

## Ermittlung des Maßstabefflusses auf Antriebs- und Manövrierverhalten von Binnenschiffsmodellen einer Geosimserie\*)

Dipl.-Ing. G. Luthra

236. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V., Duisburg

Institut an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule, Aachen

Mitglied der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e. V., Köln

### 1. Einleitung

Die Ergebnisse von Modellmessungen zwecks Ermittlung des Leistungsbedarfs und der Fahreigenschaften von Großausführungen zu benutzen, ist im Schiffbau ein lange geübtes Verfahren. Die Umrechnung der an Schiffsmodellen gemessenen Kräfte auf die Großausführung, sofern das Modell unter dem Schleppwagen gefesselt bleibt und sich die Messungen auf Vortrieb und Ruder beziehen, erfolgt nach erprobten Umrechnungsverfahren, die Gegenstand eingehender experimenteller Untersuchungen gewesen sind (siehe z. B. [1] bis [6]) und unter bestimmten Voraussetzungen zu zuverlässigen Ergebnissen führen. Bekanntlich liegt die Schwierigkeit darin, daß sich das Froude'sche und das Reynold'sche Ähnlichkeitsgesetz im Modellversuch nicht gleichzeitig erfüllen lassen. Stimmt die Froudezahl zwischen Modell und Großausführung überein, so ist die Reynoldszahl des Modells erheblich kleiner als die des Schiffes, mit der Folge, daß das Reibungs- und Ablösungsverhalten nicht mehr vergleichbar ist und beim Modell die Zähigkeitsbedingten Widerstandsanteile relativ zu groß sind. Wird das Modell im Versuch ausschließlich durch die eigenen Propulsionsorgane angetrieben, um die nach Froude umgerechneten Geschwindigkeiten zu erreichen, so würde dies bedeuten, daß während des Versuchs der Propeller zu hoch belastet ist, wodurch in Verbindung mit dem Maßstabeffekt der Propulsions- und Steuerorgane die Strömungs- und Druckverhältnisse um das Modell weiter verändert werden.

\*) Kurzfassung des VBD-Berichtes 1155

Die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e. V., Köln, hat der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V., Duisburg, auf deren Antrag in dankenswerter Weise die Durchführung des Versuchsprogramms ermöglicht und das Vorhaben aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft gefördert.

Der vollständige Bericht kann zum Selbstkostenpreis zuzüglich Porto und Mwst. von der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V., Klöcknerstr. 77, 4100 Duisburg 1, bezogen werden.

Um am Modell u. a. bei Propulsionsmessungen die gleiche Propellerbelastung wie am Schiff zu erreichen, wird das Modell in Fahrtrichtung zusätzlich mit einer den Maßstabeffekt kompensierenden Kraft, auch Reibungsabzug genannt, gezogen. Dies ist am längs geführten Modell unter dem Schleppwagen leicht zu bewerkstelligen – beim freifahrenden Modell dagegen nicht oder nur schwer möglich.

Modelle müssen in der Regel frei gefahren werden, wenn ihr dynamisches Fahrverhalten untersucht werden soll. Dies ist besonders der Fall, wenn die Schiffsversuche im Zusammenhang mit dem wasser- bzw. flußbaulichen Modellversuch durchgeführt werden. Sie erfordern, daß sowohl das zu untersuchende Bauwerk wie auch die Schiffseinheiten im gleichen Maßstab hergestellt werden und zur Verfügung stehen.

Im Interesse einer sicheren Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Großausführung sollte das Modell möglichst groß gewählt werden, andererseits steigen bei

meist großflächigen Bauwerksmodellen der Platzbedarf und die Kosten mit steigender Modellgröße sehr stark an. Aus Platz- und Kostengründen wird man immer bestrebt sein, mit einem Modellmaßstab im unteren Bereich des für wasserbauliche Versuche zulässigen auszukommen. Für die Schiffsversuche sind die Modelle dann zu klein. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, Korrekturfaktoren zu finden, die es erlauben, physikalisch bedingte Abweichungen bei Messungen mit freifahrenden Schiffsmodellen, auch kleinerer Abmessungen, weitgehend aufzuheben, damit eine genauere Übertragung der so gewonnenen Ergebnisse auf die Verhaltensweise der Großausführung vorgenommen werden kann.

Ausgehend von dieser Situation sind beim vorliegenden Vorhaben Geosimversuche durchgeführt worden, um so auf experimentellem Wege die maßstabsbedingten Abweichungen in Propulsions- und Manövrierkenngrößen bei Modellen unter-

