



Quelle: Shutterstock

Untersuchungen zum IMO-Wetterkriterium

SIMULATIONSMODELLE Schiffe, die aufgrund von Seegang und herausfordernden Wetterbedingungen in kritische Situationen geraten, müssen noch ausreichend Stabilitätsreserven nachweisen, um nicht zu kentern. An der Schiffbau-Versuchsanstalt (SVA) Potsdam sind entsprechende numerische Simulationsmodelle entwickelt worden, um für zwei unterschiedliche Schiffstypen den Nachweis zum sogenannten Wetterkriterium erbringen zu können.

Dr. Matthias Fröhlich, Lars Lübke, Emilie Schmidt

Im vom BMWI (49MF170115) geförderten Forschungsvorhaben „Entwicklung numerischer Simulationsmodelle zur Erhöhung der Schiffssicherheit unter Anwendung des Wetterkriteriums der International Maritime Organization (IMO)“ sind zwei Simulationsmodelle entwickelt worden, mit denen auf numerischem Weg die im Wetterkriterium der IMO nachzuweisenden Kennwerte ermittelt werden können. Dies umfasst zum einen die Be-

rechnung der Driftkräfte und Krängungsmomente bei vorhandener Driftgeschwindigkeit im Glattwasser und zum anderen die Berechnung des Rückrollwinkels eines Schiffes in regulären Wellen. Weiterhin fanden begleitende, sukzessive Laborversuche zur Validierung statt. Die Laborversuche wurden mit zwei verschiedenen Schiffstypen durchgeführt. Im Zuge dessen wurde eine kombinierte Anlage zum Nachführen eines Labormodells bei freier Beweglich-

keit in queranlaufenden Wellen und zum Halten eines Modells für Kraftmessungen bei kleinen Driftgeschwindigkeiten entworfen, erprobt und weiterentwickelt. In der Analyse der Versuchsdaten konnten mit der Erarbeitung einer Extrapolationsfunktion und mit der Anwendung der Versuchstechnik in transienten Wellenpaketen zwei weitere alternative Methoden zur Ermittlung des Rückrollwinkels aufgezeigt und zur Diskussion gestellt werden.

Unfallberichte, jüngste Statistiken und Entwicklungen im Design von Schiffen bedingen eine stetige Erforschung und Anpassung der Sicherheitskriterien im Schiffbau. Darunter fällt auch das Wetterkriterium, welches als Sicherheitsgarant gegen das Kentern in einer Extremsituation, genauer gesagt bei starkem seitlichen Wind und einer Rollbewegung des Schiffes, dient. Hierfür wurden die Bestimmungen 1993 in der IMO-Resolution A.749(18) [1] festgehalten. Die Grenzbereiche für die Nutzung der darin enthaltenen empirischen Formeln, wie z.B. das Breiten-Tiefgangs-Verhältnis, liegen außerhalb derer von vielen modernen Schiffstypen. Um auch diesen Schiffstypen, wie beispielweise großen Yachten und modernen Fährschiffen, eine Möglichkeit zu bieten, das Wetterkriterium plausibel nachzuweisen, folgte 2006 die Richtlinie MSC.1-Circ. 1200 [2]. Die Richtlinie erlaubt die Abschätzung des Wetterkriteriums mittels Modellversuchen, womit schiffbauliche Versuchsanstalten ins Geschehen eintreten. Da die strikten Randbedingungen nur von wenigen Versuchsanlagen technisch umgesetzt werden können, gilt es, alternative Methoden genauer zu betrachten. Um ein optimiertes, zuverlässiges Untersuchungsverfahren anbieten zu können, wurden in der Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam (SVA) zwei numerische Simulationsmodelle sowie eine den Richtlinien entsprechende kombinierte Anlage zur Ermittlung der benötigten Kennwerte entwickelt und getestet. In der Analyse der Versuchsdaten konnten ebenfalls zwei mögliche alternative Methoden zur Bestimmung einer der Kennwerte gefunden und zur Diskussion gestellt werden.

