

136 | November 1964

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

K. Kranert

Übersicht über die Probleme und die Rechenverfahren beim Stoppvermögen von Schiffen

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Institut für Schiffbau der Universität Hamburg

Bericht Nr. 136

Übersicht über die Probleme und die
Rechenverfahren beim Stoppvermögen von
Schiffen.

von

K. Kranert

November 1964

0. Zum Problem der Stoppeigenschaften von Schiffen.

1. Einflußgrößen des Stoppverhaltens.
 - 1.1 Einfluß des konstruktiven Gestaltens des Schiffes auf sein Stoppvermögen.
 - 1.1.1 Spezifische Stoppfähigkeit und Einfluß des Schiffsrumpfes.
 - 1.1.2 Propeller.
 - 1.1.2.1 Festpropeller.
 - 1.1.2.1.1 Durchmesser,Steigungsverhältnis,Drehzahl.
 - 1.1.2.1.2 Flächenverhältnis, Flügelblattumrandung, Flügelblattzahl.
 - 1.1.2.1.3 Flügelblattschnitt, Pfeilung des Propellers.
 - 1.1.2.2 Verstellpropeller.
 - 1.1.3 Düsen und Ruderdüsen.
 - 1.2.1 Stoppgünstiges Umsteuern des Festpropellers.
 - 1.2.2 Stoppgünstiges Umsteuern des Verstellpropellers.
 - 1.2.3 Turbine.
 - 1.2.4 Dieselmotor.
 - 1.2.5 Elektrischer Antrieb

2. Durchschnittliche Stoppwege und Zeiten.

3. Berechnungsverfahren.
 - 3.1 Umsteuerzeit der Hauptmaschine.
 - 3.2 Stoppzeit und Stoppweg des Schiffes nach Agratschew-Morgulis.
 - 3.2.1 Verfahren nach Dr. Schmidt.
 - 3.2.2 " " Norrbin - Lindgren.
 - 3.2.3 " " W.A.Swaan.
 - 3.2.4 " " E.F.Hewins-A.L.Ruiz.
 - 3.2.5 " " H.Gröbe.
 - 3.2.6 Einschätzung der einzelnen Verfahren.

4. Symbole.

5. Literatur.

0. Zum Problem der Stoppeigenschaften von Schiffen.

Die Tendenz im Schiffbau zu immer größeren Schiffen mit höheren Geschwindigkeiten und deshalb längeren Stoppwegen bei einer ständig größer werdenden Verkehrsdichte auf den Schifffahrtstraßen macht es verständlich, daß in der Schiffbauforschung in letzter Zeit das Stoppvermögen immer häufiger Gegenstand von theoretischen und praktischen Untersuchungen wurde. War früher das Problem des Stoppvermögens ab und zu bei Spezialschiffen oder bei außergewöhnlichen Umständen - in Geleitzügen und bei Fahren hinter dem Eisbrecher - angeschnitten worden, so wurden die Verhältnisse beim Umsteuern erst eingehender untersucht, als man bei Einführung des elektrischen Propellerantriebes festgestellt hatte, daß der Nulldurchgang der Drehzahl nicht mit dem Richtungswechsel des Drehmomentes zusammenfällt.

Das Stoppvermögen als Teilgebiet der Manövriereigenschaften von Schiffen ist ein sehr umfangreiches Gebiet wobei die verschiedenartigsten Faktoren eine Rolle spielen. Konstruktionsseitige Einflüsse wie Abmessungsverhältnisse bzw. Völligkeiten der Schiffsrümpfe, unterschiedliche Verhältnisse von Antriebsleitung zur Verdrängung, Einflüsse der Propeller- und Düsengestaltung sowie die Einflüsse von der Hauptmaschine, deren Bedienung von Hand oder automatischer Umsteuerung - alle diese Faktoren sollen untersucht bzw. die umfassende Literatur dazu ausgewählt und zusammengestellt werden. Die verschiedenen Berechnungsverfahren für Stoppweg und Stoppzeit werden besonders herausgestellt, denn es ist von großem Nutzen schon im Entwurfstadium des Schiffes mit Hilfe von Modellversuchen oder Berechnungsverfahren die Stoppeigenschaften einschätzen zu können.

1. Einflußgrößen auf das Stoppverhalten von Schiffen.
 - 1.1 Einfluß des konstruktiven Gestaltens des Schiffes auf sein Stoppvermögen.
 - 1.1.1 Spezifische Stoppfähigkeit, Einfluß des Schiffsrumpfes.

Schiffe werden im allgemeinen für einen hohen Wirkungsgrad einer ganz bestimmten Aufgabe gebaut. Das ergibt gewisse spezifische Charakteristiken im besonderen für Masse und Widerstand, welcher den Konstrukteur daran hindert, große Änderungen der Beschleunigung und Verzögerung des Schiffes vorzunehmen.

Nimmt man den Stoppweg bei Hafengeschwindigkeit - ein wichtiger Faktor des Manövrierens - als Vergleichsbasis so kann, wenn für die Zeit t_r für das Erreichen des vollen Rückwärtsschubes T_1 20s angenommen wird (für Turbinenschiffe, für Dieselschiffe gilt $t_r = 40s$) nach /1/ für den Stoppweg geschrieben werden:

$$S = \frac{80 V_0^2}{\left(\frac{T_1}{\Delta}\right)} + 15 V_0 \quad \text{womit: } T_1 = \text{Schub [pound]}, \quad S \text{ [ft]} \\ V_0 = \text{Ausgangsgeschw. [kn]} \\ \Delta = \text{Verdrängung [große tons]}$$

(In Koeffizienten 80 ist bereits 8 % anhaftendes Wasser mit enthalten.)

Als Maß für das Stoppen bei Hafengeschwindigkeit S [ft] kann also das Verhältnis Rückwärtsschub/Verdrängung gelten. In Abb. 1 sind in die Kurven $s = f(V_0)$ mit $\frac{T_1}{\Delta}$ als Parameter die Meßwerte für 9 Schiffe eingezeichnet.

Will man bei der Charakterisierung der Stoppeigenschaft eines Schiffes den Einfluß von Rumpf und Antrieb trennen, so muß man nach /1/ die vereinfachte Annahme $T_1 = 1,15 \cdot R$ (Q_1/Q) (Sogziffer in Vorausfahrt = 0,20 gesetzt.) in obige Gleichung einführen.

Dann folgt:
$$S = \frac{70 \cdot v_0^2}{L \left(\frac{\Delta}{R}\right) \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)} + 15 v_0$$

worin: R = Widerstand bei Ausgangsgeschwindigkeit /pound/

Q_1 = Rückwärtsmoment im Stand /pounds * feet/

Q = Vorausmoment für Schlupf $s = 0,22$,

$H/D = 1$ [pounds * feet]

Für die verschiedenen Geschwindigkeiten kann letztere Gleichung mit R/Δ als Parameter dargestellt werden. Abb. 2 zeigt eine solche Kurvenschar für $V_0 = 12$ kn mit 8 Meßwerten, an großen Schiffen.

Es ist aus dieser Darstellung deutlich zu sehen, daß ein Verringern des Verhältnisses R/Δ eine Vergrößerung des Stoppweges bedeutet.

Den Stoppweg in Schiffslängen in Abhängigkeit von dem Verhältnis Versuchsgeschwindigkeit V_0 zur Entwurfsgeschwindigkeit v erhält man bei Vernachlässigung des 2. Gliedes $15 V_0$ zu:

$$\frac{S}{L} = \frac{70 v_0^2}{L \left(\frac{\Delta}{R}\right) \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)} = 70 \left(\frac{v}{L}\right)^2 \left(\frac{v_0}{v}\right)^2 \left(\frac{\Delta}{R}\right) \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)$$

L in feet

Für die unterschiedlichen Schiffstypen ist das Verhältnis von R/Δ zu v/L aus Abb. 3 zu entnehmen. S/L als spezifische Stoppcharakteristik ist somit abhängig von der Rumpffarakteristik $\frac{\Delta}{R}$ und der Umsteuercharakteristik Q_1/Q_2 . (siehe Abb. 4).

Je höher die Froudsche Zahl des Schiffes, je größer Δ/R und je geringer das verfügbare Rückwärtsmoment, desto länger wird der Stoppweg eines Schiffes.

Untersuchungen über den Einfluß der Hinterschiffsform auf die Wirkung des Propellers beim Stoppen aus der Vorausfahrt sind m.E. noch nicht gemacht worden. Es ist zu erwarten, daß Schiffe mit völligeren Linien an Schraubenbrunnen durch die Stauwirkung des Propellerstrahles beim Zurückdrehen des Propellers schlechtere Stoppeigenschaften haben als schlank auslaufende Schiffsformen. In diesem Zusammenhng liegt die Vermutung nahe, daß Schiffe, die mit einer Grimschen Welle [2] ausgerüstet sind, ihre Stoppeigenschaften verbessern.

1.1.2 Propeller.

1.1.2.1 Festpropeller.

Alle einen Propeller kennzeichnenden Kenngrößen wie Durchmesser D , Drehzahl n , Steigungsverhältnis P/D , Steigungsverlauf, Flächenverhältnis A/A_0 , Flügelzahl Z , Neigung der Erzeugenden, Blattflügelschnittform und Blattumrandung der Flügelblätter haben ihren Einfluß auf den negativen Schub beim Umsteuern.

Eindeutige Aussagen über quantitative Auswirkungen dieser einzelnen Einflußgrößen auf die Bremswirkung lassen sich nur durch systematische Propellerversuche machen. Einige Versuche auf diesem Gebiet wurden von Nordström [3] über den Einfluß des Steigungsverhältnisses und von Meyne-Walsemann [4] und Gutsche-Schroeder [5] bei verschiedenen Flächenverhältnissen und Flügelzahlen gemacht. Beide Versuchsreihen wurden mit freifahrenden Propellern durchgeführt; ihre Ergebnisse müßten noch durch Versuche hinter dem Modell bestätigt werden.

a.) Durchmesser, Steigungsverhältnis, Drehzahl.

Nordström variierte bei einem 4-flügeligen Propeller mit einer Neigung von $12,5^\circ$ und $A/A_0 = 0,45$ die Steigung P/D von 0 bis 1,6 in ≈ 1500 Versuchen. Bei einer Darstellung der Verhältnisse für die Bereiche $+v, -n$ und $-v, +n$ ergeben sich für K_t ein Abhängigkeit vom Verhältnis P/D mit I als Parameter Geraden der Art

$$y = mx + h$$

$$m = \text{konstant}; h = f(J)$$

Für eine qualitative Betrachtung wird h vernachlässigt.

$$K_T = m \frac{P}{D}$$

$$T = K_T \cdot g \cdot n^2 \cdot D^4 = g \cdot m \cdot \frac{P}{D} \cdot n^2 \cdot D^4 \quad (1a)(1b)$$

Für das Drehmoment ergibt sich eine ähnliche Abhängigkeit von dem Steigungsverhältnis P/D (siehe [4]).

Die Änderung der Hauptparameter eines optimal dimensionierten Propellers im Bereich $\pm 10\%$ gibt keine wesentliche Verschlechterung in Voraussart, kann aber die Bremswirkung sehr verbessern. Die drei Möglichkeiten sind hier in der Reihenfolge ihrer Wirksamkeit aufgeführt, hergeleitet aus Gl. (1 b):

A.) $n = \text{konst.}; D$ vergrößern um $x\%$ Bremsverbesserung = $2 \cdot x\%$
 $D+P = \text{konst.}$ P/D verkleinern um $2 \cdot x\%$

B.) $P/D = \text{konst.}; D$ vergrößern um $x\%$ " = $2 \cdot x\%$
 n verkleinern um $x\%$

C.) $D = \text{konst.}; n$ vergrößern um $x\%$
 P/D P/D verkleinern um $x\%$ " = $1 \cdot x\%$

Im Ergebnis zeigt sich also die auf Erfahrung beruhende Tatsache bestätigt, daß Propeller mit großem Durchmesser die besten Stopp-eigenschaften haben.

b.) Flächenverhältnis A/A_0 , Flügelblatsumrandung, Flügelblattzahl z .

Um den Einfluß des Flächenverhältnis eines Propellers auf sein Stoppvermögen zu untersuchen, wurden Propellerfreifahrversuche in allen 4 Quadranten des Geschwindigkeits-Drehzahl-Bereiches mit unterschiedlichen A/A_0 und P/D durchgeführt [4]; 5.

Für die Quadranten $+v, +n$; $+v, -n$; $-v, +n$; $-v, -n$ sind dann über den Fortschrittsgrad J die K_t - und K_Q -Werte aufgetragen.

Die Darstellung der K_t - und K_Q -Werte über dem Flächenverhältnis

mit J und der Flügellzahl z als Parameter in 4 lassen keine allgemeine Einschätzung zu, da für das Stoppen aus der Vorausfahrt das Verhältnis von K_t / K_Q für gleiche Belastungszustände als Vergleichsbasis maßgebend ist.

In einer anderen Darstellung 6 wurde das Verhältnis K_t / K_Q über dem Fortschrittsgrad J für verschiedene A/A_0 für ein Steigungsverhältnis aufgetragen. Nachteile für eine Bewertung des A/A_0 -Einflusses liegen darin, daß J steigungsabhängig ist, daß nur ein Steigungsverhältnis untersucht wurde und daß bei dem Abschätzen der Flächenverhältnisse auf die Stoppwirkung die Steigungsänderung durch Ändern des Flächenverhältnisses (siehe 7) nicht berücksichtigt wurde.

Um eine Abschätzung des A/A_0 -Einflusses bei gleichem Belastungszustand vornehmen zu können, wurden die K_t / K_Q -Werte mit P/D als Parameter über dem Slip * aufgetragen. Bei konstant angenommenen Durchmesser und einem maximalen Rückwärtsmoment der Maschine ist das Verhältnis K_t / K_Q ein Maß für die Stoppwirkung des Propellers.

