

*Sonderdruck aus*

**Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft**

**89. Band 1995**

Springer-Verlag Berlin · Heidelberg · New York  
Barcelona · Budapest · Hongkong  
London · Mailand · Paris  
Santa Clara · Singapur · Tokio  
Printed in Germany

---



**Nicht im Handel**

Nachdruck ohne Genehmigung der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Hamburg, nicht gestattet

# Stapelläufe unter unsymmetrischen Ablaufbedingungen

Launching on Asymmetrical Conditions

Dipl.-Ing. **Matthias Fröhlich**

Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH

Dr.-Ing. **Hermann Grothues-Spork**

TU Berlin Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau

Dipl.-Ing. **Friedrich Mewis**

Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH

**Summary.** A sheet piling in parallel to the longitudinal axis of the slipway was erected to build a dry dock at the MTW Schiffswerft GmbH, Wismar. Appropriate model tests to avoid impairments at launching of ships, which will be built till finishing the dock, were given to the SVA Potsdam GmbH.

The model tests, executed with two ship models with a scale of 1 : 40, enclosed force and motion measurements under the influence of lateral wind, as well as the development of measures to avoid collisions with the sheet piling. Moreover lateral forces acted on the slipway was measured in time and quantity.

The tests have shown, that lateral wind and asymmetrical hydrodynamical forces, will be yielded to a shock at the sheet piling of both ships. Due to the observations and measurements, the use of brake-blocks which deliver a towing of the ship in oblique direction was investigated. With such arrangements it is possible to avoid collisions.

The results were used for verification of a particularly developed calculation method.

## 1 Einleitung

Im Rahmen der Modernisierung der MTW-Schiffswerft GmbH in Wismar ist der Bau eines ca. 350 m langen Trockendocks geplant. Die veranschlagte Bauzeit von etwa 2 Jahren bedeutet, daß in dieser Zeit eine Beschränkung des bisher bei Stapelläufen freien Bewegungsspielraumes im Vorhelgenbereich in Kauf genommen werden muß. Diese wird durch eine sich als notwendig erweisende Spundwand im Abstand von nur 22,5 m zur verlängerten Helgenlängsachse als nördliche Dockbegrenzung verursacht. Gleichzeitig ist damit eine erhebliche Unsymmetrie für die beim Stapellauf von Schiffen erzeugten Wellen und hydrodynamischen Kräfte verbunden.

Während sich nach Fertigstellung der Spundwand die von ablaufenden Schiffen erzeugten Wellensysteme an deren StB-Seite wie bisher frei entwickeln können und das durch den Schiffsrumpf verdrängte Hafenwasser durch ungehinderten Zustrom von dieser Seite her schnell wieder ersetzt wird, sind entsprechend freie Wasserbewegungen im schmalen Kanal zwischen Spundwand und Schiff an BB nicht mehr möglich. Es ist daher zu erwarten, daß die Längsbewegung ablaufender Schiffe nach dem Aufdrehen und Freischwimmen von Quer- und Drehbewegungen überlagert wird. Aus diesem Grund bestehen berechtigte Befürchtungen, daß es vor allem bei zusätzlichem Seitenwind zu Kollisionen mit der Wand kommen kann.

Da während einer Bauphase des Trockendocks die Spundwand dockseitig noch nicht durch aufgefülltes Erdreich abgestützt und genügend standfest sein wird, müssen zu diesem Zeitpunkt jegliche Stöße und Druckbelastungen zuverlässig vermieden werden.

Zur Klärung des Verhaltens von auf dem Helgen der Werft gebauten Schiffen bei den veränderten Ablaufbedingungen und für die Entwicklung ggf. erforderlicher Maßnahmen zur Bewegungs- und Kursbeeinflussung wurden bei der SVA-Potsdam im Juli 1994 Stapellaufmodellversuche in Auftrag gegeben. Dabei waren zunächst Prognosen für den Ablauf eines großen Containerschiffes vom Typ BV 3000 aufzustellen und anschließend das kleinere, aber völligere Modell eines Tankers vom Typ COT 20 zu untersuchen. Bei der Versuchsvorbereitung und -durchführung wurden die Erfahrungen von Grothues-Spork [1], [2] genutzt. Um in Zukunft derartige, sehr aufwendige Versuche einsparen zu können, wurden die Versuchsergebnisse genutzt, um eine Erweiterung eines von Söding [3] entwickelten Berechnungsverfahrens für unsymmetrische Ablaufbedingungen zu validieren. Die Erweiterung wurde von Schumann [4] bearbeitet und von Krüger [5] in das Methoden-Bank-System E4 eingearbeitet.

Die Richtigkeit dieser Vorgehensweise zeigte sich bereits nach weniger als einem Jahr, da durch Verzö-

gerungen im Bauablauf die beiden im Modellversuch untersuchten Schiffstypen bereits vom Stapel gelaufen waren, bevor die Spundwand erbaut wurde. Nun wird das entwickelte Rechenverfahren genutzt, um für einen dritten Schiffstyp die notwendigen Betrachtungen durchzuführen.

