

# **Propulsionsversuche mit der SES CORSAIR und ihrem Modell Maßstabeffekte bei Luftkissenfahr- zeugen**

## **Propulsion tests with SES CORSAIR and her model Scale effects at surface effect ships**

Klaus Jordan und Michael Schmiechen

Versuchsanstalt  
für Wasserbau und Schiffbau  
Zentraleinrichtung der Technischen Universität  
Berlin

### **Übersicht**

Um Maßstabeffekte bei Luftkissenfahrzeugen zu bestimmen, sollten im Rahmen eines vom BMBF geförderten Vorhabens durch Messungen von Momenten und Schüben in den Wellen der CORSAIR / MEKAT, und entsprechende Messungen an ihrem Modell zuverlässige Daten unter Betriebsbedingungen gewonnen werden.

Da Widerstandsversuche mit getunnelten Rümpfen und Freifahrtversuche mit teilgetauchten Propellern im Modellmaßstab Ergebnisse von zweifelhaftem Wert liefern und für das Schiff selbst praktisch nicht durchführbar sind, bestand ein wesentlicher Teil des Vorhabens darin, die Methode der quasi-stationären Propulsion zur Analyse der Wechselwirkungen zwischen Schiffsrumpf und -propeller, die im Rahmen des vom BMBF geförderten METEOR-Projektes für Verdrängungsschiffe entwickelt worden war, für den Einsatz bei SES weiterzuentwickeln.

Der Vortrag gibt im Rahmen der gegebenen Beschränkungen einen Überblick über Methoden, Messungen und aktuelle Ergebnisse des in der Endphase der Bearbeitung befindlichen Vorhabens. Über Details des Meßsystems und seiner Kalibrierung wurde bereits gelegentlich der FAST '95 in Travemünde berichtet.

### **Abstract**

In order to permit the determination of scale effects at surface effect ships a project was sponsored by the German Ministry of Research and Technology

(BMFT, now BMBF). Based on measurements of torques and thrusts in the shafts of the SES CORSAIR / MEKAT and corresponding measurements at her model, scale effects were to be derived for SES under service conditions.

As towing tests with tunnelled hulls and open water tests with partially submerged propellers on model scale provide results of dubious value and are practically not possible at full scale anyway, an essential part of the project consisted in extending to SES the method of quasi-steady testing and evaluation, developed earlier for displacement ships in the BMBF sponsored METEOR project.

The present paper will within the limitations given touch on methods, measurements, and recent results of the project to be finished shortly. Details of the full scale measurement system and its calibration have been reported at the 3rd International Conference on Fast Sea Transportation, FAST '95 at Travemünde.

## **1 Einleitung**

### **1.1 Problem**

Die Prognose des Leistungsbedarfs von Schiffen muß, solange die in der Entwicklung befindlichen rechnerischen Methoden noch nicht zuverlässig genug sind, auf der Grundlage von Versuchen mit geometrisch ähnlichen Modellen durchgeführt werden.

Da strenge physikalische Ähnlichkeit in Modellversuchen nicht möglich ist, müssen bei der Umrechnung der Ergebnisse auf die Schiffe sogenannte Maßstabeffekte berücksichtigt werden, für deren Quantifizierung auf Erfahrungen mit vergleichbaren Schiffen zurückgegriffen werden muß.

Während für Verdrängungsschiffe im Laufe eines Jahrhunderts Erfahrungen gesammelt werden konnten, lagen für die komplizierteren Luftkissenfahrzeuge (SES) zu Beginn des vom BMBF geförderten Programms zur Entwicklung schneller, unkonventioneller Schiffe (SUS) entsprechende Erfahrungen nicht in ausreichendem Umfange vor, so daß ein spezielles Forschungsvorhaben angeregt und schließlich vom BMBF bewilligt wurde.

### **1.2 Ansatz**

Das Vorhaben war nur möglich durch den Umstand, daß die von der Werft Blohm + Voss als Prototyp gebaute und betriebene SES CORSAIR/MEKAT als Versuchsschiff für umfangreiche Messungen zur Verfügung stand.

Da Widerstandsversuche mit den getunnelten Rümpfen und Freifahrtversuche mit den teilgetauchten Propellern im Modellmaßstab Ergebnisse von zweifelhaftem Wert liefern und für das Schiff, selbst in einem Forschungsprojekt, mit vertretbarem Aufwand nicht durchführbar sind, wurden für die Bestimmung der Maßstabeffekte von vornherein nur Propulsionsversuche mit der CORSAIR und ihrem Modell geplant.

### 1.3 Ziel

Diesem Ansatz entsprechend war das Ziel des Vorhabens, die Methode der Analyse quasistationärer Änderungen der Betriebsbedingungen, die im Rahmen des vom BMBF geförderten METEOR-Projektes für Verdrängungsschiffe entwickelt und erprobt wurde, für Luftkissenschiffe weiterzuentwickeln und anzuwenden.

Im Laufe der Analyse der Versuchsergebnisse wurden die Autoren in der Ansicht bestärkt, daß es hierbei nicht so sehr darum geht, in mehr oder weniger gewohnter Weise die Maßstabeffekte für SES zu bestimmen, sondern vielmehr die für Durchführung und Auswertung von Versuchen geeigneten Methoden erst zu entwickeln.

Das Ziel dieses Beitrages ist es, die dabei auftretenden Probleme darzustellen und Lösungsansätze sowie Ergebnisse zu skizzieren. Da der Beitrag vor dem Abschluß des Vorhabens anberaumt wurde, wird der aktuelle Stand der Diskussion und der Arbeit dargestellt.

### 1.4 Plan

In dem gegebenen Rahmen ist keine systematische Darstellung möglich und sinnvoll, sondern nur die Beantwortung von Fragen, die sich aufdrängen:

- Was sind Maßstabeffekte bei SES?
- Wie kann man sie ermitteln?
- Wie groß sind Widerstand und Sog?
- Wie kann man genau genug messen?
- Wie wird man mit dem Rauschen fertig?
- Wie kann man die Ergebnisse verwenden?
- Wie sicher sind Prognosen?

Der Beitrag gliedert sich in einen allgemeinen Teil, Ausführungen zu den Modellversuchen und Ausführungen zu den Versuchen mit der CORSAIR.

## 2 Allgemeine Fragen

### 2.1 Versuchsobjekte

Die CORSAIR / MEKAT ist ein Luftkissenkataran, der von zwei getunnelt in den beiden Teilrümpfen untergebrachten Verstellpropellern angetrieben wird. Wegen der Konzeption als sogenannte Hybridantriebe können die Propeller sowohl im voll- als auch im teilgetauchten Zustand betrieben werden.

Sie können ihren Schub entsprechend dem Widerstand des Fahrzeuges so entwickeln, daß auch der relativ hohe Widerstand bei mäßiger Geschwindigkeit überwunden werden kann. Besonders erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang, daß das Fahrzeug im wesentlichen auf flachem Wasser operiert.

Die Hauptdaten der CORSAIR sind nach Werftangaben:

Größe	Wert	Einheit
Verdrängung, nominell	170	t
Länge über alles	35.30	m
Breite über alles	13.0	m
Tiefgang als Verdränger	2.30	m
Tiefgang auf Luftkissen	0.80	m
Geschwindigkeit, maximal	45	kn

Weitere Angaben zu Konstruktion und Entwurfskonzept sind an anderer Stelle veröffentlicht worden (Schlichthorst, Wessel, 1991; Wessel, 1994).

Für die korrespondierenden Modellversuche wurde ein Modell im Maßstab  $\lambda = 8$  gebaut, bei dem die im Laufe der Entwicklungs- und Erprobungszeit an der CORSAIR vorgenommenen konstruktiven Änderungen berücksichtigt sind.

### 2.2 Maßstabeffekte bei SES

Strenge Ähnlichkeit der physikalischen Erscheinungen am Schiff und am verkleinerten Modell ist schon ohne Berücksichtigung der Belüftung wegen der nicht erfüllbaren Forderungen an die Stoffeigenschaften der Modellmedien nicht möglich.