Im Diagramm Nr. 1 wurden die z.Z. bekannten Ergebnisse von Propelleruntersuchungen in dem für Bremsen aus der Vorausfahrt interessierenden Bereich (Slip * $s = 1 \div 2$) dargestellt. Bei sofortigen Umsteuern von $+n_{\text{nenn}}$ auf $-n_{\text{nenn}}$ werden die Kurven von circa $s = 1,7$ bis $s = 1$ durchlaufen. Das Diagramm enthält nach 5 für die drei Steigungsverhältnisse $P/D = 0,5; 1; 1,5$ je zwei Kurven mit extremen Flächenverhältnissen ($A/A_0 = 0,35$ und $0,80$ nach der Gawnserie).

Die Vergleichskurven nach Nordström ($A/A_0 = 0,45$) liegen bedeutend unter diesen Kurven, was sich aus den schlechteren Rückwärtsschüben der tragflügelförmigen Blattschnitte ergibt. Es lassen sich zur Abschätzung der Rückwärtsschubeigenschaften nur Propeller gleicher Serie bei gleichem "effektiven Steigungsverhältnis" vergleichen. Mit [5] wurden ebenfalls die Ergebnisse von Verstellpropelleruntersuchungen ($P_0/D = 0,7$) für $P/D = 0,5; 1$ und $1,5$ und $A/A_0 = 0,50$ und $0,80$ übernommen.

Nach 4

$$+ \text{Slip } s = 1 - \frac{v}{n \cdot p}$$

Nach [4] wurden die Ergebnisse der Freifahrtversuche von Propellern der Wageninger Serie für $P/D = 0,9$ bei der Flügelzahl $z = 3$ und $z = 4$ und je 3 Flächenverhältnisse ein- gezeichnet.

Für den Bereich $s = 1 \div 1,7$ lassen sich nach Diagramm 1 folgende Ergebnisse formulieren:

- 1.) Ausgenommen bei den großen Steigungsverhältnissen $P/D = 1,5$, wo die K_T/K_Q - Kurven verschieden A/A_0 sich schneiden, zeigt sich bei den übrigen Steigungsverhältnissen ein mehr oder weniger vergrößerte Bremswirkung durch eine Vergrößerung des Flächenverhältnisses.
- 2.) Propeller mit kleinerem Steigungsverhältnis haben größere K_T/K_Q - Werte und eine größere Zunahme dieser Werte mit dem Slip.
- 3.) Beim Verstellpropeller ist die Tendenz - größere Bremswirkung bei größeren A/A_0 - besonders ausgeprägt.
- 4.) Bei geringerer Steigung als die Konstruktionssteigung ist der Standschub rückwärts beim Verstellpropeller größer als beim Festpropeller.
- 5.) Drei- und vierflügelige Propeller haben nahezu gleiche Stoppwirkung.

Daß die K_T/K_Q - Werte bei kleinerer Steigung ($P/D = 0,5$) bedeutend größer sind als die bei großer Steigung ($P/D = 1,5$, stimmt mit der Erkenntnis von Abschnitt a.) überein, daß große Propeller besser stoppen. Eine Verkleinerung von P/D bedingt eine Vergrößerung von D oder nq , wobei die Verbesserung der Stoppwirkung durch Vergrößern von D dreimal größer ist als beim Erhöhen der Drehzahl.

größerung von D oder n_q , wobei die Verbesserung der Stoppwirkung durch Vergrößern von D dreimal größer ist als beim Erhöhen der Drehzahl.

Bei der Benutzung des Diagramms 1 muß mit Hilfe der Diagramme 2 bis 5 die Veränderung der wirksamen Steigung bei Verändern des Flächenverhältnisses berücksichtigt werden. Die Diagramme 2 bis 5 wurden für Propellerberechnungen, die vom Schub ausgehen von 7 übernommen. Es ist einmal die prozentuale Steigungsveränderung und zum anderen die absolute Steigungsänderung für verschiedene Schubbelastungsgrade und Fortschrittsgrade eingezeichnet. Geht man vom Moment aus bei der Berechnung, so muß man die entsprechenden Kurven aus 7 benutzen.

Beispiel 1 Für Verbesserung der Stoppwirkung durch A/A_0 - Vergrößerung bei Verringerung der wirksamen Steigung:

Gegeben: Schubbelastungsgrad

Es ergibt sich aus Diagramm 4 eine Steigung von $P/0 = 0,96$ bei $A/A_0 = 0,50$ und $P/D = 0,90$ für $A/A_0 = 0,80$.

Aus Diagramm 1 ergibt sich für $P/D = 0,90$ durch Extrapolieren von $A/A_0 = 0,50$ über $0,65$ ($z=3$) bis zu $0,80$ eine mittlere Vergrößerung der Kt/K_0 - Werte um ca 5%.

Beispiel 2 Für Verbesserung der Stoppwirkung durch A/A_0 - Vergrößerung bei Vergrößern der wirksamen Steigung:

Gegeben: $z = 0,5$; $z = 0,54$; A/A_0 - Änderung von $0,50$ auf $0,80$.

Es ergibt sich am Diagramm 3 für $A/A_0 = 0,50$ eine Steigung von $P/D = 0,49$ und bei $A/A_0 = 0,80$ von $P/D = 0,50$.

Aus Diagramm 2 folgt die mittlere Kt/KQ - Erhöhung von ca 1,8% im Bereich $s = 1 \div 1,7$.

In der Berechnungsmethode von Hewins - Ruiz [8] wird das Verhältnis $\frac{C_r}{C_a} = \frac{C}{e}$ (C = Krümmungsverhältnis, $e \approx 1$) zur Stoppwegberechnung verwendet und für alle Propeller annähernd $5,5 \pm 10\%$ gesetzt (siehe auch Referat zu [8] in [9] §. Das Flächenverhältnis wird dabei nicht berücksichtigt, da man davon ausgeht, daß bei Flächenvergrößerung eines Propellers sich zwei Effekte zum Teil aufheben:

1. Größeres A/A_0 bedingt einen verschlechterten Wirkungsgrad "voraus" und "zurück" und somit nimmt C_r ab.
2. Größeres A/A_0 ergibt ein kleineres Krümmungsverhältnis a und somit ein größeres C_r .

Die Flügelblattzahl Z ist als Einflußgröße auf die Stoppwirkung einer Schraube soweit es sich um die meistens angewendeten 3 und 4-Flügler handelt, nicht von Bedeutung. Die Erkenntnis ergibt sich aus dem Vergleich der Kt/KQ - Werte nach dem Versuch von Meyer - Walsemann in Diagramm 6 für $Z = 3$ und $Z = 4$.

Die Blattumrandung der bisher untersuchten Propeller entsprechen der Gawn - bzw. Wageninger-Propeller-Serien. In [6] und [10] wurde eine Schraube konstruiert und untersucht, die gegenüber den Schrauben, denen die Wageninger Blattumrandung zugrunde liegt, eine veränderte Flächenverteilung aufweist unter Beibehaltung aller sonstiger Daten. Bei gleicher effektiver Steigung wurde die Fläche extrem zu den Spitzen hin verlegt. Im Vergleich mit dem entsprechenden Propeller der Wageninger Serie zeigte der abgeänderte Propeller ungünstigere Stoppeigenschaften.

C.) Flügelblattschnitt und Pfeilung des Propellers.

Um Klarheit über die Verhältnisse bei Rückwärtsfahrt (Umsteuern) mit Propellern unterschiedlicher Flügelblattschnitte zu bekommen, wurde von der Versuchsanstalt Washington (übernommen von Ulrich-Dankwart [11]) zwei Modellpropeller in Freifahrt und hinter dem Modell untersucht.

Bei dem freifahrenden Propeller mit normalem Kreissegment-schnitt ergab sich eine wesentliche Verschlechterung des Wirkungsgrades bei Rückwärtsfahrt - herrührend von der schlechten Gleitzahl, die ein solches Profil bei Rückwärtsfahrt hat. Das symmetrische Kreisprofil dagegen hatte einen gleichen Wirkungsgrad bei Voraus- und Rückwärtsfahrt, der nicht wesentlich unter dem des normalen Kreisprofils lag.

Die Versuche hinter einem Modell mit solchen Linien, daß der Widerstand im Voraus- und Rückwärtsfahrt gleich ist, ließ den Unterschied im Gesamtwirkungsgrad - Schiff-Schraube-erkennen. Hierbei war ebenfalls der Propeller mit symmetrischem Kreisprofil dem mit Kreissegmentprofil überlegen. In Vorausfahrt war letzterer jedoch etwas vorteilhafter.

Ein Freifahrtschaubild für Vor- und Rückwärtsfahrt für die Gegenüberstellung eines Propellers mit Kreissegmentprofil zu einem mit linsenförmigen Profil [12] bestätigt anschaulich die Erkenntnis, daß Profilschnitte mit gewölbter Druckseite denen mit ebener Druckseite bei Rückwärtsfahrt überlegen sind.

In Holland wurden diese Untersuchungen auf Profilschnitte mit konkav gewölbten Druckseiten ausgedehnt. [13]. Für 4 in den Hauptparametern in wesentlichen gleichen Propellern aber mit unterschiedlichen Blattflügelschnitten wurde bei einer bestimmten Drehzahl voraus und zurück freifahrend die Schleppgeschwindigkeit so geändert, daß sich der Slip s von 0 bis 100% einstellte. Ein Propeller der Troost B4-Serie hatte im Flügelschnitt im Bereich 0,2 R eine konvexe, im Bereich 0,7 R eine ebene Druckseite. Die 3 anderen Propeller waren nach der modernen Wirbeltheorie mit Tragflügelprofilen versehen, dessen Mittellinie bei einem symmetrisch, bei dem zweiten halb- und bei dem dritten asymmetrisch war.

In Bezug auf die Bremskräfte wurde folgende Erkenntnis gewonnen:

- a.) Die Stoppkräfte von Propeller mit Flügelschnitten, die stoßfreien Eintritt haben (hohle Druckseite),

sind bemerkenswert niedriger als bei Propellern mit ebener Druckseite.

- b.) In dem Verhältnis wie die Mittellinie der Blattflügel-schnitte mehr konkaver wird, fällt der Freifahrt-wirkungsgrad bei Rückwärtsdrehung ab.
- c.) Der Abfall des Wirkungsgrades des rückwärtsschlagen-den Propellers mit Flügelschnitten asymmetrischer Mit-tellinie ist etwas geringer als bei solchen mit symmetrischer Mittellinie.
- d.) Ein Vergleich der Freifahrtwirkungsgrade "rückwärts" und "voraus" bei gleichen Werten der Fortschritts-zahl J mit dem virtuellen Steigungsverhältnis, das experimentel bei $T = 0$ bestimmt wird, führt zu einer sehr guten Übereinstimmung zwischen dem durchschnitt-lichen Abfall des Wirkungsgrades und dem Verringern des virtuellen Steigungsverhältnisses.
- e.) Optimale Bremskräfte sind bei bikonvexgeformten Blatt-schnitten zu erwarten; d.h. die Blattschnitte haben eine gerade Mittellinie, der Freifahrtwirkungsgrad ist dann in "voraus" und "zurück" gleich.

Der letzte Punkt deckt sich mit den Versuchsergebnissen [11] [12]. Auf die schlechte Stoppeigenschaft von Propellern mit hohlen Flügelblattschnitten wird auch in [14] hingewiesen.

Einen guten Vergleich der Propeller in Bezug auf ihre Brems-wirkung bei verschiedenen Flügelblattschnitten ermöglicht die Darstellung ihrer C_T^* - Werte beim Standversuch rückwärts und voraus in Abhängigkeit des Krümmungsverhältnisses bei 0,7 Radius des Propellers. Hierbei sind C_T^* und C_Q^* Kenngrößen von Schub und Moment, die früher beim Taylor Model Basin benutzt wurden. Es ist:

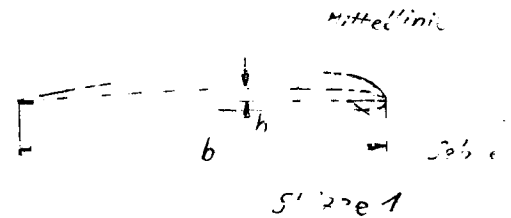
$$C_T^* = \frac{T}{\rho^2 \cdot D^2 \cdot n^2} \quad C_Q^* = \frac{Q}{\rho^3 \cdot D^2 \cdot n^2}$$

- 12 -

Die Verwendung der C_T^*/C_Q^* - Kurven macht die Einschätzung der

der Bremswirkung im Stand Steigungsunabhängig, da alle diese Kurven für $J = 0$ durch den gleichen Punkt gehen.

Das Krümmungsverhältnis ist nach Skizze 1 mit $\frac{h}{b}$ ein Maß für die Unsymmetrie des Flügelblattschnittes.



In [1] wurde diese Auftragung für eine größere Anzahl von Schiffen mit Propellern unterschiedlicher Krümmungsverhältnisse gemacht. Es zeigte sich, daß - ausgenommen bei Verstellpropellern - bei allen Propellern die Verbindungslinie der $\frac{C_T^*}{C_Q^*}$ -Werte von $\frac{h}{b}$ voraus-zu $\frac{h}{b}$ zurückdrehend ungefähr die gleiche Schräge haben und daß somit die $\frac{C_T^*}{C_Q^*}$ -Werte für Vordrehung um so größer und für Zurückdrehung um so geringer sind, je größer das Krümmungsverhältnis ist. Bei den symmetrischen Blattschnitten ($\frac{h}{b} = 0$) fallen die $\frac{C_T^*}{C_Q^*}$ -Werte für Vordrehen- und Zurückdrehen zusammen. Dieses Ergebnis bestätigt obige Aussagen [11], [12].

