

*Hydrodynamisches Gutachten zur
Kollision zwischen MS LASS URANUS
und MS XIN FU ZHOU*

Bericht Nr. NEF 2007.162

Version 04/2007-07-17

Abteilung Fluid Dynamics/NEF

INHALT

1	Einleitung	1
2	Problemdarstellung	1
2.1	Eingangsdaten	1
2.2	Modellierung der Schiffsrümpfe	1
2.3	Modellierung des Elbabschnitts	2
3	Berechnungsmethode	5
3.1	Verwendetes Koordinatensystem	5
3.2	Grundgleichungen	5
3.3	Diskretisierung	7
3.4	Lösungsalgorithmus	7
4	Strömungssimulation	8
4.1	Numerisches Berechnungsgitter für die Strömungssimulation	8
4.2	Randbedingungen	10
4.3	Initialisierung des Strömungsgebietes	10
4.4	Realisierung der Schiffsbewegung	10
5	Berechnungsergebnisse	10
5.1	Berechnungsergebnisse ohne Berücksichtigung der freien Wasseroberfläche	10
5.2	Berechnungsergebnisse mit Berücksichtigung der freien Wasseroberfläche	13
5.3	Interpretation der Simulationsergebnisse	15
6	Abschätzung der Kräfte und Momente der Manövrierorgane	17
7	Schlussfolgerungen	18
8	Zusammenfassung	18
9	Literatur	19
9.1	Zeitreihen ohne Berücksichtigung der freien Wasseroberfläche	1
9.1.1	Druckverteilung LASS URANUS	1
9.1.2	Druckverteilung XIN FU ZHOU	3
9.1.3	Druckverteilung ME MELISSA	5
9.1.4	Druckverteilung am Ruhewasserspiegel	8
9.2	Zeitreihen mit Berücksichtigung der freien Wasseroberfläche	11
9.2.1	Berechnete Wellenerhebung	11

1 Einleitung

Im Rahmen dieses Gutachtens wird untersucht, welche maßgeblichen hydrodynamischen Wechselwirkungen beim Überholen bzw. Begegnen von Schiffen im fließenden Gewässer auftreten. Die ungünstige Konstellation dreier Schiffe führte am 12. Juli 2006 auf der Elbe zu einem Seeunfall. Die Situation wird in einem geeigneten Zeitfenster mit den örtlichen Gegebenheiten modelliert und auf der Grundlage aktueller Strömungssimulationsverfahren die hydrodynamisch auftretenden Effekte abgeschätzt.

2 Problemdarstellung

2.1 Eingangsdaten

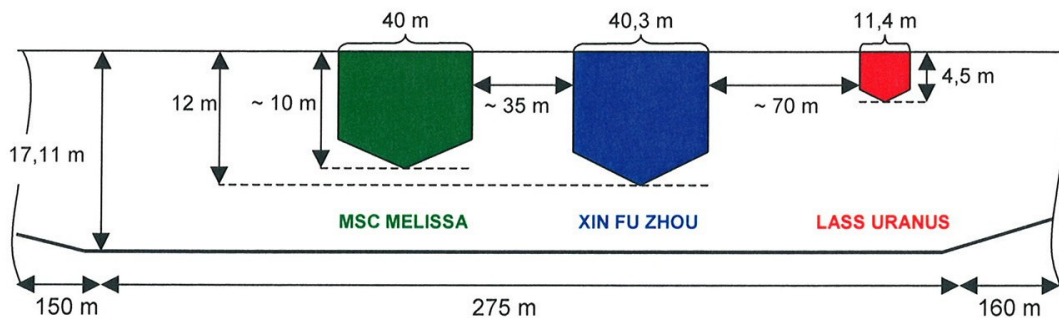


Abbildung 2. 1: Querschnittsdarstellung der Dreierbegegnung

Die Abb. 2.1. ist eine vereinfachte Skizze der Überhol- bzw. Begegnungssituation der drei Schiffe. Die Darstellung zeigt die Blickrichtung Elbabwärts in Fahrtrichtung der LASS URANUS und der überholenden XIN FU ZHOU. Die MSC MELISSA fährt Elbaufwärts, der Strom setzt ebenfalls Elbaufwärts. Die angegebenen Zahlenwerte sowie die zugrunde liegenden Schiffs- und Strömungsgeschwindigkeiten stützen sich auf entsprechende Gutachten und dienen folgend definiert als Eingangsparameter für die Modellbildung. Von den im betrachteten Zeitfenster am Kollisionsort zusätzlich anwesenden Schiffen (Lotsenboot LOTSE 1 und Schlepper TUMAK) werden keine signifikanten hydrodynamischen Wirkungen erwartet, so dass sie in der hier vorgestellten Modellierung vernachlässigt werden.

2.2 Modellierung der Schiffsrümpfe

Im Rahmen dieser hydrodynamischen Untersuchung wurden drei der beteiligten Schiffe modelliert, d.h. die Linien der Schiffe müssen zur Berechnung in eine elektronisch lesbare Beschreibung überführt werden. Für die LASS URANUS existiert die klassische Form eines zeichnerischen Linienrisses, der im ersten Schritt digitalisiert wurde.

Für die Rümpfe der XIN FU ZHOU und die MSC MELISSA wurden die Linien von Vergleichsschiffen herangezogen, da die originalen Daten nicht verfügbar waren bzw. keine Freigaben existierten. Die Vergleichsrümpfe wurden entsprechend der bekannten Hauptabmessungen verzerrt. In folgender Tabelle sind die für die Berechnung zugrunde liegenden Daten zusammengefasst:

Tabelle 2. 1: Hauptabmessungen der modellierten Schiffsrümpfe

	LASS URANUS (Schiff 3)	XIN FU ZHOU (Schiff 2)	MSC MELISSA (Schiff 1)
L_{PP}	71,746 m	265,8 m	303,0 m
B	11,40 m	40,3 m	40,0 m
T	4,50 m	12,0 m	10,0 m

2.3 Modellierung des Elbabschnitts

Für die Berechnung wurde eine Abschnittslänge der Elbe von 4 km Länge modelliert. Hierbei wurde die Engstelle sowie die globale Flusslaufverengung bei Finkenwerder berücksichtigt (Abb. 2.3). Das Flussprofil entspricht einem Trapez mit einer angenommenen Strömungsverteilung wie in Abb. 2.2 dargestellt. In der Flussmitte herrscht eine konstante Strömungsgeschwindigkeit von 1,375 m/s und an den Ufern von 1,0 m/s. Als Übergangsbereich wurden zwei Streifen mit 1,17 m/s definiert. Der modellierte Flussabschnitt hat die konstante Wassertiefe von $h=17,11\text{m}$.



Abbildung 2. 2: Flussquerschnitt inklusive des angenommenen Profils der Strömungsverteilung

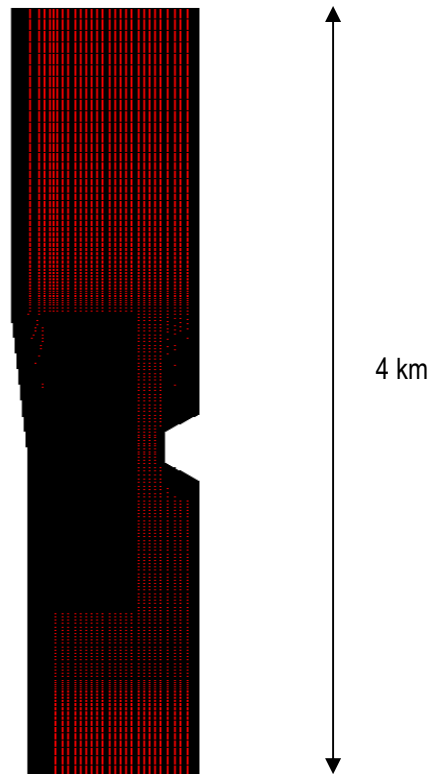


Abbildung 2. 3: Modellierung des Elbabschnitts. Draufsicht, Strom setzt von unten nach oben. Bewegungsbahnen und Schiffsgeschwindigkeiten

Für die Modellrechnung wird angenommen, dass sich die Schiffe gradlinig auf parallelen Bahnen mit konstanter Geschwindigkeit bewegen. Die Abb. 2.4 zeigt eine Prinzipsskizze der Begegnungssituation. Angegeben sind die absoluten Geschwindigkeiten über Grund in ortsfesten Koordinaten. Demnach bewegt sich die LASS URANUS mit einer absoluten Geschwindigkeit von 0,8 m/s (1,6 kn), die XIN FU ZHOU mit 3,9 m/s (7,6kn) und die MSC MELISSA mit 2,9 m/s (5,6 kn). Hierbei ist zu beachten, dass aus hydrodynamischer Sicht, die relativen Geschwindigkeiten (Fahrt durchs Wasser) die größere Bedeutung haben. Die seitlichen Abstände der Bahnen sind in Abb. 2.1 definiert.

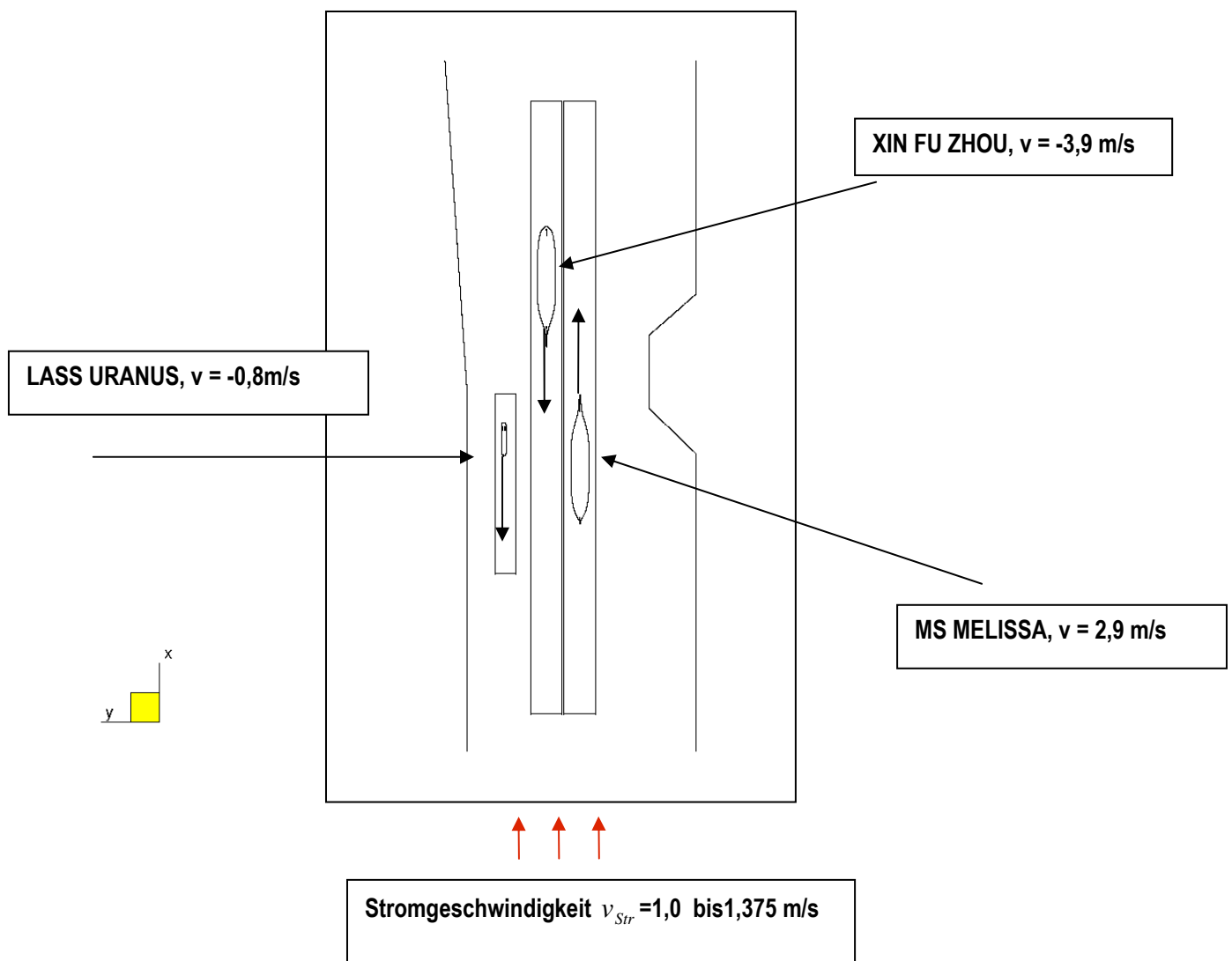


Abbildung 2. 4: Schiffs- und Stromgeschwindigkeiten sowie die Bewegungsbahnen

3 Berechnungsmethode

3.1 Verwendetes Koordinatensystem

Es wird ein erdfestes Koordinatensystem (0,x,y,z) verwendet, dessen x-Achse verläuft positiv in Stromrichtung der Elbe, die y-Achse positiv zur Backbordseite der MSC MELISSA und die z-Achse positiv nach oben. Der Ursprung 0 liegt am Einstromrand des Berechnungsgebietes.

