

Endbericht – Kurzdarstellung

Zuwendungsempfänger: Universität Rostock	Förderkennzeichen: 03WKBX03H
Vorhabensbezeichnung: Production, Operation and Living in Arctic Regions (POLAR) TP 3H : Werkzeuge zur strukturmechanischen und strömungstechnischen Optimierung modularer Wohn- und Serviceeinheiten	
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2010 – 30.11.2013	
Berichtszeitraum: 01.12.2010 – 30.11.2013	

1. Aufgabenstellung

Ziel des Teilprojektes 3H ist die Entwicklung, Weiterentwicklung und Validation ingenieurwissenschaftlicher Werkzeuge zur strukturmechanischen und strömungstechnischen Optimierung modularer Wohn- und Serviceeinheiten unter den extremen Bedingungen der arktischen Seegebiete.

Zur Gewährleistung der erforderlichen Arbeits- und Lebensbedingungen sowie zur Absicherung der Verfügbarkeit der technischen Anlagen sind generell neue Lösungsansätze für Isoliersysteme hinsichtlich Materialeinsatz, Systemaufbau und Prozessgestaltung zu entwickeln. Nur quantitative Erweiterungen bestehender Lösungen sind dabei nicht zielführend. Neue Lösungsansätze sind somit die Voraussetzungen für neue Systemlösungen.

Der vorgesehene Einsatz der zu entwickelnden Wohn- und Servicemodule in polaren Regionen wirft deshalb auch eine Reihe ingenieurwissenschaftlicher Fragestellungen bezüglich Wärmeströme, Wärmeleitungen, Wärmestrahlungen und Wärmeübergangskoeffizienten sowohl in den Räumen unterschiedlichster Funktion und Gestaltung als auch in den Struktur-, Dämm und Wandelementen dieser Module auf, die sowohl aus strukturmechanischer als auch aus strömungstechnischer Sicht einer intensiven Analyse bedürfen.

Temperaturgradienten, Wärmeenergie transport und Phasenübergänge von Stoffen sind unmittelbar miteinander verknüpft. Daraus ergeben sich auch Fragestellungen zur Wärmedämmung. Die Bildung von Kondenswasser stellt bekanntlich gerade in schwer zugänglichen Hohlräumen eine technische Herausforderung dar. Einsetzende Korrosionsprozesse aber auch die Entwicklung thermotoleranter Pilzkulturen, etc. können die Folge sein.

Im Teilprojekt 3H werden notwendige, zur Erreichung der technischen Arbeitsziele erforderliche numerische und experimentelle Methoden zur strukturmechanischen und strömungstechnischen Optimierung modularer Wohn- und Serviceeinheiten entwickelt, weiterentwickelt, validiert und schließlich synthetisiert.

Das wissenschaftliche Ziel des Forschungsvorhabens ist es deshalb, ein robustes und zuverlässiges ingenieurwissenschaftliches „Werkzeug“ zu entwickeln, das zuverlässige strukturmechanische und strömungstechnische Optimierungen an modularen Wohn- und Serviceeinrichtungen für harsche Umgebungen durch die industriellen Partner zulässt. Es soll sie beispielsweise befähigen, konstruktionsbedingte Wärmebrücken und daraus folgende temperaturgetriebene Luftströmungen bereits während des Entwicklungsprozesses derartiger Einrichtungen zu erkennen, deren Folgen qualitativ und quantitativ abschätzen und durch konstruktive Maßnahmen beeinflussen zu können.

Auf Grundlage von Variantenvergleichen können dann beispielsweise bauliche Veränderungen oder Materialsubstitutionen vorgenommen oder Maßnahmen für zusätzliche Belüftungen getroffen werden.

Dieses „Werkzeug“ wird auf Basis verfügbarer Softwarelösungen (FEM und CFD) entwickelt und lässt die Möglichkeit der Integration empirischer Informationen und quantifizierbaren

Erfahrungswissens zu. Das heißt, die zur technischen Beurteilung und Optimierung modularer Wohn- und Servicemodule notwendigen Arbeiten erfordern nicht nur die Entwicklung, Weiterentwicklung sowie die modellexperimentelle Validation mathematischer Modelle sondern auch eine geeignete Verknüpfung der numerischen Simulationsalgorithmen beispielsweise mit gesicherten Messdaten. Damit wird eine Erhöhung der Zuverlässigkeit des Werkzeugs erwartet.

Das Teilprojekt 3H bearbeitet somit Problemstellungen zusammen mit

- den Teilprojekten 3B, 3D und 3E aus dem Arbeitskomplex 2 zur Erreichung der erforderlichen Systemeigenschaften vor dem Hintergrund der spezifischen klimatischen Verhältnisse und
- den Teilprojekten 3A, 3C und 3G aus dem Arbeitskomplex 4 zur Gestaltung hochfester und –gedämmter Verbundpaneele.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Forschung am Lehrstuhl Meerestechnik konzentriert sich insbesondere auf die phänomenologische Analyse von Wechselwirkungen von Strömungen und speziellen Körperstrukturen. Im Vordergrund stehen die mathematische Modellierung und numerische Simulation sowie die experimentelle Analyse sowohl stationärer als auch transienter Vorgänge.

Die Voraussage von Luftströmungen in Räumen ist auf Grund der Vielzahl möglicher Einflussgrößen sehr kompliziert und zumeist mit Unsicherheiten behaftet. Gegenstand laufender Projekte sind numerische und experimentelle Untersuchungen zum Einfluss geometrischer Versperrungen (Hindernisse) auf die dreidimensionale Luftströmung in Räumen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Zu- und Ablufteinrichtungen bei veränderbarer örtlicher Anordnung.

Die numerischen Simulationen werden mittels ANSYS-CFX durchgeführt. Als experimentelle Infrastruktur für die bisherigen F&E-Projekte dient ein Strömungslabor mit einer quadratischen Grundfläche von 3 m x 3 m bei einer stufenlos einstellbaren Raumhöhe bis zu 3 m (Raumluftströmungslabor, siehe Abb. 1). Die Raumströmung ist über variierbare Luftmengen und veränderbare Zu- und Ablufteinheiten beeinflussbar. Durch vorhandene Sichtfenster in den Wänden des Strömungslabors können die Strömungen mit Hilfe eines traversierbaren PIV-Systems in nahezu beliebigen Raumbereichen berührungslos aufgelöst werden.

Bisherige Anwendungen konzentrierten sich auf Aufenthaltsräume für Personen in see-, luft- und landgebundenen Fahrzeugen, auf Fracht- und Laderäume für den Gütertransport, auf Maschinenräume sowie auf Räume mit besonderen Anforderungen bezüglich der Raumluftqualität von OP-Sälen.

Mit der Bearbeitung einer Aufgabenstellung über konvektive Wärmeströme in belüfteten und unbelüfteten Hohlräumen besteht für den Antragsteller die Möglichkeit seine Expertise auf dem Gebiet der Analyse von Fluid-Struktur-Wechselwirkungen weiter zu erhöhen. Gleichzeitig verbessert der Antragsteller damit seine Wettbewerbsfähigkeit gegenüber deutschen und ausländischen Hochschulen, da er

- seine Fachkompetenz erweitern und das fachliche Profil weiter schärfen wird,
- sein Bildungs- und auf Anwendung orientiertes Weiterbildungsangebot auf dem Gebiet der numerischen und experimentellen Analyse von Raumluftströmungen weiter qualifizieren kann und
- die wissenschaftliche Qualifikation des Ingenieur Nachwuchses insgesamt weiter zu befördern in der Lage ist.

Durch die Bearbeitung des F&E-Vorhabens am Hochschulstandort Rostock wird ferner dazu beigetragen, dass junge und leistungsbereite Nachwuchswissenschaftler im Lande gehalten werden.

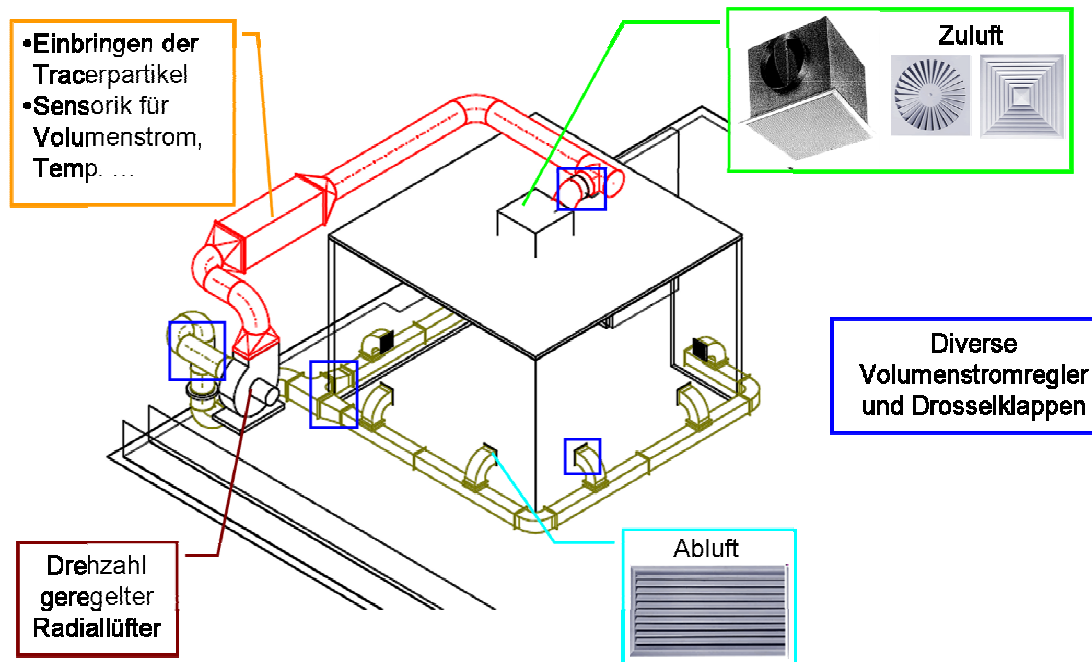


Abbildung 1: Raumluftströmungslabor

Der Lehrstuhl Schiffstechnische Konstruktionen (abgekürzt: LSK) ist im Jahr 2009 aus dem Lehrstuhl Schiffbau/Stahlbau (abgekürzt: LSS) des Fachbereichs Maschinenbau und Schiffstechnik der Universität Rostock hervorgegangen. Während sich der Fokus für Forschungsprojekte in der Vergangenheit im Wesentlichen auf die Bereiche des Stahlschiffbaus beschränkte, haben in Folge der industriellen Entwicklung der letzten Jahre, insbesondere der maritime Stahlbau und die Offshore-Technik einen wichtigen thematischen Schwerpunkt der Forschung eingenommen. In jüngster Vergangenheit liegt das Forschungsspektrum auch auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien im maritimen Umfeld. Im Rahmen der Maza M-V profitiert der Lehrstuhl Schiffbau/Stahlbau bzw. Schiffstechnische Konstruktionen von den gebündelten Kernkompetenzen von Zulieferern, Ausrüstern und Dienstleistern und bietet im Gegenzug neben Forschungsaufträgen auch Weiterbildungsmodulen und E-Learning Kompetenzen für Unternehmen der maritimen Wirtschaft Mecklenburg-Vorpommerns an. Die am LSK bzw. am LSS durchgeführten Forschungsprojekte werden sowohl vom Ministerium für Bildung und Forschung (BMBF), der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) als auch den kooperierenden Industrieunternehmen gefördert und unterstützt.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die F&E-Aufgabe ‚Entwicklung von Werkzeugen zur strukturmechanischen und strömungstechnischen Optimierung modularer Wohn- und Serviceeinheiten‘ wird sowohl mittels numerischer Strömungssimulationen als auch auf Grundlage umfangreicher experimenteller Untersuchungen gelöst.

