

Forschungsschwerpunkt Maritime Systeme
Zukunft gestalten – Forschung und wissenschaftliche Ausbildung

Herausgeber: Forschungsschwerpunkt Maritime Systeme, Technische Universität Hamburg-Harburg

Herausgebedatum: August 2014

Redaktion: Sven-Brian Müller

Gestaltung: TuTech Agentur

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier, Circle Silk Premium White

Bildnachweis: Institut für Fluidodynamik und Schiffstheorie; Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit; Institut für Elektrische Energiesysteme und Automation; Institut für Konstruktion und Festigkeit von Schiffen; Arbeitsgruppe für Schiffsmaschinenbau; Institut für Mechanik und Meerestechnik; Arbeitsgruppe für Strukturdynamik; Institut für Produktionsmanagement und -technik; Institut für Geotechnik und Baubetrieb; Institut für Verkehrsplanung und Logistik; Institut für Maritime Logistik; Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik; Hafen Hamburg Marketing / Jochen Wischhusen (Seite 6, 44)

Technische Universität Hamburg-Harburg

Schwarzenbergstraße 93

21073 Hamburg

Forschungsschwerpunkt Maritime Systeme

Zukunft gestalten – Forschung und wissenschaftliche Ausbildung

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg



INHALTSVERZEICHNIS

FORSCHUNGSSCHWERPUNKT MARITIME SYSTEME – MARITIME FORSCHUNG UND WISSENSCHAFTLICHE AUSBILDUNG AN DER TUHH	5
FLUIDDYNAMISCHE UNTERSUCHUNGEN MARITIMER SYSTEME	9
SCHIFFSDESIGN UND SCHIFFSSICHERHEIT	19
ENERGIEMANAGEMENT UND ELEKTRISCHE SCHIFFSBORDNETZE	25
KONSTRUKTION UND FESTIGKEITSANALYSEN VON SCHIFFEN	31
FORSCHUNGSARBEIT IM SCHIFFSMASCHINENBAU	43
MECHANIK UND MEERESTECHNIK	47
PRODUKTIVITÄT - EINE VORAUSSETZUNG FÜR DIE WETTBEWERBSFÄHIGKEIT DER MARITIMEN WIRTSCHAFT	55
MARINE GEOTECHNIK	61
MARITIME LOGISTIK: PROZESSOPTIMIERUNG BEI DER TRANSPORTKETTE SCHIFF - HAFEN - HINTERLAND	67
3D-LASER-SCHWEISSBEARBEITUNG	73





Sprecher
Prof. Dr.-Ing. Stefan Krüger

Stellv. Sprecher
Prof. Dr.-Ing. Moustafa Abdel-Maksoud

Koordinator
Dr.-Ing. Sven-Brian Müller

FORSCHUNGSSCHWERPUNKT MARITIME SYSTEME – MARITIME FORSCHUNG UND WISSENSCHAFTLICHE AUSBILDUNG AN DER TUHH

Die Konkurrenzfähigkeit der deutschen maritimen Industrie und ihre Stellung auf dem Weltmarkt hängen in hohem Maße von der Fähigkeit ab, beständig Produkt- und Prozessinnovationen hervorzubringen. Das Zusammenwirken unterschiedlicher ingenieurwissenschaftlicher Disziplinen in der Forschung ist hierfür Grundvoraussetzung ebenso wie für die Ausbildung junger Ingenieurinnen und Ingenieure. Die Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH) misst der maritimen Industrie als einem Bereich der Hochtechnologie besondere Bedeutung bei und hat als wichtige strategische Ausrichtung einen Forschungsschwerpunkt Maritime Systeme definiert.

Die maritime Industrie in Deutschland verfügt über hervorragende Standortbedingungen für die Produktion von Schiffen und meeres technischen Konstruktionen. Eine moderne Werftindustrie und leistungsfähige Zuliefer- und Dienstleistungsbetriebe bilden eine solide Basis für zukunftsorientierte Produkte.

Hamburg gilt als Zentrum der maritimen Dienstleistungen in Deutschland. Namhafte Forschungseinrichtungen und Institutionen für Ingenieurdienstleistungen widmen sich hier technischen Fragestellungen der Schifffahrt und des Schiffbaus wie auch der Hafenentwicklung und Logistik.

Die TUHH versteht sich als Innovationsmotor und kooperiert intensiv mit führenden Unternehmen der maritimen Industrie, Klassifikationsgesellschaften wie Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd (DNV-GL) und Forschungseinrichtungen wie der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt (HSVA).

Im Forschungsschwerpunkt (FSP) Maritime Systeme arbeiten aktuell 12 Institute und Arbeitsgruppen mit 15 Professoren und mehr als 80 wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern interdisziplinär zusammen. Die daraus resultierenden Synergien wirken sich äußerst positiv auf die Innovationskraft aus. Folgende Institute und Arbeitsgruppen sind im FSP Maritime Systeme aktiv:

- Institut für Fluidodynamik und Schiffstheorie
- Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit
- Institut für Elektrische Energiesysteme und Automation
- Institut für Konstruktion und Festigkeit von Schiffen
- Arbeitsgruppe für Schiffsmaschinenbau
- Institut für Mechanik und Meerestechnik
- Arbeitsgruppe für Strukturmechanik
- Institut für Produktionsmanagement und -technik
- Institut für Geotechnik und Baubetrieb
- Institut für Verkehrsplanung und Logistik
- Institut für Maritime Logistik
- Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik

Über die Vernetzung der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der vorgenannten Institute und Arbeitsgruppen gelingt es, neue Forschungsverbünde und -projekte zu entwickeln. Dabei stehen sowohl grundlagenorientierte als auch anwendungsnahe Fragestellungen im Mittelpunkt.

Die Forschung ist gekennzeichnet durch ein hohes Maß an Interdisziplinarität. Zu den unten abgebildeten Inhalten arbeiten unter anderem Strukturmechaniker mit Strömungsmechanikern, aber auch Werkstoffforscher mit Produktionstechnikern zusammen. Das Verhalten von schiffbaulichen Strukturen unter Extremzuständen ist eng mit den auf sie wirkenden hydrodynamischen Belastungen verbunden. Ähnliches gilt für den Schiffsentwurf, bei dem die Fragen der Bewertung gefährlicher Situationen auch im hoheitlichen Interesse eine zentrale Rolle spielen. Zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Häfen beschäftigen sich Mechaniker mit der Regelung von Containerkränen und Logistiker mit der Planung, Steuerung und Kontrolle der Güter. Geotechniker arbeiten gemeinsam mit Forschern der Hydromechanik an der Boden-Struktur-Wasser-Interaktion von Konstruktionen im Meer und in Häfen.

Die Forschungsaktivitäten des FSP Maritime Systeme umfassen Themen wie „Effizientere und sicherere Schiffe“, „Innovative Systeme und Strukturen“, „Produktion in Netzwerken“, „Häfen und Logistik“ sowie „Erneuerbare maritime Energien“. Schwerpunkte sind die Erarbeitung von wissenschaftlichen Grundlagen und die computergestützte interdisziplinäre Berechnung und Simulation von dynamischen Vorgängen.



Inhaltliche Ausrichtung des FSP Maritime Systeme

Im Bereich „Effizientere und sicherere Schiffe“ werden Fragestellungen zum sicheren Bau und Betrieb von Schiffen, zu wirtschaftlichen und zugleich qualitativ hochwertigen Produktionsverfahren und zu effizienteren Systemen an Bord bearbeitet. Die Optimierung von Schiffformen und die Erhöhung der Energieeffizienz von Schiffen und ihren Systemen stehen ebenfalls im Fokus. Unter anderem kann durch die Entwicklung moderner effizienter Propulsionsanlagen und Vermeidung von Kavitation der Energiebedarf verringert werden. Weitere Forschungsaktivitäten befassen sich mit der Reduzierung der Stickoxid-Emissionen von Großdieselmotoren und jener der Schwefeloxid-Emissionen durch Abgasnachbehandlung.

Der Bereich „Maritime Infrastruktur und Logistik“, widmet sich sowohl der Optimierung der Hafeninfrastuktur und logistischen Lösungen für das maritime Transportwesen als auch der Entwicklung von effizienten Konzepten zu Bau und Instandhaltung von Offshore-Windkraftanlagen.

Im Bereich „erneuerbare maritime Energien“ werden neben der Auslegung von Strömungs- und Wellenenergieanlagen Problemstellungen zu maritimen Sicherheitsaspekten während der Installation und Wartung von Offshore-Windkraftanlagen untersucht. Hierbei sind unter anderem geotechnische, hydrodynamische und strukturelle Fragestellungen von großer Bedeutung.

Neben der Expertise bzgl. computergestützter Simulationsmethoden verfügen die Institute und Forschergruppen des FSP über umfangreiche Versuchs- und Laboreinrichtungen. Zu nennen sind hier Großgeräte und Prüfanlagen wie Windkanal, Schlepprinne, Wellentank, Strömungskanal und Flachwasserbecken sowie Dieselversuchsmotor und Laserschweißeinrichtungen. Für Forschungsprojekte der Bereiche Schiffbau, Wasserbau und Bodenmechanik stehen umfangreich ausgestattete Forschungslabore zur Verfügung. Bei in situ-Messungen an Hafen- und Offshore-Konstruktionen kann die TUHH auf eine hochmoderne Ausstattung zurückgreifen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem Bereich Produktionsmanagement verfügen über eine umfangreiche Ausstattung, die eine Abbildung von Produktionsabläufen

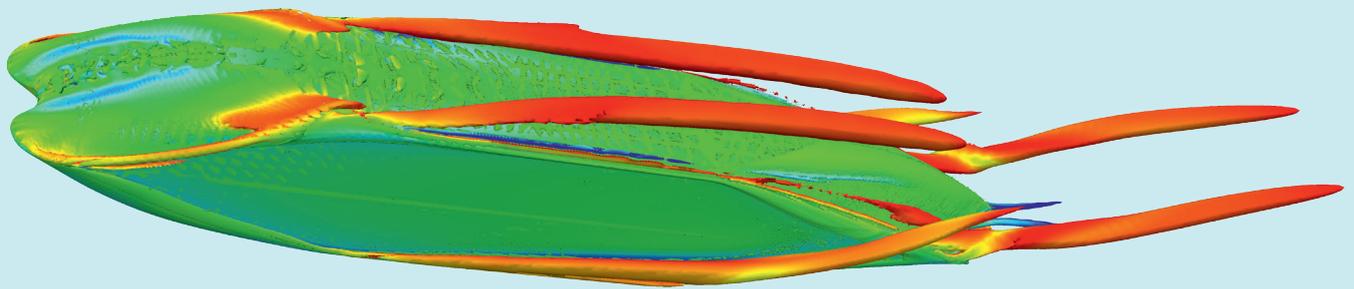
der Schiffsstrukturen mit Hilfe der "virtuellen Realität" ermöglicht. Die maritime Logistik nutzt einen haptischen Hafenplanungstisch und einen Schiffsführungssimulator.

Von der Zusammenarbeit der Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen profitieren auch der Bachelor-Studiengang Schiffbau und der Master-Studiengang Schiffbau und Meerestechnik, in denen die von der maritimen Industrie nachgefragten Ingenieurinnen und Ingenieure ausgebildet werden. Die TUHH bietet als einzige deutsche Universität einen eigenständigen Bachelor-Studiengang "Schiffbau" an, welcher die Studierenden früh an das System „Schiff“ heranführt. Im Master-Studiengang "Schiffbau und Meerestechnik" steht der Erwerb von Wissen und Kompetenzen zum Entwickeln, Konstruieren, Berechnen und Bewerten von schiffs- und meerestechnischen Konstruktionen und deren Komponenten im Mittelpunkt. Die TUHH bietet zudem einen internationalen Masterstudiengang „Ship and Offshore Technology“ in Zusammenarbeit mit der University of Strathclyde, Glasgow, an.

Die Absolventen des Studiums treffen auf einen exzellenten Arbeitsmarkt mit vielfältigen Chancen. Junge Ingenieurinnen und Ingenieure können aus Angeboten der Industrie und Forschungseinrichtungen wählen. Ihnen steht auch offen, an das Studium eine Promotion anzuschließen, die mit der Bearbeitung eines mehrjährigen Forschungsprojekts verbunden ist.

Schiffbau und meerestechnische Konstruktionen sowie die Hafententwicklung sind strategische Forschungsfelder, auf denen die TUHH wichtige Kompetenzen entwickelt hat, welche sie weiter ausbauen will. Die vorliegende Broschüre bietet einen guten Überblick über die vielfältigen Aktivitäten des FSP Maritime Systeme. Weitere aktuelle Informationen sind auf der FSP-Webseite (www.tuhh.de/fsp-marsys) zu finden.





Doppelrumpfmodell eines querdriftenden Tankers mit sich ausbildendem Wirbelsystem
– berechnet mit dem institutseigenen RANSE-Solver FreSCo+

Prof. Dr.-Ing. Moustafa Abdel-Maksoud

Institut für Fluidodynamik und Schiffstheorie
Schwarzenbergstraße 95
21073 Hamburg
Tel.: +49 (0)40 42878-6053, Fax: +49 (0)40 42878-6055
E-Mail: m.abdel-maksoud@tuhh.de
www.tuhh.de/fds

Prof. Dr.-Ing. Thomas Rung

Institut für Fluidodynamik und Schiffstheorie
Schwarzenbergstraße 95
21073 Hamburg
Tel.: +49 (0)40 42878-6054, Fax: +49 (0)40 42878-6055
E-Mail: thomas.rung@tuhh.de
www.tuhh.de/fds

FLUIDDYNAMISCHE UNTERSUCHUNGEN MARITIMER SYSTEME

Research at the Institute of Fluid Dynamics and Ship Theory primarily focusses on the development and application of computational methods in ship hydrodynamics. Examples included refer to the prediction of ship motion in heavy seaway and hazardous conditions, rudder forces in a propeller slip stream, energy efficiency operation and shape-optimization of ships or the manoeuvring performance of ships. The employed computational framework involves a wide range of methods. Various inviscid potential-flow methods (panel methods, strip methods et cetera) - which are still heavily used in an industrial framework - are continuously developed for the purpose of an improved predictive realism. The primary computational research is devoted to the development and application of advanced viscous flow CFD methods.

The approach has an enormous potential for the simulation of complex flows and it is of growing importance in maritime industry. Emphasis is given to an accurate modelling of the free surface effects, turbulence and cavitation modelling, floating-body motions, multi-body hydrodynamics, seaway modelling and adjoint-based optimisation strategies. Applications are the prediction of ship resistance and power requirement, hull optimisation, manoeuvring and sea-keeping. Experimental validation is an important issue when it comes to an assessment of computational methods. Experiments are carried out in the department's wind tunnel and the towing tank. Air flow around surface ships, as exhaust-gas propagation and air-comfort on decks of passenger ships, are predominantly simulated experimentally.

Das Institut für Fluidodynamik und Schiffstheorie (FDS) widmet sich in Forschung und Lehre fluidodynamischen Fragestellungen vorrangig von maritimen Systemen. Dabei wird ein breites Spektrum von experimentellen Versuchsanlagen und numerischen Simulationsmethoden eingesetzt, die zum großen Teil am Institut und in Kooperation mit Industriepartnern entwickelt werden.

Die Lehrveranstaltungen des Instituts umfassen das Gebiet der Fluidodynamik (theoretisch, experimentell und numerisch) sowie der Schiffshydrodynamik (Seegang, Manövrieren, Kavitation, Vibration, schnelle Schiffe). Zudem werden spezielle Lehrveranstaltungen zu fluidodynamischen Aspekten meerestechnischer Systeme sowie Seminare zu aktuellen Fragestellungen aus Industrie und Forschung angeboten.

Im Zentrum der Forschungsaktivitäten steht die anwendungsorientierte Untersuchung aktueller fluidodynamischer Fragestellungen von Schiffen und meerestechnischen Systemen mittels theoretischer, numerischer und experimenteller Methoden. In diesem Zusammenhang ist das Institut an der Weiterentwicklung der numerischen und experimentellen Methoden zur Simulation und Untersuchung nichtlinearer Strömungsphänomene im Rahmen nationaler und internationaler Forschungskooperationen beteiligt.

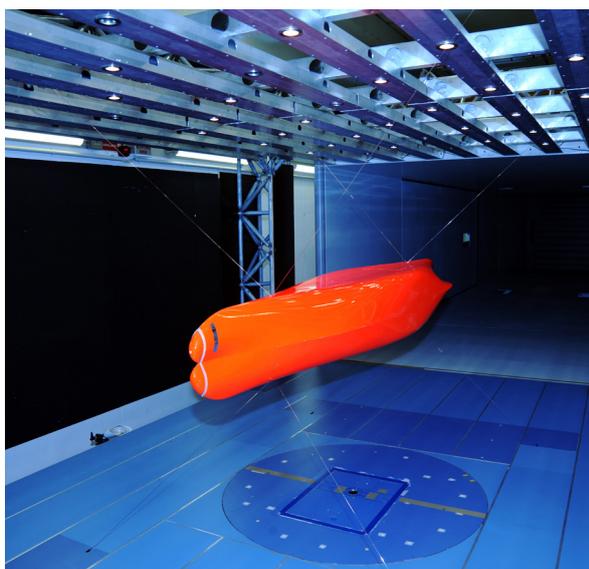


Bild 1: Windkanal mit Doppelrumpfmodell

Dem Institut stehen leistungsfähige Versuchsanlagen zur Verfügung. Experimentelle Untersuchungen zu strömungsmechanischen Verhältnissen an Schiffen und Offshoreanlagen können in einem Niedergeschwindigkeitswindkanal durchgeführt werden (Bild 1). Im Windkanal können sich bewegende beziehungsweise manövrierende Objekte strömungstechnisch untersucht werden. Dies umfasst unter anderem die Bestimmung der Geschwindigkeits- und Druckverteilung sowie die Visualisierung der Strömung mit Hilfe von Highspeed-Kamerasystemen. Die Messsysteme können mit hoher Genauigkeit positioniert werden. Zur Durchführung von hydrodynamischen Experimenten dient ein Schlepptank, welcher mit einem Schleppwagen und einem Mehrklappen-Wellengenerator ausgestattet ist. Für die Vermessung lokaler Strömungsverhältnisse steht ein Unterwasser-PIV-System zur Verfügung. Die Bewegung frei schwimmender Objekte im Seegang kann mittels lasergestützter Kreiselssysteme und durch ein 3D-Infrarot-Kamerasystem aufgezeichnet werden. An beiden Versuchseinrichtungen steht eine leistungsfähige Computertechnik zur Steuerung der Anlagen und zur Aufzeichnung und Verarbeitung der Messdaten zur Verfügung. Eine Übersicht über die technischen Daten findet sich auf Seite 20.

Für die Durchführung der umfangreichen numerischen Untersuchungen und Simulationen betreibt das Institut ein eigenes HPC-Cluster mit Infiniband-Vernetzung, bestehend aus 46 Racks mit je 2 Knoten, installiert in drei wassergekühlten Serverschränken sowie ein multi-GPU Rechencluster (Stand Juli 2014). Den circa 30 wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts stehen am Arbeitsplatz leistungsfähige Workstations zum Teil mit GPU-Karten zur Verfügung. Zudem können die Hochleistungsrechner des Rechenzentrums der TUHH beziehungsweise von überregionalen Rechenzentren genutzt werden.

SIMULATION UND OPTIMIERUNG KOMPLEXER STRÖMUNGEN

Die Arbeitsgruppe Strömungssimulationstechnik beschäftigt sich mit der Entwicklung von theoretischen, numerischen und experimentellen Methoden zur Untersuchung thermofluidynamischer Fragestellungen im Bereich maritimer Systeme, Luftfahrt, Verkehrs- und Geotechnik.

Ein wichtiger Schwerpunkt der Arbeiten liegt auf der Entwicklung von Simulationsverfahren, die zur Analyse schiffs- und meerestechnischer Probleme, aber auch in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt werden. Hierzu zählen die in den Bildern 2-5 gezeigten netzbasierten Techniken sowie netzfreie Partikelsimulationsverfahren. Grundlage dieser Verfahren sind sowohl kontinuumsmechanische Betrachtungen für überlappende Gitter und kernbasierte Approximationen als auch mesoskopische Gitter-Boltzmann-Ansätze. Letztere werden im Hinblick auf den Einsatz massiv paralleler Algorithmen für kostengünstige Beschleunigerhardware (Grafikkarten, GPU) entwickelt. Hiermit können Echtzeitsimulationen komplexer industrieller Konfigurationen mit geringem Kostenaufwand realisiert werden

Kompetenzen

Die Anwendung der am Institut entwickelten Werkzeuge und Methoden widmet sich vor allem fluiddynamischen Fragestellungen aus dem maritimen Bereich, wie zum Beispiel:

- Bewegungs- und Manövrierverhalten von Schiffen in Glattwasser und natürlichem Seegang
- Dynamische Charakteristika und Kavitationseigenschaften von Propulsionssystemen unter Einsatzbedingungen
- Aerodynamische Verhältnisse an Schiffen und Offshoreanlagen
- Fluiddynamische Belastungen von Hafenanlagen und Offshoresystemen
- Risikoanalyse von Schiffen und Offshoresystemen in Extremsituationen
- Formoptimierung von Schiffen und strömungstechnischen Systemen
- Analyse von Fluid-Boden-Fragestellungen
- Echtzeitsimulationen

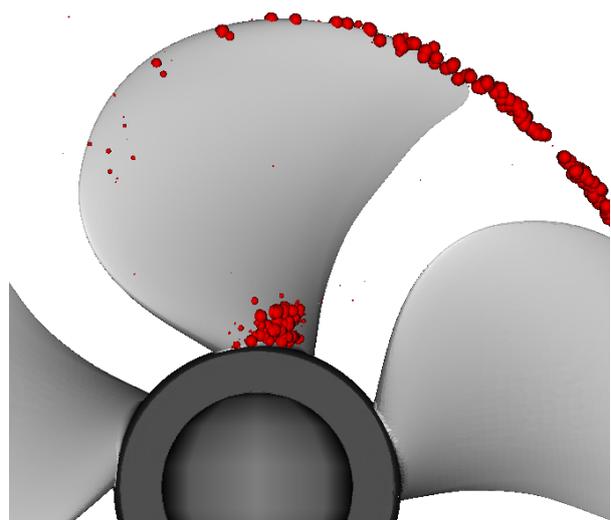
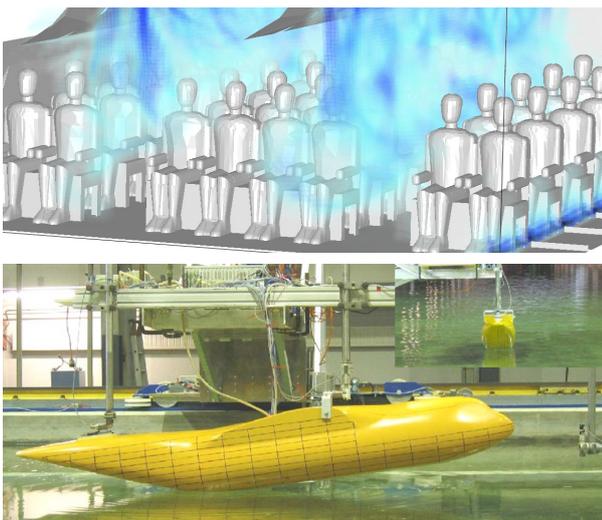


Bild 2: Simulationsbasierte Echtzeitanalyse des Passagierkomforts mit der elbe-Methode (links oben), experimentelle Untersuchung der Belastung von Flugzeugrümpfen bei Notwasserungen (links unten) und Simulation zur Analyse der Spitzenwirbelkavitation unter Verwendung partikelgestützter Kavitationsmodelle mit der Finite-Volumen-Methode FreSCO+ (rechts)

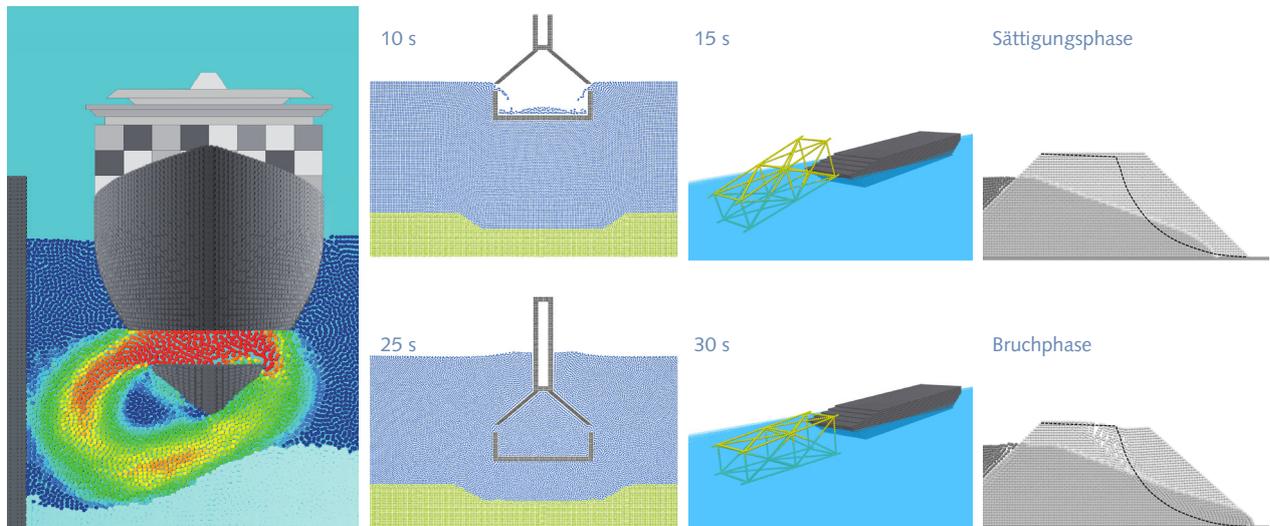


Bild 3: Simulationen der Hafensohlerosion bei Ablegemanövern (links), der Flutung einer absinkenden Schwerkraftgründung mit Berücksichtigung der Fluid-Boden-Interaktion (Mitte links), des Jacket-Abwurfs von einer Barge (Mitte rechts) und des Deichversagens infolge fortschreitender Wassersättigung des Bodens (rechts; durchgezogene Linie zeigt experimentelles Versagensprofil) mit der Smoothed-Particle-Methode GadgetH₂O

Die Entwicklung der Methoden erfolgt häufig in Zusammenarbeit mit Industriepartnern. Sie ist durch das Ziel charakterisiert, komplexe Prozesse möglichst vollständig, zuverlässig und genau mit hoher Effizienz zu simulieren, sodass sich die Methoden auch in industriellen Simulationsprozessen einsetzen lassen. Die Anwendungen konzentrieren sich auf die Behandlung von Fragestellungen, in denen verschiedene Materialien – Boden, Wasser, Luft/Wasserdampf und Festkörper – interagieren. Hierzu zählen Mehrkörper-Hydrodynamik-Probleme zwischen mechanisch gekoppelten schwimmenden Körpern unter Extrembedingungen, wie zum Beispiel starkem Seegang oder eisbedeckten Gewässern, Strömungseinflüsse auf Gewässersohlen und die Berechnung von kavitationsinduzierter Materialerosion.

Daneben engagiert sich das Team bei der Lösung von Fragestellungen zur Fluid-Struktur-Kopplung. Ein besonderer Schwerpunkt sind Lastanalysen für notwassernde Flugzeuge inklusive einer Optimierung der dazugehörigen Anflugprozesse und der Details des Rumpfdesigns (Bild 2). Ferner werden Simulationsmodelle zur Analyse von Flüssigkeitslasten in Raketentanks sowie zur Verflüssigung granularer Schüttgutladung im Seegang entwickelt. Im Bereich maritime geophysikalische Strömungssimulationen werden spezielle mesoskopische Gitter-Boltzmann-Verfahren zur Echtzeitsimulation von Tsunamireignissen (Bild 5) sowie Modelle zur Untersuchung von Deichversagen erarbeitet.

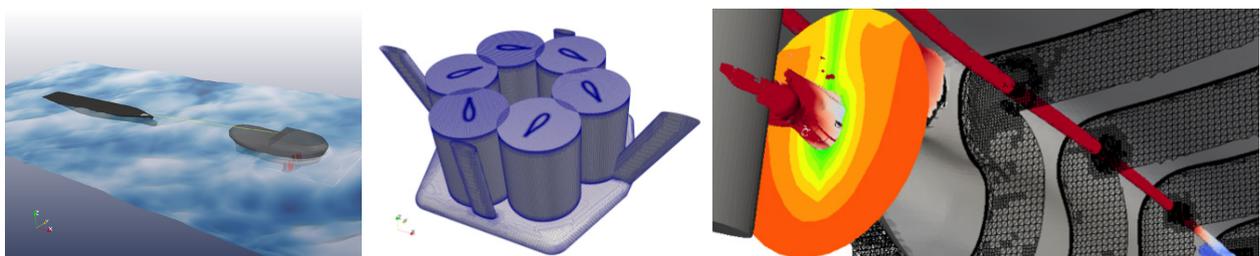


Bild 4: Mehrkörper-Hydrodynamik-Simulation eines Abschleppmanövers in Seegang unter Verwendung mehrerer überlappender Gitter für die gegeneinander bewegten Schiffe und Antriebsorgane (links, Mitte) und simulationsbasierter Entwurf von Wirbelgeneratoren zur Optimierung der Propellerzuströmung (rechts) mit der Finite-Volumen-Methode FreSCO+

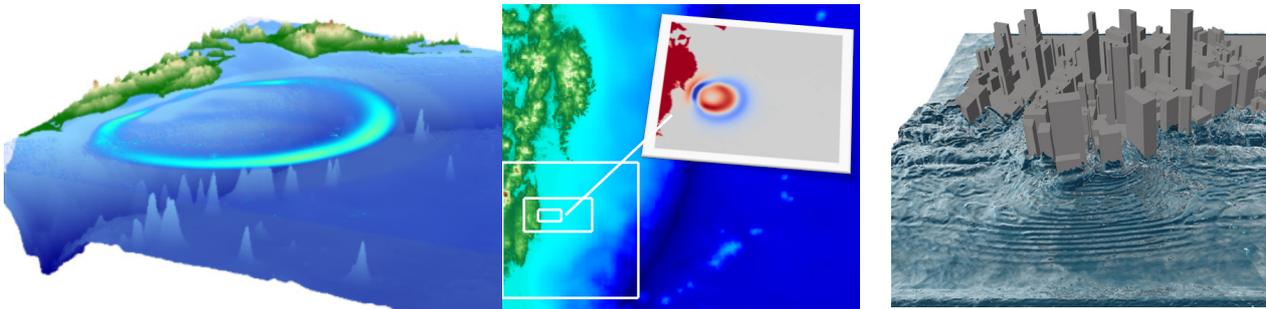


Bild 5: Echtzeit-Tsunamisimulation für Fukujima (Japan) unter Berücksichtigung der Bathymetrie im Nord-Pazifik (links) und Sturmflutsimulation für die Südspitze von Manhattan (rechts) mit der Lattice-Boltzmann-Methode

Zur Simulation gehört immer auch die physikalische Modellbildung, deren Arbeitsschwerpunkte im Bereich der Modellierung von Turbulenz, Kavitation, der Bodenmodellierung sowie der Kontakt- und Kollisionsbehandlung liegen.

Neben der hydrodynamischen und mechanischen Prognose wird sehr intensiv im Bereich der simulationsbasierten mathematischen Optimierung geforscht. Im Blickpunkt des Interesses stehen Großausführungsgeometrien unter Berücksichtigung sehr vieler Freiheitsgrade (circa 100.000). Diesbezügliche Anwendungen reichen von der Hinterschiffoptimierung zur Verbesserung der Propulsionseffizienz über die Formoptimierung von Zuströmmanipulatoren bis hin zur Optimierung des thermischen Komforts in Passagier- und Besatzungsräumen (Bild 6).

Ergänzend zu den durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft geförderten grundlagenorientierten Vorhaben wird

beziehungsweise wurde im Rahmen unterschiedlicher Industriepartnerschaften eine Vielzahl von europäischen und nationalen Verbundforschungsvorhaben durchgeführt. Beispiele sind die Entwicklung innovativer Propulsionskonzepte (EU-FP7 STREAMLINE), gemeinsame Forschung zur Steigerung der globalen Energieeffizienz von Handelsschiffen (EU-FP7 TARGETS), die Widerstandsreduktion durch Oberflächenbeschichtung (MARTEC Flipper) sowie die BMWi-Vorhaben zum Einfluss der Wasserqualität auf Kavitation (KonKav), zur Formoptimierung von Handelsschiffen (FormPro, No-Welle) oder zum Entwurf von offshore-operierenden Schleppern (TUG-Design). Daneben werden Beiträge zur Verbundforschung im Kompetenznetzwerk Maritime Systeme der TUHH erbracht, zum Beispiel im Rahmen der Landesinitiative zur Erforschung der Sicherheit bei Installation und Wartung von Offshore-Windkraftanlagen. Das Team ist Mitglied im Lothar Collatz Center for Computing in Science, einem Hamburger Netzwerk für Wissenschaftliches Rechnen.

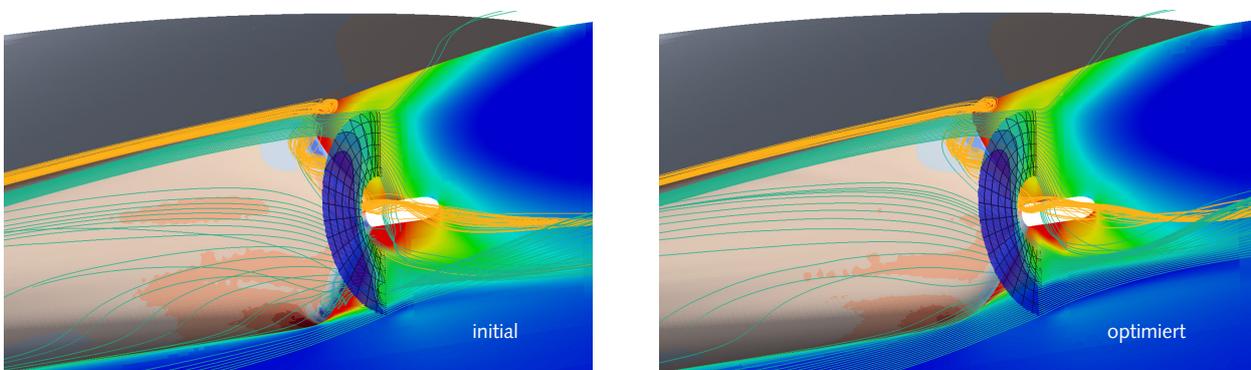


Bild 6: Anwendung des adjungierten Optimierungsverfahrens für eine Hinterschiffumpfoptimierung zur Verbesserung der Nachstromqualität eines PanMax-Containerschiffs bei aktiver Propulsion mit der Finite-Volumen-Methode FreSCo+

EFFIZIENTE VERFAHREN ZUR SIMULATION VON SCHIFFSHYDRODYNAMISCHEN FRAGESTELLUNGEN

In der Arbeitsgruppe Schiffshydrodynamik stehen die Entwicklung von effizienten Berechnungsverfahren zur Simulation von Schiffs-, Boots- und Strukturbewegungen sowie die Simulation von Propulsionsorganen und deren Wechselwirkung mit dem Schiffsrumpf und dem Ruder im Fokus. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Programm-entwicklung des Simulationsverfahrens „*panMARE*“. Die Randelementemethode wird für die Simulation verschiedenster Fragestellungen eingesetzt und für die industrielle Anwendung optimiert. Dazu zählen die Ermittlung von Propulsionseigenschaften von Propellern unter Beachtung des Kavitationsverhaltens (Bild 7 links) sowie die Berechnung des Wellenwiderstands von Schiffen (Bild 7 Mitte). „*panMARE*“ wird zudem verwendet, um die Umströmung von Windturbinen zu berechnen und den Wirkungsgrad der Rotoren zu bestimmen (Bild 7 rechts).