3.2 Grundgleichungen

Es werden lediglich die wesentlichen Merkmale des hier verwendeten numerischen Verfahrens Comet [1], [2] erläutert. Eine vollständige Beschreibung der numerischen Methode ist in [3] zu finden. Die hier berechneten Strömungen folgen in sehr guter Annäherung den Gesetzen eines inkompressiblen *Newtonschen* Fluids. Das Verhalten eines derartigen Fluids wird durch die Erhaltungsgleichungen für die Masse und den Impuls (die Navier-Stokes-Gleichungen) beschrieben. Diese werden hier in Integralform angegeben, weil die Diskretisierung einer Finite-Volumen-Methode zu Grunde liegt.

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \mathbf{v} dV + \int_S \rho \mathbf{v} \cdot d\mathbf{S} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \mathbf{v} \mathbf{v} dV + \int_S \rho \mathbf{v} \mathbf{v} \cdot d\mathbf{S} = \int_S (\vec{\tau} - p \vec{I}) \cdot d\mathbf{S} + \int_V \mathbf{f} dV \quad (5)$$

Dabei bezeichnet ρ die Dichte des Fluids, V das Volumen, S die Randfläche des Kontrollvolumens (KV) und $d\mathbf{S}$ den nach außen gerichteten Oberflächenvektor. \mathbf{v} ist der Geschwindigkeitsvektor des Fluids und p der Druck. \mathbf{f} steht für die resultierende Volumenkraft pro Volumeneinheit, t für die Zeit, \vec{I} für den Einheitstensor und $\vec{\tau}$ für den viskosen Spannungstensor, dessen Komponenten zu den Deformationsraten des Fluids proportional sind; für inkompressible Fluide gilt:

$$\vec{\tau} = \mu (\mathbf{grad} \mathbf{v} + (\mathbf{grad} \mathbf{v})^T) \quad (6)$$

μ bezeichnet die dynamische Viskosität des Fluids.

Die Navier-Stokes-Gleichungen werden im Sinne von *Reynolds* zeitlich gemittelt. Dabei werden die Geschwindigkeit und der Druck in einen Mittelwert und eine Schwankung aufgespalten.

$$\mathbf{v} = \bar{\mathbf{v}} + \mathbf{v}' \quad ; \quad p = \bar{p} + p' \quad (7)$$

wobei $\bar{\mathbf{v}}$ und \bar{p} die Mittelwerte sind, \mathbf{v}' und p' die Schwankung der Geschwindigkeit bzw. des Druckes darstellen. Diese Art der Turbulenzmodellierung beruht auf einer statistischen Betrachtung der Turbulenz. Setzt man die Ansätze (4) in die Gleichungen (1) und (2) und führt den Mittelungsprozess durch, erhält man die *Reynolds*-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen (RANSE). Aus dem Mittelungsprozess des konvektiven Terms $\rho \mathbf{v} \mathbf{v}$ ist ein zusätzlicher Term entstanden, der sechs neue unbekannte Korrelationen der Form $\rho \overline{v_i' v_j'}$ (*Reynolds*-Spannungstensor) in die Gleichungen einbringt. Damit das Gleichungssystem lösbar wird, müssen die Komponenten des *Reynolds*-Spannungstensors mit Hilfe eines Turbulenzmodells durch die gemittelten Strömungsgrößen ausgedrückt werden.

Zusätzlich zu den Erhaltungsgleichungen für Masse und Impuls wird aufgrund der Gitterbewegung (Schiffsbewegung) eine Erhaltungsgleichung für den Raum gelöst.

Die Grenzfläche zwischen Wasser und Luft wird durch eine sogenannte *front-capturing*-Methode [3] aufgelöst. Dabei wird eine skalare Funktion C ($0 \leq C \leq 1$) definiert, die den Volumenanteil an Wasser innerhalb jeder Zelle beschreibt, d.h.:

$C = 1$ für vollständig mit Wasser gefüllte Zellen,

$C = 0$ für vollständig mit Luft gefüllte Zellen.

Mit Hilfe dieser Funktion kann ein effektives Fluid eingeführt werden, dessen Materialeigenschaften sich durch gewichtete Mittelung der Wasser- und Lufteigenschaften ergeben:

$$\text{Viskosität: } \mu_{eff} = C \cdot \mu_{Wasser} + (1 - C) \cdot \mu_{Luft} ,$$

$$\text{Dichte: } \rho_{eff} = C \cdot \rho_{Wasser} + (1 - C) \cdot \rho_{Luft} .$$

Zusätzlich zu den Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls und Raum wird für C eine konvektive Transportgleichung gelöst, um das Fortschreiten der durch $C = 0,5$ definierten Wasserfront zeitgenau zu erfassen. Ein sinnvoll konstruiertes Diskretisierungsverfahren HRIC [3] sorgt dafür, dass der Übergangsbereich von $C = 0$ auf $C = 1$ klein gehalten und somit die Luft-Wasser-Grenzfläche möglichst scharf aufgelöst wird. Dabei wird selektiv eine Mischung aus Upwind-Differenzen und Downwind-Differenzen abhängig von der Orientierung der Oberfläche gewählt. Weitere Details sind in [3] zu finden.

3.3 Diskretisierung

Die zuvor beschriebenen Gleichungen (RANSE) werden mit einem Finite-Volumen-Verfahren diskretisiert. Das Lösungsgebiet wird mit einem numerischen Gitter abgedeckt, welches aus Kontrollvolumina beliebiger Form bestehen kann. Das Verfahren benutzt eine zellenzentrierte Anordnung der Variablen. Dies bedeutet, dass alle Unbekannten im Schwerpunkt des KVs gespeichert sind. Die in den Erhaltungsgleichungen enthaltenen Flächen- und Volumenintegrale werden für jedes KV numerisch approximiert. Dabei werden Interpolationsmethoden und Differenzenapproximationen eingesetzt. Bei den Approximationen der Integrale tauchen neben den Variablenwerten in der Mitte des betrachteten KVs Variablenwerte von einigen Nachbar-KV auf. Die nichtlinearen Terme werden mittels der so genannten Picard-Iteration linearisiert. Für jedes KV entstehen sechs algebraische Gleichungen. Das entstandene Gleichungssystem für das gesamte Lösungsgebiet wird numerisch gelöst.

Die Flächen- und Volumenintegrale werden nach der Mittelpunkregel mit einem Abbruchfehler zweiter Ordnung berechnet. Die Variablen bzw. deren Gradienten an den Zellseiten werden durch lineare Interpolation gebildet. Um den Rechenstern klein zu halten und somit den Speicher- und Rechenaufwand zu minimieren, wird die deferred-correction-Methode [3] verwendet. Upwind-Differenzen werden hierbei implizit benutzt, wobei der Unterschied gegenüber Zentralfdifferenzen explizit in den Quelltermen berücksichtigt wird. Zur Druck-Geschwindigkeitskopplung wird eine Variante des SIMPLE-Algorithmus [2] eingesetzt. Für die Zeitintegration wird eine Methode zweiter Ordnung, die Dreizeit-Ebenen-Methode, verwendet.

Das numerische Verfahren ermöglicht die Verwendung unstrukturierter Gitter mit zellenweise lokaler Verfeinerung.

3.4 Lösungsalgorithmus

Der Algorithmus zur Lösung der diskretisierten Gleichungen arbeitet wie folgt:

- a) Die Variablenwerte werden für den Anfangszeitpunkt $t = t_0$ initialisiert.
- b) Das durch die Diskretisierung und Linearisierung der Impulsgleichungen entstandene Gleichungssystem wird für jede Geschwindigkeitskomponente aufgestellt. Der Druck und die restlichen Geschwindigkeitskomponenten werden aus der vorherigen Iteration bzw. dem alten Zeitschritt genommen.

- c) Das Gleichungssystem wird für jede Geschwindigkeitskomponente iterativ nacheinander mit Hilfe einer Methode der konjugierten Gradienten gelöst. Die berechneten Geschwindigkeitskomponenten erfüllen die Kontinuitätsgleichung nicht und müssen deshalb noch korrigiert werden.
- d) Die Druckkorrekturgleichung wird ebenfalls mit Hilfe einer Methode der konjugierten Gradienten gelöst. Der Druck, die Geschwindigkeitskomponenten in den KV-Zentren und die Massenflüsse durch die KV-Seiten werden mit der Druckkorrektur p' korrigiert.
- e) Die Transportgleichungen für die statistische Turbulenzmodellierung gelöst.
- f) Die Schritte c) bis e) werden so oft wiederholt, bis die Summe der normalisierten absoluten Residien für alle Gleichungen eine vorgegebene Genauigkeitsschranke unterschreiten.

4 Strömungssimulation

4.1 Numerisches Berechnungsgitter für die Strömungssimulation

Damit die gradlinige Bewegung der Schiffe über einen ausreichend langen Zeitraum realisiert werden kann, besteht das Berechnungsgitter prinzipiell aus drei unterschiedlichen Formationen:

- Schiffsfestes, geometriekonformes Gitter für alle drei Rümpfe
- Erdfestes Gitter zur Abbildung der Flussgeometrie
- Zeitlich veränderliche Gitter zur Kopplung der schiffsfesten mit dem erdfesten Gitter

In Abb. 4.1 und 4.2 ist die Anordnung der Gitter veranschaulicht. Vor und hinter den Rümpfen befindet sich jeweils ein Gitterblock, der während der Simulation gestaucht bzw. gestreckt wird, damit für die schiffsfesten Gitterblöcke eine gradlinige Bewegung zugelassen werden kann. An den seitlichen Begrenzungen werden die Gitter über geeignete Interpolationsmethoden (sliding interfaces) an das ortsfeste Flussgitter angebunden, so dass sich insgesamt ein geschlossenes Integrationsgebiet ergibt.

