

STG - Sprechtag

"Hydrodynamik schneller Schiffe und ummantelter Propeller"

am 3./4. September 1993

in Berlin und Potsdam

V O R T R A G

**Entwicklung eines schnellen Trimarans**

Dipl.-Ing. D. Büchler, AIR, Büchler und Partner GbR

Dipl.-Ing. F. Mewis, SVA Potsdam GmbH

## STG- Sprechtag

### "Hydrodynamik schneller Schiffe und ummantelter Propeller"

Dipl.-Ing. D. Büchler AIR. Büchler und Partner GbR

Dipl.-Ing. F. Mewis SVA Potsdam GmbH

#### Entwicklung eines schnellen Trimarans

Im Rahmen unserer Zusammenarbeit mit der Yachtwerft Lehmann wurde für diese ein Konzept für eine schnelle Yacht entwickelt und darauf aufbauend ein Entwurf vorgelegt. Die experimentellen Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit der Schiffbauversuchsanstalt Potsdam GmbH konzipiert und durchgeführt und sind durch das BMWi gefördert.

**Zielstellungen bzw. Ausgangsdaten für den Yachtentwurf waren :**

$L_{OA}$  : 13.50m

max Breite : 5m

Geschwindigkeit : bis zu 50 kn

Leistung : max 670 kW

Als zusätzliche Ziele wurden  
vorgesehen :

-günstige Seegangseigenschaften  
auch bei Hochgeschwindigkeitsfahrt

-weitgehende Unempfindlichkeit  
gegenüber Vertrimmung

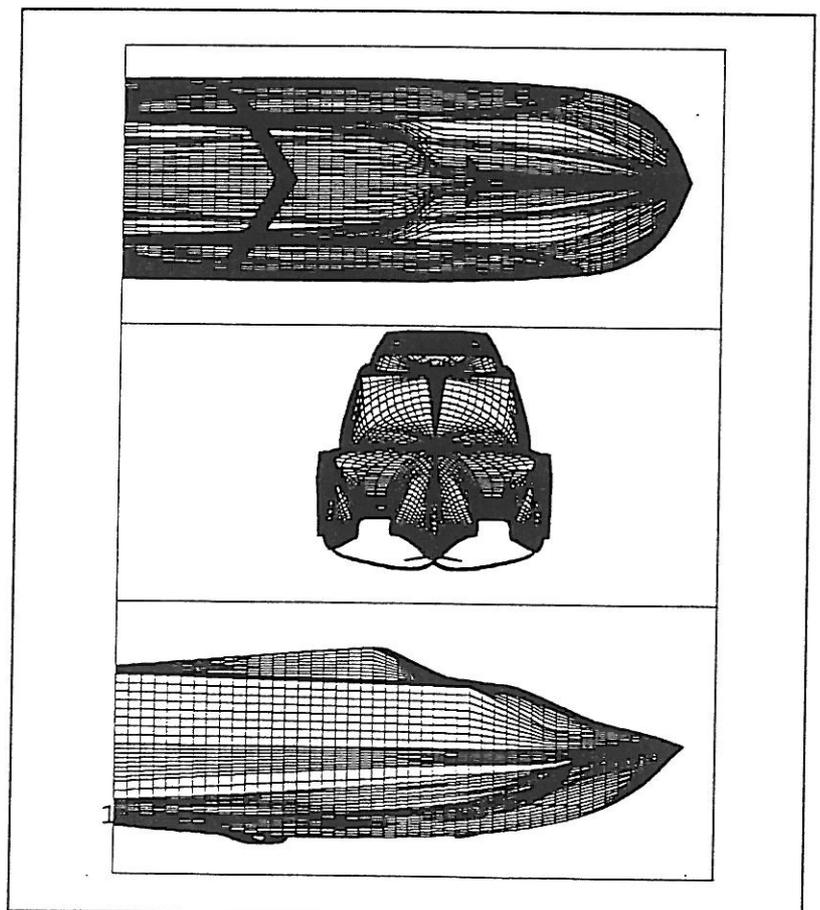


Abb. 1 Ansicht Trimaran Modellvariante

- weitgehende Selbststabilisierung ohne computergestützte Steuerung der Tragflügel
- einfache und unkomplizierte Fahrweise vergleichbar der bei herkömmlichen Yachten
- geringer Tiefgang vergleichbar mit herkömmlichen Yachten
- geringe Wellenbildung bei Fahrt.

Um derartige Leistungen erreichen zu können, war es notwendig, konventionelle Wege zu verlassen. Diese Leistungsansprüche können nur durch ein teilweises Herausheben aus dem Wasser erreicht werden. Gewählt wurde das Prinzip eines tragflügelgestützten Trimarans. Es soll durch seine sehr schlanken Rümpfe eine ruhige Fahrt auch bei leicht bewegter See ermöglichen.

Zudem ist die frei tragende Länge der Tragflächen verhältnismäßig klein, ihre Anordnung ohne Stützen möglich. Als weiterer Vorteil ergibt sich eine bessere Raumverwertung gegenüber einem Katamaran.

Die Rümpfe wurden so gestaltet, daß sie möglichst die Wellen und auch die ergriffene Luft unter dem Schiff behalten und so ein Druckpolster aufbauen. Die Tragflächen wurden nach dem Entenprinzip gestaltet, um eine Selbststabilisierung zu ermöglichen. Das heißt, bei einem weiteren Austausch des Schiffes bei höheren Geschwindigkeiten muß sich selbständig der effektive Anstellwinkel des Systems soweit verringern, daß die Auftriebskraft relativ konstant bleibt. Dazu wurde die Haupttragfläche hinter dem Schwerpunkt angeordnet. Im vorderen Bereich jeweils an den Seitenrümpfen waren zwei steuerbare Vorflügel vorgesehen. Aufgrund der bautechnischen Umsetzung wurde auf Wunsch der Werft das Konzept dahingehend verändert, daß nur ein gesteuerter Vorflügel am Mittelrumpf vorgesehen wurde. Die Form der Tragflächen wurde zur Minimierung des Wechselwirkungswiderstandes gekrümmt.

Der Auftrieb für die Hochgeschwindigkeitsfahrt resultiert aus vier einzelnen Komponenten:

1. Dem hydrostatischen Auftrieb, der sich aus der Verdrängung ergibt.
2. Dem hydrodynamischen Auftrieb resultierend aus der Rumpfform. Die Rumpf- und Schwimmerkonturen wurden so gestaltet, daß sie bei hoher Geschwindigkeit ein Aufgleiten ermöglichen bzw. bei Seegang beim Auftreffen auf die Wellen zusätzlichen Auftrieb erzeugen .
3. Dem hydrodynamischen Druck durch die Tragflächen, der bei hohen Geschwindigkeiten bis zu 80 % des Gesamtauftriebs erbringt. Als Tragflügelkonzept wurde das Entenprinzip realisiert, da es eine hohe Eigenstabilität bei hoher hydrodynamischer Güte ermöglicht.
4. Dem aerodynamischen Auftrieb, der infolge des Staudrucks unter dem Rumpf und zwischen den Rümpfen entsteht. Er wirkt hauptsächlich am vorderen Teil des Schiffes.

Die Widerstandskomponenten unterteilen sich dementsprechend in die gleichen Bestandteile.

