

## **SOS - Integration eines Seegangsunabhängigen Oel- Skimmers in ein Ölunfallbekämpfungsschiff**

## **SOS - Integration of a Seaway Independent Oil Skimming System into an Oil Recovery Vessel**

Günther Clauss, Mazen Abu Amro

### **Abstract.**

*Funded by the Federal Ministry of Education, Research and Technology a new oil skimming system has been developed, which - unlike existing systems - allows oil recovery in calm as well as in rough seas. To gain further experience a prototype model of the new skimmer is integrated into the model of the oil recovery ship MPOSS at a scale of 1:15. Based on seakeeping tests the dynamic interaction between the motion of the parent ship and the skimmer as well as its influence on the oil/water layers is investigated experimentally and numerically. The numerical code consists of a coupled method of a Reynolds Averaged Navier Stokes Equations solver (RANSE) and a Volume of Fluid Method (VOF) in order to focus at the phase transitions between water, oil, and air. On this basis complex flow phenomena such as vortex formation within the skimming device are analyzed. In addition the pressure distributions and velocity profiles are assessed with the objective to optimize the skimmer geometry for maximum efficiency.*

### **Zusammenfassung**

Im Rahmen eines durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsprojektes wurde ein neues Ölskimmingverfahren entwickelt, das im Gegensatz zu den existierenden Systemen sowohl im Glattwasser als auch in rauer See eingesetzt werden kann. Dieser Skimmer soll als Prototyp in das Ölunfallbekämpfungsschiff MPOSS integriert werden, um Erfahrungen im realen Einsatz zu sammeln. Hierfür wurde das MPOSS-Schiff mit integriertem Skimmer im Modellmaßstab 1:15 nachgebaut und sowohl experimentell als auch numerisch untersucht. Insbesondere wurden Wechselwirkungen zwischen Schiffsbewegung und Ölskimmer sowie deren Einfluss auf das Öl-Wasser-Mischverhalten analysiert.

Bei der numerischen Analyse kommen moderne Rechenmethoden zur Beschreibung des Phasenübergangs (Luft/Wasser/Öl) zur Anwendung, welche an die gegebene Problemstellung angepasst werden. Das hierfür verwendete nichtlineare Rechenverfahren basiert auf der Kopplung der Reynolds Averaged Navier Stokes Gleichungen (RANSE) und der VOF-Methode (Volume of Fluid). Dadurch lassen sich komplexe Strömungsphänomene um den Skimmer, wie z.B. Geschwindigkeitsverteilung, Wirbelbildung und Druckverteilung erfassen. Auf der Basis der gewonnenen Kenntnisse kann abschließend die Skimmergeometrie optimiert werden.

### **1. Einleitung**

Die bei den Tankerhavarien der Vergangenheit gewonnenen Erfahrungen zeigen, dass bisher im Einsatz befindliche Ölunfallbekämpfungsschiffe bei rauem Seegang nur unzureichende Erfolge erzielen und in Folge dessen große Umweltschäden meist nicht verhindert werden konnten. Bei Unfällen wie z.B. dem Prestige-Untergang oder dem Pallas-Unglück, mussten die Schiffe oftmals auf günstige Wetter- und Seegangsbedingungen warten, da ihre Einsatztauglichkeit auf Wellenhöhen bis 1,5 Meter beschränkt ist. Abb. 1 zeigt jedoch, weshalb es im Fall eines Ölunfalls von größter Wichtigkeit ist, den Einsatz möglichst zeitnah durchzuführen. Mit fortschreitender Zeit breitet sich der Ölfilm auf ein immer größeres und unüberschaubares Gebiet aus und zerteilt sich in einzelne kleine Öllachen, die nur schwer zu

orten sind (*Ölunfallausschuss See/Küste (1989)*). Außerdem verbindet sich das Öl mit Wasser und Luft (Emulgation), wodurch eine spätere Separation an Bord erschwert wird. Es ist daher erforderlich, ein System zu entwickeln, welches in der Lage ist, Öl sowohl bei Glattwasser als auch im Seegang effizient abzuschöpfen.

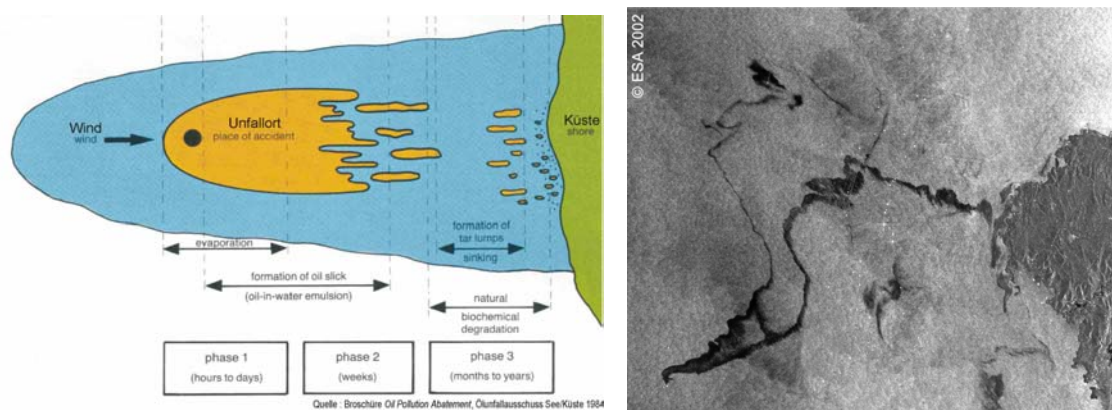


Abb. 1: Schematische Darstellung eines typischen Ölunfalls in Küstennähe (links), Satellitenbild des Ölteppichs der vor der Küste Spaniens gesunkenen Prestige (rechts)  
(Quelle: <http://www.envisat.esa.int/>)

Fig. 1: Oil spill after a typical tanker catastrophe

## 2. Stand der Forschung

Im Rahmen des Programms Schifffahrt und Meerestechnik für das 21. Jahrhundert des BMBF wurde ein seegangsunabhängiger Ölskimmer entwickelt (*Clauss et al. (2002) und Clauss and Abu Amro (2004 a,b)*), der großes Marktpotential auf dem Gebiet der Ölunfallbekämpfung aufweist (Förderkennzeichen: 18S0159).