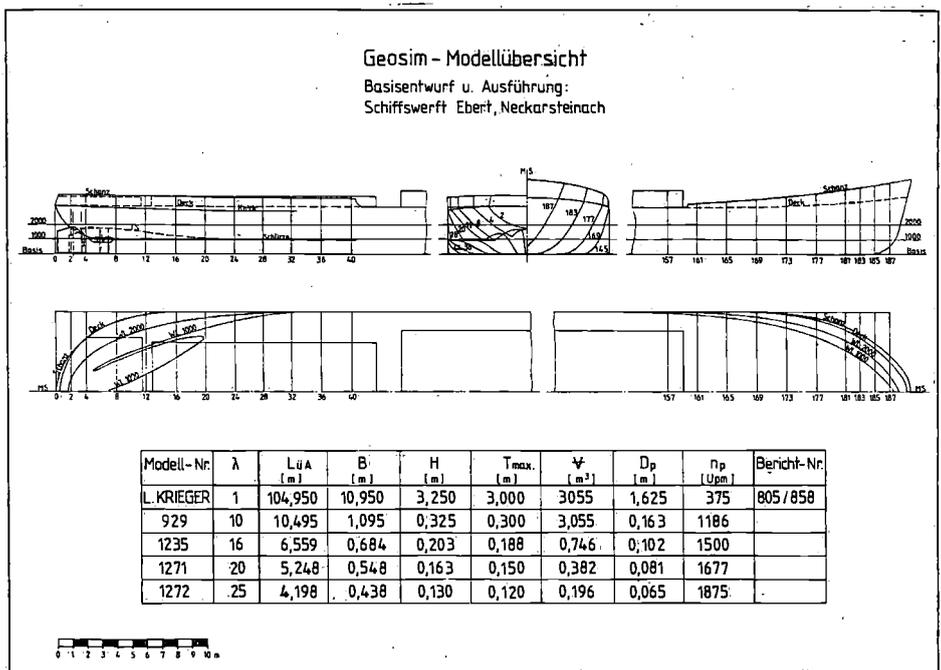


Bild 1

schiedlicher Größe festzustellen und damit Unterlagen für die weitere Untersuchung der Maßstabseinflüsse beim Manövrieren zu gewinnen.

Im einzelnen sind Propulsionsmessungen am längs geführten Modell unter dem Schleppwagen in vier Maßstäben durchgeführt worden, wobei einmal die in üblicher Weise errechnete Reibungskorrektur angewendet wurde und in der zweiten Versuchsreihe unterblieb. Letzteres kommt dem freifahrenden Modell gleich, nur bei geführtem Modell unter dem Schleppwagen können genauere Messungen erfolgen. Untersucht wurde hierbei der beladene Zustand auf drei Wassertiefen.

In ähnlicher Weise, d. h. bei 1 Tiefgang und 3 Wassertiefen, sind anschließend Standard-Manövrierversuche mit freifahrenden Modellen durchgeführt worden.

Messungen am naturgroßen Schiff runden die Untersuchung ab.

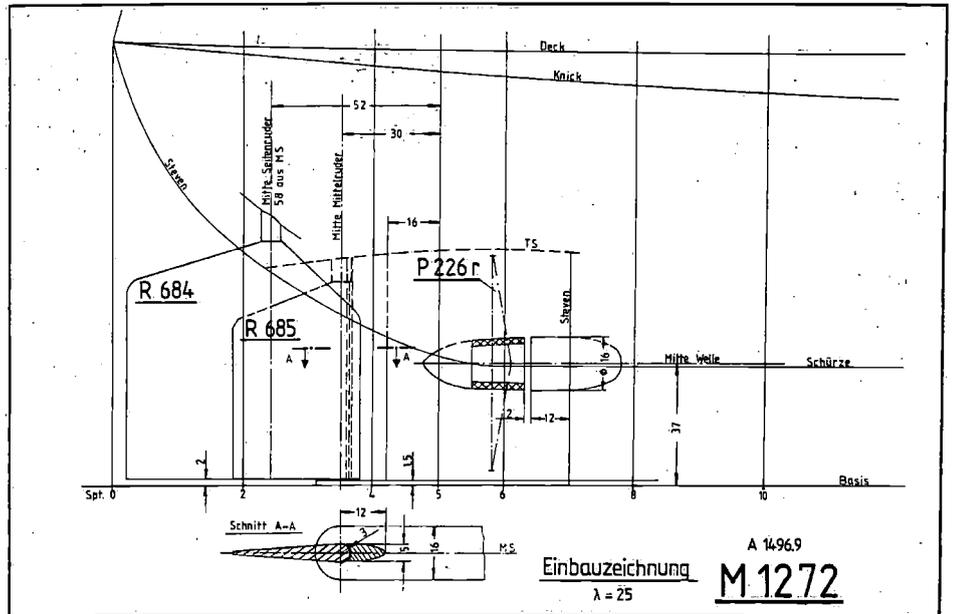


Bild 2

## 2. Schiffs- und Modelldaten

Die modellmäßigen Untersuchungen wurden mit maßstabgetreuen Modellen eines modernen Einschrauben-Großmotorschiffes, das in der Großausführung mehrfach vorhanden und als sogn. Rundfahrer zum Befahren der Wasserstraßenklasse IV eingesetzt ist, durchgeführt. Ein Modell von diesem Schiff im Maßstab 1 : 10 war in der VBD bereits vorhanden. Drei weitere Modelle wurden für die Untersuchung neu angefertigt.

