

**SCHNELLE SCHIFFSEINHEITEN – HYDRODYNAMISCHE
MODELLIERUNG UND ÖKONOMISCHE ASPEKTE**

***FAST SHIPS – HYDRODYNAMIC MODELING AND
ECONOMIC ASPECTS***

von / by

Moustafa ABDEL-MAKSOU

Cornelia HEINKE

1 Einleitung

Größe und Geschwindigkeit von Binnenschiffen werden durch die naturgegebene räumliche Beschränkung der Wasserstraßen und der Schleusenanlagen begrenzt. Dies führt zu einer reduzierten Transportkapazität, aus welcher sich wirtschaftliche Nachteile ergeben können.

In letzter Zeit ist bei neu gebauten Schiffen, insbesondere bei Container-, Tank- und Fahrgastschiffen, zu beobachten, dass die Geschwindigkeit und in vielen Fällen die Schiffsabmessungen deutlich zugenommen haben. Eine kurze Übersicht über die in den letzten Jahren gebauten oder umgebauten Schiffe, welche durch ihre Größe oder ihre Geschwindigkeit diese Tendenz bestätigen, wird im Appendix I gegeben.

Als Beispiele für neue große und schnelle Schiffe sind Amistade und Jowi zu nennen. Sie sind durch die Parameter ($L \times B \times T$) 135,5 x 16,84 x 3,6 m charakterisiert und verfügen über eine Transportkapazität von 470 TEU (5 Lagen). Ihre Maschinenleistung beträgt 2060 kW. Die maximale Geschwindigkeit im tiefen Wasser beträgt 23 km/h.

Zwar nimmt die durch ein Schiff verursachte hydraulische Belastung der Wasserstraße mit wachsender Schiffsgröße und -geschwindigkeit zu, aber durch gezielte Gestaltung der Schiffsform und die Auslegung des Antriebssystems kann diese Belastung deutlich verringert werden. Die hydraulische Belastung entsteht durch die Wellenbildung am Schiff, welche die Uferbefestigung beeinträchtigen kann, und durch die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit am Schiffsrumpf und im Propellerstrahl, wodurch die Gewässersohle in Mitleidenschaft gezogen wird.

Um beim Schiffsentwurf eine Minimierung der hydraulischen Belastung der Wasserstraße zu erreichen, ist es erforderlich, die Schiffsumströmung im begrenzten Kanalquerschnitt gut zu erfassen. Dafür liegen Rechenverfahren vor, die ursprünglich zwar für die Berechnung der Schiffsumströmung in unbegrenztem Wasser entwickelt wurden, aber auch durch die entsprechenden Randbedingungen in der Lage sind, den begrenzten Querschnitt der Wasserstraßen zu berücksichtigen.

Aufgrund der Größe der Laderäume werden die Vor- und Hinterschiffsbereiche so klein wie möglich gehalten. Damit wird der Rumpf eines Binnenschiffes durch einen langen parallelen Mittelteil gekennzeichnet. Dies führt zu einer starken Änderung der Krümmung des Schiffsrumpfs an der vorderen und hinteren Schulter. Durch den begrenzten Tiefgang wird der Durchmesser des einsetzbaren Propellers limitiert. Zur Vergrößerung des Durchmessers kommen häufig getunnelte Hinterschiffsformen zum Einsatz. Zur Re-

duzierung der Propellerbelastung werden Zweischrauber und in manchen Fällen Dreischrauber eingesetzt. Außerdem kommen häufig zwei Ruderanlagen und ein oder zwei Querstrahlruder zum Einsatz. Die oben genannten Gegebenheiten führen zu äußerst komplizierten Schiffsformen, die im Vergleich zu Hochseeschiffen deutlich höhere Ansprüche an jedes Rechenverfahren stellen. Schiffsgeschwindigkeit und Wassertiefe haben einen großen Einfluss auf den Schiffswiderstand. Dies wird durch die Froudesche Tiefenzahl F_{nh} wie folgt definiert,

$$F_{nh} = \frac{V_{Schiff}}{\sqrt{g h}},$$

wobei: V_{Schiff} die Schiffsgeschwindigkeit [m/s], h die Wassertiefe [m] und g die Gravitationskonstante [m/s^2] sind. Wenn $V_{Schiff} = \sqrt{g h}$, d. h. $F_{nh} = 1$, spricht man von einer kritischen Froudeschen Tiefenzahl, bei welcher ein extremer Leistungsbedarf für das Schiff entsteht. Grund hierfür ist die Änderung der Eigenschaften des Wellensystems des Schiffes. Die meisten Binnenschiffe arbeiten im Bereich $F_{nh} = 0.5 - 0.6$, die schnellen Binnenschiffe im Bereich $F_{nh} = 0.7 - 0.9$. In diesem Fall spricht man vom unterkritischen Bereich. Schiffe, die im überkritischen Bereich $F_{nh} \geq 1.1$ arbeiten, besitzen besondere Schiffsformen, wie Gleitkatamarane oder Schnellboote, welche den Leistungsbedarf in diesem Geschwindigkeitsbereich reduzieren können. Weitere Informationen über geeignete Schiffsformen für schnelle Schiffe sind in [1] und [2] zu finden.

In der vorliegenden Veröffentlichung beschränkt sich die Betrachtung auf Schiffe, die in einem unterkritischen Froudeschen Tiefenzahlbereich arbeiten. Es werden verschiedene Verfahren für die Berechnung der Schiffsumströmung unter Berücksichtigung des begrenzten Kanalquerschnitts aufgeführt und Beispielsergebnisse vorgestellt.

2 Hydrodynamische Modellierung

2.1 Wellenbildung

Für die Berechnung der Wellenbildung am Schiff im Kanal gibt es zwei Kategorien von Verfahren. In der ersten Kategorie wird die Viskosität des Wassers vernachlässigt und eine Potentialströmung vorausgesetzt. In der zweiten Kategorie der Verfahren wird die Viskosität des Wassers berücksichtigt. In diesem Fall wird die Strömung durch die Lösung der Reynoldsgemittelten Navier-Stokes-Gleichungen bestimmt.