Diese Entwicklung liefert den grundlegenden Beitrag zur Schaffung eines neuartigen Ölunfallbekämpfungssystems, das in Hinblick auf eine neue Generation von Ölunfallbekämpfungsschiffen konzipiert ist. Der Ölskimmer ist ein Ponton mit integriertem Ölauffangbecken (Moonpool), der über die im Seegang heftig bewegte, ölbedeckte Wasseroberfläche gleitet, wobei der Ölfilm unter das Bugsegment geführt wird (Abb. 2). Die Ölschicht strömt somit unter dem Schiff auf den Moonpool zu, wo eine quer laufende Separationsklinge einerseits für die Trennung von Öl und Wasser sorgt, andererseits das Fluid im Auffangbecken von der Wellenwirkung abschirmt. Auf diese Weise werden - ohne bewegliche Teile - Separationsprozess und Seegangsdämpfung entkoppelt.

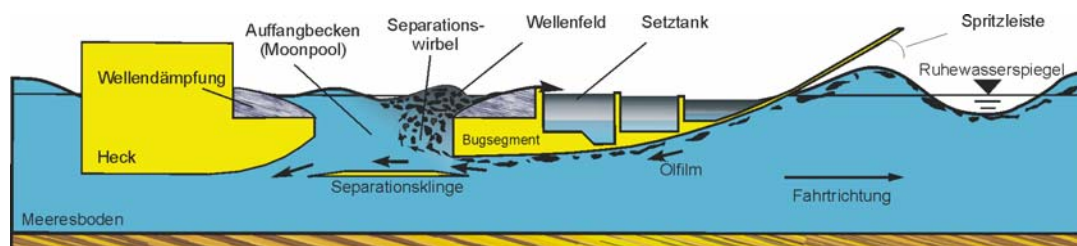


Abb. 2: Schematische Darstellung des seegangsunabhängigen Ölskimmers  
Fig. 2: Working principle of the seaway independent oil skimming system

Entscheidend für das Skimmerprinzip ist die Entstehung eines Separationswirbels, welcher das Öl von der Hauptströmung trennt. Dieser Wirbel befördert das Öl an die Wasseroberfläche in den Strömungsschatten des Bugsegments, von wo es abgepumpt werden kann. Durch CFD-Analysen wurde die Skimmergeometrie zur Optimierung des Strömungsverhaltens im Moonpool untersucht. Dabei wird die Durchflussrate in Abhängigkeit des Verhältnisses  $\Lambda$  von der Größe der Austrittsöffnung  $l_a$  zu der Größe Einlassöffnung (Klingenspalt)  $D$  quantifiziert.

$$\Lambda = \frac{l_a}{D}$$

Abb. 3 zeigt die Durchflussraten am Klingenspalt

$$q = \frac{Q}{Q_0}$$

als Funktion der Zeit für vier verschiedene geometrische Verhältnisse  $\Lambda$  bei einer Schleppgeschwindigkeit  $v_0 = 0,7 \text{ m/s}$ , wobei  $q$  den effektiven Volumenstrom  $Q$  durch den Eintrittspalt  $D = 20 \text{ mm}$  im Verhältnis zum Zustrom  $Q_0 = v_0 \cdot D$  beschreibt. Die erwähnten Volumenströme sind jeweils auf die Einheitsbreite bezogen.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei niedrigen Werten von  $\Lambda$  mit einer starken Schwankung der Durchflussrate zu rechnen ist. Insbesondere zu den Zeitpunkten von  $t = 6 \text{ s}$ ,  $t = 14,8 \text{ s}$  und  $t = 17,3 \text{ s}$  treten negative Strömungsgeschwindigkeiten auf, d.h. es sind Rückströmungen zu beobachten (Clauss and Abu Amro (2004 a,b)).

