



Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.

DST - Development Centre for Ship Technology and Transport Systems

Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen 03SX199

**SICHERBIN - Verbesserung der Verkehrssicherheit auf
Binnenwasserstraßen an Engpass- und Gefahrenstellen**

Teil A : Zusammenfassender Bericht

Bericht 1818 - Februar 2007

Projektleiter:
Dr.-Ing. Tao Jiang

Direktor:
Prof. Dr. Paul Engelkamp

SICHERBIN - Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Binnenwasserstraßen an Engpass- und Gefahrenstellen

Teil A : Zusammenfassender Bericht

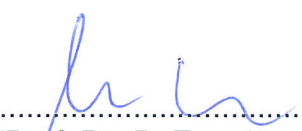
Duisburg, im Februar 2007
Dr.Ji /vMa

Fachbereich Schiffshydrodynamik

Projektleiter:


.....
(Dr.-Ing. T. Jiang)

DST - Entwicklungszentrum für
Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.


.....
(Prof. Dr. P. Engelkamp)

Inhalt

1. <u>Kurzfassungen</u>	4
1.1 Zusammenfassung	4
1.2 Summary	4
2. <u>Einleitung</u>	5
3. <u>EFD-Untersuchungen</u>	7
3.1 Realisierung und Durchführung der Modellversuche	7
3.2 Modellierung und Identifikation	8
3.3 Bewegungssimulation	9
4. <u>CFD-Untersuchungen</u>	10
4.1 Flachwasserapproximation BESHwa	10
4.2 Potential-Panelverfahren UNOPAM	11
4.3 Berechnungen ANSYS-CFX5	13
4.4 Entwicklungen basierend auf dem Programmpaket MOUSE	13
5. <u>Bewertung und Datenbank</u>	15
6. <u>Zusammenfassung und Ausblick</u>	15
7. <u>Literatur</u>	18

1. Kurzfassungen

1.1 Zusammenfassung

Zur Verbesserung der Sicherheit und Leichtigkeit der Binnenschifffahrt zur Bewältigung des zunehmenden Verkehrsaufkommens wurde die Wechselwirkung zwischen Schiffen beim Begegnen und Überholen im Flachwasser systematisch untersucht.

Die EFD-Untersuchungen umfassten die Realisierung und Durchführung von Messungen am gefesselten und frei fahrenden Modell, die Modellbildung der Kraftwirkungen und Identifikation der hydrodynamischen Koeffizienten sowie die Simulation der Schiffsbewegungen und Bewertung der Sicherheitsmaßnahmen.

Bei den CFD-Untersuchungen standen die Entwicklungen geeigneter Verfahren für die echt instationären Situationen beim Begegnen und Überholen sowie durch die topografische Änderung im Vordergrund. Folgende Lösungsansätze wurden im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens entwickelt und erfolgreich für reale Fälle eingesetzt:

- Kopplung der Flachwasserapproximation für die Strömung im Fernfeld mittels eines stationären RANSE-Lösers für die Strömung im Nahbereich des Schiffes,
- Weiterentwicklung und Anwendung eines instationären Potentialverfahrens für das gesamte Untersuchungsgebiet sowie
- Entwicklung und Implementierung eines voll instationären RANSE-Lösers für den gesamten Untersuchungskomplex.

1.2 Summary

For the improvement of the safety and facility of the inland shipping due to the increased transport demand, the interaction of ships by passing and overtaking in shallow water has been systematically investigated.

The experimental investigations (EFD) comprised the realisation and performance of model tests both on the fixed mode and on the free-running mode, the mathematical modelling and parameter identification, as well as the motion simulation and estimation of safety measures.

The numerical investigations (CFD) focused on the development of suitable state-of-the-art computational methods for truly unsteady situations resulting from the passing and overtaking or from the topographical change. Following solution techniques have been developed and applied for many realistic situations:

- coupling of an advanced shallow-water approximation method for the far-field flow with a RANSE-solver for the near-field flow of the ship,
- development and application of an unsteady panel method based on the potential theory for the whole computation domain, and
- development and implementation of a full-unsteady RANSE-solver for the whole investigation complex.

2. Einleitung

Der weltweit wachsende Warenaustausch hat nicht nur zu einer Zunahme des Seeverkehrs, sondern auch zu einer Leistungssteigerung der Binnenschiffe geführt. Allein auf dem Rheinmündungsgebiet bewegt sich der Anteil der Binnenschifffahrt an den Hinterlandverkehren bei den über Rotterdam laufenden Containerverkehren in einer Größenordnung von 30 %. Aufgrund der prognostizierten, zukünftig steigenden Verkehrsmengen auf der Binnenwasserstraße sind die gegenwärtigen Entwicklungen einerseits durch die Größe der eingesetzten Schiffseinheiten und andererseits durch die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit gekennzeichnet.

Allerdings stellen beide Maßnahmen neue Herausforderungen dar. Zum einen muss auch bei größer werdenden Schiffseinheiten die notwendige Sicherheit des Verkehrs, insbesondere im Bereich von Engpass- und Gefahrenstellen, gewährleistet bleiben; zum anderen müssen im Zuge der Größenentwicklung die Belastungen für die Wasserstraßen minimiert werden.

Vor diesem Hintergrund hat das DST (vormals VBD) im Anschluss an das BMBF-Forschungsvorhaben „INTERAKTION“, wo primär die Grundlagen über die Wechselwirkung Schiff/Wasserstraße eingehend untersucht wurden, das vorliegende BMBF-Forschungsvorhaben zum Thema Sicherheit von Schiffen beim Begegnen und Überholen auf der Binnenwasserstraße beantragt und umfassend bearbeitet.

Die zentrale Aufgabe des hier geplanten Vorhabens „SicherBin“ besteht in der Erarbeitung umfassender Kenntnisse über die gegenseitige Beeinflussung von Schiffen beim Überholen und Begegnen, und zwar sowohl numerisch als auch experimentell.

Diese Kenntnisse bilden zugleich eine wichtige Grundlage, um hierauf aufbauend die technischen Anforderungen an die Schiffe herauszuarbeiten, die erfüllt sein müssen, um bestimmte Gefahrensituationen sicher bewältigen zu können.

Die physikalische Natur der zu untersuchenden Thematik ist komplex und hängt vom Zusammenwirken verschiedener Faktoren ab. Wichtige Parameter dabei sind vor allem

- Schiffstyp und -größe
- Wassertiefe und Bodentopografie
- Fahrgeschwindigkeit sowie
- Passierabstand

Angesichts der aktuellen Entwicklungstendenzen mit zunehmenden Schiffsgrößen und -geschwindigkeiten soll sich der Schwerpunkt der experimentellen Untersuchungen auf hieraus resultierende kritische Situationen konzentrieren:

- zum einen soll hierzu der Einfluss großer Schiffseinheiten, etwa eines großen Binnencontainerschiffes, auf kleinere Binnenmotorschiffe experimentell untersucht werden, da sich infolge der verlängerten Begegnungs- und Überholzeit besondere Schwierigkeiten beim Manövrieren ergeben;
- zum anderen sollen im Versuch die aus dem verstärkten Welleneinfluss resultierenden Auswirkungen schneller Schiffe, zum Beispiel eines Fahrgastschiffes oder Sportbootes, auf langsam beziehungsweise normal fahrende Schiffseinheiten ermittelt werden.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „SicherBin“ wurden umfangreiche EFD-Untersuchungen durchgeführt und umfassende CFD-Verfahren entwickelt. Alle Ergebnisse sind im vorliegenden Abschlussbericht dokumentiert, der aus drei Teilen besteht:

- Teil A als zusammenfassender Bericht, in dem die Untersuchungsmethoden und relevanten Ergebnisse übersichtlich beschrieben sind.
- Teil B für die ausführliche Dokumentation der EFD-Untersuchungen und erzielten Forschungsergebnisse.
- Teil C für die detaillierte Beschreibung der CFD-Verfahren und daraus resultierenden Ergebnisse.

3. EFD-Untersuchungen

Bei den umfassenden experimentellen Untersuchungen handelt es sich um drei Aufgabenfelder, nämlich

- Realisierung und Durchführung der Modellversuche,
- Modellbildung der Kraftwirkungen und Identifikation der hydrodynamischen Koeffizienten sowie
- Simulation der Schiffsbewegungen und Bewertung der Sicherheitsmaßnahmen.

3.1 Realisierung und Durchführung der Modellversuche

Als Beispielschiffe wurden sowohl konventionelle Binnenschiffe, wie Gütermotorschiff und Schubverband, als auch moderne schnelle Binnenschiffe, wie Fahrgastschiff und Containerschiff, herangezogen. Die Hauptdaten der ausgewählten Schiffe bei den jeweiligen untersuchten Tiefgängen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die untersuchten 5 unterschiedlichen Bugsteuerorgane, nämlich Kopfruder, Pumpjet, Querstrahlanlage, 4-Kanal-Strahler in Gondel und Kugelvortrieb, sind in Abb. 1 dargestellt. Die geometrische Gestaltung der Gewässerbodentopografie in Kombination mit Schwelle, Buhne und Brückenpfeiler wurde in Absprache mit der BAW (Bundesanstalt für Wasserbau) festgelegt und im DST-Schlepptank wie auch für die Schiffsmodelle in Maßstab 1:16 nachgebildet.

Typ	Bez.	Länge [m]	Breite [m]	Tiefgang [m]	Verdrängung [m³]
Fahrgastschiff	FGS	60	9,5	1,5	381
Gütermotorschiff beladen	GMS-b	110	11,4	2,8	3002
Gütermotorschiff leer	GMS-l	110	11,4	1	1124
Großcontainerschiff beladen	GCS-b	135	20	2,8	6562
Großcontainerschiff leer	GCS-l	135	20	1	2365
Schubverband beladen	SV-b	185	11,4	2,8	5153
Schubverband leer	SV-l	185	11,4	1	1839

Tabelle 1 Hauptdaten der untersuchten Schiffe

Es wurden hauptsächlich drei unterschiedliche Modellversuche durchgeführt, nämlich

- Kraftmessungen an zwangsgeführten Modellen unter Einsatz von zwei parallel betriebenen Schleppeinrichtungen mit freier Absenkung und Vertrimmung mittels einem selbst eingerichteten Backbone, d.h. eine Messbühne, die eine effektive Durchführung der geplanten Modellversuche erlaubt, siehe Abb. 2.
- Bewegungsmessungen frei fahrender Modelle unter Verwendung einer Bahnverfolgungsanlage, siehe Abb. 3.
- Verhaltensuntersuchung manuell geführter und mittels Autopilot gesteuerter Modelle.

Praktisch relevante Parameter, wie Schiffsgeschwindigkeit, Abstand beim Passiervorgang zwischen Schiffen oder zu Hindernissen, Wassertiefe und Strömungsgeschwindigkeit, sind systematisch variiert worden, um die einzelnen Einwirkungen ausreichend genau zu modellieren und identifizieren. Die Einzelheiten sind im Abschlussbericht Teil B ausführlich beschrieben und dokumentiert. Im Folgenden werden einige Hauptergebnisse zusammengefasst.

3.2 Modellierung und Identifikation

Das Basismodell für die Simulation der Schiffsbewegungen in der horizontalen Ebene beruht auf einem existierenden mathematischen Modell im DST, siehe Gronarz (1998). Aufgrund dessen modularer Struktur konnten unterschiedliche Zusatzwirkungen, wie z.B. Interaktionseffekte zwischen Schiff und Wasserstraße, siehe Gronarz et. al (2005) und zwischen Schiffen (Gronarz, 2006, MARSIM), ergänzt bzw. neu entwickelt werden.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens wurde das vorhandene mathematische Modell modular erweitert. Dabei wurden unterschiedliche Ansätze herangezogen, um die unterschiedlichen Wirkungen mit verschiedenartigen Steuer- und Manövrierorganen sowie die Wechselwirkungen beim Begegnen und Überholen und bei Vorbeifahrt an Hindernissen, wie Brückenfeiler, Buhne und Boden-Schwelle, Kanalwand, realitätsnah zu approximieren. Neben der physikalischen Gesetzmäßigkeit wurde bei der Formulierung der Ansätze stets auf die Identifizierbarkeit und Allgemeingültigkeit geachtet.

Wegen der sehr komplexen Situationen einerseits und der vorhandenen Unsicherheit der Messungen andererseits mussten die Messdaten vorher sorgfältig ausgewertet

werden, um sie dann für die Identifikation der hydrodynamischen Koeffizienten mithilfe geeigneter Regressionsanalyse bzw. Ausgleichsrechnung benutzen zu können. Abb. 4 zeigt ein solches Beispiel für die Identifikation der Seitenkraft beim Passiervorgang. Neben der guten Übereinstimmung der approximierten Kraft mit der gemessenen konnte insbesondere eine drastische Erhöhung der Seitenkraft für den untersuchten Flachwasserfall gegenüber dem Tiefwasserfall festgestellt werden. Dies gilt sowohl für das Überholen als auch für das Begegnen und weist somit auf eine erhöhte Gefahr bzw. Anforderung der Manövrierfähigkeit im Flachwasser hin.

Um die Simulation bei verschiedensten Randbedingungen und Fahrgeschwindigkeiten zu ermöglichen, wurden die identifizierten Werte parametrisiert und in einer Datenbank abgelegt. Daraufhin wurde ein komplexes mathematisches Modell entwickelt, welches für eine Vielzahl von Eingangsparametern eine realistische Approximation der Meßgrößen ermöglicht. Abb. 5 zeigt beispielhaft die Variation der Seitenkraft beim Überholen mit gleichzeitiger Variation von vier unterschiedlichen Parametern.

3.3 Bewegungssimulation

Die Berechnung der Schiffsbewegung erfolgt durch die zeitliche Integration der Bewegungsgleichungen gemäß dem Newtonschen und Eulerschen Gesetz. Da es um die gewöhnlichen Differentialgleichungen zweiter Ordnung für die horizontalen Bewegungen (Längs-, Quer- und Gierbewegung) geht, geschieht die Zeitintegration nach einer Initialisierung der Parameterwerte sehr schnell - man spricht von einer Fast-Time-Simulation. Die simulierten Ergebnisse, d.h. die Zeitverläufe der Bewegungsgrößen oder die Bahnlinien, können dann grafisch dargestellt werden. In der Regel werden Standardmanöver, wie z.B. Drehkreis, Z-Manöver und Stopp-Manöver, nach diesem Verfahren simuliert. Wie in Abb. 6 können die Wirkungen der unterschiedlichen Steuerorgane auf die Drehfähigkeit des untersuchten Gütermotorschiffes schnell verdeutlicht werden. Im Einzelnen wurden die Wirkungen beim alleinigen Einsatz vom Haupttruder, Bugtruder und Querstrahler anhand Drehkreischarakteristik demonstriert. Wie erwartet, erzielt das Haupttruder den kleinsten Drehradius. Ursache hierfür ist die Vollnutzung des Propellerstrahls für das Haupttruder am Heck.

