 \cdot (M_V - M_{V0}) - K_1 / z_t \end{aligned}$$

Hierin bedeutet  $z_t$  die Anzahl der jährlichen Ladungstransporte; wenn auf Hin- und Rückreise Ladung mitgenommen wird, ist  $z_t$  doppelt so groß wie die Anzahl der Rundreisen pro Jahr.

Da die angebotene Ladungsmenge eine verteilte Größe ist, hängt es vom Zufall ab, in welches Gebiet die Menge fällt und welche der angegebenen Beziehungen damit zur Ermittlung des Gewinns in Frage kommt. Die Wahrscheinlichkeit, daß Ladung aus dem Gebiet J angeboten wird ist

$$\Phi_J = \iint_J \varphi(M_G, M_V) \cdot dM_G \cdot dM_V$$

J steht hier allgemein für die Gebiete I bis V. Wenn vorausgesetzt wird, daß bei jeder Abfahrt ein Ladungsangebot vorhanden ist, muß gelten

$$\sum_{J=1}^V \Phi_J = 1$$

Auch innerhalb eines bestimmten Gebietes J kann die angebotene Ladungsmenge verschiedene Werte annehmen. Deshalb und wegen der verteilt angenommenen Frachtrate erhält man auch für den Gewinn G, der sich aus dem Transport einer Ladungs-

menge aus dem Gebiet J ergibt, eine Verteilung  $\psi_J(G)$ .  $\psi_J(G)$  kann durch Transformation der Verteilung von Frachtmenge und Frachtrate  $\varphi(M_G, M_V) \cdot f_3(R)$  für jedes Gebiet J bestimmt werden. Im vorliegenden Fall ergeben sich entsprechend der Anzahl der Gebiete fünf verschiedene Verteilungen  $\psi_J(G)$ . Diese Verteilungen stellen die Komponenten der Verteilung des Gewinns  $\psi(G)$  dar;  $\psi(G)$  ist also eine Mischverteilung

$$\psi(G) = \sum_{J=1}^{\bar{J}} \psi_J(G)$$

Es ist  $\psi_J = \int_{\text{alle } G} \psi_J(G) \cdot dG$  die Wahrscheinlichkeit, daß ein Gewinn aufgrund einer Ladung aus dem Gebiet J auftritt; deshalb ist  $\psi_J$  gleich der Wahrscheinlichkeit  $\Phi_J$ , mit der Ladung in das Gebiet J fällt. Da irgendein Gewinn mit Sicherheit auftritt gilt

$$\sum_{J=1}^{\bar{J}} \psi_J = 1$$

Das Maß, mit dem die wirtschaftliche Güte eines Schiffes beurteilt werden soll, ist der Erwartungswert des Gewinns. Für ihn gilt bei einem Ladungstransport die Beziehung

$$E_1(G) = \int_{\text{alle } G} G \cdot \psi(G) \cdot dG = \int_{\text{alle } G} G \sum_{J=1}^{\bar{J}} \psi_J(G) \cdot dG$$

Der Erwartungswert des Gewinns für ein Jahr beträgt  $E(G) = z_t \cdot E_1(G)$ , mit  $z_t =$  Anzahl der Ladungstransporte pro Jahr.

Da der Gewinn G eine Funktion der Ladungsmenge  $M_G$ ,  $M_V$  und der Frachtrate R ist, kann man den Erwartungswert des Gewinns direkt aus der Verteilung dieser Größen ermitteln. Damit kann darauf verzichtet werden, die Verteilung des Gewinns  $\psi(G)$  bzw. der Komponenten  $\psi_J(G)$  zu bestimmen. Es ist

$$E(G(M_G, M_V, R)) = z_t \iiint_{\text{alle } M_G, M_V, R} G(M_G, M_V, R) \cdot \varphi(M_G, M_V) \cdot f_3(R) \cdot dM_G \cdot dM_V \cdot dR$$

Mit den für die einzelnen Gebiete angeschriebenen Gewinne erhält man:



#### 4. Wahl der Eingangsdaten und variierten Größen

##### a.) Verteilungen der angebotenen Ladungsmengen

Für die Verteilungen des Gewichts der angebotenen Ladung  $f_1(M_G)$  werden eine Reihe von Verteilungsgesetzen vorgegeben. Sie sind im Anhang A zusammengestellt.

Um zu einem realistischen Wert für den Mittelwert des Staukoeffizienten  $St_m$  der insgesamt anfallenden Ladung zu kommen, wurden einige Jahrgänge der 'Statik des Hamburgischen Staates' ausgewertet. Bild 6a im Anhang zeigt die dabei gefundene empirische Verteilung der Staukoeffizienten  $St$  der zwischen Hamburg und Nordamerika (Ostküste) beförderten Güter (Empfang und Versand in Hamburg). Der Mittelwert dieser empirischen Verteilungsdichte liegt bei etwa  $\overline{St} = 1.85 \text{ m}^3/\text{t}$ . Der Mittelwert des Staukoeffizienten  $\overline{St}_m$  der insgesamt angebotenen Ladungsmenge ( $M_G, M_V$ ) muß der gleiche sein, wenn sich die Gesamtmenge aus mehreren Einzelpartien mit den nach Bild 6a verteilten Staukoeffizienten zusammensetzt. Nach einem Satz der Wahrscheinlichkeitslehre kann man mit guter Näherung annehmen, daß  $St_m$  um den Mittelwert  $\overline{St}_m$  normalverteilt ist. Die Streuung  $\sigma_{St_m}$  dieser Normalverteilung richtet sich nach der Anzahl der Einzelpartien, aus denen die Gesamtladung besteht. Die Streuung ist umso kleiner, je größer die Anzahl der Einzelpartien ist. Den Untersuchungen liegen die in Bild 7a dargestellten Verteilungen  $g(St_m)$  zugrunde.

Bei den angegebenen Staumaßen sind die Stauverluste berücksichtigt; es handelt sich also um Angaben darüber, wieviel Stückgutraum in  $\text{m}^3$  1000kg Ladung im Schiff einnehmen.

Es wird angenommen, daß die Verteilung der angebotenen Ladung in den zwei hier betrachteten Häfen gleich ist.

## Schrifttum

Aas, H.L.

Zur Methodik der Optimierungsrechnungen für Handelsschiffe  
Schiffstechnik 1966, Seite 139

Benford, H.

Fundamentals of Ship Design Economics  
Ann Arbor 1965

Berg, H.C. und Hebler, H.

Hafenliegezeiten von Linienfrachtschiffen  
Schiffstechnik 1957

Cruz, J.

Notes on Valuation of Ships  
International Shipbuilding Progress 1957, Seite 491

Krappinger, O.

Anwendung von Methoden der Unternehmensforschung auf den Schiffsentwurf  
Unveröffentlicht

Rotermund, W. und Koch, W.

Die Ladung Band I und II

Thorburn, Th.

Supply and Demand of Water Transport  
FFJ Report. The Business Research Institut at the  
Stockholm School of Economics. 1960

Völker, H.

Wirtschaftlichkeitsrechnungen beim Schiffsentwurf  
Schiff und Hafen 1966, Seite 449

Wegner, U.

Größenverhältnisse von Seeschiffen  
Hansa 1961, Seite 575

Maritime Transportation of Unitized Cargo

Maritime Cargo Transportation Conference, Publ. Nr. 745

Churchman, C.W., Ackhoff, R.L. und Arnoff, E.L.

Operations Research. Eine Einführung in die Unternehmensforschung. 1961

Heinhold, J. und Gaede, K.W.

Ingenieur - Statistik München, Wien 1964

Saaty, Th.L.

Mathematical Methods in Operations Research  
New York 1959

Schnetterer, L.

Einführung in die mathematische Statistik  
Wien 1956

---

Alpers, R.

Bestimmung der günstigsten Tragfähigkeit und Räume  
von Linienschiffen  
Diplomarbeit, unveröffentlicht

Bosse, K.

Grundsätzliche Kostenbetrachtung zum Problem der  
Organisation des Gütertransports in der Seeschifffahrt  
Diplomarbeit, unveröffentlicht

Rehling, J.

Grundsätzliche Überlegungen zu Transportproblemen in  
der Seeschifffahrt  
Diplomarbeit, unveröffentlicht

Kostengruppe	$r=17 \frac{m^3}{t}$	1.85	2.0	2.15	2.3	2.45
1	1010.0	1025.0	1040.0	1056.0	1071.0	1087.0
2	119.8	120.7	122.4	124.2	126.0	127.9
3	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0
Σ 1-3	1929.8	1945.7	1962.4	1980.2	1997.0	2014.9
4	154.0	155.5	157.0	158.3	159.7	161.1
5	14.8					
6	49.7	617.5	617.5	617.5	617.5	617.5
7a	500.0					
7b	53.0					
Σ 1-7	2701.6	2718.7	2736.9	2756.0	2774.2	2793.5

dw = 5000 t

Kostengr.	$r=17 \frac{m^3}{t}$	1.85	2.0	2.15	2.3	2.45
1	1091.0	1107.0	1122.0	1138.0	1153.0	1168.0
2	128.4	130.2	132.0	133.8	135.6	137.4
3	840.0	840.0	840.0	840.0	840.0	840.0
Σ 1-3	2059.4	2077.2	2094.0	2111.8	2128.6	2145.4
4	164.7	166.2	167.5	168.9	170.3	171.6
5	17.4					
6	58.5	654.5	654.5	654.5	654.5	654.5
7a	524.0					
7b	54.6					
Σ 1-7	2878.6	2897.9	2916.0	2935.2	2953.4	2971.5

dw = 5750 t

1	1158.0	1173.0	1188.0	1203.0	1218.0	1233.0
2	136.2	138.0	139.9	141.6	143.4	145.1
3	860.0	860.0	860.0	860.0	860.0	860.0
Σ 1-3	2154.2	2171.0	2187.9	2204.6	2221.4	2238.1
4	172.3	173.7	175.0	176.4	177.7	179.1
5	20.4					
6	68.0	686.1	686.1	686.1	686.1	686.1
7a	542.0					
7b	55.7					
Σ 1-7	3012.6	3030.8	3049.0	3067.1	3085.2	3103.3

dw = 6500 t

1	1219.0	1229.0	1244.0	1260.0	1275.0	1290.0
2	142.8	144.6	146.2	148.1	150.0	151.9
3	880.0	880.0	880.0	880.0	880.0	880.0
Σ 1-3	2235.8	2253.6	2270.2	2288.1	2305.0	2321.9
4	178.8	180.3	181.6	183.1	184.4	185.7
5	23.1					
6	88.0	732.8	732.8	732.8	732.8	732.8
7a	565.0					
7b	56.7					
Σ 1-7	3147.4	3166.7	3184.6	3204.0	3222.2	3240.4

dw = 7250 t

1	1270.0	1285.0	1300.0	1315.0	1330.0	1346.0
2	149.3	151.1	153.0	154.8	156.6	158.3
3	900.0	900.0	900.0	900.0	900.0	900.0
Σ 1-3	2319.3	2336.1	2353.0	2369.8	2386.6	2404.3
4	185.5	186.9	188.2	189.6	190.9	192.3
5	26.0					
6	97.7	764.6	764.6	764.6	764.6	764.6
7a	583.0					
7b	57.9					
Σ 1-7	3269.4	3287.6	3305.8	3324.0	3324.1	3361.2

dw = 8000 t

1	1315.0	1330.0	1346.0	1361.0	1376.0	1391.0
2	154.8	156.6	158.3	160.1	162.0	163.8
3	920.0	920.0	920.0	920.0	920.0	920.0
Σ 1-3	2389.8	2406.6	2424.3	2441.1	2458.0	2474.0
4	191.1	192.5	193.9	195.2	196.6	198.0
5	29.1					
6	109.0	799.1	799.1	799.1	799.1	799.1
7a	602.0					
7b	59.0					
Σ 1-7	3380.0	3398.2	3417.3	3435.4	3453.7	3471.9

dw = 8750 t

Tabelle 3 : Jährliche Schiffskosten in 1000 DM

Anhänge A, B und C zum Abschlußbericht  
zu den Vorhaben We 112/27,35,47

A. Verteilung der angebotenen Ladung

Verteilungsgesetze für das Gewicht der angebotenen Ladung

Im folgenden werden die Verteilungsgesetze des Gewichts der angebotenen Ladung mitgeteilt, für die bei verschiedenen Schiffen der Erwartungswert des Gewinns berechnet wurde. Für den Mittelwert  $\bar{M}_G$  dieser Verteilungen wurde im allgemeinen der Wert  $\bar{M}_G = 5000t$  angenommen; Für die Streuung der Verteilungen wurden die Werte  $\sigma_{M_G} = 740, 1110, 1480, 1850t$  angesetzt.

1.) Konstante Verteilung (vergl. Bild 1a)

Es werden nur die Bereiche für  $M_G$  angegeben, in denen die Verteilung  $f_1(M_G)$  existiert. Für kleinere und größere Werte von  $M_G$  wird  $f_1(M_G) = 0$ .

a.)  $\sigma_{M_G} = 740 t$

$$f_1(M_G) = 0.39 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{1}{t} \right] \quad \text{für } 3720 \leq M_G \leq 6280 t$$

b.)  $\sigma_{M_G} = 1110 t$

$$f_1(M_G) = 0.26 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{1}{t} \right] \quad \text{für } 3080 \leq M_G \leq 6920 t$$

c.)  $\sigma_{M_G} = 1480 t$

$$f_1(M_G) = 0.195 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{1}{t} \right] \quad \text{für } 2440 \leq M_G \leq 7560 t$$

d.)  $\sigma_{M_G} = 1850 t$

$$f_1(M_G) = 0.156 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{1}{t} \right] \quad \text{für } 1800 \leq M_G \leq 8200 t$$

2.) Normalverteilung (vergl. Bild 2a)

Für alle  $M_G < 0$  und  $M_G > 10000t$  wird die Verteilung  $f_1(M_G)$  gleich null gesetzt. Der dadurch von der Verteilung abgeschnittene Teil beträgt im Falle der größten untersuchten Streuung  $\sigma_{M_G} = 1850t$  weniger als 1%.

Die Normalverteilung ist gegeben durch die Gleichung

$$f_1(M_G) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{\sigma_{M_G}} \cdot \exp \left[ -\frac{(M_G - \bar{M}_G)^2}{2 \cdot \sigma_{M_G}^2} \right] \quad \left[ \frac{1}{t} \right]$$

Für  $\sigma_{M_G}$  wurden die o.a. Werte eingesetzt. Im Fall  $\sigma_{M_G} = 740t$  wurde

auch mit den Mittelwerten  $\bar{M}_G = 4000$  und  $6000t$  gerechnet.

3.) Symmetrische Mischverteilung (vergl. Bild 3a)

Die symmetrischen Mischverteilungen werden aus zwei Normalverteilungen verschiedener Streuungen zusammengesetzt. Die Ausgangsverteilungen sind beschrieben durch

$$f_A(M_G) = \frac{1}{740 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp. \left[ -\frac{(M_G - 5000)^2}{2 \cdot 54.8 \cdot 10^4} \right] \quad \left[ \frac{1}{t} \right]$$

$$f_E(M_G) = \frac{1}{2220 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp. \left[ -\frac{(M_G - 5000)^2}{2 \cdot 492.8 \cdot 10^4} \right] \quad \left[ \frac{1}{t} \right]$$

Indem man die Funktionen  $f_A(M_G)$  und  $f_E(M_G)$  mit Gewichten  $p_A$  und  $p_E$  belegt und addiert, kann man Verteilungen mit Streuungen  $740 \leq \sigma_{M_G} \leq 2220t$  erzeugen. Dabei wird vorausgesetzt :  $p_A + p_E = 1$

Für die Mischverteilung gilt:  $f_1(M_G) = p_A \cdot f_A(M_G) + p_E \cdot f_E(M_G)$

Die Verteilungen werden auf den Bereich  $0 \leq M_G \leq 10000t$  beschränkt. Man kommt deshalb wegen der großen Streuung von  $f_E(M_G)$  zu zweiseitig gestutzten Mischverteilungen. Um die Bedingung

$$\int_0^{10000} f_1(M_G) \cdot d(M_G) = 1$$

zu erfüllen, wird ein Korrekturfaktor  $c_f$  eingeführt. Die Gleichung für die Mischverteilung lautet dann:

$$f_1(M_G) = [p_A \cdot f_A(M_G) + p_E \cdot f_E(M_G)] \cdot c_f$$

Für Mischverteilungen verschiedener Streuungen ergibt sich

a.)  $\sigma_{M_G} = 740t$

$$f_1(M_G) = f_A(M_G)$$

b.)  $\sigma_{M_G} = 1110t$

$$f_1(M_G) = 0.84 \cdot f_A(M_G) + 0.16 \cdot f_E(M_G) \quad \left[ \frac{1}{t} \right]$$

c.)  $\sigma_{M_G} = 1480t$

$$f_1(M_G) = [0.617 \cdot f_A(M_G) + 0.383 \cdot f_E(M_G)] \cdot 1.01 \quad \left[ \frac{1}{t} \right]$$

d.)  $\sigma_{M_G} = 1850t$

$$f_1(M_G) = [0.33 \cdot f_A(M_G) + 0.67 \cdot f_E(M_G)] \cdot 1.017 \quad \left[ \frac{1}{t} \right]$$

4.) Unsymmetrische Mischverteilung mit positiver Schiefe  
(vergl. Bild 4a)

Die unsymmetrischen Mischverteilungen werden durch Addition von zwei Normalverteilungen mit den Gewichten  $p_A$  und  $p_E$  erzeugt. Die Streuungen der Ausgangsverteilungen betragen  $\sigma_{M_{G_A}} = 740t$

und  $\sigma_{M_{G_E}} = 1480t$ . Die Mittelwerte  $\bar{M}_{G_A}$  und  $\bar{M}_{G_E}$ , sowie die Ge-

wichte  $p_A$  und  $p_E$  werden so gewählt, daß der Mittelwert der Mischverteilung bei 5000t liegt.

Die positive Schiefe erhält man, wenn

$$\int_0^{10000} (M_G - \bar{M}_G)^3 \cdot f_1(M_G) \cdot d(M_G) > 0$$

ist. Dies ist der Fall bei 'linkssteilen' Kurven für  $f_1(M_G)$ . Indem man  $\bar{M}_{G_A}$  kleiner wählt als  $\bar{M}_{G_E}$  ergibt sich eine positive Schiefe. Die Gleichungen der gewählten unsymmetrischen Mischverteilungen lauten allgemein:

$$f_1(M_G) = \frac{p_A}{\sigma_{M_{G_A}} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ -\frac{(M_G - \bar{M}_{G_A})^2}{2 \cdot \sigma_{M_{G_A}}^2} \right] + \frac{p_E}{\sigma_{M_{G_E}} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ -\frac{(M_G - \bar{M}_{G_E})^2}{2 \cdot \sigma_{M_{G_E}}^2} \right] \quad \left[ \frac{1}{t} \right]$$

a.)  $\sigma_{M_G} = 740 t$

Spezialfall:  $p_A = 1$  ,  $p_E = 0$  ,  $\bar{M}_{G_A} = 5000 t$

b.)  $\sigma_{M_G} = 1110 t$

$$\begin{array}{l} p_A = 0.667 \quad , \quad p_E = 0.333 \\ \bar{M}_{G_A} = 4565 t \quad , \quad \bar{M}_{G_E} = 5865 t \end{array}$$

c.)  $\sigma_{M_G} = 1480 t$

$$p_A = p_E = 0.5 \quad \bar{M}_{G_A} = 4100 t \quad \bar{M}_{G_E} = 5900 t$$

d.)  $\sigma_{M_G} = 1850 t$

$$\begin{array}{l} p_A = 0.333 \quad , \quad p_E = 0.667 \\ \bar{M}_{G_A} = 3120 t \quad \bar{M}_{G_E} = 5900 t \end{array}$$

5.) Unsymmetrische Mischverteilungen mit negativer Schiefe  
(vergl. Bild 5a)

Die Mischverteilungen mit negativer Schiefe erhält man, indem man die unter 4.) gefundenen Funktionen an der vertikalen Achse durch  $M_G = 5000t$  spiegelt. Die Gleichungen lauten dann:

$$f_1(M_G) = \frac{P_A}{\sigma_{M_{G_A}} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ - \frac{(M_G - \bar{M}_{G_A})^2}{2 \cdot \sigma_{M_{G_A}}^2} \right] \\ + \frac{P_E}{\sigma_{M_{G_E}} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ - \frac{(M_G - \bar{M}_{G_E})^2}{2 \cdot \sigma_{M_{G_E}}^2} \right] \quad \left[ \frac{1}{t} \right]$$

In allen Fällen betragen die Streuungen der Ausgangsverteilungen  $\sigma_{M_{G_A}} = 740t$  und  $\sigma_{M_{G_E}} = 1480t$ .

a.)  $\sigma_{M_G} = 740t$

Spezialfall:  $P_A = 1$   $P_E = 0$

b.)  $\sigma_{M_G} = 1110t$

$P_A = 0.667$

$P_E = 0.333$

$\bar{M}_{G_A} = 5435t$

$\bar{M}_{G_E} = 4135t$

c.)  $\sigma_{M_G} = 1480t$

$P_A = P_E = 0.5$

$\bar{M}_{G_A} = 5900t$

$\bar{M}_{G_E} = 4100t$

d.)  $\sigma_{M_G} = 1850t$

$P_A = 0.333$

$P_E = 0.667$

$\bar{M}_{G_A} = 6880t$

$\bar{M}_{G_E} = 4060t$

Die unsymmetrischen Mischverteilungen werden außerhalb des Bereiches  $0 \leq M_G \leq 10000t$  gleich null gesetzt. Der dadurch entstehende Fehler ist vernachlässigbar gering.

Verteilung des mittleren Staukoeffizienten  $St_m$  der angebotenen Ladung

Für die Verteilung des Staukoeffizienten  $St_m$  der angebotenen Ladung werden Normalverteilungen angenommen. Der Mittelwert  $\overline{St}_m$  wird auf  $1,85 \text{ m}^3/\text{t}$  festgesetzt; dies ist auch der Mittelwert  $\overline{St}$  der Staukoeffizienten der zwischen Hamburg und Nordamerika (Ostküste) transportierten Ladung. Bild 6a zeigt die empirische Verteilung der Staukoeffizienten  $St$  der auf dieser Route beförderten Ladung.

In Bild 7a sind die angenommenen Verteilungen für den mittleren Staukoeffizienten der angebotenen Ladung dargestellt. Die Streuungen betragen  $\sigma_{St_m} = 0.178, 0.267, 0.356, 0.445$  und  $0.533 \text{ m}^3/\text{t}$ .

B. Zusammenhang zwischen Tragfähigkeit  $dw$  und Nutztragfähigkeit  $M_{Go}$ , Laderauminhalt  $M_{Vo}$  und mittleren Staukoeffizienten des Schiffes  $St_o$

Die Tragfähigkeit  $dw$  ist wie folgt definiert:

$$\text{Tragfähigkeit } dw [t] = \text{Nutztragfähigkeit} + (\text{Betriebsstoffe} + \text{Frischwasser} + \text{Vorräte} + \text{Reedereiinventar} + \text{Mannschaften} + \text{Effekten}) [t]$$

Für ein bestimmtes Schiff ist die Tragfähigkeit  $dw$  konstant. Setzt man voraus, daß sich das Gewicht von Reedereiinventar und Mannschaften + Effekten nicht ändert, so hängt die Nutztragfähigkeit nur von der Menge der an Bord befindlichen Verbrauchsstoffe ab.

Bei der Berechnung der Nutztragfähigkeit für verschiedene Schiffsgrößen wird von den folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

Die Länge des Seeweges beträgt 7000 sm und die Geschwindigkeit wird für alle Schiffe zu 17 kn angenommen. Damit ergibt sich für eine Rundreise eine Seezeit von 17.2 d .

Es werden nur zwei Häfen bedient und Verbrauchsstoffe werden nur in einem Hafen übernommen. Die Rundreisedauer beträgt 28d. Der Antrieb der Schiffe erfolgt durch langsamlaufende Dieselmotoren. Für die Versorgung sind Hilfsdiesel vorgesehen.

Im 'Bunkerhafen' ist die Nutztragfähigkeit am kleinsten. Sie wird mit  $M_{Go1}$  bezeichnet.  $M_{Go2}$  ist die Nutztragfähigkeit im 2. Hafen; sie ist um etwa die Hälfte des Gewichts aller Verbrauchsstoffe größer als  $M_{Go1}$ . Die mittlere Nutztragfähigkeit ergibt sich zu  $M_{Go} = 1/2 (M_{Go1} + M_{Go2})$ .

Der Schwerölverbrauch und Dieselölverbrauch kann den Bildern 9c und 10c entnommen werden. Als Reserve wird mit einem Zuschlag von 10% gerechnet. Für den Frischwasserverbrauch wird 0.1 t/Mann·d und für Proviant 5 kg/Mann·d angesetzt. Mit einem Zuschlag von 10% auf Frischwasser und Proviant kommt man auf zusammen etwa 0.115 t/Mann·d. Das Gewicht für Reedereinventar beträgt etwa 0.5%dw und für das Gewicht von Mannschaft + Effekten werden 0.2 t/Mann angenommen. Die Anzahl der Besatzungsmitglieder ergibt sich für die verschiedenen Schiffsgrößen aus Bild 2c.

In Bild 1b sind die Verhältniswerte  $\xi_1 = M_{Go1} / dw$ ,  $\xi_2 = M_{Go2} / dw$  und  $\xi = M_{Go} / dw$  aufgetragen.  $\xi_1$  ist das Verhältnis der Tragfähigkeiten bei vollen Verbrauchsstoffen einschließlich aller Reserven.  $\xi_2$  ergibt sich bei etwa halben Verbrauchsstoffen; die Reserven sind dabei unverbraucht angenommen.  $\xi$  ist der Mittelwert von  $\xi_1$  und  $\xi_2$ . Bild 2b zeigt die Nutztragfähigkeit  $M_{Go}$  über der Tragfähigkeit  $dw$ .

Die Räumte  $r$  ist in folgender Weise definiert:

$$r = \frac{\text{Kornladeraum } M_{VK}}{\text{Tragfähigkeit } dw} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{t}} \right]$$

Der Kornladeraum ist größer als der Stückgutladeraum. Nach Rotermond / Koch kann mit einem Abminderungsfaktor

$$\eta = \frac{\text{Stückgutladeraum } M_{Vo}}{\text{Kornladeraum } M_{VK}} = 0.92$$

gerechnet werden.

Damit erhält man für den Stückgutladeraum

$$M_{V_0} = M_{VK} \cdot \eta = r \cdot dw \cdot \eta = r \cdot dw \cdot 0.92 \text{ [m}^3\text{]}$$

Der mittlere Staukoeffizient der Schiffe ergibt sich zu

$$St_0 = M_{V_0} / M_{G_0} = \eta / \xi \cdot r \text{ [m}^3\text{/t]}$$

In Bild 3b ist  $St_0$  über der Tragfähigkeit  $dw$  und der Räume  $r$  aufgetragen.

In den Tabellen 1 und 2 sind die Nutztragfähigkeiten  $M_{G_0}$ , Laderauminhalte  $M_{V_0}$  und Staukoeffizienten  $St_0$  für 30 ausgewählte Schiffe angegeben.

Tabelle 1

Tragfähigkeiten  $dw$  und  $M_{G_0}$  und Laderaumgrößen  $M_{V_0}$  für verschiedene Schiffe

$dw$ [t]	5000	5750	6500	7250	8000	8750
$\xi$	0.875	0.885	0.893	0.90	0.907	0.912
$M_{G_0}$ [t]	4375	5080	5800	6525	7250	7975
$M_{V_0}$ [m <sup>3</sup> ] bei $r = 1.7 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$	7820	9000	10170	11350	12500	13700
1.85	8500	9800	11050	12350	13600	14900
2.0	9200	10580	11950	13350	14700	16100
2.15	9900	11350	12850	14350	15830	17300
2.30	10580	12200	13750	15350	16930	18550
2.45	11270	13000	14650	16350	18030	19750

Tabelle 2

Staukoeffizienten  $St_0$  der Schiffe

dw [t]	5000	5750	6500	7250	8000	8750
$r \left[ \frac{m^3}{t} \right] = 1.7$	1.79	1.77	1.755	1.74	1.725	1.715
1.85	1.945	1.925	1.905	1.89	1.875	1.87
2.0	2.10	2.08	2.06	2.045	2.025	2.015
2.15	2.26	2.24	2.22	2.20	2.185	2.17
2.3	2.42	2.40	2.37	2.35	2.335	2.325
2.45	2.575	2.56	2.525	2.505	2.485	2.475

### C. Zusammenstellung der Kosten

#### 1. Neubaukosten von Schiffen und Annuität

Die im folgenden angegebenen Preise für neue Trockenfrachter wurden nach J. Cruz bestimmt. Sie gelten für Schiffe mit Standardtiefgang, die durch einen langsamlaufenden Dieselmotor angetrieben werden. Kühleinrichtungen sind für diese Schiffe nicht vorgesehen.

Die Preise wurden nach der Formel

$$K_n = p \cdot dw \cdot W \cdot \left( 1 + 0.5 \frac{r - 1.7}{1.7} \right)$$

berechnet. hierin bedeuten

- p = Preis pro tdw des Fairplay-Standardschiffes (dw=9500t, v=12kn)
- W = Korrekturfaktor, berücksichtigt Unterschiede des Preises pro tdw bei anderen Schiffsgrößen und Geschwindigkeiten.
- r = Räumte des Schiffes
- dw = Gesamttragfähigkeit des Schiffes

---

Cruz bezieht alle Angaben auf engl. tons, sie werden hier jedoch so verwendet, als seien sie in Abhängigkeit von metr. Tonnen gegeben. Der dadurch entstehende Fehler ist unerheblich.

Als Preis pro tdw wird aufgrund von Preisstudien in Fairplay 825,- DM/t angesetzt. Damit ergeben sich die in Bild 1a aufgetragenen Neubaukosten  $K_N$ .

Berechnung der Annuität:

Es wird angenommen, daß der Wert des Schiffes nach 15 Jahren bis auf einen Schrottwert von  $S_W = 0.025 \cdot K_N$  abgeschrieben ist. Der jährlich nachschüssig für Verzinsung und Tilgung sich ergebende Betrag ist

$$K_A = \frac{K_N - S_W}{a_n} + S_W i$$

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

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

Mit  $S_W = 0.025 \cdot K_N$

$$a_n = \frac{1}{0.103} = 9.71$$

erhält man

$$K_A = K_N \frac{0.975}{9.71} + 0.0015 = 0.1019 K_N$$

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

2. Kosten für Instandhaltung und Reparatur

Nach Angaben verschiedener Reedereien belaufen sich die jährlichen Instandhaltungs- und Reparaturkosten auf etwa 1 bis 1.5% der Neubaukosten. Sie werden hier zu

$$K_{JR} = 0.012 \cdot K_N$$

angesetzt.  $K_N$  siehe Bild 1c. Es kann angenommen werden, daß diese Kosten unabhängig von dem Verhältnis Hafenliegezeit zu Fahrzeit und von der beförderten Ladungsmenge sind.

### 3. Besatzungskosten

Die Besatzungskosten sind eine Funktion der Anzahl der Besatzungsmitglieder und deren Dienstgrad. Unter der Annahme, daß der Anteil der einzelnen Dienstgrade an der gesamten Besatzung bei Frachtschiffen etwa gleich ist, kann man die Besatzungskosten direkt in Abhängigkeit von der Anzahl aller Besatzungsmitglieder angeben. Zur Berechnung der Kosten ist dann von einem 'mittleren' Dienstgrad auszugehen.

Die Gesamtbesatzung setzt sich zusammen aus:

- a) Deckspersonal; die Anzahl hängt vom BRT-Gehalt des Schiffes ab.
- b) Maschinenpersonal; die Anzahl ist von der Art und der Leistung der Antriebsanlage abhängig.
- c) Wirtschaftspersonal; ihre Anzahl richtet sich nach der Stärke der übrigen Besatzung.

In Bild 2c ist die Gesamtzahl der Besatzungsmitglieder  $z_B$  in Abhängigkeit von der Tragfähigkeit und der Geschwindigkeit aufgetragen. Der Darstellung liegen die folgenden Annahmen zugrunde:

Die Tragfähigkeit ( $dw$ ) ändert sich ähnlich dem BRT-Gehalt und die Räume hat keinen Einfluß auf diese Größen. Bei Schiffen gleichen Typs trifft dies in etwa zu. Ferner werden zum Antrieb langsamlaufende Dieselmotoren verwendet. Die Angaben in Bild 2c beruhen auf den Bestimmungen der 'Schiffsbesatzungsordnung vom 29. Juni 1931' und der 'Bemannungsrichtlinien für deutsche Schiffe vom 18. Dezember 1934'. Der in Wirklichkeit unstetige Verlauf der Personenzahl wurde durch stetige Kurven angenähert.

Die Kosten für ein Besatzungsmitglied setzen sich zusammen aus:

- $\alpha$ ) Heuer
- $\beta$ ) Sozialabgaben
- $\gamma$ ) Verpflegungskosten
- $\delta$ ) Versicherungen

Zur Zeit belaufen sich die mittleren Gesamtkosten  $\alpha + \delta$  auf etwa  $k_B = 20.000$  DM/Mann Jahr. Die jährlichen Besatzungskosten betragen

$$K_B = k_B \cdot z_B$$

#### 4. Verwaltungskosten

Nach Reedereiangaben betragen die Verwaltungskosten etwa 8% der Summe der unter 1 - 3 aufgeführten Kosten:

$$K_V = 0.08 \cdot (K_A + K_{JR} + K_B).$$

Sie sind ebenfalls unabhängig von der Menge der beförderten Ladung und dem Verhältnis von Hafenzzeit zu Seezeit.

#### 5. Kosten infolge der Erhebung von Hafengeld

Das Hafengeld richtet sich nach dem Nettoraumgehalt des Schiffes. Es wird unabhängig von der Dauer der Liegezeit einmalig erhoben. Der Nettoraumgehalt  $NR [m^3]$  ist in Bild 3c für Schutzdecker und Volldecker in Abhängigkeit von der Tragfähigkeit aufgetragen. Diese Angaben basieren auf den von Wegner mitgeteilten statistischen Mittelwerten. Es wird angenommen, daß bei Schutzdeckern der Nettoraumgehalt nicht durch die Räume beeinflußt wird.

Das spezifische Hafengeld wird in 'Deutsches Schifffahrt- und Hafen-Jahrbuch' Bd.59, 1964, für den Hamburger Hafen mit

$$k_{Ha} = 0.13 \text{ DM/NR}$$

pro Hafenbenutzung angegeben. Für eine Hafenbenutzung ergeben sich damit für Schiffe verschiedener Tragfähigkeit die in Bild 4c aufgetragenen Kosten :

$$K_{Ha} = NR \cdot k_{Ha} \quad \text{DM/Hafenbenutzung}$$

Bei  $Z_{Ha}$  Hafenbenutzung in einem Jahr erhält man die jährlich abzuführenden Hafengelder zu

$$K_{Ha} = NR \cdot k_{Ha} \cdot Z_{Ha} \cdot$$

#### 6. Kosten infolge der Erhebung von Raumgeld

Das Raumgeld zählt zu den Kaigebühren. Es wird wie das Hafengeld nach dem Nettoraumgehalt der Schiffe bemessen; jedoch ist es proportional der Liegezeit.

Im Hamburger Hafen beträgt das spezifische Raumgeld  $k_{Ra}$  nach 'Deutsches Schifffahrt- und Hafen-Jahrbuch' für Schiffe mit

$0 < NR$	$\left[ m^3 \right]$	$\leq 3000$	:	0.09	DM/ $m^3$ d	
3000	$\leq NR$	$\left[ m^3 \right]$	$\leq 6000$	:	0.10	DM/ $m^3$ d
6000	$< NR$	$\left[ m^3 \right]$	:	0.11	DM/ $m^3$ d	

Die täglich zu zahlenden Raumbelagerungen sind in Bild 5c aufgetragen. Beträgt die Hafenzzeit eines Schiffes pro Jahr  $t_{Ha}$  [d/J], so sind jährlich

$$K_{Ra} = k_{Ra} \cdot NR \cdot t_{Ha}$$

an Raumbelagerung abzuführen.

Die Dauer der Hafenliegezeit wird hauptsächlich durch die Zeit bestimmt, die für das Laden und Löschen des Schiffes nötig ist. Die Umschlagszeit hängt von der Größe der Schiffe und von der Art der Lade- und Löscheinrichtungen ab. Bei Schiffen, die mit herkömmlichem Ladegerät ausgerüstet sind, ist die Umschlagszeit eine Funktion der Zahl der eingesetzten Lasthaken. In Bild 6c ist die Anzahl der Lasthaken über die Tragfähigkeit aufgetragen (s.a. 'Maritime Transportation of Unitized Cargo'. Publ.745). Nach H.C. Berg und H. Hebel er beträgt die mittlere Umschlagsleistung für einen Lasthaken bei normalem Stückgut etwa 17 t/h. Hiermit ergeben sich die in Bild 7c aufgetragenen Umschlagzeiten. Unter der Annahme, daß das Löschen gleich viel Zeit beansprucht, wie das Laden, sind die angegebenen Zeiten zur Ermittlung der Hafenzzeit zu verdoppeln. U.U. ist zur Berechnung der Hafenliegezeit eine Zeitreserve vorzusehen.