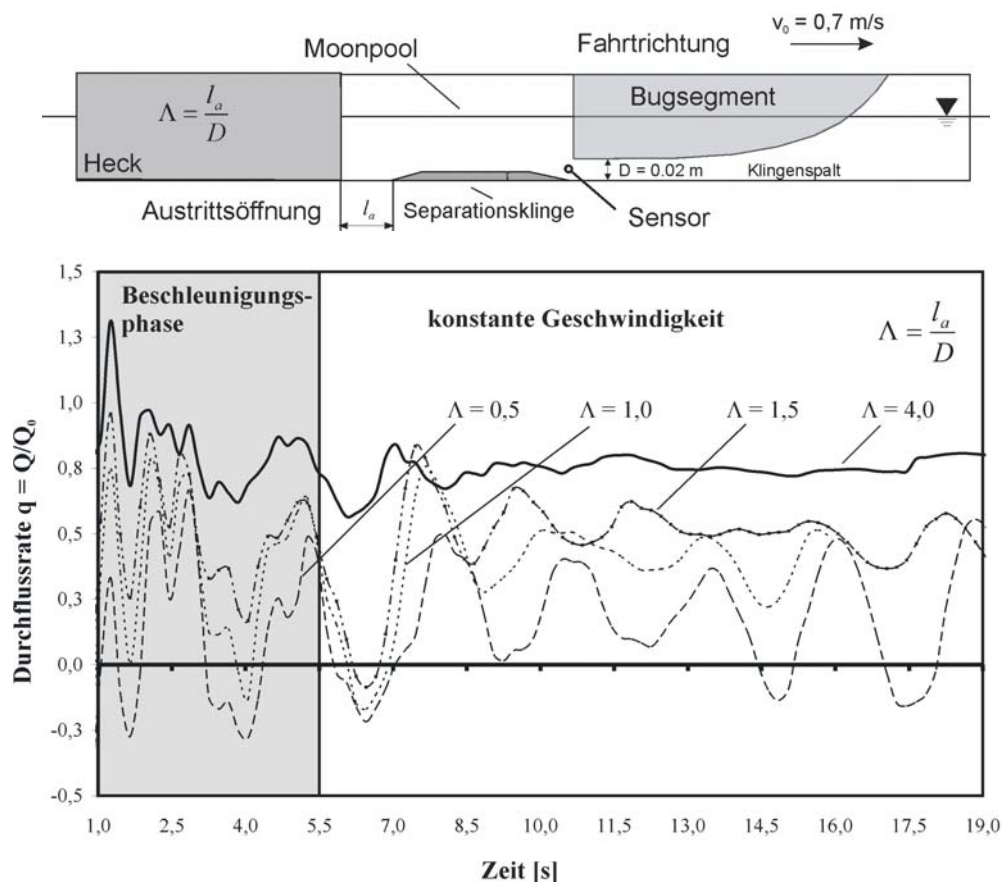


Abb. 3: Durchflussraten an der Eintrittsöffnung (Modellmaßstab 1:15)

Fig. 3: Discharge rate at moon pool entrance

Für größere Werte von  $\Lambda$  zeigt Abb. 3, dass die anfänglich starken Strömungsschwankungen abklingen, so dass auch keine negative Strömungsgeschwindigkeit mehr auftritt. Es zeigt sich, dass der Volumenstrom bei einem optimalen Verhältnis  $\Lambda = 4$  nahezu stationär ist, wobei ca. 80 % des auf die Einheitsbreite bezogenen Zustroms  $Q_0$  in den Moonpool fließen.

Weiterhin wurden für  $\Lambda = 4$  Ölpartikel mit zwei unterschiedlichen Dichten ( $\rho = 840 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho = 970 \text{ kg/m}^3$ ) in der Strömung simuliert. In Abb. 4 und Abb. 5 ist deutlich zu erkennen, wie die Ölpartikel bei einer Schleppgeschwindigkeit  $v_0 = 0.7 \text{ m/s}$  an die Wasseroberfläche des Moonpools aufsteigen und sich dort sammeln.

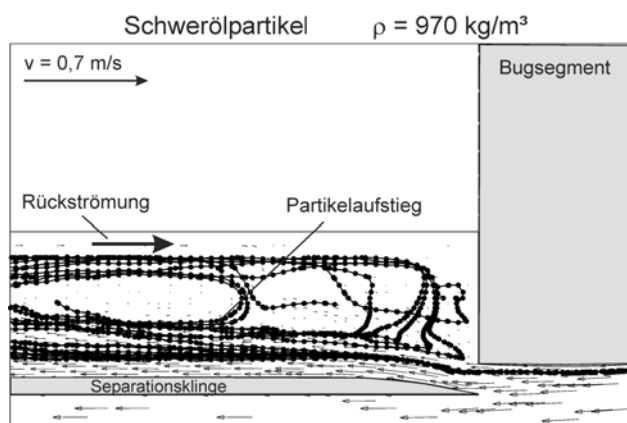


Abb. 4: Aufstiegsverhalten der Schwerölpartikel im Moonpool bei  $\Lambda = 4$   
 Fig. 4: Ascent behaviour of the heavy oil particle in the moon pool ( $\Lambda = 4$ )

Die CFD-Ergebnisse wurden experimentell mit der gleichen Betriebskonfiguration wie bei den Rechnungen validiert, wobei als Substitut für die Ölpartikel Kunststoffpartikel verwendet wurden. Abb. 5 illustriert die Übereinstimmung der Ergebnisse der Schleppversuche mit den aus der numerischen Simulation gewonnenen Daten.