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurde neben der schnellen Simulation eine Visualisierung in Echtzeit programmiert und somit ein so genanntes Echtzeitsimulationsmodul entwickelt. Dies ermöglicht einerseits die Vermittlung einer realitätsnahen Beurteilung des Manövrierverhaltens am PC und andererseits auch die leichte Inte-

gration in einen Ausbildungssimulator. Abb. 7 veranschaulicht ein solches Modul der Echtzeitsimulation am PC beim Überholvorgang. Neben einem Einstellungsfenster zur Festlegung der Fahrumgebung und zur Initialisierung der Schiffsdaten stehen ein Bedienungsfenster zur Steuerung der Propellerdrehzahl und Ruderlage sowie eine grafische Visualisierung der Schiffspositionen zur Verfügung. Eine solche Echtzeit-Simulationsumgebung kann für Online-Beobachtung und Analyse des Bewegungsverhaltens sowie die Online-Veranschaulichung der Wirkungen von unterschiedlichen Steuerorganen benutzt werden.

4. CFD-Untersuchungen

Wegen der instationären Natur von Begegnungs- und Überholvorgängen sowie der Berücksichtigung der topografischen Besonderheiten mussten geeignete Verfahren entwickelt werden. Folgende Lösungsansätze wurden im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens herangezogen:

- Kopplung der Flachwasserapproximation mittels des Computerprogramms BESH*i*Wa (Boussinesq's Equation for Ship Waves) für die Strömung im Fernfeld mit einer Feldelementemethode (ANSYS-CFX5) für die Strömung im Nahbereich der Schiffe
- Weiterentwicklung und Anwendung eines instationären Potentialverfahrens UNOPAM (Unsteady NOnlinear PAnel Method) für das gesamte Berechnungsgebiet
- Entwicklung eines voll instationären RANSE-Lösers basierend auf der Programmplattform MOUSE.

Die detaillierten Formulierungen, Ableitungen und numerischen Lösungsmethoden der einzelnen Verfahren sind im Abschlussbericht Teil C ausführlich beschrieben. Einige wesentliche Merkmale der entsprechenden Lösungsansätze und relevante Ergebnisse sind in folgenden Abschnitten zusammengefasst.

4.1 Flachwasserapproximation BESH*i*Wa

Das Computerprogramm BESH*i*Wa (Boussinesq's Equation for Ship Waves) wurde zur Berechnung der Erzeugung und Ausbreitung von Schiffswellen auf flachen Gewässern systematisch weiterentwickelt bzw. vervollständigt, siehe Jiang (2001) und Henn (2007). Es handelt sich um eine über die Wassertiefe gemittelte

Approximation der Schiffsumströmung in der horizontalen Ebene, aber bei freier Absenkung und Vertrimmung des Schiffes. Das Berechnungsverfahren ist insbesondere gekennzeichnet durch seine:

- Eignung für echte instationäre Vorgänge, wie beim Begegnen und Überholen sowie bei veränderlichen Topografien,
- physikalische Gültigkeit und numerische Robustheit für nichtlineare und dispersive Wellen, wie Schiffswellen und Küstenseegang,
- rechnerische Effektivität für große Berechnungsgebiete und komplexe Situationen sowie
- direkte Berücksichtigung der Strömungswirkung und Bodenreibung.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens wurde das Computerprogramm BESH*i*Wa erweitert, so dass es für Begegnung und Überholen eingesetzt werden kann. Wesentliche Entwicklung ist die Anpassung der sich gegenseitig bewegenden Gitter jeweils um das eigene Schiff. Abb. 8 zeigt die zeitliche Entwicklung des gesamten Wellenbilds während des Überholvorgangs eines Gütermotorschiff mit einem Fahrgastschiffes sowie beim Begegnen beider Schiffe.

Ein besonderes Merkmal des Computerprogramms BESH*i*Wa ist die Zuverlässigkeit bei der Bestimmung der dynamischen Trimmelage. Abb. 9 zeigt, wie sich die Trimmelage des Überholten beim Passiervorgang verändert. Neben der praktisch akzeptierbaren guten Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung kann insbesondere die ausgeprägte Einwirkung des Primärwellensystems vom Überholer auf den Überholten beobachtet werden, siehe die drastische Veränderung der Trimmelage und der Absenkung über der Wellenlänge des Primärwellensystems.

4.2 Potential-Panelverfahren UNOPAM

Das Computerprogramm UNOPAM (Unsteady NOnlinear Panel Method) basiert auf der Potentialtheorie, wurde durch eine enge Zusammenarbeit mit Söding (2007) entwickelt und im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens für verschiedene Berechnungsfälle implementiert. Es handelt sich um ein instationäres Potential, das durch die zeitlich veränderliche Stärke der Singularitäten auf der benetzten Schiffsoberfläche, der freien Wasseroberfläche sowie auf dem unebenen Wasserboden beschrieben ist. Dabei können sowohl die veränderliche Fahrumgebung als auch die dynamische benetzte Oberfläche infolge der Vertrimmung und Absenkung berücksichtigt werden. Neben der Singularität in Form von Quellen und

Senken wurden auch Wirbelelemente herangezogen, um die seitlichen Einwirkungen beim Begegnen und Überholen zu erfassen. Darüber hinaus wurde die Kutta-Bedingung an kantigen Stellen, z.B. an der Hinterkante des Rumpfes unterhalb der Gillung, angesetzt.

Wegen der zum Teil sehr kleineren Fahrgeschwindigkeit, vor allem für die behandelten Binnenschiffe, wurden unterschiedliche numerische Dämpfungen herangezogen, um eine gewünschte Konvergenz zu gewährleisten bzw. die ungewünschte numerische Oszillation kleinerer Länge zu unterdrücken. Dieser so genannte Wellendämpfungsparameter wird um so größer und bedeutsamer, je kleiner die entsprechende Froudezahl ist. Zu betonen ist, dass der Dämpfungsparameter nur die kurzen Wellen beeinflusst, d.h. das Sekundärwellensystem. Daher ist eine merkliche Verfälschung für das hier primär interessierte Ergebnis beim Begegnen und Überholen nicht zu erwarten, denn hierbei spielt das Primärwellensystem die entscheidende Rolle.

Ferner wurde nicht die komplette reale Situation mittels des Computerprogramms UNOPAM simuliert, um einerseits die Rechenzeit im praktikablen Rahmen einzuhalten und andererseits die Konvergenz der Berechnungen zu gewährleisten. Im ersten Schritt wurde das Strömungsverhalten des Überholers für das gesamte Rechengebiet ohne den Überholten berechnet und gespeichert. Im zweiten Schritt wurde der Überholte mit seiner eigenen Geschwindigkeit im vorher berechneten Strömungsfeld infolge der Fahrt des Überholers simuliert. Der ganze Berechnungsvorgang ist voll instationär. Lediglich die Wechselwirkung des Überholten auf den Überholer und dessen Rückwirkung auf den Überholten wurde vernachlässigt. Dies ist sicherlich gerechtfertigt für den Fall bei mäßigem Passierabstand. Für engere Passiersituationen ist diese Vorgehensweise ungenau und muss erweitert bzw. weiterentwickelt werden.

Abb. 10 zeigt die Veränderung des Widerstands bzw. die seitliche Einwirkung (Seitenkraft und Gierrmoment) eines Großcontainerschiffes (Überholer) auf ein Feedercontainerschiff (Überholter) mittels des Computerprogramms UNOPAM. Abb. 11 demonstriert die entsprechenden Ergebnisse beim Überholen von zwei Leichtern mit einem mäßigen Passierabstand. Die entsprechende Veränderung der Trimmlage wird in Abb. 12 dargestellt.

4.3 Berechnungen ANSYS-CFX5

Aufgrund der starken Vereinfachung der Schiffsgeometrie mittels einer Schlankkörpertheorie im Computerprogramm BESHiWa wurden die seitlichen Einwirkungen auf beide fahrenden Schiffe bei der BESHiWa-Simulation nicht weiter verfolgt. Stattdessen wurde ein quasistationärer Kopplungslösungsansatz implementiert. Im ersten Schritt wurde die instationäre Lösung für das gesamte Strömungsgebiet einschließlich der Trimmelage des Schiffes mittels BESHiWa berechnet, siehe Wellenbilder in Abb. 13. Mit der Erhaltung der mittels BESHiWa berechneten freien Wasseroberfläche und der Trimmelage wurde die Umströmung beider Schiffe mittels des im DST vorhandenen kommerziellen RANSE-Lösers ANSYS-CFX5 für verschiedene unterschiedliche Positionen neu berechnet, wobei die Anströmungsgeschwindigkeit für beide Schiffe gleich ist. Der resultierende Bodendruck ist in Abb. 14 bei unterschiedlichen Längsversatz dargestellt.

Die Berechnungen zeigten, dass diese Vorgehensweise numerisch effektiv und robust war und für kleine Passierabstände prinzipiell anwendbar geeignet ist. Allerdings wurde dabei angenommen, dass beide Schiffe mit gleicher Geschwindigkeit angeströmt wurden. Dies ist für einen geringen Geschwindigkeitsunterschied beim Überholen zulässig, führt aber zu einer ungenauen Approximation des echt instationären Passiervorgangs, wie es an der unzureichenden Übereinstimmung der Seitenkraft besonders erkennbar ist. Darüber hinaus muss noch darauf hingewiesen werden, dass diese Approximation für Begegnungsfälle nicht einsetzbar ist.

4.4 Entwicklungen basierend auf dem Programmpaket MOUSE

Eine zentrale Entwicklungsaufgabe bestand in der Weiterentwicklung eines im DST im Quellcode vorhandenen RANSE-Lösers basierend auf dem Programmpaket MOUSE. Einige Erweiterungen und Anwendungen für die maritimen Problemstellungen sind in den Arbeiten von Stuntz et. al (2005) beschrieben. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens ging es um folgende Programmentwicklungen:

- Überarbeitung des Basislösers zur Verbesserung der Portierbarkeit, Handhabbarkeit und Leistungsfähigkeit,
- Erweiterung des Programmkernels zur Berechnung instationärer Strömungsvorgänge wie beim Begegnen und Überholen, sowie

- Entwicklung eines neuen Konzepts zur interaktiven Kopplung mehrerer, relativ bewegter Objekte mittels Overset-Methode.

Neben der zeitintensiven Überarbeitung der teilweise überholten algorithmischen Grundkonzepte von MOUSE lagen die Entwicklungsschwerpunkte einerseits in der Programmumsetzung von „Dual-Zeitschritts-Verfahren“ und „Druck-Iterations-Verfahren“ für echt instationäre Fälle und andererseits in der Implementierung von innovativen Konzepten mittels der Overset-Methode zur Gitterüberlappung beim Begegnen und Überholen.

Abb. 15 a und b zeigen die berechnete Wellenbildung beim Überholen Feedercontainerschiffes durch ein Großcontainerschiff für unterschiedliche Zeitschritte beim Längsversatz. Die entsprechende Wellenbildung beim Begegnen ist in Abb. 16 zusammengestellt. Die Darstellungen zeigen eindrucksvoll, dass derartige instationäre Probleme mittels des hier entwickelten RANSE-Lösers berechnet werden können. Das anscheinend sichtbare Wasser im Schiffsinnen, d.h. die Punkte des Hintergrundnetzes, ist nur ein virtueller Effekt und durch das zugrunde liegende numerische Verfahren bedingt. Es hat auf die Lösung im Schiffsnahfeld keinen Einfluss. Die berechneten resultierenden Einwirkungen, hier Längskraft, Seitenkraft und Giermoment, des Überholers auf den Überholten sind in Abb. 17 als Funktion des Längsversatzes zusammengefasst und den gemessenen Werten gegenübergestellt. Wie leicht erkennbar ist, wurde eine unerwartet gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung erzielt, sowohl für die Längskraft als auch für die Seitenkraft und das Giermoment in Amplitude und Phase. Allerdings muss noch festgehalten werden, dass das Verfahren noch in der Entwicklungsphase ist. Aber die unbestrittene Übereinstimmung verleiht eine Zukunftsperspektive für die Weiterentwicklungen:

- 1) Das entwickelte Verfahren, gerade aufgrund der Möglichkeit einer vollständigen Berücksichtigung aller relevanten Effekte, ist eine zukunftsweisende Methode zur Untersuchung derartiger instationärer Probleme.
- 2) Das Verfahren muss gründlich geprüft und für verschiedene Fälle validiert werden, bevor es in der Praxis eingesetzt werden kann.
- 3) Das Verfahren muss systematisch weiterentwickelt werden, vorrangig aber
 - Parallelisierung zur effektiven Berechnung praktischer Fälle,
 - Erhöhung der Gitterauflösung für großes Rechengebiet sowie
 - Berücksichtigung dynamischer Trimmlage und topografischer Veränderung.

5. Bewertung und Datenbank

Eine wichtige Aufgabe des vorliegenden Forschungsvorhabens ist die Erarbeitung eines zuverlässigen Kriteriums für die Beurteilung geeigneter operativer Maßnahmen zur Kompensierung äußerer Einwirkungen bei unterschiedlichen Fahrsituationen. Eine praktikable Möglichkeit ist die z.B. die Verwendung der Ruderlage. Aus den daraus linearisierten Gleichungen für Quer- und Gierbewegung können die erforderliche Ruderlage und der Driftwinkel zur Kompensation äußerer Einwirkungen (Seitenkraft und Giermoment) bestimmt werden.

Abb. 18 und Abb. 19 zeigen die erforderliche Ruderlage und den erforderlichen Driftwinkel jeweils bei der wandnahen Fahrt und beim Überholen.

Analog kann auch das erforderliche Giermoment durch das Ruder gegen äußere Einwirkungen bestimmt werden. Abb. 20 zeigt das erforderliche Rudermoment aus der Berechnung mittels UNOPAM als Funktion des Längsversatzes zwischen dem überholten Feedercontainerschiff und Großcontainerschiff, um das Feederschiff auf Kurs zu halten.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Gesamtziel zur Verbesserung der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs auf der Binnenwasserstraße sind umfangreiche experimentelle und numerische Untersuchungen im Rahmen des genannten BMBF-Forschungsvorhabens (Förderkennzeichen 03SX199) durchgeführt worden.