## 7. Betriebsstoffkosten

### a) Hauptmaschine

Die Betriebsstoffkosten hängen vom Typ und der Leistung der installierten Antriebsanlage und von der Seezeit bzw. vom Seeweg ab. Die bei Schiffen installierte Leistung ist in Bild 8c über der Tragfähigkeit mit der Dienstgeschwindigkeit als Parameter aufgetragen. Den Kurven liegt eine große Zahl gebauter Schiffe zugrunde. Angegeben ist die wirkliche, im Mittel für verschiedenes Wetter, verschiedenen Zustand der Außenhaut usw. erforderliche Leistung. Es wird angenommen, daß die Räume keinen Einfluß auf die Leistung hat.

Wählt man als Antriebsanlagen langsamlaufende Dieselmotoren, so setzt sich der Betriebsstoffverbrauch zusammen aus

- |                     |   |              |
|---------------------|---|--------------|
| 1) Schweröl         | } | = Brennstoff |
| 2) Schweröladditive |   |              |
| 3) Schmieröl        |   |              |

(Schweröl und Additive werden im Verhältnis 1t/(1/41) gemischt.)

Der spezifische Brennstoffverbrauch beträgt etwa

$$b_E = 0.160 \text{ kg/PS}h = 3.84 \text{ kg/PSd}$$

der Schmierölverbrauch

$$s_E = 0.00075 \text{ kg/PS}h = 0.018 \text{ kg/PSd}$$

Daraus ergibt sich für einen Seeweg von 1000sm der in Bild 9c in Abhängigkeit von der Tragfähigkeit und Geschwindigkeit dargestellte Brennstoffverbrauch Br. Der Schmierölverbrauch S beträgt 4.7‰ des Brennstoffverbrauchs.

In europäischen Häfen kostet 1t Brennstoff zur Zeit etwa  $k_{Br} = 65 \text{ DM/t}$ . Der Preis für Additive ist hierin enthalten. Für Schmieröl müssen etwa  $k_S = 1200 \text{ DM/t}$  bezahlt werden. Beträgt die Zahl der Rundreisen pro Jahr  $z_{RJ}$ , so ergeben sich die jährlichen Betriebsstoffkosten zu

$$K_{BS} = z_{RJ} \cdot (k_{Br} \cdot Br + k_S \cdot S) \quad \text{DM}$$

oder

$$K_{BS} = z_{RJ} \cdot Br (k_{Br} + 0.0047 k_S) \quad \text{DM}$$

Sie sind nahezu unabhängig vom jeweiligen Beladungszustand.

#### b) Hilfsmaschinen

Die Leistung der Hilfsmaschinen kann als Funktion der Hauptmaschine dargestellt werden. In dem hier betrachteten Bereich der Antriebsleistungen von etwa 1000 ÷ 10000 PS wird die auf die Antriebsleistung bezogene Leistung der Hilfsmaschinen durch die in Bild 10c angegebene Gerade angenähert. Der spezifische Brennstoffverbrauch der Hilfsmaschinen beträgt etwa

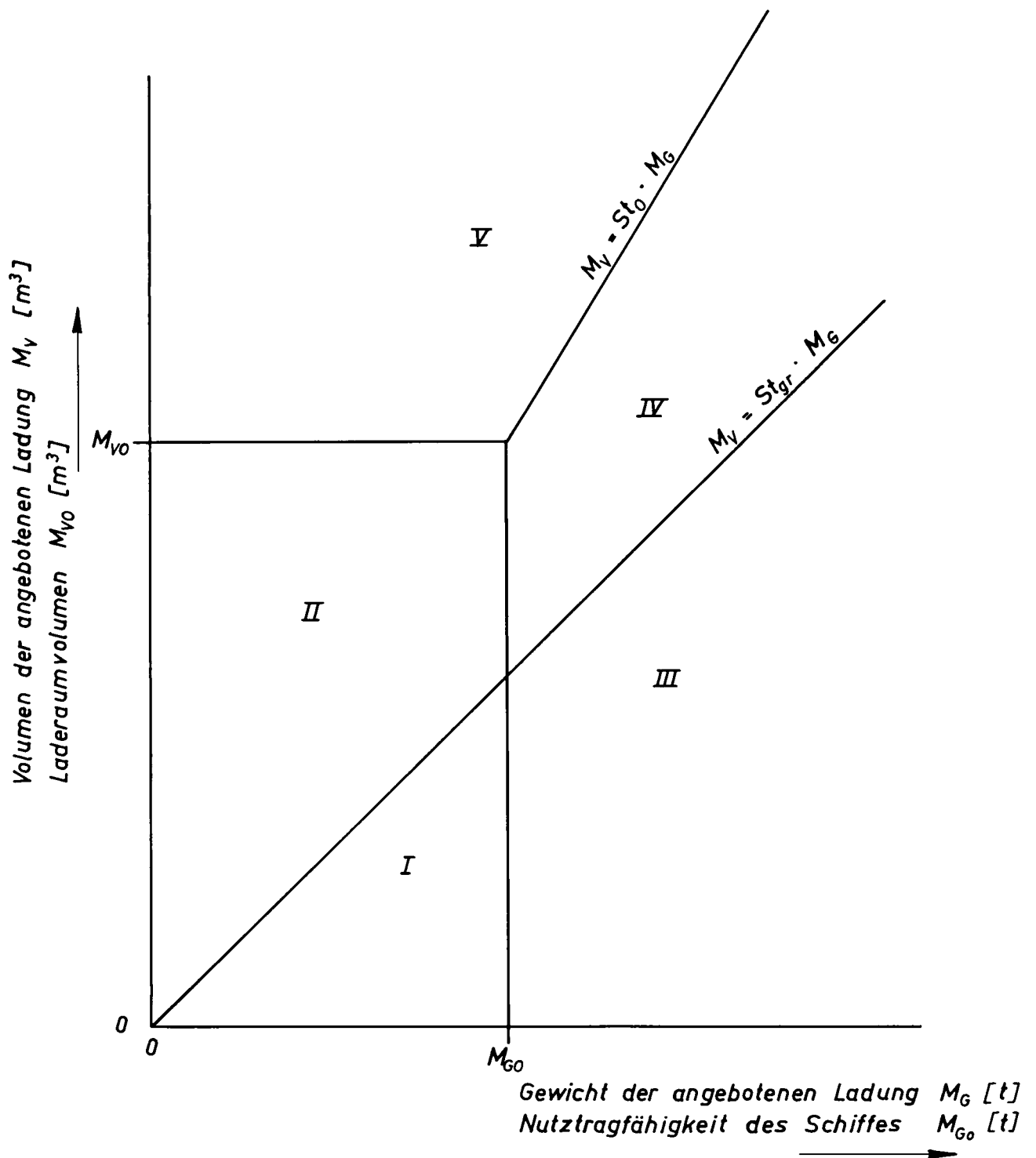
$$b_H = 0.170 \text{ kg/PS}h = 4.08 \text{ kg/PSd}$$

Damit ergibt sich für einen Seeweg von 10000 sm der in Bild 11c als Funktion der Tragfähigkeit und Geschwindigkeit dargestellte Dieselölverbrauch. Die spezifischen Dieselölkosten können zu  $k_H = 120 \text{ DM/t}$  angenommen werden. Die jährlichen Betriebsstoffkosten für die Hilfsdiesel ergeben sich dann zu

$$K_{BH} = z_{RJ} \cdot B_H \cdot k_H$$

#### Zusammenstellung der jährlichen Kosten für einige Schiffe

In den Tabellen 1 - 7 sind für die im Abschnitt B ausgewählten Schiffe die jährlichen Kosten zusammengestellt. Es wurde davon ausgegangen, daß die Schiffe pro Jahr 13 Rundreisen durchführen. Berücksichtigt sind die oben aufgeführten Kostengruppen 1-7.



Gebiete verschiedener Gewichts - Volumen - Kombinationen der angebotenen Ladung und Nutztragfähigkeit und Laderaumvolumen eines Schiffes.

Bild 1

$f_1 (M_G)$ : Normalverteilung

$$\bar{M}_G = 5000 \text{ t} ; \sigma_{M_G} = 1110 \text{ t}$$

$g (St_m)$ : Normalverteilung ;

$$\bar{St}_m = 1,7 \frac{\text{m}^3}{\text{t}} ; \sigma_{St_m} = 0,267 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$$

$$\alpha = \frac{k_3}{R} = 0 ;$$

$$\bar{R} = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Fr.}}$$

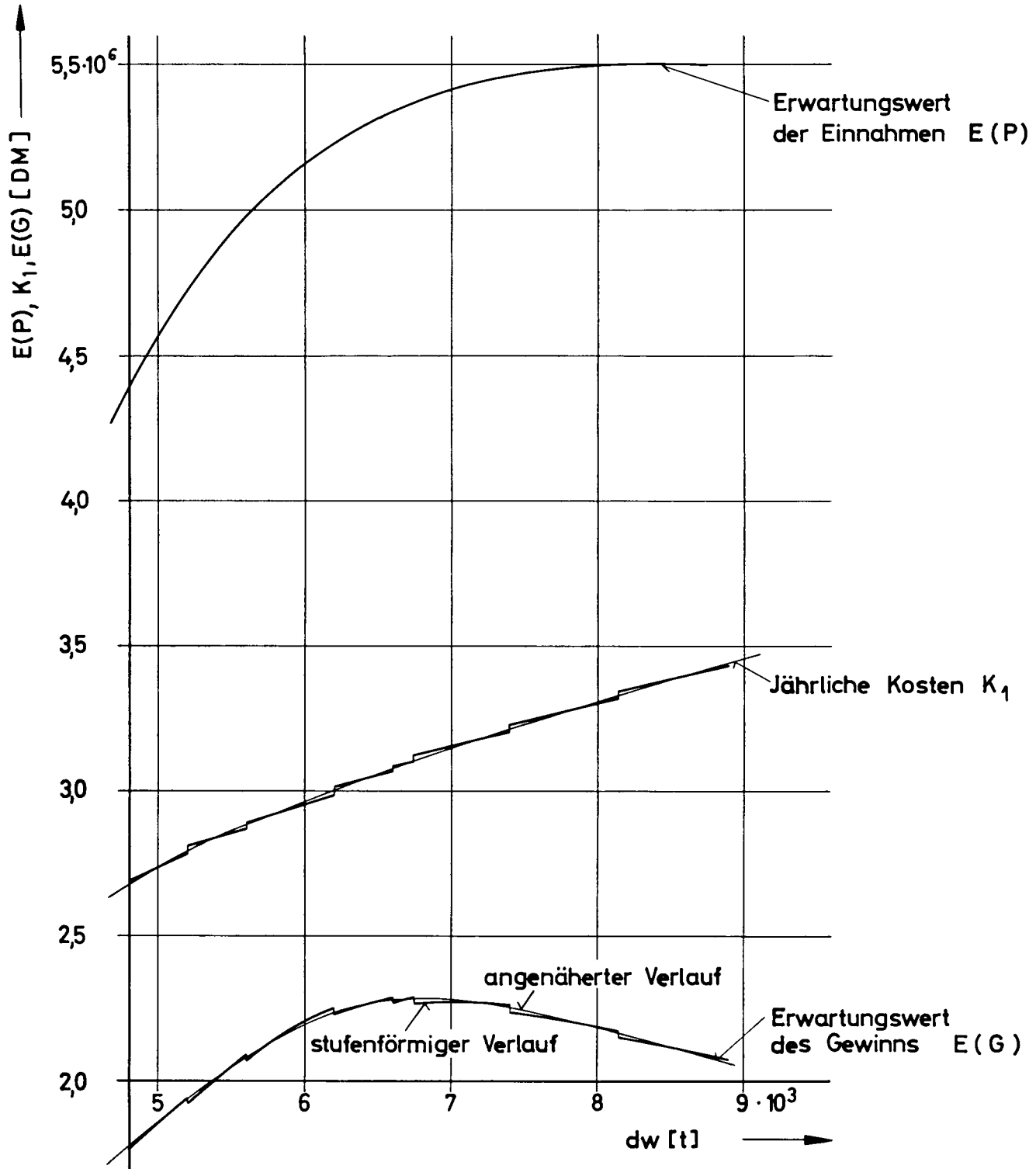


Bild 2

$f_1(M_G)$ : Normalverteilung;

$$\bar{M}_G = 5000 \text{ t} ; \quad \zeta_{M_G} = 1110 \text{ t}$$

$g(St_m)$ : Normalverteilung;

$$\bar{St}_m = 1,7 \frac{\text{m}^3}{\text{t}} ; \quad \zeta_{St_m} = 0,267 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$$

$$\alpha = \frac{k_3}{R} = 0 ;$$

$$\bar{R} = 50 \frac{\text{DM}}{\text{Fr.t}} ;$$

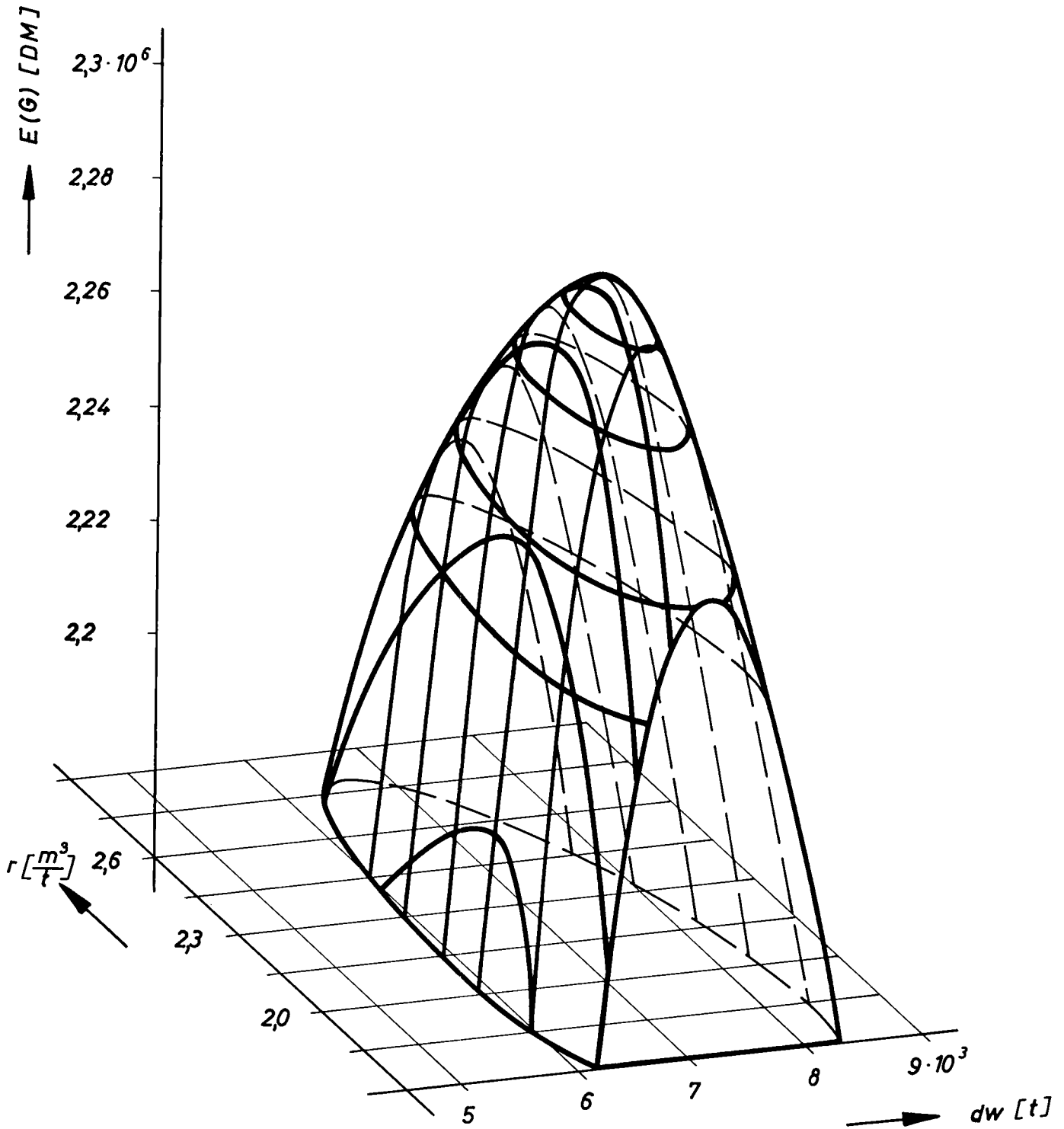


Bild 3

$f_1 (M_0) : \text{Normalverteilung} ;$   
 $g (St_m) : \text{Normalverteilung} ;$   
 $\alpha = \frac{k^2}{R} = 0 ;$

$\bar{M}_0 = 5000 \text{ t} ; \sigma_{M_0} = 1110 \text{ t}$   
 $\bar{St}_m = 1,7 \frac{\text{m}^3}{\text{t}} ; \sigma_{St_m} = 0,267 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$   
 $R = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Frt.}}$

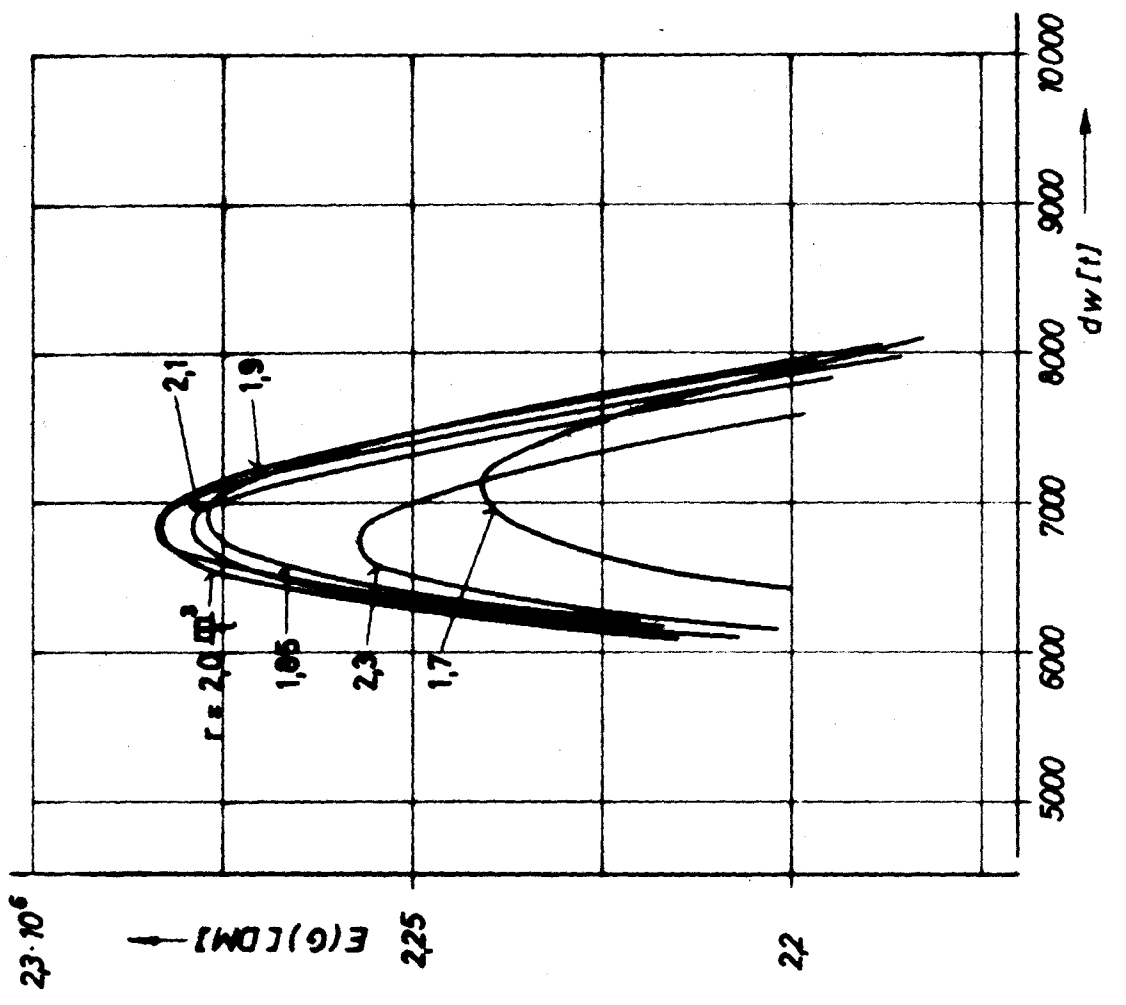
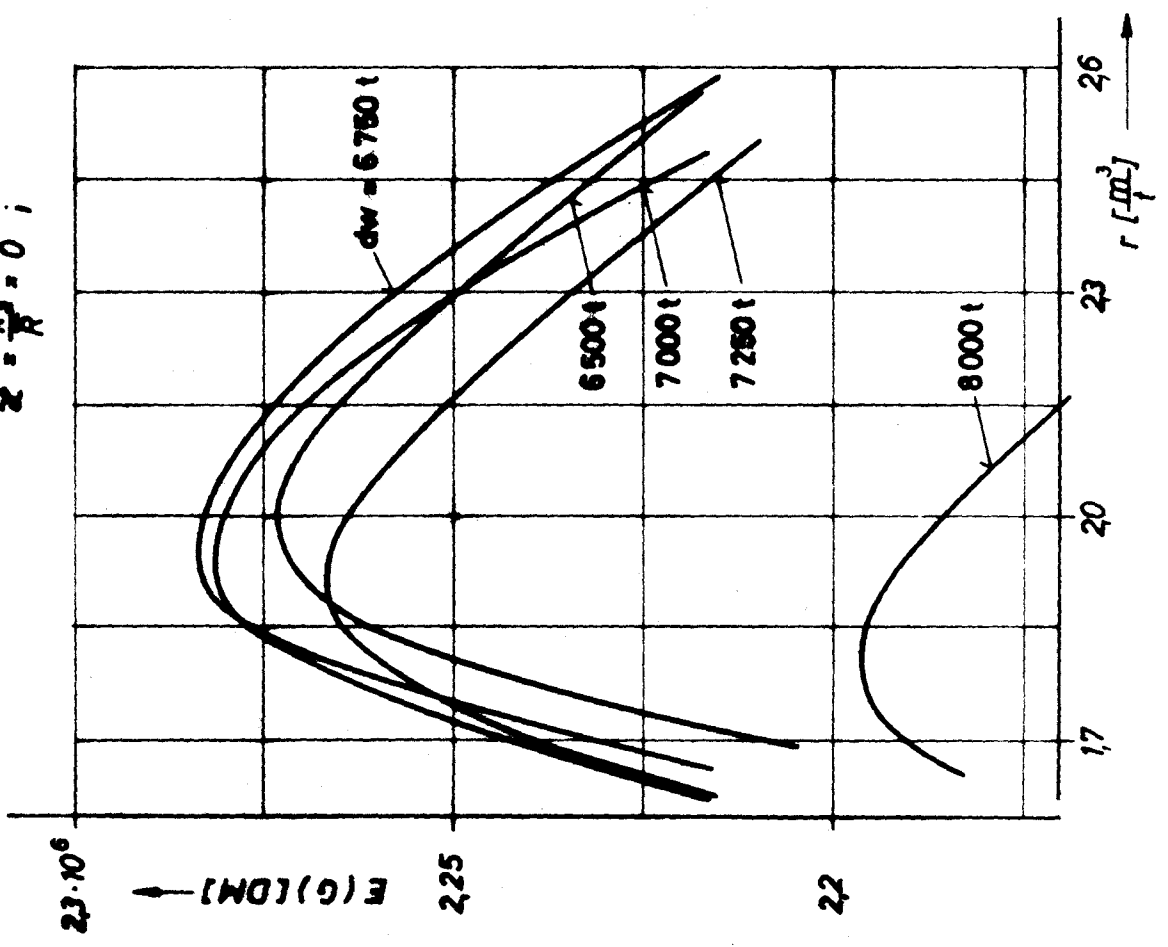


Bild 4

$f_1 (M_G)$ : Normalverteilung;

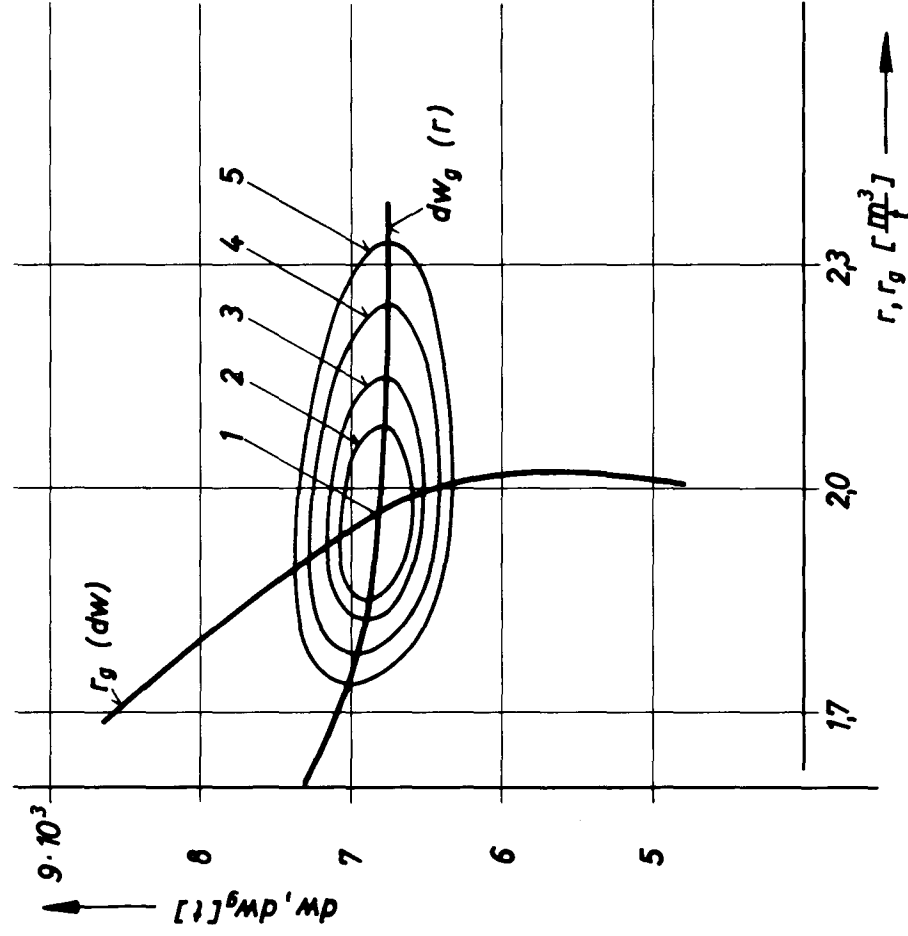
$$\bar{M}_G = 5000 \text{ t}; \quad \sigma_{M_G} = 1110 \text{ t}$$

$g (St_m)$ : Normalverteilung;

$$\bar{St}_m = 1,7 \frac{m^3}{t}; \quad \sigma_{St_m} = 0,267 \frac{m^3}{t}$$

$$\alpha = \frac{k_2}{R} = 0;$$

$$\bar{R} = 25 \frac{DM}{t};$$



Punkt 1:  $E(G) = E(G)_{max}$

Linie 2:  $E(G)$  bei  $\Delta K = -5 \cdot 10^3 \text{ DM}$

Linie 3:  $E(G)$  bei  $\Delta K = -10 \cdot 10^3 \text{ DM}$

Linie 4:  $E(G)$  bei  $\Delta K = -20 \cdot 10^3 \text{ DM}$

Linie 5:  $E(G)$  bei  $\Delta K = -30 \cdot 10^3 \text{ DM}$

Tragfähigkeiten und Räumen die zu gleichen Erwartungswerten für den Gewinn führen. Günstigste Tragfähigkeiten  $dw_g$  und Räumen  $r_g$

$f_1 (M_G) : \text{Normalverteilung ;}$

$g (St_m) : \text{Normalverteilung ;}$

$\alpha = 0 ;$

$\bar{M}_G = 5000 \text{ t ; } \sigma_{M_G} = 1480 \text{ t}$

$\bar{St}_m = 185 \frac{\text{m}^3}{\text{t}} ; \sigma_{St_m} = 0,356 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$

$\bar{R} = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Fr.}}$

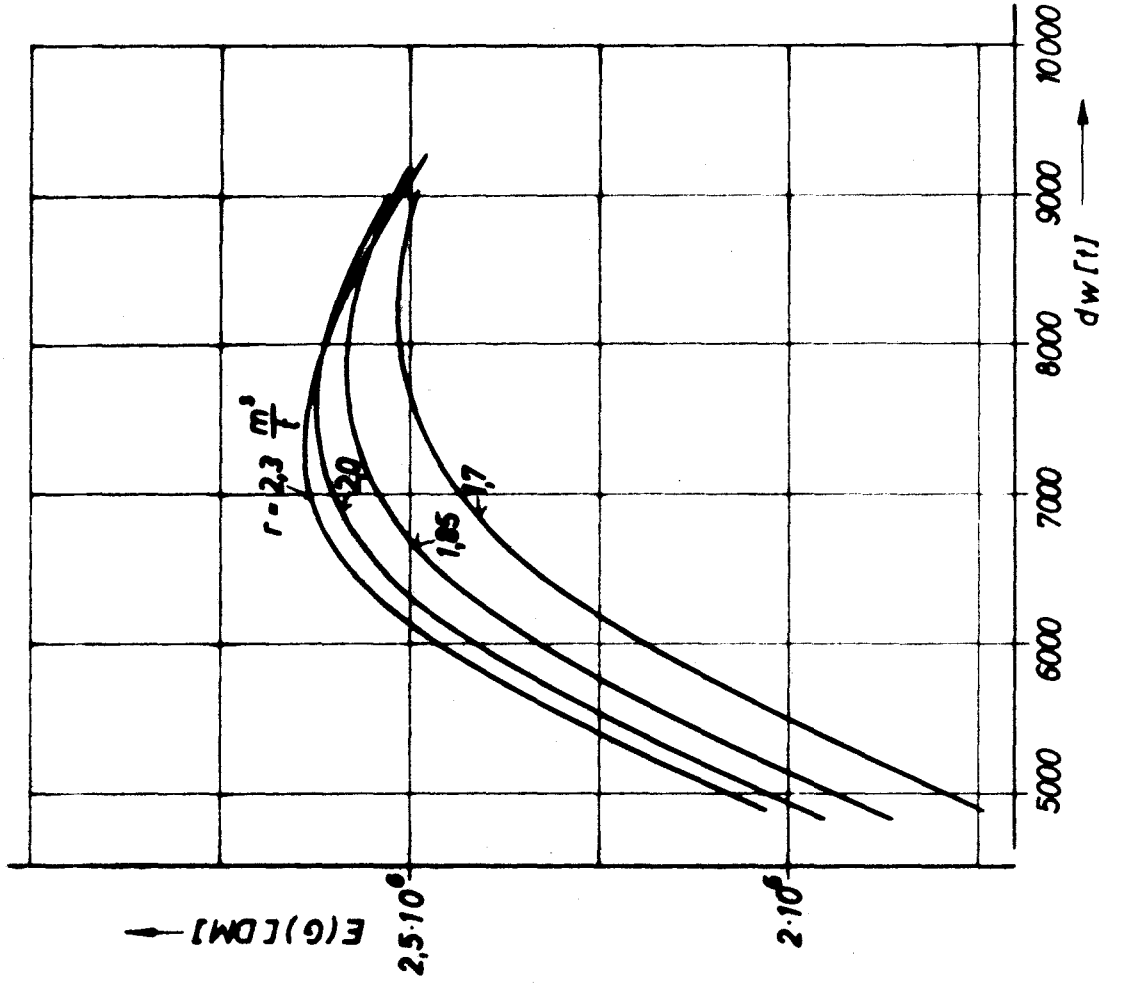
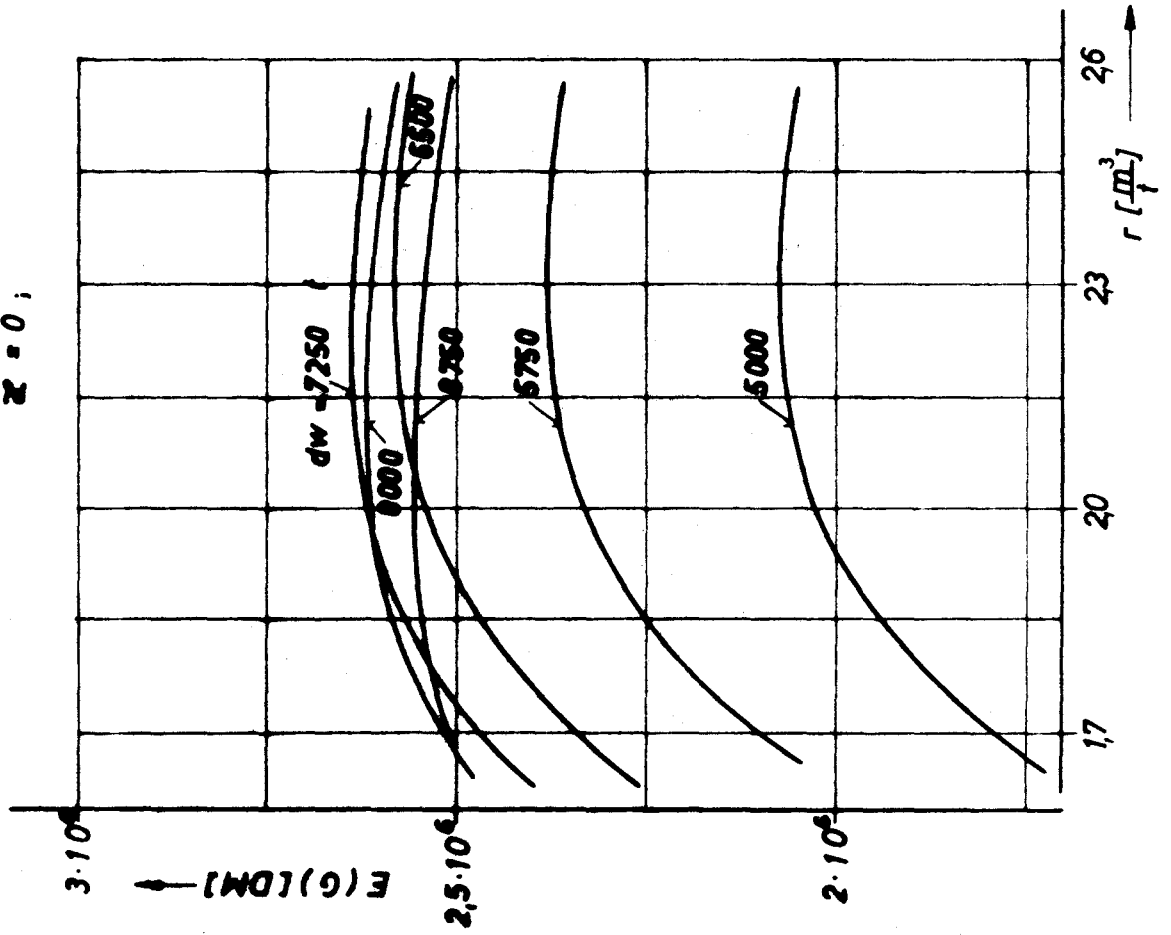


Bild 6

$f_1(M_G)$  : Normalverteilung ;

$g(St_m)$  : Normalverteilung ;