Die Verfahren für die Berechnung der reibungsfreien Strömung zeichnen sich durch kurze Rechenzeit aus, aber ihrer Genauigkeit sind auf Grund der verwendete-

ten mathematischen Modelle Grenzen gesetzt. Sie eignen sich für die Untersuchung von Entwürfen im Anfangsstadium, welche noch zahlreichen Modifikationen unterworfen sind. Für die Endphase eines Projekts müssen auf Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen basierende Rechenverfahren eingesetzt werden. Diese Verfahren benötigen im Vergleich zu den Verfahren für die Berechnung der reibungsfreien Strömung deutlich mehr Rechenkapazität und Rechenzeit, aber sie bieten umfassendere Informationen über das Strömungsfeld, und die Genauigkeit der Berechnungen ist wesentlich höher.

Die Berechnung der Wellenbildung am Schiff ist in der ersten Phase des Projekts von großer Bedeutung, da hier der Verlauf der Spantarealkurve und die Spantenformen in bezug auf minimalen Widerstand des Schiffes begutachtet und optimiert werden können. Als ein Beispiel für ein modernes Verfahren für die Berechnung der Wellenbildung am Schiff wird das Verfahren KELVIN beschrieben. Das Verfahren benutzt die nichtlineare Rankine-Quell-Methode; d. h. die kinematische und die dynamische Randbedingung an der Wasseroberfläche werden iterativ an Kollokationspunkten, die auf der verformten Wasseroberfläche liegen, erfüllt [3]. Dazu werden Punktquellen oberhalb der Wasseroberfläche angeordnet. Die Oberflächen des Schiffes und des Wassers werden in eine große Anzahl von Patches aufgeteilt. Die Körper-Randbedingung wird durch die Anordnung von Punktquellen innerhalb des Rumpfes jeweils mittig hinter den Oberflächenstücken (Patches) erfüllt. Die Quellstärke wird so bestimmt, dass der Durchfluss durch alle Oberflächenstücke verschwindet. Auch die Integration der Druckkraft auf die benetzte Schiffsoberfläche wird nach der Patch-Methode vorgenommen, indem an den vier Ecken jedes Oberflächenstückes die Quellstärke und die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt werden und damit der Mittelwert des hydrodynamischen Drucks über das Patch angenähert wird.

Am Anfang der Berechnung wird eine glatte Wasseroberfläche angenommen. Nach der ersten Iteration werden die Wellenbildung und die Druckverteilung am Schiff bestimmt. Die Integration des Drucks an der Schiffsoberfläche liefert den Schiffswiderstand und die neue Schwimmlage des Schiffes, d. h. die parallele Tauchung und Vertrimmung. Danach wird das Schiff in die neue Schwimmlage gebracht und das Rechengitter auf dessen Oberfläche und auf der berechneten Verformung der Wasseroberfläche neu generiert [4]. Die Iterationen werden so lange fortgesetzt bis keine Änderung der Schwimmlage des Schiffes oder der Verformung der Wasseroberfläche mehr auftritt.

Das Verfahren berechnet die Wellenbildung und die fahrtbedingte Schwimmlageänderung eines symmetri-

schen oder unsymmetrischen Ein- oder Mehrkörperschiffes in gleichmäßiger Fahrt voraus. Das Verfahren kann die Wellenbildung des Schiffes in unendlicher sowie in begrenzter Wassertiefe berechnen. Die Begrenzung der Wassertiefe sowie ein rechteckiger Querschnitt wird durch die Spiegelung der Quellenverteilung modelliert. Ein beliebiger Kanalquerschnitt kann durch die Vernetzung der Kanalwände und das Einbeziehen ihrer Quellen- bzw. Senkenverteilung in der Berechnung berücksichtigt werden, vorausgesetzt, dass der Kanalquerschnitt in der Fahrtrichtung konstant bleibt.

Für die Behandlung der komplizierten Geometrie von Binnenschiffen ist in dem Verfahren das CAD-System Open CASCAD von der Firma EADS Matra Datavision integriert. Damit verfügt das Verfahren über umfangreiche Möglichkeiten, die Geometrie des Schiffes während der numerischen Berechnung zu behandeln. Zur Demonstration der Leistung des Rechenverfahrens werden Rechenergebnisse für ein Binnenschiff herangezogen, die im Rahmen eines laufenden gemeinsamen Vorhabens mit der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V. Duisburg (gefördert durch das BMBF) entstanden sind. Das untersuchte Schiff ist ein 110 m langer getunnelter Einschrauber. Das Schiff hat einen Tiefgang von 3 m. Die Schiffsgeschwindigkeit beträgt 4.0 m/s (14.4 km/h). Die Berechnungen wurden für vier Froudesche Tiefenzahlen $F_{nh} = 0.45, 0.54, 0.57, 0.6$ durchgeführt, d. h. das Verhältnis zwischen Wassertiefe und Tiefgang war $H/T = 2.7, 1.83, 1.67, 1.5$.

Die Abbildungen 1 und 2 stellen die Druckverteilung am Vor- und Hinterschiff dar. Hohe Werte sind in rot, niedrige Werte in blau dargestellt. Die Rechenergebnisse zeigen einen starken Druckabfall an den vorderen und hinteren Schultern (siehe dunkelblaue Bereiche). In diesen Bereichen treten die maximalen Geschwindigkeiten am Schiffsrumpf auf und verursachen erhöhte Wandschubspannungen nicht nur auf dem Schiffsrumpf, sondern auch in dem umgebenden Bereich auf der Sohle.