Stand der Technik

In den allgemeinen Bestimmungen des Codes zur Intakstabilität Resolution A.749(18) von 1993 [1] ist das Kriterium für das Verhalten eines Schiffes bei Starkwind und beim Rollen (kurz: das Wetterkriterium) verankert. Es besagt, dass ein Schiff, wenn es in die kritische Situation gerät, geprägt durch hohen seitlichen Seegang und stetigen Seitenwind mit zusätzlichen Böen, noch genügend Stabilitätsreserve nachweisen muss. Seinen Ursprung hat das Kriterium im Übereinkommen von Torremolinos von 1977, in welchem es für die Anwendung auf Fischereischiffe in begrenzten Gewässern gedacht war. In den Jahren darauf wurde von verschiedenen Institutionen eine erforderliche Ausdehnung auf andere Schiffstypen zur Diskus-

sion gestellt. Letztendlich wurde dann die grundsätzliche Regelung der japanischen Stabilitätsnorm berücksichtigt und die von der damaligen UdSSR gebräuchliche Formel für die Berechnung des Rollwinkels mit einbezogen, um die aktuelle Regelung für alle Schiffstypen aufzustellen [3].

Mit den zusätzlichen Richtlinien der MSC.1-Circ 1200 von 2006 [2] lassen sich die zwei maßgebenden Kennwerte auf experimentellem Weg bestimmen. Dabei handelt es sich um den Rückrollwinkel in regulärer Quersee und das krängende Moment bei

Drift in Glattwasser, welches der zugehörigen Windkraft entspricht. Diese Methoden sind für Schiffstypen gedacht, die zu stark von denen abweichen, auf denen die empirischen Formeln des Wetterkriteriums der Resolution A.749(18) beruhen und somit ungenügend gut abgebildet werden.

Die Nutzung von numerischen Simulationen für Seegang unterliegt einer stetigen Weiterentwicklung. Die Einsatzgrenzen der Verfahren wurden kontinuierlich erweitert und umfassen bereits die Simulation von brechenden Wellen [4], [5], irregulärem