Die Vielzahl der am Schiff in Größenordnungen wirkenden Kräfte erschwerten die Auslegung. Insbesondere für die Selbststabilisierung und Selbsteinstellung der Tauchtiefe war eine sorgfältige Berechnung der Einflußgrößen, soweit möglich, notwendig. Empirische Erfahrungen sind nur begrenzt auf das ausgelegte Schiff anwendbar, da für derartige Auslegungen noch keine systematischen Untersuchungen vorliegen. Problematisch ist der Einfluß der aerodynamischen Kräfte, da diese sehr stark vom Trimmwinkel abhängen, im wesentlichen im vorderen Bereich angreifen und demzufolge ein starkes Wandern des Gesamtauftriebsschwerpunkts verursachen.

Die Vorgehensweise bei der Auslegung war so, daß mit einem flexiblen parametrischen Entwurfssystem ein prinzipieller Formvorentwurf vorgenommen wurde, der das qualitative Aussehen des Schiffes definierte. Durch die damit möglich gewordene mathematisch

numerische Beschreibung der Außenhaut war die Möglichkeit gegeben, Berechnungen durchzuführen. Allerdings konnte das Gesamtsystem nicht unmittelbar gelöst werden. Vielmehr war es notwendig, die einzelnen Größen für die jeweiligen Betriebsbedingungen getrennt zu ermitteln, dann die Auswirkungen auf die Schwimmelage zu bestimmen und damit wiederum die Kraftwirkungen auf das Schiff zu berechnen. In einer mehrstufigen Iteration konnten dann für den jeweiligen Fahrtzustand die Schwimmelage bzw. die Kraftwirkungen bestimmt werden. In Folge wurden die quantitativen Größen der Schiffsabmessungen in einem iterativen Prozeß schrittweise so korrigiert, daß die gewünschten Werte rechnerisch erreicht werden konnten. Als Zielstellung war vorgesehen, ein vollständiges Herausheben des

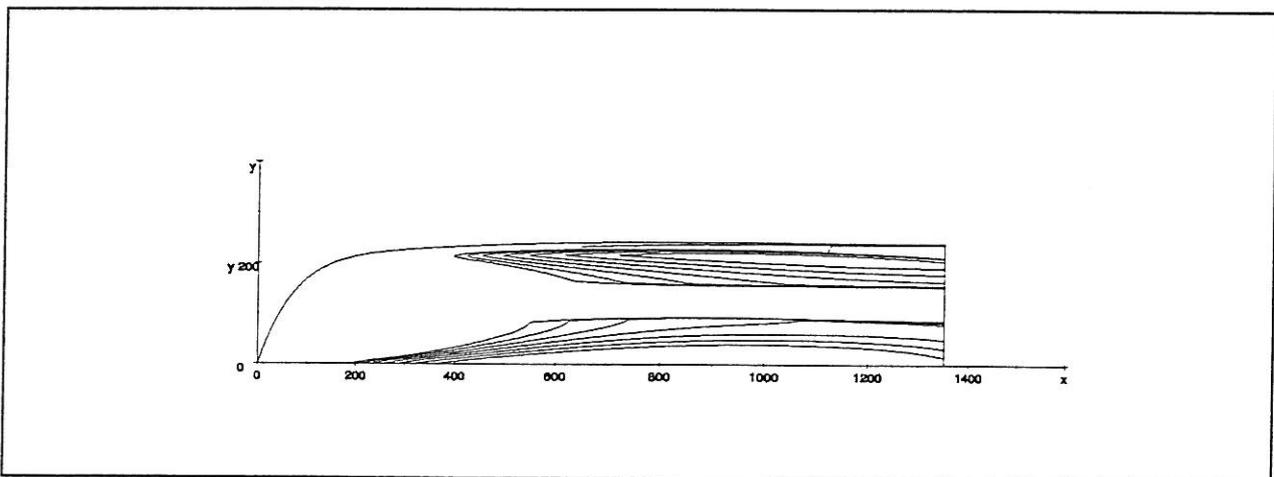


Abb. 2 Wasserlinien in Ruhelage

Rumpfes ab ca. 25 kn zu und im weiteren eine Stabilisierung zu erreichen.

Die Berechnungen bezogen sich auf :

Berechnung des hydrostatischen Auftriebs

Berechnung des hydrodynamischen Auftriebs/Widerstands

Berechnung des hydrodynamischen Auftriebs/Widerstands der Tragflügel

Berechnung des aerodynamischen Auftriebs/Widerstands des Rumpfes

Festigkeitsberechnungen mittels FEM für Fahrt auf Tragflügeln als Nachrechnung

Stabilitätsverhalten für den stationären Fall

### Berechnungsverfahren

Die Berechnung des hydrostatischen Auftriebs erfolgte durch eine numerische Integration der Wasserlinienfläche über die Tauchtiefe und ist hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt.

Sie ist jedoch die Grundlage für die folgenden Berechnungen.

Um überhaupt Berechnungen für das dynamische Verhalten durchführen zu können, waren Vereinfachungen vorzunehmen bzw. Annahmen zu treffen:

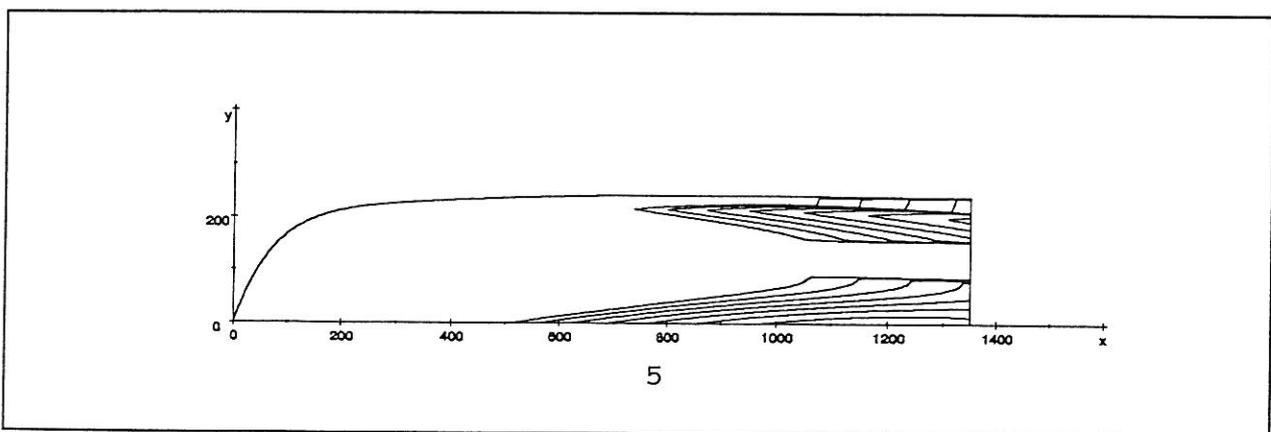


Abb. 3 Wasserlinien bei 38 kn ohne Tragflügel

- Es gibt keine Wechselwirkung zwischen den Rümpfen. Der durch diese Annahme gemachte Fehler ist bei langsamer Fahrt wesentlich, verringert sich aber mit höherer Geschwindigkeit und dem damit verbundenen Herausheben aus dem Wasser.
- Direkte Beeinflussungen werden nicht berücksichtigt. Als direkte Beeinflussungen werden unmittelbare Wechselwirkungen wie z. B. die Veränderung des aerodynamischen Druckes unter dem Rumpf durch die Wellenbildung bzw. umgekehrt die Veränderung der Wellenausbildung durch den erhöhten Luftdruck unter dem Rumpf verstanden.
- Welleneinflüsse werden vernachlässigt .
- Zur Berechnung des dynamischen Auftriebs am Rumpf läßt sich ein mittlerer Trimmwinkel, eine mittlere Aufkimmung und eine mittlere Rumpfbreite der Einzelrümpfe definieren.
- Spezielle Formparameter, wie die Bugform und der Kielfall, können nur indirekt im mittleren Kimm- und Trimmwinkel berücksichtigt werden.
- aerodynamische Kräfte durch die Aufbauten werden vernachlässigt.