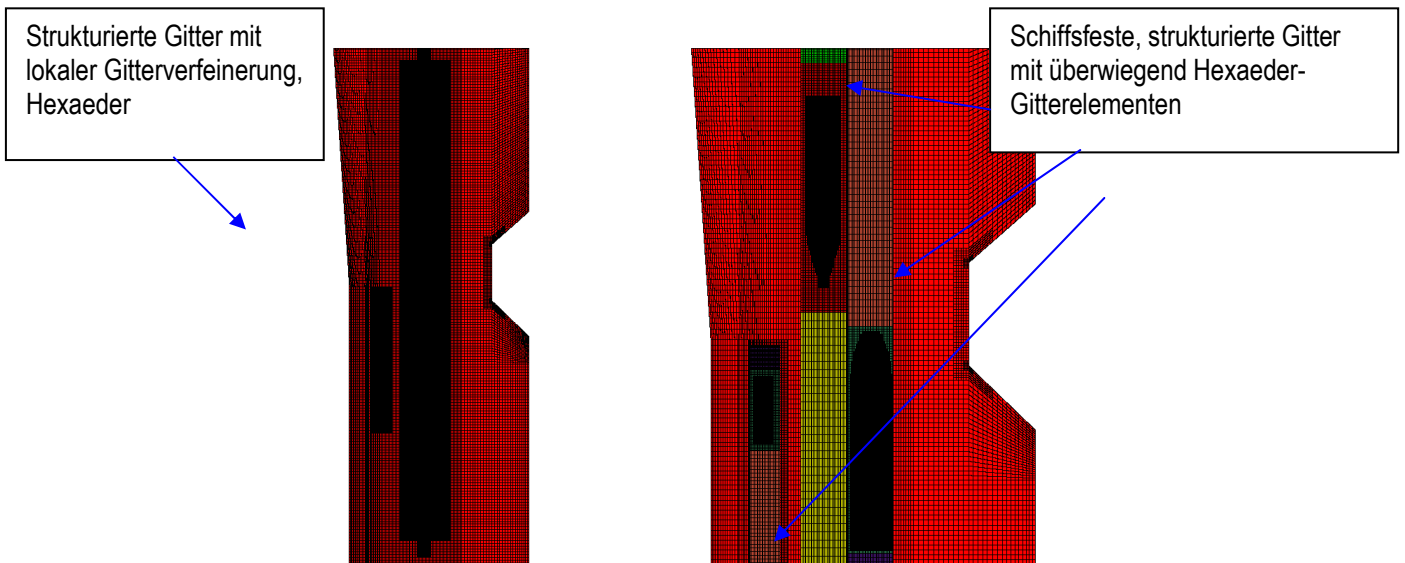


Abbildung 4. 1: Links: Gesamtes Berechnungsgebiet, Rechts: Ausschnitt im Bereich der Begegnung

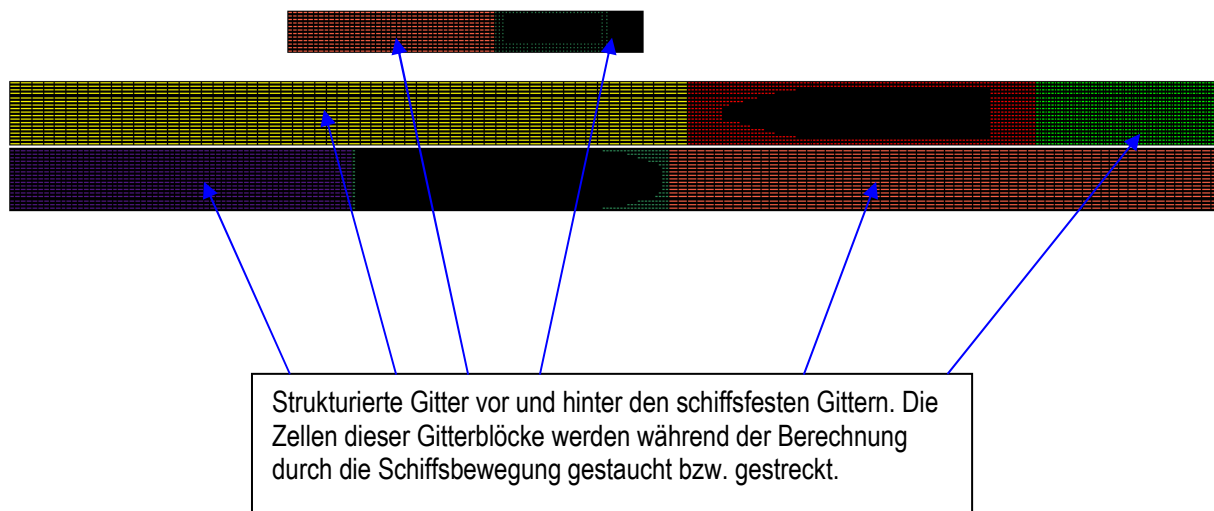


Abbildung 4. 2: Konzept der Gittergenerierung zur gradlinigen Relativbewegung

Für die Berechnungen ohne die Modellierung der freien Wasseroberfläche besteht das gesamte Gitter aus etwa 1.650.000 Gitterzellen. Hierzu gehören ca. 320.000 Gitterzellen zum lokalen Gitter der MSC MELISSA, 340.000 Zellen zur XIN FU ZHOU und etwa 400.000 Zellen zur LASS URANUS. Die Anzahl der Gitterzellen erhöht sich für die Berechnungen mit freier Oberfläche auf 3.150.000 für das gesamte Berechnungsgebiet mit jeweils

610.000 Zellen für die MSC MELISSA, 530.000 Zellen für die XIN FU ZHOU und 600.000 Zellen für die LASS URANUS.

4.2 Randbedingungen

Für jeden Schiffsrumpf gilt im Wasser die Haftbedingung mit einer Wandgeschwindigkeit entsprechend der jeweiligen Schiffsgeschwindigkeit. Am Gewässerboden gilt ebenfalls die Haftbedingung, hier allerdings mit der Geschwindigkeit null. Für die Berechnungen mit freier Wasseroberfläche wird am Auslassrand eine Nullgradienten-Druck-Randbedingung definiert und der hydrostatische Druck vorgegeben. Die restlichen Ränder des Lösungsgebietes werden als Einstromränder definiert.

4.3 Initialisierung des Strömungsgebietes

Das gesamte Strömungsfeld wird mit dem modellierten Geschwindigkeitsprofil der Elbe (s. Kap. 2.3, Abb. 2.2) initialisiert. Zum Zeitpunkt $t=0s$ werden die Schiffe mit einer Rampenfunktion auf die eigentliche Schiffsgeschwindigkeit beschleunigt, damit sich größere Druckgradienten langsam aufbauen können, ohne den Algorithmus beim Berechnungsstart zu destabilisieren.

4.4 Realisierung der Schiffsbewegung

Die Schiffsbewegung wird durch die Bewegung des schiffsfesten Berechnungsgitters und der entsprechenden Stauchungen bzw. Steckungen der voraus bzw. zurückliegenden Gitterblöcke (s. Kap. 4.1) in jedem Zeitschritt realisiert.

5 Berechnungsergebnisse

5.1 Berechnungsergebnisse ohne Berücksichtigung der freien Wasseroberfläche

Die erste Berechnungsserie ist ohne die Berücksichtigung der freien Wasseroberfläche durchgeführt worden, da in Anbetracht der relativ kleinen Geschwindigkeiten der beteiligten Schiffe bezüglich der Wellenbildung der Einfluss auf eine Sogwirkung eher mit einem untergeordneten Einfluss abgeschätzt werden kann (größte Froude-Zahl der XIN FU ZHOU $F_r = 0,1$). Trotzdem ist nachfolgend eine Berechnungsserie inklusive einer Modellierung der freien Wasseroberfläche durchgeführt worden (s. Kap 5.2). Die Effekte des beschränkten Fahrwassers werden per Definition innerhalb des Verfahrens berücksichtigt.

Die Grundlage für die interessierenden Integralgrößen Querkraft und Giermoment ist die in der Simulation berechnete Druckverteilung auf der unter Wasser liegenden Rumpfoberfläche. Die folgende Abb. 5.1 zeigt daher die LASS URANUS ('schiff 3') aus der Fischperspektive, d.h. die Druckverteilung an der getauchten Außenhaut.

Dargestellt ist an dieser Stelle die besonders interessierende Ergebnisreihe im Zeitfenster kurz vor der Kollision (Simulationszeit ca. 120s).

Die integrierten Größen Längskraft X, Querkraft Y und Vertikalkraft Z sowie des Moments um die Schiffsängsachse (Krängungsmoment K, x-Moment), der Querachse (Trimmmoment M, y-Moment) und um die Hochachse (Giermoment N, z-Moment) sind in den Abb. 5.2 - Abb. 5.4 gegenübergestellt.

Die Berechnungsergebnisse für die gesamte Simulationsdauer sowie die Druckverteilungen auf der Außenhaut der XI FU ZHOU und der MSC MELISSA sind im Anhang zusammengestellt.

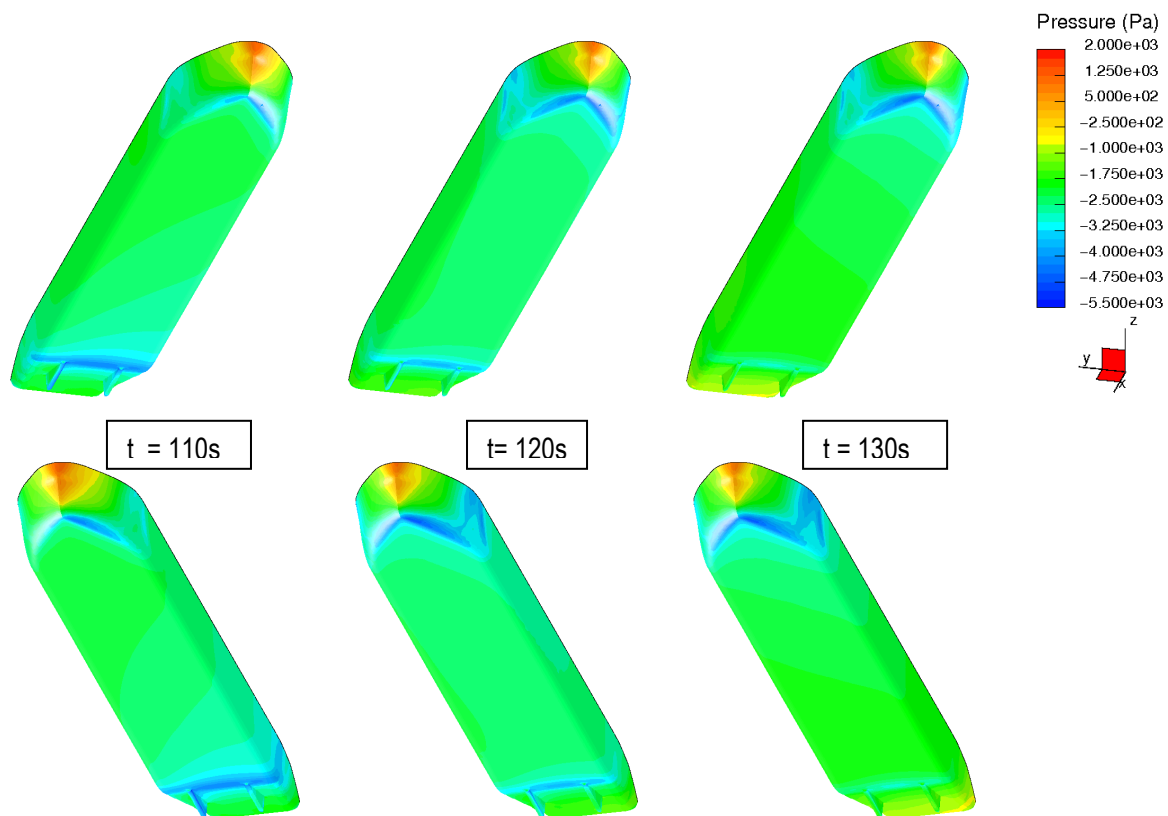


Abbildung 5. 1: Druckverteilung an der Außenhaut, LASS URANUS

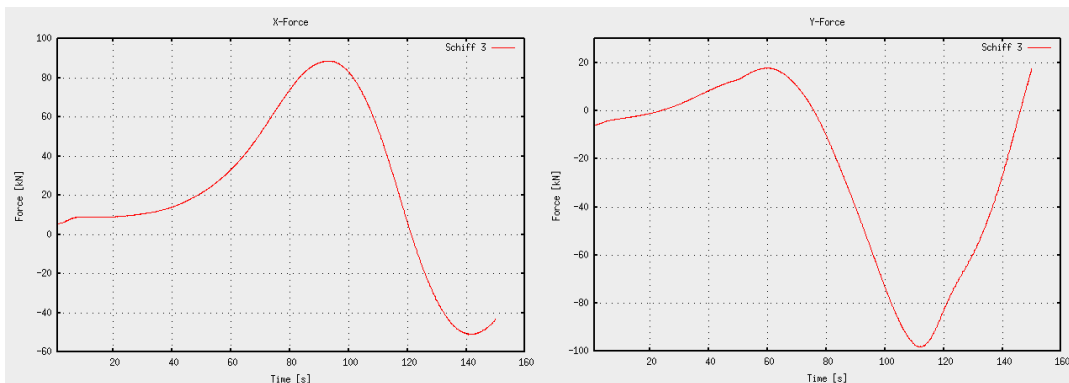


Abbildung 5. 2: Integralgrößen Längskraft (links) und Querkraft (rechts)