$\alpha = 0$  ;

$$\bar{M}_G = 5000 \text{ t} ; \sigma_{M_G} = 740 - 1850 \text{ t}$$

$$\bar{St}_m = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{t}} ; \sigma_{St_m} = 0,356 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$$

$$\bar{R} = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Frt}}$$

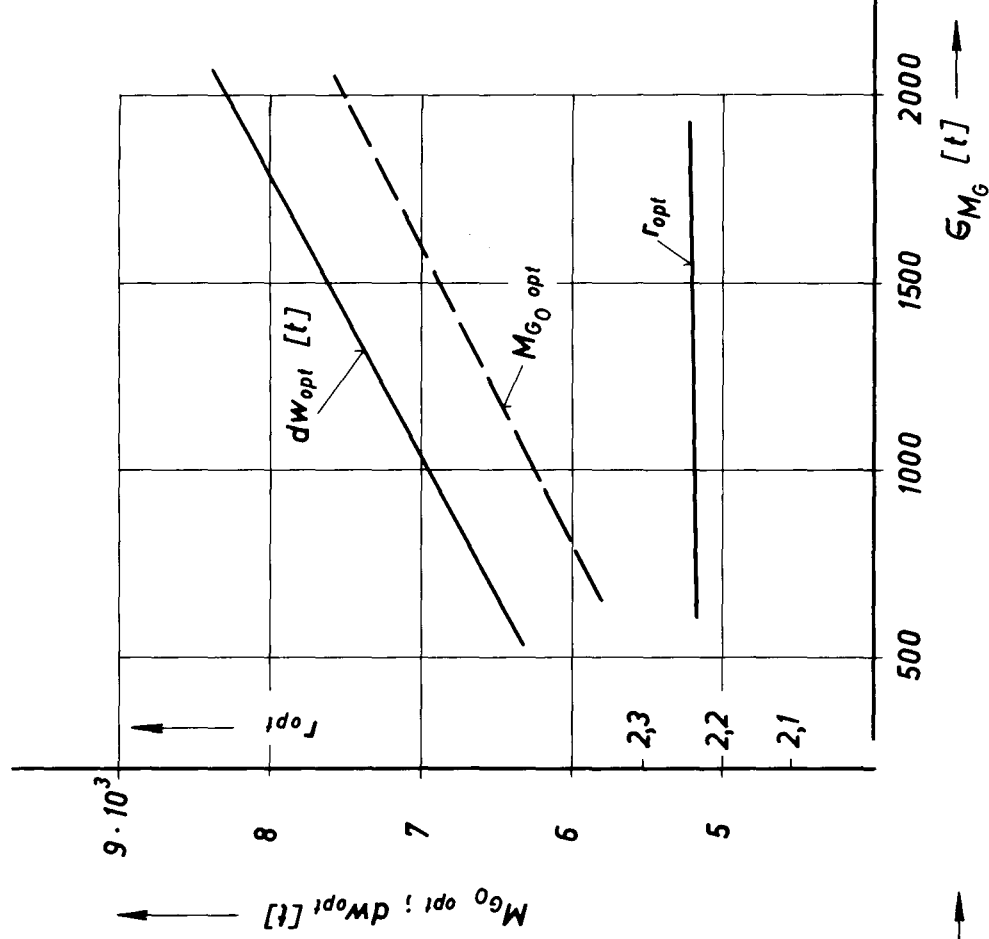
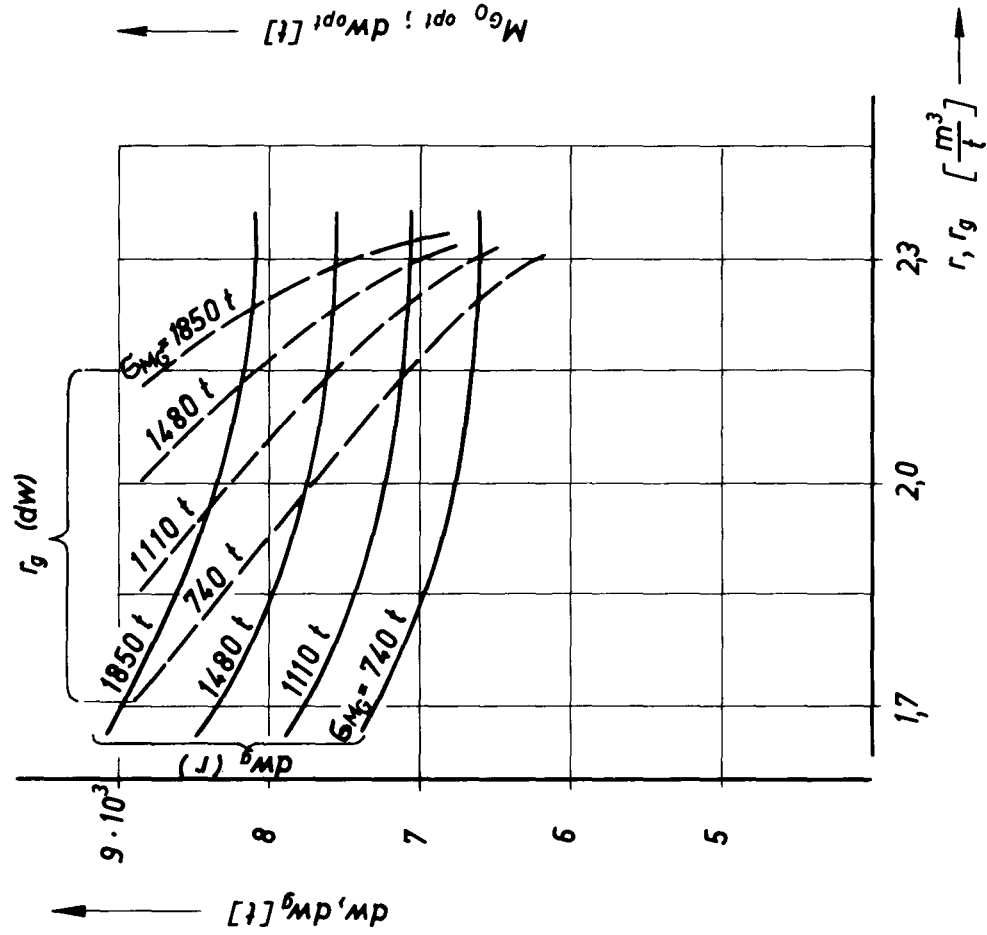


Bild 7

$f_1(M_G)$  : Normalverteilung ;  
 $g(St_m)$  : Normalverteilung ;  
 $\alpha = 0$  ;

$\bar{M}_G = 5000 \text{ t}$  ;  $\sigma_{M_G} = 740 - 1850 \text{ t}$   
 $\bar{St}_m = 185 \frac{m^3}{t}$  ;  $\sigma_{St_m} = 0,356 \frac{m^3}{t}$   
 $\bar{R} = 25 \frac{DM}{Ft}$

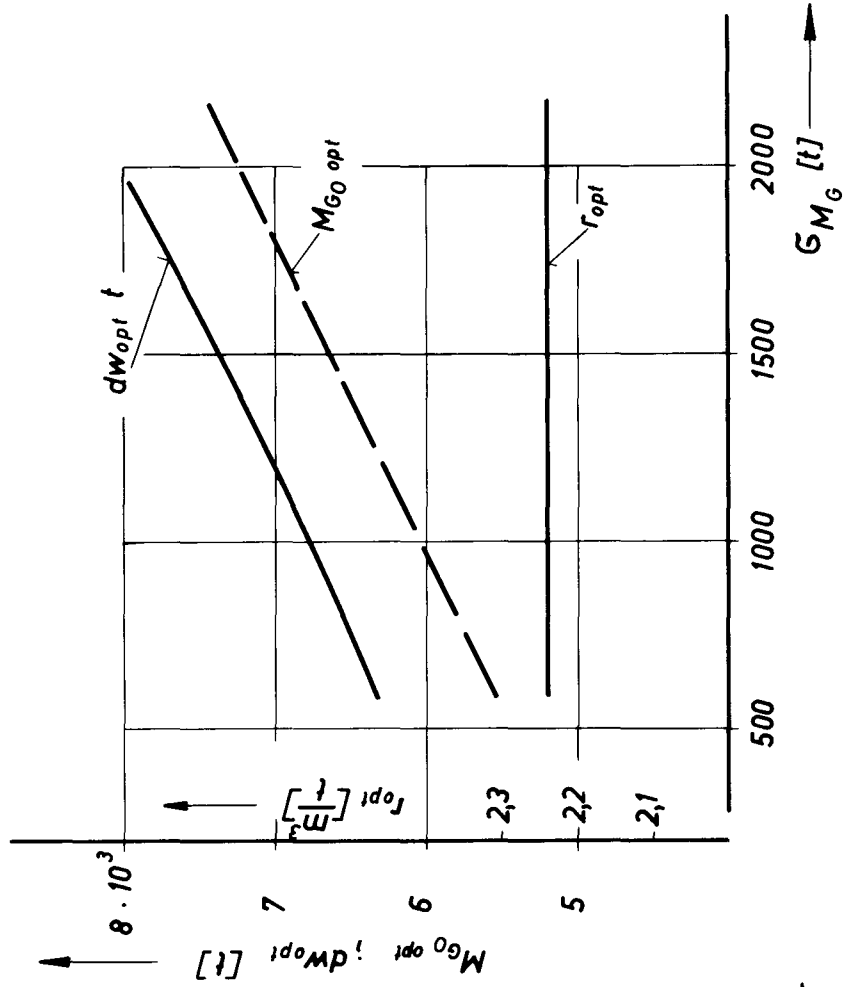
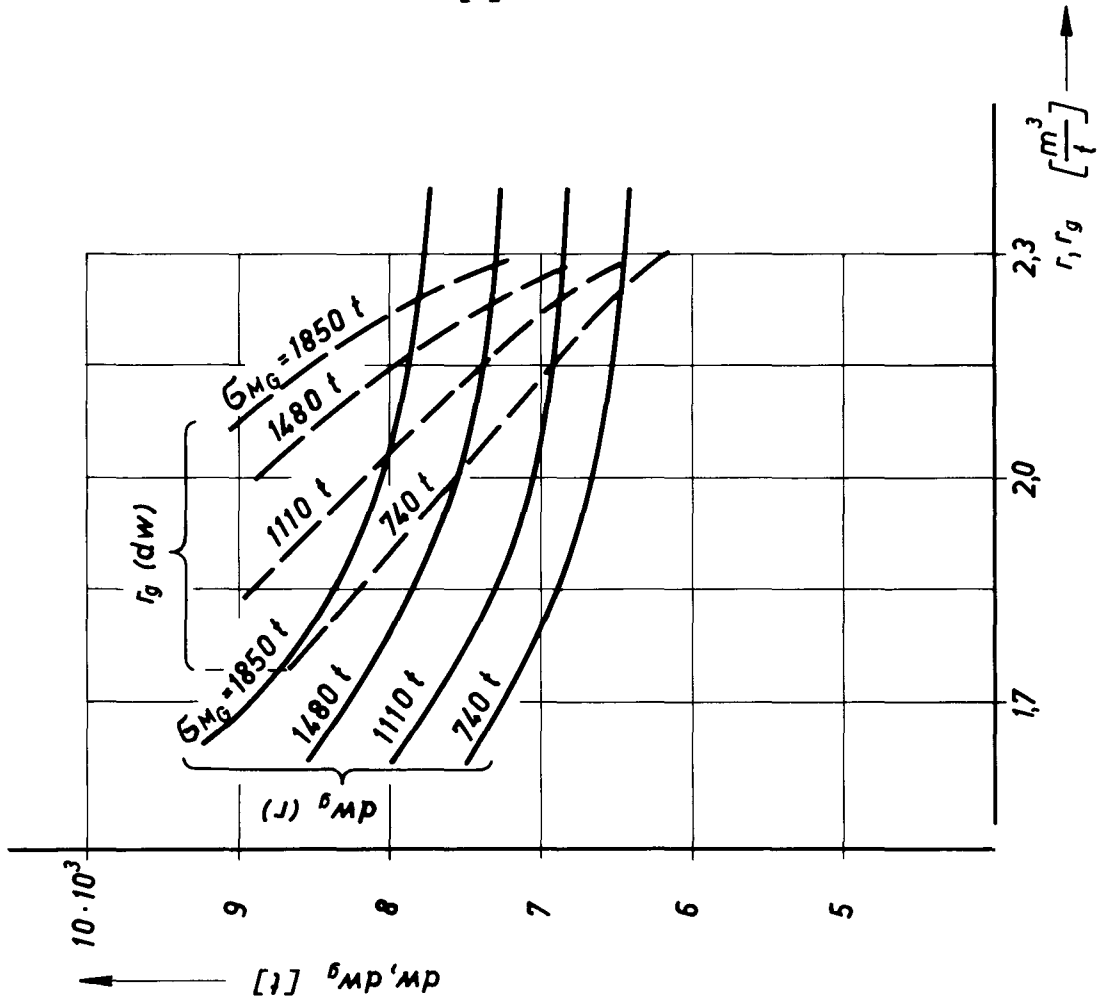


Bild 8

$f_1 (M_G) : \text{Normalverteilung} ;$   
 $g (St_m) : \text{Normalverteilung} ;$   
 $\alpha = 0 ;$

$\bar{M}_G = 5000 \text{ t} ; \quad \sigma_{M_G} = 1110 - 1850 \text{ t}$   
 $\bar{St}_m = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{t}} ; \quad \sigma_{St_m} = 0,356 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$   
 $\bar{R} = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Fr.t.}}$

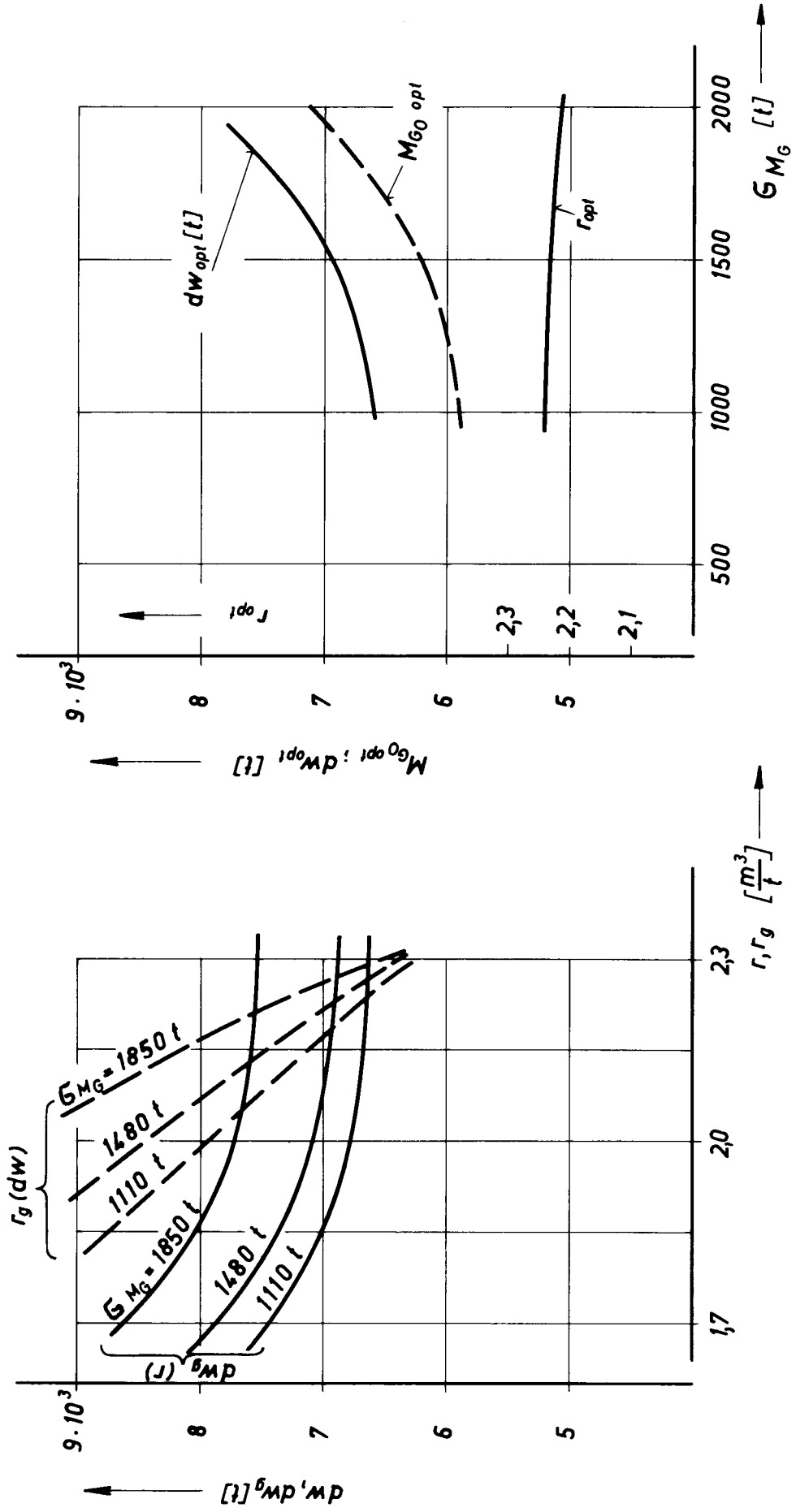


Bild 9

$f_1 (M_G)$  unsymmetr. Mischvert. pos. Schiefe  
 $g (St_m)$  Normalverteilung  
 $\alpha = 0$ ;

$\bar{M}_G = 5000 \text{ t}$ ;  $G_{M_G} = 1110 - 1850 \text{ t}$   
 $\bar{St}_m = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$ ;  $G_{St_m} = 0,356 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$   
 $\bar{R} = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Fr.t.}}$

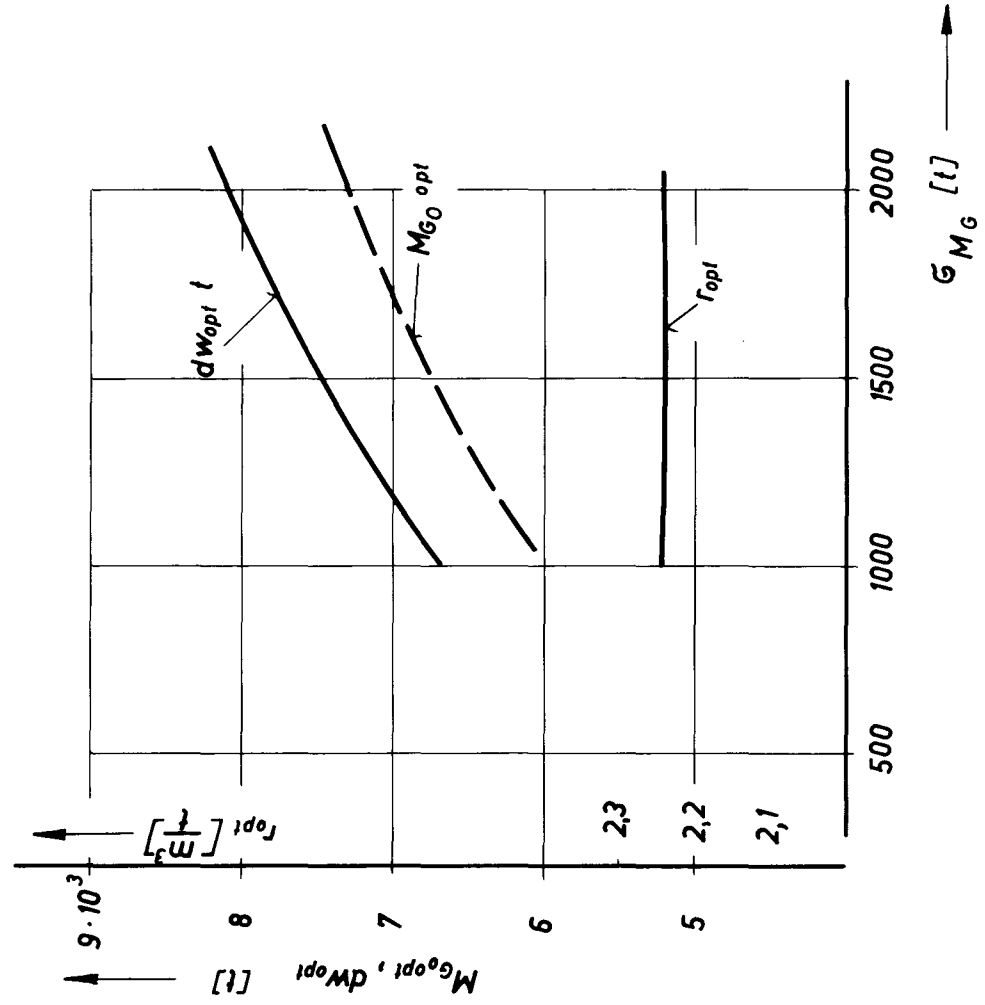
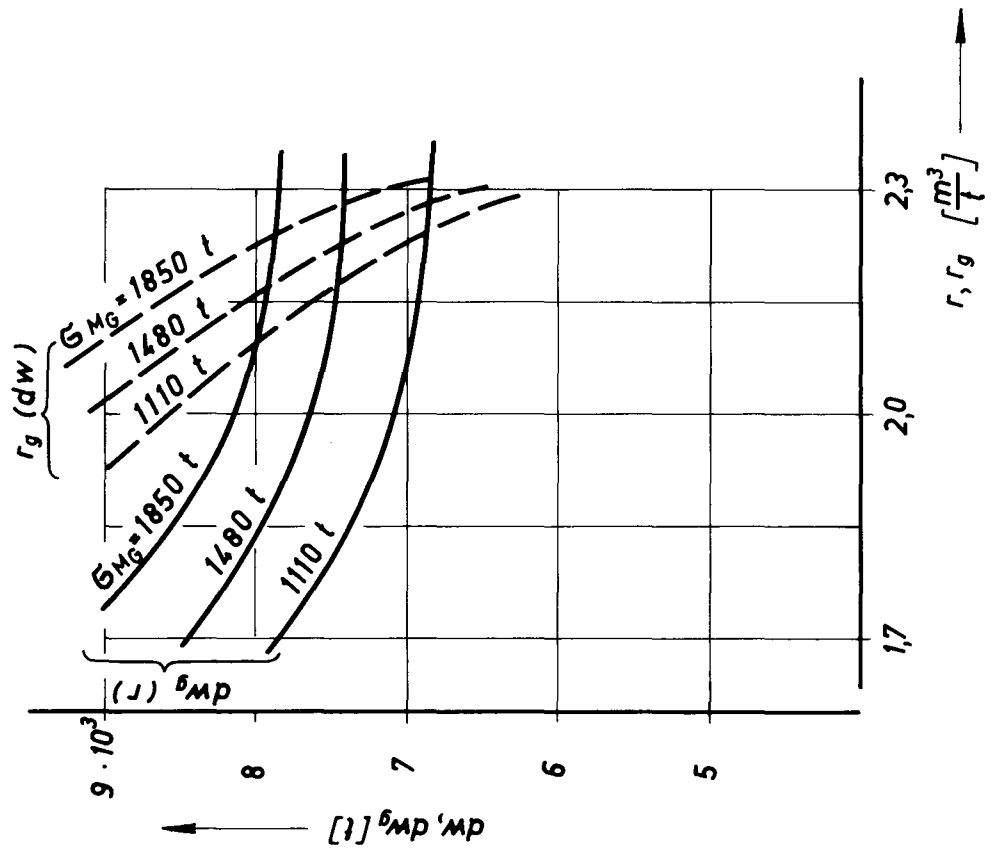


Bild 10

$f_1 (M_G)$  : unsymm. Mischvert. neg. Schiefe ;  
 $g (St_m)$  : Normalverteilung ;  
 $\alpha = 0$  ;

$\bar{M}_G = 5000 \text{ t}$  ;  $\sigma_{M_G} = 1110 - 1850 \text{ t}$   
 $\bar{St}_m = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$  ;  $\sigma_{St_m} = 0,356 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$   
 $\bar{R} = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Fr.t.}}$

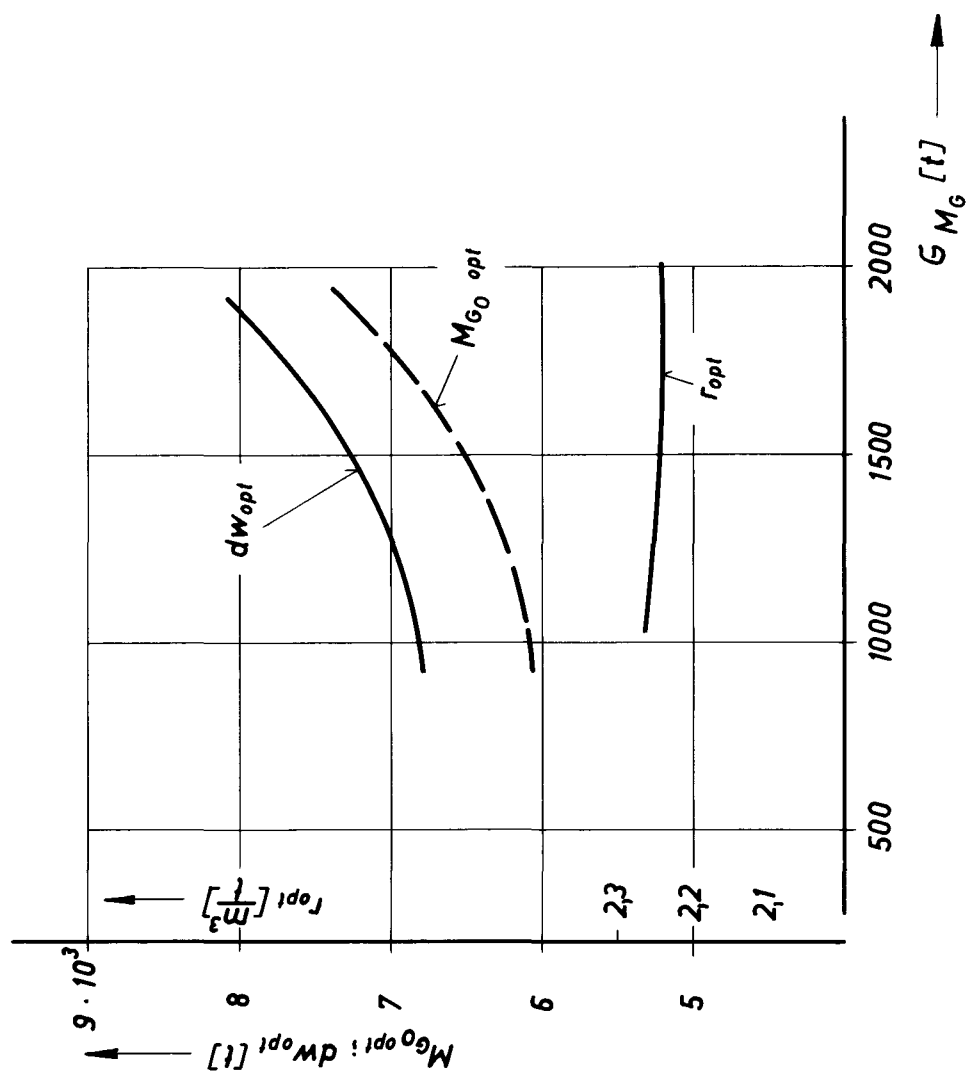
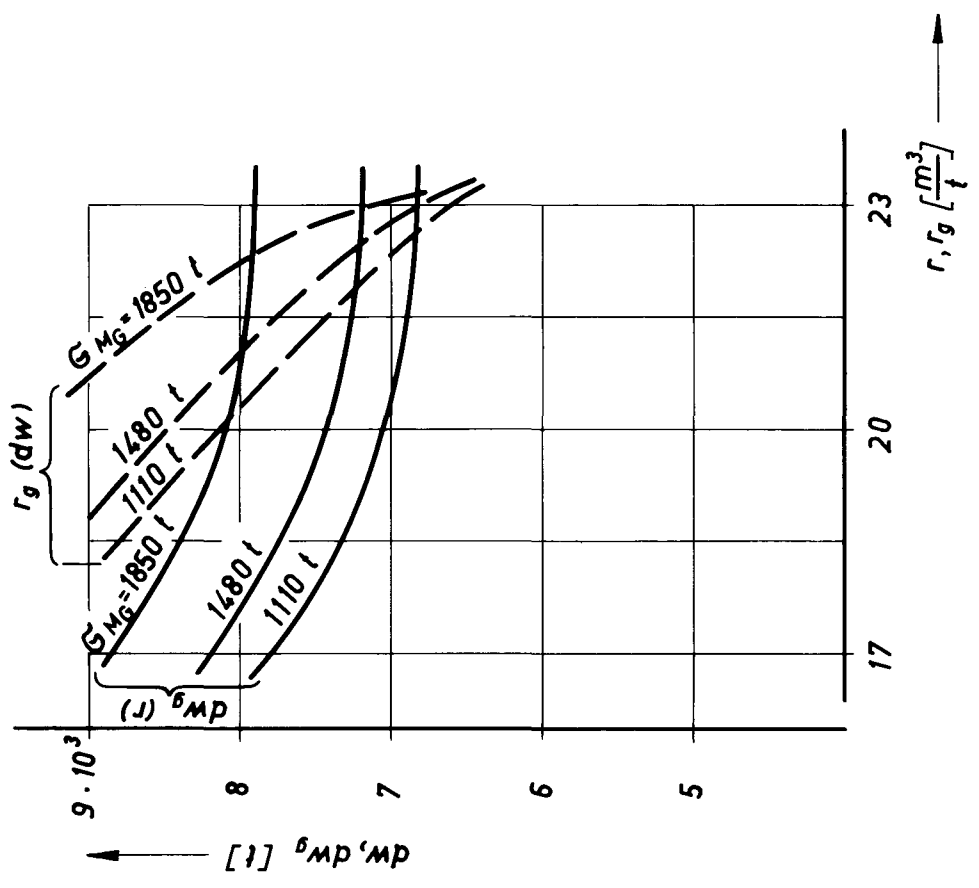
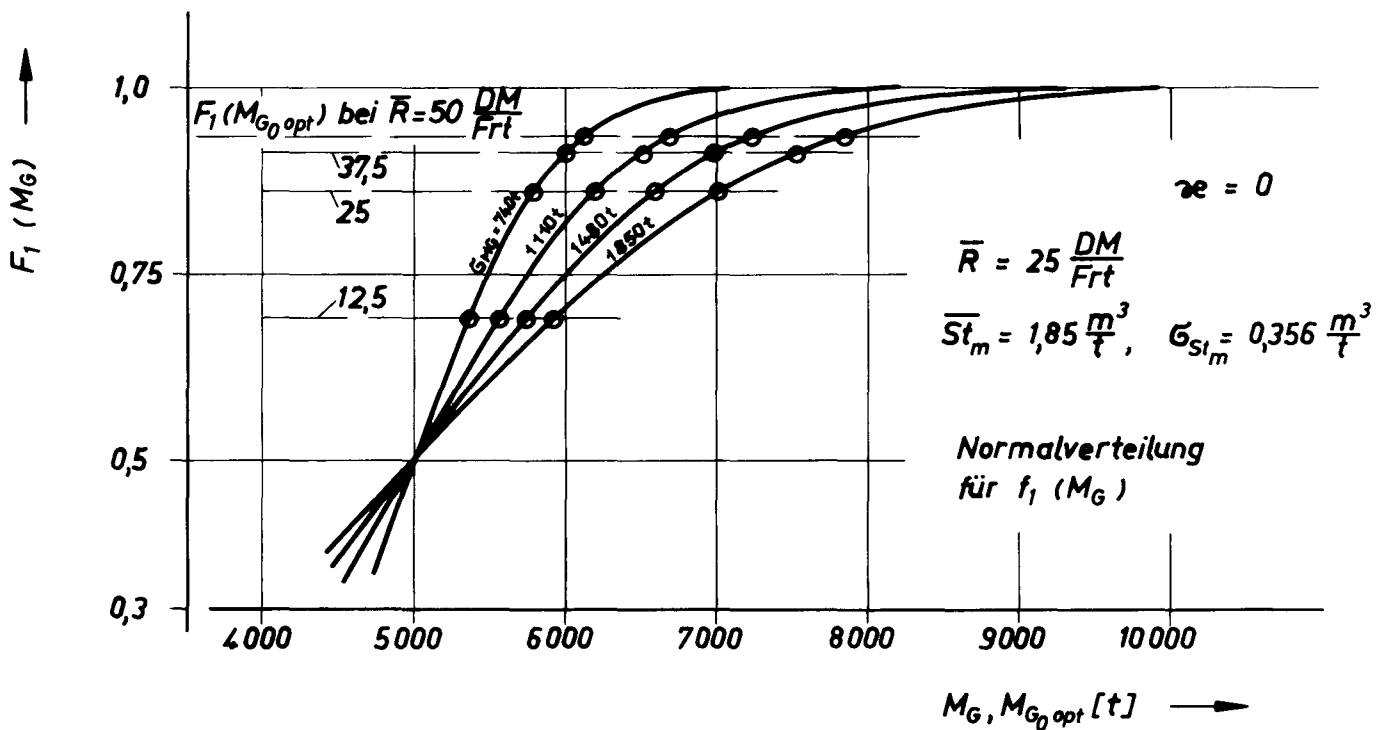
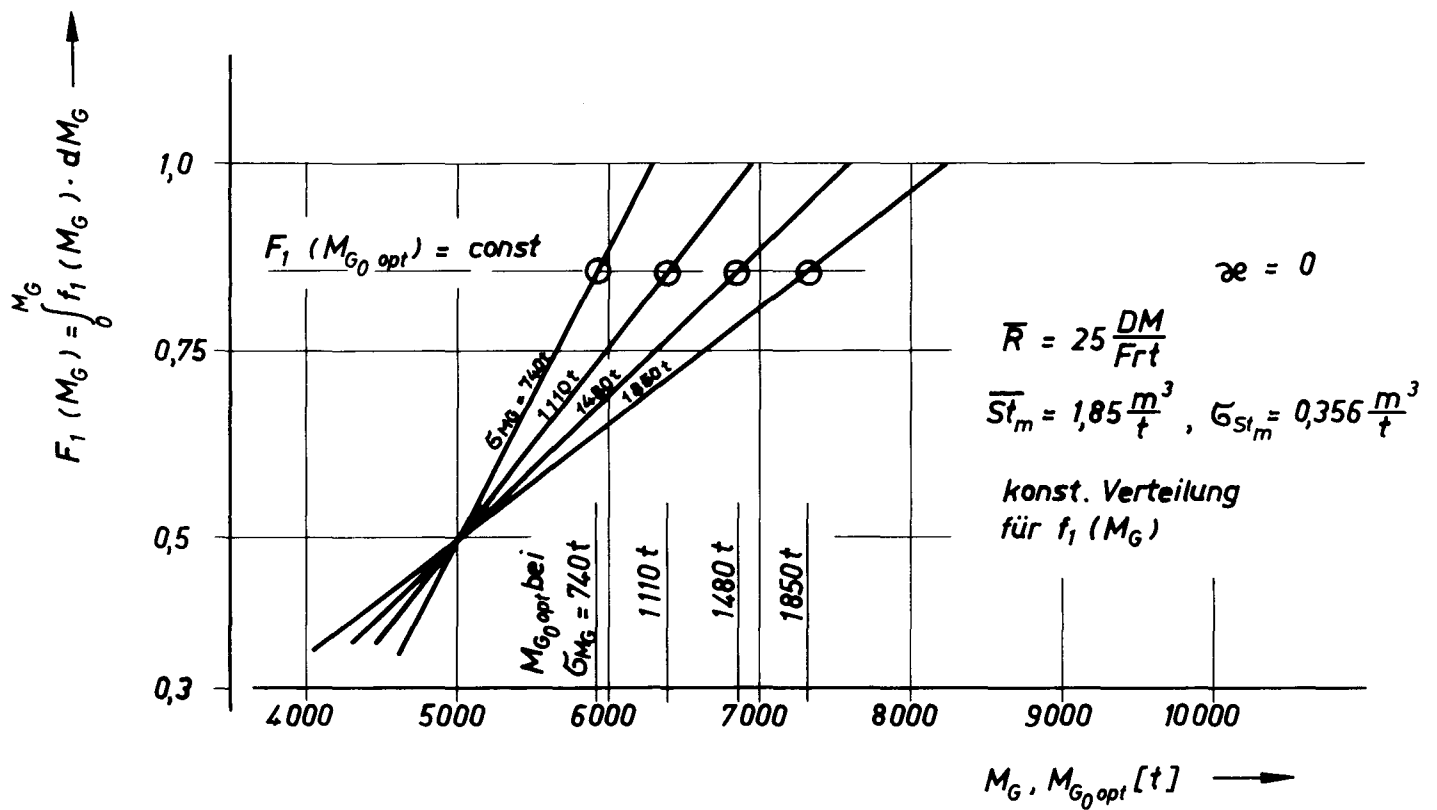
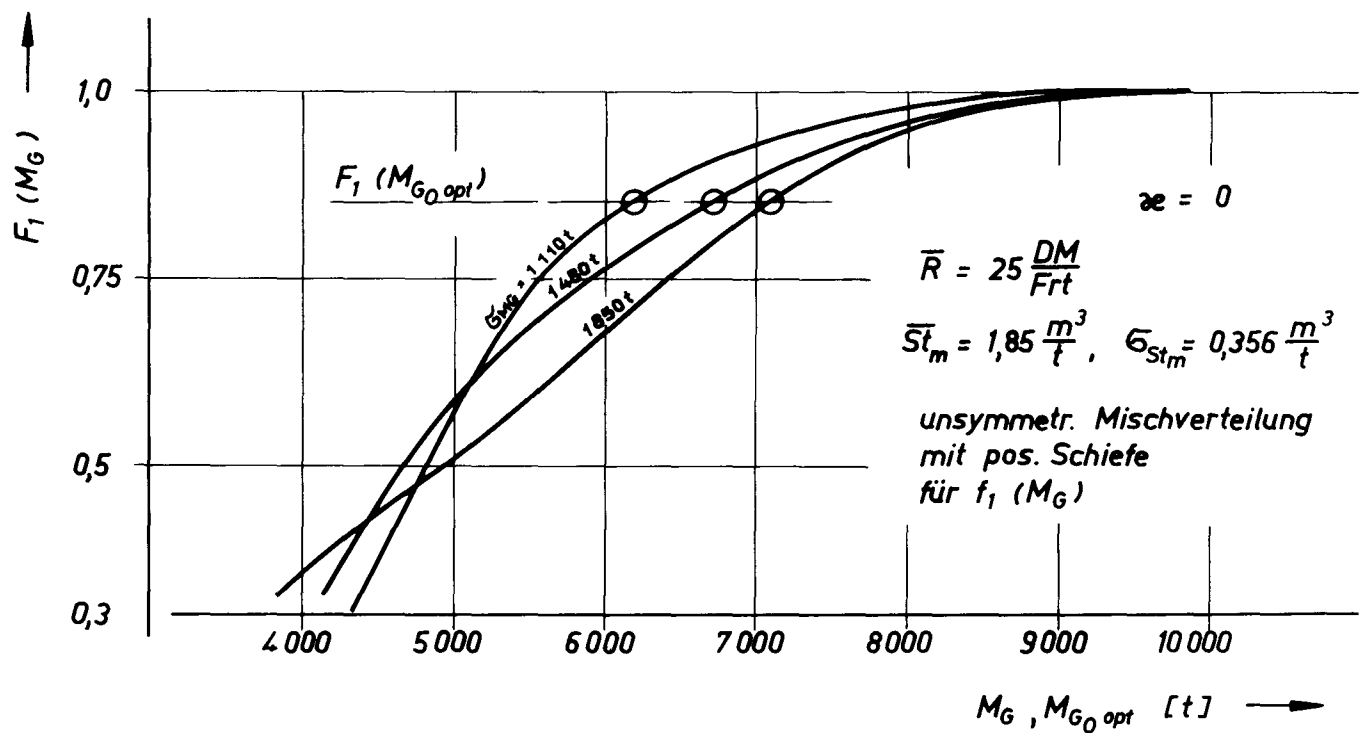
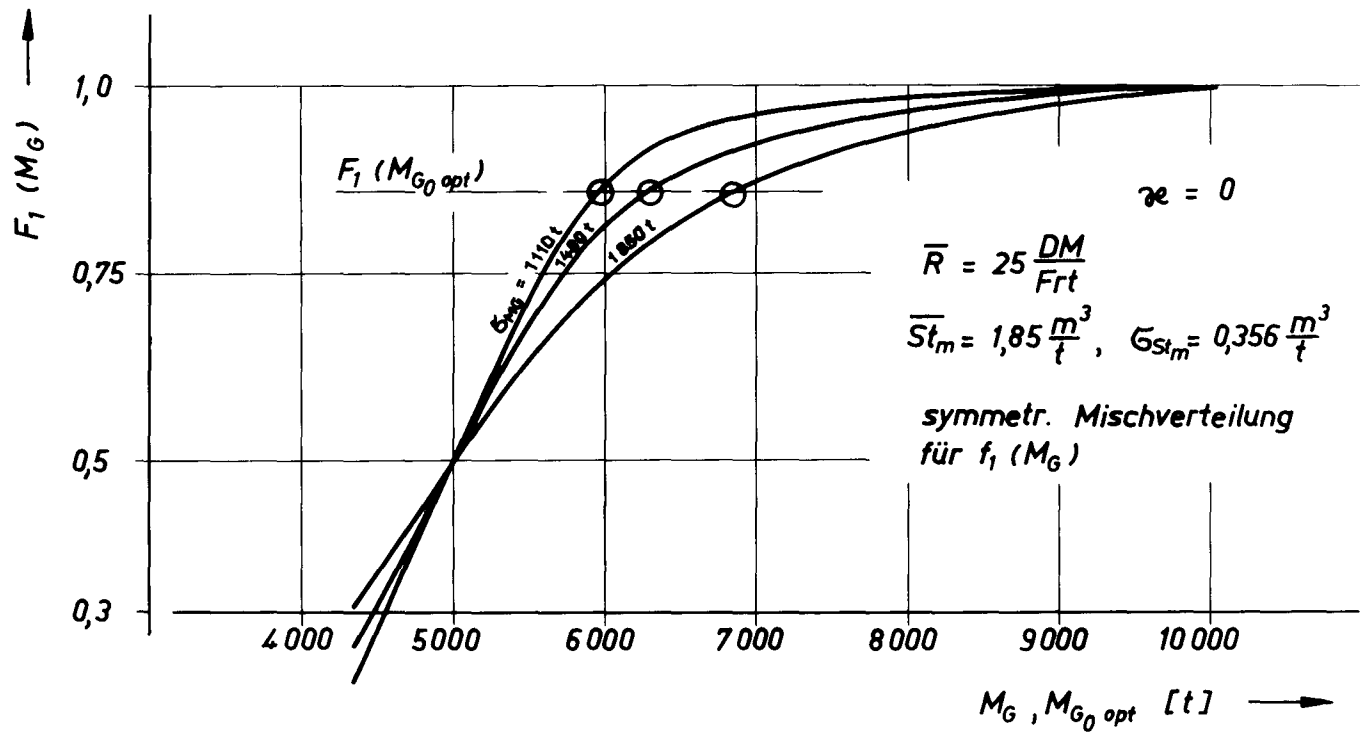