Die Arbeiten sind anfänglich auf Untersuchungen eindimensionaler konvektiver Strömungsvorgänge konzentriert. Im Anschluss daran schließen sich Untersuchungen von zwei- und dreidimensionalen Strömungsvorgängen. Abschließend erfolgt eine Überlagerung von konvektiven und Raumluftströmungen.

Die Beschreibung der turbulenten Transport- und Mischungsprozesse erfolgt in der von Reynolds vorgeschlagenen Zerlegung der Strömungsgrößen in einen zeitlich konstanten Mittelwert und eine zeitliche Schwankung. Diese Annahme einer zeitlich konstanten Grundströmung mit überlagerten zeitlichen Schwankungen führt dann zu den bekannten reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen (RANSE).

Ausgehend von der Annahme, dass die Betrachtungen weitgehend auf den Fall stationärer Turbulenz beschränkt sein dürfen, sollen neben dem Gesamtergebnis der nume-

rischen Simulation auch einzelne Terme von Konvektion, Produktion, Dissipation, viskoser Diffusion und turbulenter Diffusion – sofern möglich – experimentell validiert werden. Das soll projektgemäß dadurch erreicht werden, dass Versuchskörper (prismatische mit ebene parallelen Wänden, Zylinder, etc.) unterschiedlicher Materialien, die zum Versuchsbeginn jeweils eine exakt definierte konstante Temperatur aufweisen sollen, ihre Wärmeenergie ihre Umgebung abgeben. Dabei werden die Versuche anfänglich bei vollkommen ruhender Umgebungsluft durchgeführt.

Der Strömungsverlauf wird in der Nähe des Versuchskörpers mittels PIV-Lasermesstechnik und erfasst. In der Endphase des Projektes (Integration) sollen zwei bis drei Raumkonstruktionen mit Wänden unterschiedlicher Ausgangstemperatur numerisch analysiert und anschließend experimentell validiert werden.

Die Grundlage für diese auf unmittelbare Anwendung orientierten Untersuchungen bilden die von den Projektpartnern empfohlenen Raumkonstruktionen. Die Anzahl der in diesem Zusammenhang letztlich zu untersuchenden Konstruktionsbeispiele ergibt sich aus der Kompliziertheit der Räume selbst.

Die strukturmechanischen Untersuchungen in diesem Teilprojekt konzentrieren sich auf Dimensionierungsverfahren und –methoden für Befestigungssysteme hochdämmender Hüllsysteme. Diesen Befestigungssystemen kommt unter harschen Umgebungsbedingungen eine besondere Bedeutung zu, da sie einerseits die hochdämmenden Hüllsysteme sicher verankern sollen und auf der anderen Seite keine Wärmebrücken erzeugen sollen, die die Wirksamkeit des thermischen Isolationssystems drastisch verringern würden.

Zu Beginn des Projektes werden bestehende Befestigungssysteme hinsichtlich der konstruktiven Lösungen und verwendeten Materialien untersucht sowie die einschlägigen Vorschriften analysiert. Darauf aufbauend werden Konzepte sowohl für neue Befestigungssysteme als auch für deren Dimensionierung entwickelt.

Die Grundlage für die zu entwickelnden Dimensionierungsverfahren bilden analytische und numerische Berechnungen sowie empirische Betrachtungen. Für die zu erwartenden neuartigen Werkstoffe, die für die Befestigungssysteme zum Einsatz kommen werden, sind die erforderlichen physikalischen, mathematischen und numerischen Modelle für deren rheologisches und thermisches Verhalten herzuleiten. Die gewonnenen numerischen Modelle können dann in die bestehenden numerischen Werkzeuge integriert werden, um diese Werkzeuge für Berechnungen mit den neuartigen Werkstoffen zu qualifizieren. Auf der Grundlage der entsprechend weiterentwickelten numerischen Werkzeuge werden Berechnungsverfahren für Befestigungssysteme definiert. Diese Verfahren werden an ausgewählten Beispielen erprobt und mithilfe der daraus gewonnenen Erkenntnisse weiter verbessert.

Abschließend werden mit den ausgereiften Verfahren in Abstimmung mit den Projektpartnern Parameterstudien und Plausibilitätsuntersuchungen durchgeführt sowie ausgewählte Fallbeispiele analysiert. Die bei der Anwendung der Dimensionierungsverfahren anfallenden Daten und Ergebnisse werden analysiert und die Verfahren auf dieser Grundlage hinsichtlich Anwendbarkeit und Nutzbarkeit bewertet.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Der Markt für isolierte Container-Moduleinheiten gliedert sich in den Frachtbereich, bestehend aus den Conair- oder Porthole-Kühlcontainern, den Bereich der statischen Wohn- und Servicemodule und den Bereich der mobilen Wohn- und Servicemodule. Module in den Größen 20' und 40' haben aufgrund der optimalen Anpassung an die logistischen Systeme auf Land und auf See eine hohe Marktakzeptanz.

Vorteile von Container-Moduleinheiten sind ihre günstigen Kosten und ihre Flexibilität. Die Isolierung von Wohn- und Servicemodulen erfolgt derzeit meist auf Basis kostengünstiger Sandwichbauweise. Dabei werden doppelwandige Standardcontainer mit Mineralwolle und Polyurethanschaum verwendet.

Zusätzlich zu den isolierten Containern wurden die Stationen Neumeyer III und NCAOR in der Antarktis mit Sandwichelementen aus Polyurethan-Hartschaumkern und verzinkten, organisch beschichteten Stahldeckschalen umhüllt.

Im Bereich der Architektur und des Bauwesens werden Modulsysteme seit einigen Jahren verstärkt hinsichtlich ihrer Energieeffizienz weiterentwickelt und erforscht. Beispielsweise hat der in Kooperation mit der Fakultät für Architektur der Universität Darmstadt ausgerichtete internationale studentische Wettbewerb „Solar Decathlon“ die Entwicklung energieeffizienter Wohnmodule zum Thema.

Der Stand der Technik der Schutz- und Isoliersysteme auf Schiffen lässt sich mit Korrosionsschutzanstrichen, Wärmeisolierung mit Mineralwolle, Schallschutzisolierungen und Brandschutzisolierungen umfassend beschreiben. Dabei haben die Schutzanstriche gesundheitlich unbedenklich und umweltneutral zu sein. Die Schall- und Brandschutzvorschriften ergeben sich aufgrund ihrer Relevanz aus den Vorschriften der Klassifikationsgesellschaften. Allein für Wohn- und Servicemodule mit hohen Anforderungen, speziell mit den Anforderungen im Offshore-Bereich, durch Umweltbedingungen, Raumangebot, Gewicht fehlen passende Isolierlösungen und Montagemethoden. Diese sind im Rahmen des Verbundprojektes zu erarbeiten und zu testen.

Zur quantitativen Abschätzung von Wärmeströmen, Wärmeleitungen, Wärmestrahlungen und auch Phasenübergängen von Stoffen (fest – flüssig bzw. gasförmig – flüssig) liegen eine Reihe von Grundlagenerkenntnissen vor. So ist es beispielsweise möglich, die durch Wärmeleitung übertragene Wärmeleistung durch das Fouriersche Gesetz zu beschreiben. Bei bekannter Wärmeleitfähigkeit des Materials und bekannten Temperaturgradienten an der Oberfläche des jeweiligen Bauteils lässt sich die übertragene Wärmeleistung theoretisch ermitteln. Solange sich die Anwendungen auf eindimensionale Fälle beschränkt, ist die praktische Anwendung des Fourierschen Gesetzes innerhalb des Konstruktionsprozesses wenig aufwendig.

Neben der eher klassischen Voraussage von Luftströmungen, die vorrangig auf Klima- und Lüftungsanlagen in so genannten verstellten Räumen zurückzuführen sind, spielen in diesem Verbundvorhaben insbesondere konvektive Wärmeströme infolge extrem hoher Temperaturgradienten in zum Teil sehr beengten Räumen eine wesentliche Rolle. Diese Temperaturgradienten sind beispielsweise eine Folge von Temperaturdifferenzen zwischen zwei - nicht über Wärmebrücken miteinander verbundenen – Wänden, zwischen warmen Geräten sowie Elektrokabeln in einem Raum mit niedrigen Umgebungstemperaturen oder zwischen (tief-) kalten Rohren in einer vergleichsweise warmen Umgebung.

Obwohl die moderne numerische Strömungsmechanik erhebliche Fortschritte im zurückliegenden Jahrzehnt verzeichnen konnte, sind die Simulationsergebnisse nicht frei von Unsicherheiten. Diese sind wegen der Kompliziertheit und Komplexität der Wechselwirkungen zwischen dem Fluid einerseits und den technischen Strukturen mit ihren geometrischen Abmessungen, thermischen und mechanischen Oberflächeneigenschaften andererseits bei den hier vorliegenden Fragestellungen ebenfalls gegeben.

In den experimentellen Disziplinen der Ingenieurwissenschaften wie auch in der täglichen Ingenieurpraxis spielen dimensionslose Kennzahlen eine zum Teil erhebliche Rolle. Sie ermöglichen beispielsweise rasch ein neues Produkt auf Grundlage eines bewährten Prototyps zu entwickeln oder physikalische Abläufe unter Berücksichtigung geometrischer, kinematischer oder dynamischer Parameter zu systematisieren.

Die bekannten Grundlagen (Wärmeleitung, Wärmestrahlung) beziehen sich zumeist auf eindimensionale Modellvorstellungen bzw. auf Materialien mit isotropen Eigenschaften, wobei Luftströmungen an der Oberfläche der betrachteten Struktur unberücksichtigt bleiben. Das heißt, die vorliegenden Erkenntnisse sind für die vorgesehenen Entwicklungen von Modulen in harscher und tiefkalter Umgebung nur bedingt nutzbar. Sie liegen für diese oder ähnliche Anwendungen nicht aufbereitet vor. Die Zuverlässigkeit der weitgehend eindimensionalen Berechnungsansätze bei Anwendung auf komplexe dreidimensionale Strukturen ist unbekannt. Thermodynamische wie auch aerodynamische Effekte bleiben unberücksichtigt.

Es gibt keine Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden. Als bekannte Konstruktionen können hier der gewöhnliche Twistlock, sowie Schrauben- und Schweißverbindungen genannt werden. Ebenso sind die bestehenden Konstruktionen für Rohrdämmungen der Firma R&M bekannt.