In den EFD-Untersuchungen wurden zuerst unterschiedliche Konfigurationen der Fahrumgebung, wie veränderliche Bodentopografie und seitliche Enge durch Buhnen und Brückenpfeiler bei verschiedenen Strömungsverhältnissen sowie der Verkehrssituation, wie Begegnen und Überholen von Schiffen, im Modell realisiert. Neben dem Einsatz der Schnellschleppanlage wurde insbesondere eine Messbühne entwickelt, die nicht nur zu einer effektiven Durchführung der Modellversuche mithilfe von beiden Schleppwagen führt, sondern auch die freie Absenkung und Vertrimmung im gefesselten Zustand ermöglicht. Eine besondere Anstrengung war die mathematische Modellierung der Kraftwirkungen für die unterschiedlichen Konfigurationen. Diese wurden als Zusatzkräfte dem vorhandenen mathematischen Modell überlagert.

Die Identifizierbarkeit der damit zusammenhängenden Koeffizienten und die Teilvalidierung der darauf aufbauenden numerischen Simulationen zeigen, dass die hier implementierte Vorgehensweise ein Erfolg versprechender Ansatz für komplexe Situationen ist. Neben der Identifikation der modularen Kräfte wurden ferner weiterführende Bewertungen der Messungen durchgeführt und die Ergebnisse in die DST-Datenbank integriert. Darüber hinaus wurden auch Bewegungsmessungen mittels der DST-Bahnverfolgungsanlage im frei fahrenden Zustand durchgeführt.

In den CFD-Untersuchungen wurden numerische Berechnungsverfahren (CFD-Tools) weiterentwickelt und ihre Eignungen für solche komplexen Situationen eingehend geprüft. Nach einer Ergänzung der Bodenreibung wurde das auf der Flachwasserapproximation basierende Programm BESH*Wa* (Boussinesq's Equations for Ship Waves) herangezogen, um die dynamische Trimmlage und die Wellenbildung für die instationäre Fahrumgebung und Verkehrssituation zu berechnen. Aufgrund der guten Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung einerseits und der Überlegenheit der Rechengeschwindigkeit andererseits wurden die daraus resultierende Verformung der freien Oberfläche und Trimmlage für die quasistationäre Berechnung mittels des kommerziellen RANSE-Solvers (ANSYS–CFX5) vorgegeben. Die resultierenden Kraftwirkungen auf das Schiff konnten dann für verschiedene relative Positionen, z.B. beim Begegnungs- und Überholvorgang, berechnet werden. Parallel wurde das Programm UNOPAM (Unsteady Nonlinear Panel Method) für die quasistationären Situationen verwendet. Für den Überholvorgang wurde das Gesamtströmungsfeld des vorbeifahrenden Überholers unbeeinflusst vom Überholten vorher berechnet und dessen Wirkungen auf den Überholten, z.B. die Wasserspiegelabsenkung (Primärwellensystem) für die Nachberechnung mittels UNOPAM als vorgegeben erfasst. Eine zentrale Entwicklungsaufgabe bestand in der Weiterentwicklung eines DST-eigenen RANSE-Lösers basierend auf dem Programmpaket MOUSE. Hierbei wurde der „Kernel“ des Computerprogramms von dem Verfahren „künstliche Kompressibilität“ einerseits auf das Dual-Zeitschritt-Verfahren erweitert und andererseits auf das Verfahren „Druckiteration“ umgestellt. Alle damit zusammenhängenden Unterprogramme wurden neu programmiert bzw. angepasst. Das daraus resultierende Computerprogramm wurde sowohl für die quasistationären Vorgänge als auch für die realen instationären Situationen eingesetzt. Ein erster Vergleich mit Messungen zeigt zwar eine gute Übereinstimmung und weist auf weiteren Entwicklungsbedarf hin. Allerdings schon zum gegenwärtigen Zeitpunkt darf festgehalten werden, dass das auf dem Programmpaket MOUSE entwickelte Computerprogramm ein zukunfts-

weisender Weg ist, um die Gesamtheit der hier untersuchten komplexen Phänomene genau erfassen zu können.

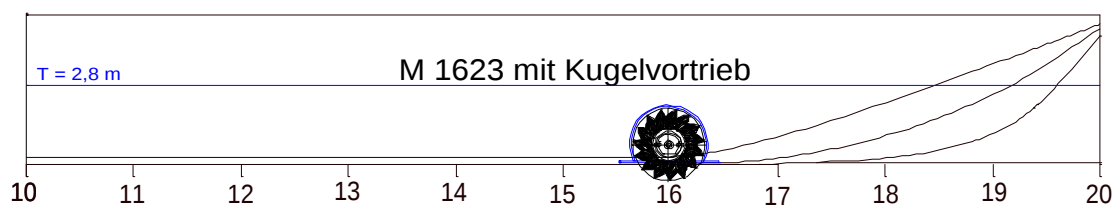
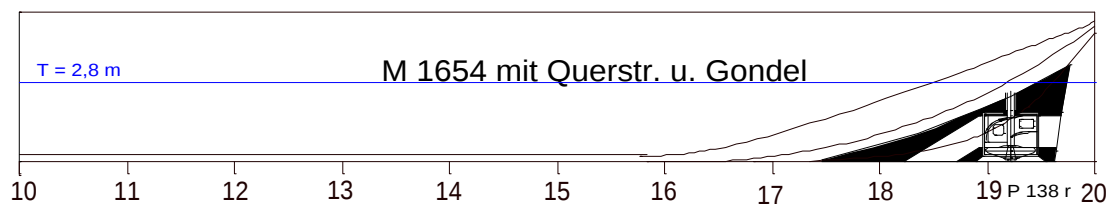
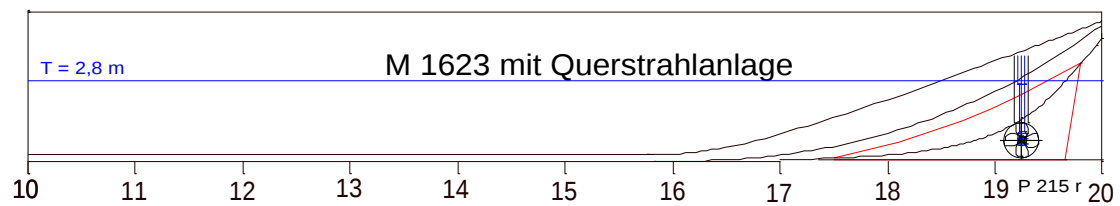
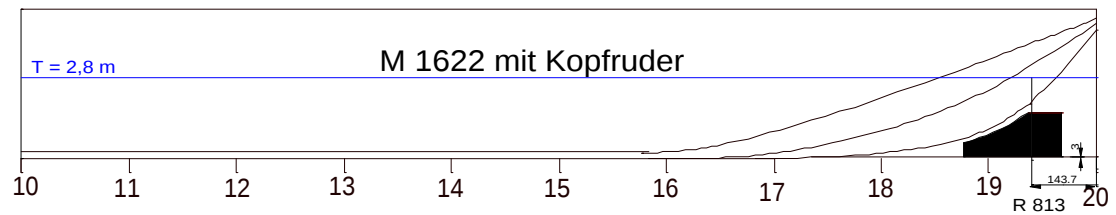
Des Weiteren wurden Verfahren entwickelt, um die geeignete Steuerung, z.B. die erforderliche Ruderlage zur Kompensierung seitlicher Einwirkungen (Querkraft und Giermoment) bei unterschiedlichen Fahrsituationen festzustellen. Numerische Bewegungssimulationen zeigen, dass solche Maßnahmen durch einen entsprechenden Autopiloten in vielen Fällen wirksam realisiert werden können. Für extreme Fälle jedoch, z.B. sehr kleine Abstände zu Hindernissen bzw. geringe Passierabstände beim Überholen, sind unrealistische Ruderwinkel erforderlich. Dies weist auf eine in der Praxis unkontrollierbare Situation hin. Um diese extremen Situationen noch besser bewerten zu können, sind weitere Forschungsanstrengungen bezüglich der Erweiterung der Software und hinsichtlich der Erfassung des Maßstabeffektes sowie der Validierung durch Messungen in der Großausführung erforderlich.

Die hier entwickelten Verfahren und erzielten Forschungsergebnisse fließen unmittelbar in die Bearbeitung des laufenden BMWi-Forschungsvorhabens („SimuBin“ mit dem Förderkennzeichen 03SX222) ein. Zweck der Verwertung ist auch die direkte Nutzung der wesentlichen Ergebnisse für das NRW-Vorhaben „Entwicklung und Bau eines Flachwasserfahrsimulators in Duisburg für Erstausbildung, Weiterbildung sowie Forschung und Entwicklung (Förderkennzeichen 005-0509-0007)“.

7. Literatur

- Gronarz, A.;
Baumgarten, B. und
List, S.(2005): INTERAKTION - Teilprojekt Buhneneinfluß
Experimentelle und numerische Bestimmung der Wirkung
von Buhnen auf das Fahrverhalten von Schiffen.
DST-Bericht Nr. 1728, Duisburg
- Gronarz, A. (1988): Manövrierverhalten völliger Schiffe auf begrenzter
Wassertiefe.
VBD-Bericht Nr. 1226, Duisburg
- Gronarz, A. (1998): Rechnerische Simulation der Schiffsbewegung beim
Manövrieren unter besonderer Berücksichtigung der
Abhängigkeit von der Wassertiefe.“
Doktor-Ingenieur Dissertation, Gerhard-Mercator-
Universität - Gesamthochschule Duisburg
- Gronarz, A. (2006): Ship-Ship-Interaction: Overtaking and Encountering of
Inland Vessels on Shallow Water.
Vortrag bei der Konferenz MARSIM 2006,
schriftliche Fassung (in Englisch) in den Proceedings,
Terschelling / NL
- Helm, K. (1965): Einfluss der verschiedenen Flachwasserprofile auf
Widerstand und Vortrieb von Binnenschiffen mit
Rechnungsbeispiel für die Binnenwasserstraßen der
Klasse IV.
VBD-Bericht Nr. 333, Duisburg
- Henn, R. (2007): Entstehung und Ausbreitung von Schiffswellen in Binnen-
und Küstengewässern.
Dissertation (in Bearbeitung)
- Henn, R.; List, S.;
Lochte-Holtgreven, H.;
Baumgarten, B. und
Jiang, T. (2005): Numerische und experimentelle Untersuchung der
Wirkung der Strömung in unterschiedlichen Flussquer-
schnitten auf das fahrende Schiff.
DST-Bericht Nr. 1777, Duisburg
- Jiang, T. (2001): Ship Waves in Shallow Water.
Fortschrittsbericht, VDI Verlag, Düsseldorf

- Söding, H. (2007) Berechnung von Überholvorgängen mit UNOPAM, DST-Bericht Nr. 1854
- Stuntz N., et al. (2005) Simulationssoftware für hydrodynamische Probleme – Schiff und Antrieb in begrenzten Gewässern, DST-Bericht Nr. 1766
- Zöllner, A.; Broß, H. und List, S. (2005): Experimentelle Ermittlung des Einflusses von unterschiedlichen Sohlbeschaffenheiten auf das Propulsionsverhalten.
DST-Bericht Nr. 1780, Duisburg
- Zöllner, J. (2005): Neue Containerschiffe zur Hinterlandanbindung.
Vortrag beim 26. Duisburger Kolloquium Schiffstechnik/Meerestechnik.
Institut für Schiffstechnik und Transportsysteme (IST).
Universität Duisburg-Essen, Campus Duisburg
- Zöllner, J. und Söhngen, B. (1992): Schifffahrtsversuche auf dem Dortmund-Ems-Kanal
Teil I: Absunk und Rückstrom bei Einzelfahrten.
Teil II: Strömungsfeld bei Begegnungen und Porenwasserdruck.
VBD-Mitteilung Nr. 261, Binnenschifffahrt Nr. 8 u. 9



ELIIB als Vorschiff mit verschiedenen Bugsteuerorganen

$$\lambda = 16$$

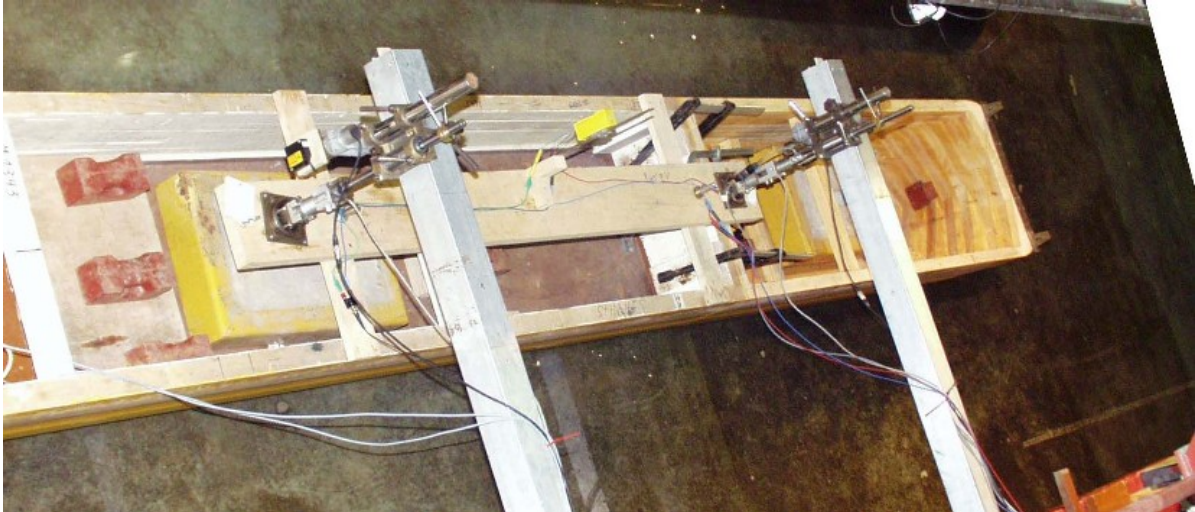
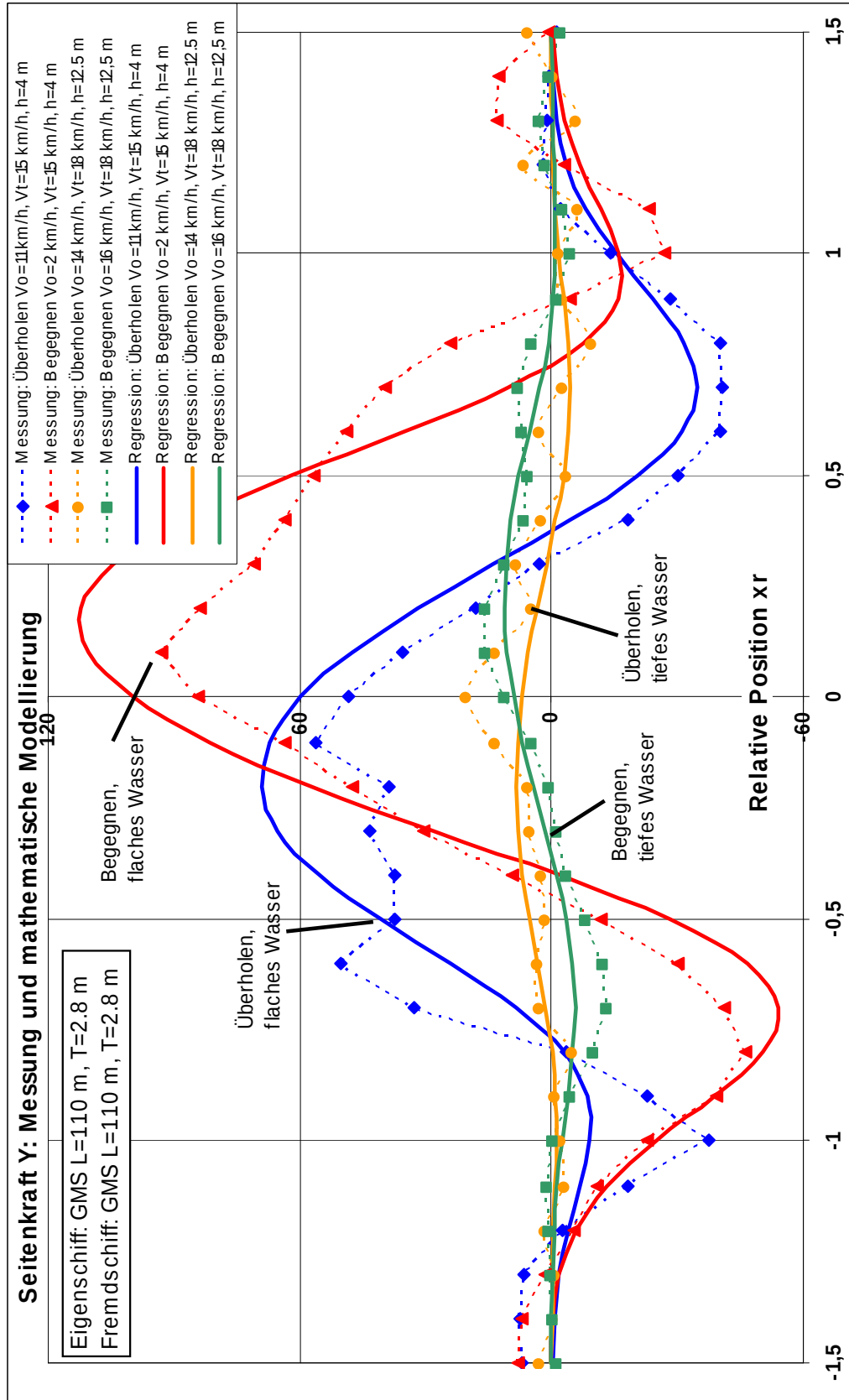