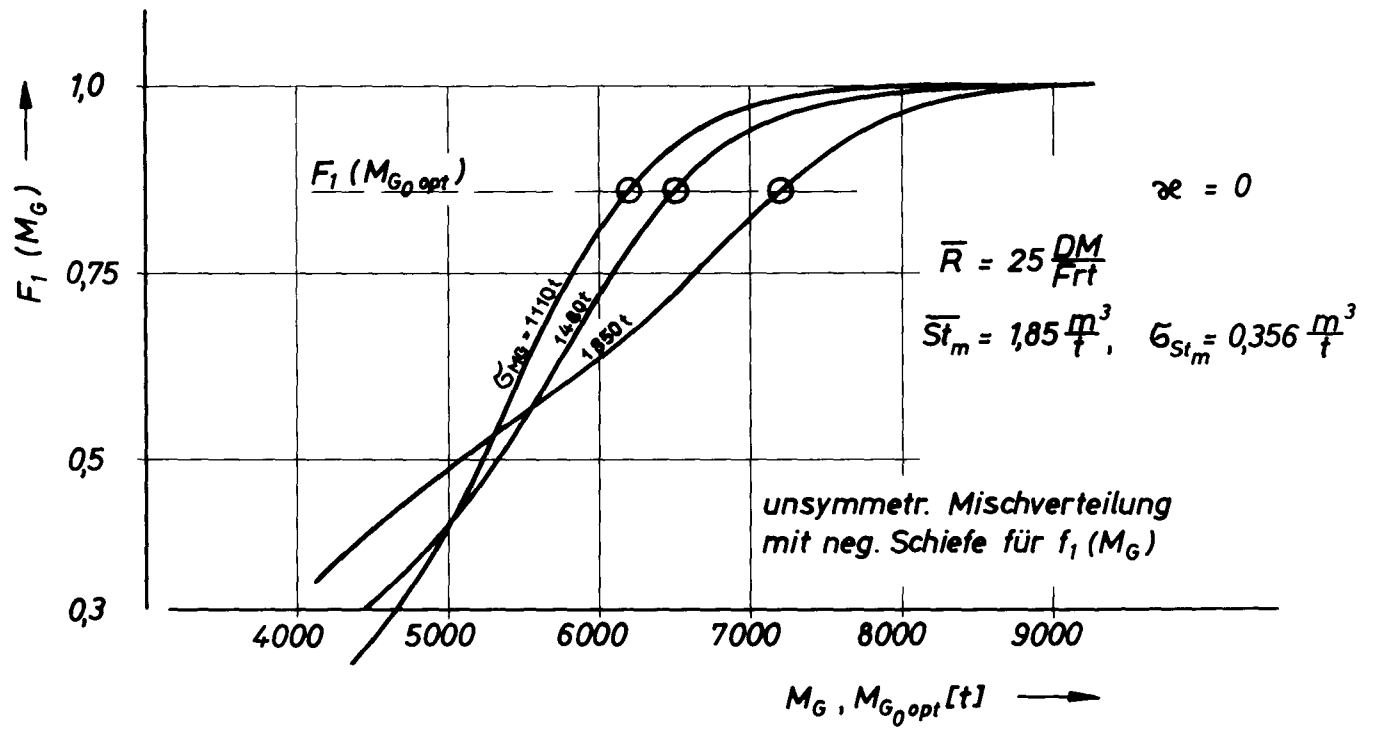
Bild 11



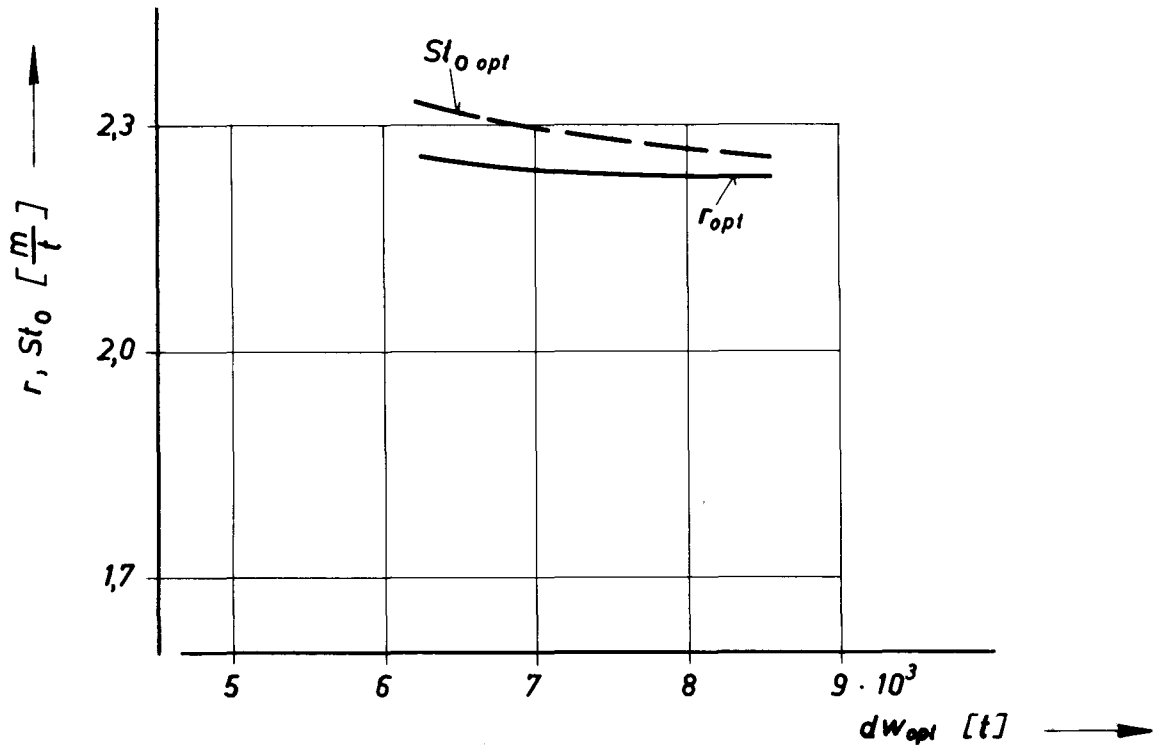
Verteilungsfunktionen des Gewichts der angebotenen Ladung und optimale Nutztragfähigkeiten



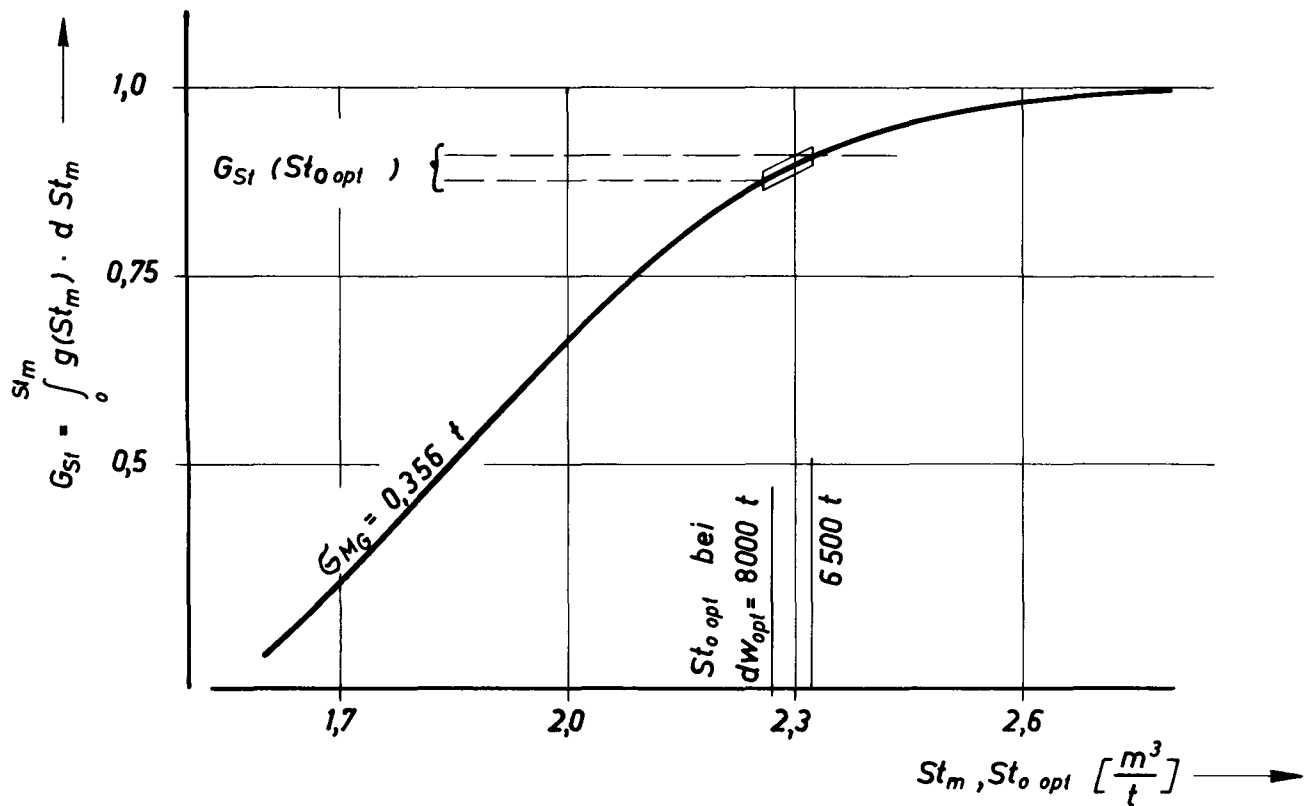
Verteilungsfunktionen des Gewichts der angebotenen Ladung und optimale Nutztragfähigkeiten



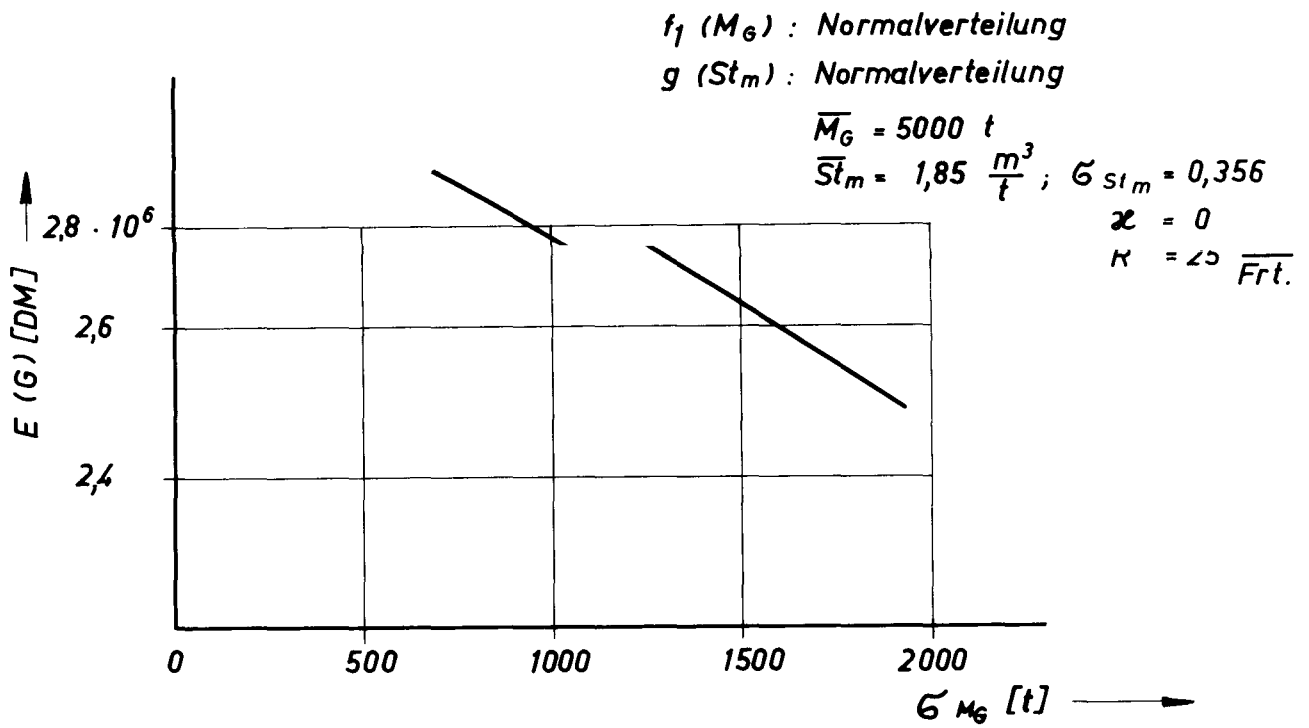
Verteilungsfunktionen des Gewichts der angebotenen Ladung und optimale Nutztragfähigkeiten



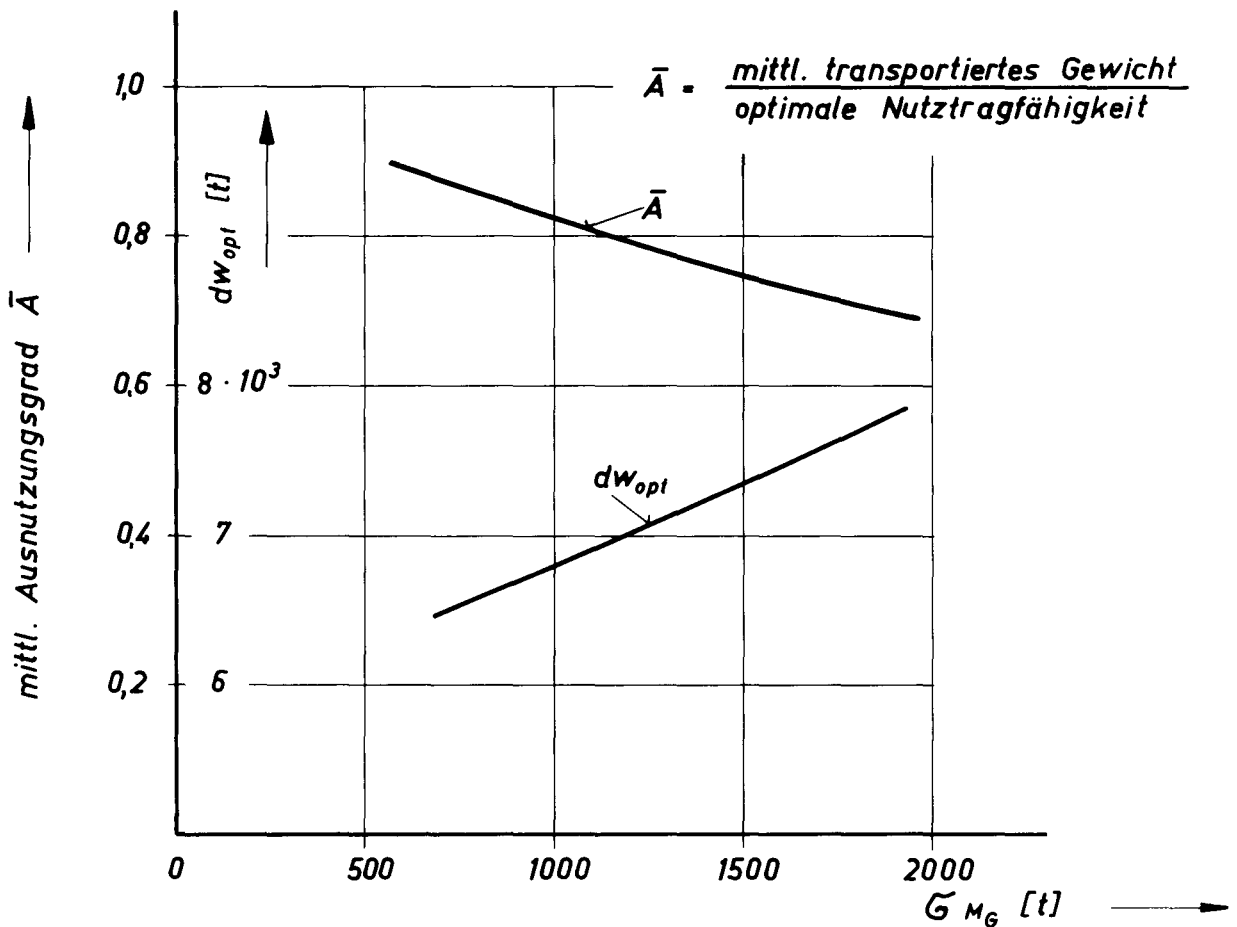
Optimale Räumte in Abhängigkeit von der opt. Tragfähigkeit.



Verteilungsfunktion des Staukoeff. und Bereich für den opt. Staukoeff. des Schiffes.

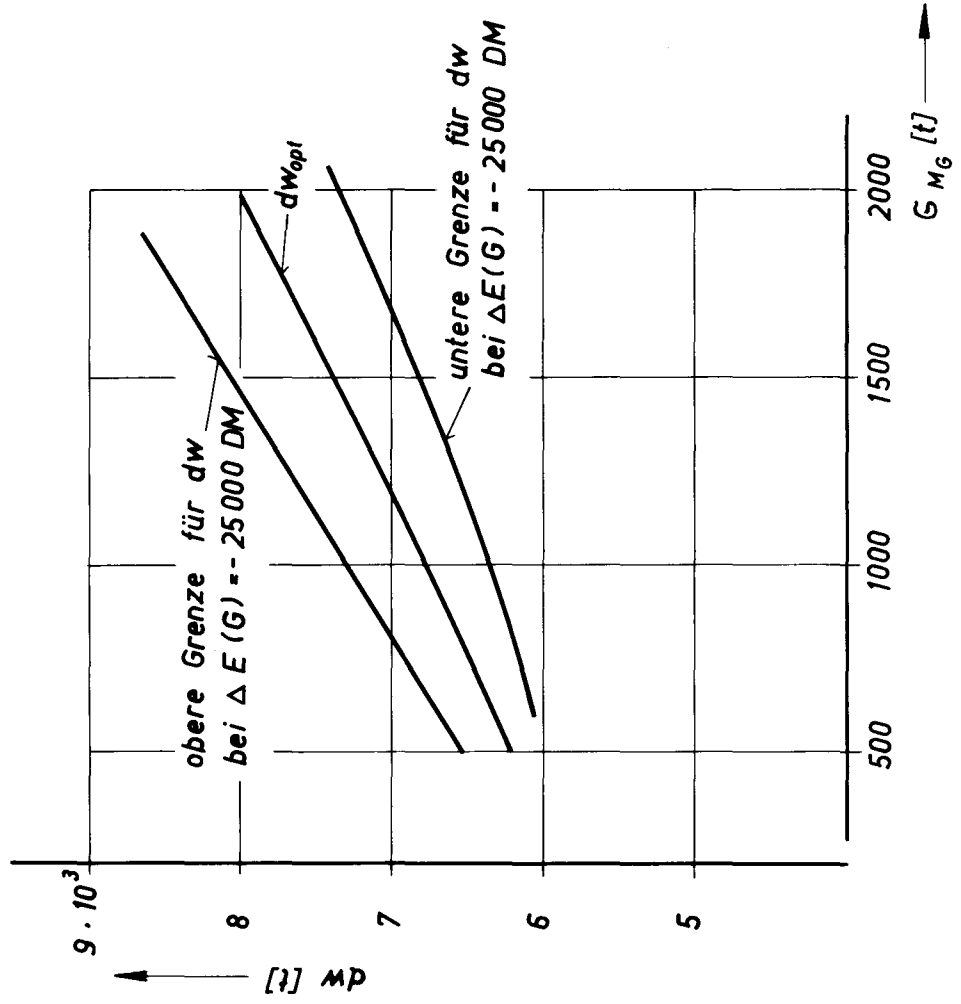


Gewinnerwartungswert optimaler Schiffsgrößen



mittl. Ausnutzungsgrad und opt. Tragfähigkeiten

$f_1(M_G)$  : Normalverteilung ;  $\bar{M}_G = 5000 \text{ t}$   
 $g(S_{St_m})$  : Normalverteilung ;  $\bar{S}_{St_m} = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$  ;  $G_{St_m} = 0,356 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$   
 $\bar{R} = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Fr.t.}}$  ;  $\alpha = 0$



$f_1(M_G)$  : konst. Verteilung ;  $\bar{M}_G = 5000 \text{ t}$   
 $g(S_{St_m})$  : Normalverteilung ;  $\bar{S}_{St_m} = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$  ;  $G_{St_m} = 0,356 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$   
 $\bar{R} = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Fr.t.}}$  ;  $\alpha = 0$

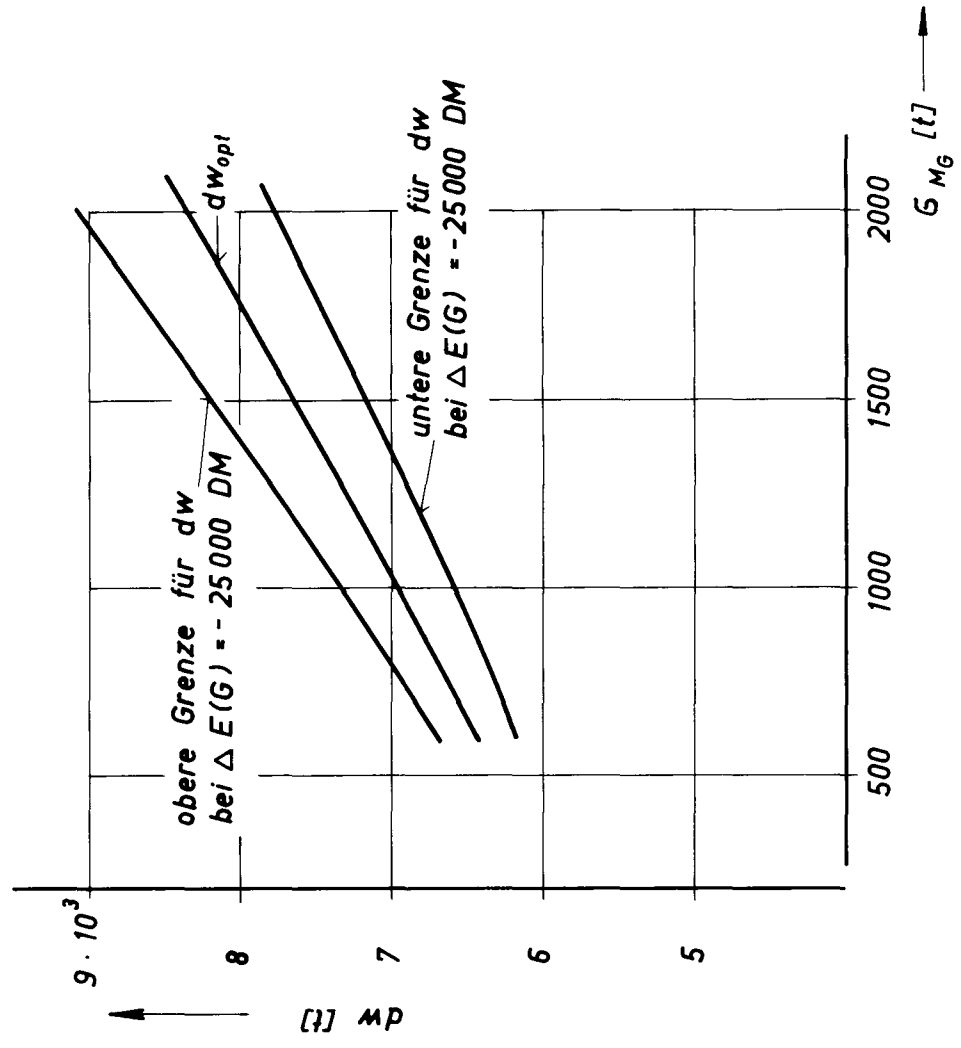


Bild 17

$f_1 (M_G)$  : Normalverteilung

$g (St_m)$  : Normalverteilung

$\alpha = 0$  ;

$\bar{M}_G = 4000, 5000, 6000 \text{ t}$ ;  $\sigma_{M_G} = 740 \text{ t}$

$\bar{St}_m = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$  ;  $\sigma_{St_m} = 0,356 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$

$\bar{R} = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Ft}}$

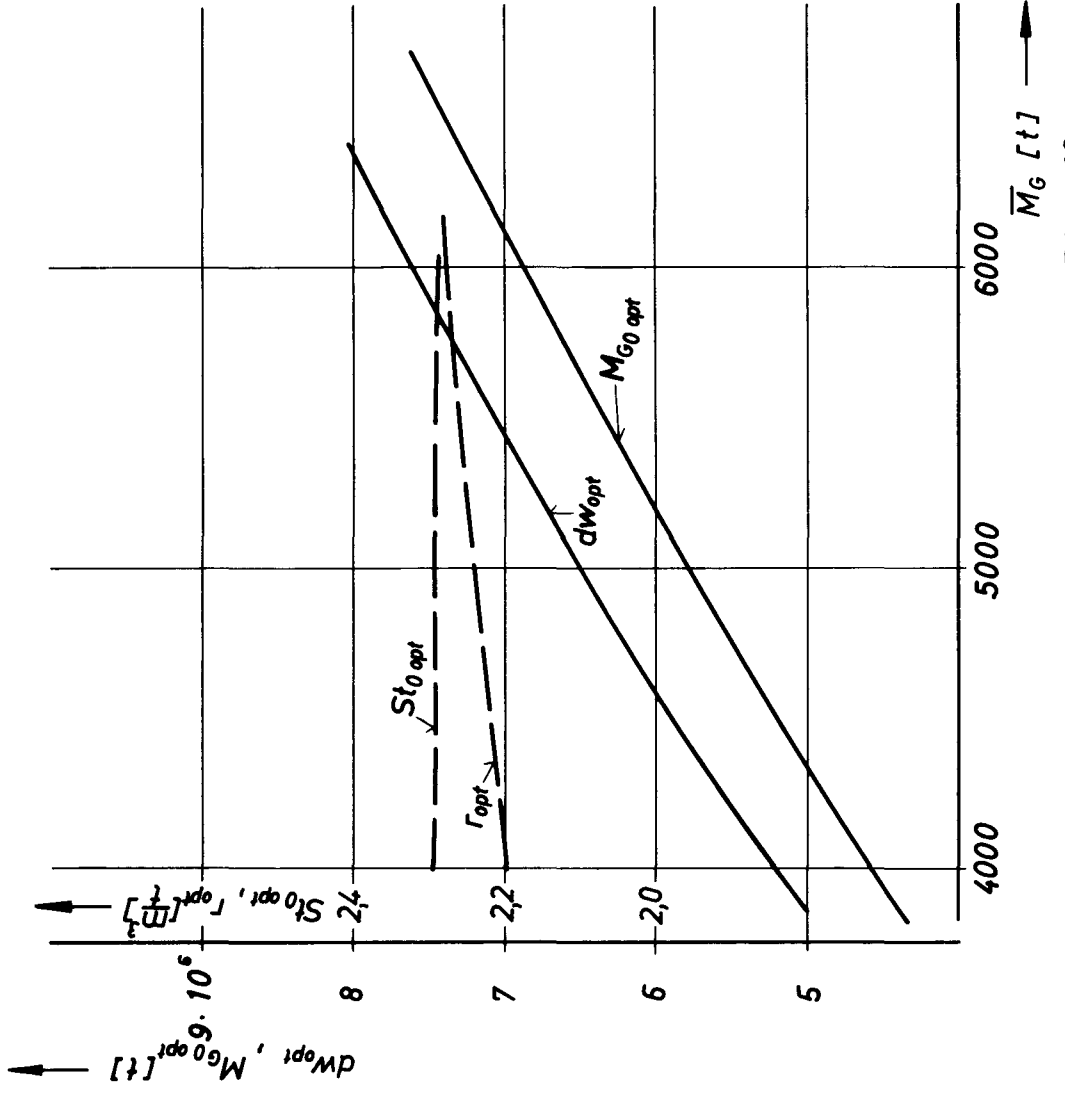
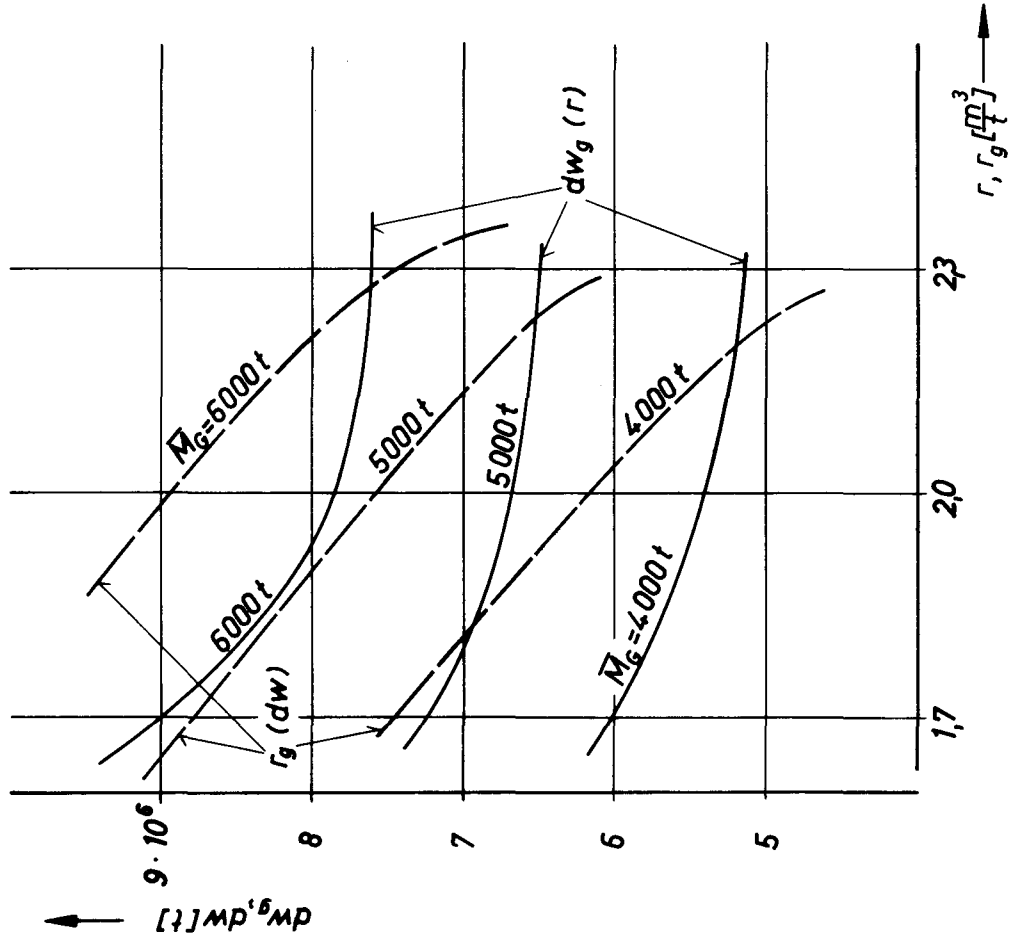
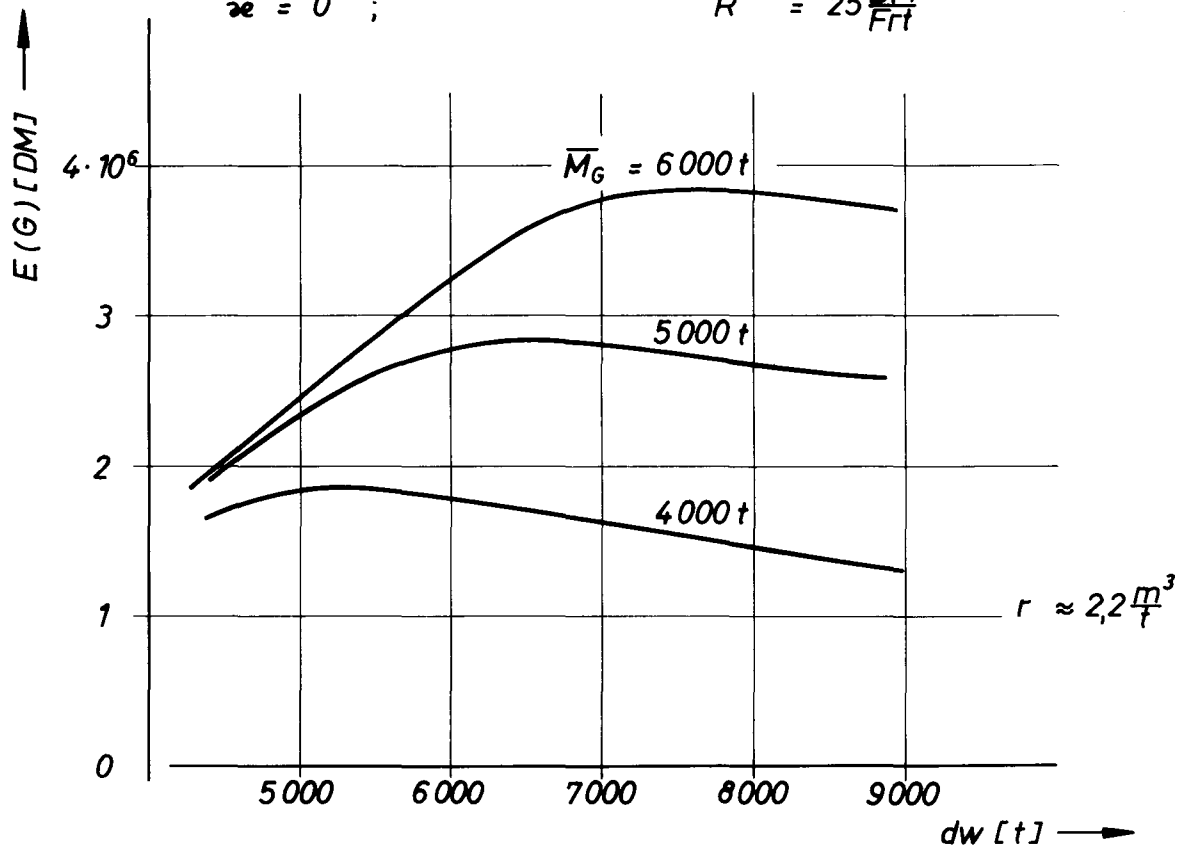