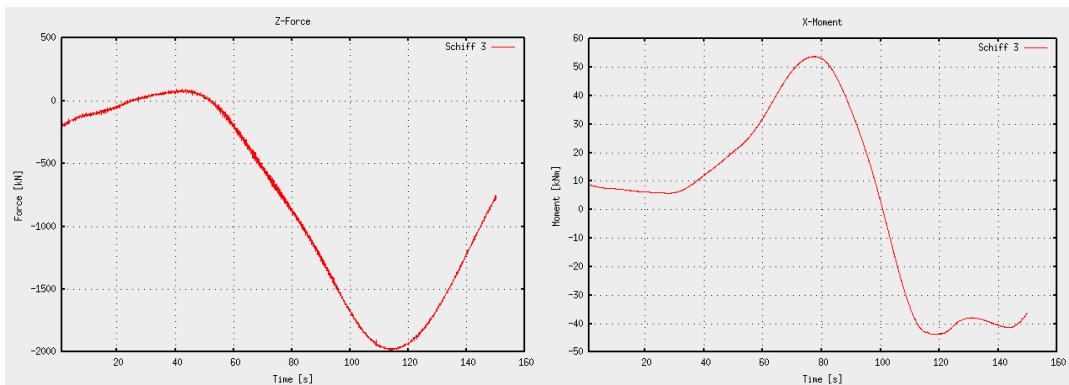


Abbildung 5. 3: Integralgröße Vertikalkraft (links) und Krängungsmoment (rechts)

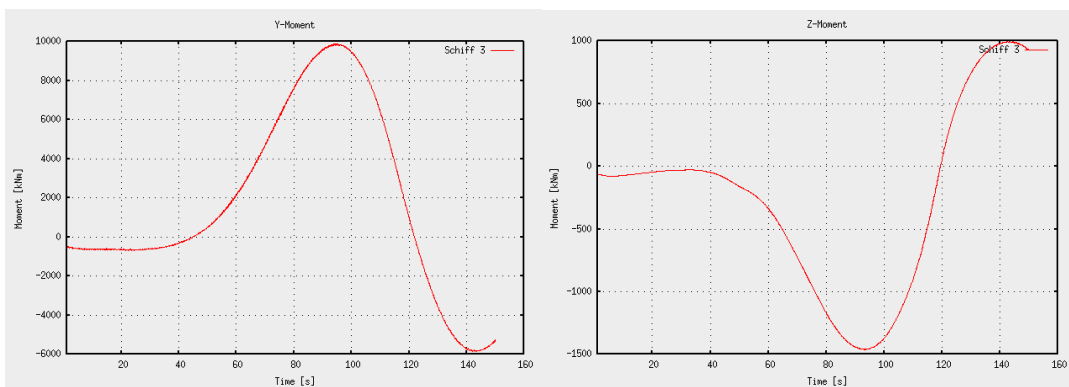


Abbildung 5. 4: Integralgrößen Trimmmoment (links) und Giermoment (rechts)

5.2 Berechnungsergebnisse mit Berücksichtigung der freien Wasseroberfläche

Zur Abschätzung des Einflusses der freien Wasseroberfläche, wurde die gesamte Simulationsreihe mit einer entsprechenden Randbedingung für die Grenzfläche Wasser-Luft wiederholt. In der Abb. 5.5 sind die Berechnungsergebnisse denen ohne die Berücksichtigung der freien Oberfläche gegenübergestellt. Die berechneten Ausschläge der Werte bei etwa $t = 20\text{s}$ haben ihre Ursache in der sich ausbildenden freien Wasseroberfläche, da die Simulation mit der Glattwasserbedingung initialisiert wird. Diese Bedingung wird üblicherweise verwendet, da a priori die generierten Wellensysteme nicht bekannt sind, und daher zu Beginn der Berechnung eine zu interpretierende Startwelle das Berechnungsgebiet durchläuft. Dieser Anlaufvorgang bleibt bei der Bewertung unberücksichtigt.

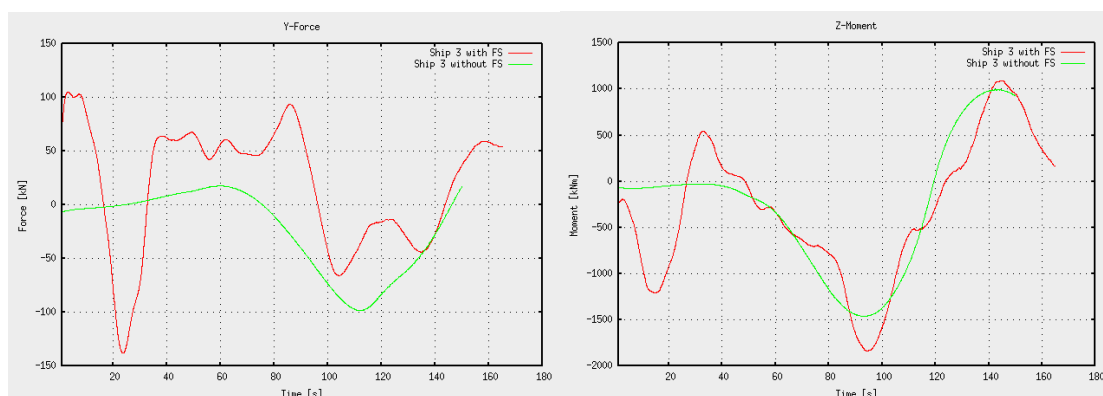


Abbildung 5. 5: Integralgrößen Querkraft (links) und Giermoment (rechts)

5.3 Berechnungsergebnisse bei vorgegebener Geschwindigkeitsänderung der LASS URANUS

Im Folgenden ist zusätzlich geprüft worden, inwieweit die vordefinierten konstanten Schiffsgeschwindigkeiten einen geeigneten Ansatz für die Modellbildung darstellen. Aufgrund der berechneten Größenordnung der Längskräfte, die speziell bei der LASS URANUS auftreten, ist zu erwarten, dass sich ihre Fahrtgeschwindigkeit verändert. Da die Modellbildung prinzipiell ein vorgeschriebenes Geschwindigkeitsprofil benötigt, ist aus dem in Abb. 5.2 dargestellten Längskraftverlauf über Integration ein Geschwindigkeitsprofil abgeschätzt worden. Hierbei ist der Propellerschub als konstant angenommen worden und die hydrodynamische Masse mit 6% der Gesamtmasse berücksichtigt worden. Die sich jetzt in der Simulation einstellenden Integralgrößen, in den Abb. 5.6 bis 5.8 rot gekennzeichnet, sind den Werten bei konstanter Schiffsgeschwindigkeit gegenübergestellt.

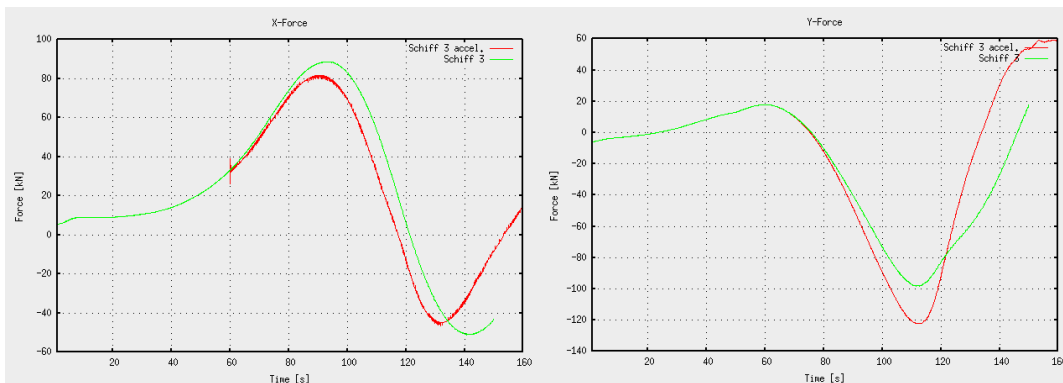


Abbildung 5. 6: Integralgrößen Längskraft (links) und Querkraft (rechts)

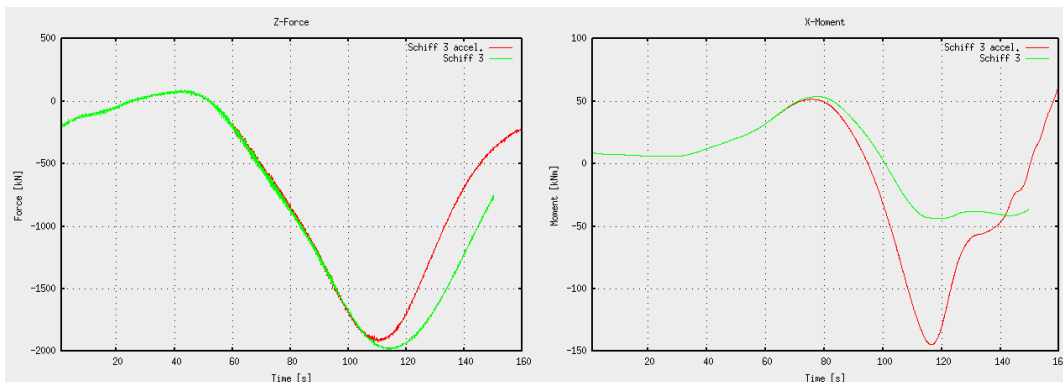


Abbildung 5. 7: Integralgröße Vertikalkraft (links) und Krängungsmoment (rechts)

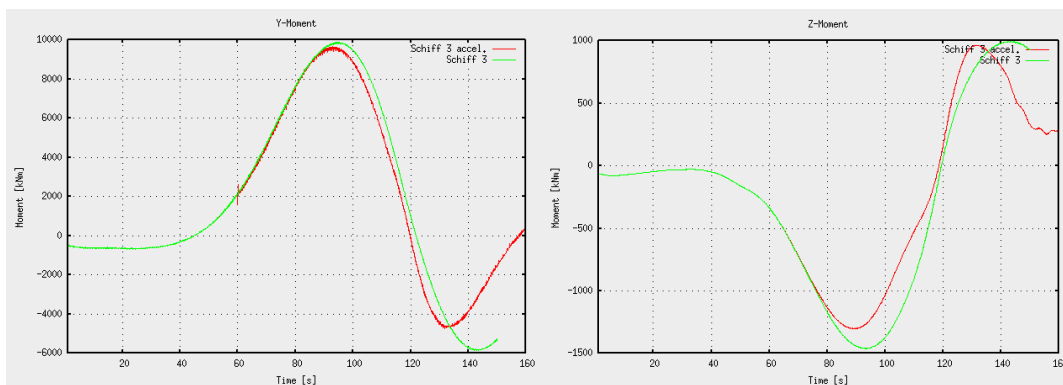


Abbildung 5. 8: Integralgrößen Trimmmoment (links) und Gierrmoment (rechts)

5.4 Interpretation der Simulationsergebnisse

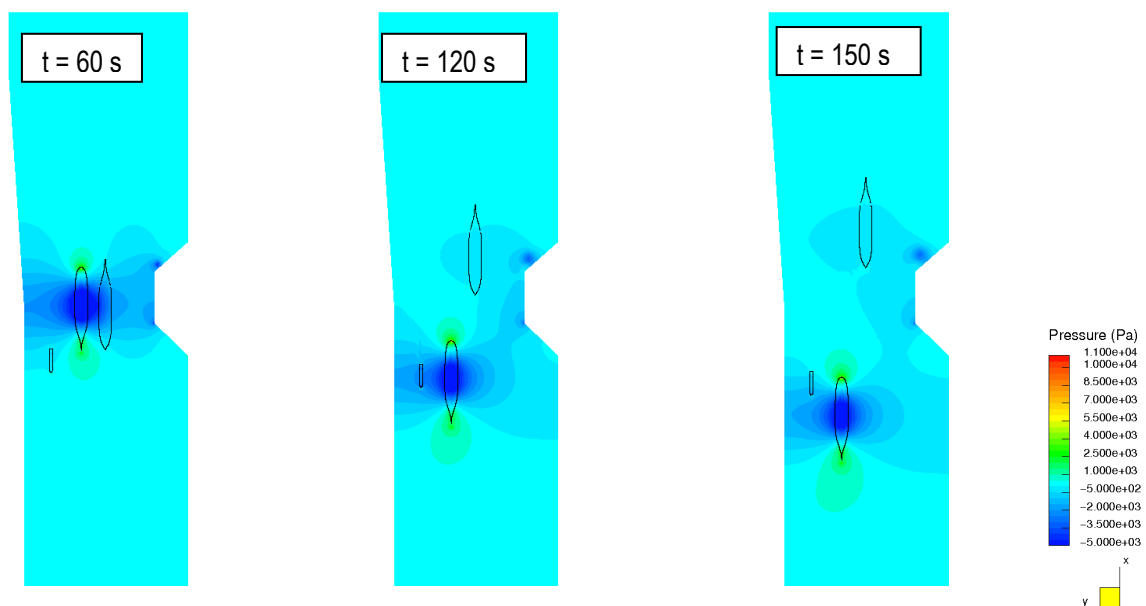


Abbildung 5. 9: Konturdarstellung des Drucks in der Ebene des Ruhewasserspiegels

Die Abb. 5.9 zeigt die Wanderung des Unterdruckgebietes, das von der XIN FU ZHOU maßgeblich aufgrund ihrer Verdrängungswirkung erzeugt wird, sich also mit Schiffsgeschwindigkeit bewegt. Die MSC MELISSA und die LASS URANUS selbst laufen mit deutlich niedrigerer Fahrt durchs Wasser, so dass deren Wirkung zwar vorhanden, aber im Vergleich viel kleiner ist. Bei dem hier modellierten Überholvorgang mit konstantem Passierabstand gerät die LASS URANUS bei etwa $t=60s$ in das Unterdruckfeld der XIN FU ZHOU, bei etwa $t = 120s$ sind beide Schiffe gleich auf und bei $t = 150s$ schwächt sich der Einfluss wieder ab (s. Abb. 5.9). Die Wirkung auf die LASS URANUS kann anhand der Zeitverläufe der integralen Größen abgelesen werden:

Tabelle 5. 1: Reaktionskräfte/ Momente der LASS URANUS

	t = 60 s	t = 120 s	t = 150 s
X [KN]	Zusätzliche Längskraft (Widerstandserhöhung)	Längskraft neutral	Längskraft in Fahrtrichtung (Widerstands- verminderung)
Y [KN]	Abstoßende Seitenkraft	Ansaugende Seitenkraft	Abstoßende Seitenkraft
Z [KN]	Beginnende Auftriebsverminderung	Auftriebsverminderung	Wieder Vergrößerung der Auftriebskraft
K [KNm]	Beginnendes Krängungsmoment nach Backbord	Krängungsmoment nach Steuerbord	Erreichen des neutralen Krängungsmoments
M [KNm]	Beginnendes achterliches Trimmoment	Neutrales Trimmoment	Vorliches Trimmoment
N [KNm]	Beginn des ausdrehenden Giermoments	Neutrales Giermoment	Eindrehendes Giermoment

Die hinsichtlich der Kollision maßgebliche Änderung der Größen Seitenkraft und Giermoment sind ebenfalls mittels des Verlaufs der Druckverteilung auf der Außenhaut des Rumpfes (s. Abb. 5.1) interpretierbar: zu erkennen ist deutlich die Veränderung der Bereiche niedrigerer Drücke (blaue Färbung), die bei $t = 110s$ am Hinterschiff (backbord) stark ausgeprägt sind und sich im weiteren Verlauf ($t = 130s$) in den Vorschiffsbereich (backbord) verlagern. Die Steuerbord-Backbord-Asymmetrie der Druckverteilung ergibt die resultierende, ansaugende Seitenkraft.

Die integralen Größen unter Berücksichtigung der freien Wasseroberfläche (Kap. 5.2) zeigen einerseits keinen zeitlichen Versatz und liegen andererseits in der Größenordnung der Ergebnisse ohne Berücksichtigung des Einflusses der freien Oberfläche (s. Abb. 5.5).

Die Berücksichtigung des angepassten Geschwindigkeitsverlaufs (Kap. 5.3) zeigt sich in einer etwas erhöhten Seitenkraft bei nahezu unverändertem Verlauf des Giermomentes (s. Abb. 5.7).

6 Abschätzung der Kräfte und Momente der Manövrierorgane

Eine exakte Aussage über die Wirkung der Manövrierorgane der LASS URANUS kann aufgrund des nur überschlägig abschätzbaren Propellerschubs sowie der Unkenntnis des Handlings im praktischen Fahrbetrieb nicht getroffen werden. Eine Wirkungsabschätzung bestünde aus einem angenommen Propellerschub bei 90grad Ruderpropellerlage und einem näherungsweise bestimmten Hebelarm dx zum Lateralschwerpunkt. Die Wirkung des eingesetzten Bugstrahlruders kann aufgrund der relativen Fahrtgeschwindigkeit von 4,5kn unberücksichtigt bleiben. Die im folgenden angenommene Propellerschub stützt sich auf die Angaben aus der Anfrage an den Hersteller. Hier wird unterstellt, dass der aktuelle Propeller dem ursprünglichen Entwurfszustand entspricht und folgende vereinfachte Bedingungen gelten:

- Standschubbedingung bei Abströmung quer ab ohne Verluste durch Wechselwirkungen mit dem Rumpf
- Antriebsmaschine liefert noch bei 1700UpM volles Drehmoment
- Bei abfallendem Drehmomentverlauf etwa 10% Schubreduktion
- Schubreduktion durch den Umsteuervorgang.

Für einen nach diesen Herstellerangaben abgeschätzten Propellerschub in der Größenordnung von etwa 50KN (bei 300KW) und einem Helbelarm $dx = 35$ m ergibt sich ein entsprechendes Manövrier-Moment von etwa 1750KNm.

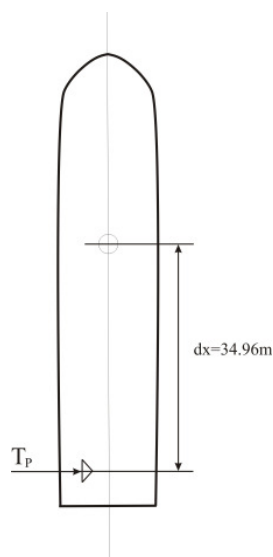


Abbildung 6. 1: Skizze zur Abschätzung der Manövriermomente

7 *Schlussfolgerungen*

Anhand der numerischen Simulation ist ersichtlich, dass die XIN FU ZHOU als überholendes und gegen die Strömung fahrendes Schiff aufgrund dessen Verdrängungsströmung maßgeblich ein Unterdruckfeld erzeugt. Sobald die LASS URANUS als überholtes Schiff in diese Unterdruckzone gerät, ergibt sich aus der Integration der sich einstellenden Druckverteilung auf dem Unterwasserschiff in weiten Teilen des Überholvorganges eine Sogkraft zum Überholer. Die sich einstellende Druckverteilung hat allerdings einen instationären Charakter, so dass sich zusätzlich ein gierendes Moment mit wechselndem Vorzeichen ergibt. Zu Beginn des Überholvorganges stellt sich daher ein ausdrehendes Giermoment (Heck wird angesogen) und im weiteren Verlauf erfährt das Schiff ein eindrehendes Giermoment. Dieser Effekt muss entsprechend ausmanövriert werden. Anhand einer Abschätzung, basierend auf den von der BSU zur Verfügung gestellten Daten für die Steuerorgane (s. Kap. 6), liegt das Steuermoment der LASS URANUS in vergleichbarer Größe des von außen einwirkenden Giermoments durch die Sogwirkung, so dass die Möglichkeit des Ausmanövrierens in Frage gestellt werden muss. Allerdings ergeben sich durch die Umstände im praktischen Fahrbetrieb Abweichungen im Fahrverhalten von den im Modell angenommenen Randbedingungen, wodurch die von außen wirkenden Giermomente und Kräfte beeinflusst werden können.

Die Simulation zeigt, dass die Mitstrom laufende MSC MELISSA auf die hydrodynamischen Kräfte und Momente einen untergeordneten Einfluss hat.

8 *Zusammenfassung*

Für die Überhol- bzw. Begegnungssituation der drei Schiffe URANUS, XIN FU ZHOU und der MSC MELISSA wurden Zeitsimulationen mit modernsten Methoden durchgeführt. Dies entspricht dem aktuellsten Stand der Technik. Es wurde für die Simulation aus folgenden Gründen eine gradlinige Bewegung der Schiffe als Modellierungsansatz angenommen:

- Die maßgeblichen hydrodynamischen Effekte werden erfasst und
- eine Simulation mit frei beweglichen Schiffen kann aufgrund der fehlenden Information über das operative Verhalten der Schiffsführung und des Stands der Simulationstechniken nicht durchgeführt werden.

Die Annahme kann unter Berücksichtigung der oben genannten Aspekte als konservativ betrachtet werden.

9 *Literatur*

[1] Demirdiz, I., Muzaferija, S., Peric, M.: *Numerical method for coupled fluid flow, heat transfer and stress analysis using unstructured moving meshes with cells of arbitrary topology*. Computer Methods in applied mechanics and engineering, Vol. 125, 1995

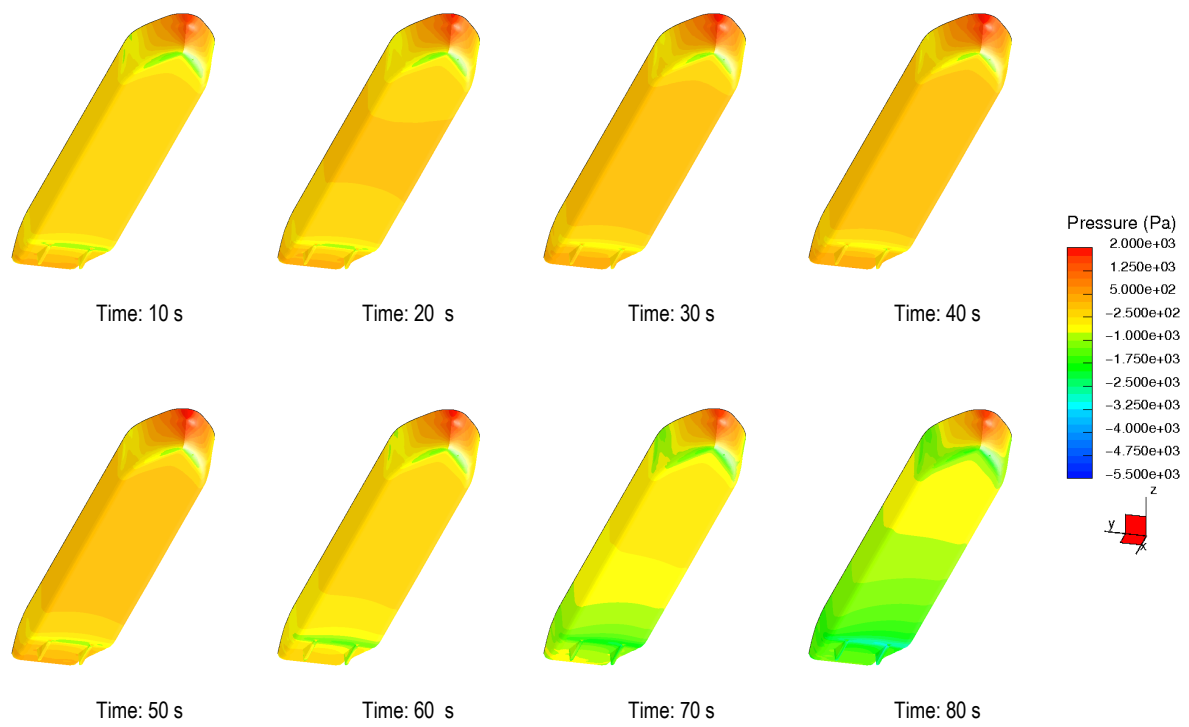
[2] El Moctar, O.: *Numerische Berechnung von Strömungskräften beim Manövrieren von Schiffen*. Dissertation an der Technischen Universität Hamburg-Harburg, Hamburg, 2001