Für die Simulation von extremen Schiffs- und Struktur-bewegungen und für die Analyse der wirkenden Lasten auf Offshorebauwerke müssen spezifische Seegänge in numerischen Verfahren simuliert werden können.

In effizienten Simulationen mit kleinen Gebietsgrößen sollen Wellen lokal erzeugt und gedämpft werden. In der Arbeitsgruppe Schiffshydrodynamik werden dafür Methoden entwickelt, welche die Strömungsgleichungen durch Quellterme modifizieren, um harmonische, natürliche, kurz- und langkämmige sowie brechende Wellen und Monsterwellen zu erzeugen (Bild 8 links).

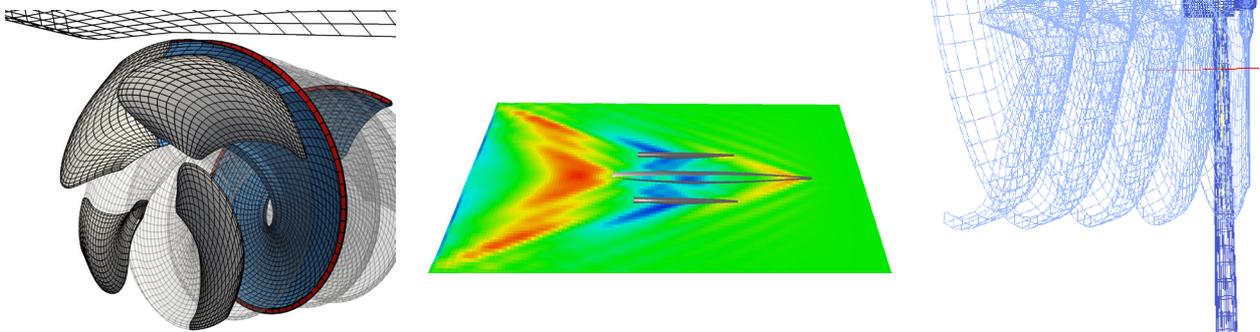


Bild 7: Simulation der Umströmung von Propellern (links), Berechnung des Wellenwiderstands von Schiffen (Mitte) und des aerodynamischen Wirkungsgrads von Windenergieanlagen (rechts) mit der Randelementemethode „*panMARE*“

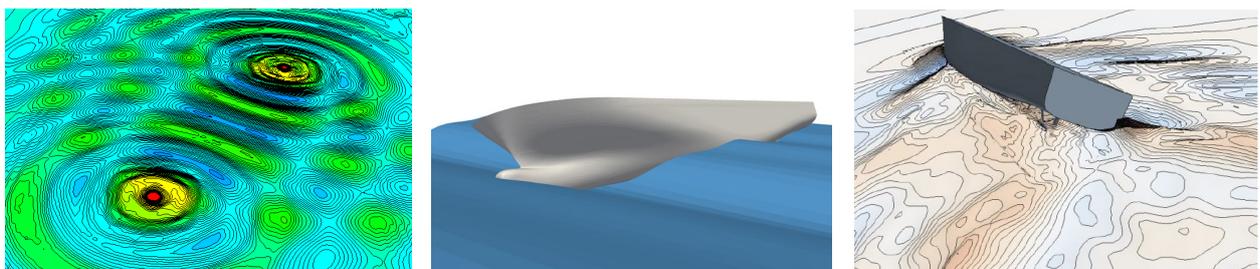


Bild 8: Wirkung von zwei Punktquellenwellenerzeugern auf die Verformung der Wasseroberfläche (links), Langzeitsimulation von Schiffsbewegungen (Mitte), Berechnung der Rolldämpfung von Schiffen mit kommerziellen RANSE-Lösern (rechts)

Von besonderem Interesse ist das Verhalten von Schiffen über lange Laufzeiten auf See. Dafür wurden Löser im Zeitbereich entwickelt, welche durch vorher berechnete hydrodynamische Kraftkoeffizienten im Vergleich zu den Schiffsbewegungen in Echtzeit deutlich kürzere Rechenzeiten erreichen. Damit sind Aussagen über die Belastungen während der Lebenszeit des Schiffs oder eine Analyse von parametrischen Rollbewegungen (Bild 8 Mitte) möglich. Nicht alle hydrodynamischen Koeffizienten lassen sich mit effizienten Randelementmethoden bestimmen. Insbesondere das Verhalten eines Schiffs während der Rollbewegung muss zunächst mit Modellversuchen oder numerisch mit Rechenverfahren für viskose Strömungen

(Bild 8 rechts) untersucht werden. Dafür wurden in der Arbeitsgruppe Schiffshydrodynamik effiziente experimentelle und numerische Methoden entwickelt.

Die Arbeitsgruppe arbeitet zudem an der effizienten Berücksichtigung des Einflusses von Propulsionsorganen innerhalb rechenintensiver Strömungssimulationen mittels Propellermodellen. Um die Simulationsdauer bei der Analyse von Wechselwirkungen zwischen Propellern und ihrer Umgebung zu minimieren, werden Randelementverfahren mit RANS-Verfahren gekoppelt. Die Propellerwirkung wird durch Volumenkräfte berücksichtigt (Bild 9 links).

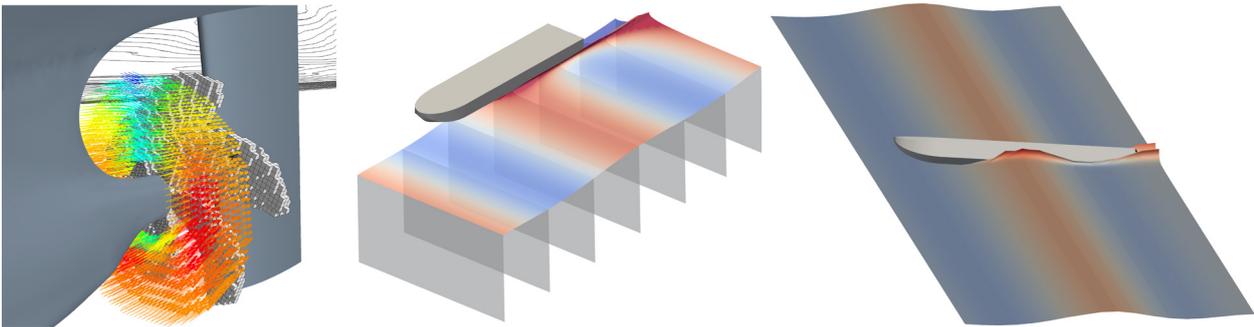


Bild 9: Berücksichtigung des Propellereinflusses durch Propellermodell (links), Simulation der Umströmung von Gleitbooten mit der 2D+t-Theorie in Verbindung mit einer Randelementemethode (Mitte, rechts)

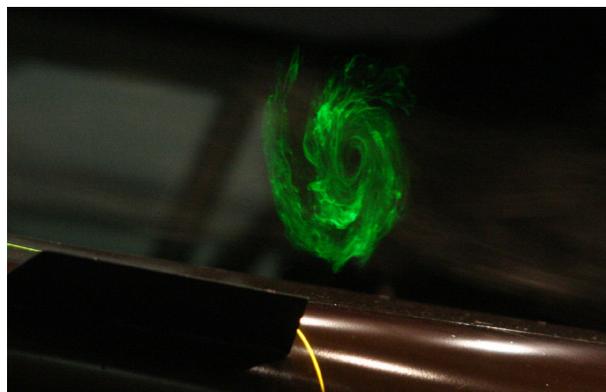


Bild 10: Untersuchung der aerodynamischen Lasten auf die Überwasserstruktur von Schiffen (links), Strömungsvisualisierung mittels Laserschnittverfahren an einem rotierenden Modell (rechts)

In der Arbeitsgruppe Schiffshydrodynamik werden ebenfalls Berechnungen zum Seeverhalten von Gleitbooten durchgeführt. Gleitboote zeichnen sich durch eine im Verhältnis zu ihrer Länge sehr hohe Vorausgeschwindigkeit aus. Dadurch unterscheidet sich ihr Wellenbild deutlich von dem anderer Schiffstypen und ist durch eine starke Verformung der freien Wasseroberfläche bis hin zu brechenden Wellen gekennzeichnet. Im Seegang können zudem schon Wellen geringer Höhe und kleine Änderungen der Schwimmelage zu großen Änderungen der auf das Boot wirkenden Kräfte führen. Diese Besonderheiten können mit Verfahren auf Grundlage der 2D+t-Theorie, bei denen die dreidimensionale Strömung durch mehrere zweidimensionale Strömungen in erdfesten Berechnungsquerschnitten angenähert wird, berücksichtigt werden. In der Arbeitsgruppe Schiffshydrodynamik wird die 2D+t-Theorie in Verbindung mit einer Randelementmethode weiterentwickelt und angewandt (Bild 9 Mitte und rechts).

Der institutseigene Windkanal ermöglicht eine Vielzahl von schiffshydrodynamischen Untersuchungen. Neben Widerstandsmessungen von Überwasserschiffen (Bild 10 links) oder der Untersuchung von Segeleigenschaften können auch Rauchgasuntersuchungen an Schiffsaufbauten durchgeführt werden. Neben elektronischen Lasermessverfahren (LDA, PIV) werden visuelle Verfahren wie der Laserschnitt zur Visualisierung von komplexen dynamischen Wirbelstrukturen weiterentwickelt (Bild 10 rechts). Der Windkanal wird zudem für Untersuchungen im Offshore-Bereich und für andere ingenieurtechnische Anwendungen eingesetzt.

Insbesondere durch den weltweiten Ausbau von Offshore-Windparks, ergibt sich eine Vielzahl neuer Fragestellungen. Mittels Versuchen im institutseigenen Schleppkanal werden unter anderem Landemanöver von CTV (Crew Transfer Vessels) im Modellmaßstab erprobt (Bild 11 links) sowie das Bewegungsverhalten von Service-Schiffen unter realen Seegangsbedingungen untersucht. Die aufgezeichneten Daten werden für die Entwicklung und Validierung von numerischen Verfahren verwendet. Bild 11 (rechts) zeigt ein Beispiel für einen Schlepper.

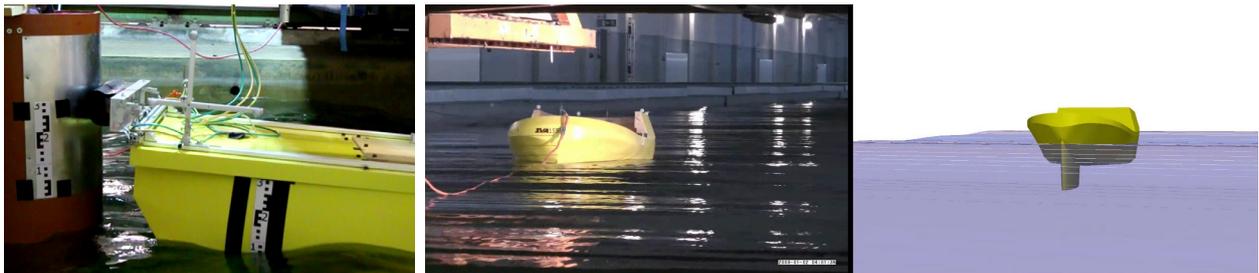


Bild 11: Untersuchung des Landemanövers von Service-Schiffen an Offshore-Strukturen im Schlepptank (links), Vergleich Messung-Simulation eines Schleppers im Seegang (rechts)

Die Arbeitsgruppe Schiffshydrodynamik arbeitet eng mit Industriepartnern im In- und Ausland zusammen. Derzeit befassen sich die Gruppe und ihre Partner mit Unterstützung des BMWi unter anderem mit Forschungsvorhaben zur Entwicklung folgender Methoden:

- Bestimmung der Rolldämpfungseigenschaften (Best-Rolldämpfung)
- automatisierte Entwurfsmethoden für kavitationsoptimierte Nabenablaufhauben (BossCEff)
- Vorhersage des Schalldrucks kavitierender Propeller (eNoiSim)
- Vorhersage des Leistungsbedarfs und der Geschwindigkeit eines Schiffs im Seegang (PerSee)
- Simulation von Stoppanövern von dieselelektrischen beziehungsweise hybriden Propellerantrieben (SimStopp)
- dynamische Positionierung von Schiffen im Seegang (AuDyPos)

Darüber hinaus arbeitet das Team mit seinen Industriepartnern an der Weiterentwicklung von numerischen Verfahren für die Simulation von Gleitbooten (OptiGleit), der Entwicklung numerischer Modelle für die Fluid-Struktur-Interaktion von Wellenenergieanlagen, der Simulation von Landemanövern an Windkraftanlagen, der Auslegung und Optimierung moderner Antriebskonzepte von Schiffen (Bild 12) und der effektiven Bestimmung von Manövrierkoeffizienten im Windkanal unter Verwendung eines Bewegungssimulators.

Zudem betätigt sich die Gruppe aktiv im DFG-Graduiertenkolleg „Seehäfen für Containerschiffe zukünftiger Generationen“ und in dem von der Hamburger Wissenschaftsstiftung geförderten Verbund „Maritime Safety Aspects Regarding Installation and Maintenance of Offshore Wind Turbines“. Sie ist außerdem in europäische Projekte zu den Themen Maßstabeffekte an Propellern und Schiffsantrieben und Entwicklung von Empfehlungen zur Sicherheit des Personaltransfers zu Offshore-Windenergieanlagen eingebunden.

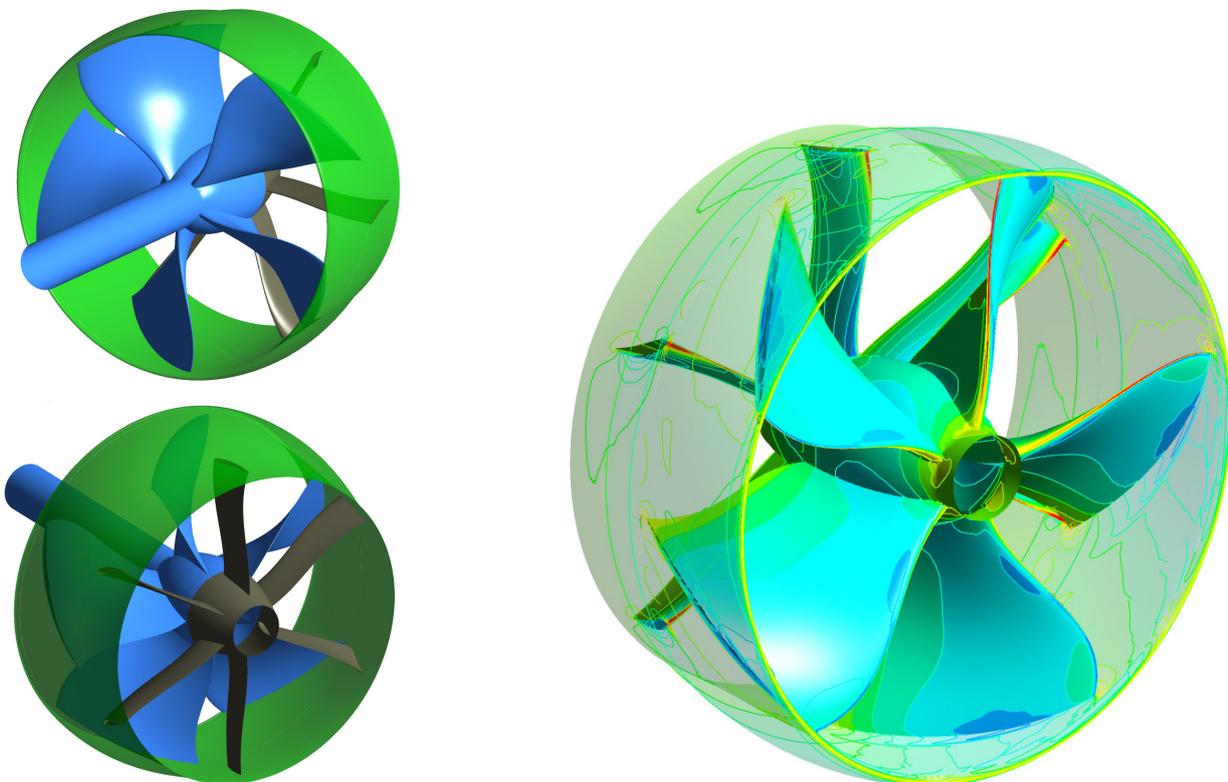


Bild 12: Multikomponenten-Propulsionsorgan (Linearjet; links) sowie mittels RANSE-Solver bestimmte hydrodynamische Druckverteilung (rechts)

INSTITUTSAUSSTATTUNG

Das Institut verfügt über leistungsstarke Versuchsanlagen, die primär zu Forschungszwecken eingesetzt werden.

WINDKANAL

Der Windkanal ist ein Niedergeschwindigkeits-Windkanal und kann sowohl im geschlossenen Kreislauf (Göttin-ger Bauart) als auch im offenen Kreislauf (Eiffel-Bauart) betrieben werden.

Abmessungen der Messstrecke

Länge: 5,0 m

Höhe: 2,0 m

Breite: 3,0 m

Maximale Windgeschwindigkeiten

circa 35 m/s

Ausstattung

3-D Traversier-Einheit mit 0,1 mm

Positioniergenauigkeit

Bewegungssimulator in 6 Freiheitsgraden für die gesteuerte Modellbewegung

Messsysteme

Particle-Image-Velocimetry (PIV)

2D-Laser-Doppler-Anemometrie (LDA)

Highspeed-Kamerasystem

Hitzdrahtanemometrie

Druckmesssysteme

Sechskomponentenwaage

Propellerdynamometer

System zur optischen Erfassung der

Bewegung schwimmender Körper

SCHLEPPTANK

Der Schleppversuchstank befindet sich auf dem Gelände der Hamburgischen Schiffbauversuchsanstalt GmbH. Er ist mit einer modernen Wellenmaschine ausgestattet und sowohl für die Durchführung von schiffbaulichen Modellversuchen als auch für die Untersuchung von Offshoreinstallationen ausgerüstet.

Abmessungen

Länge: 80,0 m

Breite: 5,0 m

Tiefe: 3,0 m

Schleppwagengeschwindigkeit

maximal 3,6 m/s

Ausstattung

Bosch-Rexroth-Wellenmaschine zur Erzeugung regulärer und irregulärer Seegänge

10 individuell steuerbare Klappen

Wellenhöhe bis 0,45 m

Wellenperiode 0,5-5 s

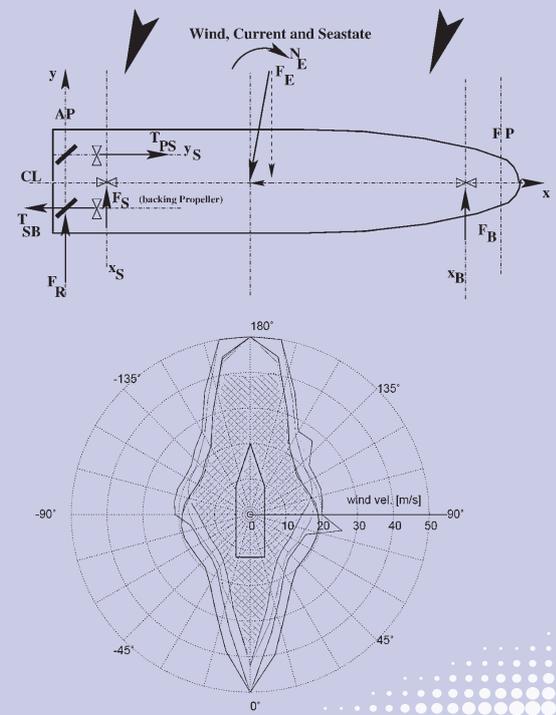
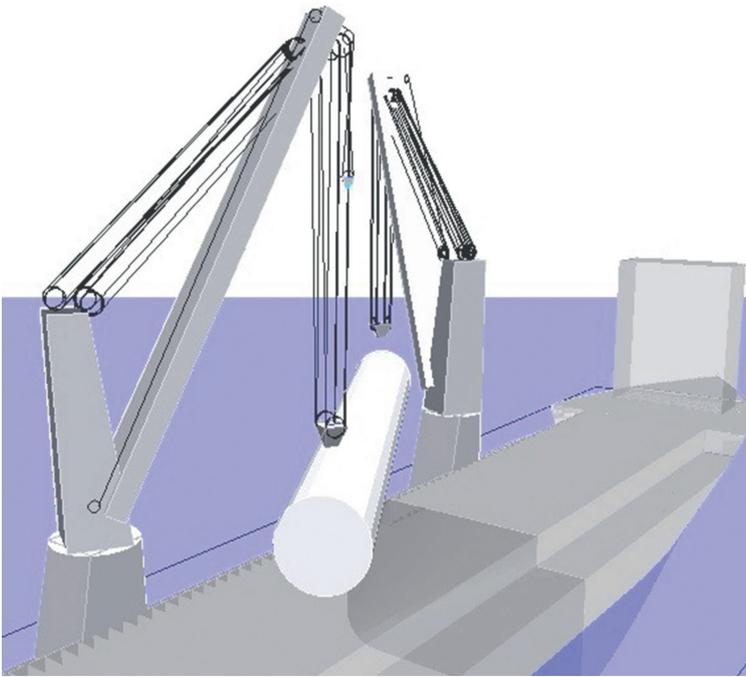
Messsysteme

Kraftmesswaage

Kreiselsystem

Particle-Image-Velocimetry (PIV)

System zur optischen Erfassung der Bewegung schwimmender Körper



Seegangsverhalten während des Umschlags großer Lasten auf See (links), Dynamische Positionierung von Schiffen unter realitätsnahen Bedingungen (rechts)

Prof. Dr.-Ing Stefan Krüger

Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit
 Schwarzenbergstraße 95
 21073 Hamburg
 Tel.: +49 (0)40 42878-6077, Fax: +49 (0)40 42878-6139
 E-Mail: krueger@tuhh.de
 www.ssi.tuhh.de

SCHIFFSDESIGN UND SCHIFFSSICHERHEIT

The main focus of the Institute of Ship Design and Ship Safety in research and education is the design and development of competitive ships and related tools and processes. This implies the introduction of scientific, first principle based methodologies into the design process.

Another important field of activity are safety issues related to capsizing and sinking of ships.

Currently, the Institute works in the following areas:

- Dynamic Positioning in harsh environment
- Simulation of offshore crane operations
- Sinking simulation of Ships
- Large Passenger ship safety
- Manoeuvring Forces on ships in heavy weather

In cooperation with other related sections of TUHH the Institute of Ship Design and Ship Safety is responsible for education in Naval Architecture. Our lectures cover basic hydrostatics, design principles and methods, safety of ships, resistance and propulsion, marine propellers and the design of high value ships.

Bedingt durch den immer härter umkämpften globalen Markt im Bereich der Schiffsneubauten wachsen die Anforderungen an einen leistungsorientierten wettbewerbsfähigen Schiffsentwurf. Da gerade die frühe Entwurfsphase über den größten Teil der späteren Baukosten entscheidet (Bild 1), wird der Technologievorsprung im Bereich der Entwurfswerkzeuge für die europäische Werftindustrie immer wichtiger. Gleichzeitig treten Sicherheitsthemen immer stärker in den Vordergrund.

Die zunehmende Spezialisierung der Werften auf die Fertigung von Unikaten stellt Entwurf und Konstruktion vor neue Herausforderungen.

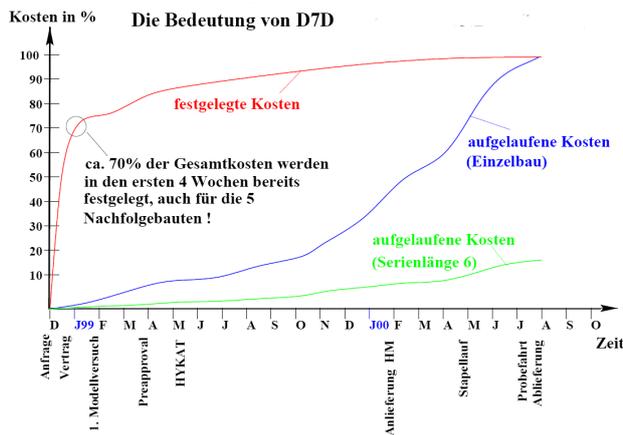


Bild 1: Design in seven days

Schiffe sind den Naturgewalten in einem Maße ausgesetzt, wie kein anderes vom Menschen geschaffenes Bauwerk. Da sie auf hoher See auf sich allein gestellt sind, ist das erforderliche Sicherheitsniveau sehr hoch. Daraus resultieren zwei zentrale Aufgaben:

Auf der einen Seite müssen die Verfahren und Werkzeuge, die während des Schiffsentwurfs zum Tragen kommen, ständig weiter entwickelt werden, um den strengerem sicherheitsrelevanten, ökologischen und ökonomischen Anforderungen zu genügen. Hierbei steht die spätere Anwendbarkeit im Vordergrund, so dass die Werkzeuge innerhalb wirtschaftlich akzeptabler Rechenzeiten Ergebnisse liefern müssen. Außerdem steigen die Anforderungen an die Prognosesicherheit von einzuhaltenden vertragsrelevanten Leistungsdaten des abzuliefernden Schiffs. Diese Tendenz zeigt sich aktuell besonders bei dem prognostizierten Kraftstoffverbrauch, bedingt durch das erheblich gestiegene Kostenniveau der Brennstoffe.

Auf der anderen Seite verlangen moderne Schiffsentwürfe nach neuen Sicherheitsstandards. Diese können aber erst sinnvoll aufgestellt werden, wenn man die Mechanismen, die zu der abzuwendenden Gefährdung der Schiffe führen, physikalisch beschreiben kann. Wichtig ist also die Erforschung dieser Mechanismen und die Anwendung der daraus resultierenden Erkenntnisse auf die Erarbeitung neuer Vorschriften und Regelungen.

Das Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit an der TU Hamburg-Harburg stellt sich diesen Herausforderungen in Forschung und Lehre.

LEHRE

Das Studium am Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit konzentriert sich auf Entwurf und Sicherheit von komplexen und wettbewerbsfähigen Schiffen. Meistens geht es dabei um Unikate. Auch der zunehmende Offshore-Markt – bedingt durch die Energiewende – bringt mit seinen Sonderfahrzeugen neue Herausforderungen. Diese beinhalten den Entwurf von Schiffformen ebenso wie die Analyse des Widerstands und der Propulsion, der Manöviereigenschaften und der Intakt- und Leckstabilität. Außerdem werden Aspekte des Seegangsverhaltens, des Stapellaufs und anderer schiffsnaher Themen vermittelt. Die Studenten lernen, wie ein industrieller und professioneller Schiffsentwurf durchgeführt wird und welches Optimierungspotenzial erkannt und erschlossen werden kann. Die Studierenden setzen die gewonnenen Erkenntnisse im Rahmen von Bachelor- oder Masterarbeiten in einem Schiffsentwurf praktisch um. Dies sensibilisiert die zukünftigen Absolventen für die Herausforderungen der Schiffssicherheit.

FORSCHUNG

Das Hauptforschungsgebiet des Instituts ist die Entwicklung von Softwarewerkzeugen und Strategien für die schiffbauliche Produktentwicklung. Dies schließt auch die sicherheitstechnische Bewertung mit ein. Alle Entwicklungen finden im engen Kontakt mit der Industrie, insbesondere den Werften, statt. Die aktuelle Forschungstätigkeit gliedert sich im Wesentlichen in die Bereiche Rumpfformoptimierung, Propelleranalyse, Leck- und Intaktstabilitätsberechnungen. In der Schiffssicherheit beschäftigen wir uns vor allem mit dem Kentern und Sinken von Schiffen. Die einzelnen Aktivitäten werden im Folgenden näher beleuchtet.

Optimierung der Rumpfform

Ein wichtiges Tätigkeitsfeld des Instituts für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit ist die Optimierung der

Rumpfform (Bild 2 und 3). Hierzu sind Werkzeuge notwendig, die anhand einer eindeutigen Beschreibung der komplexen Rumpfformen eine Berechnung des Schleppwiderstands zulassen, deren Ergebnisse möglichst genau und in kurzer Rechenzeit gewonnen werden können.

Die für die Bewertung des Schleppwiderstands notwendigen Berechnungen können mittels der am Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit entwickelten Programme innerhalb kurzer Rechenzeiten durchgeführt werden. Dadurch ist der Einsatz von modernen Optimierungsmethoden im Bereich des Rumpftwurfs möglich. Die Erforschung solcher Methoden in Bezug auf ihre praktische Anwendbarkeit im Schiffsentwurf stellt einen Forschungsschwerpunkt des Instituts dar.

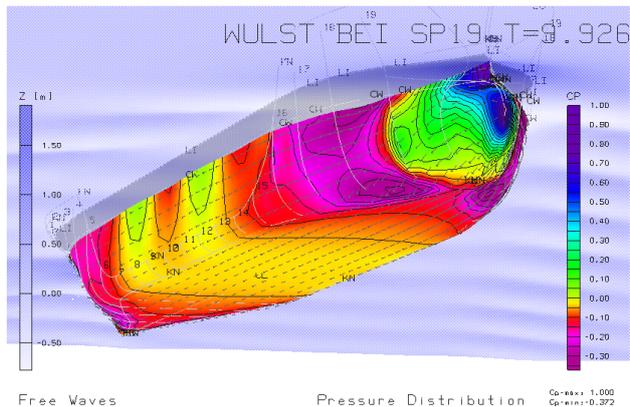
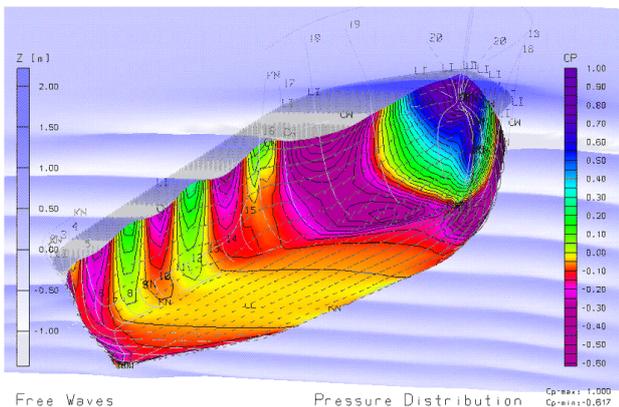


Bild 2: Berechnete Druckverteilung vor und nach der Optimierung

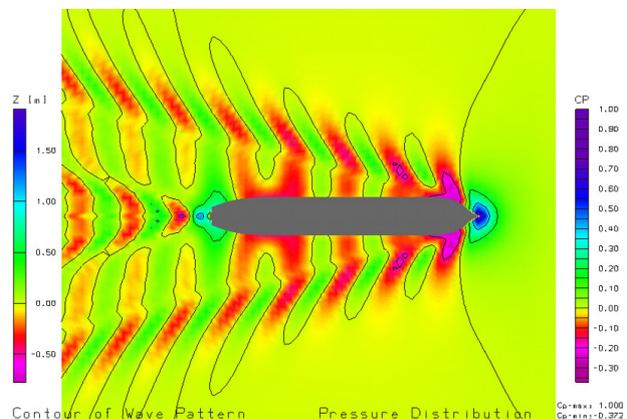
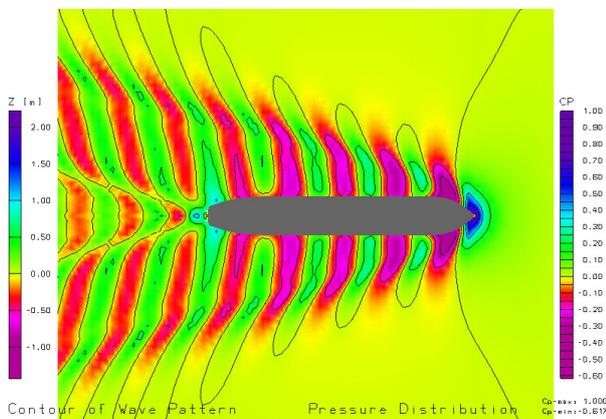


Bild 3: Berechnetes Wellenbild vor und nach der Optimierung

Propelleranalyse

Bei modernen Schiffen, insbesondere bei Passagierschiffen, werden heutzutage immer höhere Anforderungen an das Komfortniveau gestellt. Das Verfehlen der im Bauvertrag definierten Grenzwerte für Vibrationen bedeutet für die Bauwerft ein hohes wirtschaftliches Risiko. Deshalb hat diese ein großes Interesse daran, möglichst vor Vertragsabschluss aussagekräftige Information über die zu erwartenden Schwingungen zu erlangen.

Eine Haupterregerquelle der Vibrationen ist der Propeller. Aufgrund der zeitlich veränderlichen hydrodynamischen Umströmung (Bild 4) induziert der Propellerflügel Druckschwankungen auf das Hinterschiff. Diese Druckschwankungen möglichst genau zu identifizieren ist notwendig, um anschließend Schwingungen der Stahlstruktur des Schiffs berechnen zu können.

In der Entwurfsphase des Propellers werden Druckschwankungsmessungen in Modellversuchen im verkleinerten Maßstab durchgeführt und die Ergebnisse dann auf Originalgröße umgerechnet. Diese Versuche sind jedoch zeit- und kostenintensiv und die Ergebnisse müssen zudem von Maßstabseffekten bereinigt werden.

Das Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit arbeitet daher an der Weiterentwicklung von Methoden zur numerischen Berechnung der Druckschwankungen. Dabei wird das Strömungsverhalten in Abhängigkeit von Schiffs- und Propellergeometrie und Fahrzustand in einer rechnergestützten Simulationsumgebung untersucht.

Durch solche Simulationswerkzeuge ist es möglich, den Einfluss verschiedener Varianten systematisch zu untersuchen, ohne eine große Anzahl kostenintensiver Modellversuche durchzuführen. So können deutlich mehr Informationen über Zusammenspiel zwischen Schiff und Propeller gewonnen werden, als es mit einem Modellversuch alleine möglich wäre. Dieser kann so anschließend viel genauer eingesetzt werden, um zuvor ermittelte numerische Ergebnisse zu validieren.