Bild 18

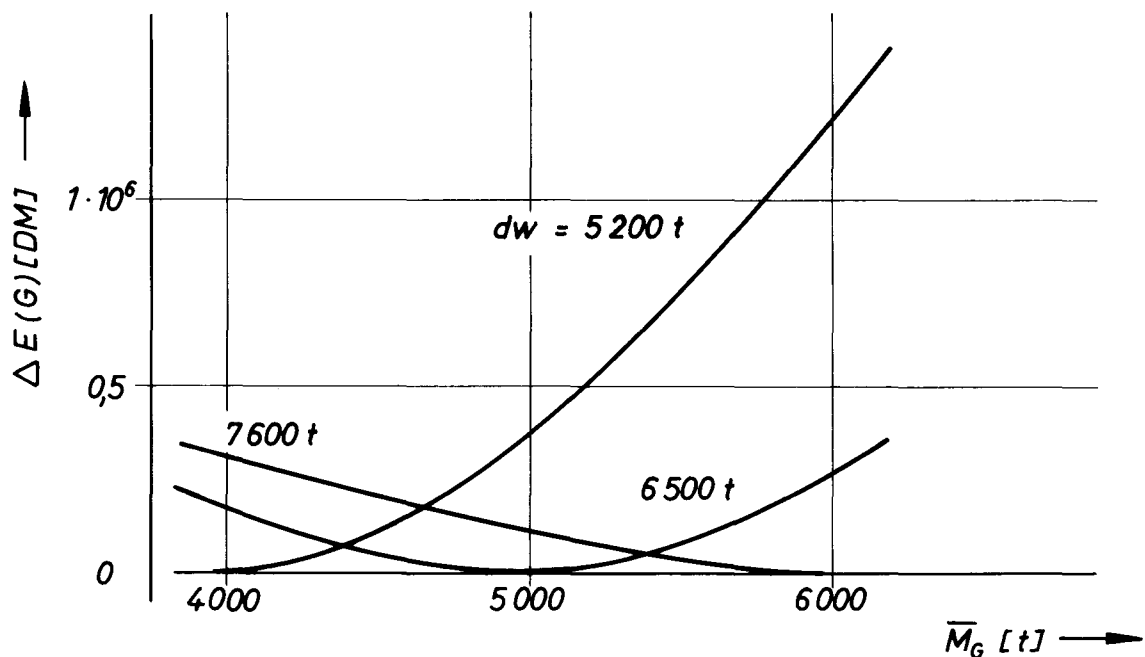
$f_1(M_G) : \text{Normalverteilung} ; \sigma_{M_G} = 740 \text{ t}$

$g(St_m) : \text{Normalverteilung} ; \bar{St}_m = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{t}} ; \sigma_{St_m} = 0,356 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$

$\alpha = 0 ; \quad \bar{R} = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Frt}}$



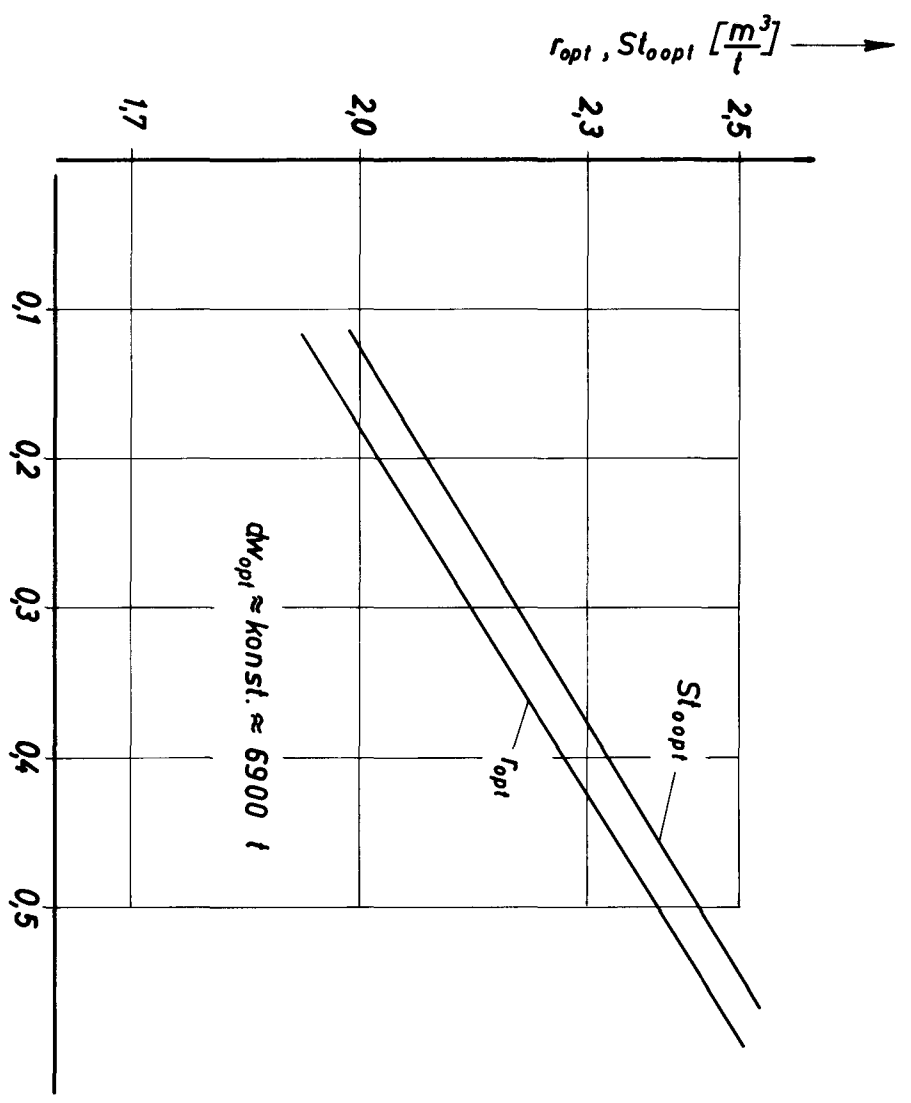
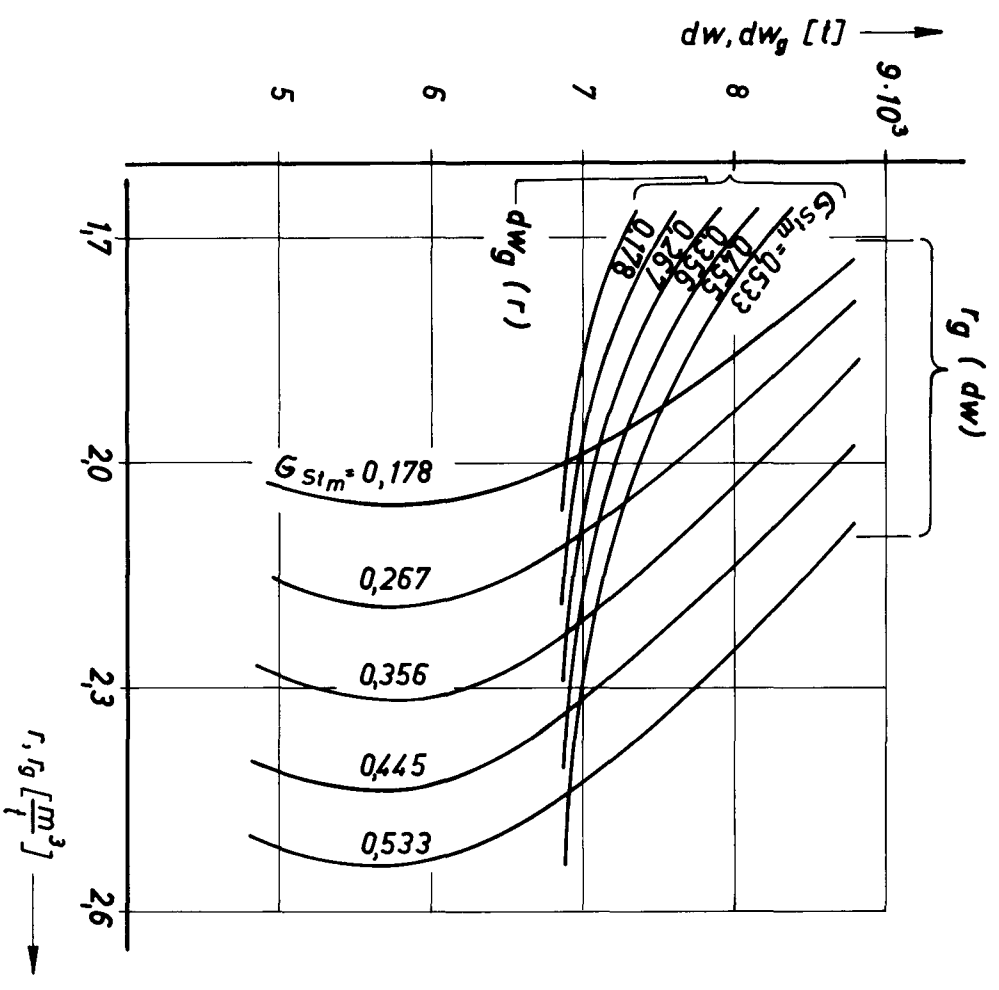
$E(G)$  als Funktion der Tragfähigkeit



Verringerung von  $E(G)$  bei vom jeweiligen Optimum abweichenden Schiffsgrößen

$f_1 (M_6)$  : Normalverteilung ;  
 $g (St_m)$  : Normalverteilung ;  
 $\alpha = 0$  ;

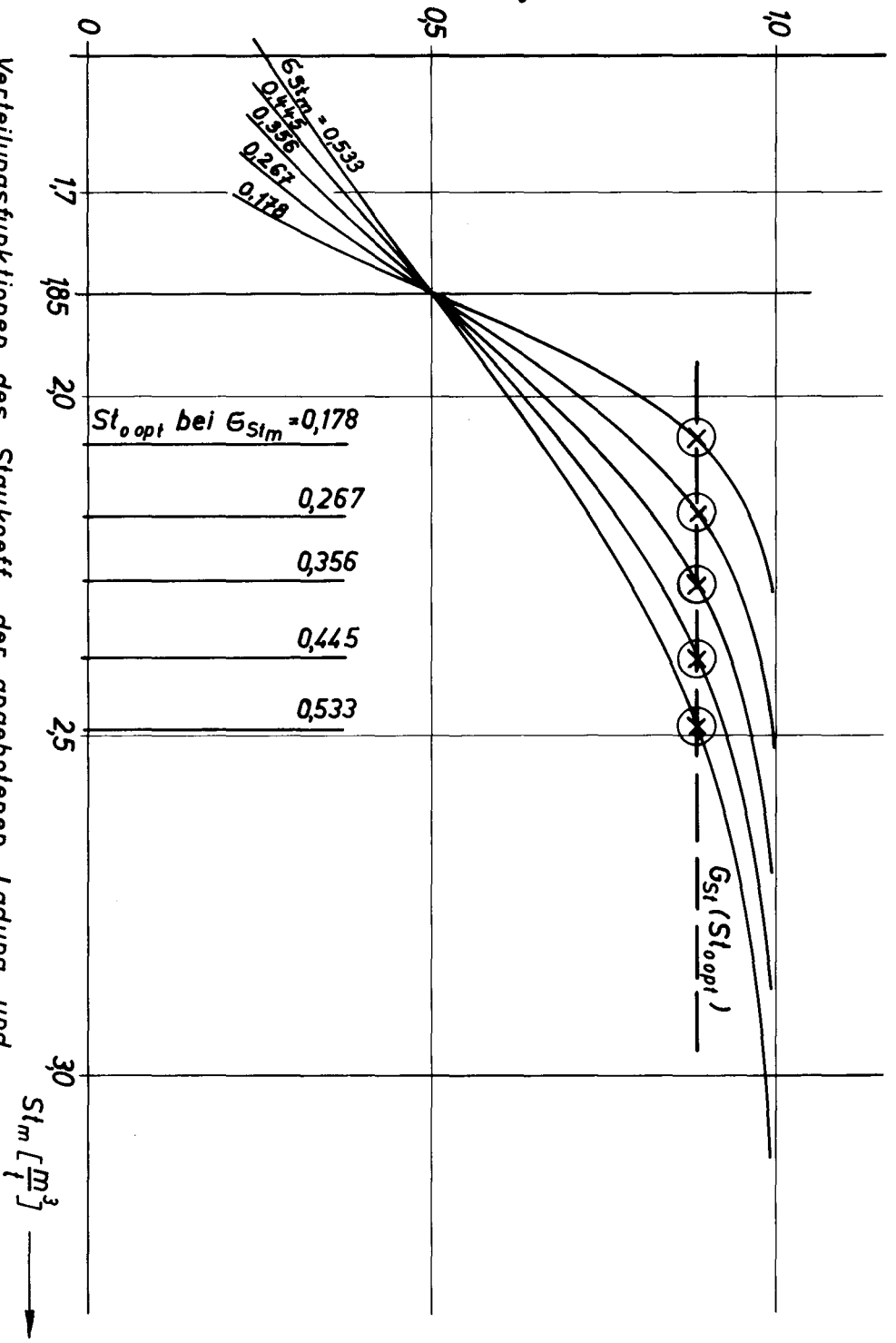
$\bar{M}_6 = 5000 \text{ t}$ ,  $G_{M_6} = 1110 \text{ t}$   
 $\bar{St}_m = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$   
 $\bar{R} = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Ft.}}$



$G_{st_m} [\frac{\text{m}^3}{\text{t}}]$   
 Bild 20

$f_1 (M_e) : \text{Normalverteilung};$   
 $g (St_m) : \text{Normalverteilung};$   
 $\alpha = 0;$   
 $\bar{M}_e = 5000 \text{ t}; \quad G_{M_e} = 1110 \text{ t}$   
 $\bar{St}_m = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$   
 $\bar{R} = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Fr.t.}}$

$$G_{St} = \int_0^{St_m} g (St_m) \cdot dSt_m$$



Verteilungsfunktionen des Staukoeff. der angebotenen Ladung und Staukoeff. der jeweils optimalen Schiffe

Bild 21

$f_1(M_G)$  : Normalverteilung ;  
 $g(St_m)$  : Normalverteilung ;  
 $x = 0$  ;

$\bar{M}_G = 5\,000 \text{ t}$  ;  $G_{M_G} = 1\,110 \text{ t}$   
 $G_{St_m} = 0,267 \frac{m^3}{t}$   
 $\bar{R} = 25 \frac{DM}{Fr.t.}$

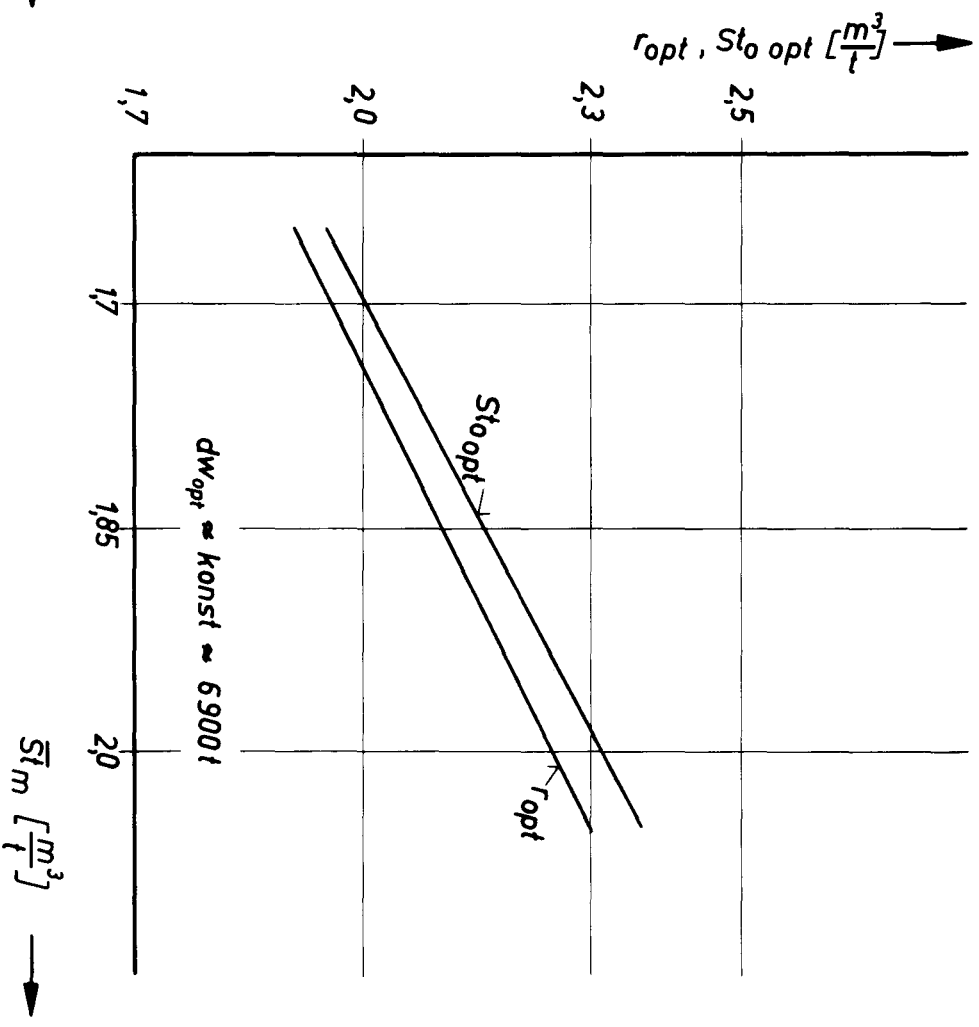
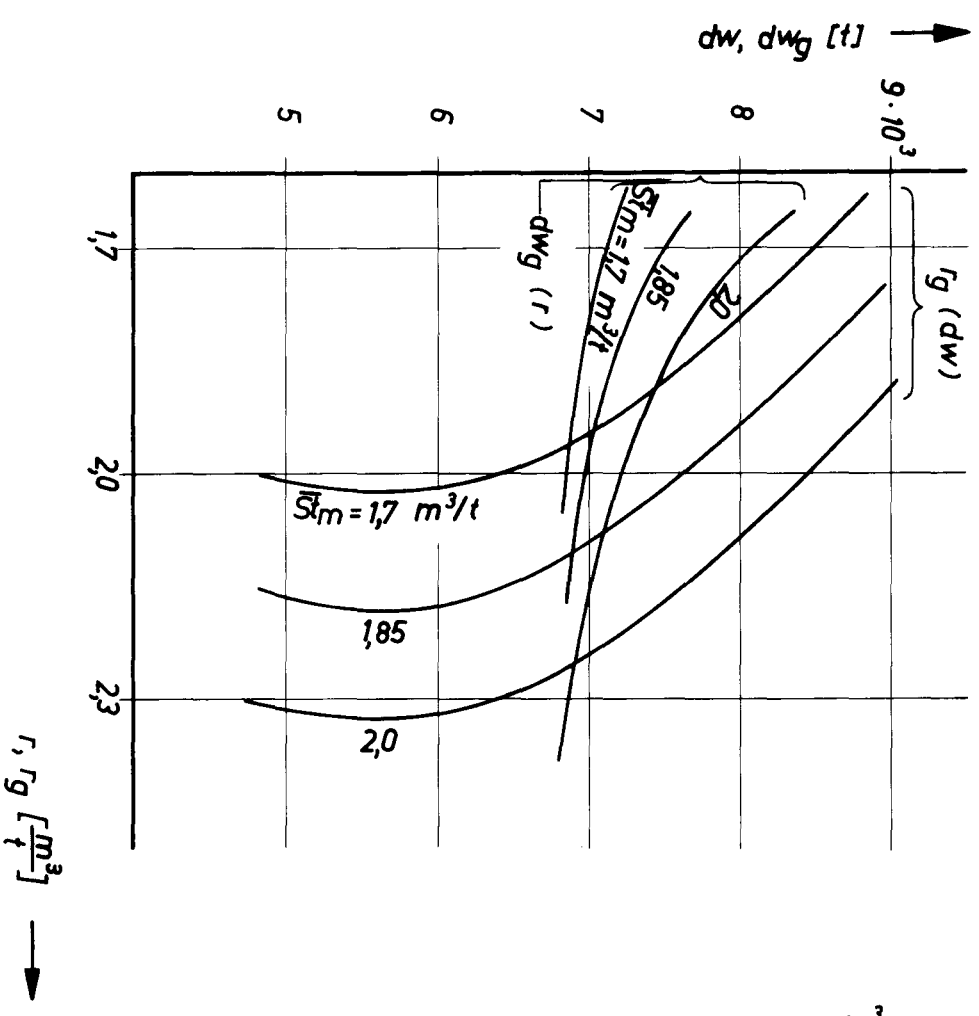
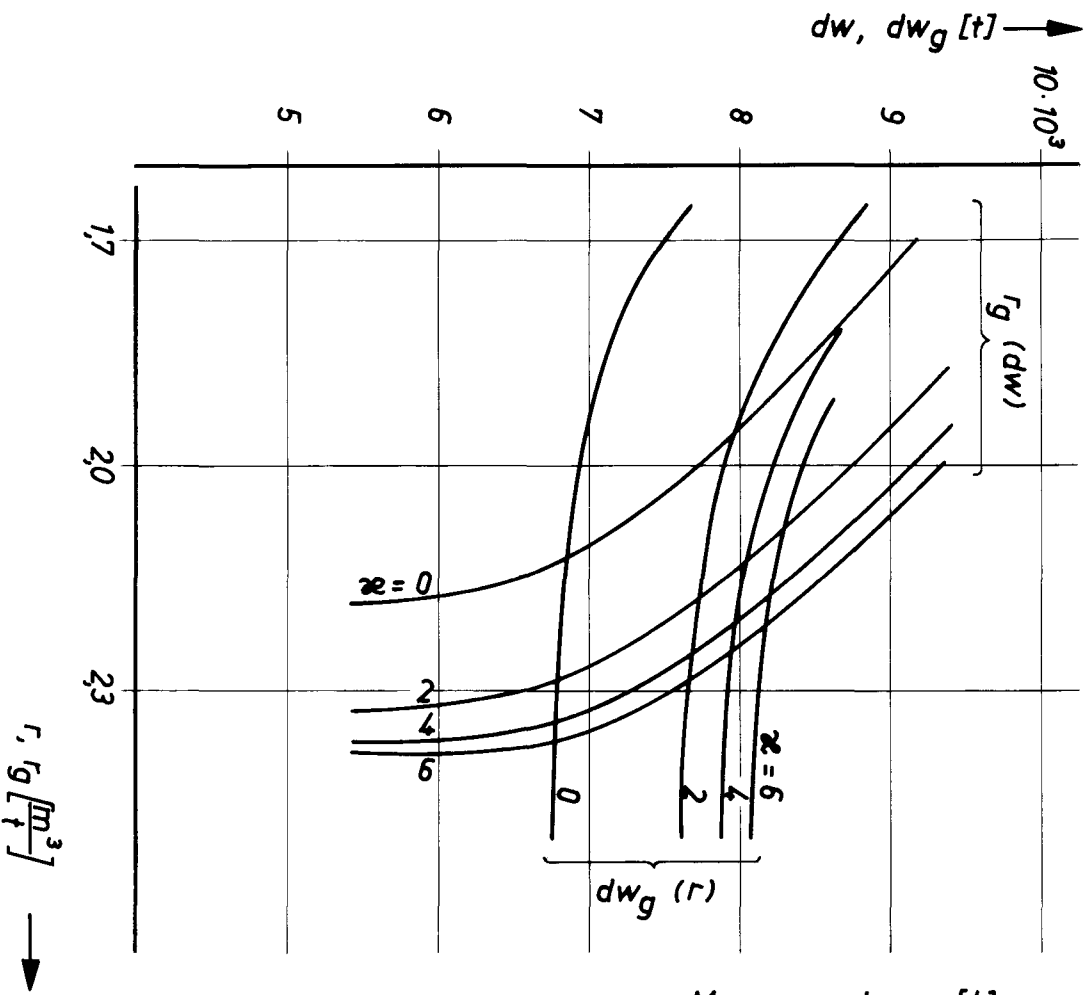


Bild 22



$f_1(M_g)$  : Normalverteilung ;

$g(St_m)$  : Normalverteilung ;

$\alpha = 0$  ;

$\bar{M}_g = 5000 \text{ t}$  ;  $G_{M_g} = 1110 \text{ t}$

$\bar{St}_m = 1,85 \frac{m^3}{t}$  ;  $G_{St_m} = 0,267 \frac{m^3}{t}$

$\bar{R} = 25 \frac{PM}{F \cdot t}$

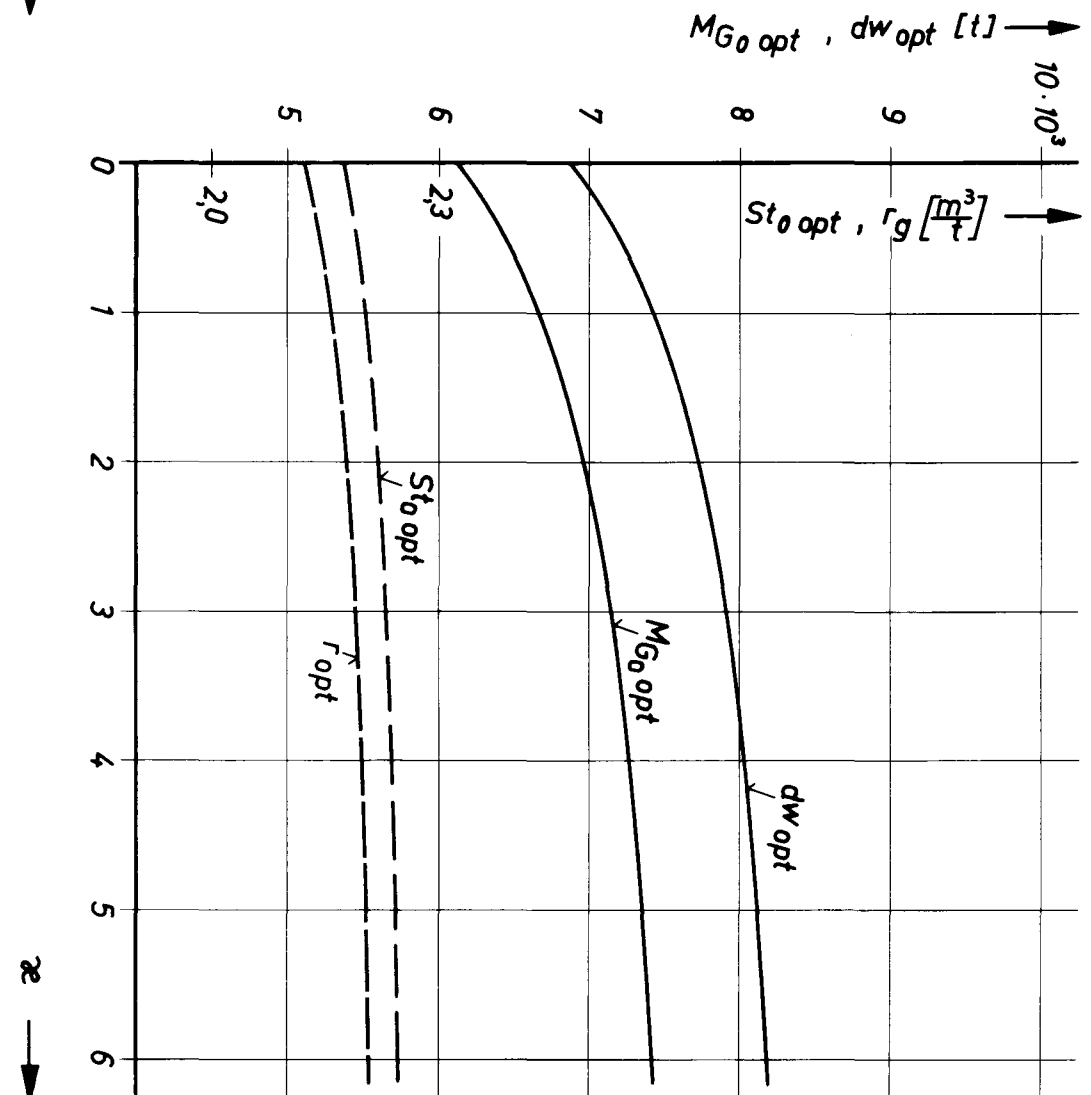


Bild 23

$f_1$  ( $M_G$ ) Normalverteilung  
 $g$  ( $St_m$ ) Normalverteilung

$\bar{M}_G = 5000 \text{ t}$ ;  $\sigma_{M_G} = 1110 \text{ t}$   
 $\bar{St}_m = 1,85 \frac{m^3}{t}$ ;  $\sigma_{St_m} = 0,267 \text{ t}$   
 $\bar{R} = 25 \frac{DM}{FrL}$

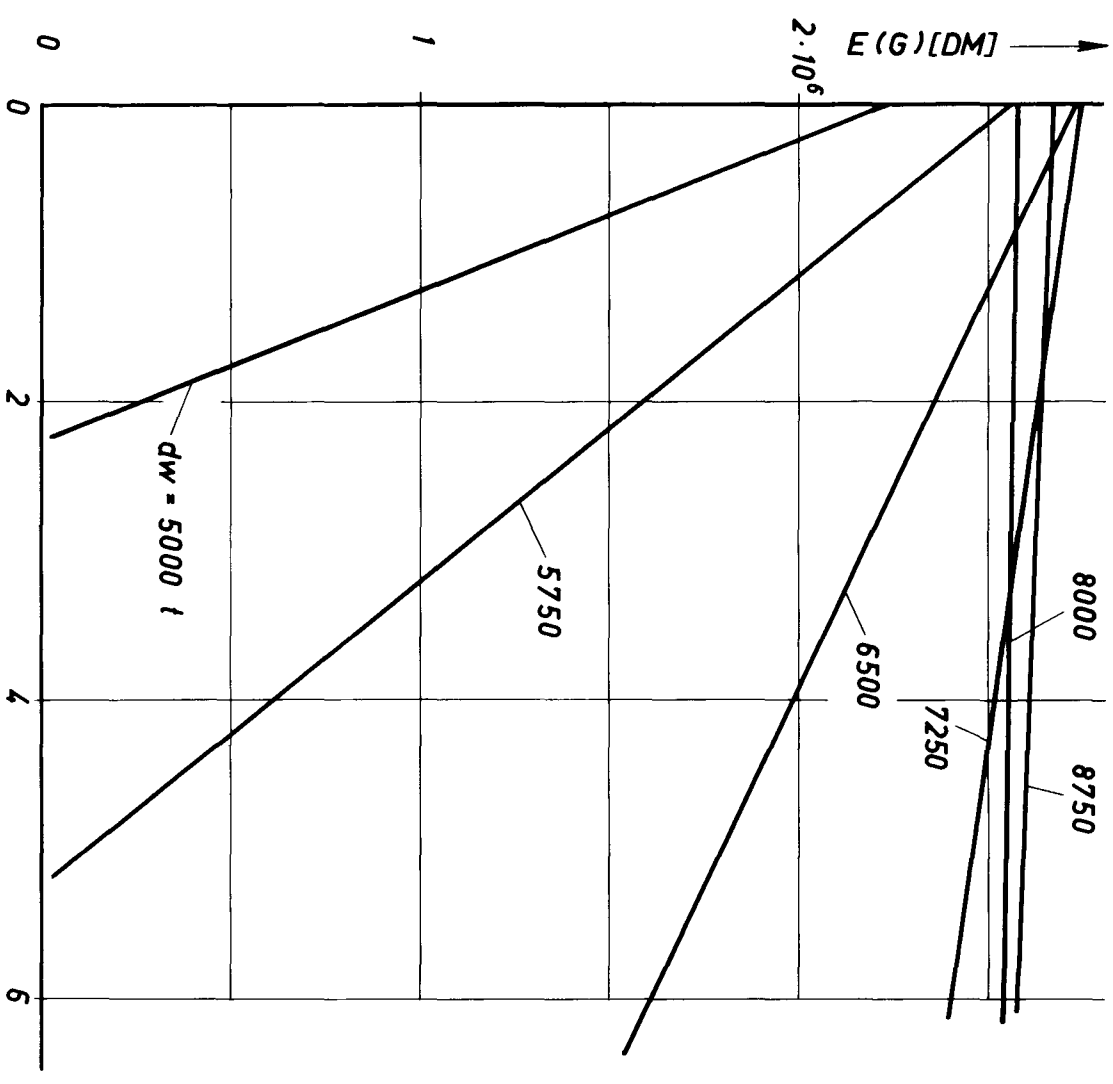
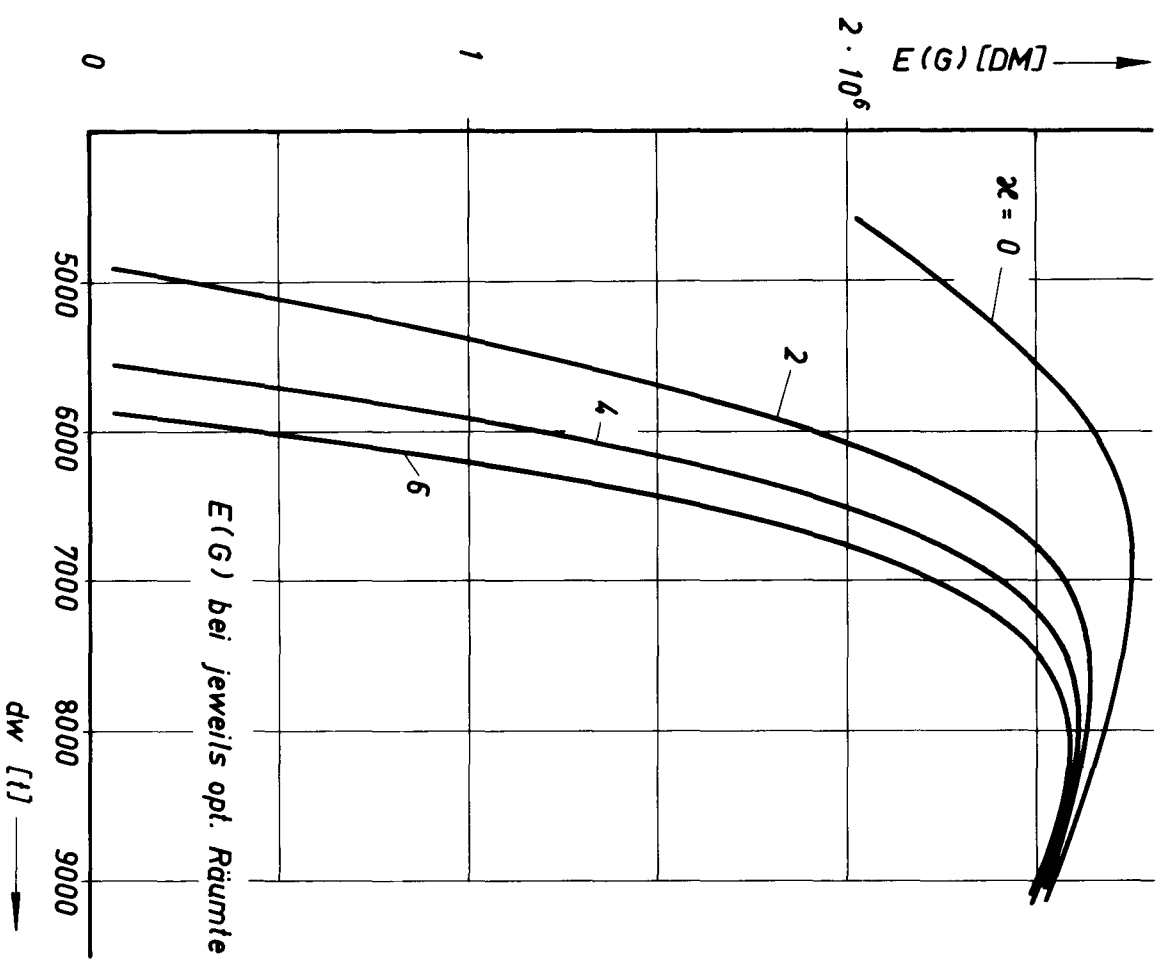