Seit R. E. Froude (1883) ist aber für Verdrängungsschiffe eine Kombination von Modellversuchen und Korrekturen eingeführt, die zu befriedigenden

Prognosen für den Leistungsbedarf des Schiffes bei vorgegebenen Betriebsbedingungen führt.

Da es bei der Froudeschen Methode nach allgemeinem Verständnis im wesentlichen um die Korrektur der Effekte infolge der im Modellversuch unähnlichen Zähigkeit geht, werden Maßstabseffekte häufig auch Zähigkeitseffekte genannt.

Dieser Sprachgebrauch ist aber insbesondere bei SES zu eng und im allgemeinen irreführend, denn offenbar spielen neben dem genannten Effekten auch Unterschiede in der Versuchsmethodik und -auswertung bei Modell und Schiff eine entscheidende Rolle für die Bestimmung der Maßstabseffekte.

Hier ist bewußt der Ansatz gewählt worden, mit üblichen Modellen bei Normaldruck und eingeführter Versuchstechnik zu fahren. Jede Forderung nach aufwendigen Versuchsmodellen und -methoden wäre von vornherein an den ökonomischen Realitäten gescheitert.

Modellversuche bei Atmosphärendruck erscheinen insofern gerechtfertigt, als auch hinsichtlich der Belüftung die Forderungen nach physikalischer Ähnlichkeit ohnehin nicht alle gleichzeitig erfüllt werden können.

Bei der Belüftung der Propeller könnte man z. B. an Druckähnlichkeit denken. Bei Druckabsenkung im Modellversuch wird aber das Dichteverhältnis von Luft und Wasser gegebenenfalls unter einen kritischen Wert gesenkt, bei dem sich alle Erscheinungen beim Eintritt der Propellerblätter in das Wasser radikal ändern.

Für Verdrängungsschiffe ist das traditionelle Prognoseverfahren auf der Basis von Modellversuchen von der der International Towing Tank Conference (ITTC) immer weiter entwickelt und standardisiert worden, und zur Zeit gibt es bei der International Standards Organisation (ISO) Aktivitäten, auch bei Probefahrten mit Schiffen die Auswertung der Messungen zu standardisieren.

Wegen der Bedeutung einer solchen Norm für die Werftindustrie ist eine deutsche Arbeitsgruppe der DIN Normenstelle Schiffs- und Meerestechnik (DIN NSMT) aktiv an den Arbeiten beteiligt. Der von englischen Kollegen vertretene Standpunkt, daß das Verfahren nicht normungsfähig sei, beruht unseres Erachtens auf einem Mißverständnis.

Da die Ergebnisse empfindlich von der Art der Auswertung abhängen ist die Normung zwingend

notwendig, wenn objektive Vergleiche möglich werden sollen. Zugleich ist die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, die für die Qualitätssicherung im Sinne der Norm ISO 9000 ff erforderlich ist. Abweichungen von dem Standardverfahren sind gesondert zu vereinbaren.

Vor dem Hintergrund dieses immer noch in Fluß befindlichen Standes der Technik bei Verdrängungsschiffen ist festzustellen, daß die Versuchs- und Prognosetechnik für SES offensichtlich noch sehr weit davon entfernt ist, genormt werden zu können. Das liegt nicht zuletzt an der sehr großen Zahl von Einflußgrößen, in dem vorliegenden Fall noch vergrößert durch den Einsatz von teilgetauchten Propellern und den Betrieb auf flachem Wasser wechselnder Tiefe.

Die Arbeiten im Rahmen des Vorhabens, über das berichtet wird, konnten zunächst nur das Ziel haben, Versuchs- und Auswertemethoden für Modell und Schiff zu entwickeln und erproben und mit diesen Methoden eventuelle Unähnlichkeiten zwischen Modell und Schiff nachzuweisen. Sie sind insofern auch eine Vorarbeit für die spätere Normung.

### **2.3 Bestimmung von Maßstabseffekten**

Die betrachtete Rumpf-Propeller-Konfiguration schließt praktisch schon im Modellmaßstab die traditionellen Widerstandsversuche mit dem Rumpf allein und Freifahrtversuche mit dem Propeller allein aus, wenn es um eine detaillierte, physikalisch orientierte Analyse des Propulsionsverhältnisse geht.

Die Ergebnisse von Widerstandsversuchen mit getunnelten Rümpfen und Freifahrtversuchen mit teilgetauchten Propellern sind für die Analyse der Propulsion von SES deshalb nicht geeignet, weil die Strömungsverhältnisse bei diesen Versuchen, die ohnehin nur mit Modellen, nicht aber mit Schiffen selbst durchführbar sind, selbst wenn die gleichen Trimmzustände erzwungen werden könnten, von denen unter Betriebsbedingungen abweichen.

Es war daher ein wesentlicher Teil des Vorhabens, die im Rahmen des vom BMBF geförderten METEOR-Projektes für Verdrängungsschiffe entwickelte Methode der quasistationären Propulsion zur Analyse der Wechselwirkungen für den Einsatz bei SES weiterzuentwickeln.

Der Grundgedanke dieser Methode ist es, kleine, quasistationäre Änderungen um den Betriebs-

zustand auszuführen und aus den dabei anfallenden Daten bei der späteren Analyse mit den Methoden der Systemidentifikation die Parameter von axiomatischen ('mathematischen') Modellen der Propulsion zu bestimmen, z. B. die Parameter der Propeller-Kennlinien und die Parameter der Impulsbilanz, den Widerstand und den Sog wie im folgenden für das Modell und das Schiff gezeigt wird.

Leider wird sowohl bei Versuchen mit Modellen als auch bei Probefahrten mit Schiffen traditionell immer noch auf stationäre Zustände gewartet. Durch geringste Instationaritäten können dabei wegen der relativ großen Massen der Schiffe erhebliche Fehler auftreten wie in einer Untersuchung von Jinnaka (1969) nachgewiesen wurde.

Statt dessen wird hier empfohlen, daß Daten schon während der instationären Übergangsphasen erfaßt werden, was kaum Mehrkosten verursacht. Wie gezeigt wird, können aus diesen Daten wesentliche Informationen über die Systeme gewonnen werden.

Die anfallenden Daten sind Momente und Schübe in den Wellen abhängig von der Geschwindigkeit des Schiffes und den Drehfrequenzen der Wellen. Diese Werte werden für Schiff und Modell direkt vergleichbar, wenn die normierten Größen

$$K_T = T / (\rho D^4 N^2)$$

und

$$K_Q = Q / (\rho D^5 N^2)$$

als Funktionen der scheinbaren, mit der Schiffsgeschwindigkeit gebildeten (Rumpf-) Fortschrittszahl

$$J_H = V / (D N)$$

dargestellt werden.

Bei Festpropellern hinter Verdrängungsschiffen sind die Kennlinien in weiten Bereichen unabhängig vom Betriebszuständen der Schiffe, weil die Propeller als Pumpen in weiten Bereichen, z. B. selbst unter Eisdecken, auf Änderungen des Widerstandes praktisch nur durch Änderungen ihres eigenen Betriebspunktes auf ihrer Kennlinie reagieren, nicht aber durch Änderungen ihrer Kennlinien oder 'Drosselkurven' selbst.

Bei den betrachteten teilgetauchten Propellern liegen die Dinge nicht so einfach, weil die Kennlinien außer von der Froudeschen Zahl auch von der durch Klappen beeinflussten Propellerzu-

strömung und den verstellbaren Steigungen abhängen.

Erschwerend für die Analyse ist ferner, daß die Kennlinien bei sinkender Fortschrittszahl in einem sehr schmalen, instationären Übergangsbereich von der Teilbelüftung zur Vollbelüftung übergehen

Will man also Maßstabeffekte, d. h. Unterschiede der Kennlinien von Modell und Schiff bestimmen, dann muß man nicht nur die genannten Grundgrößen Geschwindigkeit, Drehfrequenzen, Schübe und Momente in beiden Fällen so genau wie möglich messen, sondern auch alle potentiellen Einflußgrößen.