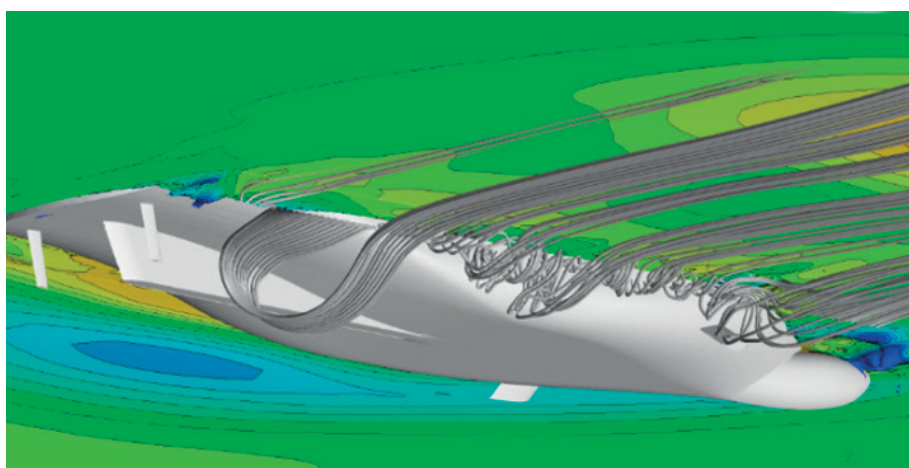


Abb. 1: Instationäre Wirbel auf der Leeseite des Schiffes

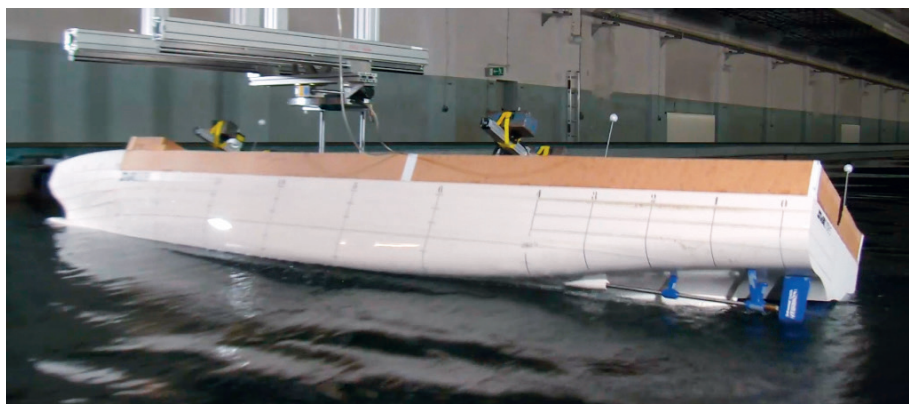


Abb. 2: Modell der RoPax-Fähre an der angepassten Nachführvorrichtung bei Rollmessungen

Quelle für alle Fotos / Abbildungen: SVA Potsdam

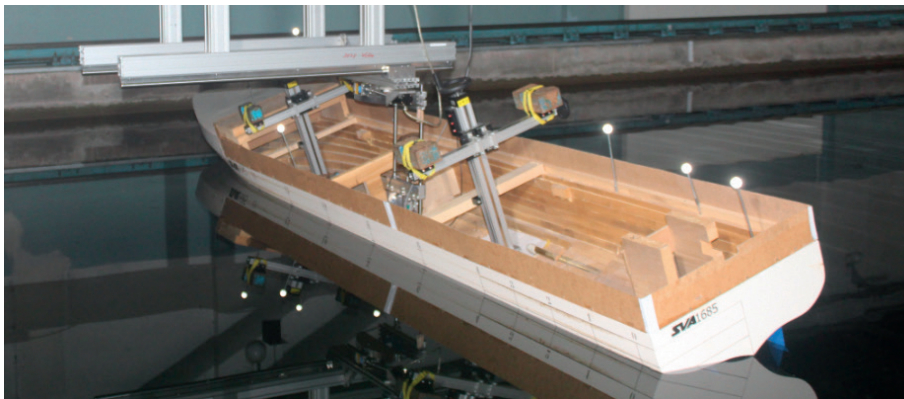


Abb. 3: Modell der RoPax-Fähre bei Kraftmessungen

Seegang und Wellenpaketen [6]. Auch Simulationen von Schiffen in extremer See [7] oder zu Rolldämpfung [8] wurden schon untersucht.

Die Anwendung der Simulation von Schiffen im regulären und irregulären Seegang (Seegangsspektren) bei Berücksichtigung der Fahrtgeschwindigkeit hat sich bisher allerdings noch nicht etabliert, wird aber schon seit Längerem von vielen kommerziellen Programmen wie z.B. ANSYS [9] unterstützt. Der Grund liegt immer noch im sehr hohen Aufwand in Bezug auf Rechenleistung und Rechenzeit, weshalb sich an dieser Stelle ein kombiniertes Verfahren aus Simulation und Versuch anbietet.

Verfahrensentwicklung

Das Hauptziel des FuE-Vorhabens bestand in der Entwicklung von Simulationsmodellen, die mithilfe eines erforderlichen Basislaborversuches in der Lage sind, die benötigten Kennwerte des IMO Wetterkriteriums zu bestimmen. Die untersuchten Schiffe waren eine moderne Yacht in zwei verschiedenen Maßstäben und eine RoPax-Fähre.

Die Simulationen erfolgten mit einem RANSE-Löser (Reynolds-Averaged Navier Stokes Equations) unter Verwendung des Programms ANSYS Fluent. Um ein möglichst robustes und effizientes Verfahren zu erhalten, wurden verschiedene Turbulenz-

modelle und Vernetzungsstrategien, die mit unterschiedlichen Lösungsverfahren einhergehen, getestet.

Zusätzlich wurden zahlreiche Versuchsreihen durchgeführt, um vorhandene Simulationsdaten zu validieren. Im Rahmen der Untersuchung wurde weiterhin eine kombinierte Versuchsanlage zur Ermittlung der Kennwerte entworfen, erprobt und weiterentwickelt, um einen effizienten, optimierten Versuchsablauf zu erarbeiten. Versuchsdaten, die mit eingehaltenen Randbedingungen der Richtlinie MSC.1-Circ. 1200 generiert wurden, sind denen mit abgewandelten Randbedingungen gegenübergestellt und analysiert worden, um mögliche alternative Methoden zur Kennwertgewinnung zu ermitteln.