## 2 Allgemeine Grundlagen

Beim Stapellauf gibt es eine Reihe von mehr oder weniger festliegenden Ausgangsdaten und -bedingungen, die das Ablaufgeschehen in seinen drei Phasen beeinflussen. In der ersten Phase der Gleitbewegung auf der Bahn bis zum Aufdrehen werden die Kraft- und Bewegungsverläufe vom Ablaufgewicht des Schiffes, der Neigung, Schmierung, Flächenbelastung und Elastizität der Bahn und auch schon von den Formparametern des zunehmend eintauchenden Achterschiffes bestimmt. Bereits in der nach dem Aufdrehen beginnenden zweiten Phase mit weitgehend eingetauchtem Achterschiff und ausschließlich dann in der dritten Phase des Freischwimmens sind Wellenbildung, Wasserbewegungen im Werfthafen, ggf. Wind und zusätzliche Bremskräfte, sowie in geringerem Maße Zähigkeitskräfte die maßgebenden Einflußparameter für das Verhalten des Schiffes.

Dabei hängt das am Schiff entstehende Wellensystem nicht nur von Ablaufgeschwindigkeit und Achterschiffsform, sondern in erheblichem Maße auch von der Wassertiefe vor dem Helgen, der Topographie des Hafengrundes und den durch Hafengebrenzungen seitlich mehr oder weniger beschränkten Ausbreitungsmöglichkeiten der Wellen ab.

Alle beim Stapellauf auftretenden Kräfte und Bewegungen im Versuch modellähnlich darzustellen, ist weder möglich noch notwendig. Es sind vielmehr, je nach Aufgabenstellung, spezielle Idealisierungen und Vereinfachungen vorzunehmen und nur diejenigen Daten zu ermitteln, die im jeweiligen Fall gefragt sind. So wird als erste Idealisierung das bei den Versuchen verwendete Schiffsmodell, d.h. auch die Großausführung als starrer Körper angesehen, der auf Rollen von einer geneigten Schienenbahn abläuft. Dabei läßt sich die etwa bei Aufdrehbeginn erreichte maximale Ablaufgeschwindigkeit durch Ändern des „trockenen“ Vorlaufes auf der geneigten Schienenbahn so variieren, daß der für die Großausführung erwartete Wert mit eingeschlossen wird.

Da beim Stapellauf die Wirkungen von Massenträgheit, Wellenbildung, Wind und vor dem Helgen entstehenden Pegeländerungen die zähigkeitsbedingten Kräfte an Schiff, Hafengrund und -grenzen bei weitem übertreffen, kann im Versuch auch auf die sehr aufwendige Korrektur der am Modell maßstäblich überhöhten Zähigkeitsbeiwerte, etwa durch einen mit seiner Geschwindigkeit variierenden Reibungsabzug verzichtet werden. Wie sich in der Vergangenheit bei der Übertragung ähnlicher Versuche gezeigt hat, beein-

trächtigen derartige Idealisierungen und Vereinfachungen die Übertragbarkeit der Ergebnisse mit Sicherheit nur unwesentlich [1], [2].

## 3 Modelle

Der Modellfertigung und Versuchsdurchführung wurde ein Maßstab von 1:40 zugrundegelegt. Damit ergaben sich folgende Abmessungen für die aus Holz gefertigten Schiffsmodelle:

		BV 3000		COT 20	
		Schiff	Modell	Schiff	Modell
$L_{pp}$	m	206,2	5,155	153,0	3,825
B	m	32,2	0,805	23,0	0,575
V	m <sup>3</sup>	9359	0,146	4433	0,069
$T_m$	m	2,68	0,067	2,00	0,05

Die im gleichen Maßstab gefertigte Werfthafenanlage mit Ablaufbahn, Seitenbegrenzungen und Meßbühne ließ sich sehr zweckmäßig in einer vorhandenen Wasserbauhalle unterbringen, die zur Verfügung stand. Dabei erfolgte die modellgerechte Ausformung des Hafengrundes mit Hilfe von Betonstrich, die Seitenbegrenzungen wurden gemauert, die Spundwand wurde als Plexiglas-Sichtfenster ausgeführt (Abb. 1).

Die Längsbewegung der Schiffsmodelle auf den Schienen wurde durch eine geeignete Kombination von Laufrollen am Modell und einer Stützrolle am Ende des Modellhelgens ermöglicht (Abb. 2). Weitere an den Schienenflanken angreifende Rollen am Bug dienten zur Führung des Modells, wobei ihre Halterung gleichzeitig als Meßglied zum Erfassen von dort auftretenden Querkräften ausgebildet war (Abb. 3). Eine entsprechende Rollenführung befand sich am unteren Ende der Schienen, um in der ersten Phase des Ablaufs auch dort bereits auftretende Querkräfte zu registrieren.

Zur Simulierung von seitlichen Windkräften waren auf dem Modell zwei elektrisch betriebene Luftschrauben installiert.



Abb. 1.

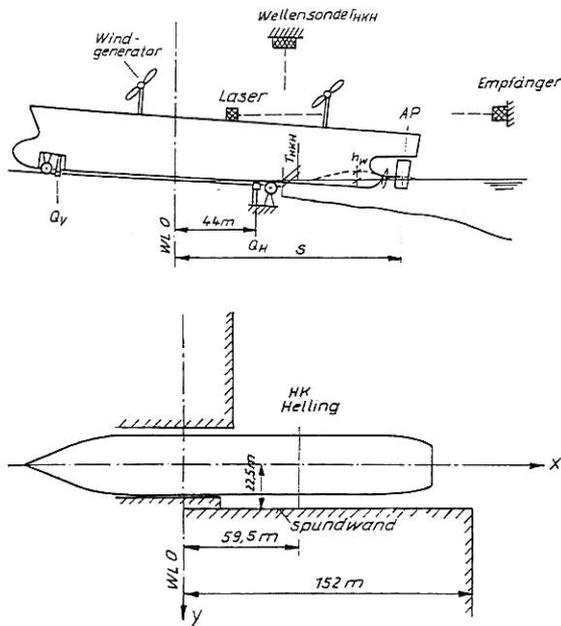


Abb. 2.