Bei 24 untersuchten Propellern [1] ergab sich bei 100% Slip ein durchschnittlicher $\frac{C_T^+}{C_Q^+}$ -Wert von 5,5 (Abweichungen bis $\pm 10\%$.)

Aus der gleichen Schräge der Verbindungslinien der voraus- $\frac{C_T^+}{C_Q^+}$ - Punkte mit den zurück- $\frac{C_T^+}{C_Q^+}$ - Punkten ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\frac{\text{voraus-} \frac{C_T^+}{C_Q^+} - \text{zurück-} \frac{C_T^+}{C_Q^+}}{2c} = 35$$

Es lassen sich also bei bekanntem voraus $\frac{C_T^+}{C_Q^+}$ - die Rückwärts- werte berechnen. Eine vereinfachte Berechnung des $\frac{C_T^+}{C_Q^+}$ - Wertes bei 100% Slip für Propeller durchschnittlichen Wirkungsgrades bei unterschiedlichem Flächenverhältnis ergibt sich nach [1], [8] zu:

$$\left(\frac{C_T^+}{C_Q^+}\right)_{\text{voraus}} = 2\pi + 35c$$

$$\left(\frac{C_T^+}{C_Q^+}\right)_{\text{zurück}} = 2\pi - 35c$$

$$\left(\frac{C_T^+}{C_Q^+}\right) = 2\pi \quad \text{bei symmetr. Propeller}$$

'Linsenprofil' für "voraus" - zurück

Propulsions- und Schleppversuche ($v = 0$) für "voraus" und "zurück" mit 5 Propellern der Wageninger B-Serie bei gleichen Durchmessern, Flügelzahl und Flächenverhältnis aber unterschiedlicher Konstruktionssteigung und Steigungsverlauf (30% reduziert) gemacht.

Folgende Resultate in Bezug auf die Bremswirkung, Rückwärtsschub der Verstellpropeller werden erzielt:

- a. Während in Vorausfahrt die Entwurfsteigung von geringem Einfluß auf die Geschwindigkeit ist, erzielt der Propeller mit dem geringsten Po/D die größte Rückwärtsgeschwindigkeit (Die Vorausgeschwindigkeit mit dem Propeller mit $Po/D=0$ war nur 1,2% kleiner als bei dem Propeller mit optimalem Po/D für Vorausfahrt, die Rückwärtsgeschwindigkeit jedoch um 9% größer).
- b. Die höchsten Rückwärtsschubwerte im Rückwärtsschlepp erzielte eindeutig der Propeller mit $Po/D = 0$.
- c. Eine Steigungsreduzierung zur Nabe hin bringt keine Verbesserung des Rückwärtsschubes.

Aus dieser Erkenntnis heraus ~~also~~ empfiehlt es sich also, wenn auf gute Stoppeigenschaften bzw. Rückwärtsschlepp Wert gelegt wird, die Entwurfssteigung geringer als die für optimale Freifahrt zu wählen. Im normalen Fall genügt 20 - 30%; Rupp [17] empfiehlt für einen Schlepperpropeller die Reduzierung von Po/D um 25%.

Nordströms umfassende Untersuchungen lassen auch einen Vergleich des Bremsvermögens zwischen Fest- und Verstellpropeller zu. Der von ihm untersuchte Propeller P 49 ($Po/D=0,69$, $z=3$, $A/A_0=0,40$) wurde einmal mit fester Steigung und dann als Verstellpropeller getestet. Bei Schleppfahrt ($v = 0$) "zurück" erreichte der mit verstellten Flügeln und gleicher Drehrichtung arbeitende Verstellpropeller nur 78% des Trossenzuges des umgesteuerten Fest-

Propellers, der dabei nur 73% der verfügbaren Leistung aufnahm. Dieser erheblich bessere Wirkungsgrad ist auf den normalen Steigungsverlauf zurückzuführen; der Verstellpropeller dagegen hat bei negativer Steigung einen unzweckmäßigen Steigungsverlauf.

Schiffe mit Verstellpropellern steuern unter diesem Aspekt zum Zwecke schnellen Stoppens günstiger die Welle um und können dann den Vorteil der optimalen Steigungseinstellung für den Bremsschub ausnutzen, der dann auch erheblich höher liegt als bei dem entsprechenden Festpropeller.

1.1.3 Düsen und Ruderdüsen.

Anwendungen von Düsen gleicht man im allgemeinen bei schwerbelasteten Propellern, also auch bei solchen Schiffen, die wegen Tiefgangsbeschränkung keinen optimalen Propeller erhalten können. Neuerdings werden im verstärkten Maße schwenkbare Düsen gleichzeitig als Steuerorgan verwendet.

Erst in neuere Zeit ist es möglich, die Stopp- und Rückwärtseigenschaften von Düsen (heute meist drehbar) durch geeignete Profilwahl (schlankere Profile, erweiterter Austrittsquerschnitt und größere hintere Abrundungsradien) wesentlich zu verbessern. Bekannt sind vor allem die Ruderdüsen der Firma Kort [18], die im vorderen Düsenteil oft mit einer Abreißkante versehen sind und die nach Schuschkin [19, 20], die aus rotationssymmetrischen Teilen zusammengesetzt werden und damit kantige Profile aufweisen. Besondere Bedeutung hat bei Verwendung von Düsen die Tauchtiefe (bei Binnenschiffen meist in Leertiefgang), da die Rückwärtsschubbewegung und damit die Stoppfähigkeit durch Luftseinbruch stark vermindert wird. In solchen Fällen kann z.B. durch Anbringen einer Heckschürze der Stoppweg ganz erheblich verringert werden. [20, 21].

Die guten Stopp- und Rückfahreigenschaften werden bei den neueren Düsen im wesentlichen durch die Erweiterung des hinteren Düsenquerschnitts erreicht, wodurch eine Strahleinschnürung mit entsprechender Leistungssteigerung verhindert wird.

Zu einer groben Einschätzung der unterschiedlichen Stoppeigenschaften von Propeller- gegenüber Düsen- und Ruderdüsenantrieben kann man durch den Vergleich Ihrer Rückwärtstrossenzüge bzw. ihrer

Rückwärtsschübe im Stand kommen. Auswertungen der Freifahrtversuche von Nordström '3 und Meyne '4 in dem Diagramm 7 ergeben für normale Schiffsschrauben ($P/D = 0,9$ bzw. $1,0$) ein Verhältnis vom spezifischen Rückwärtsstandsdruck zum spezifischen Vorausstandsdruck von bis 9%; bei schwerbelasteten Schlepperschrauben ($P/D = 0,6$) ist dieses Verhältnis ca. 65%.

Im Vergleich hierzu werden i.a. mit neueren Düsenformen spezifische Rückwärtstrossenzüge von ca. 70% der Vorauswerte erreicht und zwar sowohl mit Düsen nach Kort '18 als auch nach Schuschkin '22.

Der normale Schiffspropeller hat nach diesem Vergleich bessere Stoppeigenschaften als der Düsenpropeller; die neuen Düsenformen sind aber in dieser Hinsicht den schwerbelasteten Propellern mindestens gleichwertig, wenn nicht sogar überlegen.

1.2. Einfluß des Schiffsantriebes auf das Stoppvermögen.

Ohne Berücksichtigung des Propellers ist Stoppweg und Stoppzeit im wesentlichen eine Funktion von der Schiffsmasse, Schiffswiderstand und der Ausgangsgeschwindigkeit.

Wird die Antriebsmaschine zum Stoppen umgesteuert, so wird obige Gleichung zu:

Der Rückwärtsschub T_R ist nun sehr stark von der verfügbaren Maschinenleistung, dem Moment und der Drehzahl abhängig. Außerdem kommt es auf die Art und Weise der Umsteuerung an, eine maximale Stoppwirkung zu erzielen.

1.2.1 Stoppgünstiges Umsteuern von Festpropellern.

Die Frage nach dem stoppgünstigen Umsteuern ist z.Zt. noch ein ungelöstes Problem. Ein allgemein gültiges Gesetz aufzustellen ist

m.E. kaum möglich. Die Ansicht, die dazu in 1 vertreten wird, scheint für die meisten Schiffe anwendbar zu sein. Danach ist es beim Festpropeller wichtig, die Umkehr des linearen Schraubensstroms und des Schraubenspiralstroms in möglichst kontinuierlicher Weise - ohne allzu großen Verwirbeln und Kavitation - durchzuführen und nach einem nicht zu sprunghaften Drehrichtungswechsel der Abtriebswelle stetig die Drehzahl bis auf "voll zurück" hochzufahren.

In 22 werden die einzelnen Perioden eines solchen Umsteuervorganges deutlich an einem Beispiel dargestellt; insbesondere wird hierbei die Umkehr des Schraubensstroms deutlich gemacht. Es sei darauf hingewiesen, daß beim Stoppen in der Praxis - auch beim "Manöver des letzten Augenblicks" - fast ausschließlich die sofortige Anwendung der vollen Rückwärtsleistung üblich ist, obwohl hierbei durch Abreißen der Strömung erhebliche Geräusche und Vibrationen eine unliebsame Begleiterscheinung sind.

Es geht eindeutig aus Diagramm 1 hervor, daß mit größerem Schlupf ("voll zurück") der spezifische Schub ($\frac{\text{Schub}}{\text{Moment}}$) enorm ansteigt. Nach dieser prinzipiellen Feststellung, daß ein Schiff bei Verwendung seiner vollen Rückwärtsleistung am günstigsten stoppt, wenn diese sofort aber nicht sprunghaft eingesetzt wird, soll auf die gegenteilige Ansicht eingegangen werden.

Ausgehend von den Robinsonkurven 23 wurde nach 24 durch Ausnutzen der Schubmaxima bei + 25% No Drehzahl eine angenähert gleiche Stoppfähigkeit bei langsam mitlaufender Schraube festgestellt wie beim Bremsen mit gegenläufiger Schraube von - n = 20% No bei Vermeidung von starken Vibrationen. So wird auch in 11 (Seite 63) vorgeschlagen, vorerst die Maschine langsam weiterlaufen zu lassen um unnötige Vibrationen zu vermeiden und erst bei stark verminderter Fahrt auf Rückwärtsdrehen umzuschalten.

Während letztere Vorschläge mit Rücksicht auf Erschütterungen gemacht wurden, geht 25 davon aus, daß ein Propeller den besten Wirkungsgrad bei 4 + 7% Slip hat und schlägt daher vor entsprechend der jeweiligen Geschwindigkeit mit gleichem niedrigen Slip mit entsprechend veränderlicher Drehzahl zu stoppen und diese mittels Tachometer auf der Brücke zu kontrollieren. Ein solches Stoppverfahren setzt natürlich einen elektrischen Propellerantrieb und

und möglichst automatischer Steuerung voraus. Ob dieses Verfahren effektiv günstiger ist, als Stoppen bei großem Schlupf ist sehr zweifelhaft.

1.2.2. Stoppgünstiges Umsteuern mit Verstellpropellern.

Bei Verstellpropellern haben zwei Phänomene entgegengesetzte Wirkung auf das Stoppen. Das eine liegt darin, daß der Schraubendrall nicht umgekehrt werden braucht, wenn nur die Steigung der Blattflügel sich umkehrt, so daß das Umsteuern ohne große Verwirbelung schneller vonstatten geht - das andere ergibt sich nach Kap. 1.1.22. in einem größeren Bremsschub beim Umsteuern der Drehrichtung und Einstellen des günstigsten Slips. In der Praxis stellt man die Propellerflügel um. Hierbei können beim Umsteuern von der Brücke 2 Vorteile ausgenutzt werden:

- 1.) Kürzeste Umsteuerungsdauer zwischen Befehl und Umsteuern der Flügelblätter.
- 2.) Ausnutzung der verfügbaren Leistung durch Steigungsregulieren.

So wie bei Festpropellern haben Versuche unterschiedliche Ergebnisse bei verschiedener Umsteuergeschwindigkeit ergeben. Im allgemeinen gilt aber auch hier: Schnellste Umsteuerung auf maximale Rückwärtssteigung ergibt meistens beste Stoppwirkung. Ein längeres Halten der Flügelblätter in der 0° -Flügelstellung ergab längere Stoppwege [26].

Die Einstellung eines geeigneten Slips (vergleichbar mit [25]) zeigte im Gegensatz zu obigen Ergebnissen aber beim Fahrgastschiff "Linth" [28] bei langsamer Blattverstellung einen geringeren Stoppweg. Näher eingegangen auf diese Probleme wird in [29].

1.2.3 Die Turbine.

Während die Dampfmaschine sehr einfach umsteuerbar ist und auch beträchtliche Überlastmomente erzeugen kann und somit ein Idealfall für das Umsteuern und Stoppen darstellt, benötigt die Getriebeturbine eine zusätzliche Rückwärtsturbine. Sie wird heutzutage im Hoch- und Niederdruckteil bzw. nur im Niederdruckteil angeordnet [30]. Bei einer allgemeinen Forderung einer Rückwärtsleistung von 40% der Vorausleistung, genügen für die Rückwärtsturbine wenige Stufen, die dann bei schlechterem Wirkungsgrad arbeiten. Das Moment wird dabei ca. 8% des Vorausmomentes bei $\lambda = 0,5$...

Typische Turbinenmomentenkurven, Kurven für die Hitzewirkung der leerlaufenden Vorausschaukeln und der Verluste der Rückwärtsturbine bei Vorausfahrt findet man in [1] (Kap. B2). Eine optimale Dampfkesselkapazität und eine entsprechende Kondensatorleitung sind für die Stoppfähigkeit maßgebend (Kap. B2a, b). Das Zusammenwirken von Rückwärtsturbine und Propeller, die Abschätzung der Rückwärtsturbinenleistung und ein überschlägiges Berechnungsverfahren des benötigten Umsteuermomentes ist in [1] dargestellt.