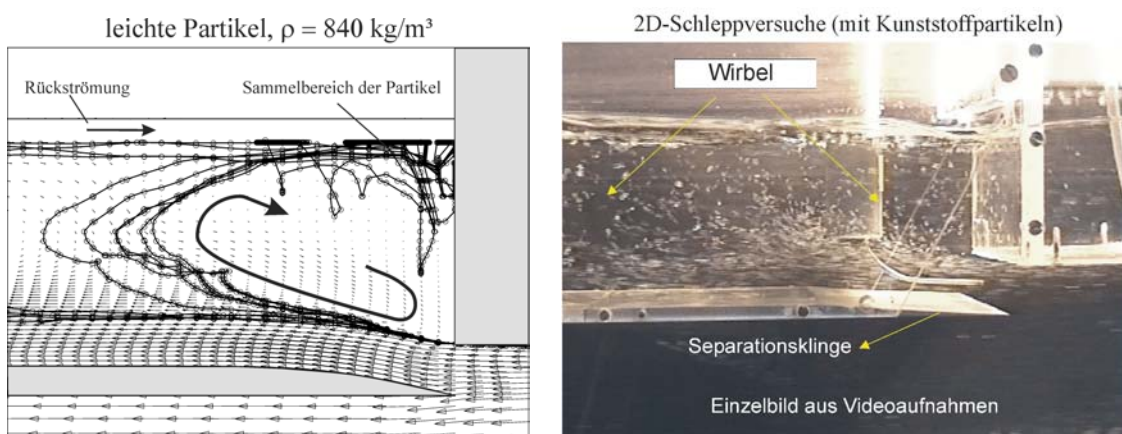


Abb. 5: Vergleich der Ergebnisse der CFD-Berechnungen mit den Ergebnissen der 2D-Schleppversuche bei einer Schleppgeschwindigkeit von  $v_0 = 0,7$  m/s

Fig. 5: Comparison of CFD results and 2D towing tests ( $v_0 = 0.7$  m/s)

Der entwickelte Ölskimmer wurde in ein Trägerschiffmodell (Abb. 6 (rechts), Modellmaßstab 1:15) integriert, welches sich an dem Ölunfallbekämpfungsschiff MPOSS (Multi Purpose Oil Skimming System, Abb. 6, links) orientiert. Auf diese Weise kann der Ölskimmer mit Trägerschiff im Seegang (Wellenhöhen bis zu 2 m in der Großversion) im Ölteppich erprobt und die Funktionsweise optimiert werden. Die Schlepp- und Seegangversuche wurden im Eis- und Umwelttank der HSVA (Hamburgische Schiffbau -Versuchsanstalt) sowohl mit Paraffinöl als auch mit einem Dieselöl/IFO30-Gemisch durchgeführt.



Abb. 6: Schematische Darstellung des MPOSS Schiffs mit integriertem Ölskimmer (links), Ansicht des Trägerschiffmodells (rechts)

Fig. 6: MPOSS with integrated skimming unit (left), Model of parent ship MPOSS (right)



Die Strömung der Ölschicht im Bereich der Separationsklinge und im Moonpool wird durch eine seitlich angebrachte Videokamera aufgezeichnet (Abb. 6, rechts). Bei den Experimenten wurden drei unterschiedliche Schleppgeschwindigkeiten, die in der Großversion 2.2, 3.3 und 4.4 kn entsprechen, sowie zwei Seegänge mit  $H = 1$  m bei  $T = 5$  s und  $H = 2$  m bei  $T = 7$  s untersucht. Bei allen Konfigurationen wurde die durch CFD-Rechnungen optimierte Skimmergeometrie verwendet.

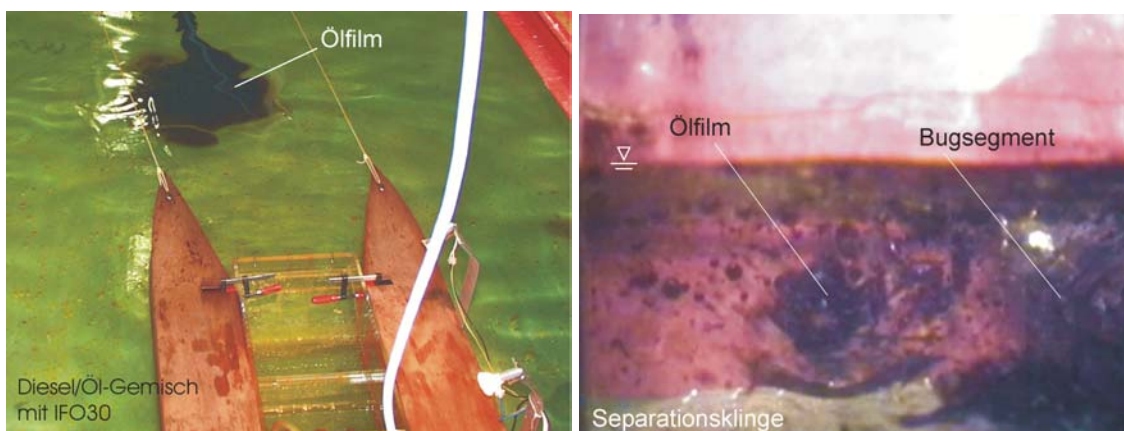


Abb. 7: Schleppfahrt durch den Ölteppich (links), Ölgemisch, bestehend aus Dieselöl und IFO30 Schweröl, Einlauf der Ölschicht durch den Separationsspalt in das Auffangbecken (rechts)

Fig. 7: Towing test through oil slick (left), Flow of oil particle recorded by the on-board camera (right)

### 3. Einfluss des Trägerschiffs auf den integrierten Ölskimmer

Im Idealfall wird der Seegang mit dem darauf schwimmenden Ölfilm durch das Bugsegment geglättet, sodass keine Verwirbelungen vor dem Skimmer entstehen. Abb. 7 illustriert, wie der Ölfilm zu 100 % in den Moonpool gefördert wird. Bei den Ölversuchen hat sich jedoch gezeigt, dass die Einsatzmöglichkeiten des Ölskimmers durch Wellenbrechung vor dem Skimmer und Sloshingbewegungen im Moonpool beschränkt sind. Um diese Effekte zu analysieren und die Skimmergeometrie an das MPOSS-Trägerschiff anzupassen, werden im Rahmen des derzeit laufenden BMBF-Forschungsprojekts 03SX196 experimentelle und numerische Untersuchungen durchgeführt.