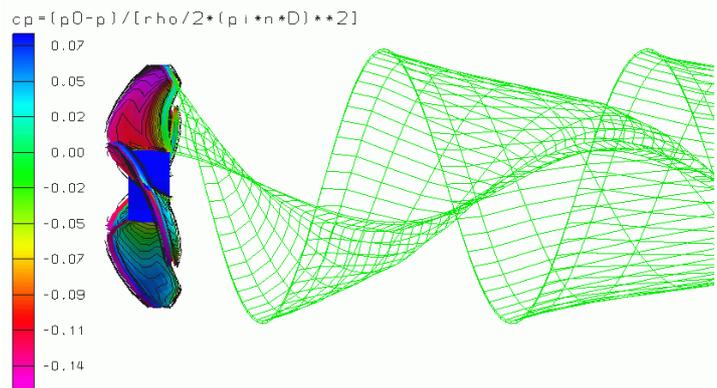


Bild 4: Propellerumströmung – Modellversuch (Quelle: Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt) und Berechnung

Seegangsverhalten

Ein weiteres wichtiges Forschungsthema am Institut ist die dynamische Intaktstabilität von Schiffen im Seegang. Über Jahre hinweg wurde die Intaktstabilität von Schiffen durch etablierte Vorschriften als ausreichend geregelt angesehen. Aber mit der Einführung neuer, auf höchste Wirtschaftlichkeit optimierter Rumpfformen und durch das Größenwachstum der Schiffe sind neue beziehungsweise zuvor nicht berücksichtigte Phänomene zu Tage getreten, die zu einem nicht unerheblichen Gefährdungspotenzial moderner Schiffe führen.

Schwere Strukturschäden resultieren beispielsweise aus dynamischen Vorgängen aufgrund hoher Relativgeschwindigkeiten zwischen Schiff und Wasser, zum Beispiel Slamming. Moderne Rumpfformen mit großem Spantausfall tragen dazu im negativen Sinne bei. Als schwerwiegend haben sich außerdem in den vergangenen Jahren die Probleme erwiesen, die aus starken, seegangsinduzierten Schiffsbewegungen entstehen. Hierbei kommt es zu massiven Ladungsschäden, insbesondere bei Containerschiffen, die in nicht unerheblichem Maße Ladung beschädigt an ihren Zielort bringen oder gar auf See ganz verlieren. Es sind Fälle dokumentiert, bei denen Containerschiffe bis zu 500 Container auf einmal verloren haben.

Ein Risikofaktor sind beispielsweise Resonanzphänomene des Schiffs im Seegang. Diese treten plötzlich auf und können zu nicht vorhersehbaren exzessiven Rollbewegungen, in Extremfällen sogar zur Kenterung des Schiffs führen.

Bild 5 zeigt die Entwicklung des sogenannten parametrischen Rollens. Hier ist in der Mitte der stark zunehmende Rollwinkel des Schiffs, rechts eine Visualisierung des kenternden Schiffs in der Simulation und links die Validierung der Methode durch Modellversuche dargestellt.

Das Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit beschäftigt sich daher intensiv mit den vorgenannten Problemen und arbeitet zusammen mit anderen Forschungseinrichtungen und Behörden an Vorschlägen für neue Intaktstabilitätsrichtlinien.

Außerdem ist das Institut an Forschungsprojekten beteiligt, bei denen die im Seegang auf die Schiffsstruktur wirkenden Lasten genauer als bisher ermittelt werden sollen, um den Konstrukteuren eine anforderungsgerechte Konstruktion zu erleichtern. In einem weiteren Forschungsprojekt aus dem Bereich der dynamischen Intaktstabilität arbeitet das Institut in einem europäischen Konsortium an der Entwicklung eines bordseitigen Systems, das die Besatzung vor der Gefährdung durch seegangsinduzierte Lasten und Bewegungen warnt.

Am Institut wird das Verhalten von Schiffen im Seegang mittels Simulationsmethoden untersucht. Mit Hilfe dieser Methoden können beispielsweise Aussagen über die Kenterwahrscheinlichkeit und damit über das Sicherheitsniveau des untersuchten Schiffs gemacht werden.

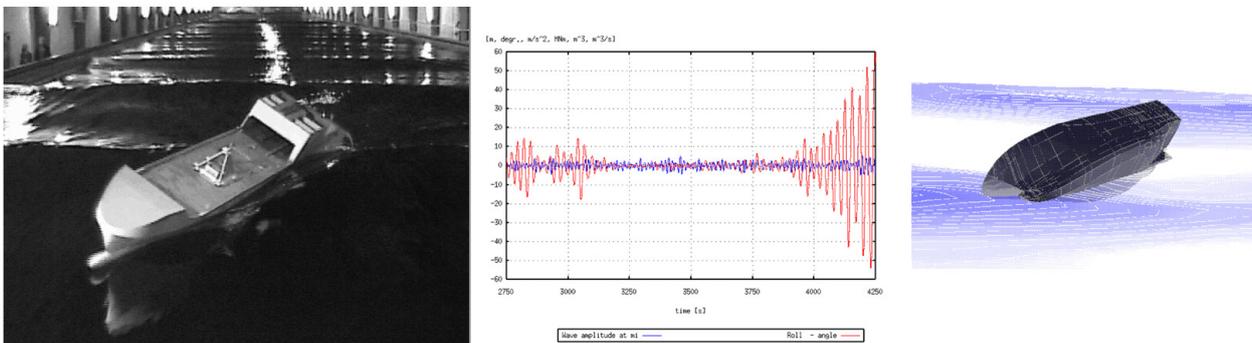


Bild 5: Parametrisches Rollen

Leckstabilität

Damit die Schiffe sicher betrieben werden können, müssen die verschiedenen Anforderungen an die Schwimmstabilität erfüllt werden. Dies gilt insbesondere, wenn Schiffe leck geschlagen sind, da dann ein deutlich erhöhtes Gefährdungspotenzial für die Passagiere, die Besatzung und das Schiff selbst besteht.

Der Forschungsfokus am Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit liegt dabei auf der Entwicklung von Systematiken für die qualifizierte direkte Berechnung von Sicherheitsniveaus, die unterschiedliche Designkonzepte bereits in einer frühen Entwurfsphase bewerten können. Mit solchen Systematiken, die beispielsweise moderne stochastische Prognoseverfahren wie die sogenannte Monte-Carlo-Simulation nutzen, lassen sich aber auch bereits gebaute Schiffe hinsichtlich ihrer Überlebensfähigkeit im Leckfall bewerten.

Durch solche Techniken kann die Überlebensfähigkeit eines Schiffs im Leckfall gesteigert werden, damit mehr Zeit für eine sichere Evakuierung der Menschen an Bord zur Verfügung steht. Außerdem kann das Risiko des Totalverlusts eines Schiffs deutlich verringert werden. Insgesamt leistet das Institut einen wichtigen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Beitrag für die deutsche Seefahrt und die Sicherheit der deutschen Küstengewässer.

Die internationale Wettbewerbsfähigkeit zeigt sich beispielhaft an der Mitwirkung des Instituts im Rahmen eines Verbundvorhabens zur Untersuchung des 1994 gesunkenen Fährschiffs Estonia. Für die zuständigen Behörden sind bis heute nicht alle Fragen geklärt. Zusammen mit der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt (HSVA) wird aktuell der Verlauf des Untergangs der Fähre rekonstruiert, mit dem Ziel, in Zukunft die Sicherheit von Menschenleben und Schiffen zu erhöhen. Weiterhin sind wir aktuell an der Rekonstruktion des Untergangs der Costa Concordia beteiligt (Bild 6).

BLICK IN DIE ZUKUNFT

Besondere Herausforderungen ergeben sich für unser Institut aus der Energiewende. Nicht nur neuartige Errichter- und Serviceschiffe müssen entwickelt werden, sondern vor allem der sichere Umschlag großer Lasten auf See stellt eine besondere Herausforderung dar. Neben unseren Kernaktivitäten, die wir nach wie vor im Bereich der methodischen Durchdringung von komplexen Spezialschiffen sehen, wollen wir uns mehr den Aufgaben des Offshore-Markts zuwenden.

Die Entwicklung von geeigneten Werkzeugen und die Ausbildung von fachlich kompetenten Ingenieuren ist vor diesem Hintergrund wichtiger denn je.

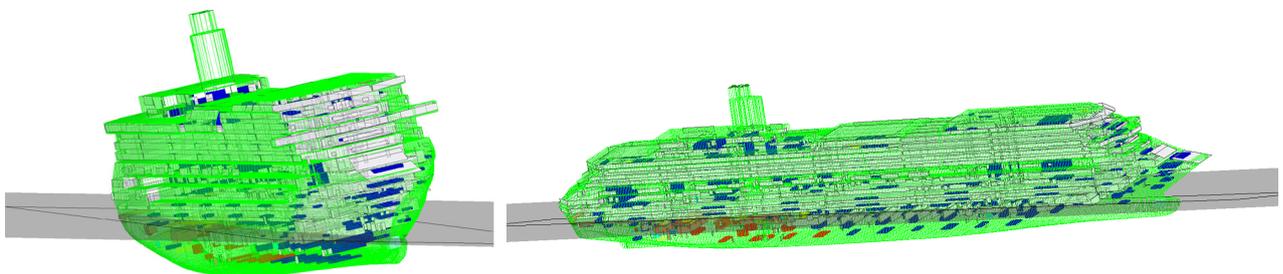
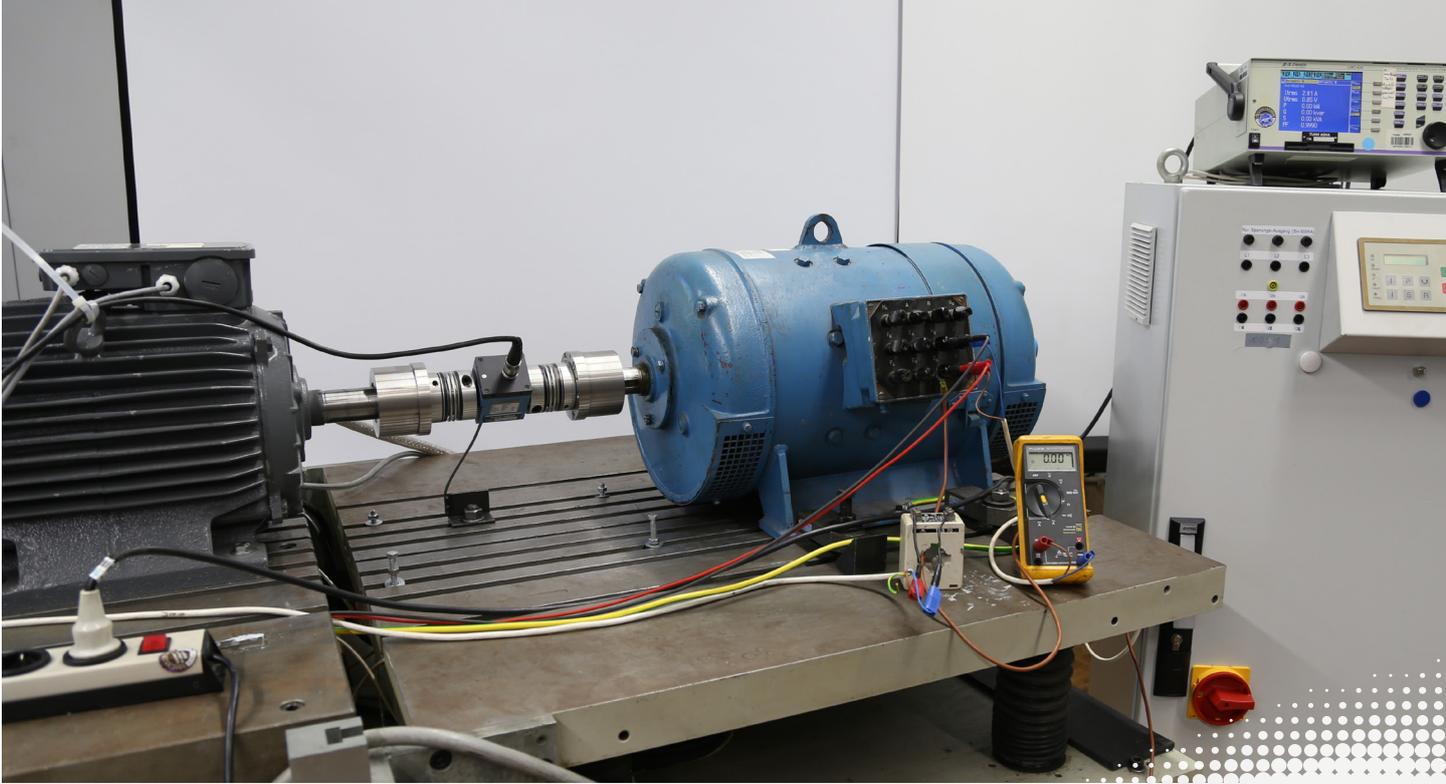


Bild 6: Berechnung des Untergangs der Costa Concordia mittels Flutungssimulation



Versuchsstand zur Untersuchung von elektrischen Antrieben

Prof. Dr.-Ing. Günter Ackermann

Institut für Elektrische Energiesysteme und Automation
Eißendorfer Straße 38
21073 Hamburg
Tel.: +49 (0)40 42878-4204, Fax: +49 (0)40 42878-3967
E-Mail: ackermann@tuhh.de
www.tuhh.de/ha

ENERGIEMANAGEMENT UND ELEKTRISCHE SCHIFFSBORDNETZE

For transports over long distances ships are very energy and CO₂ efficient. Nevertheless, in the foreseeable future the importance of energy consumption will increase further. In particular on passenger vessels the supply of the ship machinery and the hotel equipment is an important part of the used energy. During the design of the whole plant its future energy consumption is strongly influenced. Therefore, tools to simulate the plant with respect to the use of energy can help to reduce the energy consumption during the operation of the ship.

The integration of new kind of energy systems i. e. fuel cells and of power electronic devices requires an analysis of the system as a whole, in particular also for

the transients caused by load changes, for failures and switching operations.

Schiffe sind für größere Entfernungen ein sehr energie- und CO₂-effizientes Transportmittel. Trotzdem gewinnt die Wichtigkeit des Energieverbrauchs in der näheren Zukunft weiter an Bedeutung. Insbesondere bei Passagierschiffen tragen auch der allgemeine Schiffs- sowie der Hotelbetrieb wesentlich zum Energieverbrauch bei. Bereits während der Anlagenauslegung wird maßgeblich über den zukünftigen Energiebedarf entschieden. Werkzeuge zur Simulation der Energienutzung können deshalb wesentlich zur Reduktion des Energiebedarfs beitragen.

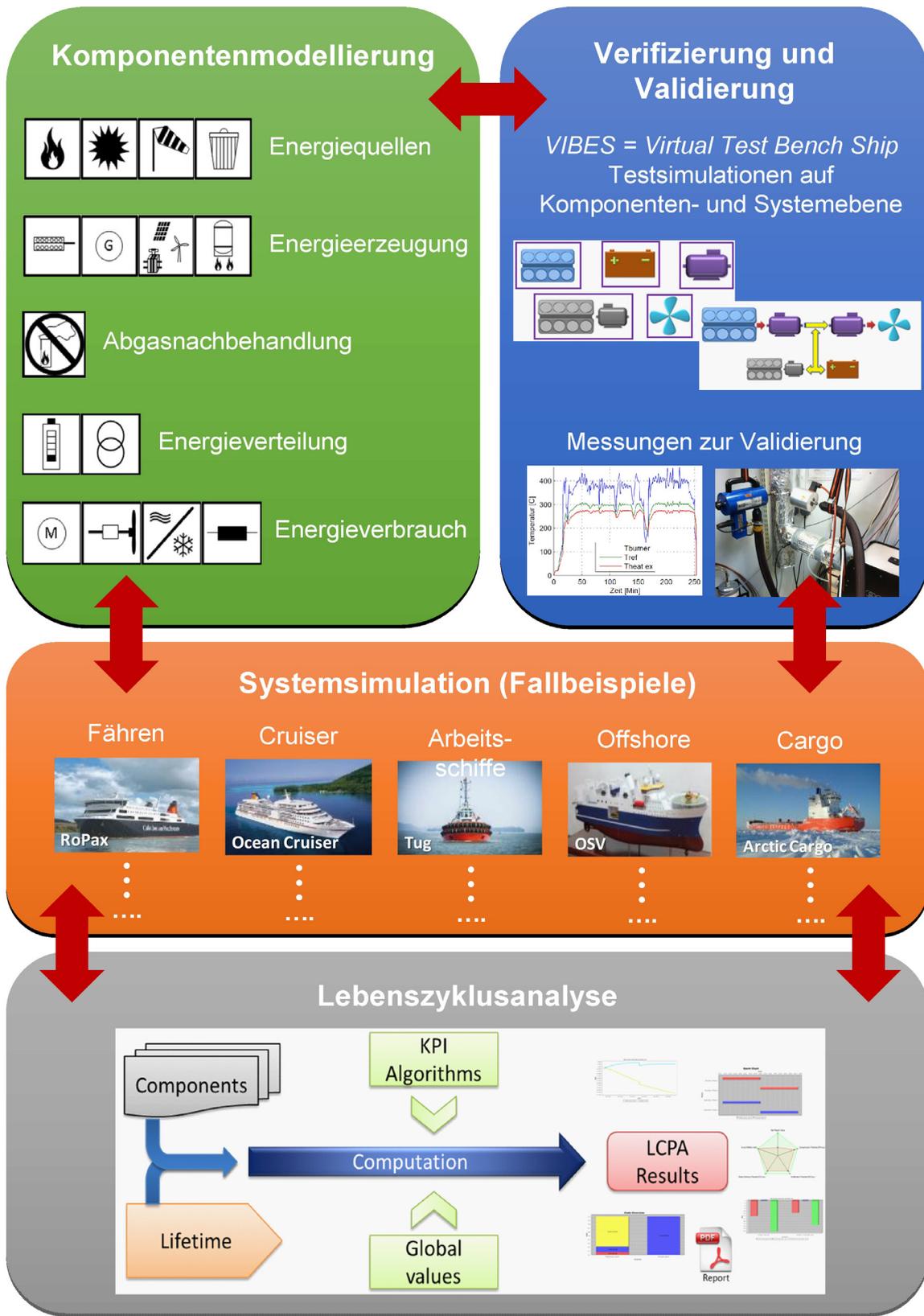


Bild 1: Struktur der Simulation im Projekt „JOULES“

Die Einbindung neuartiger Energiesysteme zum Beispiel mit Brennstoffzellen und Leistungselektronik erfordert eine Analyse des Gesamtsystems, insbesondere auch des transienten Verhaltens bei Lastwechseln, Fehlern oder auch Schaltvorgängen. Bei Frachtschiffen wird der mit Abstand größte Anteil der Energie für den Vortrieb und gegebenenfalls die Ladungskühlung eingesetzt. Dem gegenüber ist bei See- oder Flusskreuzfahrtschiffen zum Einen kein sinnvoller Vergleich mit anderen Transportmitteln möglich, zum Anderen liegt der Energieeinsatz für den Hotelbetrieb und insbesondere für die Klimatisierung oft in der gleichen Größenordnung wie für die Propulsion.

Die Effizienz der Nutzung der Energie erfordert, dass auch die in den Aggregaten anfallende Abwärme entsprechend der jeweiligen Temperatur gut ausgenutzt wird und die mehrfache Umwandlung von Energie vermieden werden muss. Im Gegensatz zu Frachtschiffen liegen Kreuzfahrtschiffe vergleichsweise lange und häufig im Hafen. Dieser Betriebszustand hat deshalb für die energietechnische Auslegung der Anlagen eine ebenso große Bedeutung wie die Fahrt über See.

Für die Bewertung und den Vergleich verschiedener Anlagenkonzepte müssen die vorkommenden Betriebszustände für ein konkret geplantes Schiff simuliert werden, wobei es besonders auf das Zusammenwirken aller Systemkomponenten ankommt. Dabei müssen auch dynamische Vorgänge in begrenztem Umfang berücksichtigt werden. Für derartige Simulationen allgemein gültige Modelle mit vereinheitlichten Schnittstellen zu entwickeln und zu validieren, ist eines der Ziele des von der EU geförderten Projekts JOULES „Joint Operation for Ultra Low Emission Shipping“ (Bild 1).

Das Institut für Elektrische Energiesysteme und Automation ist innerhalb des Konsortiums von etwa 40 Partnern mit der Entwicklung von Simulationsmodellen im Bereich der Klimatisierung und Elektrotechnik an dem Projekt beteiligt. Dazu gehören insbesondere auch die Verifikation der Schnittstellenverträglichkeit und die Verifikation und Validierung der grundsätzlichen Funktionsfähigkeit der Modelle auch für typische Fehlerfälle und für Betriebszustände weit außerhalb des vorgesehenen Bereichs.

Brennstoffzellen werden als eine Möglichkeit angesehen, vergleichsweise umweltfreundlich elektrische Energie zu erzeugen. Bei einigen Brennstoffzellentypen ist ergänzend eine Nutzung der Abwärme möglich. Bezüglich der Emissionen ist eine Versorgung mit Wasserstoff optimal, das Abgas enthält dann neben Wasserdampf keine Nebenprodukte wie NO_x , höchstens in einer Konzentration sehr weit unterhalb der heutigen Grenzwerte. Die Lagerung von Wasserstoff in Tanks ist wesentlich schwieriger als für flüssige Stoffe. Deshalb geht man für einen Einsatz von Brennstoffzellen an Bord von Schiffen davon aus, dass der Wasserstoff vorzugsweise chemisch gebunden (zum Beispiel in Methanol) gelagert und transportiert wird. Im Gegensatz zu Wasserstoff wird hier eher die Möglichkeit einer Kraftstoffversorgung in den Häfen gesehen.

In einem dem eigentlichen Brennstoffzellenprozess vorgeschalteten Reformier wird der Wasserstoff abgetrennt. In diesem Fall enthält das Abgas CO_2 etwa vergleichbar mit der Verbrennung von LNG (also bezogen auf den Heizwert etwa 25 % weniger als bei Dieselmotoren oder Schweröl), aber auch dabei entsteht praktisch kein NO_x . Daneben werden bei Brennstoffzellen je nach Anwendung auch weitere Vorteile gesehen, etwa die Vibrationsfreiheit oder die Möglichkeit, Brennstoffzellen dezentral im Schiff unterzubringen.

Aus verschiedenen Gründen ist in der letzten Zeit die Hochtemperatur-Proton-Exchange-Membrane-Brennstoffzelle (HT-PEM) als Kandidat für Anwendungen auf Schiffen in den Vordergrund gerückt. Die Betriebstemperatur von etwa 160 °C ermöglicht eine gute Ausnutzung der im Abgas enthaltenen Energie, unter anderem auch für den Reformationsprozess.

Ein wesentlicher Nachteil besteht darin, dass dieser Zellentyp für schnell wechselnde Lasten nur mäßig geeignet ist. Wenn man von dem Szenario ausgeht, dass ein Schiff ausschließlich oder überwiegend aus Brennstoffzellen mit Strom versorgt werden soll, dann muss dieser Tatsache durch eine geeignete Auslegung der Gesamtanlage Rechnung getragen werden. Einerseits könnten die Verbraucher durch eine Steuerung erforderliche Lastwechsel verträglicher mit der Leistungsfähigkeit der Brennstoffzelle

gestalten. Andererseits könnten durch zusätzliche Speicher auch Lastwechsel kurzzeitig ausgeglichen werden. In jedem Fall sind alle Teilsysteme von der Brennstoffversorgung bis zur Abwärmenutzung von einem Lastwechsel betroffen.

In einem Forschungsprojekt wird untersucht, wie ein Brennstoffzellensystem in die Schiffssysteme, insbesondere unter dem Aspekt dynamischer Belastungen, eingebunden werden kann. Eine wesentliche Rolle spielt dabei das Verhalten des Brennstoffzellensystems. Neben der Modellierung der Anlage und der Brennstoffzelle wird deshalb im Labor das dynamische Verhalten einer HT-PEM untersucht (Bild 2).



Bild 2: Versuchsaufbau mit HT-PEM (rechts unten) und Sensoren im Abgaskanal

Neben den reinen Betriebsparametern wird dabei auch die Abgaszusammensetzung analysiert, weil es vom Prinzip her denkbar ist, dass während transienter Phasen der Reformierungsprozess nicht zur vollständigen Umwandlung des Methanols führt und deshalb mögliche Zwischenprodukte im Abgas enthalten sind.

Dieselelektrische Antriebsanlagen sind seit vielen Jahren für Passagierschiffe oder andere Schiffe üblich. Insbesondere bei kleineren Anlagen hat sich gezeigt, dass das Manövrierverhalten des Schiffs deutlich von dem Zusammenwirken der elektrischen Komponenten mit dem Dieselmotor beeinflusst wird. Trotzdem werden bei der Anlagenauslegung selten Simulationswerkzeuge eingesetzt, um diese beiden Anlagenteile optimal aufeinander abzustimmen. Mit ein Grund dafür ist auch die Tatsache,

dass kaum geeignete Beschreibungen und Spezifikationen zur Dynamik des Zusammenwirkens der Komponenten verfügbar sind. In einem Forschungsprojekt wird untersucht, wie die Komponenten so beschrieben und modelliert werden können, dass eine aussagekräftige Simulation während der Anlagenauslegung effizient durchgeführt werden kann.

Die Motoren in dieselelektrischen Antriebsanlagen werden häufig über leistungselektronische Wandler aus dem allgemeinen Bordnetz versorgt. Aber auch bei Schiffen ohne elektrische Propulsion führt der Zwang zur Energieeffizienz zu einem vermehrten Einsatz von Frequenzumrichtern an Bord. Bedingt durch den inneren Aufbau dieser Komponenten wird die Bordnetzspannung gestört. Es ist heute üblich, während der Anlagenauslegung das System zu simulieren (Bild 3).

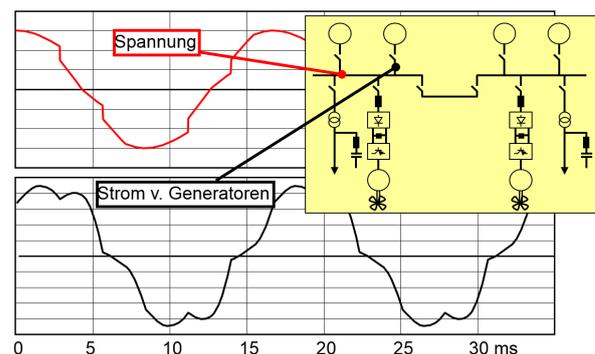


Bild 3: Simulation der Spannungen und Ströme in dem Bordnetz eines Schiffs mit dieselelektrischer Antriebsanlage – Die Spannung ist durch die Frequenzumrichter gegenüber einer Sinusform deutlich verzerrt

Ein Unsicherheitsfaktor dabei ist das Übertragungsverhalten von Transformatoren im Bordnetz. Die Modellierung des Übertragungsverhaltens von Bordnetztransformatoren, die experimentelle Validierung und die Einbindung der Modelle in ein Gesamtsystem sind Themen eines weiteren Projekts.

INSTITUTSAUSSTATTUNG

Die im Institut für Elektrische Energiesysteme und Automation verfügbare Messtechnik deckt einen großen physikalischen Bereich elektrischer und nichtelektrischer Größen ab. Diese Größen werden überwiegend in Schiffs- und Automationsanlagen gemessen. Die Registrierung und Weiterverarbeitung der Messgrößen erfolgt überwiegend mit Messwertrechnern.

Das Institut verfügt unter anderem über folgende spezielle Sensoren und Messwandler:

- Datenlogger bis 10 Kanäle (Temperatur, relative Feuchte, xyz-Beschleunigung, Luftdruck, 4 Analogkanäle)
- Stromwandler für Gleich- und Wechselstromsignale im Bereich von 1 A bis 3.000 A
- Drehmomentmesswandler für rotierende Wellen als Messwellen und Telemetriesysteme
- Fluid-Durchfluss- und Wärmemengenmessgerät
- Strömungsmessgeräte für Luftströmungen, Fluide (Ultraschall)
- E-Leistungsmessung und Netzqualitätsanalyse, Wirkungsgradbestimmung

Diese Sensoren können mit Gleich- und Wechselspannungsmessverstärkern sowie Signaltrennverstärkern für die Aufbereitung der Gebersignale zu flexiblen Messsystemen ausgebaut werden. Für umfangreiche Messungen elektrischer Signale in Bordnetzen kann damit auf sehr universelle Messgeräte zurückgegriffen werden.

Die Registrierung der Messsignale ist je nach Messanforderung möglich mit:

- Messrechner für automatische Messwertregistrierung bis zu mehreren Wochen
- Analog- und Speicheroszilloskope
- Mehrkanalschreiber
- Datalogger

Für Messungen an elektrischen Antrieben bis zu einer Leistung von circa 30 kW (umrichterbetrieben) und bis zu Drehmomenten von 1.000 Nm steht ein Prüfstand mit Drehmoment und Leistungsmessung zur Verfügung.

An elektrischen Maschinen bis zu 100 kW Nennleistung können Messungen mit Prüfgeneratoren und Prüffeldeinrichtungen durchgeführt werden.

Für spezielle Anwendungen stehen drei Versuchsstände (Kammervolumen circa 60 Liter) zur kontrollierten Atmosphäre (CA) zur Verfügung, in denen Atmosphären im Temperaturbereich von -20 bis $+35$ °C, O_2 von 0 – 100 %, CO_2 von 0 – 100 % und Stickstoff von 0 – 100 % und Kombinationen eingestellt werden können. Zur kontinuierlichen Analyse weiterer Gase (zum Beispiel Ethen) steht ein Gaschromatograf zur Verfügung.



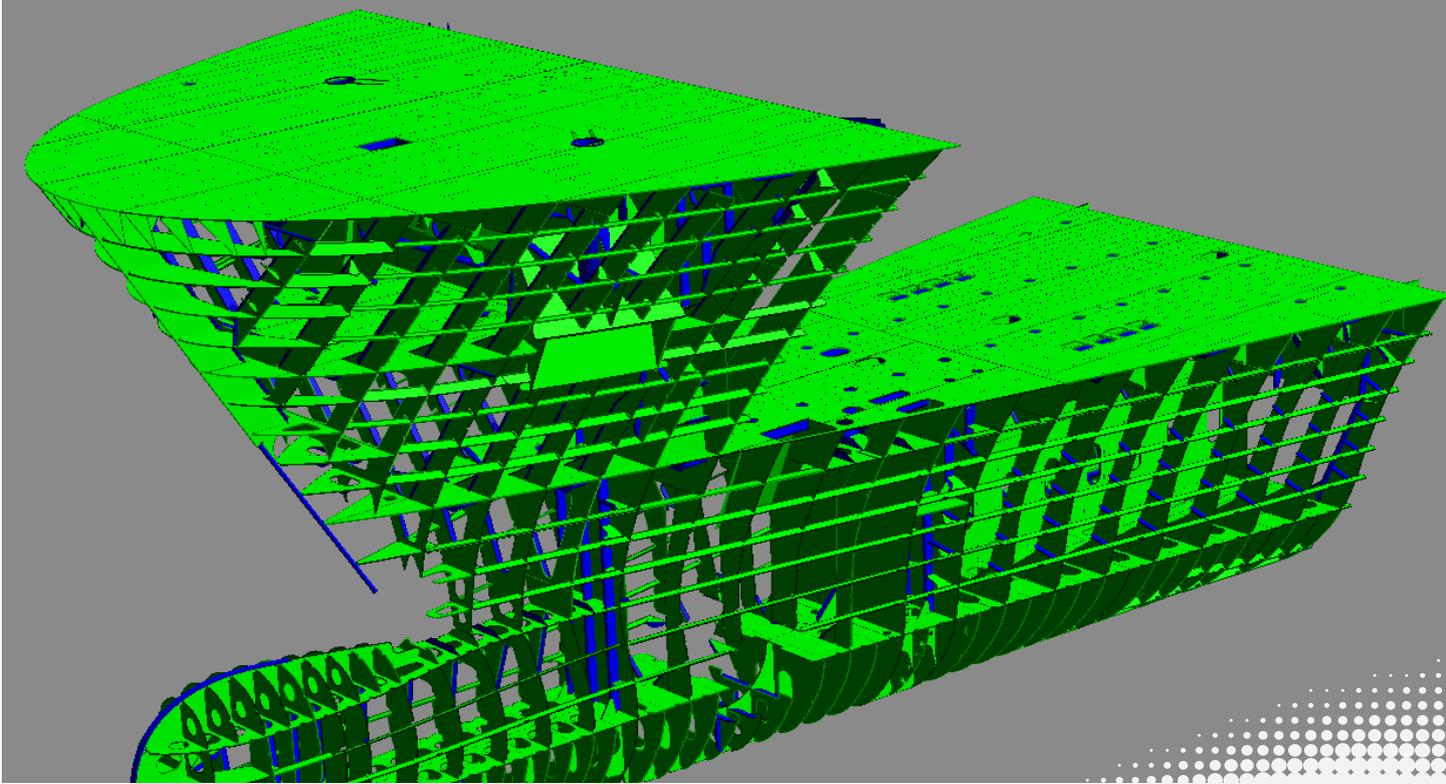


Bild 1: CAD-Darstellung einer Vorschiffskonstruktion (Quelle: Flensburger Schiffbau-Gesellschaft)

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Fricke

Institut für Konstruktion und Festigkeit von Schiffen
Schwarzenbergstraße 95
21073 Hamburg
Tel.: +49 (0)40 42878-6089, Fax: +49 (0)40 42878-6090
E-Mail: w.fricke@tuhh.de
www.tuhh.de/skf

Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Düster

Institut für Konstruktion und Festigkeit von Schiffen
Schwarzenbergstraße 95
21073 Hamburg
Tel.: +49 (0)40 42878-6083, Fax: +49 (0)40 42878-6090
E-Mail: alexander.duester@tuhh.de
www.tuhh.de/skf

KONSTRUKTION UND FESTIGKEITSANALYSEN VON SCHIFFEN

The structural design and the strength analysis of ships are closely connected as several strength aspects have to be considered during the design of ship structures. On the other hand, special modelling techniques, analysis methods and strength criteria have been developed particularly for ship structural analyses. Due to the introduction of new materials, fabrication methods and structural details, ship structures are under continuous development, which is supported by R&D work. In the following, recent and current research activities at the Institute for Ship Structural Design and Analysis are summarised. These include the nonlinear structural behaviour, which requires advanced numerical methods in view of the large structures as well as nonlinear effects and the treatment of coupled problems, including

fluid-structure interaction. Experimental validation is essential because of several uncertainties. Recent investigations concern the failure behaviour of stiffened ship structures and in particular the behaviour during collision and grounding, where large-scale tests have been performed. Another research area is related to the fatigue behaviour of ship structures, which also needs extensive experimental investigations. Several studies focussed on the structural modelling and evaluation of the relevant stress parameters for different approaches to fatigue assessment. Another topic is the investigation of weld root fatigue being relevant particularly for ship structures. Several research projects are related to the effects of fabrication on the structural behaviour.

Of major concern for ship structures are welding-related distortions and residual stresses. The further development of computers and numerical methods allows these effects to be analysed with increasing accuracy. Also the rational assessment of the fabrication quality of welded joints is under continuous investigation, considering especially the weld profile as well as misalignment effects.

Konstruktion und Festigkeit sind in der Schiffbautechnik eng verbundene Gebiete, weil einerseits der konstruktive Entwurf in hohem Maße Festigkeitsgesichtspunkte berücksichtigen muss, andererseits sich hierfür spezielle Wege der Modellbildung, Verfahren zur Strukturanalyse und Kriterien zur Bewertung der Festigkeit entwickelt haben. Der konstruktive Schiffsentwurf erfolgt heute ähnlich wie in anderen konstruktiven Bereichen rechnergestützt mit CAD-Programmen (Bild 1). Hierdurch wird die schnelle Ausarbeitung von Strukturvarianten mit dem Ziel einer Optimierung sowie die unmittelbare Bereitstellung der fertigungsrelevanten Informationen bis hin zur Simulation des Fertigungsprozesses vorab auf dem Computer ermöglicht.

