

EUR 586.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

DIE BAU- UND BETRIEBSKOSTEN
EINER KERNENERGIE-ANTRIEBSANLAGE
FÜR HANDELSCHIFFE
IM VERGLEICH ZU DENEN HERKÖMMLICHER HANDELSCHIFFE
UNTER VORAUSSETZUNG
GLEICHER BENUTZUNG MIT DEM ZIEL
GLEICHER WIRTSCHAFTLICHKEIT

von

K. ILLIES
Lehrstuhl und Institut
für Schiffsmaschinen und Dampfkessel
Technische Hochschule Hannover (Deutschland)
in Zusammenarbeit mit
J. LEGRAND
Université Libre de Bruxelles (Belgien)

1964



EURATOM - Verträge Nr. 005-61-9 PNID und Nr. 004-61-9 PNIB

HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und alle in deren Namen handelnden Personen:

- 1° — keine Gewähr dafür übernehmen, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind oder dass die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt;
- 2° — keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Dieser Bericht wird zum Preise von 350,— sfrs. verkauft.
Bestellungen sind zu richten an : PRESSES ACADEMIQUES
EUROPÉENNES - 98, Chaussée de Charleroi, Brüssel 6.

Die Zahlung ist zu leisten durch Überweisung :

- an die BANQUE DE LA SOCIÉTÉ GÉNÉRALE (Agence
Ma Campagne) - Brüssel - Konto Nr. 964.558,
- an die BELGIAN AMERICAN BANK AND TRUST
COMPANY - New York - Konto Nr. 121.86,
- an die LLOYDS BANK (Foreign) Ltd. - 10 Moorgate,
London E.C.2,

als Bezug ist anzugeben : „EUR 586.d - Die Bau- und Betriebskosten einer Kernenergie-Antriebsanlage für Handelsschiffe im Vergleich zu denen herkömmlicher Handelsschiffe unter Voraussetzung gleicher Benutzung mit dem Ziel gleicher Wirtschaftlichkeit,,“

Gedruckt von Guyot, s.a.,
Brüssel, Mai 1964.

EUR 586.d

DIE BAU- UND BETRIEBSKOSTEN EINER KERNENERGIE-ANTRIEBSANLAGE FÜR HANDELSCHIFFE IM VERGLEICH ZU DENEN HERKÖMLICHER HANDELSCHIFFE UNTER VORAUSSETZUNG GLEICHER BENUTZUNG MIT DEM ZIEL GLEICHER WIRTSCHAFTLICHKEIT von K. ILLIES (Lehrstuhl und Institut für Schiffsmaschinen und Dampfkessel, Technische Hochschule Hannover, Deutschland) in Zusammenarbeit mit J. LEGRAND (Université Libre de Bruxelles, Belgien).

Europäische Atomgemeinschaft - EURATOM

Euratom-Verträge Nr. 005-61-9 PNID und Nr. 004-61-9 PNIB
Brüssel, Mai 1964 - 124 Seiten + Anhang 112 Seiten, 106 Abb.

Die Frage der Wirtschaftlichkeit kernenergieantriebener Schiffe ist noch nicht geklärt; es bestehen darüber gegensätzliche Meinungen. Der Zweck des zwischen Euratom einerseits und den Herren Prof. Legrand, Brüssel und Prof. Dr. Illies, Hannover andererseits geschlossenen Vertrages ist es daher, eine objektive Klärung der Frage herbeizuführen, unter welchen Umständen kernenergieantriebene Handelsschiffe mit Schiffen, deren Antriebsanlagen mit herkömmlichen Brennstoffen arbeiten, in wirtschaftlichen Wettbewerb treten können. Die Beantwortung dieser Frage ist nicht einfach, da für den Bau und den Betrieb von Kernenergie-Schiffen fast keine Erfahrungen vorliegen; bei

EUR 586.d

THE CONSTRUCTION AND RUNNING COSTS OF NUCLEAR MERCHANT SHIPS IN COMPARISON WITH THE COST OF CONVENTIONAL TYPE SHIPS UNDER IDENTICAL CONDITIONS CONCERNING TONNAGE AND PROFIT EARNING CAPACITY by K. ILLIES (Lehrstuhl und Institut für Schiffsmaschinen und Dampfkessel, Technische Hochschule Hannover, Germany) in cooperation with J. LEGRAND (Université Libre de Bruxelles, Belgium).

European Atomic Energy Community - EURATOM

Euratom Contracts No. 005-61-9 PNID and No. 004-61-9 PNIB
Brussels, May 1964 - 124 Pages + Annex 112 Pages, 106 Figures.

The problem of the economic feasibility of nuclear-propelled ships has not yet been solved. There exist many contradictory opinions in this field. The purpose of the contract concluded between Euratom on the one hand, Prof. Legrand and Prof. Dr. Illies on the other is to determine the conditions under which nuclear-powered ships could compete with conventional ships. The answer to this question is not simple, as hardly any experience is as yet available on the construction and operation of nuclear ships. Only very few of such ships are in existence and these are moreover just in the process of being developed. Conventional ships, on the other hand, have passed through a long

EUR 586.d

THE CONSTRUCTION AND RUNNING COSTS OF NUCLEAR MERCHANT SHIPS IN COMPARISON WITH THE COST OF CONVENTIONAL TYPE SHIPS UNDER IDENTICAL CONDITIONS CONCERNING TONNAGE AND PROFIT EARNING CAPACITY by K. ILLIES (Lehrstuhl und Institut für Schiffsmaschinen und Dampfkessel, Technische Hochschule Hannover, Germany) in cooperation with J. LEGRAND (Université Libre de Bruxelles, Belgium).

European Atomic Energy Community - EURATOM

Euratom Contracts No. 005-61-9 PNID and No. 004-61-9 PNIB
Brussels, May 1964 - 124 Pages + Annex 112 Pages, 106 Figures.

The problem of the economic feasibility of nuclear-propelled ships has not yet been solved. There exist many contradictory opinions in this field. The purpose of the contract concluded between Euratom on the one hand, Prof. Legrand and Prof. Dr. Illies on the other is to determine the conditions under which nuclear-powered ships could compete with conventional ships. The answer to this question is not simple, as hardly any experience is as yet available on the construction and operation of nuclear ships. Only very few of such ships are in existence and these are moreover just in the process of being developed. Conventional ships, on the other hand, have passed through a long

Kernenergie-Anlagen handelt es sich bisher auch stets um Einzelfertigungen, die ganz am Anfang ihrer Entwicklung stehen, wogegen herkömmliche Schiffsantriebsanlagen eine sehr lange Entwicklungszeit aufweisen und heute schon fast serienmässig hergestellt werden.

Im Rahmen des Vertrages werden drei geeignet erscheinende Schiffarten (Tankschiffe, Bulk-carriers und Schnellfrachter) in verschiedenen Grössen, die jeweils auf zwei für die Schiffsart typischen Reiserouten eingesetzt werden, untersucht. Es werden die jährlichen Betriebskosten der Schiffe und Maschinenanlagen ermittelt, beispielsweise: Der Kapitaldienst, die Kosten für Versicherungen, für Brennstoffe und andere Betriebsstoffe, für Reparaturen und Instandhaltung, für Hafentiegezeiten und für behördliche Überwachung und für die Besatzung.

Da alle Angaben für Kernenergie-Schiffe z.Zt. nur ungenau sein können, so soll ein „Mehrkostenfaktor,“ für diese Schiffe ermittelt werden, der angibt, wieviel teurer die Antriebsanlage eines kernenergieangetriebenen Schiffes unter bestimmten, näher angegebenen Umständen, sein darf, um unter Ausnutzung der mit der Kernenergie verbundenen Vorteile wettbewerbsfähig zu sein.

Die mit herkömmlichen Schiffen zusammenhängenden Fragen werden im Rahmen des Vertrages von Herrn Prof. Legrand bearbeitet, wogegen Herrn Prof. Illies die Bearbeitung der Kernenergie-Schiffe und der Vergleich mit den herkömmlichen Schiffen obliegt.

development period and are now almost mass-produced. Under this contract, three types of ship (tankers, bulk carriers and fast cargo-ships) of different tDW were examined. For each combination of type and tDW two typical transport-routes were chosen. The yearly running-cost of the thus defined conventional ships and machinery, e.g. capital cost, insurance, fuel, maintenance and repair and personnel, was calculated.

As all cost-indications for nuclear ships show a large degree of inexactness, the authors have developed a so-called "supplementary cost factor". This factor indicates how far and under which clearly-defined conditions a nuclear ship might be more expensive than that of a conventional ship in order to be competitive. This factor has been calculated, taking in consideration the advantages of nuclear ship propulsion.

Calculations relating to conventional ships were to a large extent dealt with by Prof. Legrand; Prof. Illies handled the questions concerning nuclear ships and is also responsible for the comparisons between the two ships.

development period and are now almost mass-produced. Under this contract, three types of ship (tankers, bulk carriers and fast cargo-ships) of different tDW were examined. For each combination of type and tDW two typical transport-routes were chosen. The yearly running-cost of the thus defined conventional ships and machinery, e.g. capital cost, insurance, fuel, maintenance and repair and personnel, was calculated.

As all cost-indications for nuclear ships show a large degree of inexactness, the authors have developed a so-called "supplementary cost factor". This factor indicates how far and under which clearly-defined conditions a nuclear ship might be more expensive than that of a conventional ship in order to be competitive. This factor has been calculated, taking in consideration the advantages of nuclear ship propulsion.

Calculations relating to conventional ships were to a large extent dealt with by Prof. Legrand; Prof. Illies handled the questions concerning nuclear ships and is also responsible for the comparisons between the two ships.

EUR 586.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

DIE BAU- UND BETRIEBSKOSTEN
EINER KERNENERGIE-ANTRIEBSANLAGE
FÜR HANDELSCHIFFE
IM VERGLEICH ZU DENEN HERKÖMMLICHER HANDELSCHIFFE
UNTER VORAUSSETZUNG
GLEICHER BENUTZUNG MIT DEM ZIEL
GLEICHER WIRTSCHAFTLICHKEIT

von

K. ILLIES
Lehrstuhl und Institut
für Schiffsmaschinen und Dampfkessel
Technische Hochschule Hannover (Deutschland)
in Zusammenarbeit mit
J. LEGRAND
Université Libre de Bruxelles (Belgien)

1964



EURATOM - Verträge Nr. 005-61-9 PNID und Nr. 004-61-9 PNIB

INHALTSVERZEICHNIS

EINFÜHRUNG DER KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN ATOMGEMEINSCHAFT	5
EINFÜHRUNG DER BERICHTERSTATTER	7
1 — UNTERSUCHTE SCHIFFSTYPEN UND REISEROUTEN	9
1.1 Schiffstypen und Tonnagen	9
1.2 Reiserouten	10
2 — ZUM VERGLEICH DIENENDE HERKÖMMLICHE ANTRIEBSANLAGE	11
3 — KOSTENDEFINITION — METHODE DES VERGLEICHVERFAHRENS	12
3.1 Kostendefinition	12
3.2 Methode des Vergleichsverfahrens	13
3.3 Konstruktion der Break-Even-Charts	15
4 — AUSGANGSWERTE FÜR DIE ZUM VERGLEICH DIENENDEN HERKÖMMLICHEN SCHIFFE	22
4.1 Reisedauer pro Rundreise	22
4.2 Antriebsleitung	22
4.3 Nutzladung pro Rundreise	30
4.4 Gewicht der Maschinenanlage, des Rumpfes und der Ausrüstung	40
4.5 Baukosten der Maschinenanlage, des Rumpfes und der Ausrüstung	41
4.6 Kapitalkosten	43
4.7 Kosten für Versicherung, Reparaturen, Stores und Verschiedenes	44
4.8 Kosten für Löhne, Gehälter und Verpflegung	45
4.9 Gebühren, Abgaben und Hafenbetriebskosten	46
4.10 Brennstoffkosten	54
5 — AUSGANGSWERTE FÜR DIE KERNENERGIE-SCHIFFE	84
5.1 Gewicht	84
5.2 Nutzladung pro Rundreise	84

5.3 Baukosten der KE-Schiffe ohne Reaktor und Maschinenanlagen	87
5.4 Kosten für Versicherung, Reparaturen, Stores und Verschiedenes	87
5.5 Kosten für Löhne, Gehälter und Verpflegung	87
5.6 Gebühren, Abgaben und Hafengebühren	87
6 — RECHENERGEBNISSE	90
7 — ZUSAMMENFASSUNG, ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	91
7.1 Der Rahmen der Untersuchung	91
7.2 Allgemeine Bemerkungen	91
7.3 Die Fragestellung der Untersuchung	91
7.4 Ergebnisse eines Kostenvergleichs unter der Annahme, dass das kernenergiebetriebene Schiff gleich schnell fährt wie das konventionell getriebene (Alternative A)	94
7.5 Ergebnisse eines Kostenvergleichs unter der Annahme, dass das kernenergiebetriebene Schiff schneller fährt als das zum Vergleich herangezogene konventionell getriebene Schiff (Alternative B)	98
7.6 Aus den Ergebnissen der Untersuchungen der Herren Illies und Legrand, die nur im Rahmen der hier in Betracht gezogenen Annahmen über Typen, Tonnagen und Reisen gelten, lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten	100
LITERATURVERZEICHNIS	123

EINFÜHRUNG DER KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN ATOMGEMEINSCHAFT

Der nukleare Schiffsantrieb ist im Augenblick Gegenstand bedeutender Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen in den Industrieländern und besonders auch in der Europäischen Gemeinschaft. Dies beweist der Betrag, den die Euratomkommission in ihrem zweiten Fünfjahresprogramm für die Förderung des nuklearen Schiffsantriebs vorgesehen hat, und dessen Höhe der Bedeutung dieses Anwendungsbereichs der Kernenergie entspricht.

Die realen Betriebserfahrungen mit Kernenergieschiffen, über die man heute verfügt, sind allerdings noch gering. Tatsächlich steckt die Entwicklung des nuklearen Schiffsantriebs für Handelsschiffe, trotz der Indienststellung mit Kernenergie getriebener Unterseeboote und Flugzeugträger, deren militärischer Charakter jedoch immer vorherrschend bleiben wird, noch in ihren Anfängen. Verschiedene Unternehmen haben bereits Angebote für Handelsschiffsreaktoren herausgegeben. Diese Angebote basieren jedoch nicht auf den Ergebnissen praktischer, auf See angestellter Versuche mit Handelsschiffen, da diese ja erst nach Indienststellung der ersten nukleargetriebenen Handelsschiffe verfügbar sind.

Das Ausmass, in dem die Entwicklung der nuklearen Handelsschiffahrt fortschreiten wird, ist vor allem durch die Vorteile bestimmt, die der Kernenergie-Antrieb für eine kommerzielle Anwendung bietet. Solange es nicht bewiesen ist, dass dieser im Rahmen einer der herkömmlichen Praxis entsprechenden Betriebs die Wettbewerbsfähigkeit erreicht hat, lassen sich die mit dem Kernenergie-Antrieb verbundenen Kosten nur durch grössere andere Vorteile rechtfertigen.

Die Euratomkommission hielt es daher für angebracht, Vergleichsgrundlagen zu schaffen, die es zu gegebener Zeit erlauben, sich über den derzeitigen Stand der Dinge klar zu werden.

Sie beauftragte Herrn Professor Dr. Ing. K. Illies (Technische Hochschule Hannover), in Zusammenarbeit mit Herrn J. Legrand der „Université Libre“ von Brüssel eine detaillierte Untersuchung durchzuführen, und zwar über:

- die Kostenstruktur in der herkömmlichen Schifffahrt und
- die Auswirkungen, die die Anwendung einer nuklearen Antriebsanlage — anstelle einer herkömmlichen — auf diese Kostenstruktur hat, und zwar für verschiedene Schiffstypen und verschiedene Reiserouten, Tonnagen und Geschwindigkeiten.

Es lassen sich hieraus die wirtschaftlichen Kriterien ableiten, denen der nukleare Schiffsantrieb entsprechen müsste, um die Wettbewerbsfähigkeit bei herkömmlichen Betriebsbedingungen zu erreichen.

Die in den folgenden Kapiteln durchgeführte Untersuchung gibt eine neue wissenschaftliche Begründung für die Ergebnisse der früher schon von anderen Organisationen durchgeführten Studien und zwar, dass noch erhebliche Anstrengungen in Technik und Forschung nötig sind, um für einen Schiffsreaktor zu einer Senkung der Bau- und Brennversorgungskosten zu gelangen.

Die Ergebnisse dieser Studie unterstreichen die Notwendigkeit, so bald wie möglich zum Bau eines experimentellen Schiffes zu geraten. Sie bestätigen damit die Richtigkeit der Entscheidung der Europäischen Atomgemeinschaft, um in ihrem zweiten Fünf-Jahres-Programm (1963 bis 1967) sich am Bau und Betrieb eines solchen Schiffes zu beteiligen. Ein Forschungsschiff wird es

ermöglichen, neue Ergebnisse zu ermitteln, insbesondere um die Sicherheitsfragen kennen zu lernen und um zu einem optimalen Verhältnis von Schiff und Reaktor zu kommen. Auch die Probleme im Zusammenhang mit der Verhütung von Havarien, dem Unterhalt und der Reparatur des Schiffs, dem Zugang und Aufenthalt im Hafen, der Behandlung radioaktiver Abfälle und der Ausbildung von spezialisierten Mannschaften können durch den Bau eines Versuchsschiffs einer Lösung näher gebracht werden und damit zu grosser Kostensenkung führen bzw. wichtige Impulse für die Weiterentwicklung darstellen.

EINFÜHRUNG DER BERICHTERSTATTER

Im Auftrage der Europäischen Atomgemeinschaft sollten die wirtschaftlichen Möglichkeiten eines mit einer Kernenergieanlage angetriebenen Handelsschiffes geprüft werden.

Zu diesem Zweck wurden zunächst die Kosten, die beim Transport einer Tonne Ladung in verschiedenen Schiffstypen und auf verschiedenen Reisewegen entstehen, für ein konventionelles Schiff in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ermittelt. Unter bestimmten — später noch erläuterten Bedingungen (Kapitel 2) — wurden dann die Transportkosten der kernenergiegetriebenen Schiffe berechnet und mit den Transportkosten der herkömmlichen Schiffe verglichen. Das Ergebnis der Untersuchung wird in tabellarischer und graphischer Form vorgelegt.

Bei dieser Untersuchung arbeitete die Institutsgruppe Hannover zusammen mit Herrn Legrand, der einen Teil der Parameter für die herkömmlichen Anlagen lieferte.

Die Institutsgruppe Hannover klärte zunächst prinzipiell das Vergleichsverfahren. Im Anschluss daran wurden die Parameter für die Kernenergie-Anlagen und die herkömmlichen Anlagen festgelegt. Auf der Grundlage dieser Parameter führte die Institutsgruppe dann die Vergleichsrechnung durch.

1 — UNTERSUCHTE SCHIFFSTYPEN UND REISEROUTEN

1.1 — Schiffstypen und Tonnagen

a) In dieser Studie werden die höchstzulässigen Bau- und Spaltstoffkosten ⁽¹⁾ einer nuklearen Antriebsanlage für Handelsschiffe berechnet, bei denen noch gleiche Wirtschaftlichkeit wie bei entsprechenden herkömmlichen Handelsschiffen erzielt werden kann. Um festzustellen, in wie weit diese Kosten von der Art des Schiffes beeinflusst werden, ist die Studie für drei Schiffstypen durchgeführt, die jeweils mit verschiedenen Tonnagen und Reiserouten kombiniert werden. Als Schiffstypen wurden Tanker, Massengutfrachter und Schnellfrachter (Stückgutschiffe) gewählt, für die, im Gegensatz zu beispielweise Passagierschiffen, eine grosse Nachfrage besteht.

b) Als man diese Studie in Angriff nahm, lag die obere Grenze der Tragfähigkeit für Tanker bei 100 000 tdw und für Massengutfrachter bei 65 000 tdw. Dementsprechend wählte man für diese Schiffstypen folgende Grössen:

Tanker : 60 000; 80 000; 100 000 tdw
Massengutfrachter: 20 000; 40 000; 65 000 tdw.

Die Massengutfrachter werden nur als Erz- bzw. Schüttgutfrachter eingesetzt und nicht auch als Tanker, wie ursprünglich im Studienvertrag vorgesehen. Eine Umfrage bei Reedereien hat nämlich ergeben, dass eine kombinierte Verwendung unrentabel ist und selten angewandt wird.

c) Als kleinstes Schiff wird ein Schnellfrachter untersucht. Unter „Schnellfrachter“ wird hier ein Frachtschiff verstanden, das nur im Liniendienst eingesetzt wird.

Im Studienvertrag ist eine Tragfähigkeit von 11 000 - 13 000 tdw vorgesehen worden. Da aber offengelassen worden ist, ob das Schiff als Volldecker oder als Schutzdecker fahren soll, wird ein mittlerer Wert der Grösse (12 000 tdw) angenommen, um die sich ergebenden Aussagen für beide Verwendungsarten des Schiffes benutzen zu können. Diese Betrachtungsweise ist zulässig, da es sich bei der Frage, ob ein Schiff ein Schutz- oder ein Volldecker ist, nur um eine Frage der Konstruktion des Schiffsrumpfes handelt; darum nämlich, wie gross der umbaute Raum pro Tragfähigkeitseinheit ist. So gesehen sind beide Angaben 11 000 tdw und 13 000 tdw, wenn sie sich auf ein und dasselbe Schiff beziehen sollen, nur Angaben über die Konstruktion des Schiffsrumpfes. Das Schiff ist in seinen Verbänden einmal stärker und einmal weniger stark ausgeführt, sodass es einmal tiefer oder weniger tief eintauchen darf und dementsprechend einmal mehr oder einmal weniger Ladung befördern kann.

d) Im Studienvertrag wird die Schiffgrösse in „tons deadweight“ angegeben. Die Studien-
gruppe am Institut für Schiffsmaschinen der T H Hannover gelangte nach der Durchführung einer Vorstudie zu der Ansicht, dass der beste Maßstab für die Schiffgrösse die Nutzladefähigkeit ist, da man so auf einer Reiseroute immer solche Schiffe vergleichen kann, die trotz der verschiedenen Geschwindigkeiten die gleiche Ladungsmenge befördern können. Diese Auffassung wurde auch von dem anderen Vertragspartner, Herrn Professor Legrand, geteilt.

⁽¹⁾ Im folgenden werden die Brennstoffkosten der nuklearen Antriebsanlage zur Unterscheidung von den Brennstoffkosten der herkömmlichen Anlage Spaltstoffkosten genannt.

Während der Arbeit stellte sich aber heraus, dass die Zugrundelegung der Nutzladefähigkeit einen grossen Rechenaufwand erfordert, da es sich wegen der verschiedenen Brennstoffvorräte für die verschiedenen Geschwindigkeiten jedesmal um anders ausgelegte Schiffe handeln muss. Deshalb wurde schliesslich doch die Tragfähigkeit in t_{dw} als Maßstab für die Schiffgrösse gewählt.

1.2 — Reiserouten

a) Allgemeines:

Um die Auswirkung der Liegezeiten und der Weglängen besser beurteilen zu können, werden für jedes Schiff zwei Routen, eine kurze und eine lange, ausgesucht. Die Anfangs- und Endpunkte der Reisen wurden so ausgesucht, dass sich unter der Berücksichtigung von Freibordvorschriften und Brennstoffbunkerungen günstige und ungünstige Routen ergeben; dabei wurde beispielsweise bei Massengutfrachtern ausser acht gelassen, ob solche Schiffsverbindungen sinnvoll sind und ob sie tatsächlich befahren werden. Für die Stückgutschiffe wurden zwei Routen in Anlehnung an viel befahrene Liniendienste gewählt.

Für die Berechnung werden nicht nur die Längen der Routen sondern auch die Endhäfen festgelegt. Dies geschieht aus mehreren Gründen: Erstens muss man zur Bestimmung der Gesamtkosten einer Reise die Hafenkosten kennen, die im Falle des Stückgutschiffes einen beachtlichen Prozentsatz ausmachen. Zweitens können die Auswirkungen der Freibordänderungen beim Durchfahren verschiedener Freibordzonen nur berücksichtigt werden, wenn Start und Ziel einer Reise bekannt sind.

Unter diesen Gesichtspunkten werden die Routen wie folgt gewählt:

b) Tanker:

Die kurze Tanker-Route geht von *Antwerpen* ⁽¹⁾ nach *Venezuela* und zurück (8 500 sm). Auf dieser Reise durchfahren die Tanker keine Kanäle oder sonstigen Engpässe.

Die lange Route geht vom *Persischen Golf* nach *Antwerpen* und zurück. Da der Suezkanal nur von Schiffen mit einem maximalen Tiefgang von 35 ft. befahren werden darf, können die 60 000 t_{dw}- und die 80 000 t_{dw}-Tanker nur in Ballast den Kanal benutzen, und für die 100 000 t_{dw}-Tanker fällt dieser Weg ganz aus. Die Länge der Route beträgt für die 60 000 und 80 000 t_{dw}-Tanker 17 810 sm und für die 100 000 t_{dw}-Tanker 22 450 sm.

c) Massengutfrachter:

Bei den Massengutfrachtern werden für beide Routen der gleiche Ladehafen und der gleiche Löschhafen angenommen. Es soll in *La Serena de Chile* geladen und in *Antwerpen* gelöscht werden. Einmal sollen die Massengutfrachter durch die Magellanstrasse und einmal durch den Panamakanal fahren. Die Entfernungen betragen 17 980 sm bzw. 14 440 sm. Der Panamakanal, der von Schiffen mit maximal 11,3 m Tiefgang, 31,5 m Breite und 244 m Länge befahren werden kann, kann gerade noch von dem 65 000-t_{dw}-Massengutfrachter in beladenem Zustand benutzt werden.

d) Stückgutschiffe:

Die beiden gewählten Reiserouten entsprechen den Routen, wie sie von grossen deutschen Reedereien befahren werden, so dass deren Unterlagen, soweit sie zugänglich waren, gut benutzt werden konnten. Die kurze Reise *Hamburg-USA/Ostküste* umfasst eine Weglänge von hin- und zurück 8 760 sm, wobei unterwegs 12 Häfen angelaufen werden: sechs in Europa und sechs in den USA. Die lange Reise *Hamburg-Australien* erstreckt sich hin und zurück über 23 750 sm. In dieser Strecke sind die Umwege, die durch das Anlaufen der Zwischenhäfen entstehen (z.B. Genua), einbegriffen. Es werden sieben europäische und zehn aussereuropäische Häfen angelaufen.

⁽¹⁾ Obwohl der Hafen von Antwerpen für Grosstanker noch nicht zugänglich ist, hat man sich doch entschlossen, diesen Hafen den Berechnungen zugrunde zu legen, um für diese Studie zumindest für die Tanker und Massengutfrachter gleiche Ausgangsbedingungen zu haben.

2 — ZUM VERGLEICH DIENENDE HERKÖMMLICHE ANTRIEBSANLAGE

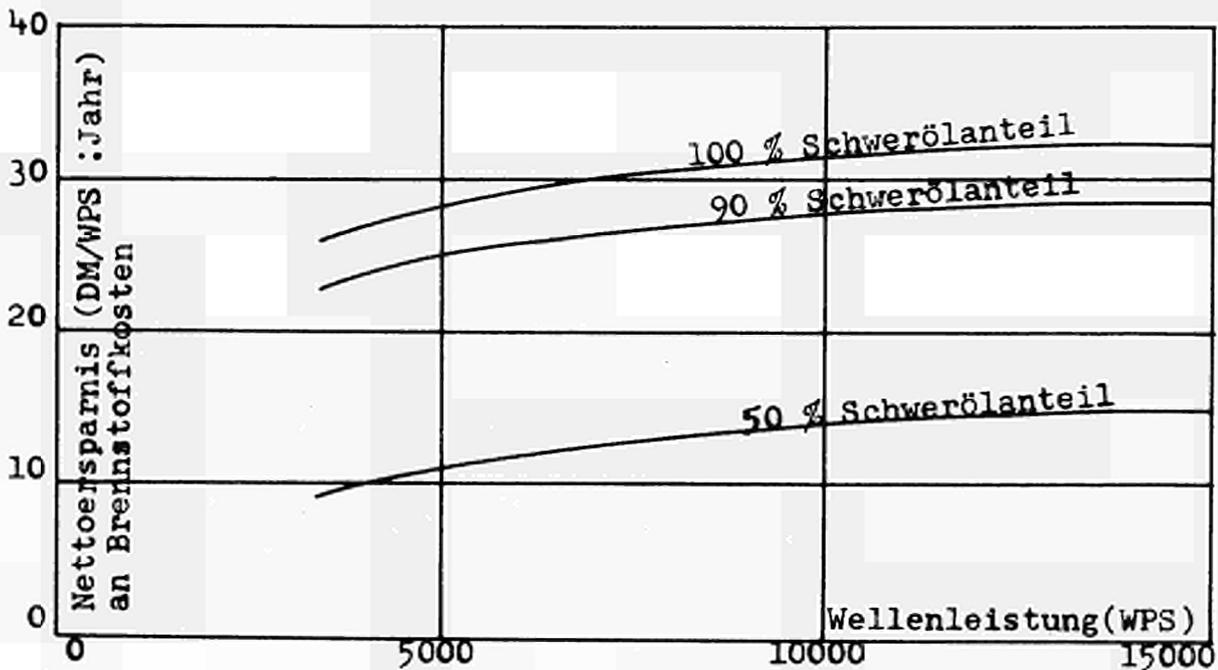
Im Studienvertrag wurde ursprünglich verlangt, bei der Kostenermittlung für die herkömmlichen Schiffe sowohl eine Turbinenantriebsanlage als vergleichsweise auch eine Dieselantriebsanlage zugrunde zu legen. Nun ergaben aber die für die Tankschiffe angestellten Berechnungen der Betriebskosten, dass diese sich für Schiffe mit Motorantrieb und solche mit Turbinenantrieb nur ganz unwesentlich unterscheiden. Aus diesem Grunde wurde im Einvernehmen mit Euratom angenommen, dass die herkömmlichen Schiffe mit einer Motoranlage ausgerüstet sind.

Bei der Abfassung des Vertrages wurde offengelassen, ob es sich bei dem Brennstoff für die Motorschiffe mit Dieselantrieb um Schweröl oder um Leichtöl handeln sollte. Eine Untersuchung des Lehrstuhls für Schiffsmaschinenbau (siehe folgendes Bild) zeigt, dass für hohe und höchste Leistungen der Schwerölbetrieb wirtschaftlicher ist als der Leichtölbetrieb. Für die grossen Schiffe mit langen, ununterbrochenen Fahrzeiten scheint es daher sinnvoll, Schweröldieselmotoren zu benutzen, zumal diese in der letzten Zeit sehr weit durchentwickelt worden sind und ausserdem die meisten Grossmotorenhersteller ihre ganzen Fertigungsprogramme auf Schwerölbetriebene Einheiten umgestellt haben.

Gelegentlich notwendig werdende Zusatzüberholungen der Motoren bei der Verwendung von Schweröl werden wegen ihrer sonst hohen Wirtschaftlichkeit in Kauf genommen. Aus diesem Grunde basieren die Berechnungen für *Tanker und Massengutfrachter* in dieser Studie auf der Verwendung von Schweröl als Brennstoff.

BILD 1

Nettoersparnis an Brennstoffkosten in Abhängigkeit von der Wellenleistung
bei verschiedenem Schwerölanteil am gesamten Brennstoffbedarf



Bemerkungen

Die 3 Kurven geben die Nettoersparnis an Brennstoffkosten in DM pro WPS und Jahr in Abhängigkeit von der Wellenleistung bei verschiedenem Schwerölanteil am gesamten Brennstoffbedarf an. Die Prozentzahlen drücken den Anteil der Schwerölbetriebszeit an der Gesamtbetriebszeit aus, d.h. die Schiffe fahren 50 %, 90 %, bzw. 100 % der Betriebszeit mit Schweröl und den Rest mit Dieselöl (Manöver, Anfahren, etc.). Die Kurven zeigen, dass die relative Zunahme der Nettoersparnis mit zunehmender Leistung geringer wird. Sie nähern sich asymptotisch einem Grenzwert. Bei einer Schwerölbetriebszeit von 93 %, wie sie den Untersuchungen zugrunde gelegt wird, beträgt dieser Wert etwa 30 DM pro WPS und Jahr.

Zum Antrieb der *Schnellfrachter* werden Dieselmotoren mit Leichtöl als Brennstoff gewählt. Für den Betrieb mit Schweröl sind Schiffe dieser Grösse nicht geeignet, und zwar, weil ihre Leistung nicht sehr hoch ist, der Schwerölbetrieb bei häufigen Manövern und Revierfahrten unzweckmässig ist, und schliesslich weil Linienfrachter in feste Fahrpläne eingeordnet sind und daher Maschinen mit besonders hoher Störunanfälligkeit benötigen, wie es bei Schweröldieseln noch nicht immer gegeben ist.

3 — KOSTENDEFINITION — METHODE DES VERGLEICHsverFAHRENS

3.1 — Kostendefinition

a) Zweck der Untersuchung ist es, festzustellen, wie hoch die Bau- und Spaltstoffkosten einer nuklearen Antriebsanlage für Handelschiffe maximal sein dürfen, wenn noch gleiche Wirtschaftlichkeit unter der Voraussetzung gleicher Benutzung erreicht werden soll.

Unter „Kosten“ werden in dieser Untersuchung verstanden: Alle finanziellen Aufwendungen, verbunden mit dem reinen Transport und dem Betrieb des Schiffes im Hafen. Staulöhne und ähnliche Kosten, die nur mit dem Be- und Entladen zu tun haben, werden nicht berücksichtigt. Ebenso werden die Reedereikosten (overheads) nicht in Betracht gezogen.

Die so definierten Kosten werden in sieben Arten unterteilt:

- (i) Kapitalkosten
- (ii) Reparatur- und Instandhaltungskosten
- (iii) Kosten für Stores, Vorräte und Verschiedenes
- (iv) Versicherungsprämien
- (v) Löhne, Gehälter und Verpflegung
- (vi) Gebühren und Abgaben
- (vii) Brennstoffkosten

b) In dieser Untersuchung werden die Kosten zunächst als Kosten pro Rundreise berechnet und dann mittels Division durch die beförderte Ladung umgerechnet auf „Kosten pro Tonne beförderte Ladung“.

Für die Berechnung dieser Kosten muss ein Ausnutzungsfaktor angenommen werden. Bei Tankern ist die Wahl dieses Faktors leicht, da diese im allgemeinen jeweils eine Reise in Ballast und eine Reise mit Ladung fahren. Für die ganze Rundreise ergibt sich dann der Ausnutzungsfaktor zu 0,5.

Für die Massengutfrachter ist der gleiche Ausnutzungsfaktor gewählt worden, obgleich bei diesen Schiffen durchaus Möglichkeiten zur Verbesserung der Ausnutzung bestehen, etwa bei „Dreiecksfahrten“, bei denen nur ein Teil, wenn überhaupt, in Ballast zurückgelegt wird. Der Ausnutzungsfaktor bei Stückgutschiffen ist mit 0,7 angesetzt worden. Die Auswahl dieses Wertes wird in Kapitel 4 näher begründet.

c) Im Rahmen dieser Untersuchung ist es notwendig, dem Vergleich „Durchschnittsschiffe“, zugrunde zu legen, d.h. dass die Kenndaten der Vergleichsschiffe Mittelwerte darstellen müssen, bei deren Ermittlung man typische Schiffe der jeweiligen Art in Betracht gezogen, Spezialschiffe jedoch ausser Acht gelassen hat. Damit die Ergebnisse des Vergleichs keine Verzerrungen enthalten, ist darum von vornherein die Forderung nach Ausgangsschiffen möglichst gleicher „Güte“ beachtet worden.

d) Ursprünglich war vorgesehen, die Vergleichsrechnungen für zwei Länder der Gemeinschaft durchzuführen, und zwar für die Niederlande und für Belgien, um damit die oberste (Belgien) und die unterste Grenze (Niederlande) der Kosten in der Schifffahrt innerhalb der Gemeinschaft darzustellen. Während der Untersuchung ergab es sich aber, dass die Bau- und Betriebskosten grosser Schiffe sich in ganz Westeuropa auf gleichem Niveau befinden, mit Ausnahme der Hafengebühren, die oft sehr unterschiedlich sein können. Man entschloss sich daher, die Unterscheidung der höchsten und niedrigsten Kosten fallen zu lassen und sich auf Kostenangaben zu beschränken, die mit europäischen Verhältnissen übereinstimmen.

3.2 — Methode des Vergleichsverfahrens

a) Der erste Schritt des Vergleichsverfahrens — bei gegebener Tragfähigkeit und Reiseroute — besteht darin, das günstigste („optimale“) herkömmliche Schiff zu definieren. Als Definition des günstigsten Schiffes soll dasjenige gelten, das bei einer bestimmten Reiseroute und Schiffsgrösse die niedrigsten Transportkosten pro Tonne Nutzladung aufweist (siehe auch Bild 2).⁽¹⁾

b) Als nächstes müssen die sogenannten „Durchschnittsschiffe“ definiert und alle für die Kostenrechnung notwendigen Ausgangswerte ermittelt werden. Als Parameter werden die Schiffsgrösse und die Geschwindigkeit gewählt. Es zeigte sich, dass die in Kapitel 4 näher erläuterten Kenndaten der „Durchschnittsschiffe“ sich als Kurven stetiger Abhängigkeit von der Schiffsgrösse bzw. von der Geschwindigkeit darstellen liessen. Zur Bestimmung der Kurvenverläufe wurden verschiedene Methoden angewandt; einmal wurden die vorliegenden Angaben über bekannte Schiffe verwendet, zum anderen wurden rein theoretische Rechenverfahren angewendet. Die Ergebnisse des Vergleichsverfahrens lassen sich bei Zugrundelegung dieser Ausgangskurven ebenfalls als stetige Funktionen der Schiffsgrösse und Geschwindigkeit darstellen.

c) Der nächste Schritt besteht darin, die Transportkosten der herkömmlichen Schiffe zu ermitteln. Trägt man diese — als Transportkosten pro Tonne Nutzladung — als Funktion der Schiffsgeschwindigkeit mit der Schiffsgrösse als Parameter auf, so ergeben sich Kurven, wie sie in Bild 2 dargestellt werden.

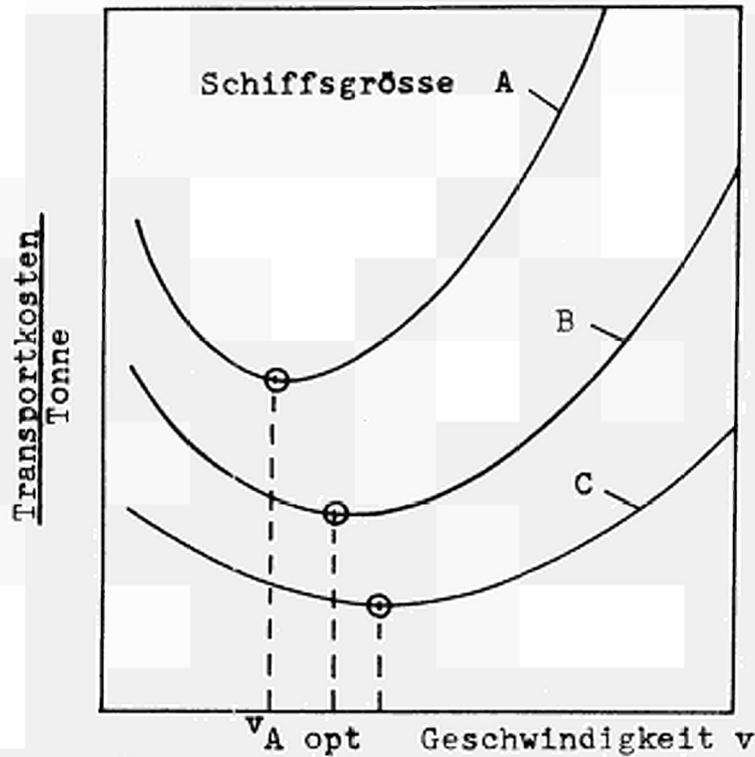
d) Es werden die „maximal zulässigen“ Bau- und Spaltstoffkosten für eine nukleare Antriebsanlage berechnet, und zwar auf folgende Weise:

— Zuerst werden die Transportkosten des KE-Schiffes ermittelt, wobei man jedoch die Kapitalkosten für die KE-Antriebsanlage nicht berücksichtigt und als Spaltstoffkosten einmal den fiktiven Wert 0 und einmal den Wert 1,5 Pf. pro WPS-Stunde zugrunde legt.

⁽¹⁾ Die hiermit auch festgelegte optimale Geschwindigkeit eines Schiffes ist aber nur im Definitionssinn gültig. Die Geschwindigkeit eines Schiffes, die der Reeder optimal annimmt, kann in der Praxis durch andere Faktoren bestimmt werden (z.B. Prestige- und Konkurrenzgründe).

BILD 2

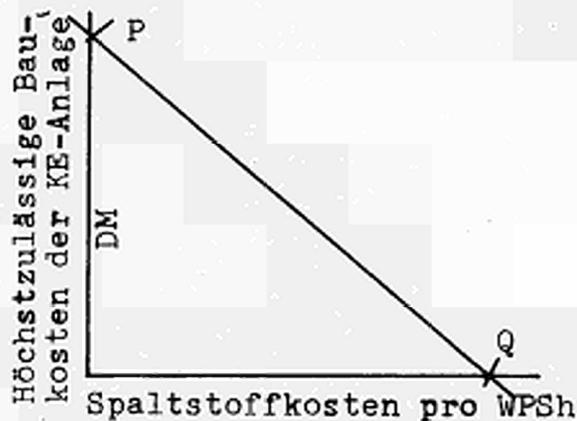
Reiseroute $s = \text{konstant}$
 Schiffsgrösse $A < B < C$



- Die so ermittelten Transport-Teilkosten werden von den Gesamt-Transportkosten des zu vergleichenden herkömmlichen Schiffes abgezogen. Die Differenz stellt den Betrag dar, der für die auf die Baukosten der nuklearen Antriebsanlage aufgewendet werden kann.
- Von diesem Betrag ausgehend ist es möglich, eine „Break-Even-Chart“ aufzustellen, die alle möglichen Kombinationen von Spaltstoff- und Baukosten der KE-Antriebsanlage angibt, bei denen das KE-Schiff zu den gleichen Transportkosten betrieben werden kann, wie das verglichene herkömmliche Schiff.

BILD 2a

Gegenseitige Abhängigkeit der höchstzulässigen Baukosten und der Spaltstoffkosten für einen bestimmten Vergleichsfall



Für ein Schiff von gegebener Geschwindigkeit, Type und Tragfähigkeit, für das man oben den Differenzbetrag errechnet hat, gibt das obige Diagramm die verschiedenen Kombinationen von Spaltstoffkosten und höchstzulässigen Baukosten für die KE-Anlage wieder. Im Extremfall P sind die Spaltstoffkosten gleich Null und die durch die Baukosten verursachten Kosten gleich dem Differenzbetrag, im Extremfall Q zehren die Spaltstoffkosten den Differenzbetrag ganz auf; die möglichen Baukosten gehen also gegen Null. Die Linie P - Q ist eine Gerade, weil der Differenzbetrag für den betrachteten Fall konstant ist.

e) In dieser Studie sind für jede Kombination von Route, Type und Tragfähigkeit zwei Gruppen von Break-Even-Charts aufgestellt worden. Die erste Gruppe bezieht sich auf die maximal zulässigen Kosten einer KE-Anlage, bezogen auf die Transportkosten des optimalen herkömmlichen Schiffes, wie es in 3.2 a) definiert worden ist. In der 2. Gruppe wird das KE-Schiff mit einem herkömmlichen Schiff gleicher Geschwindigkeit verglichen.

Eine Ausnahme hierbei sind die Break-Even-Charts für Schnellfrachter. Diese werden nur auf herkömmliche Schiffe mit gleicher Geschwindigkeit bezogen. Dies hängt damit zusammen, dass die Geschwindigkeit von Schiffen dieses Typs nicht nur nach rein wirtschaftlichen Kriterien (minimale Kosten pro Tonne Ladung) bestimmt wird, sondern vor allem durch andere Gesichtspunkte, wie Fahrpläne und Verhalten der Konkurrenz. Schiffe im Liniendienst befördern oft Frachten, bei denen es auf schnelle Beförderung ankommt; die tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit ist somit oft grösser als die optimal angenommene.

3.3 — Konstruktion der Break-Even-Charts

Im folgenden Bild (Bild 3) ist die Abhängigkeit der verschiedenen Vergleichstransportkosten von der Schiffsgeschwindigkeit schematisch dargestellt.

Kurve 1: Transportkosten des herkömmlichen Schiffes

Kurve 2: Transportkosten des KE-Schiffes ohne Berücksichtigung des Kapitalkostenanteils für die KE-Antriebsanlage bei 3,75 mills/WPSh Spaltstoffkosten

Kurve 3: Transportkosten des KE-Schiffes ohne Berücksichtigung des Kapitalkostenanteils für die KE-Antriebsanlage bei 0 mills/WPSh Spaltstoffkosten.

Die schräg schraffierte Fläche kennzeichnet die Differenz zwischen den optimalen Transportkosten des herkömmlichen Schiffes (Linie $T_h opt$) und den Transportkosten des KE-Schiffes ohne Berücksichtigung des Kapitalkostenanteils (Kurve 2). Mit dieser Differenz wird der Mehrkostenfaktor X_I berechnet, der sich ja auf die optimalen Transportkosten des herkömmlichen Schiffes bezieht ($T_h opt$).

Die Differenz zwischen den Kurven 1 und 2 ist senkrecht schraffiert. Hiermit wird der Mehrkostenfaktor X_{II} ermittelt. Der so gebildete Mehrkostenfaktor X bezieht sich auf Spaltstoffkosten = 1,5 Pf/WPSh. Für die Ermittlung des Mehrkostenfaktors bezogen auf Spaltstoffkosten = 0, muss die Differenz zwischen den Kurven 1 und 3 gebildet werden.

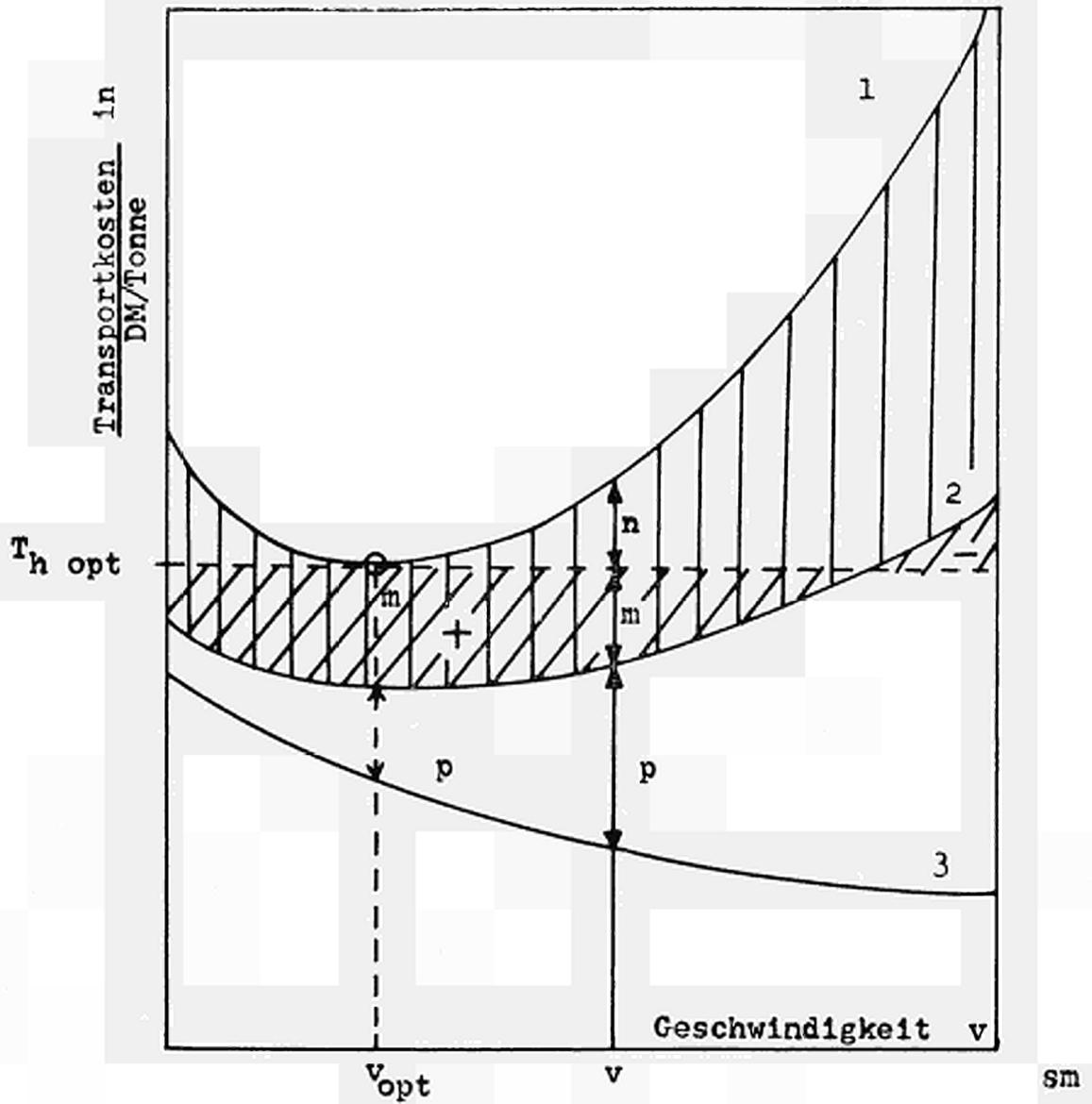
Die Mehrkostenfaktoren X_I und X_{II} (1,5 Pf/WPSh) lassen sich also wie folgt ermitteln:

$$X_I = \frac{B_{KE I}}{B_h opt} = \frac{b_{KEA} + b_{KES}}{B_h opt}$$

$$X_{II} = \frac{B_{KE II}}{B_h} = \frac{b_{KEA II} + b_{KES}}{B_h}$$

BILD 3

Abhängigkeit der Transportkosten von der Geschwindigkeit



Es bedeuten:

- $B_{h \text{ opt}}$ = Baukosten des herkömmlichen Schiffes bei optimaler Geschwindigkeit v_{opt}
- B_h = Baukosten des herkömmlichen Schiffes bei der Geschwindigkeit v
- $B_{KE I}$ = mögliche Baukosten des KE-Schiffes beim Vergleich mit den herkömmlichen optimalen Transportkosten ($T_{h \text{ opt}}$)
- $B_{KE II}$ = mögliche Baukosten des KE-Schiffes beim Vergleich mit den herkömmlichen Transportkosten bei gleicher Geschwindigkeit v der beiden Schiffe

B_{KES} = Baukosten des KE-Schiffes ohne Reaktor- und Maschinenanlage bei der Geschwindigkeit v

$b_{KEA I}$ und

$b_{KEA II}$ = mögliche Baukosten der KE-Anlage.

Mittels der Differenzkosten m kann man die maximal zulässigen Baukosten der KE-Antriebsanlage, bezogen auf die optimalen Transportkosten des herkömmlichen Schiffes, bei Spaltstoffkosten von 3,75 mills/WPSH nach folgender Formel berechnen:

$$B_{KEA I} = \frac{m \cdot G \cdot 365}{d} \cdot \frac{100}{\sum i}$$

darin bedeuten: m = Differenzkosten in DM/t bei der Geschwindigkeit v

G = Nutzladung des KE-Schiffes in Tonnen pro Rundreise bei der Geschwindigkeit v

d = Gesamtdauer der Rundreise in Tagen bei der Geschwindigkeit v

$\sum i$ = Summe der Kapitalkostenanteile an den gesamten Transportkosten in Prozent.

Die senkrecht schraffierte Fläche zeigt die Differenz zwischen den Transportkosten des herkömmlichen Schiffes (Kurve 1) und des KE-Schiffes gleicher Geschwindigkeit (Kurve 2), wiederum ohne Berücksichtigung des Kapitalkostenanteils. Mittels dieser Differenzkosten ($m + n$) kann man die maximal zulässigen Baukosten der KE-Antriebsanlage, die mit 3,75 mills/WPSH Spaltstoffkosten arbeitet, bezogen auf ein herkömmliches Schiff gleicher Geschwindigkeit berechnen:

$$B_{KEA II} = \frac{(m + n) \cdot G \cdot 365}{d} \cdot \frac{100}{\sum i}$$

$m + n$ = Differenzkosten in DM/t.

In gleicher Weise kann man die maximal zulässigen Baukosten für den hypothetischen Fall errechnen, dass die KE-Antriebsanlage ohne Spaltstoffkosten arbeitet, indem man die Kurve 3 anstelle der Kurve 2 dem Vergleich zugrundelegt. Sie ergeben sich, bezogen auf das optimale herkömmliche Schiff, zu

$$B_{max.} = \frac{(p + m) \cdot G \cdot 365}{d} \cdot \frac{100}{\sum i}$$

und, bezogen auf ein herkömmliches Schiff gleicher Geschwindigkeit, zu

$$B_{max.} = \frac{(p + m + n) \cdot G \cdot 365}{d} \cdot \frac{100}{\sum i}$$

Mit Hilfe der auf diese Weise berechneten höchstzulässigen Baukosten für die KE-Anlage und den Mehrkostenfaktoren X_I und X_{II} für verschiedene Geschwindigkeiten des KE-Schiffes und für zwei angenommene Spaltstoffwerte können nunmehr die „Break-Even-Charts“, bezogen

auf die optimale Geschwindigkeit des herkömmlichen Schiffes oder bezogen auf ein herkömmliches Schiff gleicher Geschwindigkeit, dargestellt werden. Ein solches Diagramm ist in Bild 4 wiedergegeben.