Abb. 3.

### 4 Messungen

Für die Beurteilung des Kraft und Bewegungsverlaufes bei variierten Einflußparametern und zum Abschätzen der Wirkung zusätzlicher Brems- und Führungsmaßnahmen waren im Versuch folgende Größen zu messen bzw. aufzunehmen.

- Ablaufgeschwindigkeit  
Messung mit geeichtem Tachogenerator, abspulender Faden als Antrieb
- Bahnkoordinaten beim Freischwimmen  
Erfassen der Modellbewegung mit einem Lasersystem für Bahnvermessungen
- Gierbewegungen um die z-Achse  
Auswertung von Videorecorderaufnahmen
- Annäherung des Rumpfes an die Spundwandbegrenzung  
Auswertung von Lageänderungen drehbarer Folgezeiger

- An der Spundwand auftretende Wellenhöhen  
Videoaufzeichnungen von durch Plexiglasscheibe sichtbaren Wellenhöhen
- Spiegelabsenkungen an Ende Helgen  
Messung durch Ultraschallsonde
- Evtl. auftretendes Dumpen  
Beobachtung durch Unterwasser-Videokamera
- Schubwerte der Luftschauben  
Auswertung der drehzahlabhängigen Schubkraft anhand entsprechender Eichkurven
- Querkraft an der Wiege und am Ende der Ablaufbahn  
Bestimmung über Dehnungsmeßstreifen auf der Rollenhalterung
- Zugkräfte an Bremssteinen  
Vergleich mit entsprechender Eichkurven für die Seilkräfte.

### 5 Untersuchte Einflüsse

- Ablaufgeschwindigkeit  
Bei vorgegebener Hellingneigung hängt die Ablaufgeschwindigkeit in erster Linie von Art, Auftragung und Temperatur des Schmierfettes sowie von Zustand und Flächenbelastung der Ablaufbahn ab. Da ihr Verlauf und Maximalwert nicht genügend genau vorausgesagt werden kann, wurde sie im Versuch um den etwa erwarteten Wert herum variiert.

- Wasserstand  
Der Wasserstand im Werfthafen verändert sich innerhalb bekannter Grenzen infolge von Wind und Strömungen im betreffenden Küstenbereich. Da von ihm Form und Ausbreitung der beim Stapellauf erzeugten Wellen und der Beginn des Aufdrehens mit damit möglichem Einsetzen seitlicher Bewegungen abhängen, wurde auch der Einfluß des Wasserstandes gründlich untersucht.

- Windkraft  
Bei beschränkten Auslaufmöglichkeiten können am Schiffsrumpf angreifende Windkräfte nach dem Aufdrehen und beim Freischwimmen zu unerwünschten Bewegungen und damit zu Kollisionen führen. Die jetzt auf der Werft vorgenommenen BB-seitigen Bewegungsbeschränkungen machen daher auch Versuche bei Seitenwind erforderlich, um ggf. entsprechende Sicherungsmaßnahmen entwickeln zu können.

- Wirkung von Leitblechen, Bremsschilden und Ruderlagen  
Die Länge des Ablaufweges und das Kursverhalten mit Drehbewegungen des Schiffes lassen sich durch Anordnen geeigneter Bremsschilder bzw. durch Leitbleche zur Kursbeeinflussung oder Rudervoranstellungen in begrenztem Maße verändern. Die Untersuchung derartiger

ger Elemente, bzw. Maßnahmen wurden daher ebenfalls in das Versuchsprogramm aufgenommen.

· Wirkung von Bremssteinen

Der Einsatz von Bremssteinen zur Verkürzung des Ablaufweges von Schiffen nach dem Stapellauf ist wegen der Zunahme der Schiffsgrößen in den letzten Jahrzehnten bei unverändert gebliebenen Werftabmessungen immer häufiger notwendig geworden, ebenso wie das Nutzen ihrer Wirkung zum Aufbringen von seitlich wirkenden Ablenkkraften. Dies wird vor allem auch bei Vorliegen „hydrodynamischer Unsymmetrien“ vor dem Helgen und damit erwarteten Drehbewegungen des Schiffes im Werfthafen erforderlich. Da nach Beginn der Umbauten auf der MTW derartige Unsymmetrien entstanden sind und mit seitlich wirkenden, starken Windkräften zum Stapellauftermin gerechnet werden muß, war auch die Untersuchung derartiger Bremssteine im Versuch vorgesehen. Dabei wurden sowohl ihr Gewicht und ihre Auslageposition als auch der Bremskraftangriff am Schiff variiert.

· Abbau der Unsymmetrie vor dem Helgen

Zur Abschätzung des speziellen Einflusses der auf der Werft einseitig an Backbord angebrachten Spundwand und der dadurch erzeugten Unsymmetrie vor dem Helgen wurden auch Versuchsabläufe mit einer gleichartigen Spundwand an Steuerbord durchgeführt.