Simulation

In den Simulationen wurden zum einen die Kräfte und die krängenden Momente bei langsamen seitlichen Driftgeschwindigkeiten bei unterschiedlichen Vorkrängungen des Schiffes und zum anderen der mittlere Rückrollwinkel des Schiffes im regulären Seegang berechnet.

Für die unterschiedlichen Simulationen wurden verschiedene Vernetzungsansätze gewählt. Im Außendomain wurden generell blockstrukturierte Berechnungsgitter verwendet, wohingegen zur Vernetzung des Schiffes kartesische Gitter oder unstrukturierte Gitter verwendet wurden. Die unterschiedlichen Teilgitter wurden mit einem General-Grid-Interface verbunden oder durch Verwendung von überlappenden Gittern miteinander gekoppelt.

Die Ermittlung der Driftkräfte und krängenden Momente erfolgte im Glattwasser. Dort ist die Strömung gekennzeichnet durch Ablösungen und Verwirbelungen besonders auf der Leeseite des Schiffes. Es war festzustellen, dass die Kräfte und Momente maßgeblich durch den Ablösepunkt am Rumpf beeinflusst werden. Generell neigten diese Berechnungen zur Instabilität und eine intensive Betreuung der Simulation war notwendig.

Um den mittleren Rückrollwinkel zu berechnen, wurden zwei Vernetzungsstrategien getestet. Sowohl ein Ansatz mit überlappenden Gittern, als auch ein Ansatz mit verzerrtem Gitter führten zum Ergebnis. Favorisiert wurde der weniger rechenintensivere, stabilere Ansatz mit verzerrten Gittern. Zur Bestimmung der Schiffsbewegungen setzte sich die Anwendung eines „implicit update“ alle n-Iterationen durch, welches die Verwendung von sehr viel größeren Zeitschritten erlaubte.