Die Modellmaßstäbe einschließlich des vorhandenen Modells wurden in folgenden Abstufungen gewählt:

$\lambda = 10; 16; 20; 25$

Bild 1 zeigt die Vor- und Hinterschiffszeichnung und eine Übersicht der Geosim-Modellserie, während Bild 2 die Propeller- und Ruderanordnung im kleinsten Modell, stellvertretend auch für die anderen Modelle, wiedergibt.

Die Versuche mit der Großausführung wurden auf tiefem Wasser im Bereich des Holländischen Dieps gefahren. Modellversuche wurden im großen Schlepptank der VBD auf drei Wassertiefen entsprechend  $h = 10,0 \text{ m}; 5,0 \text{ m}$  und  $3,5 \text{ m}$  durchgeführt. Die Standard-Z-Manövertests mit den beiden großen Modellen konnten wegen der hierfür vorgesehenen Ruder- und Stützwinkelkombinationen von  $20^\circ/10^\circ$  und  $40^\circ/10^\circ$ , wie sie bei diesem Versuch üblicherweise eingestellt werden, nicht im Schlepptank erfolgen, da die zur Verfügung stehende Tankbreite bei diesen Modellabmessungen nicht ausreichte. Diese Versuche wurden nur auf einer Wassertiefe im Oberwasser der Schifffahrtsschleuse Raffelberg durchgeführt.

## 3. Versuchsergebnisse

### 3.1 Propulsionsmessungen

Die Propellerfreifahrt diagramme und die Ergebnisse der Propulsionsmessungen mit der Geosim-Modellserie in vier Maßstäben auf drei Wassertiefen sind in der üblichen Auftragsweise im ausführlichen Be-

richt vorhanden. Sie werden hier aus Platzgründen nicht wiedergegeben. Die Gegenüberstellung zunächst der Leistungswerte des Schiffes aus dem her-

Wasser wird demnach bei einem kleineren Modell gegenüber einem größeren ein zu geringer Reibungsabzug in Rechnung gestellt. Hierdurch entstehen auch bei Berücksichtigung des üblichen Reibungsabzuges Übertragungsdiskrepanzen, die um so größer ausfallen, je kleiner das Modell und je flacher das Fahrwasser ist.

Die Übertragungsdiskrepanzen in solchen Versuchen mit freifahrenden Modellen sind naturgemäß noch größer, da der Reibungsabzug im allgemeinen gänzlich weglassen wird. Der sich so ergebende Leistungsmehrbedarf und die Erhöhung des Propellerschubs und der Drehzahl werden in den Bildern 3 und 4 gezeigt. Dargestellt werden diese als Quotientwerte aus den Leistungen, Schüben und Drehzahlen bei Propulsion ohne (gekennzeichnet mit einem Asterisk) und mit Reibungsabzug.

Bild 3 zeigt diese Quotienten für die nach Froude umgerechneten Geschwindigkei-

#### Propulsionsmessungen mit Geosimserie

1-S-Gütermotorschiff  
Tiefgang  $T = 2,8 \text{ m}$   
Wassertiefe  $h = 10,0 \text{ m}$

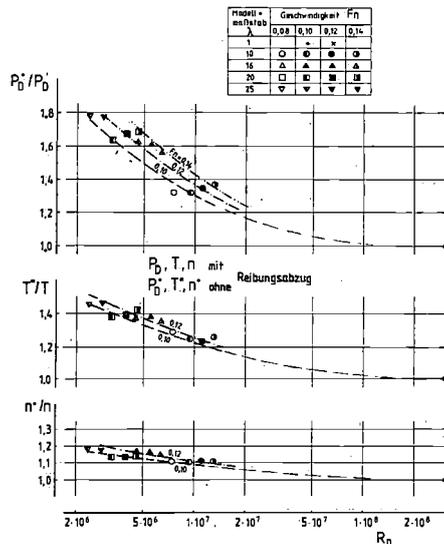


Bild 3

kömmlichen Versuch (d. h. mit Reibungsabzug nach ITTC) mit vier Modellen bestätigt die bisher bekannte Tatsache, daß die Leistungswerte für abnehmende Modellgröße auf flachem Wasser höher ausfallen. Mit flacher werdendem Wasser wird der Unterschied größer.

Das maßstabsabhängige, abweichende Verhalten auf flachem Wasser ist dadurch zu erklären, daß, während die ITTC-Korrelationslinie den Reibungswiderstand unabhängig von der Wassertiefe über der Reynoldszahl fixiert, sich der wirkliche Reibungswiderstand mit flacher werdendem Wasser in zunehmendem Maße erhöht. Bei solchen Versuchen auf flachem

#### Propulsionsmessungen mit Geosimserie

1-S-Gütermotorschiff  
Tiefgang  $T = 2,8 \text{ m}$   
Geschwindigkeit  $V_n = 0,10$