## 6 Versuchsergebnisse

### 6.1 Containerschiff, Typ BV 3000

Bei ruhendem oder schwachem Wind war trotz der im Auslaufbereich vor der Helling einseitig gerammten Spundwand in keinem Falle ein unzulässig starkes Abweichen des Schiffes vom geraden Ablaufkurs zu beobachten. Der Abstand zwischen Schiff und Spundwand blieb bei allen untersuchten Wasserständen und Ablaufgeschwindigkeiten ausreichend groß. Erst bei Windgeschwindigkeiten von mehr als 10 m/s (Bft 5-6) quer zur Ablaufbahn (Wind von Steuerbord) traten bei Hochwasser erste Spundwandberührungen auf. Bei Niedrigwasser und damit später erfolgendem Aufdrehen muß dagegen erst oberhalb einer Windgeschwindigkeit von 14 m/s (Bft 7) mit Berührungen gerechnet werden.

Im untersuchten ungünstigsten Falle von Hochwasser und einer Querwindgeschwindigkeit von entspr. 18 m/s (Bft 8) stieß das Modell kurz nach dem Freischwimmen zunächst im Mittschiffsbereich an die Spundwand und nach weiterer Drehung noch einmal mit dem Bug an das äußere Ende der Spundwand.

Diese Zusammenhänge sind in der Bewegungsskizze (Abb. 4) dargestellt. In dieser Abbildung sind auch die Verläufe der Querkräfte  $Q_V$  (Messung an der ablaufenden Wiege) und  $Q_H$  (Messung ortsfest an Ende Helgen)

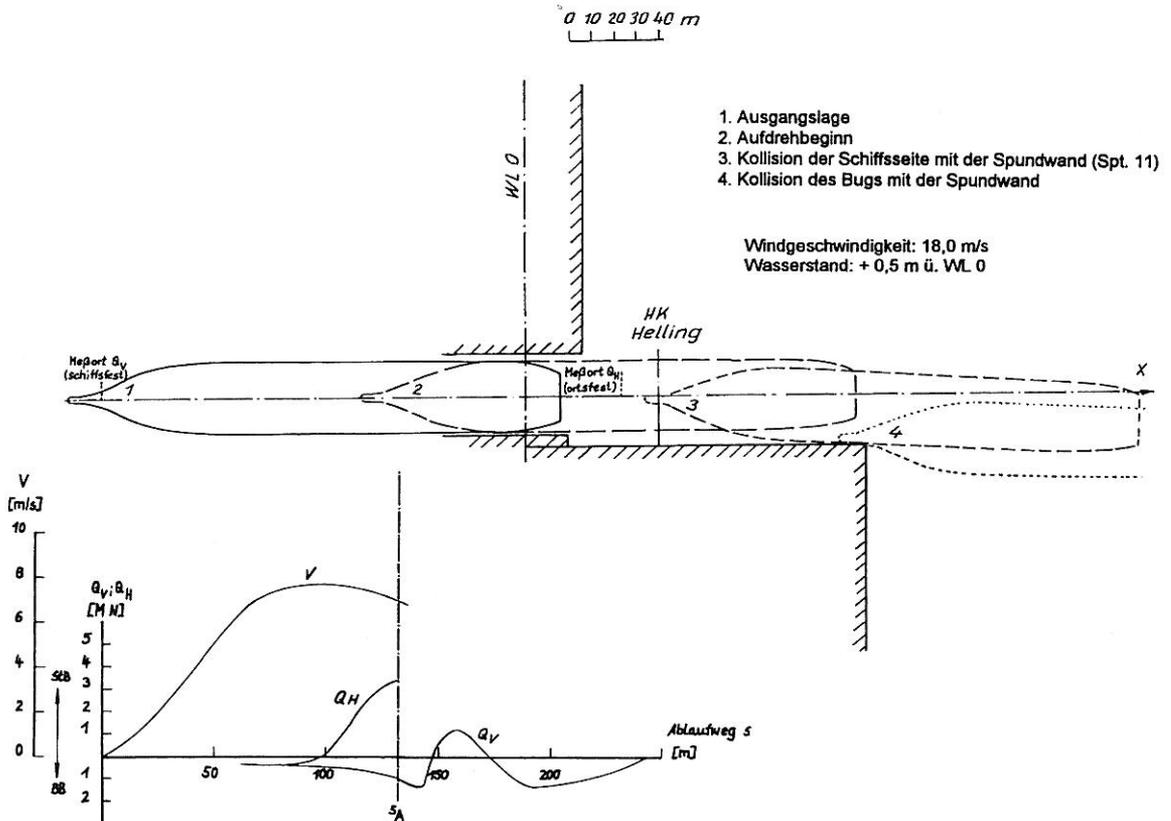


Abb. 4.

über dem Ablaufweg aufgetragen. Man erkennt den starken Anstieg von  $Q_v$  bis zum Wegpunkt des Aufdrehens  $s_A$ , wonach auch der Bug nach BB auszuwandern beginnt. Die idealisiert als Punktbelastung gemessenen Querkräfte werden in der Großausführung von der Bahnseitenführung aufgenommen, deren tragende Länge jedoch mit fortschreitendem Ablauf immer weiter abnimmt, so daß sie stark ansteigende Querkraftbelastungen aufnehmen muß.