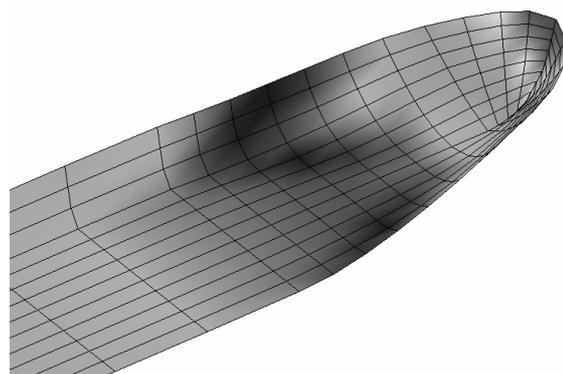


Abb. 1: Druckverteilung am Vorschiff

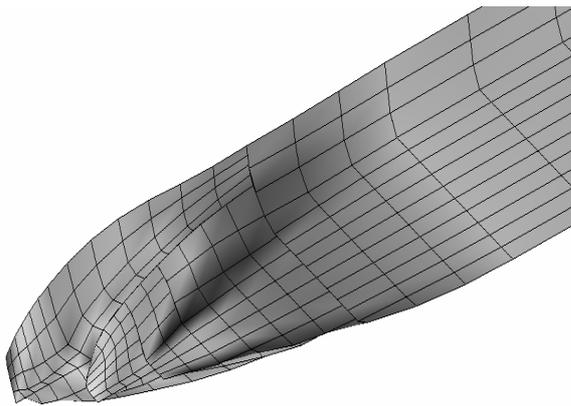


Abb. 2: Druckverteilung am Hinterschiff

Die Abbildung 3 zeigt die Zunahme der Wellenbildung mit abnehmender Wassertiefe, wobei Wellenberge rot und Wellentäler blau gekennzeichnet sind. Das Rechenverfahren lässt die Berechnung der brechenden Wellen nicht zu. Deshalb wird sein Einsatz bei extrem geringer Wassertiefe durch eine möglicherweise auftretende Wellenbrechung eingeschränkt.

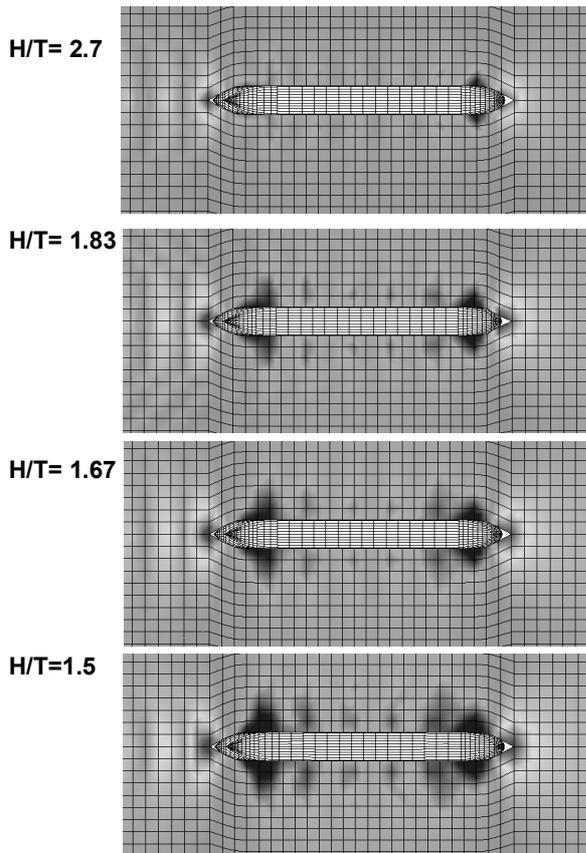


Abb. 3: Einfluss der Wassertiefe auf die Wellenbildung am Schiff

Abbildung 4 zeigt die Wellenbildung in einem rechteckigen Kanal. In Abbildung 5 ist das Schiff in einem beliebigen Kanalquerschnitt dargestellt. Das Schiff fährt hier außer Mitte der Fahrinne.

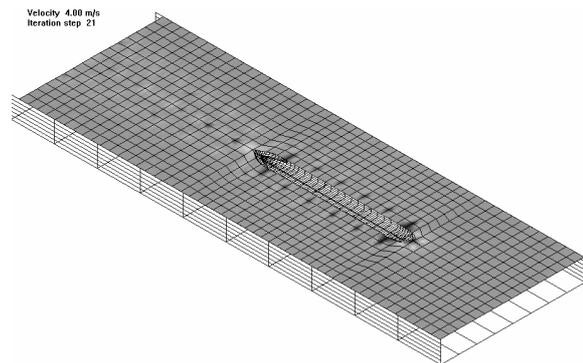


Abb. 4: Kanaleinfluss, Schiff in der Mitte der Fahrinne



Abb. 5: Schiff in beliebigem Kanalquerschnitt, außer Mitte der Fahrinne

Abbildung 6 zeigt die unterschiedliche Wellenbildung auf beiden Seiten des Schiffes. Die Druckverteilung auf das Schiff und auf den Kanalboden ist in Abbildung 7 zu sehen.