1.2.4 Dieselmotor.

Der direktarbeitende wie auch der Getriebedieselmotor hat für "voraus" wie "zurück" nahezu gleiche Momentencharakteristik, doch ist er mit 10% nur gering überlastbar. Dieser Fakt ist für die Betrachtung der Stoppfähigkeit wichtig.

Das übliche Stoppmanöver eines Schiffes, das bei Verhinderung einer Kollision "Notmanöver" genannt wird, wird zweckmäßig in zwei Etappen eingeteilt [29] :

- 1.) Von der Kommandoerteilung "voll zurück" bis zum Stillstand der Propellerwelle.
- 2.) Von dem Zeitpunkt des Propelleranhaltens bis zum Stillstand des Schiffes.

Für die Maschinenanlage bedeutet das Umsteuermanöver zuerst eine Verzögerung der rotierenden Teile bis zum Stillstand und erneute Beschleunigung rückwärts. Von dem Kommando "voll zurück" bis zur Unterbrechung der Brennstoffzufuhr vergehen bei indirekter Manöverausführung über Maschinentelegraphen 3 + 15 r. Nach Unterbrechung der Brennstoffzufuhr arbeitet der Propeller als Turbine. Bei den üblichen Dieselanlagen wird diese erste Periode des Umsteuerns, wegen des Fehlens ausreichender Bremsmomente, die das hydrodynamische Moment überwinden, sehr lang. Sie macht 50 - 80% des gesamten Auslaufes eines Schiffes aus.

Während die Welle noch vorausläuft, wobei auch die kinetische Energie der rotierenden Teile abgebaut werden muß, wird der Motor bereits umgesteuert und dann mittels Gegenluft, Wellenbremsen ect.

die Welle zum Stehen gebracht und der Motor gegenläufig mit Anlaßluft hochgefahren wird.

In [31] und [29] sind dazu die Besonderheiten des Anlassens und Beschleunigens bei verschiedenen Dieselarten detailliert beschrieben.

Als Manövrierhilfen, die die erste Periode des Umsteuerns verringern sollen, gelten:

- 1.) Abbremsen mit Gegenluft.
- 2.) Motorbremsen.
- 3.) Schwungradbremsen.
- 4.) Lösbare Kupplungen.

Zu 1.) Bei Gegenluftbremsen ist zu beachten, daß die Motordrehzahl erst unter einen gewissen Wert gefallen sein muß, ehe die Gegenluft bremsend wirken kann, andernfalls wirkt sie beschleunigend. [31] (Beim Motorschiff "Ragnvald Jarl" war eine Bremsung mit Gegenluft erst unterhalb der Drehzahl $0,29 n_0$ möglich [29]).

Zu 2.) Hierbei werden Sicherheits- und Anlaßventile zum Austritt der beim Kompressionstakt zusammengedrückten Luft benutzt. Dies kompliziert jedoch die Motorsteuerung und erfordert eine gesonderte Abführung der bei der Entlastung ausgestoßenen ölhaltigen Bremsluft.

Bei 1.) und 2.) ist der Zweitakter dem Viertakter überlegen, weil jeder Zylinder pro Umdrehung bremsend arbeitet.

Zu 3.) Mechanische Bremsen als Schwungrad- oder als Wellenbremsen werden als wirkungsvollere Mittel als 1.) oder 2.) bei Antrieben mit großen Schwungmomenten (Getriebeanlagen) und Schiffen hoher Geschwindigkeit benutzt. Gleichfalls hochaufgeladene Motoren, deren relativ geringere Kolbenflächen ungünstiges Gegenluftbremsen bedeuten oder Motoren oder Motoren mit hohen Drehzahlen werden besser mechanisch gebremst; (Bremszeitverbesserung bei MS "Sofia": 300s ohne gegenüber $6 \frac{1}{2}$ 8s mit Schwungradbremse.)

- 4.) Neben anderen Voruügen haben elastische lösbare Kupplungen innerhalb der Wellenleitung den Vorteil durch Abtrennen der Motoren von dem Propeller, ein schnelles Umsteuern und entgegengesetztes Hochfahren des Motors zu ermöglichen und durch Auswahl einer bestimmten Momenten-Schlupfkennlinie ein Überlasten des Motors zu verhindern.

Bei der hydraulischen Kupplung (z.B. Vulvankopplung) ist für das schnelle Entleeren der Flüssigkeit eine Schnellentleervorrichtung mit größerem Ölvorratsbehälter und entsprechender Pumpe notwendig. Letztere Nachteile werden bei den elektrischen Schlupfkupplungen vermieden. Die elektromagnetische Kupplung [32] hat bei den Nachteilen der anhaftenden Verluste (\sim) und Benötigung von Einrichtungen zum Abführen der davon entstehenden Wärme folgende Vorteile in bezug auf Manöverieren:

- a.) Beliebige Folge von Manövern.
- b.) Direkte Bedienung von der Brücke.
- c.) Auslegung der Käfigwicklung für eine Q-Kennlinie, die im Manöverschlupfbereich ($s \rightarrow 1$) das Vollastmoment hat.
- d.) Ist nicht ein Sonderkäfig (Doppelstab) vorgesehen, kann zum Umsteuern das notwendige Übertragungsmoment durch kurzzeitige Stoßregung erreicht werden.
- e.) Keine Stoßbelastung beim Umsteuern für die Motore, da das Feld zur Momentenübertragung sich exponentiell aufbaut.

Die Abschätzung der Vorzüge der Manövrierhilfen im Hinblick auf Umsteuerzeitverkürzung ist in Kapitel 2 aufgeführt. Die Verkürzung der Etappe 2 von der Kommandoerteilung bis zur Brennstoffabschaltung ist eine Frage der Automation.

Je nach dem Entwicklungsstand der Automation wird die Fahr-anlage lediglich überwacht (Messung und Informationsmeldung auf der Brücke über Drehzahl, Moment, Leistung, Geschwindigkeit, Brennstoffverbrauch [33]) oder überwacht und von der Brücke aus gefahren und schließlich überwacht, die Meßwerte im elektrischen Computer verglichen und nur noch nach fertigen Programmen von der Brücke aus gefahren. [34].

Wird von der Brücke aus der Motor gefahren, so wird die Zeit zwischen Kommandoerteilung und Brennstoffabstellen gegen Null. Bei Verwendung eines Computers kann eine optimale Umsteuerzeit erreicht werden durch optimale Einstellung von Drehzahl, Moment, Brennstoff und eventuell der Steigung im Verhältnis zur Geschwindigkeit.

1.2.5 Elektrische Propellerantriebe.

Je nach der Maschinenanlage unterscheidet man Turbo- und Dieselelektrische Schiffe. Bei Dieselelektrischen Schiffen wird neben Drehstrom im wesentlichen Gleichstrom benutzt. Das Für und Wider des elektrischen Antriebes soll hier nicht erörtert werden, sondern nur die Verbesserung der Stoppeigenschaft durch einen solchen Antrieb eingeschätzt werden.

Ein Vorteil ist ganz offensichtlich, daß die Umsteuerung der Schrauben in jedem Fall ohne Drehrichtungswechsel der Antriebsmaschine im elektrischen Teil vorgenommen wird. Es entfallen die Rückwärtsturbine und die Umsteuereinrichtungen der Dieselmotoren. Im allgemeinen erfolgt die Umsteuerung bei Gleichstromanlagen in einfacher Weise durch Umpolen der Erregung, bei Drehstromanlagen durch asynchrones Umsteuern eventuell mit vorangehender generatorischen Bremsung und synchroner Bremsung,

wobei die Diesel dann ihre Drehzahl verringern müssen, um die Frequenz herabzusetzen. Eingehend behandelt wird dieser Komplex des Umsteuerns bei elektrischen Propellerantrieben in [32], [35], [36] und eine Berechnungsmöglichkeit für den Drehstromantrieb wird in [37], [38] dargestellt.

Eine Gegenüberstellung der Rückwärtsmomentcharakteristiken verschiedener elektrischer Antriebe ist in [1] (Kap. II.C.) aufgezeichnet.

Im Vergleich mit den unter Kapitel 2 genannten Umsteuerzeiten bei anderen Antriebsanlagen schneidet der Dieselelektrische Antrieb mit $t_{umst.} = 15 \div 30s$ recht gut ab.

2. Durchschnittliche Stoppwege, -zeiten und Umsteuerzeiten.

Im allgemeinen haben Schiffe mit Verstellpropeller kürzere Stoppwerte als Schiffe mit Festpropeller ([27]: Schlepper - Fest - zu Verstellpropeller: Stoppzeit $34s/26s$; Stoppweg = $123m/94m$)

Mit Verstellpropellern konnten bei dem Fährschiff "Linth" ein Stoppweg von $s = 2,8$ Schiffslängen [28] und beim Tropik $s = 3,9$ Schiffslängen [26] erreicht werden. Das sind relativ gute Werte. Im Mittel wird für Schiffe mit Verstellpropellern ein Stoppweg von ca. 4 - 6 Schiffslängen, für Schiffe mit Festpropeller je nach Größe mit 5-7 Schiffslängen gerechnet; die Stoppzeit beträgt dabei für letztere ca. 6-10 Minuten [25]. Bei den heutigen größeren Schiffen kommen aber auch extreme Stoppwerte vor wie in [22] bei einem Erzfrachter mit $D = 12600t$: $S = 10,8$ Schiffslängen, Stoppzeit $t = 7$ min beschrieben wird.

Maßgebend für die Stoppwerte (Stoppweg und -zeit) ist die Zeitdauer, die benötigt wird bis, die volle Rückwärtsleistung nach Ausbildung des Rückwärtspropellerstrahls wirken kann. Bei Verstellpropellern

kann diese Zeit gleich der Flügelverstellzeit von voller Voraussteigung zur maximalen Rückwärtssteigung gesetzt werden. Sie beträgt ca. 8 bis 18 sec, maximal 30s. Bei Festpropellern kann die Zeit bis zum Erreichen der vollen Rückwärtsleistung des Motors für normale Schiffe mittlerer Größe und mit normaler Geschwindigkeit ca. 35 bis 45s betragen, 1 min kann als oberste Grenze angesehen werden; für die unterschiedlichen Antriebe ergeben sich folgende durchschnittliche Werte:

- 30 ÷ 40s für direkt getriebene langsam laufende Motoren-Bremsen mit Gegenluft.
- 45 ÷ 100s bei Getriebeanlagen (Br. mit Gegenl.)
- 20 ÷ 30s " " mit rasch lösbaren Kupplungen.
- unter 15s bei Wellenbremsen.

Turbinenschiffe haben dagegen ungünstigere Umsteuerzeiten.

3. Berechnungsverfahren.

3.1 Umsteuerzeit der Hauptmaschine.

Für Turbinenschiffe nimmt man nach '1' ca. 20s für die Zeit an bis die Rückwärtsturbinenventile geöffnet sind.

Für Schiffsdieselmotoren, für die die Reibungsverluste von Wellenleitung und Dieselmotor, die Propellercharakteristik und die Anlaßluftwerte (Anlaßluftdruck, Zylindertemperatur, Indizierdiagramm) bekannt sind, ist in '39 ein Berechnungsverfahren für die Umsteuerzeit entwickelt worden. Es sind darin die Kurven für ein bestimmtes Schiff bestimmt worden - will man die Berechnung der Umsteuerzeit für ein anderes Schiff durchführen, so müssen die benötigten Kurven neu aufgestellt werden. Darin liegt das Nachteilige dieses Verfahren.

3.2 Stoppzeit und Stoppweg der Schiffe.

3.2.1 Verfahren nach Schmidt.

Eine der ersten Versuche, die Stoppwerte auf numerisch-graphische Weise zu berechnen, wurde von Dr. Schmidt unternommen [40].

Er teilt den Stoppvorgang in 3 Bereiche ein.

- a.) Propeller durch Rotationsenergie mit ~~mit~~ positiven Schub vorausdrehend bis Slip = 0 - diese Etappe ist meist vernachlässigbar kurz.
- b.) Propeller als Turbine getrieben mit negativen Schub bremsend ab ca. $n = 60\%$ Nenndrehzahl.
- c.) Propeller ist umgesteuert und bremst das Schiff bis zum Stand.

Das Verfahren für die Berechnung der Bereiche a) und b) sei prinzipiell erklärt:

- a.) Das Moment ergibt sich zu:

$$Q = c \cdot n^2 \cdot D^2 \cdot \rho^3 \quad (I)$$

Für den interessierten Bereich ergibt sich das Moment annähernd linear in der Abhängigkeit vom Schlupf, also

$$c_2 = a + b \cdot s_N \quad (II)$$

Aus (I) und (II) folgt

$$Q = A \omega^2 + B \omega \quad A, B - \text{Konstante}$$

Da keine Energiezufuhr von der Maschine mehr erfolgt, ergibt sich ein Gleichgewicht der Momente zu

$$\ominus \frac{d\omega}{dt} = - (Q_{\text{Reib.}} + A \omega^2 - B \omega)$$

Daraus ergibt sich die Zeit t .

- b.) Hierbei wird von den sogenannten Robinsonkurven des Modellschleppversuchs ausgegangen. Die Auslaufgleichungen von Schiff und Maschine sind:

$$m \frac{dv}{dt} = \varphi \{v, \omega\} - c v^2 \quad \text{wobei } Q = f(v, \omega)$$

$$\ominus \frac{d\omega}{dt} = f \{v, \omega\} - Q_{\text{Brems}}$$

Diese Gleichungen lassen sich nun schrittweise graphisch integrieren, indem man von $t = 0, s = 0$ ausgeht und Δt - Stufen festlegt.

Es können auf diese Art Auslaufweg und -zeit stufenweise berechnet werden. Zusätzlich wird noch ein Verfahren dargestellt, wie das vorzeitige Stehenbleiben des Propellers infolge des Ungleichförmigkeitsgrades des Diesels bestimmt werden kann.

3. 22. Verfahren nach Norrbinn-- Lindgren.