Bild 24

$f_1 (M_G) : \text{Normalverteilung} ;$   
 $\bar{M}_G = 5000 \text{ t}$   
 $g (St_m) : \text{Normalverteilung} ;$   
 $\bar{St}_m = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{t}} ; \sigma_{St_m} = 0,356 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$   
 $\alpha = 0 ;$

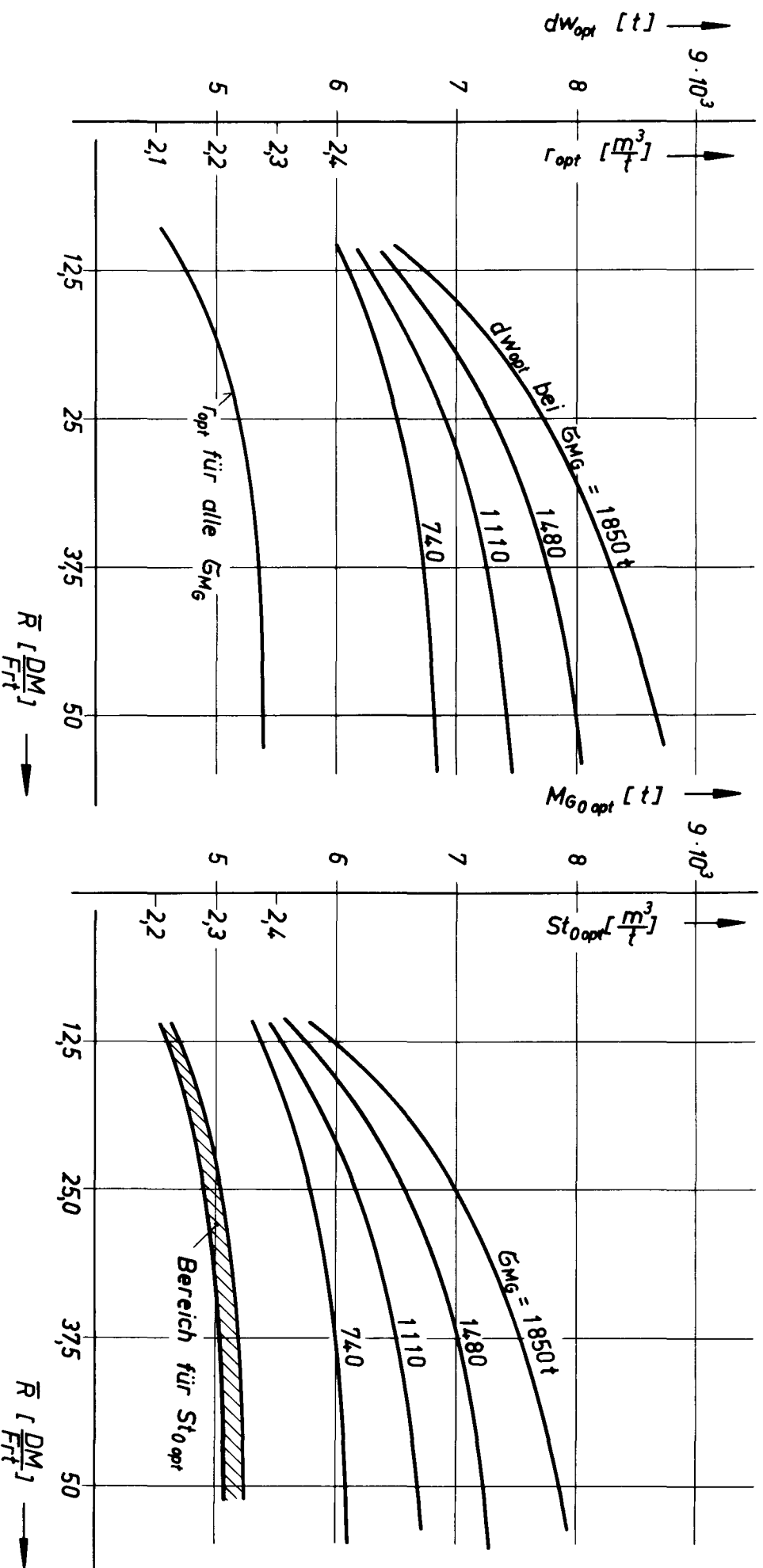
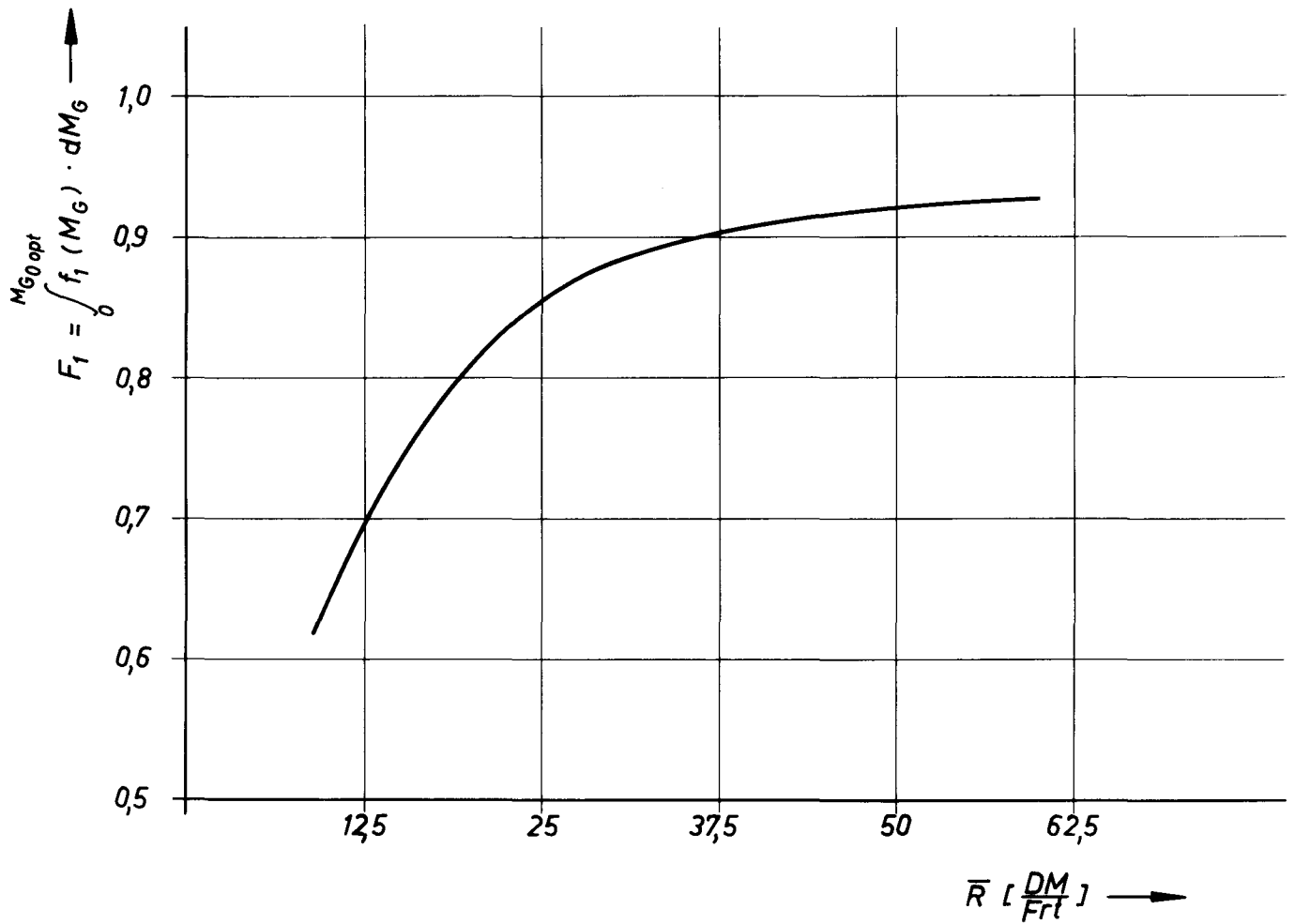
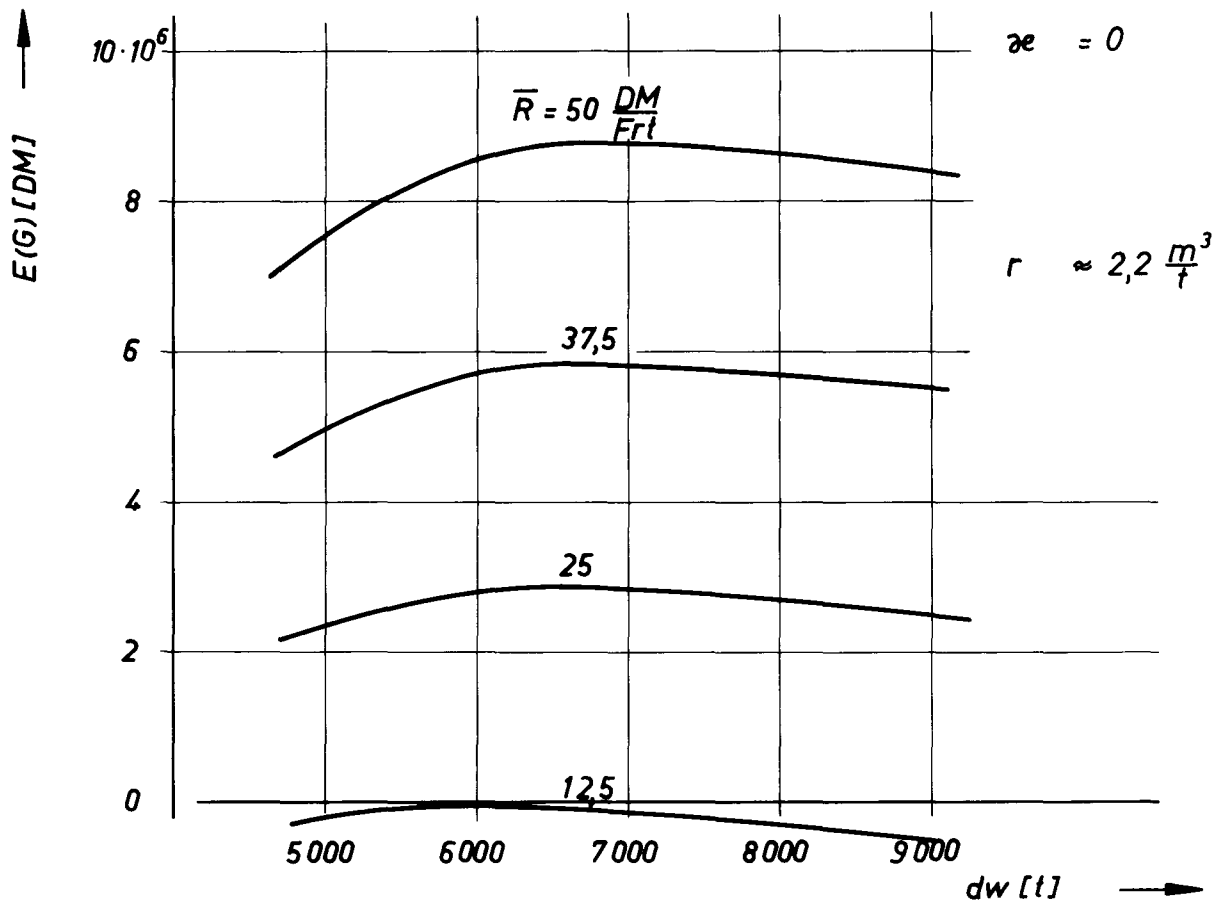


Bild 25

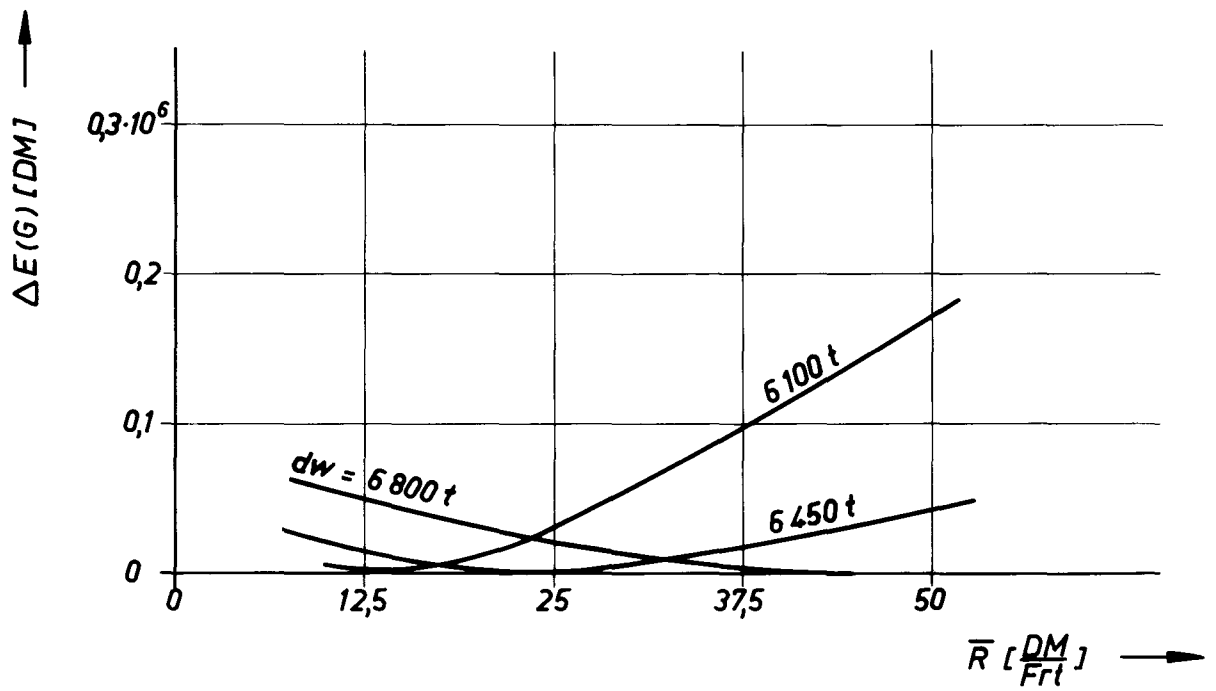


*Anteil des statistisch gegebenen Ladungsangebots,  
der kleiner ist als die optimale Tragfähigkeit*

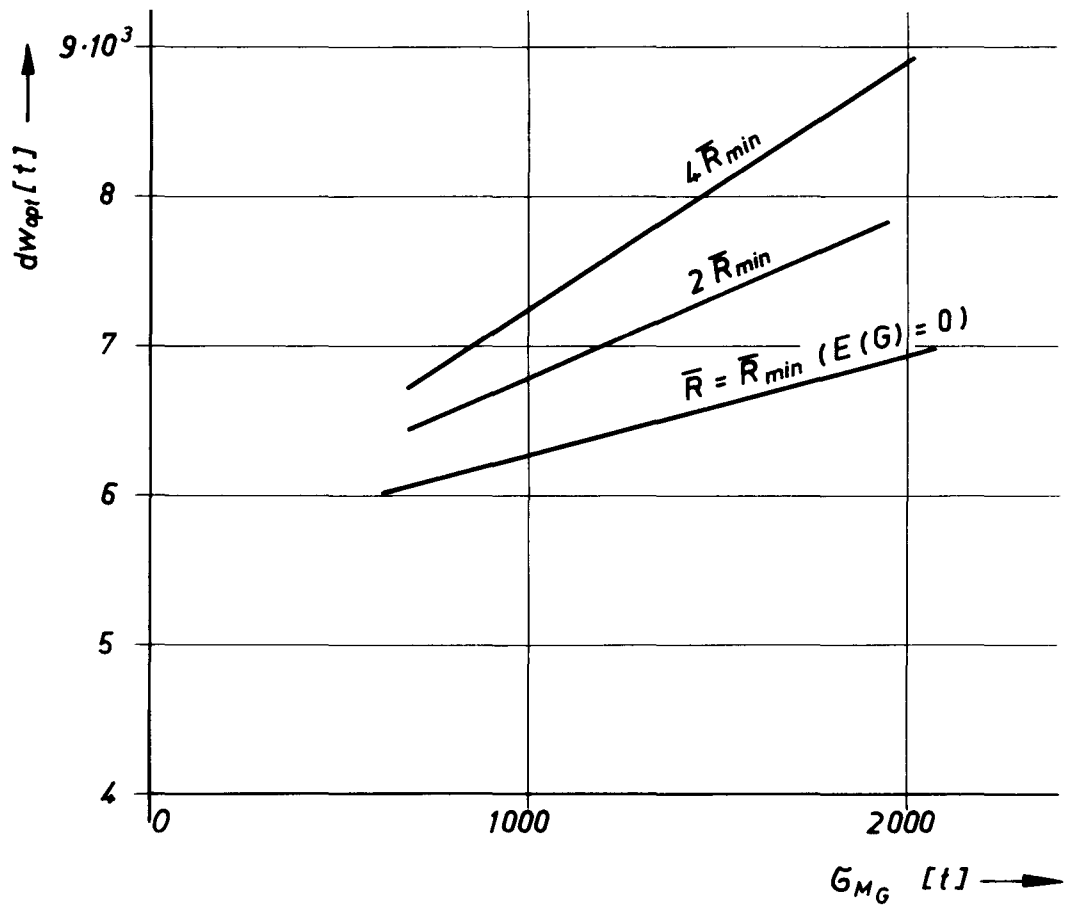
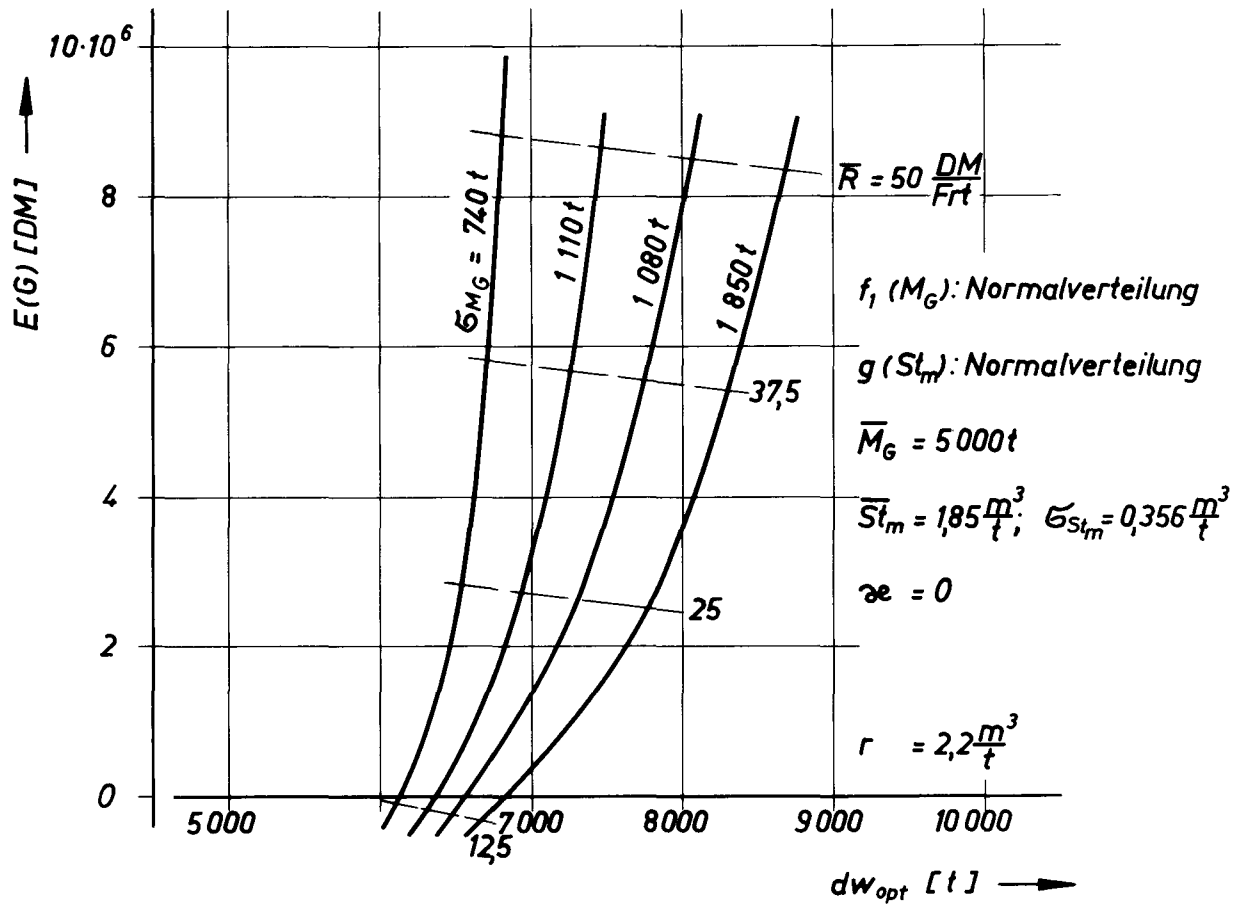
$f_1 (M_G) : \text{Normalverteilung} ; \quad \bar{M}_G = 5000 \text{ t} ; \quad \sigma_{M_G} = 740 \text{ t}$   
 $g (St_m) \text{ Normalverteilung} ; \quad \bar{St}_m = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{t}} ; \quad \sigma_{St_m} = 0,356 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$



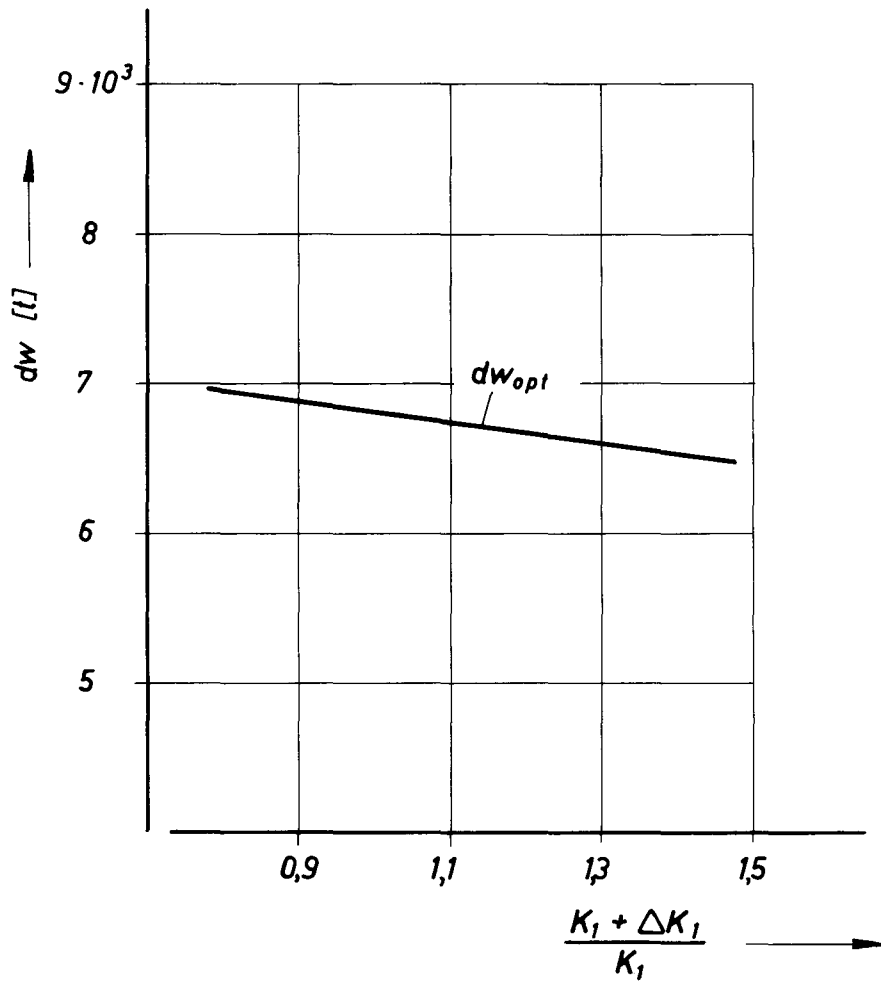
Gewinnerwartungswert bei verschiedenen Frachtraten



Verringerung von  $E(G)$  bei vom jeweiligen Optimum abweichenden Schiffsgrößen

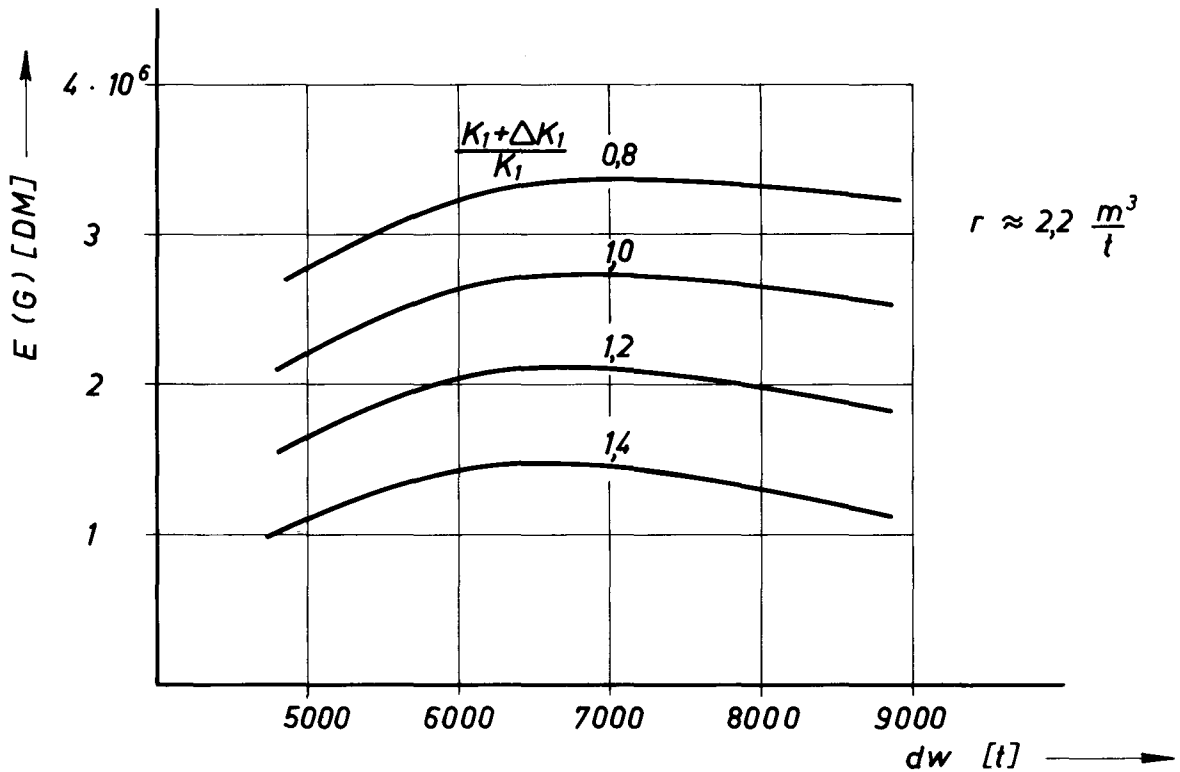


Optimale Tragfähigkeit bei verschiedenen Frachtraten

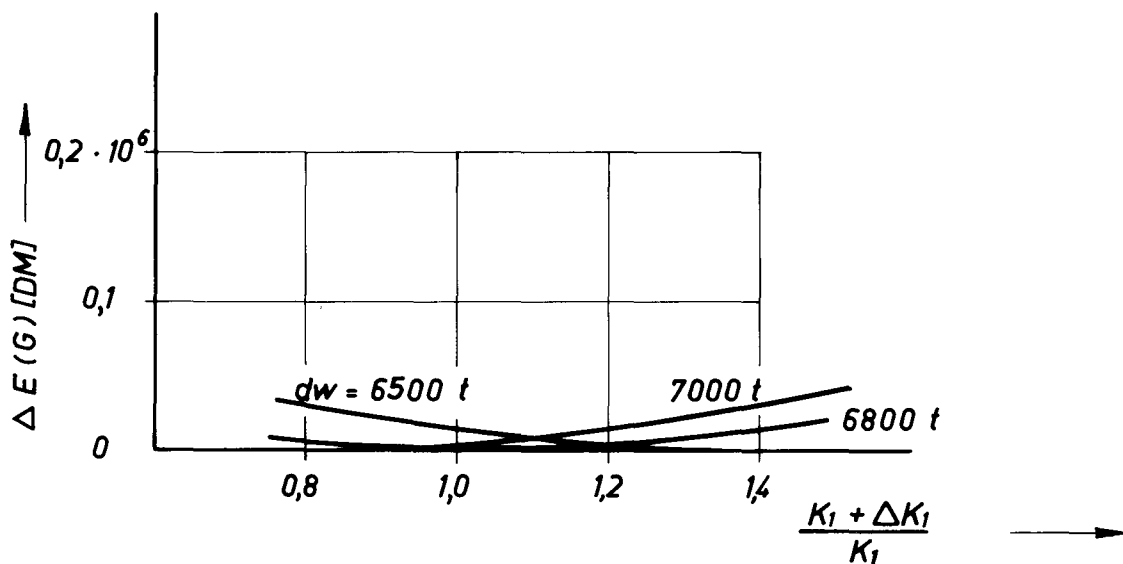


Optimale Tragfähigkeit bei verschiedenen Kosten

$f_1(M_G)$ : Normalverteilung;  $\bar{M}_G = 5000 \text{ t}$ ;  $G_{M_G} = 1110 \text{ t}$   
 $g(St_m)$ : Normalverteilung;  $\bar{St}_m = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$ ;  $G_{St_m} = 0,356 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$   
 $\alpha = 0$ ;  $\bar{R} = 25 \frac{\text{DM}}{\text{Frt}}$