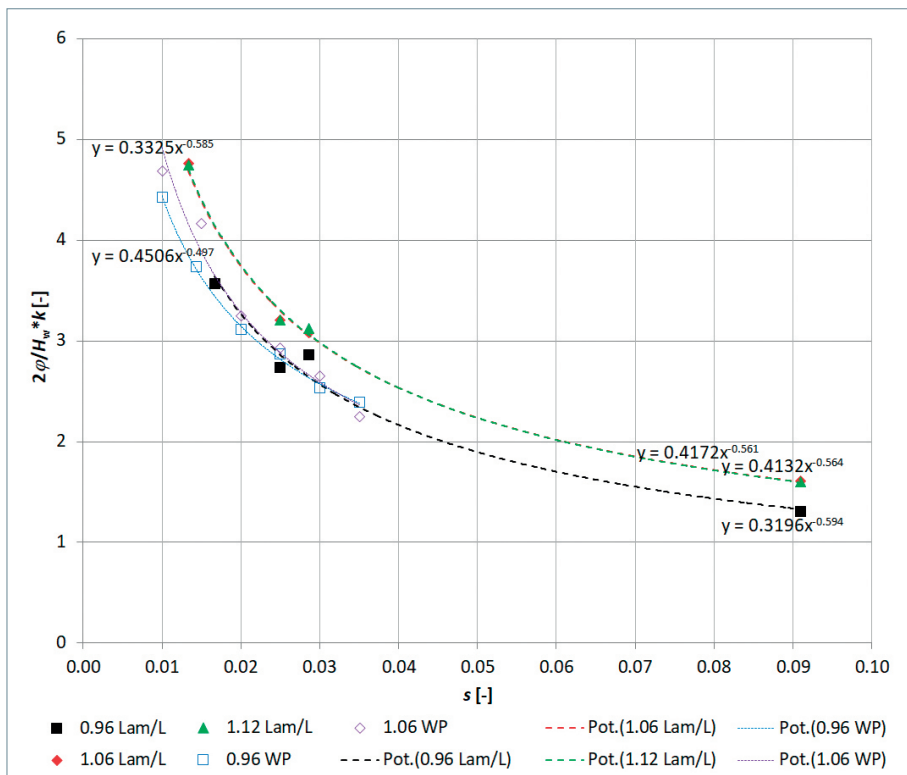


Abb. 4: Extrapolation des Rückrollwinkels mittels Extrapolationsfunktionen

Laborversuche

Laborversuche wurden mit drei verschiedenen Modellen in der Schlepprinne der SVA vorgenommen. Einmal mit einer Yacht im Maßstab entsprechend den Richtlinien der MSC.1-Circ. 1200 und in größerer Ausführung entsprechend typischen Modellgrößen für einen Widerstands-/Propulsionsversuch und einmal mit dem Modell einer RoPax-Fähre, welche größentechnisch mit etwa 5 m zwischen den beiden Yachtvarianten liegt. Es wurden sowohl Driftkraftmessungen im Glattwasser als auch Rollversuche in regulärem Seegang durchgeführt. Die Versuche erfolgten nach der regulären und der alternativen Drei-Stufen-Methode nach Richtlinie MSC.1-Circ. 1200. Zusätzlich wurden Versuchsdaten in weiteren Wellensteilheiten, in Wellenpaketen und mit kleineren Maßstäben erhoben, um weitere Möglichkeiten der Kennwertbestimmung zu erforschen und Grenzen der technischen Umsetzung zukünftig zu umgehen. Bei der Kraft- und Bewegungsmessung konnte sich die SVA auf bewährte Messtechnik stützen. Die Bewegungserfassung erfolgte durch ein optisches, berührungsloses Bewegungs- und Bahnverfolgungssystem. Die Driftkraft wurde mittels Plattformzelle am Befestigungsflansch gemessen. Für das Krängungsmoment wurde ein Momentengeber in der Rollachse des Modells montiert. Weiterhin kam eine neuentwickelte Nachführeinrichtung für freies Driften zum Einsatz, welche im Laufe des Projektes auch für größere Modelle bis 5 m angepasst werden konnte. Ebenfalls kam für das größere Yachtmodell eine bereits vorhandene Nachführvorrichtung mit trapezförmiger Abspannung des Modells zum Einsatz, um auch für die Untersuchung von Modellen mit einer Länge von ca. 7 m ein

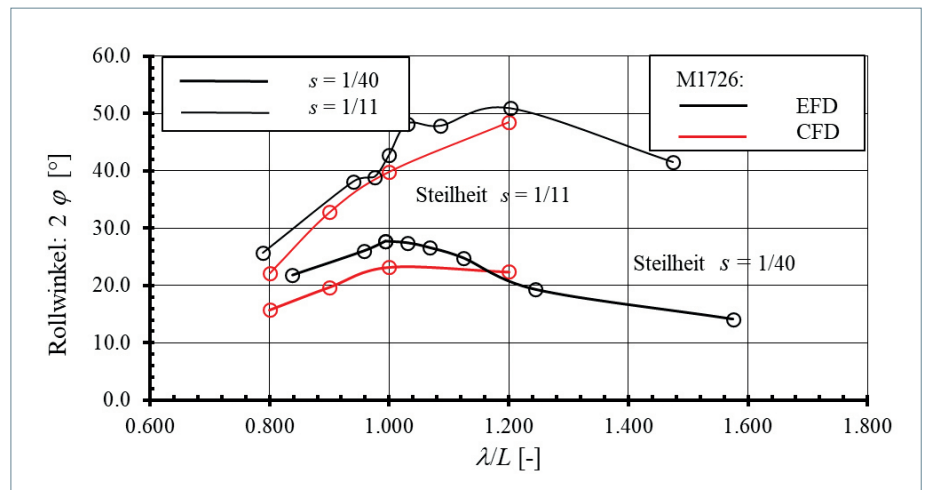


Abb. 5: Simulation der Rollwinkel für das Modell der Yacht

geeignetes Verfahren zu finden. Diese Anlage hatte allerdings Grenzen bzgl. des maximalen Rollwinkels und konnte in diesem Fall nur eine maximale Rollamplitude von ca. 10° zulassen.