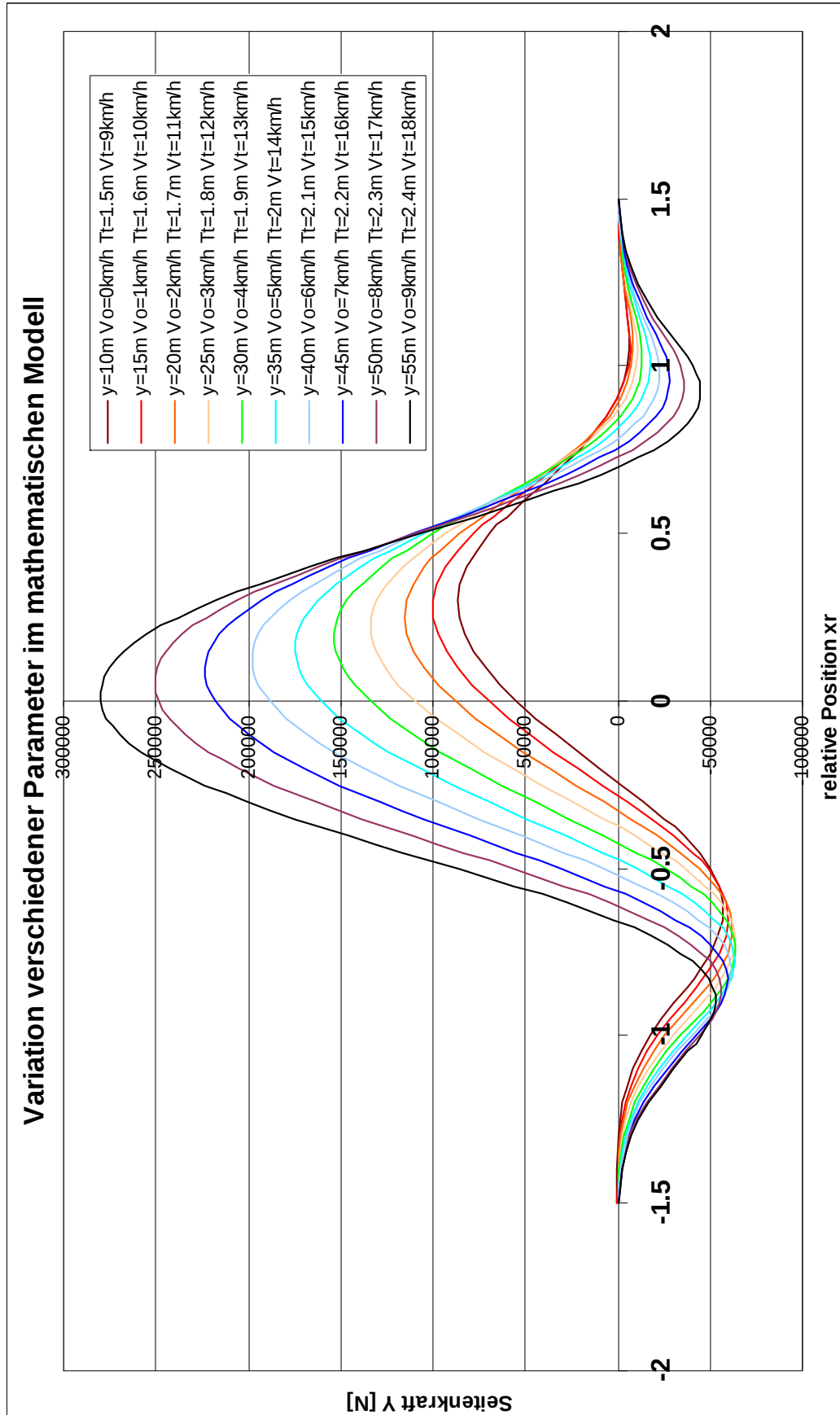
Abb. 2 Das Backbone im Einsatz



Abb. 3 Frei gefahrenes Manöver:
Ein Gütermotorschiff überholt einen Schubverband

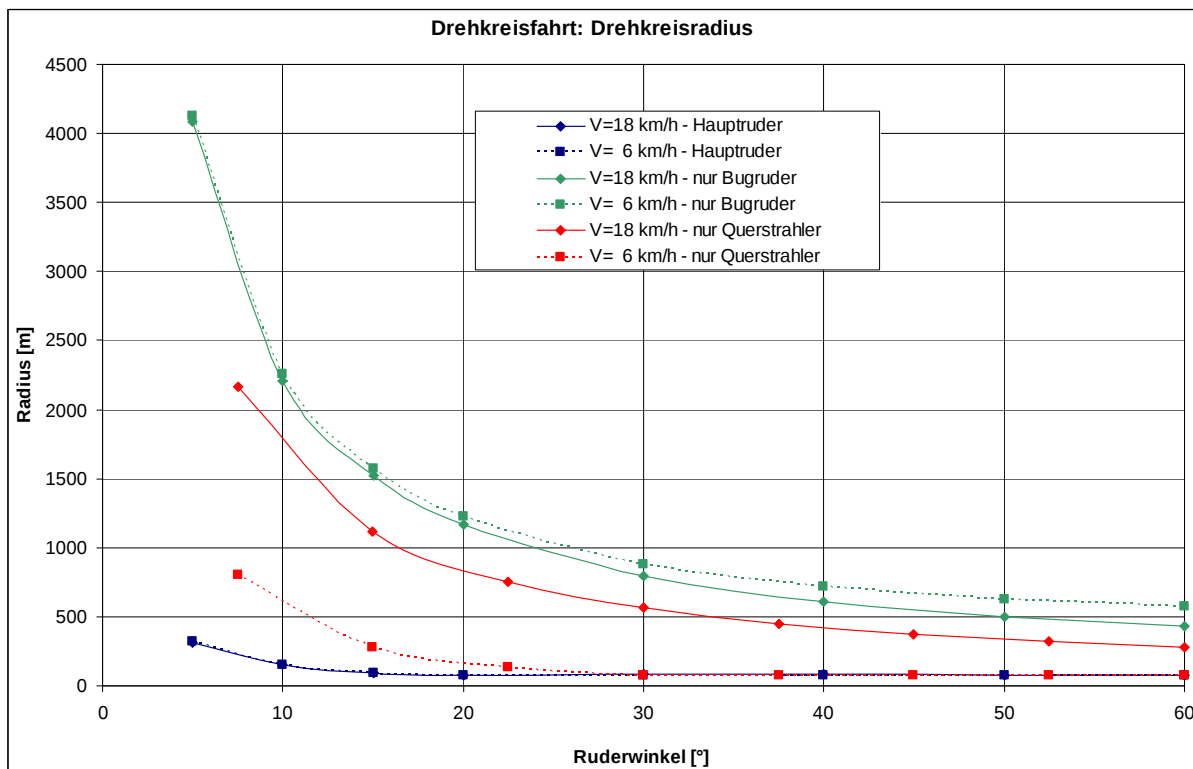


Seitenkraft Y beim Überholen und Begegnen
verschiedene Wassertiefen

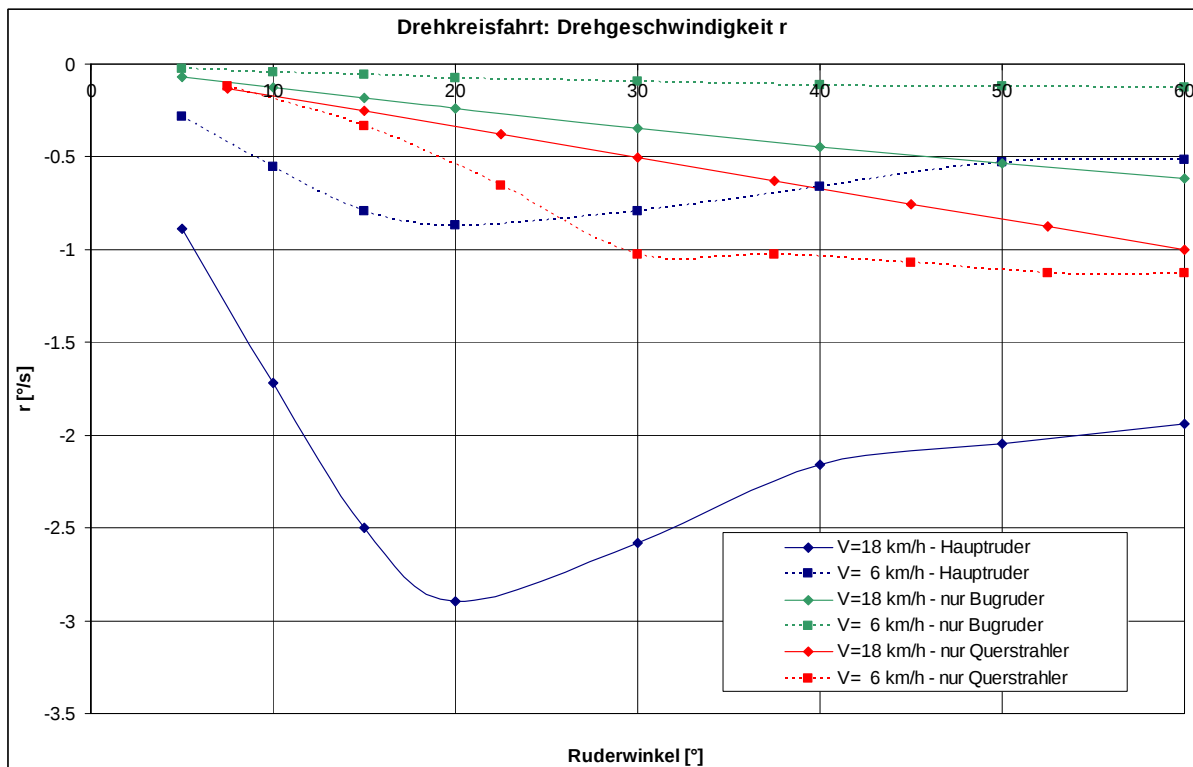


Seitenkraft Y bei Variation von 4 Parametern (umgerechnet für die Großausführung)