Darin sind für ein Schiff von gegebener Type und Tonnage die zulässigen Baukosten der KE-Anlage über den Spaltstoffkosten für verschiedene Schiffsgeschwindigkeiten v aufgetragen. Für eine vorgesehene Geschwindigkeit v_2 und vorgegebene Spaltstoffkosten s kann man dem Diagramm die Baukosten der KE-Anlage entnehmen, bei denen die Transportkosten gleich denen des herkömmlichen optimalen Schiffes sind.

Die Tangenten an die Hüllkurve bei vorgegebenen Baukosten oder Spaltstoffkosten (die für die Geschwindigkeiten v_1 bis v_4 bereits eingezeichnet sind) geben annähernd die optimale Geschwindigkeit der KE-Schiffe an, d.h. die Geschwindigkeit, bei der die niedrigsten Transportkosten entstehen.

In Bild 5 sind gleichfalls für ein Schiff von gegebener Type und Tonnage, in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v im unteren Teil der Abbildung die Baukosten der KE-Anlage und im oberen Teil der Abbildung die entsprechenden Transportkosten aufgetragen.

Als Ausgangsbasis des Kostenvergleichs dienen die Transportkosten des optimalen herkömmlichen Schiffes $T_{h\ opt}$. Die gleichen Transportkosten liessen sich mit einem KE-Schiff erreichen, wenn die Baukosten der KE-Anlage den in Kurve 1 dargestellten fiktiven glockenförmigen Verlauf hätten, der sich nach den obengenannten Formeln aus $T_{h\ opt}$ berechnen lässt. Es sei daran erinnert, dass diese optimalen Transportkosten sich nur bei einer bestimmten Geschwindigkeit (v_{opt} in Bild 3) von dem herkömmlichen Schiff erreichen lassen und nur aus dem Grunde über den ganzen Geschwindigkeitsbereich konstant eingezeichnet sind, damit das folgende Vergleichsverfahren durchgeführt werden kann. Die Baukosten wachsen jedoch mit zunehmender Geschwindigkeit an, so wie es die Kurven 2, 3 und 4 für verschiedene spez. Baukosten darstellen.

Bei einem Kostenverlauf nach Kurve 2 ergeben sich bei v_7 und v_2 Schnittpunkte mit Kurve 1. In diesen beiden Punkten sind die Transportkosten des KE-Schiffes gleich denen des definierten optimalen herkömmlichen Schiffes, nämlich gleich $T_{h\ opt}$, wie es die Kurve 2+ zeigt. Zwischen v_2 und v_7 sind die Transportkosten des KE-Schiffes nach Kurve 2+ um y niedriger als beim optimalen herkömmlichen Schiff. Im gleichen Bereich zwischen v_2 und v_7 sind die Baukosten des KE-Schiffes nach Kurve 2 um x niedriger als die Baukosten des fiktiven KE-Schiffes nach Kurve 1. Bei der Geschwindigkeit v_5 ist $x = x\ max$.

Es soll jetzt festgestellt werden, ob bei der gleichen Geschwindigkeit v_5 auch y maximal wird, d.h. die Transportkosten am niedrigsten sind.

Für die Abhängigkeit der Transportkosten von den Baukosten der KE-Anlage gilt wieder die oben schon benutzte Beziehung

$$y = x \cdot \frac{\Sigma i}{100} \cdot \frac{d}{365} \cdot \frac{l}{G}$$

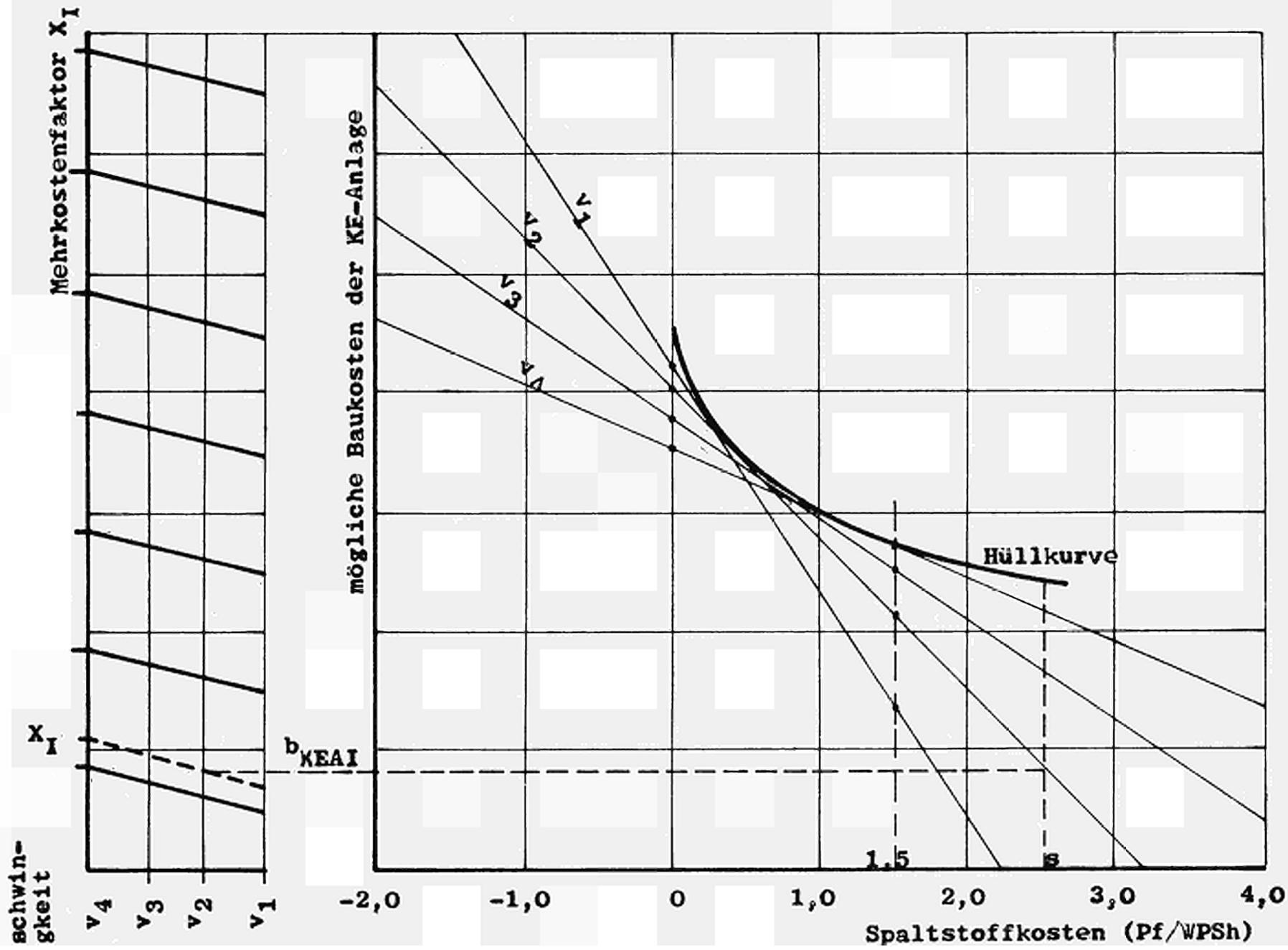
Die Reisedauer d und die Nutzladung G des Schiffes sind nicht konstant, sondern ebenso wie y und x Funktionen der Geschwindigkeit v .

Mit wachsender Geschwindigkeit steigt G leicht an, während d stärker abnimmt, so dass insgesamt das Verhältnis d/G gleichfalls mit zunehmendem v abnimmt. Die Formel zeigt, dass damit y nicht mehr direkt proportional x ist, sondern mit steigendem v stärker abnimmt. Daraus folgt, dass das Maximum von y bei einer kleineren Geschwindigkeit liegen muss als das Maximum von x .

Bei einem Verlauf der Baukosten entsprechend Kurve 4 sind die Baukosten gegenüber der fiktiven Kurve 1 bei der Geschwindigkeit v_6 am geringsten. Entsprechend dem oben gesagten liegt das Optimum der zugehörigen Transportkosten (Kurve 4*) bei einer Geschwindigkeit $v < v_6$.

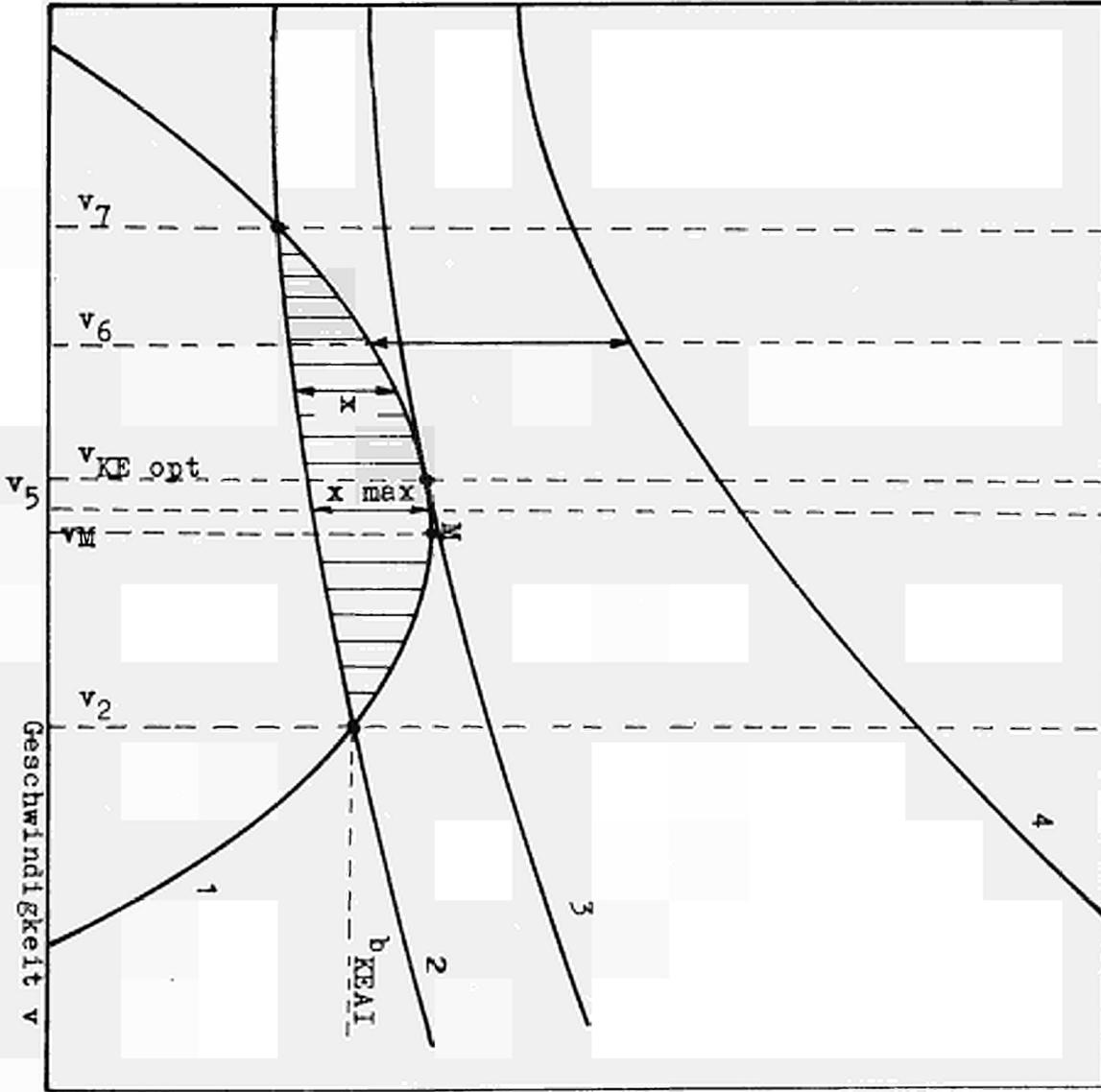
Ziel der Untersuchung ist es, dasjenige KE-Schiff zu ermitteln, dessen Transportkosten nur bei *einer* Geschwindigkeit gleich $T_h \text{ optimal}$ sind. Diese Bedingung ist erfüllt durch einen Baukostenverlauf nach Kurve 3. Im Berührungspunkt der Kurven 3 und 1 sind die Transportkosten des KE-Schiffes gleich denen des definierten optimalen herkömmlichen Schiffes. Die zugehörige Geschwindigkeit des KE-Schiffes ist $v_{ke-optimal}$ (die verschieden ist von der optimalen Geschwindigkeit $v_{optimal}$ des herkömmlichen Schiffes, nach Bild 3).

Wie aus der Darstellung (Bild 5) hervorgeht, ist die optimale Geschwindigkeit des KE-Schiffes $v_{ke-optimal}$ nur wenig kleiner als die Geschwindigkeit v_M . Bei der vorausgegangenen Erörterung des Baukostenverlaufs nach Kurve 2 zeigte sich, dass die bei diesem Kurvenverlauf günstigste Geschwindigkeit v_5 ebenfalls sehr nahe bei v_M lag. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass bei vorgegebenem $T_h \text{ optimal}$ und dem daraus errechneten Verlauf der Kurve 1 das Maximum dieser Kurve bei einer Geschwindigkeit v_M liegt, die von der gesuchten optimalen Geschwindigkeit des KE-Schiffes nicht sehr stark abweicht. Selbst wenn der genaue Verlauf der Baukostenkurve des gesuchten optimalen KE-Schiffes nicht bekannt ist, kann man die Geschwindigkeit v_M in erster Annäherung als die gesuchte optimale Geschwindigkeit des KE-Schiffes ansehen. Liegen aber die tatsächlichen Baukosten der KE-Anlage höher (Kurve 4) als die berechneten möglichen, dann kann über die optimale Geschwindigkeit nichts ausgesagt werden, ohne den Verlauf der Baukostenkurve zu kennen.



„Break-Even-Charts“ bezogen auf das optimale herkömmliche Schiff

Baukosten der KE-Anlage



Transportkosten
Tonne

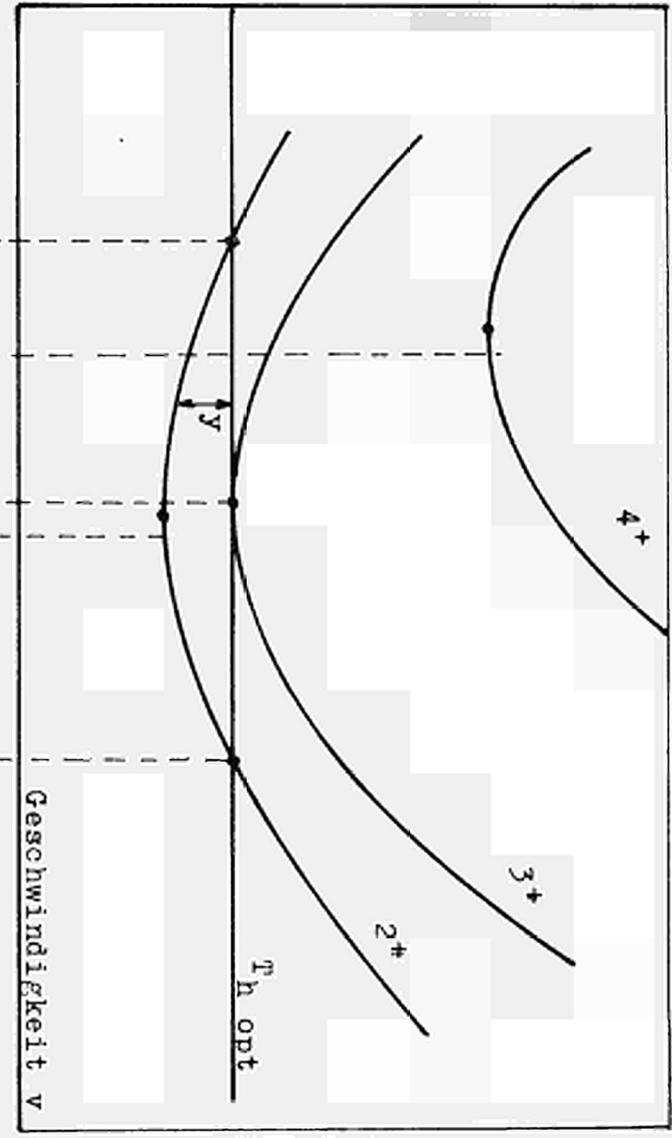


BILD 5

4 — AUSGANGSWERTE FÜR DIE ZUM VERGLEICH DIENENDEN HERKÖMMLICHEN SCHIFFE

4.1 — Reisedauer pro Rundreise

(i) Einleitung

Die Reisedauer pro Rundreise setzt sich aus der *reinen Fahrzeit* und der *Liegezeit* zusammen. Wir nehmen an, dass die Dienstgeschwindigkeit im Durchschnitt eingehalten wird, und dass somit die reine Fahrzeit in Tagen aus der Fahrtstrecke und der Geschwindigkeit nach folgender Formel berechnet werden kann:

$$t = \frac{s}{24 v}$$

Die Liegezeit wird definiert als Zeit, die für Be- und Entladen, Reparatur, Bunkerung, Warten vor Häfen und Schleusen, Kanälen sowie für Verzögerungen durch Schlechtwetter, benötigt wird.

(ii) Reine Fahrzeit und (iii) Liegezeit

In den folgenden Tabellen sind die reinen Fahrzeiten für die verschiedenen Kombinationen von Type, Tonnage, Route und Geschwindigkeit dargestellt, somit die für die verschiedenen Reiserouten und Schiffstypen berechneten Liegezeiten.

4.2 — Antriebsleistung

(i) Einleitung

Die Vorausberechnung der Antriebsleistung eines Schiffes, die für eine bestimmte Geschwindigkeit erforderlich ist, ist sehr schwierig und ein bis heute erst teilweise gelöstes Problem, bei dem die Berechnung des Widerstandes im Mittelpunkt steht. Die reine Schiffbauforschung geht das Problem von zwei Seiten aus an. Sie verfeinert zunächst noch die Mittel, um den Widerstand gegebener Schiffformen genau zu bestimmen. Sie versucht aber auch schon, allgemeine Beziehungen zwischen Form und Widerstand zu erfassen. Ihr Fernziel auf diesem Gebiet ist, zu jeder denkbaren Schiffsoberfläche den Widerstand genau anzugeben und damit für gegebene Hauptproportionen Formen geringsten Widerstandes festzulegen.

Die Schiffbaupraxis muss, da dieses Ziel bei weitem noch nicht erreicht ist, ihre Entwurfsaufgaben vorerst mit gewissermassen provisorischen Mitteln lösen. Sie sucht auch nach günstigen, d.h. wirtschaftlichen Formen. Dabei hat sie ausser dem Widerstand noch zahlreiche andere Entwurfaktoren zu berücksichtigen, durch welche die Hauptdaten des Schiffskörpers weitgehend festgelegt werden (Stabilität, Manövrier- und Seefähigkeit, Fahrgebiete, Räume, Tragfähigkeit, Festigkeit, Antriebsart, Baupreis, etc.). Dann erst fragt die Praxis nach denjenigen Einzelheiten der Formen die bei bestimmten Hauptdaten (L, B, T, ρ ⁽¹⁾) den kleinsten Widerstand oder besser

(¹) L = Länge; b = Breite; T = Tiefe; ρ = Blockkoeffizient.

Reine Fahrzeit in Tagen

Geschwindigkeit (Knoten)	Tanker					Massengutfrachter							Schnellfrachter ⁽⁶⁾	
	Venezuela	Persischer Golf				Magellan Strasse				Panamakanal			U.S.A. ⁽⁷⁾	Austra- lien ⁽⁷⁾
	60 000 80 000 100 000 }tdw	60 000 80 000 }tdw ⁽¹⁾			100 000 tdw	Antwerpen Eingang Strasse und zurück 14 320s.m.	Strasse ⁽³⁾ hin und zurück 840 s.m.	Ausgang ⁽⁴⁾ Strasse - La Serena und zurück 2 820s.m.	Insge- samt 17 890 s.m.	Route ohne Kanal 14 346s.m.	Kanal ⁽⁵⁾ hin und zurück 94s.m.	Insge- samt 14 400s.m.	8 760s.m.	22 750s.m.
		8 600 sea miles	17 725s.m.	Suez 87s.m. ⁽²⁾	Total 17 810s.m.									
8						74,58	4,37	15,68	94,6	74,7	0,5	75,2		
10						59,67	4,37	12,39	76,4	59,8	0,5	60,3		
12	29,6	61,5	0,5	62,0	78,0	49,72	4,37	10,22	64,3	49,8	0,5	50,3	30,4	80,0
14	25,3	52,7	0,5	53,2	66,3	42,62	4,37	8,70	55,7	42,8	0,5	43,3	26,1	67,7
16	22,1	46,2	0,5	46,7	58,5	37,29	4,37	7,58	49,2	37,3	0,5	37,8	22,8	59,2
16,55	21,4				56,5									
17,20	20,6	42,9	0,5	43,4										
17,85						33,43	4,37	6,77	44,6	33,5	0,5	34,0		
18.—	19,7	41,0	0,5	41,5	52,0	33,15	4,37	6,71	44,2	33,2	0,5	33,7	20,3	52,7
18,1	19,6	40,8	0,5	41,3										
19,40						30,76	4,37	6,22	41,4	30,8	0,5	31,3		
20	17,7	36,9	0,5	37,4	46,8	29,83	4,37	6,03	40,2	29,9	0,5	30,4	18,2	47,4

23

⁽¹⁾ Die 60.000 und 80.000 tdw-Tanker fahren in Ballast durch den Kanal; zurück via Kap der Guten Hoffnung. Die 100.000 tdw-Tanker fahren in beiden Richtungen um das Kap.

⁽²⁾ 87 sm. von Port Said bis Suez; Höchstgeschwindigkeit 7 bis 8 Knoten.

⁽³⁾ Wegen Engen und Klippen Geschwindigkeit nur 8 Knoten.

⁽⁴⁾ Wegen ständig ungünstiger Witterung um 0,5 Knoten niedrigere Dienstgeschwindigkeit.

⁽⁵⁾ Reine Fahrzeit 2 × 6 Stunden; Warten vor Schleusen 2 × 18 Stunden (wird der Liegezeit zugerechnet).

⁽⁶⁾ Es ist uninteressant, einen Schnellfrachter mit Geschwindigkeiten von weniger als 12 Kn. zu untersuchen, zumal ihre Leistung unterhalb 3.000 WPS liegt und nicht für KE-Antrieb in Frage kommt.

⁽⁷⁾ Verlustzeiten durch Revierfahrten werden bei Hafenliegezeit berücksichtigt.

Liegezeiten pro Rundreise

	Tanker			Massengutfrachter						Schnellfrachter ⁽⁸⁾	
	12 std. pro Rundreise ⁽¹⁾ 12 std. pro Rundreise 12 std. pro Hafen 24 std. pro Rundreise 6 Tage pro Jahr 6-10 Tage pro Jahr			} tdw ⁽⁵⁾ 12 std. pro Hafen 24 std. pro Rundreise 6 Tage pro Jahr 6-10 Tage pro Jahr							
	Venezuela Route	Pers. Golf Route		Magellanstrasse ⁽⁶⁾			Panamakanal ⁽⁷⁾			U.S.A.	Australien
	60.000/ 80.000 tdw	100.000 tdw	20.000 tdw	40.000 tdw	65.000 tdw	20.000 tdw	40.000 tdw	65.000 tdw			
<i>Berechnungsgrundlage</i> Beladen Entladen Bunkern ⁽⁴⁾ Wartezeit ⁽²⁾ Schlechtwetterzuschlag ⁽²⁾ Reparaturzuschlag ⁽³⁾											
<i>Berechnung (pro Rundreise)</i> Beladen Entladen Bunkern Warten Schlechtwetter Reparatur Insgesamt (Tage)	12 std.	12 std.	12 std.	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.		
	12 std.	12 std.	12 std.	36 std.	42 std.	48 std.	36 std.	42 std.	48 std.		
	12 std.	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.		
	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.	24 std.		
	12 std.	} 48 std.	} 60 std.	48 std.	48 std.	48 std.	48 std.	48 std.	48 std.		
	12 std.			24 std.	24 std.	24 std.	36 std.	36 std.	36 std.		
	3,5	5,0	5,5	7,5	7,7	8,0	8,0	8,2	8,5	30	63,5

24

⁽¹⁾ Wegen moderner Anlagen sehr kurz; auch mit eigenen Pumpen möglich.

⁽²⁾ Dieser Zuschlag ist notwendig, da angenommen wird (siehe Fahrzeit), dass von Hafen zu Hafen mit Dienstgeschwindigkeit gefahren wird.

⁽³⁾ Obgleich schnelle Schiffe bei gleicher Reiseroute pro Jahr mehr Reisen machen als langsame und dadurch pro Reise bei der Angabe 6 bis 10 Reparaturtage pro Jahr weniger Zeit für die Reparatur hätten, wird für alle Schiffe der gleiche Reparaturzuschlag pro Rundreise gewählt. Dadurch wird berücksichtigt, dass die schnelleren Schiffe mit ihren grösseren Maschinenanlagen mehr Reparatur und Wartung erfordern.

⁽⁴⁾ Für Bunkern wird deshalb ein Zeitzuschlag gemacht, weil oft das Bunkern — zumindest bei Tankern — während des Be- und Entladens nicht statthaft ist.

⁽⁵⁾ Die Umschlagzeit ist bei den Massengutfrachtern eine Funktion der Ladungsmenge, weil sie im allgemeinen nicht mit ausreichendem Ladegerüst versehen und damit abhängig von den Hafeneinrichtungen sind.

⁽⁶⁾ Für die Magellanstrasse muss ausser der langsamen Fahrt (53 h für 420 sm) noch eine Liegezeit berücksichtigt werden, da sie ohne Lotse nur bei Tage befahren wird.

⁽⁷⁾ Im Panamakanal wird zur Liegezeit auch die Zeit gerechnet, die zum Schleppen der Schiffe benötigt wird. Das wird deshalb gemacht, weil während dieser Zeit die Schiffe nicht mit eigener Kraft fahren.

⁽⁸⁾ Die Liegezeiten bei Stückgutschiffen hängen davon ab, wie der Be- und der Entladevorgang vor sich geht, und um welche Güter es sich handelt. In vielen Häfen kann nur mit den Bordanlagen gelöscht und beladen werden. Dabei ist noch zu unterscheiden, ob auf eine Kaianlage oder ob in Schuten gelöscht wird. Andere Häfen haben Kräne an Land. Oft werden auch die Schiffsgeschirre mit Ladanlagen kombiniert. Auch die Beschaffenheit der Ladung beeinflusst die Lade- und Löscheziten. Man rechnet mit Durchschnittswerten für das Verhältnis Liegezeit zu Fahrzeit von 0,8 bis 1,2 bei Stückgutschiffen. Die Befragung einiger deutscher Linienschiffsreedereien ergab eine gute Übereinstimmung mit diesen Angaben. Für die beiden untersuchten Reiserouten nach Nordamerika und nach Australien ergeben sich Liegezeiten von 30 bzw. 63,5 d. Das entspricht Verhältnissen von Liegezeit zu Fahrzeit von 0,795 bis 1,34 für die lange und 0,986 bis 1,65 für die kurze Reise. Dabei ist berücksichtigt, dass sich dieses Verhältnis vergrössert, wenn die zwischen den Häfen zurückgelegten Entfernungen kleiner werden.

die geringste Antriebsleistung ergeben. Ihre „provisorischen“ Mittel hierzu sind heute erstens die ihr bekannten Ergebnisse früherer Widerstandsmessungen, zwischen denen umso besser interpoliert werden kann, je systematischer sie zusammengefasst sind, und zweitens die Durchführung von Modellversuchen für den vorliegenden Einzelfall.

(ii) *Widerstand*

Schleppt man ein Schiff ohne Propeller mit der Geschwindigkeit v in ruhigen, nach Breite und Tiefe unbegrenztem Wasser, so ist dazu eine Schleppkraft w_o erforderlich, die gleich dem Schleppwiderstand ist. Die zur Erhaltung des Bewegungszustandes erforderliche Schleppleistung wird damit:

$$N_o = W_o \cdot v$$

Bei Eigenantrieb des Schiffes muss die Antriebsmaschine eine bestimmte Leistung aufbringen, die man im allgemeinen an der Schwanzwelle — also am Wellenaustritt — misst. Sie wird mit Wellenleistung N_w bezeichnet. Da ein bestimmter Teil dieser Leistung im Arbeitsprozess des Propellers verlorengeht, ist sie grösser als die Schleppleistung. Das Verhältnis

$$N_o/N_w = \xi$$

ist der Gesamtwirkungsgrad der Propulsion.

Der Schleppwiderstand eines Schiffes setzt sich im wesentlichen aus drei Widerstandsanteilen zusammen, nämlich

- dem Wellenwiderstand
- dem Wirbelwiderstand und
- dem Reibungswiderstand.

Dazu kommt noch der Luftwiderstand. Es lohnt sich aber im allgemeinen nicht, ihn genau zu berechnen, da sein Anteil am Gesamtwiderstand sehr klein ist. Man drückt ihn daher in % aus, wobei dieser Wert aus praktischen Erfahrungen stammt. Wichtig ist aber, die Widerstandsvermehrung eines Schiffes durch Bewuchs und Seegang zu berücksichtigen. Bei Aufstellung eines Reiseplanes eines Schiffes müssen diese beiden Komponenten bei der Leistungsermittlung bedacht werden. Bei gleicher Geschwindigkeit müssen Leistungsreserven vorhanden sein. Es ist schwer, die Widerstandsvermehrung durch Bewuchs und Seegang vorherzubestimmen. Der Bodenbewuchs ist abhängig von der Zeit zwischen den Eindockungen eines Schiffes, vom Fahrgebiet und von der Qualität des Anstriches. Der Einfluss des Seegangs ist noch nicht genau genug erfasst, um daraus feste Richtlinien herzuleiten. Man begnügt sich mit einem Zuschlag zur Probefahrtsleistung, wobei der Prozentsatz aus Erfahrungen ermittelt wird.

(iii) *Wellenleistung*

Es werden folgende Wellenleistungen eines Schiffes unterschieden:

- Probefahrtsleistung N_P
- Dienstleistung N_D
- installierte Leistung N_{inst} .

Die Probefahrtsleistung N_P ist die Wellenleistung, die benötigt wird, um einem Schiff auf der Probefahrt, die — wenn möglich — unter günstigen Bedingungen (ruhiges Wasser, Windstille, genügende Wassertiefe etc.) stattfindet, die gewünschte Geschwindigkeit zu verleihen. Soll nun das Schiff im Laufe des Betriebes die geforderte Geschwindigkeit beibehalten, so ist wegen des erwähnten Bewuchses und wegen des schlechten Wetters eine höhere Leistung, nämlich die Dienstleistung, erforderlich. Da es nicht üblich ist, einen Dieselmotor ständig auf Nennlast zu fahren, ist die installierte Leistung bei Motorschiffen höher als die Dienstleistung. Im allgemeinen wird mit 90 % der Nennlast gefahren. Es sind:

$$N_D = (1 + p/100) \cdot N_P$$

$$N_{inst.} = N_D/0,9 .$$

p ist der prozentuale Aufschlag für Bewuchs und Schlechtwetter. Die angenommenen Zahlenwerte für p werden weiter unten erläutert.

Für die KE-Schiffe bzw. die Turbinenschiffe wird wie bei den Motorschiffen auch die installierte Leistung höher als die Dienstleistung angesetzt. Da die Angaben stark streuen, blieb ungeklärt, ob Turbinenanlagen immer mit Vollast gefahren werden. Für den Wirtschaftlichkeitsvergleich ist diese Tatsache ohne Belang, da eine geringe Leistung (Dienstleistung kleiner als installierte Leistung) lediglich eine leichtere Maschinenanlage zur Folge hätte. Diese Gewichts-differenz ist vernachlässigbar klein. Für die Brennstoffverbräuche allerdings muss die Dienstgeschwindigkeit zugrunde gelegt werden.

Als letzter Punkt muss noch in Rechnung gestellt werden, dass die Schiffe nicht ständig voll beladen fahren, so dass die erforderliche Antriebsleistung bei gleicher Geschwindigkeit verschieden gross ist.

Die Schiffbaupraxis hat immer nach einer einfachen Formel gesucht, die mit genügender Genauigkeit die Antriebsleistung eines Schiffes liefert. Es sind verschiedene Formeln entwickelt und verwandt worden. Da beim Entwurf eines Schiffes die meisten Formfaktoren und Daten nicht von vornherein bekannt sind, muss der Schiffbauer auf Erfahrungswerte zurückgreifen. Das ist ziemlich kompliziert und bedarf oft einer Variationsrechnung. Wichtig für eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung wäre eine einfache Formel für die Bestimmung der Antriebsleistung, da hierbei meistens eine grosse Anzahl von Schiffen — sogenannte Schiffsfamilien — untersucht werden müssen, die in Grösse und Geschwindigkeit verschieden sind. Zur Zeit kennt man über 30 Formfaktoren, die mehr oder weniger auf den Widerstand einen Einfluss haben und Schwierigkeiten bei der Aufstellung einer einfachen Formel bereiten. Dazu kommen noch die verschiedenen obenerwähnten Widerstandsanteile. Zur Erleichterung der Rechnung kann man sich zunächst auf einige wesentliche Faktoren beschränken und versuchen, ihren Einfluss zu ermitteln. Dieser Vereinfachungen bedient sich Ayre, der seine Ergebnisse in Kurven darstellt. Durch die Vernachlässigung vieler Faktoren ist natürlich der Genauigkeitsgrad für die meisten Fälle unzureichend.

Die zur Zeit wohl beste Methode zur überschlägigen Bestimmung der Antriebsleistung ist die Taylor's Standard Serie, die für die Handelsschiffe durch die Serie 60 des David Taylor Model Basins ersetzt wird. Ein Nachteil dieser Methode besteht darin, dass sie nur die Schlepplleistung liefert. Die abzuschätzenden Zuschläge für Anhänge und die Ermittlung des Gesamtwirkungsgrades der Propulsion könnte mit Fehlern behaftet sein. Ein zweiter, für eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung wesentlicher Nachteil liegt bei Taylor darin, dass eine Leistungsermittlung in dieser Weise zwar in guter Annäherung die erforderliche Schlepplleistung liefert, das aber sowohl für ein gut entworfenes als für ein „over-driven“ und schlecht entworfenes Schiff. Gerade bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist es wichtig, dass jedes Schiff innerhalb einer Schiffsfamilie gleich gute Schiffformen aufweist. Ist das nicht der Fall, so wird in den Ergebnissen der Einfluss der zu variierenden Grössen (Schiffsgrösse und Geschwindigkeit) verzerrt wiedergegeben. Eine

Anwendung der Versuchsergebnisse der Serie 60 bringt eine Formel von V. Minorsky, die in einem Aufsatz (1) diskutiert wird. Es handelt sich um eine einfache Methode zur Ermittlung der erforderlichen Wellenleistung bei der Probefahrt. Die Probefahrtsleistung berechnet Minorsky wie folgt:

$$\text{Trial SHP} = \frac{\Delta \cdot v \cdot 14,2 (v/\sqrt{L})^{2,4}}{326}$$

Die Grössen sind im englischen Maßsystem einzusetzen und bedeuten:

- Δ = Displacement (*LT*)
- v = Geschwindigkeit (*kn*)
- L = Länge zwischen den Loten (*ft*)

Umgerechnet auf das metrische Maßsystem lautet die Formel:

$$N_P = 10,454 \cdot 10^{-3} \cdot D \cdot v \cdot (v/\sqrt{L_{pp}})^{2,4} \quad (WPS)$$

und es bedeuten:

- N_P = Wellenleistung bei der Probefahrt (*WPS*)
- D = Verdrängung (*t*)
- v = Geschwindigkeit (*kn*)
- L_{pp} = Länge zwischen den Loten (*m*)

Die Formel, die auf den Ergebnissen der Schleppversuche der Serie 60 des David Taylor Model Basins beruht, ermöglicht eine schnelle, genügend genaue Berechnung der Probefahrtsleistung. Diese wird hierbei als Funktion von D , v und L_{pp} dargestellt, wobei vorausgesetzt wird, dass die Schiffe normale, gut entworfene Schiffskörper — entsprechend Serie 60 — und Propeller — nach Trost — besitzen. Eine Leistungsermittlung nach dieser Formel ist bei einem Wirtschaftlichkeitsvergleich deshalb günstig, weil dabei erreicht wird, dass alle Schiffe der Schiffsfamilie gleich gute Formen besitzen, nämlich die der Serie 60.

Die Formel ist in der folgenden Weise entstanden. Bei kleinen Geschwindigkeiten ist die erforderliche Antriebsleistung für jede Schiffsförmung ungefähr proportional der 3. Potenz der Geschwindigkeit. Bei grösseren Geschwindigkeiten steigt die Leistungskurve immer stärker an und knickt bei einer bestimmten Geschwindigkeit schliesslich nach oben ab (siehe folgendes Bild). Diese Geschwindigkeit wird „economical“ oder „critical speed“ genannt. Bei grösseren Geschwindigkeiten ist der Betrieb unwirtschaftlich. Die kritische Geschwindigkeit hängt von der Schiffsförmung ab. Je schärfer ein Schiff ist, desto höher liegt sie. Als Mass für die Schärfe eines Schiffes soll hier nur der Blockkoeffizient genannt werden.

$$e = \frac{D}{\gamma \cdot L_{pp} \cdot B \cdot T}$$

Trägt man die erforderliche Antriebsleistung pro t Verdrängung über der Froude'schen Zahl

$$F = v/\sqrt{L_{pp}}$$

(1) A monography of preliminary powering of merchant ships. International Ship Building Progress (1955) S. 226.

auf, so ergeben sich Kurven, wie im folgenden Bild:

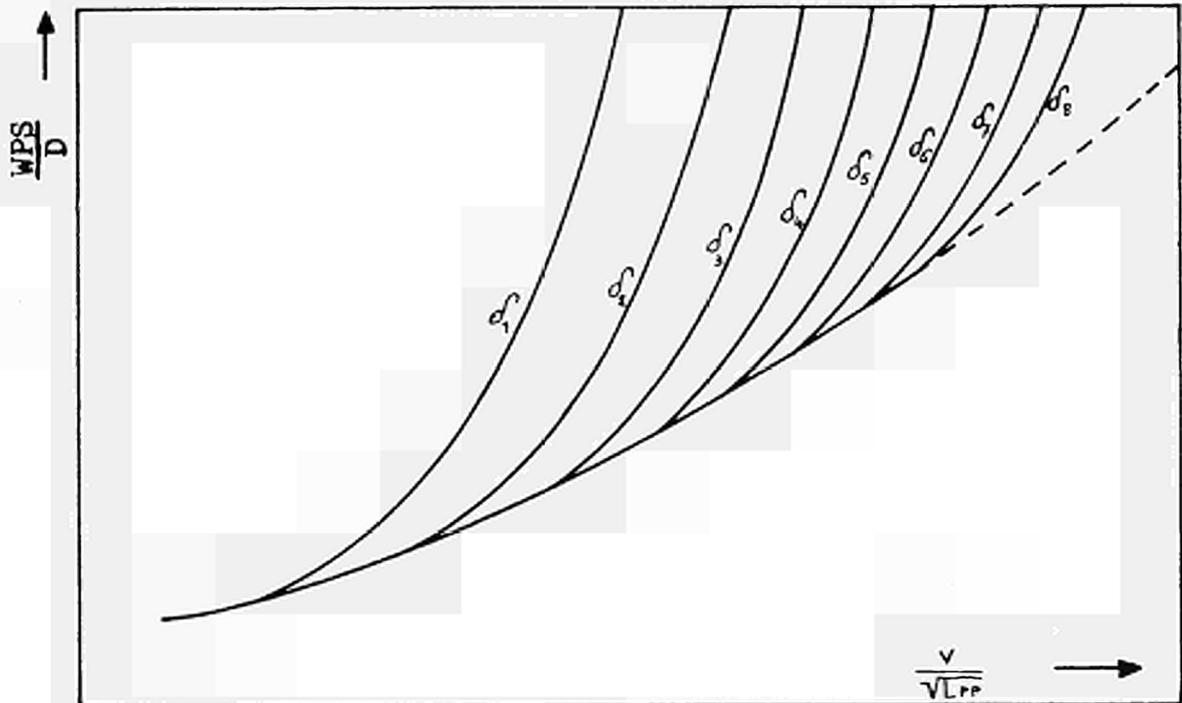


Bild 6

In dieser Weise hat auch Minorsky die Schleppversuche aufgetragen. Die gestrichelte Linie entspricht der entwickelten Formel. Sie liefert die zur Zeit niedrigste Probefahrtsleistung, die bei den entsprechenden Geschwindigkeits-/Längenverhältnissen erwartet werden kann. Sie gilt nur für beladene Schiffe bei „critical speed“. Aus der Skizze erkennt man, dass zu den verschiedenen Froude'schen Zahlen bestimmte Blockkoeffizienten gehören. In der Tabelle ist das Verhältnis zwischen „critical speed“ und Blockkoeffizient zusammengestellt und im Kurvenblatt 1 aufgetragen. Ausserdem sind in dem Kurvenblatt Werte von gebauten und projektierten Massengutfrachtern und Tankschiffen eingezeichnet.

TABELLE

Blockkoeffizient bei „critical speed“ v in kn und L_{PP} in m bzw. ft .

v	v	Ayre	Lap	Wageningen	Alexander	Minorsky
$\frac{v}{\sqrt{L_{PP}}}$ engl. Maßsystem	$\frac{v}{\sqrt{L_{PP}}}$ metr. Maßsystem					
0,60	1,087	0,745	0,770	0,775	0,740	0,785
0,65	1,177	0,722	0,740	0,745	0,715	0,750
0,70	1,268	0,700	0,715	0,720	0,690	0,720
0,75	1,358	0,680	0,680	0,680	0,665	0,685
0,80	1,449	0,660	0,650	0,660	0,640	0,650
0,85	1,539	0,640	0,620	0,630	0,615	0,620
0,90	1,630	0,620	0,575	0,660	0,590	0,575

Im Handelsschiffbau ist es unüblich, Schiffsschrauben für eine Wellenleistung von mehr als 30 000 WPS zu benutzen. Es wird daher diese Grenze für den Übergang von Ein- zu Zweischraubenschiffen gewählt. Die Gründe für diesen Sprung werden unter Punkt 4.4 (i) erklärt.

(iv) *Tanker und Massengutfrachter*

Die Antriebsleistung der Tanker und der Massengutfrachter wurde nach der Formel von Minorsky ermittelt. Die für die Formel erforderliche Länge zwischen den Loten L_{pp} der Tanker und Massengutfrachter wurde nach ähnlichen Schiffen festgelegt. Dabei wurden als Ähnlichkeitskriterium gleiches Displacement und gleiche Geschwindigkeit als ausreichend angesehen. Die beiden Schiffstypen unterschieden sich kaum. Die Massengutfrachter haben durch höhere Rumpfgewichte ein kleineres Verhältnis $tdw/Displacement$.

Im Kurvenblatt 2 ist die installierte Leistung der Tanker und in Kurvenblatt 3 die der Massengutfrachter über der Geschwindigkeit mit tdw als Parameter aufgetragen. Mit der Formel von Minorsky wurden zunächst die Probefahrtsleistungen als Funktion der Verdrängung für konstante Geschwindigkeit ermittelt. Da die nach der Formel von Minorsky ermittelten Probefahrtsleistungen sehr niedrig liegen, weil sie nur für gut entworfene Schiffen gelten, wurden 8 bis 12 % aufgeschlagen. Das wird damit gerechtfertigt, dass Tanker und auch Massengutfrachter im allgemeinen „overpowered“ sind, d.h. sie sind etwas völliger gebaut als es der optimalen Theorie entspricht (siehe Kurvenblatt 1). Im Kurvenblatt 1 sind gebaute Tanker und Massengutfrachter eingezeichnet. Man erkennt, dass sie grösstenteils höhere Völligkeitsgrade besitzen als die, die der „critical speed“ entsprechen. Die Erhöhung soll bei einer Geschwindigkeit von 12 kn 8 % betragen und dann alle 2 kn um jeweils 1 % zunehmen, da der Einfluss der Völligkeit bei höheren Froude'schen Zahlen grösser ist.

Die installierte Leistung errechnet sich nach den oben angegebenen Gleichungen. Der prozentuale Zuschlag ϕ für den Bewuchs und das schlechte Wetter wurde mit 18 % angenommen. Die Formel nach Minorsky gilt nur für Einschraubenschiffe. Beim Übergang von Ein- zu Zweischraubenschiffen erhöht sich der Schleppwiderstand des Schiffes. Ausserdem verschlechtert sich der Gesamtwirkungsgrad der Propulsion. Die Widerstandserhöhung durch die Wellenhosen und -böcke bei Doppelschraubern wird mit 4 % angenommen. Nimmt man weiter an, dass der Gesamtwirkungsgrad der Propulsion von 0,72 auf 0,68 abnimmt, so ergibt sich die erforderliche Wellenleistung von Zweischraubenschiffen wie folgt:

$$N_{W2} = \frac{W_1 \cdot \nu \cdot 1,04}{\rho_1 \cdot 0,944} = N_{W1} \cdot 1,102$$

(v) *Schnellfrachter*

Um die Kurve für die installierte Leistung der Schnellfrachter zu bekommen, wurde ein anderer Weg eingeschlagen. Die Leistungen wurden nicht berechnet, sondern auf Grund gebauter Schiffe ermittelt. Hierfür liegt genügend statistisches Material über Schiffe gleicher Grösse vor, so dass ohne Schwierigkeit eine Kurve für die Leistung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit gezeichnet werden konnte. Diese Kurve ist im Kurvenblatt 4 wiedergegeben. Sie stellt demnach einen Mittelwert aus gebauten Schiffen dar.

4.3 — Nutzladung pro Rundreise

(i) Einleitung

Die Nutzladung pro Rundreise wird für die verschiedenen Schiffe auf den verschiedenen Reiserouten wie folgt berechnet:

Tanker:

Venezuela : tdw abzüglich Verlust durch Brennstoff und Vorräte
(bezogen auf Sommerfreibord)

Persischer Golf : tdw abzüglich Verlust durch Brennstoff und Vorräte, abzüglich Freibordausgleich (bezogen auf Winterfreibord)

Massengutfrachter:

Magellanstrasse: tdw abzüglich Verlust durch Brennstoff und Vorräte abzüglich Freibordausgleich (bezogen auf Winterfreibord)

Panamakanal : tdw abzüglich Verlust durch Brennstoff und Vorräte
(bezogen auf Sommerfreibord)

Schnellfrachter:

U.S.A. : a.tdw

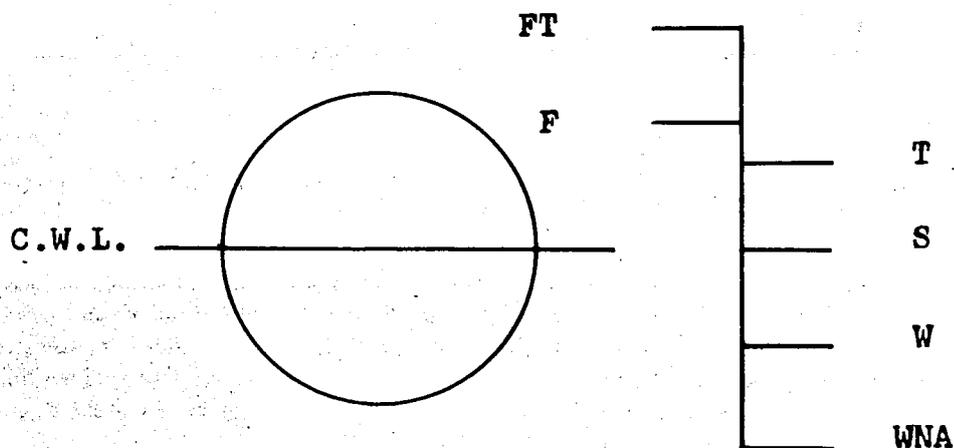
Australien : a.tdw.

Nachfolgend werden die einzelnen Punkte besprochen, die die Differenz zwischen der Tragfähigkeit tdw. und der Nutzladung ausmachen.

(ii) Freibordausgleich

a) Berechnung des Freibordausgleichs

Die Freibordmarke gibt an, wie weit ein Schiff höchstens eintauchen darf.



Die eingetragenen Marken bedeuten:

- S = Marke für Sommergebiete (Sommerfreibord)
 W = Marke für Wintergebiete (Winterfreibord)
 T = Marke für Tropengebiete (Tropenfreibord)
 WNA = Marke für Wintergebiete auf dem Nordatlantik
 F = Frischwassergebiete
 FT = Frischwasser/Tropen.

Die Vielfalt der Marken zeigt, wie unterschiedlich die Freibordbestimmungen sind. Es gibt Zonen, in denen das ganze Jahr über die gleichen Bestimmungen gelten. Das sind beispielsweise die Sommer- und die Tropenzonen. In anderen Gebieten hängen die Bestimmungen für die Freibordzone von den Jahreszeiten ab.

Die mögliche Gesamtzuladung eines Schiffes hängt von den Freibordvorschriften ab. Auf einer langen Reise fährt ein Schiff meistens durch mehrere Zonen. Dabei kann man oft die verschiedenen zulässigen Tiefgänge vorteilhaft ausnutzen. Fährt das Schiff beispielsweise in der Tropenzone bzw. der Sommerzone ab, so kann man die Vorrats- und die Brennstoffmenge, die bis zum Eintritt in die nächste Zone — also die Sommer- bzw. die Winterzone — verbraucht worden ist, zusätzlich als Ladung an Bord nehmen, solange dies nicht den gewichtsmässigen Unterschied zwischen Tropen- und Sommerzone bzw. zwischen Sommer- und Winterzone übersteigt. In anderer Richtung wirken sich die verschiedenen Zonen nachteilig auf die Gesamtzuladung des Schiffes aus.

Der Unterschied zwischen der Tropen- und der Sommerzone bzw. zwischen der Sommer- und der Winterzone beträgt $1/48$ des Tiefganges. Die Marken für WNA , F und FT werden nach anderen Gesichtspunkten festgelegt. Sie sind aber für die hier angestellten Berechnungen ohne Bedeutung.

Nimmt man an, dass die Wasserlinie CWL (construction water line) des Schiffes bei den kleinen Änderungen von $1/48 T$ konstant bleibt, so kann man den Unterschied der Gesamtzuladung von Sommer- auf Tropentiefgang bzw. Wintertiefgang wie folgt berechnen:

$$\text{Freibordausgleich} = \alpha (c_w) \cdot L_{pp} \cdot B \cdot T/48 \cdot 1,025$$

wobei

$$\alpha (c_w) = F \cdot L_{pp} \cdot B$$

der Wasserlinienkoeffizient ist. F ist die Fläche der Wasserlinie, L_{pp} die Länge und B die Breite des Schiffes. Kurvenblatt 5 wurde mit Werten von gebauten Schiffen gezeichnet. Es wurde kein Unterschied zwischen Tankern und Massengutfrachtern gemacht, da diese Schiffe ähnliche Formen besitzen. Der Wasserlinienkoeffizient wurde konstant mit 0,86 angenommen. Die Geschwindigkeitsabhängigkeit wurde vernachlässigt.

b) Tanker (Venezuela-Route)

Die Tanker, die die Route Antwerpen - Venezuela befahren, sollen zur Sommerzeit in Europa ankommen. Hier ist vom 1. April bis zum 31. Oktober Sommerzone. Während dieser Zeit ist in Venezuela bis zum 15. Juli Tropenzone und dann anschliessend Sommerzone. Fahren die Tanker während der Tropenzone in Venezuela ab, so kommen sie nach etwa $1/6$ der Heimreise in die Sommerzone. Dadurch könnten die Schiffe um die Menge mehr beladen, die der Verbrauch an Brennstoff und Vorräten während dieses Reiseabschnitts ausmacht. Da dieser Gewinn aber

nur gering ist, wird — ebenso wie bei den Massengutfrachtern auf der Route Antwerpen-Panamakanal-Chile — angenommen, dass die Tanker vom 16. Juli bis zum 31. Oktober von Venezuela abfahren. Dann ist während der ganzen Reise Sommerzone. Nimmt man an, dass der Brennstoff wegen des niedrigeren Preises in Venezuela und die Vorräte in Antwerpen gebunkert werden, so ergibt sich, dass die Nutzladung um die gesamte gebunkerte Brennstoffmenge und um die halben Vorräte geringer ist als die Ladefähigkeit. Der Freibordausgleich wird deshalb nicht von der Nutzladung abgezogen, weil die Schiffe bei der betrachteten Reisezeit immer in der Sommerzone bleiben. Die Nutzladung wird auf das Sommerfreibord bezogen.

c) Tanker (Persischer Golf)

Bei der Tankerroute Antwerpen-Persischer Golf wird ebenfalls angenommen, dass die Schiffe zur Sommerzeit in Antwerpen ankommen. Zwischen dem 16. April und dem 15. Oktober ist südlich von 30° südlicher Breite Winterzone, d.h. die Schiffe dürfen hier nur auf Wintertiefgang beladen werden. Auf dieser Route soll auch pro Reise nur einmal gebunkert werden, und zwar in Nena Al Ahmadi. Während der Reise von dort bis zum 30°. Grad südlicher Breite (4 300 m) wird ein Teil des Brennstoffes, des Wassers und der Vorräte verbraucht. Um diese Menge können die Schiffe im Persischen Golf zusätzlich beladen werden. Voraussetzung dabei ist, dass diese zusätzliche Ladungsmenge den Unterschied zwischen Sommer- und Winterfreibord nicht überschreitet. Das ist aber bei keinem der Schiffe der Fall. Die restliche Brennstoff- und Vorratsmenge verursacht einen Ladungsverlust, der ebenso wie der Freibordausgleich von der Tragfähigkeit abgezogen werden muss.

d) Massengutfrachter (Chile-Route durch die Magellanstrasse)

Die erste Route der Massengutfrachter geht von La Serena de Chile durch die Magellanstrasse nach Antwerpen. Auch hier wird angenommen, dass die Schiffe zur Sommerzeit in Europa ankommen und auch im Sommer in La Serena de Chile abfahren. Nach kurzer Zeit kommen sie bei 33 Grad südlicher Breite in die jahreszeitliche Winterzone (16. April bis 15. Oktober). Da die Entfernung von La Serena bis zum Eintritt in die Winterzone gering ist, und dadurch der Ladungsgewinn infolge der verbrauchten Vorräte vernachlässigt werden kann, wird für die Rechnung angenommen, dass die Schiffe bei Abfahrt aus La Serena auf Wintertiefgang beladen werden. Die Vorräte und der Brennstoff werden wegen der Preise in Antwerpen gebunkert.

e) Massengutfrachter (Chile-Route durch den Panamakanal)

Da bei La Serena die Grenze zwischen der Sommer- und der Tropenzone ist (30° südlicher Breite), kommen die Schiffe bei Abfahrt in nördlicher Richtung sofort in die Tropenzone. Um mit den anderen Routen vergleichen zu können, sollen die Massengutfrachter auch auf dieser Route während der Sommerzeit in Antwerpen ankommen. Durch diese Voraussetzung wird der ganze Weg vom Panamakanal bis nach Antwerpen in der Sommerzone zurückgelegt, wenn die Schiffe den Panamakanal vom 16. Juli bis zum 31. Oktober in Richtung Europa passieren. Der Brennstoff wird wegen des niedrigen Preises in der Kanalzone und die Vorräte in Antwerpen gebunkert. Der Freibordausgleich wird nicht abgezogen, da die Nutzladung auf den Sommerfreibord bezogen wird. Die Schiffe fahren nämlich durch keine Zone, die eine geringere Nutzladung als die Sommerzone zulässt.

f) Schnellfrachter (Nordamerika- und Australien-Route)

Bei den Schnellfrachtern wird der Ladungsverlust durch Freibordausgleich und durch Vorräte nicht berücksichtigt. Die Ermittlung der Nutzladung wird in diesem Kapitel, unter (vii) besprochen.