## 2.4 Wie kann man Prognosen machen?

Prognosen müssen im allgemeinen nicht nur für einen einzelnen Fahrtzustand gemacht werden, sondern für ein ganzes Spektrum solcher Zustände. Dabei sind die Vielzahl der Parameter des Fahrzeuges, der Propeller und des Fahrwassers zu beachten.

Optimaler Betrieb kann praktisch nicht prognostiziert werden, sondern muß in jedem Falle unter Ausnutzung der verschiedenen Stellmöglichkeiten unter Betriebsbedingungen ermittelt und geregelt werden. Das setzt entsprechende Systeme zur Messung der Ist-Werte der Betriebszustände voraus, wie sie auf der CORSAIR auch vorhanden sind.

Für einen einzelnen Betriebspunkt können auch bei teilgetauchten Propellern die bei kleinen quasistationären Manövern der Drehfrequenz ermittelten  $K_T$ - und  $K_Q$ -Werte wenigstens bereichsweise als linear abhängig von der scheinbaren Fortschrittszahl behandelt werden.

Die durch Ausgleichsrechnung aus den Rohdaten bei gegebenen Bedingungen bestimmten Funktionen

$$K_T = K_{T0} + K_{TH} J_H$$

$$K_Q = K_{Q0} + K_{QH} J_H$$

bilden die Grundlage für Prognosen des Leistungsbedarfs auf der Grundlage von Modellversuchen.

Die folgende Tabelle zeigt als Beispiel die Werte für den weiter unten genauer analysierten Versuch 1330.199 mit der CORSAIR, der am 19.09.1995 um 13.30h begann.

1330.199	$J_{Hmin}$	$J_{Hmax}$
----------	------------	------------

$J_H$	0.4	0.5
	$K_{X0}$	$K_{XH}$
$K_{TX}$	0.0186	0.2854
$K_{QX}$	0.0128	0.0278

Es sind bei Versuchen aber auch Kennlinien beobachtet worden, die eindeutig nichtlinear sind, also einen quadratischen Ausgleich erfordern.

Es sei dabei ausdrücklich daraufhin gewiesen, daß Ausgleichsfunktionen nur für die Interpolation innerhalb der anzugebenden Grenzen gelten. Extrapolation ist wegen des Übergangs von der Teilbelüftung zur Vollbelüftung 'verboten'.

Wegen der Fülle der Einflußgrößen müssen die Kennlinien der Propeller für die interessierenden Bedingungen gegebenenfalls durch Interpolation ermittelt werden. Voraussetzung dafür ist, daß in jedem Falle genügend viele Variationen untersucht worden sind.

Die Reduktion der Daten ist dabei ein besonderes Problem. Im Hinblick auf die großen Datenmengen wird zur Zeit der Einsatz von neuronalen Netzen für die Reduktion und Interpolation der Daten erprobt.

Um die Betriebspunkte zu ermitteln und damit die erforderliche Leistungen zu prognostizieren, muß ferner der Widerstand bei den interessierenden Bedingungen geschätzt werden, z. B. auf der Basis der in den Versuchsanstalten im Rahmen des SUS-Programms umfangreichen, auch auf flachem Wasser ausgeführten Widerstandsversuche.

Der Bezug auf Widerstandsversuche bei der Leistungsprognose ist aber insofern problematisch als bei Propulsionsversuchen unkontrollierbare Änderungen der Trimmwinkel, z. B. durch Vertikalkräfte der Propeller, nicht ausgeschlossen werden können, wodurch Unsicherheiten bei Prognose und Optimierung verbunden sind.

Die Tatsache, daß Schleppversuche nur Anhaltswerte für den effektiven Widerstand liefern, hat in Japan schon früh zur Entwicklung eines Verfahrens zur Leistungsprognose für schnelle Schiffe auf der Basis von Propulsionsversuchen allein geführt (Tana-ka, 1985). Dabei wird wie bei den Arbeiten in der VWS der Begriff des effektiven Widerstandes zugrunde gelegt.

Damit der Zusammenhang zwischen dem effektiven Widerstand und dem Betriebszustand der Propeller hergestellt werden kann, muß außer den

Kennlinien auch der Sog bekannt sein. Aus dem Ansatz für den effektiven Schub

$$T_e = (1 - t) T$$

ergibt sich in normierter Form die Beziehung für den effektiven Schubbeiwert

$$C_{Te} = (1 - t) (K_{T0} + K_{TH} J_H) / J_H^2 .$$

Wird der Bequemlichkeit halber auch der effektive Widerstand mit dem Propeller-Durchmesser normiert

$$C_{Re} = Re / (\rho D^2 V^2)$$

so lautet die Bedingung der Selbstpropulsion einfach

$$C_{Re} = C_{Se} .$$

Damit läßt sich zu jedem Widerstand eine Fortschrittszahl bestimmen und damit lassen sich auch Schub und Leistung bestimmen.

Traditionell werden Maßstabeffekte bei der Sogzahl von vornherein ausgeschlossen. Das hat natürlich praktische Gründe und ist solange akzeptabel wie keine weitergehende Analysen der Wechselwirkungen von Interesse sind.

Wegen der Unähnlichkeit der Propeller-Zuströmung im Modell ist das aber prinzipiell nicht richtig, wie schon das einfache Modell des idealen Propellers in gleichförmigen Nachstrom erkennen läßt. Bei der METEOR konnten die Maßstabeffekte im Sog auch nachgewiesen werden.

Da sich die Sogzahl prinzipiell als Differenz großer Zahlen ergibt, sind ihrer genauen Bestimmung im Hinblick auf die Störungen, z. B. durch den Seegang, Grenzen gesetzt. Praktisch sind deshalb häufig auch bei den vorliegenden Untersuchungen nur mittlere Sogzahlen zu bestimmen, wie im folgenden für das Modell und das Schiff ausgeführt wird.

### 3 Versuche mit dem Modell

#### 3.1 Verfahren der Modellversuche

Die Modellversuche wurden nach den Versuchen mit der CORSAIR auf der Ostsee bei Atmosphärendruck im großen Umlauftank der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau durchgeführt. Dieses Versuchsfeld bietet gegenüber der Schlepprinne den Vorteil beliebig langer Einstell- und Beobachtungszeiten.

Die Versuche wurden jeweils in der Nähe der stationären Betriebs- und Fahrtzustände (Geschwindigkeit, Steigungsverhältnis und Drehfrequenz der Propeller, Kissen- und Schürzendrücke) des Schiffes vorgenommen.

Die stationären Drehfrequenzen vor den Manövern wurden so eingestellt, daß sie soweit möglich jeweils den Drehfrequenzen bei der Selbstpropulsion des Schiffes und des Modells entsprachen. Bei konstanter Tankgeschwindigkeit wurden dann die Drehfrequenzen der Propeller programmgesteuert linear mit der Zeit abgesenkt und ebenso wieder auf den Anfangswert gebracht.

Für die Identifikation der Parameter ist die Linearität des zeitlichen Verlaufs nicht notwendig. So wurde z. B. bei den ersten Versuche zur Erprobung der Versuchstechnik mit quasistationärer Veränderung der Betriebsbedingungen die Drehfrequenz einfach von Hand gesteuert (Schmiechen, 1987). Lineare Veränderungen der Drehfrequenz haben den Vorteil, daß sie technisch einfach zu realisieren sind und zur Unterdrückung des Rauschens die Korrelation mit der Zeit statt der Soll-Drehfrequenz erlauben.

Der Zeitabschnitt für den gesamten nichtstationären Abschnitt allein betrug bei den Modellversuchen typischerweise 240 s und der Drehfrequenzhub 10 bis 20 % der Ausgangsdrehfrequenz. Die in einem Versuch durchlaufene Zustände können als quasistationär angesehen werden. Verglichen mit den nach Froude umgerechneten Umsteuerzeiten der CORSAIR-Versuche wurde eine erhebliche zeitliche Dehnung vorgenommen.