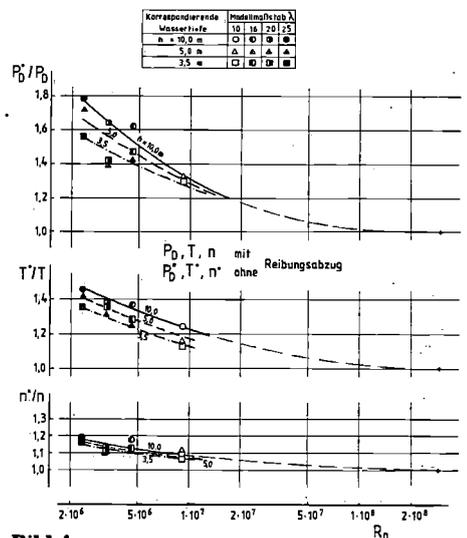


Bild 4

### Z-Manövertests mit Geosimserie

1-S-Gütermotorschiff  
Einfluß der Wassertiefe  
Propellerdrehzahl  $n = 300$  UPM  
Maßstab 20

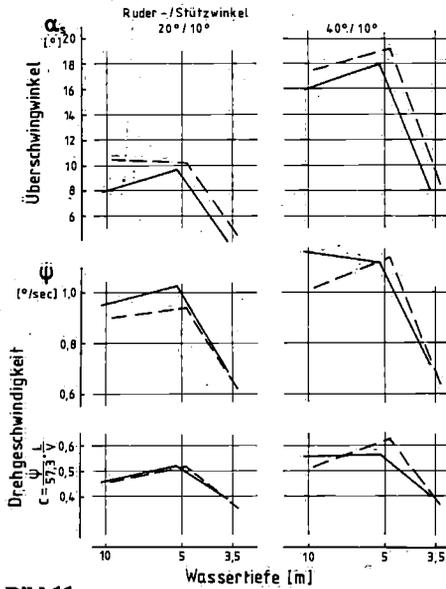


Bild 11

stellt werden (Selbstpropulsionspunkt des Modells), um den relativ größeren Reibungswiderstand des Modells zu überwinden. Dies führt zu relativ höheren Propellerbelastungen im Modell, die um so größer werden, je kleiner das Modell ist. Es wird allgemein die Auffassung vertreten, daß die hierbei im Modellversuch auftretenden, durch Reynoldszahl-bedingten Maßstabseffekte sich gegenseitig aufheben. Man geht davon aus, daß die niedrigere Geschwindigkeit und damit die schwächere Anströmung des Ruders im Modell, die sich aufgrund der relativ zur Großausführung dickeren Grenzschicht einstellt, durch Zusatzgeschwindigkeit infolge der

relativ höheren Schubbelastung des Propellers kompensiert wird und somit die effektive Anströmung des Ruders im Propellerstrahl für Modell und Großausführung ähnlich ist.

Hierüber kann aus den vorliegenden Versuchen keine Aussage abgeleitet werden, aber in einer anderen Arbeit ist u. a. eine diesbezügliche Untersuchung mit einem seegehenden Tanker durchgeführt worden [8]. Es wurde neben der Vielzahl von Manövierversuchen eine Serie von Z-Manövern gefahren, bei denen eine zusätzliche konstante Schleppkraft auf das Modell ausgeübt wurde. Die jeweilige Schleppkraft wurde nach verschiedenen Kriterien bestimmt, wobei auch der Fall untersucht wurde, daß die Propellerdrehzahl des Modells dem Selbstpropulsionspunkt der Großausführung entsprach. Der Vergleich der Großausführungsmessungen mit den Ergebnissen aus diesen Modellversuchen haben erkennen lassen, daß die Auffassung über die gegenseitige Aufhebung der beiden Reynoldszahl-bedingten Maßstabseffekte wenigstens bei dem völligen Tanker auf tiefem Wasser nicht aufrecht erhalten werden kann. Die Spezialversuche erhärten vielmehr die Vermutung, daß die effektive Drehzahl im Modellversuch weder mit dem Selbstpropulsionspunkt des Modells, noch mit dem der Großausführung übereinstimmen muß. Es bleibt allerdings noch zu klären, welches Kriterium für die Auswahl der erforderlichen Schleppkraft und damit der Drehzahl anzuwenden ist. Eine Verallgemeinerung wird kaum möglich sein. Vielmehr ist zu erwarten, daß dieses je nach Schiffsform, Ruderaordnung, Modellmaßstab und Wassertiefe unterschiedlich ausfällt.

### 4. Zusammenfassung

Bei modellmäßigen Untersuchungen über das Manövrier- und Fahrverhalten eines

### Z-Manövertests mit Geosimserie

1-S-Gütermotorschiff  
Einfluß der Wassertiefe  
Propellerdrehzahl  $n = 300$  UPM  
Maßstab 20