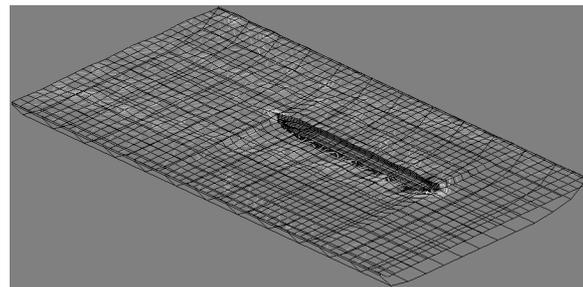


Abb. 6: Wellenbildung am Schiff im Kanal, Schiff außer Mitte der Fahrinne

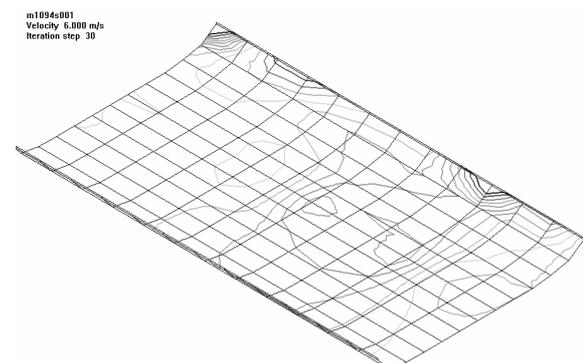


Abb. 7: Druckverteilung am Kanalboden

Für die Berechnung der Wellenbildung am Schiff im Kanal unter Berücksichtigung der Viskosität eignet sich das Rechenverfahren COMET. In diesem Verfahren werden die Massenerhaltungsgleichung und die Impulserhaltungsgleichungen nach der Finite-Volumen-Methode gelöst. Alle Variablen befinden sich in der Mitte der Kontroll-Volumina. Die Erhaltungsgleichungen werden über jedes einzelne Kontrollvolumen

integriert. Das Rechenverfahren erlaubt die Verwendung von beweglichen Gittern bzw. Teilgittern in allen drei Koordinatenrichtungen. Dies ermöglicht die Simulation der Änderung der Schwimmhöhe des Schiffes, der relativen Bewegung des Schiffes zum Kanal, der Drehung des Propellers usw. Verschiedene Turbulenzmodelle stehen in dem Verfahren zur Verfügung, wie z. B. das $k-\epsilon$ -Modell in Standard- und modifizierter Form nach Chen und Kim, und auch das $k-\omega$ -Modell nach der originalen Formulierung von Wilcox und der modifizierten Formulierung von Menter.

Für die Berechnung der freien Wasseroberfläche wird die Strömung des Wassers wie auch die der Luft berechnet, ohne dass beide Fluide explizit getrennt werden. Die Berechnung der freien Wasseroberfläche erfolgt durch die Gleichung für „void fraction“, welche den Volumenanteil der jeweiligen Phase beschreibt. Zur Erhaltung eines scharfen Übergangs zwischen Wasser und Luft an der Wasseroberfläche wird das „High-Resolution Interface-Capturing scheme“ (HRIC) verwendet. Das Rechenverfahren ist in der Lage, brechende Wellen zu berechnen [6].

Für die Darstellung der Möglichkeiten des Verfahrens COMET werden Ergebnisse aus dem Bericht [7] herangezogen. Das verwendete Rechengitter für das Binnenschiff ist in Abbildung 8 dargestellt. Das Unterwasserschiff wurde nach oben verlängert, um die Wechselwirkung zwischen Luft und Wasser, d. h. die Wellenverformung, besser zu erfassen. Abbildung 9 zeigt die Wellenbildung am Schiff. Hier ist zu bemerken, dass die Rechnung noch nicht bis zur vollen Erreichung der Konvergenz durchgeführt wurde. In der Abbildung ist ein starkes Wellental an der hinteren Schulter des Schiffes festzustellen.

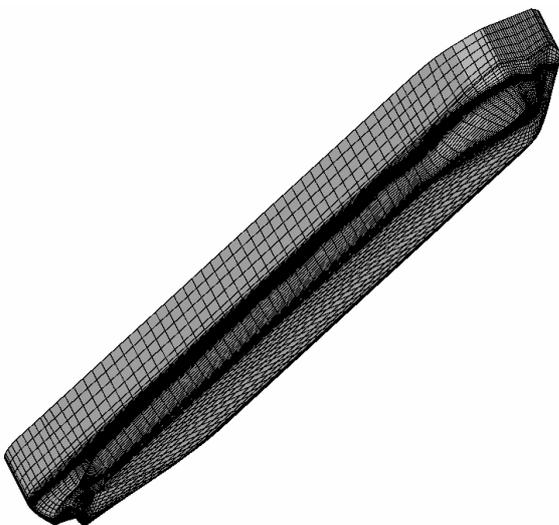


Abb. 8: Rechengitter am Schiff

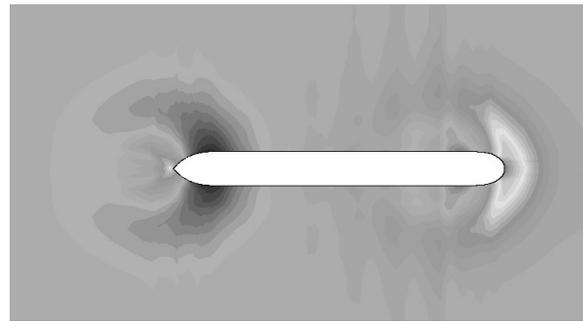


Abb. 9: Wellenbildung am Schiff

Abbildungen 10 und 11 zeigen die Druckverteilung am Schiff und auf der Kanalsohle. Die niedrigsten Drücke treten hier im Bereich der hinteren Schiffsschulter auf.