Die Auswertung der mit einem Zeittakt von etwa 1.5 s aufgenommenen Meßdaten erfolgt so, daß zunächst der Zustand entsprechend der Selbstpropulsion des Schiffes ermittelt wird und dann für die interessierenden Größen eine lineare Approximation vorgenommen wird. Damit kann, wie oben beschrieben, bei Bedarf auch angegeben werden, welche Auswirkungen abweichende Propellerbelastungen haben, wie sie beim Schiff durch Wellen und Wind hervorgerufen werden.

Versuchsreihen wurden mit zwei Steigungen und jeweils zwei Stellungen der Zustromklappen durchgeführt:

Versuchsreihe		Klappe	Klappe
		20 %	40 %
P/D	1.24	102/103	104
P/D	1.47	106/107	108

Während die Propeller für die Änderung der Steigung demontiert waren, wurden zusätzlich Widerstandsversuche bei der Klappenstellung 20 % durchgeführt; Versuchsreihe 105.

### 3.2 Ergebnisse der Modellversuche

Um einen Eindruck von der Komplexität der Verhältnisse zu vermitteln, sollen zunächst die besonderen Bedingungen, die von der (Teil-) Belüftung der Propeller herrühren, an ausgewählten Beispielen gezeigt werden.

Bild 1 zeigt die völlig verschiedenen Änderungen des Modell-Schubes infolge eines Drehfrequenz-Manövers über der Zeit für die verschiedenen Ausgangszustände bei den Versuchen 10408 und 10409.

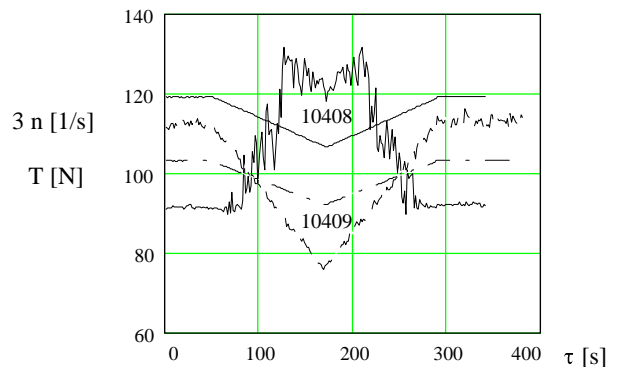


Bild 1: Modell-Schübe über der Zeit für verschiedene Ausgangszustände bei konstanter Tankgeschwindigkeit

Die Ursache für dieses Verhalten wird durch Bild 2 verständlich, in dem die entsprechenden Schubbeiwerte über der scheinbaren Fortschrittszahl dargestellt sind.

Während sich der Versuch 10408 nur im Übergangsbereich zwischen der Voll- und Teilbelüftung abspielt, findet der Versuch 10409 nur im Bereich der Teilbelüftung statt.

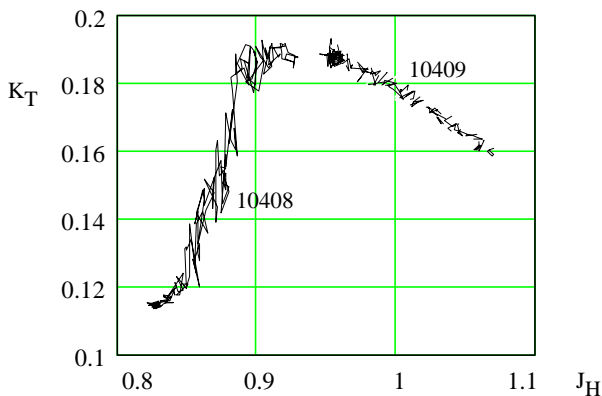


Bild 2: Modell-Schubkennlinie über der scheinbaren Fortschrittszahl bei konstanter Tankgeschwindigkeit

Bild 3 zeigt einen Versuch, bei dem die Propeller anfänglich im instationären Übergangsbereich arbeiten und bei dem Manöver in den Bereich der Teilbelüftung kommen.

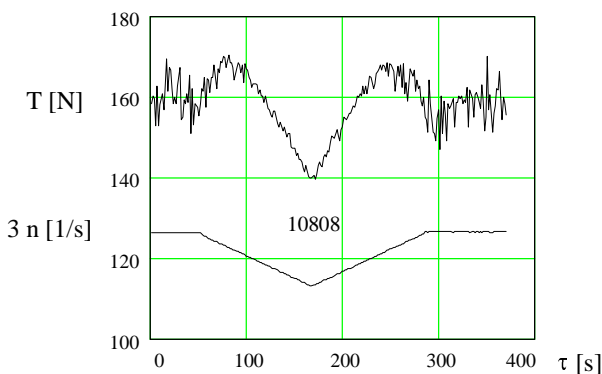


Bild 3: Modell-Schub über der Zeit bei instationären Anfangsbedingungen und konstanter Tankgeschwindigkeit

Die je nach Betriebsbereich stark variierenden Tendenzen bei den gezeigten Beispielen, die besonders kraß und verwirrend im Zeitbereich sichtbar werden, sind nun aber nicht repräsentativ für alle denkbaren Betriebszustände, vielmehr wurden in einer Vielzahl von Versuchsläufen Fälle meßtechnisch nachgewiesen, bei denen Schübe und Drehmomente bei linearen Änderungen der Drehfrequenz linear folgen.

Sie müssen bei Messungen auf dem Schiff auch nicht unbedingt in gleicher Ausprägung auftreten, da dort, anders als im Modellversuch, nicht eine konstante Geschwindigkeit erzwungen wird und auch Leistungs- und Schubbegrenzungen eine Rolle spielen. Allerdings hat es sich bei der Sichtung der CORSAIR-Messungen von Fall zu Fall sehr wohl

als Problem erwiesen, zwischen Fehlmessungen und korrekten Messungen zu unterscheiden.

Ein Teil der genannten Probleme, insbesondere die ausgeprägten Nichtlinearitäten bei Schub, Moment und Restkraft, die aus der Physik des Hybridantriebes herrühren, können bei der Auswertung der Modellversuche dadurch gemeistert werden, daß man sich bei der Darstellung auf einen Gültigkeitsbereich nahe dem Zustand der Selbstpropulsion des Schiffes beschränkt und Linearisierungen vornimmt.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt so, daß als Schub und Moment Mittelwerte von der Backbord- und Steuerbordseite genommen werden und als Restkraft die Hälfte der insgesamt gemessenen angesetzt wird, d. h. es wird eine Umrechnung für einen einzelnen Propeller vorgenommen.

Die Mittelwertbildung ist deshalb angewendet worden, weil ähnlich wie bei dem Schiff selbst z. T. deutliche Asymmetrien bei den Meßwerten festgestellt wurden, die durch versuchstechnische Maßnahmen nicht verhindert werden konnten.

Das Bild 4 zeigt die auf das Schiff umgerechneten Leistungen für sämtliche ausgewerteten Modellversuche über der Geschwindigkeit aufgetragen. Eine Unterscheidung nach Steigungsverhältnis und Trimmklappenstellung wurde hier nicht vorgenommen, da Tendenzen ohnehin nur schwer erkennbar sind.

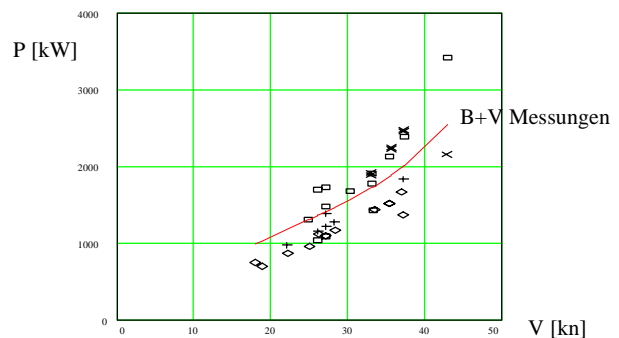


Bild 4: Leistungsprognosen und Leistungsmessungen auf der CORSAIR über der Geschwindigkeit

Zur Orientierung ist eine Ausgleichskurve für über lange Zeitabschnitte gemittelte Messungen eingetragen, die vor dem Beginn des aktuellen Forschungsvorhabens im Auftrage der Werft Blohm + Voss vom Germanischen Lloyd vorgenommen worden waren.