Die verwendeten Quellen wurden in entsprechenden Bibliothekskatalogen, Proceedings und der Perinorm gefunden:

- a. ABS. 2011. *Rules for Building and Classing Steel Vessels: Vessels Intended to*. Houston, USA: American Bureau of Shipping.
- b. ALFRED-WEGNER-INSTITUT. 2010. *Technische Beschreibung Neumayer-Station III*. Bremerhaven: AWI.
- c. BACHMANN, Hugo. 1994. *Hochbau für Ingenieure - Eine Einführung*. Zürich, Stuttgart: Verlag der Fachvereine Zürich, B.G. Teubner.
- d. BV. 2010. *Rules for the Classification of Offshore Units*. Frankreich: Bureau Veritas.
- e. CLAUSS, LEHMANN, and ÖSTERGAARD. 1994. *Offshore Structures - Volume II*. London: Springer Verlag.
- f. DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. 1981. *ISO Container der Reihe 1: Eckbeschläge, Anforderungen*. Berlin: DIN.
- g. DIN 19900. 2002. *Erdöl- und Erdgasindustrie - Allgemeine Anforderungen an Offshore-Bauwerke (ISO 19900:2002)*. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- h. DIN 19901-3. 2011. *Erdöl- und Erdgasindustrie-Hubinseln (ISO 19901-3:2011)*. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- i. DIN 19902. 2007. *Erdöl- und Erdgasindustrie - Gegründete Stahlplattformen*. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- j. DIN 19906. 2011. *Erdöl- und Erdgasindustrie: Offshore-Bauwerke für den Arktis-Bereich (DIN EN ISO 19906:2011)*. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- k. DNV. 2008. *Design of Offshore Steel Structures General (LRFD Method)*. Norway: Det Norske Veritas.
- l. W. Haupt. 2001. *Zur Simulation von auftriebsinduzierten Innenraumströmungen*. Kassel Universität Fachbereichs Architektur
- m. ISO 3874. 1997. *Series 1 freight containers - Handling and securing*. Schweiz.
- n. ISO 3874 AMENDMENT 1. 2000. *Series 1 freight Containers - Handling and securing: Amendment 1: Twistlocks, latchlocks, stacking fittings and lashing rod systems for securing of containers*. The International Organization for Standardization.
- o. WORLD SHIPPING COUNCIL 2011. *Containers Lost At Sea*.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Partner in diesem Teilprojekt sind Kaefer, KLH, IMAWIS, NSD, IMG, Muehlhan, Fraunhofer IPA, und WIG. Die Zusammenarbeit der Universität Rostock bestand hauptsächlich mit NSD bzgl. der Twistlock Verbindungen zur Befestigung der Wohncontainer und der Befestigung der Einhausung und mit IMAWIS und Kaefer bzgl. der Paneele. Für die Analyse der strömungsrelevanten Fragestellungen erfolgte eine enge Zusammenarbeit mit KLH und NSD, sowie Kaefer bezüglich der bestimmenden Isolationsrandbedingungen.

Endbericht – Eingehende Darstellung

Zuwendungsempfänger: Universität Rostock	Förderkennzeichen: 03WKBX03H
Vorhabensbezeichnung: Production, Operation and Living in Arctic Regions (POLAR) TP 3H : Werkzeuge zur strukturmechanischen und strömungstechnischen Optimierung modularer Wohn- und Serviceeinheiten	
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2010 – 30.11.2013	
Berichtszeitraum: 01.12.2010 – 30.11.2013	

1. Eingehende Darstellung der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Analysephase

- 3.1201.12: **Sammlung, Verallgemeinerung und Bewertung von Daten und Informationen über die technischen und physikalischen Randbedingungen, die für die Entwicklung der „Werkzeuge“ (numerische Simulationen und experimentelle Analysemethoden) erforderlich sind.**

Dieses Arbeitspaket wurde vollständig erfüllt. Die Analyse der bestehenden Vorschriften (DIN 19900 – 19906) hat ergeben, dass diese nur allgemeine Richtlinien und Vorgaben für HVAC-/Isolierungs-/Enteisungssysteme für modulare Wohn- und Servicemodule in arktischen Regionen enthalten. Diese Richtlinien fordern von den HVAC-Systemen eine ausreichende Kontrolle und Regulierung der Feuchtigkeit speziell in bemannten Bereichen sowie eine besondere Bauweise im Falle eines Brandes. Konkrete Angaben zu Anzahl und Dimensionierung der Klimatisierungsanlagen sind jedoch nicht vorhanden.

Zurzeit werden Wohn- und Servicemodule im Allgemeinen mittels der kostengünstigen Sandwichbauweise isoliert. Zusätzlich erfolgt zumindest teilweise eine Umhüllung der gesamten Station mit Sandwichelementen und verzinkten Stahldeckschalen (z.B. Neumayer-Station III), wodurch viele Durchgänge und Kontrollschächte mit verschiedenen Ausdehnungen vorhanden sind. In diesen Zwischenräumen kommt es aufgrund der starken Temperaturgradienten zu Luftzirkulationen, wobei ein kombinierter Wärme- und Feuchtetransport auftritt. Das Strömungsverhalten in diesen Durchgängen wird mittels CFD-Simulationen analysiert werden.

Um die Simulationlösungen auf Realitätstreue und Genauigkeit einschätzen zu können, sind experimentelle Vergleichsuntersuchungen zur Validation der modellierten Simulationsansätze notwendig. Bei den Versuchen erfolgt die messtechnische Erfassung der auftretenden physikalischen Vorgänge im Raumluftrömungslabor des Lehrstuhls Meerestechnik. Dieser Raum hat eine Grundfläche von 3m x 3m und eine maximale Höhe von 3m (Decke absenkbar). Er enthält durchsichtige Wandelemente, durch die ein Erfassen von Strömungsfeldern mittels Laser-Messverfahren (PIV) von Außen möglich ist.

Es wird zunächst ein vereinfachtes Validationsexperiment für die Simulation und den Versuchsstand gewählt, welches aus zwei unterschiedlich temperierten Platten besteht, zwischen denen sich infolge des Temperaturunterschiedes eine Strömung entwickelt. Mit Hilfe des PIV-Messverfahrens werden dann Geschwindigkeits-Vektorfelder aufgenommen, welche zur Validierung der Simulationsergebnisse genutzt werden. Durch den Einsatz von Temperatursonden ist eine Analyse des Temperaturverlaufs in dem zu untersuchenden Versuchsbereich möglich.

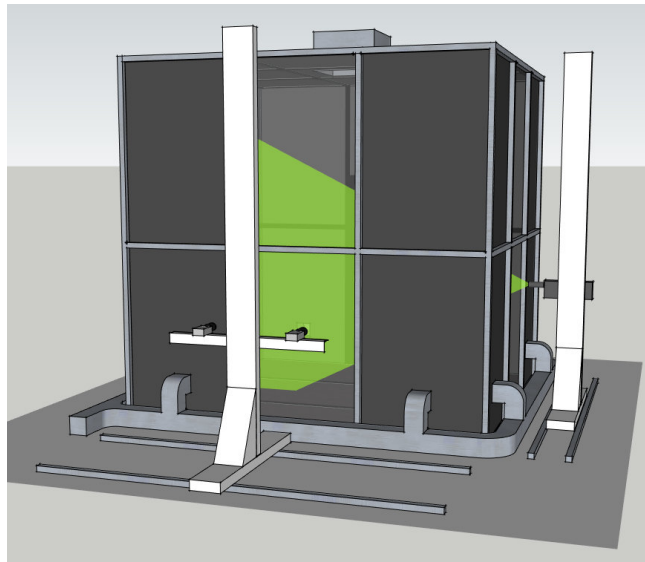


Abbildung 1: Raumluftströmungslabor

3.1402.12: **Analyse von Vorschriften und Befestigungssystemen in anderen Industriezweigen**

Dieses Arbeitspaket wurde vollständig erfüllt. Die Belastungen auf eine Offshore Struktur in arktischen Regionen entstehen in Übereinstimmung mit der DIN 19906 durch Vibrationen, die durch Wellen in offenen Gewässern verursacht werden, und durch Eislasten. Die Analyse der Vorschriften in Hinblick auf die zu entwickelnden Berechnungswerkzeuge hat gezeigt, dass keine Berechnungsmethoden für die Komponentenintegration etabliert sind. In den Klassifikations- und DIN-Vorschriften sind keine Berechnungswerkzeuge vorgegeben. Es wird lediglich empfohlen, entsprechende FEM Analysen und Modellversuche vor der Installation durchzuführen. In welchem Umfang und wie detailliert dies geschehen soll, bleibt unbeachtet.

In diesem Arbeitspaket wurden spezielle Befestigungssysteme ausgewählt, die bzgl. der Ähnlichkeiten mit anderen Industriezweigen analysiert werden: Paneelbefestigungen an der Stahlstruktur, Twistlockverbindungen zur Halterung der Wohncontainer und Befestigungen einer Einhausung. Diese Analyse zeigt Ähnlichkeiten mit anderen Industriezweigen, wobei die zu betrachtenden Belastungen auf die Struktur bei einer Offshore-Struktur in arktischen Klimazonen einzigartig sind. Im Fassadenbau wird die Fassade durch Schraubverbindungen an dem Gebäude befestigt. Für die in der Antarktis stehende Neumayer-Station III werden Offshore-Container für den Wohn- und Servicebereich genutzt. Dort ist allerdings keine Modularisierung mittels Twistlockverbindungen möglich: die Container sind angeschweißt. Auch in anderer Literatur zu Onshore-Strukturen in arktischen Gebieten werden die Verbindungen meist über Schrauben, Bolzen oder Schweißnähte gewährleistet. Durch die schwierige Loch-Loch Passung bei der Montage ist eine Schraubverbindung auf einer Offshore-Struktur weniger geeignet. Die Modularisierung der Container ist bei Schweißverbindungen nicht möglich, wird aber ansonsten sehr häufig bei den Decksaufbauten von Offshore-Strukturen verwendet. Containerbefestigungen (Twistlocks) sind die günstigste Möglichkeit die Container modular in dem Rahmen zu befestigen.

Konzeptionsphase

3.2201.12: **Entwicklung von Konzepten für die numerische Modellierung (CFD, insbesondere Pre- und Postprocessing), Testen verschiedener Methoden, Berechnungsgenauigkeiten**

Dieses Arbeitspaket wurde vollständig erfüllt. Für die numerische Modellierung der Wärmetransportvorgänge wird das kommerzielle System „ANSYS CFX“ verwendet. Anhand eines einfachen 2D-Simulationsmodells wurden verschiedene numerische Modellierungsansätze getestet und hinsichtlich der physikalischen Plausibilität überprüft. Das Modell beinhaltete temperierte, isolierte und adiabate Wände. Es erfolgten transiente Simulationen, damit instationäre Strömungsvorgänge erfasst werden und die Auswirkung dieser auf die Temperaturverteilung untersucht werden kann. In Abbildung 2 sind Ergebnisse einer Strömungssimulation für zwei Zeitpunkte (t_1 , t_2) abgebildet. Daraus lässt sich erkennen, dass die durch die Temperaturgradienten angetriebenen Luftströmungen ein sehr instationäres Verhalten aufweisen, jedoch die Temperaturverteilung dabei nur lokal schwankt (z.B. direkt oberhalb der 20°C temperierten Wände).

Die zu erwartenden physikalischen Phänomene werden innerhalb der Simulationen plausibel wiedergegeben und treten in der richtigen Größenordnung auf, wenn die für das ausgewählte Turbulenzmodell (SST) notwendigen Rahmenbedingungen eingehalten werden. Des Weiteren ergibt sich damit aber auch die Notwendigkeit der Erzeugung eines sehr fein aufgelösten numerischen Rechenmodells.