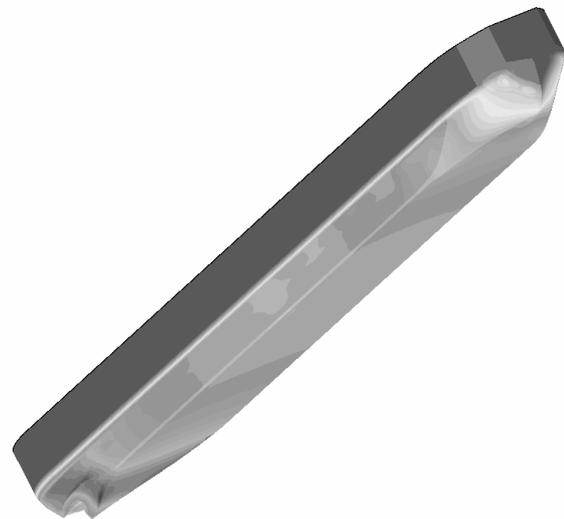


Abb. 10: Druckverteilung am Schiff

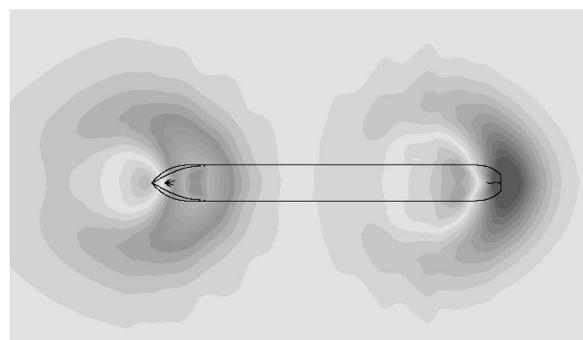


Abb. 11: Druckverteilung auf der Sohle

Die Abbildungen 12 und 13 stellen die Wandschubspannung am Schiff und auf der Kanalsohle dar. Erwartungsgemäß treten die maximalen Werte im Bereich der vorderen und hinteren Schultern auf, wobei die Werte für die hintere Schulter deutlich höher sind.



Abb. 12: Wandschubspannung am Schiff

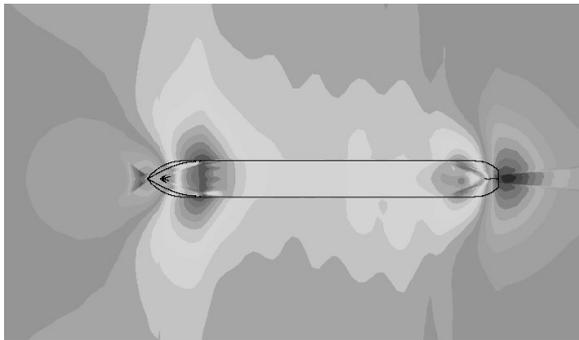


Abb. 13: Wandschubspannung auf der Sohle

2.2 Schiffsumströmung mit Antrieb

Zur Berechnung der viskosen Schiffsumströmung werden die Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen (RANSE) und die Kontinuitätsgleichung numerisch gelöst.

Die Turbulenzmodellierung für Schiff-Propeller-Konfigurationen soll in der Lage sein, eine starke Änderung der lokalen Geschwindigkeit in der Wandnähe an bestimmten Bereichen am Schiff durch den Propellerstrahl zu behandeln. Zur Modellierung der Reynolds-Spannungen kann das SST-Turbulenzmodell eingesetzt werden. Darin werden das $k-\varepsilon$ -Modell im Außenbereich der Strömung und das $k-\omega$ -Modell im Innenbereich verwendet. In Abhängigkeit von der lokalen Geschwindigkeit wird im Innenbereich der Grenzschicht zwischen einer skalierbaren Formulierung der Wandfunktion und dem $k-\omega$ -Modell gewechselt.

Als Beispiel für eine Methode für die Berechnung der Schiffsumströmung mit arbeitendem Propeller wird das Verfahren CFX-TASCflow vorgestellt [8]. Für die Diskretisierung dieser partiellen Differentialgleichungen wird das Finite-Volumen-Verfahren angewendet.

Dazu wird der Lösungsraum in einzelne Kontrollvolumina aufgeteilt. Die zu lösenden Gleichungen werden über diese Volumina integriert, diskretisiert und zu einem linearen Gleichungssystem approximiert.

Zur Simulation der Wirkung eines Antriebssystems in der viskosen Strömungsberechnung können verschiedene Rechenmodelle verwendet werden. Die Modelle können in drei Kategorien eingeteilt werden: stationär, quasi-stationär und instationär. Die Auswahl des Propellermodells hängt von der Zielstellung der Berechnung, der verfügbaren Bearbeitungszeit und der Berechnungskapazität ab.

2.2.1 Stationäres Verfahren

Der Propeller oder der Rotor des Antriebssystems wird durch eine Scheibe ersetzt, deren Durchmesser dem Flügeldurchmesser entspricht und deren Dicke sich aus dem Abstand zwischen der Eintritts- und Austrittskante der Flügel ergibt. Die Simulation der Wirkung des Antriebs auf die Strömung erfolgt durch die Verteilung eines dreidimensionalen Kraftfeldes in der Scheibe. Das Kraftfeld ist abhängig von der Verteilung des Schubes und des Drehmomentes des Propellers bzw. des Rotors. In der SVA Potsdam wird das Tragflächenverfahren VORTEX benutzt, um die Schub- und Drehmomentenverteilung eines Propellers zu ermitteln. Die Berechnung wird iterativ ausgeführt. Nach einer Anzahl von Iterationen werden die Daten der Propellerzuströmung und des Schiffswiderstandes aktualisiert und zum Nachrechnenverfahren des Propellers übergeben. Danach wird die neue Schub- und Drehmomentenverteilung sowie die zugehörige Drehzahl bestimmt. Die Iterationen werden solange fortgesetzt, bis sich keinerlei Änderungen im Nachstromfeld mehr ergeben.

2.2.2 Quasi-stationäres Verfahren

Für die Berechnung der viskosen Umströmung um ein Schiff mit einem Antriebssystem unter Berücksichtigung der vollständigen Geometrie des Antriebssystems wird das Berechnungsgebiet in einen stationären Teil um das Schiff und den feststehenden Teil des Antriebssystems und einen rotierenden Teil um den Propeller bzw. den Rotor eingeteilt. Im ersten Teil wird ein ortsfestes kartesisches Koordinatensystem genutzt. Die Strömung um den Propeller bzw. den Rotor wird in einem rotierenden Koordinatensystem berechnet, dessen Drehachse auf der Drehachse des Antriebs liegt. Die Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen enthalten in einem rotierenden Koordinatensystem zusätzliche Terme im Vergleich zu denen in einem feststehenden System.