### 3.3 Widerstand und Sog beim Modell

Für die weitergehende Analyse wird die Impulsbilanz

$$M A + R(V) = (1 - t) T(V, N) + F$$

zur Bestimmung des Widerstandes zugrunde gelegt.

Bei Modellversuchen im Umlauftank kann bei langen Meßzeiten mit zeitlich konstanter Geschwindigkeit  $V$  und mit verschwindender Beschleunigung

$$A = dV(\tau) / d\tau = 0$$

gerechnet werden.

Zur Trennung von deterministischen und stochastischen Schwankungen werden bei Bedarf aber auch die immer auftretenden kleinen Regelschwankungen der Strömungsgeschwindigkeit berücksichtigt.

Außer den Schüben wird die bei Variationen der Drehfrequenzen notwendige (Rest-)Schleppkraft gemessen. Bei Modellen, die in einer Schlepprinne geschleppt werden, wären wegen der relativ großen Massen der Modelle auch extrem kleine Beschleunigungen der Modelle zu berücksichtigen (Jinnaka, 1969).

In der Impulsbilanz, der Gleichung der 'Widerstände' und der 'Antriebe'

$$R(V) + t T(V, N) = T(V, N) + F$$

sind der effektive Widerstand  $R$  und die Sogzahl  $t$  auf der linken Seite unbekannt, während die Antriebskräfte, der resultierende Schub  $T$  und die resultierende äußere Schleppkraft  $F$  durch Messungen bekannt sind.

Die Trennung von Widerstand und Sog kann ohne Rückgriff auf die Ergebnisse von Widerstandsversuchen, die traditionell den Werten der effektiven Widerstände unter Betriebsbedingungen gleichgesetzt werden, nur durch die Vereinbarung einer anderen Konvention, z. B. durch die Annahme eines Axioms für die Sogzahl, gelöst werden.

Die von Kracht (1992, 1993) benutzte Darstellung der äußeren Zugkraft als lineare Funktion des Schubes liefert die suggestiven Interpretationen

$$R = F \quad T = 0$$

und

$$t = 1 + dF / dT .$$

Das Axiom konstanter Sogzahl ist sehr bequem und sehr anschaulich, ist aber für weitergehende Analy-

sen der Propulsion nicht geeignet (Schmiechen, 1992) und führt zudem auf ein singuläres Problem bei der Bestimmung des Widerstandes und Soges, wie weiter unten gezeigt wird.

Schon das sehr stark vereinfachte Modell eines idealen Propellers in gleichförmigem Nachstrom ergibt eine sinkende Sogzahl mit wachsendem Schubbelastungsgrad.

Dieser Tendenz wird durch das Sog-Axiom

$$t = t_H J_H = t_H V / (D N)$$

Rechnung getragen, das im Rahmen des METEOR-Projektes erstmals vorgeschlagen und verwendet wurde. Auch hierbei wird der Widerstand als Schleppkraft bei verschwindendem Schub definiert, nur die Extrapolation zu diesem Zustand ist etwas anders als bei Kracht.

In beiden Fällen handelt es sich im allgemeinen nicht um den physikalischen Zustand verschwindenden Schubes, da die Strömung bei diesem Zustand wesentlich von der unter Betriebsbedingungen abweichen kann.

Die mit diesem Axiom bestimmten Werte der Widerstände von Modellen stimmten in allen bisher untersuchten Fällen fast genau mit den Werten der bei gleicher Geschwindigkeit gemessenen Schleppwiderstände überein, wenn denn Widerstandsversuche sinnvoll waren.

Das war auch bei dem Modell der CORSAIR im Umlauf-Tank wenigstens für die teilbelüfteten Betriebszustände der Propeller der Fall. Widerstandsversuche mit dem Rumpfen alleine wurden, wie erwähnt, im Anschluß an die erste Serie von Propulsionsversuchen gefahren.

Das Bild 5 zeigt den Vergleich der Beiwerte des effektiven Widerstandes für alle Versuchszustände des Modells im großen Umlauftank der Versuchsanstalt mit denen des Schleppwiderstandes als Funktion der Froudeschen Tiefenzahl

$$F_{nh} = V / \sqrt{g h}$$

bei einer relativen Wassertiefe von

$$h / L_{pp} = 0.294 .$$



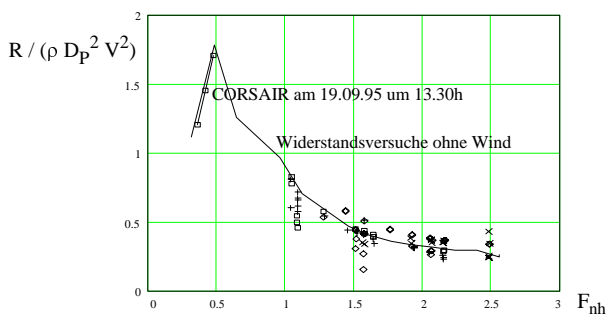


Bild 5: Beiwerte des effektiven Modell-Widerstandes verglichen mit Beiwerten des Schlepplwiderstandes als Funktion der Froudeschen Tiefenzahl.

In das Bild sind auch die Ergebnisse für den betrachteten Versuch 1330.199 mit der CORSAIR eingetragen. Auf die Ermittlung der Werte wird weiter unten im Detail eingegangen.

Hier soll nur darauf hingewiesen werden, daß die hervorragende Übereinstimmung nicht überbewertet werden darf. Einerseits ist die Wassertiefe während der Fahrt nicht genau bekannt, andererseits sind bei den Modellversuchen im Umlauftank keine Windkräfte wirksam gewesen und auch nicht rechnerisch berücksichtigt worden.

Das folgende Bild 6 zeigt die zu den Widerständen gehörigen Sog-Konstanten. Wie nicht anders zu erwarten, streuen die relativ kleinen Werte erheblich.

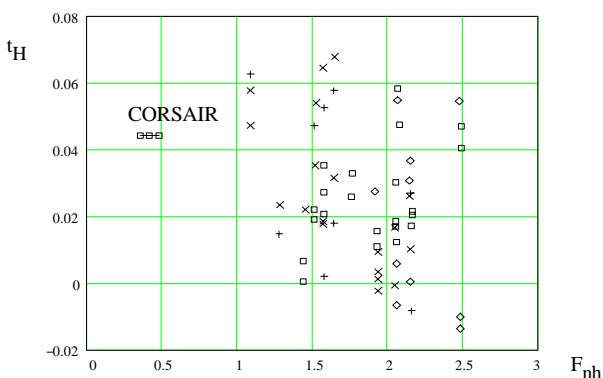


Bild 6: Werte der effektiven Sog-Konstante als Funktion der Froudeschen Tiefenzahl

Die direkten und indirekten hydro- und aerodynamischen Einflüsse auf Widerstand und Propulsion sind sehr vielfältig und praktisch kaum zu kontrollieren und zu erfassen. Ein Folge dieser Situation ist natürlich, daß die interessierenden Größen unscharf (fuzzy) sind.

Die Einflüsse reichen von der Widerstandserhöhung durch die das Kissen abdichtenden Schür-

zen über die Drücke in Kissen und Schürzen bis zu dem Luftwiderstand des Überwasserschiffes nach Größe und Angriffspunkt am Schiff.