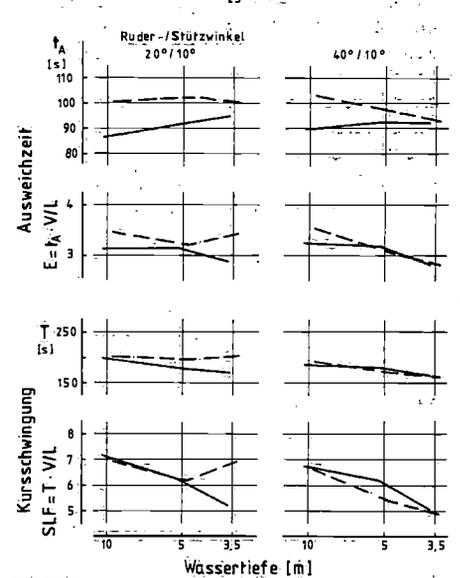


Bild 12

Schiffes, besonders wenn diese im Rahmen des wasserbaulichen Versuchs durchgeführt werden, kommt der Frage der Übertragbarkeit der Modellergebnisse eine erhöhte Bedeutung zu, weil die großflächigen Bauwerkskonstruktionen im Modell aus Platz- und Kostengründen klein gehalten werden, mit der Folge, daß auch die Schiffsmodelle dann meist zu klein sind. Sie werden außerdem bei solchen Versuchen in der Regel frei gefahren, d. h. eine Kompensation der Maßstabseffekte, wie es z. B. beim Propulsionsversuch mit geführtem Modell vorgenommen wird, ist nicht oder nur schwer möglich.

### Z-Manövertests mit Geosimserie

1-S-Gütermotorschiff  
Wassertiefe h = 10 m

| Drehzahl<br>n [UPM] | Maßstab λ     |
|---------------------|---------------|
| 300                 | 1 10 16 20 25 |
| 333                 | 1 10 16 20 25 |

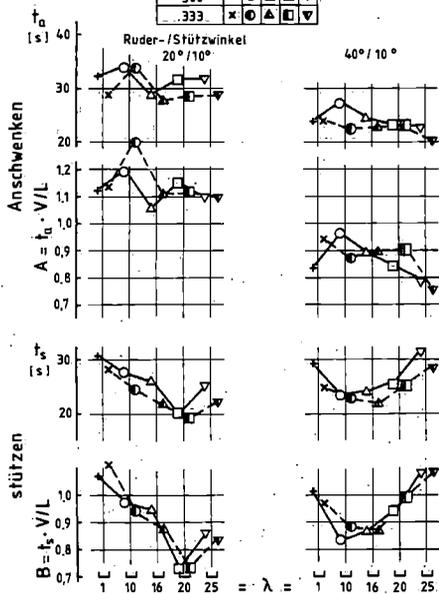


Bild 7

Großausführung ein kurzer Propulsionsversuch gefahren. Für die Modelle sind die Drehzahl- und Geschwindigkeits-Relationen aus der jeweiligen Auftragung der Propulsionswerte des Versuchs ohne Reibungsabzug entnommen worden. Eine schematische Darstellung der Parameter aus dem Z-Manöver sowie deren Definitionen werden in Bild 6 angegeben. Die Ergebnisse der Z-Manöver-Tests, gruppiert nach Wassertiefen, werden in den Bildern 7 bis 12 wiedergegeben. Bild 7 enthält die absoluten und die mit Längsfahrtzeit dimensionslos gemachten Werte

### Z-Manövertests mit Geosimserie

1-S-Gütermotorschiff  
Wassertiefe h = 10 m

| Drehzahl<br>n [UPM] | Maßstab λ     |
|---------------------|---------------|
| 300                 | 1 10 16 20 25 |
| 333                 | 1 10 16 20 25 |

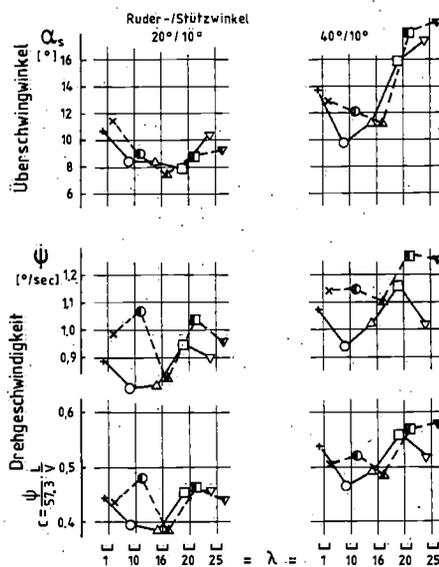


Bild 8

der Anschwenk- und Stützzeit der Großausführung und der 4 Geosim-Modelle jeweils auf der Wassertiefe von  $h \geq 10,0$  m bei zwei Ruder- und Stütz winkelkombinationen und zwei Drehzahlen. Bild 8 zeigt eine entsprechende Auftragung der Überschwingwinkel und der Drehgeschwindigkeit, während Bild 9 die beiden restlichen Manövrierkenngrößen, nämlich die Ausweichzeit und die Zeit für eine volle Kursschwingung wiedergibt. Der Querversatz konnte bei den außerhalb der VBD durchgeführten Versuchen nicht gemessen werden. Um einen direkten Vergleich vornehmen zu können, sind die absoluten Werte der gemessenen Zeiten auf die Großausführung umgerechnet worden.