(iii) *Brennstoffvorräte*

a) *Berechnung der Brennstoffvorräte*

Als nächstes werden die Brennstoffvorräte berechnet, die die Schiffe pro Rundreise bunkern. Sie ergeben sich aus folgender Gleichung:

$$B = b_e \cdot N_W \cdot d \cdot 24 \cdot 10^{-6} \quad (t)$$

Hierin sind:

B	= Brennstoffvorräte	(t)
b_e	= spezifischer Brennstoffverbrauch	(g/WPS h)
N_W	= Wellenleistung	(WPS)
d	= Fahrtzeit	(Tage)

Der spezifische Brennstoffverbrauch beträgt bei einer Verwendung von Dieselöl 156 g/WPS h . Hierbei ist berücksichtigt, dass der Bedarf an elektrischer Energie auf See durch einen Wellengenerator gedeckt wird. Für die Erzeugung des erforderlichen Wirtschaftsdampfes, Heizdampfes, etc. reicht die Abgaswärme der Motoren aus. Sie wird in nachgeschalteten Abgaskesseln, die für den Hafenbetrieb eventuell mit einer zusätzlichen Ölfeuerung kombiniert sind, ausgenutzt. Der Brennstoffverbrauch bei Hafenbetrieb wird unter dem Posten „Vorräte, Proviant etc.“, geführt, da es sich hierbei um konstante Mengen pro Rundreise handelt. Wegen der kleinen Leistungen werden nur die Schnellfrachter mit Dieselöl betrieben. Alle Tanker und Massengutfrachter fahren wegen der höheren Brennstoffpreise des Dieselöls mit Schweröl. Legt man den spezifischen Brennstoffverbrauch für Dieselöl fest, dann kann man den Verbrauch bei Schwerölbetrieb wie folgt ermitteln:

Aus technischen Gründen (Verkokung, Vorwärmung etc.) werden Schwerölmotoren bei Teillast (Manöver etc.) und beim Anfahren mit Dieselöl betrieben. Nimmt man an, dass 7 % der Fahrtzeit mit Dieselöl gefahren wird, und dass der Verbrauch an Schweröl gegenüber Dieselöl wegen des kleineren Heizwertes, des schlechteren Wirkungsgrades und wegen der Separierungsabfälle um 8 % grösser ist, so ergibt sich der Schwerölverbrauch zu

$$b_e \text{ Schweröl} = 1,074 \cdot b_e \text{ Diesel}$$

Bei Schwerölbetrieb werden dem Brennstoff Additive zugesetzt, die die Verkokung herabsetzen sollen, und zwar etwa 0,25 l/t Schweröl. Dieses zusätzliche Gewicht wird bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

Mit der obengeführten Gleichung werden die Brennstoffvorräte pro Rundreise berechnet.

b) *Brennstoffreserven*

Die nach dem obenerwähnten Verfahren berechneten Brennstoffvorräte werden nicht immer völlig verbraucht. Die Differenz zwischen Vorrat und Verbrauch ist die „Reserve“. Das Entstehen einer Reserve erklärt sich wie folgt:

Erstens taucht das Schiff bei Ballastfahrt nicht so tief ein wie in beladenem Zustand. Dadurch ist die benutzte Oberfläche und der Wellenwiderstand kleiner. Um die gleiche Geschwindigkeit wie in beladenem Zustand zu erreichen, ist eine geringere Leistung erforderlich. Dadurch sinkt der Brennstoffverbrauch. Man rechnet im allgemeinen bei Ballastfahrt mit einer um 5 bis 6 % grösseren Geschwindigkeit oder, wenn die Geschwindigkeit gleich bleiben soll, mit etwa 18 % weniger Leistung. Auf die gesamte Rundreise bezogen ergibt sich demnach bei gleicher Hin- und

Rückreise eine Brennstoffreserve von 9 %. Bei der Route von Antwerpen zum Persischen Golf fahren die 60 000 tdw — und die 80 000 tdw — Tanker in Ballast durch den Suezkanal. Dadurch verringert sich die Fahrstrecke, auf der weniger Brennstoff verbraucht wird, um 4 727 sm auf 6 498 sm. Demzufolge beträgt die Brennstoffreserve auf dieser Route nur 6,6 %.

Zweitens fahren die Verbrennungsmotoren vorwiegend mit einer Dienstleistung von 90 % der installierten Leistung. Dadurch ergibt sich eine weitere Brennstoffreserve von 10 %.

Bei den Schnellfrachtern wird in dieser Studie bei der Berechnung der Brennstoffvorräte keine Reserve in Rechnung gestellt, da diese Schiffe keine langen Seereisen ohne Zwischenhäfen unternehmen und daher notfalls nachbunkern können. Das bedeutet bei den langen Liegezeiten der Schnellfrachter keine Schwierigkeit. Für eine Rundreise benötigt ein Schnellfrachter folgende Brennstoffmenge:

$$B = 156 \cdot 0,9 \cdot N \cdot 24 \cdot d \quad (t)$$

Hierin bedeuten:

N = Wellenleistung (*WPS*)

d = Fahrzeit (Tage)

c) Korrekturen

Wie erwähnt, wird angenommen, dass die Schiffe immer mit Dienstgeschwindigkeit fahren. Diese Voraussetzung, die der Berechnung des Brennstoffverbrauchs zugrunde gelegt wird, ist nicht exakt, denn bei Schlechtwetter, bei Langsamfahrt und bei Manöver ist der Brennstoffverbrauch entsprechend der erforderlichen Leistung verschieden vom Verbrauch bei Dienstgeschwindigkeit. Diese Ungenauigkeit wird teilweise durch geänderte Geschwindigkeiten und damit auch geänderte Fahrzeiten korrigiert. Das geschieht beispielsweise beim Suezkanal, beim Panamakanal, bei der Magellanstrasse und bei der Westküste Südamerikas.

(iv) *Süsswasser, Proviant, Vorräte, Brennstoff für Hilfskessel und Hilfsmaschinen, Schmieröl etc.*

a) Allgemeine Bemerkungen

Es ist zu bemerken, dass

— auf der Tankerroute Europa/Venezuela angenommen wird, dass das gesamte Frischwasser in den Häfen eingekauft wird. Das ist bei Schiffen der untersuchten Grössenordnung unüblich. Die Abgaswärme reicht — wie oben erwähnt — bei Seebetrieb völlig aus, ausser der Deckung der Hilfsverbräuche (Beheizung, Vorwärmung etc.) auch noch in Seewasser-Verdampferanlagen genügend Frischwasser herzustellen. Dieser Posten hat jedoch auf die Ermittlung der Transportkosten nur einen unmassgeblichen Einfluss.

— zu diesem Posten auch der Brennstoffvorrat für Hilfskessel und Hilfsmaschinen bei Hafetrieb gehört. *Bei Tankern*, die beim Löschen viel Dampf und Warmwasser gebrauchen und deshalb Hilfskessel bzw. kombinierte Öl-/Abgaskessel haben, ergeben sich bei einer erforderlichen Kesselbetriebsdauer von 40 bis 45 st für beide Tankerrouten folgende Brennstoffmengen:

60 000 tdw-Tanker	90 t Heizöl
80 000 tdw-Tanker	120 t Heizöl
100 000 tdw-Tanker	150 t Heizöl.

Hierin sind etwa 20 % als Reserve einbegriffen.

Bei den *Massengutfrachtern* wird der Energiebedarf während der Liegezeiten durch Hafendiesel gedeckt. Bei einem spezifischen Leistungsbedarf von 0,01 bis 0,02 kW/BRT ergeben sich folgende Leistungen und Dieselölverbräuche:

20 000 tdw-Massengutfrachter	200 kW	4 t Dieselöl
40 000 tdw-Massengutfrachter	220 kW	6 t Dieselöl
65 000 tdw-Massengutfrachter	250 kW	8 t Dieselöl.

Für die Schnellfrachter ergeben sich:

12 000 tdw-Schnellfrachter	190 kW	3 t Dieselöl.
----------------------------	--------	---------------

Hilfskessel werden bei den Massengutfrachtern und den Schnellfrachtern nicht installiert, da der gesamte Energie-Bedarf auf See durch Abgasausnutzung und den Wellengenerator und im Hafen durch den Hafendiesel gedeckt wird.

b) Tanker und Massengutfrachter

In der folgenden Tabelle sind die verschiedenen Gewichte (für Süßwasser usw.) für Tanker und Massengutfrachter angegeben. Hierbei ist man von den bekannten Werten für die Tanker — Venezuela — Route ausgegangen. Die Gewichte für die Tanker — Pers. Golf — Route und für die beiden Routen für den Massengutfrachter sind durch Extrapolation und Umrechnung der Angaben der Tanker — Venezuela — Route ermittelt worden (vgl. Fussnoten zur folgenden Tabelle). (Siehe auch Kurvenblätter 6 bis 10).

c) Schnellfrachter

Die Gewichte für Süßwasser usw. für Schnellfrachter wurden ebenso wie die für die Tanker auf der Pers. Golf-Route und die Massengutfrachter durch Extrapolation und Umrechnung ermittelt. Sie gelten nur als Anhaltswerte, da sie den gesamten Reisebedarf für eine Rundreise angeben. Dies ist jedoch nicht sinnvoll, da die Vorräte während der Reise laufend ergänzt werden. Da dieser Punkt für die weitere Berechnung ohne grössere Bedeutung ist, wurde dies bei der Untersuchung nicht weiter berücksichtigt (siehe auch Kurvenblatt 11).

(v) *Ladungsverlust durch Brennstoffe und Vorräte*

a) Prinzip

Zur Bestimmung der Ladungsverluste durch Brennstoff und Vorräte ist es erforderlich, den Verbrauch dieser beiden Posten von der Bunkerung bis zu dem Zeitpunkt, auf den die Berechnung der Nutzladung bezogen wird, zu ermitteln.

b) Tanker (Venezuela-Route)

Es wurde angenommen, dass der Brennstoff in Venezuela und die Vorräte in Antwerpen gebunkert werden. Bei Abfahrt der Tanker aus Venezuela ist demnach vom Brennstoff noch nichts und von den Vorräten die Hälfte verbraucht.

c) Tanker (Persischer-Golf Route)

Auf dieser Route wird die Nutzladung auf Winterfreibord bezogen. Beim Eintritt in die Winterzone (30° südlicher Breite) ist ein Teil des gebunkerten Brennstoffs und der Vorräte verbraucht. Die Entfernung bis 30° südlicher Breite beträgt 4 300 sm, das ist beim 60 000 tdw- und beim 80 000 tdw-Tanker 24,1 % der gesamten Reise gegenüber 19,1 % beim 100 000 tdw-Tanker. Mit diesen Prozentzahlen wird der Verbrauch an Vorräten ermittelt. Hierbei wird berücksichtigt,

**Gewichte von Süßwasser, Proviant, Vorräten, Brennstoff
für Hilfskessel und Hilfsmaschinen, Schmieröl usw. (in Tonnen)**

tdw	kn	Besatzung Gepäck	Wasser Proviant	Farben Tauere	Schmieröl Fett	Heizöl Kessel	Gesamt- vorrat
-----	----	---------------------	--------------------	------------------	-------------------	------------------	-------------------

Tanker — Venezuela-Route (1)

60.000	{	16	10	661	67	126	90	954
		18	10	661	67	140	90	968
		20	12	661	67	176	90	1.006
80.000	{	16	12	790	85	153	120	1.160
		18	14	790	85	200	120	1.209
		20	15	900	85	300	120	1.260
100.000	{	16	15	870	120	200	150	1.385
		18	16	960	120	250	150	1.496
		20	16	1.000	125	300	150	1.591

Tanker — Pers. Golf (2)

60.000	{	16	10	1.088	129	271	90	1.588
		18	10	1.066	131	275	90	1.612
		20	12	1.153	137	287	90	1.677
80.000	{	16	12	1.297	154	223	120	1.906
		18	14	1.373	161	341	120	1.009
		20	15	1.398	163	348	120	2.044
100.000	{	16	15	1.976	237	491	150	2.989
		18	16	2.100	252	522	150	3.040
		20	16	2.240	270	557	150	3.233

Massengutfrachter — Magellanstrasse (3)

20.000	{	16	9 0 0				4	904
		18	9 6 0				4	964
		20	1 0 2 0				4	1.024
40.000	{	16	1 4 0 0				6	1.406
		18	1 4 8 0				6	1.486
		20	1 5 5 0				6	1.556
65.000	{	16	1 9 8 0				8	1.988
		18	2 0 8 0				8	2.088
		20	2 1 7 0				8	2.178

Massengutfrachter — Panamakanal (4)

20.000	{	16	7 2 3				4	727
		18	7 7 1				4	775
		20	8 1 9				4	823
40.000	{	16	1 1 2 4				6	1.130
		18	1 1 8 8				6	1.194
		20	1 2 4 5				6	1.251
65.000	{	16	1 5 9 0				8	1.598
		18	1 6 7 0				8	1.678
		20	1 7 4 3				8	1.751

(1) Angaben von Reedereien; siehe auch Kurvenblatt 6.

(2) Werte für Wasser, Proviant, Schmieröl, Fette basieren auf den Angaben für die Venezuela-Route und proportional der längeren Reisedauer geändert; siehe auch Kurvenblatt 7.

(3) Es wird davon ausgegangen, dass die Vorräte (ausgenommen Brennstoff für Hilfsdiesel) auf tdw und Reisedauer bezogen gleich sind wie für die Tanker. Hierbei hat man vorausgesetzt, dass die Mannschaftsstärke beider Schiffstypen bei gleicher Schiffgröße gleich ist. Die Werte für Wasser, Proviant, Tauere, Farbe, Schmieröl und Fette sind denjenigen für die Tanker entnommen, proportional der Reisedauer geändert und, über der Tragfähigkeit aufgetragen, extrapoliert auf 20.000 tdw. Die Werte für Besatzung und Gepäck sind nicht proportional der Reisedauer geändert und nur extrapoliert auf 20.000 tdw. Die Werte für Heizöl für Kessel gemäss Angaben unter a); siehe auch Kurvenblatt 8. und 9.

(4) Vorräte entsprechend der kleinen Reisedauer im Vergleich zur Route über die Magellanstrasse geändert. Brennstoffverbräuche gemäss Angaben unter a) hinzugefügt; siehe auch Kurvenblatt 10.

dass nur Proviant, Wasser, Schmieröl und Fette verbraucht werden, und dass immer etwa 20 % mehr Proviant etc. an Bord sind. Der Brennstoffverbrauch von Mena Al Ahmadi bis 30° südlicher Breite wird aus der folgenden Gleichung ermittelt:

$$B = b_e \cdot N_W \cdot E/v \cdot 10^{-6} \quad (t) .$$

Hierin ist:

b_e = spezifischer Brennstoffverbrauch (g/WPS*h*)

N_W = Wellenleistung (WPS)

E = zurückgelegte Entfernung (sm)

v = Geschwindigkeit (kn)

d) Massengutfrachter (Chile-Route durch die Magellanstrasse)

Die Massengutfrachter sollen in Antwerpen bunkern. Bis zur Ankunft in La Serena de Chile, d.h. bis zum Bunkern des Erzes, sind 50 % der Vorräte und 41 % des Brennstoffs verbraucht. Der Brennstoffverbrauch beträgt deshalb nicht 50 %, weil die Massengutfrachter auf der Strecke von Antwerpen nach La Serena in Ballast fahren und deshalb eine geringe Leistung und demzufolge weniger Brennstoff benötigen.

e) Massengutfrachter (Chile-Route durch den Panamakanal)

Auf der Route Antwerpen-Panamakanal-Chile sollen die Vorräte an Proviant, Süßwasser etc. in Antwerpen und der Brennstoff auf der Hinreise in der Kanalzone gebunkert werden. Der Brennstoffpreis liegt dort wesentlich unter den europäischen Preisen. Wenn die Massengutfrachter in beladenem Zustand von der Tropen- in die Sommerzone kommen (Panamakanal), so sind 58,7 % der Vorräte und 14,1 % des Brennstoffs verbraucht. Bei der Berechnung des Brennstoffverbrauchs für den Weg Panamakanal - La Serena und zurück wurde berücksichtigt, dass die halbe Strecke in Ballast gefahren wird.

f) Schnellfrachter (Nordamerika- und Australien-Route)

Für die Schnellfrachter ist dieser Punkt ohne Interesse, da er hier nur gewichtsmässig berücksichtigt wird. Näheres hierzu wird später in diesem Kapitel besprochen.

(vi) *Nutzladung der Tanker und der Massengutfrachter*

Die Nutzladung für die verschiedenen Kombinationen von Tonnage und Route der Tanker und Massengutfrachter wird ermittelt unter Zugrundelegung der im vorhergehenden Abschnitt berechneten Gewichtsverluste durch Brennstoff und Vorräte sowie der Verluste durch Freibordausgleich, gemäss der am Anfang dieses Kapitels angeführten Gleichungen. Die Einzelheiten dieser Berechnungen werden hier nicht angegeben; sie können am Sitz der Europäischen Atomgemeinschaft eingesehen werden.

(vii) *Nutzladung der Schnellfrachter*

a) Die Nutzladung bestimmende Faktoren

Die Bestimmung der Nutzladung der Schnellfrachter weicht von dem hierfür bei Tankern und Massengutfrachtern angewandten Verfahren ab. Es müssen hier folgende Punkte berücksichtigt werden:

— Die Grösse des Laderaums des Schiffes bei der gewählten Tragfähigkeit;

Schnellfrachter

Nr	Name und Typ des Schiffes	Anz. Schwestersch	Baujahr	T ₁ Tragfähig.	Geschwind.	N ₁ Leistung	Verh. der Tragf.keiten	N ₂ Leistung	Laderauminhalt
-	---	-	-	tdw	kn	WPS	(T ₁ /T ₂) ^{0,64}	WPS	cf/tdw
1	MS Bayernstein	6	1955	9440	17,5	10560	0,863	12250	63,5
2	TS Heidelberg +)	-	1953	11480	16,25	9000	0,972	9260	45,5
3	TS Essen	6	1953	10100	17	9000	0,896	10030	62,8
4	MS Saarland	2	1957	10820	17,5	9000	0,938	9600	47,6
5	MS Schwanheim +)	-	1953	11580	12,5	3500	0,977	3580	50,0
6	MS Luise Leonhardt	5	1955	10350	13	3500	0,911	3840	52,5
7	MS Nordland +)	4	1954	11620	13,4	4200	0,980	4290	49,8
8	MS Hermann Karges +)	-	1957	12380	13	4080	1,020	4000	46,1
9	MS Westfalen	-	1956	12935	15	6750	1,044	6460	44,3
10	MS Cap Palmas	-	1957	10590	15,75	6300	0,922	6840	59,3
11	MS Welheim +)	-	1954	12040	15	6000	1,000	6000	48,5
12	MS Catharina Oldendorf	-	1956	12978	14,4	5340	1,044	5100	45,0
13	MS Reimar E. Fritzen	2	1951	10020	12,5	4000	0,891	4500	53,9
14	MS Alfred Theodor +)	-	1957	11725	13,2	4000	0,985	4060	47,2
15	D Helga Bolten	-	1943	10600	10,0	2400	0,922	2600	47,4
16	D Ganges	-	1948	11188	10	3000	0,947	3170	49,6
17	D Katharina D. Fritzen	2	1929	10400	9,5	2000	0,911	2200	40,3
18	D Ditmar Koel	-	1946	10650	11	2500	0,922	2710	45,5
19	TS Düsseldorf	5	1953	10433	17	9000	0,916	9830	60,6
20	MS Hannover	3	1955	9440	17,5	10433	0,857	12200	63,5
21	MS Senator Possehl	2	1956	12660	14,8	5340	1,034	5160	48,5
22	MS Bischofstor +)	-	1955	12139	13,7	4200	1,000	4200	48,1
23	MS Geestermünde +)	-	1956	12192	18	8600	1,000	8600	51,1
24	MS R. C. Rickmers +)	-	1957	11500	15	5400	0,974	5550	51,2
25	MS Dresden	-	1957	13840	18	12500	1,097	11400	59,4

+) Schiffe im reinen Liniendienst

N₁ = Leistung des 12 000 tdw-Schnellfrachters 1 cf/t = 0,028 m³/t
T₁ = Tragfähigkeit d. 12 000 tdw-Schnellfrachters

- Raumbedarf der Ladung;
- Ausnutzungsfaktor während einer Rundreise.

b) Laderaum

Durch die Konstruktion des Schiffes kann der Laderauminhalt massgeblich beeinflusst werden, ohne die Tragfähigkeit zu ändern. Eigene Untersuchungen von Schiffen ergaben Schwankungen zwischen 40,3 und 63,5 cf/t, d.h. also eine Differenz von etwa 50 %. Die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Schiffe, die vorwiegend in letzter Zeit gebaut wurden, ergeben einen Mittelwert von 60 cf/t entsprechend 1,699 m³/t.

c) Raumbedarf der Ladung

Es ist nicht möglich, einen allgemeinen Mittelwert für den Raumbedarf einer Tonne Stückgut anzugeben. Die Schwankungen, die hierzu im Hamburger Hafen gemessen wurden, liegen zwischen 0,25 m³/t für Eisenbarren und 14 m³/t für verpackte Maschinen. Eine Umfrage bei deutschen Reedereien ergab Werte von 46,6 cf/t bis 80 cf/t. Für die Untersuchung wird daher angenommen, dass die Ladung den gleichen Staukoeffizienten hat, wie er vom Schiff als Laderaumkapazität für eine Tonne Ladung angeboten wird. Es wird, wie gesagt, ein Wert von 60 cf/t gewählt. Das bedeutet, dass ein Schiff räumlich voll beladen ist, wenn es gewichtsmässig ausgeladen ist. Diese Annahme wird keineswegs immer zutreffen. So hat beispielsweise das VW-Transportschiff „Mathilde Bolten,, bei 16.000 t Ladefähigkeit eine Ladung von 1 200 Volkswagen, wenn es voll beladen ist. Das entspricht einem Gewicht von nur 900 t Zuladung.

d) Ausnutzungsfaktor

Wenn man den Ausnutzungsfaktor eines Stückgutschiffes untersuchen will, muss man zwischen räumlicher und gewichtsmässiger Ausnutzung des Schiffes unterscheiden. Für die Untersuchung der Schnellfrachter auf der Nordamerika- und auf der Australien-Route wird nur der gewichtsmässige Ausnutzungsfaktor betrachtet, da der räumliche Ausnutzungsfaktor eine genaue Kenntnis der Ladung voraussetzt. Sofern der Raumbedarf der Ladung dennoch berücksichtigt werden muss, wird er mit dem unter c) bezeichneten Staukoeffizienten von 60 cf/t in Gewichtseinheiten umgerechnet.

Es wurden Angaben auf den Vertragsrouten untersucht, sowie solche auf Routen der „Outward Continental River Plate Freight Conference,, und der „Outward Continental Brazil Freight Conference,,. Dabei ergaben sich als Durchschnittswerte aus grossen Serien von Schiffen folgende Ausnutzungsfaktoren:

Europa ausreisend nach Ost-USA	0,146
Europa ausreisend nach Australien	0,585
Europa ausreisend nach Südamerika	0,620
Europa heimreisend von Ost-USA	0,525
Europa heimreisend von Australien	0,820.

Aus diesen Werten wird ein mittlerer Ausnutzungsfaktor von 0,70 ermittelt. Dabei soll durch diesen relativ hohen Wert ausgedrückt werden, dass man ein KE-Schiff wahrscheinlich auf einer Route mit sehr geringen Ladungsaufkommen nicht einsetzen wird.

Wenn man einen Ausnutzungsfaktor von $\alpha = 70\%$ wählt, ergibt sich für ein 12 000 tdw-Schiff als Ladung 8 400 t. Dieser Wert bedeutet, dass das Schiff ständig eine Reserve an Lade-

kapazität von 3 600 t hat. Hieraus folgt aber, dass es völlig uninteressant ist, welche Mengen an Brennstoff, Trinkwasser, Vorräten, etc. ein Stückgutschiff mitnimmt. All diese Werte sind wesentlich kleiner als die 30 % ige Reserve.

4.4 — Gewicht der Maschinenanlage, des Rumpfes und der Ausrüstung

(i) *Maschinenanlage*

Bei der Bestimmung der Gewichte muss zunächst geklärt werden, was zur Maschinenanlage, was zum Rumpf und was zur Ausrüstung gezählt wird.

Bei der Ermittlung der Gewichte der Maschinenanlagen wird folgende Definition zugrunde gelegt: zur Maschinenanlage wird alles gerechnet, was sich innerhalb des Maschinenraumes befindet, also beispielsweise ausser der Haupt- und den Hilfsmaschinen auch Flurplatten, Rohrleitungen, Armaturen, Tanks, Niedergänge etc. Falls Teile, die eigentlich zur Ausrüstung gehören, im Maschinenraum untergebracht sind, so werden sie auch zum Anlagengewicht gezählt. Das können beispielsweise die Antriebsmotoren von Ladeölpumpen sein. Ausserdem gehören zum Gewicht der Maschinenanlage die Antriebswellen und die Propeller. Es wird also zum Anlagengewicht gezählt, was zum Antrieb des Schiffes gehört.

Aus den Gewichtsbilanzen vieler gebauter Schiffe wurden dementsprechend die Gewichte der Maschinenanlagen ermittelt und im Kurvenblatt 12 als Funktion von der Wellenleistung aufgetragen. Die Kurve für die Dieselmotorenanlagen wurde mit den Angaben von Legrand verglichen und korrigiert. Die Ermittlung der Kurve für die Gewichte der Schwerölmotoranlagen wurde Kurvenblatt 13 zugrunde gelegt. Hier ist das Mehrgewicht der Maschinenanlage bei Schweröl — gegenüber Dieselölbetrieb — dargestellt. Diese Kurve ergab sich aus dem Vergleich mehrerer MAN-Zweitakt-Diesel, die nach einigen Änderungen auch mit Schweröl betrieben werden können. Das Mehrgewicht beruht hauptsächlich auf der zusätzlichen Schweröl-Aufbereitungsanlage. Im Kurvenblatt 12 ist auch der Bereich für die Anlagengewichte der KE-Schiffe angegeben. Die Erklärung hierfür ist unter 5.1 angegeben.

Bei den Kurven wird bei einer Leistung von 30 000 WPS ein Gewichtssprung angenommen. Bei den Leistungskurven (Kurvenblätter 2 und 3) ist bei der gleichen Leistung ein Sprung vorhanden.

Die Unstetigkeit hat zwei Gründe. Einmal ist eine grössere Leistungsaufnahme pro Welle ab 30 000 WPS in der Handelsschifffahrt nicht möglich. Bei grösseren Leistungen müssen Zweiwellenanlagen installiert werden. Zum anderen rührt der Gewichtssprung bei Motorenanlagen daher, dass die Leistung pro Motor heute noch mit etwa 30 000 WPS begrenzt ist. Ist eine grössere Leistung erforderlich, muss man zu Mehrmotorenanlagen übergehen. Die Wahl des Sprunges bei 30 000 WPS hat auch den Vorteil, dass man, wenn 30 000 PS-Motoren gebaut werden, die gesamte Leistung ohne Getriebe auf eine Schraube gegeben werden kann.

Bei Turbinenanlagen (Kurvenblatt 29) wird die Leistungsgrenze auch bei 30 000 WPS gewählt. Das kommt daher, dass man — wie oben erwähnt — die Schrauben von Handelsschiffen üblicherweise nicht höher belastet.

Obleich bei KE-Anlagen die Leistung einer Anlage nicht bei 30 000 WPS begrenzt ist, wird hier ein Gewichtssprung von gleicher Grösse wie bei den Motorenanlagen angenommen. Das ist hier ebenso wie bei den Turbinenanlagen erforderlich, um bei dem Vergleich gleiche Voraussetzungen zu haben. Die Gewichtskurven gelten für alle Schiffstypen, demnach also für alle im Gutachten untersuchten Schiffe.

(ii) *Rumpf*

In den Kurvenblättern 14 und 15 wurden für Tanker, Massengutfrachter und Schnellfrachter Kurven für das Rumpfgewicht gezeichnet. Hierbei wurden gebaute Schiffe zugrunde gelegt. Als Ähnlichkeitskriterium wurden gleiches Deplacement und gleiche Geschwindigkeit als ausreichend angesehen. Die Schiffslänge wurde nach ähnlichen Schiffen festgelegt.

Die Kurven sind bei 30 000 WPS kontinuierlich, obgleich das Rumpfgewicht infolge der Zweiwellenanlagen auch einen Sprung haben müsste. Mit hinreichender Genauigkeit wird angenommen, dass das Mehrgewicht für andere Heckformen, für Wellenböcke und -hosen im Zuschlag auf das Maschinengewicht steckt.

(iii) *Ausrüstung*

Für die Tanker, Massengutfrachter und Schnellfrachter wurden Kurven entwickelt, die auf gebauten Schiffen beruhen. Die Kurvenblätter 16 und 17 geben den Verlauf der Gewichtskurven der Ausrüstung für Massengutfrachter, Schnellfrachter und Tanker an. Es zeigt sich bei der Ermittlung der Kurvenpunkte, dass die Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei den Tankern und den Massengutfrachtern (Kurvenblatt 16) vernachlässigbar klein ist. Bei den Schnellfrachtern (Kurvenblatt 17) ist ein Gewichtsbereich angegeben, da das Ausrüstungsgewicht bei gleicher Tragfähigkeit bei einem Schiff von 20 kn teilweise um 10 bis 20 % über dem eines 10 kn-Schiffes liegt. Die obere Grenze des Bereichs gilt also für hohe Geschwindigkeiten, die untere für kleine.

(iv) *Das Leergewicht* der Schiffe ergibt sich aus den Gewichten der Maschinenanlagen, des Rumpfes und der Ausrüstung.

4.5 — Baukosten der Maschinenanlage, des Rumpfes und der Ausrüstung

(i) *Einleitung*

Unter „Baukosten“ versteht man den Kaufpreis, den die Werft dem Reeder in Rechnung stellt. Bei der Ermittlung dieser Kosten treten verschiedene prinzipielle Schwierigkeiten auf.

Eine Werft kann die Baukosten eines Schiffes nur dann exakt bestimmen, wenn sie einen Schiffsentwurf genau kalkuliert. Im allgemeinen wird es aber nicht gemacht. Es werden vielmehr die Verkaufspreise gebauter Schiffe als Richtwert benutzt, die nach den Werften sehr verschieden ausfallen können, da die allgemeinen Kosten der Werften sehr unterschiedlich sind. Die folgende Tabelle gibt die Baukosten für einen projektierten Tanker mit einer Tragfähigkeit von etwa 20 000 tdw an. Die Werte entstammen den Angaben sechs deutscher Werften.

Tragfähigkeit tdw	Geschwind. kn	Leistung WPS	Baukosten Mio. DM
21.950	15	8.000	16,0
19.700	16	9.200	18,5
20.000	15	8.400	19,4
19.300	16	8.900	18,0
20.200	15,5	8.650	17,5
19.950	15	7.650	17,2

Stand 1953

Ausserdem arbeiten die Werften mit verschiedenen Gewinnsätzen. Bei normaler Marktlage setzt sich der Verkaufspreis eines Schiffes etwa folgendermassen zusammen:

Rumpf	30 %
Maschinenanlage	30 %
Ausrüstung	20 %
Gewinn	20 %

Bei steigender Nachfrage werden die Gewinnsätze erhöht, bei fallender Nachfrage verringert. Will eine Werft unbedingt einen Auftrag erhalten, so wird u.U. auf einen Gewinn verzichtet. Es kommt sogar vor, dass mit Verlust angeboten wird. Die folgende Tabelle gibt einen Vergleich zwischen dem Kaufpreis und dem Marktpreis ⁽¹⁾ eines „dry-cargo“-Schiffes von etwa gleicher Grösse wie die im Gutachten untersuchten Schnellfrachter.

Zeitpunkt	Kaufpreis Mio. DM	Marktpreis ⁽¹⁾ Mio. DM
Mitte 1956	11,4	13,4
Mitte 1957	12,1	14,0
Mitte 1958	12,4	9,5
Mitte 1959	12,1	9,5
Mitte 1960	11,7	9,5
Mitte 1961	11,4	10,1

Diese Relation gibt der Werft einen Anhalt für die Bestimmung des Gewinnsatzes. Demzufolge werden die Gewinnsätze 1956 höher gelegen haben als 1961. Kurvenblatt 18 gibt ebenfalls einen Überblick über die Preistendenz. Hier sind die relativen Preisschwankungen über der Zeit aufgetragen.

Aus all diesen Überlegungen geht hervor, dass es unmöglich ist, einen immer geltenden Preis anzunehmen. Die Baukosten, die der Berechnung zugrunde gelegt werden, gelten für Ende 1961; Angaben aus den vergangenen Jahren wurden entsprechend Kurvenblatt 18 auf den Stand 1962 umgerechnet.

(ii) *Maschinenanlage*

Die Baukosten der Maschinenanlage ergeben sich aus den Gewichten und den spezifischen Kilopreisen, die im Kurvenblatt 19 dargestellt sind. Der Kilopreis steigt von 20 000 WPS zu kleineren Leistungen hin rasch an. Das kommt daher, dass bei kleinen Leistungen die spezifischen Fertigungskosten gegenüber den spezifischen Materialkosten (beide auf das Gewicht bezogen) wesentlich höher sind. Ab 20 000 WPS wird ein konstanter Kilopreis angenommen. Entsprechend Kurvenblatt 19 beträgt dieser 5,80 DM pro Kilogramm Dieselmotorenanlage. Dieser spezifische Preis liegt an der unteren Grenze der Angaben deutscher Stellen (Reeder, Werften, öffentliche Dienststellen, u.ä.); er wurde in Anlehnung an belgische Preise, die offensichtlich niedriger sind als deutsche Preise, der Kostenrechnung zugrunde gelegt. Der Preis für Schwerölnotoren liegt um etwa 1 % — entsprechend etwa 0,06 DM/kg — höher. Das kommt daher, dass die Schweröl-

⁽¹⁾ Marktpreis — Wiederverkaufspreis

aufbereitungsanlagen auf das Gewicht bezogen teurer sind als die Motoren. Zur Zeit gelten etwa folgende Herstellungspreise für Apparate, Armaturen etc. der Aufbereitungsanlagen:

Tanks mit Isolation	7,20 DM/kg
Isolierte Treibölleitungen	9,75 DM/kg
Heizdampfbegleitleitungen	12,00 DM/kg
Heizschlangen	8,70 DM/kg
Separatoren mit Antriebsmotor	17,00 DM/kg
Vorwärmer	11,00 DM/kg

Aus diesen Richtwerten kann man ersehen, dass der Kilopreis von Schwerölmotorenanlagen höher liegen muss.

(iii) Die Baukosten des Rumpfes werden auch durch Multiplikation der Rumpfgewichte mit einem auf die Gewichtseinheit bezogenen Preis berechnet. Dieser Preis ist in Kurvenblatt 20 dargestellt. Hiernach soll der spezifische Preis mit zunehmender Schiffsgeschwindigkeit etwas grösser werden. Das kommt daher, dass die schnellen Schiffe schlanker gebaut werden müssen. Die schlankere Bauform hat zur Folge, dass der Arbeitsaufwand und damit der Preis pro kg verbauten Stahls grösser wird.

(iv) Ausrüstung

Der Kilopreis der Ausrüstung wird als konstant angesehen. Es ergab sich ein Preis von 2,90 DM/kg Ausrüstung. Es erscheint verwunderlich, dass der Ausrüstungspreis für Tanker, Massengutfrachter und Schnellfrachter gleich sein soll. Die Untersuchungen ergaben aber einen konstanten Wert für Ladegerichte, Lukendeckel, Ladeöleinrichtungen, etc.

(v) Gesamtbaukosten

Die Gesamtbaukosten ergeben sich aus den Baukosten der Maschinenanlage, des Rumpfes und der Ausrüstung.

4.6 — Kapitalkosten

Unter „Kapitalkosten“ wird in dieser Studie die Summe verstanden, die der Reeder wieder verdienen muss, um:

a) die folgenden Kosten zu decken:

- Abschreibung des Schiffes;
- Zinsen auf die Anleihen für den Bau des Schiffes
- Gewinn- und Vermögensteuern.

b) einen Gewinn auf die im Schiff investierten eigenen Mittel zu machen.

Die Kapitalkosten pro Jahr werden als Prozentsatz der Gesamtbaukosten des Schiffes dargestellt.

Die obenerwähnte Definition der Kapitalkosten führt dazu, dass die Transportkosten pro Tonne beförderte Ladung, wie sie in dieser Studie berechnet werden, gleich dem Verkaufspreis sind, d.h. gleich dem Frachtpreis. Normalerweise gilt:

Selbstkosten + Gewinn + Steuern auf Gewinn und Vermögen = Verkaufspreis (Frachtpreis).

Wenn man, wie es hier durchgeführt worden ist, den Gewinn und die Steuern auf den Gewinn zu den Kosten rechnet, ergibt sich:

Selbstkosten = Verkaufspreis - (Frachtpreis).

Die Tatsache, dass in dieser Studie alle obenerwähnten Kostenfaktoren in einem Prozentsatz zusammengefasst wurden und nicht in verschiedene Kategorien, wie Abschreibung, Zinsen, Steuern aufgliedert sind, erklärt sich daraus, dass die Finanzierungs- und Abschreibungspraxis bei den verschiedenen Reedern sehr unterschiedlich ist. Finanzierung und Abschreibung werden in vielen Fällen durch steuerliche Faktoren und die Verhältnisse auf dem Kapitalmarkt bestimmt. Ausserdem spielen hierbei auch die persönliche Auffassung des Reeders und das Ansehen des Unternehmens eine grosse Rolle. Es ergibt sich daraus, dass es beinahe unmöglich ist, für die in dieser Studie untersuchten Kombinationen von Schiffstypen und Tonnagen auf objektive Weise die Abschreibungsdauer, die Zinssätze, die Gewinnsätze, usw. festzulegen.

Laut Vertrag ist diese Studie ursprünglich für Kapitalkostensätze von 8, 10 und 12 % durchgeführt worden. Eine Umfrage bei Reedereien hat aber ergeben, dass diese Sätze sich auf einen relativ „schlechten“ Frachtenmarkt beziehen. Bei normalem Frachtenmarkt dürfte man Prozentsätze von 15 bis 20 % annehmen können. Man hat daher nach Abschluss der Studie durch Herrn Professor Illies und Herrn Legrand das „Bureau d'Etudes Industrielles Fernand Courtoy“ in Brüssel damit beauftragt, im Rahmen eines Studienauftrages die gleichen Berechnungen auch noch für einen Satz von 20 % durchzuführen. Man kann mit Sicherheit annehmen, dass die Spanne von 8-20 % für die gesamte westeuropäische Handelsschifffahrt gültig ist.

Um einen Eindruck von dem betriebswirtschaftlichen „Wert“ der gewählten Prozentsätze zu bekommen, folgen hier einige Beispiele für ihre Zusammensetzung.

Beispiele für die Zusammensetzung der gewählten Kapitalkostenfaktoren

Kapitalkosten faktor	8 %		12 %		20 %	
Anleihe (% der Gesamtfinanzierung)	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %
Eigene Mittel (% der Gesamtfinanzierung)	60 %	60 %	60 %	60 %	60 %	60 %
Abschreibungsdauer (in Jahren)	15	20	15	20	15	20
Restwert (% der ursprünglichen Baukosten)	2,5 %	0	2,5 %	0	2,5 %	0
Zinsen (% der Anleihen)	6 %	6 %	6 %	6 %	6 %	6 %
Steuern auf Gewinn und Vermögen (% der eigenen Mittel)	0	1 %	2 %	4 %	8 %	9 %
Gewinn (nach Abzug von Steuern und Abschreibung, doch bevor Reservierung für neue Investitionen)	0	3 %	6 %	8 %	16 %	18 %

4.7 — Kosten für Versicherung, Reparaturen, Stores und Verschiedenes

Die Kosten für Versicherung, Stores, Reparaturen und Verschiedenes werden als Prozentsatz der Baukosten bestimmt.

Der Satz für die Versicherungsprämie konventioneller Schiffe wurde nach Erfahrungswerten zu 2,2 % pro Jahr angenommen.

Den Prozentsatz für Reparaturen festzulegen ist schwierig. Die Reparaturkosten hängen nämlich von vielen Faktoren ab, hauptsächlich aber vom Zustand und vom Lebensalter der Schiffe. Untersuchungen ergaben Schwankungen von 0,75 % bis 6,25 %. In dieser Studie wurden 2,5 % des Neubauwerts der Schiffe angenommen.

Der Prozentsatz für die Reparaturkosten der Schwerölanlagen wird gleich hoch wie der der Dieselmotoren gewählt. Man nimmt nämlich an, dass man den Verschleiss bei Schwerölmotoren durch Beimengen von Emulsionsölen in den Grenzen des Verschleisses bei Dieselbetrieb halten kann.

Für Stores und Verschiedenes — also beispielsweise Tauwerk, Farben, etc. aber auch Funkgebühren u.ä. — wurde ein Prozentsatz von 2 % gewählt.

Alle unter diesem Punkt aufgeführten Kosten können von Fall zu Fall verschieden sein. Die Versicherungsprämien können bei einer genügenden Eigenversicherung (Deckung eventueller Schäden aus eigenen Mitteln) wesentlich niedriger sein. Bei kleinen Reedereien dagegen betragen sie oft mehr. Bei allen getroffenen Annahmen wurde Wert darauf gelegt, dass sie realistisch sind.

4.8 — Kosten für Löhne, Gehälter und Verpflegung

Die Löhne und Gehälter werden mit Hilfe der deutschen Heuertarife und der von Legrand angeführten Besatzungsstärken ermittelt. Die Besatzung und deren Grundheuern können den Richtlinien der Seeberufsgenossenschaft entsprechend wie folgt eingeteilt werden:

Kapitän	1.500 DM pro Monat
Arzt	1.000 DM pro Monat
Erster Offizier	1.110 DM pro Monat
Zweiter Offizier	880 DM pro Monat
Dritter Offizier	725 DM pro Monat
Vierter Offizier	660 DM pro Monat
1. Koch	490 DM pro Monat
2. Koch	375 DM pro Monat
Bäcker	375 DM pro Monat
Funker	935 DM pro Monat
Zimmermann	490 DM pro Monat
Bootsmann	490 DM pro Monat
Matrose	205 DM pro Monat
1. Steward	350 DM pro Monat
2. Steward	185 DM pro Monat
Messboy	120 DM pro Monat
Storekeeper	460 DM pro Monat
1. Ingenieur	1.310 DM pro Monat
2. Ingenieur	1.090 DM pro Monat
3. Ingenieur	880 DM pro Monat
4. Ingenieur	725 DM pro Monat
Ing.-Assistent	500 DM pro Monat
Maschinenwärter	400 DM pro Monat
Reiniger	350 DM pro Monat
Elektriker	725 DM pro Monat
El.-Assistent	500 DM pro Monat

Mit diesen Heuern und den erforderlichen Mannschaftsstärken erhält man die monatlichen Lohn- und Gehaltssummen, die für die verschiedenen Schiffstypen und Geschwindigkeiten in den folgenden Tabellen zusammengestellt sind. Zu den Summen der Grundheuern müssen verschiedene Zuschläge gemacht werden. Es müssen Überstunden und Urlaubsvertretungen berücksichtigt werden. Der Tarifurlaub beträgt z.Zt. 12 Tage pro Jahr. Dazu kommt für jeden Sonntag auf See ein weiterer Urlaubstag. Nimmt man an, dass die Schiffe etwa 75 % aller Sonntage im Jahr auf See sind, so ergeben sich jährlich 50 Urlaubstage pro Mann. Statt bei der Rechnung Urlaubsvertretungen anzusetzen, wird der zusätzliche Lohn hierfür prozentual auf die Grundheuern aufgeschlagen.

Ein weiterer Zuschlag muss für die Sozialabgaben gemacht werden, die der Arbeitgeber zu tragen hat. Hierzu zählen Abgaben für Altersversorgung, für Arbeitslosenunterstützung und für die Seeberufsgenossenschaft. Der Betrag ist abhängig vom monatlichen Lohn bzw. Gehalt. Ausserdem ist er von Land zu Land verschieden. Deshalb wird ein pauschaler Prozentsatz in Höhe von 14,2 % angenommen, damit ergibt sich ein Gesamtzuschlag von 30 %.

Die Verpflegungskosten ergeben sich aus der Mannschaftsstärke und einem Verpflegungssatz von DM 4,50 pro Mann und Tag.

In den folgenden Tabellen sind die Beträge für Löhne, Gehälter und Verpflegung für Tanker, Massengutfrachter und Schnellfrachter zusammengestellt. In den Kurvenblättern 21, 22 und 23 sind diese Kosten graphisch dargestellt.

Zum Kurvenblatt 23 ist folgendes zu bemerken: Die Besatzungsstärke für eine bestimmte Schiffgrösse nimmt mit sinkender Geschwindigkeit ab. Das kommt daher, dass sich das Maschinenpersonal infolge der kleineren Maschinenanlagen verringert. Dadurch wird auch das Bedienungspersonal weniger. Von einer bestimmten Maschinenleistung ab bleibt dann aber die Maschinenpersonalstärke konstant. Das ist bei den 12 000-tdw-Schnellfrachtern unterhalb von etwa 16 kn der Fall.

4.9 — Gebühren, Abgaben und Hafetriebskosten

(i) Gebühren und Abgaben

a) Allgemeines

Beim Anlaufen eines Hafens entstehen folgende Kosten:

- Hafengebühren
- Schlepper bei der Ankunft
- Schlepper bei der Abfahrt
- Agentengebühren
- Abgaben an den Lotsen bei der Ankunft
- Abgaben an den Lotsen bei der Abfahrt
- verschiedene andere Abgaben.

b) Gebühren und Abgaben im Hafen von Antwerpen

Im Kurvenblatt 24 werden die *Abgaben* in Antwerpen über der Tragfähigkeit aufgetragen. Sie werden über dem ganzen Geschwindigkeitsbereich konstant angenommen, weil es sich herausstellte, dass die Änderung mit der Geschwindigkeit vernachlässigbar klein ist.

Die *Hafengebühren* in Antwerpen sind von der Nettovermessung abhängig. Sie betragen 10 bfr. pro NRT. Der Wechselkurs wird wie folgt angenommen: 1 bfr. = 0,08 DM = EMA 0,02.