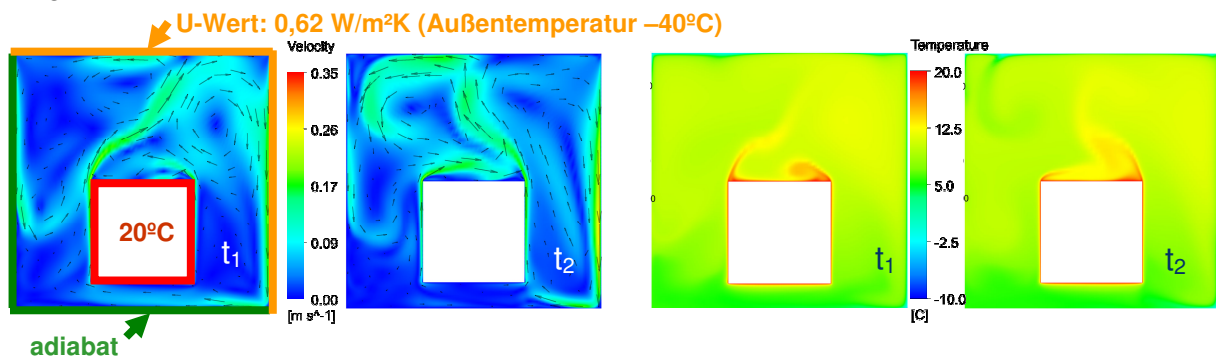


Abbildung 2: Numerisches Simulationsmodell zur Erprobung von Modellansätzen

Auf Basis des entwickelten numerischen Modells erfolgte eine Anwendung der Strömungssimulationen an dem vom Projektpartner NSD zur Verfügung gestellten Referenzdesign der Wohnkomplexeinhausung.

Als abschließendes Ergebnis und Zusammenfassung des Arbeitspaketes 3.2201.12 steht ein physikalisch plausibles Simulationsmodell zur Verfügung, welches in der Anwendung als auslegungsbegleitendes Hilfsmittel sehr gut einsetzbar ist. Es ermöglicht frühzeitig in der Planung die Abklärung grundlegender Funktionsweisen eines Lüftungskonzeptes oder des thermischen Zusammenspiels von Isolation, Wärmeübergängen und Klimatisierung.

3.2202.12: **Entwicklung von Konzepten für die experimentelle Validierung der Theorie (Versuchsaufbau, Modelle für Experimente), Testen verschiedener Methoden, Genauigkeitsuntersuchungen**

Dieses Arbeitspaket wurde vollständig erfüllt. Für die experimentellen Untersuchungen wird das am Lehrstuhl vorhandene Raumlufstromungslabor (kurz „RSL“) verwendet werden. Dieses bietet die Möglichkeit der berührungslosen Strömungserfassung durch ein außerhalb des Beobachtungsraumes angeordnetes, traversierbares PIV-Lasermesssystem.

Die experimentellen Fragestellungen konzentrieren sich auf das Entstehen von Strömungen aufgrund vorliegender Temperaturunterschiede zwischen zwei und mehr festen Wänden. Der experimentelle Modellaufbau wird sich in mehreren Stufen zusammensetzen:

- Zunächst erfolgen Konvektionsversuche mit einer erwärmten Platte.

- In einem zweiten Untersuchungsschritt wird die von der erwärmten Platte aus aufsteigende Luft durch eine übergestülpte Acrylglasbox in der Strömungsausbreitung behindert.
- Ein weiterer Schritt ist die Integration einer zweiten durch Flüssigkeit temperierten Platte in den Versuchsaufbau. Dazu ist die Verwendung eines Umlaufthermostates geplant, welcher in der Lage ist, die Flüssigkeit auf eine vorher eingestellte Temperatur zu erwärmen bzw. zu kühlen. Ein derartiges Gerät ist am *Fraunhofer Anwendungszentrum für Großstrukturen in der Produktionstechnik* vorhanden und soll im Rahmen des POLAR-Projektes für den experimentellen Modellaufbau zeitweise genutzt werden.

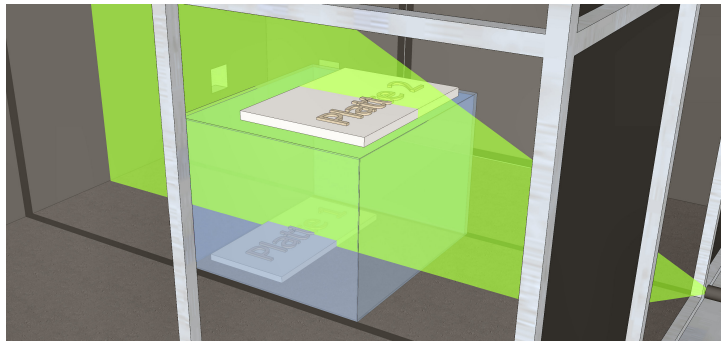


Abbildung 3: Veranschaulichung des Versuchsaufbaus im RSL

Das PIV-Messprinzip beruht darauf, kleine Tracerpartikel dem zu untersuchenden Fluid hinzuzufügen, welche sich nahezu schlupffrei mit der Strömung bewegen. Durch zwei mit einer Kamera synchronisierte hochenergiereiche Laserimpulse werden zwei zeitlich versetzte Partikelbilder aufgenommen. Auf Grund der Kenntnis der n Partikelverschiebungen $\Delta \mathbf{s}_i$ (mit $0 \leq i \leq n$) innerhalb eines bekannten Zeitintervalls Δt kann ein Vektor-Geschwindigkeitsfeld \mathbf{v}_i errechnet werden.

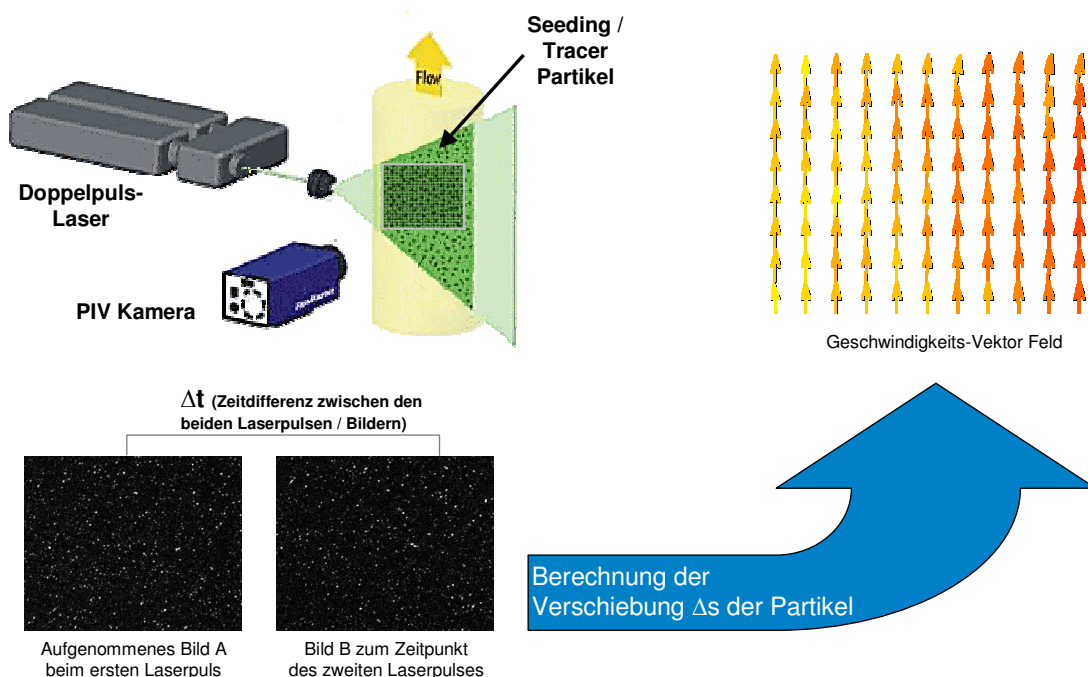


Abbildung 4: PIV-Lasermesssystem Funktionsprinzip

Die Auswertung der numerischen und experimentellen Daten erfolgt im Post-Processing Programm des benutzen Simulationspaketes *ANSYS CFX*, womit eine optimale Darstellbarkeit bei der Gegenüberstellung der numerischen und experimentellen Ergebnisse erreicht wird.

3.2403.12 Konzeptentwurf zur Entwicklung von Dimensionierungsverfahren zur Befestigung von hochdämmenden Hüllsystemen

Dieses Arbeitspaket wurde vollständig erfüllt. Für die Wohn- und Servicemodule wird hier eine Einhausung vorgesehen (Entwurf nach NSD). Die Wohn- und Servicecontainer werden in einem Rahmen innerhalb dieser Einhausung modular befestigt. Als Befestigungen sind standardisierte Containerbefestigungen wie Twistlocks (siehe Abbildung 5 rechts) vorgesehen, die entsprechend den Belastungen analysiert werden. Zu den Belastungen gehören Schwingungen ebenso wie die Gewichts- und Beschleunigungskräfte aufgrund der Krängung der Offshore-Plattform, bei denen die Container nicht verrutschen dürfen. Die arktischen Temperaturen werden ebenfalls betrachtet, weil die Container- genutzt als Serviceeinheiten - ebenfalls außerhalb der Einhausung nutzbar sein müssen. Für die arktischen Klimazonen werden spezielle Karbon-Mangan- oder Nickellegierungs-Stähle für die Twistlocks verwendet.

Die Einhausung muss auf dem Deck befestigt werden und muss den oben erwähnten Eislasten ebenso wie der Kälte standhalten. Die Einhausung sollte an das Deck geschweißt oder geschraubt werden (siehe Abbildung 5). Hier ist die Schweißverbindung zu bevorzugen da keine Wärmebrücken entstehen. Allerdings könnten durch die zusätzlichen Belastungen aufgrund der arktischen Klimabedingungen die Schweißnähte nicht ausreichend dimensioniert sein. Die unterschiedlichen Befestigungen werden mit dem FEM Programm ANSYS entsprechend den unterschiedlichen Belastungen modelliert und analysiert. Bei den Berechnungen wird von einem linear elastischen isotropen Material ausgegangen. Die Einhausung wird gedämmt und durch die Befestigungssysteme der Paneele an der Stahlstruktur dürfen keine Wärmebrücken entstehen.

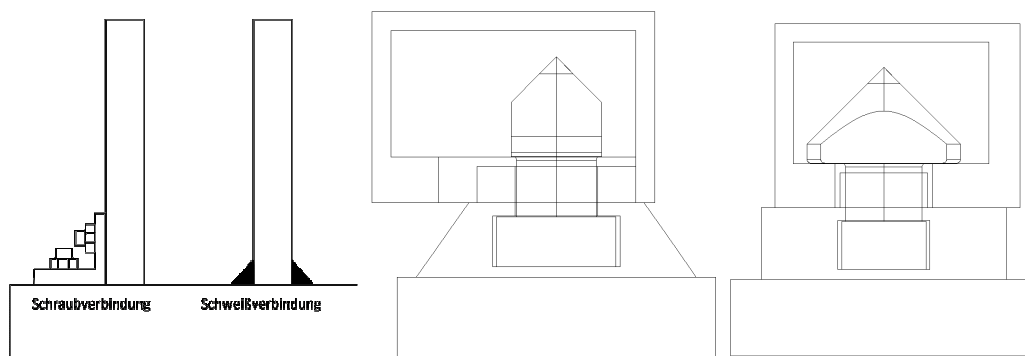


Abbildung 5: links: mögliche Verbindungsarten für die Befestigung der Einhausung an der Decksstruktur; rechts: seitliche und Frontansicht der Twistlocks zur Befestigung der Wohn- und Servicecontainern

3.2404.12 Modellbildung hinsichtlich der zu entwickelnden Dimensionierungsverfahren zur Befestigung von hochdämmenden Hüllsystemen

Dieses Arbeitspaket wurde vollständig erfüllt. In dieser Phase wurden drei verschiedene Modelle aufgebaut: das Twistlocksystem, eine Schweißverbindung zur Befestigung der Einhausung am Deck und eine Schraubenverbindung zur Befestigung der Paneele an der Tragstruktur. Das lokale Twistlocksystem wurde in ANSYS Classic modelliert und entsprechend den Belastungen - Gewichts- und Beschleunigungskräfte - simuliert. Um zu gewährleisten, dass die Ergebnisse des lokalen Twistlocksystems plausibel sind, wird ein globales Twistlock Modell erstellt und die Ergebnisse werden miteinander verglichen. Das lokale System umfasst nur einen Twistlock und eine Containerecke. Das globale hingegen beinhaltet vier Containerecken, die Twistlocks und den Container.