EINSATZ NEUER WERKSTOFFE

Durch den Einsatz neuer Werkstoffe und Fertigungsmethoden unterliegt die Schiffskonstruktion einem fortwährenden Veränderungsprozess, der von Seiten der Wissenschaft und Forschung begleitet wird. Beispiele hierfür sind sogenannte SPS-Paneele (SPS = Sandwich Plate System), bei denen Sandwich-Paneele mit Stahlplatten als Deckschichten und einem Kern aus Polyurethan verwendet werden. Hierdurch kann auf die Versteifung zwischen den hohen Trägern verzichtet werden (Bild 2), wodurch anrissgefährdete Details vermieden werden. Die Festigkeitseigenschaften wurden an der TUHH näher untersucht. Neben einer vereinfachten Fertigung sowie positiven Eigenschaften hinsichtlich der Schall- und Feuerisolierung ist auch ein verbessertes Verhalten bei Schiffskollisionen zu erwarten.

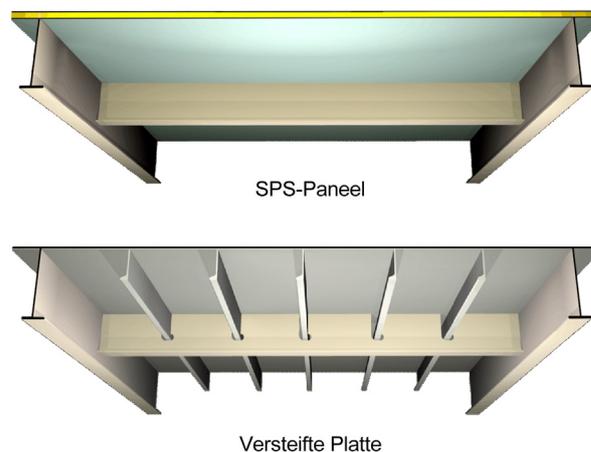


Bild 2: Vergleich SPS-Paneel (oben) und konventionelle Struktur (unten; Quelle: Intelligent Engineering, Ottawa)

Um das mechanische Verhalten von neuartigen Werkstoffen zu charakterisieren, werden an der TUHH numerische Homogenisierungsverfahren entwickelt. Mit deren Hilfe können die effektiven Eigenschaften von Materialien mit komplexer Mikrostruktur berechnet werden. Die Vorgehensweise ist in Bild 3 am Beispiel eines Aluminiumschaums dargestellt. Ausgehend von einem Computertomographie-Scan wird mit einer neuen Berechnungsmethode die Mikrostruktur des geschäumten Materials mit finiten Zellen vernetzt. Aufgrund der Verwendung von kartesischen Berechnungsgittern mit Ansätzen hoher Ordnung können auch sehr komplexe Strukturen vollautomatisch diskretisiert und effizient berechnet werden. Die komplexe Geometrie des Schaums wird dabei während der Berechnung der Zellen mit Hilfe von adaptiven Integrationsverfahren berücksichtigt. Das Ergebnis der numerischen Homogenisierung, bei der das mechanische Verhalten der Mikrostruktur für verschiedene Randbedingungen berechnet wird, sind die effektiven Materialeigenschaften. Diese fließen dann in einem weiteren Schritt in eine dreidimensionale Finite-Elemente-Berechnung ein, um damit zum Beispiel Sandwich-Strukturen mit einem geschäumten Kern zu berechnen. Das Homogenisierungsverfahren wird in einem laufenden Forschungsprojekt für die Berechnung des nichtlinearen Verhaltens von Metallschäumen bei großen Deformationen erweitert, um hiermit auch das kinetische Energieabsorptionsvermögen von Sandwich-Strukturen berechnen zu können.

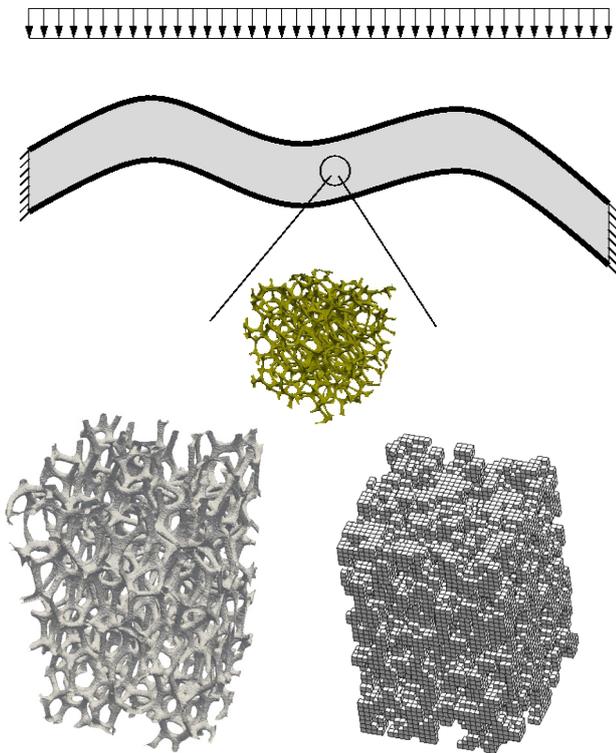


Bild 3: Computertomographie-Scan eines Aluminiumschaums (links unten), Diskretisierung des Aluminiumschaums mit finiten Zellen (rechts unten), Sandwich-Struktur bestehend aus einem geschäumten Kern (oben)

NICHTLINEARES STRUKTURVERHALTEN

Die Bemessung der schiffbaulichen Konstruktion unter Betriebsbelastungen erfolgt in der Regel bei linearem Werkstoffverhalten. Das bedeutet ebenfalls, dass die Verformungen klein bleiben, so dass das Gleichgewicht der inneren und äußeren Kräfte an der unverformten Konstruktion gebildet werden darf. Die unter diesen Annahmen sich ergebenden Berechnungsverfahren auf der Basis numerischer Methoden sind heute weitestgehend Stand der Technik und Grundlage der statischen und dynamischen schiffbaulichen Strukturanalyse.

Für die Fälle der Extrembelastung der Strukturen bei Grundberührungen oder Kollisionen unterschiedlichster Art, aber auch bei Feuer und Explosionen, sind diese Annahmen nicht ausreichend, da ein geometrisch und werkstofflich nichtlineares Verhalten der Struktur entsteht, dessen Beschreibung nur mit komplizierten nichtlinearen Strukturberechnungen möglich ist. Diese sehr aufwändigen Berechnungen erfordern eine experimentelle Absicherung, da eine Reihe von Annahmen zu treffen ist, die nur aus Experimenten zu ermitteln sind.

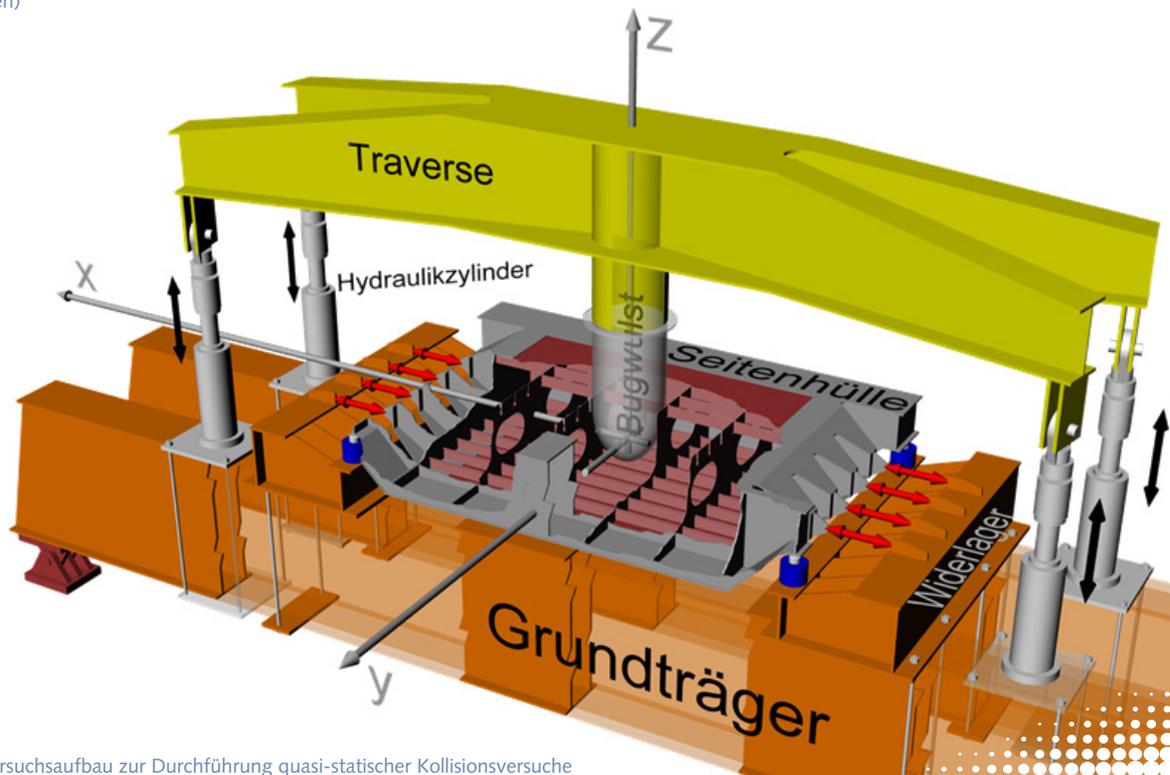


Bild 4: Versuchsaufbau zur Durchführung quasi-statischer Kollisionsversuche

Im Hinblick auf Berechnungsverfahren für Kollisionsvorgänge wurden in den vergangenen Jahren diverse Versuche auf der großen Festigkeitsversuchsanlage des Instituts durchgeführt. Im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens ELKOS (Verbesserung der Kollisions-sicherheit durch Integration struktureller Maßnahmen in die Leckstabilitätsberechnung moderner RoRo-Fahrgast-schiffe) wurde die Festigkeitsversuchsanlage erweitert, um quasi-statische Kollisionsversuche durchzuführen, bei denen ein Wulstbug durch eine Doppelhüllenkonstruktion mit Kräften von bis zu 4.000 kN gedrückt wird, die mit einem Maßstabsfaktor von circa 1:3 gegenüber der Realität skaliert ist (Bild 4).

Die Versuche betrafen die Kollision eines relativ starren Wulstbugs mit einer typischen Doppelhülle eines RoRo-Fahrgastschiffs. Außerdem wurde der Einfluss einer nachgiebigeren Kappe des Wulstbugs sowie der Verwendung eines Füllstoffs in der Doppelhülle auf die dissipierte Kollisionsenergie untersucht. In beiden Fällen ergab sich eine erhebliche Steigerung bis zur doppelten

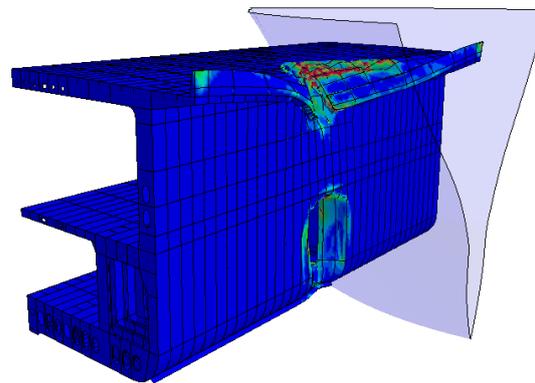


Bild 5: Finite-Elemente-Simulation einer Kollision

Energieaufnahme, was eine erhöhte Sicherheit gegenüber Durchstoßen der Doppelhülle bedeutet. Außerdem konnten die Annahmen für Berechnungen mit der Finite-Elemente-Methode überprüft werden (Bild 5). Insgesamt gesehen konnte eine gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Berechnung festgestellt werden, so dass Werkzeuge für die Übertragung auf weitere Geometrievarianten und für Optimierungen zur Verfügung stehen. Eine wichtige Fragestellung ist auch die Belastbarkeit von

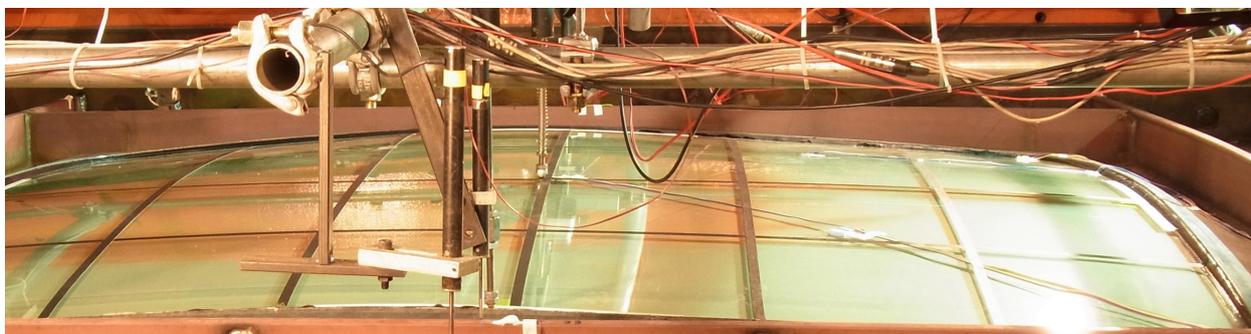


Bild 6: Schiffsfenster bei einer Belastung mit einem Druck von 1,2 bar

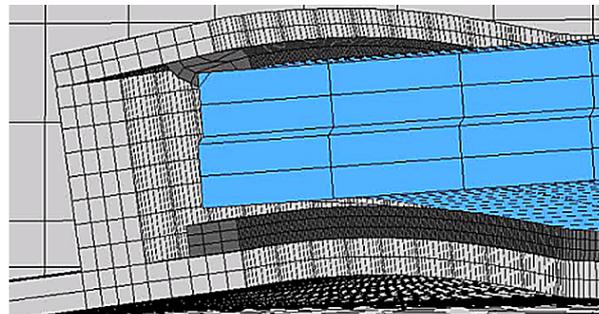
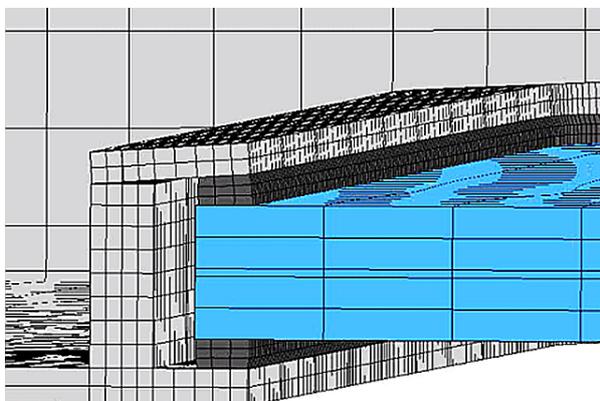


Bild 7: Finite-Elemente-Modell einer Fenstereinfassung im unbelasteten Zustand (links) und bei einer Drucklast mit 1,2 bar (rechts)



Bild 8: Dynamischer Belastungsversuch eines Schiffsfensters mit einem Wassersack

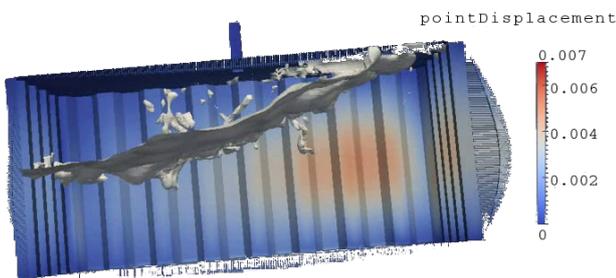


Bild 9: Simulation der Fluid-Struktur-Interaktion: Sloshing von Flüssigkeiten in teilgefüllten Tanks

Schiffsfenstern. Dies betrifft einerseits quasi-statische Situationen wie das Kentern von Schiffen, wobei es darauf ankommt, dass die Fenster beim Eintauchen von Wänden möglichst lange intakt bleiben, um mehr Zeit für Evakuierungen zu haben, andererseits den Seeschlag zum Beispiel auf Fenster in Frontwänden von Aufbauten. Hierzu wurden in zwei Forschungsvorhaben Experimente und begleitende Berechnungen durchgeführt.

Quasi-statische Druckversuche großer Schiffsfenster zeigten, dass sich die Fenster stark verformen (Bild 6) und dass ihr Versagen eher vom Herausrutschen aus der Einfassung als von der Beanspruchbarkeit des Glases bestimmt wird. Die rechnerischen Untersuchungen erfordern die Berücksichtigung des Materialverhaltens sowohl des Glasverbunds als auch der umgebenden Stahlkonstruktion sowie der Klebschicht beziehungsweise der Dichtungen bei geklemmten Gläsern (Bild 7).

Ganz andere Probleme verursacht die Simulation des dynamischen Verhaltens bei Seeschlag. Hier werden die Drucklasten unter anderem von der Wechselwirkung zwischen dem Fluid und der verformbaren Struktur

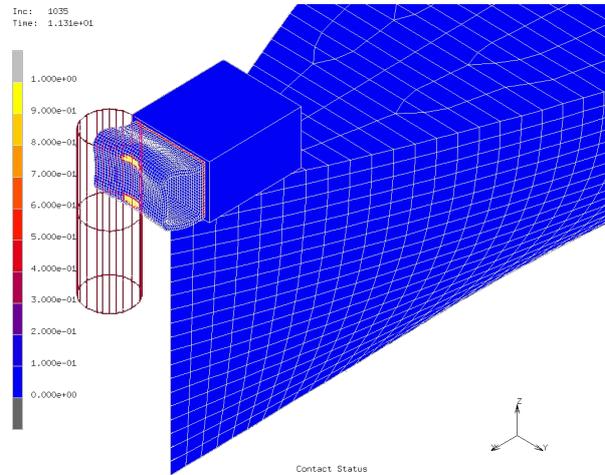


Bild 10: Landungsmanöver von Service-Schiffen an Offshore-Windenergieanlagen

bestimmt. Zur Validierung von Berechnungsmodellen wurden Versuche mit Wassersäcken durchgeführt (Bild 8), die mit bis zu 1.000 Liter Wasser gefüllt waren und aus 6 und 20 m Höhe auf ein 900 x 900 mm großes Fenster aus 30 mm dickem Verbundglas fallen gelassen wurden. Damit lagen relativ klar definierte Bedingungen vor, welche die Validierung von Rechenmodellen unter Verwendung der Finite-Elemente-Methode und sogenannten Smoothed Particle Hydrodynamics ermöglichten. Die Gesamtkräfte und Glasbeanspruchungen aus der Messung und Berechnung stimmten recht gut überein, so dass die Methode auch auf Situationen von überkommendem Wasser auf Schiffen im Seegang übertragen werden kann.

FLUID-STRUKTUR-INTERAKTION

Die Fluid-Struktur-Interaktion spielt in vielen Bereichen des Schiffbaus eine wichtige Rolle. An der TUHH werden daher Simulationsverfahren entwickelt, um in einem partitionierten Ansatz Struktur- und Fluidlöser zu koppeln. Hierzu werden bereits existierende Fluidlöser, wie zum Beispiel OpenFOAM mit in-house oder aber auch kommerziellen Finite-Elemente-Programmsystemen gekoppelt und weiterentwickelt. Mit Hilfe der Kopplung der Berechnungsprogramme, bei der Methoden für den Datentransfer und die Konvergenzbeschleunigung sowie der Steuerung der Simulation zum Einsatz kommen, können die komplexen Mehrfeldprobleme gelöst werden.

In Bild 9 und 10 sind zwei Anwendungsbeispiele zur Simulation der Fluid-Struktur-Interaktion dargestellt. Beim sogenannten Sloshing wird das Schwappen von Flüssigkeiten in teilgefüllten Tanks betrachtet. Die Diskretisierung des Tanks mit finiten Elementen führt dabei zu einer realistischeren Abschätzung der Strukturbelastungen, als dies mit einer Modellierung als Starrkörper möglich ist.

Ein weiteres Beispiel der Fluid-Struktur-Interaktion ist das Anlegemanöver von Service-Schiffen an Offshore-Windenergieanlagen. Hierbei steht die Sicherheit des Anlegemanövers mit dem Überstieg des Service-Personals im Zentrum der Betrachtungen. Zur Minimierung der Relativbewegung zwischen Service-Schiff und Offshore-Struktur kommt ein Fender zum Einsatz, der aufgrund des Anpressdrucks eine entsprechende Reibkraft induziert. Um diesen Vorgang genauer zu untersuchen, wird die Situation mit Hilfe des partitionierten Ansatzes simuliert. Somit können für unterschiedliche Wellenhöhen verschiedene Anlegemanöver und ferner auch der Einfluss des Fenders untersucht werden. Begleitet wird die Simulation von experimentellen Untersuchungen des Fenders sowie – in Kooperation mit Prof. Abdel-Maksoud (TUHH) – des Anlegemanövers, um hierdurch die komplexen Modelle und Simulationsmethoden zu validieren.

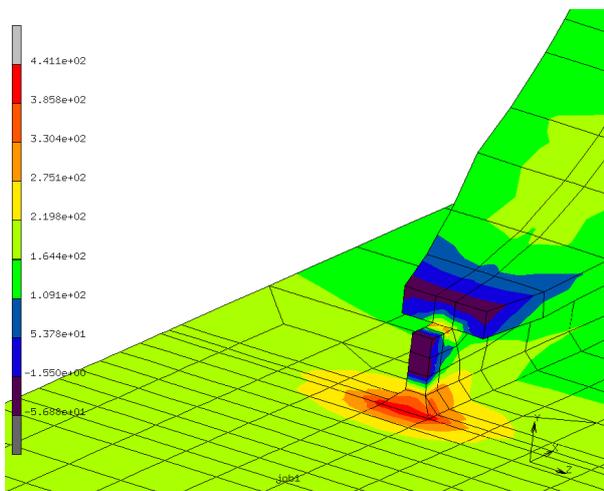


Bild 11: Finite-Elemente-Modell eines Knieblechs zur Strukturspannungsermittlung

Der partitionierte Kopplungsalgorithmus kann aufgrund seiner Flexibilität auch zur Lösung von anderen Mehrfeldproblemen eingesetzt werden. In einem laufenden Forschungsprojekt wird der partitionierte Ansatz für die Lösung von elektro-thermo-mechanisch gekoppelten Problemen weiterentwickelt.

BETRIEBSFESTIGKEIT

Die Betriebsfestigkeit, das heißt die Festigkeit gegenüber Ermüdungsrissbildung infolge der im Schiffsbetrieb veränderlichen Lasten, war und ist Gegenstand vieler experimenteller und theoretischer Untersuchungen. Hierbei werden verschiedene Konzepte entwickelt und erprobt, die zur Bewertung der Betriebsfestigkeit vor allem von Schweißkonstruktionen dienen, welche in der Schiffskonstruktion am häufigsten betroffen sind.

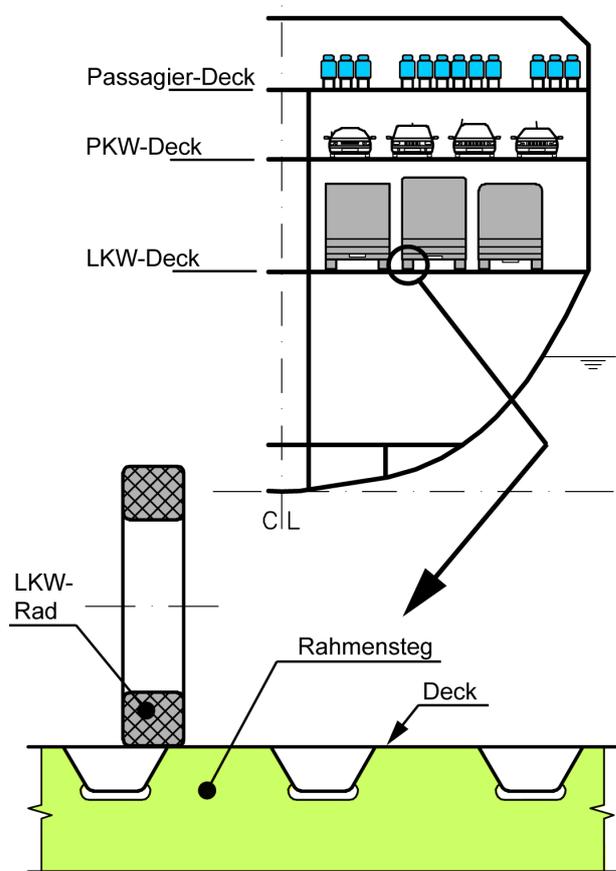


Bild 12: Querschnitt durch ein Fährschiff mit trapezprofilversteiftem Fahrzeugdeck

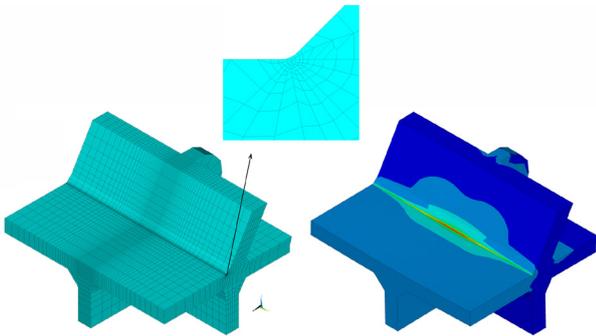


Bild 13: Finite-Elemente-Modell zur Bestimmung der Kerbspannung im Nahtübergang einer Hopperschräge

Die unterschiedlichen Arten von Spannungen bedingen unterschiedliche Untersuchungskonzepte: Sie berücksichtigen entweder nur die Nennspannung oder eine örtlich erhöhte Spannung. Zum letzteren gehört das Strukturspannungskonzept, welches lediglich die strukturelle Spannungserhöhung explizit einbezieht, während das Kerbspannungskonzept die von der Nahtübergangskerbe verursachte Spannungserhöhung berücksichtigt. Alternativ bietet sich das Rissfortschrittskonzept an, das die Spannungsintensität an der Rissspitze als maßgeblichen Parameter verwendet.

An der TUHH durchgeführte Untersuchungen betrafen die Anwendbarkeit des Strukturspannungskonzepts auf schiffbauliche Strukturdetails, zum Beispiel Rahmenkreuzungen, Lukenecken und Kniebleche (Bild 11). Hierzu wurden Regeln zur Modellierung der Struktur und zur Spannungsauswertung entwickelt, die in die Empfehlungen des Internationalen Schweißverbands (IIW) sowie in die Bauvorschriften von Klassifikationsgesellschaften eingeflossen sind.

Eine typische Anwendung betraf die Untersuchung der Betriebsfestigkeit von Fahrzeugdecks aus hochfestem Stahl. Hier bietet sich die Bauweise mit Trapezhohlprofilen an (Bild 12), die allerdings im Brückenbau hinsichtlich der Betriebsfestigkeit Probleme gezeigt hatte.

Für verschiedene anrisskritische Stellen dieser Konstruktion wurden experimentelle und rechnerische Untersuchungen durchgeführt, so auch Überroll-Dauerversuche mit einem LKW-Rad.

Des Weiteren wurden diverse Untersuchungen zum Kerbspannungskonzept durchgeführt. Hierbei wird der Nahtübergangsradius fiktiv vergrößert, um werkstoffbedingte Stützeffekte zu berücksichtigen. Bild 13 zeigt als Beispiel ein Strukturdetail am seitlichen Übergang vom Innenboden in die sogenannte Hopperschräge in einem Tanker oder Massengutschiff. Bewertet wird die hohe Spannungsspitze im Nahtübergang. Interessanterweise zeigen sich für komplexe Strukturdetails dieser Art deutliche Unterschiede zu einfachen Schweißverbindungen, die spezielle Betrachtungen erfordern.

Bei schiffbaulichen Konstruktionen sind nicht nur die Nahtübergänge von Schweißnähten anrissgefährdet. Wegen der häufig verwendeten Kehlnähte, die einen unverschweißten Wurzelspalt aufweisen, sind bei entsprechender Nahtbelastung auch von der Nahtwurzel ausgehende Ermüdungsrisse möglich (Bild 14).

Das hierfür gut geeignete Rissfortschrittskonzept, bei welchem der Wurzelspalt als Anfangsriss angesehen wird, hat bislang in der Praxis kaum Anwendung gefunden. Daher wurden vereinfachte Konzepte zur adäquaten Berücksichtigung der relevanten Einflussgrößen entwickelt.

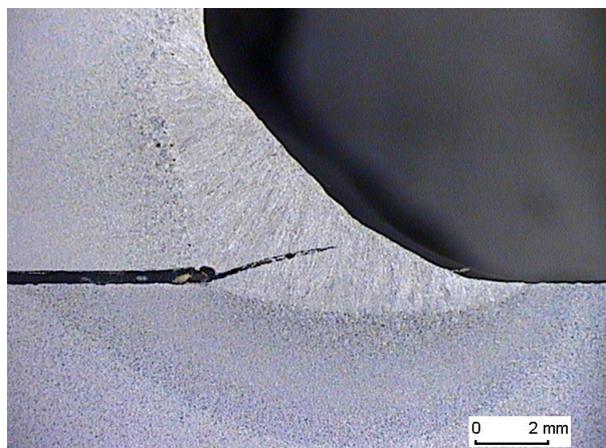


Bild 14: Vom Nahtwurzelspalt ausgehender Ermüdungsriss

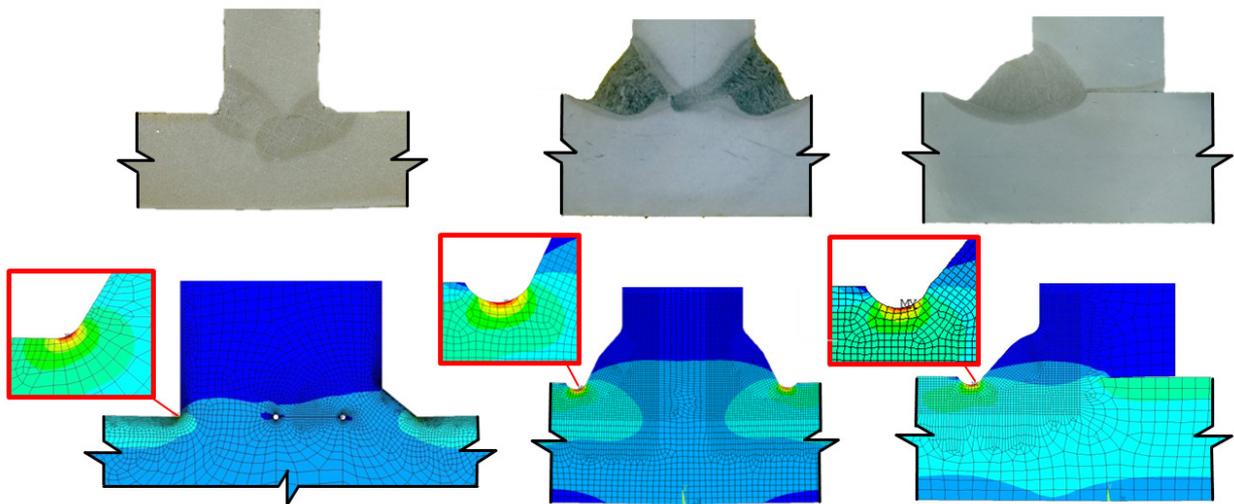


Bild 15: Laser- und laser-hybrid-geschweißte T-Stöße und berechnete Kerbspannungen

Hierzu gehören die erhöhten Spannungen an den umschweißten Enden von Steifen und Knieblechen. Durch Vergleiche auf bruchmechanischer Basis konnte gezeigt werden, dass als maßgebende Beanspruchung eine „lokale Nennspannung“ in der Naht im Bereich der Umschweißung für Betriebsfestigkeitsbewertungen dienen kann, die mit Hilfe von relativ einfachen Finite-Elemente-Netzen (FE-Netzen) ermittelt wird.

FERTIGUNGSEINFLÜSSE AUF DIE FESTIGKEIT

Viele Untersuchungen, die zumeist auf Anregung der Werftindustrie durchgeführt wurden, betreffen Einflüsse der Schiffsfertigung auf die Festigkeit. Durch die besonderen Fertigungsverfahren im Schiffbau und die stetige Verbesserung des Fertigungsprozesses durch Einführung neuer Produktionsmethoden oder fertigungsgünstiger Konstruktionen entstehen Fragen, die neben theoretischen meistens auch experimentelle Untersuchungen erfordern.