Widerstandsversuche in der Schlepprinne, die in der Versuchsanstalt während der Entwurfsphase der CORSAIR an einem stärker verkleinerten Modell und neuerdings auch mit dem größeren Modell vorgenommen wurden, machten die starke Abhängigkeit des Schlepplwiderstandes von der Trimmlage und dem Schürzendruck deutlich. Verglichen mit dem Einfluß der Wassertiefe sind alle diese Effekte aber eventuell von sekundärer Bedeutung.

So wichtig alle diese Effekte auch sein mögen, für das Problem der Maßstabeffekte ist ein ganz anderer Aspekt von Bedeutung. Während die Sog-Konstante eine wesentliche Größe für die Wechselwirkungen ist, ändert sich der Wert des Widerstandes ständig zufällig, abhängig von Wassertiefe, Kurs und Wetter, und damit ändern sich auch die Betriebspunkte der Propeller, die noch durch die Steigungs- und Klappenregelung beeinflusst werden.

Änderungen der Betriebszustände sind aber keine Maßstabeffekte. Maßstabeffekte sind nur, wie vorher bereits festgestellt, die Abweichungen zwischen den Kennflächen von Modell- und Schiffspropellern.

## 4 Versuche mit der CORSAIR

### 4.1 Verfahren der Meßfahrten

Die Messungen auf der CORSAIR wurden u. a. wegen der bei der Planung des Forschungsvorhabens vorliegenden Informationen über die Verfügbarkeit des Schiffes zeitlich vor den Modellversuchen durchgeführt.

Die quasistationären Änderungen von Betriebszuständen entsprechend den Erfordernissen der Identifikation von Parametern wurden in der Weise bewerkstelligt, daß ausgehend von einem stationären Anfangszustand die Drehfrequenzen der beiden Propeller mit Hilfe einer am Steuerpult der CORSAIR zwischengeschalteten Programmsteuerung synchron linear mit der Zeit abgesenkt und ebenso wieder auf den Anfangswert gebracht wurden.

Der Zeitabschnitt für die Drehfrequenzänderung wurde bei Drehfrequenzhuben von 10 bis 20 % so gewählt, daß man Quasistationarität der Betriebszustände erwarten konnte, allerdings war das Zeitintervall wegen nautischer Erfordernisse deutlich

kürzer als das entsprechende Intervall bei den später durchgeführten Modellversuchen.

Während der Manöver wurde die bei der CORSAIR im Normalbetrieb aktive automatische Verstellung der Flügelblätter abgeschaltet, so daß die Propellersteigung konstant blieb. Für die Einregulierung des Anfangszustandes war aber die Automatik eingeschaltet, um unrealistische Einstellungen zu vermeiden.

Die Fixierung der Steigung war notwendig, weil die automatische Verstellung bei den Modellpropellern nur mit unvermeidbar großem Aufwand möglich gewesen wäre und weil so eine weitere Komplikation des Vergleichs von Modell und Schiff vermieden werden konnte.

Vor den beschriebenen Versuchsfahrten mit Variation der Drehfrequenz wurden Meilenfahrten zur Kalibrierung und Überprüfung der Logs durchgeführt, die gleichzeitig auch zur Langzeitmessung bei stationären Fahrtzuständen gedacht waren. Für den letztgenannten Zweck sind diese Meßfahrten jedoch nur bedingt brauchbar, weil hier noch Fehlfunktionen bei der Messung von Schub und Drehmoment aufgetreten waren.

## 4.2 Kalibrierung der Meßsysteme

Während bei den Versuchen mit dem Modell die Versuchsbedingungen sehr gut kontrolliert und die Messungen mit bewährten Geräten und Methoden sicher ausgeführt werden konnten, sind die Messungen an Bord der CORSAIR wesentlich komplizierter (Jordan, Schmiechen, 1995).

Zwar konnte mit GPS-Systemen die Geschwindigkeit über Grund sehr genau bestimmt werden, für die Propeller ist aber die Geschwindigkeit des Schiffes relativ zum Wasser interessant. Die Messung dieser Geschwindigkeit ist aber alles andere als trivial.

Die Anzeige der hierfür vorhandenen Logs kann je nach Fahrtzustand des Schiffes von lokalen Strömungseinflüssen betroffen sein, ein Umstand der besonders bei den Messungen bei instationären Fahrtzuständen zu beachten ist.

Hier soll nur auf Moment- und Schubmessungen näher eingegangen werden. Zur Kalibrierung der auf die Wellen geklebten Dehnungsmeßbrücken wurde eine Kalibriervorrichtung gebaut und in der Versuchsanstalt in Vorversuchen auf einer Probewelle in dem Mock-up eines Rumpfes erprobt.

Die Vorrichtung erlaubte, definierte Momente und Schübe in zwei Verhältnissen bis zu den maximalen Betriebswerten gleichzeitig aufzubringen. So war es möglich, die vollständige Kalibriermatrix einschließlich aller Übersprechfaktoren, insbesondere infolge der Momente auf die Schubsignale, zu bestimmen. Die Notwendigkeit dieses aufwendigen Verfahrens wird durch die Ergebnisse bestätigt.

Die Kalibrierfaktoren für die Momente waren für beide Wellen praktisch genau gleich. Die korrespondierende Kalibrierung über die Wellengeometrie, den Gleitmodul und die Daten der Meßbrücke lieferte aber um 3 % kleinere Werte.

Die Kalibrierfaktoren für die Schübe differierten für beide Wellen um 3 % und lagen um 8 % über den rechnerischen Werten. Das Vertrauensniveau liegt für alle Kalibrierungen unter 1 %, d. h. die beobachteten Abweichungen von den rechnerischen Kalibrierungen sind in jedem Falle signifikant.

Besonders interessant sind die Kalibrierfaktoren für das Übersprechen der Momente auf die Schubsignale, die dem Wert nach gleich waren. Während gewöhnlich minimale Klebefehler als Ursache für diese Effekte angesehen werden, legten die Messungen die Vermutung nahe, daß es sie eher eine Folge der Deformationen sind.

Bei typischen Verhältnissen von zwei für die Signale von Moment und Schub macht das Übersprechen 7 % des Schubsignals aus. Dadurch wird die auf der rechnerischen Kalibrierung basierende Überschätzung des Schubes praktisch auf 15 % verdoppelt!

Das gleichzeitige Aufbringen der Belastungen ist im Hinblick auf die Nichtlinearitäten und die bei der Kalibrierung erfolgende Linearisierung absolut notwendig. Der manchmal beklagte Verlust der Anschaulichkeit wiegt gering gegen den Gewinn an Einfachheit des Aufbaus und, vor allem, die notwendige Vermeidung von systematischen Fehlern!

Systematische Fehler können auch bei dem gewählten Verfahren noch dadurch auftreten, daß bei ruhender Welle kalibriert wurde und daß im Betrieb Öldruck für die Verstellung der Propeller in den Wellen aufgebaut wird.

## 4.3 Widerstand und Sog beim Schiff

Bei Versuchen mit Schiffen selbst lassen sich unter Betriebsbedingungen keine zusätzlichen Schlepp-

kräfte anbringen. Variationen der Drehfrequenz haben jetzt vielmehr Änderungen der Geschwindigkeit zur Folge und an die Stelle der äußeren Kräfte treten die Trägheitskräfte. Das setzt aber voraus, daß die effektive Masse (Längs-Trägheit) des Schiffes zur Zeit der Messung sowie die Beschleunigungen genau bekannt sind.

Da sich die Masse des Schiffes über die Dichte des Wassers und die Ablesungen der Ahmings und das Kurvenblatt nur ungenau bestimmen läßt und sich die hydrodynamische Masse nur schwer abschätzen läßt, liegt der Gedanke nahe, auch die effektive Masse als unbekannte und zu identifizierende Größe zu behandeln.

Bei konstanter Sogzahl ist die Aufgabe aber unbestimmt und das Problem kann wegen der Störungen durch den Seegang auch durch die Einführung des bereits genannten Sog-Axioms nicht ohne weiteres gelöst werden.