Die Modellierung der Schweißverbindung für die Einhausung wurde mittels Submodelltechnik durchgeführt. Die Einhausung wurde mit Schalenelementen modelliert und die entsprechenden Verschiebungen durch Eigengewicht, Eis- und Windlast an das Submodell der Schweißnaht übergeben (siehe Abbildung 6 links). Da die Einhausung aus einer Tragstruktur

besteht und in der Simulation eine Plattenstruktur gewählt wurde, musste eine Anpassung des E-Moduls der Platten stattfinden. Die Spannungen an der Schweißnaht übersteigen die erlaubten Werte leicht (siehe Abbildung 6 Mitte). Durch eine Änderung der Konstruktion ist die Schweißnaht zu entlasten. Das Modell für die hochdämmenden Paneele wurde erstellt. In Abbildung 6 rechts ist eine Detailansicht der Befestigung des Paneels an der Tragstruktur zu sehen, welches in die Tiefe einen Steg und eine Schraubenverbindung umfasst.

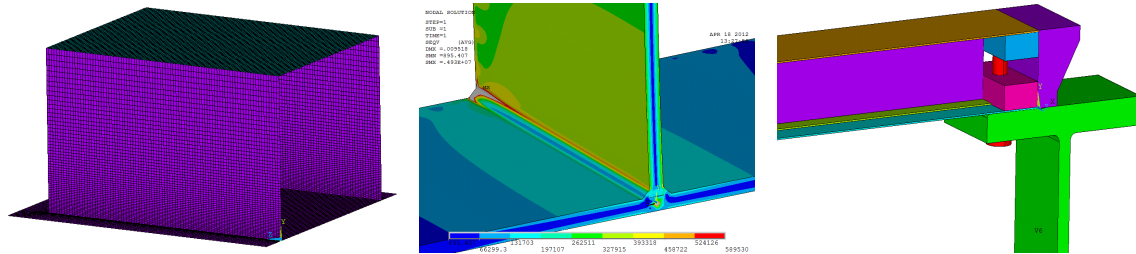


Abbildung 6: links: Einhausung als globales Modell; Mitte: Spannungen an der Schweißnaht im Submodell; rechts: Detaillierte Ansicht der Befestigung des Paneels am Doppel-T-Profil mit den einzelnen Volumen

Entwicklungsphase

3.3201.12: **Entwicklung und testen der numerischen Modelle, Erstellung notwendiger Dokumentationen**

Dieses Arbeitspaket wurde vollständig erfüllt. Das Simulationsmodell aus des Arbeitspaketes 3.2201.12 wurde wesentlich erweitert und dem aktuellen Forschungsstand der Projektpartner angepasst. Hierzu gehörte im besonderen Maße die Integration der Traggerüststruktur der Wohnkomplexeinhausung. Diese stellte aufgrund der geometrischen Komplexität einen wesentlich höheren Anforderungsgrad an die Vorbereitung und die Durchführung der Strömungsberechnungen dar.

Um die Voraussetzungen für eine Belüftung der Einhausung zu stellen, wurde vom Kooperationspartner Neptun Ship Design (NSD) die Traggerüststruktur so verändert, dass die horizontal verlaufenden Träger zu der Außenhülle einen Spalt von ca. 20cm freilassen (Abbildung 7). Dieser Spalt soll ein Belüften der Außenwandpaneele gewährleisten und so der Kondensationsbildung entgegenwirken.

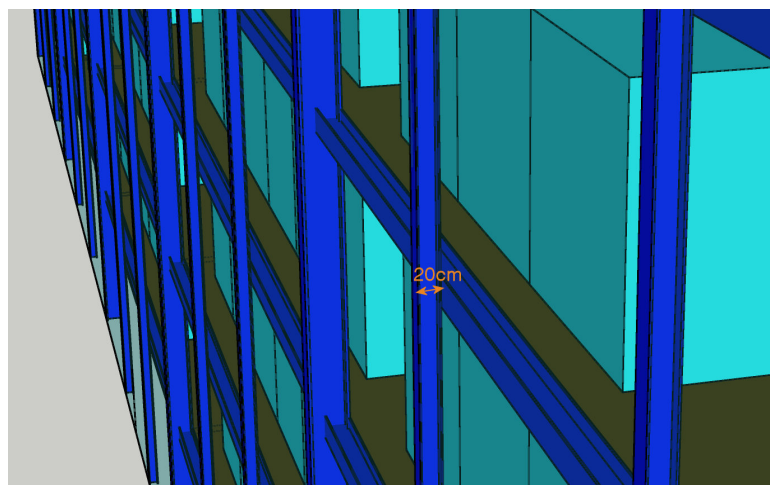


Abbildung 7 - Traggerüststruktur mit 20cm Spalt zur Belüftung der Außenwandpaneele

Aus den durchgeführten numerischen Untersuchungen geht hervor, dass die Voraussage von Strömungsvorgängen sehr stark an das aktuell umgesetzte Geometriemodell und damit dem Entwicklungszustand innerhalb der Projektbearbeitung gebunden ist. So können Lüftungskonzepte durch die Veränderung von baulichen Beschaffenheiten, wie in diesem Untersuchungsbeispiel der freie Querschnitt zwischen der Traggerüststruktur und den

Außenwänden, nicht mehr funktionieren. Deshalb ist es zwar nützlich frühzeitig mit der Planung von Lüftungskonzepten zu beginnen, jedoch auch absolut notwendig, dieses fortwährend am aktuellen Projektentwicklungsstand zu überprüfen. So besteht immer die Möglichkeit, Fehler zeitig innerhalb des Projektteams zu besprechen und Lösungen zu finden. Zu beachten ist dabei aber auch, dass der Umsetzung von detaillierten Geometrien Grenzen innerhalb eines Simulationsmodells gesetzt sind. Diese entstehen durch die begrenzte Verfügbarkeit von Rechenressourcen. Diese Grenze verschiebt sich durch neue Technik zwar immer wieder, jedoch ohne Vereinfachungen, wie im vorliegenden Beispiel der Wohnkomplexeinhausung, ist dies in den nächsten Jahren sicher nicht möglich.

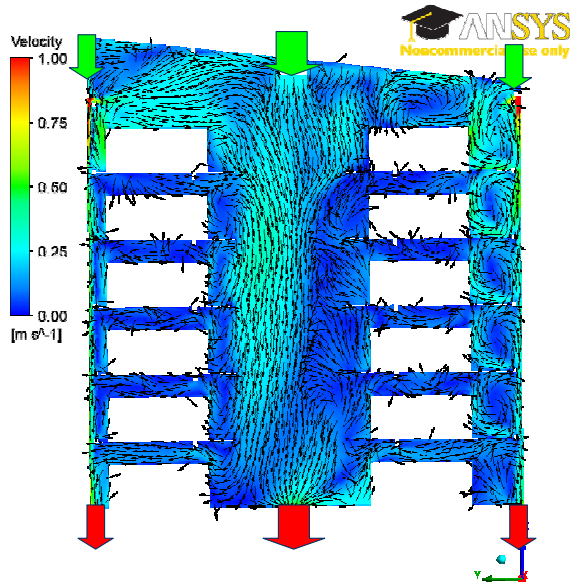


Abbildung 8: Lüftungskonzept umgekehrt (von oben nach unten) bei einem 10fachen Luftwechsel pro Stunde.

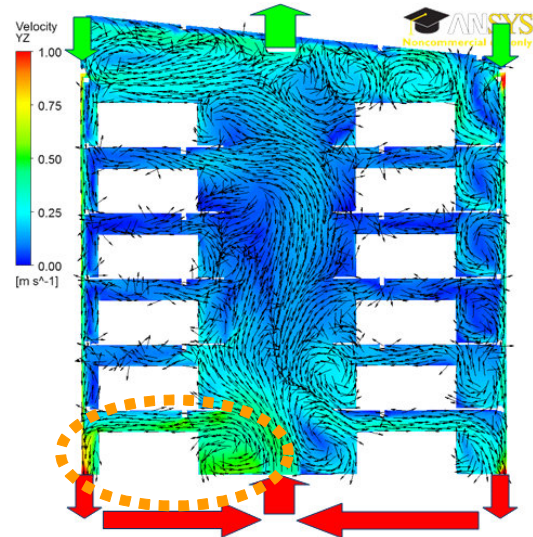


Abbildung 9: Lüftungskonzept entgegengesetzt-verbunden bei einem 5fachen Luftwechsel. Kurzschlussströmung in Bodennähe orange markiert.

3.3202.12: Konstruktion, Fertigung und Optimierung einer Versuchsanlage für experimentelle Untersuchungen, notwendiger Dokumentationen

Dieses Arbeitspaket wurde vollständig erfüllt. In diesem Arbeitspaket wurde das in Paket 3.2202.12 entwickelte Versuchsstandskonzept in Form einer durchsichtigen Kunststoffbox mit zwei temperierbare Metallplatten umgesetzt. Die Versuchsbbox besteht aus laser- und temperaturbeständigem Material, wobei ebenfalls eine hohe optische Transparenz gewährleistet ist. Acrylglas reicht für die Versuche nicht aus, da es nur eine Temperaturbeständigkeit bis ca. 80°C besitzt. Polycarbonat ist formbeständiger und ist für Dauertemperaturen von bis zu ca. 120°C geeignet.

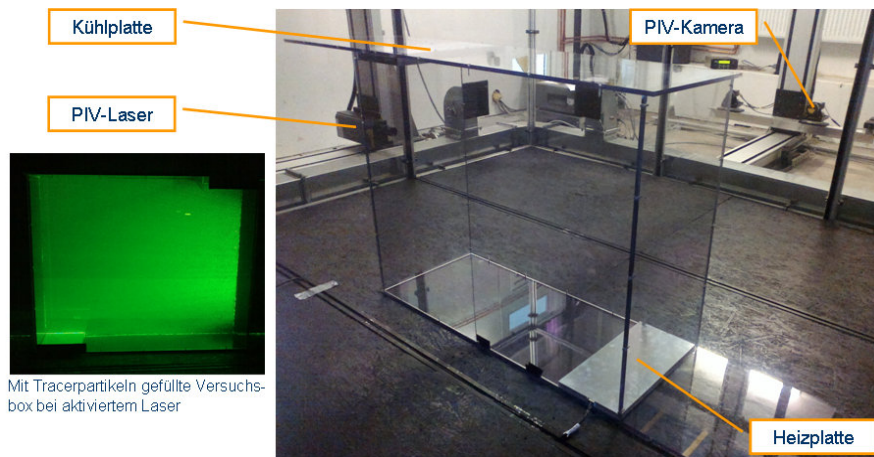


Abbildung 10: Konvektionsversuchsstand im Raumluftrömungslabor

Das PIV-Lasermesssystem wurde so ausgerichtet, dass die gesamte Versuchsbbox mit einem Mal erfasst wird, jedoch war ein vollständiges Auswerten der Kamerabilder nicht immer gewährleistet. In den wandnahen Bereichen werden die Geschwindigkeitsvektoren nicht oder nur mit einer sehr hohen Fehlerrate berechnet, da die starken Streuungen und Reflexionen zu einer Überbelichtung des Bildes führen. Aus diesem Grund werden die Randbereiche ausgeblendet und nicht für die Validierung verwendet.