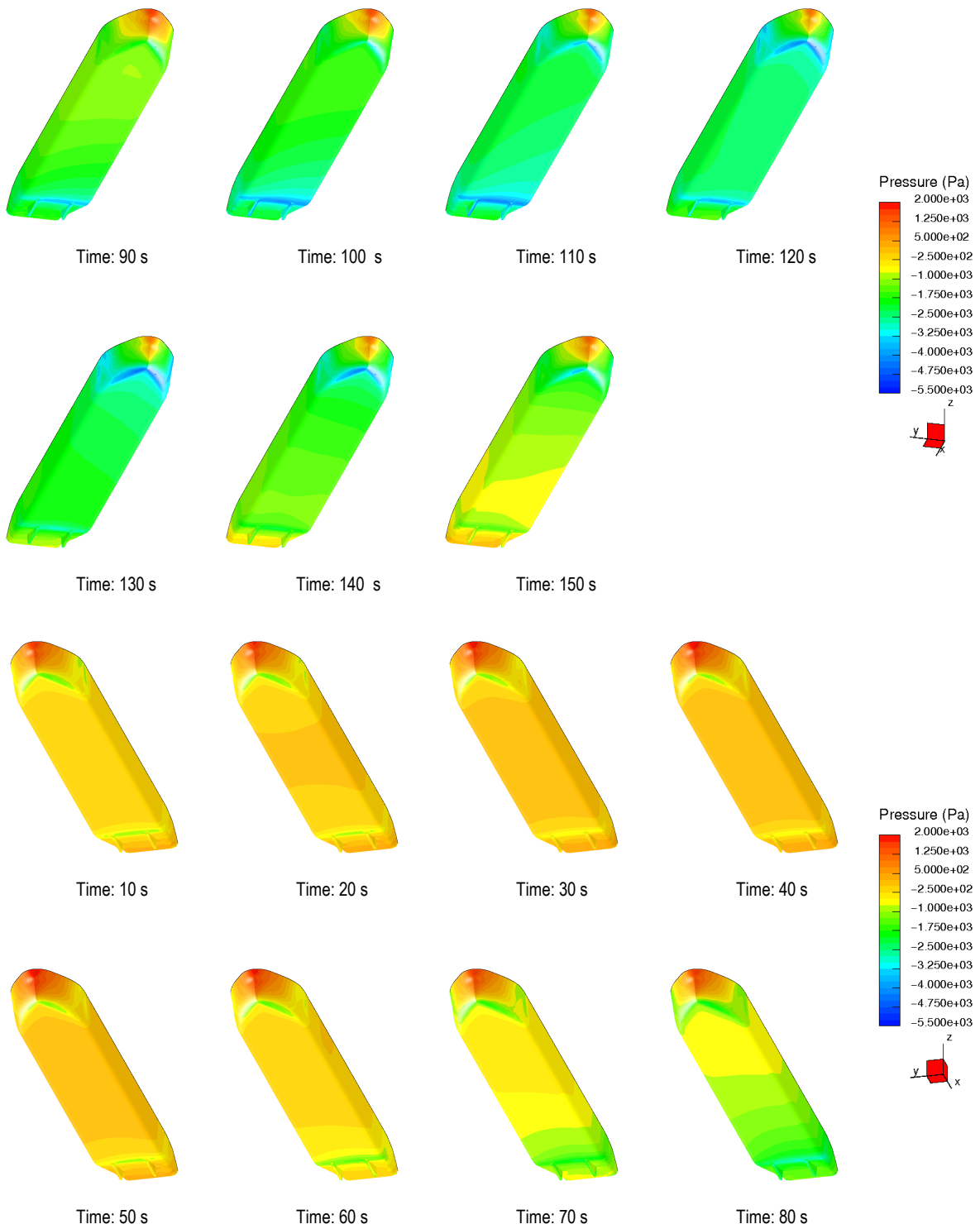
[3] ICCM Institute of Computational Continuum Mechanics GmbH, User Manual, Comet Version 2.0