Eine angenäherte Bestimmung des Stoppweges, die allgemeingültig für Dieselschiffe ist, findet man in [41]. Ausgehend von der Stoppgleichung:

$$m \frac{dv}{dt} = T\{v, n, v\} - R\{v, \frac{dv}{dt}, \nabla\}$$

kann man nach Einführung der Relativwerte $\mu = \frac{m}{m_0}$, $c = \frac{v}{v_0}$, $r = \frac{R}{R_0}$ und $q = \frac{Q}{Q_0}$ bei konstantem Drehmoment Q_1 schreiben:

$$m_0 (1 + k_0) v_0 \frac{dc}{dt} = R q_1 \frac{k_s / k_0}{(k_s / k_0)_0} \left\{ \frac{q_1}{c^2} \right\} - R_0 r \{c, \mu\}$$

Durch Integration ergibt sich der Stoppweg.

$$s = \frac{m_0 (1 + k_0) v_0^2}{R_0} \cdot J_1$$

wobei $J_1 = \int_0^{c_1} \frac{\mu \cdot c \cdot dc}{q_1 \frac{k_s / k_0}{(k_s / k_0)_0} \left\{ \frac{q_1}{c^2} \right\} - r \{c, \mu\}}$

Der Wert J_1 kann für verschiedene Geschwindigkeiten, verschiedene q_1 , Verdrängungen und P/D aus graphischen Darstellungen entnommen werden, die auf den Modellversuchen von Nordström [3] beruhen.

Mit dem Verfahren lassen sich auch stufenweise Umsteuer- und Stoppmanöver berechnen. Dann werden die Teil- J_1 - Werte eingesetzt. In [41] wurden die Stoppwege für einige naturgroße Schiffe berechnet und gemessen. Die Übereinstimmung ist im Ausgangsstadium recht gut, ausgenommen der letzte Teil des Manövers.

3.2.3 Verfahren nach W.A. Swaan 42.

Dieses ist ein experimentelles Verfahren, wobei mit Hilfe von Modellversuchen und graphischer Auswertung die Stoppwege großer Schiffe bestimmt werden können.

Nach einem vorgegebenen Programm werden am Schleppwagen die Reaktionskräfte des Modells bei verschiedenen Geschwindigkeitsstufen und unterschiedlichen positiven und negativen Drehzahlen gemessen. Wichtig ist dabei die Kräfte zu korrigieren, da der Reibungswiderstand den größten Beitrag zu den Kräften liefert. Da der Reibungsbeiwert aber gegenüber dem Schiff zu groß ist, wird entweder die Lap-Troostmethode oder die von der ITC vorgeschlagene Korrelationslinie zur Korrektur benutzt.

Aus dem 2. Newtonschen Gesetz ergibt sich:

$$k\{v, n\} = m \frac{dv}{dt}$$

$$ds = \frac{m}{k\{v, n\}} v dv \quad \rightarrow \quad s = \frac{105 \cdot D}{g} \int_{v_e}^{v_a} \frac{v}{k(v, n)} dv$$

Es kann nun ein bestimmter charakteristischer Drehzahlverlauf über die Geschwindigkeit vorgegeben und nach Bildung des Verlaufes von $\frac{v}{k}$ durch graphische Integration der Auslaufweg bestimmt werden.

Die gleiche Methode wurde bereits in [43] beschrieben, wo sie zur Landerechnung für Seeflugzeuge benutzt wurde.

3.2.4. Verfahren nach Hewins - Ruiz.

In umfassenden Arbeiten über die Stopp- und Manöverierfähigkeit [1], [8] ist eine allgemeingültige Methode für die Berechnung von Stoppzeit und Stoppweg von Schiffen entwickelt worden. Diese Methode benötigt nicht unbedingt Modellversuche, sondern bereits im Entwurfstadium, wenn die Hauptparameter von Schiff und Propeller und die Leistung und das Moment der Maschine bekannt sind, lassen sich die Stoppwerte berechnen. Eine detailliertere und genauere Berechnung der Stoppfähigkeit ist möglich, wenn die mittlere Potenz der Widerstandsabhängigkeit von der Geschwindigkeit durch Schleppversuche am Modell bestimmt wurde und der Standschub rückwärts nach Modellversuch bekannt ist.

Eine kürzere Darstellung des Verfahrens zur speziellen Anwendung der Berechnung der Stoppwerte, der Fahrtverminderung in Revierfahrt und der Rückwärtsbeschleunigung findet man in [9].

9

3.2.5 Stoppweg und -zeit nach Gröbe [44].

Nach [44] erreicht das Egenmoment (Bremsmoment beim Zurückdrehen) der Robinsonkurve bei Einschraubern 50%, bei Zwischenschraubern 75% des Nennmomentes und soll vom Durchmesserleistungsgrad ($\sum_{DN} = \frac{K_m}{\lambda^2} \cdot 2\pi$) und A/A_0 abhängig sein, während die sich dabei einstellende Drehzahl von \sum_{DN} und p/o abhängig sein soll. In [45] sind die von Gröbe nach Berechnung und Versuchen ermittelten Schaubilder eingetragen, nach denen Stoppzeit und Stoppweg für Schiffe mit verschiedenen Antriebsmaschinen und Belastungszuständen bestimmt werden können.

Die Stoppzeit t ergibt sich aus dem Diagramm, das als Abrisse die "spezifische Schubleistung" $\frac{N_w \cdot 75 \cdot \eta_{en}}{m \cdot v^2}$ und als Ordinate die "spezifische Wuchtänderungsleistung" $\frac{v^2}{150t}$ die sich ergibt aus:

$$\text{Kinetische Energie} = \frac{m \cdot v_{\text{Anfang}}^2}{2} - \frac{m \cdot v_{\text{Ende}}^2}{2} = A$$

$$\frac{A}{t_{\text{stopp}}} = \frac{m}{2} \frac{v_A^2}{t}$$

$$v_{\text{Ende}} = 0$$

spez. Wuchtänderungsleistung:

$$\frac{A}{75m \cdot t_{\text{stopp}}} = \frac{v_A^2}{150t}$$

Stoppzeit t mit der mittleren Auslaufgeschwindigkeit v_{mittel} multipliziert ergibt den Stoppweg. v_{mittel} ist für Ein- und Zweischaubern aus einem 2. Diagramm zu entnehmen, das über der "spezifischen Wuchtänderungsleistung" darstellt.

3.2.6 Einschätzung der einzelnen Verfahren.

Zu 1.) Das Verfahren nach Schmidt benötigt umfassende Modell-

versuche mit Schiffsmodell und Propeller für mehrere Geschwindigkeitsstufen und zurückdrehendem Propeller. Es bedeutet weiterhin eine komplizierte graphische Auswertung und ermöglicht lediglich die Bestimmung des zurückgelegten Weges und der Zeit bis zum Stillstand des Propellers; also die Umsteuerzeit - die das entgegengesetzte Hochfahren der Dieselmashine mit einschließt - kann hiernach nicht bestimmt werden. Es empfiehlt sich zu diesem Zweck daher das genauere und erweiterte Verfahren nach Kap 3.1 .

Zu 2.) Diese Methode von Lindgren - Norrbin ist durch Vereinfachungen - Sogziffer wird gleich Null gesetzt, die Beschleunigungsenergie der rotierenden Teile vernachlässigt und der Geschwindigkeitsverlust zu Beginn des Manövers in der Zeit vor dem eigentlichen Umsteuern nicht berücksichtigt - für Dieselschiffe leichter zu benutzen. Es werden nicht neue Modellversuche benötigt. Die Kurvenscharen für den Wert J_1 lassen die Berechnung von Teilstoppstrecken bei verschiedener Geschwindigkeit und Verdrängung zu. Da die Nordströmversuche als Grundlage der Berechnung dienen, sind auch nur die Ergebnisse für Schiffe mit Schrauben von $A/A_0 = 0,45$ korrekt; die steigungsabhängige Bremswirkung wurde dagegen berücksichtigt. Nicht berücksichtigt wurde dagegen die unterschiedliche Bremswirkung bei Propellern mit von der Wageningen Serie abweichenden Blattflügelschnitten. Der in [41] vorliegende Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Stoppwegen zeigt im letzten Teil des berechneten Stoppweges einen zu großen Abfall.

Zu 3.) Die in Wageningen entwickelte Methode der experimentellen Bestimmung des Stoppweges setzt eine Vielzahl von Modellversuchen voraus. Es müssen in Stufen von $v = 0$ bis $v = v_{max}$ stationäre Propulsions- und Reaktionskraftmessungen für eine möglichst große Zahl von Drehzahlen voraus und zurück gemacht werden. Das ist m.E. sehr zeit- und arbeitsaufwendig. Gleichfalls müssen für diese Vielzahl von Versuchen die Reibungskorrekturen vorgenommen werden. Jedoch ist der Einfluß der Maschinenumsteuercharakteristik, wenn die Abhängigkeit Schiffsgeschwindigkeit - Drehzahl bekannt ist, mit dieser Methode recht gut zu berücksichtigen.

verfahren ist allgemein anwendbar für die unterschiedlichsten Schiffstypen (1 bis 4 Wellenschiffe) und Antriebe, es ist sowohl unter Verwendung von Propeller - und Modellversuchen, als auch mit Vereinfachungen ohne experimentelle Vorversuche zu gebrauchen. Nach dem gleichen Verfahren ist auch eine Berechnung der Teilstoppstrecken bei Fahrverminderung in Revierfahrt und eine angenäherte Bestimmung der Stoppwerte aus der Hafengeschwindigkeit heraus durch Verwendung von Formeln möglich, die lediglich die verfügbaren Maximalmomente der Maschine, die Verdrängung des Schiffes und des Widerstandes enthalten.

Vergleiche zwischen errechneten und gemessenen Stoppwegen ergaben bei Ein- bis Dreischraubern Abweichungen von nur 5%, bei einem Vierschrauber + 14 %.

Zu 5.) Diese Stoppwegberechnung nach '44. wurde speziell für Schiffe mit Elektroantrieb entwickelt. Es wird hierin nicht das verfügbare Maximalmoment für Rückwärtsfahrt, die Propellercharakteristik, der Widerstand des Schiffes und die Art des Umsteuerns berücksichtigt. Es kann daher keine große Genauigkeit bei den errechneten Ergebnissen erwartet werden und bisherige Berechnungen nach diesem System von Größe haben recht erhebliche Abweichungen von den gemessenen Werten ergeben.

4. Verwendete Symbole.

Außer in Kapitel 1.1.1, wo engl. Symbole verwendet und dort erklärt wurden, gelten:

Symbol	Bezeichnung	Einheit
a	Konstante	
A	kinetische Energie oder Konstante oder Propellerfläche	(m ²)
A ₀	Kreisfläche mit Propeller ∅	(m ²)
A/A ₀	Flächenverhältnis	
b	Flügelblattbreite oder Konstante	(m)
B	konstante	
c	Krümmungsverhältnis oder Konstante	
C _T ⁺	Schubkoeff. = $\frac{T}{\rho^2 \cdot D^2 \cdot n^2}$	
C _Q ⁺	Momentenkoeff. = $\frac{Q}{\rho^3 \cdot D^2 \cdot n^2}$	
D	Propellerdurchmesser	
e		
g	Erdbeschleunigung	9,81 ($\frac{m}{s^2}$)
h	Höhenabschnitt	m
I ₁	Integralausdruck	
J = Λ	Fortschrittsgrad = $\frac{v}{D \cdot n}$	
K	konstant f.anhaftendes Wasser	($\frac{m}{\%}$)
K _T	Reaktionskraft Schubbeiwert = $\frac{T}{n^2 \cdot D^4}$	(np)
K _Q	Momentenbeiwert = $\frac{Q}{n^2 D^5}$	
m	Masse	
n	Drehzahl Koeffizient	(1/min)

n_{nenn}	Nenndrehzahl	(1/min)
N_w	Wellenleistung	(PS)
P	Prop.-Steigung ξ	(m)
P_o	Prop.-Konstruktionssteigung	(m)
P/D	Steigungsverhältnis	(./.)
q	Momentenverhältnis $\frac{Q}{Q_o}$	
Q	Propellermoment	
Q_o	Moment bei V_o	
r	teileradius d. Propellers	(m)
R	Propellerradius auch Schiffswiderstand	(m)
R_o	Schiffswiderstand bei v_o	
s	Slip = Schlupf = $1 - \frac{v}{n \cdot p}$	
s_n	Nennslip	
S	Stoppweg	(m)
t	Zeit, insbes. Stoppzeit	(s)
T	Schub	
v	Geschwindigkeit	
v_o	Ausgangsgeschwindigkeit	
v_a	Anfangs " "	
v_e	End " "	
v_{mittel}	mittlere " "	
Z	Flügelzahl	
\cdot	Trägheitsmoment	
\cdot	Ver rängung	(t)
\cdot	Kreisfrequenz = $2 \pi f$ (f =Frequenz (1/s))	(1/s)
\cdot	Dichte	
\cdot	Schubbelastungsgrad	()

5. Literatur

- '1 D'Arcangelo, A.M.: " Guide to the Selection of Backing Power."
Technik and Research Bulletin No. 3-5. Dez. 1957.
- '2 Grim, O.: "Lagerung der Propellerwelle in einem elastischen Stevenrohr." Jahrbuch der STG 1960.
- '3 Nordström, H.F.: " Screw Propeller Characteristics." Meddelanden Från statens skeppsprovninganstalt. Göteborg 1948.
- '4 Meyne, K.J., Walsemann, B.: " Manövriereigenschaften von Schiffspropellern." HSVA-Bericht Nr. 1256, 1961.
- [5] Gutsche, F. und Schroeder, G.: Freifahrtversuche an Propellern mit festen und verstellbaren Flügeln " voraus" und "zurück." Schiffbau Forschung Heft 4, 1963.
- 16 Meyne, K.J.: " Umsteuereigenschaften von Schiffspropellern" 323. Mitteilung der Hamburger Schiffbau-Versuchsanstalt. Schiff und Hafen 1962, H5. S. 434 bis 44.
- 7] Gutsche, F.: "Der Einfluß des Flächenverhältnisses auf den Wirkungsgrad von Schiffspropellern." Schiff und Hafen 1960, Heft 9.
- 8] Hewins, E.F. and Ruiz, A.L." Calculation of Stopping Ability of Ships,"
Rechnical and Research Bulletin No. 3-4, 1954.
- 9] Referat zu: " Calculation of Stopping ability ships." I.f.S.-Referat Nr. 5003 Juni 1964
- 10] Meyne, K.J. "Sonderauslegung eines Propellers auf verbesserte Manövriereigenschaften."
HSVA-Bericht Nr. 1267.