Die Vermessung wird für die Tanker den Kurvenblättern 25 und 26 und für die Massengutfrachter den Kurvenblättern 27 und 28 entnommen. Die Aufstellung dieser Kurvenblätter

Tanker

Mannschaft		60000 tdw						80000 tdw						100000 tdw					
		16 kn		18 kn		20 kn		16 kn		18 kn		20 kn		16 kn		18 kn		20 kn	
		Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer
		-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat
Kapitän	DM/Monat	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-
Arzt	DM/Monat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1000,-	-	-	1	1000,-	1	1000,-
1. Offizier	DM/Monat	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-
2. Offizier	DM/Monat	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-
3. Offizier	DM/Monat	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-
4. Offizier	DM/Monat	1	660,-	1	660,-	1	660,-	1	660,-	1	660,-	1	660,-	1	660,-	1	660,-	1	660,-
1. Koch	DM/Monat	1	490,-	1	490,-	1	490,-	1	490,-	1	490,-	1	490,-	1	490,-	1	490,-	1	490,-
2. Koch	DM/Monat	2	750,-	2	750,-	2	750,-	2	750,-	2	750,-	2	750,-	2	750,-	2	750,-	2	750,-
Bäcker	DM/Monat	1	375,-	1	375,-	1	375,-	1	375,-	1	375,-	1	375,-	1	375,-	1	375,-	1	375,-
Punker	DM/Monat	1	935,-	1	935,-	1	935,-	1	935,-	1	935,-	1	935,-	1	935,-	1	935,-	1	935,-
Zimmermann	DM/Monat	1	490,-	1	490,-	1	490,-	2	980,-	2	980,-	2	980,-	2	980,-	2	980,-	2	980,-
Bootsmann	DM/Monat	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-
Matrose	DM/Monat	12	2460,-	12	2460,-	12	2460,-	16	3280,-	16	3280,-	16	3280,-	16	3280,-	16	3280,-	16	3280,-
1. Steward	DM/Monat	1	350,-	1	350,-	1	350,-	1	350,-	1	350,-	1	350,-	1	350,-	1	350,-	1	350,-
2. Steward	DM/Monat	4	740,-	4	740,-	4	740,-	4	740,-	4	740,-	4	740,-	4	740,-	4	740,-	4	740,-
Massboy	DM/Monat	5	600,-	6	720,-	6	720,-	6	720,-	6	720,-	7	840,-	6	720,-	7	840,-	7	840,-
Storekeeper	DM/Monat	2	920,-	2	920,-	2	920,-	2	920,-	2	920,-	2	920,-	2	920,-	2	920,-	2	920,-
1. Ingenieur	DM/Monat	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-
2. Ingenieur	DM/Monat	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-
3. Ingenieur	DM/Monat	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-
4. Ingenieur	DM/Monat	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	2	1450,-
Ingenieurassistent	DM/Monat	5	2500,-	5	2500,-	6	3000,-	5	2500,-	6	3000,-	6	3000,-	5	2500,-	6	3000,-	6	3000,-
Maschinenwärter	DM/Monat	6	2400,-	6	2400,-	9	3600,-	6	2400,-	6	2400,-	8	3200,-	6	2400,-	8	3200,-	10	4000,-
Reiniger	DM/Monat	4	1400,-	6	2100,-	6	2100,-	4	1400,-	6	2100,-	6	2100,-	6	2100,-	6	2100,-	8	2800,-
Pumpenmann	DM/Monat	1	490,-	1	490,-	1	490,-	2	980,-	2	980,-	2	980,-	2	980,-	2	980,-	2	980,-
Elektriker	DM/Monat	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-
Elektriker-Ass.	DM/Monat	1	500,-	2	1000,-	2	1000,-	1	500,-	2	1000,-	2	1000,-	2	1000,-	2	1000,-	2	1000,-
gesamte Heuer	DM/Monat	60	26475,-	64	27795,-	68	29495,-	67	27695,-	71	29395,-	76	31500,-	70	29595,-	76	32200,-	82	34610,-
Heuer + 30% Zuschl.	DM/Monat		34418,-		36134,-		38344,-		36004,-		38214,-		40950,-		38474,-		41860,-		44993,-
Verpflegung	DM/Monat		8100,-		8640,-		9180,-		9045,-		9585,-		10260,-		9450,-		10260,-		11070,-
Gesamtsumme	DM/Monat		42518,-		44774,-		47524,-		45049,-		47799,-		51210,-		47924,-		52120,-		56063,-
Gesamtsumme	DM/Tag		1403,-		1478,-		1568,-		1487,-		1577,-		1690,-		1581,-		1720,-		1850,-

Massengutfrachter

Mannschaft		20 000 tdw						40 000 tdw						65 000 tdw					
		16 kn		18 kn		20 kn		16 kn		18 kn		20 kn		16 kn		18 kn		20 kn	
		Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer
		-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat
Kapitän	DM/Monat	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-
Arzt	DM/Monat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. Offizier	DM/Monat	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-
2. Offizier	DM/Monat	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-
3. Offizier	DM/Monat	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-
4. Offizier	DM/Monat	1	660,-	1	660,-	1	660,-	1	660,-	1	660,-	1	660,-	1	660,-	1	660,-	1	660,-
1. Koch	DM/Monat	1	490,-	1	490,-	1	490,-	1	490,-	1	490,-	1	490,-	1	490,-	1	490,-	1	490,-
2. Koch	DM/Monat	1	375,-	1	375,-	1	375,-	2	750,-	2	750,-	2	750,-	2	750,-	2	750,-	2	750,-
Bäcker	DM/Monat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	375,-	1	375,-	1	375,-	1	375,-
Funker	DM/Monat	1	935,-	1	935,-	1	935,-	1	935,-	1	935,-	1	935,-	1	935,-	1	935,-	1	935,-
Zimmermann	DM/Monat	1	490,-	1	490,-	1	490,-	2	980,-	2	980,-	2	980,-	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-
Bootsmann	DM/Monat	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-
Matrose	DM/Monat	9	1845,-	9	1845,-	3	1845,-	10	2050,-	10	2050,-	10	2050,-	12	2460,-	12	2460,-	12	2460,-
1. Steward	DM/Monat	1	350,-	1	350,-	1	350,-	1	350,-	1	350,-	1	350,-	1	350,-	1	350,-	1	350,-
2. Steward	DM/Monat	2	370,-	2	370,-	2	370,-	3	555,-	3	555,-	3	555,-	4	740,-	4	740,-	4	740,-
Measboy	DM/Monat	2	240,-	2	240,-	2	240,-	3	360,-	3	360,-	3	360,-	5	600,-	6	720,-	6	720,-
Storekeeper	DM/Monat	1	460,-	1	460,-	1	460,-	1	460,-	1	460,-	1	460,-	2	920,-	2	920,-	2	920,-
1. Ingenieur	DM/Monat	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-
2. Ingenieur	DM/Monat	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-
3. Ingenieur	DM/Monat	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-	1	880,-
4. Ingenieur	DM/Monat	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-
Ingenieurassistent	DM/Monat	3	1500,-	3	1500,-	4	2000,-	4	2000,-	4	2000,-	4	2000,-	5	2500,-	6	3000,-	7	3500,-
Maaschinenwärter	DM/Monat	3	1200,-	4	1600,-	5	2000,-	5	2000,-	6	2400,-	7	2800,-	6	2400,-	7	2800,-	9	3600,-
Reiniger	DM/Monat	2	700,-	3	1050,-	3	1050,-	5	1750,-	6	2100,-	7	2450,-	5	1750,-	6	2100,-	7	2450,-
Elektriker	DM/Monat	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-	1	725,-
Elektriker-Ass.	DM/Monat	-	-	-	-	-	-	1	500,-	1	500,-	1	500,-	1	500,-	1	500,-	1	500,-
gesamte Heuer	DM/Monat	40	20030,-	42	20780,-	44	21680,-	52	24255,-	54	25005,-	57	26130,-	62	27315,-	66	28785,-	70	30335,-
Heuer + 30% Zuschl.	DM/Monat		26039,-		27014,-		28184,-		31532,-		32507,-		33969,-		35510,-		37291,-		39436,-
Vorpfliegung	DM/Monat		5400,-		5670,-		5940,-		7020,-		7290,-		7695,-		8370,-		8910,-		9450,-
Gesamtsumme	DM/Monat		31439,-		32684,-		34124,-		38552,-		39797,-		41664,-		43880,-		46201,-		48886,-

Schnellfrachter

Mannschaft		12000 tdw					
		16 kn		18 kn		20 kn	
		Anz.	Heuer	Anz.	Heuer	Anz.	Heuer
		-	DM/Monat	-	DM/Monat	-	DM/Monat
Kapitän	DM/Monat	1	1500,-	1	1500,-	1	1500,-
Arzt	DM/Monat	-	-	-	-	-	-
1. Offizier	DM/Monat	1	1110,-	1	1110,-	1	1110,-
2. Offizier	DM/Monat	1	880,-	1	880,-	1	880,-
3. Offizier	DM/Monat	1	725,-	1	725,-	1	725,-
4. Offizier	DM/Monat	1	660,-	1	660,-	1	660,-
1. Koch	DM/Monat	1	490,-	1	490,-	1	490,-
2. Koch	DM/Monat	1	375,-	1	375,-	1	375,-
Bäcker	DM/Monat	-	-	-	-	-	-
Funker	DM/Monat	1	935,-	1	935,-	1	935,-
Zimmermann	DM/Monat	1	490,-	1	490,-	1	490,-
Bootsmann	DM/Monat	3	1470,-	3	1470,-	3	1470,-
Matrose	DM/Monat	9	1845,-	9	1845,-	9	1845,-
1. Steward	DM/Monat	1	350,-	1	350,-	1	350,-
2. Steward	DM/Monat	2	370,-	2	370,-	2	370,-
Messboy	DM/Monat	1	120,-	1	120,-	1	120,-
Storekeeper	DM/Monat	1	460,-	1	460,-	1	460,-
1. Ingenieur	DM/Monat	1	1310,-	1	1310,-	1	1310,-
2. Ingenieur	DM/Monat	1	1090,-	1	1090,-	1	1090,-
3. Ingenieur	DM/Monat	1	880,-	1	880,-	1	880,-
4. Ingenieur	DM/Monat	1	725,-	1	725,-	1	725,-
Ingenieurassistent	DM/Monat	3	1500,-	3	1500,-	3	1500,-
Maschinenwärter	DM/Monat	2	800,-	2	800,-	4	1600,-
Reiniger	DM/Monat	1	350,-	2	700,-	2	700,-
Elektriker	DM/Monat	1	725,-	1	725,-	1	725,-
Elektriker-Ass.	DM/Monat	-	-	-	-	-	-
gesamte Heuer	DM/Monat	37	18790,-	38	19140,-	40	19940,-
Heuer + 30% Zuschl.	DM/Monat		24427,-		24882,-		25922,-
Verpflegung	DM/Monat		4995,-		5130,-		5400,-
Gesamtsumme	DM/Monat		29422,-		30012,-		31322,-
Gesamtsumme	DM/Tag		981,-		1000,-		1044,-

basiert auf einer Veröffentlichung von Wegner. Die Kurven werden für die grossen Schiffe extrapoliert. Es zeigte sich, dass die Abhängigkeit von der Geschwindigkeit vernachlässigbar klein ist. Deshalb wurden die Kurven für eine mittlere Geschwindigkeit von 16 kn gezeichnet. Die Toleranz von 16 kn auf 12 kn bzw. von 16 kn auf 20 kn beträgt etwa $\pm 3\%$.

In den folgenden Tabellen werden die Gebühren und Abgaben im Antwerpener Hafen für die Tanker und die Massengutfrachter zusammengestellt.

Tanker

	60.000 tdw	80.000 tdw	100.000 tdw
Lotse, Ankunft	1.800 DM	1.920 DM	2.040 DM
Lotse, Abfahrt	1.400 DM	1.540 DM	1.680 DM
Hafengebühren	17.200 DM	22.480 DM	28.000 DM
Schlepper, Ankunft	17.600 DM	20.000 DM	22.400 DM
Schlepper, Abfahrt	9.600 DM	12.000 DM	14.400 DM
Agent	3.920 DM	4.960 DM	6.000 DM
Verschiedenes	400 DM	600 DM	800 DM
Summe :	51.920 DM	63.500 DM	75.320 DM

Massengutfrachter

	20.000 tdw	40.000 tdw	65.000 tdw
Lotse, Ankunft	1.420 DM	1.640 DM	1.830 DM
Lotse, Abfahrt	1.070 DM	1.280 DM	1.440 DM
Hafengebühren	6.800 DM	13.200 DM	20.960 DM
Schlepper, Ankunft	12.030 DM	14.960 DM	18.200 DM
Schlepper, Abfahrt	4.600 DM	7.120 DM	10.200 DM
Agent	1.780 DM	2.880 DM	4.180 DM
Verschiedenes	180 DM	300 DM	450 DM
Summe :	27.880 DM	41.380 DM	57.260 DM

c) Gebühren und Abgaben in Venezuela

Entsprechend Veröffentlichungen in der Zeitschrift Hansa belaufen sich die Hafenkosten auf 0,4 venezolanische Bolivar pro NRT. (1 Bolivar = 1,194 DM = EMA 0,30).

Mit den Nettovermessungen entsprechend den Kurvenblättern 25 und 26 ergeben sich folgende Kosten: für die Tanker:

60 000 tdw — DM 10 221

80 000 tdw — DM 13 468

100 000 tdw — DM 16 716

d) Gebühren und Abgaben — Suez und Persischer Golf

Tanker bezahlen 15,5 pia. pro NRT in *Suez* als Kanalgebühren. Dabei wird die Nettovermessung um 30 % grösser als die internationale NRT-Vermessung angenommen (1 pia. = DN 0,115 = EMA 0,029).

Die Hafenkosten in *Mena Al Ahmadi* (Pers. Golf) betragen für jedes Schiff 180 £ Sterling (1 £ = DM 11,20 = EMA 2,80).

Weiterhin werden in diesem Hafen noch 1 £ 15 sh pro 100 NRT erhoben.

	60 000 tdw	80 000 tdw	100 000 tdw
<i>Gebühren</i>			
Mena Al Ahmadi			
Feste Kosten pro Schiff	DM 1 016	DM 1 016	DM 1 016
NRT-abhängige Kosten	DM 4 214	DM 5 508	DM 6 820
Suez			
NRT-abhängige Kosten	DM 49 778	DM 65 058	—
<i>Abgaben</i>			
Mena Al Ahmadi			
Agent	DM 392	DM 392	DM 392
Suezkanal			
Agent, Verschiedenes	DM 1 000	DM 1 400	—
<i>Total</i>	DM 56 400	DM 73 374	DM 8 228

e) Gebühren und Abgaben — La Serena de Chile

Massengutfrachter zahlen für Gebühren, Schlepper, Lotse usw. 0,2 chilenische Escudos pro NRT. (1 Esc. = DM 3,802 = EMA 0,95). Die Nettovermessung wird berechnet mit Hilfe der Kurvenblätter 27 und 28. Es ergeben sich folgende Kosten für den Massengutfrachter:

20 000 tdw — DM 6 460

40 000 tdw — DM 12 540

65 000 tdw — DM 19 910

f) Gebühren und Abgaben — Panamakanal

Massengutfrachter zahlen pro Durchfahrt \$ 60 an den Lotsen. Für beladene Schiffe werden \$ 0,90 und für Schiffe in Ballast \$ 0,72 pro NRT-Panama erhoben. Die Nettovermessung ist sehr unterschiedlich. Hier wird der höchste Wert angenommen, der etwa 30 % höher liegt als die internationale Vermessung (NRT).

Die Abgaben und Gebühren für den Kanal betragen
somit für den Massengutfrachter:

	<i>20 000 tdw</i>	<i>40 000 tdw</i>	<i>65 000 tdw</i>
NRT-abhängige Kosten			
— Schiffe beladen	DM 37 100	DM 71 300	DM 109 500
— Schiffe leer	DM 29 650	DM 57 000	DM 87 800
Lotse	DM 1 280	DM 1 280	DM 1 280
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
insgesamt	DM 68 030	DM 129 580	DM 198 580

g) Gebühren und Abgaben — Schnellfrachter

Die Gebühren und Abgaben für die Schnellfrachter sind der HAPAG entnommen. Sie sind ein Durchschnittswert für einen längeren Zeitraum berechnet und ergeben für die untersuchten Schiffe:

Australienreise	208 000 DM Reise
Amerikareise	94 000 DM Reise

In diesen Angaben sind nur reine Hafenkosten, Kanalgebühren und andere Gebühren und Abgaben enthalten, nicht aber die Kosten für die Be- und Entladung.

(ii) *Hafenbetriebskosten*

Unter „Hafenbetriebskosten“ sind die Brennstoffverbräuche der Hilfskessel und der Hilfsdiesel bei Hafenbetrieb zu verstehen. Die einzelnen Heizöl- bzw. Dieselölmengen sind in Kapitel 4.3 zusammengestellt. Bei der Berechnung der Kosten werden folgende Preise zugrunde gelegt:

Venezuela	60,— DM/t Heizöl
Mena Al Ahmadi	45,— DM/t Heizöl
Antwerpen	126,— DM/t Dieselöl
Panamakanalzone	94,— DM/t Dieselöl

Mit diesen Brennstoffpreisen werden die Hafenbetriebskosten ermittelt. Bei der Berechnung wird berücksichtigt, dass 20 % der gebunkerten Mengen als Reserve gelten und dadurch keine Kosten verursachen.

Die Hafenbetriebskosten ergeben sich für die verschiedenen Schiffstypen auf den verschiedenen Reiserouten wie folgt:

Tankerroute Antwerpen - Venezuela (Bunkerhafen in Venezuela):

60 000 tdw-Tanker	4 500 DM
80 000 tdw-Tanker	6 000 DM
100 000 tdw-Tanker	7 500 DM

Tankeroute Antwerpen - Persischer Golf (Bunkerhafen Mena Al Ahmadi)

60 000 tdw	3 400 DM
80 000 tdw	4 500 DM
100 000 tdw	5 600 DM

Massengutfrachter durch die Magellanstrasse (Bunkerhafen Antwerpen)

20 000 tdw	505 DM
40 000 tdw	760 DM
65 000 tdw	1 010 DM

Massengutfrachter durch den Panamakanal (Bunkerhafen Kanalzone)

20 000 tdw	380 DM
40 000 tdw	560 DM
65 000 tdw	750 DM

(iii) Gesamte Gebühren, Abgaben und Hafengebühren pro Rundreise

Die gesamten Kosten ergeben sich wie folgt: (DM)

	Abgaben Gebühren	Hafengebühren- kosten	Insgesamt
<i>Tanker (Venezuela)</i>			
60.000 tdw	62.141	4.500	66.641
80.000 tdw	76.968	6.000	82.968
100.000 tdw	92.036	7.500	99.536
<i>Tanker (Pers. Golf)</i>			
60.000 tdw	109.420	3.400	112.820
80.000 tdw	138.374	4.500	143.574
100.000 tdw	85.488	5.600	91.088
<i>Massengutfrachter (Magellanstrasse)</i>			
20.000 tdw	34.340	505	34.845
40.000 tdw	53.920	760	54.680
65.000 tdw	72.270	1.010	78.280
<i>Massengutfrachter (Panama)</i>			
20.000 tdw	102.370	505	102.875
40.000 tdw	183.500	760	184.260
65.000 tdw	275.750	1.010	276.760
<i>Schnellfrachter (USA und Australien)</i>			
Australien (12.000 tdw)			208.000
USA (12.000 tdw)			94.000

4.10 — Brennstoffkosten ⁽¹⁾

(i) Einleitung

Die Brennstoffverbräuche liegen gemäss Kapitel 4.3 um die Reserveprozente niedriger als die Vorräte. Der Schmierstoffverbrauch kann deshalb auch unter diesem Punkt berechnet werden, weil er ebenso wie der Brennstoffverbrauch von der Leistung abhängig ist.

Um die Kosten für die Brenn- und Schmierstoffe berechnen zu können, müssen zunächst die einzelnen Preise ermittelt werden. Die Brennstoffpreise werden in DM pro t Diesel- bzw. Schweröl ausgedrückt. Die Schmierstoffe werden auf die Tonne Brennstoff bezogen. Nimmt man einen spezifischen Schmierölverbrauch von 0,75 g/WPSH und einen Preis von 1 300 DM/t Schmieröl an, so beträgt der Mehrpreis 5,40 DM/t Brennstoff. Dem Brennstoff muss weiterhin ein Additiv beigegeben werden, um die bei der Verbrennung von Schweröl anfallenden Verkokungsrückstände so gering wie möglich zu halten. Bei einer zugesetzten Menge von 1/4 l pro t Schweröl und einem Additivpreis von 3,90 DM/l erhöht sich der Mehrpreis um 0,90 DM/t Schweröl.

Bei der Berechnung des Brennstoffpreises muss ferner berücksichtigt werden, dass — wie unter 4.3. erwähnt — etwa 7 % der Fahrzeit mit Dieselöl und 93 % mit Schweröl gefahren wird.

Mit Hilfe der einzelnen Preisanteile und mit den Fahrzeiten lässt sich der Brennstoffpreis wie folgt berechnen:

$$P_{Br} = 0,07 P_{Diesel} + 0,93 (P_{Schweröl} + P_{Add.}) + P_{Schmieröl}$$

(ii) Tanker

Auf der Tankerroute Antwerpen - Venezuela soll in Puerto de la Cruz gebunkert werden. Die Preise betragen dort

Dieselöl	84,56 DM/t
Schweröl	52,85 DM/t

Der gesamte Brennstoffpreis wird damit 64,10 DM/t.

Die Tanker, die vom Persischen Golf Erdöl holen, sollen in Mena Al Ahmadi bunkern. Dort sind die Brennstoffpreise am niedrigsten.

Dieselöl	95,20 DM/t
Schweröl	44,80 DM/t

Der gesamte Brennstoffpreis ergibt sich zu 54,60 DM/t.

(iii) Massengutfrachter

Die Massengutfrachter, die durch die Magellanstrasse nach Chile fahren, sollen in Antwerpen bunkern, weil die Preise in Chile sehr hoch sind. So kostet beispielsweise dort 1 t Schweröl etwa 121 DM, also 50 % mehr als in Antwerpen. Die Preise in Antwerpen sind zur Zeit:

Dieselöl	126,28 DM/t
Schweröl	80,36 DM/t.

Ausserdem ergibt sich durch die Bunkerung in Europa ein Vorteil für die beförderte Nutzladung. Der gesamte Brennstoffpreis errechnet sich zu 89,80 DM/t.

⁽¹⁾ Brennstoffpreis nach Essoppreisliste März 1962.

Die Massengutfrachter, die auf der Route Antwerpen - La Serena durch den Panamakanal fahren, bunkern in der Kanalzone. Dort liegen die Brennstoffpreise niedriger als in Antwerpen.

Dieselöl 94,40 DM/t

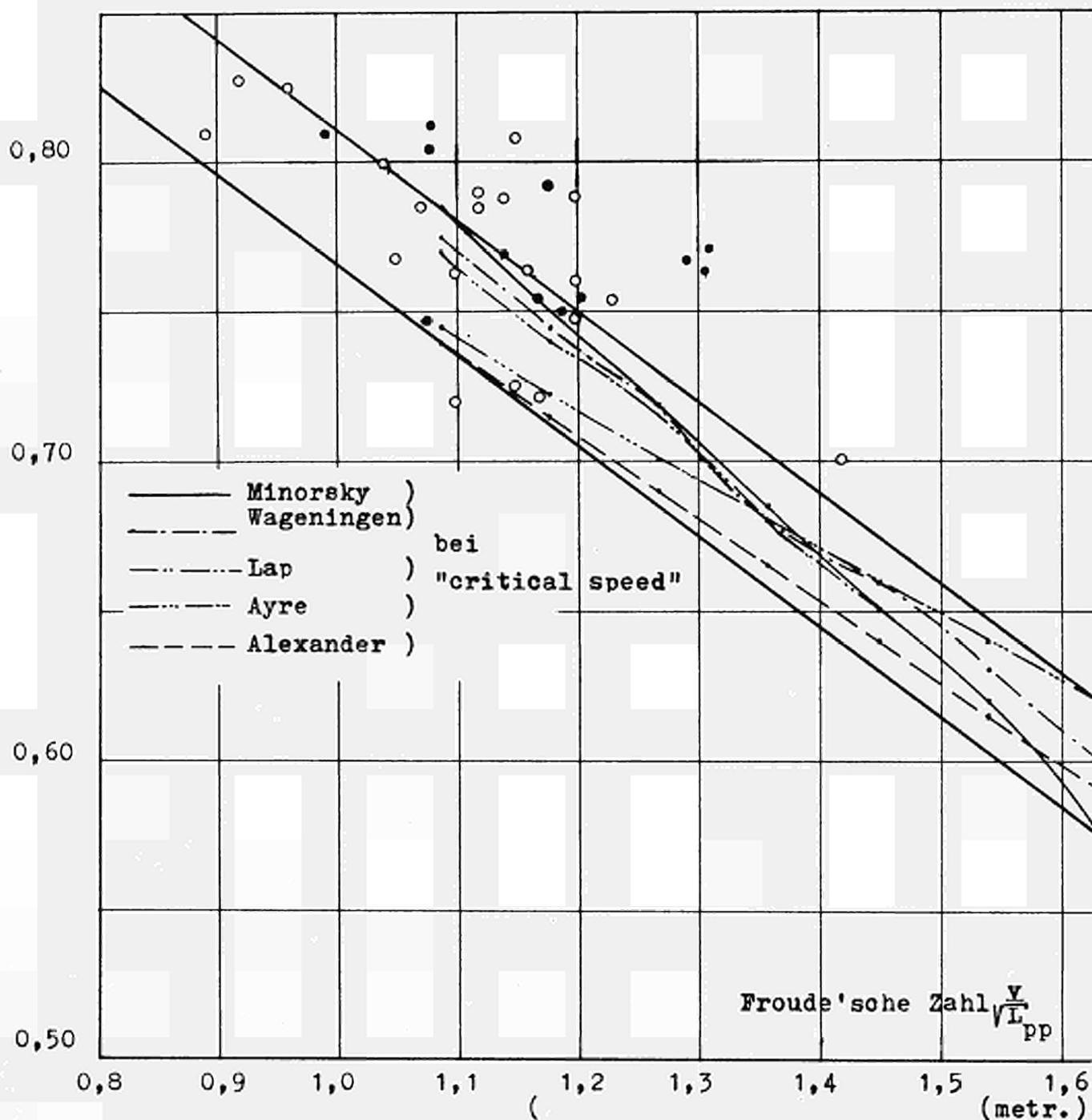
Schweröl 64,60 DM/t.

Mit der obenangeführten Formel wird der gesamte Brennstoffpreis zu 72,90 DM/t ermittelt.

(iv) *Schnellfrachter*

Für die Schnellfrachter wird der Brennstoffpreis für beide Reisen verschieden berechnet. Für die kurze Reise (Amerika) wird, den Angaben mehrerer Reeder entsprechend, angenommen, dass auf einer Rundreise nur einmal gebunkert wird. Das soll in den USA geschehen, da dort der Brennstoffpreis mit 70 DM/t für Dieselöl am niedrigsten ist. Dazu kommt noch ein Schmierölzuschlag von 5 DM/t, so dass der gesamte Brennstoffpreis 75 DM/t beträgt.

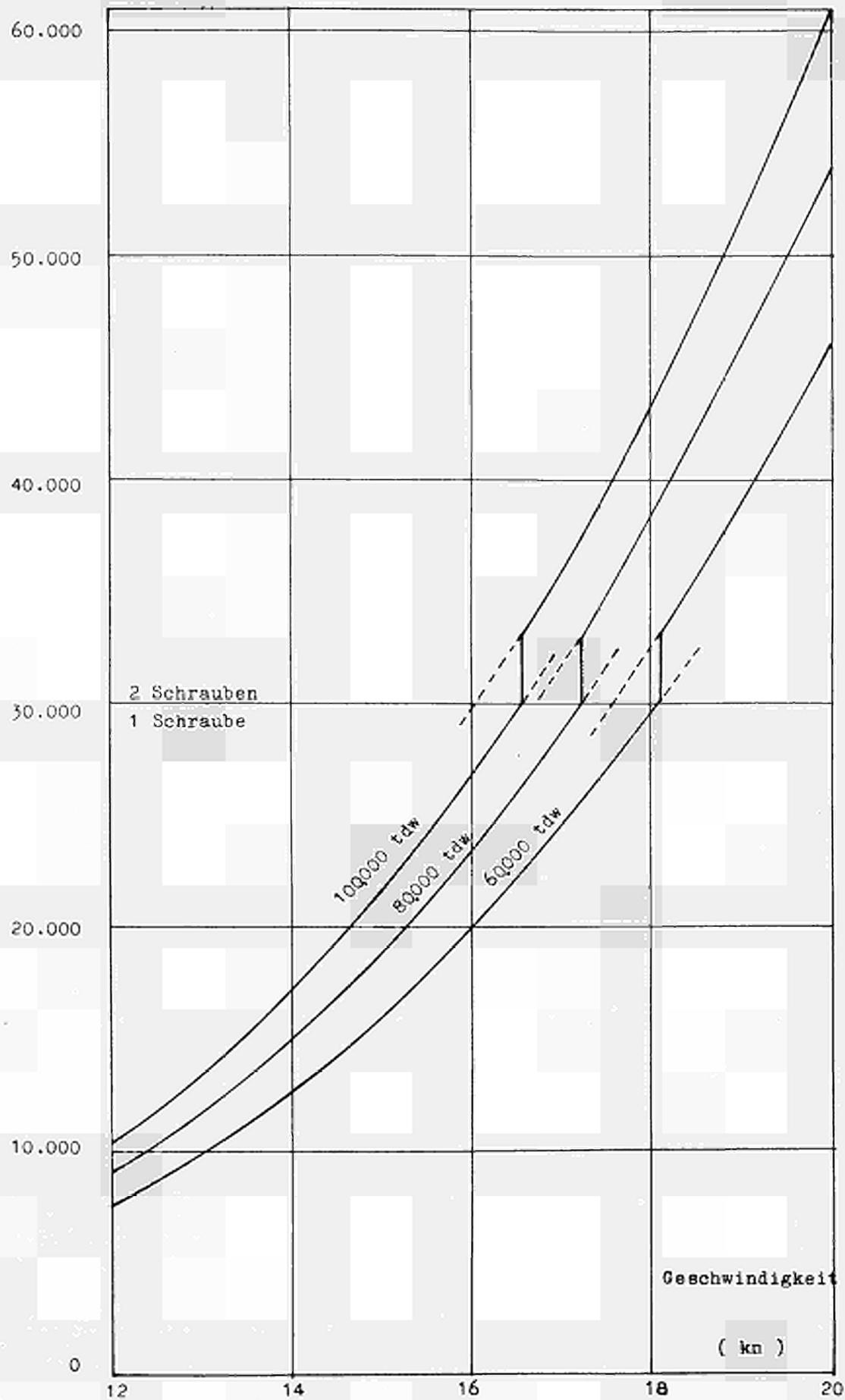
Für die lange Reise (Australien), auf der mehrfach gebunkert wird, wird ein Durchschnittspreis berechnet. Der Brennstoffpreis in den Häfen, die angelaufen werden, wird mit der Entfernung zum nächsten Hafen multipliziert. Das Ergebnis dividiert man dann durch die Gesamtstrecke. Damit ergibt sich ein Durchschnittspreis von 80 DM/t. Mit dem Schmierölzuschlag wird der zugrunde gelegte Brennstoffpreis 85 DM/t Dieselöl. Folgende Häfen werden auf der Australien-Route angelaufen: Hamburg, Rotterdam, Southampton, Genua, Alexandria, Aden, Colombo, Perth, Melbourne und Sydney.



Installierte Maschinenleistungen für Tankschiffe

Leistung (Wellen-PS)

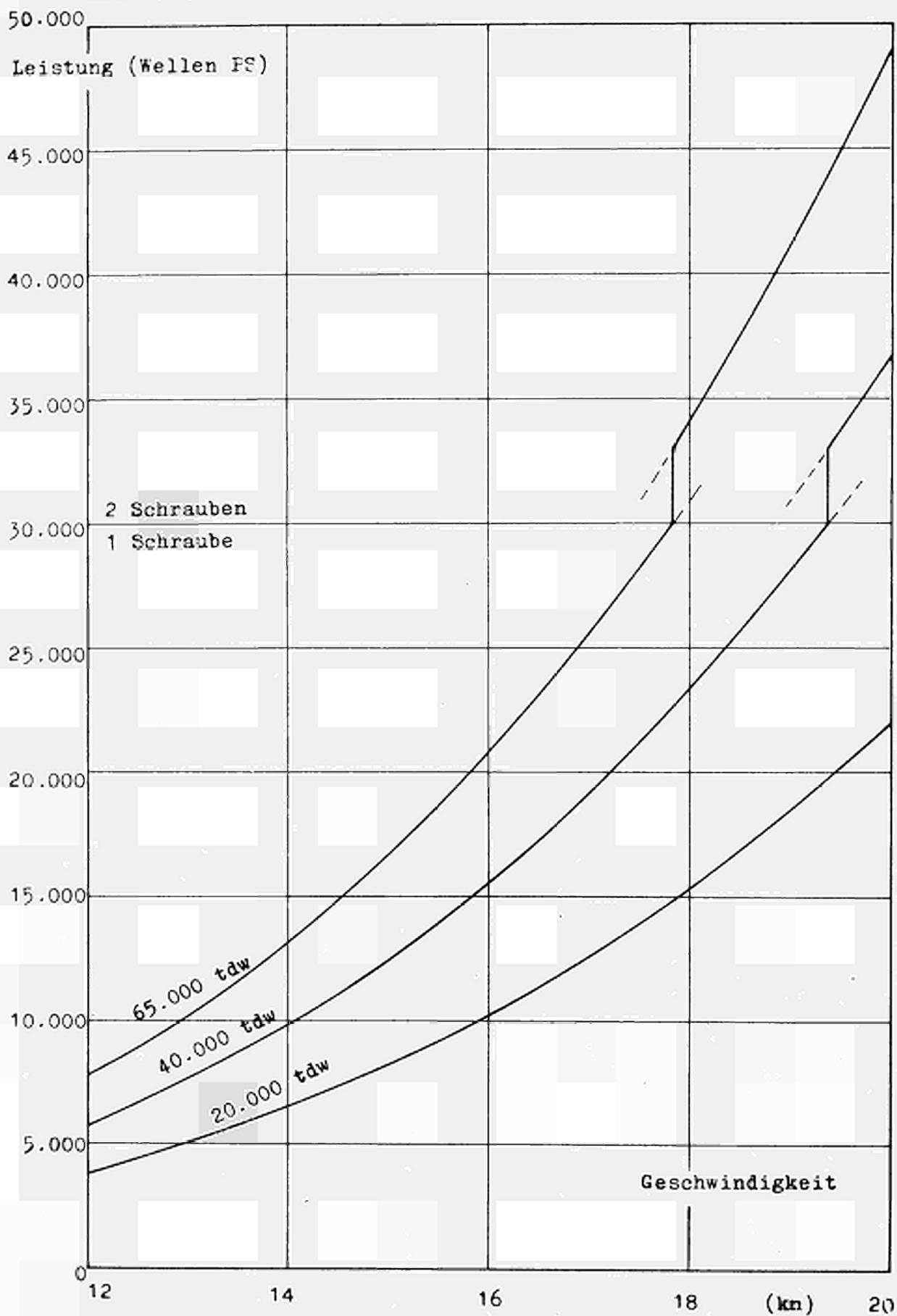
Kurvenblatt 2



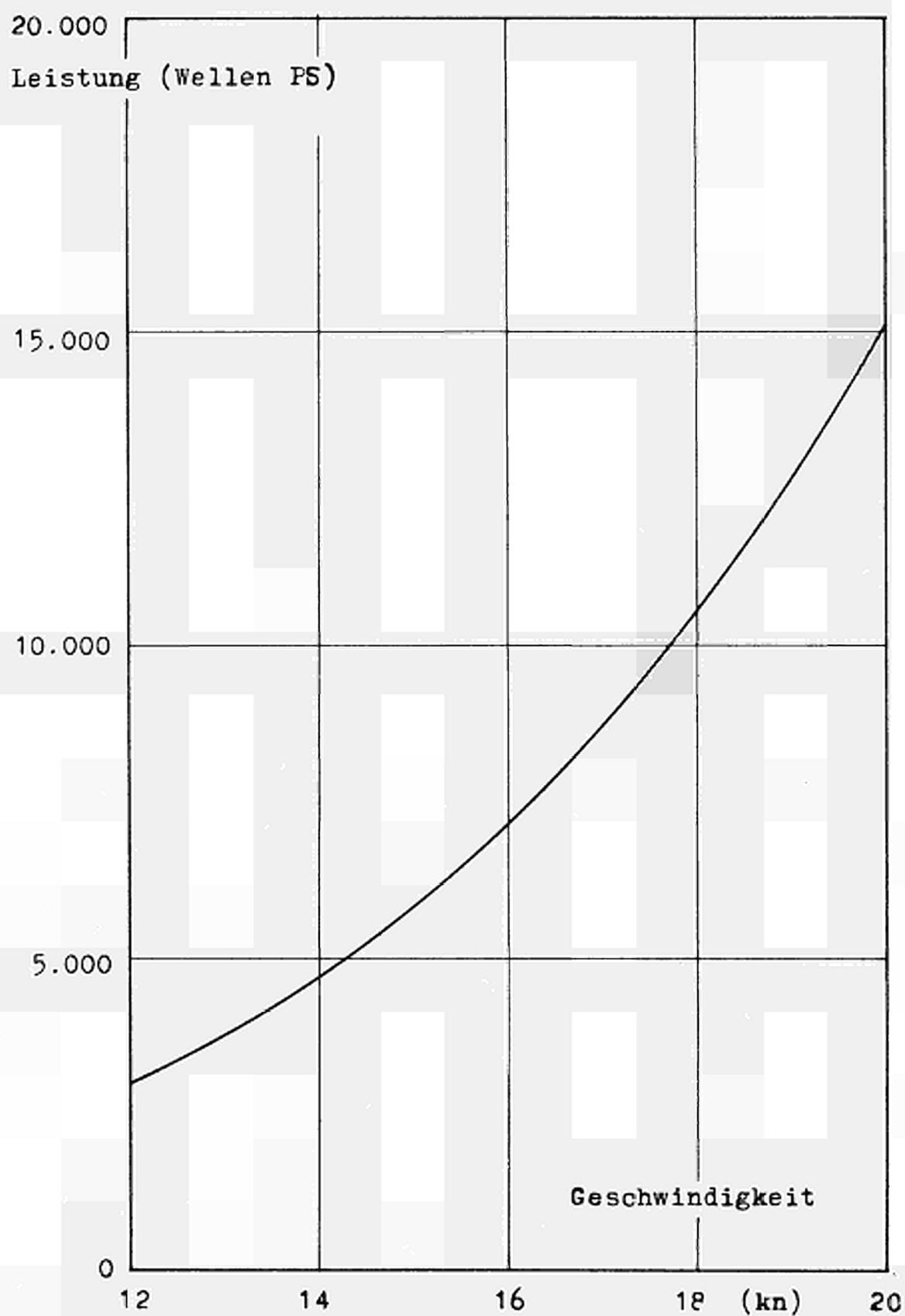
Geschwindigkeit

(kn)

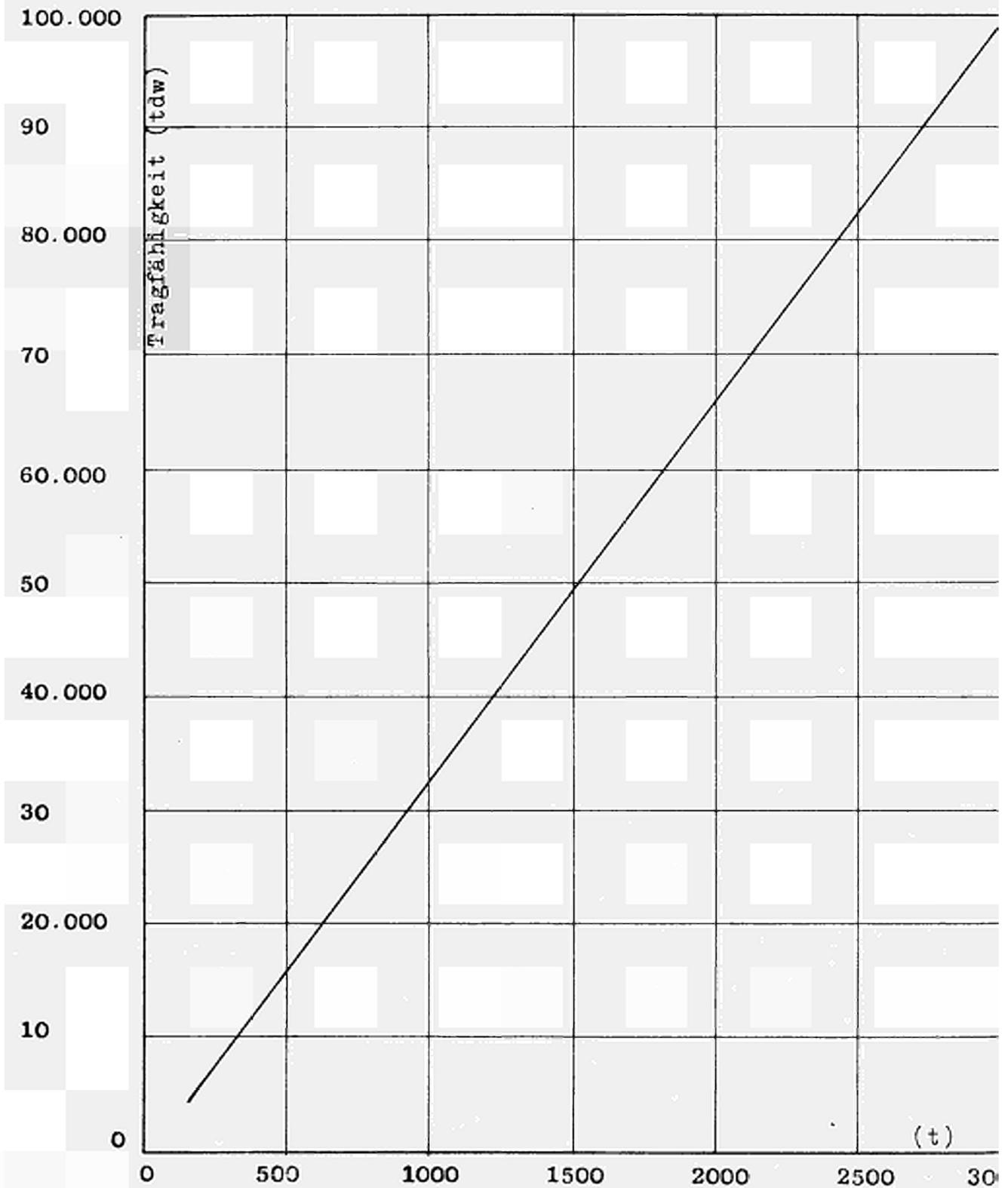
Installierte Leistung von Massengutfrachtern (Motorschiffe)



Installierte Leistung eines Schnellfrachters
(Motorschiff von 12 000 tdw)



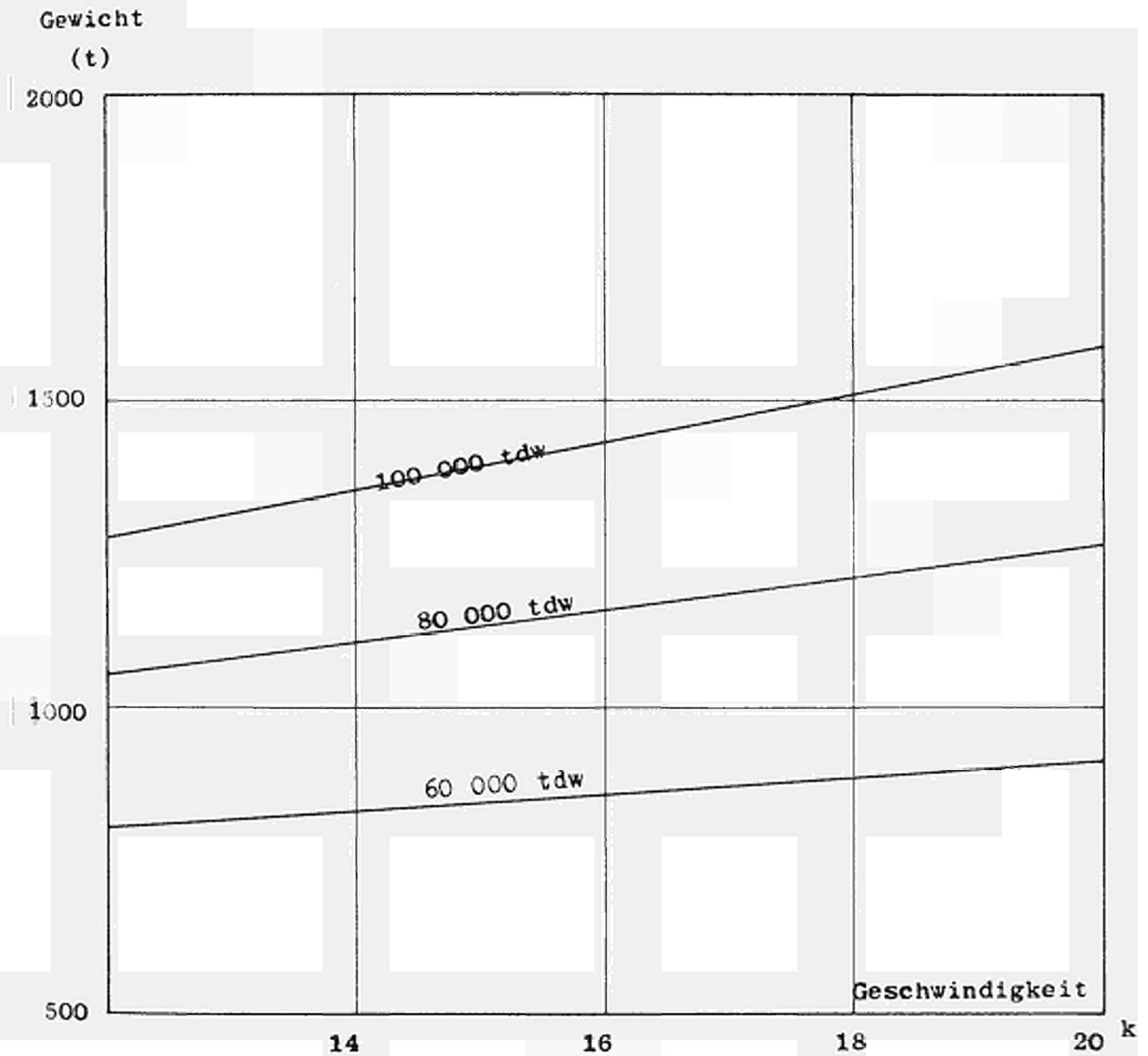
Änderung der Sommer-tdw bei
Tropen- und Wintertiefgang



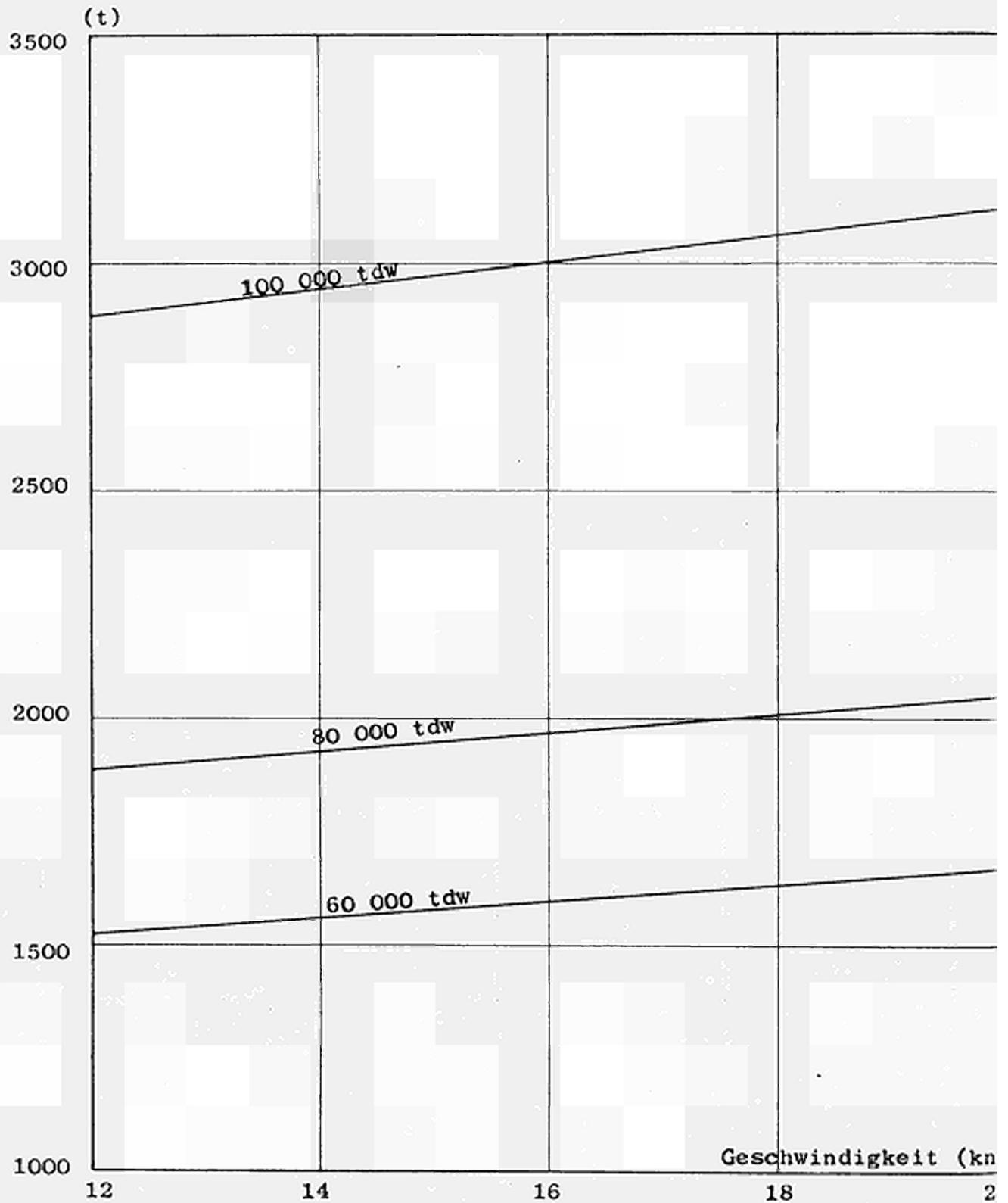
Kurvenblatt 6

Süßwasser, Proviant, Vorräte, Schmieröl
und Heizöl für die Hilfskessel

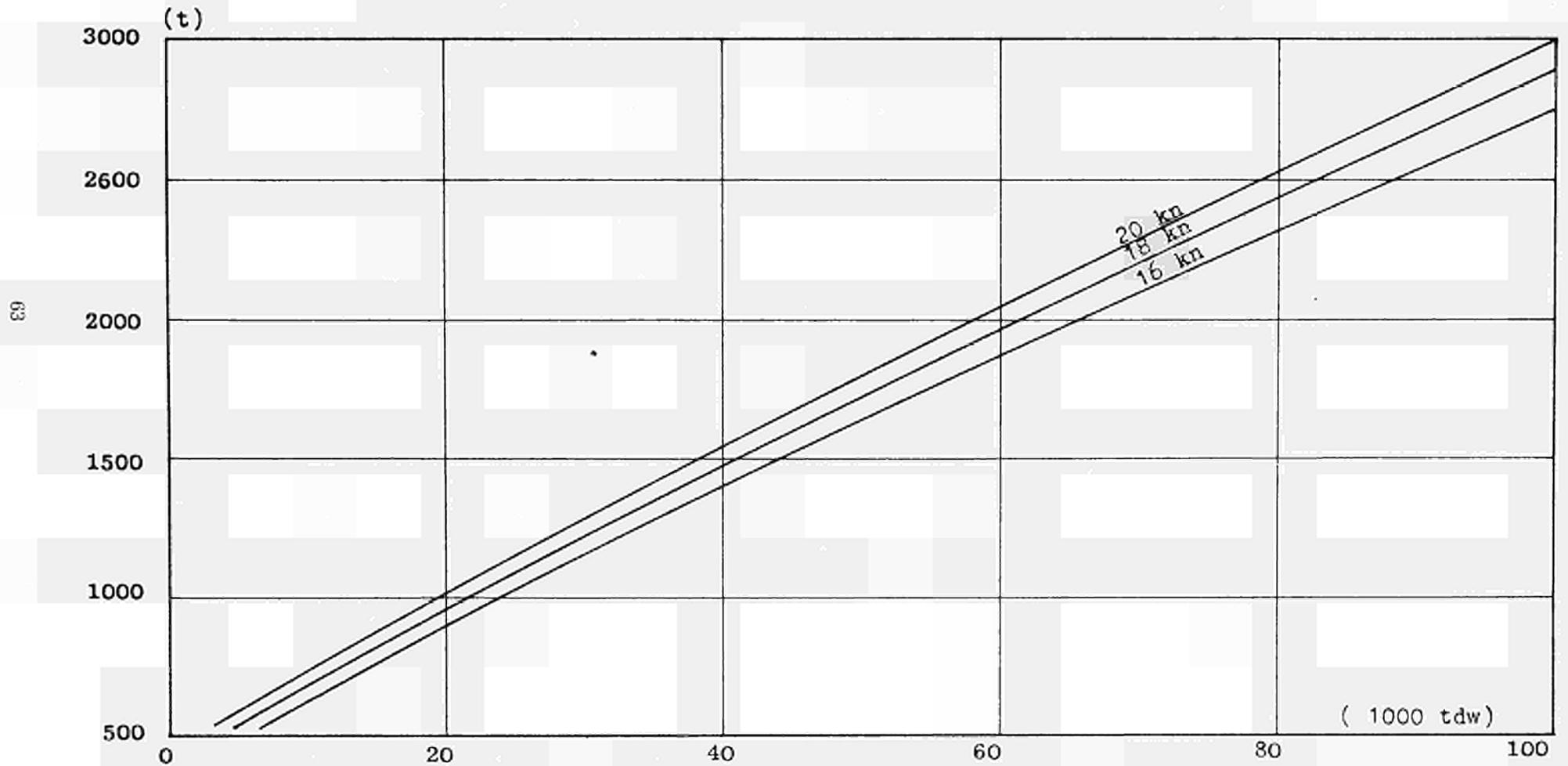
Tankeroute Antwerpen - Venezuela



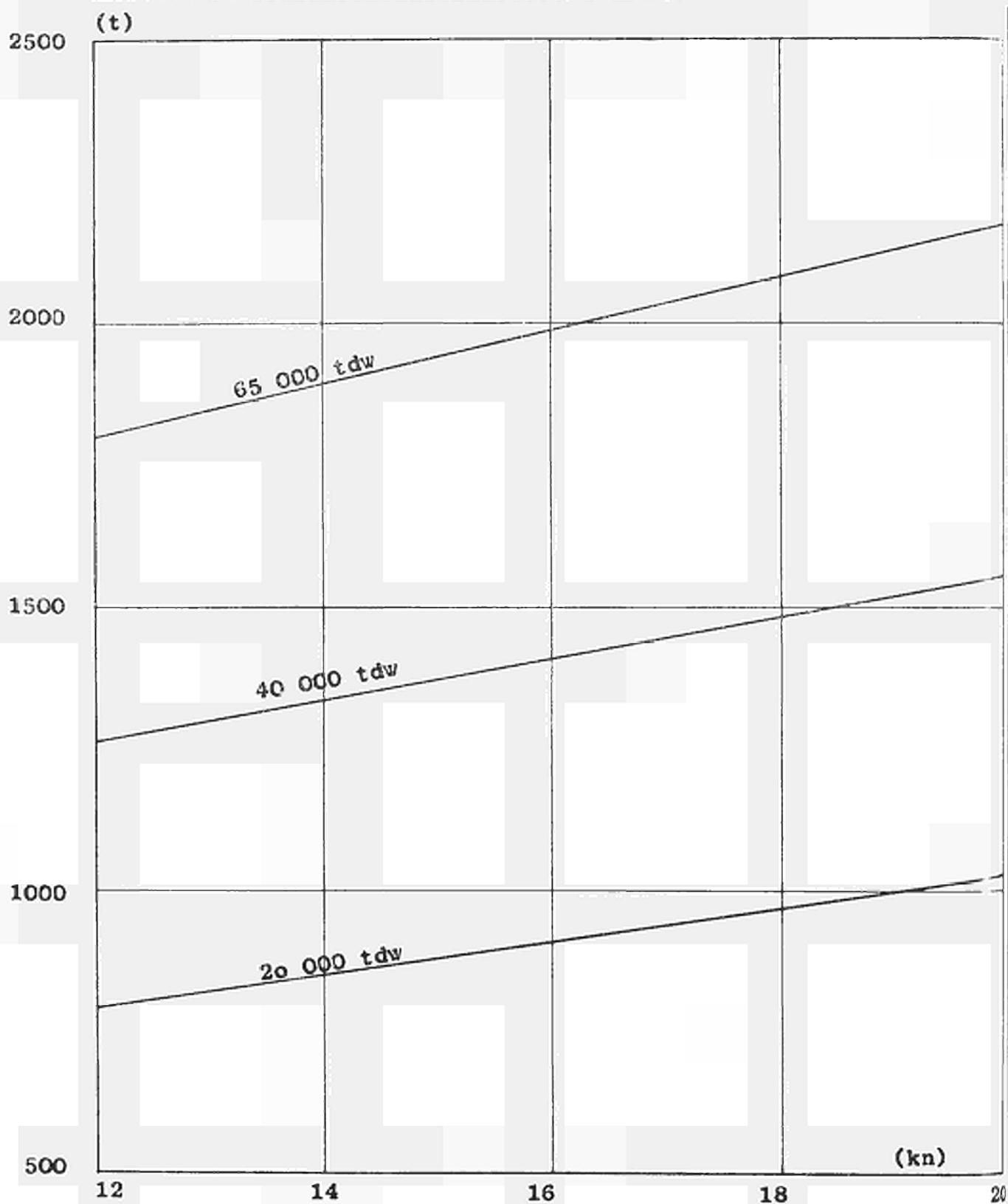
Süßwasser, Proviant, Vorräte, Heizöl
für Hilfskessel, Tankerroute: Antwerpen
- Pers.Golf