Bei der Berechnung der Auftriebs- und Widerstandswerte war es nicht nur wichtig, die Größen zu kennen, sondern auch ihre Verteilung über die Schiffslänge, um den sehr wesentlichen Einfluß des Trimmwinkels zu berücksichtigen.

Die Auftriebs- und Widerstandsrechnung verkompliziert sich durch die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Bestandteile. Berücksichtigt wird nur die indirekte Beeinflussung durch das Wirken der einzelnen Komponenten auf das Gesamtsystem und daraus folgend einer Änderung der Bedingungen für die Ausprägung der Kräfte am Schiff.

So verringert sich der hydrostatische Auftrieb mit dem zunehmenden Wirken der dynamischen Bestandteile. Diese hängen in starkem Maße von der Tauchung, dem Trimm und der Geschwindigkeit ab. Die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Kräfte ist proportional dem Staudruck. Ein großer Trimm vergrößert die dynamischen Auftriebsanteile. Eine Vergrößerung des Austauschens dagegen verkleinert die hydrodynamischen Anteile, vergrößert jedoch den aerodynamischen Anteil. Diese indirekten Anteile sind verhältnismäßig, zu den oben genannten direkten Anteilen, erheblich größer.

Die Berechnung des hydrodynamischen Auftriebs erfolgte als Bestandteil einer Berechnungsmethode nach Peter du Cane [5] für den hydrodynamischen Widerstand. Es wird die Form des Schiffes, in diesem Fall der drei Einzelschwimmer, durch typische mittlere Formparameter für das Seitenverhältnis, d.h. der relativen Breite der Gleitfläche, ihrer Aufkimmung berücksichtigt. Theoretische Basis dieser Berechnung sind die Herleitungen nach Pierson und Leshnover in Verbindung mit Untersuchungen nach Locke. Der hydrodynamische Auftriebsbeiwert für einen Einzelrumpf berechnet sich unter Vernachlässigung der Wechselwirkungen zwischen den Rümpfen nach der Beziehung :

$$C_{L_p} = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho b^2 V^2} = C_{L_0} - 0.0065 \beta \cdot C_{L_0}^{0.6}$$

mit

$$C_{L_0} = \alpha^{1.1} \cdot (0.012 \sqrt{\lambda} + 0.0095 \cdot \frac{\lambda^2}{C_v^2}) \quad (1)$$

und

$$C_v = \frac{v}{\sqrt{g \cdot B}}$$

Die Berechnung des Widerstandes setzt sich wie allgemein üblich aus der Berechnung des Reibungswiderstandes und dem Formwiderstand zusammen. Der Spritzwasserwiderstand, Wechselwirkungseinflüsse und der Wellenwiderstand konnten nicht berücksichtigt werden. Zur Berechnung des Reibungswiderstandes muß jedoch die effektive Strömungsgeschwindigkeit an der Fläche, die für die gekrümmte Form der Rümpfe jedoch keine Konstante ist und nur über eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit in die Berechnung einfließen kann, ermittelt werden.

Der Formwiderstand für den Gleitzustand scheint sich verhältnismäßig einfach berechnen zu lassen, da offensichtlich gilt :

$$R_F = \Delta \cdot \tan \alpha_{eff}$$

Allerdings beeinflusst die Definition des effektiven Anstellwinkels in erheblichem Maße den Formwiderstand.

Zur Berechnung des Trimmwinkels ist es notwendig, den Druckverlauf bzw. den resultierenden Kraftangriffspunkt der Druckkräfte zu kennen. Genutzt wurden dazu Diagramme, die in Auswertung von Versuchsreihen an der E.T.T. [8] in Hoboken erstellt wurden, und die Abhängigkeit vom Trimmwinkel, der Streckung  $\lambda$  und der Aufkimmung berücksichtigen.

Die Berechnung des hydrodynamischen Auftriebs der Tragflügel ist dagegen relativ einfach, da hier die Formbedingungen einfacher definiert sind. Hier kam eine Berechnung nach der Tragflächentheorie zur Anwendung. Allerdings war es notwendig, die erhaltenen Resultate zu korrigieren. Der Einfluß durch die Anbindung an die Rümpfe, in der Wirkung ähnlich der von Endscheiben, mußte vernachlässigt werden. Der Oberflächeneinfluß, der sich in der Wellenbildung äußert, und die Wechselwirkung der Flügel untereinander wurden durch empirische Formeln nach Basin und Schadrin [7] berücksichtigt.