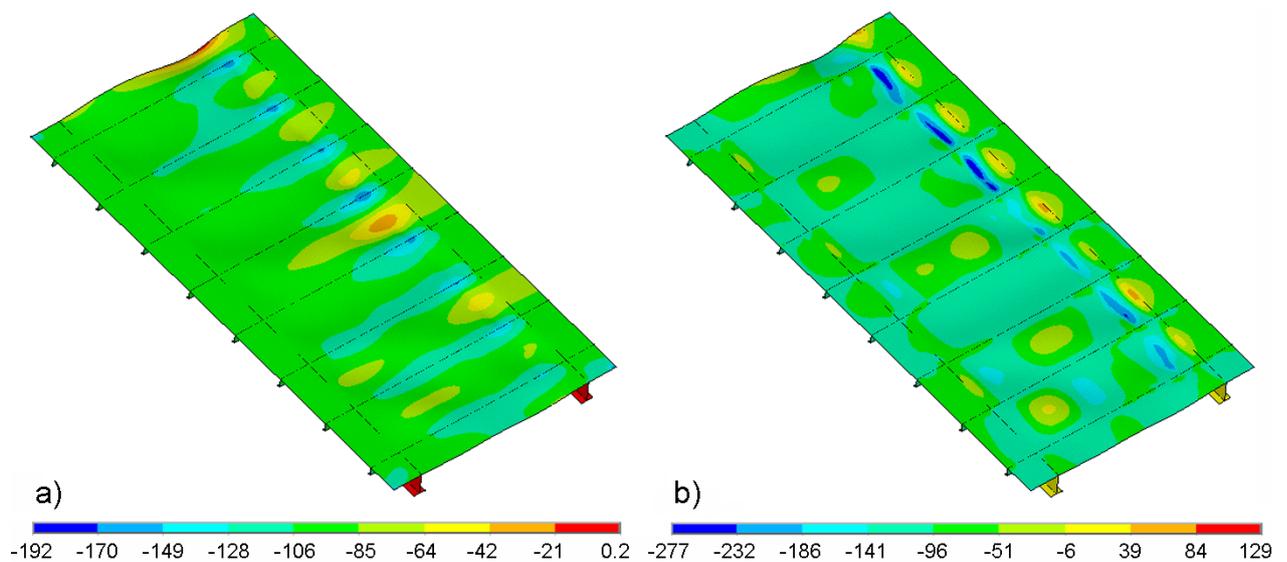


Bild 16: Verformungen und Längsspannungen in einem vorverformten Deckspaneel unter (a) Zug- und (b) Drucklasten in Steifen-Richtung

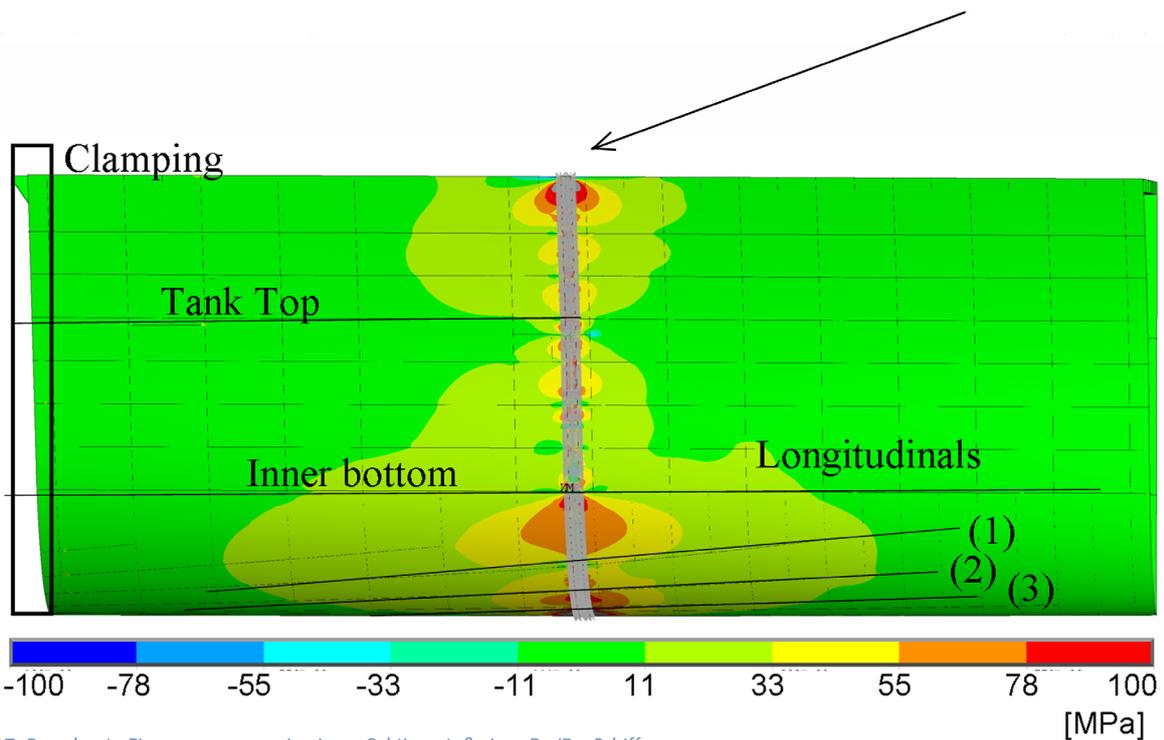
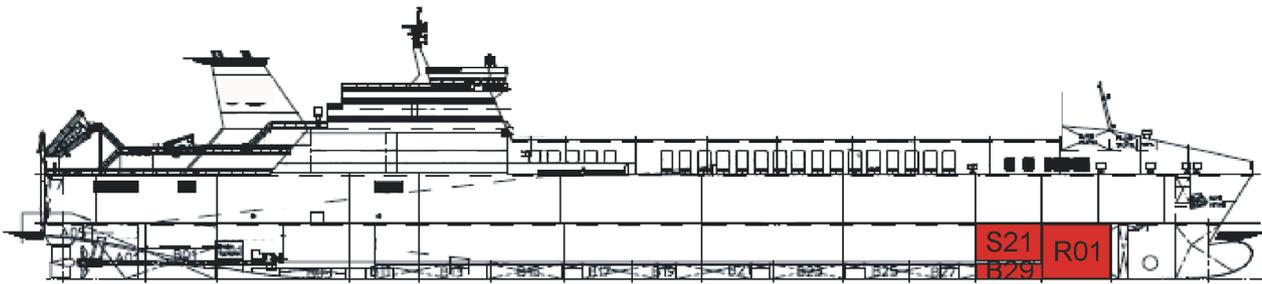


Bild 17: Berechnete Eigenspannungen in einem Sektionsstoß eines Ro/Ro-Schiffs

Von großer Bedeutung für diese Entwicklung waren in den vergangenen Jahrzehnten die mit dem Schweißprozess verbundene Wärmeeinbringung und die daraus resultierenden Veränderungen des Werkstoffs, der Eigenspannungen und des Verzugs. Entwicklungen der Schweißverfahren wie beispielsweise die Einführung des Laserschweißens zielten auf eine Verminderung des Wärmeeintrags und der genannten Folgen.

Bild 15 zeigt typische Schweißverbindungen am Beispiel eines T-Stoßes, die mit dem Laser- und dem Laser-Hybrid-Schweißverfahren hergestellt wurden. Die im Verbundforschungsvorhaben QuInLas (Qualitätseinflüsse auf die Schwingfestigkeit laser- und laserhybrid geschweißter

Schiffskonstruktionen) durchgeführten Schwingfestigkeitsversuche und Kerbspannungsberechnungen dienten zur Ermittlung des Einflusses der Qualitätsmerkmale ‚Winkelverzug‘ und ‚Einbrandkerben‘ auf die Lebensdauer. Besonders der Winkelverzug zeigte sich deutlich geringer als bei konventionell geschweißten Stößen.

Dennoch lassen sich konventionelle Schweißungen nicht ganz vermeiden, zum Beispiel an Sektionsstößen. Hier können die Vorgaben aus den Qualitätsstandards bei dünnwandigen Strukturen mit Blechdicken unter 5 mm oft nicht eingehalten werden. Daher wurden an werftüblich hergestellten Paneelen mit Sektionsstößen weitergehende Untersuchungen durchgeführt. Hierzu wurden

die fertigungsbedingten Vorverformungen flächenmäßig erfasst und die daraus resultierenden Zusatzbiegespannungen infolge typischer Belastungen mit entsprechenden Finite-Elemente-Modellen berechnet (Bild 16). Die lastbedingten Verformungen sind 20-fach überhöht.

Neben einer stark ungleichmäßigen Spannungsverteilung sieht man deutliche Überhöhungen an dem rechts angeordneten Sektionsstoß infolge des dort vorhandenen Winkelverzugs und Kantenversatzes. Da die Belastungen wegen der Beulgefahr bei der geringen Plattendicke auf circa $\pm 100 \text{ N/mm}^2$ begrenzt werden müssen, ist der Sektionsstoß trotz Überschreitung der Qualitätsgrenzen nicht ermüdungsgefährdet.

Die direkte Berechnung des schweißbedingten Verzugs und der Eigenspannungen in Form einer numerischen Schweißsimulation gewann mit zunehmender Leistungsfähigkeit der Computer an Bedeutung. Von besonderem Interesse sind hierbei die Eigenspannungen, die aus Zwängungen während der Montage entstehen, da diese durch die Betriebsbelastungen häufig kaum abgebaut werden.

Diese wurden anhand von Stumpfnahtrproben in einer Einspann-Schweißanlage näher untersucht. Die dort aufgenommenen Reaktionskräfte und Verformungen konnten mittels numerischer Schweißsimulation reproduziert werden. Anschließend wurde das Verfahren auf den Stoß zwischen zwei Sektionen eines Ro/Ro-Schiffs angewendet (Bild 17 oben). Hier ergab sich das Problem, dass eine Schweißsimulation eines über 20 m langen Sektionsstoßes mit der für solche Rechnungen erforderlichen Netzfeinheit im Zeitbereich mit der heute verfügbaren Soft- und Hardware nicht möglich ist.

Durch mehrere Vereinfachungen und Kalibrierung der Wärmequelle im Hinblick auf gleiche Reaktionskräfte und Verformungen bei den Stumpfnahtrproben war es möglich, auch die Schweißung des Sektionsstoßes zu simulieren, wobei die großräumigen Eigenspannungen und Verformungen und nicht diejenigen in der Schweißnaht selbst im Fokus standen. Bild 17 zeigt unten die resultierenden Eigenspannungen, die insbesondere an steifen Stellen erheblich sind.

Derartige Berechnungen ermöglichen einerseits, die nachteilige Auswirkung der Eigenspannung auf das Ermüdungsverhalten rational einzuschätzen und andererseits, die Schweißfolge und Schweißparameter im Hinblick auf eine Minimierung der Eigenspannungen und Verformungen zu optimieren.

INSTITUTSAUSSTATTUNG

Zur Durchführung von experimentellen Untersuchungen, wie Traglast- und Betriebsfestigkeitsversuche sowie Eigenspannungs- und Vibrationsmessungen, stehen dem Institut eine Vielzahl verschiedener Maschinen und Aggregate zur Verfügung. Die im Rahmen von Forschungsvorhaben und Industrieaufträgen zu untersuchende Bandbreite reicht von kleinen Bauteilproben bis hin zu Großstrukturen mit einer Last von 4.000 kN.

Betriebsfestigkeitsversuche

- Schnelle dynamische Resonanzprüfmaschinen (Frequenz circa 30 Hz) mit Schwinglasten bis 200 kN beziehungsweise 600 kN sowie statischen Vorlasten
- Einachsige servohydraulische Prüfstände mit Lasten von 25 kN bis 1.250 kN (individuell anpassbar)
 - Versuchskörper unter 3-Punkt-Biegung
 - Zylinder in geschlossenem Rahmen unter Zug- oder Biegebelastung

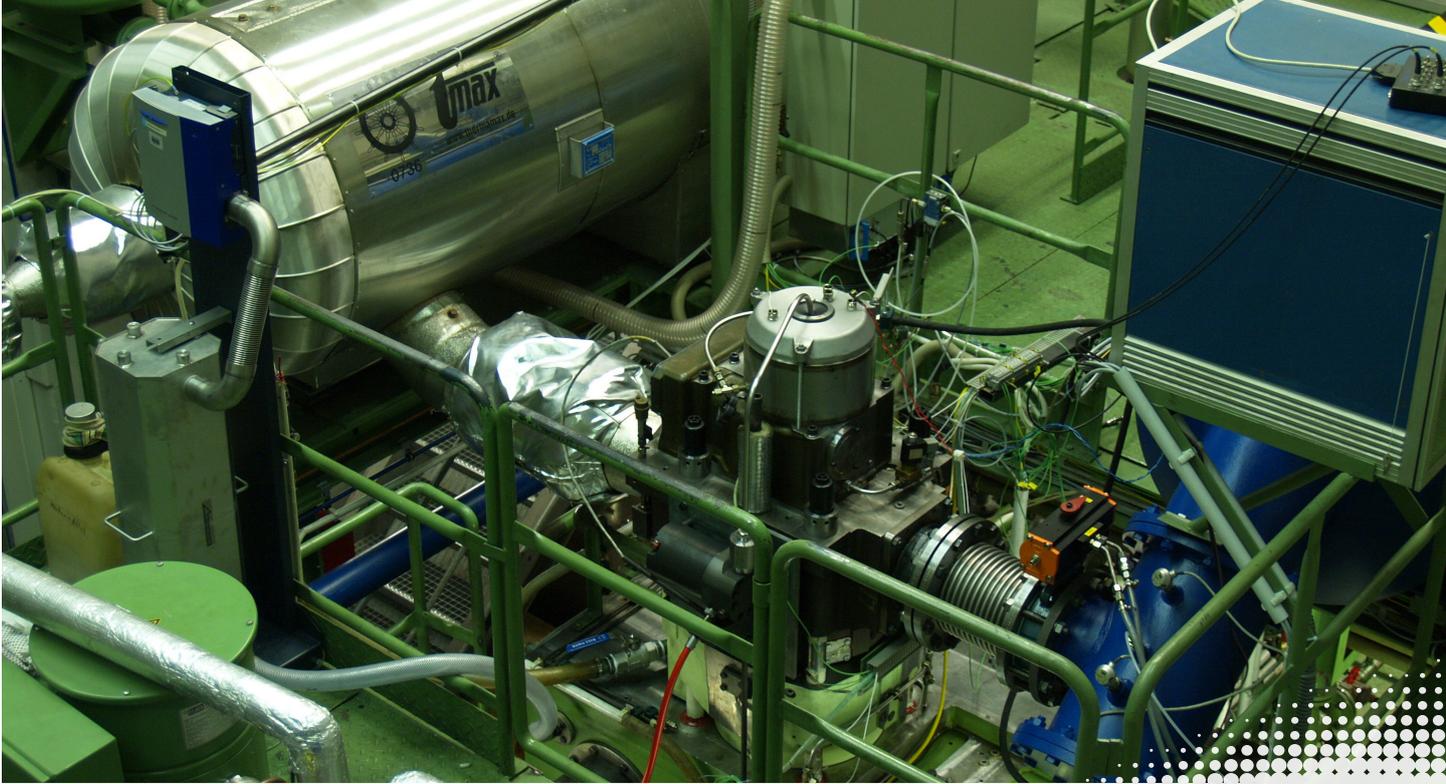
Eigenspannungs- und Geometriemessungen

- Eigenspannungsmessvorrichtung mittels Bohrlochrosetten (stationär und mobil)
- Laser-Messvorrichtung für Oberflächengeometrie, zum Beispiel für
 - Schweißnahtkonturen
 - Plattendeformationen (linienförmig)
- Digitales Bildverarbeitungssystem zur Messung von Oberflächengeometrien und Dehnungen

Statische und dynamische Messungen

- Individuelle mehrachsige dynamische und statische Prüfstände mit servohydraulischen Zylindern
 - Prüfstand für Traglasten bis 4.000 kN
 - Reibprüfstand mit zwei und drei Lastkomponenten
- Stationäre und mobile Mehrstellenmessanlagen für gängige physikalische Größen wie beispielsweise Wege, Kräfte, Dehnungen, Temperatur
 - Messung von Beanspruchungen im Seegang
 - Schnelle dynamische Messungen (Schwingungen)
 - Langzeitmessungen





Einzyylinder Forschungsmotor

Prof. Dr.-Ing Friedrich Wirz

Arbeitsgruppe Schiffsmaschinenbau
Schwarzenbergstraße 95
21073 Hamburg
Tel.: +49 (0)40 42878-4661, Fax: +49 (0)40 42878-6139
E-Mail: wirz@tuhh.de

FORSCHUNGSARBEIT IM SCHIFFSMASCHINENBAU

In the foreseeable future merchant vessels will be propelled mainly by diesel engines with power outputs up to 80,000 kW. The conflict between fuel efficiencies and emission limits requires more research work. Experimental and theoretical investigations are aimed at reducing the NO_x emissions by using alternative fuels. In order to gain insight into the performance of a ship's engine running on natural gas, a medium-speed four-stroke engine is to be modified. After the conversion, theoretical and practical tests will be carried out with the objective of safe operation, especially under part load conditions.

Vor etwa 100 Jahren wurde das erste Schiff mit einem Dieselmotor ausgerüstet. Aufgrund der Zuverlässigkeit und des geringen Kraftstoffverbrauchs hat sich der Dieselmotor als Antrieb für Handelsschiffe fast vollständig durchgesetzt. Auf größeren Schiffen treiben entweder mittelschnell laufende Viertaktmotoren oder langsam laufende Zweitaktmotoren die Verstell- beziehungsweise Festpropeller an. Bei den kompakten Viertaktmotoren, die bis zu 20.000 kW leisten, halten die deutschen Motorenhersteller eine Spitzenposition im internationalen Markt.

Zum Antrieb der großen Tanker, Massengutfrachter und Containerschiffe werden Zweitaktmotoren verbaut, deren Kurbelwellen sich 100- bis 200-mal pro Minute drehen. Diese Großdieselmotoren weisen mit über 50 % die höchsten Wirkungsgrade aller Antriebsmaschinen auf (Bild 1). Effiziente Abgasturboaufladung, variable Ventilsteuerzeiten und elektronisch gesteuerte Hochdruck-Einspritzanlagen sind einige der innovativen Konstruktionsmerkmale moderner Großdieselmotoren.

Die Zweitaktmotoren leisten bis zu 82.000 kW (circa 111.500 PS), die erforderlich sind, um die größten Containerschiffe, die bis zu 18.300 Container (TEU) tragen, mit Geschwindigkeiten von fast 26 kn (knapp 50 km/h) über die Weltmeere zu bewegen. Um den Entwicklungsstand der in Schiffen oder Kraftwerken eingebauten Großdieselmotoren einschätzen zu können, ist zu berücksichtigen, dass trotz der Verbrennung minderwertiger Raffinerierückstände eine Lebensdauer von etwa 20 Jahren üblich ist.

FORSCHUNGSVORHABEN

Angesichts der gestiegenen Energiekosten bemühen sich die Motorenhersteller und Forschungsinstitute, den Kraftstoffverbrauch weiter zu senken. Hier zeichnen sich allerdings die Grenzen deutlich ab, denn die dafür erforderlichen hohen Gastemperaturen belasten die Bauteile und steigern die Stickoxidbildung erheblich. Dieser Zielkonflikt - Wirkungsgrad gegen Umweltverträglichkeit - trat in den letzten zwei Jahrzehnten in den Vordergrund. Vor allem durch die strengen Auflagen für Kraftwerke und Straßenfahrzeuge erhöhte sich der relative Anteil der Schiffsantriebe an der globalen Luftverschmutzung. Man geht davon aus, dass der Schiffsverkehr zu 10 bis 15 % an den Stickoxidemissionen und zu 5 bis 10 % am Schwefeldioxid-Ausstoß beteiligt ist. In Regionen mit hohem Schiffsverkehr können sich diese Anteile verdoppeln.

Der Konflikt zwischen Kraftstoffverbrauch und Umweltbelastung ist ein wesentlicher Faktor für die inhaltliche Ausrichtung zukünftiger Forschungsprojekte der Arbeitsgruppe Schiffsmaschinenbau.

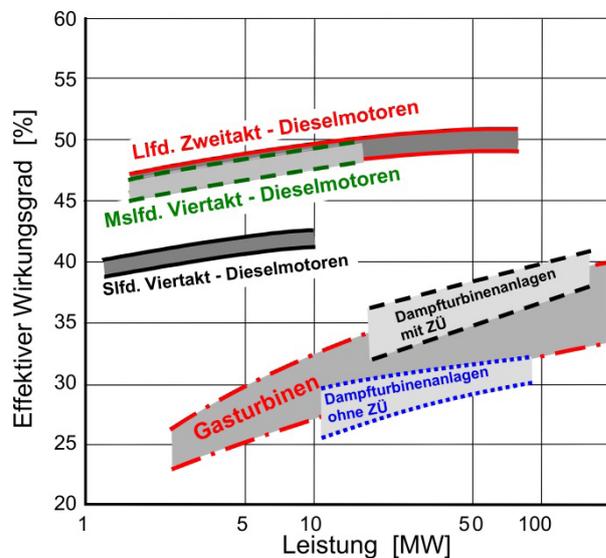
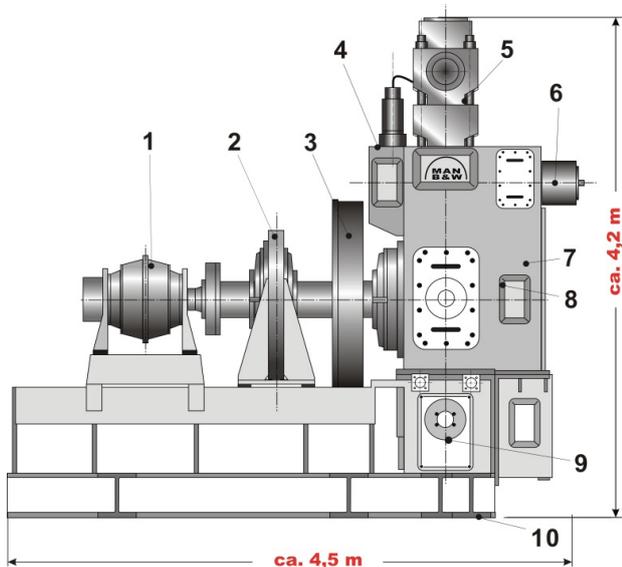


Bild 1: Wirkungsgrade von Antriebsmaschinen

Heutzutage werden Viertakt-Schiffsmotoren nahezu ausschließlich über ein Untersetzungsgetriebe mit einem Verstellpropeller (CPP) verbunden. Dieser ermöglicht es dem Motor, die benötigte Antriebsleistung in einem beliebigen Verhältnis von Drehzahl und Drehmoment bereitzustellen, sodass das entsprechende Motorkennfeld vollständig ausgenutzt werden kann. Die hydrodynamische Effizienz der Propulsion ist bei geringen Schiffsgeschwindigkeiten genau dann besonders hoch, wenn die benötigte Leistung bei einer geringen Propellerdrehzahl und einem hohen Drehmoment erzeugt wird. Die Optimierung der Motoren auf deren Nennbetriebspunkt hatte den Wunsch nach immer höheren Nutzmitteldrücken zur Folge. In der technischen Umsetzung wurden einstufige Turbolader entwickelt, die mit Druckverhältnissen von 4-5 einen entsprechend hohen Ladeluftdruck bereitstellen können. Ein entscheidender Nachteil dieser Optimierungsmaßnahme ist ein immer schmaler werdendes Motorkennfeld.

Durch Verwendung dieser Turbolader kann es gerade im Teillastbereich, vor allem wenn der Motor bei einer geringen Drehzahl und hohem Drehmoment betrieben werden soll, zum „Verdichterpumpen“ kommen. Zudem sinkt der Ladedruck stark ab, was eine erhöhte thermische Belastung des Motors sowie Rauchentwicklung zur Folge hat. Da der Teillastbetrieb anders als bei Stationäranwendungen im Schiffsbetrieb den Regelfall darstellt, wird



- 1 Wasserbremse
- 2 Zwischenlager
- 3 Schwungrad
- 4 Montageplatz für größere Einspritzpumpe
- 5 Zylinderkopf
- 6 Verstellvorrichtung Nockenwelle
- 7 Motorgehäuse (geschweißt)
- 8 Rädertrieb
- 9 Massenausgleich 1. und 2. Ordnung
- 10 Fundamentrahmen

Derzeitige Motordaten

Bohrung:	320 mm
Kolbenhub:	400 mm
Nenn Drehzahl:	750 min ⁻¹
Nutzmitteldruck:	26 bar
Zylindermaximaldruck:	250 bar
Zylinderleistung:	520 kW

Bild 2: Einzyylinder – Forschungsmotor

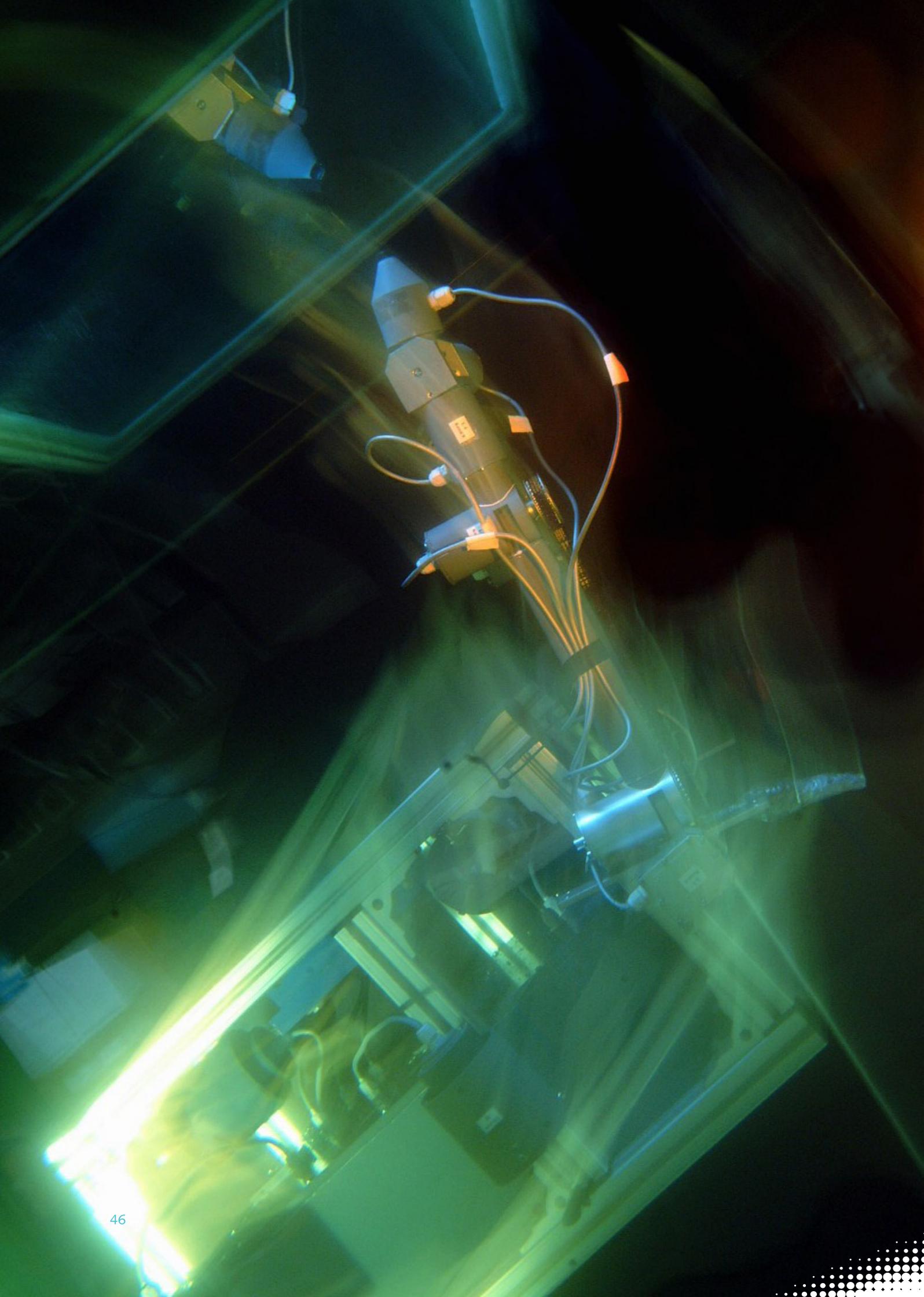
die Arbeitsgruppe Schiffsmaschinenbau unter Anwendung wissenschaftlicher Methoden nach Möglichkeiten suchen, um die Effizienz im Teillastbetrieb zu steigern und somit den Kraftstoffverbrauch und die Emissionen zu reduzieren.

Eine weitere Möglichkeit, den Anteil der bei der Verbrennung entstehenden Schadstoffe zu senken, ist die Verwendung alternativer Kraftstoffe. In der Schiffsanwendung zeichnet sich hierbei ein Trend zum Einsatz von verflüssigtem Erdgas (LNG) als Energieträger ab. Ein wesentlicher Vorteil des Erdgases liegt in dessen chemischem Aufbau. Erdgas ist nahezu schwefelfrei und besitzt verglichen mit den konventionellen Kraftstoffen einen deutlich geringeren Kohlenstoffanteil. Diese „chemische Architektur“ führt dazu, dass sich die bei der Verbrennung entstehenden CO-, CO₂- und SO₂-Emissionen signifikant reduzieren lassen. In der ottomotorischen Verbrennung, die bei erdgasbetriebenen Viertaktmotoren üblich ist, fallen zudem deutlich geringere Stickoxidemissionen an.

Diesen Trend aufgreifend, sollen durch theoretische und experimentelle Untersuchungen Erkenntnisse über das Betriebsverhalten und die Potenziale eines mittelschnell laufenden Viertakt-Motors unter Verwendung von Erdgas als Brennstoff gewonnen werden. Im Fokus steht hierbei

neben dem Einfluss des Ladedrucks im Teillastbetrieb vor allem das Klopfverhalten, das bei der ottomotorischen Verbrennung eine weitere Einschränkung des Kennfelds darstellt. Da es sich bei Erdgas um ein Naturprodukt handelt, dessen Qualität im Gegensatz zu flüssigen Kraftstoffen schwankt, sollen darüber hinaus die Auswirkungen einer sich ändernden Gaszusammensetzung auf den Motorbetrieb untersucht werden.

Für die experimentellen Untersuchungen steht ein - dem Stand der Technik entsprechender - Einzyylinder Forschungsmotor (Typ AVL/MAN 32/40DF) zur Verfügung, der nach dem Diesel-Verfahren arbeitet (Bild 2). In der Ursprungsconfiguration wird bei einer Drehzahl von 750 min⁻¹ eine mechanische Leistung von 520 kW an der Kurbelwelle abgegeben. Durch Fremdaufladung werden Ladeluftdrücke von über 5 bar erreicht. Der Motor verfügt über eine eingebaute Nockenwelle, die ein breites Spektrum unterschiedlicher Ventilsteuerzeiten ermöglicht. Des Weiteren ist ein Abgasrückführsystem verbaut, welches es ermöglicht, der Verbrennung Teile des Abgasmassenstroms zuzuführen. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens soll dieser Motor durch umfangreiche Umbaumaßnahmen zusätzlich für die ottomotorische Verbrennung von Erdgas ertüchtigt und anschließend die genannten Zusammenhänge untersucht werden.





Containerbrückenversuchsstand

Prof. Dr.-Ing. habil. Edwin Kreuzer

Institut für Mechanik und Meerestechnik
Eißendorfer Straße 42
21073 Hamburg
Tel.: +49 (0)40 42878-3020, Fax: +49 (0)40 42878-2028
E-Mail: kreuzer@tuhh.de
www.tuhh.de/mum

Dr.-Ing. Marc-André Pick

Institut für Mechanik und Meerestechnik
Eißendorfer Straße 42
21073 Hamburg
Tel.: +49 (0)40 42878-3020, Fax: +49 (0)40 42878-2028
E-Mail: pick@tuhh.de
www.tuhh.de/mum

MECHANIK UND MEERESTECHNIK

Mechanics is the science of forces and motion. Following that definition, systems in ocean engineering are first and foremost mechanical systems because forces (sometimes tremendous in strength) act on every offshore structure, and there is usually motion involved. Often the motion is controlled, like with container cranes or ships on programmed paths. In some cases motion is unwanted or even uncontrolled, such as the capsizing of a ship or floating platform. Ocean Engineering is a never ending source of challenging problems for fundamental research on mechanics, therefore most of the research topics at the Institute of Mechanics and Ocean Engineering are motivated from this field.

At first glance the research topics seem to be very different: prediction of capsizing, efficient and exact modelling of natural seas, safety assessment of offshore wind turbine installation, localization of contaminating sources by autonomous underwater vehicles, and even critical motion of container cranes. However, all these topics share common roots in mechanics: they represent dynamical systems and exhibit strong nonlinearities that recent analysis tools have not yet accounted for. At this point, the basics for more powerful computational tools are under development for making ocean engineering safer and better.

ROLLING HOME – WIE KOMMEN PASSAGIERE UND PRODUKTE SICHER ANS ZIEL?

Nahezu drei Viertel der weltweit produzierten Güter werden auf ihrem Weg zum Kunden über See transportiert. Dem Wachstum des Welthandels steht eine Verdoppelung der Flottenkapazität bei Containerschiffen innerhalb der letzten zehn Jahre gegenüber, die im Wesentlichen durch die Steigerung der Containertragfähigkeit erreicht wurde. In jüngster Vergangenheit kam es jedoch häufiger zu Schäden und Ladungsverlusten an Bord großer Containerschiffe, in Einzelfällen mit Schadenssummen bis zu 100 Millionen US-Dollar. Diese Unfälle – hervorgerufen durch sogenanntes parametrisches Rollen – verdeutlichen, dass die bestehenden Bau- und Sicherheitsvorschriften dem dynamischen Bewegungsverhalten von Schiffen im Seegang nicht hinreichend Rechnung tragen. Vor diesem Hintergrund entstehen am Institut für Mechanik und Meerestechnik grundlegende Arbeiten zur Vorhersage und zur Verbesserung des Bewegungsverhaltens und der Kintersicherheit moderner Schiffstypen im Seegang.

PARAMETRISCHES ROLLEN

Für den effizienten Transport spezifisch leichter Ladung (Container, Fahrzeuge und Sattelaufleger) wurden Schiffstypen mit schlankem, widerstandsgünstigem Unterwasser- und weit ausfallendem Überwasserschiff entwickelt. Die besondere Gefahr dieser modernen Schiffstypen liegt darin, dass die in vor- und achterlicher See auftretenden starken, aber verkraftbaren Tauch- und Stampfbewegungen des Schiffs unter bestimmten Bedingungen ohne Ankündigung in heftige Schwingungen um die Längsachse umschlagen können. Die Schiffsführung hat dabei keine Chance, hinreichend schnell Gegenmaßnahmen, etwa in Form von Kursänderungen, zu ergreifen. Diese parametrischen Rollschwingungen können zu Beschädigung, Verrutschen oder Verlust der Ladung oder zum Ausfall von Antriebs- und Steuerungsorganen des Schiffs führen.

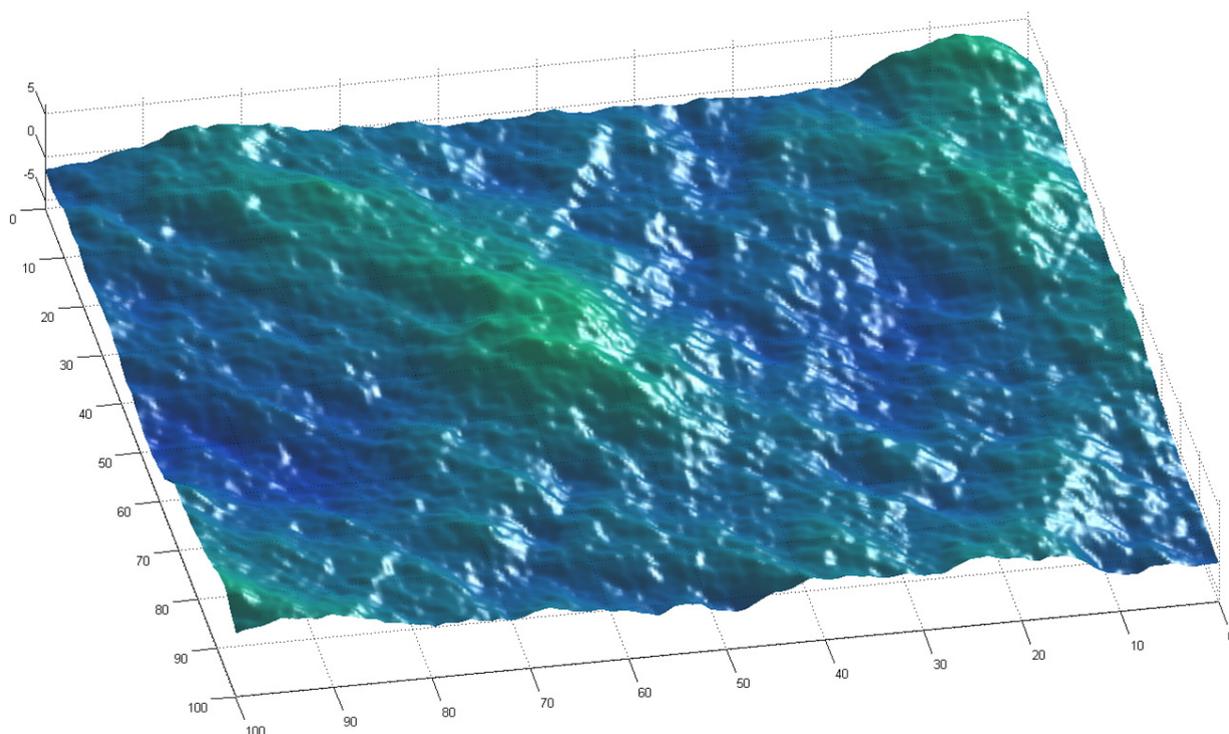


Bild 1: Natürlicher Seegang

Die Kriterien der International Maritime Organization (IMO) zur Bewertung der Intakstabilität von Schiffen beschränken sich auf Betrachtungen der Schwimmstabilität in ruhigem Wasser und lassen die schiffsspezifische Dynamik im Seegang unberücksichtigt. Der derzeitige Stand der Vorschriften demonstriert die Schwierigkeiten, eine allgemein anerkannte Grundlage zur Bewertung der dynamischen Schiffsstabilität zu finden, da neben den komplexen Wechselwirkungen zwischen Schiff und Wellen auch der unregelmäßige Charakter des natürlichen Seegangs (Bild 1) zu berücksichtigen ist. Die erwähnten Unfälle sind ebenso unvorhersehbar wie fatal, so dass die Notwendigkeit besteht, Mindestanforderungen gegen das Auftreten extremer Rollbewegungen im Seegang zu definieren. Es werden neue Methoden entwickelt, mit deren Hilfe funktionale Abhängigkeiten zwischen Schiffs- und Umgebungsparameter hinsichtlich der Gefährdung eines Schiffs durch parametrisches Rollen (Bild 2 und 3) ermittelt werden können. Diese Methoden basieren

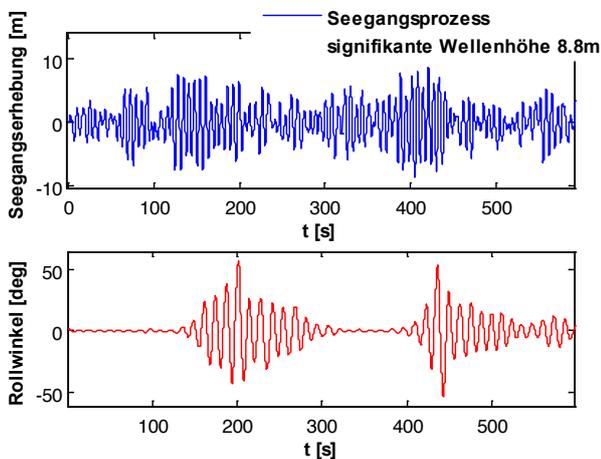


Bild 2: Parametrisches Rollen – Messdaten

zwangsläufig auf der Theorie stochastischer Prozesse. Die Entwicklung eines Berechnungsverfahrens zur Schiff-Wellen-Interaktion dient der Validierung probabilistischer Modelle.