Die auch hierbei untersuchte Wirkung von Rudervorstellungen und von zusätzlichen Leitblechen am Heck für eine günstige Kursbeeinflussung blieb in allen Fällen unzureichend gering. Erst durch den Einsatz von Bremssteinen konnte unter diesen Bedingungen ein sicheres Freikommen des ablaufenden Schiffes von der Spundwand erreicht werden. Da deren schräg nach StB wirkende Zugwirkung sofort nach Beginn des Freischwimmens einsetzen mußte, wurden die Bremssteinzugseile am Modell direkt zu diesem Zeitpunkt von Hand eingehakt.

Ein derartiges Auffangen und Mitnehmen von im Vorhelgenbereich bereitgestellten Bremssteinsystemen ist bei Stapelläufen unter den vorliegenden Bedingungen in der Großausführung recht kompliziert umzusetzen. Zu deren technischen Realisierung bedarf es seitens der Werft sorgfältige Überlegungen.

## 6.2 Tanker, Typ COT 20

Auch dieses Schiff läuft bei ruhendem oder schwachem Seitenwind ohne Störungen ab. Wegen seiner größeren Völligkeit dreht es jedoch früher auf. Dementsprechend können durch stärkere Seitenwinde und die unsymmetrisch wirkenden hydrodynamischen Kräfte hervorgerufene Drehbewegungen auch früher auftreten. Die Gefahr von unzulässigen Berührungen bei Hochwasser beginnt dementsprechend bereits bei Windgeschwindigkeiten von 7 m/s (Bft 4, Wind von Steuerbord).

Da auch bei diesem Schiffstyp Ruderanstellungen ohne merkbare Wirkung blieben, wurden, wie schon beim Typ BV 3000, schräg ziehende Bremssteine mit gutem Ergebnis untersucht und dabei entsprechende Werte für Größe und Ausgangsposition der Steine sowie den Angriffspunkt am Schiff ermittelt.

## 7 Berechnungen

### 7.1 Berechnungsmethode

Die Berechnungsmethode wurde von Schumann auf der Basis des vorhandenen Längsstapellaufprogramms weiterentwickelt. Hier sollen nur die wesentlichen angewendeten Methoden wiedergegeben werden [4]: Die Schiffsbewegung wird durch die Bewegungsgleichungen eines starren Körpers beschrieben; die Verformung des Schiffskörpers und die Schnittkräfte werden durch eine statische FE-Rechnung bestimmt.

Die Bewegungsgleichungen werden numerisch im Zeitbereich gelöst; das Vorgehen ist aus Manövrier- oder Seegangssimulationen bekannt. Für die Starrkörperbewegung wird nur die Krängung unterdrückt. Der elastische Schiffskörper wird durch finite Balkenelemente dargestellt, wobei pro Elementknoten zwei Freiheitsgrade zugelassen sind: Eine Absenkung und eine Verdrehung.

Zur Beschreibung der Wasserbewegung dienen Flachwassergleichungen. Diese Gleichungen werden mit einem impliziten Differenzenverfahren gelöst (siehe auch [3]).

Die Berechnungen wurden von Krüger [5] innerhalb des Methoden-Bank-Systems E4 mit der dort vorhandenen und nun für unsymmetrische Ablaufbedingungen erweiterten Stapellaufmethode für den Schiffstyp BV 3000 vorgenommen.

Für das Rechenmodell wurde die Schiffsform, das Hellingareal und die seitlichen Begrenzungen durch Gewässerzellen bzw. Begrenzungszellen simuliert. Die Ablaufgeschwindigkeit wurde über den Reibbeiwert auf ca. 8 m/s eingestellt. Die Rechnungen wurden für den niedrigsten Wasserstand (-0,5 m ü. N. N.) bei verschiedenen Windzuständen durchgeführt.

Der Seitenwind wird folgendermaßen modelliert: Während der Aufdrehphase wird angenommen, daß das Schiff um den Bugschlitten dreht, dieser nimmt kein Drehmoment auf. Der Bugschlitten erfährt keine seitlichen Verschiebungen, er bildet einen Momentanpol. Daher wird dort eine entsprechende Seitenkraft angebracht. Wenn das Schiff freigeschwommen ist, wird die Windeinwirkung durch eine reine aerodynamische Seitenkraft modelliert, ein eventuell auftretendes aerodynamisches Giermoment wird nicht berücksichtigt.

## 7.2 Ergebnisse der Rechnungen

### 7.2.1 Ablauf ohne Seitenwind

Das Schiff läuft offenbar mit genügendem Abstand zur Spundwand ab. Trotzdem ist es lohnenswert, einige Phänomene während des Ablaufes genauer zu betrachten: Während der Aufdrehphase ist entlang der Spundwand durch die Verengung eine erhebliche Wasserstandserhöhung zu verzeichnen, die maximale Erhebung beträgt hier +2 m auf Mitte Spundwand nach ca. 30 s. Dadurch wird zunächst das Heck des Schiffes von der Spundwand weggedrückt, und damit wird eine Gierbewegung eingeleitet. Nach 150 m Ablaufweg ist dieser Effekt maximal, der Schwerpunkt hat sich um etwa 85 cm von der Spundwand wegbewegt. Die so entstandene Wasserwelle läuft etwa mit dem Heck des Schiffes mit, wie auf den seitlichen Projektionen des Ablaufes zu sehen ist. Die Welle dissipiert naturgemäß gegen Ende der Spundwand. Gleichzeitig folgt diesem Wellenberg ein Wellental, die maximale Wasserspiegelabsenkung liegt nach 35 s am Ende der Spundwand vor, sie beträgt etwa -1 m. Durch dieses Wellental kehrt sich die Wirkung dieses Effektes um, denn

jetzt wird der Bug gegen die Spundwand gesogen. Das Schiff ist dann aber bereits freigeschwommen, es führt eine gekoppelte Gier-Seitenbewegung durch. Der Schwerpunkt nähert sich jetzt schnell der Spundwand, da, bedingt durch den achterlichen Trimm, die Querbewegung mit einer deutlichen Gierbewegung einhergeht. Es kommt zwar nicht zur Kollision mit der Wand, da das Schiff diese schon passiert hat, aber das Schiff dreht merklich.