Gewinnerwartungswert bei verschiedenen Kosten  $K_1$



Verringerung von  $E(G)$  bei vom jeweiligen Optimum abweichenden Schiffsgrößen

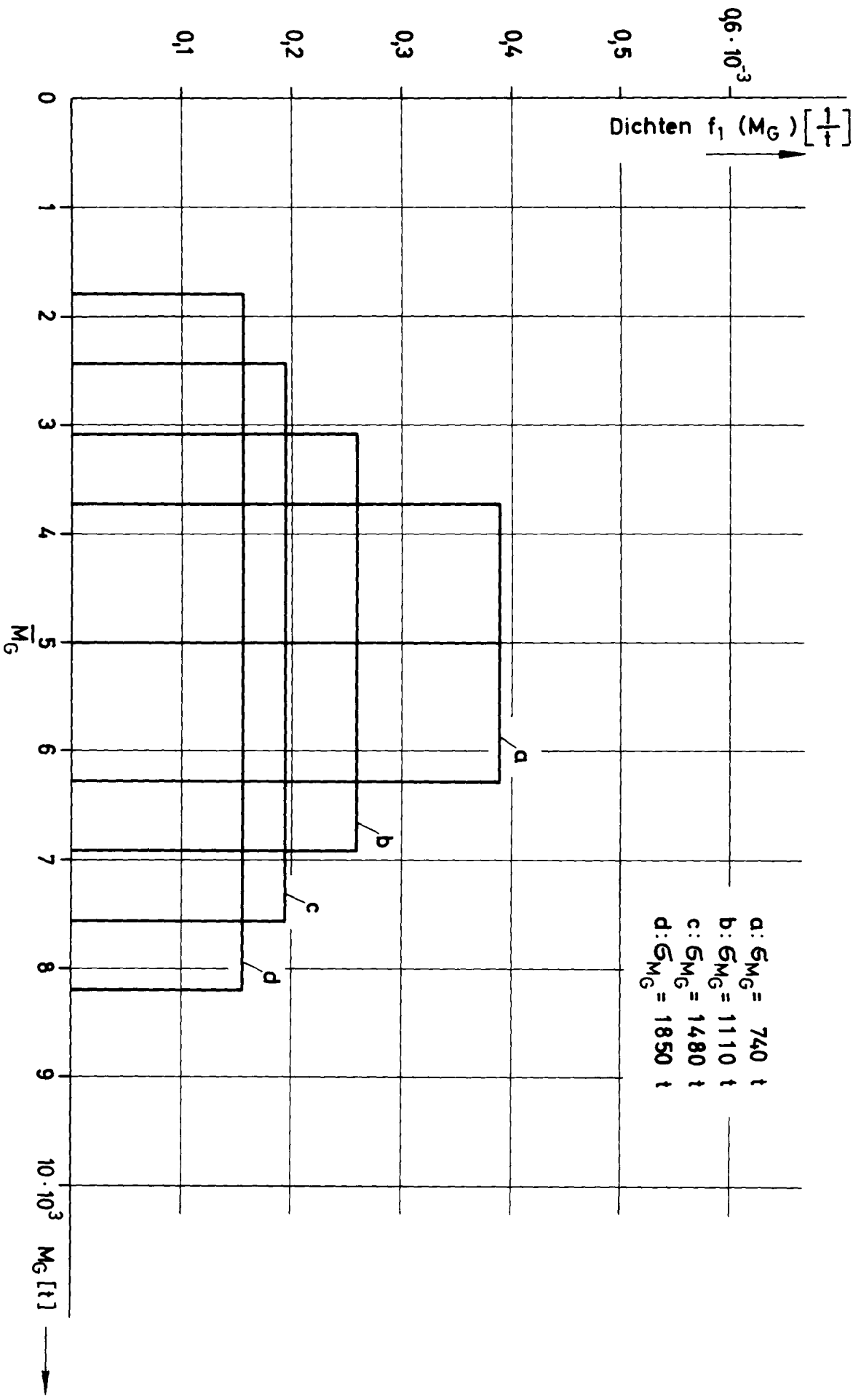


Bild 1a : konstante Verteilungen

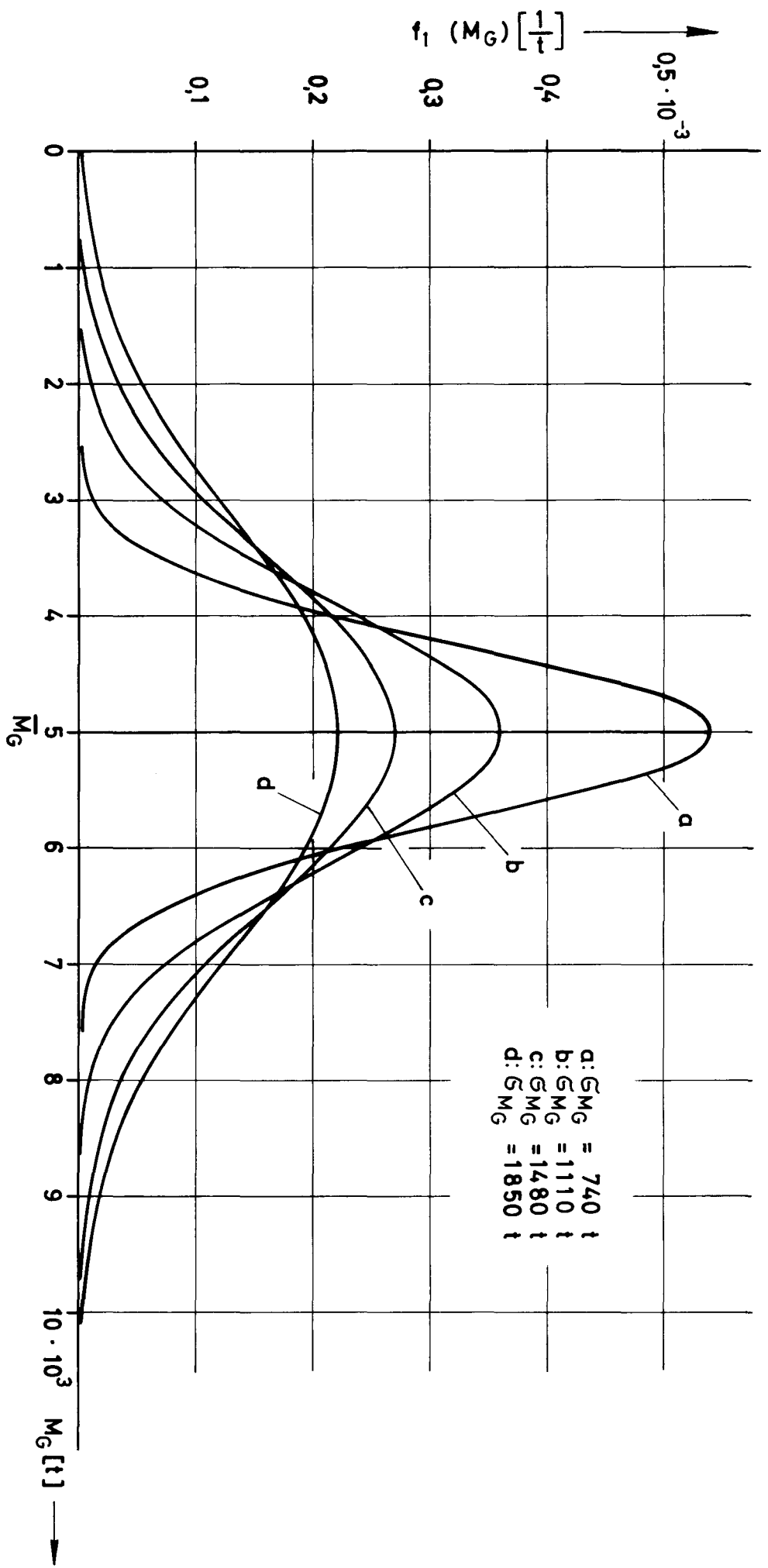


Bild 2 a : Normalverteilungen

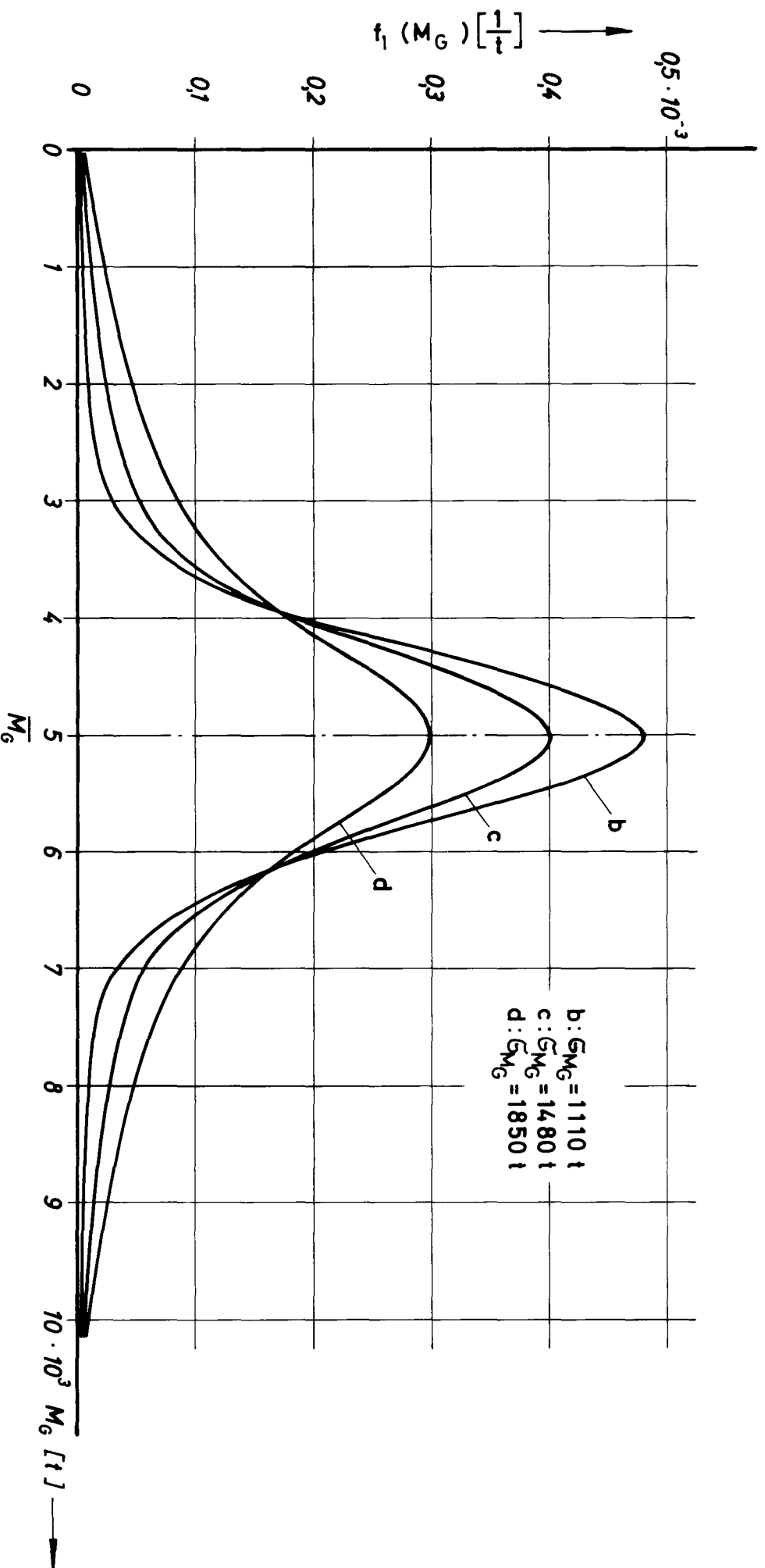


Bild 3a Symmetrische Mischverteilung

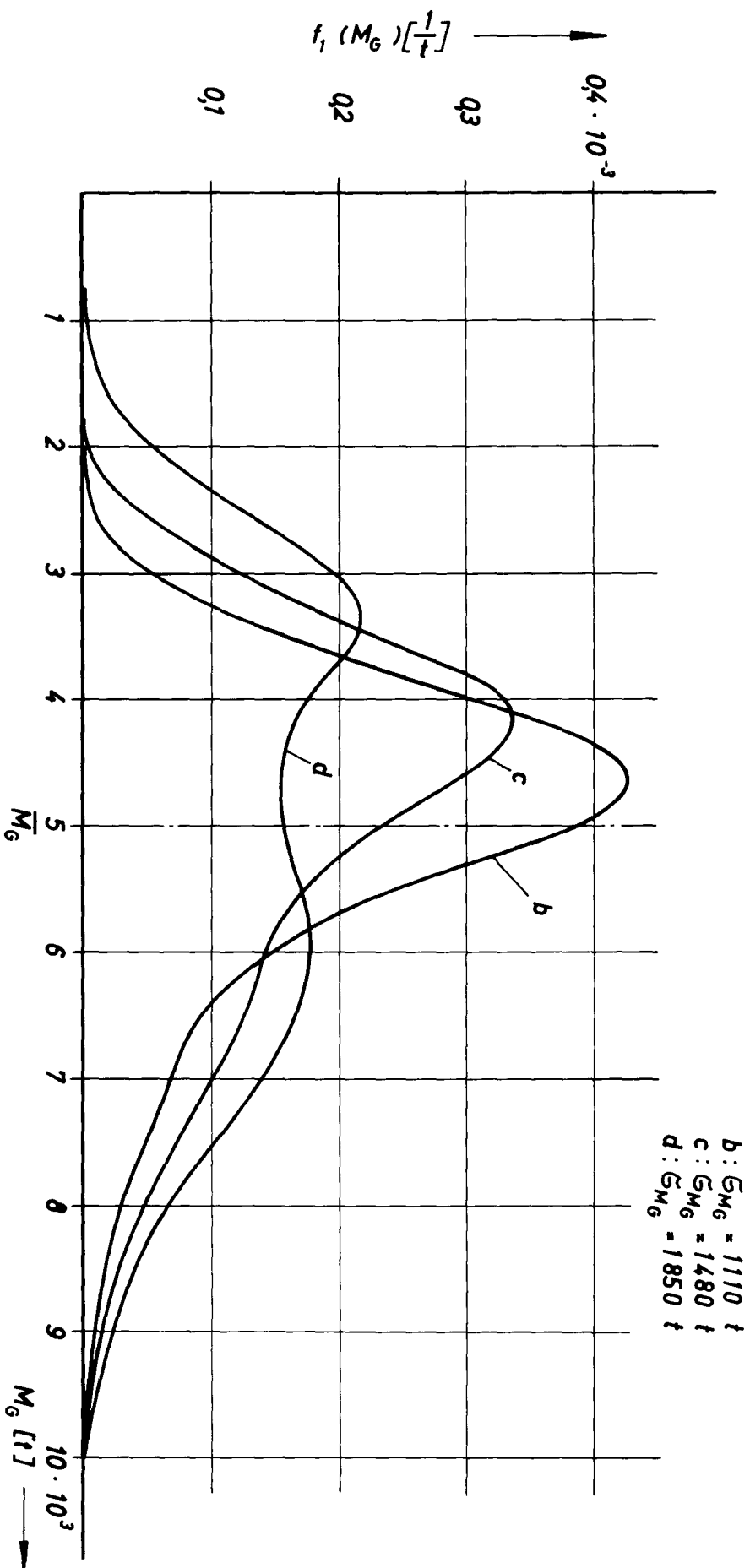


Bild 4a : Unsymmetrische Mischverteilungen (positive Schiefe)

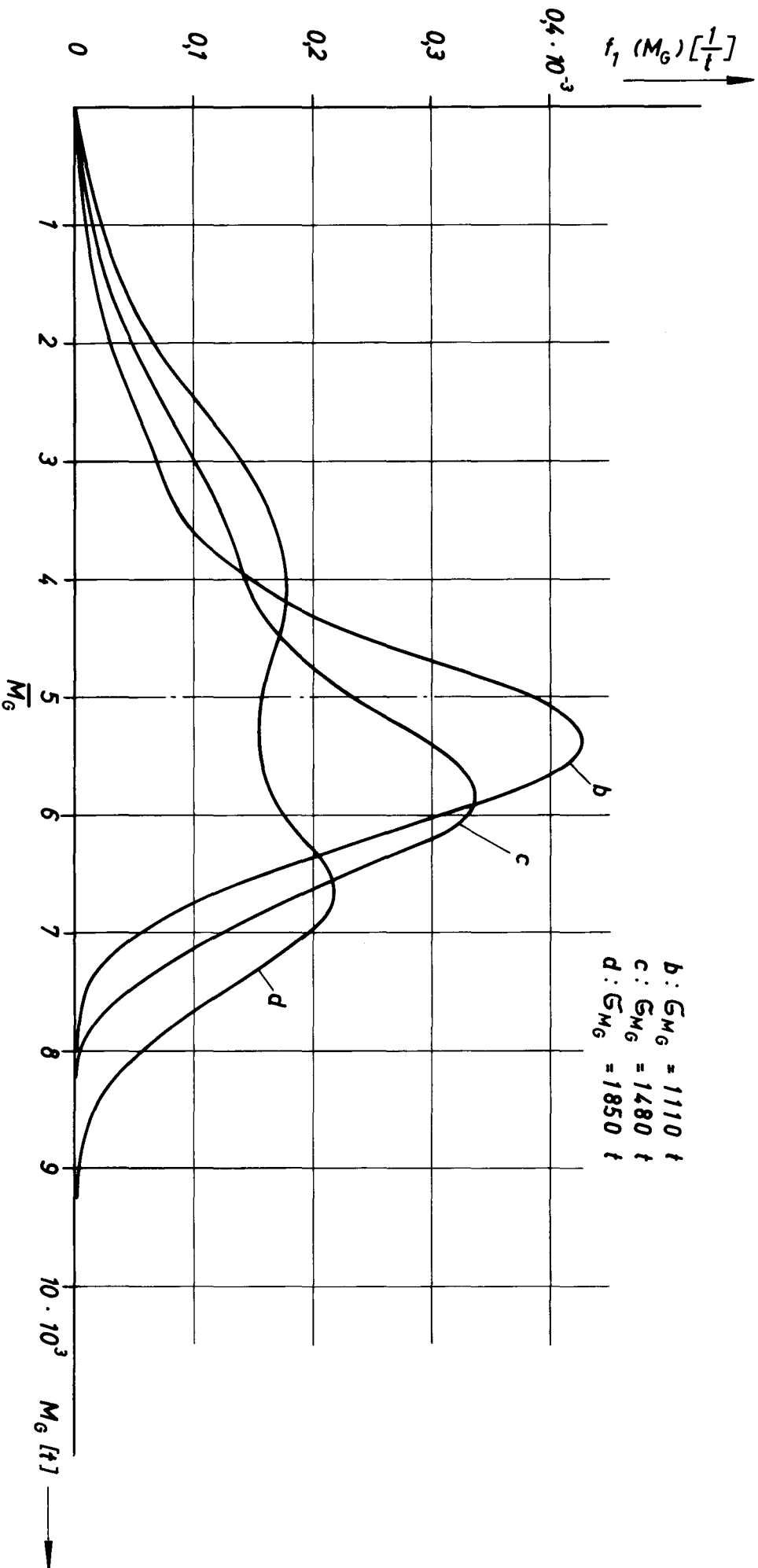
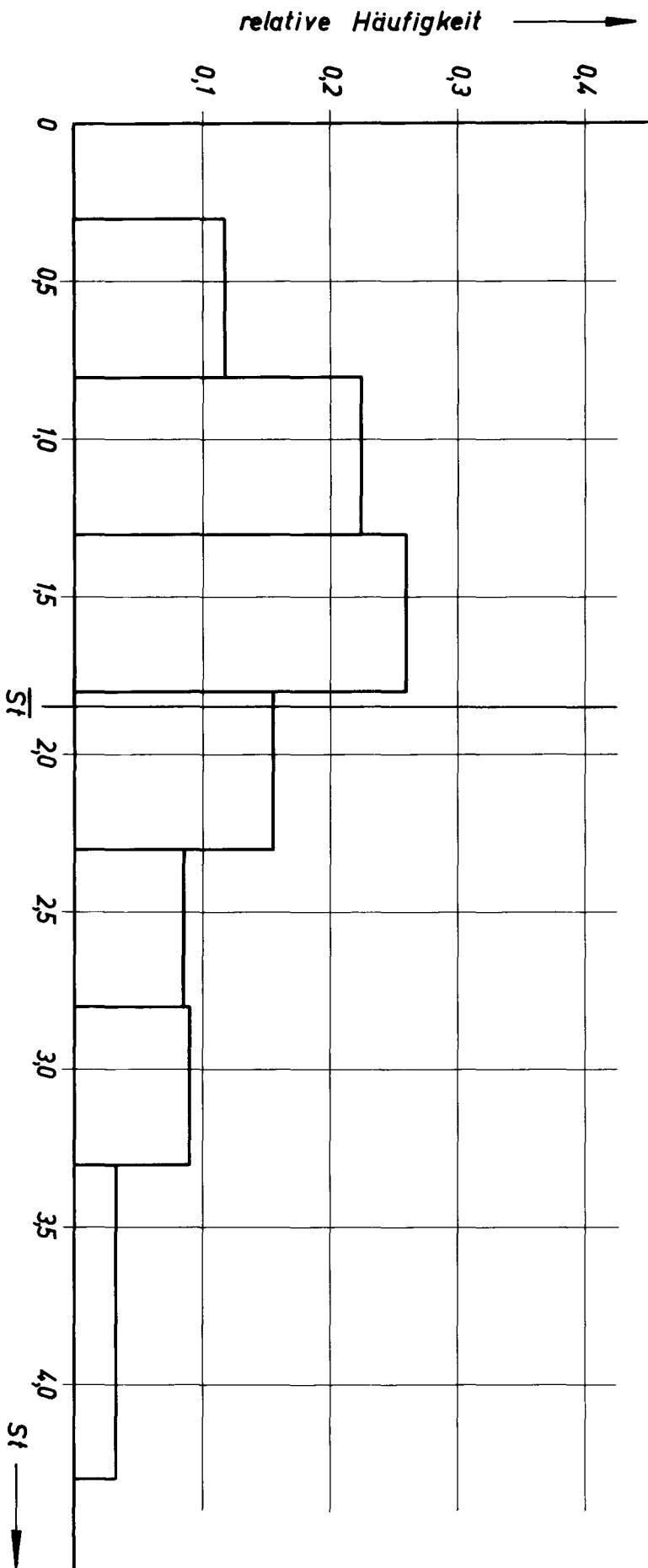
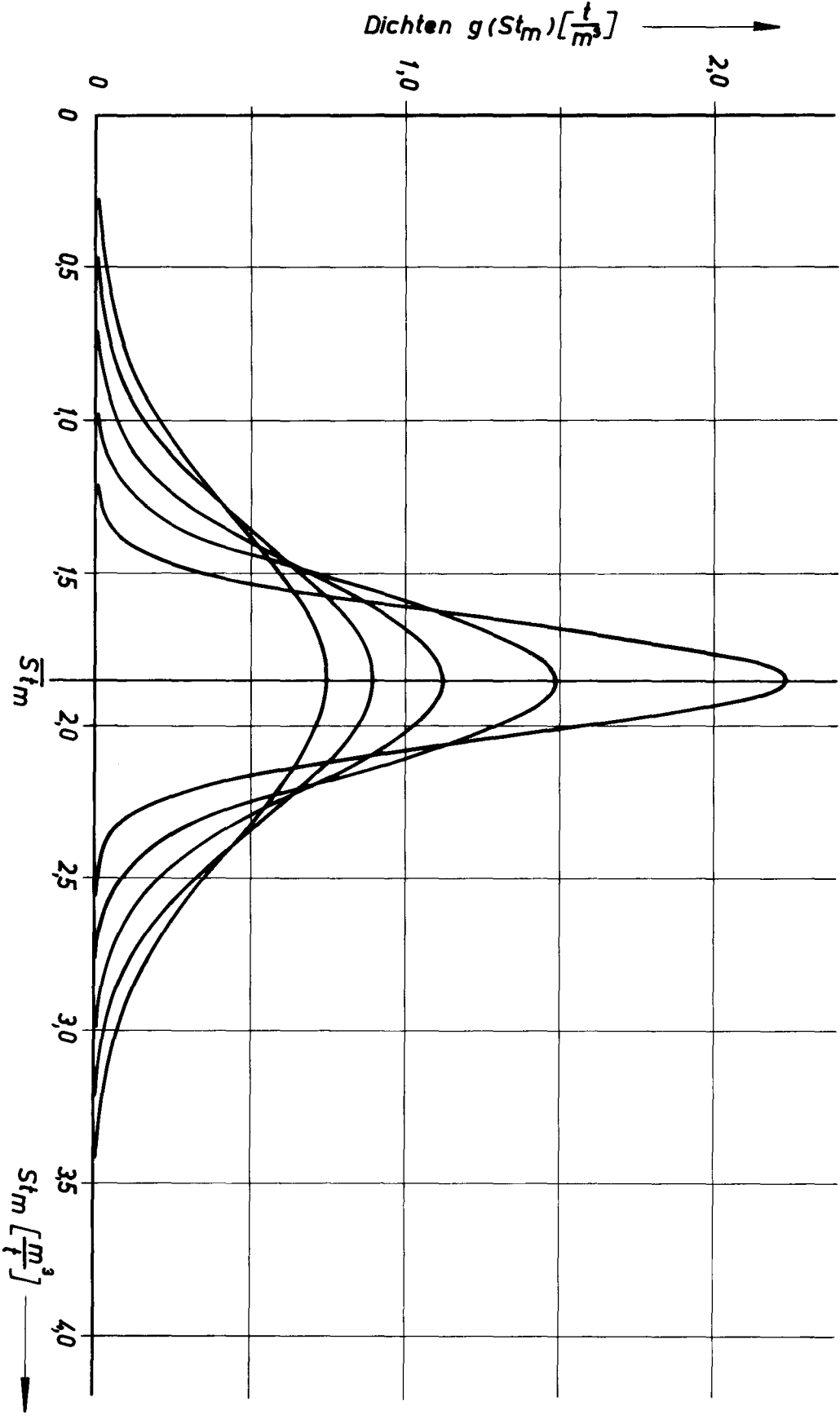


Bild 5 a : Unsymmetrische Mischverteilungen (negative Schiefe)



**Bild 6a :** Häufigkeit von Staukoeffizienten nach Statistik: Hamburg - Nordamerika O.K.,  
 eingehende und ausgehende Ladung

Bild 7a: Verteilungen für  $St_m$



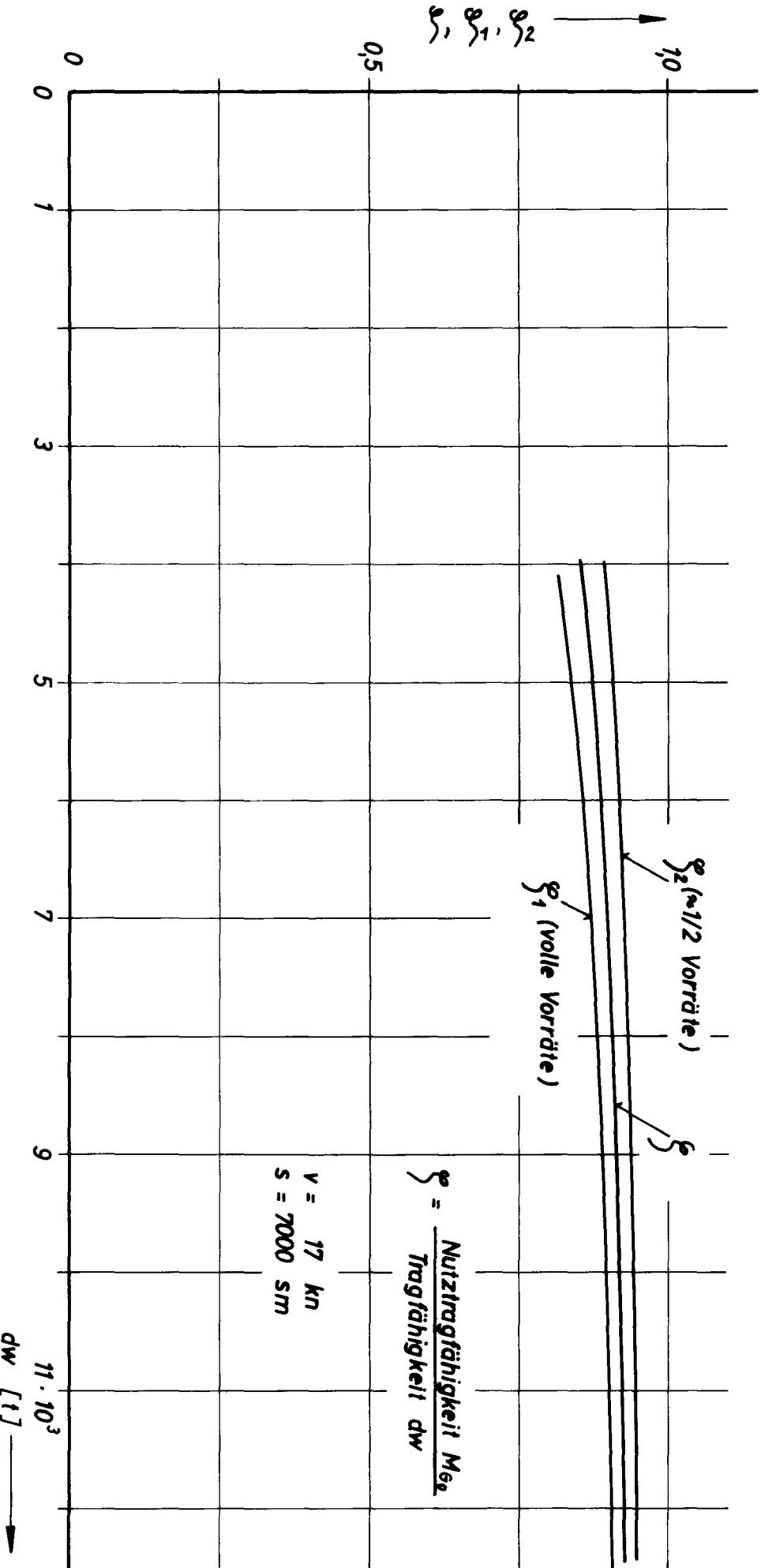


Bild 1b: Verhältnis von Nutztragfähigkeit zu Tragfähigkeit.

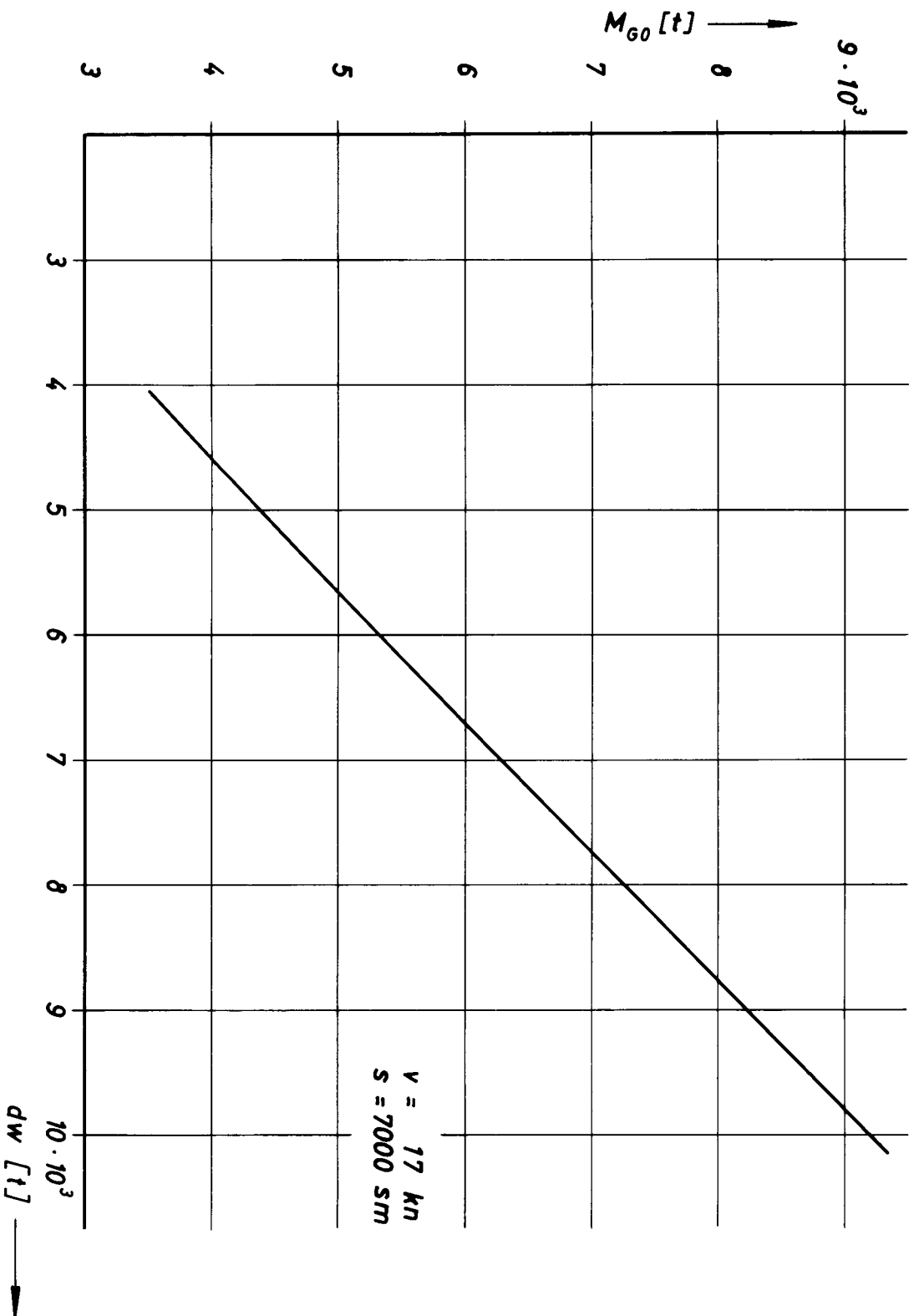
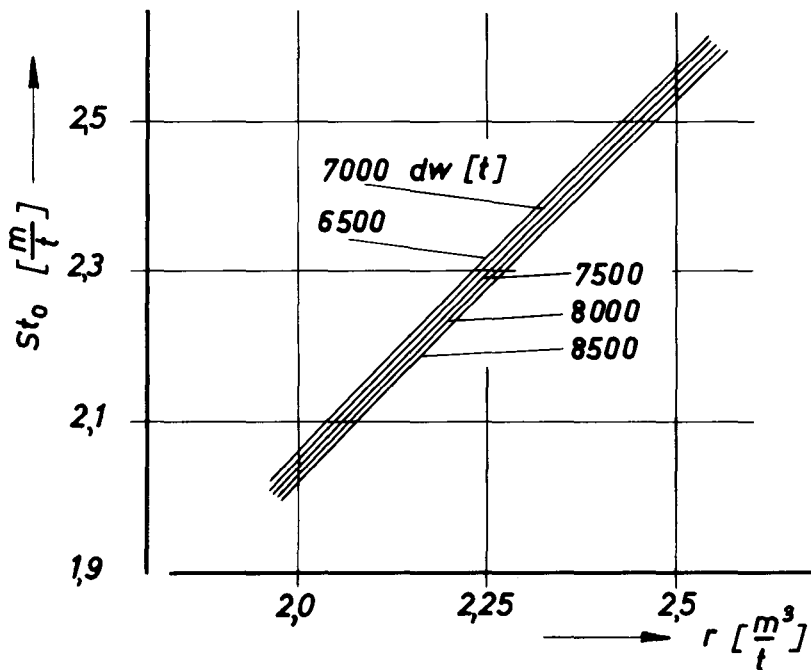
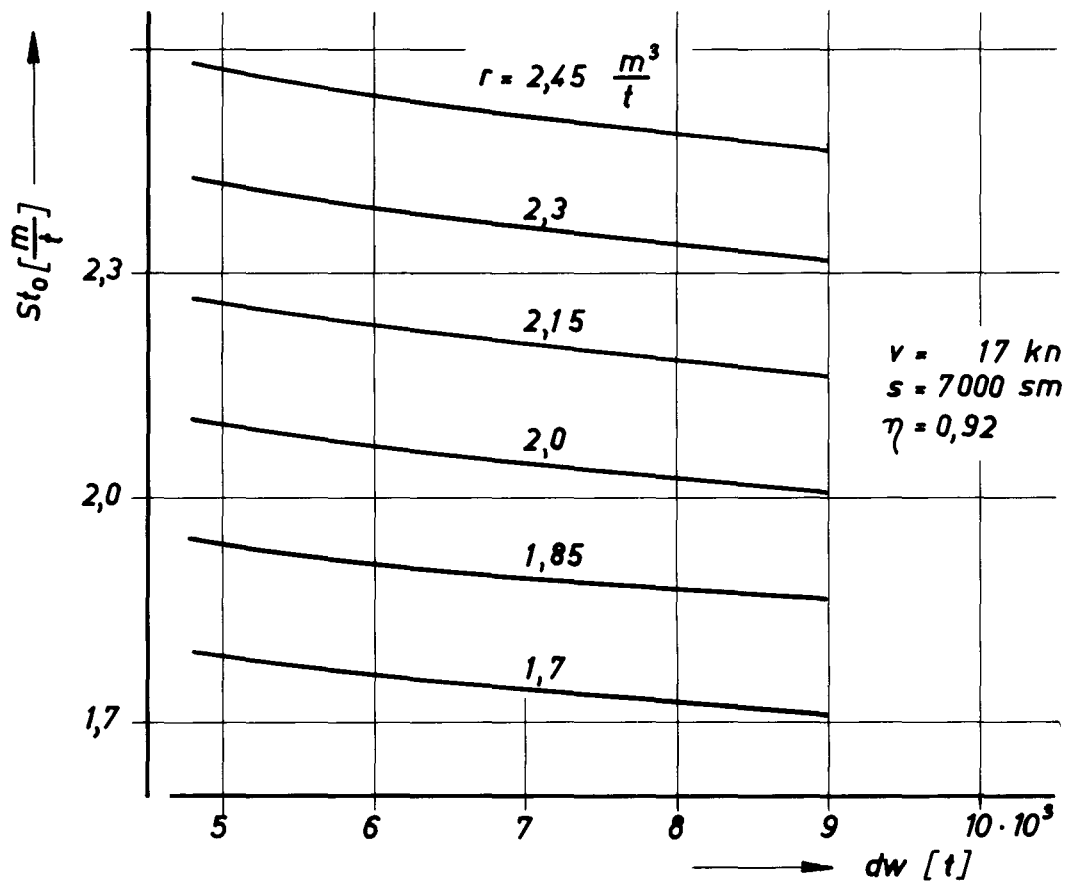


Bild 2b : Nutztragfähigkeit  $M_{G0}$  und Tragfähigkeit  $dw$



**Bild 3b:** Staukoeffizient  $St_0$  bei verschiedenen Räumten und Tragfähigkeiten

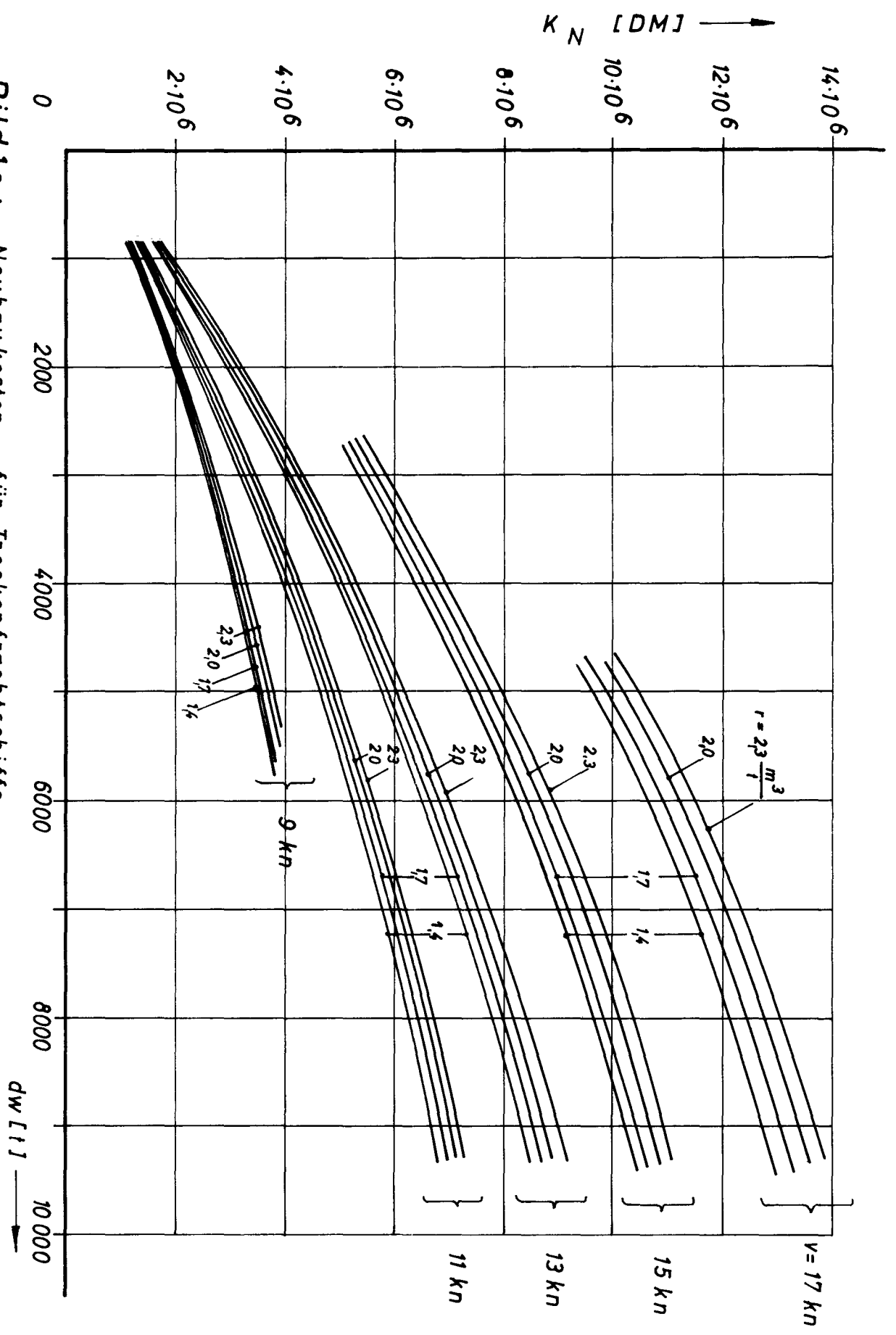
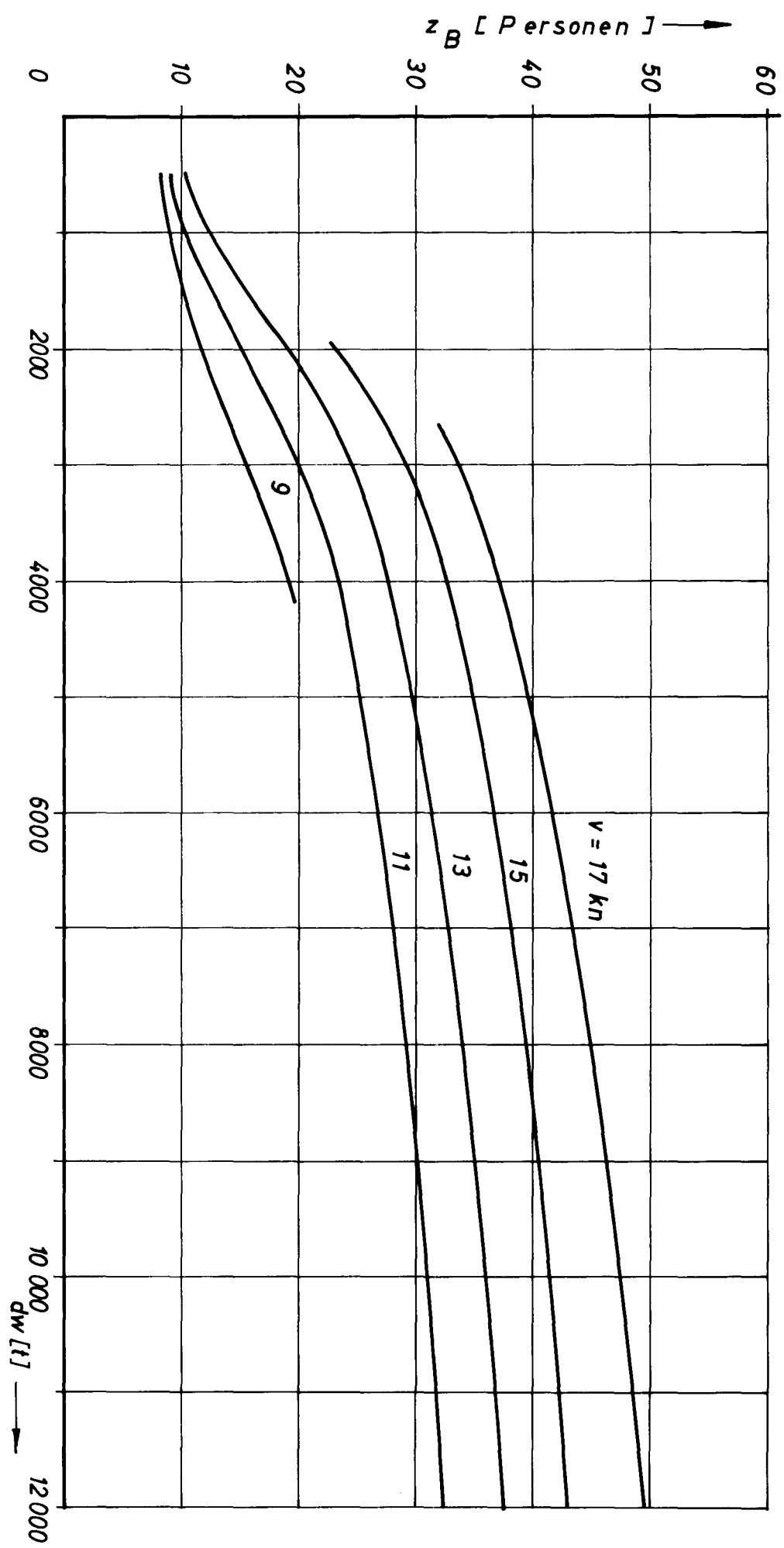