KENTERN RECHNET SICH NICHT

Ein kenternes Schiff ist in aller Regel ein zu vermeidender Betriebsfall, und der klassische Schiffbau beschäftigt sich auch weitestgehend mit aufrecht schwimmenden Schiffen. Ohne ein tief greifendes Verständnis des Kentervorgangs sind wirklich ausfallsichere Schiffe und schwimmende Strukturen mithin schlecht möglich. Modellversuche oder gar Versuche mit realen Schiffen zur Kentersicherheit sind sehr teuer, sofern überhaupt durchführbar. Numerische Kenteranalysen von Schiffen werden so zu einem wichtigen Instrument zur Bewertung des Seegangsverhaltens und zur Definition von Einsatzgrenzen. Um eine umfassende Stabilitätsanalyse unter allen möglichen Bedingungen durchzuführen, würden jedoch selbst effiziente Analysen auf heute verfügbaren Computern ein Vielfaches der Lebensdauer eines Schiffs benötigen, weil die mathematischen Modelle, welche die Dynamik der schwimmenden Strukturen bei Seegang vollständig beschreiben, einen enorm großen Rechenaufwand erfordern.

In Anlehnung an verwandte Probleme aus der Dynamik werden analytische Methoden entwickelt, welche die mathematischen Modelle handhabbar für numerische Analysen machen, ohne von vornherein bestimmte Phänomene aus der Modellierung auszuschließen. Dieses Vorgehen erfordert eine enge Verzahnung zwischen Berechnung und Versuch, da die Methoden immer an den Ergebnissen



Bild 3: Parametrisches Rollen – Modelluntersuchungen im Wellentank

der Praxis gemessen werden müssen. Hierfür ist eigens ein Versuchsträger entwickelt worden, mit dessen geregtem Antrieb verschiedene Betriebs- und Anregungszustände zuverlässig wiederholbar bei minimaler Störung der Körperumströmung eingestellt werden können. Zukünftig soll sich Kentern also – am Computer – rechnen (lassen), damit den Betreibern und Konstrukteuren neuer Schiffe zuverlässige Auslegungswerkzeuge zur Erhöhung der Betriebssicherheit der Schiffe zur Verfügung stehen.

SICHERHEIT FÜR DIE INSTALLATION UND DEN BETRIEB VON OFFSHORE-WINDKRAFTANLAGEN

Die deutschen Offshore-Windparks werden fast ausschließlich in großem Abstand von der Küste errichtet. Raues Wetter und Seegang erschweren die Installation erheblich, so dass die Installationsprozesse derzeit nur an etwa 120 Tagen pro Jahr durchgeführt werden können. Das hat lange Perioden zur Folge, in denen keine Arbeiten stattfinden. Einer der Schlüsselfaktoren für den Erfolg der Offshore-Windenergie ist die Reduktion der Installations- und Wartungszeiten der Anlagen. Mathematische Ersatzmodelle können genutzt werden, um die Grenzwerte und Bedingungen des sicheren Betriebs vorherzusagen. So lassen sich Stellschrauben zur Steigerung der Effizienz identifizieren. Die Schwierigkeiten bei der Entwicklung der Berechnungsverfahren liegen in der sehr aufwändigen Bestimmung der Fluid-Struktur-Wechselwirkung sowie in der Unregelmäßigkeit des natürlichen Seegangs.

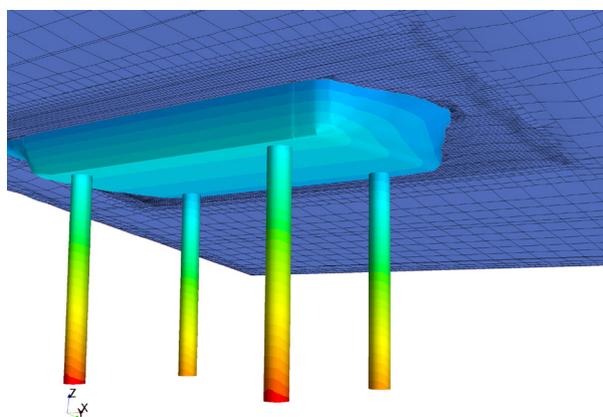


Bild 4: Numerische Simulation eines Errichterschiffs im Seegang während der Gründung der Beinstrukturen

Eines der wichtigsten maritimen Systeme zur Installation und Wartung von Offshore-Windparks ist das Errichterschiff. Errichterschiffe arbeiten unabhängig vom Seegang, da sie am Einsatzort auf Beinen stehen, die bis zum Meeresboden reichen. Die Beine sind während der Fahrt des Schiffs eingezogen und werden an der vorgesehenen Position abgesenkt. Wenn die Beine erfolgreich am Meeresboden gegründet wurden, nehmen sie wie ein Pfahl Lasten auf, so dass das gesamte Errichterschiff auf diesen Beinen steht und aus dem Wasser gehoben wird, je nach Wellengang 10-20 m hoch. Dieser Gründungsvorgang ist ein kritischer Prozess während der Installationsphase, weil es zu Stößen der Beine mit dem Meeresgrund kommt, wenn die Beine fast abgesenkt sind und sich das Schiff im Seegang bewegt. Dabei sind die Beine großen Kräften ausgesetzt, und die Schwimmstabilität des Schiffs verändert sich mit jedem Stoß schlagartig. Das Institut für Mechanik und Meerestechnik beschäftigt sich mit der Vorhersage kritischer Seegangszustände, bei denen eine Installation mit Errichterschiffen gerade noch sicher durchgeführt werden kann (Bild 4). Dadurch sollen die Produktivität und die Sicherheit bei der Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen erhöht werden.

AUTONOME UNTERWASSERFAHRZEUGE IM INTELLIGENT VERNETZTEN FLOTTENVERBUND - MESSUNG UND VORHERSAGE VON SCHADSTOFFAUSBREITUNG IN INSTATIONÄREN STRÖMUNGSFELDERN

Desaströse Ereignisse im maritimen Umfeld kommen immer wieder vor und sind nicht auszuschließen. Die Folge ist häufig ein Austritt von Gefahrenstoffen wie Öl, Chemikalien oder radioaktivem Material. Um gezielter auf solche Ereignisse reagieren zu können, ist es unabdingbar, die Ausbreitung dieser Stoffe kontinuierlich zu beobachten. Da sich die Stoffe jedoch unter Wasser in einem dreidimensionalen Raum mit unbekanntem Strömungen ausbreiten, die zudem durch Wettereinflüsse oder Gezeiten kontinuierlich geändert werden, sind punktuelle Messungen nicht ausreichend, um die Schadstoffverteilung hinreichend genau zu erfassen.

Ein Schwarm von autonomen Unterwasserfahrzeugen soll in solchen Fällen eingesetzt werden, um die Schadstoffquelle in kürzester Zeit ausfindig zu machen. Zudem soll die Verteilung der Gefahrenstoffe in einer parallel zur Messung laufenden Strömungssimulation abgebildet werden, indem kontinuierlich die Messwerte der Fahrzeuge die Simulation korrigieren und durch den Einsatz numerischer Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics, CFD) die gesamte Schadstoffverteilung vorhergesagt wird (Bild 5). Aus dieser Vorhersage werden wiederum neue Routen für die einzelnen Fahrzeuge bestimmt, damit der Schwarm an den Positionen misst, wo der Fehler der Strömungssimulation am größten ist. Da viele Daten und Messwerte nicht genau bekannt sind, werden am Institut für Mechanik und Meerestechnik Algorithmen entwickelt, die diese Unsicherheiten in den Modellen berücksichtigen. Dadurch kann einerseits eine sehr viel bessere Vorhersage getroffen werden, andererseits kann aber auch abgeschätzt werden, wie groß die zu erwartenden Fehler in den jeweiligen Regionen der Vorhersage sind.

Die Entwicklung und Fertigung von Unterwasserfahrzeugen ist ebenso Teil dieses Projekts, um die Algorithmen in einer Versuchsumgebung zu validieren (Bild 6). Die Herausforderungen sind dabei so vielfältig, dass das Know-How aus unterschiedlichsten Ingenieursdisziplinen erforderlich ist, um Unterwasserfahrzeuge mit einer hohen Dynamik und robusten Kommunikationsfähigkeiten zu entwickeln.

Bild 5: In einem instationären Strömungsfeld mit vier Unterwasserfahrzeugen nähert sich die Simulation durch Messungen der Realität an

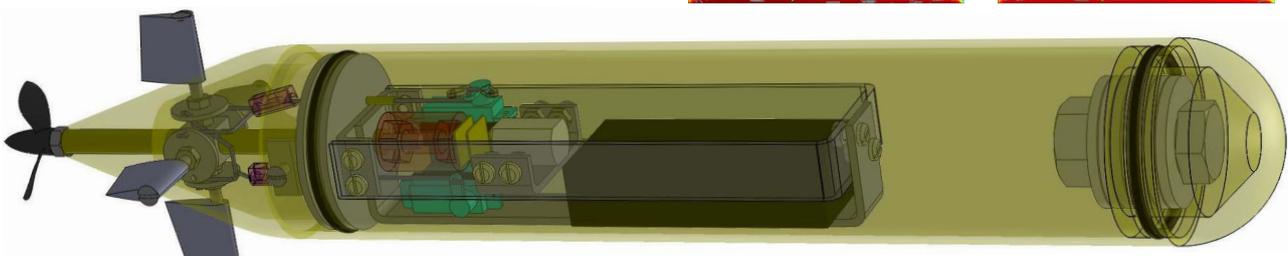
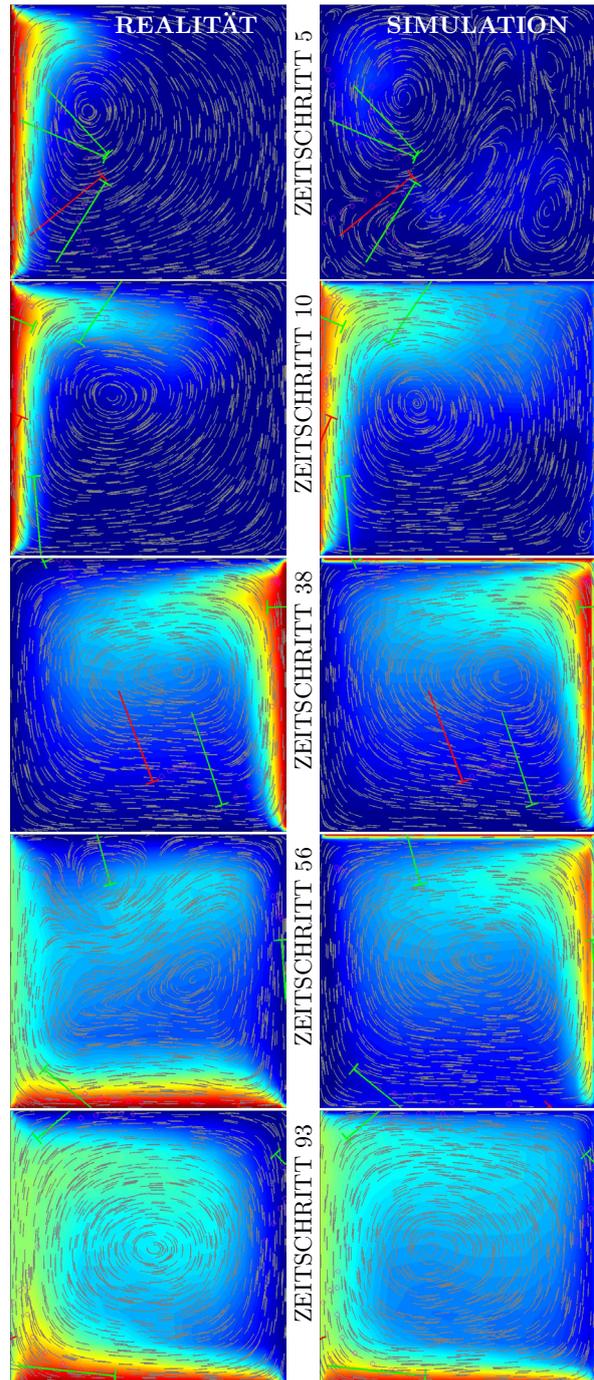


Bild 6: Der Prototyp eines autonomen Unterwasserfahrzeugs für die experimentelle Validierung der Algorithmen

CONTAINER SCHNELL, SANFT UND SICHER BEWEGT

Das Schwingungsverhalten eines Containerkrans wird mit dem Ziel untersucht, den Umschlagsprozess durch Anwendung moderner Regelungstechnik zu verbessern. Der Containerumschlag wächst mit der Globalisierung stark an und Prognosen sagen eine weitere Zunahme der in Containern transportierten Güter voraus. Liegezeiten werden verkürzt, wenn große Containermengen mit Containerkränen schnell und effizient gelöst werden können. Containerbrücken werden heute meist von einem Fahrer bedient, der von der Laufkatze aus den Kran entlang der Kaimauer, die Laufkatze entlang des Auslegers sowie das Hubwerk steuert. Assistenzsysteme können dabei die Arbeit erleichtern, bergen zudem Verbesserungspotenziale hinsichtlich ihrer Bedienung, Leistungsfähigkeit und Sicherheit. Zur Erhöhung der Sicherheit sind Systeme denkbar, die Gefahren erkennen und davor warnen oder eingreifen, solange Schäden noch verhindert werden können. Solche Systeme müssen in erster Linie die Beschädigung des Krans durch Kollision mit Hindernissen wie zum Beispiel anderen Fahrzeugen ausschließen. Weiterhin sollte auch die Beschädigung der transportierten Güter durch starke Beschleunigung des Containers (besonders durch Stöße beim Aneinanderschlagen oder Absetzen) verhindert und der Komfort des Fahrers sowie die Lebensdauer des Krans erhöht werden. Dabei kommen Methoden der Technischen Schwingungslehre, besonders der Dynamik von Mehrkörpersystemen zum Einsatz, um das Verhalten des Containers zu beschreiben. Mit dem Ziel, den Umschlagszyklus zu verbessern, werden moderne Steuerungs- und Regelungsalgorithmen untersucht und weiterentwickelt. Vorgehensweisen aus der robusten und nichtlinearen Regelung finden Anwendung, wobei auch die Regelung von stochastischen, also unsicheren Prozessen in Betracht gezogen wird. Dadurch kann auch Einflüssen wie Wind oder etwaigen Bedienfehlern des Fahrers Rechnung getragen werden. So werden beispielsweise unerwünschte Drehungen der Last, die etwa bei ungleichmäßiger Beladung der Container (oder durch Verhaken und plötzliches Lösen des Containers) entstehen können, modelliert und in Simulationen untersucht. In einem Teilprojekt wird der Umschlagsprozess von Tankcontainern mit verschiedenen Füllständen (Bild 7) untersucht. Auf Basis



Bild 7: Halb gefüllter Tankcontainer am Versuchstand des Instituts für Mechanik und Meerestechnik

von Dynamikmodellen, die die Fluidbewegung sowie die daraus resultierenden Kräfte beschreiben, werden nichtlineare Regler entwickelt. Diese können den aktuellen Bewegungszustand des Fluids bestimmen und die Kransteuerung entsprechend beeinflussen. Berechnungs- und Simulationsergebnisse werden durch Experimente am Containerbrückenversuchsstand im Institut für Mechanik und Meerestechnik validiert.

INSTITUTSAUSSTATTUNG

Am Institut werden unter anderem zur Validierung von entwickelten Methoden und Simulationsverfahren experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Hierfür stehen beispielhaft folgende Versuchseinrichtungen zur Verfügung:

Wellenkanal

- Länge: 15 m
- Breite: 1,6 m
- Tiefe: 1,3 m

Die am Institut entwickelte Ansteuerung der Wellenklappe ermöglicht eine freie Programmierung der Bewegung.

Ausstattungsmerkmale

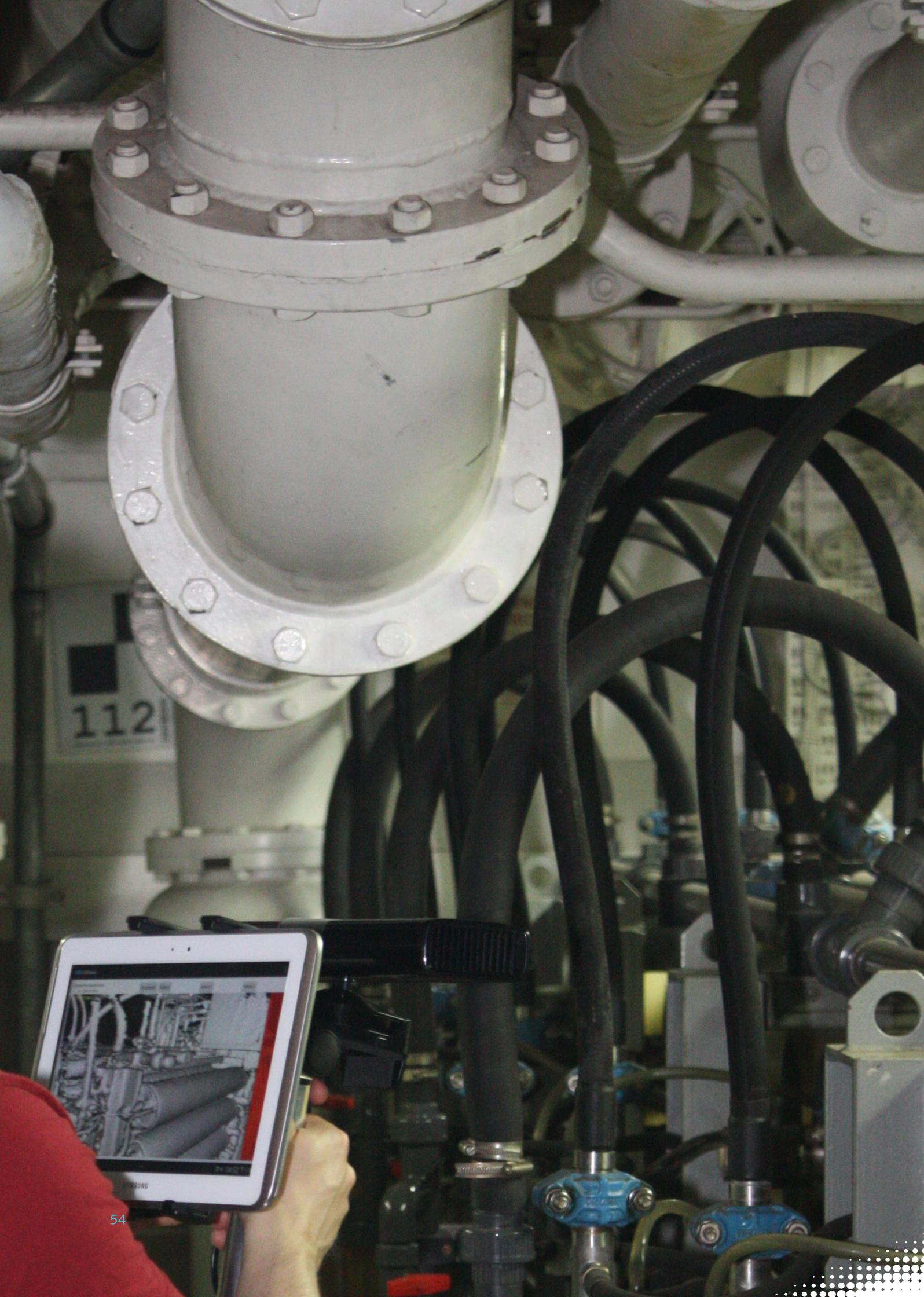
- Wellensonden zur Messung der Höhe und Neigung der Wasseroberfläche
- Integriertes Positions- und Lagemesssystem für schwimmende Strukturen basierend auf einer Stereokamera und einer Inertialmeseinheit
 - Die Winkelauflösung arbeitet mit einer Genauigkeit von $1/100^\circ$ und die Wegauflösung mit $1/10$ mm
 - Die Messdaten stehen mit einer Latenz von 4 ms in Echtzeit bei einer Rate von 228 Werten pro Sekunde zur Verfügung

Modalanalysesystem "PULSE" von Brüel & Kjær

28 Eingangskanäle, mehrere Modalhämmer, Modalerreger und Schwingungsregler

Containerkranversuchsstand

- Abbildung der Bewegungsmöglichkeit einer realen Containerbrücke im Maßstab 1:6
- Verfahrweg der Laufkatze bis zu 15 m, Hubhöhe 11 m
- Stereokamerasystem zur externen Bestimmung der Containerposition



112



Bild 1: Virtual-Reality-Darstellung eines Maschinenraums

Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding

Institut für Produktionsmanagement und -technik
Denickestraße 17
21073 Hamburg
Tel.: + 49 (0)40 42878-3033, Fax: +49 (0) 40 42878-2295
E-Mail: ipmt@tuhh.de
www.tuhh.de/ipmt

Dr.-Ing Axel Friedewald

Institut für Produktionsmanagement und -technik
Denickestraße 17
21073 Hamburg
Tel.: + 49 (0)40 42878-3133, Fax: +49 (0)40 42878-2295
E-Mail: friedewald@tuhh.de
www.tuhh.de/ipmt

PRODUKTIVITÄT – EINE VORAUSSETZUNG FÜR DIE WETTBEWERBSFÄHIGKEIT DER MARITIMEN WIRTSCHAFT

The Institute of Production Management and Technology (IPMT) has been working on a large number of research projects in the maritime industry for more than 25 years. The institute's activities are focussed on the productivity of shipyards' and suppliers' processes. In this context, information and communication technologies play an important role. Current research topics of the institute are productivity management, virtual and augmented reality for new and refitted ships as well as planning methods enabling robust production simulation.

Das Institut für Produktionsmanagement und -technik der TUHH beschäftigt sich seit über 25 Jahren mit ausgewählten Aufgabenstellungen in der maritimen Wirtschaft. Dabei steht die Produktivität der Werftprozesse ebenso wie die der Zuliefererprozesse für Schiffsneubau und Retrofit im Mittelpunkt der Untersuchungen. Eine wichtige Rolle in diesem Zusammenhang spielen moderne IuK-Techniken. Alle Projekte haben zum Ziel, die Wirtschaftlichkeit der Unikatproduktion durch zielorientierte, effiziente Planungs-, Fertigungs- und Montageprozesse messbar zu steigern.

KUNDENINTEGRIERTE ANGEBOTSERSTELLUNG

Die Zufriedenheit von Reedereien und öffentlichen Auftraggebern mit den Produkten und Leistungen von Werften und Zulieferern macht aus Käufern Wiederkäufer und aus Interessenten Neukunden. Langfristige Geschäftsbeziehungen können dadurch entstehen, dass die Werften Mehrwerte für ihre Kunden schaffen, die von der ausländischen Konkurrenz nicht angeboten werden. Dieser Mehrwert kann dem Kunden bereits in der Angebotsphase durch das „Erleben“ des Produkts verdeutlicht werden, sei es ein Neubau oder der Retrofit spezifischer Komponenten.

Eine Möglichkeit dazu ist die 3D-Darstellung des Schiffs in der virtuellen Realität, **Virtual Reality (VR)**. Mit VR lassen sich großvolumige und komplexe Produktmodelle bereits vor Baubeginn realitätsnah „begreifen“. Dem Anwender wird dabei ein dreidimensionaler Eindruck des jeweiligen Modells vermittelt. Er kann sich frei innerhalb der projizierten Modellwelt bewegen und verschiedene Betrachtungsperspektiven einnehmen (Bild 1). Durch geeignete Interaktionsmöglichkeiten und intuitive Bedienung der VR-Technologie lässt sich der Kunde frühzeitig in die Produktentstehungsprozesse einbeziehen und das Produkt optimal auf seine Belange abstimmen: So kann der Reeder eines Kreuzfahrtschiffs fertig eingerichtete Passagierkabinen besichtigen oder die Wartungsfreundlichkeit des Maschinenraums überprüfen, bevor das Schiff auf Kiel gelegt wurde. Der teure und zeitraubende Bau physischer Modelle – sogenannte Mockups – entfällt. Gleichzeitig erhöht sich die Planungssicherheit für die Werft, da Änderungswünsche der Kunden frühzeitig erkannt, Spezifikationslücken geschlossen und Änderungsprozesse entsprechend eingeplant werden können.

Die Visualisierung unterstützt aber nicht nur beim Neubau eines Schiffs. Vielmehr können unterschiedliche Planungsalternativen und damit das Know-how und die Problemlösungskompetenz für konstruktive Änderungen in der Betriebsphase eines Schiffs auch vor Ort, an Bord des Schiffs, verdeutlicht werden. Ein Hilfsmittel dazu ist die **Augmented Reality (AR)**, bei der die realen Objekte, also die Baugruppen des Schiffs, auf einem Tablet Computer oder einer sogenannte AR-Brille, mit virtuellen Objekten

überlagert werden. Bild 2 zeigt dazu ein Beispiel aus der Angebotsphase für die Nachrüstung eines Schiffs mit Abgasreinigungstechnik: Die neu zu verbauenden Komponenten werden im bestehenden Abgasschacht eines Schiffs dargestellt. Dadurch kann der Betreiber überprüfen, ob die Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten seine Anforderungen erfüllt. Gegebenenfalls können Anbieter und Kunde gemeinsam die Einbauposition noch verändern oder mehrere Einbauvarianten einander gegenüberstellen. Erste Evaluierungen belegen eine hohe Kundenakzeptanz für diese Vorgehensweise.

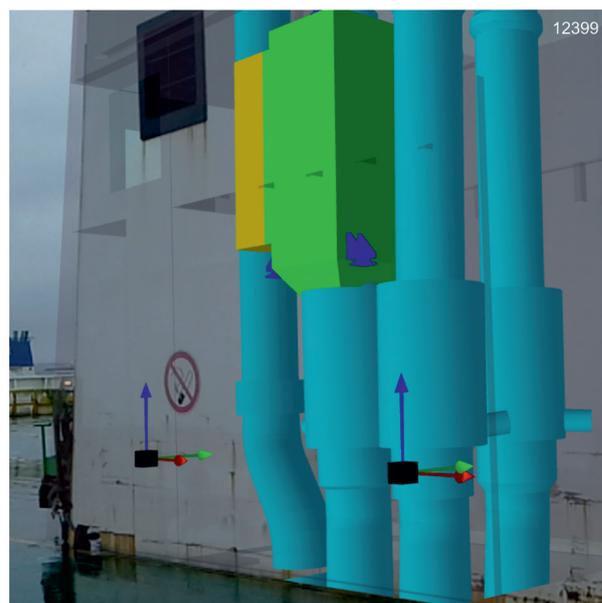


Bild 2: Augmented-Reality-Darstellung einer Abgasnachbehandlungsanlage als Retrofit

PRODUKTIVITÄT ERHÖHEN

In der schiffbaulichen Unikatfertigung kommt der Informationsversorgung eine Schlüsselrolle zu: Produktivitätsanalysen zeigen, dass die Werker häufig mehr Zeit damit verbringen, die erforderlichen Informationen zu sammeln, als sie für die eigentliche Durchführung der Arbeit benötigen (Bild 3). Darüber hinaus sind die Beschaffung von Material und Hilfsmitteln sowie die Bauteil- und Bauplatz-vorbereitung relevant.

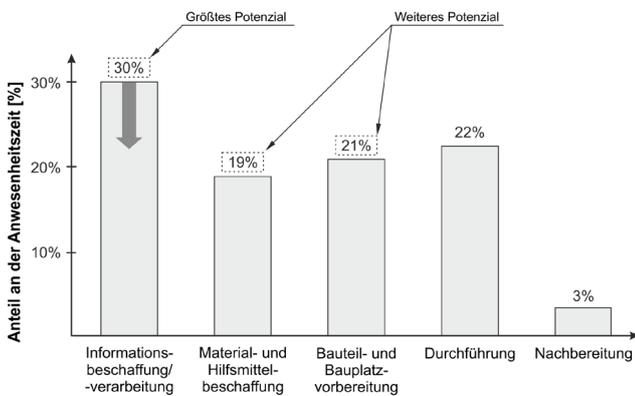


Bild 3: Verteilung und Potenziale der Mitarbeiterzeiten in der Unikatfertigung (gemittelte Werte aus 12 Fertigungsbereichen verschiedener Werften)

Die dargestellten gemittelten Werte wurden mit Hilfe einer neu entwickelten Methode zur Produktivitätsmessung für ein maritimes Produktionssystem gewonnen, die auch für Benchmarks im nationalen und europäischen Rahmen eingesetzt wird. Die Methode ermöglicht es darüber hinaus, die Wirkung von Verbesserungsmaßnahmen abzuschätzen. So bietet der Einsatz von AR-Technik die Möglichkeit, die Zeitanteile für die Informationsversorgung signifikant zu senken. Zu beachten ist dabei allerdings, dass bei der Unikatproduktion, wie sie in Deutschland im Schiffbau vorherrscht, nicht der selbe Aufwand in die Produktionsvorbereitung gesteckt werden kann wie bei einer Serienfertigung, die man zum Beispiel im Automobilbau antrifft. Das Augenmerk der Arbeiten zur Produktivitätssteigerung muss daher darauf liegen, die Gesamtproduktivität zu erhöhen, was auch die Tätigkeiten in der Engineeringphase einschließt (Bild 4). Nur wenn die produktivitätsverbessernden Lösungsansätze im operativen Bereich – wie Laserscanning zur Ist-Datenerfassung, Einsatz von Markierungssystemen, zeichnungsfreie Informationsversorgung oder Augmented Reality zur Fertigungsunterstützung – nicht zu einem unwirtschaftlichen Mehraufwand in der Konstruktion und

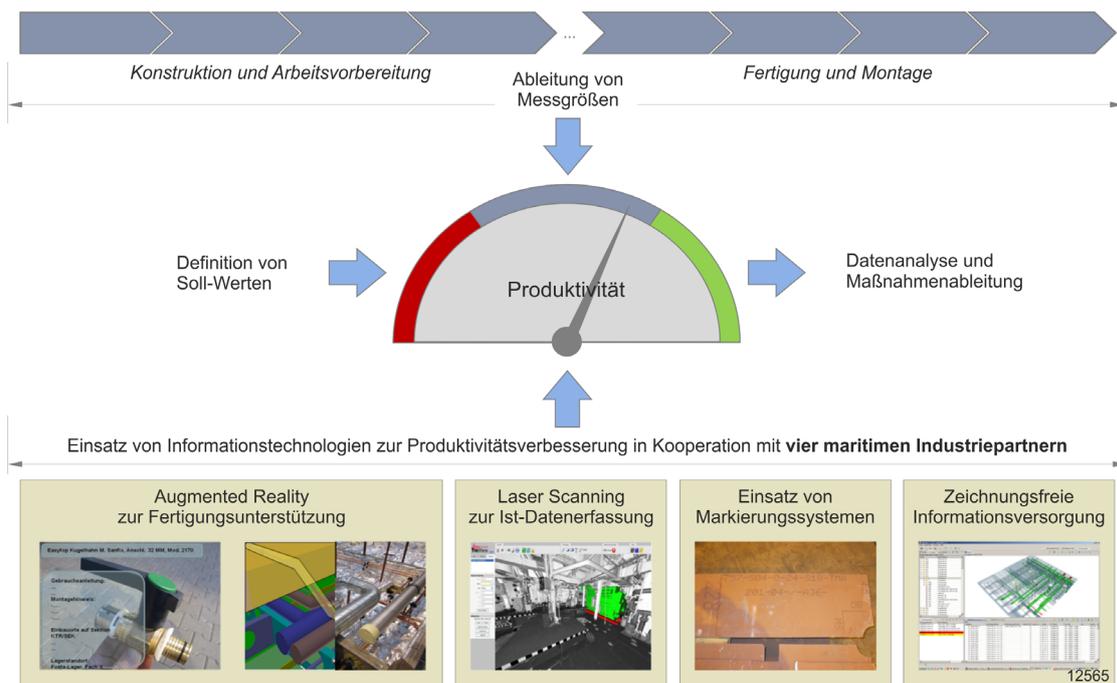


Bild 4: Einsatz von Informationstechnologien für eine messbare Produktivitätsverbesserung

Planung führen, ist die Einführung dieser neuen Technologien sinnvoll. Für den Einsatz im Schiffbau müssen diese prinzipiell verfügbaren Technologien allerdings noch an die spezifischen Einsatzbedingungen vor Ort angepasst werden, damit sowohl Vorgesetzte, Vorarbeiter und Werker die neuen Systeme annehmen. Dazu gehören neben zahlreichen technischen Anpassungen, wie zum Beispiel der AR-spezifischen Markersystematik zu Umgebungserkennung, auch Fragen der Akzeptanz von Geräten und Benutzeroberflächen. Um dies zu gewährleisten, werden sowohl in fertigungs-nahen Testumgebungen als auch in der Montage selbst Prototypen (Bild 5) getestet und von den Werkern evaluiert.