- 11 Ulrich, W.; Dankwardt, E.: " Manöviereigenschaften von Schiffspropellern", Leipzig 1956, Seite 52.
- 12 Henschke, W. Schiffbautechnisches Handbuch Bd.1 Seite 499, Seite 464.
- 13 van Aken, I. A. and Tasseron; "On the effect of the shape of the blade section on the efficiency of backing marine Propellers."
- 14 Brehme, H.: "Verminderung der Propellerkavitation durch konstruktive Maßnahmen." Schiffstechnik 1955 Heft 12/13.
- 15 Bossow, G.: " Theorie, Konstruktion und Anwendung von Verstellpropellern." Schiffbautechnik 7; 2/1957.
- 16 Nordström, H. F.: " Propeller with adjustable blades." Meddelande från Statens Skeppsprovninganstalt Göteborg (1945) Nr. 4.
- 17 Rupp, J. A.: Controllable-pitch propellers. SNAME (1958) S.272 bis 315.
- 18 Roscher, E. K. " 25 Jahre Kortdüsenantrieb" Hansa 94 1957) Nr. 22/23. S.1125.
- 19 Schuschkin, W. N.: " Hydrodynamische Entwurfsrechnung für drehbare Düsen." Arbeiten des Zentralen Wissenschaftlichen Forschungsinstitutes für Flußschifffahrt (Z N I I R F) Ausgabe 37, Leningrad 1958(russ.)
- 20 Suhrbier, K.: " Motorgüterschiff mit Ruderdüsen, Manövrier- und Propulsionsversuche mit Modell und Großausführung." 14. Mitteilung der Schiffbau-Versuchsanstalt Berlin-Karlshorst.

- '21 Gutsche, F.: " Modellversuche mit neuzeitlichen Ruder-
anlagen."
Schiffbautechnik 9(1959) S.229.
- 22 Hebecker, O.: " Stoppen aus voller Fahnt mit voller
Rückwärtsleistung."
S.u.H. 1961. H. 4.
- 23 Robinson: " The Stopping of Shipp."
Journal of Mar. Arch. and Mar. Engineers 1938.
- 24 Mitzlaff, G.: " Umsteuern." Jahrbuch der STG 1938
- 25 Church, J.E. " The stopping of ships in an emergenay."
- 26 Kranert, K. " Umsteuern- und Stoppversuche auf einem
Fischverarbeitungsschiff der Tropikserie," Bericht
der Schiffbau Versuchs-Anstalt Berlin-Karlshorst 1963.
- '27 Rupp, L.A. " Schleppversuche mit Fest- und Verstell-
propeller.
- 28 Escher - Wyss - Verstellpropeller: " Fährschiff Linth."
Schiff und Hafen 1952 Heft 8.
- 29 Martisow, G.G. " Umsteuereigenschaften von Fest- und
Verstellpropellern." Aus Sudostrojemie 1963.
Übersetzung Nr. 4026 I.f.S., Hamburg.
- 30 Michel, F.: " Schiffsdampfturbinen und Schiffsgetriebe."
Jahrbuch der STG 1960, S. 91.
- 31 Luther, K.: " Manövrieren mit Schiffsdieselanlagen."
Schiff und Hafen 1959 Heft 2 S. 93.

- 32 Heil - Wangerin "Elektrischer Schiffsantrieb"
Handbuch der Werften 1956/58
- 33 "Elektronische Maschinenüberwachungszentrale
auf dem Motorschiff Straßburg."
Industrieelektronik Heft 3, 1963.
- 34 Fricke/Semerow: " Die Automation von Schiffs-
anlagen." Hansa 1963 Nr. 22
- 35 Klassen, H.: " Automation and controllable Pitch
Propellers" . International
Shipbuilding Progress Febr. 1964.
- 36 de Kat, K.: " Einige Betrachtungen über den elek-
trischen Propellerantrieb von Schiffen."
Hansa 1960, S. 433
- 37 Mitzlaff, G.: "Neues vom elektrischen Schiffsantrieb
Das Umsteuern." Jahrbuch d. STG 1939.
- 38 Klamt : " " Elektrische Schiffsantriebe mit
Drehstrom unter besonderer Berücksich-
tigung der Umsteuerverhältnisse."
Forschungshefte für Schiffstechnik H. 7/54.
- 39 Agratschew, G. J., Morgulis, P. C. " Angenäherte Bestimmung
der Umstauergeschwindigkeit von Diesel-
schiffen." Übersetzung Nr. 4028 des
I. f. S. aus Sudostroenie 1956/9.
- 40 Schmidt, F. " Abstoppen und Umsteuern von Schiffs-
maschinenanlagen." Werft, Reederei, Hafen.
Sept. 1940.
- 41 Lindgren, H. - Norrbin, N. H. " Model tests and Slips
correlation for a cargo liner." The
Transactions of the Royal Institution
of Naval Architects. Sept. 61.

- 42 Swaan, W.A. "Experimental determination of stopping ability."
W.O. Report Nr. 108-87-9 von Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation Wageningen.
- 43 Michalke, R. "Landerechnung für Seeflugzeuge"
Blohm & Voss Flugzeugbau: Rechnungsgrundlage R Hy 6 1942.
- 44 Gröbe, H.: "Vorausbestimmung der Umsteuerzeiten und Auslaufwege bei elektr. angetriebenen Schiffen".
Vortrag auf der Schiffbautechnischen Tagung 24. - 27. Okt. 1954.
- 45 Henschke, W., Schiffbautechnisches Handbuch Band 1,
Kap. 2.273 "Verhältnis beim Umsteuern."

Abb. 1

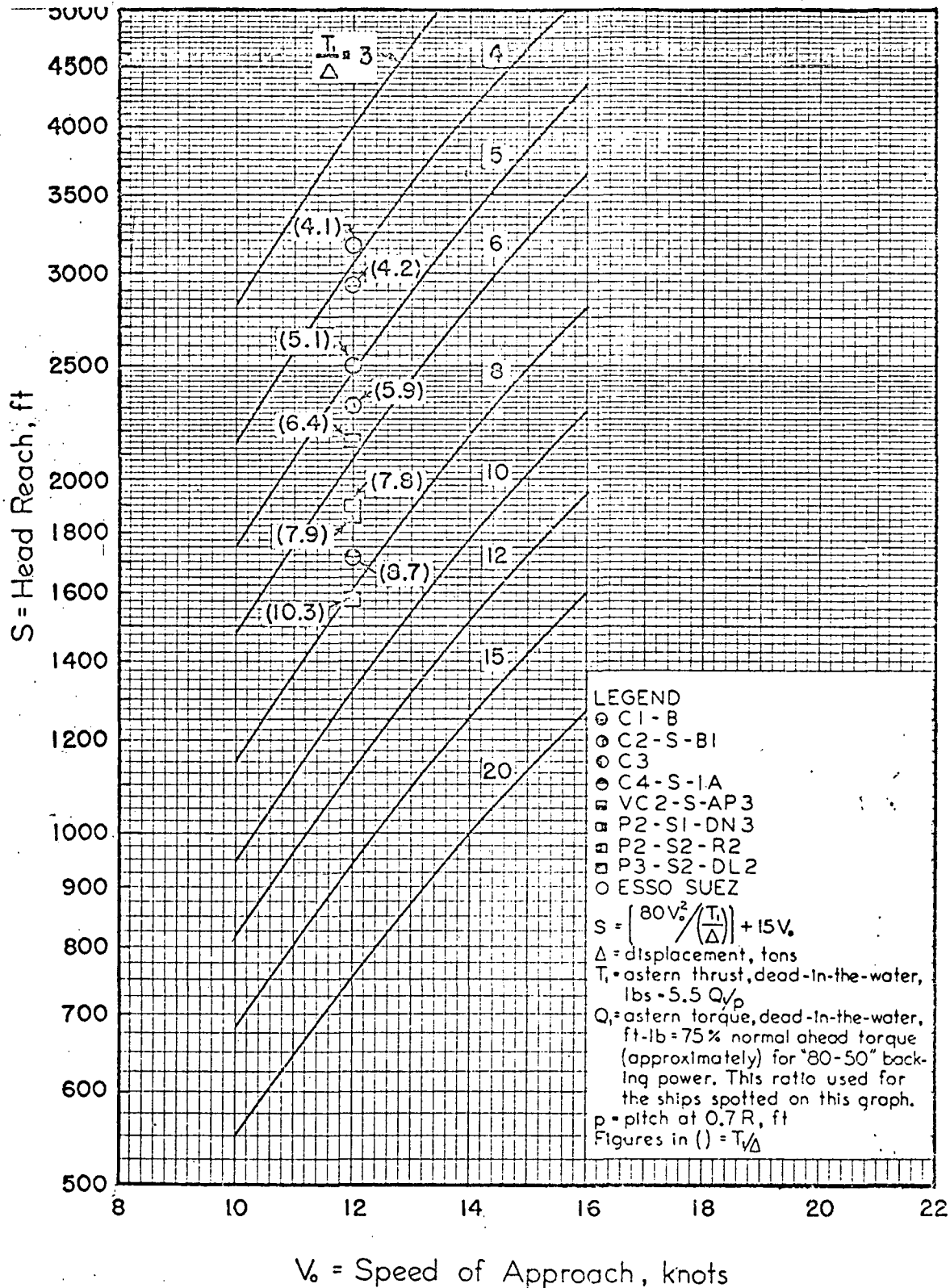


Fig. 22. Curves for approximate head reach as a function of astern thrust per ton of displacement.

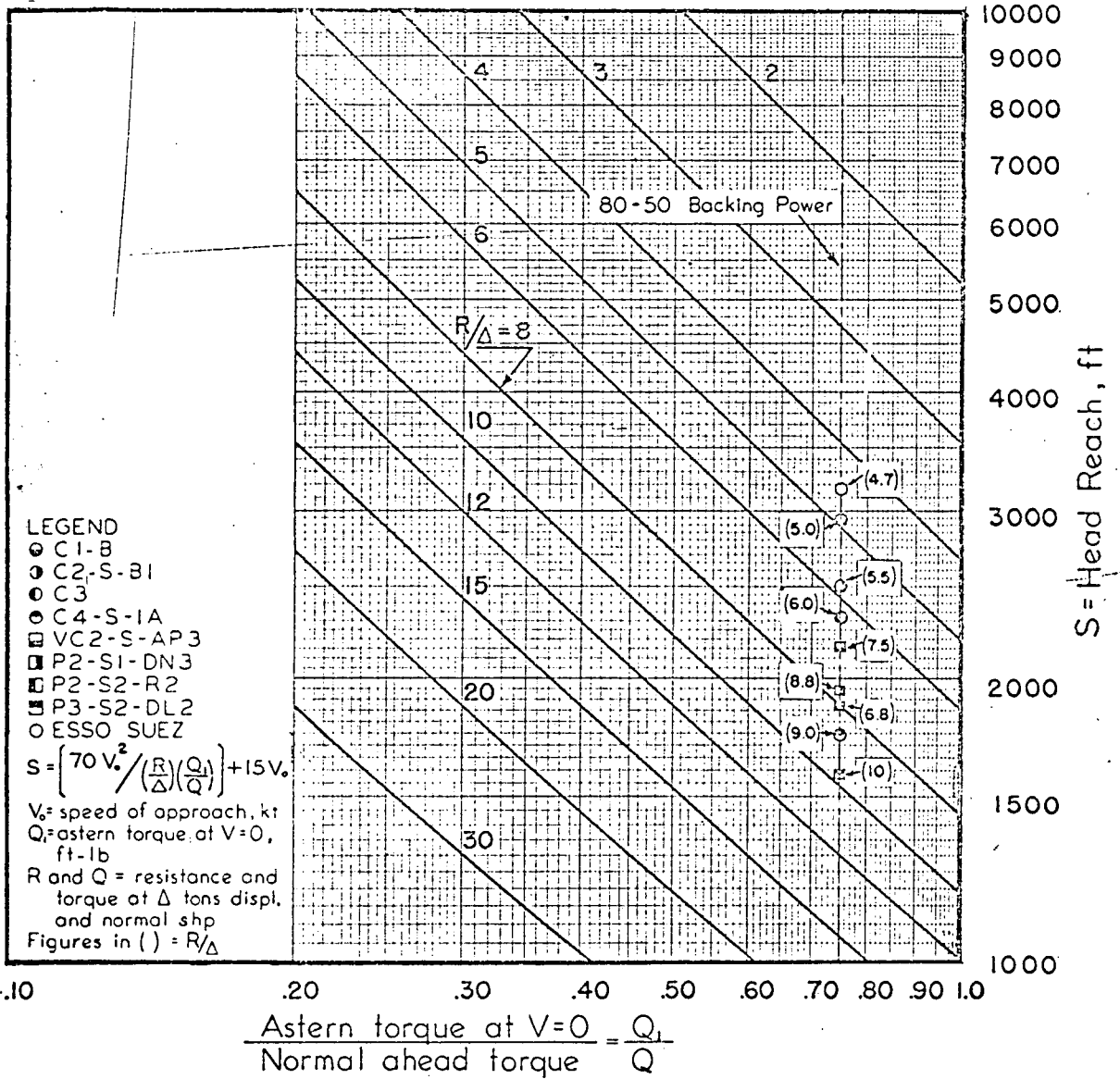


Fig. 23. Curves for approximate estimate of head reach from 12 knots as a function of resistance per ton of displacement and of the ratio of astern torque at dead-in-the-water to normal ahead torque.