Süßwasser, Proviant, Vorräte (ohne Brennstoff für Hilfsmaschinen)
MF-Route: Antwerpen - Magellanstraße - La Serena

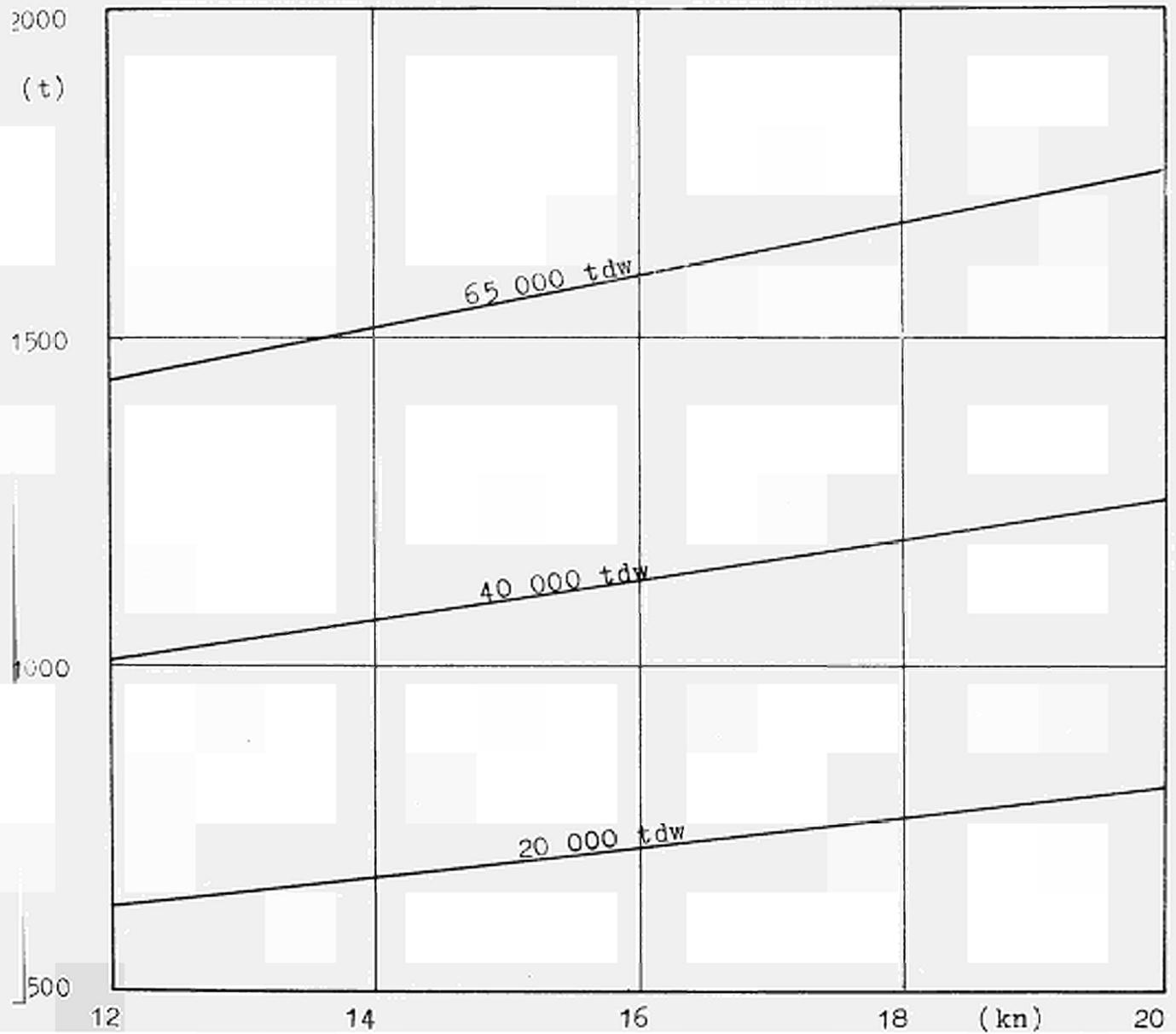


MF-Route: Antwerpen - Mag.str.- La Serena

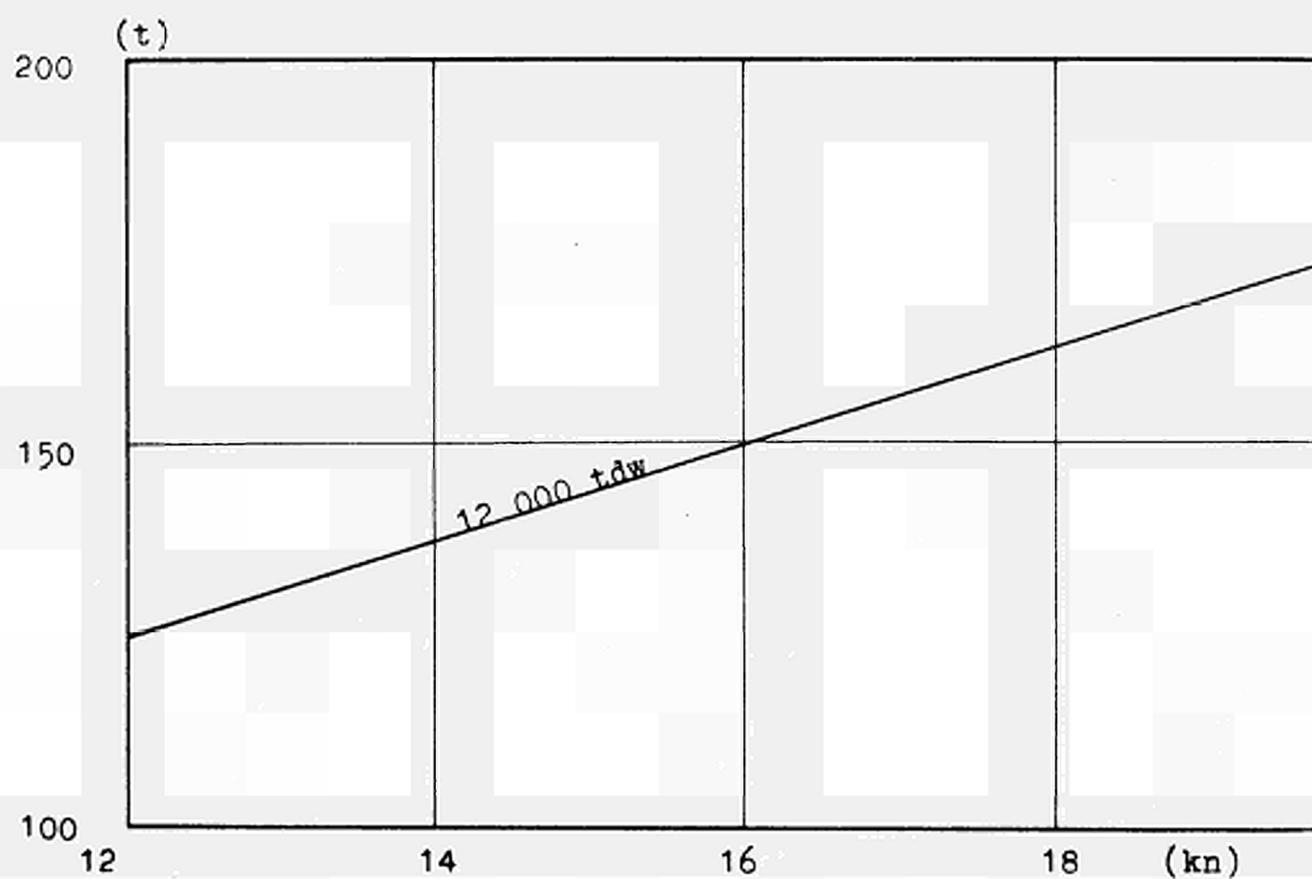


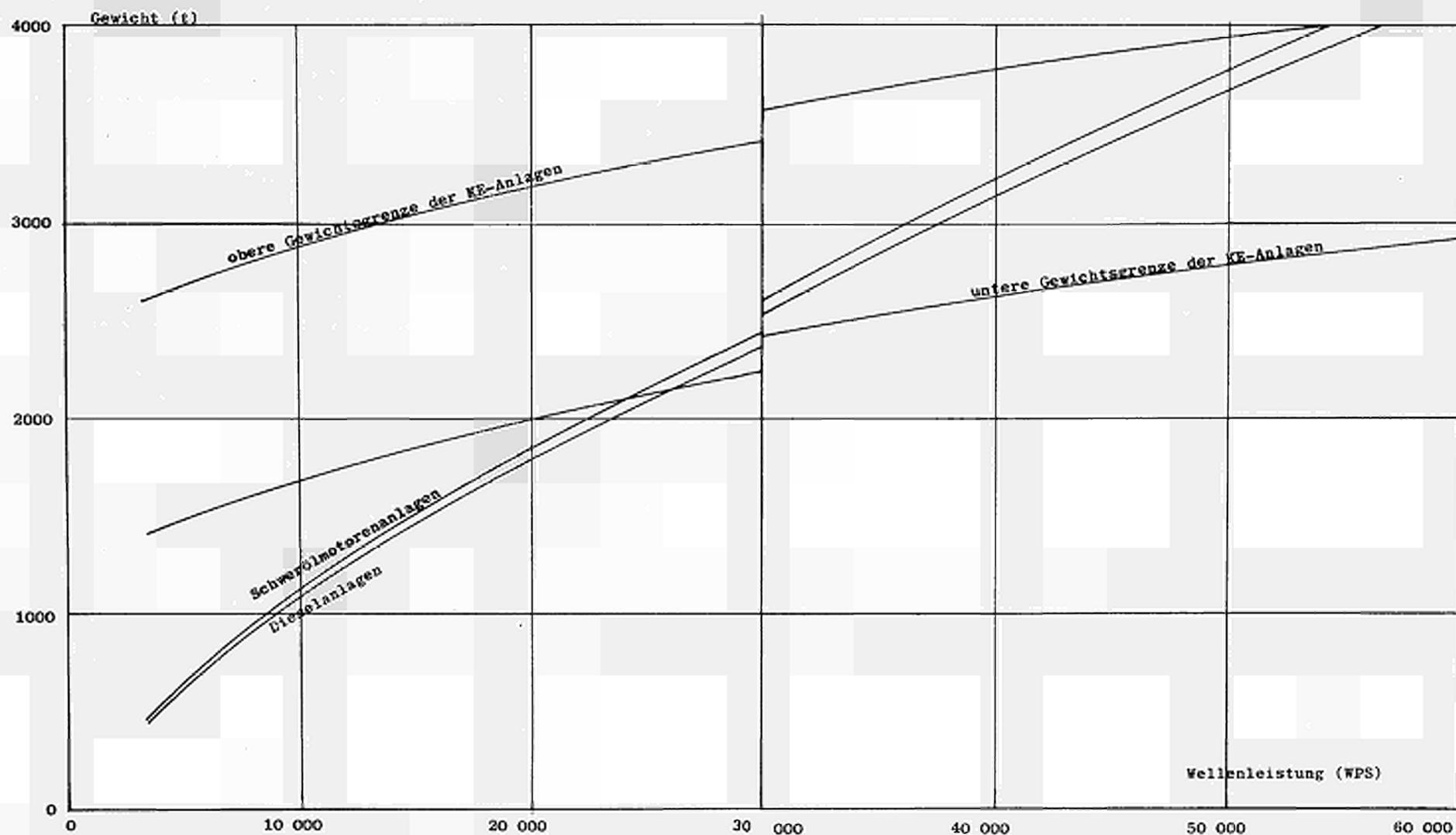
Kurvenblatt 10

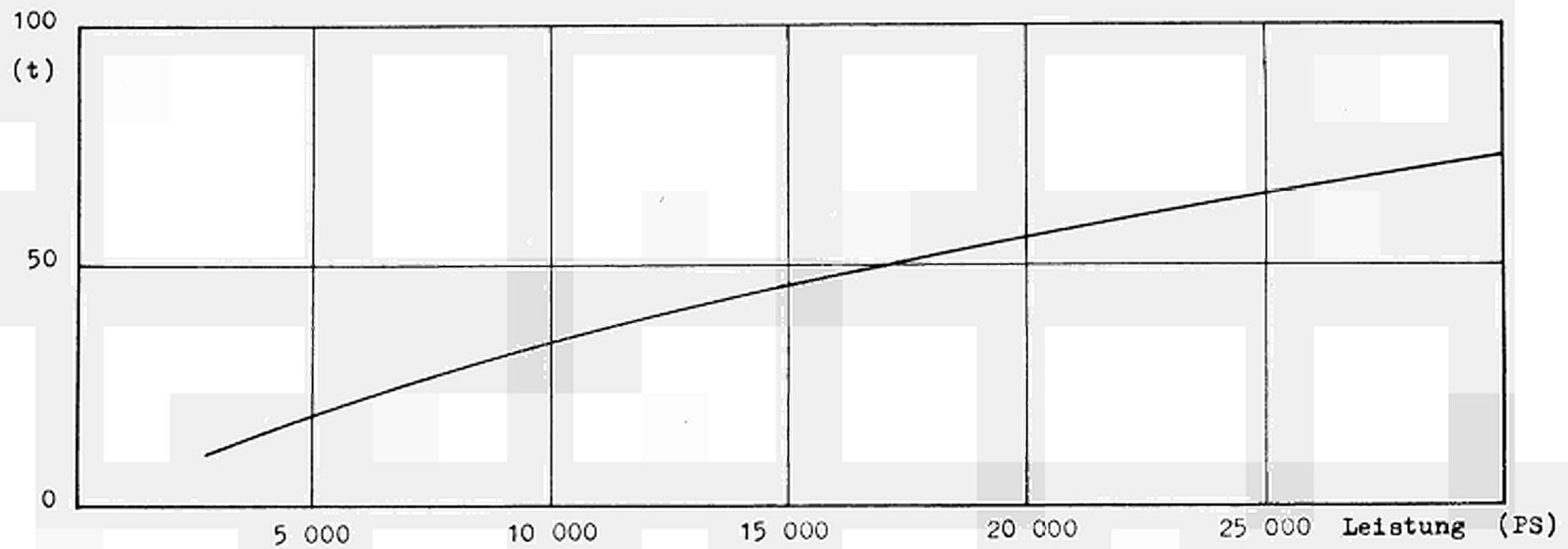
Süßwasser, Proviant, Vorräte, Brennstoff für Hilfsmaschinen
MF-Route: Antwerpen - Panamakanal - La Serena

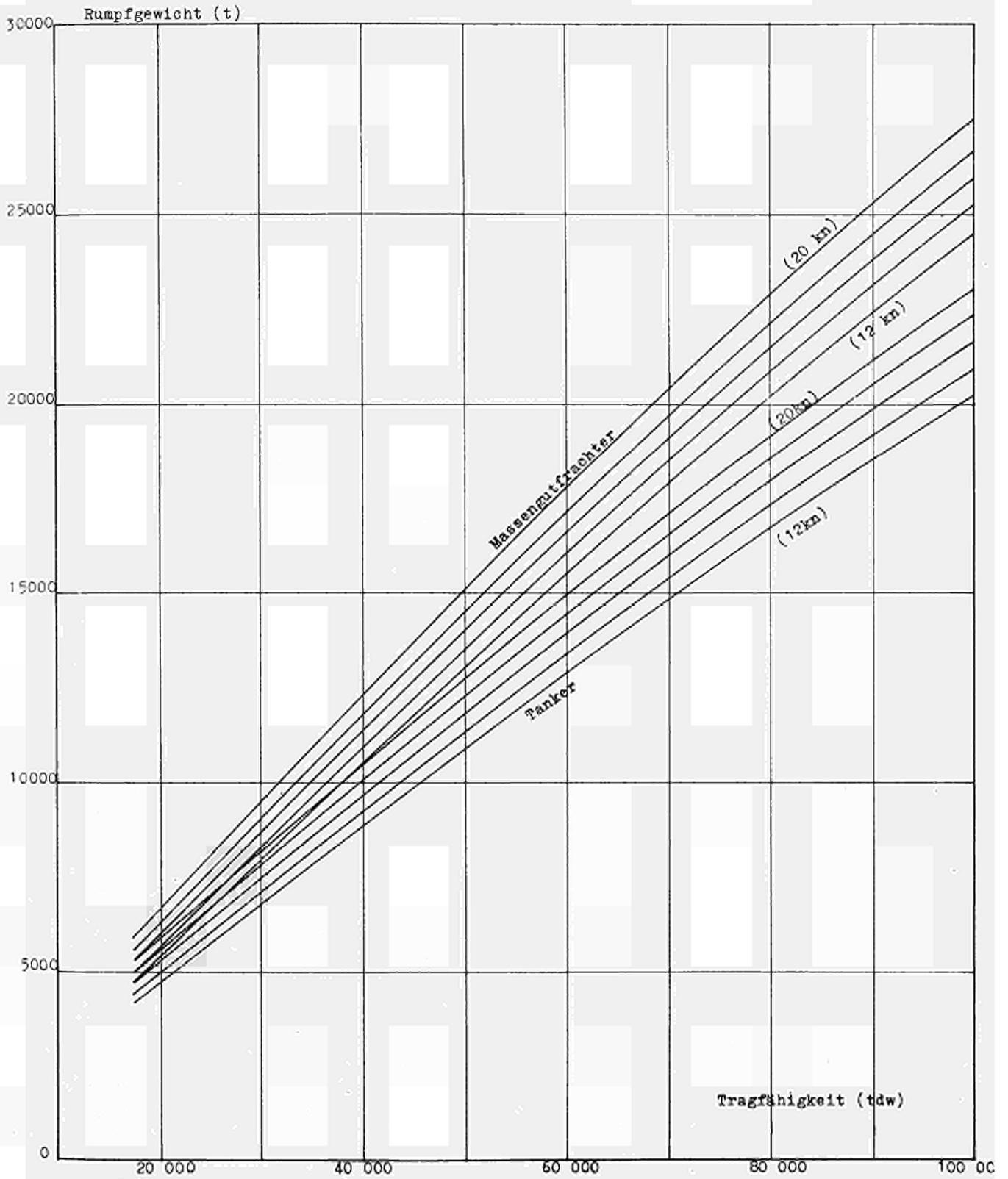


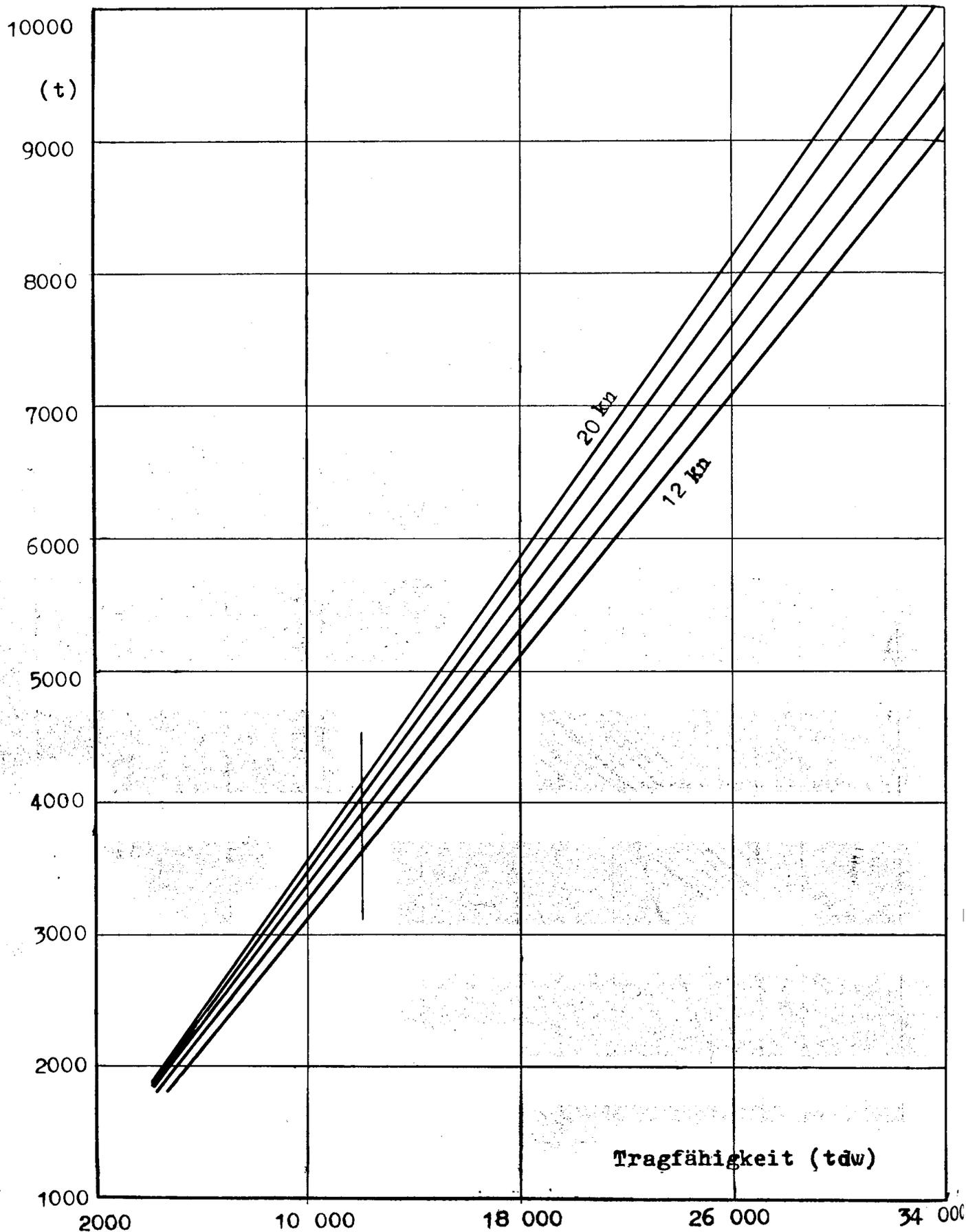
Süßwasser, Proviant, Vorräte und Brennstoff
für Hilfsmaschinen
Schnellfrachter Routen



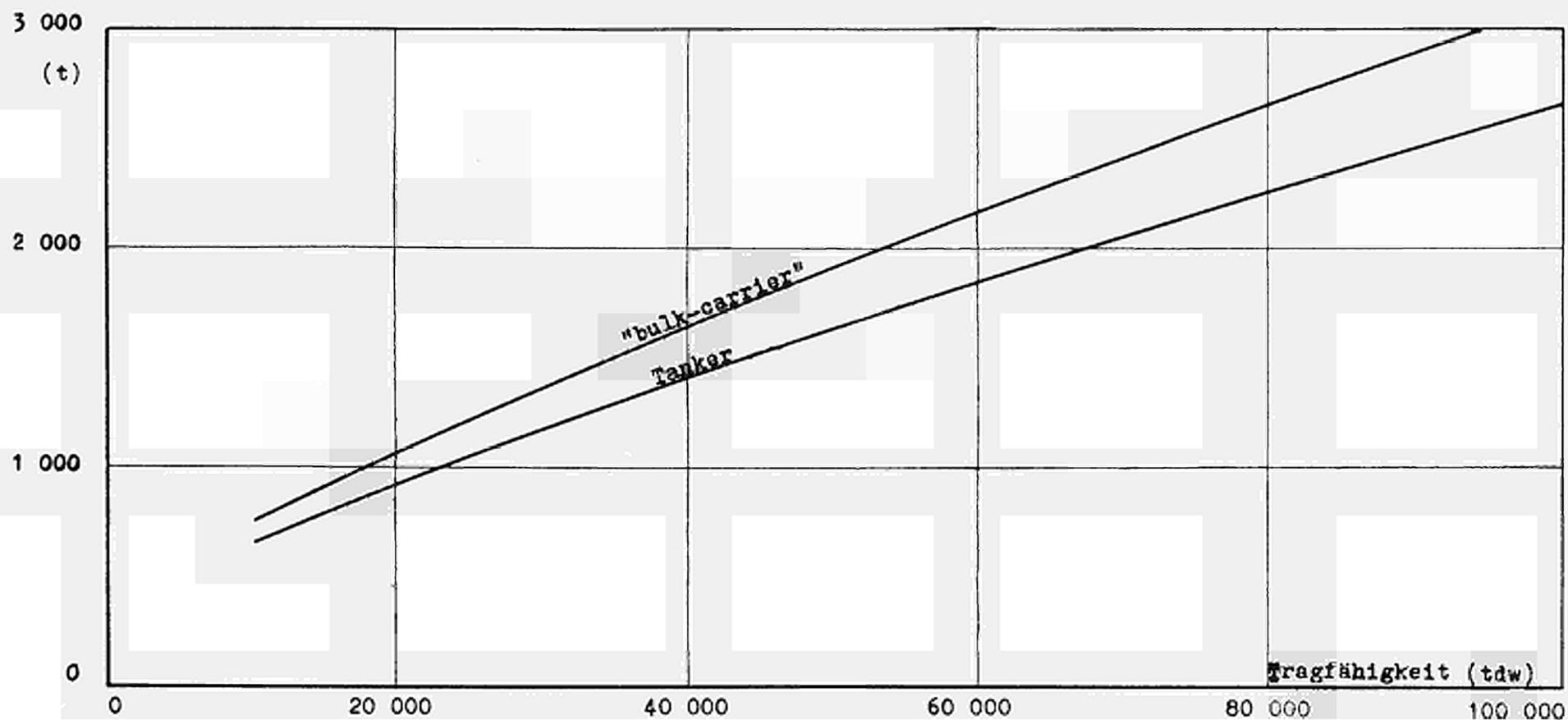


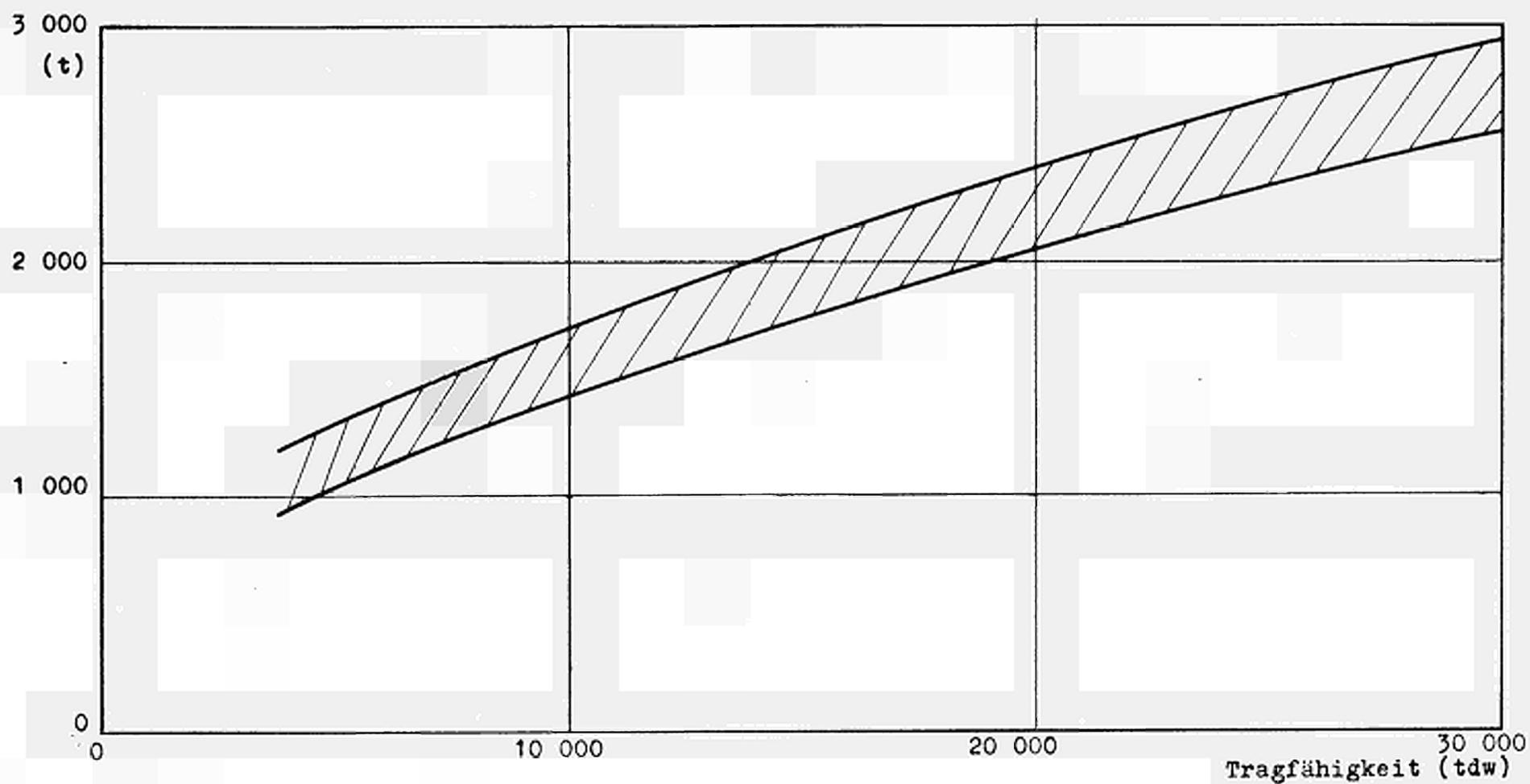
Mehrgewicht der Maschinenanlage eines Schwerölmotors gegenüber einem Dieselmotor





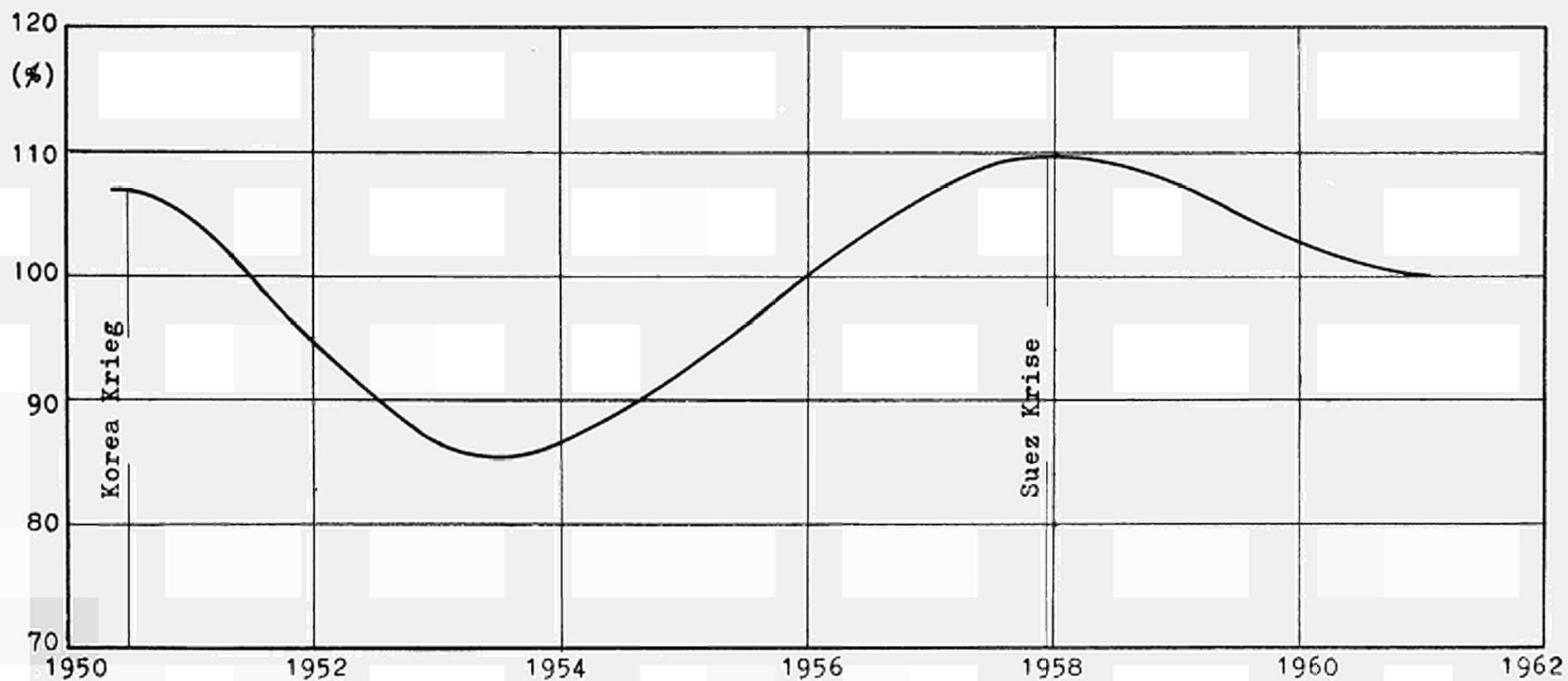
71





Schwankungen der Schiffbaupreise (1961=100%)

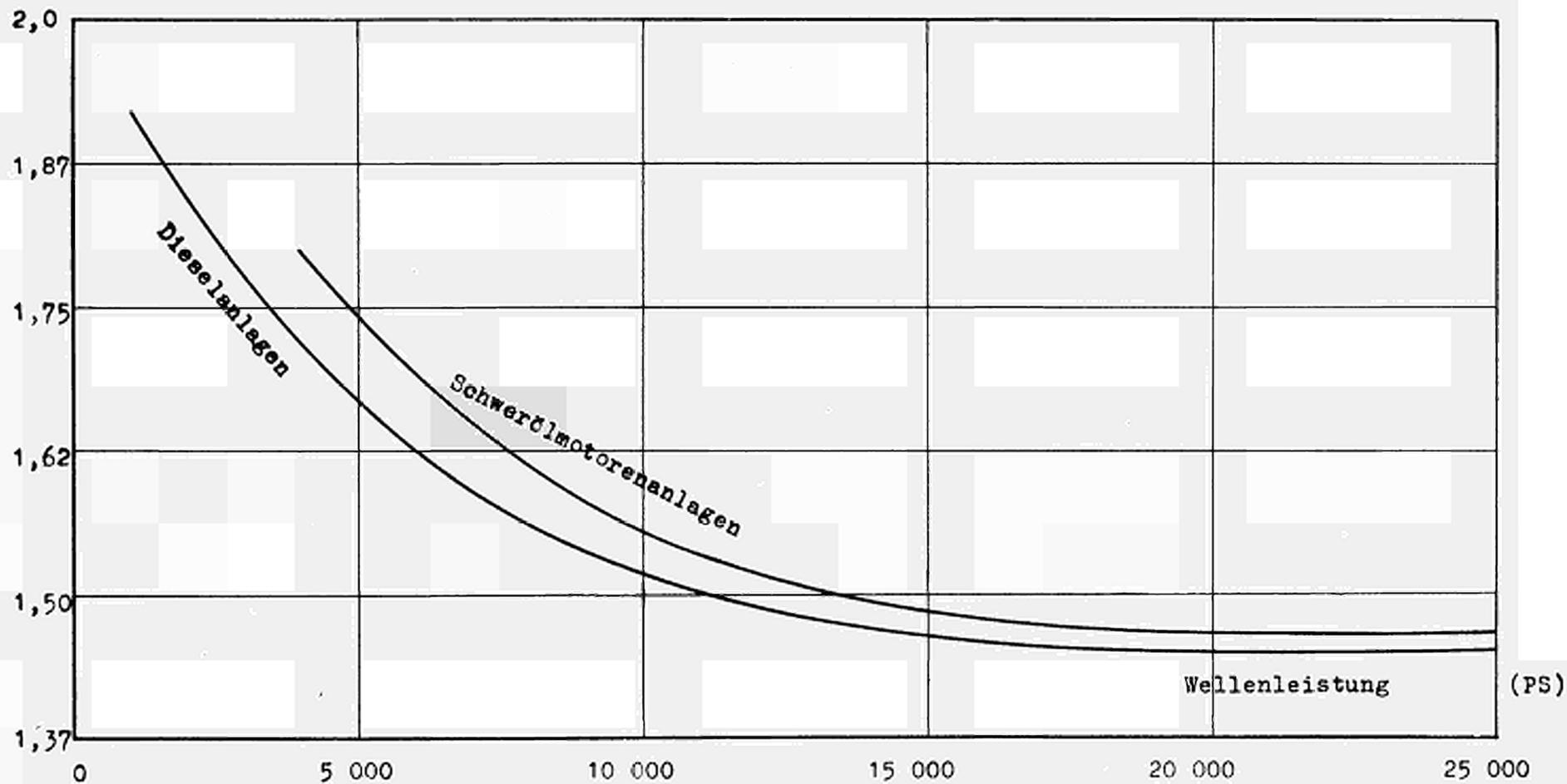
Kurvenblatt 18



(1)
(EMA)

Kilopreise betriebsfertiger Maschinenanlagen

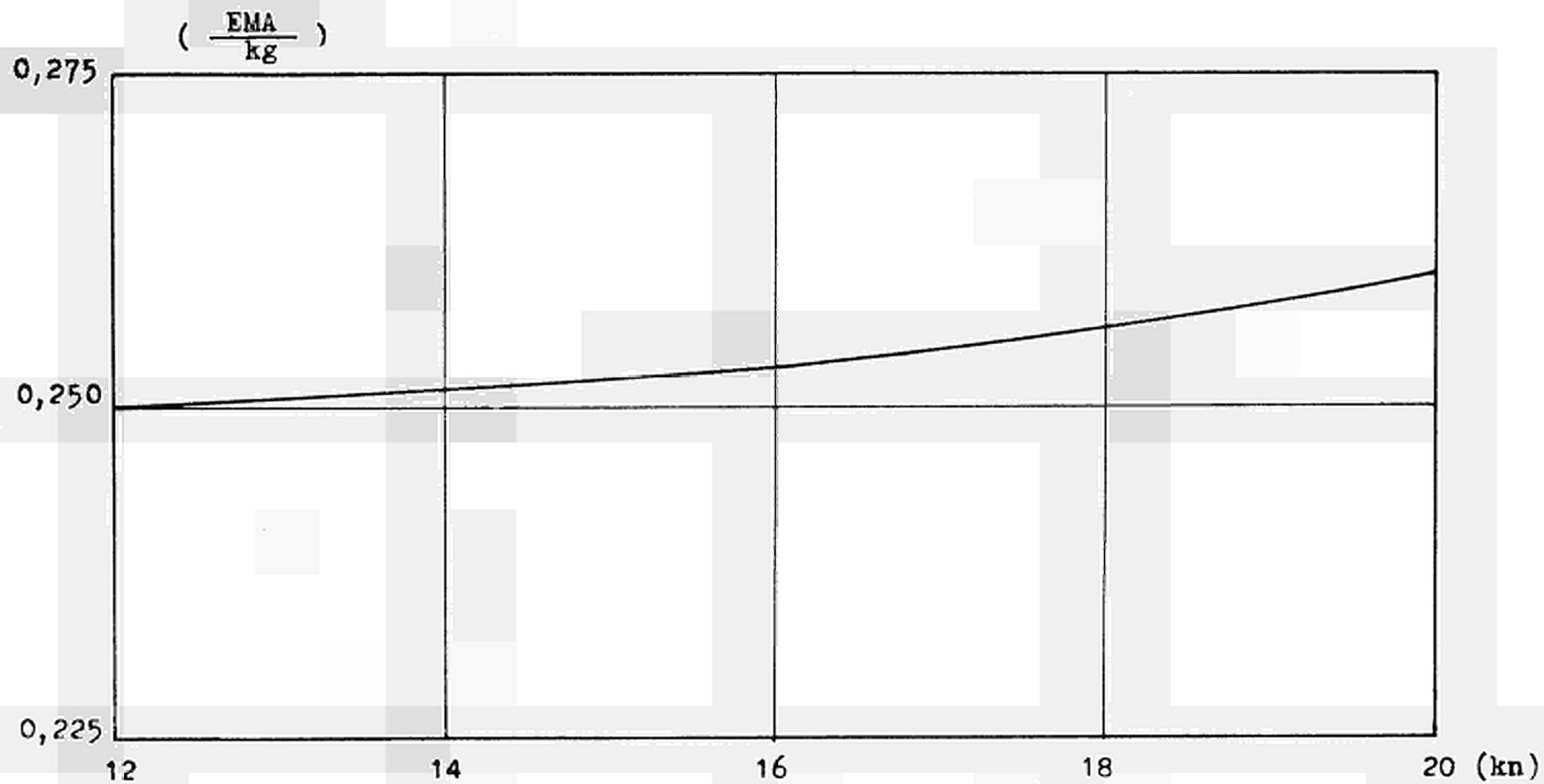
Kurvenblatt 19



(1) European Monetary Agreement Unit = 1 \$ US.

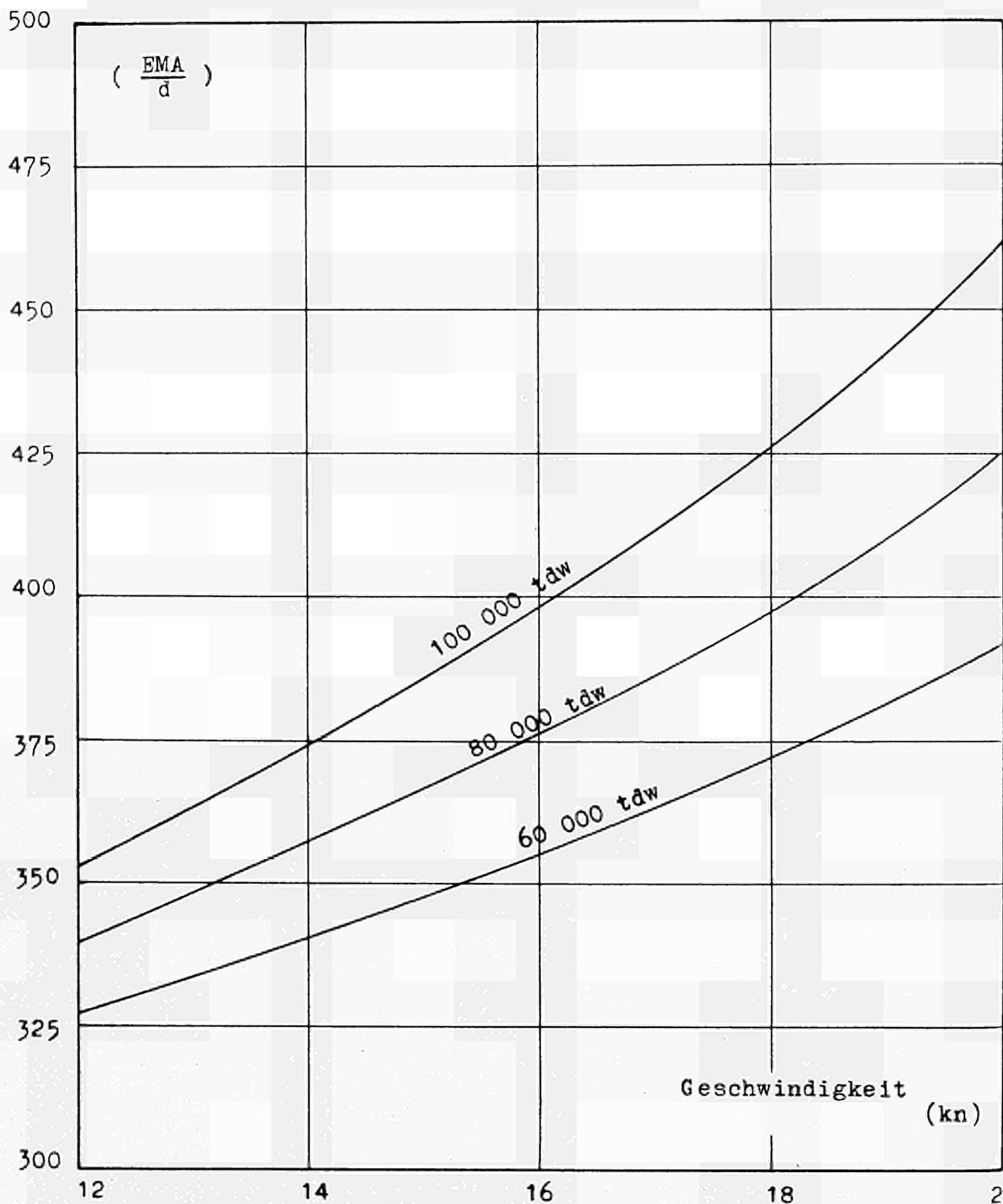
Spezifische Baukosten des Rumpfes

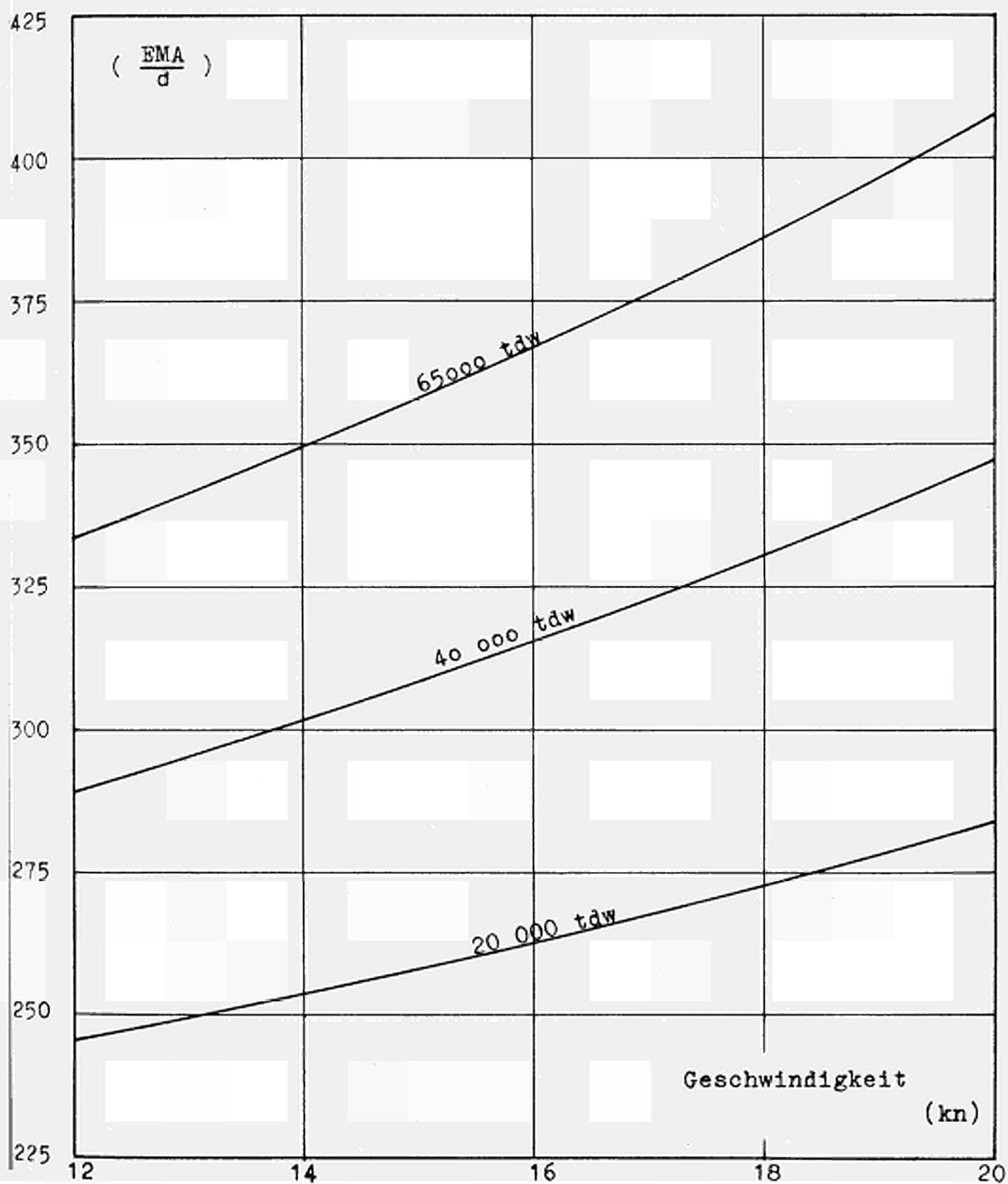
Kurvenblatt 20



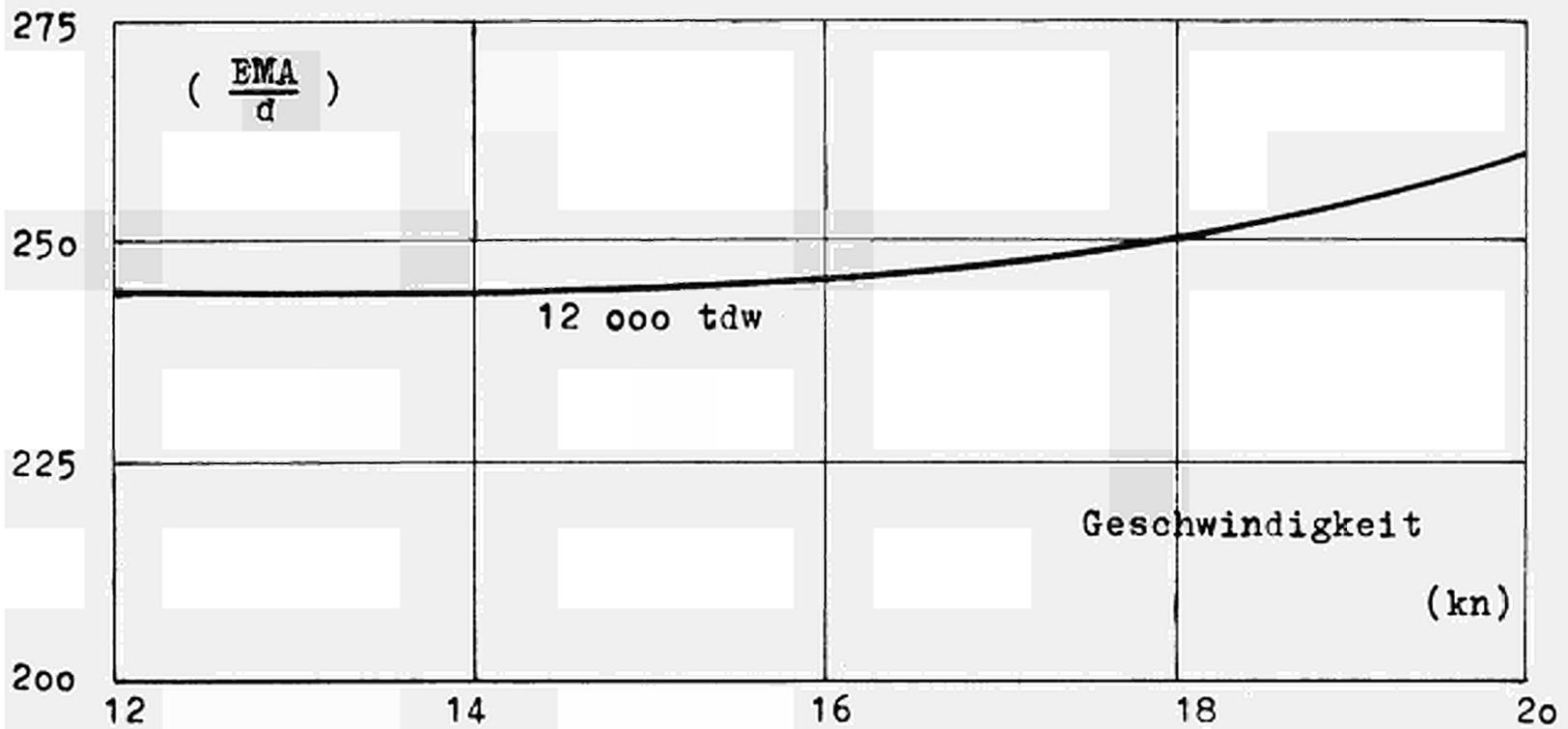
Löhne, Gehälter und Verpflegung (Tanker)

Kurvenblatt 21



Löhne, Gehälter und Verpflegung (Massengutfrachter)