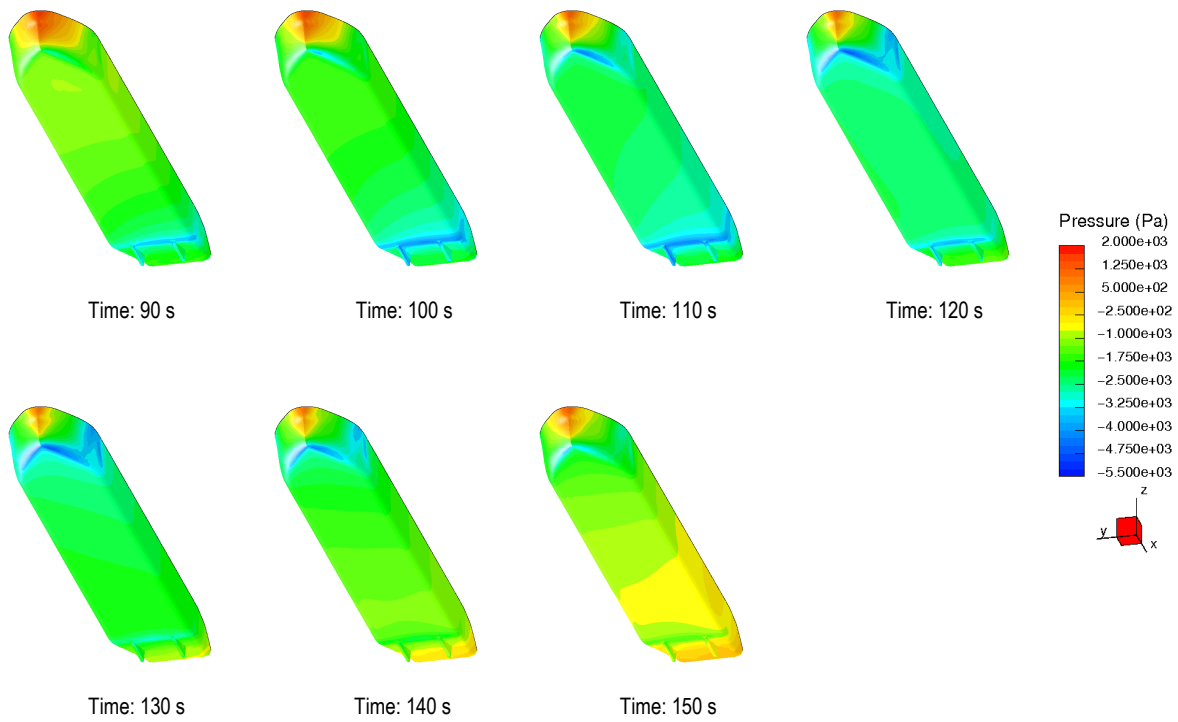
Anhang

9.1 Zeitreihen ohne Berücksichtigung der freien Wasseroberfläche

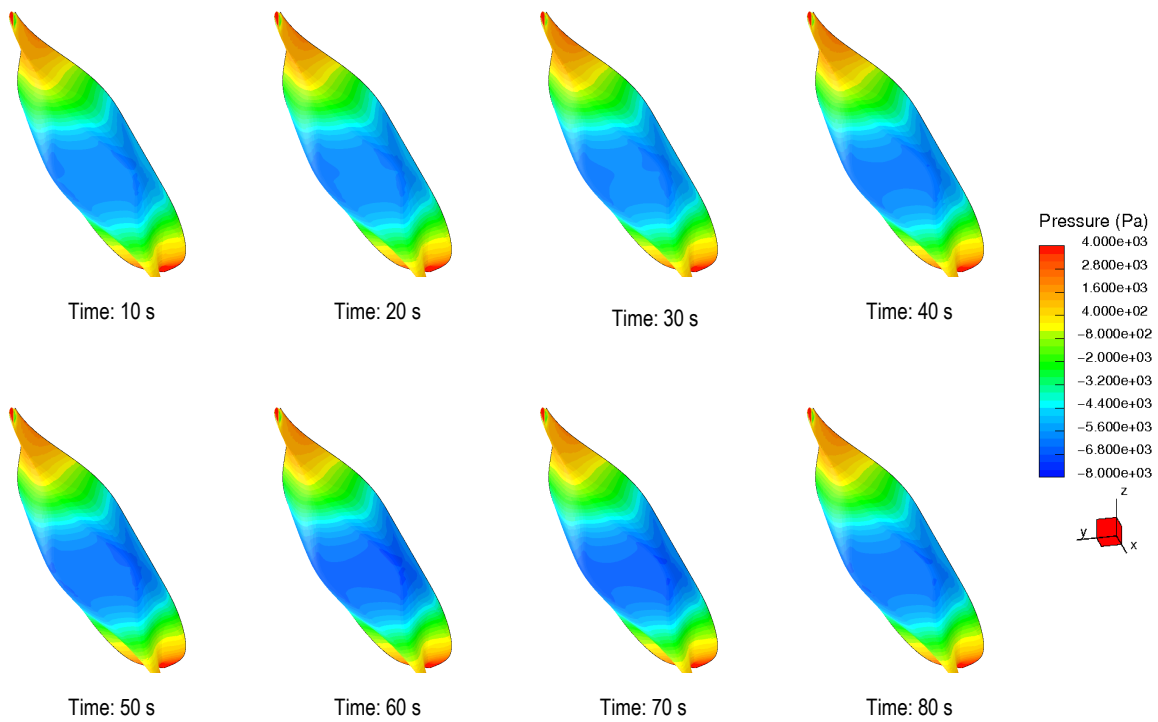
9.1.1 Druckverteilung LASS URANUS

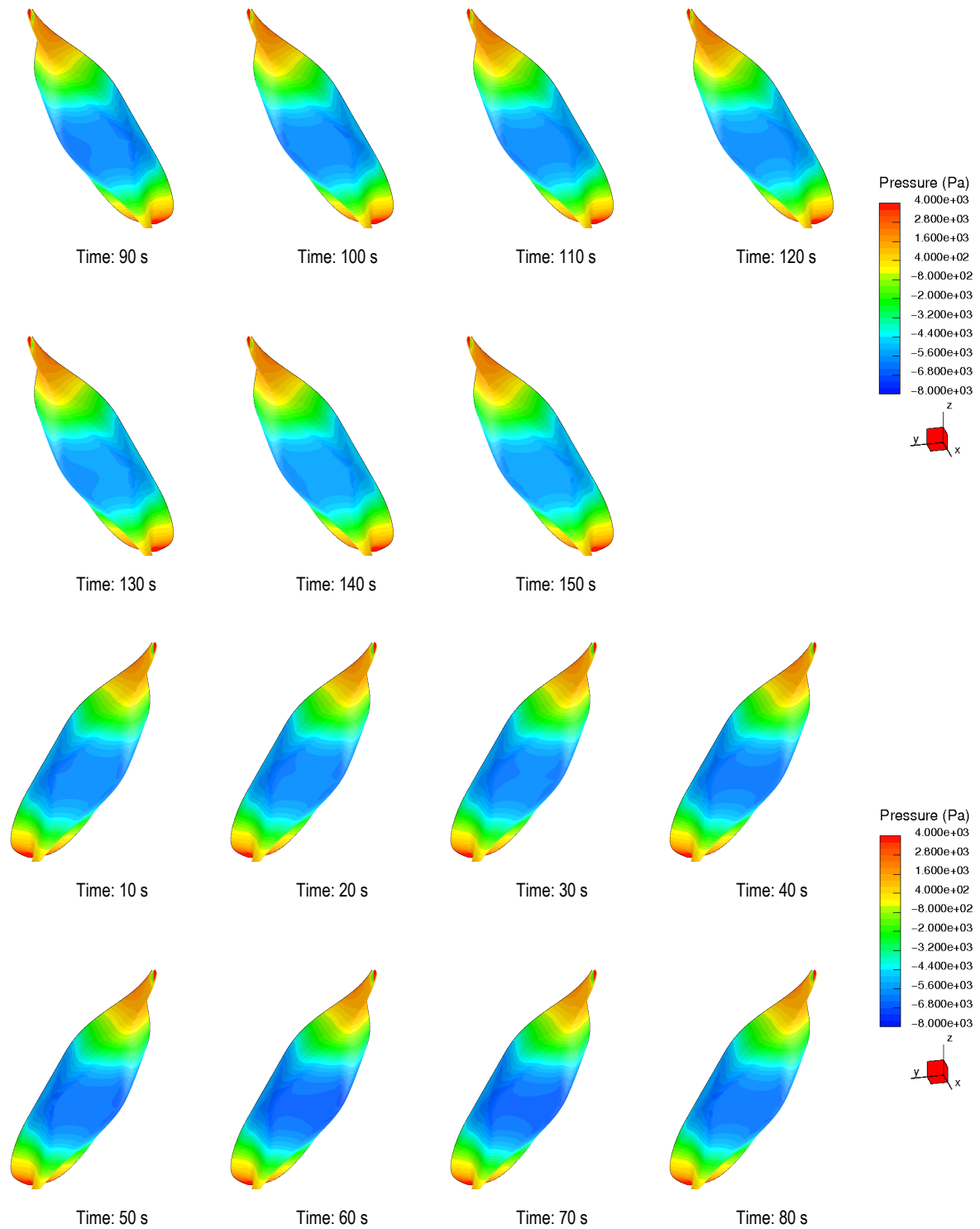


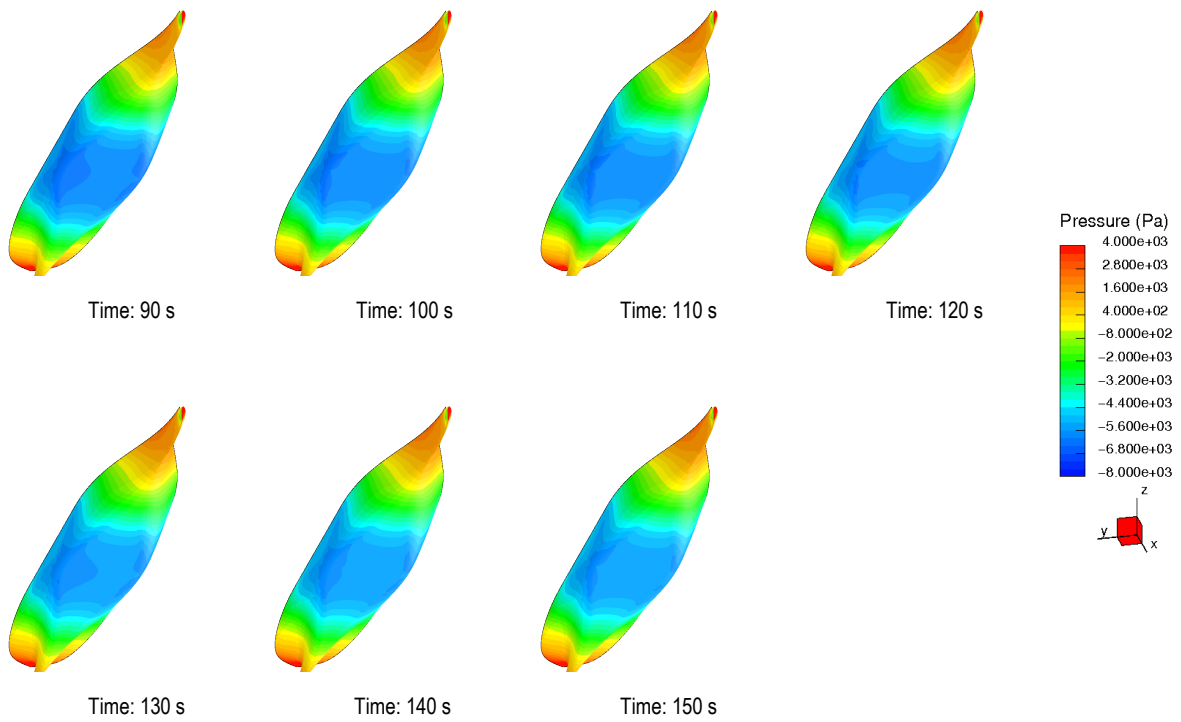




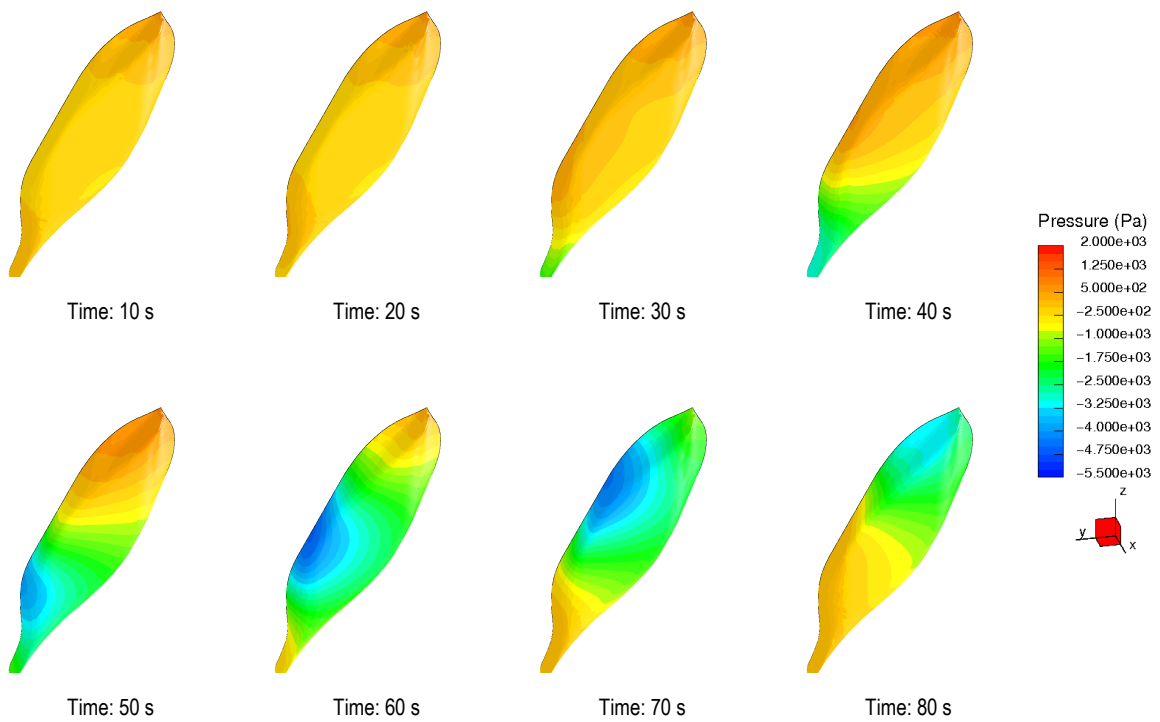
9.1.2 Druckverteilung XIN FU ZHOU

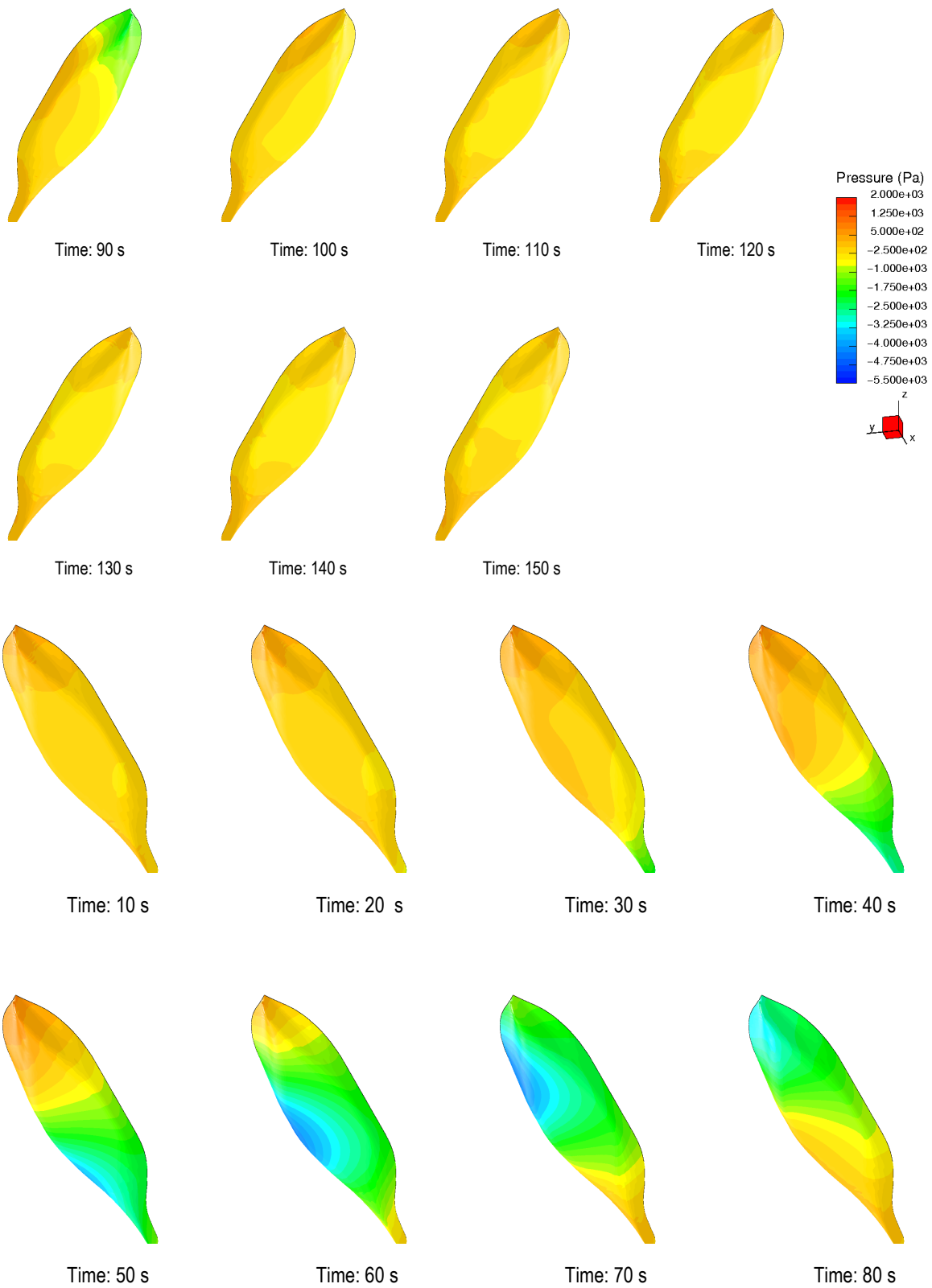