Drehkreisfahrten mit verschiedenen Steuerorganen

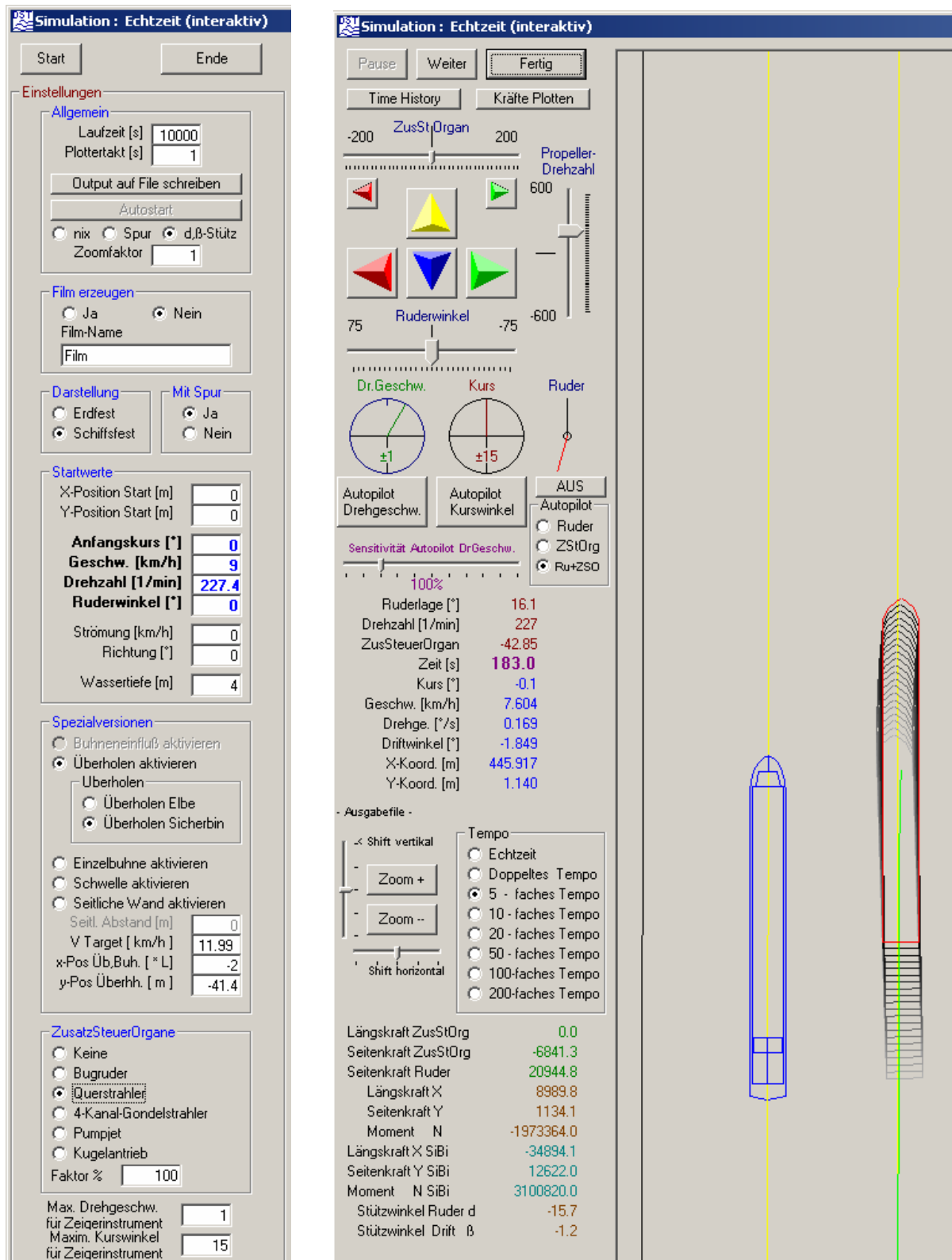


Drehkreisradius



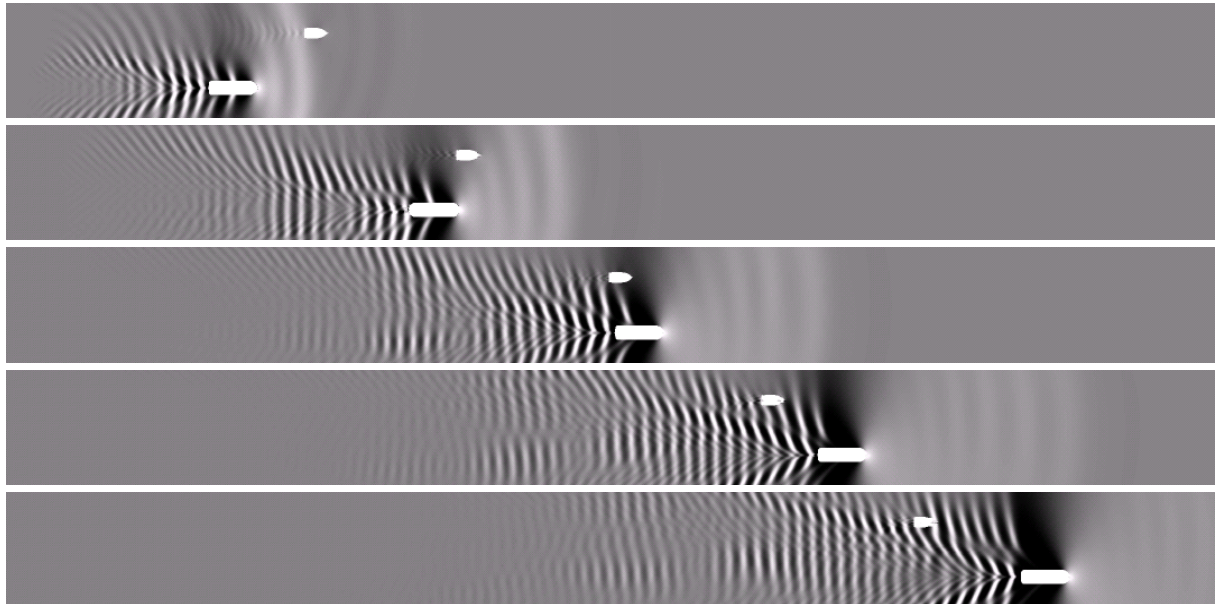
Drehgeschwindigkeit

Simulationsprogramm (Echtzeitmodul)

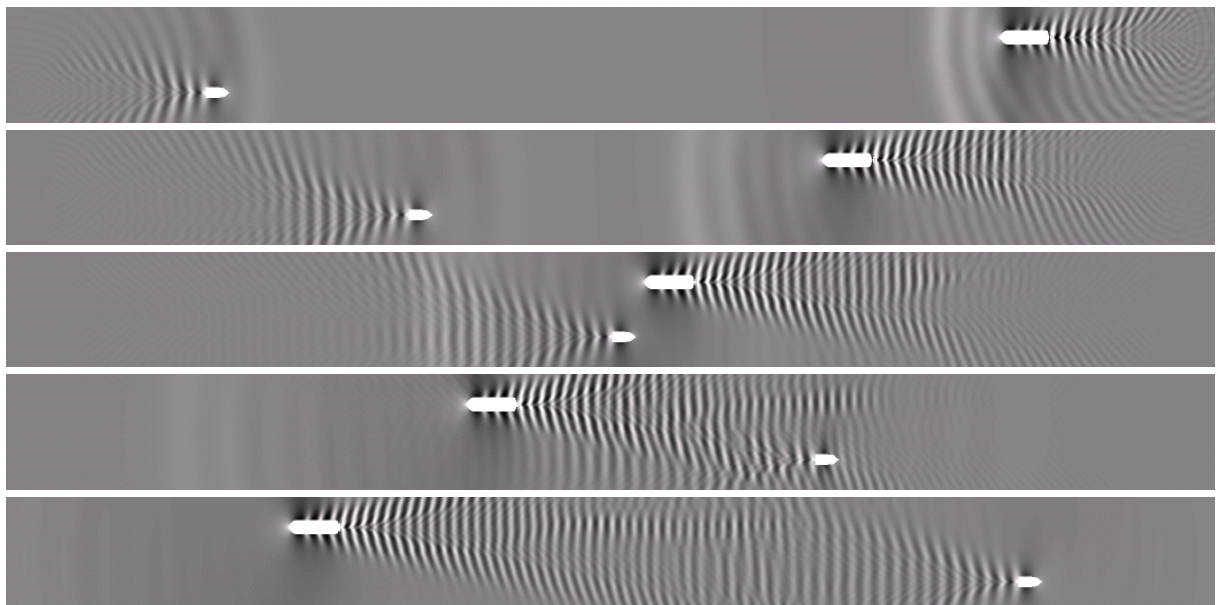


A) Einstellungen für die Simulation

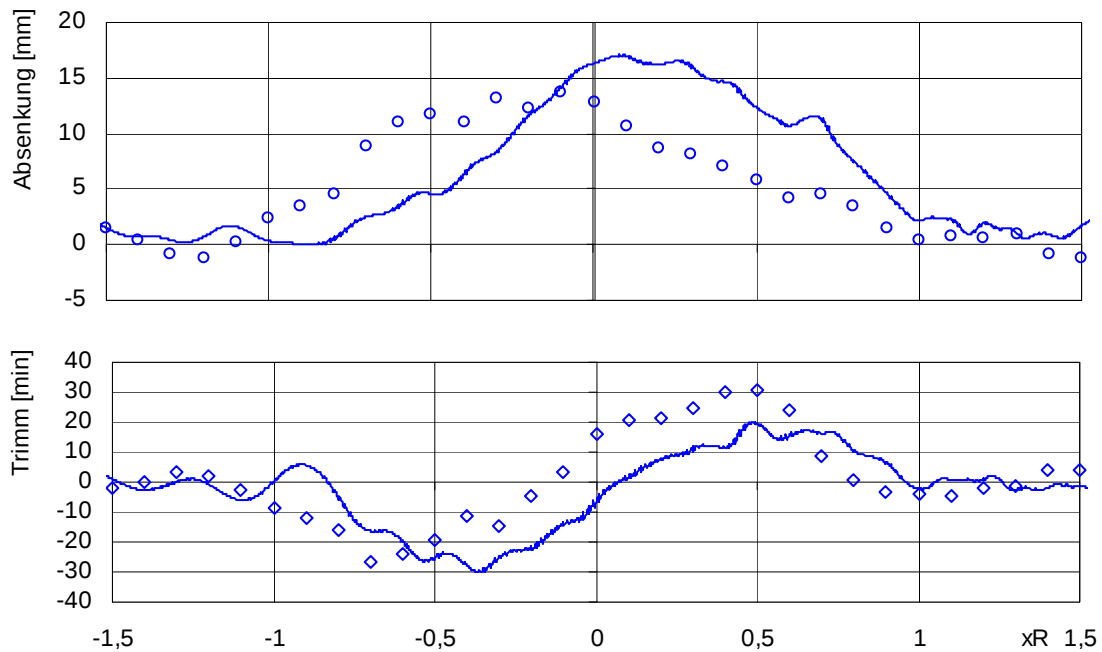
B) Ablauf der Bahn-Simulation mit Steuerelementen und Anzeigetafel



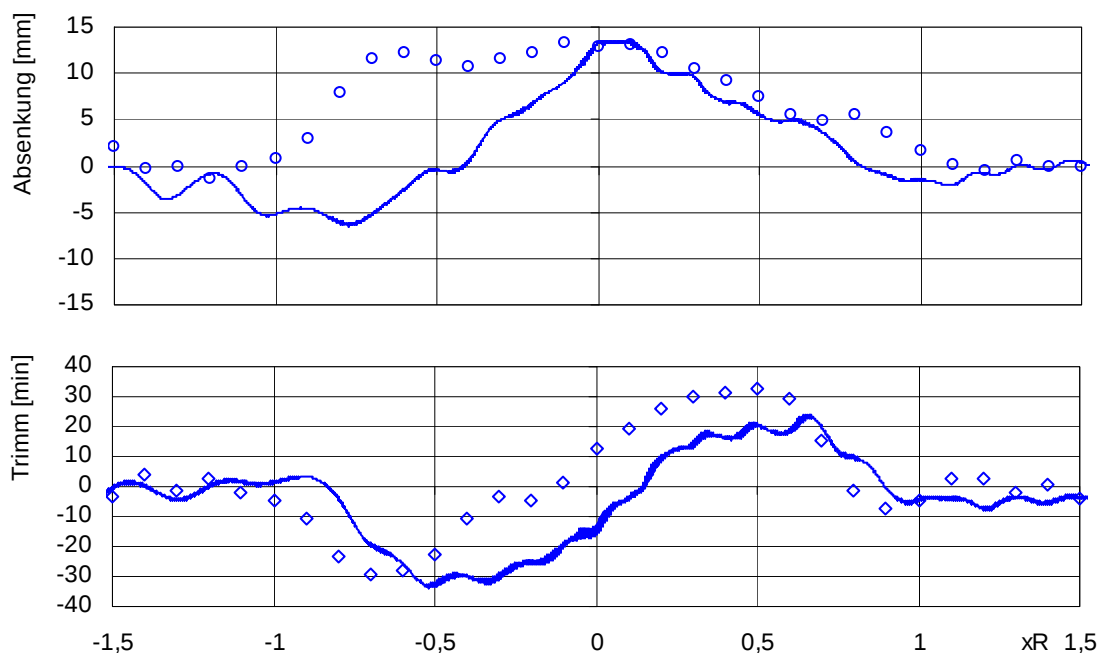
Ein Güterschiff überholt ein Fahrgastschiff



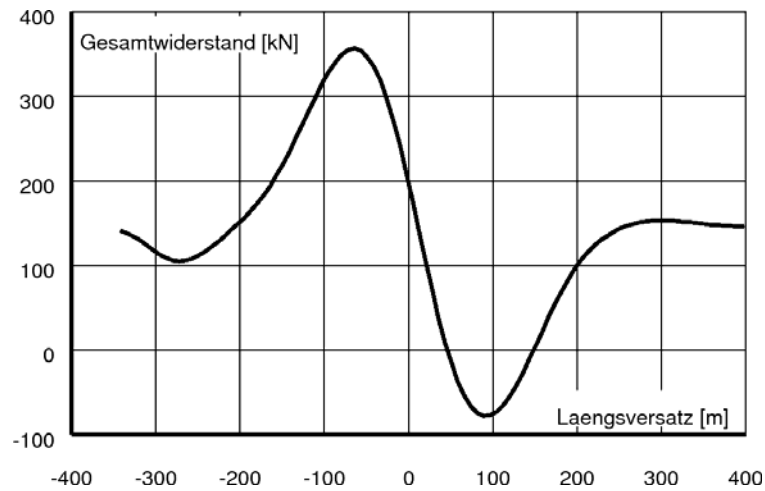
Ein Güterschiff und ein Fahrgastschiff begegnen sich



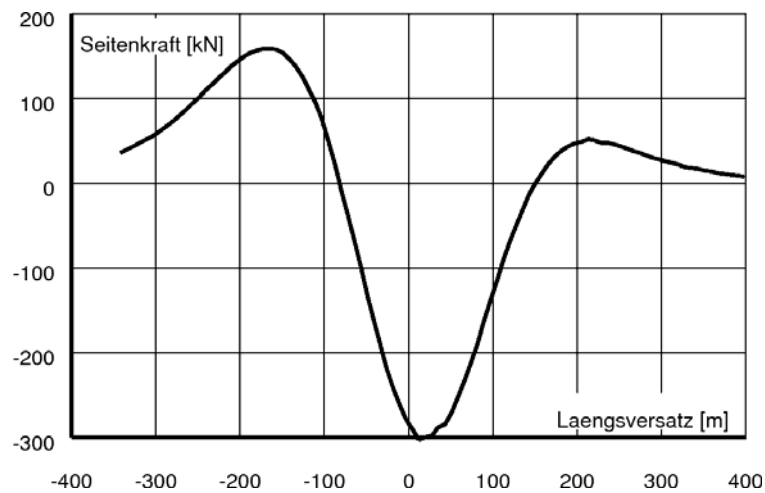
Trimm und Absenkung aufgetragen über dem dimensionslosen Längsversatz. Der Überholer fährt mit 13,4 km/h, der überholte Leichter mit 6 km/h. Der Abstand zwischen den Bordwänden beträgt 2,5 m.