### Z-Manövertests mit Geosimserie

1-S-Gütermotorschiff  
Wassertiefe h = 10 m

| Drehzahl<br>n [UPM] | Maßstab λ     |
|---------------------|---------------|
| 300                 | 1 10 16 20 25 |
| 333                 | 1 10 16 20 25 |

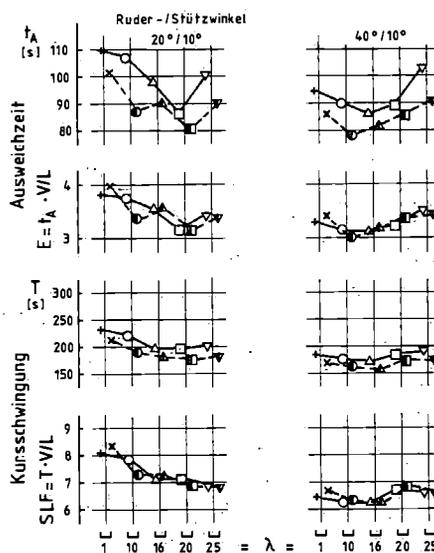


Bild 9

Wie man anhand der aufgetragenen Punkte erkennt, sind zwischen der Großausführung und den Modellen unterschiedlicher Größe in Anschwenkzeit  $t_a$  bzw. A und in Dauer einer Kursschwingung T bzw. SLF keine nennenswerten Abweichungen festzustellen. Bei den anderen Kenngrößen sind zwar Abweichungen vorhanden, zum Teil sind diese jedoch auf Meßungenauigkeiten zurückzuführen, die bei dieser Versuchsart mit relativ größeren Toleranzen behaftet sind. So sind im Großversuch zum Beispiel äußere Störeinflüsse, hervorgerufen durch Wind und Wasserströmung, vorhanden, deren Auswirkungen kaum oder nur schwer abgeschätzt werden können. Setzt man die aus den Modellversuchen ermittelten Werte zu denen des Großversuchs ins Verhältnis, so liegen diese Verhältniswerte im allgemeinen zwischen etwa 0,9 und 1,10. Eine Ausnahme bilden die Stützzeiten beim 20°/10°-Manöver und die Überschwingwinkel beim 40°/10°-Manöver. Hier zeigt es sich, daß die beiden kleineren Modelle im ersten Fall zu günstige und im zweiten Fall zu hohe Werte aufweisen.

Diese gegensätzliche Tendenz läßt sich nicht erklären und ist möglicherweise auf äußere Störeinflüsse zurückzuführen. Abgesehen von diesen Abweichungen ist eine eindeutige Tendenz, daß z. B. alle Modellwerte untereinander maßstabsabhängig oder als Kollektiv gegenüber der Großausführung niedriger oder höher liegen, nicht zu erkennen. Ähnliche Ergebnisse hat eine in der jüngsten Zeit durchgeführte Untersuchung der Schiffbauversuchsanstalt Potsdam im Seeschiffsbereich [7] erbracht. Dort wurden für ein Frachtschiff die Kenngrößen Drehgeschwindigkeit, Geschwindigkeitsverhältnis und Drehkreisdurchmesser von sechzehn verschiedenen Drehkreis- und Anschwenkversuchen im Modell und in der Großausführung miteinander verglichen und herausgefunden, daß die Korrelationsfaktoren bei diesen Kenngrößen zwischen 0,85 und 1,10 lagen.

### Z-Manövertests mit Geosimserie

1-S-Gütermotorschiff  
Einfluß der Wassertiefe  
Propellerdrehzahl n = 300 UPM

Maßstab 25

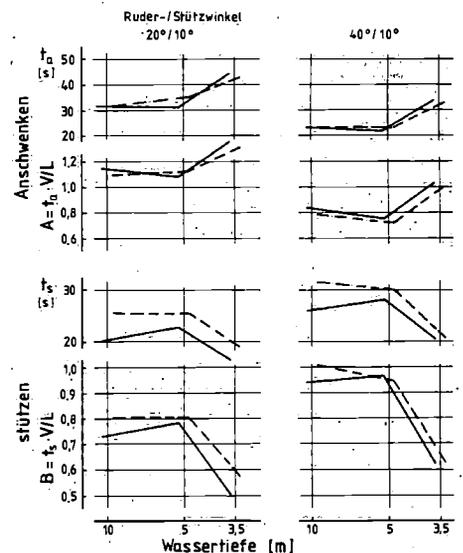


Bild 10

Bilder 10 bis 12 zeigen die Manövrierkenngrößen der beiden kleineren Modelle als Funktion der Wassertiefe. Eine eindeutige Maßstabsabhängigkeit der Kenngrößen ist auch auf den beiden kleineren Wassertiefen nicht zu erkennen. Offensichtlich sind die Unterschiede zwischen den Ergebnissen beider Modelle auf flacherem Wasser mit wenigen Ausnahmen geringer als auf tieferem. Auf der anderen Seite verdeutlichen die aufgetragenen Werte den Einfluß der Wassertiefe, der sich beim Übergang zu extrem flachem Wasser von  $h = 3,5$  m besonders stark bemerkbar macht. Anzumerken ist noch, daß die Manövrierversuche, wie eingangs bereits erwähnt, jeweils mit konstanter Drehzahl und nicht mit konstanter Anfangsgeschwindigkeit durchgeführt wurden. Wird die korrespondierende Anfangsgeschwindigkeit konstant gehalten, so muß die Drehzahl und damit die Propellerleistung im Modell gegenüber dem Schiff relativ höher einge-

ten bei kleiner werdenden Modellen als Funktion der Reynoldszahlen. Die Auftragung gilt für die korrespondierende Wassertiefe von  $h = 10,0\text{ m}$ .