### 7.2.2 Ablauf mit Seitenwind von 18 m/s auf die Spundwand

Zu den oben beschriebenen Effekten tritt jetzt noch die Wirkung des Seitenwindes. Während der Aufdrehphase wirkt der Wind als Moment bezüglich des Bugschlittens auf das Schiff ein. Der Einfluß des Windes drückt das Heck des Schiffes gegen die Spundwand, das oben beschriebene Wegdrücken durch einseitige Wasserstandserhöhung überwiegt jedoch noch in dieser Phase, so daß sich das Heck trotzdem zunächst von der Spundwand wegbewegt. In der Phase nach dem Freischwimmen verstärkt sich durch den Windeinfluß die Gierbewegung, gleichzeitig findet ein seitliches Versetzen statt, so daß das Schiff dann sehr schnell gegen die Spundwand treibt und nach ca. 55 s mit dieser kollidiert. Die Kollision findet schiffsseitig etwa bei Konstruktionspant 11 statt. Zu dem Zeitpunkt hat das Schiff noch eine Geschwindigkeit von ca. 6 m/s. Abbildung 5 zeigt die berechnete Bewegungsbahn.

### 7.3 Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Versuchsergebnissen

Die Rechnungen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen. Die wesentlichen Ef-

fekte werden qualitativ offenbar richtig vorausgesagt. Ungenauigkeiten liegen einmal in der Berücksichtigung von elastischen Effekten, diese haben auf die Schiffsbewegungen aber praktisch keinen direkten Einfluß, da sie im wesentlichen nur den Aufdrehzeitpunkt bestimmen. Damit wird aber - zumindest in der Rechnung - die zeitliche Einwirkdauer der Windkraft beeinflusst, denn die Rechnung berücksichtigt ein elastisches Schiff. Der Unterschied in der Vorhersage des Aufdrehpunktes zwischen Starrkörperbetrachtung und elastischer Rechnung liegt etwa bei 20 bis 25 m Ablaufweg, d. h., die elastische Rechnung ermittelt den Aufdrehpunkt weiter bahnabwärts. Das bedeutet im vorliegenden Fall, daß die Windkraft etwas später angesetzt wurde als in Modellversuchen.

## 8 Zusammenfassung

Im Rahmen der Vorarbeiten zum Bau eines neuen Trockendocks großer Abmessungen auf der MTW Schiffswerft GmbH in Wismar wurde im Vorhelgenbereich nahe der verlängerten Hellinglängsachse eine neue Spundwand gezogen. Es muß demzufolge während der Bauphase mit Beeinträchtigungen des bisher störungsfreien Ablaufes von zukünftig auf dem Helgen gebauten Schiffe gerechnet werden. Zur Klärung der erwarteten Störungen wurden entsprechende Modellversuche bei der SVA Potsdam durchgeführt. Die im Maßstab von 1:40 mit zwei Schiffsmodellen vorgenommenen Versuche umfaßten Kraft- und Bewegungsmessungen, auch bei starkem Seitenwind und die Entwicklung von Maßnahmen zum Vermeiden von Kollisionen mit der Spundwand. Weiterhin wurden Verlauf und Größe von auf die Ablaufbahn wirkenden

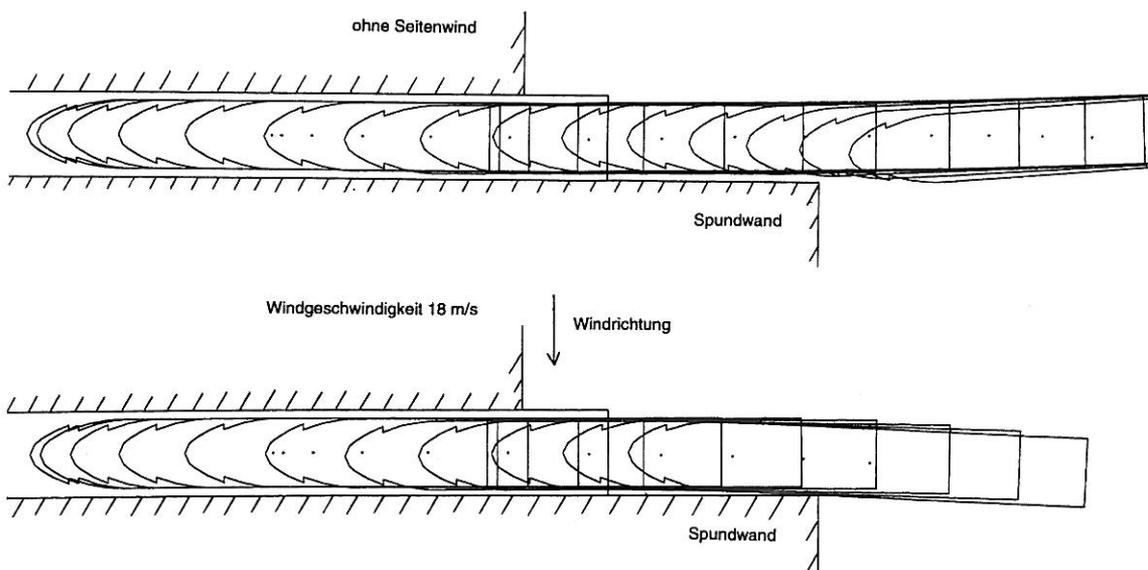


Abb. 5.