#### 3.1. Experimentelle Untersuchungen

Die experimentellen Untersuchungen werden in den Versuchsanlagen des Fachgebiets Meerestechnik an der TU Berlin durchgeführt, wobei das dynamische Verhalten des Trägerschiffs mit integriertem Ölskimmer im Seegang analysiert wird.

Die Bewegung des Gesamtsystems wird über Weggeber in sechs Freiheitsgraden gemessen und anschließend ausgewertet, wobei die Tauch- und Stampfbewegungen für die Optimierung der Skimmergeometrie von hauptsächlichem Interesse sind. Die daraus gewonnenen Ergebnisse werden in der späteren numerischen Strömungssimulation berücksichtigt.

Abb. 8 zeigt die Übertragungsfunktionen der Tauch- und Stampfbewegungen (in Großversion), wobei  $s_{3a}$  bzw.  $s_{5a}$  die Bewegungsamplitude und  $\zeta_a$  die Wellenamplitude bezeichnen. Bei niedrigen Wellenfrequenzen folgt die Struktur dem Seegang, die Relativbewegung zwischen Schiff und Welle sind gering. In kürzeren Wellen – bei Frequenzen von  $\omega = 1 \dots 2$  rad/s sind die Schiffsbewegungen kleiner, was größere Relativbewegungen zur Welle – insbesondere im Bereich des Bugs – zur Folge hat. Bei noch höheren Seegangsfrequenzen schlagen die Wellen auf das Bugsegment des Ölskimmers und brechen. Hierbei wird der Ölteppich zerrissen und ein Teil des Öls vom Skimmer weggeschleudert (gegen die Fahrtrichtung), während der andere Teil tief unter den Schiffsrumpf gedrückt wird, sodass das Öl nicht mehr kontinuierlich zur Separationsklinge strömt.

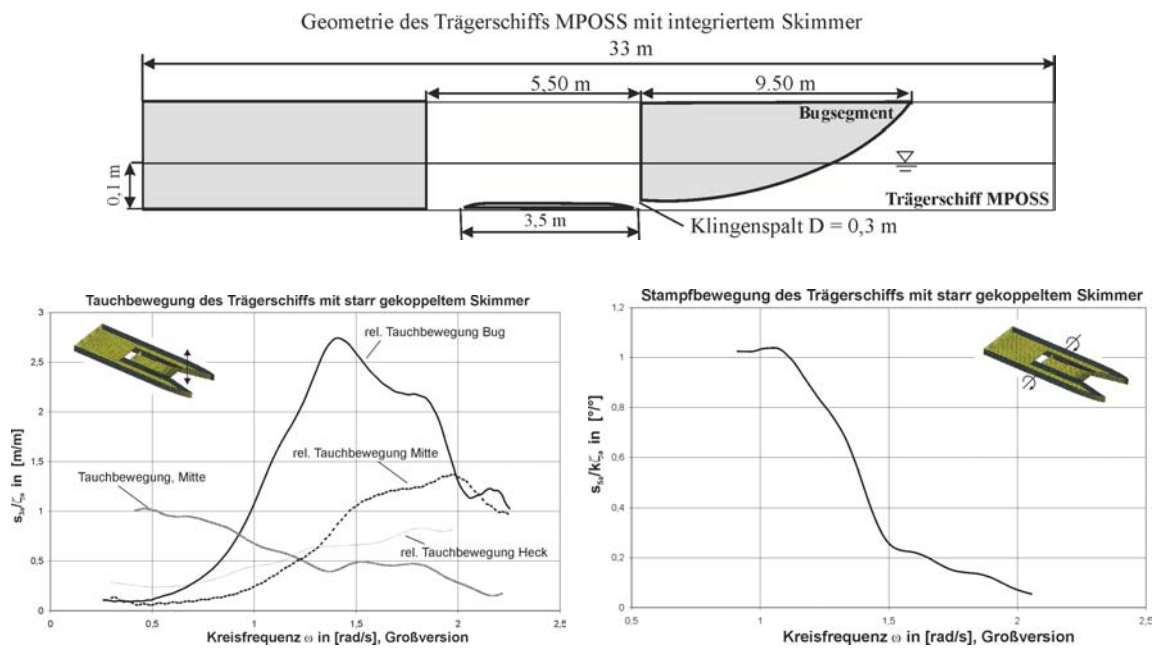


Fig. 8: Heave (left) and pitch (right) response amplitude operators of the oil skimming system (full scale)

Um die oben genannten Phänomene (Wellenbrechungen und Sloshing) zu minimieren, wird der Skimmer durch numerische Simulationen unter Berücksichtigung der experimentell ermittelten Schiffsbewegung analysiert und die Geometrie sowie die Betriebsparameter an das Ölunfallbekämpfungsschiff MPOSS angepasst. Im Gegensatz zu den experimentellen Untersuchungen können Strömungsphänomene bei CFD-Methoden lokal an beliebigen Stellen im Rechnungsgebiet visualisiert werden.