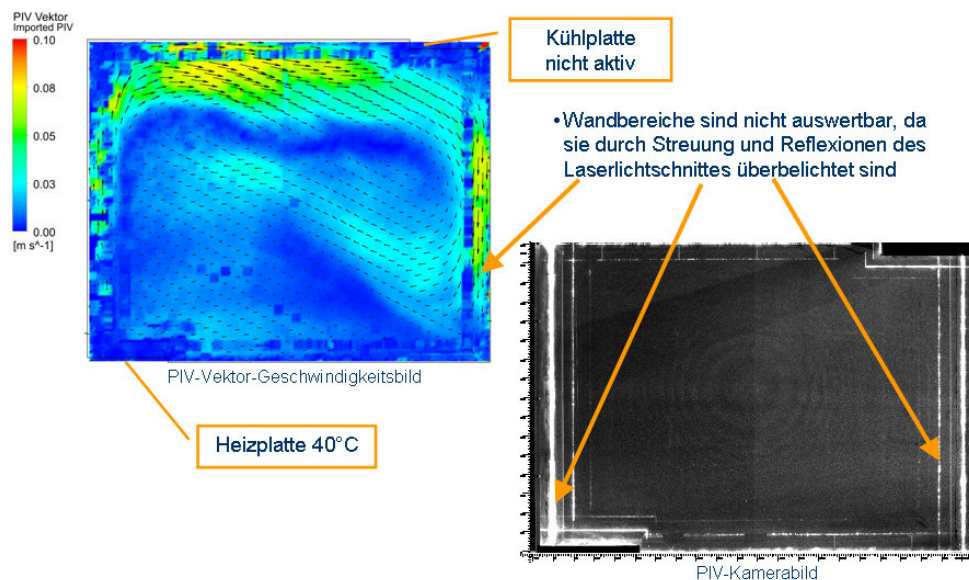


Abbildung 11: PIV-Messung am Konvektionsversuchsstand

Die Konvektionsströmung sowohl bei den Simulationen als auch bei den Experimenten ein instationäres Verhalten. Ein direkter Vergleich einzelner transienter Zustände ist nicht möglich, da keine Periode bzw. wiederkehrenden Verläufe von Strömungsmustern erkennbar ist. Aus diesem Grund wird für die Validation eine zeitliche Mittelung der Einzeldaten vorgenommen und diese dann anschließend verglichen. Der Vergleich von Experiment und Simulation zeigt dabei eine gute Übereinstimmung in Strömungsausprägung und den absolut vorhandenen Geschwindigkeiten. Insbesondere die an der Konvektionsbox verlaufende Haupt-Deckenströmung ist sehr gut durch das Simulationsmodell vorhergesagt. Zusammenfassend liegt mit Abschluss des Arbeitspaketes ein funktionierender Messaufbau mit einem exemplarisch durchgeführten Validationsablauf als Durchführungsvorschrift vor.

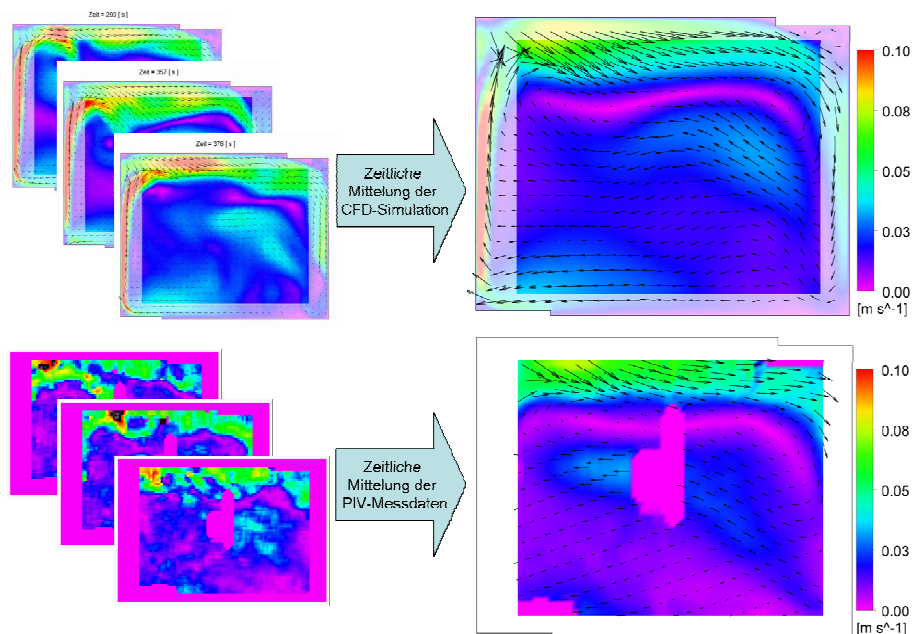


Abbildung 12: Zeitliche Mittelung der simulierten und experimentell gewonnenen Daten

3.3403.12 **Analysen des (der) konzeptionierten Berechnungsmodelles (Berechnungsmodelle) zur Dimensionierung von Befestigungssystemen hochdämmender Hüllsysteme unter Harsh Environment**

Dieses Arbeitspaket wurde vollständig erfüllt. In diesem Arbeitspaket wurden die zuvor erzeugten Modelle berechnet und in Hinsicht auf die Dimensionierung analysiert: Einhausungs-, Paneel- und Twistlockbefestigungen. Die Ergebnisse der lokalen Twistlockberechnungen zeigen keine Spannungen die über der Streckgrenze des Materials liegen. Diese Berechnungen sind allerdings ohne Sicherheitskorrekturen zu sehen. Die Spannungen liegen bei dem lokalen System über denen des globalen Systems aufgrund der zusätzlichen Rotation der einzelnen Containerecke, die beim globalen System durch die Steifigkeit des Containers verhindert wird. Die korrigierten Ergebnisse der lokalen Berechnung (--) und der globalen Berechnung (--) werden in Abbildung 13 dargestellt und liegen bei max. 60 N/mm². Das bedeutet, dass das Rollen bis $\varphi = 30^\circ$ bei einer Hauptdeckhöhe über dem Meeresspiegel von 35 m für die Twistlocks und das Fundament der Twistlocks keine Probleme darstellt. Änderungen des E-Moduls aufgrund der veränderten Temperaturen haben keinen Einfluss auf die resultierenden Spannungen.

Die Analyse der Paneelberechnungen zeigt bisher eine mittelmäßige Belastung an der Verbindung Paneel/Doppel-T-Träger durch die Biegemomente, die aufgrund der Windbelastungen entstehen. Für die Analysen werden die maximalen Windbelastungen von 0.1 N/mm² basierend auf den Ergebnissen von NSD verwendet. An der Schraube wird eine maximale Spannung von 12 N/mm² berechnet – das liegt weit unter der maximalen Zugfestigkeit (siehe Abbildung 14).

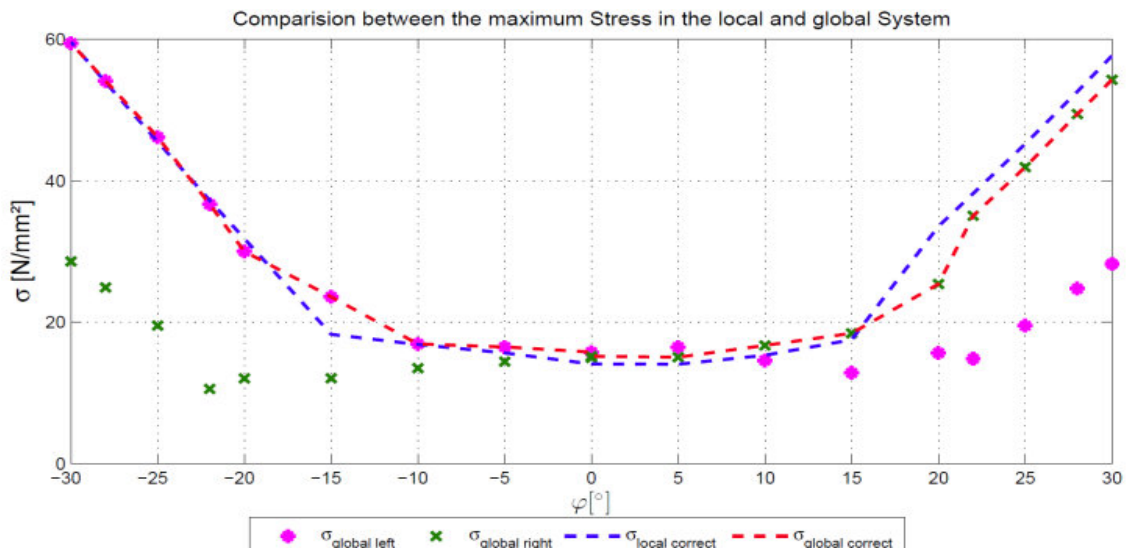


Abbildung 13: Vergleich der maximalen Spannungen in dem korrigierten lokalen und globalen System

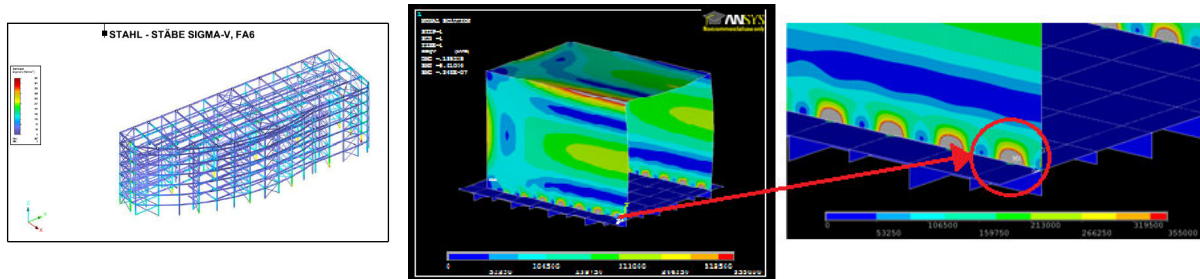


Abbildung 14: Einhausung - links: Stabtragwerk mit den Belastungen; Rechts: Spannungen an den Schraubenverbindungen der Einhausung

Die Untersuchungen von NSD haben gezeigt, dass die Einhausung als Tragwerk auszulegen ist. Dabei ist die Struktur aufgrund der Abmessungen und der zu überspannenden Fläche, eher mit einer Halle als mit einem herkömmlichen Deckshaus gleichzusetzen. Somit war es möglich die Tragsicherheitsnachweise mittels DIN 18800 zu führen. Die Geometrie für die Untersuchung von Schraubenverbindungen ist mit dem Hintergrund der Vergleichbarkeit stark an das Simulationsmodell der Schweißverbindung angelehnt. Mit Hilfe der Ergebnisse kann ein erster Vergleich mit der Schweißverbindung erfolgen. Dabei zeigt sich, dass das Spannungsniveau in der Simulation der Schraubenverbindung höher ist (siehe Abbildung 15). Gezeigt wird ein Schnitt in der Längswand der Einhausung auf einer Höhe von 15 m. Der qualitative Verlauf ist jedoch ähnlich. Die Ursache dafür ist in dem generellen Befestigungssystem zu finden. Während bei der Schweißverbindung die komplette Länge der Wände für die Befestigung zur Verfügung steht, beschränkt sich diese bei der Schraubenverbindung auf die im Raster identifizierten Befestigungspunkte. Deutlich wird dies auch bei dem Vergleich der auftretenden Verschiebung der Längswand in einer Höhe von 15 m an der Symmetrieebene. Die Verschiebungen erhöhen sich hier um ca. 45%.