Bild 5: Augmented-Reality-Prototyp zur Darstellung von Montageanweisungen auf einem Tablet Computer

HOCHEFFIZIENTE PRODUKTIONSPLANUNG

Um auf dem Weltmarkt bestehen zu können, müssen die deutschen Werften neben der Produktivität auch die Planungssicherheit steigern. Diese gewinnt an Bedeutung, weil die sichere Einhaltung von Lieferterminen einen nicht zu unterschätzenden Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz besonders aus Asien darstellt. Gleichzeitig verändern sich die Rahmenbedingungen für eine sichere Produktionsplanung, weil in den von den deutschen Werften bedienten Märkten die Seriengröße weiter abnimmt. Die Werften müssen somit ihre Fähigkeit weiterentwickeln, bereits die Prototypen im Zeitrahmen und zu wettbewerbsfähigen Kosten abliefern zu können. Wesentlich hierfür ist eine weitergehende Digitalisierung der Produktionsplanung im Schiffbau, was die rechtzeitige Datenverfügbarkeit und -verlässlichkeit voraussetzt. Besonders bei der Unikatproduktion stehen verlässliche Daten in ausreichender Detaillierung häufig erst so spät zur Verfügung, dass sie für Planungszwecke kaum zu verwenden sind. Daher ist es notwendig, die Planung so mit Methoden und Werkzeugen zu unterstützen, dass zu einem früheren Zeitpunkt eine detailliertere Planung sowie aufwandsneutrale Plananpassungen möglich sind. Die Aufgabe besteht darin, den Zielkonflikt aus der Minimierung des Planungsaufwands bei gleichzeitiger Steigerung der Aussagekraft der Planung und der Wahl eines günstigen Detaillierungsumfangs zu minimieren.

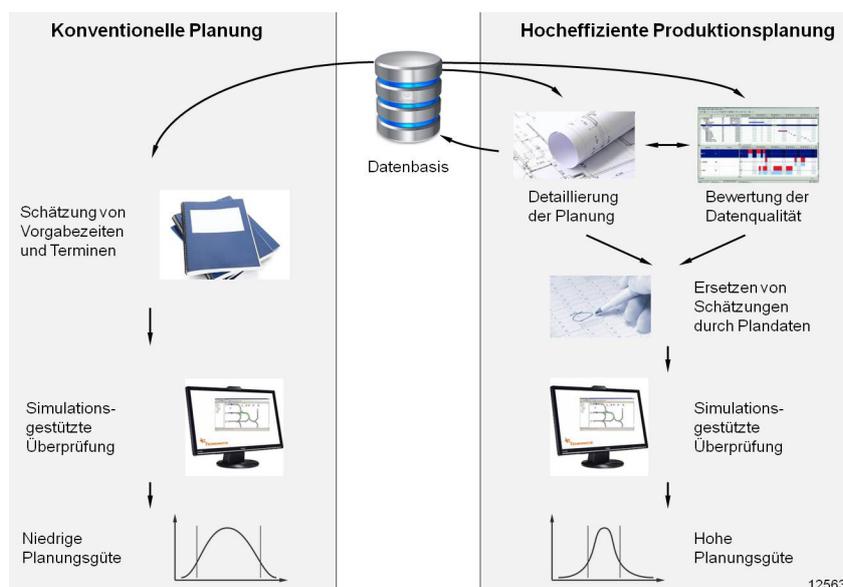


Bild 6: Hocheffiziente Produktionsplanung

Dazu muss zum einen untersucht werden, wie eine Vereinfachung der Planungsabläufe durch die Wiederverwendung von Daten und ihre aufwandsarme Anpassung an neue Fragestellungen möglich ist (Bild 6). Zum anderen ist es Ziel, bereits im Vorwege eines Auftrags den notwendigen Detaillierungsgrad der Planung systematisch zu bestimmen, damit zum einen eine effiziente und zielgerichtete Produktion erreicht wird und zum anderen noch die Möglichkeit besteht, rechtzeitig auf Planabweichungen reagieren zu können.

INSTITUTSAUSSTATTUNG

Für Fragestellungen in der Forschung werden am Institut unter anderem die nachfolgend beschriebenen Systeme eingesetzt.

Virtual-Reality-Anlagen

- Virtual-Reality-Software (IC.IDO mit eigenen Erweiterungen)
- Stationäre 2-Seiten-Stereoprojektion
- Mobile 1-Seiten-Stereoprojektion

Die Anlage dient zur Durchführung von Kundenpräsentationen, Design-Reviews und interaktiven Montageplanungen. Ebenso wird sie zur Weiterentwicklung der Anwendungsumgebung für Unikatprozesse eingesetzt.

Augmented-Reality-Systeme (AR)

- Programmierumgebung für Augmented-Reality-Anwendungen (metaio)
- div. Endgeräte (Tablet Computer, AR-Brillen)

Das System realisiert die kundenintegrierte Angebotsvisualisierung, die Visualisierung von Arbeitsfolgen in der Unikatfertigung und -montage sowie die Bauteilerkennung.

Systeme zur 3D-Istdaten-Erfassung und -Verarbeitung

- Farb-Laserscanner (FARO 3D)
- Mobile Scan-Unit (Microsoft Kinect)
- Software-Eigenentwicklungen

Mit diesem System erfolgt die Generierung von 3D-Informationen zu vorhandenen Objekten, die in weiteren Werkzeugen (CAD, VR und AR) Weiterverwendung finden.

Termin- und Kapazitätssimulationssoftware

- PlantSimulation mit Simulation Toolkit Shipbuilding (STS)

Das Software-Paket kommt in der Entwicklung von Tools für die schiffbauliche Produktionsplanung zum Einsatz.

Modellfabrik

- Arbeitsstationen für Fertigung und Montage eines Produkts

Die Modellfabrik wird zur Schulung und zum Test von Methoden und Verfahren zur Produktivitätssteigerung eingesetzt.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die nationalen Forschungsprojekte werden gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags.





Bild 1: Feldversuch an einem Flügelpfahl im Hafen von Bremerhaven

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Grabe

Institut für Geotechnik und Baubetrieb

Harburger Schloßstraße 20

21079 Hamburg

Tel.: +49 (0)40 42878-3782, Fax: +49 (0)40 42878-4020

E-Mail: grabe@tuhh.de

www.tuhh.de/gbt

MARINE GEOTECHNIK

Marine Geotechnics is a branch of geotechnical engineering and covers soil mechanics and soil-structure-water interaction for geotechnical constructions at seas, coasts, estuaries and seaports. Amongst others the major topics of offshore Geotechnics are the foundation of offshore structures like oil platforms and wind power plants, the anchoring of structures in seabed, the burial of pipelines in the seabed, and the failure of submarine slopes induced by hydrodynamic actions. Coastal and estuarine Geotechnics include aspects of the construction, design and reliability of dikes and other flood protection structures. For harbour construction the focus lies on quay walls and the soil-structure-water-ship interaction including scouring under consideration of future container ships, and land reclamation as well as land reuse linked with the problem of longterm soil deformation for serviceability of new superstructures.

Die Marine Geotechnik ist ein Forschungsweig der Geotechnik und umfasst Fragestellungen der Bodenmechanik sowie der Boden-Struktur-Wasser-Interaktion für geotechnische Konstruktionen im Meer, an der Küste, in Ästuaren und im Hafen. Dies umfasst unter anderem die Gründung von Offshore-Strukturen wie zum Beispiel Ölplattformen und Windkraftanlagen am Meeresboden, die Verankerung von Strukturen am Meeresboden, die Verlegung von Rohrleitungen im Meeresboden und das hydrodynamisch bedingte Versagen von Unterwasserböschungen. An der Küste und in Ästuaren geht es in der Geotechnik vornehmlich um Fragen zum Bau, zur Standsicherheit und zur Beständigkeit von Deichen und anderen Hochwasserschutzbauwerken.

Beim Hafenbau liegt der Fokus auf Kaimauerkonstruktionen und der damit verbundenen Boden-Struktur-Wasser-Schiff-Interaktion inklusive der Kolkbildung unter Berücksichtigung immer größerer Containerschiffe sowie der Landgewinnung und der Landumwidmung und der damit verbundenen Frage der Langzeitverformung des Bodens für neue Suprastrukturen.

Am Institut für Geotechnik und Baubetrieb werden zu diesen Themen derzeit folgende Forschungsprojekte bearbeitet:

GRÜNDUNG VON OFFSHORE WINDENERGIEANLAGEN

Zur Gründung von Offshore Windenergieanlagen kommen je nach Anlagentyp, Wassertiefe und Umweltauflagen verschiedene Pfahlgründungen oder Schwergewichtsgründungen in Frage. Im Fokus unserer Forschungsaktivitäten stehen derzeit vor allem Untersuchungen zum Verformungsverhalten von Monopile-Gründungen und Flügelpfählen.

Im Rahmen des kürzlich abgelaufenen BMU-Projekts „Neuartige Gründungspfähle für Offshore-Windenergieanlagen – Bemessung, Zuverlässigkeit und Installation“ wurde das Verformungsverhalten eines Flügelpfahls mit einem Modellversuch im halbertechnischen Maßstab in einem Hafenbecken untersucht (Bild 1). Dabei wurde ein Referenzpfahl ohne Flügel und ein neuartiger Flügelpfahl mit einer Horizontallast beansprucht, deren Amplitude und Richtung sich harmonisch verändern. Daneben erfolgte eine numerische Modellierung des Feldversuchs mit der Finite-Elemente-Methode (FEM).

Im Rahmen des laufenden DFG-Projekts „Grundsatzuntersuchungen zur Drift von Pfählen unter zyklischer Horizontallast bei zeitlich veränderlicher Lastrichtung und zur Reduzierung der Pfahldrift“ wird die Drift von Pfählen experimentell und auf der Grundlage der numerischen Modellierung untersucht. Beobachtungen bei 1g-Modellversuchen und ng-Modellversuchen in einer Geotechnischen Zentrifuge zeigen, dass sich bei

der Pfahldrift eine Erhöhung der Verformungsakkumulation des Pfahls einstellt. Zur Modellierung dieses Phänomens im Rahmen von Kontinuumsmodellen für Böden werden in einem eigens neu entwickelten Einzelschergerät Versuche bei zeitlich veränderlicher Scherrichtung durchgeführt (Bild 2). Abschließend wird die Pfahldrift numerisch modelliert, um zum Beispiel die optimale Lage von Flügeln zur Reduzierung der Pfahldrift zu berechnen.

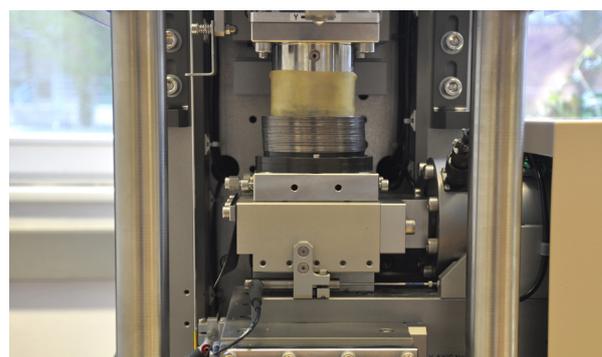


Bild 2: Einzelschergerät zur Untersuchung des Scherverhaltens von Böden bei zeitlich veränderlicher Scherrichtung (Bodenprobe von Stahlringen umhüllt, darunterliegender Schlitzen kann in zwei Richtungen unabhängig voneinander bewegt werden)

STANDSICHERHEIT UND VERSAGEN VON UNTERWASSERBÖSCHUNGEN

Bei der Herstellung von Schwergewichtsgründungen für Offshore-Windenergieanlagen muss auf dem Meeresboden ein ebenes und standsicheres Planum hergestellt werden. Dabei wird eine Unterwasser-Baugrube inklusive Unterwasserböschungen hergestellt. Deren maximale Steilheit kann unter Offshore-Bedingungen nur grob abgeschätzt werden. In einem laufenden Forschungsprojekt wird die Standsicherheit von Unterwasserböschungen unter Beachtung von Tideströmung und Oberflächenwellen experimentell, theoretisch und per Computersimulation untersucht. Das theoretische Modell enthält eine Kopplung einer linearen Wellentheorie für das Oberflächenwasser und einer Konsolidierungstheorie für den wassergesättigten Meeresboden. Je nach Amplitude und Länge der Oberflächenwellen und der Durchlässigkeit des Meeresbodens ergibt sich eine Zone, in der Porenwasserüberdrücke entstehen, welche die Scherfestigkeit des Bodens in Unterwasserböschungen reduzieren. Eine

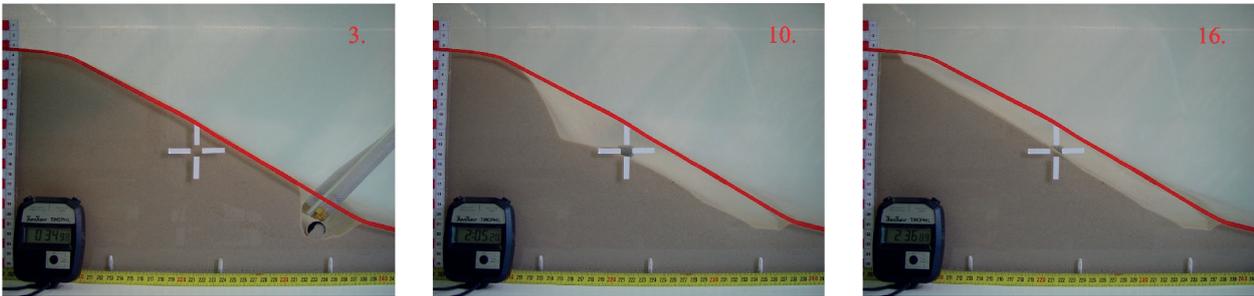


Bild 3: Zeitlicher Verlauf der Fortpflanzung einer Störung in einer Unterwasserböschung in einem Modellversuch

weitere Fragestellung betrifft den Verformungsmodus im Fall eines Böschungsversagens. In Bild 3 ist hierzu die experimentell ermittelte Fortpflanzung einer Störung in einer Unterwasserböschung dargestellt.

AUSBREITUNG VON HYDROSCHALL BEI OFFSHORE-RAMMARBEITEN

Eines der dringlichsten Probleme bei der Rammung von Pfählen zur Gründung von Offshore-Windenergieanlagen

ist der dabei entstehende Hydroschall, der für bestimmte Meerestiere eine schädigende Einwirkung darstellt. Momentan fehlt es weltweit an Methoden zur Prognose des Hydroschalls und an verlässlichen technischen Maßnahmen zur Reduzierung des Hydroschalls in einem bestimmten Abstand zur Lärmquelle. Im Rahmen des laufenden BMU-Projekts „BORA – Berechnung von Offshore-Rammerschall – Teilprojekt: Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Schallquelle und zur Übertragung des Körperschalls“ führt unser Institut Feldmessungen



Bild 4: Vorbereitungen zur Durchführung von Feldmessungen bei der Rammung eines Stahlpfahls für eine Tripod-Gründung einer Windenergieanlage im Nordsee-Windpark Global Tech I (Fotoaufnahme des Errichterschiffs „Innovation“)

bei Rammarbeiten in verschiedenen Windparks in der Nordsee durch (Bild 4). Dabei werden unter anderem Beschleunigungen und Dehnungen des schwingenden Pfahls, Hydroschall im Meer und Erschütterungen am Meeresboden erfasst. Daneben wird der Prozess der Pfahlrammung in den Meeresboden per Computersimulation nachgerechnet. Dazu werden die Finite-Elemente-Methode und die Material Point Method basierend auf einem dynamischen Zweiphasenmodell für den wasser-gesättigten Boden angewendet. Ziel ist die Prognose des Einflusses der Pfahlbettung und des Rammwiderstands im Meeresboden auf die Ausbreitung von Hydroschall im Meerwasser und von Körperschall im Meeresboden.

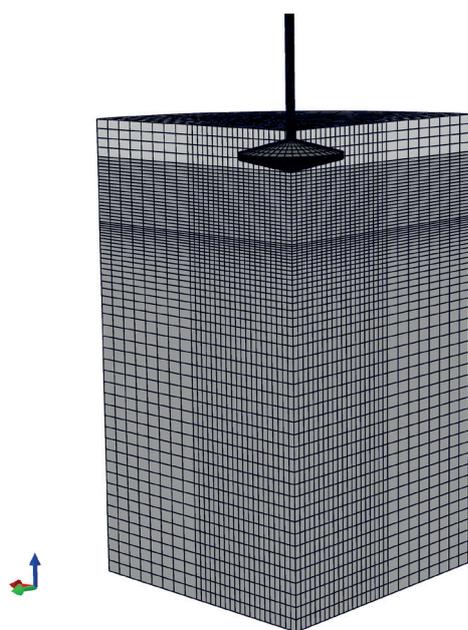


Bild 5: FE-Modell zur Simulation der Eindringung einer Spudcan-Gründung einer Hubplattform in den Meeresboden

ABSETZEN VON HUBPLATTFORMEN AUF DEM MEERESBODEN UND VOR KAIANLAGEN

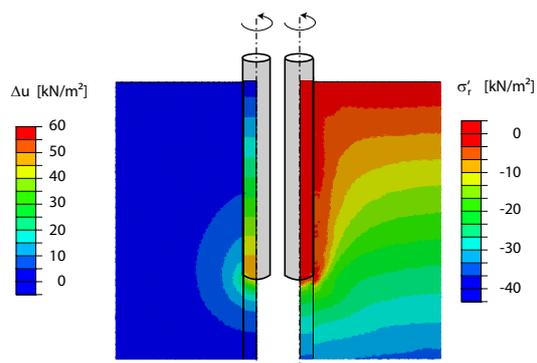
Hubplattformen beziehungsweise Errichterschiffe zur Herstellung der Gründung von Offshore-Windenergieanlagen wie in Bild 4 können zum Beispiel auf sogenannten Spudcans am Meeresboden gegründet sein. Diese Gründungskörper dringen infolge des Gewichts des aufgeständerten Schiffs insbesondere bei weichen Sedimenten weit in den Meeresboden ein und verändern dabei den Spannungs- und Dichtezustand des umgebenden Bodens (vergleiche das FE-Modell zur Simulation der Eindringung eines Spudcans in den Meeresboden in Bild 5). Wenn die Aufständering am Meeresboden vor Kaimauern erfolgt, wird deren Konstruktion dadurch gegebenenfalls zusätzlich beansprucht.

KAIMAUERKONSTRUKTIONEN

Im Rahmen des auslaufenden DFG-Graduiertenkollegs „Seehäfen für Containerschiffe zukünftiger Generationen“ wurden aus Sicht der Geotechnik unter anderem folgende Teilprojekte bearbeitet:

- Numerische Modellierung von Bauprozessen, bei denen große Verformungen des Bodens auftreten
- Entwicklung eines Zweiphasenmodells für dynamische Analysen bei direkter expliziter Zeitintegration zur Simulation der Pfahlrammung im gesättigten Boden
- Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Rammung von Ankerpfählen zwischen bestehende Pfähle
- Absetzen von Spudcan-Gründungen von Hubplattformen vor Kaimauerkonstruktionen

Bild 6: Simulation der Schlagrammung eines Stahlrohrs in den wasser-gesättigten Boden – berechnete Verteilungen des Porenwasser-überdrucks (links) und der effektiven Radialspannung (rechts) im und außerhalb des Rohrs nach 100 Rammschlägen

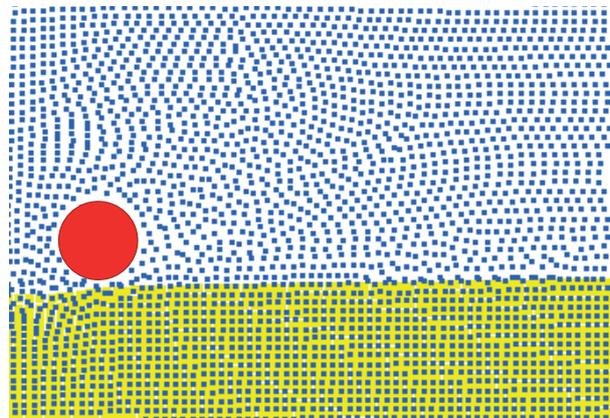


NUMERISCHE MODELLIERUNG DES BODENS BEI GROSSEN VERFORMUNGEN

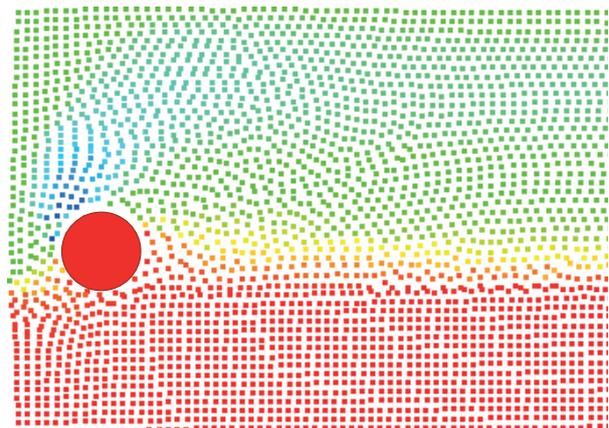
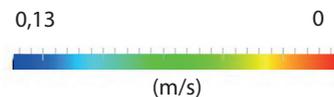
Viele der zuvor genannten Probleme sind mit großen Verformungen des Bodens beziehungsweise Meeresbodens verbunden. Gelegentlich findet an der Grenzschicht zwischen Boden und dem Oberflächenwasser ein hydrodynamisch bedingter Übergang von Korngerüst zur Suspension und umgekehrt statt.

Zur Simulation solcher Prozesse laufen an unserem Institut Untersuchungen auf der Grundlage von Kontinuumsmodellen inklusive Zweiphasenmodell für den wassergesättigten Boden und hybriden Kontinuums-/ Partikelmodellen:

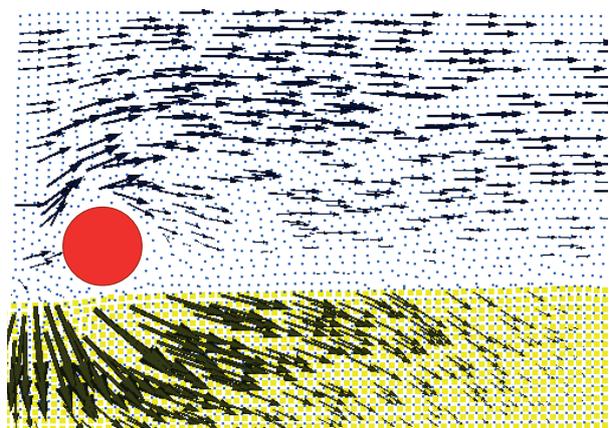
- Implementierung eines Zweiphasenmodells für den wassergesättigten Boden im Rahmen der Finite-Elemente-Methode (FEM) mit Coupled Eulerian-Lagrangian (CEL) Algorithmus und Simulation von Konsolidierungsprozessen bei der dynamischen Eindringung von Bauteilen in den Boden (Bild 6).
- Erweiterung des SPH-Codes GADGETH₂O (Smoothed Particle Hydrodynamics) um ein Zweiphasenmodell für den wassergesättigten Boden zur Simulation von Vorgängen an der Grenzschicht Wasser/Boden wie in Bild 7 am Beispiel der Umströmung einer Pipeline am Meeresboden.
- Erweiterung eines MPM-Codes (Material Point Method) um eine MPM-Diskretisierung des wassergesättigten Bodens mit getrennten Materialpunkten für Feststoff- und Fluidphase und Simulation von dynamischen Prozessen im wassergesättigten Meeresboden, zum Beispiel bei der Offshore-Pfahlrammung.
- Anwendung der CFD-DEM-Kopplung basierend auf einem Kontinuumsmodell für das Porenwasser und das Oberflächenwasser (FVM oder FEM) sowie einem Partikelmodell für das Korngerüst (DEM) und entsprechende Kopplung der Teilmodelle zur Simulation von hydrodynamischen Vorgängen an der Grenzschicht Wasser/Boden.



Modell



Geschwindigkeiten



Geschwindigkeitsrichtungen

Bild 7: Simulation der Überströmung einer Pipeline (rot) am Meeresboden mit einem SPH-Modell inklusive Zweiphasenmodell für den Meeresboden

INSTITUTSAUSSTATTUNG

Das bodenmechanische Forschungslabor des Instituts verfügt über eine Reihe von Versuchsgeräten zur Untersuchung von kohäsiven und nicht-kohäsiven Böden sowie anderen granularen Stoffen.

- Diverse Geräte zur Bodenklassifizierung
- Versuchsgeräte zur Ermittlung der Durchlässigkeit des gesättigten Bodens
- Versuchsgeräte zur Ermittlung des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens, unter anderem Ödometergeräte, Rahmenschergeräte für monotone und zyklische Belastung, Triaxialgeräte für gesättigte und teilgesättigte Bodenproben bei monotoner und zyklischer Belastung, Einzelschergeräte für gesättigte und teilgesättigte Bodenproben bei monotoner und zyklischer Belastung, Einzelschergerät mit zyklischer Belastung bei kontinuierlich veränderlicher Scher-richtung, Resonant-Column-Gerät
- Versuchsgeräte zur Ermittlung des Kapillardruck-Sättigungs-Verhaltens von teilgesättigten Böden

Weiterhin verfügt das Institut über mehrere Versuchsstände zur Durchführung von Modellversuchen, zum Beispiel zur Untersuchung von Pfahlgründungen mit Horizontalbelastung, von Stützwandkonstruktionen, von Deichen sowie von Voll- und Teilverdrängungspfählen, die in den Boden eingedrückt und/oder eingedreht werden.

Zur Durchführung von geotechnischen Feldmessungen unter Onshore- und Offshore-Bedingungen stehen diverse Messgeber (unter anderem Totaldruckgeber, Porenwasserdruckgeber, DMS, Beschleunigungsgeber, Geophone, Inklinometer) und Datenerfassungseinheiten bereit.



Bild 1: 3D-Layout eines Containerterminals (TUHH/MLS)

Prof. Dr.-Ing. Carlos Jahn

Institut für Maritime Logistik

Schwarzenbergstraße 95

21073 Hamburg

Tel.: +49 (0)40 2878-4451, Fax: +49 (0)40 42878-4452

E-Mail: carlos.jahn@tuhh.de

www.tuhh.de/mls

MARITIME LOGISTIK: PROZESS- OPTIMIERUNG BEI DER TRANSPORTKETTE SCHIFF - HAFEN - HINTERLAND

In a world of increasing distribution of production (outsourcing) and consumption global transport is a key factor. Production and supply tailor-made to demands are requiring increasingly challenging transport solutions. According to volumes sea transport is by far the leading mode at the same time providing optimum economic and ecologic results. However, according to its nature sea transport is restricted to links between continents and along coasts and hence always requires road, rail or even air based pre and post sea transports. In this regard, the subject of "Maritime Logistics" deals with the holistic planning, controlling and monitoring of cargo and information flows of waterborne logistics chains.

In einer Welt weiter zunehmender Globalisierung von Produktion und Konsum spielt vor allem der weltweite Transport eine Schlüsselrolle. Hohe Anforderungen an bedarfsgerechte Produktion sowie Zulieferung und Distribution erfordern immer anspruchsvollere Transportlösungen. Gemessen am Volumen ist der Seetransport der führende Modus, der gleichzeitig auch zum besten ökonomischen und ökologischen Ergebnis führt, aber naturgemäß auf die Seeverbindungen zwischen den Kontinenten und entlang der Küsten beschränkt ist.

Die Maritime Logistik beschäftigt sich mit der ganzheitlichen Planung, Steuerung und Kontrolle der Güter- und Informationsflüsse von maritim geprägten Logistikketten.



Bild 2: Simulation Containerbrücken und Großcontainerschiff (TUHH/MLS)

Damit thematisiert das Forschungsfeld der Maritimen Logistik zum einen die zielgerichtete Gestaltung, Nutzung und Optimierung der die Logistikketten ganz wesentlich bestimmenden multimodalen Flussbeziehungen. Zum anderen gilt es, daraus erwachsende beziehungsweise sich wandelnde Anforderungen an die bestehenden Schnittstellen, wie zum Beispiel Seehafen- oder Binnenhafenterminals, zu erfassen und das mit der Nutzung neuer Technologien und Organisationskonzepte verbundene Lösungspotenzial durch die Entwicklung geeigneter Verwertungsansätze zu heben. Dabei verfolgte Zielsetzungen umfassen vor allem eine anforderungsgerechtere Bestimmung der erforderlichen Schnittstellenkomplexität sowie deutliche Verbesserungen in der Wirtschaftlichkeit des nachgelagerten Umschlag- und Lagerbetriebs der Schnittstellen.

Das erhebliche Mengenwachstum im Bereich der Containertransporte, das die Umschlag- und Lagerressourcen in den Häfen und den Übergang auf andere Transportmodi vor ernsthafte Herausforderungen stellt, ist ein Fokus des Instituts für Maritime Logistik. Neben der Entwicklung von Meta-Simulationsmodellen mit

diskret, ereignisorientiertem Charakter richtet sich hier die Forschungsarbeit auch auf das Thema „Planspiele“. Diese ermöglichen sehr effektiv die Analyse von Geschäftsprozessen und die Offenlegung von vorhandenen Verbesserungspotenzialen, indem reale Unternehmensabläufe spielerisch-haptisch nachgeahmt werden.

Vor dem Hintergrund stetig wachsender Schiffsgrößen und dem damit einhergehenden drastischen Anstieg der Peak-Anforderungen an die Hafeninfrastruktur stellt die Anbindung der Seehäfen an ihr Hinterland einen weiteren Untersuchungsbereich dar.



Bild 3: Planspiel MARITIME (TUHH/MLS)



Bild 4: Schiffsführungssimulator (TUHH/MLS)

Die Forschungsaktivitäten fokussieren in diesem Umfeld vor allem auf Methoden zur strukturierten Entwicklung von Hafenkennzahlen, welche auf der Ebene der taktisch-operativen Entscheidungsfindung für die im Hafen und Hafenhinterland tätigen Akteure einen messbaren Mehrwert bieten, zum Beispiel Entscheidungsunterstützung bei der Organisation von Hafenhinterland-Verkehren durch prozessorientierte Kennzahlensysteme.

Im Zusammenhang mit den bundespolitischen Bestrebungen, in der Nord- und Ostsee Offshore-Windparks mit einer Gesamtleistung von 25 GW bis zum Jahr 2030 zu installieren, stehen die Forschungsaktivitäten des Instituts für Maritime Logistik im Bereich der Offshore-Logistik. Es ergeben sich hier immense logistische Herausforderungen durch die Dimensionen und Gewichte der Anlagenkomponenten sowie auch durch das Wetter als „zufällige“ Einflussgröße. Das Forschungsinteresse richtet sich in diesem Kontext vor allem auf die Entwicklung und Bewertung von effizienten Logistikkonzepten für die Errichtung und den Betrieb von Offshore-Windparks unter Verwendung etablierter Methoden, wie zum Beispiel der Simulation.

Eine der Stärken des Instituts für Maritime Logistik liegt in der Nähe zur Hafen- und Transportwirtschaft in Hamburg, einem herausragenden europäischen Transportdienstleistungsstandort und globalen Seeverkehrsknoten. Bei der Bearbeitung und Weiterentwicklung anwendungsnahe Forschungsthemen wird zudem eine enge Kooperation mit dem ebenfalls in Hamburg ansässigen Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen gepflegt.



Bild 5: 3D-Layout eines automatisierten RMG-Containerlagers (TUHH/MLS)



Bild 6: 2D-Layout-Design am haptischen Planungstisch mit 3D-Visualisierung in Realzeit (TUHH/MLS)

Grundsätzlich ist die Forschungs- und Entwicklungsarbeit des Instituts für Maritime Logistik in nationale und europäische Förderprogramme eingebettet und besitzt durch den Charakter maritim-logistischer Problemstellungen naturgemäß eine multinationale Orientierung. Hierzu einige Beispiele aus jüngeren beziehungsweise laufenden Forschungs- und Untersuchungsvorhaben:

Forschungs-Informationssystem (FIS)

FIS ist ein wissenschaftlich fundiertes Informationsportal rund um die Themen „Verkehr, Mobilität und Stadtentwicklung“ - erreichbar unter www.forschungsinformationssystem.de. Das Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, das auch als Herausgeber der bereitgestellten Wissensinhalte auftritt. Das Institut für Maritime Logistik betreut gemeinschaftlich mit zwei weiteren Instituten der TUHH das Fachgebiet „Güterverkehr und Logistik, Seeverkehr und Binnenschifffahrt“.

LKW-Wartezeitprognose (LWP)

Lastspitzen in der LKW-Abfertigung von logistischen Knoten führen zu stark schwankenden Wartezeiten für ankommende Fahrzeuge und verhindern eine optimale LKW-Disposition bei Transporteuren. Maßnahmen zur Wartezeitreduktion an den Umschlagpunkten entziehen sich jedoch zu großen Teilen dem Wirkungsbereich von Fuhrunternehmen. Das am Institut für Maritime Logistik in 2014 gestartete zweijährige Forschungsprojekt LWP knüpft hier an und verfolgt das Ziel, einen lernenden Prognoseansatz zu entwickeln, welcher tagesaktuelle Einflüsse auf LKW-Wartezeiten berücksichtigt und mit der Nutzung eines Voranmelde- beziehungsweise Anreizsystems kombiniert.

Meta-Modelle und Logistiksimulation (MetaLog)

Simulation hat sich zu einem weltweit anerkannten Werkzeug zur Planung und Steuerung von Prozessen in Logistik und Produktion entwickelt. Allerdings erfordert die Erstellung von Simulationsmodellen in der Regel umfangreiche Kenntnisse über die verwendete Simulationssoftware sowie einen hohen Zeitaufwand. Um diese Problematik zu entschärfen beziehungsweise idealerweise zu umgehen, wird in dem Projekt MetaLog ein Meta-Simulationsmodell für Seehafen-Containerterminals entwickelt, welches es dem Benutzer ermöglicht, lediglich durch Eingabe gewisser Daten, schnell und ohne besondere Softwarekenntnisse das Simulationsmodell eines Containerterminals zu erzeugen.

INSTITUTSAUSSTATTUNG

Das Institut für Maritime Logistik setzt in Forschung und Lehre unter anderem folgende Simulationswerkzeuge und Methoden ein:

Schiffsführungssimulatoren

– RDE ANS5000 und RDE ANS6000 mit Brücke und einem 120° Sichtsystem

Die Simulatoren ermöglichen eine realitätsnahe 3D-Simulation von Schiffsbewegungen diverser Schiffstypen unter definierbaren Umweltbedingungen (das heißt See- und Hafengebiete, Seegang, Strömung, Wetter et cetera).

Folgende (unterstützende) Tools stehen in diesem Zusammenhang zur Verfügung:

- SIMOPT (Schiffsmodellierung)
- ENC Designer (Seekartenerstellung)
- Presagis Creator (3D-Modellierung von Schiffen und See- und Hafengebieten)
- ECDIS SDK (als Software-Development-Kit für ECDIS Applikationen)

Simulationssoftware Enterprise Dynamics

– diskrete, ereignisorientierte Modellierung produktionslogistischer Prozesse

Die Simulationssoftware beinhaltet verschiedene Bausteinbibliotheken, welche im Besonderen die Modellierung von Transport-, Umschlag- und Lager-Prozessen unterstützen sowie auch deren Steuerung durch lokale und/oder zentrale Organisationsstrategien. Zudem besteht die Möglichkeit, Bausteine individuell anzupassen beziehungsweise die bestehenden Bausteinbibliotheken entsprechend zu erweitern.