### 3.2. Instationäre Strömungsberechnung mit freier Oberfläche (RANSE/VOF)

Da im Wechselspiel zwischen Seegang, Ölfilm und Skimmer neben potentialtheoretisch erfassbaren Größen auch Viskosität (Öl/Wasser-Mischung), Verwirbelungen sowie die nichtlineare Beschreibung der freien Oberfläche eine wichtige Rolle spielen, muss ein Rechenverfahren gewählt werden, das in der Lage ist, die komplexe Strömung um den Skimmer zu erfassen. Grundsätzlich werden für die Berechnung von viskosen Strömungen Verfahren verwendet, die auf der Lösung der Navier Stokes- bzw. der zeitlich gemittelten Navier Stokes-Gleichungen basieren (RANSE).

$$\begin{aligned} \rho \cdot (u_t + uu_x + vv_y + ww_z) &= -p_x + \mu \cdot (u_{xx} + u_{yy} + u_{zz}) + \rho \cdot f_x - \rho \cdot \left( \overline{(u'u')}_x + \overline{(u'v')}_y + \overline{(u'w')}_z \right) \\ \rho \cdot (v_t + uv_x + vv_y + vw_z) &= -p_y + \mu \cdot (v_{xx} + v_{yy} + v_{zz}) + \rho \cdot f_y - \rho \cdot \left( \overline{(u'v')}_x + \overline{(v'v')}_y + \overline{(v'w')}_z \right) \\ \rho \cdot (w_t + uw_x + vw_y + ww_z) &= -p_z + \mu \cdot (u_{xx} + u_{yy} + u_{zz}) + \rho \cdot f_z - \rho \cdot \left( \overline{(u'w')}_x + \overline{(v'w')}_y + \overline{(w'w')}_z \right) \end{aligned}$$

Zur Beschreibung der Grenzschicht zwischen den Phasen Luft, Öl, Wasser wird die sog. VOF-Methode (*Hirt and Nichols (1981), Ubbink (1997)*) verwendet und mit den oben genannten RANS-Gleichungen gekoppelt. Zur Veranschaulichung der allgemeinen, theoretischen Grundlagen der VOF-Methode wird ein vereinfachter zweidimensionaler Fall in Abb. 9 vorgestellt. Es wird eine Variable  $q$  eingeführt, die für jede einzelne Zelle das Verhältnis der Phasen zueinander beschreibt ( $0 \leq q \leq 1$ , mit  $q = 0 \rightarrow 100\%$  Phase 1 (z.B. Luft) und  $q = 1 \rightarrow 100\%$  Phase 2 (z.B. Wasser)).

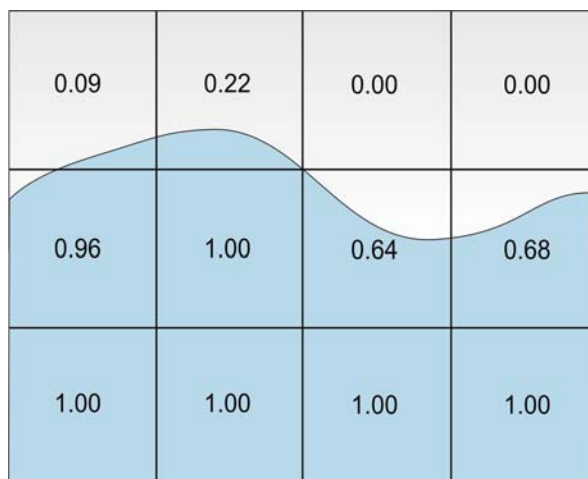


Abb. 9: Verschiedene Größen der Variablen in Berechnungsgitterzellen  
Fig. 9: Indicator function on a discrete mesh

### 3.3. Analyse der Strömungsphänomene um den Skimmer

Die numerischen Strömungsberechnungen werden schrittweise aufeinander aufgebaut, wobei zunächst nur die Strömung im Moonpool simuliert wird. Damit werden Ergebnisse bei geringem Rechenaufwand schnell erzielt. In der Simulation werden die Sloshingbewegungen und deren negativer Einfluss auf den Ölabschöpfgrad im Moonpool analysiert und durch Untersuchung verschiedener Moonpoolkonfigurationen minimiert (Abb. 10). Anschließend wird das gesamte Strömungsgebiet um den Skimmer mit der optimierten Moonpool-Geometrie in einem numerischen Wellenkanal mit dem Ziel untersucht, die Wellenbrechungen am Bugsegment zu reduzieren.