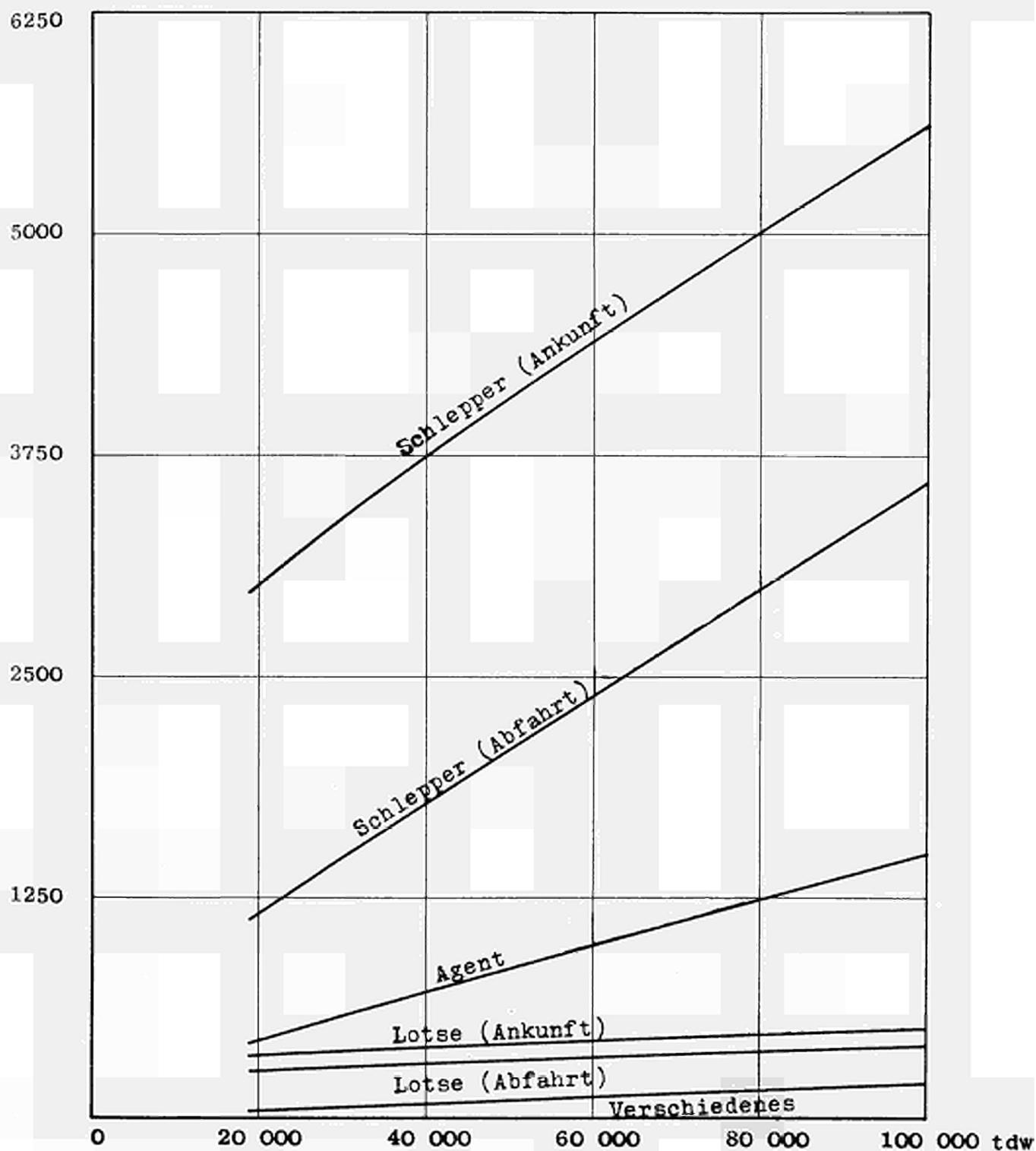
Löhne, Gehälter und Verpflegung (Schnellfrachter)



Abgaben im Hafen von Antwerpen

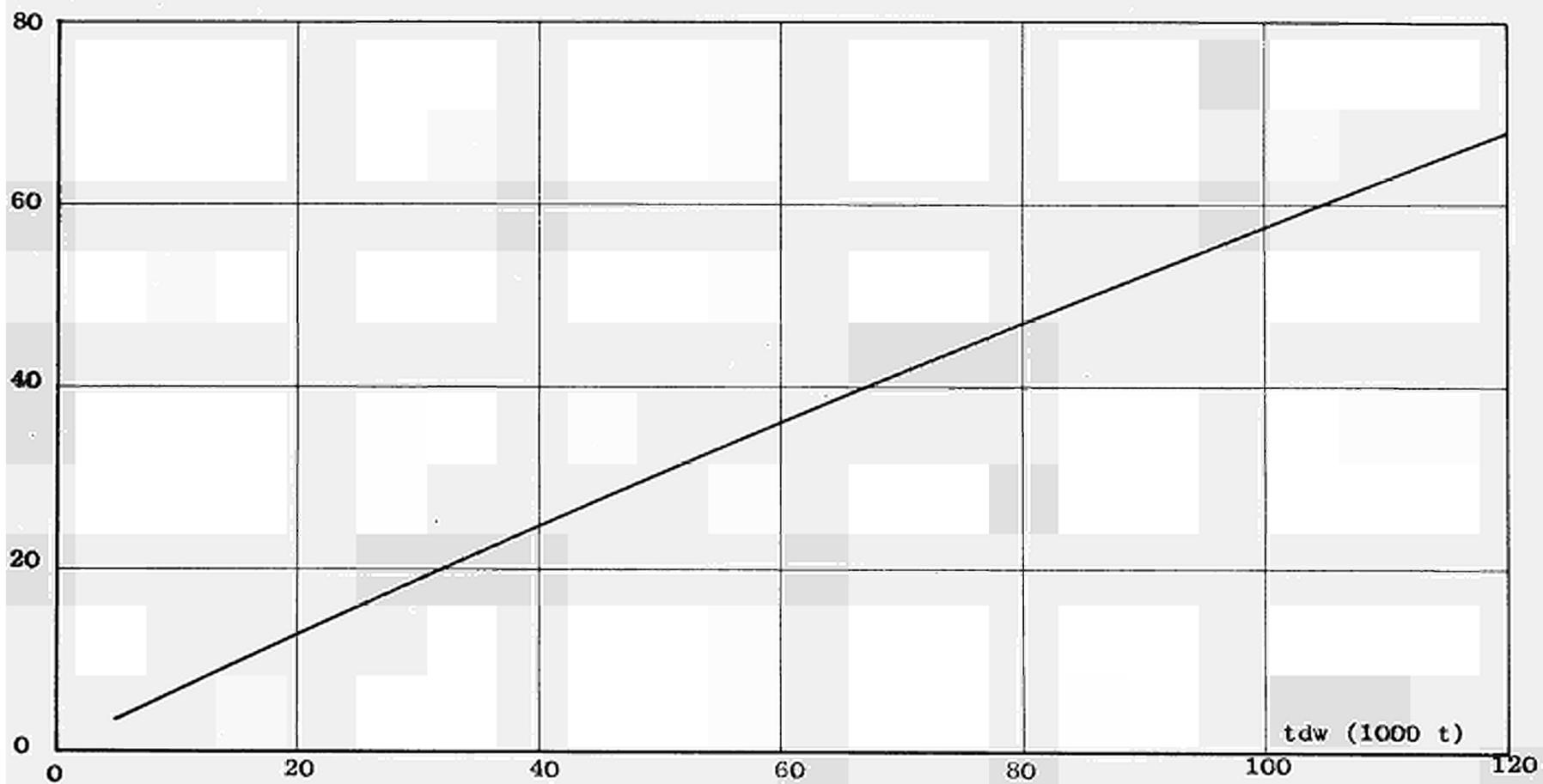
(EMA)

Kurvenblatt 24



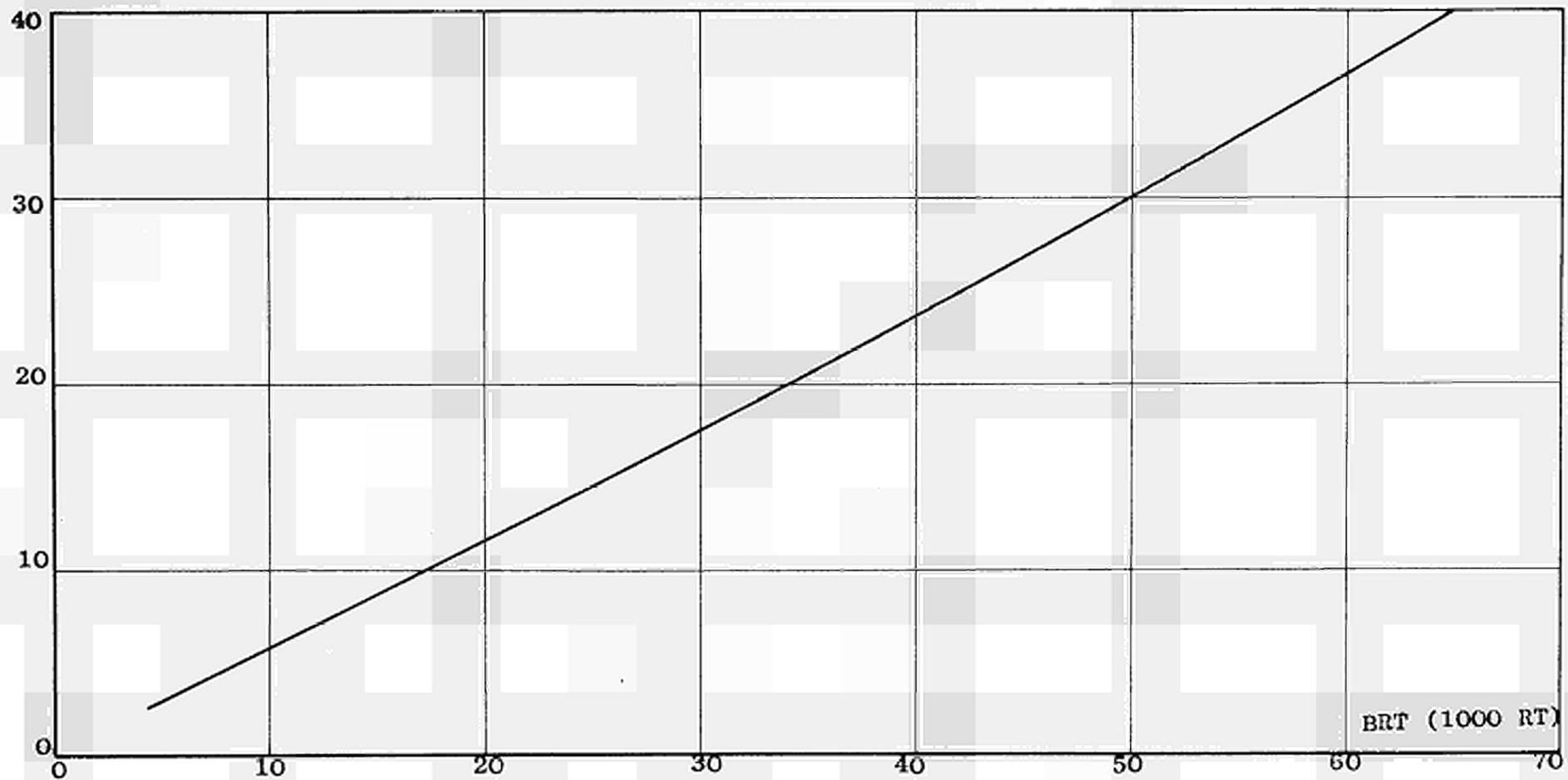
Bruttovermessung von Tankschiffen

BRT (1000 RT)



Nettovermessung von Tankschiffen

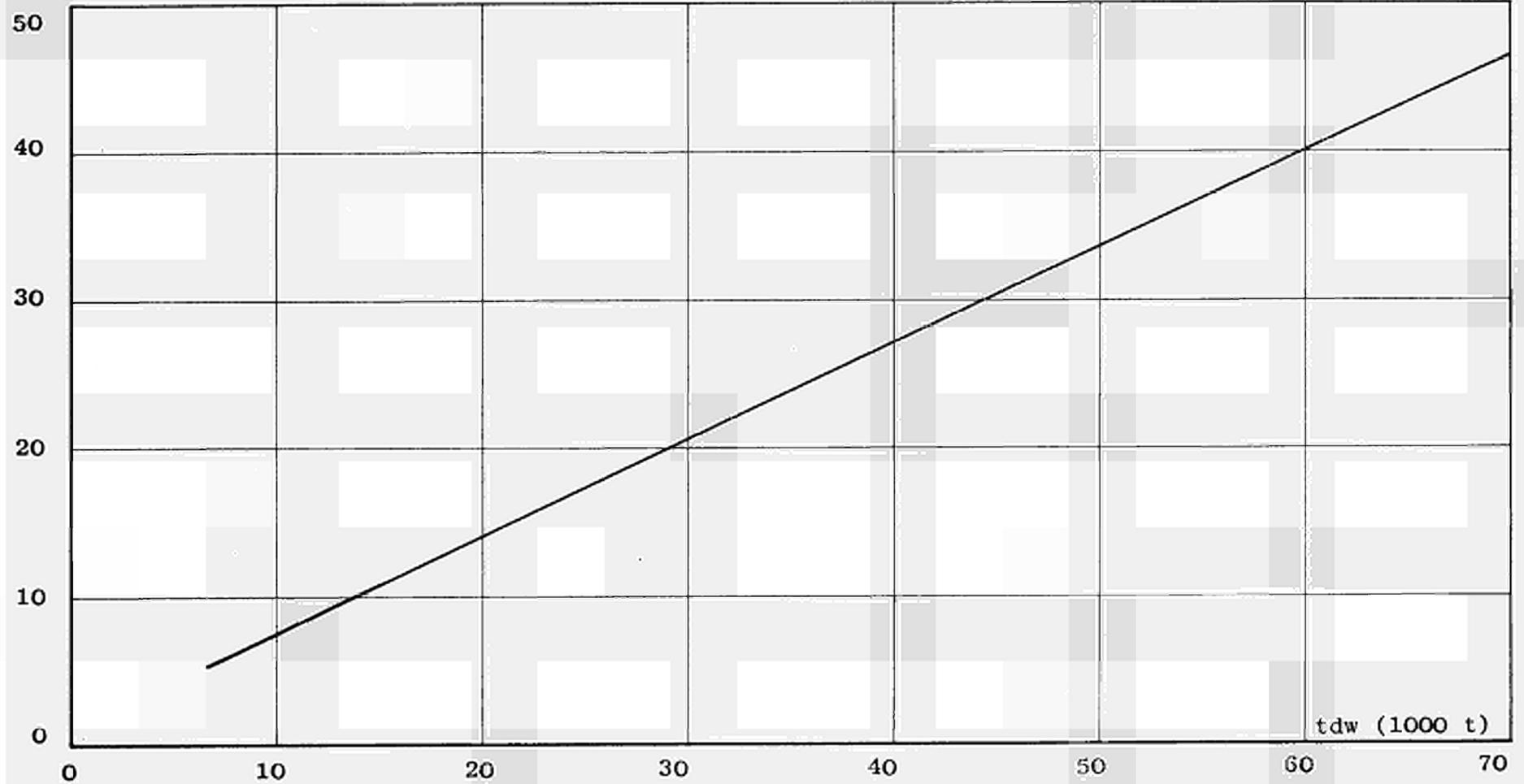
NRT (1000 RT)



BRT (1000 RT)

Bruttovermessung von Massengutfrachtern

BRT (1000 RT)



Nettovermessung von Massengutfrachtern

NRT

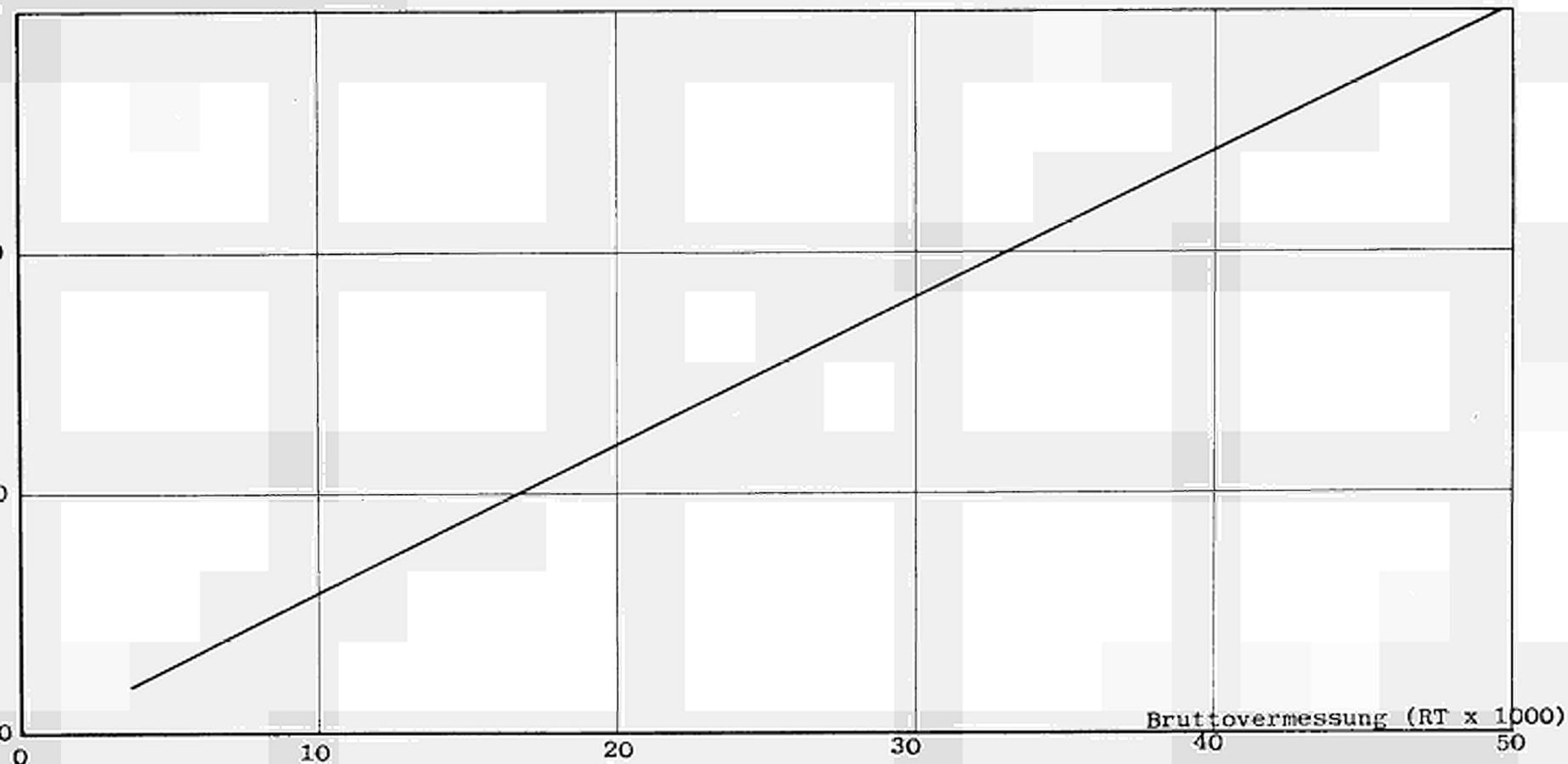
Nettovermessung (RT x 1000)

30

20

10

0



Bruttovermessung (RT x 1000)

50

40

30

20

10

0

5 — PARAMETER FÜR DIE KE-SCHIFFE

5.1 — Gewicht

Da es noch zu wenig genaue Angaben über Reaktoranlagen gibt, um eine exakte Gewichtskurve für jeden untersuchten Typ zu zeichnen, wird ein Gewichtsbereich für die KE-Anlagen angenommen, in dem möglichst viele verschiedene Reaktoranlagen liegen (siehe Kurvenblatt 29)⁽¹⁾. Die Steigung der Grenzkurven kann man durch folgende Überlegung festlegen: Denkt man sich die Kessel einer Turbinenanlage durch Reaktoren mit den erforderlichen Hilfsmaschinen und Apparaten ersetzt, so erhält man eine Reaktoranlage, bestehend aus konventionellem Turboteil und dem KE-Teil. Betrachtet man die ausgetauschten Teile für sich, so kann man annehmen, dass bei zunehmender Leistung die relative Gewichtszunahme bei Reaktoren kleiner ist als bei Kesseln, d.h. das Reaktorgewicht ist leistungsunabhängiger als das Kesselgewicht. Das hat zur Folge, dass der Gewichtsbereich der KE-Anlage im Kurvenblatt 29 flacher verläuft als die Gewichtskurve der Turbinenanlagen.

Die Werte für die Turbinengewichte einschliesslich Kessel und Speisewasser-Aufbereitungsanlage wurden verschiedenen Gewichtsbilanzen gebauter Turbinenschiffe entnommen. Beim Zeichnen der Kurven wurden auch Angaben von Legrand verwendet. Aus Vergleichsgründen wurde auch hier, ebenso wie beim KE-Bereich, bei 30 000 WPS ein Gewichtssprung von etwa 170 t für Zweiwellenanlagen angenommen. Im Kurvenblatt 12 sind statt eines Bereichs die untere und die obere Grenzkurve für KE-Anlagengewichte zu finden. Die weiteren Berechnungen für das KE-Schiff werden für diese beiden Gewichtskurven durchgeführt.

Es wird angenommen, dass das Gewicht des Rumpfes eines KE-Schiffes um 3 % höher ist als das eines herkömmlichen Schiffs. Diese Vergrösserung soll die schiffbaulichen Verstärkungen berücksichtigen, die für die Sicherheitsvorkehrungen und die Festigkeit notwendig sind. Es ist nicht ganz exakt, einen über den gesamten Gewichtsbereich konstanten Zuschlag zu machen, weil mit Sicherheit die prozentuale Zunahme bei grösseren Schiffen kleiner wird. Da aber der angenommene Prozentsatz sowieso nur ein Mittelwert aus vielen, teilweise stark streuenden Angaben ist, kann mit einem konstanten Zuschlag von 3 % gerechnet werden.

Das Gesamtgewicht der KE-Schiffe ergibt sich aus dem Ausrüstungsgewicht, das für herkömmliche und KE-Schiffe als gleich angesetzt wird, dem Gewicht des verstärkten Rumpfes und dem oberen bzw. dem unteren Grenzwert des Gewichts der Antriebsanlage zusammen.

5.2 — Nutzladung pro Rundreise

(i) *Einleitung*

Die Nutzladung pro Rundreise wird für die KE-Schiffe auf den verschiedenen Reiserouten wie folgt berechnet:

a) Tanker (Venezuela-Route) und Massengutfrachter (Chile-Route durch den Panamakanal)

Die Nutzladung wird bei diesen Routen ebenso wie die der herkömmlichen Schiffe auf diesen Routen auf Sommerfreibord bezogen. Sie beträgt:

⁽¹⁾ Die Angaben wurden verschiedenen Veröffentlichungen und Projekten des Instituts für Schiffsmaschinenbau entnommen.

Nutzladung der KE-Schiffe = Tragfähigkeit der herkömmlichen Schiffe (Sommerfreibord)

- abzüglich Mehrgewicht der KE-Schiffe
- abzüglich Ladungsverlust durch Vorräte.

b) Tanker (Pers.-Golf-Route) und Massengutfrachter (Chile-Route durch die Magellanstrasse)

Bei diesen beiden Routen wird die Nutzladung der KE-Schiffe ebenso wie bei den herkömmlichen Schiffen auf Winterfreibord bezogen. Sie lässt sich demzufolge schreiben:

Nutzladung der KE-Schiffe = Tragfähigkeit der herkömmlichen Schiffe (Sommerfreibord)

- abzüglich Mehrgewicht der KE-Schiffe
- abzüglich Ladungsverlust durch Vorräte
- abzüglich Freibordausgleich.

c) Schnellfrachter (Nordamerika- und Australien-Route):

Bei Schnellfrachtern muss ausser dem Gewicht auch der Raumbedarf der KE-Maschinenanlage berücksichtigt werden. Dieser Raumbedarf wird zusätzlich beim Austauschen der herkömmlichen gegen die KE-Anlage benötigt. Die Gewichte werden dem Kurvenblatt 30 entnommen. Um den Raumbedarf zu bestimmen, müssen einige Annahmen getroffen werden und einige Voraussetzungen geklärt werden. Der Mehrbedarf an Raum bei KE-Anlagen entsteht in der Hauptsache durch den Sicherheitsbehälter. Die Grösse dieses Behälters wächst mit der Leistung des Reaktors. Für die Weiterberechnung interessiert die Änderung des Behälters in Längsrichtung. Dabei wird angenommen, dass sich die Länge linear mit der Reaktorleistung ändert und zwar von 10 m bei 5 000 WPS auf 14 m bei 15 000 WPS. Der Sicherheitsbehälter muss, um der Forderung nach einem "Zwei-Abteilungs-Schiff" zu genügen, mindestens durch einen Raum von der Maschinenanlage getrennt sein. Ein Zwei-Abteilungs-Schiff muss so gebaut sein, dass zwei Abteilungen voll Wasser laufen können, ohne dass das Schiff gefährdet wird. Da der Reaktor ein hohes Gewicht hat, soll er nicht an den Schiffsenden angeordnet sein.

Bei einem relativ kleinen Schiff, wie es die 12 000-tdw-Frachter darstellen, ergibt sich dadurch, dass die Anordnung der Maschine achtern gewählt werden muss, und dass der Sicherheitsbehälter mit dem Reaktor mittschiffs steht. Daraus folgt, dass der Raum, der durch den Sicherheitsbehälter verlorengeht, im parallelen Mittelschiff liegt. Unter dieser Voraussetzung lässt sich der Raumbedarf für den Sicherheitsbehälter ermitteln. Die Querschnittsfläche eines 12 000 tdw-Frachters mit etwa 60 cf/t Inhalt beträgt etwa 220 m². Davon müssen für Balken, Spanten und Abrundungen 10,5 % abgezogen werden. Damit verbleiben 197 m² als nutzbare Querschnittsfläche.

Die Längenänderung geht stufenweise vor sich, da ein Querschott immer nur an die Stelle eines Spantes gestellt werden kann. Der Spantabstand beträgt 0,8 m. Durch Multiplikation der verschiedenen Längen mit den Querschnittsflächen ergibt sich der Laderauminhalt. Um den Ladungsverlust, der eventuell durch den Raumbedarf der Anlage besteht, mit in die Betrachtung zu ziehen, muss der Raumbedarf in Gewichtseinheiten umgerechnet werden. Dabei wird $a = 60$ cf/t zugrunde gelegt. Das Ergebnis ist im Kurvenblatt 30 dargestellt.

Bei den Schnellfrachtern wird genau wie bei den herkömmlichen Schiffen angenommen, dass alle Gewichtsverluste durch den Ausnutzungsfaktor 70 % hinfällig werden. Dabei wird angenommen, dass für ein Schiff mit KE-Anlage die Ladungsmenge gleich gross ist wie für ein herkömmliches Schiff. Nur unter dieser Voraussetzung kann die Nutzladung für die KE-Schnellfrachter auch mit 8 400 t angenommen werden.

(ii) *Süsswasser, Proviant, Vorräte, Heizöl für Hilfskessel, Brennstoff für Hilfsmaschinen und Schmieröl*

Diese Posten werden gegenüber den herkömmlichen Schiffen um 5 % vergrössert. Dadurch wird berücksichtigt, dass die Vorräte für die Mannschaft vergrössert werden müssen. Die Mannschaftsstärke erhöht sich nämlich um das Personal der Reaktoranlage. Die Anzahl des Maschinenpersonals für den konventionellen Teil der Antriebsanlage bleibt gleich. Ausserdem müssen genügend Brennstoffreserven für die Hilfskessel und die Hilfsmaschinen vorhanden sein, da diese Vorräte bei KE-Betrieb nicht aus den Bunkern der Hauptmaschine ersetzt werden können. Der geringere Schmierölverbrauch bei Turbinen gegenüber Motoren soll in dem 5 %igen Zuschlag auch berücksichtigt sein. Für die KE-Schnellfrachter werden diese Werte ebenso wie für die herkömmlichen Schnellfrachter nicht ermittelt.

(iii) *Verbrauch an Vorräten*

Auch bei den KE-Schiffen muss der Verbrauch an Vorräten bis zu dem Zeitpunkt, auf den die Nutzladung bezogen wird, ermittelt und von der Tragfähigkeit abgezogen werden.

a) *Tanker (Venezuela-Route)*

Da die Vorräte auf dieser Route in Antwerpen gebunkert werden, ist bis zum Auslaufen der Tanker aus Venezuela — dem Bezugspunkt der Nutzladungsbestimmung — die Hälfte der Vorräte verbraucht.

b) *Tanker (Pers. Golf-Route)*

Bei dieser Route wird von der Tragfähigkeit ausser dem Freibordausgleich nur der Teil der Vorratsmengen abgezogen, der bis zum Eintritt in die Winterzone (30° südliche Breite) noch nicht verbraucht ist. Der Verbrauch wird gleich hoch angenommen wie bei den herkömmlichen Schiffen. Man kann nämlich voraussetzen, dass der eventuelle Mehrverbrauch infolge der grösseren Mannschaft auf dem KE-Schiff durch den niedrigeren Verbrauch an Schmieröl und Fetten (Turbinenanlagen) aufgehoben wird. Das wurde am Anfang dieses Kapitels näher erklärt.

c) *Massengutfrachter (Chile-Route durch die Magellanstrasse)*

Bei der Bestimmung der Nutzladung der Massengutfrachter auf dieser Route wird von der Tragfähigkeit der Freibordausgleich um die Hälfte der Vorräte abgezogen. Das kommt daher, dass die Massengutfrachter in Antwerpen bunkern und bis La Serena de Chile (halbe Rundreisestrecke) die Hälfte der Vorräte verbraucht ist.

d) *Massengutfrachter (Chile-Route durch den Panamakanal):*

Bei dieser Route wird wie bei der Chile-Route durch die Magellanstrasse aus denselben Gründen die Hälfte der Vorräte abgezogen.

e) *Schnellfrachter (Nordamerika- und Australien-Route):*

Die Nutzladung der KE-Schnellfrachter wird — wie oben erwähnt — gleich der der herkömmlichen Schnellfrachter gesetzt.

5.3 — Baukosten der KE-Schiffe ohne Reaktor- und Maschinenanlagen

Die Baukosten werden bei den herkömmlichen Schiffen mit Hilfe der spezifischen Reise ermittelt. Dabei bleiben die Baukosten der Ausrüstung für die jeweiligen Schiffe gleich, da sich die Gewichte ja auch nicht verändern. Die Baukosten für den Rumpf werden bei den Tankern, den Massengutfrachtern und den Schnellfrachtern mit spezifischen Preisen berechnet, die mit der Geschwindigkeit etwas zunehmen. Die Begründung hierfür ist bei den herkömmlichen Schiffen unter 4.5 gegeben.

5.4 — Kosten für Versicherung, Reparaturen, Stores und Verschiedenes

Die Bestimmung der Betriebskosten, die in % der Baukosten der KE-Schiffe ohne Reaktor und Maschinenanlage ausgedrückt werden, kann man nur mit geschätzten Werten darlegen, da exakte Angaben dieser Art für KE-Schiffe nicht bekannt sind. Für die Versicherung eines KE-Schiffes werden trotz des erwarteten höheren Schiffswerts 3,7 % als Versicherungsprämie angenommen. Dieser relativ hohe Satz soll berücksichtigen, dass sich die Haftung für ein KE-Schiff wahrscheinlich auf eine weit grössere Summe erstrecken muss, als es bei herkömmlichen Schiffen der Fall ist. Ebenso wurde an ein weit grösseres Risiko gedacht. Für Reparaturen und Instandhaltung ist für ein KE-Schiff ohne Maschinenanlage ein Prozentsatz von 2 % gewählt worden; mit Maschinenanlage nimmt man 2,6 % an. Dieser Wert ist kleiner gegenüber den herkömmlichen Schiffen, da die Reparaturhäufigkeit einer KE-Anlage geringer ist. Auf jeden Fall werden aber die Herstellungskosten für ein Schiff mit KE-Anlage in nächster Zukunft noch wesentlich höher liegen, sodass auch aus diesem Grunde eine Senkung des Prozentsatzes angebracht ist. Ausserdem wird nur die Reparatur des Schiffes berücksichtigt und nicht die des Reaktors. Diese ist sicherlich prozentual niedriger als eine Maschinenreparatur.

Für Stores und Verschiedenes wurde der gleiche Prozentsatz angenommen.

5.5 — Kosten für Löhne, Gehälter und Verpflegung

Die Kosten für Löhne, Gehälter und Verpflegung werden um 10 % höher angenommen als für die entsprechenden herkömmlichen Schiffe. Da ausser dem Maschinenpersonal für den herkömmlichen Teil der Antriebsanlage noch zusätzlich Bedienung und Hilfspersonal für den Reaktor teil erforderlich ist, erhöhen sich diese Aufwendungen. Der hohe Zuschlag ist gerechtfertigt, wenn man bedenkt, dass sich die zusätzliche Mannschaft aus hoch bezahlten Kräften (beispielsweise Reaktor-Operateure, Arzt, Chemiker, Physiker) zusammensetzt.

5.6 — Gebühren, Abgaben und Hafenbetriebskosten

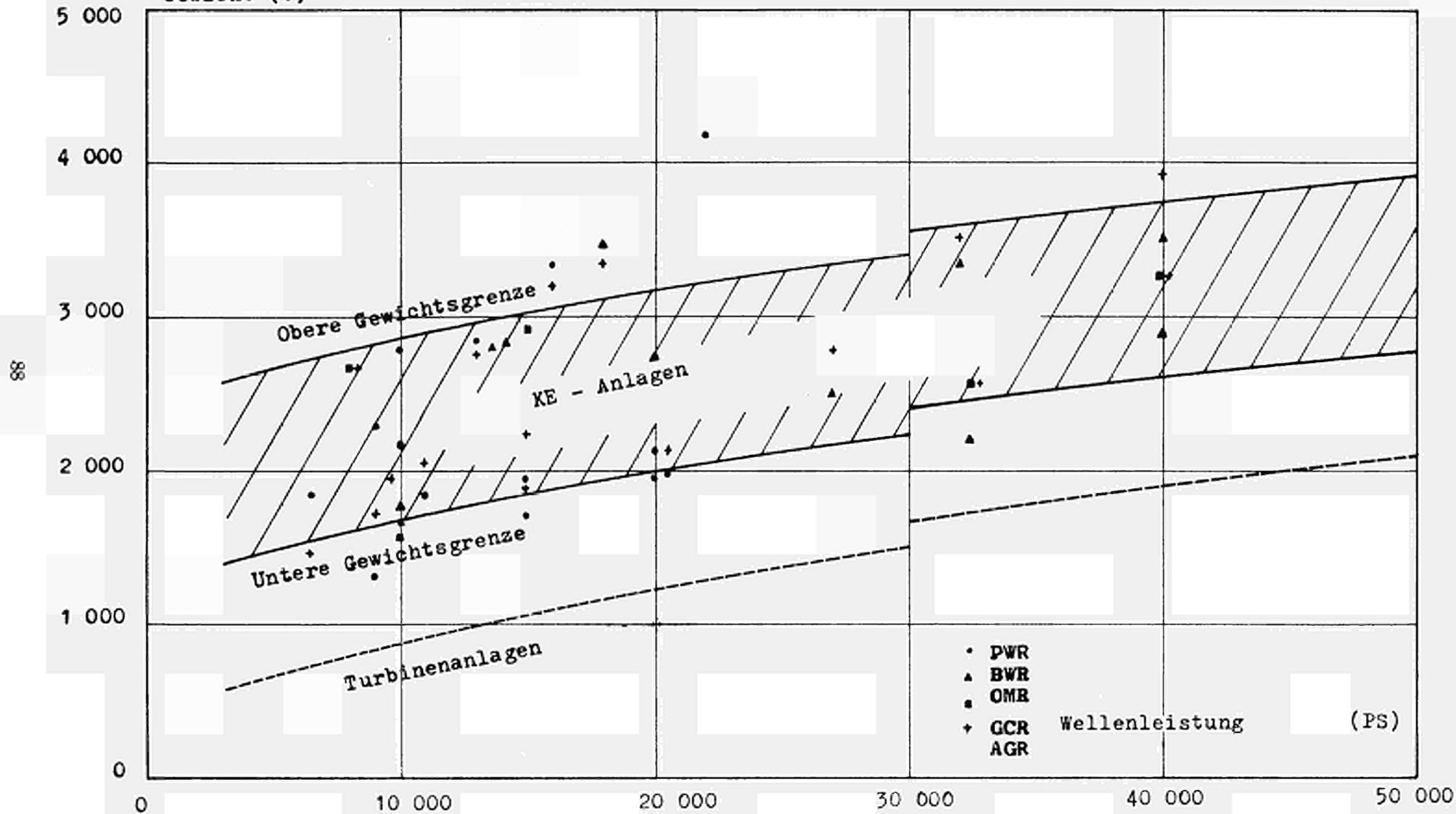
Die Gebühren und Abgaben werden für die KE-Schiffe und die herkömmlichen Schiffe gleich hoch angenommen. Ob irgendwelche Kostenanteile dieses Postens eventuell wegen des grösseren Risikos (Strahlungsgefahr etc.) höher angesetzt werden müssen, ist nicht bekannt. Deshalb werden die Werte für die KE-Schiffe aus den Tabellen in 4.9 wie für herkömmliche Schiffe ermittelt.

Die Hafenbetriebskosten, die für herkömmliche Schiffe durch Brennstoff- und Heizölverbrauch der Hilfsmaschinen bzw. der Hilfskessel im Hafen entstehen, werden für die KE-Schiffe nicht unter diesem Punkt berücksichtigt. Da ein Reaktor wegen der gefürchteten Xenon-Vergiftung nicht für relativ kurze Zeit abgeschaltet werden darf, sollen die untersuchten KE-Anlagen auch im Hafen in Betrieb sein. Es wird angenommen, dass die Leistung während der Liegezeiten um 75 % niedriger liegt als die Dienstleistung. Dadurch wird der im Hafen zu erwartende Energiebedarf vollauf gedeckt.

1 Schraube

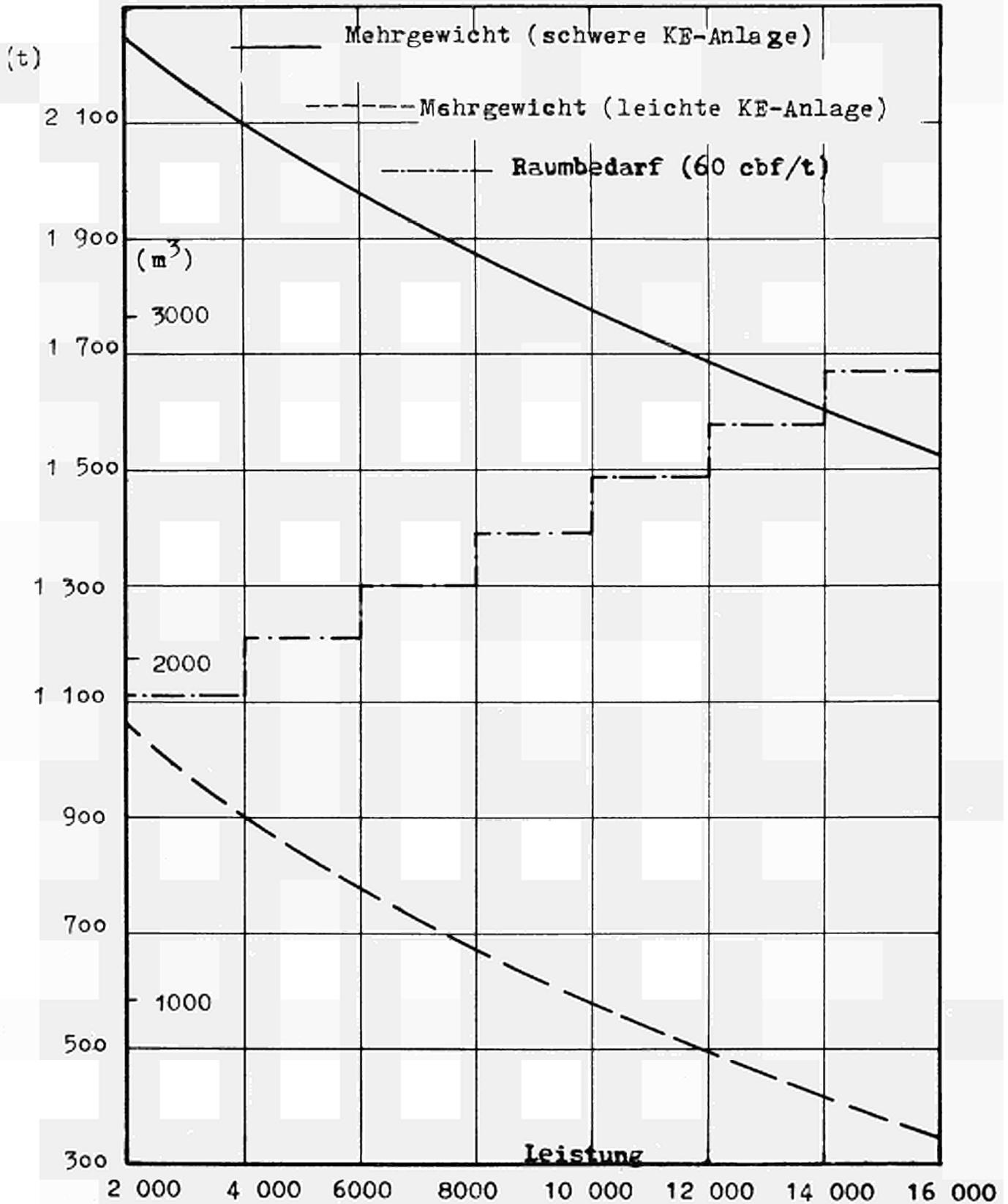
2 Schrauben

Gewicht (t)



Ladungsverlust bei Einbau einer KE - Anlage

Schiff: Stückgutfrachter mit Dieselantrieb (Dieselöl)



6 — RECHENERGEBNISSE

Auf Grund der in den vorhergehenden Kapiteln erklärten Ausgangswerte sind anhand eines dazu ausgearbeiteten Rechenschemas eine Reihe von Berechnungen durchgeführt worden, und zwar nach der unter Abschnitt 3.2 auseinandergesetzten Methode.

Einzelheiten dieser Berechnungen sind in einem separaten Dokument zusammengefasst, das nicht veröffentlicht wird, aber auf Anfrage beim Sitz der Europäischen Atomgemeinschaft in Brüssel eingesehen werden kann.

Wir beschränken uns darauf, hier nur die Endergebnisse zu geben, die durch „Break-even-Charts“ und Transportkostenkurven dargestellt sind, welche sich im Anhang befinden. Es handelt sich insgesamt um 92 Charts und 14 Kurven, die wie folgt gegliedert sind:

Tanker — Venezuela-Route

- 3 Charts (für 8 %, 10 %, 12 % KAF) für jedes der drei gewählten tdw und bezogen auf ein herkömmliches Schiff mit optimaler Geschwindigkeit.
- 4 Charts (für 8 %, 10 %, 12 %, 20 % KAF) für jedes der drei gewählten tdw und bezogen auf ein herkömmliches Schiff gleicher Geschwindigkeit.

Tanker — Pers.-Golf-Route

- 3 Charts (für 8 %, 10 %, 12 % KAF) für jedes der drei gewählten tdw und bezogen auf ein herkömmliches Schiff mit optimaler Geschwindigkeit.
- 4 Charts (8 %, 10 %, 12 %, 20 % KAF) für jedes der drei gewählten tdw und bezogen auf ein herkömmliches Schiff gleicher Geschwindigkeit.

Massengutfrachter — Magellanstrasse

- 3 Charts (für 8 %, 10 %, 12 % KAF) für jedes der drei gewählten tdw und bezogen auf ein herkömmliches Schiff mit optimaler Geschwindigkeit.
- 4 Charts (für 8 %, 10 %, 12 %, 20 % KAF) für jedes der drei gewählten tdw und bezogen auf ein herkömmliches Schiff gleicher Geschwindigkeit.

Massengutfrachter — Panamakanal

- 3 Charts (für 8 %, 10 %, 12 % KAF) für jedes der drei gewählten tdw und bezogen auf ein herkömmliches Schiff mit optimaler Geschwindigkeit.
- 4 Charts (für 8 %, 10 %, 12 %, 20 % KAF) für jedes der drei gewählten tdw und bezogen auf ein herkömmliches Schiff gleicher Geschwindigkeit.

Schnellfrachter — Nordamerikaroute/Australienroute

- 4 Charts (für 8 %, 10 %, 12 %, 12 %, 20 % KAF) für jede der beiden Reiserouten und bezogen auf ein herkömmliches Schiff gleicher Geschwindigkeit.

Wie in Kapitel 3. erwähnt, geben die „Break-even-Charts“ an, bei welchen Kombinationen von Spaltstoffkosten und Baukosten der Kernenergieanlage das KE-Schiff zu den gleichen Selbstkosten betrieben werden kann wie ein vergleichbares herkömmliches Schiff.

7 — ZUSAMMENFASSUNG, ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Verantwortlichkeit

In diesem Kapitel werden die *Ergebnisse* der Untersuchungen zusammengefasst und die *Schlussfolgerungen* gezogen. Für die Fassung trägt die Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft die Verantwortung.

7.1 — Der Rahmen der Untersuchung

Die Berichtersteller haben im Rahmen des ihnen von der Kommission erteilten Auftrags untersucht, unter welchen Bedingungen eine Wettbewerbsfähigkeit des nuklearen gegenüber dem konventionellen Schiffsantrieb gegeben sein kann. Dabei ist man übereingekommen, dass diese Untersuchungen auf die im konventionellen Bereich üblichen Typen und Fahrten abzustellen sind. Die Untersuchung ist insbesondere beschränkt worden auf den Tanker, den Massengutfrachter und den Schnellfrachter.

Die wesentlichsten Ergebnisse, zu denen die Berichtersteller gelangt sind, sind die Übersichten über die in Form von sogenannten Break-even-Charts gemachten Kostenobergrenzen der nuklearen Antriebsaggregate unter den verschiedenen gesetzten Bedingungen. Die Berichtersteller haben sich im wesentlichen auf die Feststellung beschränkt und in ihren Schlussfolgerungen am Ende dieses Kapitels eine Reihe von allgemeinen Anmerkungen und Urteilen über die Ergebnisse gegeben.

7.2 — Allgemeine Bemerkungen

Die Berichtersteller stellen folgendes fest: „Die Frage nach einer wirtschaftlichen Notwendigkeit von Kernenergie-Antriebsanlagen für die Handelsschifffahrt ist schon häufig gestellt worden; je nach Einstellung der Bearbeiter dieses Fragenkomplexes fallen die Antworten recht unterschiedlich aus. Denn da keinerlei Betriebs- und Kostenerfahrungen über nukleare Handelsschiffsanlagen vorliegen (ausser dem russischen Eisbrecher „Lenin“ ist bislang noch kein weiteres kernenergiegetriebenes Handelsschiff in den kommerziellen Einsatz gekommen), sind alle Kostenstudien mehr oder minder hypothetisch. Äusserst pessimistische und äusserst optimistische Annahmen sind anzutreffen.

Aber auch bei optimistischer Einschätzung der Kostenstruktur kommen wohl alle Studien zu dem Schluss, dass bei dem heutigen technischen und kostenmässigen Stand der Reaktoranlagenentwicklung für Handelsschiffe noch keine Wettbewerbsfähigkeit gegenüber den herkömmlichen Anlagen gegeben ist. Manche Studien enthalten auch Prognosen über die Kostenentwicklung in der Zukunft, wobei sich zum Teil die Voraussagen auf mehrere Jahrzehnte erstrecken. Schätzungen dieser Art sind natürlich noch schwieriger und unsicherer als der Versuch, die Kosten einer heutigen (fiktiven) Kernenergie-Schiffsantriebsanlage zu analysieren.“

Die Kommission bemerkt hierzu, dass die Ergebnisse der Berichtersteller nur die konventionelle Anwendung des nuklearen Schiffsantriebs betreffen. Am Ende dieses Kapitels wird noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen.

7.3 — Die Fragestellung der Untersuchung

a) Im Gegensatz zu den meisten anderen Arbeiten auf dem Gebiet der Wirtschaftlichkeit von Kernenergie-Handelsschiffen enthält die vorliegende Studie keinerlei Hypothesen über die Kosten der eigentlichen Reaktoranlage und über die Spaltstoffkosten; *es wird nur angegeben, bei*

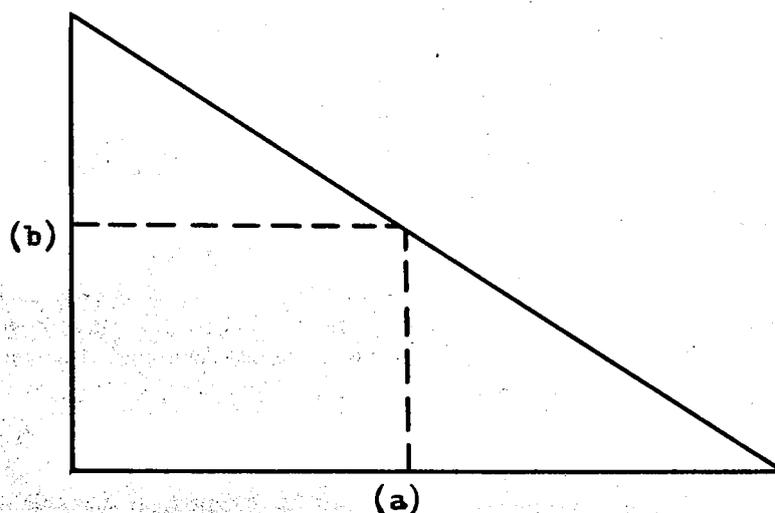
welchen Kombinationen von Reaktorbau- und Spaltstoffkosten sich die gleichen Transportkosten (bezogen auf die Tonne Ladung für eine bestimmte Reiseroute) ergeben wie bei einem Schiff mit herkömmlichem Antrieb.

Einige Annahmen mussten allerdings getroffen werden, und zwar hinsichtlich der gegenüber dem herkömmlichen Schiff zusätzlichen Kosten des Kernenergie-Schiffes für Versicherungen, für schiffbauliche Verstärkung u.ä. Ferner müssen für die ersten Atomversuchsschiffe höhere Personalkosten vorgesehen werden. Die Abschätzung dieser Kosten ist zwar nicht ganz einfach, aber etwaige Fehler machen sich nicht sehr stark bemerkbar, da diese Kosten merklich niedriger als die Kapital- und Spaltstoffkosten der eigentlichen Reaktoranlage liegen.

Die „Break-even-Charts“, in denen die angegebenen Kombinationen von Kapital- und Spaltstoffkosten graphisch dargestellt sind, lassen hinsichtlich einer wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit eine verhältnismässig objektive Beurteilung verschiedener Reaktoranlagen zu, von denen jeweils Bau- und Spaltstoffkosten bekannt sind.

Diese in Kapitel 6 wiedergegebenen „Break-even-Charts“ geben an, welche Kombinationen der Baukosten der Kernenergieanlage und der Spaltstoffkosten für jeden einzelnen der untersuchten Fälle nicht überschritten werden dürfen, damit das mit Kernenergie betriebene Schiff wettbewerbsfähig mit einem konventionellen Schiff ist.

Diese „Break-even-charts“ stellen sich im allgemeinen wie folgt dar:



Um wettbewerbsfähig mit einem konventionell betriebenen Schiff zu sein, dürfen danach bei Spaltstoffkosten in Höhe von (a) Dpf oder mills/WPSH⁽¹⁾ die Baukosten der nuklearen Antriebsanlage nicht höher sein als (b) Millionen DM oder Rechnungseinheiten.

Bei der rechnerischen Auswertung wurden dabei folgende Annahmen über die Höhe der Spaltstoffkosten gemacht:

- 0; 0,5 ; 1,0 und 1,5 Dpf/WPSH
- oder 0; 1,25; 2,5 und 3,75 mills/WPSH

⁽¹⁾ 1 mill = 1/10 US\$ct = 1/1 000 RE; WPSH = Wellen - PS - Stunde.

b) Die Berichtersteller haben ihre Ergebnisse auch noch in einer anderen Form dargestellt, nämlich als „*Mehrkostenfaktoren*“ (MKF), die angeben, wie hoch die Baukosten des Kernenergieschiffes sein dürfen (oder niedriger sein müssen) im Verhältnis zu den Baukosten des konventionellen Schiffes. Die Berichtersteller weisen darauf hin, dass Aussagen über den MKF weniger zeitabhängig seien als Aussagen über die Preisobergrenze einer Kernenergieantriebsanlage in absoluten Beträgen.

c) Im einzelnen sind die folgenden, nach *Schiffstypen*, *Tonnagen* und *Reiserouten* unterschiedenen Fälle untersucht worden:

Tanker

Venezuela/Route

- 60 000 tdw (1)
- 80 000 tdw (2)
- 100 000 tdw (3)

Route Persischer Golf

- 60 000 tdw (4)
- 80 000 tdw (5)
- 100 000 tdw (6)

Massengutfrachter

Route Magellanstrasse

- 20 000 tdw (7)
- 40 000 tdw (8)
- 65 000 tdw (9)

Panamaroute

- 20 000 tdw (10)
- 40 000 tdw (11)
- 65 000 tdw (12)

Schnellfrachter

- USA-Route (13)
- Australien-Route (14)

d) Die Berichtersteller haben in jedem der 14 untersuchten Fälle unterschieden zwischen den folgenden beiden *Vergleichen*:

Alternative A: dem Vergleich zwischen einem konventionellen und einem mit Kernenergie betriebenen Schiff mit jeweils *gleicher Geschwindigkeit*.

Bei der Auswertung haben die Berichtersteller hier insbesondere zwei konkrete Fälle untersucht: den Fall *günstigster* ⁽¹⁾ Geschwindigkeit und den Fall *üblicher* Geschwindigkeit, jeweils bezogen auf das konventionell betriebene Schiff.