Zur Simulation der Wirkung des Propellers bzw. des Rotors wird an der Schnittstelle zwischen dem rotierenden und dem stehenden Rechengitter eine Gleitrandbedingung definiert. Da hier keine Mittelung der Informationen stattfindet, werden die Berechnungen instationär durchgeführt.

Die Kräfte und die Momente am Propeller bzw. am Rotor werden durch Integration der berechneten Drücke und Wandschubspannungen auf den Flügeln bestimmt. Die quasi-stationäre Berechnung basiert auf der Annahme, dass für jede Winkelposition des Propellers bzw. des Rotors eine stationäre Lösung existiert. Die Berechnungen werden für einen oder mehrere Winkel durchgeführt. Ergebnisse dieser Berechnungen sind u. a. die Druckverteilung am Schiff und auf den Antrieben, sowie der effektive Nachstrom für die betrachtete Winkelstellung.

2.2.3 *Instationäres Verfahren*

Die instationäre Berechnung erfolgt ähnlich der quasi-stationären Berechnung, aber die Berechnungen werden instationär für alle Winkelstellungen des Propellers bzw. des Rotors in Winkelschritten von 2° bis 5° durchgeführt. In jedem Zeitschritt wird das numerische Gitter des Propellers gedreht und die Berechnung fortgeführt. Die Rechenergebnisse enthalten die Geschwindigkeits- und Druckverteilungen für jede betrachtete Winkelstellung.

Als Beispiel für die Möglichkeiten des Verfahrens zur Berechnung der instationären Umströmung eines Binnenschiffes mit arbeitendem Propeller werden Rechenergebnisse aus dem Bericht [9] vorgestellt. Die Berechnungen erfolgten für eine Froudesche Tiefenzahl von 0.6, d. h. $H/T = 1,5$. Die Untersuchungen wurden im Modellmaßstab $\lambda = 15$ durchgeführt. Der verwendete Propeller war ein Wageningen B 4.55. Das Wellenbild wurde der potentialtheoretischen Berechnung mit dem Verfahren KELVIN entnommen. Die dynamische Schwimmelage stammt aus Modellversuchen.

Abbildungen 14 und 15 zeigen das Rechengitter auf dem Schiff, dem Düsenpropeller und dem Ruder. Die Geometrie des Düsenpropellers wurde vollständig eingehalten.

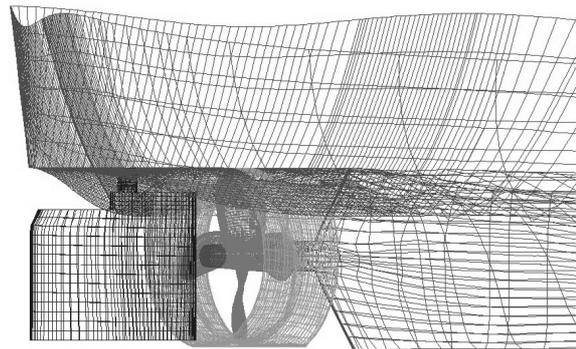


Abb. 14: Rechengitter am Hinterschiff, am Propeller und am Ruder

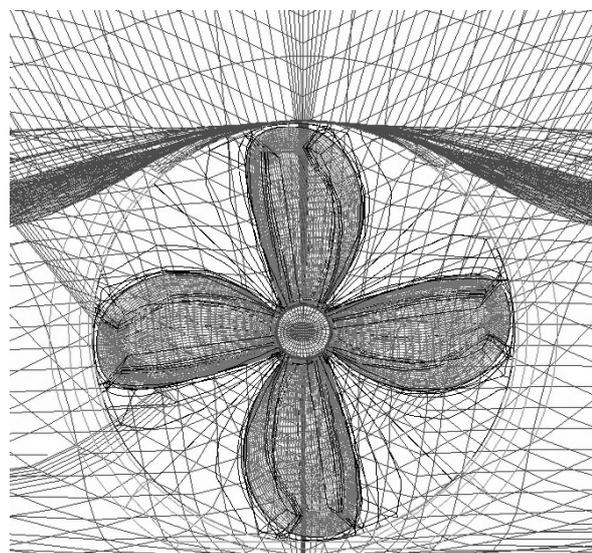


Abb. 15: Rechengitter am Hinterschiff und am Propeller

In Abbildung 16 und 17 ist die Druckverteilung am Hinterschiff und auf der Kanalsohle dargestellt. An der hinteren Schulter des Schiffes ist ein starker Druckabfall festzustellen, der durch die Wirkung des Propellers noch verstärkt wird. Hinter dem Propeller ist ein Hochdruckgebiet vorhanden, das durch den Druckanstieg auf der Druckseite des Propellers entsteht.

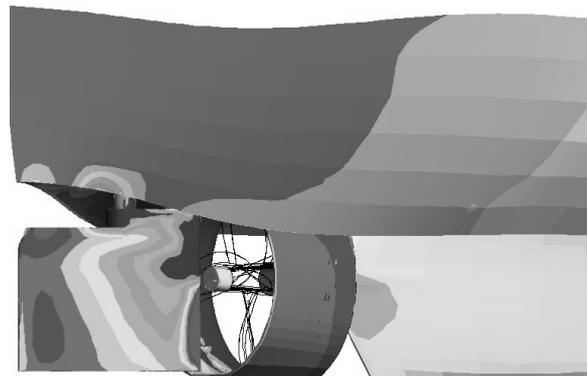


Abb. 16: Druckverteilung am Hinterschiff

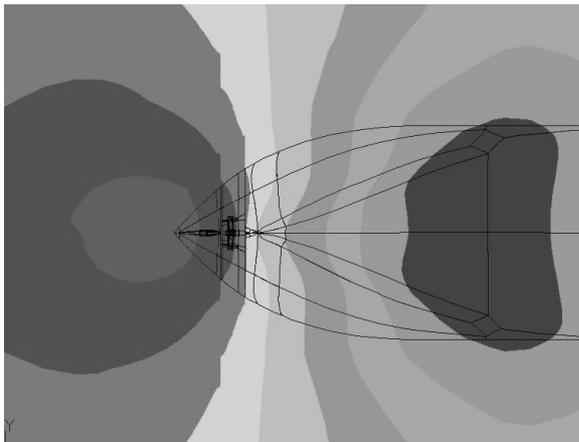


Abb. 17: Druckverteilung auf der Sohle

Die Geschwindigkeitsverteilung in einer vertikalen und einer horizontalen Ebene im Propellerstrahl ist in Abbildung 18 und 19 dargestellt. Die Farben haben hier eine andere Bedeutung als in den bisherigen Abbildungen: höhere Geschwindigkeiten sind blau und niedrigere Geschwindigkeiten rot eingezeichnet.