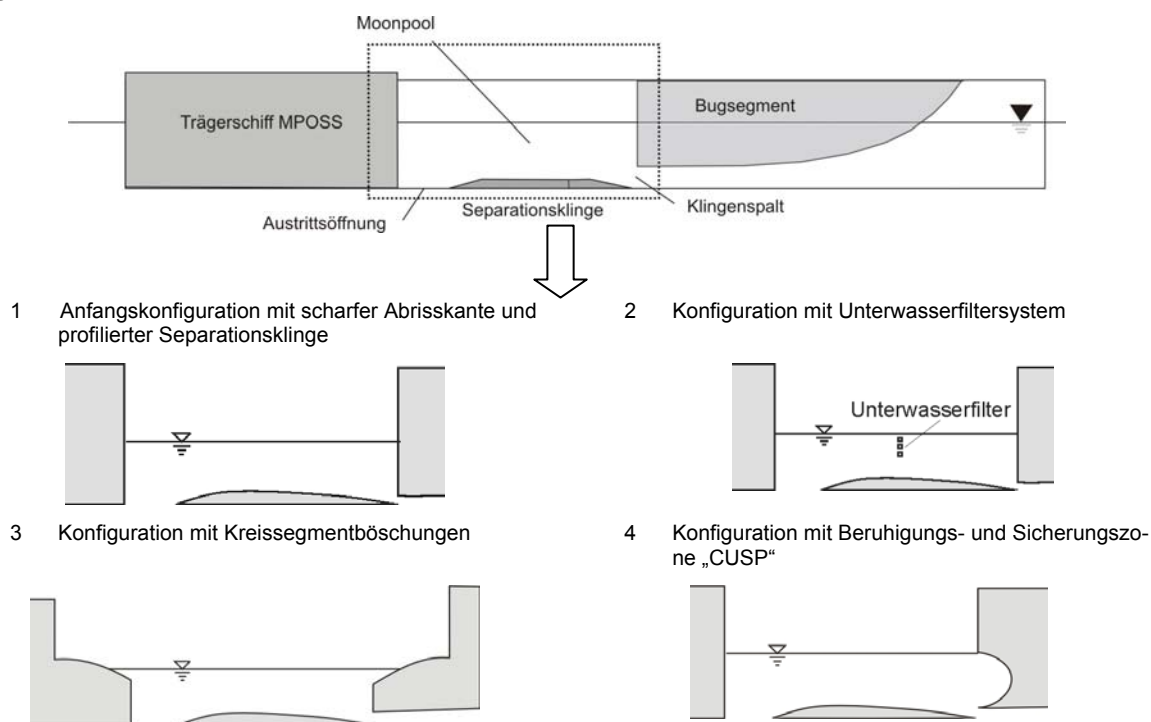


Abb. 10: Bei den numerischen Rechnungen verwendete Moonpoolkonfigurationen

Fig. 10: Moon pool configurations for the numeric calculations

**1. Konfiguration:** Zur Analyse der Sloshingbewegung sowie deren Einfluss auf den Wirbel hinter dem Bugsegment und auf das Öl/Wasser-Mischverhalten werden zwei Rechnungen bei einer Schleppegeschwindigkeit von  $v_0 = 0,2$  m/s - mit und ohne Trägerschiffbewegung - durchgeführt und miteinander verglichen. Abb. 11 (oben) zeigt, wie sich bei der Rechnung ohne Schiffsbewegung ein stationärer Wirbel hinter dem Bugsegment bildet, welcher den Ölfilm kontinuierlich an die Wasseroberfläche im Moonpool befördert. Im Gegensatz dazu

entsteht infolge der Schiffsbewegung im Moonpool ein Wellenfeld, welches die Entwicklung eines stationären Wirbels verhindert und die Öl-Wasser-Vermischung verstärkt (Abb. 11, unten). Ohne den Separationswirbel steigt das Öl nur sehr langsam aufgrund des Dichteunterschieds zur Wasseroberfläche.

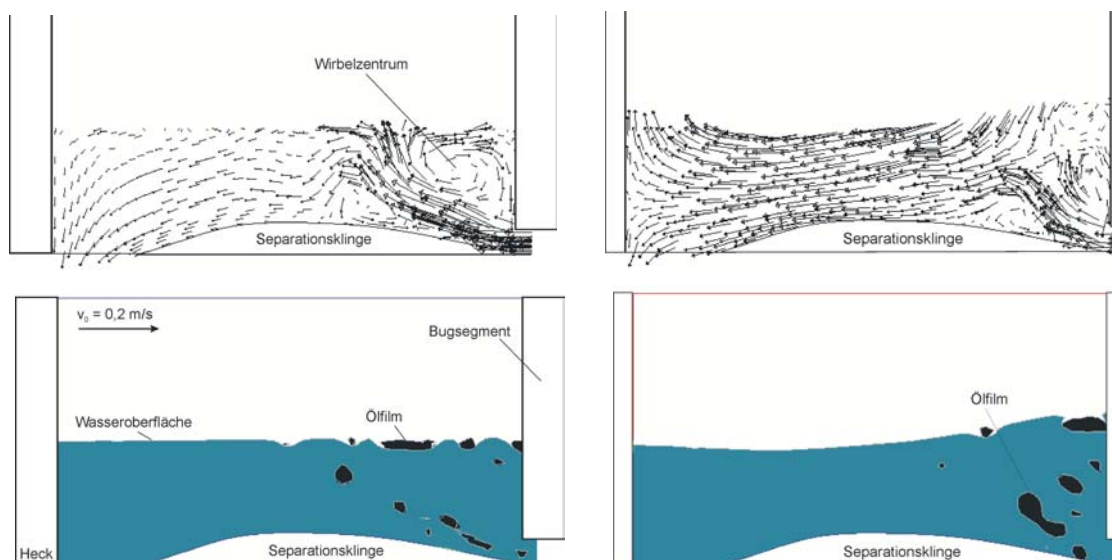


Abb. 11: Aufstiegsverhalten des Öls und Geschwindigkeitsverteilung mit (rechts) und ohne Schiffsbewegung (links)

Fig. 11: Ascent behaviour of the oil and distribution of velocity with and without ship motion

Bei längerer Rechenzeit ist in Abb. 12 (links) deutlich zu erkennen, dass das Öl durch die Sloshingbewegungen immer wieder mit dem Wasser vermischt wird. Ohne Schiffsbewegung steigt das Öl durch den Auftrieb und die Wirkung des Wirbels an die ruhende Wasseroberfläche des Moonpools auf (Abb. 12, rechts).