Ergebnisse

Nach den umfangreichen Versuchen konnten die Einsatzbereiche der Verfahren und Anlagen zur Bestimmung der Kennwerte des Wetterkriteriums in der SVA bestimmt werden. Bei üblichen Modellgrößen von Seegangversuchen (etwa 5 m Länge) konnten mit der neu entwickelten Anlage Ergebnisse für beide Kennwerte mit hoher Genauigkeit erzielt werden.

Bei kleinen Modellen ist die Anlage allerdings nur für Querkraftmessungen anzuwenden. Bei der Ermittlung des Rückrollwinkels kommt es zu Ungenauigkeiten. Außerdem kommt es hier zu Unregelmäßigkeiten im Wellenprofil aufgrund der

durch die IMO-Vorschriften hohen geforderten Wellensteilheit und der Grenzen der Wellenmaschine.

Modelle von über 7 m Länge sind noch nicht für die Nachführvorrichtung geeignet. Eine bereits vorhandene Anlage mit eingeschränkter Rollfreiheit erlaubte die Bestimmung der Kennwerte, wobei der Rückrollwinkel mittels Potenzfunktionen und Extrapolation von Versuchen in unterschiedlicher Wellensteilheit berechnet wurde.

Bei großen Modellen zeigte ebenfalls die Bestimmung des Rückrollwinkels mithilfe von Messungen in Wellenpaketen hoher Steilheit vielversprechende Ergebnisse, was aber noch weiteren Untersuchungsbedarf fordert. Mit der von der IMO zu Verfügung gestellten alternativen Möglichkeit der Drei-Stufen-Methode hingegen stellte sich der Teilschritt des Ausschwingversuchs bei großen Modellen

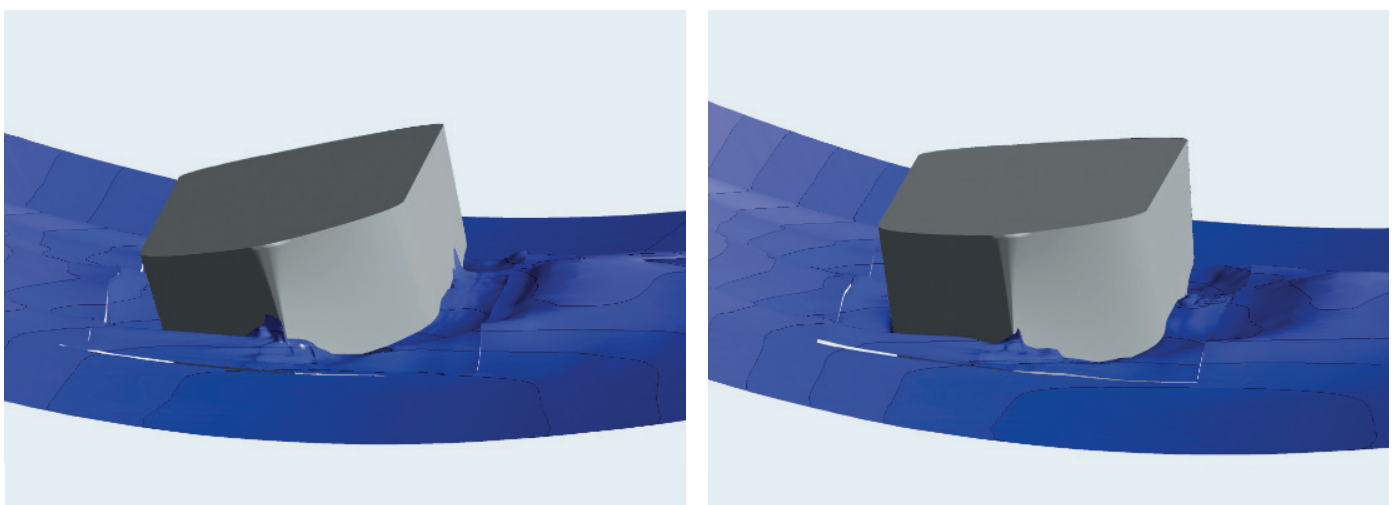


Abb. 6: Schiff in Wellen zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten ($t_1 < t_2$)

als problematisch dar. Dieser erfordert sehr große Kräfte zum Einstellen des Startrollwinkels und das anschließende Freilassen des Modells war ohne Störungen nicht technisch umzusetzen.