Zur Lösung des Problems kann die Impulsbilanz in die Bilanzen für die Mittelwerte und für die Schwankungen zerlegt werden:

$$M A_m + R_m + t_m T_m = T_m ,$$

$$M \Delta A + R_V \Delta V + t_m \Delta T = \Delta T ,$$

wenn der Widerstand um die mittlere Geschwindigkeit linearisiert wird.

Im Anbetracht der Singularität der Gleichung für die Schwankungen gibt es für das Ausgleichsproblem mathematisch unendlich viele gleichberechtigte Lösungen, d. h. Werte-Tripel  $M, R_V, t_m$ .

Von diesen wird als physikalisch sinnvolle die ausgewählt, bei der das Ausgleichsproblem ohne den Sog-Term gelöst wird, d. h. unter der Annahme, daß der Sog orthogonal zu den Schwankungen der Geschwindigkeit und Beschleunigung ist.

Offensichtlich handelt es sich hier um ein grundlegendes Problem der Schiffstheorie. Der vorgeschlagene Ansatz zur Lösung erscheint insofern begründet, als der Sog eine innere Kraft ist, die keine Arbeit am System leistet.

Anschließend wird die Sogzahl durch Ausgleich aus den Gleichungen

$$t_m \Delta T = \Delta T - M \Delta A - R_V \Delta V ,$$

also als Rayleigh-Quotient

$$t_m = (\Delta T - M \Delta A - R_V \Delta V) \Delta T / (\Delta T \Delta T)$$

bestimmt.

Ein zusätzliches Problem bei den Messungen auf Schiffen sind die regellosen Störungen durch den Seegang. Da die Drehfrequenzen geregelt werden, lassen sich systematische Fehler prinzipiell nur durch Korrelation der Signale mit der vom Rauschen unabhängigen Soll-Drehfrequenz vermeiden.

Vergleichsrechnungen ergaben aber, daß bei den Versuchen tatsächlich keine Rückkopplung des Rauschens auftrat, sodaß die Korrelation mit den Schwankungen des Mittels der Drehfrequenzen von Backbord- und Steuerbord-Welle ausreichte.

Bei dieser sogenannten Kovarianz handelt es sich um die Schwankungen infolge der Schwankungen des Test-Signals, also um bedingte Wahrscheinlichkeiten. Durch diese Operation wird das Rauschen praktisch vollständig herausgefiltert.

Bei periodischen Signalen wird fast nur die harmonische Schwingung erster Ordnung durchgelassen. Dabei handelt es sich aber nicht um eine entsprechend schmalbandige Fourier-Analyse.

Die folgenden Bilder 7 bis 9 zeigen die Ergebnisse des bereits betrachteten periodischen Manövers 1330.199 und zwar für die Drehfrequenz, die Geschwindigkeit und den Schub jeweils die Schwankungen und Kovarianzen mit der Drehfrequenz.

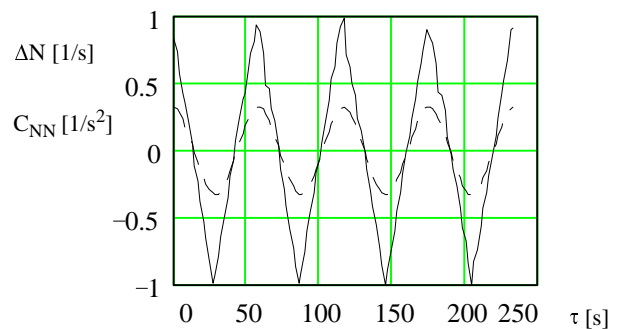


Bild 7: Drehfrequenz, Schwankungen und Auto-Kovarianz

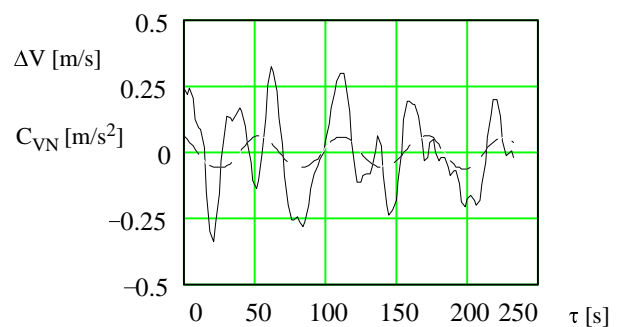


Bild 8: Geschwindigkeit, Schwankungen und Kovarianz mit der Drehfrequenz

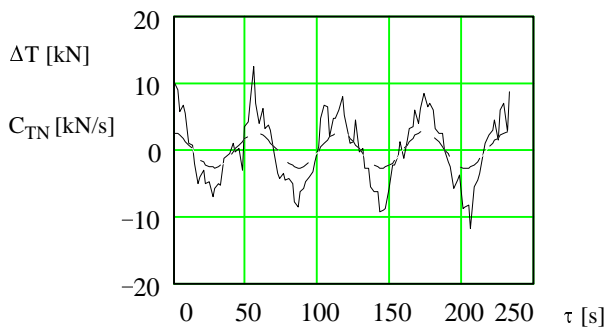


Bild 9: Schub, Schwankungen und Kovarianz mit der Drehfrequenz

Eine detaillierte Analyse der Daten des Manövers mit relativ niedriger Geschwindigkeit ergab den folgenden Wertesatz.

Größe	Wert	Einheit
$N_m$	10.84	Hz
$V_m$	5.878	m/s
$A_m$	-0.002	m/s <sup>2</sup>
$T_m$	73.7	kN
$M$	158.9	t
$R_V$	39.54	kN s/m
$t_m$	0.020	l
$R_m$	72.47	kN

Dazu kommen noch die vorher schon mitgeteilten Konstanten der  $K_T$ - und  $K_Q$ -Kennlinien in dem untersuchten Bereich.

Aus den Ablesungen an den Ahmings und den Schätzungen der Wasserdichte und der Verbräuche ergab sich als Wert der Masse 174.6 t. Die relativ gute Übereinstimmung mit dem aus den Messungen des Schubes und der Geschwindigkeit ermittelten Wert der Masse bestätigt die Richtigkeit der Messungen und des Vorgehens.

Da der Wert des Widerstandes durch die zufälligen Umweltbedingungen bestimmt wird, sind die angegebenen Werte des mittleren Widerstandes und des Gradienten an sich nicht besonders interessant. Die Situation ändert sich aber, wenn die normierten Werte, nämlich der Beiwert und sein Gradient bezüglich der Froudeschen Tiefenzahl, betrachtet werden; s. Bild 5.

Man stellt dann fest, daß die Geschwindigkeit nicht nur absolut klein ist, sondern daß es sich um einen

gerade noch unterkritischen Zustand handelt. Selbst wenn man die Wassertiefe als unscharfe Größe ansieht, sind das positive Vorzeichen und die großen Werte des Beiwertes und seines Gradienten untrügliche Indizien dafür.

Diese Darstellung macht deutlich, daß aus den quasistationären Manövern eine Fülle von Informationen gewonnen werden können, wenn alle Teilprobleme sachgerecht gelöst werden.

Es sollte aber auch deutlich geworden sein, daß die numerischen Werte von der Vorgehensweise abhängen und nur nach der Normung aller Verfahrensschritte vergleichbar sind. Insbesondere gilt das auch für die noch zu bestimmenden Maßstabs- effekte, nämlich die Unterschiede in den Kennflächen der Propeller für das Modell und das Schiff.

Im Hinblick auf die notwendigen Vereinbarungen handelt es dabei also von vornherein nicht nur um Unterschiede infolge der physikalischen Unähnlichkeit, sondern auch um 'Korrekturen' für Unterschiede in den Versuchsmethoden und den entsprechenden Verfahren der Auswertung bei Schiff und Modell.

Durch die weitgehende Angleichung der Methoden sollten diese Korrekturen jedoch auf ein Minimum beschränkt werden.