Querkräften an der Wiege und an Ende Helgen gemessen.

Aus den Versuchen ergab sich die Erkenntnis, daß bereits in der zweiten Phase mit noch am Bug bahngeführtem Schiff eine Drehung, bedingt durch Seitenwind und unsymmetrisch wirkende hydrodynamische Kräfte vor dem Helgen eingeleitet wird. Diese Kräfte bewirken beim Freischwimmen das Anstoßen beider Schiffe an die Spundwand. Aufgrund der Beobachtungen und Messungen wurde der Einsatz von schräg ziehenden Bremssteinen untersucht, womit sich diese Kollisionen vermeiden ließen.

Um in der Zukunft derartig umfangreiche Modellversuche vermeiden zu können, wurde ein Stapellauf-Rechenverfahren aus der Methodenbank E4 für unsymmetrische Ablaufbedingungen weiterentwickelt und mit den vorliegenden Versuchsergebnisse validiert. Die Übereinstimmung zwischen den Rechen- und Versuchsergebnissen ist gut.

**Symbole**

AP	-	hinteres Lot
B	m	Breite des Schiffes
BB	-	Backbord
Bft		Beaufort (Windstärke)
$h_w$	m	Wellenhöhe entlang der Spundwand bezogen auf WL 0
$L_{pp}$	m	Länge zwischen den Loten
$Q_H$	N	Querkraft an Hinterkante Spurleiste
$Q_V$	N	Querkraft am Kippschlitten

s	m	Ablaufweg
$s_A$	m	zurückgelegter Weg zum Beginn des Aufdrehens
StB	-	Steuerbord
$T_{HKH}$	m	Wasserstand an Hinterkante Helling
$T_m$	m	mittlerer Tiefgang
V	m/s	Ablaufgeschwindigkeit
WL0	-	Nullwasserstand
$\nabla$	$m^3$	Verdrängung

**Schrifttum**

- Grothues-Spork, H.; Gross, A.: Modellversuche auch für Stapelläufe. Hansa, Sonderdruck STG-Sondernummer 1970. Mitteilung Nr. 289 der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin
- Grothues-Spork, H.: Einflüsse beschränkter Wasserverhältnisse und dynamischer Vorgänge beim Stapellauf von Schiffen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau Berlin, H. 55, 1981
- Söding, H.: Das Programm Tides zur Berechnung der Wasserbewegung beim Stapellauf von Schiffen. Technische Universität Hannover, Institut für Entwerfen von Schiffen, Nr. 6, Jan. 1975
- Schumann, C.: Beschreibung des Längsstapellauf-Programms „Lostas“. Institut für Schiffbau der Universität Hamburg, Schrift Nr. 2410, März 1994
- Krüger, S.: Untersuchung eines Stapellaufes unter unsymmetrischen Ablaufbedingungen. Unveröffentlichter FSG-Bericht, Juli 1995
- Fröhlich, M.: Ergebnisse der Stapellaufversuche für die MTW-Schiffswerft GmbH. SVA-Bericht Nr. 2086, Potsdam, November 1994

**Erörterungen**

Dipl.-Ing. Carsten Schumann, Hamburg: Berücksichtigung der Massenträgheitsmomente und der Reibung beim Stapellauf

In der schriftlichen Fassung des Vortrages wurde schon mit dem nicht vorgenommenen Reibungsabzug angedeutet, daß es nicht möglich ist, die Versuche vollständig ähnlich auszuführen. Dieser Fehler wird die Aussagekraft der Versuche sicher nicht beeinträchtigen, da die absolute Größe des Reibungswiderstandes meist klein gegenüber den anderen Widerstandsanteilen und der Schlittenreibung ist. Ich möchte jedoch auf zwei weitere Fehler hinweisen, die ich für bedeutender halte:

- Neben dem Massenschwerpunkt sollten auch die Massenträgheitsmomente ähnlich nachgebildet werden. Insbesondere das Trägheitsmoment um die Schiffshochachse halte ich für wichtig, wenn das Gierverhalten des Schiffes beurteilt werden soll.
- Damit das Bewegungsverhalten des Modells und der Großausführung zueinander ähnlich sind, müssen alle auf das Schiff wirkenden Kräfte nachgebildet werden. Dazu gehört auch die Reibung der Schlitten auf der Ablaufbahn. In der Abbildung ist beispielhaft die

Ablaufgeschwindigkeit über dem Ablaufweg mit und ohne Schlittenreibung aufgetragen. Dabei wurde, wie bei den hier ausgeführten Versuchen, eine vorgegebene Geschwindigkeit zum Aufdrehzeitpunkt eingehalten. Bei dem Modellversuch ohne Reibung steht das Modell zu Beginn des Versuchs weiter bahnabwärts und erreicht auch seine größte Geschwindigkeit weiter bahnabwärts. Durch die verschiedenen Geschwindigkeitsverläufe werden sich die Wellen unterschiedlich entwickeln.