Bild 1c : Neubaukosten für Trockenfrachtschiffe

Bild 2c: Zahl der Besatzungsmitglieder



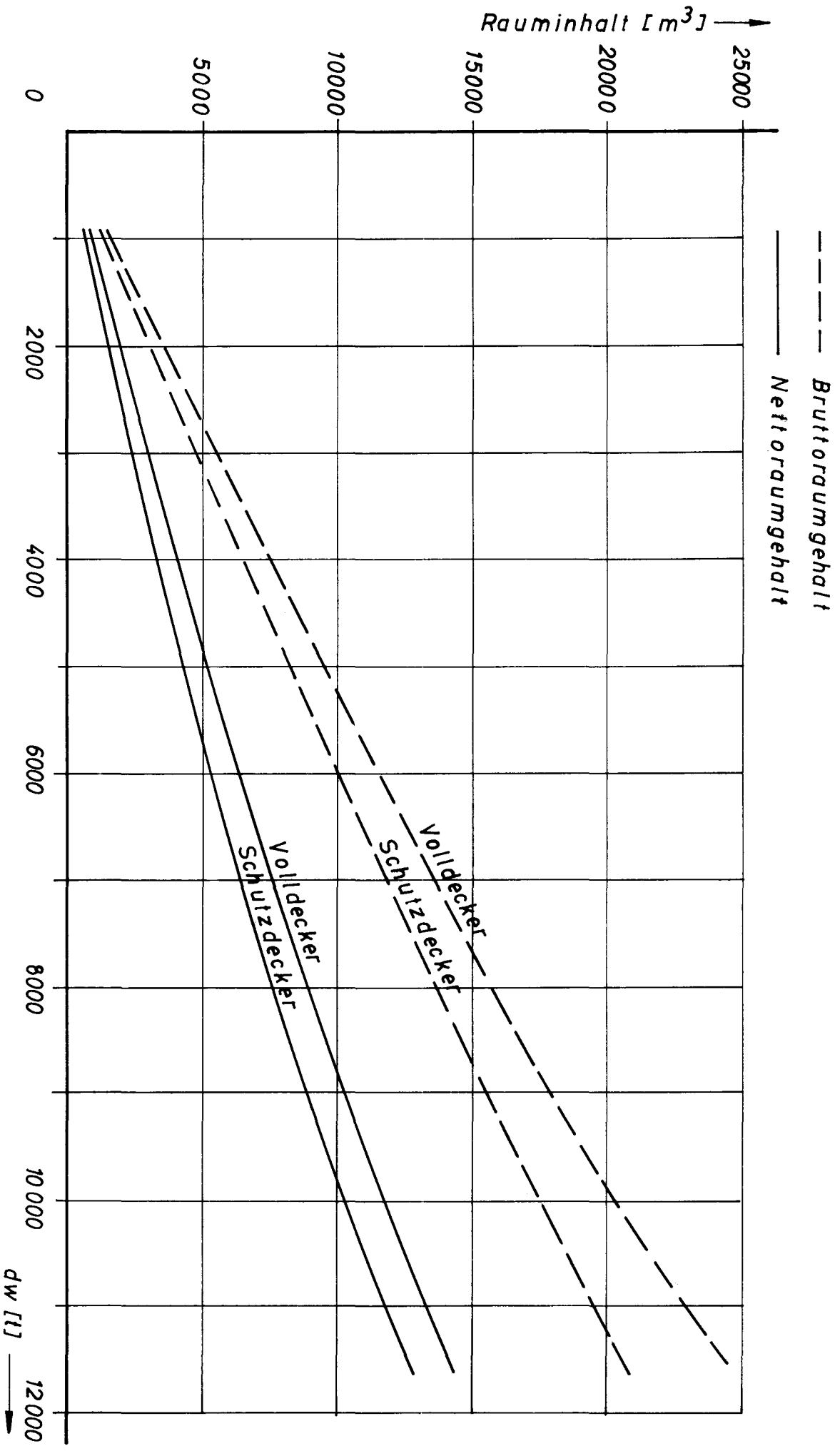


Bild 3c: Rauminhalt von Trockenfrachtern

Bild 4c: Hafengeld für den Hamburger Hafen

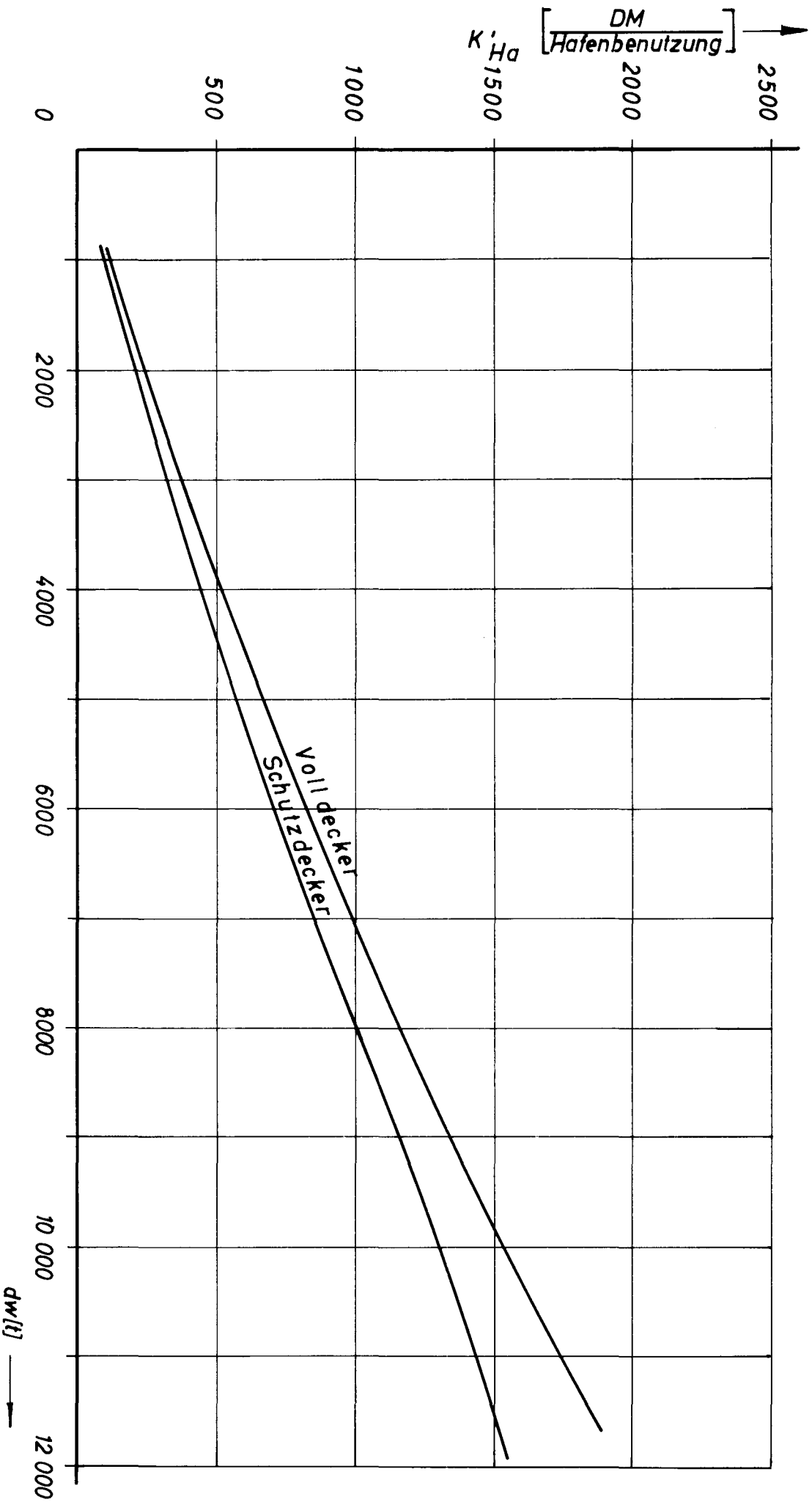
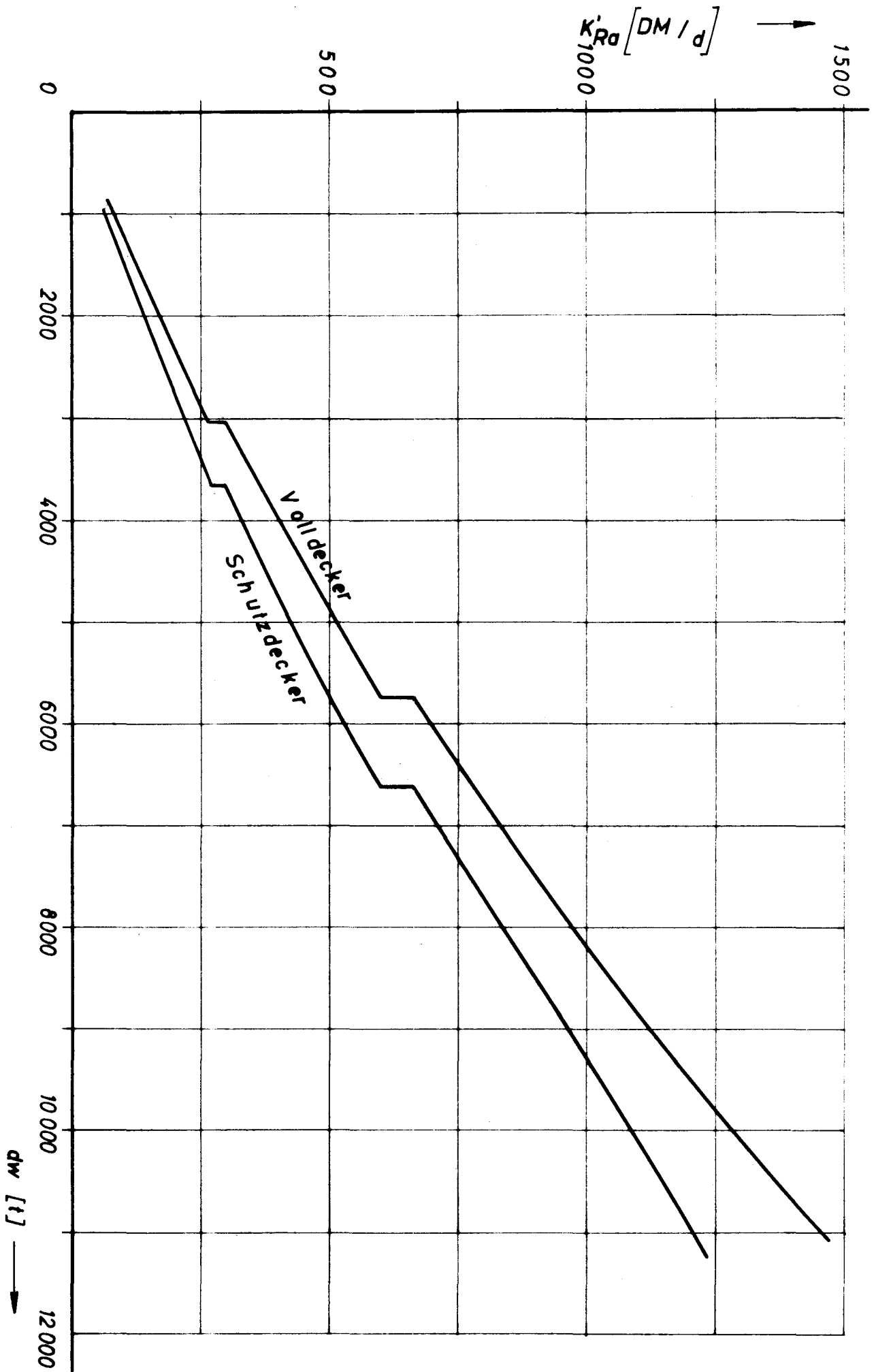


Bild 5c: Raumgeld für den Hamburger Hafen



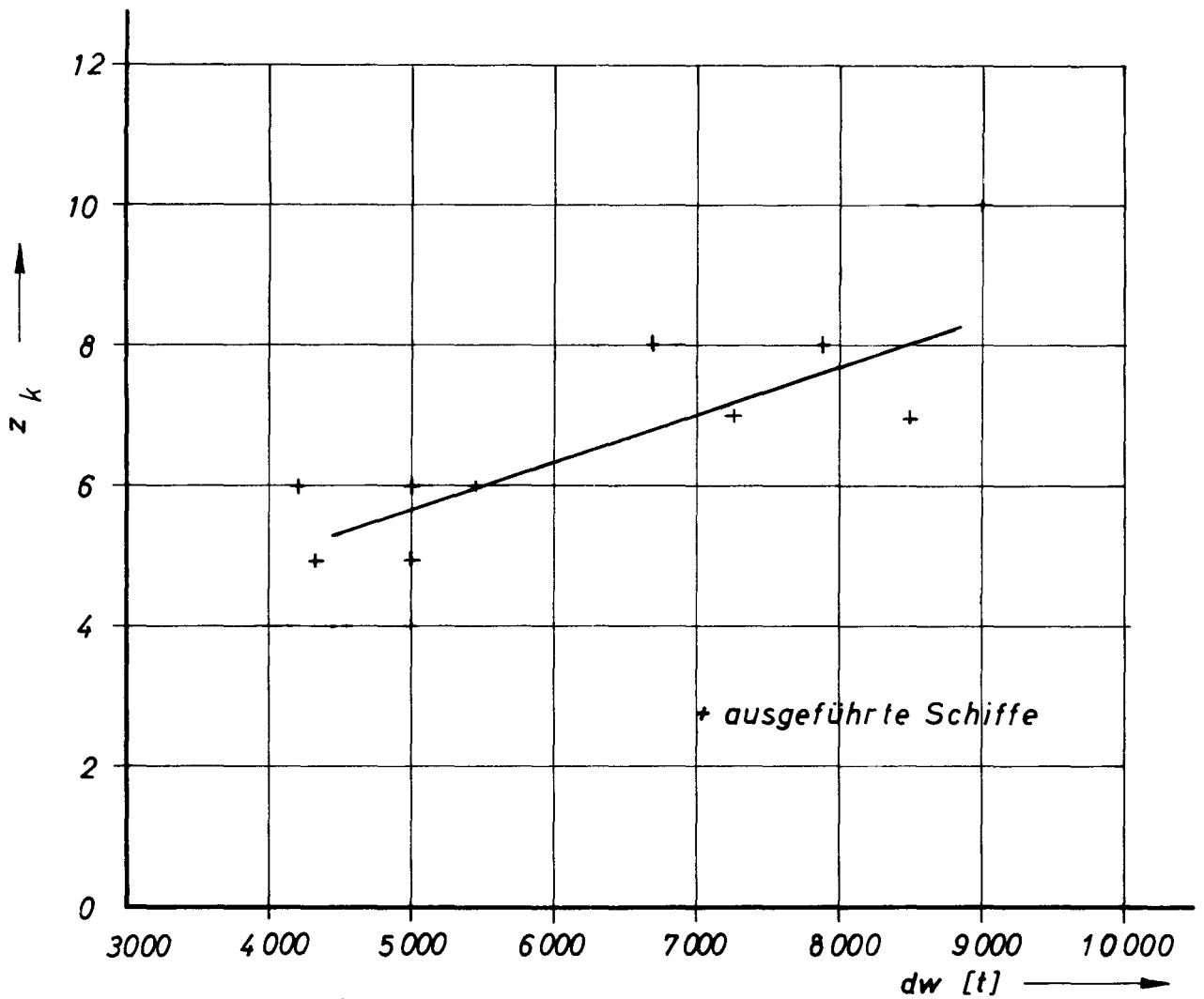


Bild 6c: Anzahl der Lasthaken

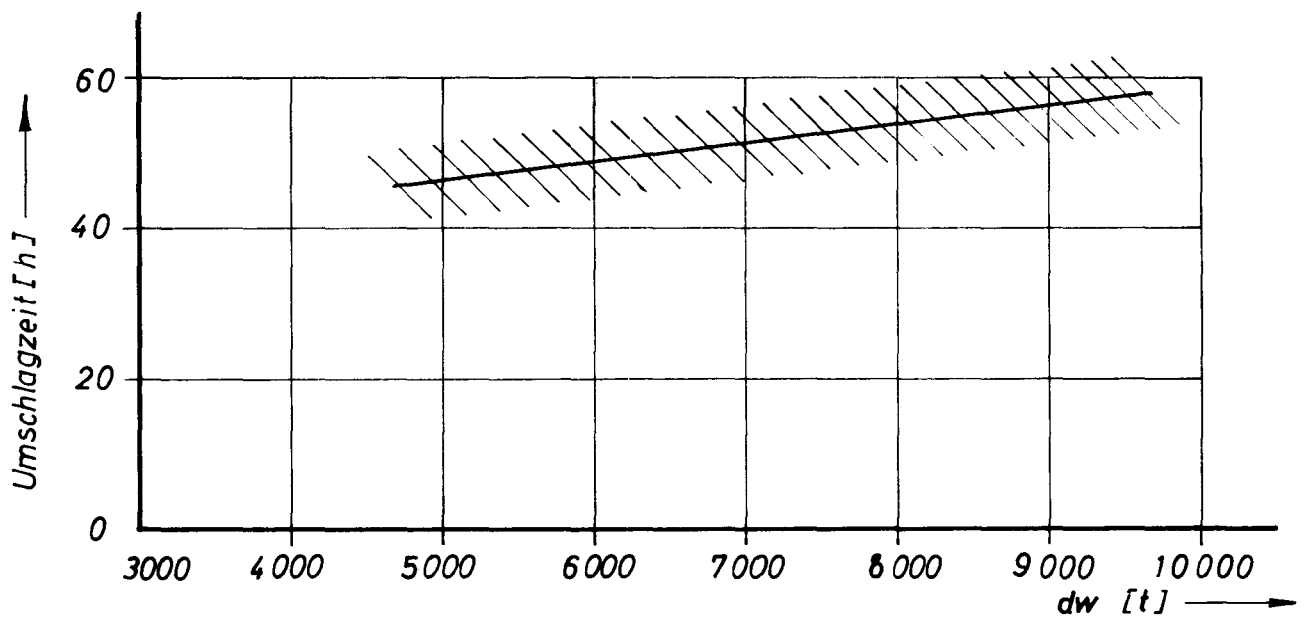


Bild 7c: Umschlagzeiten bei herkömmlichem Ladegeschirr

Antriebsleistung  $N_e$  [ PS ]

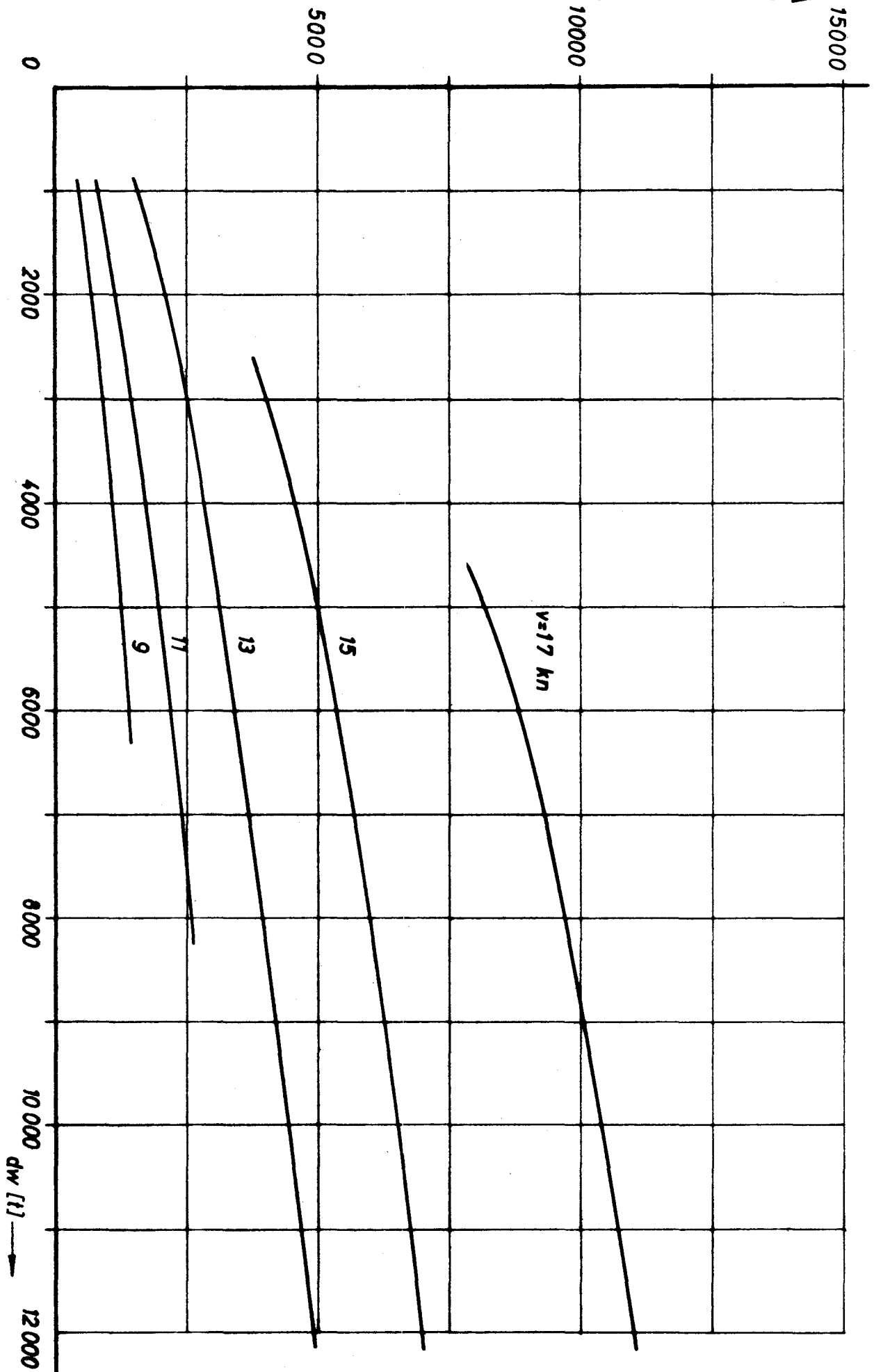


Bild 8c: Antriebsleistung von Trockenfrachtern

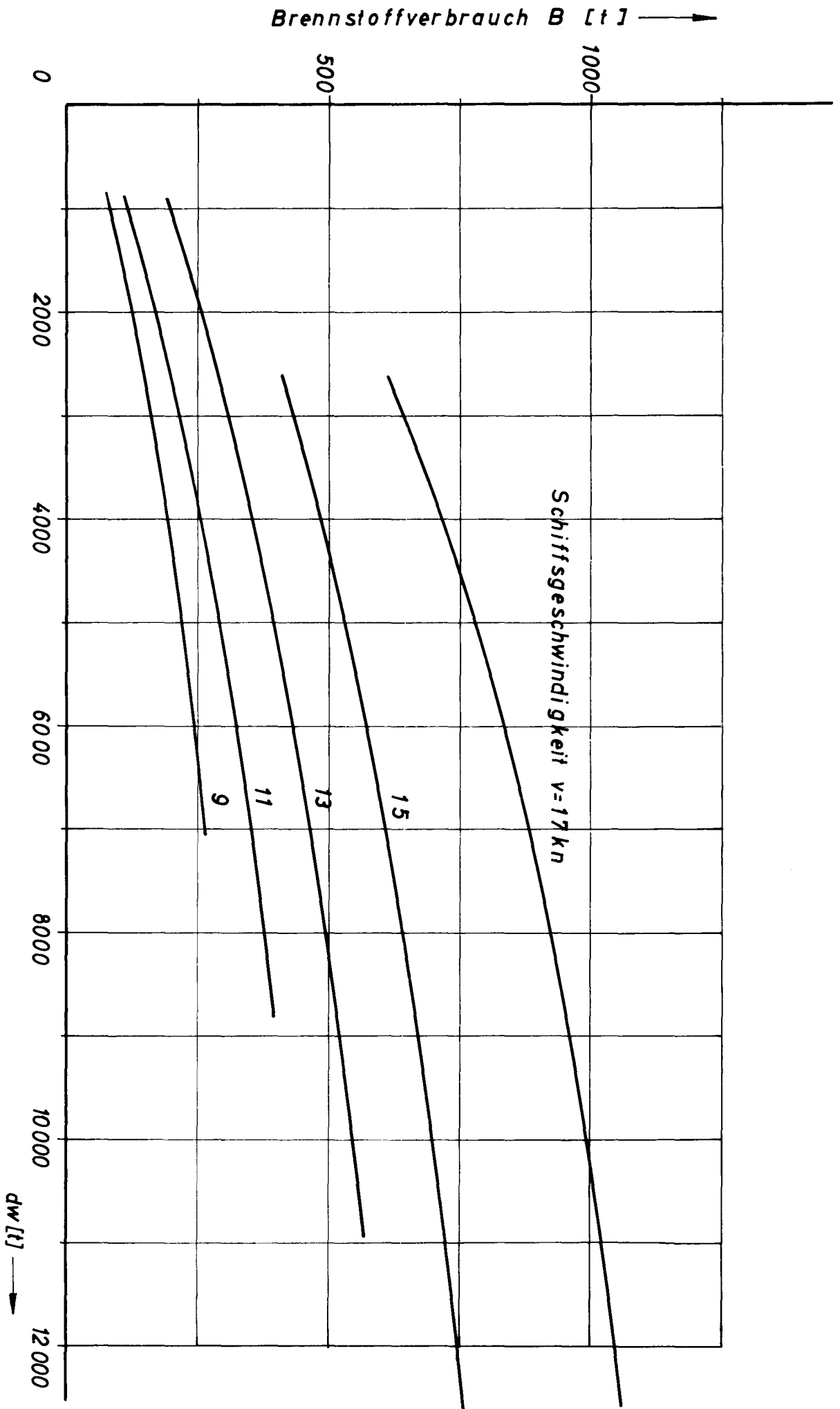


Bild 9c : Brennstoffverbrauch langsam laufender Dieselmotoren bei einem Seeweg von 10 000 sm.

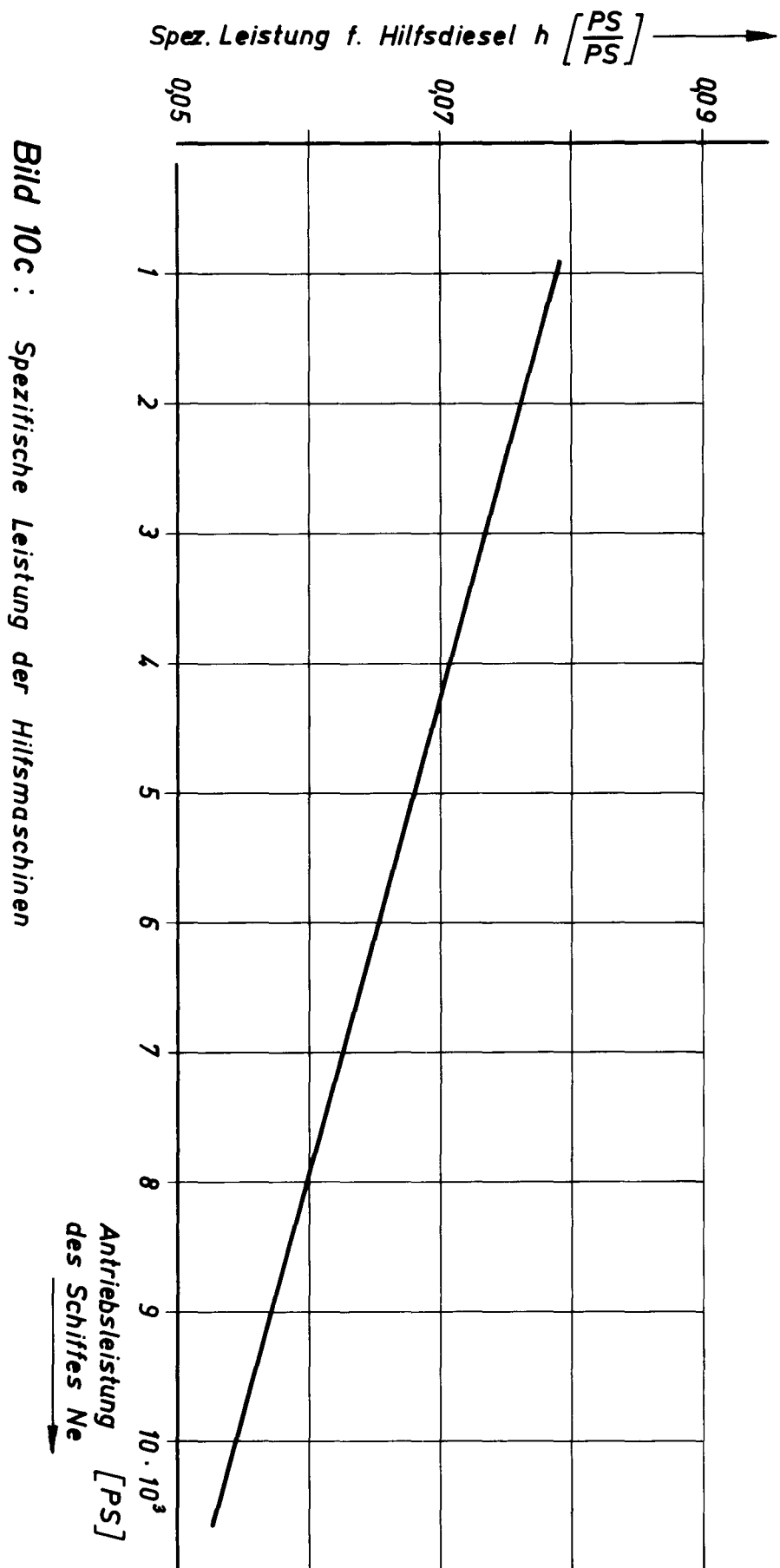


Bild 10c : Spezifische Leistung der Hilfsmaschinen

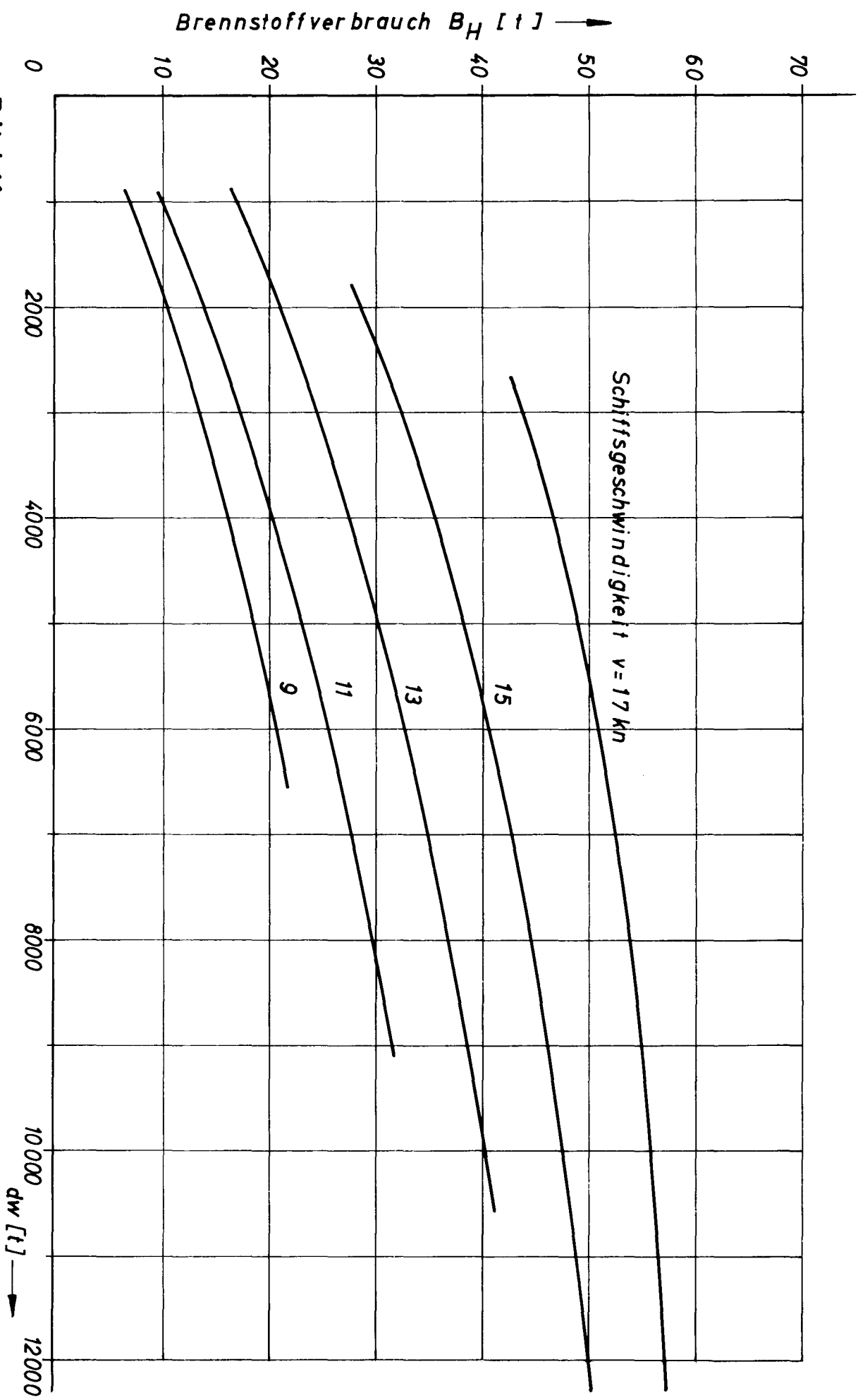


Bild 11c : Brennstoffverbrauch der Hilfsmaschinen bei einem Seeweg von 10000 sm.