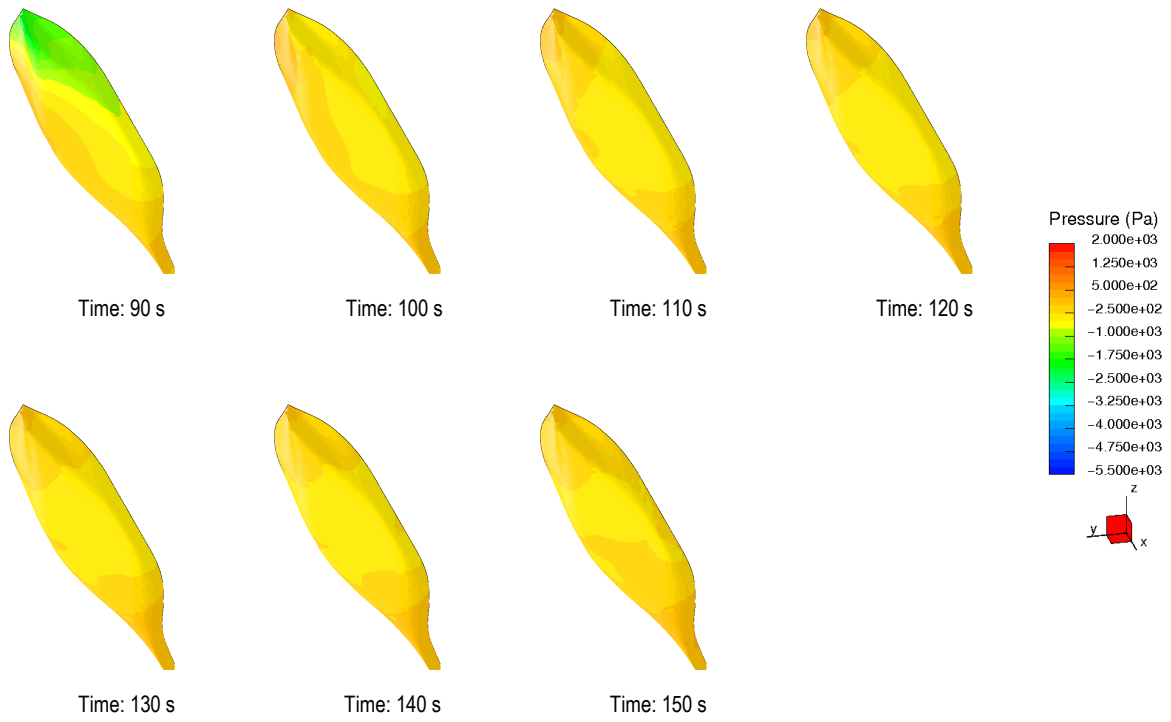




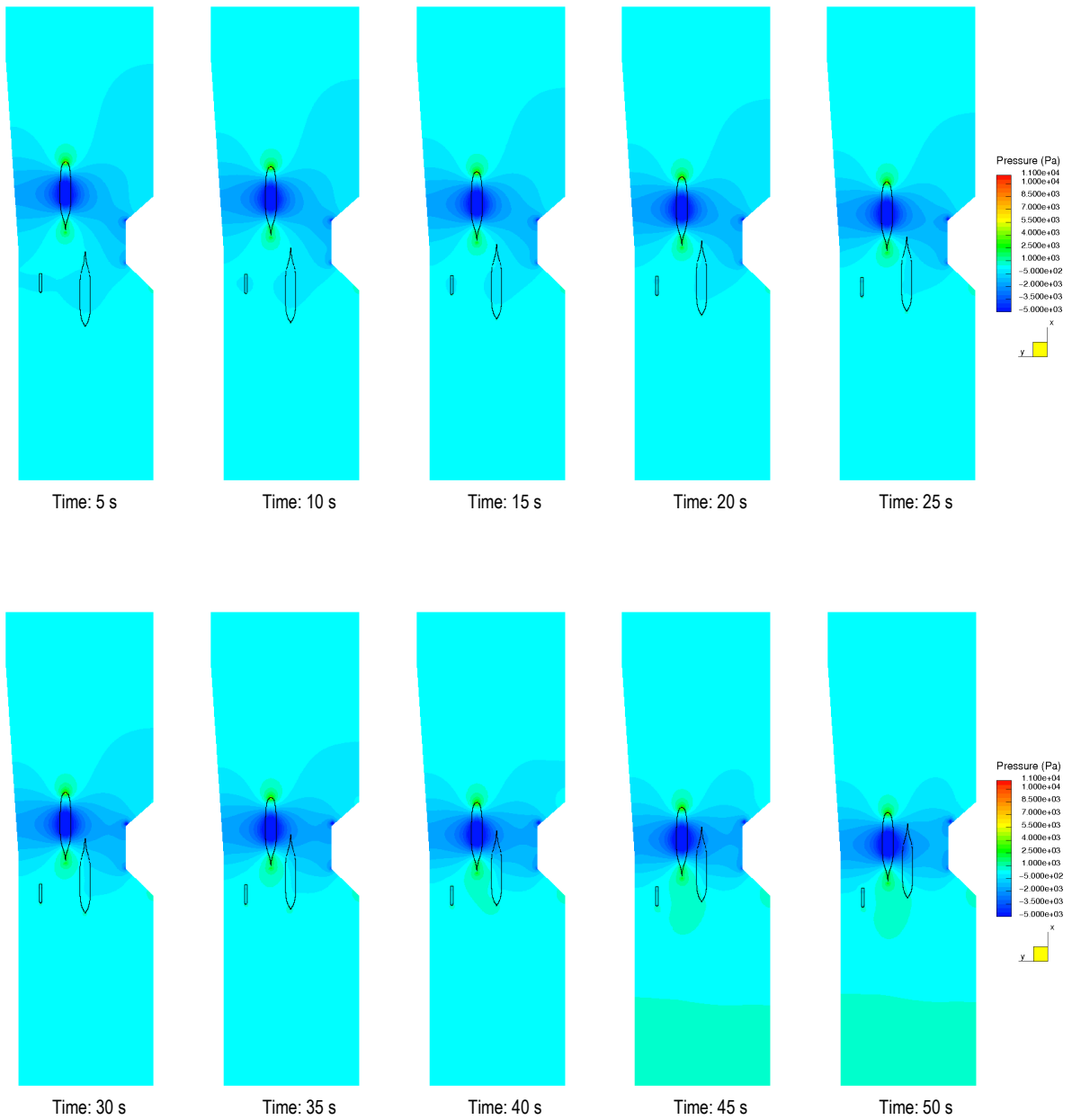
9.1.3 Druckverteilung ME MELISSA

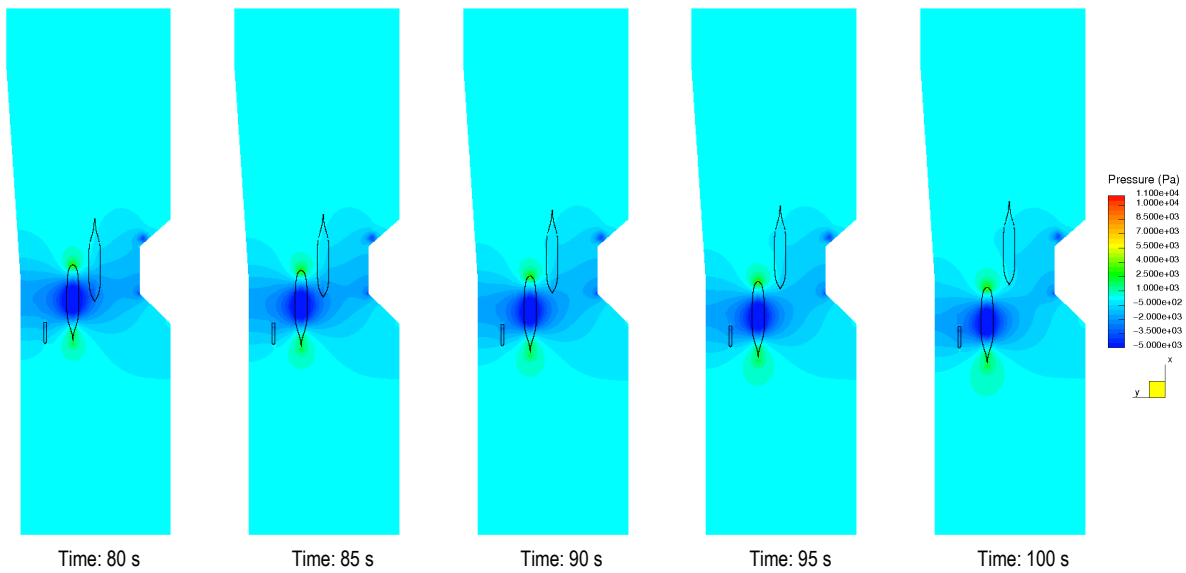
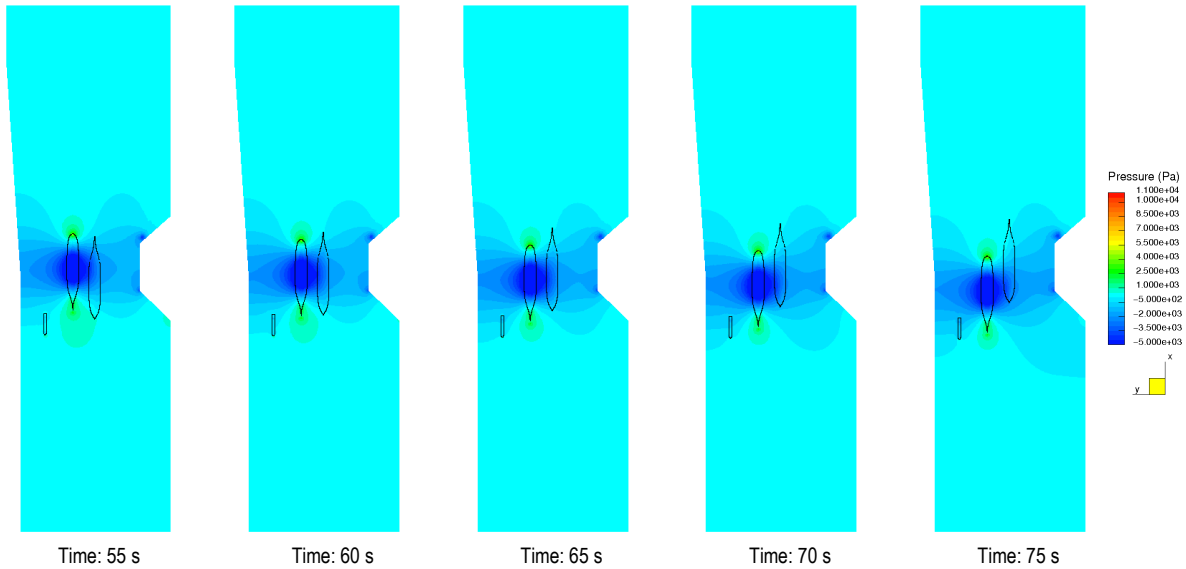


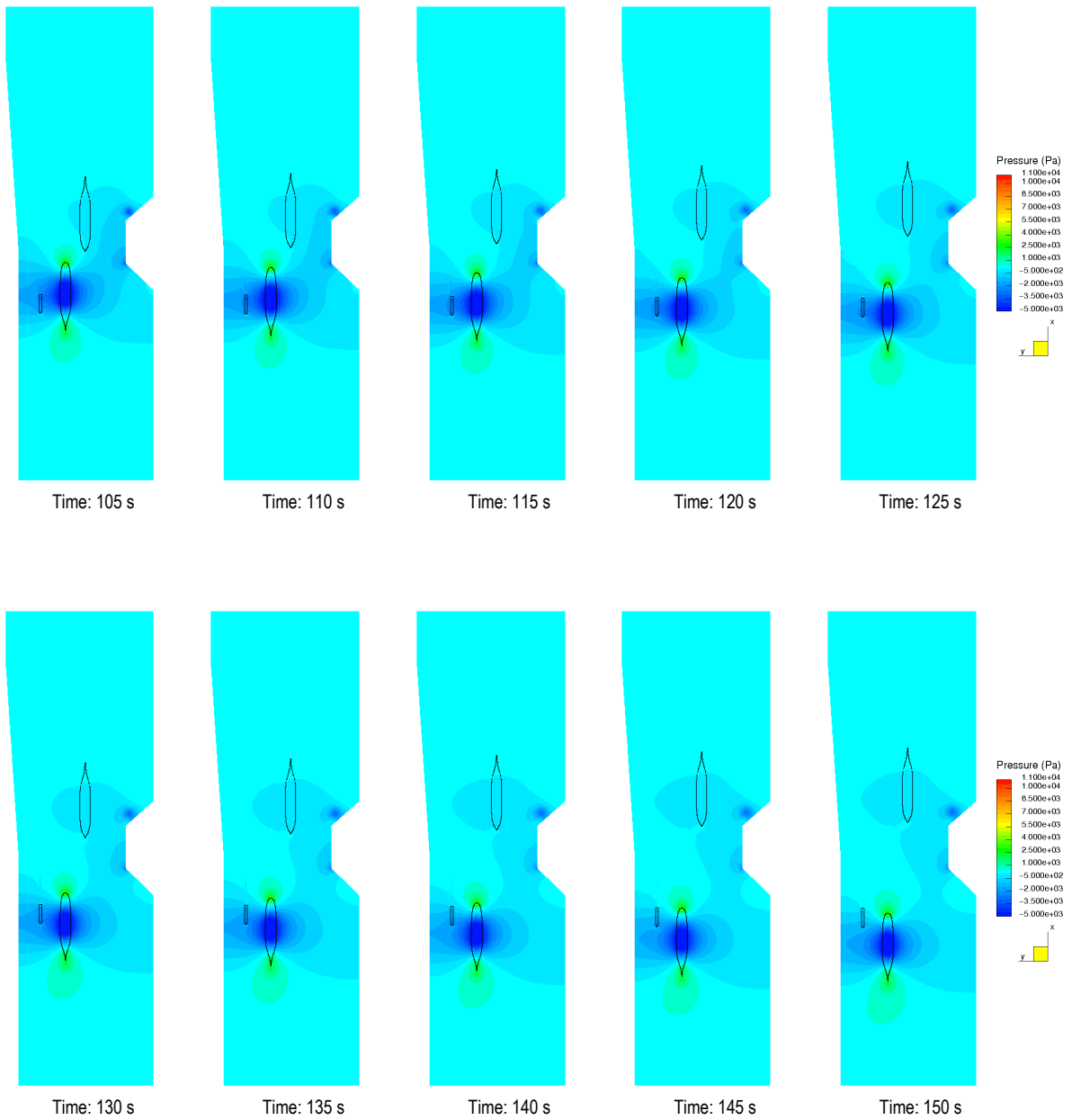




9.1.4 Druckverteilung am Ruhewasserspiegel







9.2 Zeitreihen mit Berücksichtigung der freien Wasseroberfläche

9.2.1 Berechnete Wellenerhebung