Abb. 2

Abb. 3

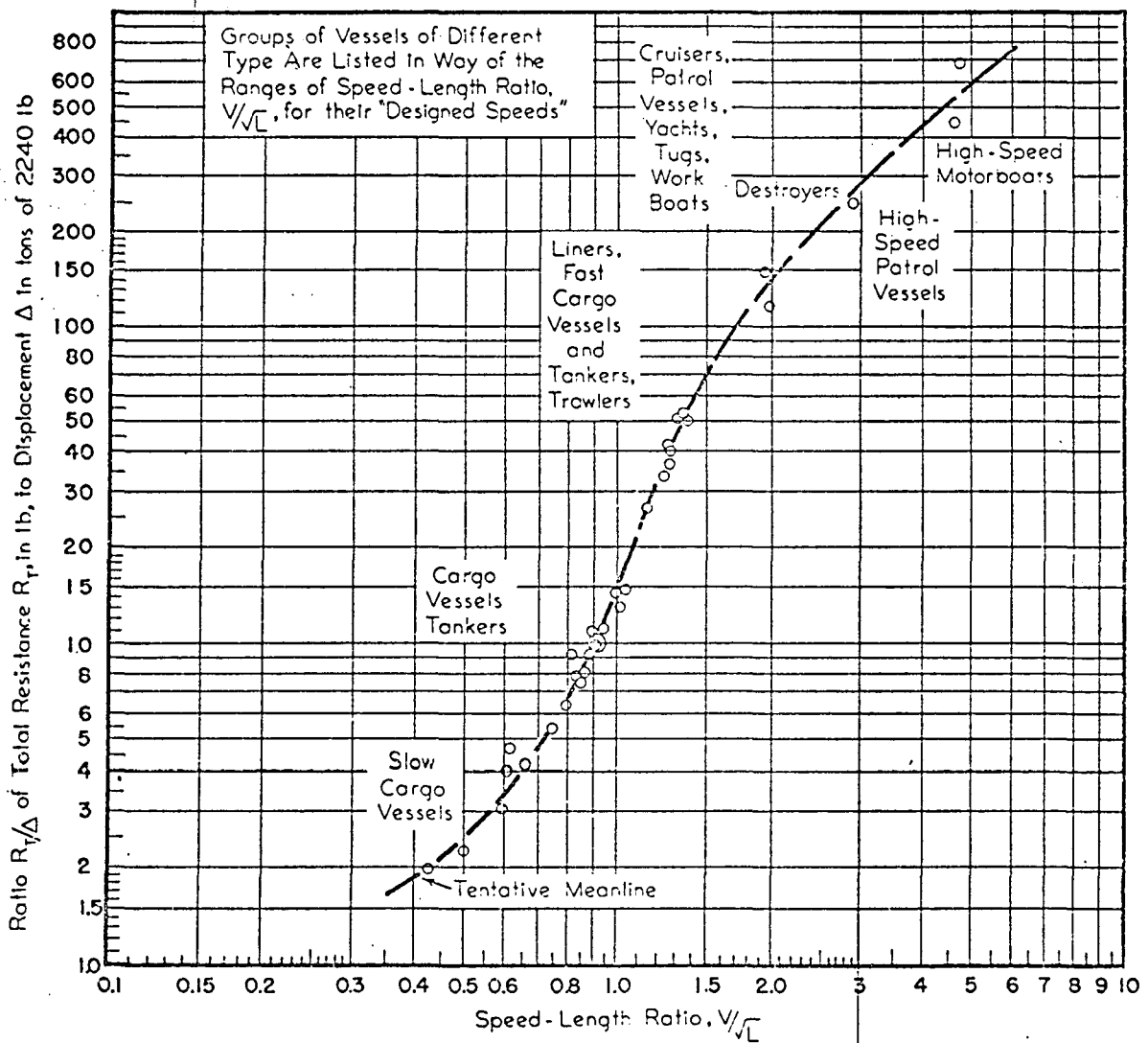
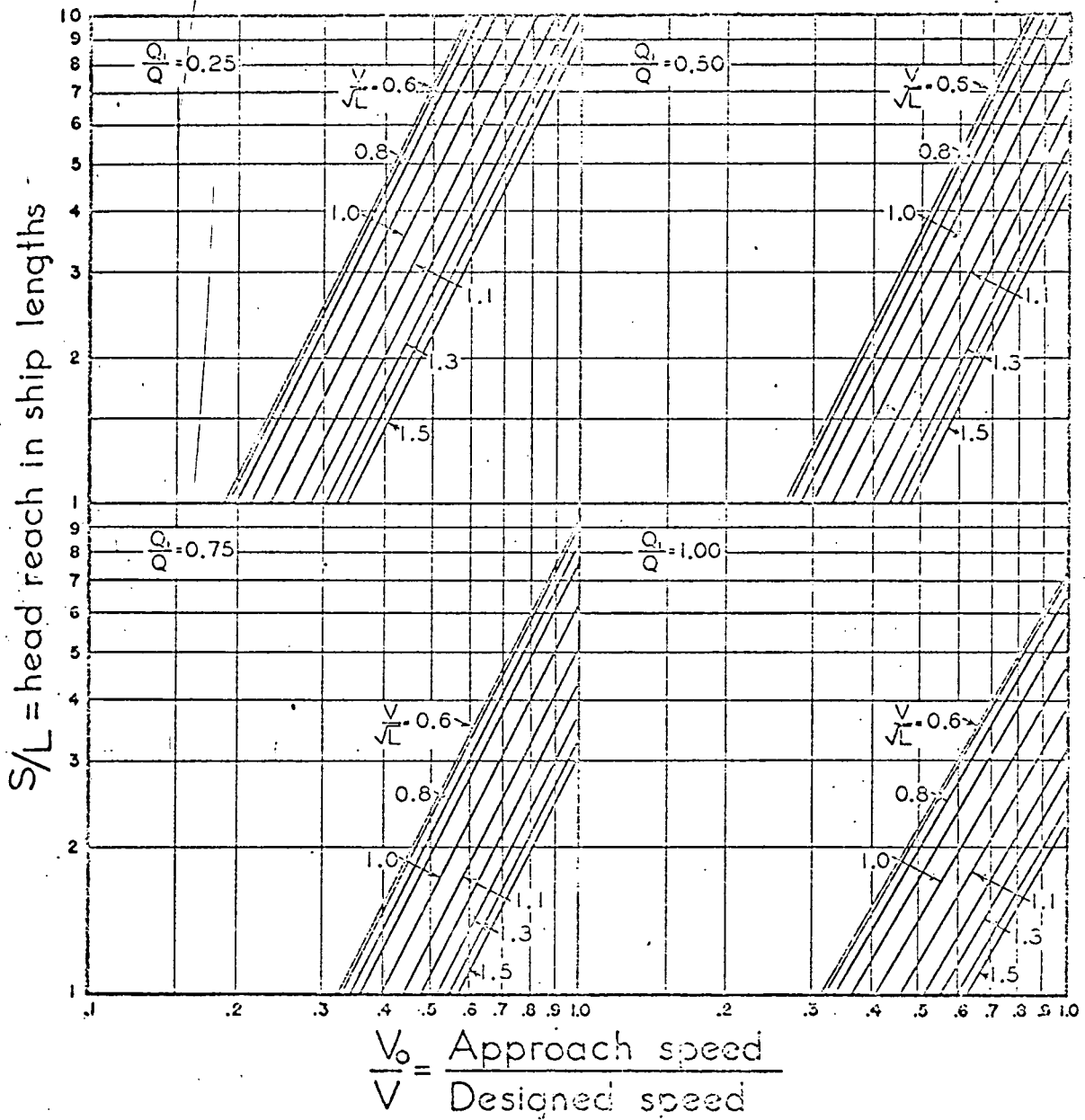


Fig. 24. Resistance per ton of displacement as a function of the speed-length ratio.

Abb. 4



LEGEND

$$\frac{S}{L} = \frac{70 V_0^2}{L \left(\frac{R}{\Delta}\right) \left(\frac{Q}{Q_1}\right)} = 70 \left(\frac{V_0}{V}\right)^2 \left(\frac{\Delta}{R}\right) \left(\frac{Q}{Q_1}\right)$$

V, R and Q are respectively, ahead speed, resistance and torque at Δ tons displacement and normal ship
 S = head reach, ft ; L = waterline length, ft ; V_0 = speed of approach

Fig. 25. Stopping ability in ship lengths as a function of design speed-length ratio.

GUIDE TO THE SELECTION OF BACKING POWER

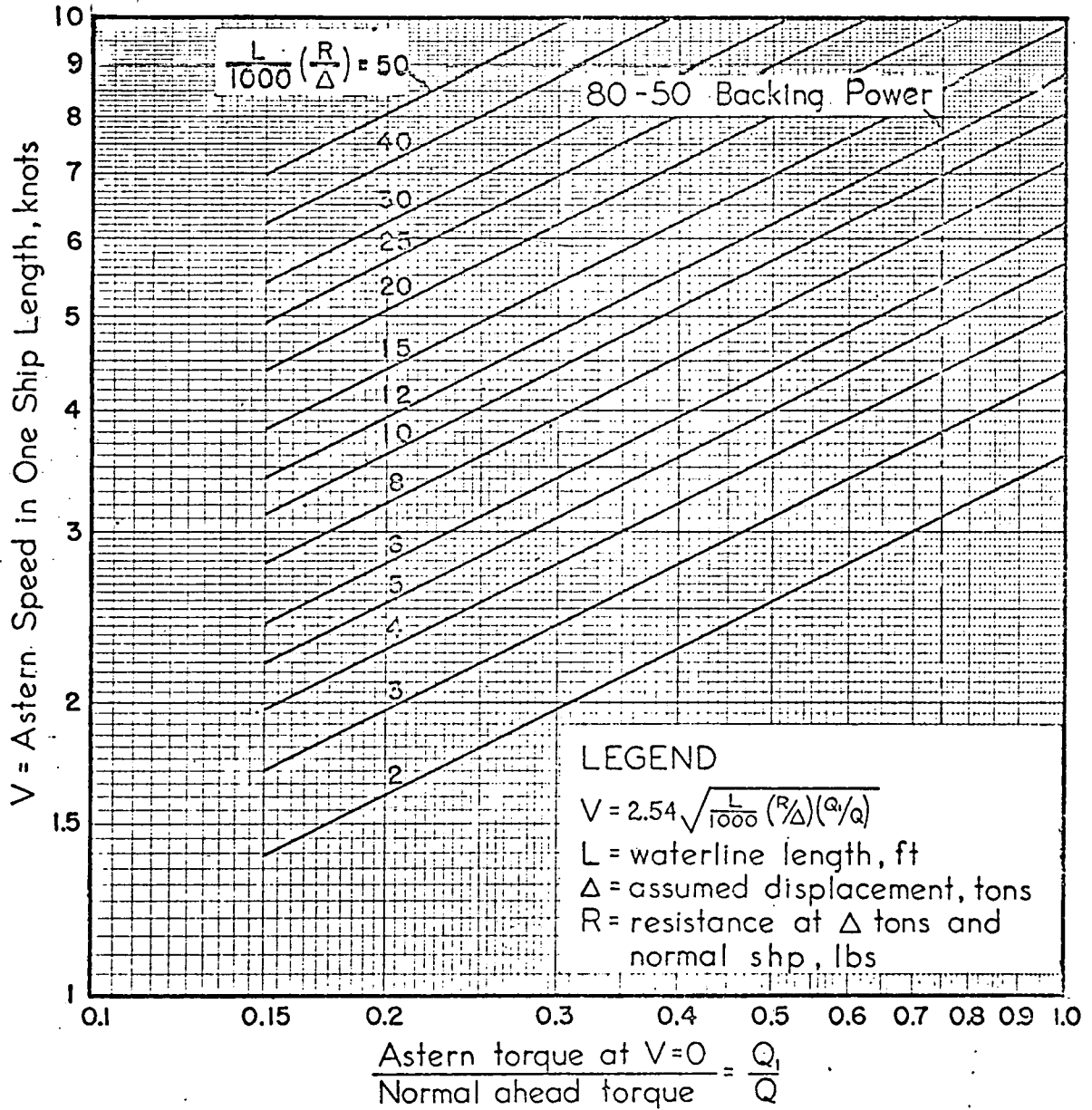
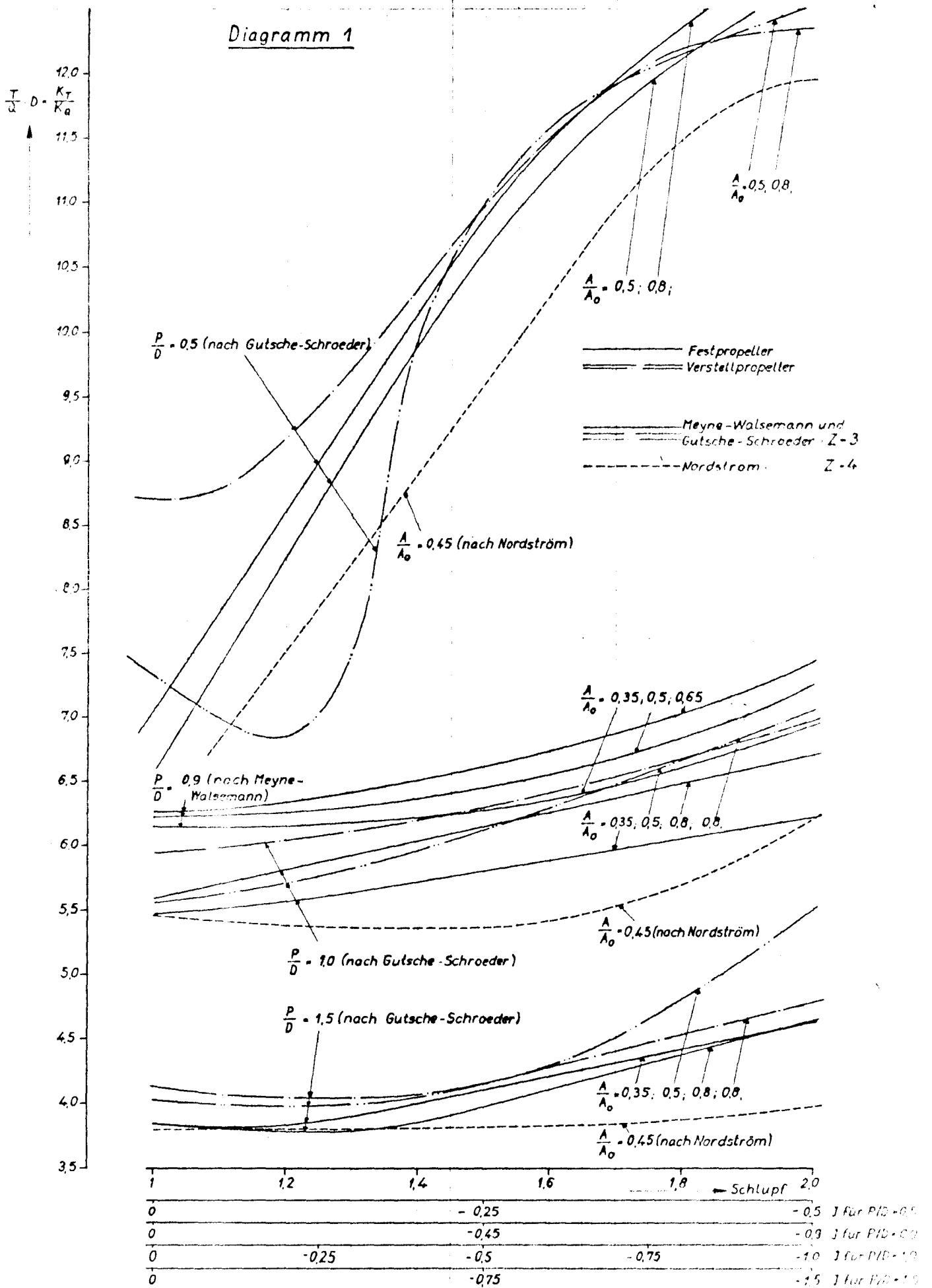