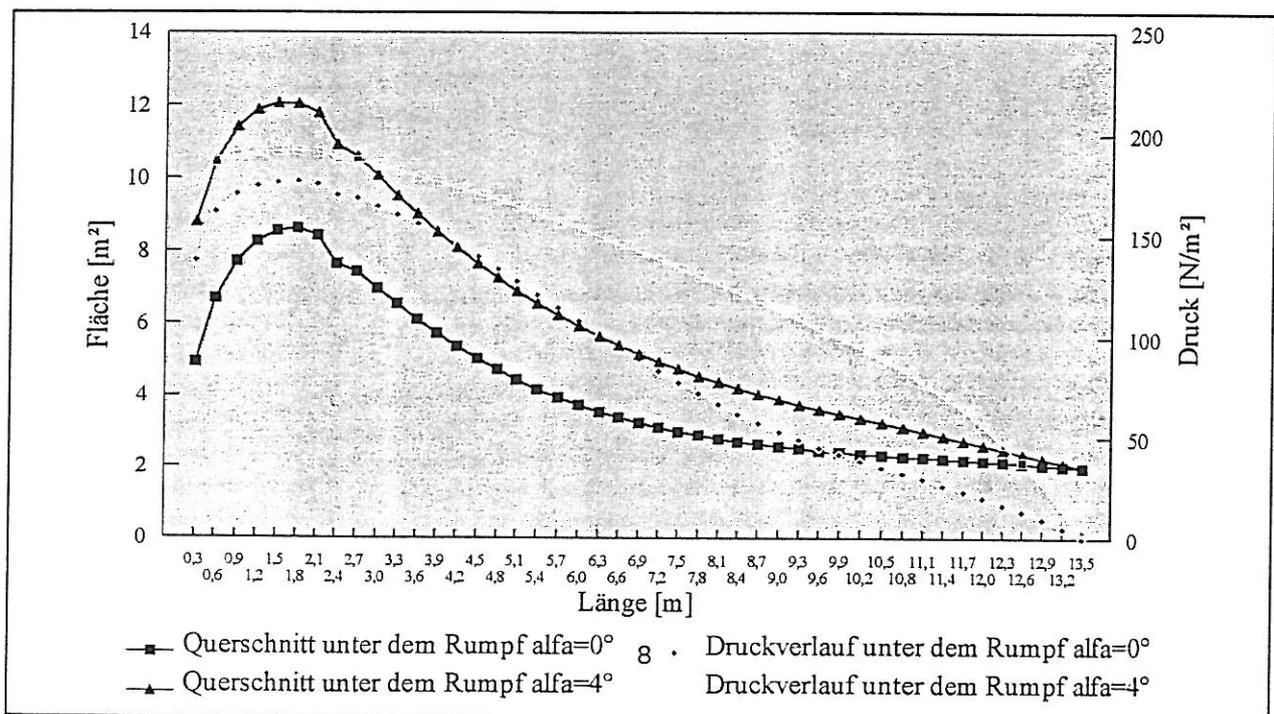


Abb. 4 Druckverlauf bei verschiedenen Trimmwinkeln  $v=38kn$

Auch die Berechnung des aerodynamischen Auftriebs ist mit herkömmlichen Verfahren nicht zu bewältigen. Um überhaupt zu Ergebnissen zu kommen, wurde daher ein einfaches Modell entwickelt, das eine größenmäßige Abschätzung ermöglicht. Es wurde dazu angenommen, daß für den Volumenstrom innerhalb der Rümpfe  $v \cdot A = \text{konst.}$  und für den Druck  $p + \rho/2 \cdot v^2 = \text{konst.}$  also die Bernoulligleichung gilt. Damit läßt sich relativ einfach der Druckverlauf unter dem Rumpf berechnen. Es gilt  $p = p_0 + \rho/2 \cdot v^2 \cdot (1 - A_E/A)$  mit  $A_E$  als Strömungsquerschnittsfläche am Ende des Tunnels. Die dadurch entstehende Druckwirkung hat ihr Maximum mit nahezu dem Staudruck im Bugbereich und verringert sich dann zum Heck des Schiffes. Am hintersten Spant ist die Druckkraft gleich Null. Der Auftrieb berechnet sich nun aus dem Druck integriert über die projizierte Fläche in xy- Richtung. Der Widerstand berechnet sich aus der projizierten Fläche in yz-Richtung.

Die Berechnung der Festigkeit erfolgte in Zusammenarbeit mit der Universität Rostock für den Lastfall - Fahrt auf Tragflächen - für stationäre Bedingungen mittels der Methode Finiter Elemente. Das Schiff selbst ist in Spantenbauweise mit Diagonalversteifungen und voll geschlossenen Spanten gebaut, d.h. die Aufbauten sind komplett mittragend konzipiert. Der Spantenabstand beträgt 300 mm. Berechnet wurde insbesondere der Fall - Fahrt auf Tragflächen - und die daraus folgenden Belastungen.

Die Stabilitätsrechnung für den stationären Fall war Voraussetzung, um die Anordnung der Tragflächen entscheiden zu können. Allerdings ließen die getroffenen Annahmen nur begrenzte Genauigkeiten erwarten. Insbesondere Unsicherheiten, bei der Berechnung der Veränderung der aerodynamischen Kräfte mit der Vergrößerung des Trimmwinkels bzw. beim Austausch, ließen nur prinzipielle Aussagen zu.

Für die Modellversuche konnten die aerodynamischen Kräfte nicht berücksichtigt werden, da die Ähnlichkeitsbedingungen für diesen Fall nicht einzuhalten sind. Zudem ist die Anströmung im Schleppkanal nicht identisch mit der Schleppegeschwindigkeit und hätte gesondert vermessen werden müssen. Da die Annahmen für die Berechnungen zum Teil nur recht grob sein konnten, wurde hier darauf verzichtet.

## Modellversuche

### 1. Auswahl des Modellmaßstabes

Für die Auswahl des Modellmaßstabes  $\lambda$  sehr schneller Wasserfahrzeuge sind zwei entgegengesetzt wirkende Gesichtspunkte wesentlich. Aus physikalischer Sicht ist wegen der Notwendigkeit einer vollturbulenten Grenzschicht am Modellrumpf und an den Tragflügeln, die sicher erst bei  $Rn > 5 \times 10^6$  (Rumpf) und  $Rn > 1 \times 10^6$  (Tragflächen) vorhanden ist, und der um den Faktor  $\lambda^2$  höheren Oberflächenspannung des "Modellwassers" der Modellmaßstab möglichst klein, das Modell also möglichst groß zu wählen. Dem entgegen stehen die realen geometrischen Abmessungen der Schlepprinne sowie die erreichbare Höchstgeschwindigkeit des Schleppwagens.

Die oberen Grenzwerte für die Modellgröße ergeben sich aus dem Beginn des Flachwassereinflusses [1]

$$L_{WL} = < 1,25 \times \text{Tiefe der Schlepprinne}$$

$$L_{WL} = < 1,25 \times 4,50 \text{ m}$$

und aus dem Beginn des Kanaleinflusses

$$L_{WL} = < 0,5 \times \text{Breite der Schlepprinne}$$

$$L_{WL} = < 0,5 \times 9 \text{ m}$$

Die konkrete Auswahl des Modellmaßstabes wird also in jedem Fall ein Kompromiß sein, der bei sehr schnellen Schiffen wesentlich von der Höchstgeschwindigkeit des Schleppwagens geprägt wird, wie unser nachfolgendes Beispiel zeigt:

Das zu untersuchende Schiff hat die folgenden Abmessungen:

$$\begin{aligned}L_{WL} &= 11,20 \text{ m} \\ \nabla &= 10,00 \text{ m}^3\end{aligned}$$

gewünschte Maximalgeschwindigkeit:  $V_s = 50 \text{ kn}$

Mit der maximal möglichen Schleppgeschwindigkeit  $V_{sch} = 7,5 \text{ m/s}$  ergibt sich ein Maßstab  $\lambda = 11,8$ , das Modell wird sehr klein:

$$\begin{aligned}L_w &= 0,949 \text{ m} \\ \nabla &= 6,15 \text{ dm}^3 \\ R_{nM} &= 3,46 \cdot 10^6 && \text{bei } V_M = 4 \text{ m/s} \\ R_{nTF} &= 1,48 \cdot 10^5 && \text{bei } V_M = 4 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Die für vollturbulente Strömung erforderlichen Reynolds-Zahlen werden nicht erreicht.

Unter den gegebenen Bedingungen ist es erforderlich, auf die Höchstgeschwindigkeit zu verzichten und den Modellmaßstab so zu wählen, daß alle Forderungen weitestgehend erfüllt werden. Mit einem Maßstab  $\lambda = 8$  lassen sich folgende Werte erreichen:

$$\begin{aligned}LWL &= 1,400 \text{ m} \\ \nabla &= 19,05 \text{ dm}^3 \\ V_{err} &= 7,5 \text{ m/s} \hat{=} 40 \text{ kn} \\ R_{nM} &= 5,1 \times 10^6 && \text{bei } V_M = 4 \text{ m/s} \\ R_{MTF} &= 2,18 \times 10^5 && \text{bei } V_M = 4 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Mit diesem Modell ist turbulente Strömung am Schiffsrumpf gewährleistet, die Tragflächen arbeiten im Übergangsbereich laminar-turbulent.