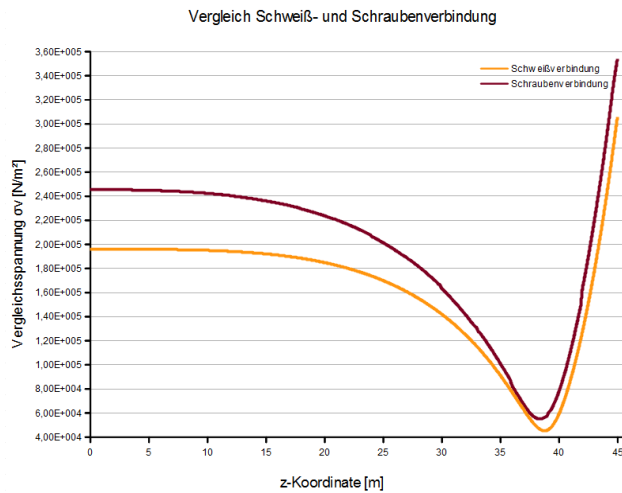


Abbildung 15: Vergleichsspannungen von Schweiß- und Schraubenverbindung im Vergleich

3.3404.12 Parameterstudie zur Modellbildung und Auswahl geeigneter Auslegungs- und Berechnungsverfahren

Dieses Arbeitspaket wurde vollständig erfüllt. In diesem Arbeitspaket wurde das Modell zur Berechnung der Paneelbefestigung einer Parameterstudie unterzogen. Das Modell basiert auf den CAD Basisdaten für das Versuchsmodell von IMAWIS. Als Vereinfachung wird statt der ganzen Struktur nur ein Viertel der Struktur modelliert. Die Schraubenverbindungen sind für die globalen Belastungen irrelevant, weshalb eine durchgehende Vernetzung vorgesehen wird. Die Belastung auf die Struktur wird als statisch angenommen mit einer lateralen Windlast. Da in den Modellversuchen beim Fraunhofer Institut nur ein Modell mit einer Steghöhe von 60 mm verwendet werden konnte, statt der 100 mm im Originalpaneel, wird dieser Wert hier ebenfalls berechnet um eine Auswertung der Versuchsergebnisse zu gewährleisten. Die auftretenden Spannungen bei einer Steghöhe von 60 mm sind deutlich höher als bei einer Steghöhe von 100 mm, aufgrund des kleineren Flächenträgheitsmoments. Da nur die Steghöhe für die Versuche beim Fraunhofer Institut herunterskaliert wurde, nicht aber die Belastung, bedeutet das, dass die FEM Ergebnisse bei einer Steghöhe von 60 mm bei einer Belastung von 2320 N/m² mit den Ergebnissen der Steghöhe von 100 mm bei einer Belastung von 4000 N/m² vergleichbar sind. Daraus folgen die extrem großen lokalen Verformungen von 30 mm bei einer Belastung von 4000 N/m² bei den 60 mm Stegen. Außerdem tritt bei einer Steganzahl von 2 ein lokales Versagen auf. Die Unterschiede zwischen den Verformungen sind in Abbildung 16 dargestellt.

Tabelle 1: Ergebnisse der Variation der Belastungen: Durchbiegung und maximale Spannung

Variante	Belastung [N/m ²]	Durchbiegung [mm]	Max. Spannung [N/mm ²] – v.M.
Steghöhe 60 mm 6 Stege	2320	8,7	63
	4000	30	219
Steghöhe: 100 mm 6 Stege	2320	3,6	37
	4000	6,2	64
Steghöhe: 100 mm 2 Stege	2320	4,9	lokales Versagen
	4000	8,5	
Steghöhe: 100 mm 4 Stege	2320	3,8	33
	4000	6,6	57

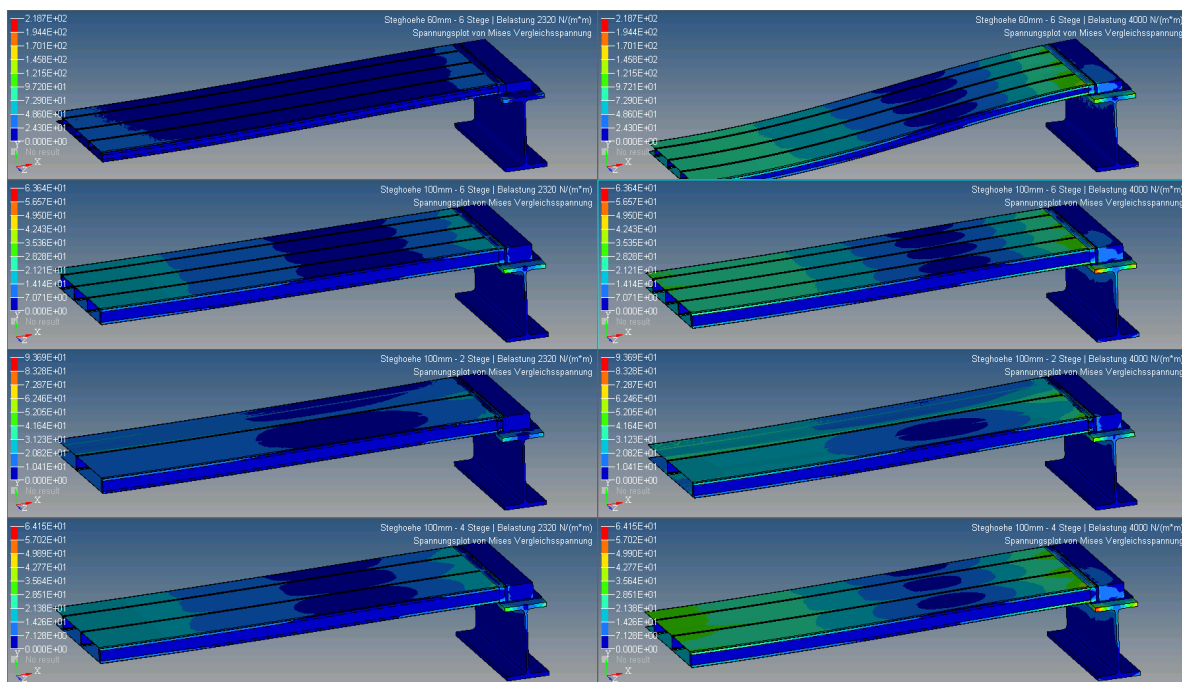


Abbildung 16: Belastungen der verschiedenen Varianten [v.o.: 6 (60 mm), 6 (100 mm), 2 (100 mm), 4 Stege (100 mm)] für 2320 N/m² (links) und 4000 N/m² (rechts)]

Zusätzlich zu den Paneelen wurden die Twistlock-Systeme zur Befestigung der Wohncontainer in der Einhausung betrachtet und eine Parameterstudie durchgeführt. Die Parameterstudie beinhaltet die Variablen:

- Reibungskoeffizient μ
- Rollwinkel φ

Entsprechend dieser Parameter wurde mithilfe einer Regressionsanalyse die Dimensionsgleichung erstellt, mit denen die Vorhersage der maximalen Spannungen an den Twistlocks möglich ist.
$$\sigma_{Container} = (\sigma_{*1} \cdot \varphi^2 + \sigma_{*2} \cdot \varphi + \sigma_{*3}) + (\sigma_{\mu 1} \cdot \varphi^2 + \sigma_{\mu 2} \cdot \varphi + \sigma_{\mu 3}) \cdot \mu$$

Integrationsphase

3.4201.12 Integration und Synthese aller entwickelten Komponenten numerischer und experimenteller Lösungsansätze zu einem „Werkzeug“, Darstellung der Ergebnisse

Der in Arbeitspaket 3.3202.12 erarbeitete experimentelle und numerische Versuchsablaufplan wurde auf mehrere Anordnungs-konstellationen (vgl. Abbildung 17) für den Konvektionsversuchsstand angewendet. Dafür wurde die Heizplatte auf eine Temperatur von 40°C bzw. 80°C erwärmt und die Kühlplatte mit Hilfe des Umlaufthermostaten auf 5°C gekühlt. Das Ergebnis dieser durchgeführten Vergleichsuntersuchungen ergab, dass die Strömungsrichtungen sowie die charakteristische Form der Konvektion vom numerischen Modell zum großen Teil korrekt vorhergesagt werden. Ein Vergleich der Geschwindigkeitsbeträge zeigt jedoch, dass die Simulation zu niedrige Werte berechnet. Exemplarisch ist dazu das Ergebnis für zwei Versuche in Abbildung 18 dargestellt.