Konnte nach den Versuchen festgestellt werden, daß die beschriebenen Fehler die wesentliche Aussage der Versuche (Berührung der Spundwand) nicht in Frage stellen?

Prof. Dr.-Ing. Heinrich Söding, Institut für Schiffbau, Hamburg: Simulierung der Reibung beim Modellversuch Stapellauf

Bei vielen Stapelläufen zehrt die Schlittenreibung den größten Teil der potentiellen Energie des Schiffes auf. Wäre es in solchen Fällen nicht sinnvoll und möglich, die am rollengelagerten Modell fehlende Reibung durch eine computergeregelte Winde künstlich aufzubringen, um über den gesamten Ablauf im Modellversuch die entsprechende Geschwindigkeit wie beim großen Schiff zu haben?

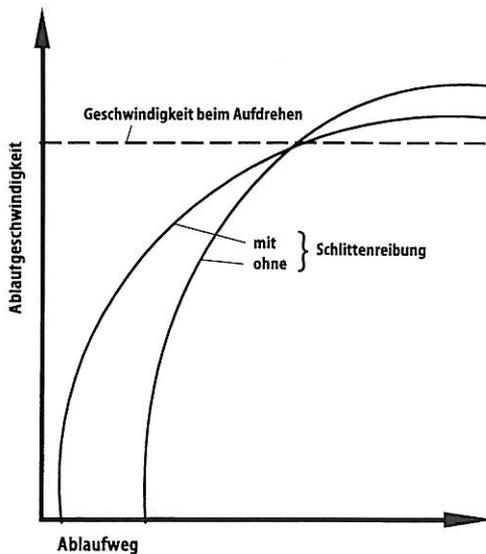


Abb. E1.

Dipl.-Ing. Matthias Fröhlich, Potsdam, Dr.-Ing. Hermann Grothues-Spork, Berlin, und Dipl.-Ing. Friedrich Mewis, Potsdam (Schlußwort)

Zum Diskussionsbeitrag von Herrn Carsten Schumann:

Bei Modellversuchen für Stapelläufe ist man gezwungen, ähnlich wie bei anderen Modellversuchen, einige Vereinfachungen vorzunehmen, um die Versuche unter vertretbarem Aufwand durchführen zu können. Um zu überprüfen, ob die Vereinfachungen zulässig sind, ohne das Ergebnis zu gefährden, werden im Vorfeld der Untersuchungen Abschätzungen zu den möglichen auftretenden Fehlern gemacht und die bisher angewandten Methoden kritisch überprüft. Im vorliegenden Fall wurde tatsächlich bewußt auf den Reibungsabzug zum Ausgleich des Reibungswiderstandes verzichtet, weil der Einfluß als klein eingeschätzt wurde.

Zu der ersten Frage ist zu sagen, daß das Massenträgheitsmoment um die Schiffshochachse tatsächlich eingehalten werden sollte, da die Gierbewegungen des Schiffes von der Massenverteilung abhängig sind. Bei den Versuchen wurde auf eine homogene Massenverteilung geachtet, das Trägheitsmoment wurde jedoch nicht eingetrimmt. Der aufgetretene Fehler wird als gering eingeschätzt.

Zu der 2. Bemerkung von Herrn Schumann - Berücksichtigung der Schlittenreibung bei der Simulation des Verlaufs der Ablaufgeschwindigkeit - ist ebenfalls zu sagen, daß eine solche Simulation möglichst genau erfolgen sollte, aus den genannten Gründen jedoch nicht genau eingehalten werden kann. Im vorliegenden Fall kann von einer Ähnlichkeit zur Großausführung ausgegangen werden, da die maximale Ablaufgeschwindigkeit ausschließlich über den Ablaufweg eingestellt wurde und das Modell in seinem Ablaufpunkt nahezu aus der der Großausführung entsprechenden Ruhelage gestartet wurde. Im weiteren hat die Untersuchung verschiedener Ablaufgeschwindigkeiten (zwischen  $v = 6$  und  $8$  m/s) gezeigt, daß der damit begangene Fehler einen vernachlässigbar kleinen Einfluß auf das Gesamtergebnis hatte.

Zum Diskussionsbeitrag von Herrn Prof. Dr. Söding:

Eine Regelung der Ablaufgeschwindigkeit über eine Vorrichtung, wie z. B. eine computergeregelte Winde, ist möglich und erstrebenswert. Ich glaube aber nicht, daß dieser hohe technische Aufwand für derartige Versuche, die meistens unter erheblichem Zeit- und Kostendruck stattfinden, gerechtfertigt ist, da der auftretende Fehler nicht von erheblicher Bedeutung für das Versuchsergebnis ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß bei derartigen komplexen Aufgabenstellungen immer Kompromisse bezüglich der Einhaltung der Ähnlichkeitsgesetze gemacht werden müssen. Diese Kompromisse müssen jedoch immer im Einklang mit der Aufgabenstellung stehen. Speziell unter den gegenwärtigen Bedingungen sollte man sich nicht davon leiten lassen, alles so genau wie möglich zu messen. Zeigt die Abschätzung möglicher Fehler vielmehr, daß die geforderte Gesamtaussage nicht beeinflusst wird, erscheint der Aufwand zur Schaffung kostenintensiver Laborbedingungen, speziell für die Bearbeitung von Industrieaufträgen, nicht gerechtfertigt.