Für Propulsionsversuche ist das Modell wegen seiner geringen Verdrängung und Zuladung nicht geeignet.

Das Modell wird also im Maßstab  $\lambda = 8$  gefertigt. Um eine geringe Modelleigenmasse zu erzielen, wird als Material Kohlefaserverbundwerkstoff verwendet.

## 2. Modellversuchsergebnisse

Die Modellversuche wurden auf Widerstandsmessungen im Glattwasser und Seegang beschränkt. Die Untersuchungen erfolgten in drei Schritten:

1. Modell ohne Tragflügel in Glattwasser
2. Modell mit Tragflügeln in Glattwasser
3. Modell mit Tragflügeln in regelmäßigem Seegang.

Die Ergebnisse der Widerstandsmessungen in Glattwasser ohne und mit Tragflügeln zeigen die Bilder 5 bis 8. Als dimensionslose Geschwindigkeit wurde die Froudesche Verdrängungszahl gewählt. Die im Bild 5 dargestellte Gleitzahl  $\varepsilon$  des Modells ist ein Äquivalent für den Widerstand. Aus den Versuchsergebnissen wird deutlich, daß das Boot mit Tragflügeln ab  $F_{n\vee} > 2,2$  ( $V > 20$  kn) einen geringeren Widerstand hat als ohne Tragflügel. Bei der höchsten untersuchten Geschwindigkeit ( $V = 38$  kn) beträgt der Widerstand etwa 50 %. Im Vergleich mit einem in Bild 1 eingezeichneten herkömmlichen guten Einrumpf - Gleitboot mit gleicher Verdrängung ergeben sich Vorteile für den Trimaran mit Tragflügeln bei  $F_{n\vee} > 2,6$ , d. h. für  $V > 23$  kn. Der untersuchte Trimaran mit Tragflügeln besitzt also für Geschwindigkeiten oberhalb von etwa 23 kn eindeutig günstigere Widerstandseigenschaften als ohne Tragflügel und auch als ein vergleichbares gutes Gleitboot.