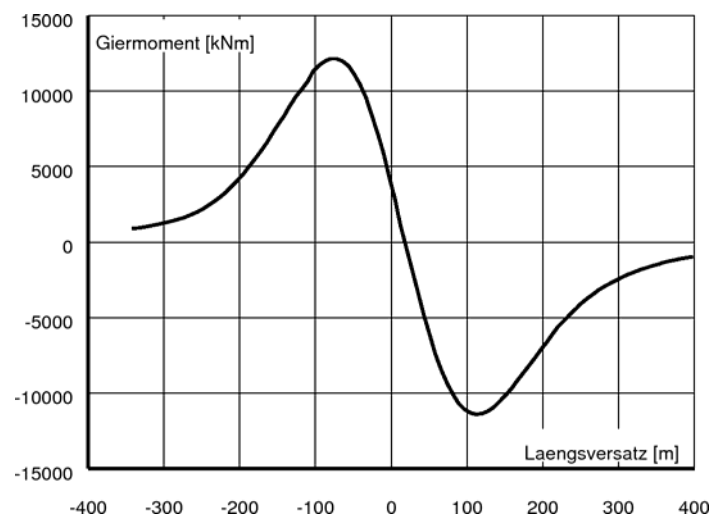
Trimm und Absenkung aufgetragen über dem dimensionslosen Längsversatz. Der Überholer fährt mit 13,4 km/h, der überholte Leichter mit 9 km/h. Der Abstand zwischen den Bordwänden beträgt 10 m.



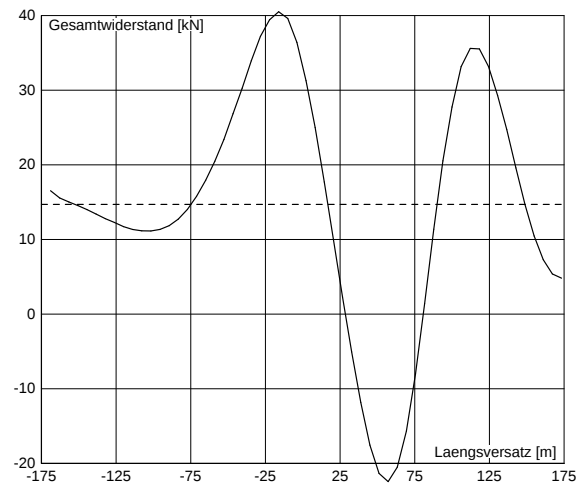
Widerstand des Feederschiffs als Funktion des Längsversatzes des Überholers



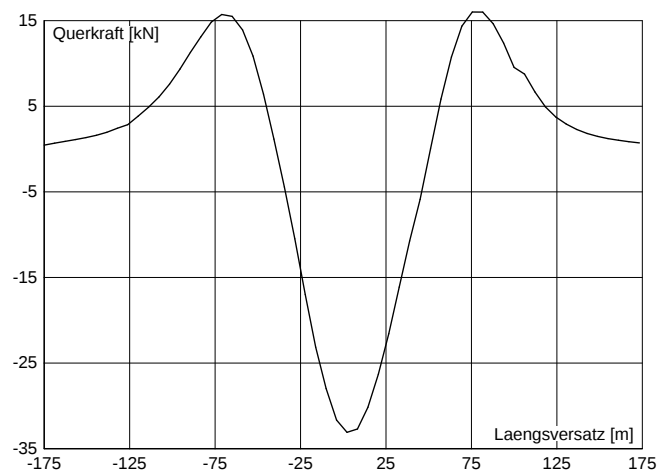
Seitenkraft auf das Feederschiff als Funktion des Längsversatzes des Überholers
+ bedeutet: Kraft weg vom Überholer



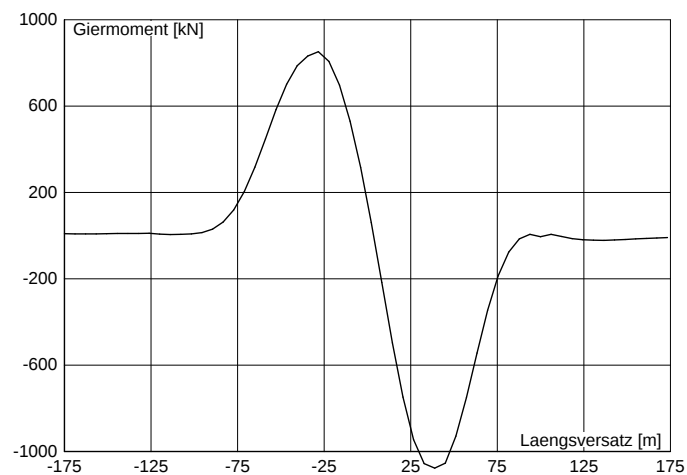
Giermoment am Feederschiff als Funktion des Längsversatzes des Überholers
+ bedeutet: dreht Bug weg vom Überholer



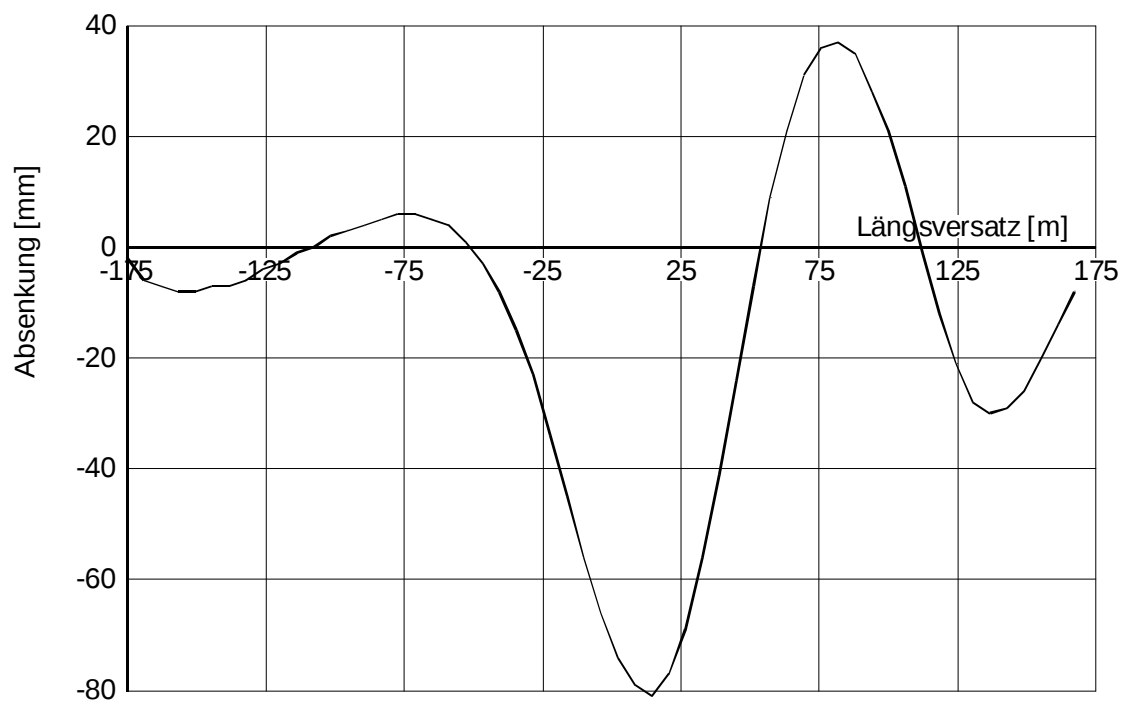
Widerstand des überholten Leichters (einschl. Wechselwirkung)
als Funktion des Längsversatzes beider Leichter



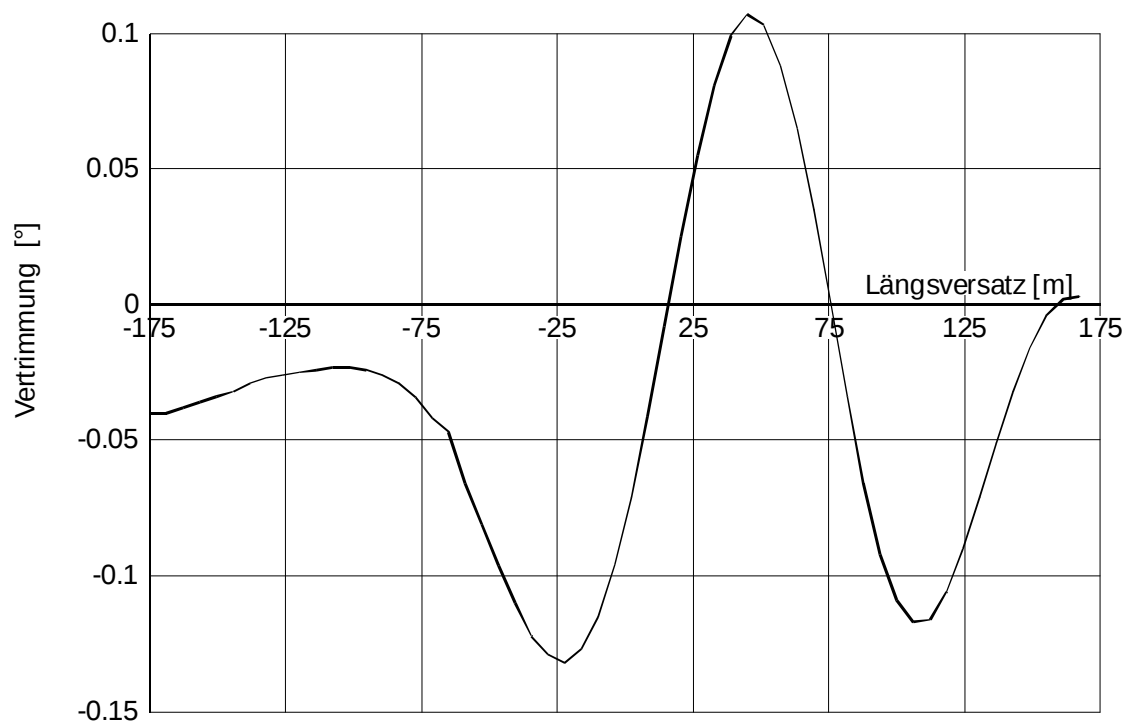
Seitenkraft (+ weg vom Überholer) am überholten Leichter
als Funktion des Längsversatzes beider Leichter



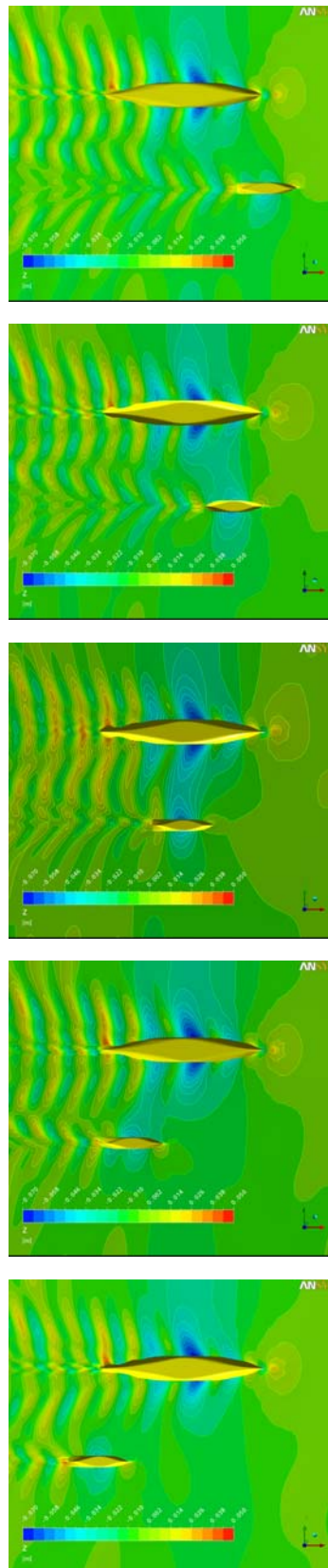
Giermoment am überholten Leichter (+ dreht Bug weg vom Überholer)
als Funktion des Längsversatzes beider Leichter



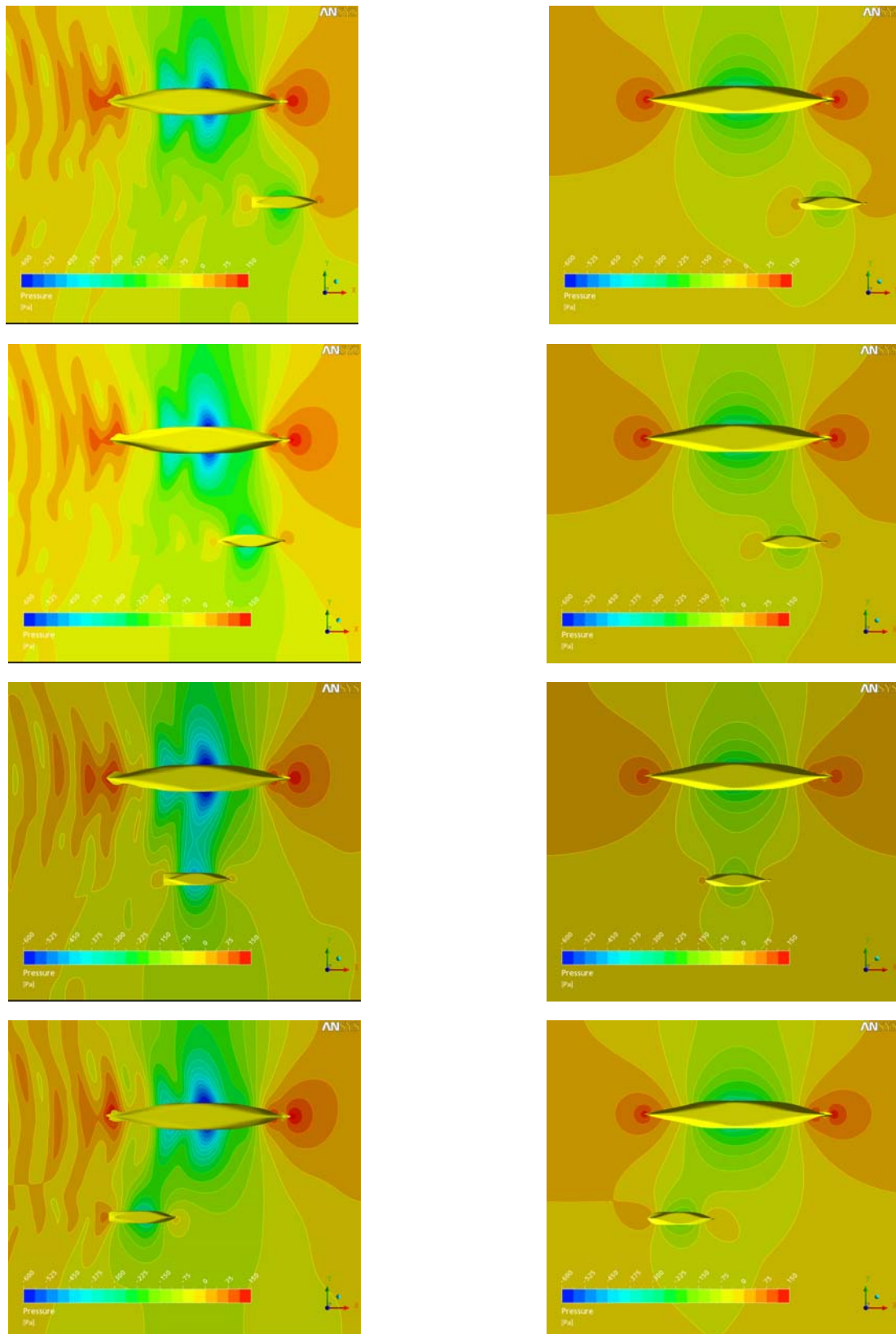
Absenkung des Schiffes während des Überholvorgangs.
Geschwindigkeiten 9 km/h bzw. 13,4 km/h; Wassertiefe 4 m