Alternative B: dem Vergleich zwischen einem konventionellen Schiff *optimaler* ⁽¹⁾ Geschwindigkeit und einem mit Kernenergie betriebenen Schiff unter *verschiedenen Geschwindigkeitsannahmen*.

e) Schliesslich haben die Berichtersteller unterschiedliche Annahmen über die erreichbare oder angestrebte *Rendite* des Schiffsantriebs eingeführt. Als Ausdruck hierfür wurde der sogenannte *Kapitalkostenfaktor* gewählt, der angibt, welcher Prozentsatz der Baukosten jährlich für *Fremdzinsen, Abschreibungen, Ertrags- und Vermögenssteuern* und den für die Verzinsung des eingesetzten Eigenkapitals zur Verfügung stehenden *Reingewinn* angesetzt ist ⁽²⁾. Ausgewählt wurden die folgenden Sätze:

8 %, 10 %, 12 % und 20 %.

f) Auf Grund dieser Vorbemerkungen lässt sich die den Berichterstellern gestellte Frage wie folgt formulieren:

„Welches ist die *Obergrenze der Baukosten der Kernenergieanlage* für ein nuklear betriebenes Schiff, damit dieses Schiff mit einem konventionell angetriebenen Schiff bei gleicher Verwendung *wettbewerbsfähig* ist,

Alternative A: bei *gleicher Geschwindigkeit* für das konventionell und das nuklear betriebene Schiff und

Alternative B: bei *optimaler* ⁽³⁾ *Geschwindigkeit* des konventionellen Schiffs und unterschiedlichen Geschwindigkeitsannahmen für das nuklear betriebene Schiff,

unter Berücksichtigung der aus den nachstehenden Alternativen sich ergebenden Varianten für die *Vergleichsgrundlagen*:

(1) *Type, tdw* ⁽⁴⁾, und *Reiseroute* des Schiffes: die bezeichneten Fälle;

(2) Höhe der *Spaltstoffkosten*: 0; 0,5; 1,0 und 1,5 Dpf/WPSh (0; 1,25; 2,5; 3,75 mills);

(3) Höhe des *Kapitalkostenfaktors*: 8; 10; 12 und 20 %.

7.4 — Ergebnisse eines Kostenvergleichs unter der Annahme, dass das kernenergiebetriebene Schiff gleich schnell fährt wie das konventionell getriebene (Alternative A)

Die Ergebnisse sind nachstehend graphisch dargestellt. Die Geschwindigkeitsannahmen überdecken die in der heutigen Praxis bekannten Werte.

⁽¹⁾ „Günstigster“, bzw. „optimaler“ in bezug auf die unter gegenwärtigen Verhältnissen bei konventionellen Schiffen erzielbaren Transportkosten.

⁽²⁾ Siehe Kapitel 4.6.

⁽³⁾ „Optimal“, in bezug auf die unter gegenwärtigen Verhältnissen bei konventionellen Schiffen erzielbare Rentabilität.

⁽⁴⁾ tdw = tons dead weight.

Die danach beiden Zahlenübersichten auf Seite 94 und 95 bringen die Ergebnisse einer Durchrechnung unter der besonderen Annahme eines KAF von 12 %/Jahr und Spaltstoffkosten von 0,50 Dpf(1,25 mills)/WPSH.

Der ersten Tabelle liegen die unter dem Gesichtspunkt der niedrigsten Transportkosten *günstigsten* Geschwindigkeiten zugrunde. Diese betragen etwa:

- für den Tanker: 12 Knoten
- für den Massengutfrachter und den Schnellfrachter *weniger* als 12 Knoten

Gleichwohl ist auch für die beiden letzten Schiffstypen eine Geschwindigkeit von 12 Knoten zugrundegelegt worden.

Die zweite Tabelle bringt die gleiche Rechnung für die heute *üblichen* Geschwindigkeiten. Diese betragen etwa:

- für den Tanker und den Schnellfrachter 16 Knoten
- für den Massengutfrachter 14 Knoten.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt interpretieren:

(1) Die *günstigsten* Fahrten nach Schiffstyp, Tonnage und Route

Für jeden vernünftig gewählten Wert der Spaltstoffkosten und des Kapitalamortisierungsfaktors ergeben sich nicht wesentlich voneinander abweichende Feststellungen über die *günstigste Fahrt* (Schiffstyp, Tonnage und Reiseroute).

a) Wie zu erwarten war, kann die *Kernenergieanlage insgesamt* umso teurer sein, je grösser und schneller das Schiff ist. Tatsächlich ergibt sich unter der Annahme günstigster Geschwindigkeiten der beste Wert für grosse Massengutfrachter (65 000 tdw) auf der Magellan- und der Panamaroute und unter der Annahme üblicher Geschwindigkeiten die besten Werte für grosse Tanker (100 000 tdw) auf den Routen Persischer Golf und Venezuela.

Andererseits findet man den *günstigsten* Wert für die *höchstzulässigen Baukosten der Kernenergieanlage je WPS* beim Massengutfrachter auf der Magellan- und Panamaroute und bei dem Schnellfrachter auf der Australien-Route. Hier zeigt sich allerdings eine interessante Abweichung je nach der Wahl der Geschwindigkeit. Unter den üblichen Geschwindigkeiten liegt für die Magellanroute der kleine Frachter (20 000 tdw) und für die Panamaroute dagegen der grosse Frachter (65 000 tdw) günstiger; bei konventionell *günstigsten* Geschwindigkeiten bringt stets der grosse Massengutfrachter (65 000 tdw) den *günstigsten* Wert.

b) Bei dieser Lage ist es notwendig, eine Annahme einzuführen über die *Degressivität der Baukosten der Kernenergieantriebsanlage mit steigender Leistung in WPS*.

Aufgrund des ihr vorliegenden Materials hält die Euratom-Kommission für die hier untersuchten Bereiche die Annahme für einigermaßen wirklichkeitsnah, dass die spezifischen Kosten der Kernenergieantriebsanlage bei der Erhöhung der Leistung auf das Doppelte im Verhältnis 8:7 sinken. Das führt zu der Frage:

„Welches ist die *günstigste* Obergrenze der Baukosten einer Kernenergieantriebsanlage bezogen auf die (Wellenleistung)^{0,81 (1)}“.

(1) x = Zahl der WPS
 y = Gesamtbaukosten in RE
 y
 — = Baukosten je WPS
 x
 y = proportional $x^{0,81}$
 y
 — = proportional $\frac{x^{0,81}}{x}$

denn $\frac{1^{0,81}}{1} : \frac{2^{0,81}}{2} = 1 : \frac{1,75}{2} = 8:7$

Diese Annahme beruht auf einer kritischen Prüfung der wenigen vorliegenden Daten und gibt einen wahrscheinlichen Wert wieder. Sie wird weiterhin geprüft. Die Korrekturrechnungen, die bei Ansatz eines besser gesicherten Wertes erforderlich sind, bereiten keine Schwierigkeiten.

Unter dieser Annahme ergeben sich die günstigsten Verhältnisse für zwei Fahrten grösstmöglicher Massengutfrachter, nämlich für den hier untersuchten *Massengutfrachter von 65 000 tdw* auf der *Magellanstrasse* und auf der *Panamaroute*, und zwar sowohl bei Annahme konventionell günstigster als auch bei üblicher Geschwindigkeit. ⁽¹⁾

(2) Der Einfluss der Geschwindigkeit

Die Höhe der Geschwindigkeit ist für die Rentabilität des nuklearen Schiffsantriebs von entscheidender Bedeutung.

a) Die bei konventionellem Antrieb *optimalen Geschwindigkeiten* liegen ausserordentlich niedrig:

- bei 12 Knoten für Tanker;
- unter 12 Knoten für Massengutfrachter und Schnellfrachter.

Bezogen auf diese Geschwindigkeiten ergeben sich recht niedrige absolute Obergrenzen für die Kernenergieanlagen, was wegen der geringen erforderlichen Leistung auch einleuchtend ist. Am vergleichsweise günstigsten liegt der grosse Massengutfrachter für die Magellan- und Panamaroute.

b) Wenn an Stelle der für den konventionellen Antrieb optimalen die heute *üblichen Geschwindigkeiten angesetzt werden*, und zwar

- 16 Knoten für den Tanker und den Schnellfrachter
- 14 Knoten für den Massengutfrachter,

ergeben sich unter Berücksichtigung vernünftiger Annahmen für die Spaltstoffkosten und den Kapitalamortisierungsfaktor (siehe unten) folgende Aussagen:

- Die absolute Obergrenze der Baukosten der Kernenergieanlage am höchsten für den grossen Tanker (100 000 tdw) auf der Route nach Venezuela und nach dem Persischen Golf;
- die Obergrenze der Baukosten je Wellen-PS am höchsten für den kleinen Massengutfrachter (20 000 tdw) auf der Magellanroute; nahe dabei liegt die Baukostenobergrenze für den grossen Massengutfrachter (65 000 tdw) auf der Panamaroute;
- die Obergrenze der Baukosten bezogen auf die (Wellenleistung)^{0,81} am höchsten für den grossen Massengutfrachter (65 000 tdw) auf der Magellanroute und der Panamaroute; für diese Reise liegt die so erhaltene Obergrenze etwa 3 % unter der Obergrenze unter der Annahme konventionell günstigster Geschwindigkeiten.

(3) Die Bedeutung der Spaltstoffkosten

In bezug auf die Spaltstoffkosten sind folgende Alternativen durchgerechnet worden: 0; 0,5; 1,0 und 1,5 Dpf/WPSH (0; 1,25; 2,50 und 3,75 mills/WPSH). Selbstverständlich liegt die Obergrenze der Baukosten der Kernenergieantriebsanlage umso höher, je niedriger die Spaltstoffkosten sind.

⁽¹⁾ Es scheint so als ob diese Aussage richtig bleibt, wenn ein anderer vernünftiger Satz für die Kostendegression der Kernenergieanlagen bei Steigerung der Wellenleistung gewählt wird.

Die 14 Kurven zeigen, (seiten 98 bis 102), dass im allgemeinen nur bei Spaltstoffkosten, die unter 1 Dpf/WPSH (2,5 mills/WPSH) liegen, die Baukostenobergrenze mit steigendem KKF⁽¹⁾ sinkt. Bei Spaltstoffkosten von etwa 1 Dpf (2,5 mills/WPSH) entsprechen die höchstzulässigen Baukosten einer Kernenergieanlage etwa den Baukosten der entsprechenden konventionellen Anlage: der Mehrkostenfaktor ist gleich 1.

Es ist nicht zu erwarten, dass die Baukosten für eine nukleare Antriebsanlage in absehbarer Zeit unter die Baukosten einer entsprechenden konventionellen Anlage, nämlich die einer herkömmlichen Turbinenanlage, gesenkt werden können, denn der bei den üblichen Kernenergie-Zweikreisanlagen erforderliche „Ersatz“ des Dampfkessels durch einen Reaktor mit Wärmeübertrager bedingt einen recht hohen Kapitaleinsatz. Auch die Sicherheitserfordernisse wirken sich vertuernd aus. Vielleicht — so bemerken die Berichtersteller — bietet die Konstruktion eines gasgekühlten Reaktors mit direkt nachgeschalteter Gasturbine eine Möglichkeit, die Kapitalkosten und auch das Anlagengewicht zu reduzieren. Andererseits bestehen heute zwischen herkömmlichen Turbinenanlagen und Motoranlagen keine wesentlichen Preisdifferenzen, so dass auch eine Motoranlage (Serienfertigung) in naher Zukunft immer billiger sein wird als eine Kernenergieanlage, die nach dem Zweikreis-System arbeitet.

Aus diesen Überlegungen folgt, dass unter den hier gemachten Annahmen ein wettbewerbsfähiger Kernantrieb für Schiffe nur mit Reaktoren erreicht werden kann, die zu Spaltstoffkosten unter 1 Dpf (2,5 mills)/WPSH führen. Um den Kernenergie-Antrieb wettbewerbsfähig zu machen, ist es daher unerlässlich, die Entwicklung der für den Schiffsantrieb bestimmten Reaktoren so voranzutreiben, dass die Spaltstoffkosten unter diese Obergrenze sinken.

Die Berichtersteller bemerken dazu: „Die „Break-even-Charts“ zeigen, deutlich, dass die Mehrkostenfaktoren nur dann merklich über 1 liegen, wenn die Spaltstoffkosten wesentlich unter den Brennstoffkosten für die Motoranlage liegen (das Kernenergie-Schiff hat zusätzliche Versicherungs- und andere Kosten). Diese Aussage bezüglich des Verhältnisses zwischen Mehrkostenfaktor und Spaltstoffkosten ist völlig einleuchtend unter der Annahme, dass die Schiffe beider Antriebsarten die gleiche Ladungsmenge befördern. Tatsächlich befördert das Kernenergie-Schiff aber im allgemeinen mehr Ladung als das herkömmliche Schiff, da kein Brennstoff von merkbarem Raum- bzw. Gewichtsbedarf mitgeführt werden muss. Die Auswirkung dieser „Mehrladung“ des Kernenergie-Schiffes auf die Beförderungskosten bei normalen Geschwindigkeiten (d.h. normalen Brennstoffvorräten für das herkömmliche Schiff) wird jedoch meistens überschätzt. Ausserdem kann wegen der Freibord-Zonenvorschriften die zusätzliche Ladekapazität des Kernenergie-Schiffes in vielen Fällen gar nicht ausgenutzt werden. Die Tatsache, dass Ladungsdifferenzen in der Grössenordnung des Anlagengewichts für herkömmliche Schiffe keinen besonders grossen Einfluss haben, wird deutlich an Hand der Transportkosten-Diagramme, die für jeweils eine obere und eine untere Gewichtsgrenze der Kernenergie-Anlage berechnet worden sind.“

(4) Die Bedeutung der Rendite

In den Berechnungen der Berichtersteller werden alternativ 4 verschiedene *Kapitalkostenfaktoren (KKF)*: 8, 10, 12 und 20 % angewandt.

Da die Baukosten für die Kernenergie-Antriebsanlage absehbar immer höher sind als die Baukosten einer konventionellen Anlage, folgt, dass — immer unter der Annahme, dass die Spaltstoffkosten unter 1 Dpf (2,5 mills)/WPSH liegen — das Kernenergie-Schiff im Kostenvergleich mit dem konventionellen umso günstiger abschneidet, je kleiner der Kapitalkostenfaktor (KKF) ist. Die wiedergegebenen graphischen Darstellungen bestätigen dies eindeutig.

Nun ist die Rendite, die der Reeder aus dem in seinen Schiffen investierten Kapital zieht, d.h. der Kapitalkostenfaktor (KKF), abhängig von der Höhe der erzielbaren oder erzielten Fracht. Die Untersuchung gelangt damit zu der überraschenden, aber einleuchtenden Feststellung, dass *ceteris paribus der Kernantrieb bei niedrigem Frachtenmarkt eine relativ günstigere Wettbewerbschance hat als bei hohem Frachtenmarkt.*

(1) Kapitalkostenfaktor.

7.5 — Ergebnisse eines Kostenvergleichs unter der Annahme, dass das kernenergiegetriebene Schiff schneller fährt als das zum Vergleich herangezogene konventionell getriebene Schiff (Alternative B)

Zu welchen Ergebnissen sind die Berichtersteller nun unter der Annahme gelangt, dass das konventionelle Schiff mit optimaler Geschwindigkeit fährt, während für das mit Kernenergie getriebene Schiff *verschiedene Geschwindigkeitsannahmen gemacht werden?*

(1) Grundannahmen

Was Type, tdw und Reiseroute betrifft, so sind die gleichen 14 Kombinationen wie für die Annahmen gleicher Geschwindigkeit in Betracht gezogen worden. Das gleiche gilt für die *Spaltstoffkosten*, obwohl auch hier gilt, dass nur die Spaltstoffkosten unter 1 Dpf (2,5 mills)/WPSH Aussicht auf einen konkurrenzfähigen nuklearen Schiffsantrieb eröffnen. Um die Berechnungen in Grenzen zu halten, wurden nur zwei Varianten für den *Kapitalkostenfaktor* — 10 % und 12 % — in Betracht gezogen.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den folgenden graphischen Darstellungen zusammengefasst. Eine Zahlenübersicht unterrichtet über die Ergebnisse unter den besonderen Annahmen

- Spaltstoffkosten: 0,5 Dpf (1,25 mills)/WPSH;
- KKF: 10 % und 12 %;
- günstigste Geschwindigkeit für das konventionell betriebene Schiff.

(2) Wie bereits unter 7.4 ausgeführt wurde, ist für die Rentabilität des nuklearen Schiffsantriebs die Wahl der Referenzgeschwindigkeit für das konventionell getriebene Schiff von entscheidender Bedeutung. Die Berichtersteller haben sich darauf beschränkt, als Referenzgeschwindigkeit die konventionell günstigste Geschwindigkeit anzusetzen und dafür unter Aufrundung nach oben für den Massengutfrachter und den Schnellfrachter eine Geschwindigkeit von 12 Knoten gewählt.

Die Berichtersteller bemerken dazu: „Wenn man — wie es häufig geschieht — willkürlich hypothetische Schiffe für einen Vergleich heranzieht, etwa einen 100 000 tdw-Tanker mit 24 Knoten bei einer Reiseroute von 20 000 Seemeilen und ausserdem den Freibordausgleich nicht berücksichtigt, kann natürlich eine „Wirtschaftlichkeit“ des Kernenergie-Schiffes im Vergleich zu herkömmlichen Schiffen „konstruiert“ werden. Meistens wird weiterhin als herkömmliches Schiff ein Turbinenschiff betrachtet, das bei hohen Geschwindigkeiten wegen des gegenüber einem Dieselmotor hohen spezifischen Verbrauchs von vornherein verhältnismässig ungünstig liegt.

Ein Vergleich bei willkürlich gewählten hohen Geschwindigkeiten wäre nicht sinnvoll, denn ein herkömmlicher 24-Knoten-Tanker hat heute sicherlich höhere Transportkosten als ein langsameres Schiff. Solange man mit z.B. einem 16-Knoten-Tanker die Ladung billiger als mit einem 24-Knoten-Tanker befördern kann, besteht für einen Reeder keinerlei Veranlassung, ein derart schnelles Schiff in Dienst zu nehmen. Nun steigt mit abnehmendem Brennstoff- bzw. Spaltstoffkosten (bei sonst gleich bleibenden Verhältnissen) die optimale Geschwindigkeit eines Schiffes; ein Kernenergie-Schiff kann daher unter Umständen eine höhere optimale Geschwindigkeit haben als ein herkömmliches Schiff; in diesem Fall darf man aber gerechterweise nur Schiffe miteinander vergleichen, die beide mit ihrer (im allgemeinen verschiedenen) optimalen Geschwindigkeit fahren. (In diesem Zusammenhang soll darauf hingewiesen werden, dass die auf geringste Transportkosten bezogene optimale Geschwindigkeit nicht die Geschwindigkeit der maximalen Rendite — abhängig vom KKF — ist.)

Die mögliche „Mehrladung“ der Kernenergie-Schiffe macht sich nur bemerkbar bei Tankern und Massengutfrachtern, also bei Schiffen, die normalerweise hinsichtlich ihrer gewichtsmässigen Ladungsfähigkeit voll ausgenutzt werden und die (als Schiffe mit konventionellem Antrieb) von

der Reiseroute her gezwungen sind, grosse Brennstoffvorräte mitzuführen. Bei Stückgutfrachtern, deren Frachtkapazität gewichtsmässig kaum ausgenutzt wird, besteht dagegen immer die Möglichkeit, in kurzen Zeitabständen zu bunkern. Bei sehr hohen Geschwindigkeiten mit entsprechend hohem Verbrauch der Maschinenanlage kann sich natürlich auch bei kleinen Bunkerabständen eine „Mehrladung“ des Kernenergie-Schiffes herausstellen. Im Gegensatz zu Tankern und Massengutfrachtern sind bei Stückgut Schiffen hohe Geschwindigkeiten wahrscheinlicher, da bei diesen Schiffen die Geschwindigkeiten nach anderen Gesichtspunkten (Linienverkehr, Prestige, u.ä.) als nach den niedrigsten Transportkosten festgelegt werden.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Mehrladung der Kernenergie-Schiffe, die häufig als Hauptargument für eine Wirtschaftlichkeit des Kernenergie-Schiffes angeführt wird, — jedenfalls auf realen Reiserouten bei realen Geschwindigkeiten — nicht dermassen entscheidend zur Verringerung der Transportkosten beiträgt, dass etwa die hohen Kapitalkosten der Reaktoranlage ausgeglichen werden.

(3) Die optimale Geschwindigkeit des kernenergiegetriebenen Schiffes

Die von den Berichterstattern errechneten Break-even-Charts erlauben es, Aussagen über die vom Standpunkt der Rentabilität konventioneller Schiffe aus gesehen annähernd optimale Geschwindigkeit kernenergiegetriebener Schiffe zu machen (Hüllkurve). Bei der Auswertung der Rechnungen ergeben sich allerdings gewisse Schwierigkeiten aus dem Umstand, dass bei etwa 30 000 WPS die Grenze zwischen den Anwendungsbereichen des Ein- und Zweischraubenschiffes liegen.

Es zeigt sich allgemein, dass unter der Voraussetzung von Spaltstoffkosten < 1 Dpf (2,5 mills)/WPSH die optimale Geschwindigkeit des kernenergiegetriebenen Schiffes etwas *höher* liegt, als diejenige des entsprechenden konventionell getriebenen Schiffes. Die Differenz der Geschwindigkeiten kann je nach Höhe der Spaltstoffkosten beachtlich sein.

Wie bereits ausgeführt wurde, liegt die optimale Geschwindigkeit konventionell getriebener Schiffe recht niedrig: für Tanker bei 12 Knoten, für Massengutfrachter zwischen 10 und 12 Knoten. Gleichwohl wurden aber auch für diesen Frachter nur Rechnungen auf der Basis von 12 Knoten durchgeführt. *Die optimale Geschwindigkeit nuklear getriebener Schiffe liegt im grossen und ganzen nur etwa 2 Knoten höher* — allerdings mit nicht unerheblichen Abweichungen nach oben oder unten — wenn sie in gleicher Weise wie konventioneller Schiffe eingesetzt werden.

Der Versuch einer Optimalisierung ist für die folgenden Annahmen gemacht worden (vgl. Tabelle, Seite 117):

- Spaltstoffkosten: 0,50 Dpf (1,25 mills)/WPSH
- Kapitalkostenfaktor: 12 %
- Degressivität der spezifischen Baukosten der Kernenergieanlage nach der Formel : Baukosten proportional (Wellenleistung)^{0,81}.
- Die Annahme, dass das nuklear betriebene Schiff 2 Knoten schneller fährt als das konventionell betriebene Schiff optimaler Geschwindigkeit.

Unter dieser Annahme ist die günstigste Lage gegeben für einen *Massengutfrachter von 65 000 tdw* auf der *Panamaroute* oder auch auf der *Magellanstrasse*.

Die so errechneten Obergrenzen der Baukosten liegen etwa gleich hoch wie unter der Annahme, dass sowohl das konventionell als auch das nuklear getriebene Schiff 12 Knoten fahren. Die Obergrenzen würden sich aber erhöhen, wenn in der Rechnung, die auf jeweils optimalen Geschwindigkeiten beruht, anstelle der hier eingesetzten Referenzgeschwindigkeit von 12 Knoten für den konventionell getriebenen Massengutfrachter die tatsächlich niedrigere günstigste Geschwindigkeit für diesen Frachter eingesetzt wird.

7.6 — Aus den Ergebnissen der Untersuchungen der Herren Illies und Légrand, die nur im Rahmen der hier in Betracht gezogenen Annahmen über Typen, Tonnagen und Reisen gelten, lassen sich folgende Schlussfolgerungen einleiten:

(1) Es ist unerlässlich, die Entwicklung so weit zu bringen, dass die *Spaltstoffkosten* je WPSH unter 1 Dpf (2,5 mills) sinken. Es ist angebracht, nur solche Reaktortypen zu entwickeln, die in dieser Hinsicht gute Ergebnisse erwarten lassen.

Die Berichtersteller geben hierzu folgenden Kommentar: „Da eine wesentliche Verminderung der Kapitalkosten für Kernenergie-Schiffsanlagen in näherer Zukunft sehr unwahrscheinlich ist, sollte man in erster Linie eine Herabsetzung der Spaltstoffkosten anstreben. Es müssen die thermischen Wirkungsgrade der Maschinenanlage, die Ausbrandfaktoren der Brennelemente, die Auswechseleinrichtungen u.ä. verbessert werden, wenn die Kernenergie-Schiffsanlage überhaupt eine wirtschaftliche Chance gegenüber einer herkömmlichen Maschinenanlage bekommen soll. Dieselmotoren dringen in immer höhere Leistungsbereiche vor; die Anwendung von Schweröl als Treibstoff ergibt heute bei günstigeren Bunkerungen reine Brennstoffkosten für Motorenanlagen von etwa 1 Dpf (2,5 mills)/WPSH. Dampfturbinenanlagen liegen bei etwa 1,5 Dpf (3,75 mills)/WPSH. Die Kernenergieanlage müsste also, um wettbewerbsfähig zu werden, — überschlägig gerechnet — Spaltstoffkosten unter 1 Dpf (2,5 mills)/WPSH erreichen, (die genaueren Zusammenhänge zwischen Schiffsgrösse, Route, Geschwindigkeit, usw. können aus den Break-even-Charts abgelesen werden). Die oben angegebenen Spaltstoffkosten sind heute mit den — im Verhältnis zu grossen Landanlagen — kleinen Schiffsanlagen kaum zu erreichen (die grösste in der Studie betrachtete Anlage benötigt einen Reaktor von etwa 37 MW_{mech} oder etwa 150 MW_{therm}). Hinzu kommt, dass die Kernenergie-Schiffsanlagen mit den Kosten der kapitalintensiven Auswechsellstationen der Brennelemente in irgendeiner Form belastet werden müssen. Am sinnvollsten erscheint es, die Auswechselkosten den Spaltstoffkosten zuzurechnen.“

(2) Für Reaktoren, für die die unter (1) bezeichneten Spaltstoffkosten je WPSH erreichbar erscheinen, ist zu prüfen, ob eine Aussicht besteht, die *Investitionskosten* der Kernenergie-Antriebsanlage so weit zu senken, dass die in diesem Bericht genannten Obergrenzen unter den günstigsten Bedingungen erreicht bzw. unterschritten werden. Ist dies nicht der Fall, so verspricht die Entwicklung eines solchen Reaktors keinen Erfolg im Sinne eines wettbewerbsfähigen Schiffsantriebs. Unter solchen Bedingungen soll die Forschung und die Entwicklung nur weiter betrieben werden, wenn sich die Erkenntnisse auf *andere, für den Schiffsantrieb geeignete Reaktorreihen* übertragen lassen.

* * *

Obwohl es eindeutig aus dieser Untersuchung hervorgeht, dass der nukleare Schiffsantrieb noch nicht wettbewerbsfähig ist, darf man doch bei einer umfassenden vergleichenden Untersuchung die Vorteile, die der nukleare im Gegensatz zum konventionellen Schiffsantrieb bieten kann, nicht ausser acht lassen.

Bei einem Gewicht und Ausmassen, die den Erfordernissen der Schifffahrt entsprechen, ermöglicht eine nukleare Antriebsanlage eine weit höhere Leistung. Daraus ergibt sich, dass das nuklear getriebene Schiff die mit einer konventionellen Antriebsanlage erreichten Höchstgeschwindigkeiten um ein Erhebliches überschreiten kann. Als ein weiterer Vorteil ist hervorzuheben, dass für das nukleare Schiff eine einzige Brennstoff-Füllung, ohne Erneuerung, den Betrieb des Schiffes für eine Zeit von 1-3 Jahren sicherstellen kann, und dass das Gewicht und die Ausmasse des nuklearen Brennstoffs im Verhältnis zur nutzbaren Ladefläche und zur Grösse des Schiffes vernachlässigbar klein sind. Es wäre noch zu erwähnen, dass der Betrieb eines Schiffsreaktors keine Sauerstoffzufuhr erfordert, was neue Perspektiven für die Untersee-Schifffahrt eröffnet. Schliesslich könnte die Automatisierung der Leistungsreaktoren an Land ebenfalls auf den Schiffsantrieb angewendet werden, welche eine Herabsetzung der Besatzungskosten herbeiführen würde.

Hierbei schliessen sich die nachfolgenden Schlussfolgerungen der Berichterstatter an:

„Die meisten Aussichten, in absehbarer Zeit mit herkömmlichen Schiffen in wirtschaftliche Konkurrenz treten zu können, haben von den in der Studie untersuchten Kernenergieschiffen die *Massengutfrachter*; man muss aber berücksichtigen, dass die gewählte Route Chile-Europa von vornherein wegen der Freibord-Zoneneinteilung ein relativ günstiges Ergebnis für die Schiffe mit Kernenergieantrieb erwarten liess. Da aber der allgemeine Trend in der Schifffahrt immer mehr auf den Bau bestimmter Spezialschiffe für bestimmte Routen hinausgeht, ist es durchaus möglich, dass in absehbarer Zeit der Kernenergieantrieb für grosse Massengutfrachter auf freibordgünstigen Routen wirtschaftliche Chancen gegenüber dem herkömmlichen Antrieb haben wird. Hinzu kommt, dass bei Massengutfrachtern die Ladung im allgemeinen nicht feuergefährlich ist, dass also der Kapitaleinsatz für sicherheitstechnische Massnahmen nicht so gross zu sein braucht wie für Tankschiffe mit brennbarer Ladung.

Tankschiffe werden im allgemeinen für Kernenergieschiffe freibordungünstige Reiserouten haben, d.h. die „theoretische Mehrladung“ kann nicht voll ausgenutzt werden, wodurch ein Vorteil der Kernenergieanlage, zumindest zum Teil, wieder verlorenght.

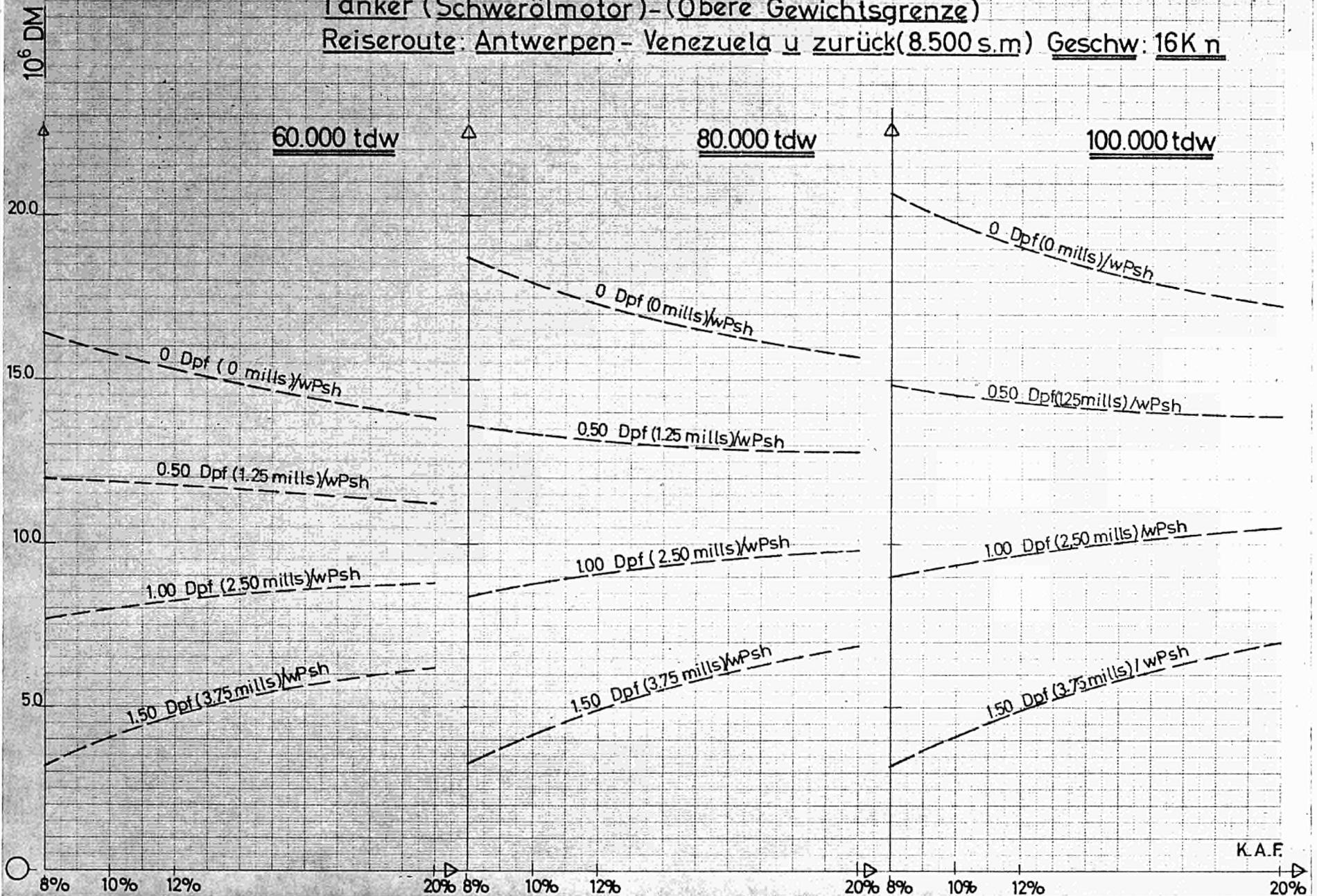
Schnellfrachter nutzen den vorerwähnten Vorteil des Kernenergieantriebs — die hohe Maschinenleistung — aus.

Für *Passagierschiffe*, die in der Studie nicht betrachtet wurden, dürften ähnliche Überlegungen gelten wie für die Schnellfrachter.

Eine bereits heute sicherlich vernünftige Anwendungsmöglichkeit für Kernenergieschiffsanlagen ist der Einsatz von *Kernenergieeisbrechern*, deren Operationsgebiet in grosser Entfernung vom Versorgungsgebiet liegt. Eine allgemeine Anwendung der Kernenergie für Zwecke der Handelsschifffahrt dürfte aber nicht in dem „Austausch“ von Antriebssystemen normal gebauter Handelsschiffe bestehen, sondern man wird hinsichtlich des Schiffsentwurfes neue konstruktive Wege suchen müssen. Eine Möglichkeit ist bereits häufig erörtert worden, nämlich der Bau von *Untersee-Frachtschiffen*. Allerdings sind hier noch viele Probleme (Laden, Löschen, Navigation, Belastung der Besatzung u.ä.) zu lösen, bevor man vor einem allgemein sinnvollen Einsatz der Kernenergie für Zwecke der Handelsschifffahrt sprechen kann.“

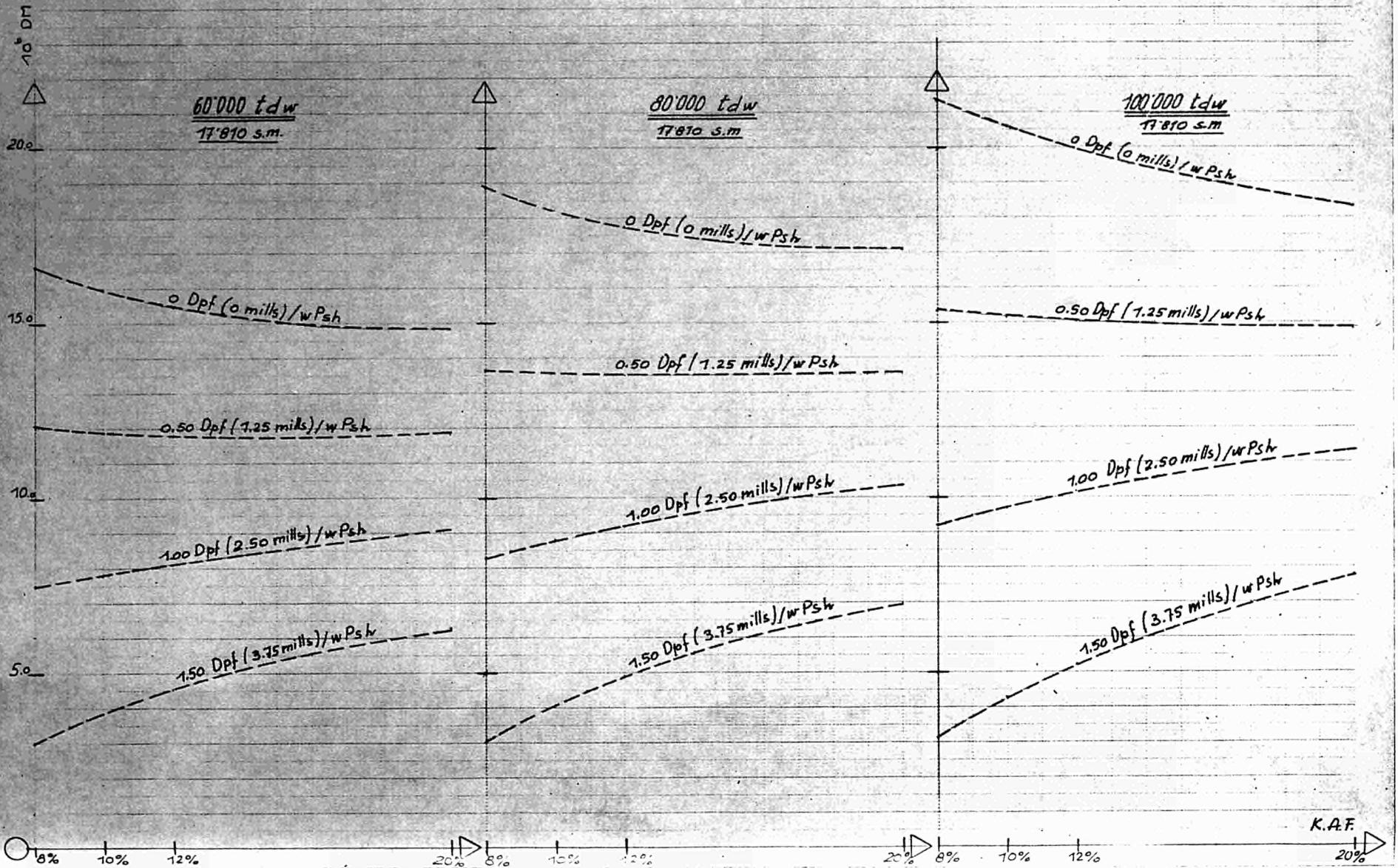
Mögliche Baukosten der Kernenergieanlage
 Tanker (Schwerölmotor) - (Obere Gewichtsgrenze)

Reiseroute: Antwerpen - Venezuela u zurück (8.500 s.m) Geschw: 16K n



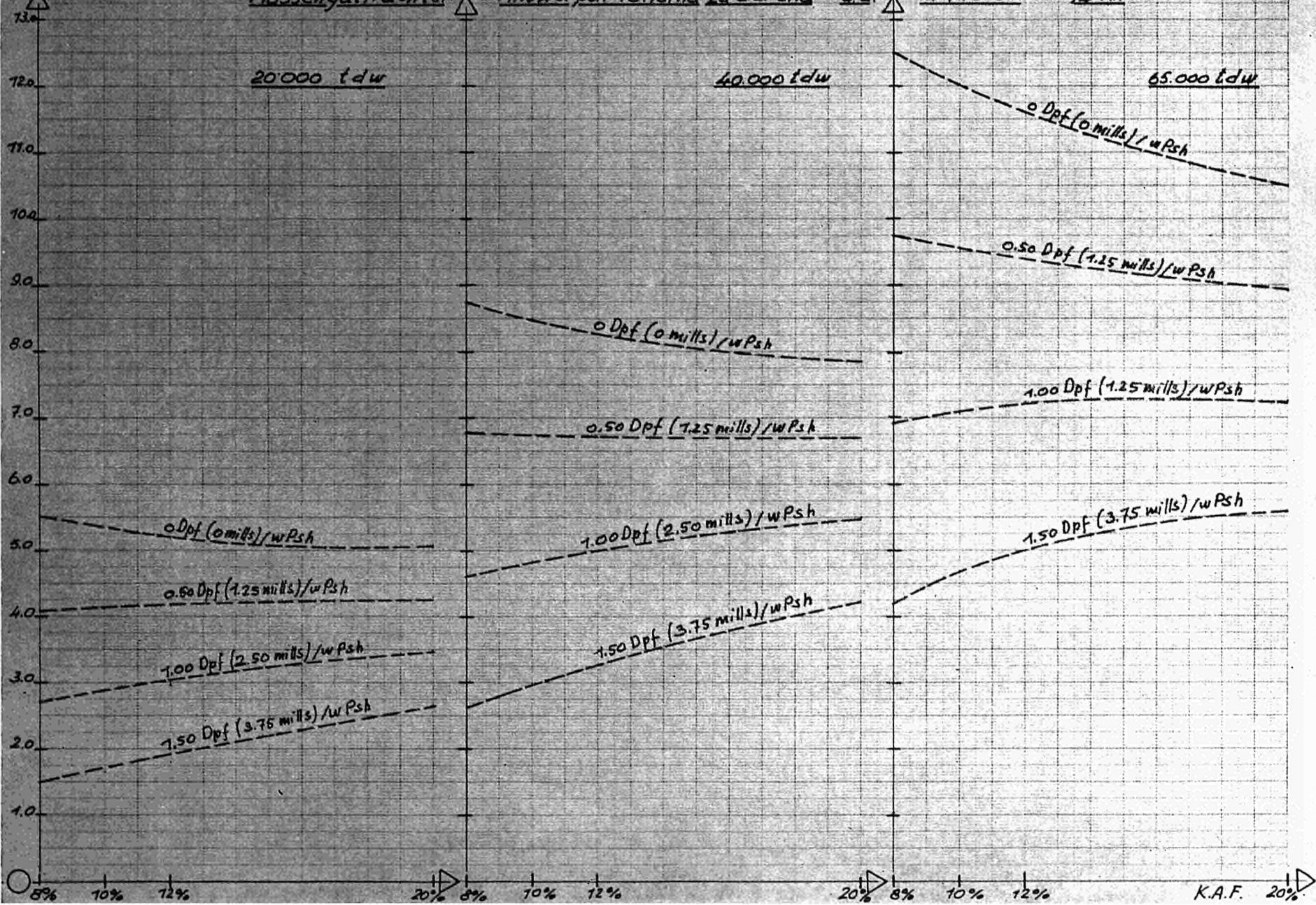
Mögliche Baukosten der Kernenergie-anlage
 Tanker (Schwerölmotor) - (Obere Gewichtsgrenze)
 Reiseroute: Antwerpen - Persischer Golf u zurück

Geschw: 16 Kn



Mögliche Baukosten der Kernenergie-Anlage

Massengutfrachter - Antwerpen Benama-La Serena u.z. 14440 s.m. 14 Kn



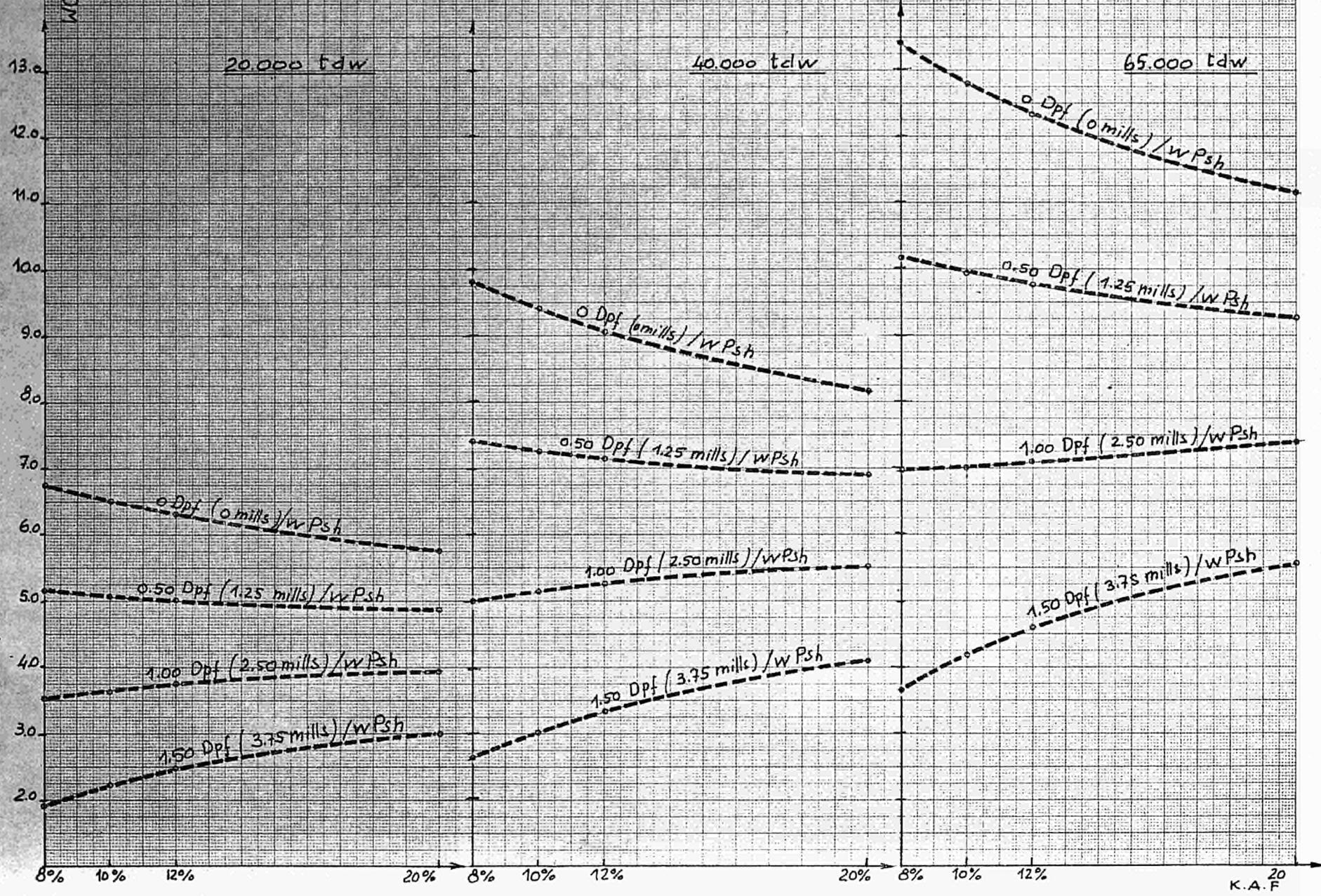
105

K.A.F. 20%

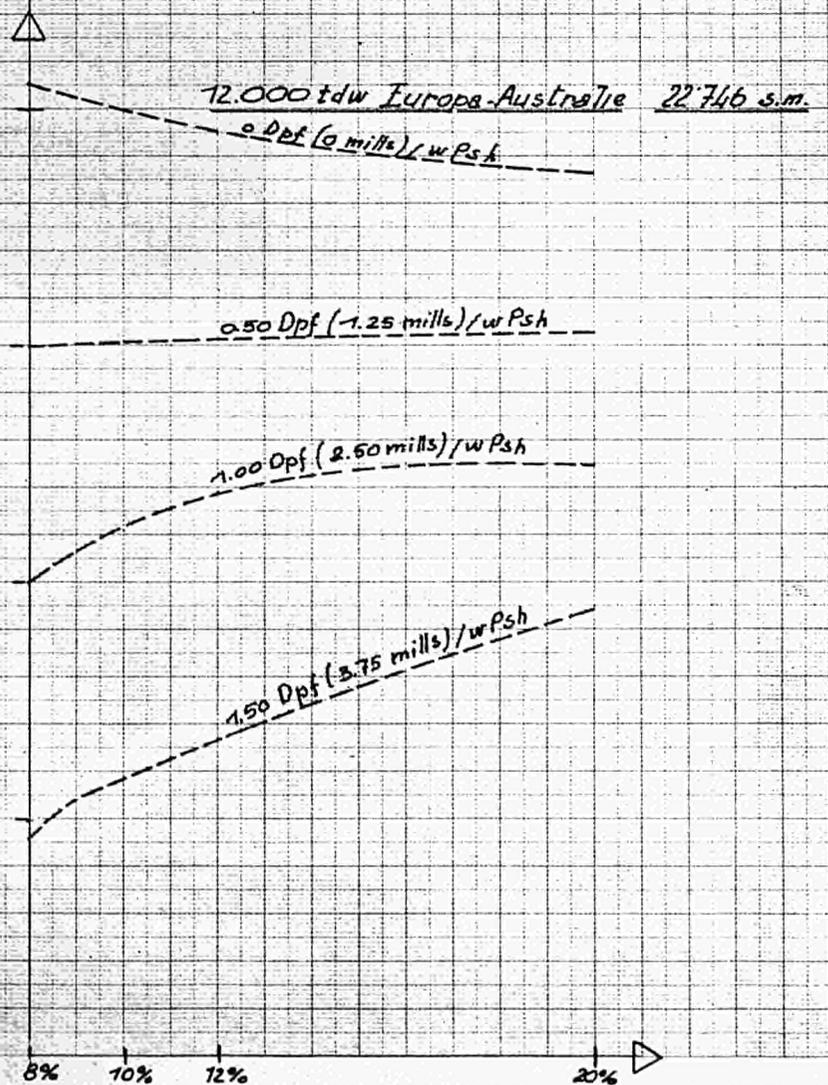
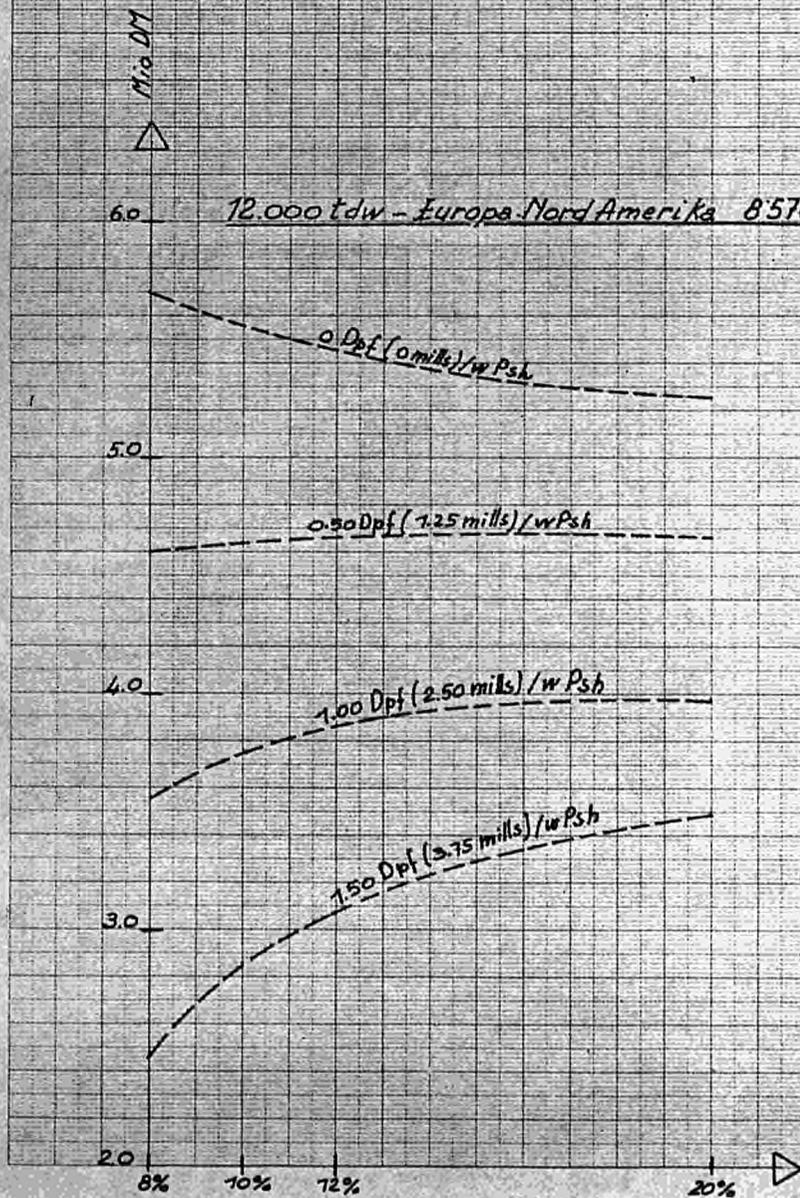
Mögliche Baukosten der Kernenergie Anlage

Massengutfrachter - Antwerpen - Chili

17.980 s.m 14 Kn



Mögliche Baukosten der Kernenergie-Anlage
Schnellfrachter - 76 Kn



**Die Obergrenze der Baukosten der Kernenergieanlage unter der Annahme,
dass das nuklear getriebene Schiff gleich schnell fahren soll, wie das
zum Vergleich untersuchte konventionell getriebene Schiff**

Günstigste Geschwindigkeiten

Besondere Annahmen : a. obere Gewichtsgrenze (siehe Bericht) c. Spaltstoffkosten : 50 Dpf/WPSH
b. Kapitalkostenfaktor 12 %

108

Type, Reiseroute und Geschwindigkeit	Wellenleistung (WPS)	Absolute Obergrenze der Baukosten der KE-Anlage (Mio. DM)	Obergrenze der Baukosten je Wellen-PS (DM/WPS)	Obergrenze der Baukosten bezogen auf die (Wellenleistung) ^{0,81} (DM)
<i>Tanker : 12 Knoten</i>				
a) Venezuela-Route	60.000 tdw	4,3	566	3.071
	80.000 tdw	5,4	568	3.233
	100.000 tdw	5,4	519	3.000
b) Route Pers. Golf	60.000 tdw	4,4	579	3.143
	80.000 tdw	5,5	579	3.293
	100.000 tdw	5,6	538	3.110
<i>Massengutfrachter 12 Knoten</i>				
a) Route Magellanstrasse	20.000 tdw	2,7	684	3.250
	40.000 tdw	4,1	707	3.660
	65.000 tdw	6,4	821	4.470
b) Panamaroute	20.000 tdw	2,1	553	2.625
	40.000 tdw	3,9	672	3.480
	65.000	6,4	821	4.470
<i>Schnellfrachter 12 Knoten</i>				
a) USA-Route	12.000 tdw	2,3	741	3.430
b) Australien-Route	12.000 tdw	2,6	839	3.880

**Die Obergrenze der Baukosten der Kernenergieanlage unter der Annahme,
dass das nuklear getriebene Schiff gleich schnell fahren soll, wie das
zum Vergleich untersuchte konventionell getriebene Schiff**

Übliche Geschwindigkeiten

Besondere Annahmen : 1. obere Gewichtsgrenze (siehe Bericht) c. Spaltstoffkosten : 0,50 Dpf/WPSH
b. Kapitalkostenfaktor 12 %

Type, Reiseroute und Geschwindigkeit	Wellenleistung (UPS)	Absolute Obergrenze der Baukosten der KE-Anlage (Mio. DM)	Obergrenze der Baukosten je Wellen-PS (DM/WPS)	Obergrenze der Baukosten auf die (Wellenleistung) 0,81 (DM)
<i>Tanker 16 Knoten</i>				
a) Venezuela-Route	60.000 tdw	20.000	585	3.850
	80.000 tdw	23.400	564	3.830
	100.000 tdw	26.800	537	3.740
b) Route Pers. Golf	60.000 tdw	20.000	690	3.950
	80.000 tdw	23.400	577	3.910
	100.000 tdw	26.800	563	3.922
<i>Massengutfrachter 14 Knoten</i>				
a) Route Magellanstrasse	20.000 tdw	6.500	769	4.100
	40.000 tdw	9.800	730	4.150
	65.000 tdw	13.200	739	4.470
b) Panamaroute	20.000 tdw	6.500	646	3.440
	40.000 tdw	9.800	673	3.860
	65.000 tdw	13.200	716	4.340
<i>Schnellfrachter 16 Knoten</i>				
USA-ROUTE	12.000 tdw	7.100	673	3.600
b) Australien-Route	12.000 tdw	7.100	718	3.835

(¹) Wert aus Kurve.