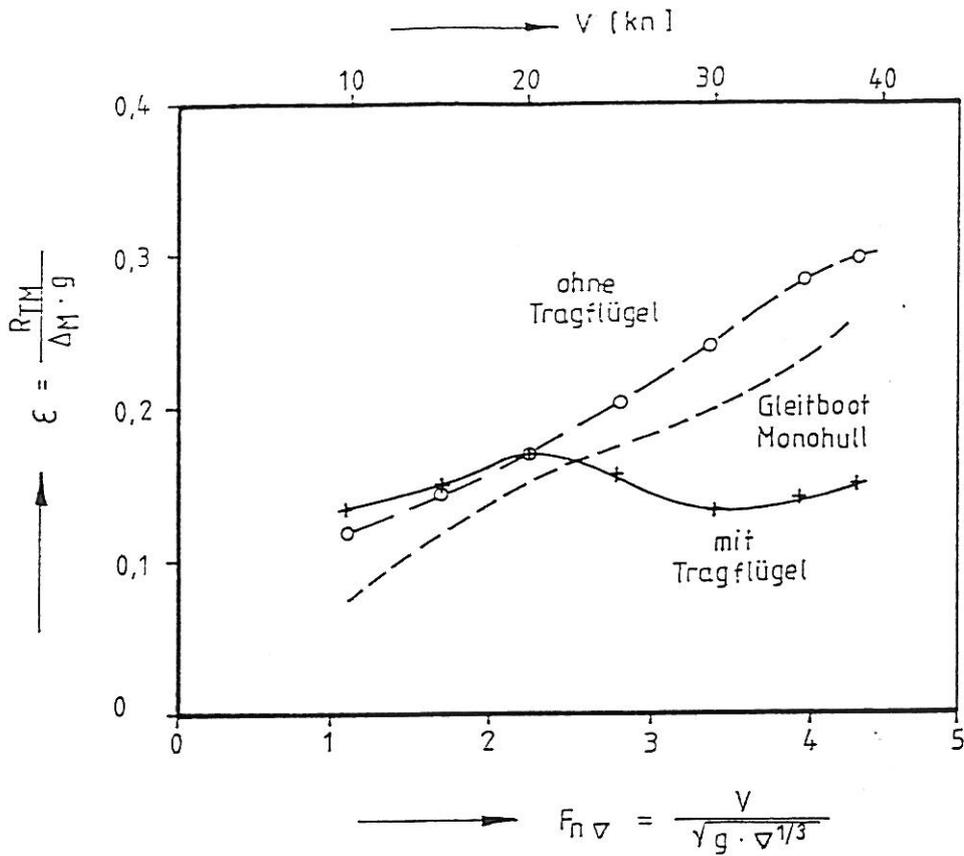


Bild 5 Trimaran mit und ohne Tragflügel  
Gleitzahlen, Modellwerte

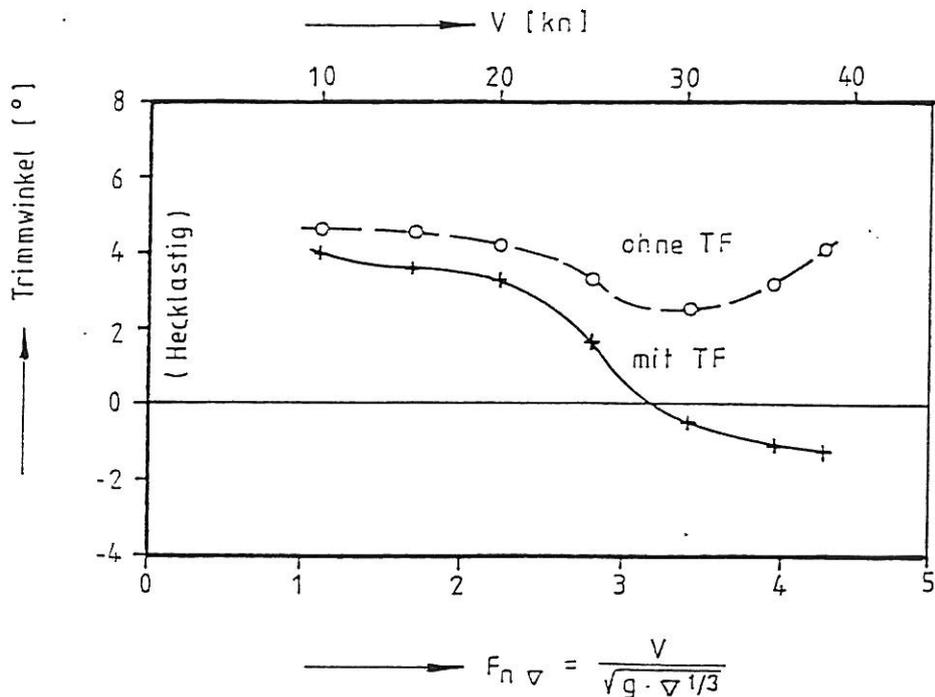


Bild 6 Trimaran mit und ohne Tragflügel  
Trimmwinkel

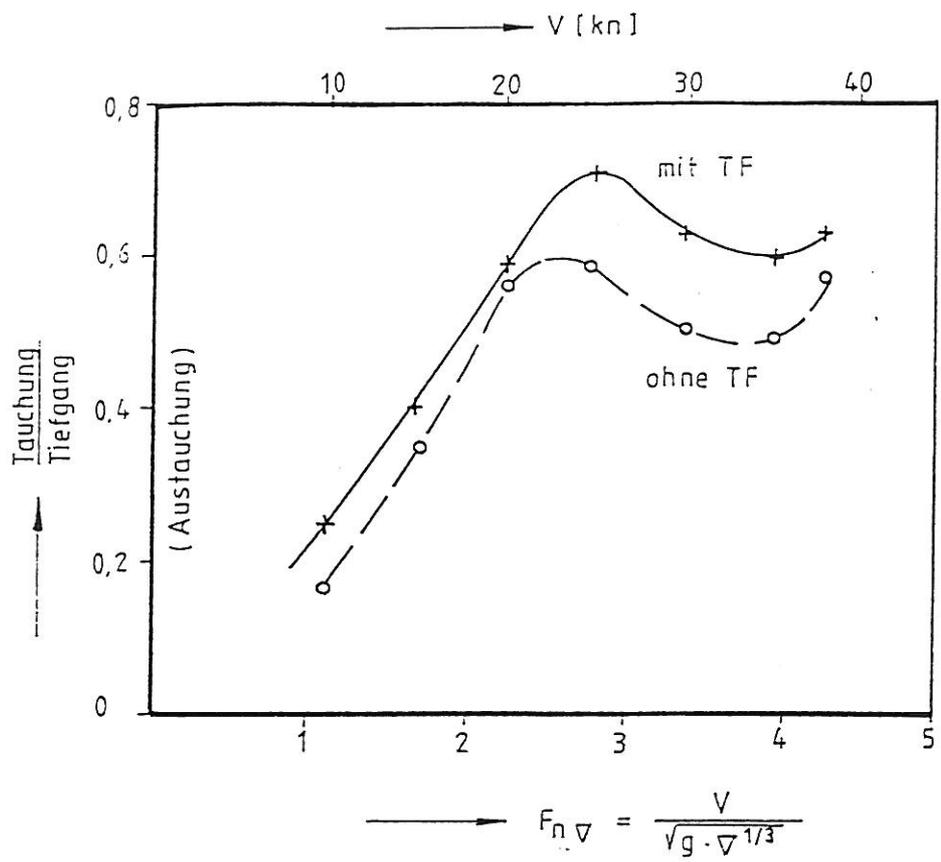


Bild 7 Trimaran mit und ohne Tragflügel  
Tauchungen in Schiffsmitte

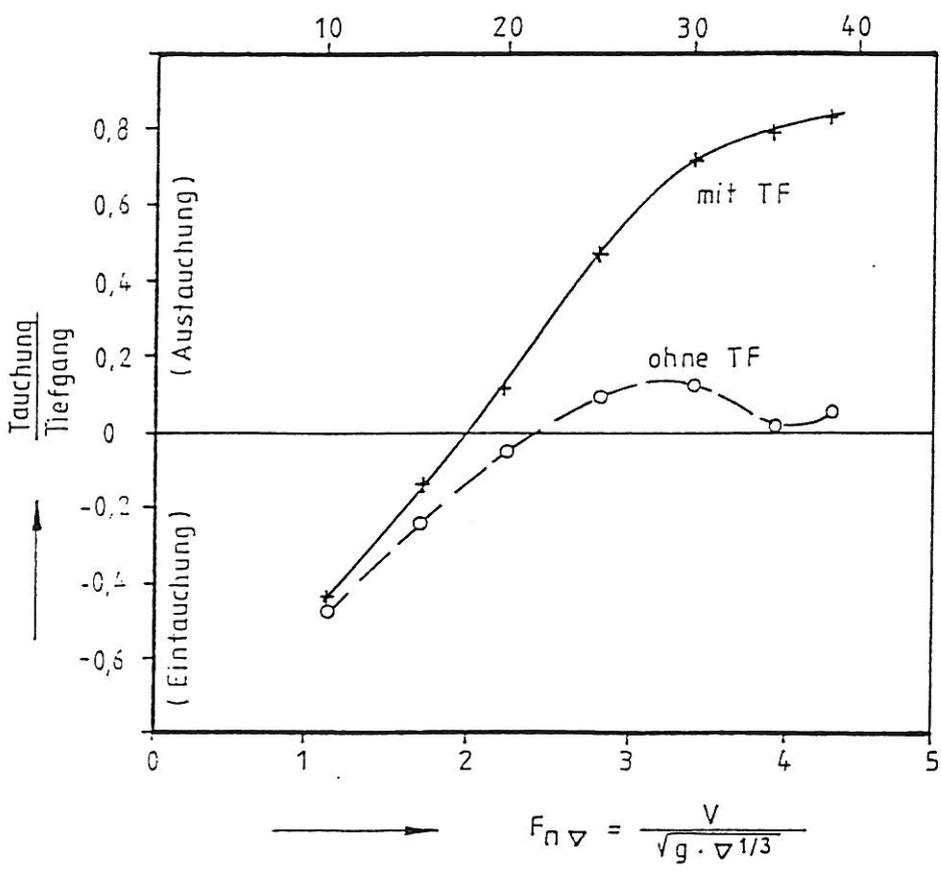


Bild 8 Trimaran mit und ohne Tragflügel  
Tauchungen am hinteren Lot

Das dynamische Trimmverhalten des Bootes wird durch die Tragflächen erheblich beeinflusst. Wie Bild 6 zeigt, verringert sich der Trimmwinkel durch die Tragflügel; bei höheren Geschwindigkeiten fährt das Boot mit leicht kopflastigem Trimm. Die Austauchung des Bootes wird durch die Tragflügel erwartungsgemäß größer, sie beträgt in der Schiffsmitte, wie Bild 7 zeigt, bei höheren Geschwindigkeiten 60 % bis 70 % des Tiefgangs. Erhebliche Unterschiede zwischen beiden Varianten ergeben sich, wie im Bild 8 dargestellt, für die Tauchung am Heck des Bootes. Die Austauchung des Hecks beträgt bei höheren Geschwindigkeiten bis 80 % des Tiefgangs, während der Trimaran ohne Tragflächen im Heck nur geringfügig austaucht. Diese Tatsache ist bei der Auswahl der Propulsionsanlage von besonderer Bedeutung.

Zur Überprüfung des Seeverhaltens wurden Versuche im regelmäßigen Seegang mit variierten Wellenlängen und Wellenhöhen mit dem Modell mit Tragflächen bei Seegang von vorn vorgenommen. Die Auswertung wurde zunächst auf eine visuelle Beobachtung des Seeverhaltens beschränkt, d. h. es sollte überprüft werden, ob das Boot überhaupt genügend dynamische Stabilität besitzt, um beim Auftreten von Störungen Richtung und Schwimmelage beizubehalten. Bei kleinen Wellen ist das im untersuchten Bereich uneingeschränkt der Fall; diese Aussage gilt für Wellenhöhen und -längen bis etwa Seegang 3 (Ostsee). Bei höheren Wellen, entsprechend etwa Seegang 4, kommt es bei kritischen Wellenlängen ( $L_w > 1,0 L_{WL}$ ) bei Geschwindigkeiten ab 30 kn zum zeitweiligen vollständigen Austauchen der vorderen Flosse, wodurch das Boot durch den Auftrieb des Fahrtwindes gedämpfte Wippbewegungen ausführt. Für Geschwindigkeiten größer als 35 kn ist ein stabiles Fahren bei Seegang 4 (Ostsee) nicht möglich. Das Boot neigt hier bei größeren Störungen zu dynamisch bedingten Instabilitäten, die sich im Versuch als unregelmäßige Krängungen und Auslenkungen bemerkbar machten.