Auch die Bestimmung der Kennwerte mittels numerischer Simulation war erfolgreich. Die Ermittlung der Driftkräfte benötigt allerdings eine intensivere Betreuung durch den Projektingenieur, da mit Instabilitäten zu rechnen ist. Die Rollwinkel im Seegang zeigten eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung, sind aber tendenziell etwas zu klein. Der Grund könnte in der Verwendung von linearen Airy Wellen liegen, mit Stokes Wellen könnte eventuell eine höhere Genauigkeit erzielt werden.

Letztendlich haben sich die Methode der überlappenden Gitter sowie die Gitterverzerrung gleichermaßen bewährt. Dennoch ist der benötigte Simulationsaufwand recht hoch und stellt für eine Schiffbau-Versuchsanstalt in Hinblick auf die Rechenkapazität eine besondere Herausforderung dar. Abhilfe könnten zukünftig neue Ver-

sionen von ANSYS bringen, welche Ressourcenärmere und stabilere Verfahren erlauben.

Das angestrebte Ziel, nach Abschluss der FuE-Arbeiten ein kombiniertes Verfahren aus Simulation und Modellversuch zum Nachweis der Kennwerte des IMO-Wetterkriteriums anbieten zu können, wurde in vollem Umfang erreicht. Damit ist es der SVA nunmehr möglich, auch mit einer minimalen Anzahl an Basisversuchen mit Labormodellen üblicher Größe, wie sie für Widerstands- und Propulsionsversuche zum Einsatz kommen, und nachfolgender Simulationen die erforderlichen Nachweise zum Wetterkriterium zu erbringen.

Mit weiteren Validierungen für andere Schiffstypen soll längerfristig auf derzeit noch erforderliche Basisversuche verzichtet werden können. Die vorgestellten alternativen Methoden des Einsatzes von transienten Wellenpaketen und von Potenzialfunktionen auf Basis von Messungen in unterschiedlichen Wellensteilheiten werden zukünftig im Rahmen folgender Forschungen weiterentwickelt und verifiziert.

Literatur

- [1] International Maritime Organization Code on Intact Stability for all Types of Ships Covered by IMO Instruments, IMO-Resolution A.749(18) [2], 4 November 1993
- [2] International Maritime Organization Interim Guidelines for Alternative Assessment of the Weather Criterion, IMO-Resolution MSC.1/Circd.1200, 24 May 2006
- [3] International Maritime Organization Explanatory Notes to the International Code on Intact Stability, IMO- Publication MSC.1/Circular.1281, 9 Dezember 2008
- [4] Clauss G. F., Stempinski F., Stück R. On Modelling Kinematics of Steep Irregular Seaway and Freak Waves, 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE 2008, Estoril, Portugal, 15-20 June 2008
- [5] Stempinski, F. On Wave Kinematics in Harsh Seaway and Freak Waves, Dissertation an der TUB, Berlin 2009
- [6] Stück, R. Numerische Simulation transienter Wellengruppen mittels einer hybriden Finite-Elemente-Finite-Volumen Methode Dissertation an der TUB, Berlin 2008
- [7] Oberhagemann, J; Ley, J., Ould el Moctar, B. Prediction of Ship Response Statistics in Severe Sea Conditions Using RANSE Proceedings of the 31th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE 2012, July 1-6, 2012, Rio de Janeiro, Brazil
- [8] Handschel, S., Fröhlich, M., Abdel-Maksoud, M. Experimental and Numerical Investigation of Ship Roll Damping by Applying the Harmonic Forced Roll Motion Technique
- [9] ANSYS User Manual 19.1, 2019

Die Autoren:

Dr.-Ing Matthias Fröhlich, Lars Lübke,
Emilie Schmidt,
Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam
GmbH

SIE WOLLEN WISSEN WAS DEN ENERGIEMARKT ANTREIBT?

Dann sichern Sie sich das EID Abo und bleiben Sie auf dem Laufenden!

Jetzt
4 Wochen
testen!

www.eid-aktuell.de/probeabo-eid

EID Energie
Informationsdienst