14'000 1000DM

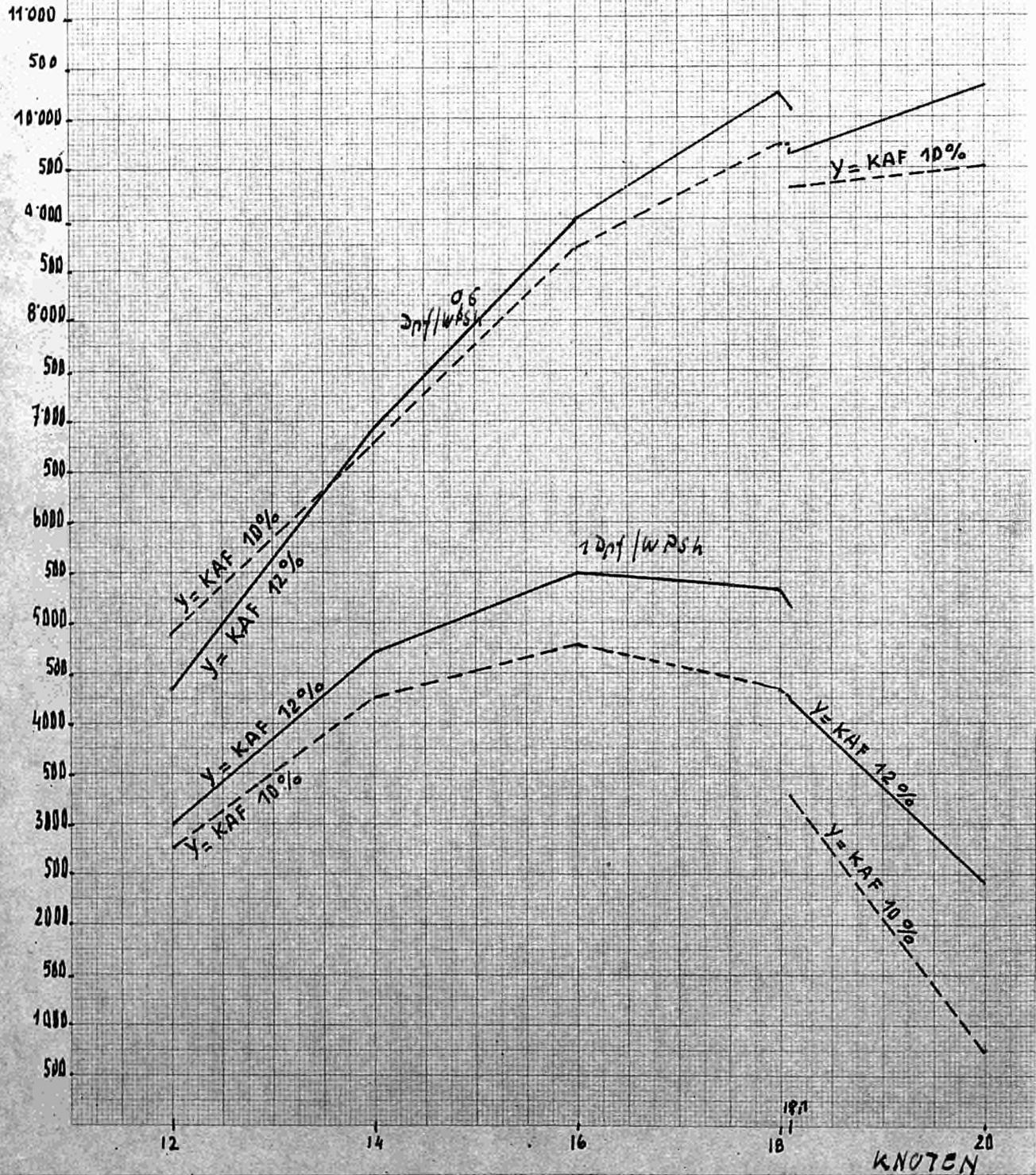
- 106 -

IA

Mögliche Baukosten der Kernanlage in 1000 DM
(auf das optimale herkömmliche Schiff bezogen - obere
Gewichtsgrenze)

60.000 tdw Tanker - Schwerölmotor

Reiseroute Antwerpen - Venezuela und zurück 8500 s.m



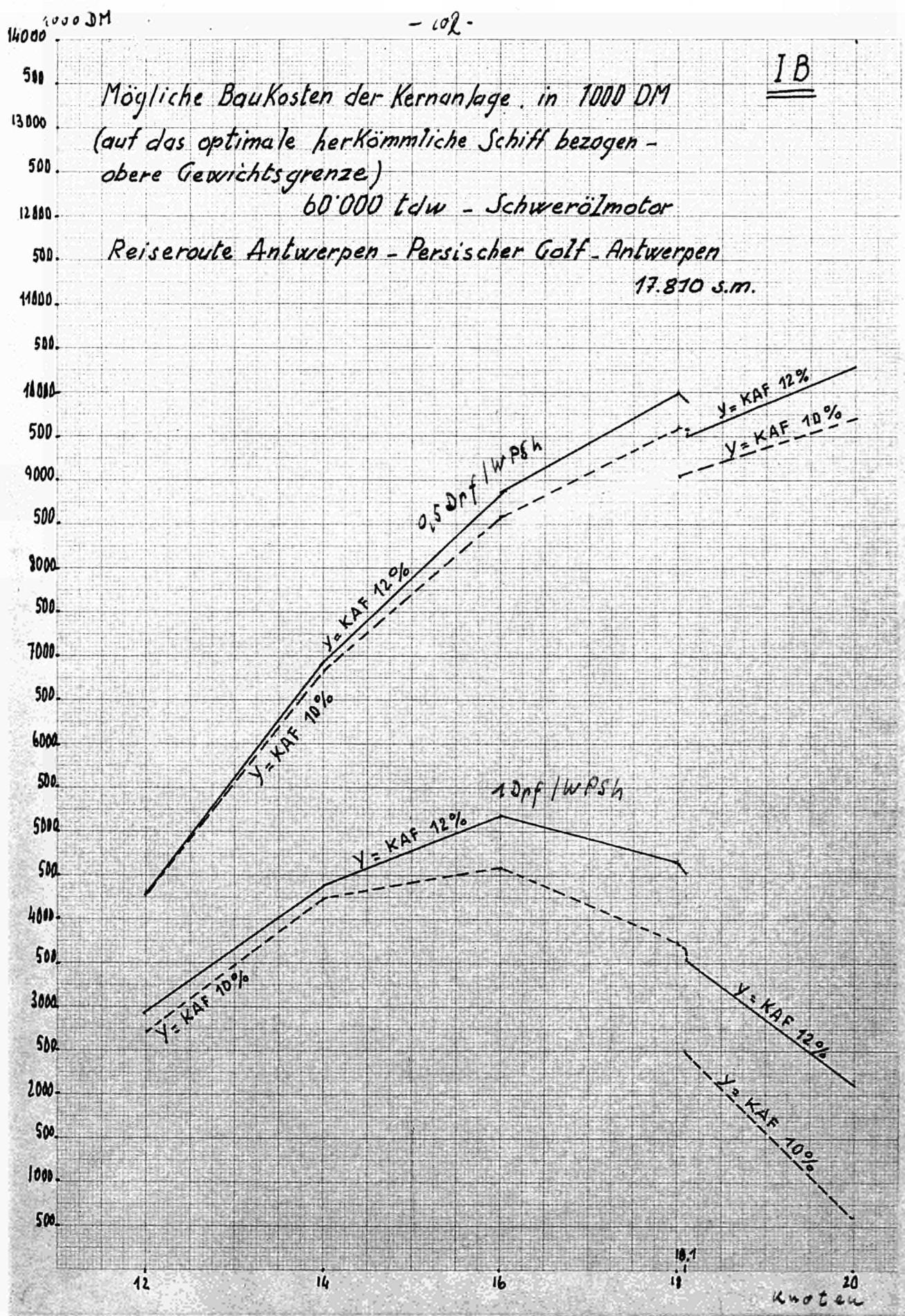
IB

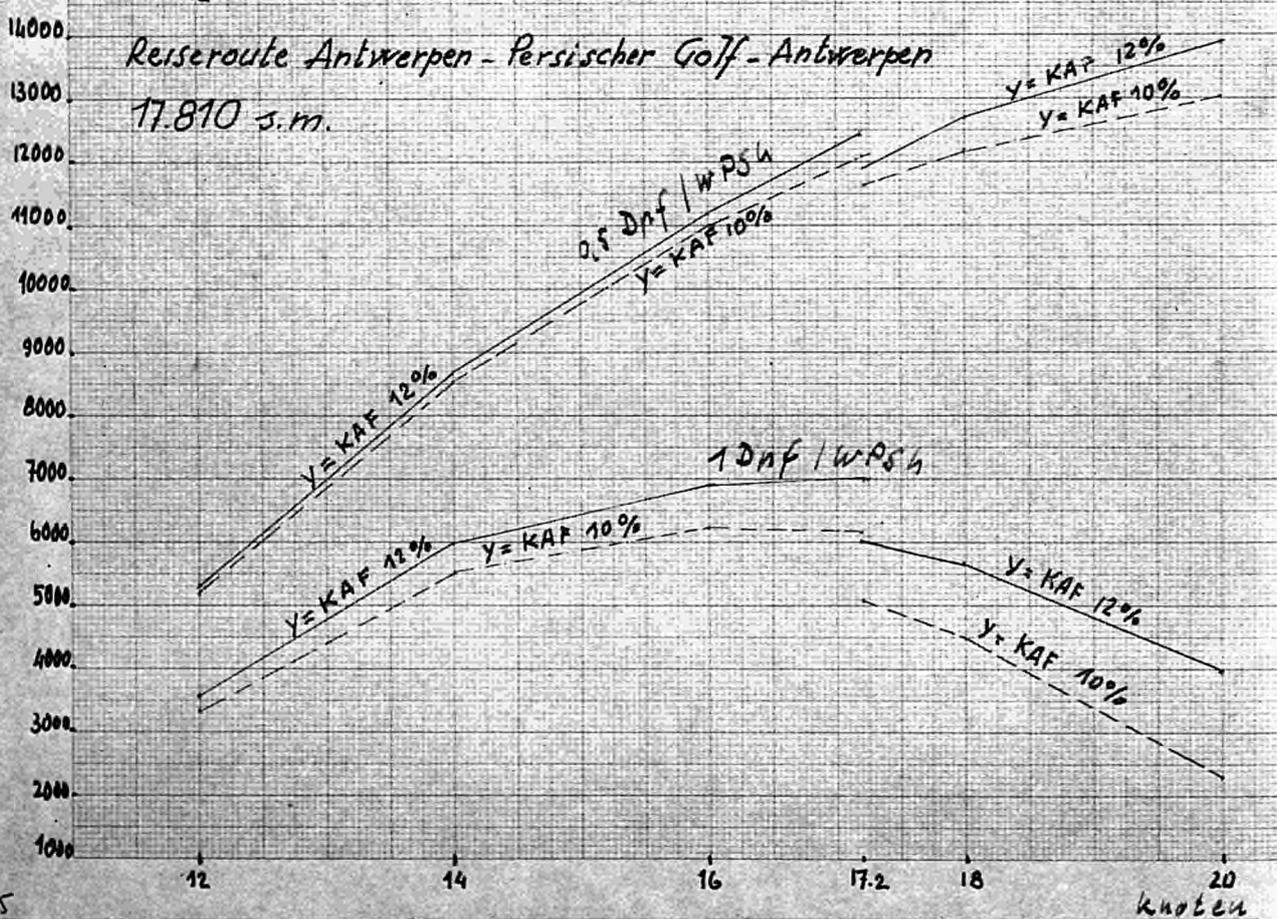
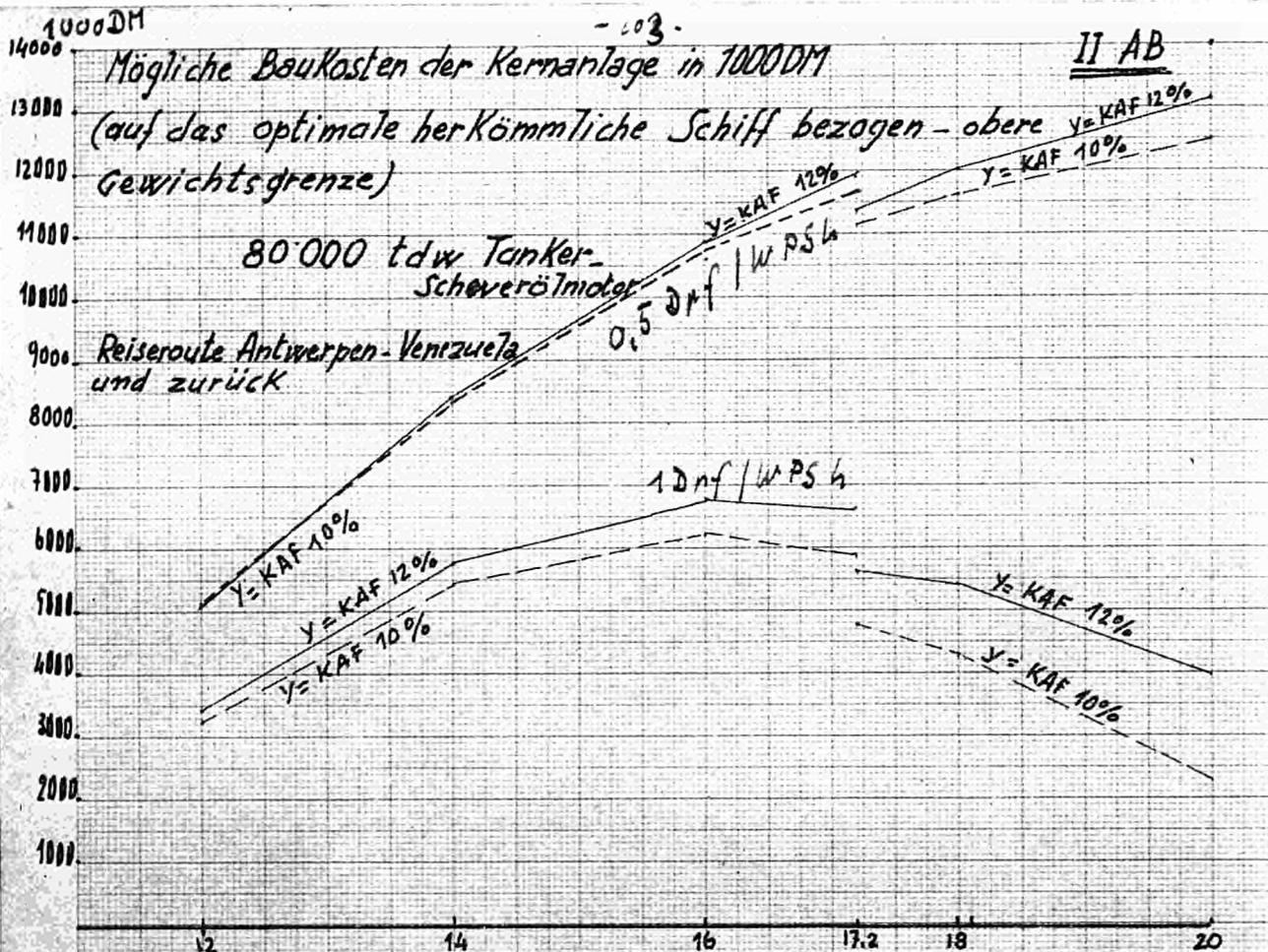
Mögliche Baukosten der Kernanlage, in 1000 DM
(auf das optimale herkömmliche Schiff bezogen -
obere Gewichtsgrenze)

60'000 t_{dw} - Schwerölmotor

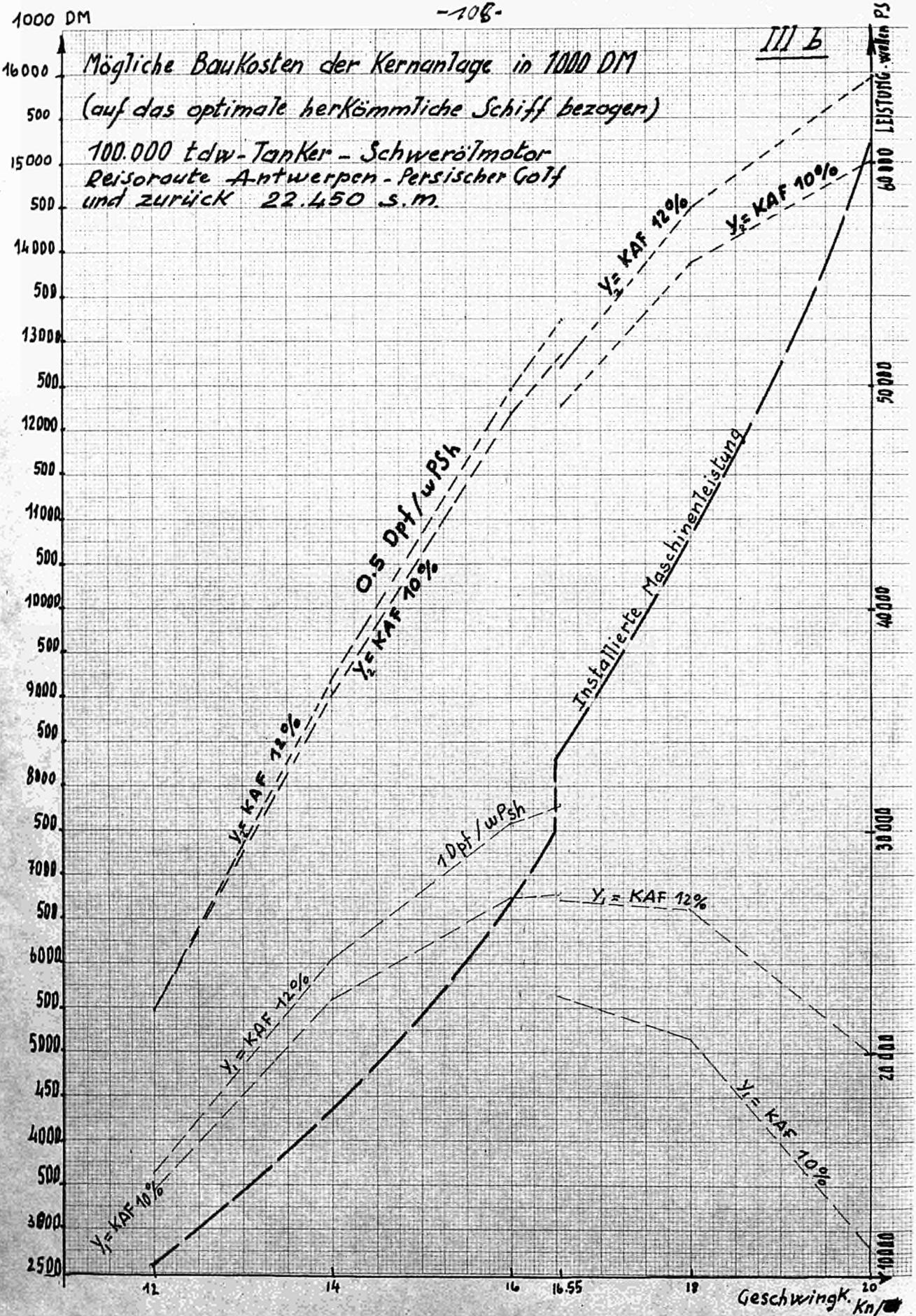
Reiseroute Antwerpen - Persischer Golf - Antwerpen

17.810 s.m.

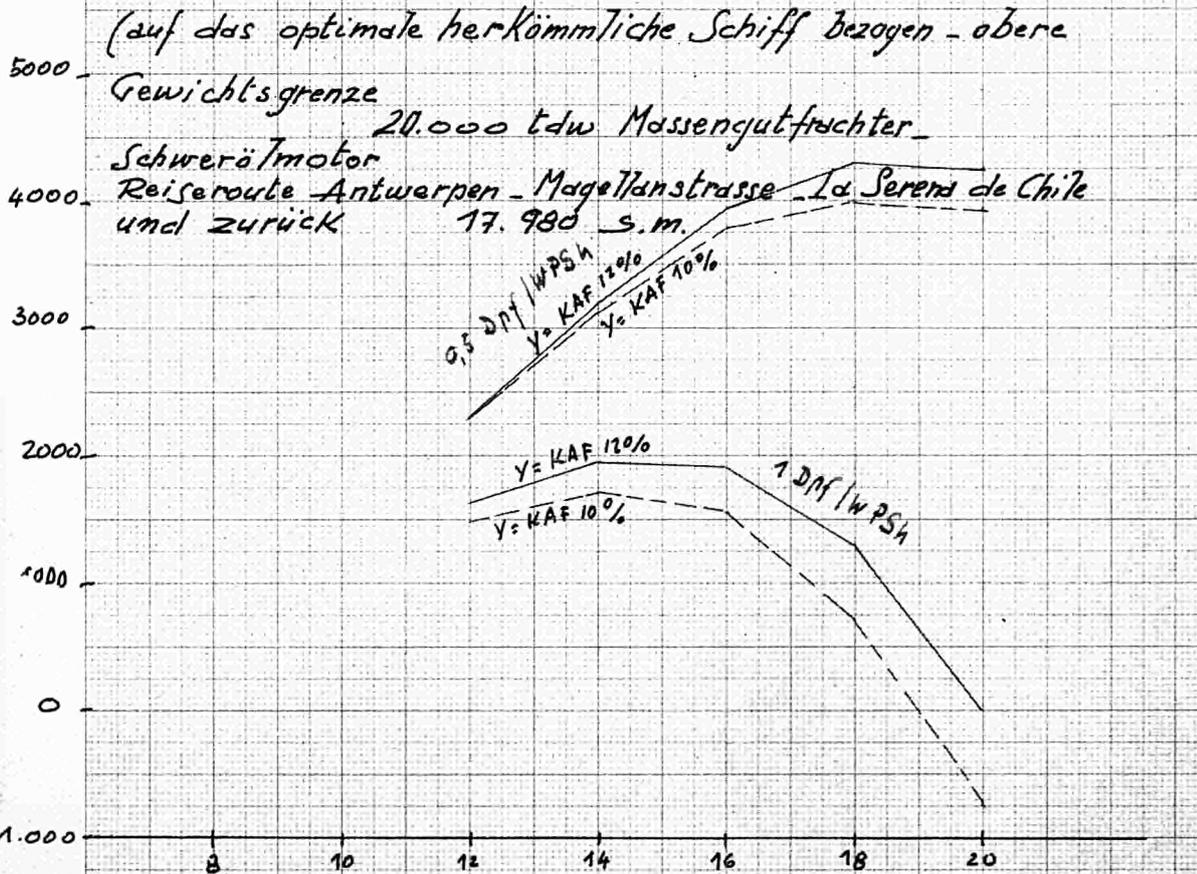




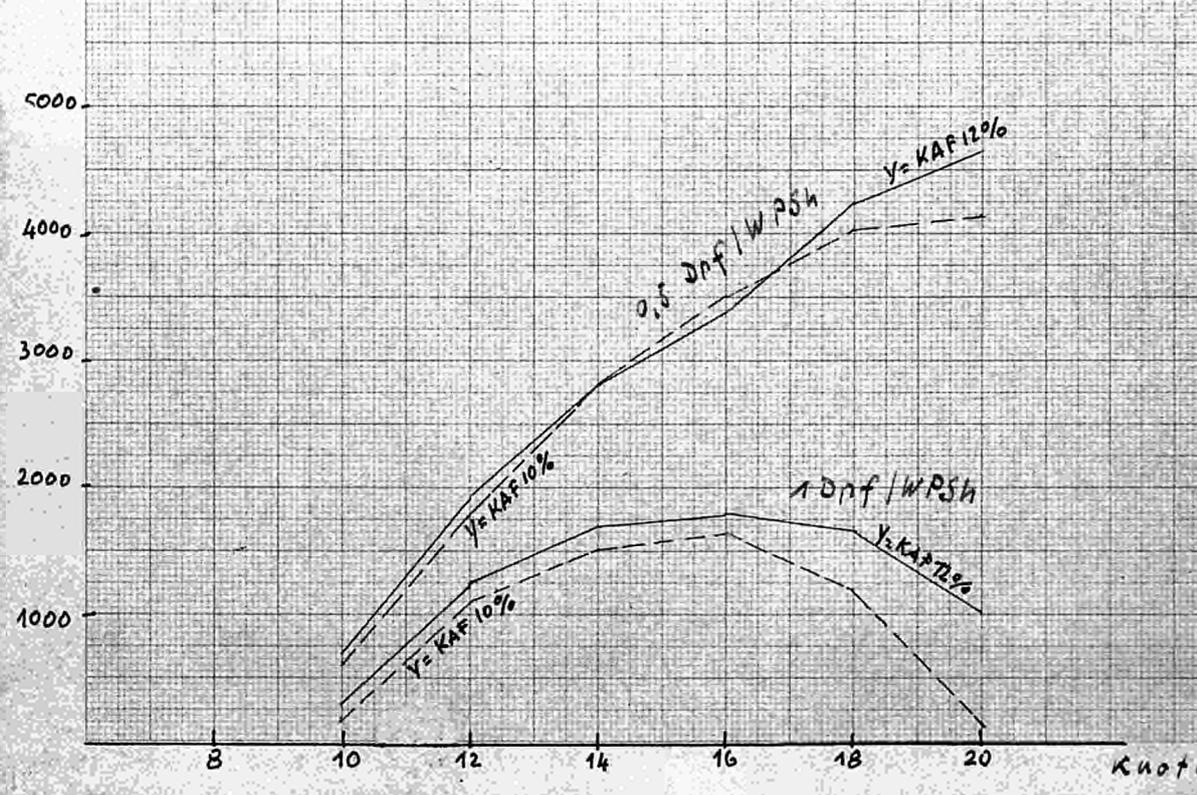
III B



1000DM - 106- IV
 Mögliche Baukosten der Kernanlage in 1000 DM



Reiseroute Antwerpen, Panamakanal - La Serena und zurück 14.400 s.m.



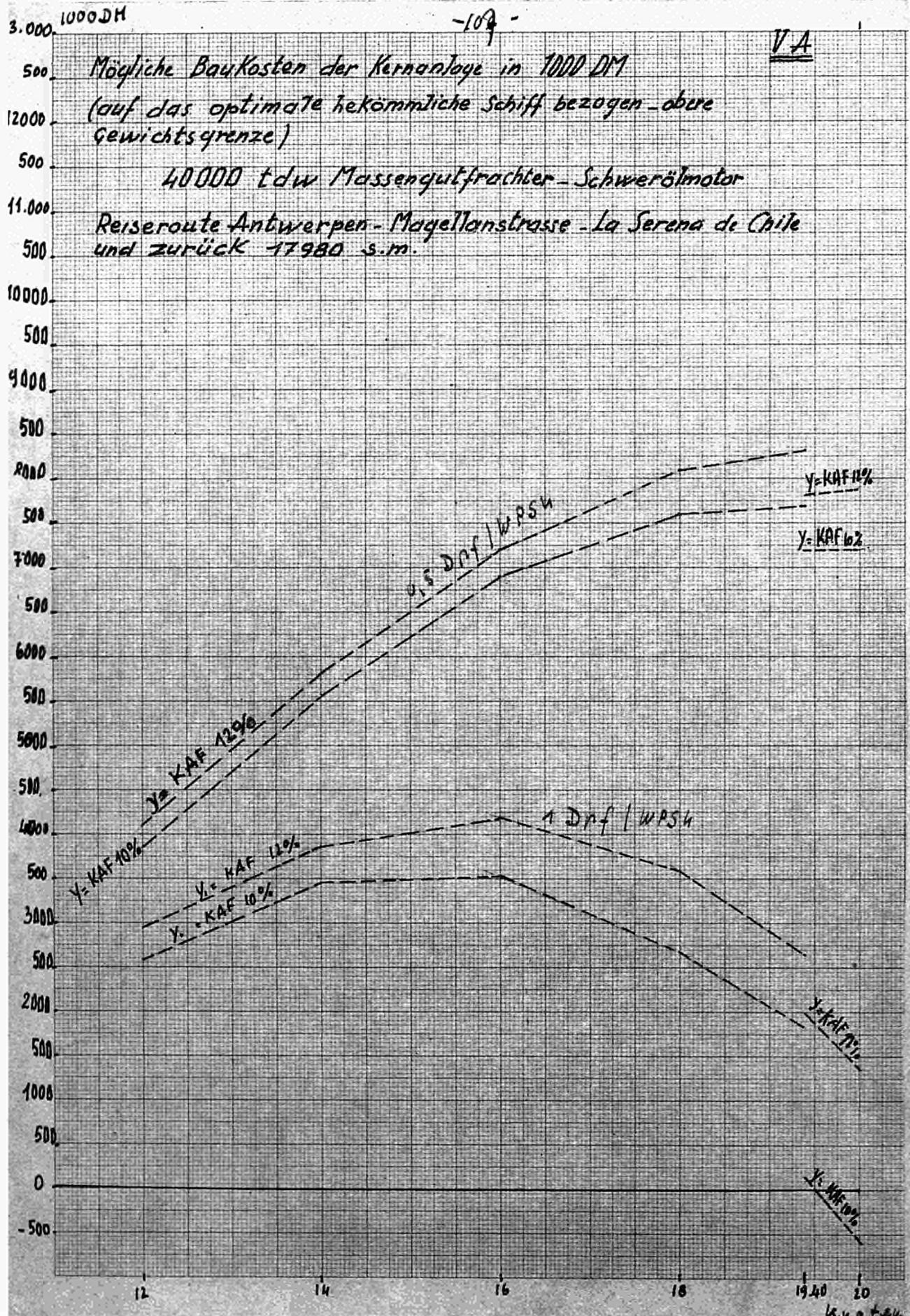
-109-

VA

Mögliche Baukosten der Kernanlage in 1000 DM
(auf das optimale ökonomische Schiff bezogen - obere
Gewichtsgrenze)

40000 tdw Massengutfrachter - Schwerölmotor

Reiseroute Antwerpen - Magellanstrasse - La Serena de Chile
und zurück 17980 s.m.



14000 1000 DM

- 108 -

VB

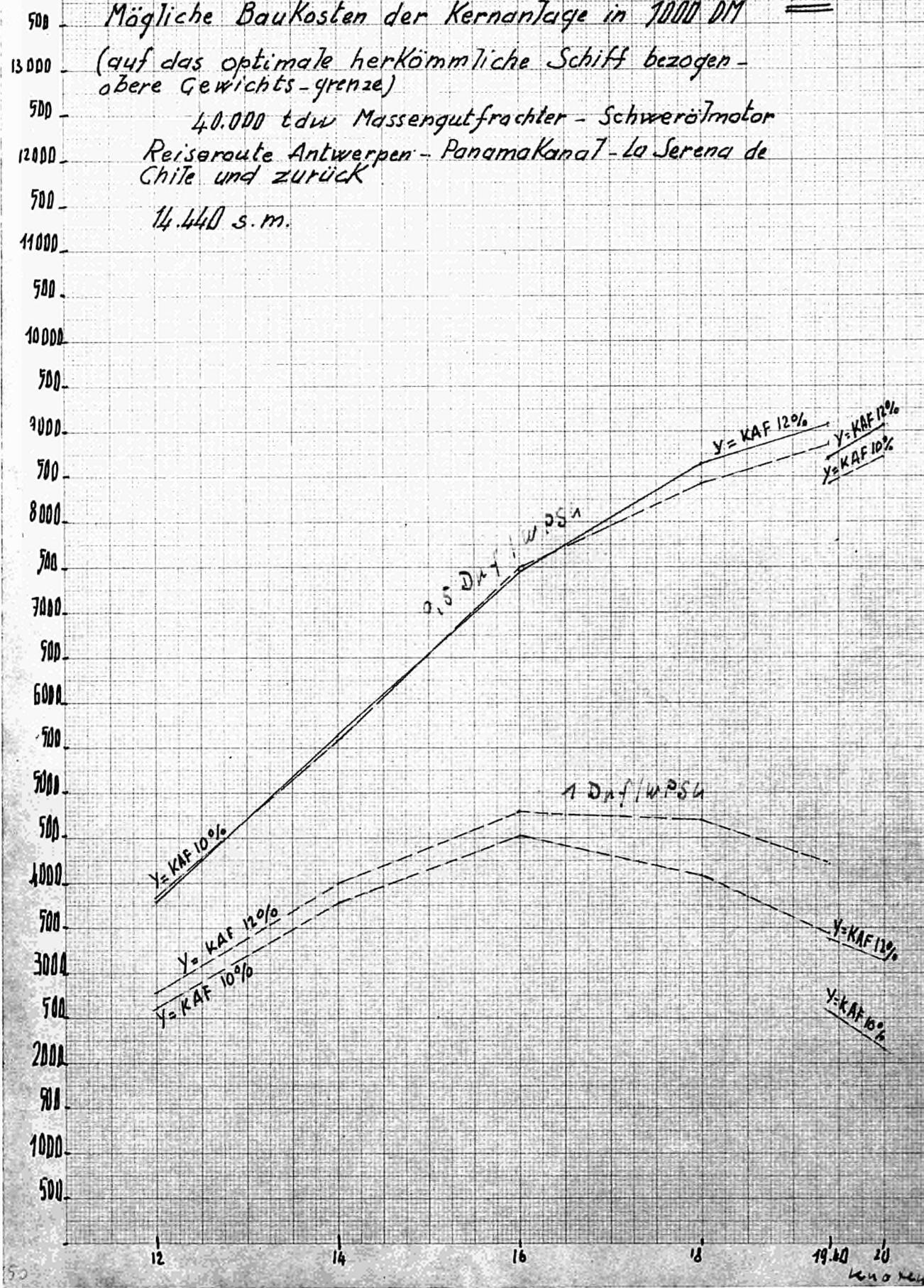
Mögliche Baukosten der Kernanlage in 1000 DM

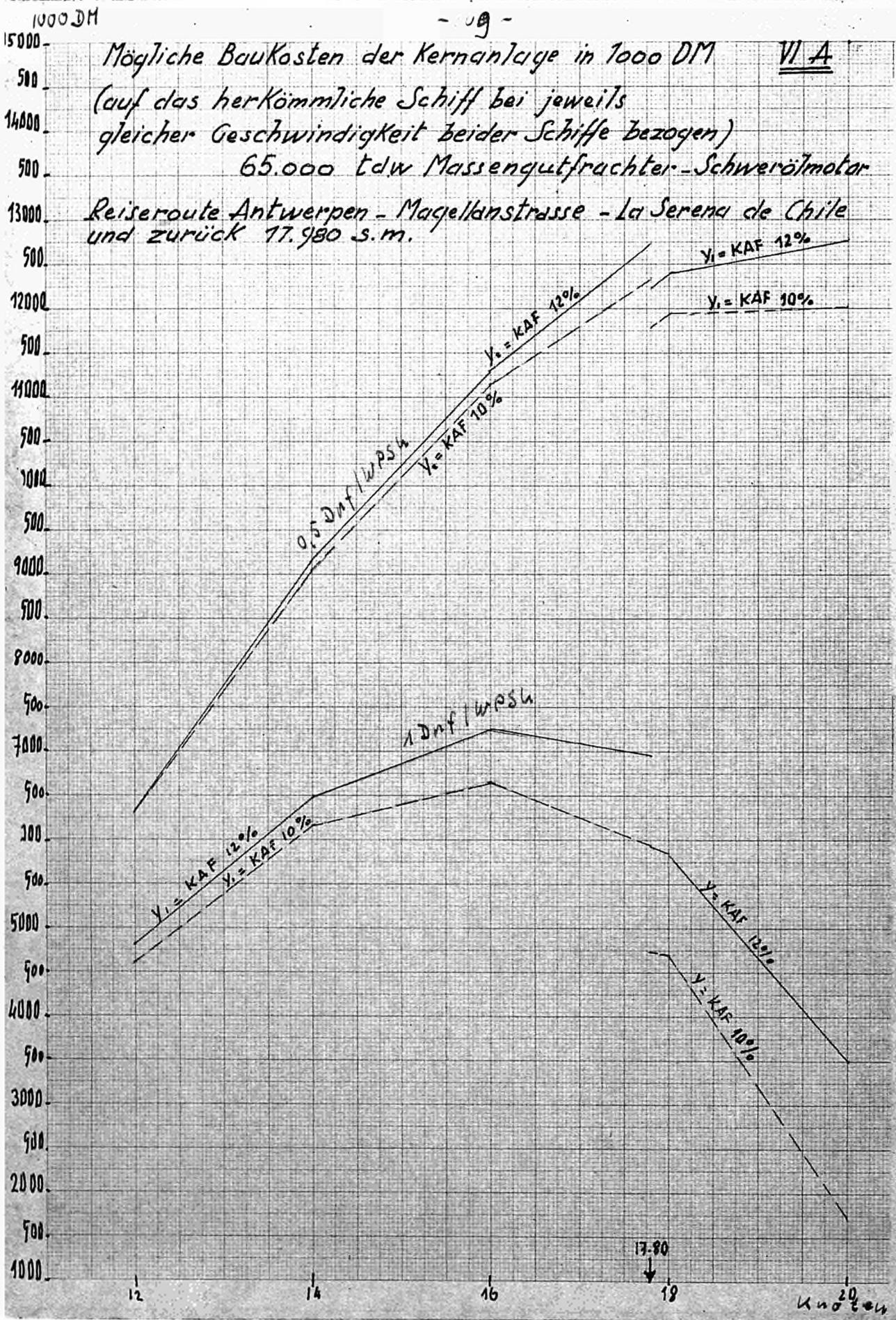
(auf das optimale herkömmliche Schiff bezogen - obere Gewichts-grenze)

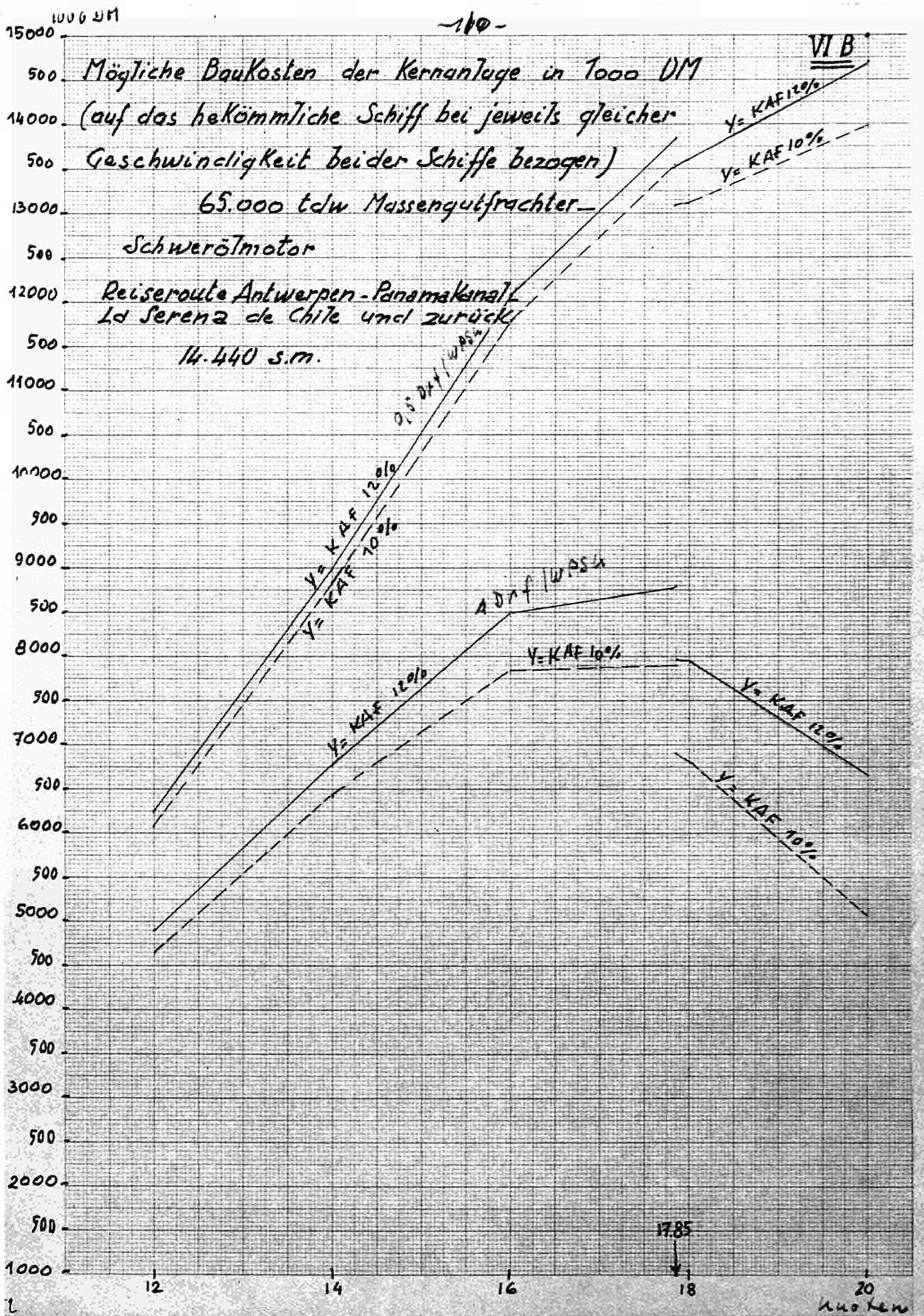
40.000 tdw Massengutfrachter - Schwerölmotor

Reiseroute Antwerpen - Panamakanal - La Serena de Chile und zurück

14.440 s.m.







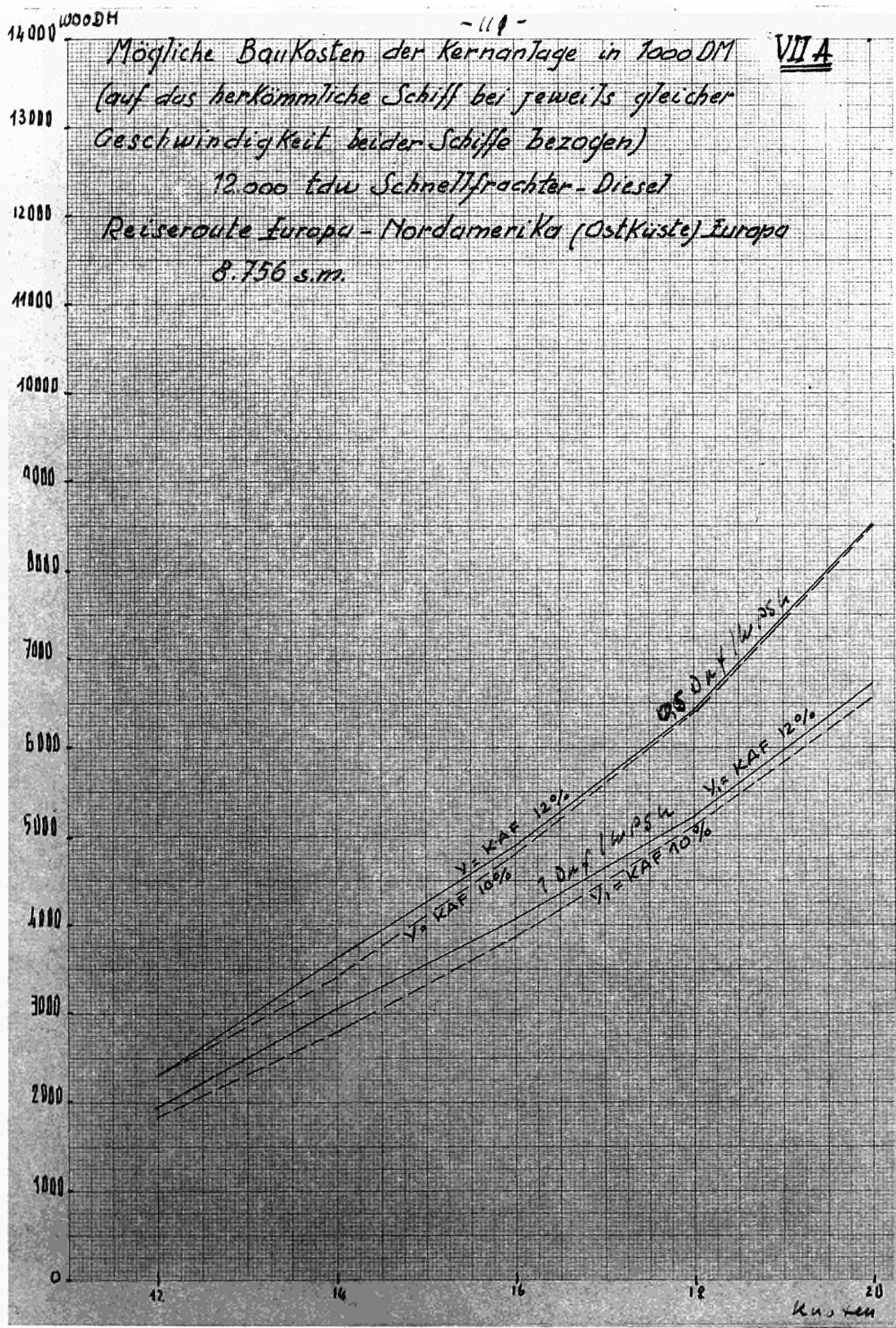
VII A

Mögliche Baukosten der Kernanlage in 1000 DM
(auf das herkömmliche Schiff bei jeweils gleicher
Geschwindigkeit beider Schiffe bezogen)

12.000 tdw Schnellfrachter - Diesel

Reiseroute Europa - Nordamerika (Ostküste) Europa

8.756 s.m.



14000 1000 DM

- 12 -

VII B

Mögliche Baukosten der Kernanlage in 1000 DM
(auf das herkömmliche Schiff bei jeweils gleicher
Geschwindigkeit beider Schiffe bezogen)

12.000 t.d.w. - Schnellfrachter - Diesel

Reiseroute Europa - Australien - Europa 22.746 s.m.

11000

10000

9000

8000

7000

6000

5000

4000

3000

2000

1000

0

12

14

16

18

20

Knoten

0,5 t.d.w. / w P52
1,0 t.d.w. / w P54

$V_2 = KAF 12\%$

$V_2 = KAF 10\%$

$V_1 = KAF 12\%$

$V_1 = KAF 10\%$

**Die Obergrenze der Baukosten der Kernenergieanlage unter der Annahme,
daß das nuklear betriebene Schiff 2 Knoten schneller fährt als das konventionell
betriebene Schiff ⁽¹⁾.**

Besondere Annahmen : a. obere Gewichtsgrenze (siehe Bericht) c. Spaltstoffkosten : 0,50 Dpf/WPSH
b. Kapitalkostenfaktor 12%

122

Type, Reisroute und Geschwindigkeit des nuklear getriebenen Schiffes	Wellenleistung des konventionellen Schiffes (WPS)	Absolute Obergrenze der Baukosten der KE-Anlage (Mio. DM)	Obergrenze der Baukosten je Wellen-PS (DM/WPS)	Obergrenze der Baukosten bezogen auf die (Wellenleistung) ^{0,81} (DM)
<i>Tanker 14 Knoten</i>				
a) Venezuela-Route 60.000 tdw	12.500	6,9	554	3.329
80.000 tdw	15.000	8,4	558	3.470
100.000 tdw	17.000	8,8	517	3.291
b) Route Pers. Golf 60.000 tdw	12.500	6,9	553	3.318
80.000 tdw	15.000	8,6	576	3.584
100.000 tdw	17.000	9,2	542	3.456
<i>Massengutfrachter 12 Knoten</i>				
a) Magellan-Route 20.000 tdw	3.800	2,5	624	2.990
40.000 tdw	5.800	4,1	702	3.642
65.000 tdw	7.800	6,4	814	4.471
b) Panama-Route 20.000 tdw	3.800	1,9	502	2.403
40.000 tdw	5.800	3,8	653	3.385
65.000 tdw	7.800	6,3	802	4.400

⁽¹⁾ Die möglichen Baukosten der Kernenergieanlage für den Schnellfrachter wurden nur auf ein herkömmliches Schiff gleicher Geschwindigkeit bezogen.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- LEGRAND : Berechnungen für das Euratom-Gutachten.
- VÖLKER : Die Weiterentwicklung unserer Methoden zur Vorausberechnung des Schiffswiderstandes. „Schiff und Hafen“ (1954) S. 463.
- TODD, F.H. : Some further Experiments on Single Screw Merchant Ship Forms Series 60. Transactions Soc. of Naval Architects and Marine Engineers (1953).
- MINORSKY, V. : A Nomography for preliminary Powering of Merchant ships. International Shipbuilding Progress (1955) S. 226.
- DANATOM : NT/ST/MT Alpha, Three 65 000 DWT Tankers. Kopenhagen, Juni 1960.
- WEGNER, U. : Grössenverhältnisse von Seeschiffen. Veröffentlichungen des Lehrstuhls für Entwerfen von Schiffen und Schiffstheorie, T.H. Hannover, 1961.
: Hafenkosten deutscher und ausländischer Häfen. „Hansa“ (1951-1961).
- JOHANSEN, H. : The factors involved in a comparison between direct-driven diesel installations and geared steam-turbine installations. International Shipbuilding Progress, Vol. 2, Nr. 8 (1955) S. 179.
- SCHULTHES, K.H. : Wirtschaftliche und technische Erwägungen beim Antrieb grosser Schiffe durch Dampfturbinen oder Dieselmotoren. „Schiff und Hafen“ (1957) S. 971.
- SVIKIS, E. : Some Operation Conditions Affecting The Design of Merchant Ships. Marine News, August 1948, S. 39.
- ILLIES, K. : Die Aussichten der Kernenergieanwendung für Schiffsantriebe. STG-Jahrbuch Bd. 55.
- LINDGREN, H. : Critical Ship Speed, International Shipbuilding Progress, Vol. 2, Nr. 9 (1955), S. 217.
- HEBELER, H. und
BERG, H. : Hafenziegezeiten von Linienfrachtschiffen, „Schiffstechnik“, 24. November 1957.
: Be- und Entladen von Stückgutschiffen. „Hansa“, 46/47 (1957).

- WENDEL, K. : Be- und Entladen von Schiffen. „Hansa“ 16/17 (1958).
- TELFER, E.V. : Economic Speed Trends. Shipbuilding and Shipping Record, September 1951.
- ZAMPARO, J.J. : Economic Analysis of Nuclear Shipping. IAEA Symposium, Taormina, 1961.
- TWAITES, R.M. : The Economics of Ship Time. Transactions North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders. 57th Session 1958/59.
- CORLETT, E.C.B. und
HAWTHORNE, E.P. : Prospect for a Nuclear Powered Dry Cargo Liner. The Motor Ship, November 1959.

Heuertarif für die Besatzung der deutschen Handelsschiffe von 50 BRT und darüber. (1.7.1960).

Bemannungsrichtlinien der Seeberufsgenossenschaft für deutsche Seeschiffe (18.12.34).

Ports and Channel Dues. London 1951.

Deutsche Schiffssicherheitsvorschriften, herausgegeben von der Seeberufsgenossenschaft.

ESSO, Marine Fuel Oils, Current Prices, Nr. 161 vom 16. April 1962.

Liegezeiten — Reisezeiten. HAPAG.

Some Aspects of the Propulsion Economics in Maritime and Continental Transport of Yugoslavia. IAEA Symposium, Taormina, 1961.

Economics of Nuclear and Conventional Merchant Ships. USAEC, Washington D.C., Juni 1958.

CDNA00586DEC