Diese Ergebnisse überraschen eigentlich nicht, da doch bekannt ist, daß Tragflügelboote mit flachgetauchten Tragflügeln nur begrenzt seetauglich sind.

### 3. Übertragung der Versuchsergebnisse auf die Großausführung

Während für Verdrängungsboote und auch für Gleitboote ausreichend validierte verhältnismäßig einfache Übertragungsverfahren für Widerstandsversuchsergebnisse existieren, entziehen sich Widerstandsmessungen an Modellen mit Tragflügeln auch heute noch einer einigermaßen exakten Übertragung auf die Großausführung. Ganz besonders gilt das für Hybridformen, wie das vorgestellte Boot mit Tragflächen, bei dem neben den 13 von der ITTC 1984 [2] genannten Widerstandsanteilen für Fahrt vor dem Herausheben des Schiffskörpers allein weitere 7 Widerstandsanteile der Tragflächen nach dem Herausheben wirksam sind, die alle einzeln sorgfältig bei der Umrechnung berücksichtigt werden müssen.

Da diese Prozedur wegen der teilweisen Nichterkennbarkeit des wirklichen Modellströmungszustandes an den Einzelementen eigentlich nicht praktikabel ist, muß die Umrechnung mit wesentlichen Vereinfachungen vorgenommen werden. So ist es durchaus auch heute noch üblich, sehr einfache Umrechnungsformeln anzuwenden, in denen empirische Korrekturfaktoren, die auf Großausführungsmessungen basieren, die eigentliche Korrelation übernehmen.

Für das vorliegende Boot liegen noch keine Ergebnisse von Großausführungsmessungen vor. Hoppe [3] stellt in einer sehr umfangreichen Arbeit Modellversuchsergebnisse für einen Katamaran (HYSUCAT) mit und ohne Tragflügel und Messungen mit einem Prototyp gegenüber, die für den Prototyp deutlich geringere Gleitzahlen als für das Modell ausweisen.

Geht man von diesen Ergebnissen aus, ist für eine Ermittlung des Schiffswiderstandes die folgende Beziehung [4] möglich:

$$R_{T_S} = \epsilon_M \cdot \Delta_S \cdot (1 + k)$$

Der empirische Korrekturfaktor  $k$  ist von der Geschwindigkeit bzw. vom Fahrzustand des Bootes abhängig. Für das Boot im herausgehobenen Zustand wird  $k = -0,1$  angenommen. Eine Validierung dieser Annahme kann jedoch erst durch Messungen in der Großausführung erfolgen.

## Schlußfolgerungen

Die Modellmessungen bestätigten im wesentlichen die gewünschten Zielstellungen. Allerdings konnte im Interesse der Genauigkeit nicht bis zur gewünschten Geschwindigkeit von 50 kn gemessen werden. Durch eine Extrapolation der Ergebnisse lassen sich jedoch schon erste Abschätzungen treffen. So ergibt sich als Schlepplleistung bei 38 kn ohne Umrechnung auf die Verhältnisse der Großausführung eine Größe von unter 300 kW. Extrapoliert man die Ergebnisse auf einen Wert von 50 kn, ergibt sich eine Schlepplleistung von knapp unter 500 kW. Für die Großausführung ergeben sich aber infolge der deutlich höheren Reynoldszahlen erheblich günstigere Größen, so daß Geschwindigkeiten im Bereich von 45...50 kn realistisch erscheinen. Insbesondere wirkt sich die Reibungsverringerung an den Tragflügeln aus, da bei diesen der Reibungsbeiwert nahezu etwa den doppelten Wert der Großausführung erreicht. Eine analytische Umrechnung der Ergebnisse mit herkömmlichen Verfahren erscheint gewagt, da die Vielzahl der Einflüsse mit den heute zur Verfügung stehenden Verfahren in ihrer Wechselwirkung nicht bestimmt werden kann. Unter anderem betrifft das die benetzte Fläche, die nicht eindeutig definiert werden kann. So bildet sich in den Tunneln ein Wasser-Luft-Gemisch, dessen effektiver Reibungseinfluß nicht berechnet werden kann.