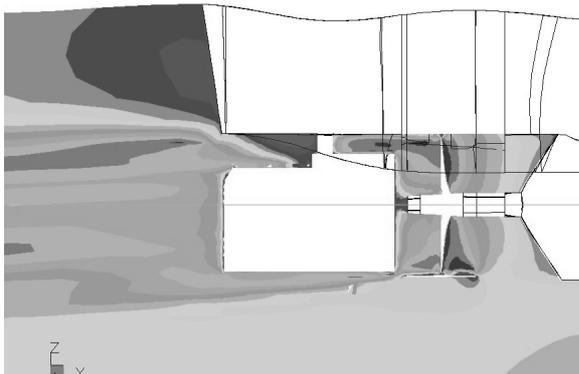


Abb. 18: Geschwindigkeitsverteilung in vertikaler Ebene durch die Propellerachse

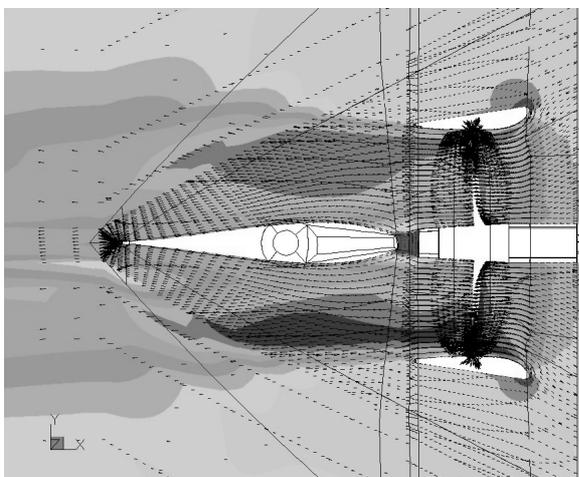


Abb. 19: Geschwindigkeitsverteilung in horizontaler Ebene durch die Propellerachse

Die maximalen Geschwindigkeiten treten seitlich vom Ruder und unter dem Schiffsboden auf. Die Trimmlage des Schiffes ist entscheidend für die Wechselwirkung Propellerstrahl - Kanalsohle. Bei buglastiger Vertrimmung verringert sich die Wirkung des Propellerstrahls auf die Kanalsohle, wohingegen sie sich bei hecklastiger Vertrimmung erhöht.

3 Ökonomische Aspekte

Wie bereits in der Einleitung kurz erwähnt, ist wie bei der Hochseeschifffahrt vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit eine Tendenz zu immer größeren und immer schnelleren Schiffseinheiten erkennbar. Besonders deutlich ist dieser Trend in der Containerschifffahrt.

In der Binnenschifffahrt stehen dem allerdings die Abmessungen der Binnenwasserstraßen und die zulässigen Geschwindigkeiten auf den Wasserstraßen als Grenzwerte gegenüber.

Die Anfänge der Containerschifffahrt vor gut 20 Jahren sind gekennzeichnet durch den Einsatz von Schiffen, die nicht für diesen Einsatz konzipiert waren. Aufgrund der fehlenden höhenverstellbaren Steuersäulen war es nicht möglich, mehr als zwei Lagen übereinander auf dem Schiff unterzubringen, wie dies z. B. auf dem Europaschiff der Fall war. Ausgehend vom Bedarf wurden dann ziemlich schnell größere Schiffe für die Containerfahrt verfügbar. Die Dimensionierung von Laderäumen wurde auf die Containerabmaße abgestimmt. Der Bedarf an derartigen Schiffen sorgte in relativ kurzer Zeit dafür, dass Großmotorgüterschiffe mit ca. 200 TEU und den Abmessungen 110 m x 11,4 m die gängigsten Schiffe für die Containerfahrt auf dem Rhein wurden. Ein deutlicher Sprung war mit der Indienstellung der „Jowi“ im Frühjahr 1998 zu verzeichnen. Mit seiner Kapazität von 398 TEU in 4 Lagen auf dem Rhein (470 TEU in 5 Lagen) ist dieses Schiff ein Beispiel für die maßstäbliche Vergrößerung in der Binnenschifffahrt.

Bei einem entsprechenden Containeraufkommen (auf dem Rhein und anderen größeren Wasserstraßen stetig steigend) können diese Schiffe innerhalb eines festen Liniendienstes wirtschaftlich betrieben werden.

Probleme gibt es allerdings, wenn das Containeraufkommen nicht kontinuierlich vorliegt. Das betrifft u.a. die Transportzeit. Mehrere Terminals müssen angefahren werden, um das Schiff „voll“ zu bekommen, wodurch sich die Umlaufzeit erhöht. Durch das Anlaufen mehrerer Terminals erhöht sich darüber hinaus das Risiko weiterer Verzögerungen. Es können sich relativ lange Lade- und Löschzeiten ergeben. Darüber hinaus ist die Problematik der Umschlagstechnik und -technologie zu beachten, die auf derartig große

Schiffe spezialisiert sein muss, um einerseits möglichst kurze Umschlagszeiten zu gewährleisten und andererseits die Umschlagskosten gegenüber den Fahrkosten in einem akzeptablen Rahmen zu halten.