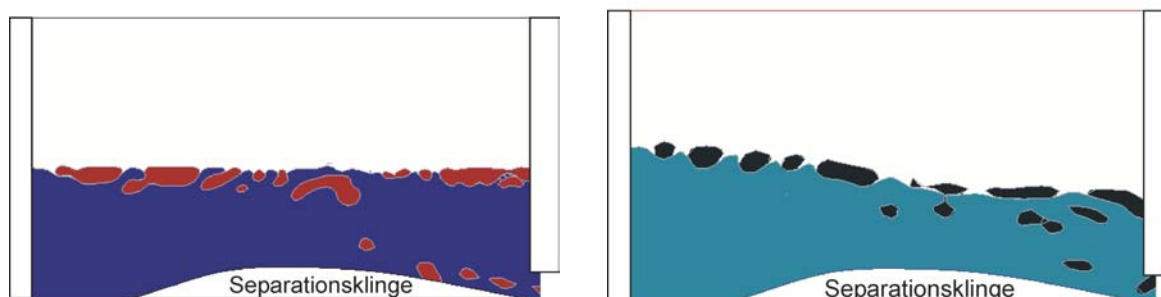


Abb. 12: Öl-/Wasser-Mischverhalten mit Sloshingbewegung (links) und ohne (rechts)

Fig. 12: Oil-/water- mixing behaviour with sloshing motion (right) and without (left)

**2. Konfiguration:** Bei der zweiten Konfiguration wird ein Unterwasserfilter zur Wellendämpfung (poröse Wand) in der Mitte des Moonpools simuliert, ohne dabei das auf der Wasseroberfläche schwimmende Öl zu beeinflussen. Die ersten Untersuchungsergebnisse zeigen, dass sowohl der Wirbel, als auch das Aufstiegsverhalten nicht beeinflusst werden. Abb. 13 (links) illustriert, wie sich eine Welle im Moonpool ausbildet, die durch den Unterwasserfilter gedämpft wird (Abb. 13, rechts).

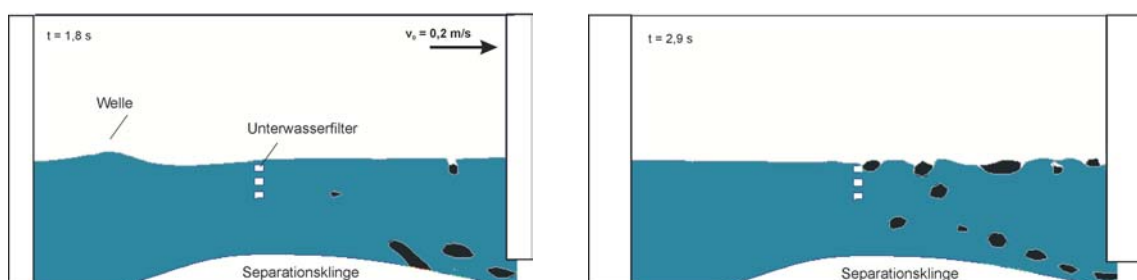


Abb. 13: Ausbreitung der Welle (links), beruhigte Wasseroberfläche (rechts)

Fig. 13: Wave dispersion (left), calmed down water surface



## 4. Ausblick

In den kommenden Arbeitsschritten werden die dritte und vierte Konfiguration untersucht und die Ergebnisse aller Varianten untereinander verglichen, um eine bestmögliche Moonpoolgeometrie zu erzielen. Mit der optimalen Geometrie wird das Gesamtsystem (Trägerschiff mit Skimmer) sowohl numerisch als auch experimentell analysiert. Bei den experimentellen Untersuchungen wird der Skimmer frei schwimmend – teilweise entkoppelt vom Trägersystem – zwischen den MPOSS-Rümpfen vertäut, damit er dem Seegang besser folgen kann. Anschließend wird der Skimmer in einem numerischen Kanal simuliert, um das Strömungsverhalten und die Öl/Wasser-Mischung zu analysieren. Nach Abschluss der Optimierungsphase kann ein funktionsfähiger Skimmer-Prototyp gebaut und in das MPOSS-Schiff integriert werden. Durch diesen Prototyp werden wertvolle Erfahrungen im Ölunfallbekämpfungseinsatz gesammelt, die für den Bau eines größeren Schiffes unverzichtbar sind. Dieses Schiff kann nicht nur zur Ölunfallbekämpfung eingesetzt, sondern auch als Bergungs-, Tonnen- und Kabellegerschiff genutzt werden.

## 5. Literatur

- Clauss, G. and Abu Amro, M. (2004 a). *Two- and three-phase flow computation for the optimization of oil skimming systems*. 3rd International Symposium on Two-Phase Flow Modelling and Experimentation. Pisa, Italy
- Clauss, G. and Abu Amro, M. (2004 b). *SOS - A new design concept for seaway independent oil skimming*. 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE, Vancouver, Canada
- Clauss, G., Habel, R., Vannahme, M., and Abu Amro, M. (2002). Development of oil skimming vessels for high seas. In 10th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean, IMAM, Crete, Greece.
- Hirt, C. W. and Nichols, B. D. (1981). *Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries*. Journal of Computational Physics, Vol. 39, S. 201-225.
- Ölunfallausschuss See/Küste (1989). *Ölunfallbekämpfung im See- und Küstengebiet der Bundesrepublik Deutschland*. Georg Appel, Bremen
- Ubbink, O. (1997). *Numerical prediction of two fluid systems with sharp interfaces*. Department of Mechanical Engineering Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, England.

## 6. Dankwort

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Forschungsprojektes „SOS – Integration eines Seegangsunabhängigen Ölskimmers in ein Ölunfallbekämpfungsschiff“ (FKZ 03SX196). Weiterhin danken die Autoren Herrn Cand.-Ing. Daniel Testa für die Unterstützung bei der Fertigstellung der schriftlichen Fassung.

### Korrespondenzadresse:

Prof. Dr.-Ing. Günther Clauss, G.Clauss@ism.tu-berlin.de

Dipl.-Ing. Mazen Abu Amro, Abuamro@ism.tu-berlin.de

Technische Universität Berlin

Institut für Land- und Seeverkehr, FG Meerestechnik

Salzufer 17-19, SG 17

10587 Berlin