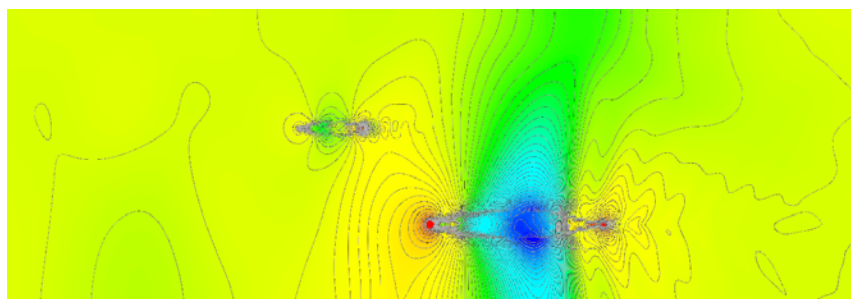
Vorlastige Vertrimmung während des Überholvorgangs.
Geschwindigkeiten 9 km/h bzw. 13,4 km/h; Wassertiefe 4 m



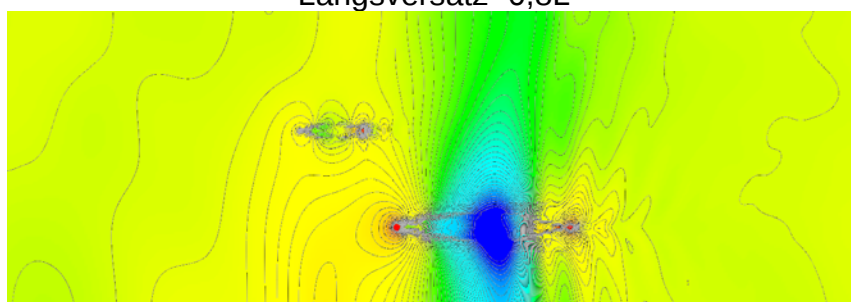
Simulation der Wellenbildung mittels BEShiWa bei unterschiedlichem Längsversatz



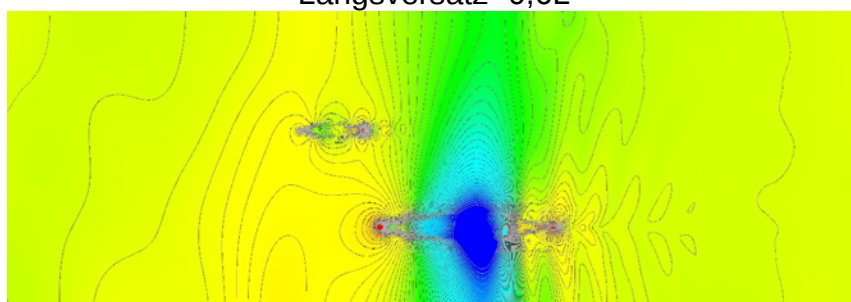
Bodendruck mittels ANSYS-CFX bei unterschiedlichem Längsversatz



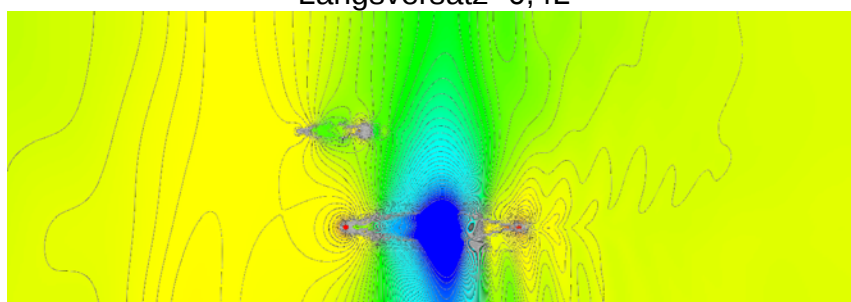
Längsversatz $-0,8L$



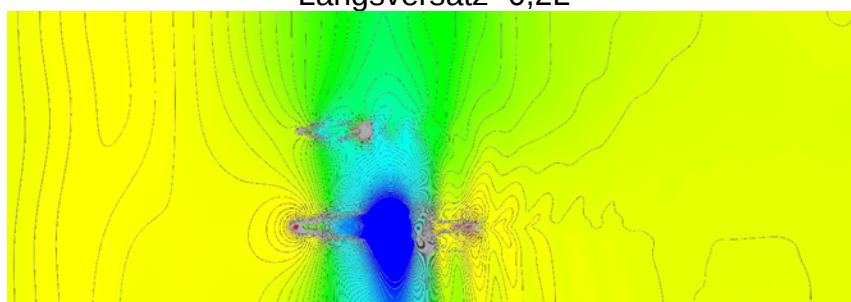
Längsversatz $-0,6L$



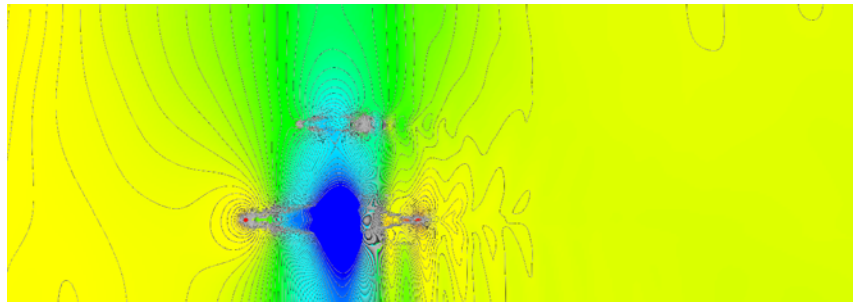
Längsversatz $-0,4L$



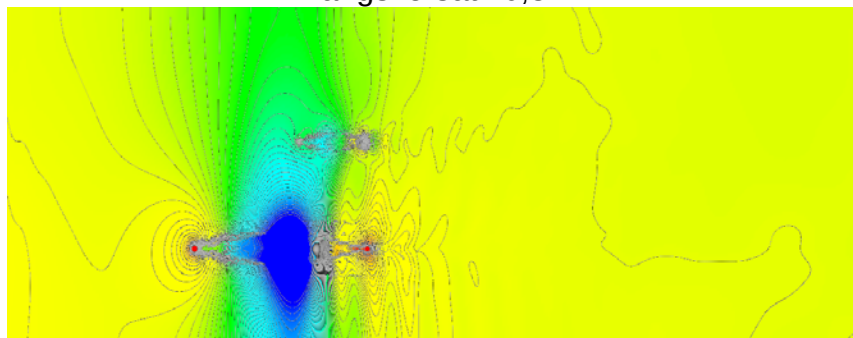
Längsversatz $-0,2L$



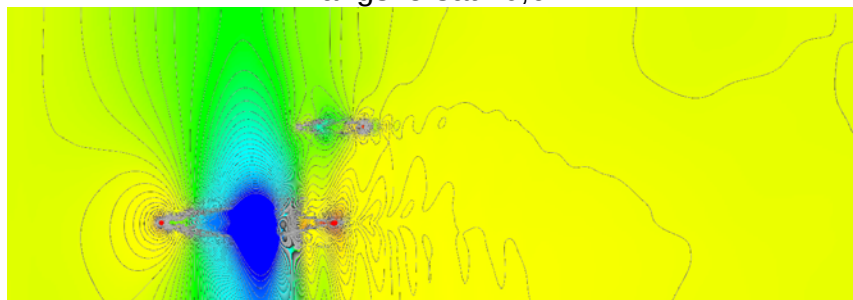
Längsversatz $0,0L$



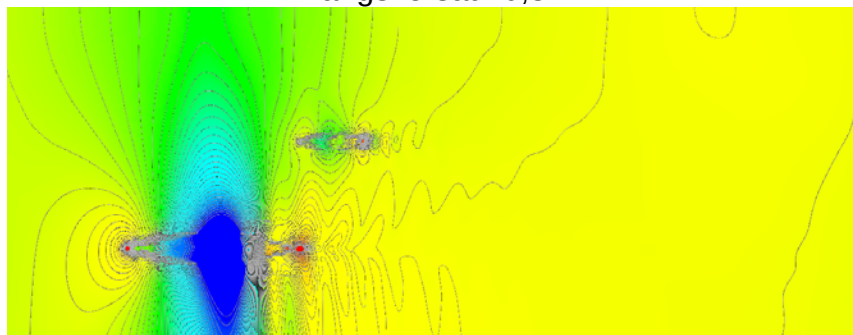
Längsversatz 0,3L



Längsversatz 0,6L

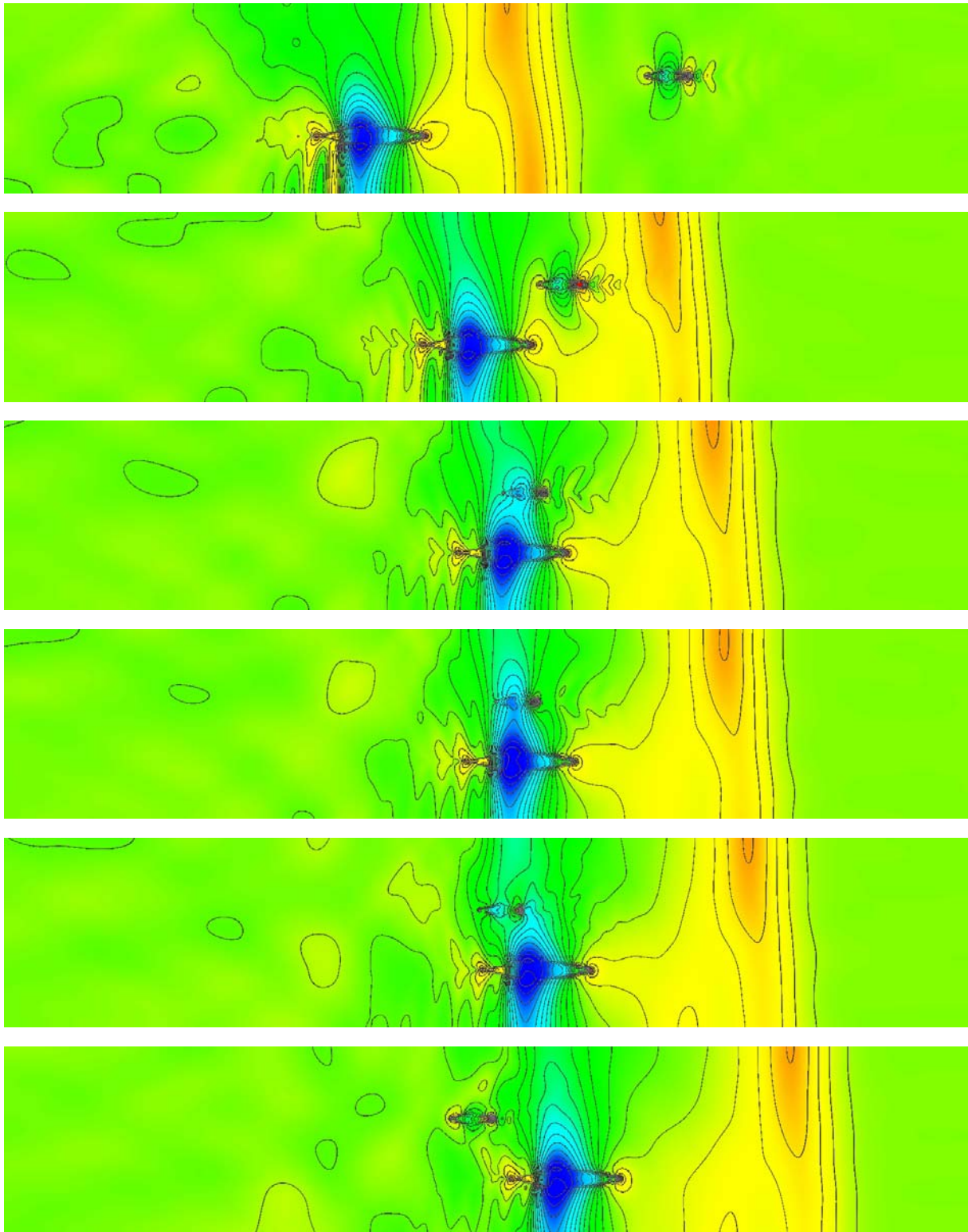


Längsversatz 0,8L

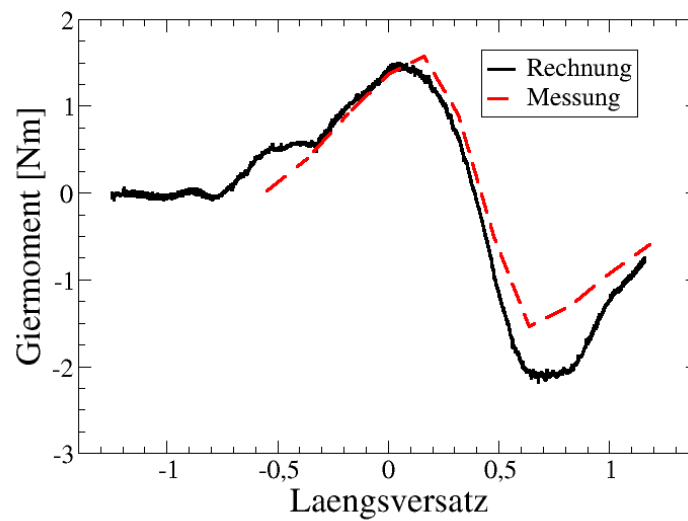
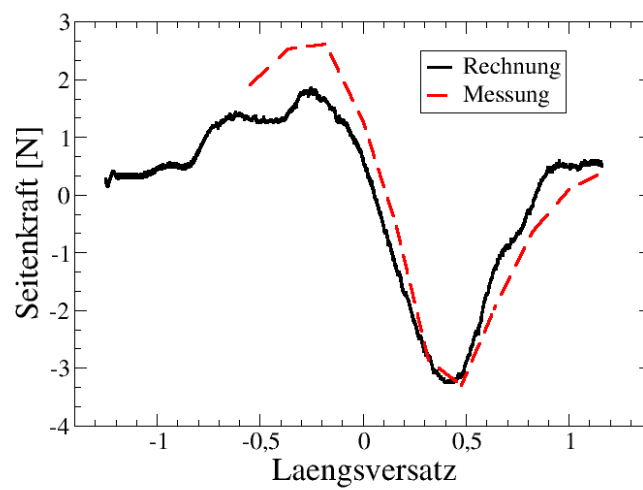
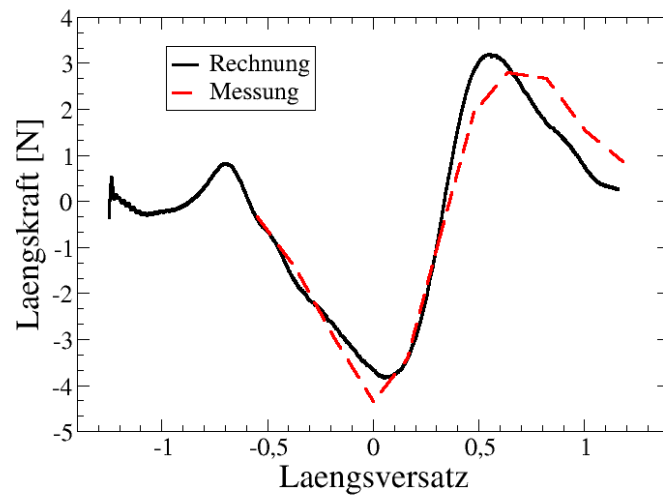