Aus diesem Grund hat neben dem Trend zu immer größeren Schiffen auch eine Tendenz in Richtung auf kleinere, schnellere Schiffseinheiten (Typ Neokemp) eingesetzt. Durch diese Schiffseinheiten ist ein Transportkonzept realisierbar, bei dem nur eine geringe Zahl von Terminals (möglichst nur zwei) angelaufen werden muss, so dass keine zusätzlichen Verzögerungen in der Transportzeit auftreten. Auch die Lade- und Löschzeiten bleiben in einem überschaubaren Rahmen, so dass die Umlaufzeiten ökonomisch günstige Relationen ermöglichen. Darüber hinaus sind auch kleinere Umschlagplätze in ein entsprechendes Logistikkonzept einbeziehbar.

4 Fazit

Die numerischen Verfahren zur Berechnung der Schiffsumströmung in begrenztem Kanalquerschnitt haben einen guten Stand erreicht. Sie liefern nicht nur Informationen über die hydrodynamische Belastung des Schiffes, sondern auch über die der Wasserstraße. Damit finden bei der Optimierung eines Schiffes hinsichtlich Geschwindigkeit und Abmessungen nicht nur dessen Gegebenheiten, sondern auch die Eigenschaften der Schiffsumgebung Berücksichtigung. So rückt eine gesamtökonomische und die Ökologie berücksichtigende Problemlösung näher.

Da jedoch Schiffsgeschwindigkeit und Abmessungen deutlich zugenommen haben, sind die Anforderungen an die Genauigkeit der Rechenverfahren gestiegen, so dass intensive Forschungsarbeiten weiterhin notwendig sind.

5 Schrifttum

- [1] Zibell, H.-G., Grollius, W., Baumgarten, B.: Fast Vessels on Inland Waterways, 283. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg
- [2] Guesnet, T.: Schnelle Binnenschiffe für Kombiverkehre und Containertransport - Entwicklung und Modellerprobung eines kanalgängigen Binnenschiffes, Binnenschiffahrt, April, 1999
- [3] Söding, H.: Methods and some Results, 8th SVA-Forum, Schiffbau Versuchsanstalt Potsdam GmbH, Potsdam, März, 2000
- [4] Conrad, F.: Demonstration of the Program KELVIN on the Basis of Selected Examples, 8th SVA-Forum, Schiffbau Versuchsanstalt Potsdam GmbH, Potsdam, März, 2000
- [6] COMET User Manual, Version 2.0, Institute of Computational Continuum Mechanics GmbH, Hamburg, 2001
- [7] Hellwig, K.: Numerische Analyse der Umströmung eines Binnenschiffs, Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam, Bericht 2788, März, 2002 (unveröffentlicht)
- [8] Abdel-Maksoud, M., Heinke, H.-J.: Untersuchung der viskosen Strömung um moderne Propulsionssysteme, 95. STG Hauptversammlung, Hamburg, 22. - 25. November 2000
- [9] Rieck, K.: Numerische Berechnung der Strömung um ein Binnenschiff auf Flachwasser unter Berücksichtigung der Propellerwirkung, Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam, Bericht 2677, 2002 (unveröffentlicht)
- [10] Jumbo-Container-Binnenschiff „Jowi“, Hansa, 1998, Nr. 9
- [11] Pommer, C: Pas de deux der Giganten, Schiffahrt und Technik 4/1999
- [12] MS „Ganda“ wurde getauft, Schiffahrt und Technik 7/1998
- [13] MS „Helena“ abgeliefert, Schiffahrt und Technik 1/1999
- [14] Neue „Freiheit“ auf dem Wasser, Schiffahrt und Technik 1/2001
- [15] Schnelle Sprinter, Binnenschiffahrt, 2000, Nr. 6
- [16] 32-TEU-Container-Sprinter auf dem Rhein, Hansa, 2000, Nr. 8
- [17] LKW-Standards auf dem Wasser, Schiffahrt und Technik 5/2001
- [18] Die Maracaido setzt Maßstäbe, Schiffahrt und Technik 5/2000
- [19] Erster 135 m Mega-Tanker in der deutschen Binnenschiffahrt, Schiffahrt und Technik 4/2001
- [20] Flüssigkeits-Binnentanker „LRG Gas 84“, Hansa, 1998, Nr.6
- [21] Pommer, Corinna: „Ursula Valentin“ sorgt für neues Pech, Schiffahrt und Technik 4/1999
- [22] Tankmotorschiff „ADRIANE“ auf der Schiffswerft Bodewes in Millingen in Dienst gestellt, Schiffahrt und Technik 2/1998

- [23] Prinzessin Lilly taufte die neue „Swiss Crown“, Binnenschifffahrt, 2000, Nr. 4
- [24] Luxuskreuzfahrtschiff „River Symphony“ – wiederum ein Schiffbauhochgenuß von der Grave-Werft, Schifffahrt und Technik 3/1998
- [25] Melodie für die Donau, Schifffahrt und Technik 3/1999
- [26] Von Amsterdam aus nach Prag und Berlin, Schifffahrt und Technik 3/2000
- [27] ★★★★★Flusskreuzer „Katharina von Bora“ in Dienst gestellt, Schifffahrt und Technik 5/2000
- [28] Kreuzfahrtschiff für Elbe, Havel und Oder, Hansa, 2000, Nr. 7
- [29] Hellmich, G.: „Delphin Queen“, ein etwas anderes Kreuzfahrtschiff für die Donau Hansa, 1998, Nr. 7
- [30] Pommer, C.: Ein neuer Stern am Fahrgasthimmel, Schifffahrt und Technik 4/1999
- [31] Meidericher Schiffswerft liefert Neubau Nr. 424 – das Fahrgastschiff „Waldstätter“ in Luzern ab, Schifffahrt und Technik 3/1998