Planungssoftware visTABLE®

– Layoutentwurf produktionslogistischer Systeme und dessen 3D-Visualisierung in Echtzeit

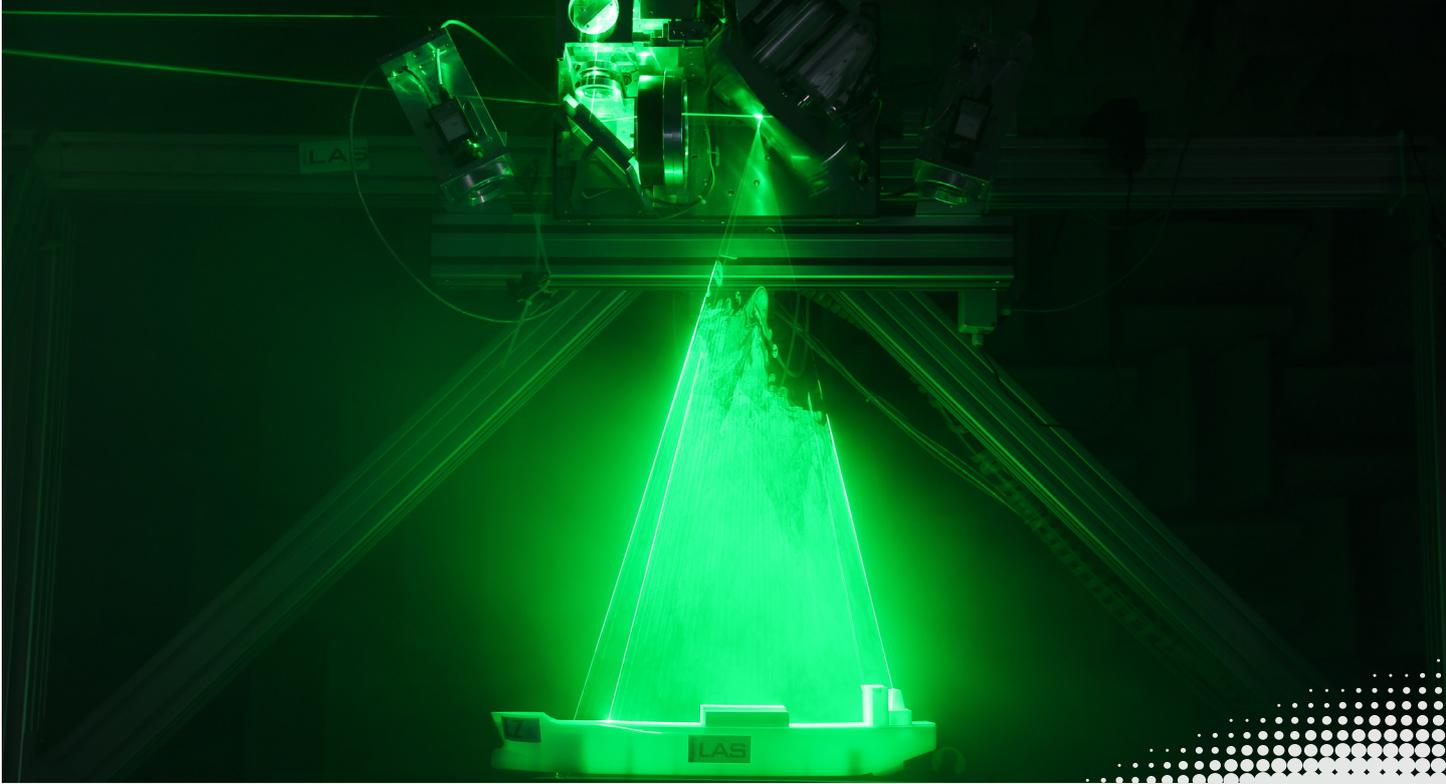
Die Software bietet für verschiedene Anwendungsdomänen umfangreiche Bausteinbibliotheken, deren Objekte im „drag&drop-Verfahren“ schnell und ohne tiefere Softwarekenntnisse zur Layout-Planung genutzt werden können. Planungsergebnisse lassen sich dabei auf Wunsch jederzeit auch in 3D darstellen. Ergänzend erlaubt die Planungssoftware eine gezielte Untersuchung von Materialflüssen und Wertströmen sowie die Durchführung von Sichtanalysen, wie es vielfach im Kontext ergonomischer und sicherheitstechnischer Betrachtungen bei der Neuentwicklung oder Reorganisation von Arbeitsabläufen erforderlich ist.

MARITIME

– haptisches Planspiel zur Optimierung von maritimen Prozessen im Team

MARITIME ermöglicht das aktive Erleben von Material- und Informationsflüssen und deren Ineinandergreifen, indem diese spielerisch mit Hilfe von Gegenständen und spezifischen Formularen nachgeahmt werden. Das Planspiel fördert die Einbringung kreativer Ideen in der Gruppe und vermittelt zugleich eine systematische Vorgehensweise zur Optimierung maritimer Prozessketten.





Laser-Remote-Fertigungsdemonstrator

Prof. Dr.-Ing. Claus Emmelmann

Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik
Denickestraße 17
21073 Hamburg
Tel.: +49 (0)40 42878-3456, Fax: +49 (0)40 42878-4076
E-Mail: c.emmelmann@tuhh.de
www.tuhh.de/iLAS

3D-LASER-SCHWEISSBEARBEITUNG

In a few years cruise giants will probably call at many new and smaller ports – without danger of running aground. New ideas reduce weight of ships, save fuel and deplete the draft.

Modern shipbuilding provides highest demands on joining technology in steel construction and quality requirements of the classification society associated with large dimensions of three-dimensional (3D) components. According to growing competition from East Asian shipyards the need and necessity increase to improve the productivity and the quality of steel construction continually for German shipyards like Meyer Werft, Blohm + Voss, Lürssen Werft or Flensburger Schiffbau-Gesellschaft.

The joining technologies and the technologies adapted to these methods are most important for the productivity and the quality of the result. In addition the shipbuilding industry contemplates using more robot-aided automation solutions.

Starting from this situation and picking up the challenges in the shipbuilding environment, the Institute of Laser and Systems Technologies (iLAS), under the direction of Prof. Dr.-Ing. C. Emmelmann, has carried out two major joined research projects (Six-Sigma method and QuInLas) in the maritime and shipbuilding environment with well-known German shipyards, Blohm + Voss and Meyer Werft, and deepening as well as expanding its activities in this area further.

In einigen Jahren könnten Kreuzfahrt-Riesen viele neue und kleinere Häfen ansteuern – ohne Gefahr, dort auf Grund zu laufen. Neue Ideen im Schiffbau reduzieren das Gewicht, den Tiefgang und den Kraftstoffverbrauch. Der moderne Schiffbau stellt mit seinen Produkten höchste Anforderungen an die Fügechnik im Stahlbau. Verbunden mit der wachsenden ostasiatischen Konkurrenz steigt für die deutschen Werften, wie die Meyer Werft, Blohm + Voss, die Lürssen Werft oder die Flensburger Schiffbau-Gesellschaft, die Notwendigkeit, die Produktivität und die Qualität des Stahlbaus stetig zu erhöhen. Die Fügeverfahren und die an diese Verfahren angepassten Konstruktionen besitzt hierbei einen erheblichen Anteil. Zusätzlich fasst die Werftindustrie vermehrt den Einsatz robotergestützter Automatisierungslösungen ins Auge. Das wesentliche Fertigungsverfahren im Schiffbau ist neben der Schneidbearbeitung die Schweißbearbeitung von Schiffsstrukturbauteilen.

Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt, dass neben den konventionellen Verfahren, wie zum Beispiel dem MIG- oder MAG-Schweißen, neuartige Schweißverfahren, wie das Laserstrahlschweißen, verstärkt eingesetzt werden. Durch die Einführung der Laserstrahlschweißtechnologie in der Paneelfertigung in der Form der Laser-MSG-Hybridtechnologie lassen sich neuartige Konstruktionen der Schiffskörper verwirklichen. Die vergleichsweise kühle Arbeitsweise gegenüber der konventionellen Schweißtechnik ist neben der einseitigen Bearbeitungsmöglichkeit ein wesentlicher Vorteil für den massiven, großvolumigen Schiffbau. Der feine und dennoch hochenergetische Laserstrahl ermöglicht das nahezu verzugsfreie Verschweißen von dünnen Blechen, wie es konventionell in einer vergleichbaren Qualität nicht möglich ist. Bei Gesamtschweißnahtlängen von mehreren hundert Kilometern stellt die Schweißzeit und die Nachbearbeitung dieser Schweißnähte einen Haupteinflussfaktor auf die Gesamtfertigungszeit von Schiffen dar. Darüber hinaus erlaubt ein Einsatz der Laser-Remote-Technologie – das Schweißen mit Arbeitsabständen von über 1 m – im Schiffbau die dreidimensionale Bearbeitung wesentlich größerer Arbeitsräume. Bisher nur schwer zugängliche Stellen lassen sich mit höchster Qualität verschweißen.

Ausgehend von dieser Situation und die Herausforderungen im schiffbaulichen Umfeld aufgreifend hat das Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik (iLAS) unter der Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. C. Emmelmann zwei große Verbundprojekte im maritimen und schiffbaulichen Umfeld unter Mitwirkung namhafter Firmen, unter anderem der deutschen Werften, Blohm + Voss sowie der Meyer Werft, durchgeführt und vertieft und baut seine Aktivitäten auf diesem Gebiet weiter aus.

3D-LASER-FERTIGUNGSDEMONSTRATOR

Das Ziel des Forschungsvorhabens QuInLas ist die Entwicklung eines hochproduktiven 3D-Laser-Fertigungsdemonstrators für die flexible und automatisierte Herstellung von innovativen 3D-Schiffssektionen mit lasergestützten Fügeverfahren sowie einer integrierten Qualitätssicherung. Dazu werden Grundlagen für die technologische und die wirtschaftliche Bewertung bestehender und vor allem zukünftiger Laserschweißanwendungen innovativer Schiffbaukonstruktionen erstellt. Es erfolgt eine genaue Untersuchung aller Komponenten des Gesamtsystems, das aus der verfahrensgerechten Konstruktion und der geeigneten Werkstoffwahl, der Gestaltung des Schweißprozesses und der Qualitätssicherung besteht. Auf dieser Basis ist es im Anschluss möglich, bestehende Systeme zu untersuchen und zu bewerten oder aber neue Systeme zu konzipieren, die die technologischen Erfordernisse für einen sinnvollen Einsatz berücksichtigen. Die Betrachtungsschwerpunkte bilden der Lasereinsatz selbst, die verfahrensgerechte Konstruktion der Bauteile, die Auslegung der Bearbeitungszelle, das Fügen verschiedener Werkstoffkombinationen, wie sie derzeit im Schiffbau Einzug halten sowie die Qualitätssicherungskette. Es ist das Ziel, die aktuell geforderte 100%-Prüfung der laserstrahlgeschweißten Nähte aufrecht zu erhalten und durch eine geeignete Kombination automatisierter Diagnosesysteme die erforderlichen Prüffressourcen nachhaltig zu reduzieren.

Neben der Bewertung der rein technologischen Aspekte ist weiterhin eine Untersuchung der wirtschaftlichen Gesichtspunkte notwendig. Deren Ergebnisse finden ebenfalls in der Konzeptionierung ihre Berücksichtigung,

sodass am Ende ein 3D-Laser-Fertigungsschweißsystem entsteht, das sowohl aus technologischer, wie auch aus wirtschaftlicher Sicht optimiert ist.

Mit den untersuchten neuartigen und hochinnovativen Technologien lassen sich die steigenden Anforderungen der Schiffbauindustrie hinsichtlich erreichbarer Fertigungsqualität und -zeit erfüllen. Dazu wurde das aus dem Automobilbau bekannte Laser-Remote-Schweißen auf die Anforderungen der Schiffbauindustrie übertragen, sodass mit an die Materialdicken angepassten Laserstrahlleistungen mit hohen Laserstrahlleistungen im Bereich von 30 kW (Firma IPG Laser) bei hohen Strahlqualitäten von 12 mm x mrad geschweißt werden kann (Bild 1).

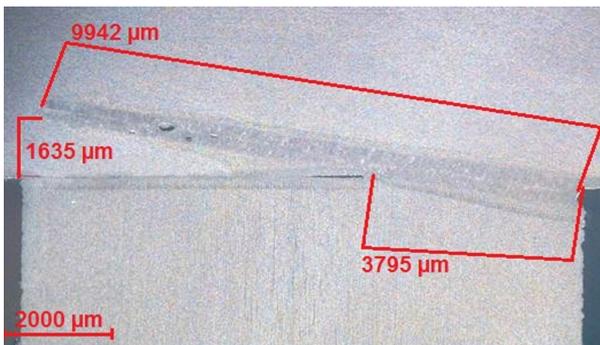


Bild 1: Schliffbild eines T-Stoßes, Materialdicke $t = 10$ mm, $P_L = 18$ kW (Quelle: iLAS / Carl Cloos Schweißtechnik)

Dafür wurde ein revolutionäres Bearbeitungssystem entwickelt, das mit integrierter Stereokameratechnik in der Lage ist, automatisch die Lage von Bauteilen und Fugen zu erkennen und zu vermessen und auf diese Weise einen hohen Automatisierungsgrad für den Schweiß- und den Fertigungsprozess darstellt (Bild 2).

QUALITÄTSSICHERUNG DURCH PROZESSÜBERWACHUNG

Die parallele Online-Prozessüberwachung, zum Beispiel beim Laser-MSG-Hybridprozess mit dem CPC-System des Fraunhofer Instituts für Lasertechnik, stellt darüber hinaus eine Neuentwicklung dar, die die Qualitätssicherung im Schiffbau deutlich erleichtern und beschleunigen kann. Während des Schweißprozesses wird mit dem CPC-System die Nahtqualität anhand der sichtbaren Schweiß- und Schmelzeigenschaften untersucht und bewertet (Bild 3).

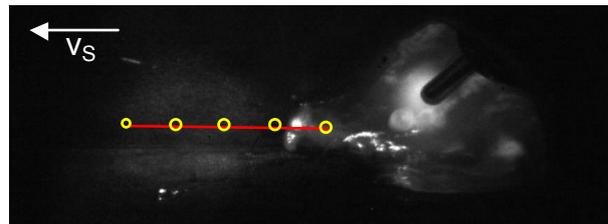


Bild 3: Einzelbild aus einer CPC-Aufnahmesequenz beim Laser-MSG-Hybridprozess, synchronisiert mit den Strompulsen der Schweißstromquelle – Die rote Verbindungslinie mit den gelben Stützstellen zeigt die erfasste Fuge (Quelle: Fraunhofer Institut für Lasertechnik)

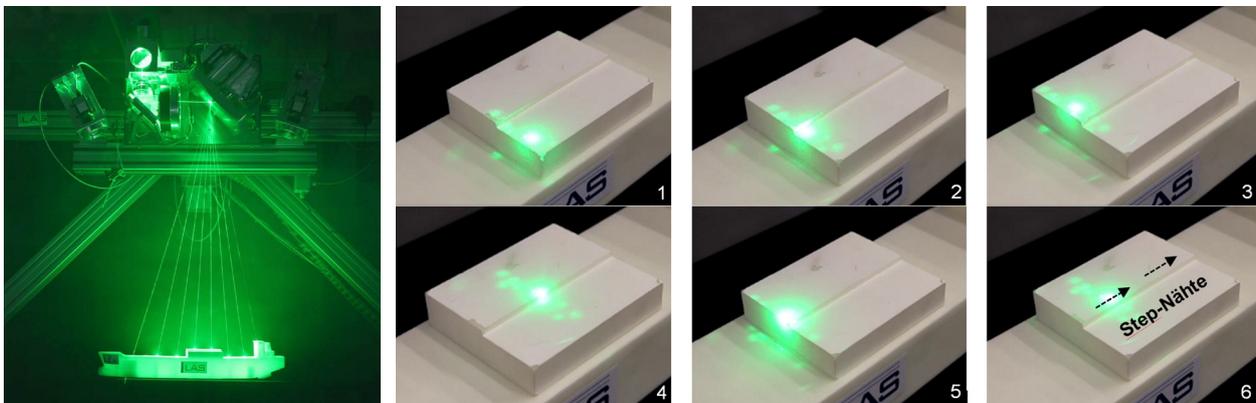


Bild 2: Funktionsfähiger Laser-Remote-Fertigungsdemonstrator mit aktivem grünen Messlaser beim Analyseprozess eines „Bauteils“ (links), Vermessung der Konturen zum Laser-Remote-Step-Nahtschweißen am Überlappstoß (rechts) (Quelle: iLAS)

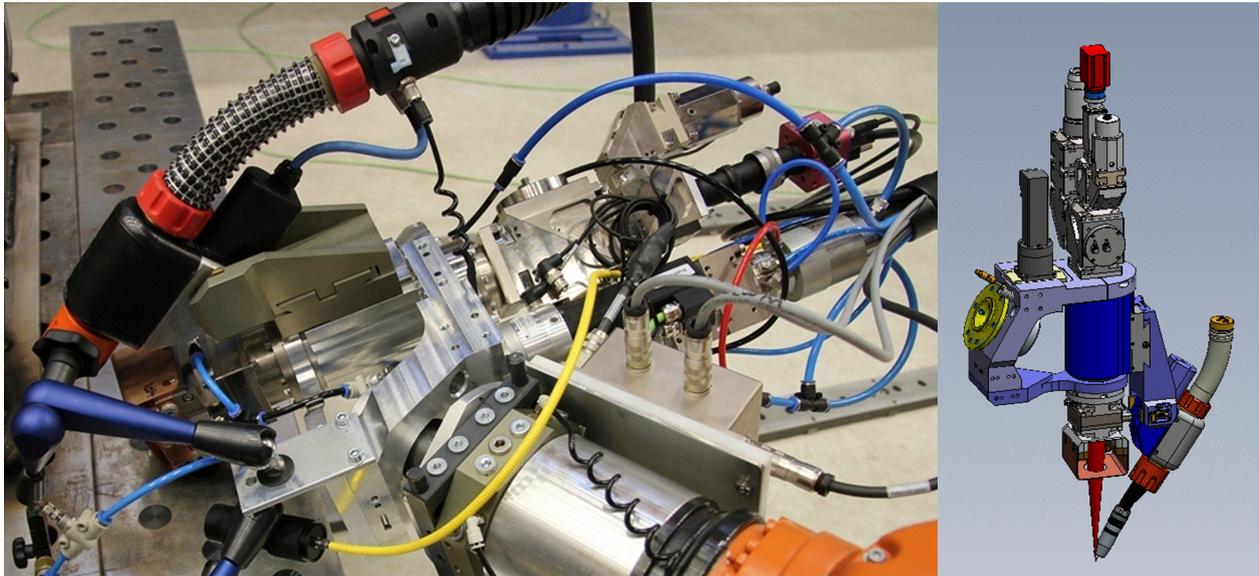


Bild 4: Laser-MSG-Hybridkopf mit zusätzlicher Drehachse für den MSG-Brenner (Quelle: iLAS / Carl Cloos Schweißtechnik)

Das im Zuge dessen entwickelte koaxiale Nahtfolgesystem führt den Laser-MSG-Hybridschweißprozess präzise entlang der Fuge. Durch die hybride Anwendung des MSG-Lichtbogenverfahrens mit dem Laserschweißverfahren lässt sich die Schweißgeschwindigkeit um das Vierfache auf $v_s = 2 \text{ m/min}$ gegenüber einem Handschweißer erhöhen, bei einer gleichzeitig gleichmäßigeren Naht und einer verbesserten Nahtqualität mit einem geringeren Verbrauch von Schweißzusatzstoffen (Bild 4).

Außerdem lässt der Einsatz dieser Technologie in der Kombination mit den entwickelten innovativen Schiffskonstruktionen nach den bisherigen Ergebnissen einen signifikanten Produktivitätssprung erwarten. Zusätzlich wird es mit dem gesamten Produktionssystem möglich, neue und bisher unmögliche Design-Lösungen für den Schiffbau und maritime Anwendungen zu realisieren (Bild 5).

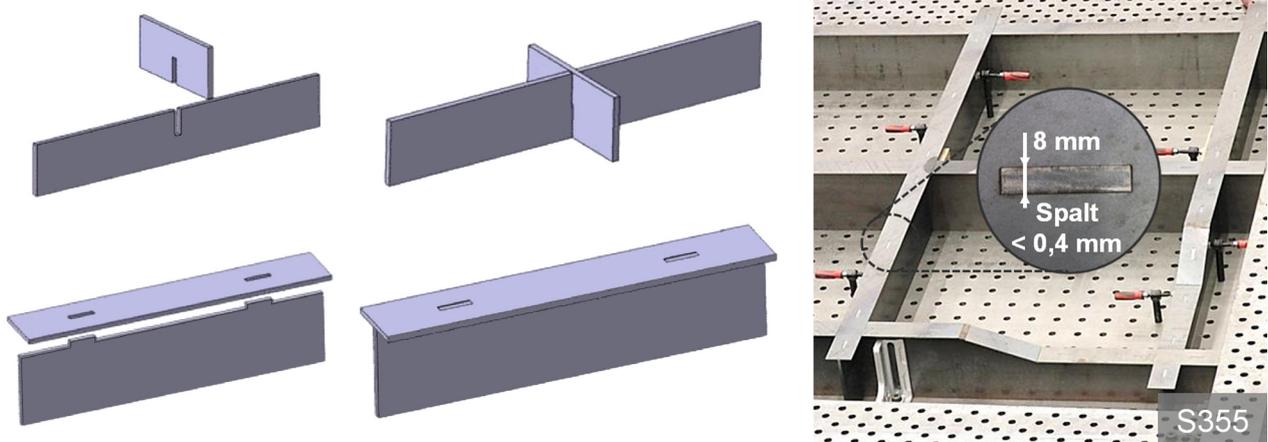


Bild 5: Auszug aus den entwickelten, innovativen Konstruktionselementen – Gekämmter Kreuzstoß (links oben) und Gurt-Steg-Verbindung (links unten), realer Aufbau der Konzepte mit laserschweißgeeigneten Spaltmaßen zwischen den Fügepartnern (rechts) (Quelle: iLAS)

Ein Abgleich der In-Prozess-Qualitätsdiagnose mit der nachlaufenden koppelmittelfreien Ultraschalluntersuchung lässt eine Charakterisierung der Nahtfehler hinsichtlich der Fehlergröße zu (Bild 6).

Der Einfluss dieser Fehler auf die Nahtfestigkeit ist aus den parallel durchgeführten Dauerfestigkeitsuntersuchungen des Instituts für Konstruktion und Festigkeit von Schiffen der TUHH und des Fraunhofer Instituts für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit bekannt. Theoretische Bruchverhaltens- und praktische Geometrieuntersuchungen ergänzen die Nahtanalyse und bilden die Grundlage für Simulationen (Bild 7) und Lebensdauerberechnungen gefügter Sektionen.

Auf diese Weise wird der Rückschluss möglich, ob eventuell vorliegende Fehler zu einer Beeinträchtigung der Bauteilfestigkeit führen und eine Nacharbeit erforderlich ist. Ein Abgleich der Analysen führt zu einer Reduktion von Fehldiagnosen, die eine Ausschleusung von i. O.-Bauteilen zur Folge haben können.

PRODUKTIONSOPTIMIERUNG UND ÜBERTRAGUNGSFEHLERMINIMIERUNG DER FERTIGUNGS- UND DER PROZESSDATEN

Das Projekt behandelt weiterhin die Entwicklung einer für den automatisierten Schiff- und Ingenieurbau geeigneten CAD-CAM-Lösung zur Produktionsoptimierung und Übertragungsfehlerminimierung der Fertigungs- und der Prozessdaten. Es werden neue Schnittstellen und Algorithmen, zum Beispiel für die „Traveling-Sales-Man“-Problemstellung (Bild 8), entwickelt und eine Soft- und Hardware-Design-Lösung für robotergestützte kooperierende Bewegungen erforscht.

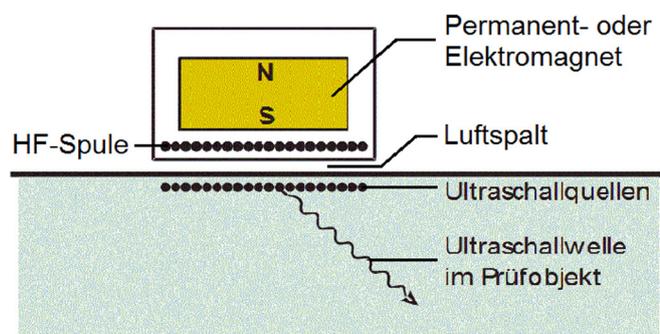
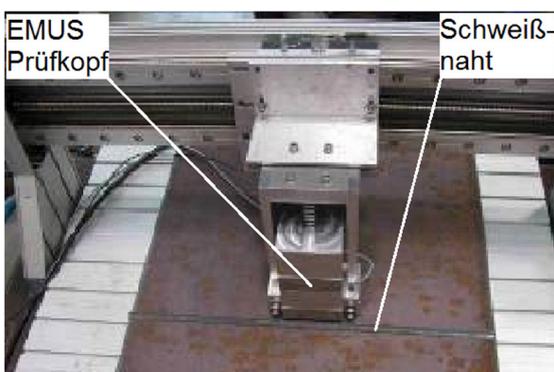


Bild 6: EMUS-Prüfkopf – Ultraschallprüfung eines I-Stoßes mit Labormanipulator (links), schematischer Aufbau (rechts) (Quelle: Fraunhofer Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren)

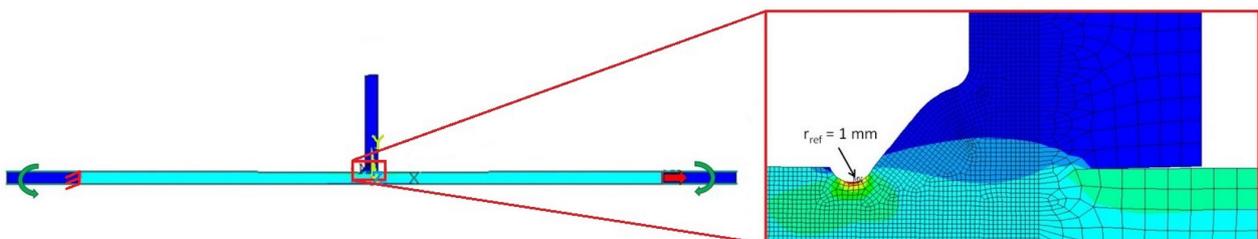


Bild 7: Theoretische FE-Berechnungen des parametergesteuerten Kerbspannungsmodells einer Probe zur simulativen Bestimmung der Belastung (Quelle: Institut für Konstruktion und Festigkeit von Schiffen)

Die durch die Institute und Industriepartner entwickelten Lösungen werden in einem 3D-Fertigungsdemonstrator, durch die Firma Carl Cloos Schweißtechnik mechanisch und in weiten Teilen steuerungstechnisch konzipiert, zusammengeführt und die Technologien sowie die Konstruktionsideen an realen, neu konzipierten schiffbautypischen Bauteilen, wie Sektionsbaugruppen, validiert und bieten die Möglichkeit, den Herstellprozess deutlich zu beschleunigen und den Ressourceneinsatz insbesondere durch die innovativen Leichtbaukonzepte deutlich zu senken. Die Dimensionen des 3D-Fertigungsdemonstrators wachsen mit einer Länge von 30 m, einer Breite von 10 m und einer Höhe von 8 m auf die Anforderungen der maritimen Industrie an und übersteigen in der Größe und dem Automatisierungsgrad aktuelle automatisierte Portalanlagen erheblich (Bild 9).

Die entwickelten Demonstratorlösungen werden mit der Six-Sigma-Methode bewertet, um die Prozesse systematisch und effizient auf ihre Qualität (Fehleranfälligkeit), Produktivität und Ressourcenschonung zu untersuchen und hieraus geeignete Optimierungsstrategien abzuleiten. Dazu wurde im Vorhinein zusammen mit der Firma Blohm + Voss ein Projekt zur Six-Sigma-Analyse eines Laser-MSG-Hybridschweißprozesses im Schiffbau durchgeführt, deren Erkenntnisse gezielt auf das Projekt QuInLas übertragen werden können.

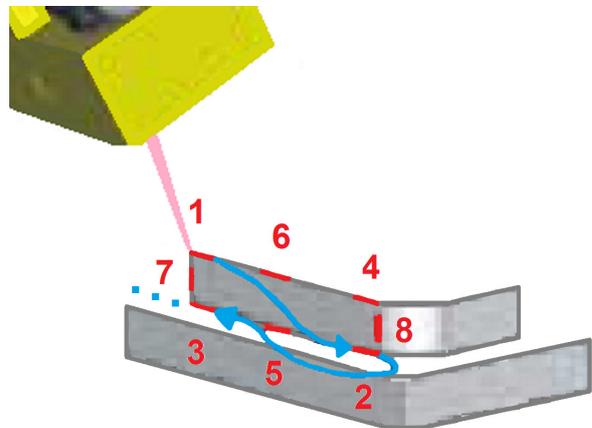
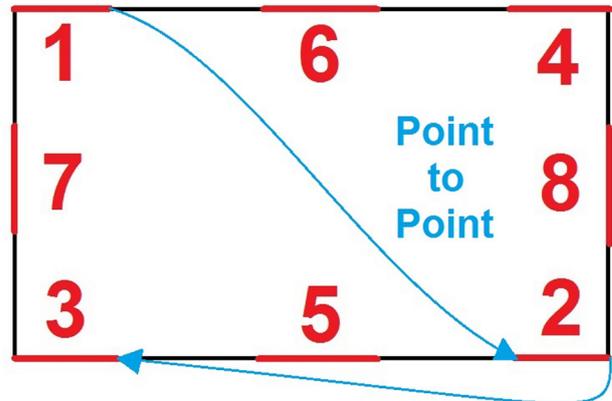


Bild 8: Eine Möglichkeit eines temperatureintragminimierten, verzugsarmen Step-Nahtschemas („Traveling-Sales-Man“-Problemstellung) beim Laser-Remote-Schweißen (Quelle: iLAS / PD Dr.-Ing. habil. J. Wollnack)



Bild 9: Blick auf den 3D-Laser-Fertigungs-Demonstrator – Portal 1: Laser-Remote-Schweißsystem (vorn), Portal 2: Laser-MSG-Hybridschweißsystem (Mitte), Portal 3: Naht- und Ultraschalldiagnostik (hinten) (Quelle: iLAS)

PROZESSRISIKEN DES

LASER-MSG-HYBRIDSCHWEISSENS

Im Rahmen des Six-Sigma-Projekts wurden mögliche Prozessrisiken des Laser-MSG-Hybridschweißens methodisch untersucht. Das Ziel war es, aus den Analyseergebnissen geeignete Optimierungsmaßnahmen abzuleiten. Die Prozessoptimierung soll die Prozesskette soweit stabilisieren, dass nur noch 1,3 Fehler auf 1 Million Fehlermöglichkeiten auftreten, was einer Prozessfähigkeit vom 6-fachen der Standardabweichung entspricht (6σ).

Es wurde im ersten Schritt der Laser-MSG-Hybridschweißprozess methodisch mit der FMEA (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse) untersucht. Die übergeordneten, vom DNV-GL gestellten Anforderungen an Schweißnähte lassen sich auf eine durchgängige Schweißnaht mit einer zugesicherten Festigkeit übertragen. Diese Anforderung wird durch typische Fehlerarten wie beispielsweise Nahtunterwölbungen, Schweißspritzer, Randkerben beeinflusst. Eine eingangs durchgeführte Risikobewertung erfolgte gleichermaßen durch die drei Größen der Fehlerrelevanz, der Fehlerdetektierbarkeit sowie der Wahrscheinlichkeit des Fehlerauftritts. Die auf diese Weise quantifizierten Fehlermöglichkeiten ließen sich durch eine Pareto-Analyse auf die wesentlichen Fehlerpotenziale reduzieren. Tatsächlich sind sowohl Poren als auch Endkraterisse zusammen für etwa 80 % des gesamten Prozessrisikos verantwortlich. Anschließend wurde die Suche nach den Ursachen der Fehlerpotenziale durchgeführt.

Das Ergebnis zeigte, dass für die Porenbildung insbesondere der Zufluss von Luftsauerstoff sowie Stickstoff im Schmelzbad maßgeblich verantwortlich ist und für eine mangelhafte Nahtqualität sorgt. Die Ursache ließ sich schließlich auf erhöhte Turbulenzen im Schutzgas zurückführen, was zum Teil an einer schlecht positionierten Schutzgasdüse liegt. Nach der Validierung des identifizierten Prozessrisikos fordert ein erstellter Maßnahmenplan als Lösung eine regelmäßige Wartung und Justage der Schutzgasdüse. Das Kooperationsprojekt konnte durch methodisch begleitete Maßnahmen Fehlerquellen lokalisieren und vor der Serienfertigung signifikant reduzieren.

Die in den beiden umfassenden Projekten erarbeiteten Ergebnisse tragen zur Steigerung der Effizienz und der Produktivität deutscher Werften und der maritimen Industrie bei, zeigen das Potenzial für die lasergestützte Fertigung innovativer Schiffskörper sowie maritimer Konstruktionen im Zusammenhang mit einer durchgehenden Qualitätssicherung und adressieren einen Schwerpunkt des Forschungsprogramms „Schifffahrt und Meerestechnik für das 21. Jahrhundert“ innerhalb des Schwerpunktprogramms „Erhöhung der Produktivität der Werften“ mit neuen Füge-Techniken. Eine Übertragung der neuen Technologien sowie der Wissenstransfer sind in Anwendungsfelder des Stahl- und Ingenieurbaus ohne weiteres möglich.

Das Forschungsvorhaben „Qualitätsgerechte 3D-Laser-Schweißbearbeitung innovativer Schiffskonstruktionen – QulnLas“ wurde mit finanzieller Förderung durch den Projektträger Jülich (PTJ) aus den Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) durchgeführt. Die Projektpartner danken dem PTJ und dem BMWi für die Unterstützung des Forschungsprojekts.

INSTITUTSAUSSTATTUNG

Die folgende Übersicht gibt einen Überblick über die am iLAS für Forschungsfragen eingesetzten Verfahren und Anlagen. Diese sind zum Teil in Forschungsprojekten selbst entwickelt worden.

Technologien (Eigenentwicklungen)

Konstruktion Dünn- und Dickblech

- 3D-laser- und leichtbaugerecht
- Verzugssimulation und -berechnung

Prozess bis 30 kW Laserleistung

- Laser-Remote-Schneiden und -Schweißen
- Laser-Plasma-Hybridschweißen

Automatisierung

- optische Ein- und Vermessung
- 2D- und 3D-Bearbeitung

Qualitätssicherung

- laser- und kamerabasierte Bauteil- und Nahtvermessung

Weitere Technologien

Konstruktion Dünn- und Dickblech

- bionische Strukturen
- Topologieoptimierung
- Umformbiegetechnologie

Prozess bis 30 kW Laserleistung

- Laser-Only-Schneiden und -Schweißen
- Laser-MSG-Hybridschweißen

Automatisierung

- taktile Ein- und Vermessung
- 2D- und 3D-Bearbeitung

Qualitätssicherung

- bildgebende In-Prozessüberwachung
- zerstörungsfreie Laser- und Ultraschallbauteilprüfung
- Laserstrahlvermessung
- Materialanalyse



www.tuhh.de