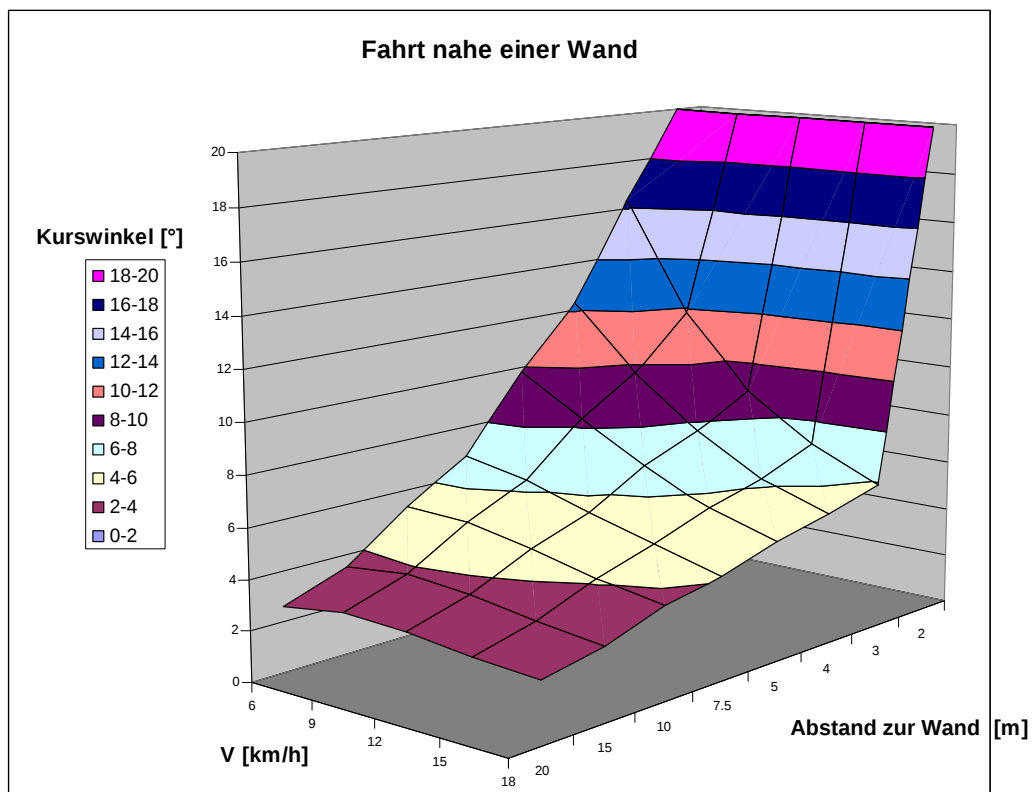
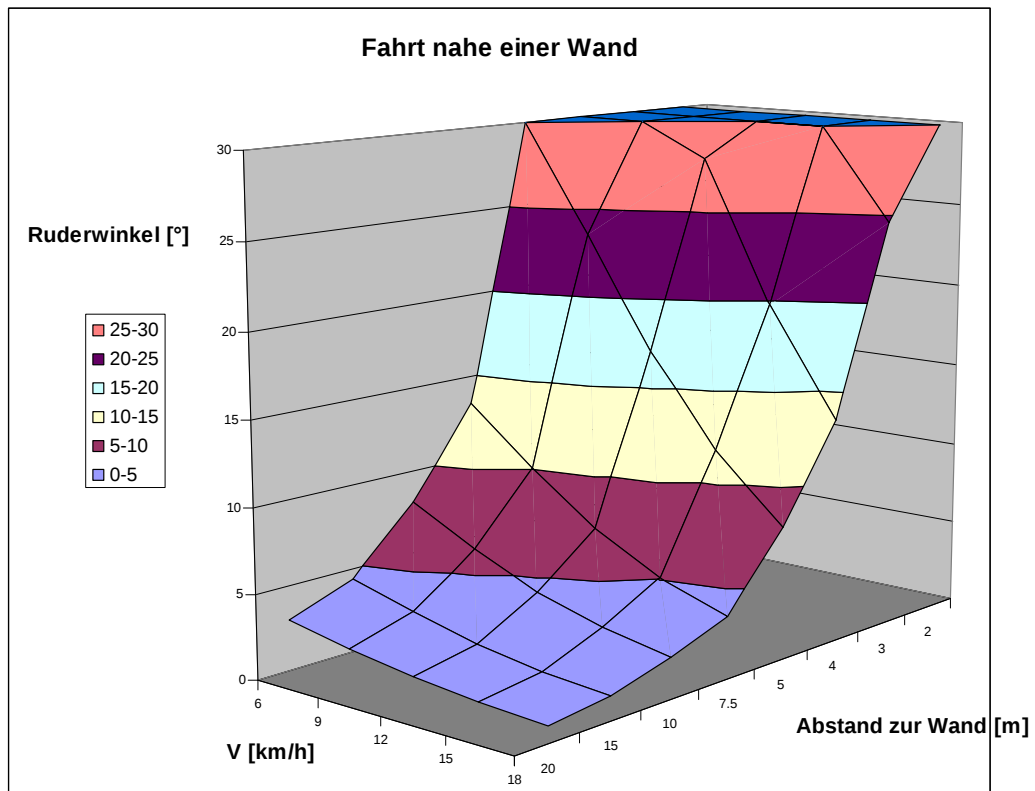
Längsversatz 1,0L

Instationäre Wellenbildung beim Überholen für unterschiedlichen Längsversatz
mithilfe eines eigenen RANSE-Lösers basierend auf dem Programmpaket MOUSE

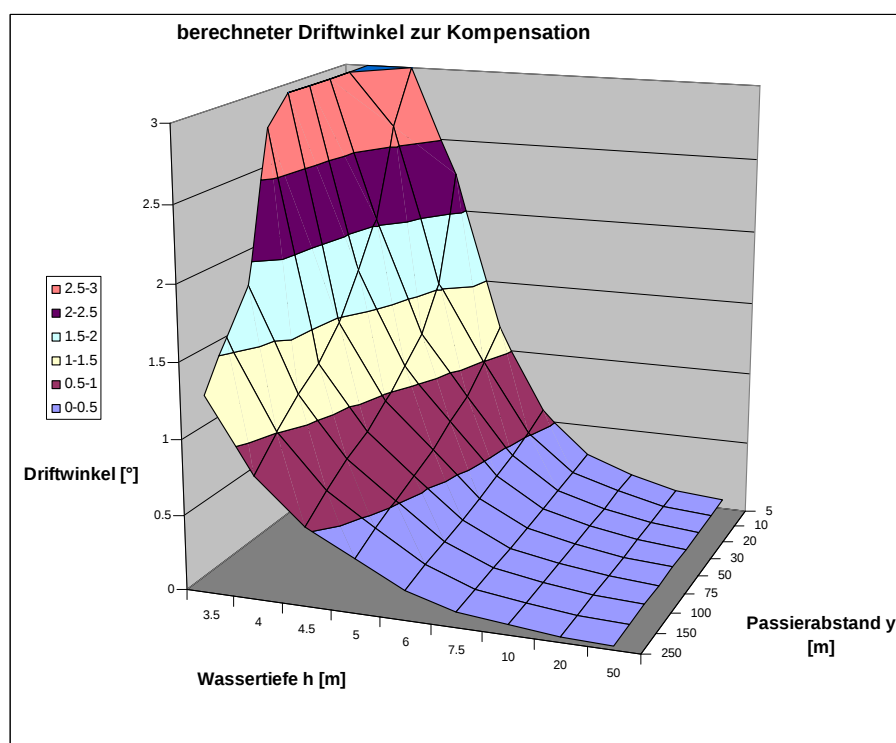
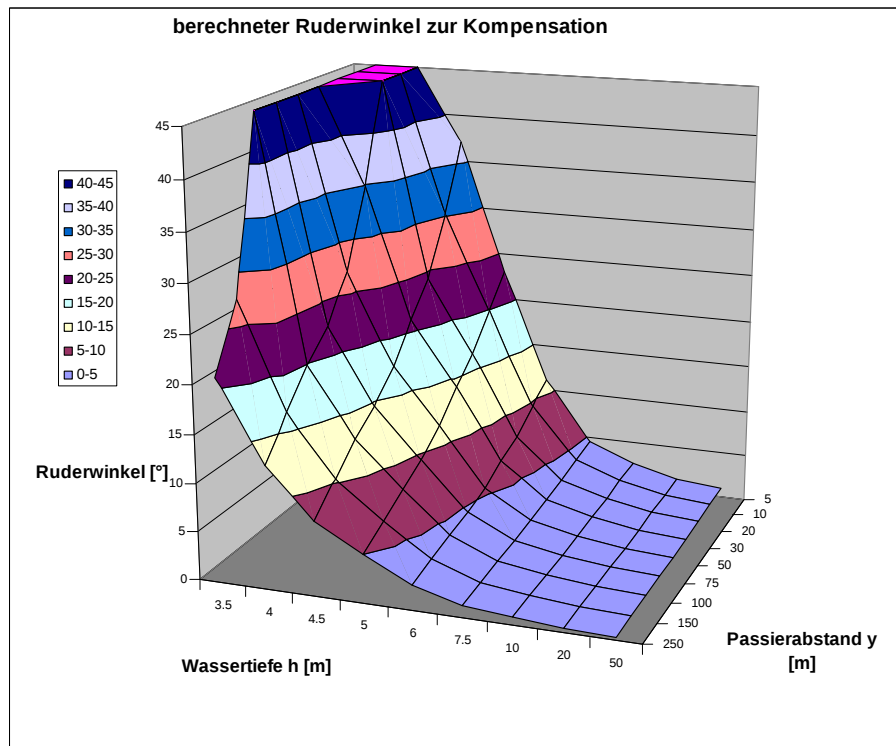


Instationäre Wellenbildung beim Begegnen für unterschiedlichen Längsversatz
mithilfe eines eigenen RANSE-Lösers basierend auf dem Programmpaket MOUSE



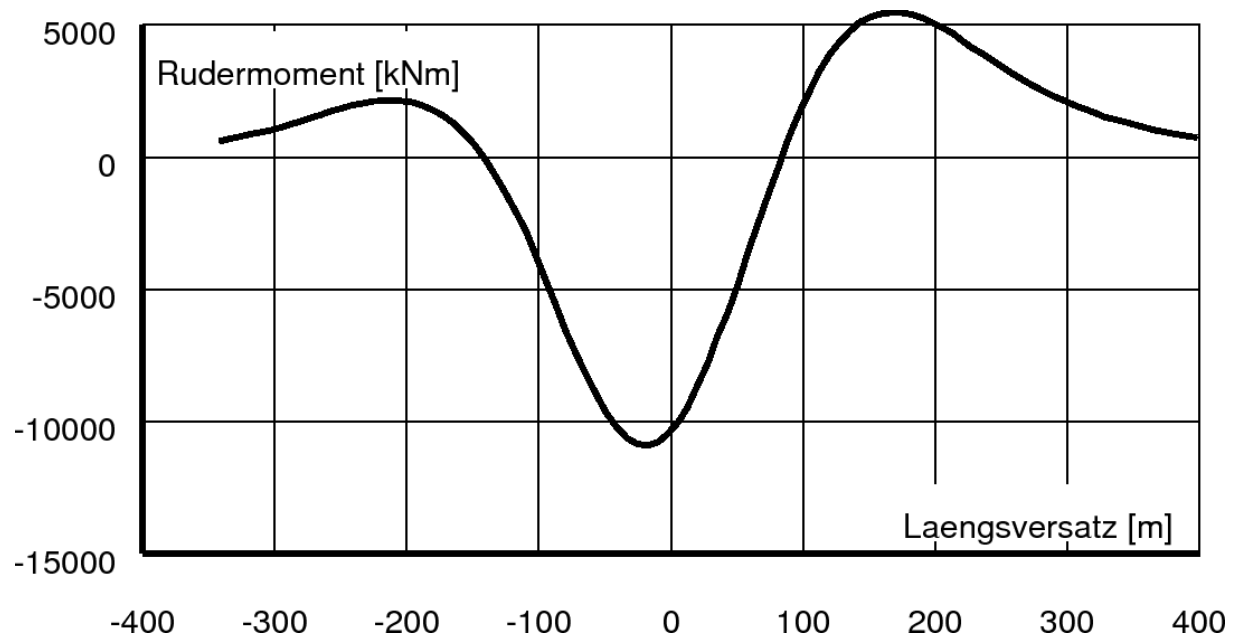


Erforderliche Ruderlage zur Kompensation der bei wandnaher Fahrt entstehenden
Seitenkräfte und Giermomente



Erforderliche Ruderlage zur Kompensation der beim Überholvorgang
entstehenden Seitenkräfte und Gierrmomente

Variation von Wassertiefe h und Passierabstand y
V Überholer = 12 km/h



Erforderliches Rudermoment zur Kurshaltung des überholten Feederschiffes
als Funktion des Längsversatzes des Überholers.
+ bedeutet: dreht Bug weg vom Überholer