Fig. 26. Astern speed starting from rest as a function of the hull and machinery characteristics.

APPENDIX A

Abb. 5

Diagramm 1



Änderung der effektiven Steigung für verschiedenen Flächenverhältnissen (A/A_0)
für verschiedene Fortschritts- und Schubbelastungsgrade.

— absolute Steigungsänderung
 - - - - - prozentuale Steigungsänderung

Diagramm 2

$\xi_s = 0.5$

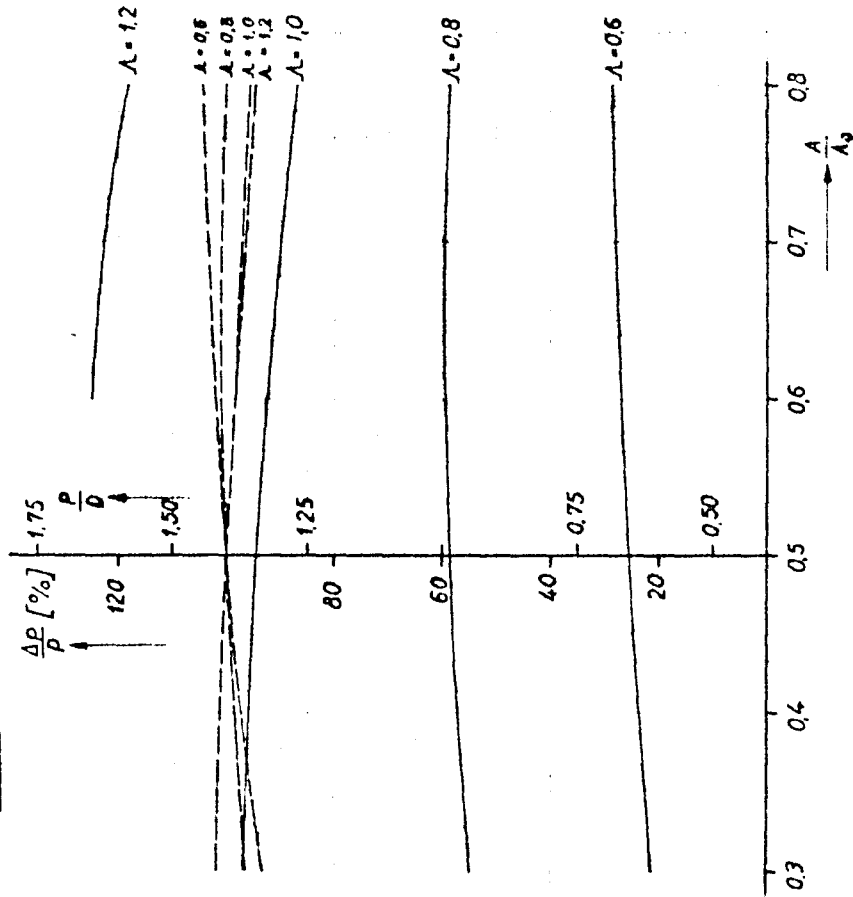
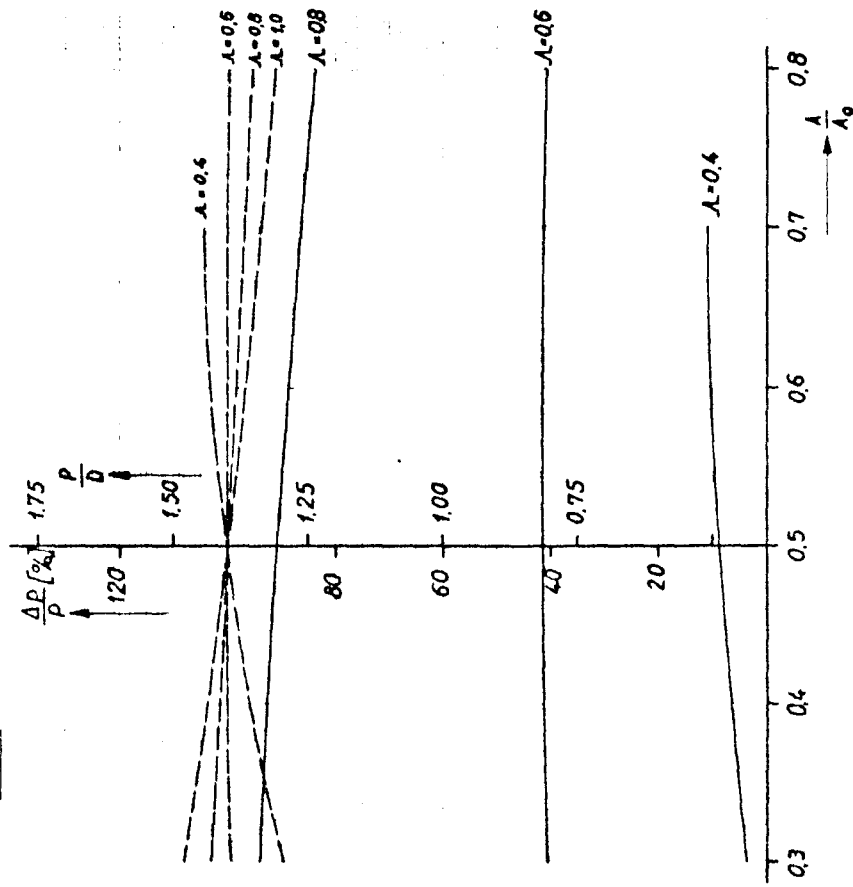


Diagramm 3

$\xi_s = 1.0$



Anderung der effektiven Steigung bei verschiedenen Flächenverhältnissen (A/A_0)

für verschiedene Fortschritts- und Schubbelastungsgrade

— absolute Steigungsänderung
 - - - - - prozentuale Steigungsänderung

Diagramm 4

$\xi_s = 2.0$

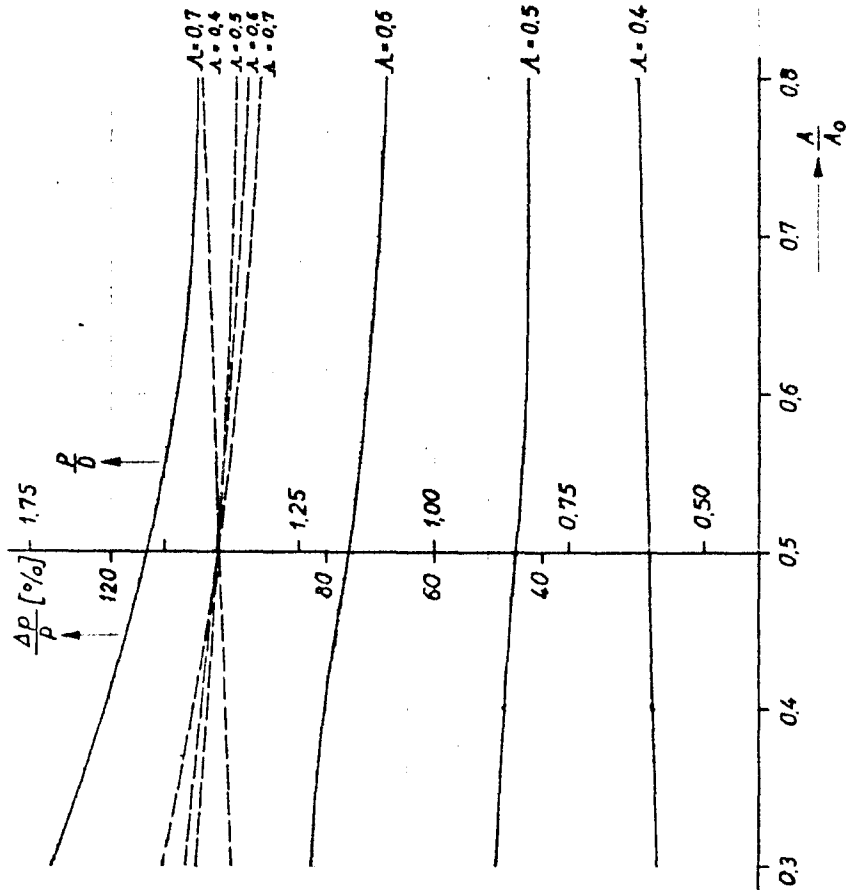


Diagramm 5

$\xi_s = 4.0$

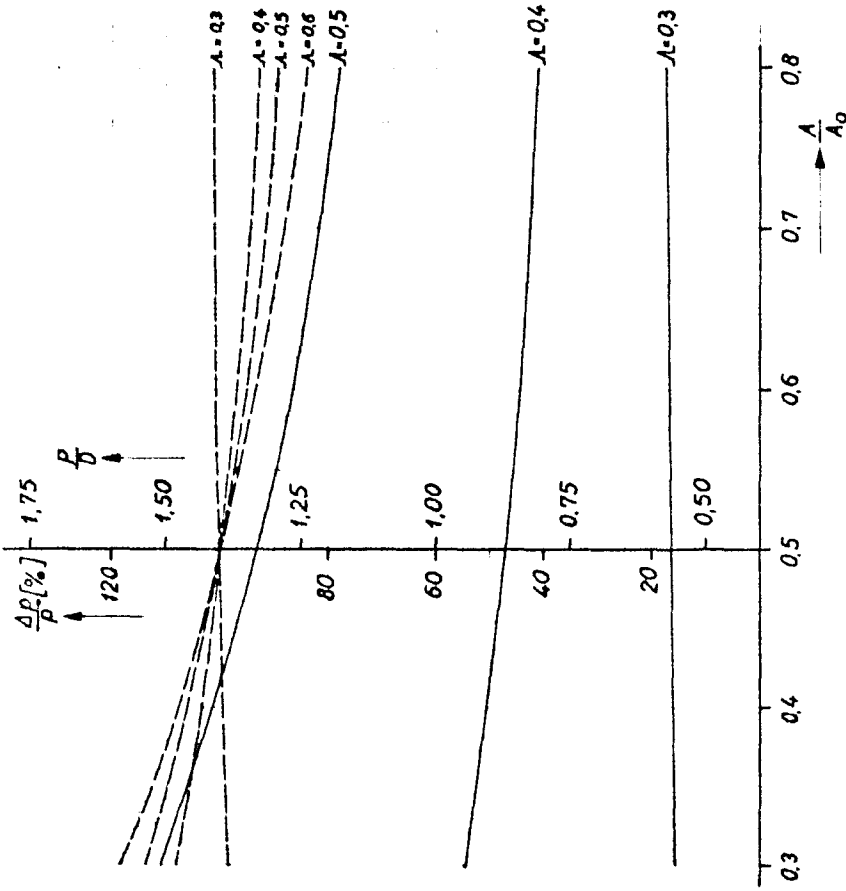


Diagramm 7

V = 0
Z = 4
D = 3m

	$\frac{P}{D}$	$\frac{A}{A_0}$	
•	0,5	0,45	vorwärts n. Nordström
•	0,9	0,70	vorwärts
x	1,0	0,45	vorwärts n. Nordström
•	0,6	0,45	rückwärts n. Nordström
▲	0,9	0,70	rückwärts
•	1,0	0,45	rückwärts n. Nordström