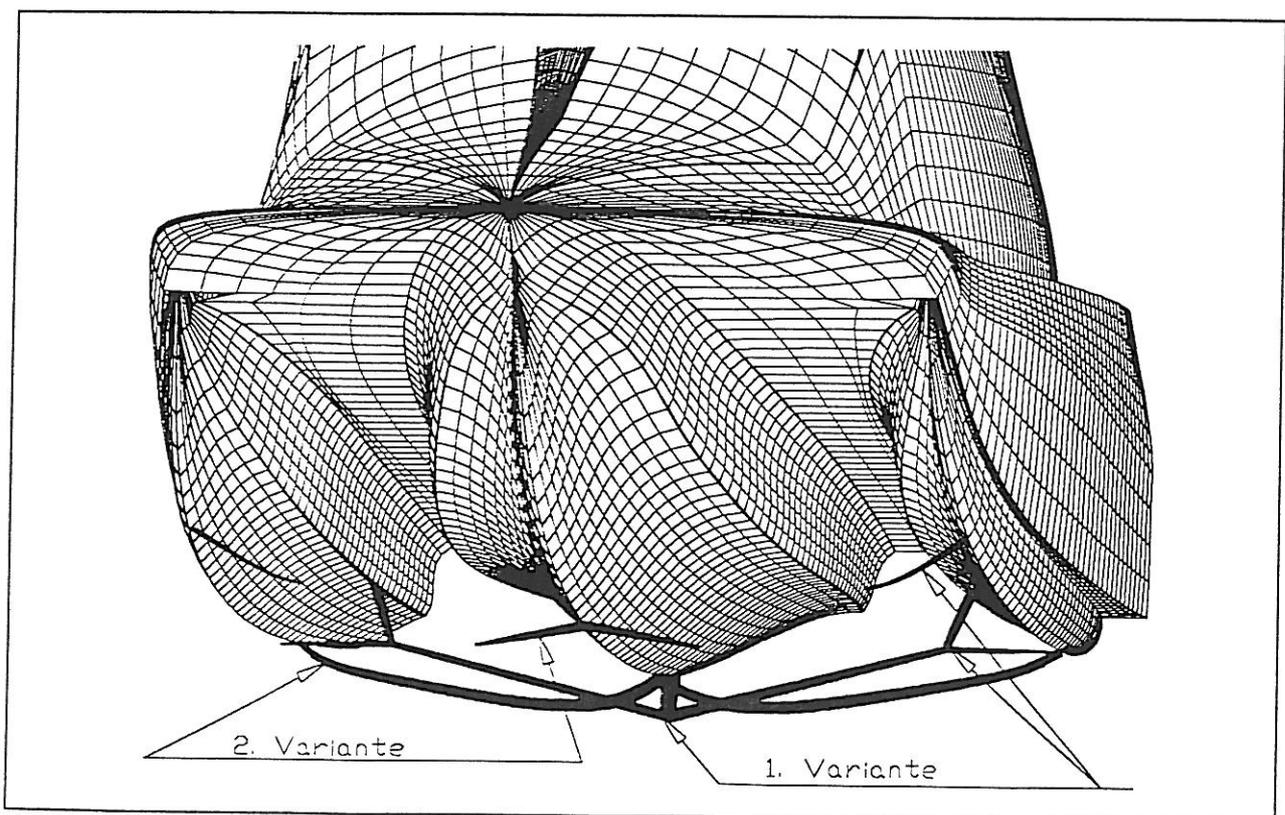


Abb. 9 Tragflügelvarianten am Trimaran

Die Selbststabilisierung erfolgt bis zur maximal gemessenen Geschwindigkeit von 38 kn bei Glattwasser und leichtem Seegang. Für diese Verhältnisse läßt sich auch ein stabiles Fahrverhalten bei höheren Geschwindigkeiten erwarten, da der Anstellwinkel der Tragfläche bei 38 kn schon sehr klein ist. Der Einfluß der Vertrimmung ist ohne Tragflügel relativ gering. Mit zunehmender Geschwindigkeit gleichen sich Trimmunterschiede aus. Mit Tragflügeln ist ein hecklastiger Trimm kritisch, da dadurch die Stabilitätsreserve vermindert wird.

Bei mittlerem Seegang ergeben sich Instabilitäten. Die Ursachen werden zum einem darin gesehen, daß bei vollem Austausch die Stabilisierungswirkung der Außenschwimmer zu gering ist. Da die vorderen äußeren Tragflügel durch einen zentrischen ersetzt wurden, konnte durch ihn auch keine Stabilisierung mehr erfolgen.

Die Lastaufteilung konzentriert sich zu stark auf den hinteren Tragflügel. Wird bei Seegang der Anstellwinkel des Rumpfes vergrößert, erhöht sich der aerodynamische Auftrieb derart, daß er die Funktion des vorderen Tragflügels übernimmt. Erst bei einem Zusammenbrechen des Luftpolsters unter dem Rumpf kommt es zu einem Absacken des Bugs. Da das Luftpolster nicht auf beiden Seiten gleichzeitig zusammenbricht, sondern stochastisch in Abhängigkeit von den äußeren Bedingungen, ergibt sich in dem Moment eine Krängung. Die Folge ist ein Gieren zu der entsprechenden Seite. Als Schlußfolgerung ergeben sich, die vorderen Tragflächen doch wie vorgesehen an den Außenschwimmern anzuordnen, sowie die Lastaufteilung dahingehend zu verändern, daß der aerodynamische Auftrieb im vorderen Bereich auch bei größeren Störungen nicht den Auftrieb der vorderen Tragfläche übersteigt. Als zusätzliche Sicherung wird ein Trimmtank vorgesehen, der bei schwerer See eine zusätzliche buglastige Vertrimmung ermöglicht, um die Sicherheitsreserve zu erhöhen. Die Wellenbildung am Schiff ist vom Fahrregime abhängig und gering. Nur im Bereich kurz vor dem Austausch ergeben sich größere Wellenwirkungen. Allerdings wird dieser Fahrzustand nur als Übergangsregime gefahren werden.

Die Untersuchungen zeigen die Vielzahl der noch offenen Fragen in bei der Berechnung schneller Systeme. Trotzdem bestätigen die Modellversuche die Möglichkeit, auch mit extremen Annahmen zu praktisch verwertbaren Aussagen zu kommen. Die Genauigkeit der verwendeten Verfahren steigt im allgemeinen mit zunehmender Geschwindigkeit.

## Literatur

- [1] Müller-Graf, B.  
Modellversuchsverfahren der VWS für schnelle Wasserfahrzeuge  
Schiff und Hafen Heft 6 Hamburg 1987
- [2] Proceedings of the 17th ITTC  
Report of the HSMV-Committee  
Göteborg 1984
- [3] Hoppe, W.  
The HYSUCAT Development  
Schiffstechnik Bd. 38 Hamburg 1991
- [4] Proceedings of the 16th ITTC  
Report of the HSMV-Comittee  
Leningrad
- [5] Peter du Cane  
High-Speed Small Craft  
Temple Press Limited Bowling Green Lane  
London
- [6] Kolysaev, B. A.; Kosorukow, A. I.; Litwinenko, W. A.; Popo, G. I. L.  
osobnosti projektirovania sudov c novim prinzipami dwischenia  
Sudostroenie  
Leningrad 1974

- [7] Basin, M. A.; Schadrin, W.P.  
gidro-aerodinamika kryla  
Sudostrenie  
Leningrad 1980
  
- [8] E.T.T. Report No. 360
  
- [9] Kruppa C.F.L  
On the design of surface piercing propellers  
7 th. GE-US Symposium Hydroacoustics Hamburg

Dipl.-Ing.  
Dirk BÜCHLER  
AIR BÜCHLER UND PARTNER  
ROSTOCK

Potsdam, 19. 03. 1993

Dipl.-Ing.  
Friedrich Mewis  
SCHIFFBAU-VERSUCHSANSTALT-  
POTSDAM GMBH

## Entwicklung eines schnellen Trimarans

### KURZFASSUNG

Als Auftrag der Yachtwerft Lehmann Groß-Leine wurde durch die AIR BÜCHLER & Partner ein Entwurf für eine schnelle 14 m Yacht für eine Geschwindigkeit bis zu 50 kn ausgelegt.

Da mit herkömmlichen Yachten derartige Leistungsparameter nicht erreicht werden können, andererseits aber auch eine hohe Zuverlässigkeit und Unkompliziertheit Wert gelegt wurde, mußte ein starres Tragflügelssystem verwendet werden. Das damit in der Regel verbundene ungünstige Seegangsverhalten wurde durch die Ausführung als Trimaran mit extrem schlanken Rümpfen verhindert. In Fahrt erfährt der Trimaran drei Auftriebskomponenten. Einmal den hydrostatischen Restauftrieb, der durch eine Resttauchung möglich wird und hauptsächlich der Schiffsstabilisierung dient. Zum anderen durch den Auftrieb des Tragflügel-systems als Hauptkomponente bei hohen Geschwindigkeiten. Eine nicht zu vernachlässigende Größe stellt jedoch noch der aerodynamische Auftrieb unter dem Rumpf und in den Tunneln dar, der durch die spezielle Formgebung der Tunnel und der Rümpfe verstärkt wird.

Das Modell des Trimarans wurde in der Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH geschleppt. Aus versuchstechnischen Gründen wurden zunächst nur Widerstandsversuche und Trimmessungen in mehreren Versuchsserien vorgenommen. Die Versuche der ersten Serie - Modell ohne Tragflügel - dienten dem Nachweis des aerodynamischen Auftriebs in den Tunneln. In der zweiten Versuchsserie wurde das Modell mit Tragflügeln ausgestattet und erneut geschleppt.

Die Übertragung der Modellversuchsergebnisse auf die Großausführung und die Geschwindigkeitsprognose war bei diesem komplexen Schiffstyp besonders schwierig. Ein Aufschluß über die Richtigkeit des gewählten Verfahrens können erst die Messungen in der Großausführung bringen.