Die Auftragung läßt erkennen, daß die Erhöhungen bzw. Quotienten der Propulsionskenngrößen, abgesehen von der geringen Streuung, keine nennenswerte Abhängigkeit von der Geschwindigkeit innerhalb des untersuchten Bereichs aufweisen. Dagegen sind die maßstabsbedingten Erhöhungen, insbesondere die der Quotienten aus den Leistungen  $P^*_D/P_D$ , beachtlich. So beträgt dieser Wert für das große Modell mit  $\lambda = 10$  im Mittel 1,37 bzw. 37%. Bei den nächsten, kleineren Modellen mit  $\lambda = 16$  und 20 steigt er auf 60 bzw. 64% und beim kleinsten Modell mit  $\lambda = 25$  beträgt die Zunahme fast 80%.

Bild 4 zeigt den Einfluß der Wassertiefe auf die Propulsionsquotienten bei einer Geschwindigkeit entsprechend der Froudezahl von  $Fn = 0,10$  bzw. der Schiffsgeschwindigkeit von  $V = 11,5\text{ km/h}$ . Wie ersichtlich, tendieren die Quotienten mit geringer werdender Wassertiefe zu kleineren Werten, wobei besonders der Quotient aus den Leistungen eine um so stärkere Abnahme zeigt, je kleiner das Modell ist. Qualitativ scheint diese Aussage richtig zu sein. Quantitativ muß sie jedoch differenziert betrachtet werden, da die  $P_D$ -Werte (d. h. die hier im Nenner stehenden Leistungswerte aus den Versuchen mit Reibungskorrektur), wie bereits erwähnt, bei kleineren Modellen und geringeren Wassertiefen infolge des abweichenden Widerstandsverhaltens, das durch den Reibungsabzug nach ITTC nur ungenügend berücksichtigt wird, höher ausfallen. Folglich wird der Quotientwert  $P^*_D/P_D$  entsprechend kleiner. Selbst dann ist jedoch festzustellen, daß die Quotientwerte bei kleineren Modellen immer höher sind als bei großen.

Für die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus Versuchen mit freifahrenden Modellen, besonders wenn es sich um Fahrverhalten und Manövrieren handelt, sind die Leistungswerte nicht so sehr maßgebend. Vielmehr ist der Schubbelastungsgrad des Propellers hier von großer Bedeutung, weil dieser beim selbstangetriebenen Modell infolge des höheren Widerstandes (als der des Schiffes) relativ höher ist. Die höhere Schubbelastung bewirkt, daß nicht nur der Nachstrom, der, bedingt durch die niedrige Reynoldszahl des Modells, sonst relativ stärker ist, verringert wird, sondern auch die Geschwindigkeit des Propellerstrahls und damit die Anströmung des Ruders relativ stärker ausfällt.

Der Einfluß der höheren Schubbelastung des Propellers auf den Nachstrom kann den Propulsionsdiagrammen im ausführlichen Bericht entnommen werden.

Die Erhöhung der Schubbelastung selbst wird in Bild 5 gezeigt. Für die Berechnung des Schubbelastungsgrads

$$C_{Th} \text{ bzw. } C^*_{Th} = \frac{T_M \text{ bzw. } T^*_M}{\rho/2 \cdot V_M^2 \cdot A_0}$$

mit  $T_M$  = Propellerschub  
 $A_0$  = Propellerdiskfläche  
 (Modellwerte)

Propulsionsmessungen mit Geosimserie

1-5-Gütermotorschiff  
 Tiefgang  $T = 2,8\text{ m}$

| Modellmaßstab $\lambda$ | Geschwindigkeit $V_M$ | $Fn$ |
|-------------------------|-----------------------|------|
| 1                       | 0,08                  | 0,10 |
| 10                      | 0,10                  | 0,12 |
| 15                      | 0,10                  | 0,14 |
| 20                      | 0,10                  | 0,16 |
| 25                      | 0,10                  | 0,18 |

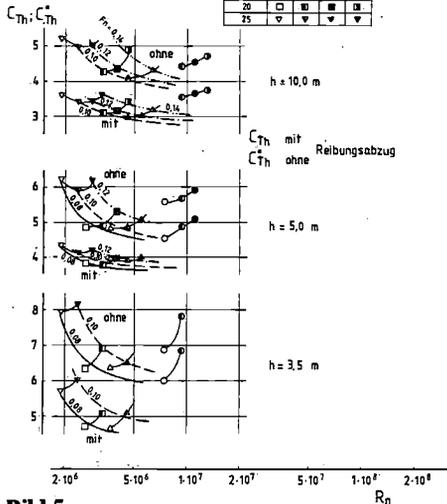


Bild 5

ist die jeweilige Modellgeschwindigkeit  $V_M$  benutzt worden. Dargestellt ist die Erhöhung bei freifahrendem Modell für die Geosimserie als Quotient aus Schubbelastungen über der Reynoldszahl. Als Parameter ist die Froudezahl bzw. Geschwindigkeit aufgetragen.