## 5 Schluß

### 5.1 Rückblick

Bei der Durchführung der Versuche an der CORSAIR und ihrem Modell wurde eine Fülle von Erfahrungen bezüglich der konkreten Ermittlung von Maßstabeffekten bei Luftkissenschiffen und der Unsicherheiten von Prognosen aus Modellversuchen gesammelt.

Diese schlagen sich zwar noch nicht in konkreten Korrekturen nieder, können aber sehr wohl als Richtschnur für zukünftige Entwürfe und Optimierungen dienen. Die beim direkten Nachweis von Maßstabeffekten angetroffenen Unsicherheiten sind ein deutlicher Hinweis zur Problematik von Optimierungen.

Die meisten Probleme bei den Propulsionsversuchen mit dem Modell scheinen dabei weniger durch das Luftkissenprinzip als aus dem für den Prototyp gewählten Antrieb mit teilgetauchten Propellern und den Betrieb im flachen Wasser zu resultieren.

## 5.2 Ausblick

Die bei den Modellversuchen verwendete Technik, die Propellerbelastung durch kontinuierliche Änderungen der Drehfrequenz zu ändern, stellt eine bequeme und genaue Art dar, die Zustände in der Nähe des Selbstpropulsion zu untersuchen.

Für Modelle schneller Schiffe in vertretbar großem Maßstab ist sie über den gesamten interessierenden Geschwindigkeitsbereich wegen der zeitlich nicht begrenzten Meßzeiten mit Vorteil in einem Umlaufkanal mit freier Oberfläche möglich, wie die Versuchsanstalt ihn in passender Größe und Leistung zur Verfügung hat.

Die gleiche Technik könnte und sollte in Zukunft mit Gewinn auch auf Schiffen, nicht nur bei Probefahrten sondern auch unter Betriebsbedingungen zum Zwecke der Überwachung eingesetzt werden.

## 6 Danksagung

Das vor dem Abschluß stehende Projekt, über das hier nur kurz berichtet werden konnte, wurde in dankenswerter Weise vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), jetzt Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), im Rahmen des SUS-Programms für schnelle, unkonventionelle Schiffe gefördert.

Die Versuche wurden von Bauwerft und Eigner der CORSAIR/MEKAT, der Blohm und Voss AG in Hamburg, und deren Mannschaft unter ihrem Kapitän Schmiedeskamp unterstützt. Für die nautischen Messungen stellte die Firma LITEF ihr GPS und Inertial-System LRS-85 zur Verfügung und gab die notwendige technische Hilfestellung.

Für den Erfolg der Messungen waren ferner der Rat und die Unterstützung der Firmen Sulzer-Escher-Wyss in Ravensburg, MTU in Friedrichshafen, Consilium und Plath in Hamburg und Lamprecht in Göttingen wichtig.

Bei der Vorbereitung der Messungen, ihrer Durchführung und Auswertung haben Mitarbeiter der Versuchsanstalt in Konstruktion, Werkstätten und Elektronik-Labor sowie Herr cand. ing. Ralph Grothe wertvolle Arbeit und Hilfe geleistet.

Für all diese Förderung und Unterstützung sei hier herzlich Dank gesagt.

## 7 Quellen

Froude, R. E.: A Description of a Method of Investigation of Screw-Propeller Efficiency. Proc. INA 24 (1883) S. 231/255.

Jinnaka, T.: Errors in Self-Propulsion Tests due to Acceleration of Model Ship. Proc. 12th ITTC (Rome 1969) pp.247/249.

Jordan, K. und M. Schmiechen: Full Scale Torque and Thrust Measurements on Board the SES CORSAIR / MEKAT. Proc. FAST 95 (1995) Vol. 2, pp. 953/964. Paper No. 180.

Jordan, K. und M. Schmiechen: Maßstabseffekte bei Luftkissenfahrzeugen. VWS Bericht, Abschlußbericht des BMBF Vohabens. In Vorbereitung.

Kracht, A. and A. Jacobsen: D-Series. Systematic Experiments with Models of Fast Twin-Screw Displacement Ships. Trans. SNAME 100 (1992) pp. 199/222.

Kracht, A. and A. Jacobsen: Systematische Modellversuche mit kurzen, breiten, schnellen Zweischraubern. Jb. STG 87 (1993) S. 361/373.

Schlichthorst, N. and Wessel, J., 1991, Development and Trials of Experimental Craft SES CORSAIR, FAST '91. First International Conference on Fast Sea Transportation, Trondheim, Norway, June 1991.

Schmiechen, M.: Wake and Thrust Deduction from Quasisteady Ship Model Propulsion Tests Alone. VWS Report No. 1100/87. Published on occasion of a visit to Korean and Japanese ship research institutes and the 18th ITTC at Kobe in October 1987 and in commemoration of the 4th ITTC at Berlin in May 1937.

Schmiechen, M.: 2nd INTERACTION BERLIN '91. Proceedings of the Second International Workshop on the Rational Theory of Ship Hull-Propeller Interactions and its Applications. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Heft 56. Contains the following report.

Schmiechen, M.: The Method of Quasisteady Propulsion And its Trial on Board the METEOR. VWS Report No. 1184/91. Contained in 2nd INTERACTION Berlin '91. Translation of VWS Bericht 1180/90.

Schmiechen, M.: Ship Hull Resistance and Thrust Deduction Fraction from Overload Tests Alone. In: Advanced Lectures on Recurring Topics. Unpublished Papers. Berlin, March 1992. Herausgeber: Lehrgebiet Hydro-mechanische Systeme am Institut für Schiffs- und Meerestechnik der Technischen Universität Berlin, apl. Prof. Dr.-Ing. M. Schmiechen.

Schmiechen, M.: Models in Ship Science. Paper presented at the First International Conference on Occasion of the 300th Anniversary of the Creation of the Russian Fleet by Peter the Great, St. Petersburg, June 07-14, 1992. To be published in the Proceedings.

Schmiechen, M., Voss, A. und Engler, H. : Entwurf und Bewertung von Düsenpropellern mit Leitapparaten. VWS- Bericht Nr. 1209/92, FDS-Bericht.

Tanaka, H.: Some Experiences of Model Tests for SWATH Model in SRI. 1st Meeting of 18th ITTC HSMVC, March 18, 1985.

Wessel, J.: Entwurf von Luftkissenkatamaranen. Jb. STG 88 (1994) S. 363/383.

$R_e$	Widerstand, effektiver
$R_m$	Widerstand, mittlerer
$R_V$	Widerstandsgradient
$t$	Sogzahl
$t_m$	Sogzahl, mittlere
$t_H$	Sogkonstante
$T$	Schub
$T_e$	Schub, effektiver
$T_m$	Schub, mittlerer
$\Delta T$	Schub, Schwankungen
$C_{TN}$	Schub, Kovarianz mit der Drehfrequenz
$V$	Geschwindigkeit
$V_m$	Geschwindigkeit, mittlere
$\Delta V$	Geschwindigkeit, Schwankungen
$C_{VN}$	Geschwindigkeit, Kovarianz mit der Drehfrequenz

## 8 Zeichen

Zeichen	Name
$\rho$	Dichte des Wassers
$\tau$	Zeit
$A$	Beschleunigung
$A_m$	Beschleunigung, mittlere
$\Delta A$	Beschleunigung, Schwankungen
$C_R$	Widerstandsbelastungsgrad
$D$	Propeller-Durchmesser
$F$	Zugkraft
$F_{nh}$	Froude- Tiefenzahl,
$g$	Schwerkraft-Feldstärke
$h$	Wassertiefe
$J_H$	Rumpf-Fortschrittszahl, scheinbare
$K_Q$	Momentbeiwert
$K_T$	Schubbeiwert
$M$	Masse, effektiv
$N$	Drehfrequenz
$N_m$	Drehfrequenz, mittlere
$\Delta N$	Drehfrequenz, Schwankungen
$C_{NN}$	Drehfrequenz, Auto-Kovarianz
$Q$	Moment
$R$	Widerstand