Die Auftragung läßt keine Abhängigkeit des Quotienten von der Fahr Geschwindigkeit erkennen. Dagegen nimmt er mit kleiner werdendem Modellmaßstab stark zu. So steigt der Wert von  $C^*_{Th}/C_{Th} = 1,25$  bei  $\lambda = 10$  auf  $C^*_{Th}/C_{Th} = 1,45$  bei  $\lambda = 25$ . Beide Werte gelten für die Wassertiefe von  $h = 10,0\text{ m}$ . Bei kleineren Wassertiefen bleibt diese Maßstabsabhängigkeit erhalten, der absolute Wert nimmt jedoch ab. Er beträgt auf der Wassertiefe  $h = 3,5\text{ m}$  im Mittel 1,15 bei  $\lambda = 10$  und 1,35 bei  $\lambda = 25$ .

3.2 Manövrierversuche

Zur Ermittlung und Beurteilung der Manöviereigenschaften eines Schiffes gibt es verschiedene Standardversuche, die von den Schiffbauversuchsanstalten und anderen Forschungsinstituten entsprechend ihren Anlagen und Möglichkeiten im Modellversuch durchgeführt werden. Die zumeist benutzte Methode ist der Standardmanövrierversuch bzw. das Z-Manöver nach KEMPF. Beim vorliegenden Vorhaben sind Z-Manöver durchgeführt worden, nicht nur, weil sie zur Beurteilung des Manövrier- und Fahrverhaltens gut geeignet sind, sondern auch, weil sie sich ohne größere Einschränkungen sowohl im Modellversuch als auch in der Großausführung durchführen lassen.

Wie eingangs bereits erwähnt, war es jedoch aufgrund der Tank- und Modellabmessungen nicht möglich, diese Versuche mit allen Modellen der Geosimserie auf al-

len drei Wassertiefen durchzuführen. Welche Versuche mit welchem Modell und auf welcher Wassertiefe durchgeführt wurden, ist nachfolgend angegeben:

Großausführung: Z-Manöver und Wendemanöver auf einer Wassertiefe von annähernd  $h = 10\text{ m}$  in Vuile Gat (Niederlande)

Größere Modelle: Z-Manöver im Oberwasser der Schleuse Raffelberg auf einer Wassertiefe von etwa  $h = 4\text{ m}$

Kleinere Modelle: Z-Manöver auf 3 korrespondierenden Wassertiefen von  $h = 10,0\text{ m}$ ;  $5,0\text{ m}$  und  $3,5\text{ m}$

Die Durchführung der Z-Manöver wurde in der bekannten Weise vorgenommen, wobei Ruderwinkel im Bereich von  $20^\circ$  bis  $40^\circ$  bzw.  $50^\circ$  untersucht wurden. Die Kursabweichung, bei der das Gegenruder erfolgte, war in Übereinstimmung mit dem üblichen Wert auf  $10^\circ$  eingestellt.

Bei frei manövrierendem Modell kann man die Propellerdrehzahl so wählen, daß sich bei Geradeausfahrt die gewünschte Modellgeschwindigkeit ergibt oder diese so einstellen, daß sie dem Selbstpropulsionspunkt des Schiffes entspricht. Da mehrere Wassertiefen untersucht wurden und der Geschwindigkeitsbereich auf diesen Wassertiefen sehr unterschiedlich ist, wurden für diese Versuche bei allen Modellen durchgehend zwei Drehzahlen entsprechend  $n = 300\text{ U/min}$  und  $333\text{ U/min}$ , wie sie auch in der Großausführung eingestellt waren, untersucht.

Die Beurteilung der Manövrierfähigkeit eines Schiffes wird anhand bestimmter Parameter des Z-Manövers, wie Anschwenkzeit, Stützzeit, Überschwingwinkel etc.,

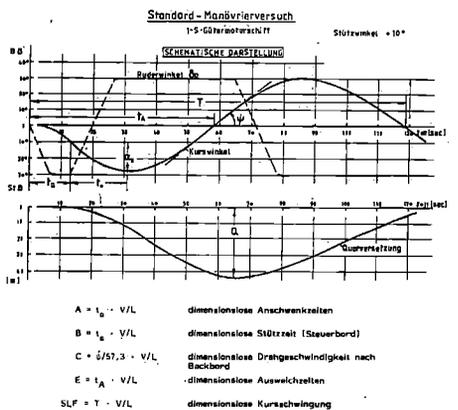


Bild 6

vorgenommen. Zur besseren Übertragung der Modellwerte bzw. zum besseren Vergleich mit den Werten anderer Schiffe werden diese Kennziffern in Schiffslängenfahrzeiten angegeben. Eine Schiffslängenfahrzeit  $L/V$  ist die Zeit, die das Schiff bzw. Modell zum Zurücklegen seiner Länge in der Geradeausfahrt benötigt. Um die den Drehzahlen zugeordneten Schiffsgeschwindigkeiten zu ermitteln, wurde in der