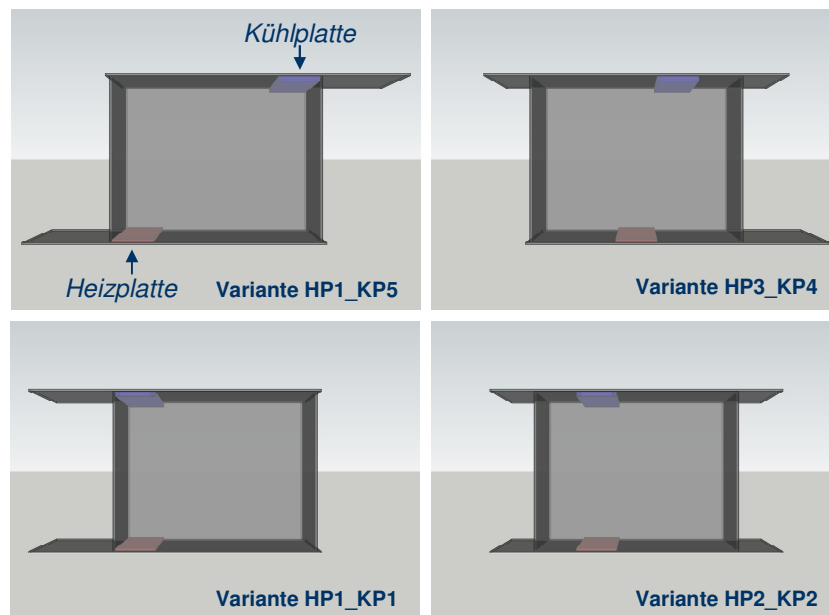


Abbildung 17: Auswahl von Versuchsvariationen mit Bezeichnung

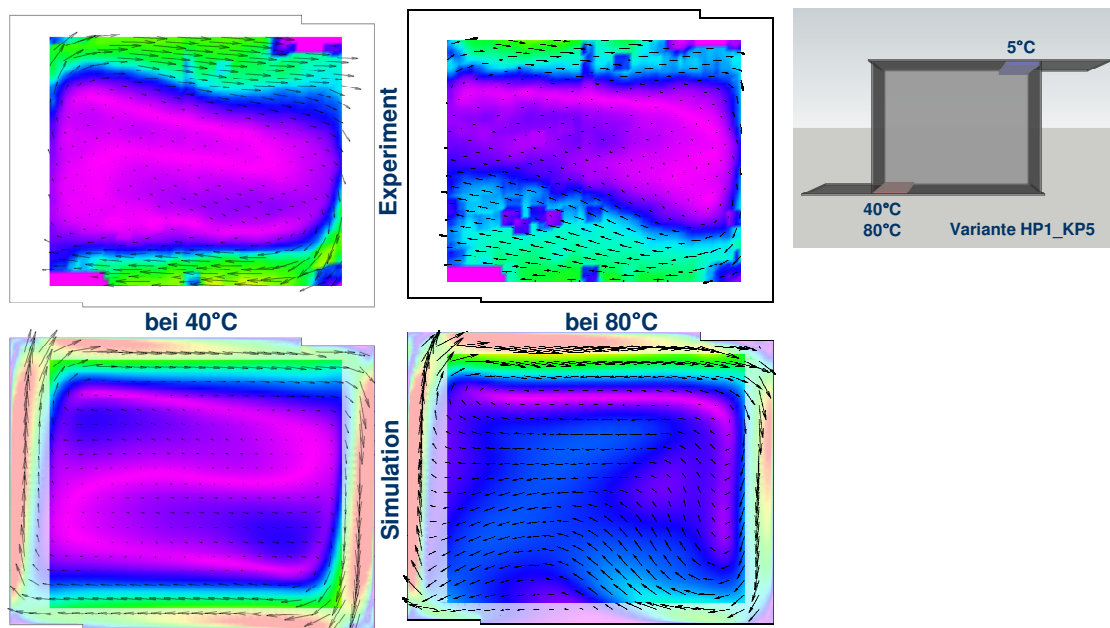


Abbildung 18: Validationsversuch (40HP1_80KP5) mit aktiver Heiz- und Kühlplatte

Um die Ursache für diese Unterschiede zu bestimmen wurden experimentelle Versuche mit leicht verändertem Messaufbau wiederholt. Des Weiteren wurden verschiedene Randbedingungen des Simulationsmodells (Wärmedurchgangskoeffizienten, Luftdichte, Oberflächentemperaturen, Viskosität) variiert. Dabei konnte festgestellt werden, dass die in der Simulation zu niedrig berechneten Geschwindigkeiten sich durch eine angenommene verringerte Viskosität kompensieren lassen. Dies bedeutet, dass die Dissipation von Bewegungsenergie numerisch zu groß bewertet wird und damit die Geschwindigkeiten niedriger ausfallen. Als Konsequenz ergibt sich teilweise ein leicht veränderter Strömungsverlauf als im Validationsexperiment. Abbildung 19 zeigt den Einfluss der Viskosität auf das numerische Strömungsergebnis.

Das Arbeitspaket konnte damit erfolgreich abgeschlossen werden, zeigt jedoch auf, dass bei der Vorhersage von natürlichen Konvektionsströmungen, die Dissipation von Bewegungsenergie teilweise zu hoch bewertet wird.

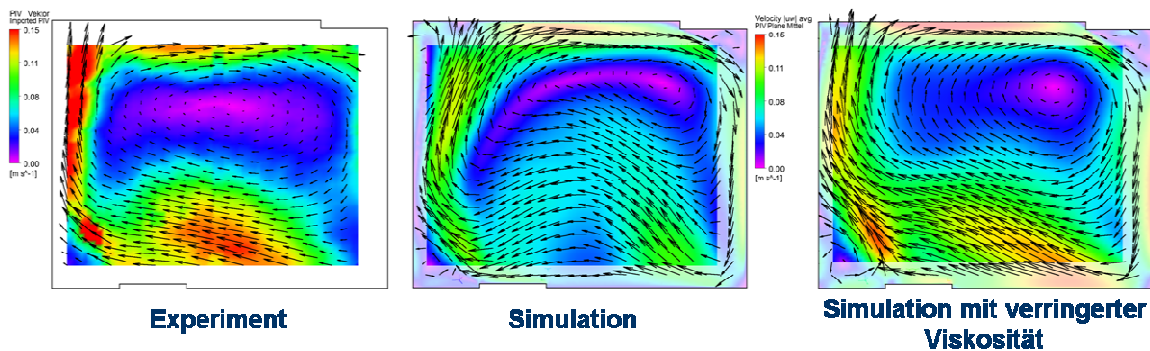


Abbildung 19: Validationsversuch (80HP2_aKP5) mit aktiver Heiz- und passiver Kühlplatte

3.4402.12 Falluntersuchungen und Plausibilitätsprüfungen des neuen Dimensionierungsmodells

Dieses Arbeitspaket wurde vollständig erfüllt. Die Plausibilitätsprüfung der Berechnungen der Paneelbefestigungen wurde durchgeführt. Entsprechend der analytischen Berechnung sind die mittels FEM berechneten Durchbiegungen realistisch. Die analytische Berechnung wurde für die Parameter: Steganzahl = 6 und die Belastung = 4000 N/m² durchgeführt. Die analytische Gleichung der Biegelinie sieht wie folgt aus:

$$w(x) = \frac{q_0 l^4}{24EI_y} \left[\left(\frac{x}{l} \right)^2 - 2 \left(\frac{x}{l} \right)^3 + \left(\frac{x}{l} \right)^4 \right]$$

Die Ergebnisse der analytischen Berechnung und der FEM Berechnungen sind in der Tabelle 2 dargestellt. Die Differenz zwischen den Ergebnissen kann mit den Randbedingungen erklärt werden. In dem hier verwendeten Modell der Plattentheorie ist der Balken direkt an den Enden eingespannt und lässt keine Verdrehungen an diesem Punkt zu. Bei der FEM Rechnung wurde das Ende des HEB-Profiles fest eingespannt um die Lager realistisch zu setzen. Dadurch kommt es bei den FEM Ergebnissen allerdings zu Verdrehungen der Platte. Die Durchbiegungen aufgrund der Rotation können durch den Dreisatz in der Plattenmitte berechnet werden.

Tabelle 2: Vergleich analytische Berechnung und FEM Berechnung

Steghöhe [mm]	Durchbiegung analytische Berechnung [mm]	Durchbiegung durch Rotation [mm]	Gesamt [mm]	Durchbiegung FEM Berechnung [mm]	Differenz [mm]
60	10.09	9.3	19.39	30	10.61
100	2.81	2.43	5.24	6.2	0.96

2. Der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises sind die Mitarbeiterkosten (164.367€) sowie die Beschäftigungsentgelte für studentische/wissenschaftliche Hilfskräfte (13.941€). Es wurden zwei Simulationsrechner für insgesamt 4.635€ angeschafft, sowie 6.687€ für Inlands- und Auslandsdienstreisen ausgegeben.

3. Der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die wissenschaftlich-technischen Risiken bestehen in der Schaffung von

- messtechnischen Voraussetzungen und
- simulativen Berechnungsmethoden

für strukturmechanische und strömungstechnische Analysen an Wohn- und Serviceeinheiten, die den harschen Bedingungen einer polaren Meeresumwelt ausgesetzt sind. Diese Einheiten zeichnen sich dadurch aus, dass die Strukturen sowohl auf ihren Oberflächen als auch zu ihrer Umgebung sehr hohe Temperaturgradienten aufweisen. Da es sich hierbei um komplexe und in ihrem strukturellen Aufbau zumeist auch um komplizierte technische Einheiten handelt, setzen diese auch entsprechend aufwendige mathematische Modelle und experimentelle Versuchsaufbauten voraus.

Der Antragsteller beabsichtigt, bei den Experimenten die konvektiven Strömungsvorgänge berührungsfrei im Raum zu messen. Das soll projektgemäß sowohl durch Anwendung von PIV-Lasermesstechnik als auch durch den Einsatz einer Hochgeschwindigkeitskamera erreicht werden zeitliche. Der Temperaturverlauf von Strukturoberflächen wird während der Experimente mittels Wärmebildkamera festgestellt. Bisher wurden mit der verfügbaren Aufnahmetechnik nur Wärmebildaufnahmen ohne zeitliche Auflösung durchgeführt. Die geplanten Aufgaben setzen jedoch ein hohes Maß an Zeitsynchronisation zu den übrigen zeitabhängigen Prozessen (Konvektionsströmungen, Wärmeübergänge, etc.) voraus. Damit soll eine Neuheit erreicht werden, die aber mit erheblichen technischen Risiken bei der Kalibrierung verbunden ist.

Ein weiteres technisches Risiko besteht in der Herstellung von übereinstimmender numerischer und messtechnischer Vergleichsbetrachtung von Wärmeausbreitung, -strahlung und konvektiver Strömung insbesondere im Fall geometrisch komplizierter Strukturen mit bizarren inneren Oberflächen. Hinzu kommt, dass die konvektive Strömung durch natürliche Luftströmungen überlagert sein kann.

Die Komplexität und Vielfalt dieser Aufgaben ist weder mit studentischen Hilfskräften allein zu bewältigen noch sind die beteiligten Unternehmen in der Lage, diese Untersuchungen allein in der geforderten Qualität und Quantität auszuführen. Eine Förderung durch die öffentliche Hand wird deshalb erforderlich.

Nach dem aktuellen Stand der Technik existieren unterschiedliche Dimensionierungs- und Berechnungsvorschriften zur Auslegung von Offshore-Plattformen. Derartige Berechnungs- und Dimensionierungsvorschriften wurden im Rahmen dieses Projektes auf ihre Anwendbarkeit und Extrapolationsfähigkeit für Offshore Plattformen und deren Wohnanlagen unter arktischen Einsatzbedingungen überprüft. Diese Untersuchung hat ergeben, dass keine der Berechnungs- und Dimensionierungsverfahren auf die hier analysierten Problembereiche anwendbar ist. Daher wurden neue Berechnungs- und Dimensionierungsverfahren für die Rohrperipherien und Servicemodulbefestigungen erarbeitet.

Jedes Jahr gehen unter normalen klimatischen Bedingungen 10.000 Container auf Containerschiffen verloren. Diese wurden mit Twistlock-Systemen befestigt. Diese Systeme wurden mit herkömmlichen Berechnungsverfahren entworfen. Diese gelten aber nur für Standardcontainer unter normalen klimatischen Bedingungen, weshalb die Wohnmodule in arktischen Klimazonen neu betrachtet werden mussten. Zusätzlich gibt es die Bedingung, dass sich Menschen in den Service-Modulen bewegen, bzw. sitzen. Daher war es notwendig ein neues Dimensionierungsverfahren für Twistlock-Systeme zu erarbeiten.

Der zweite Problembereich bei der Einhausung liegt bei der Verbindung zwischen Einhausung und Offshore Plattform. In Zusammenarbeit mit NSD konnte herausgefunden werden, dass aufgrund der Belastungen auf die Struktur der Einhausung die Verbindung Spannungsspitzen aufweist, die untersucht werden mussten um eine passende Befestigungsart auszu-

wählen. Die Paneele wurden in Kooperation mit IMAWIS und Kaefer einer Falluntersuchung unterzogen und dabei die Festigkeit untersucht und die Steganzahl variiert.

4. Voraussichtlichen Nutzen

Der Beitrag der Antragsteller aus dem Teilprojekt 3H bestand vorrangig darin, den Partnern im Verbundprojekt sowie darüber hinaus der breiten Öffentlichkeit leistungsfähige, auf wissenschaftlicher Basis erarbeitete und validierte Methoden zur Entwicklung neuartiger Wohn- und Servicemodule für harsche Umweltbedingungen und polare Gebiete bereit zu stellen. Das konnte vollständig erfüllt werden. In dem Teilprojekt gab es eine enge Zusammenarbeit mit NSD (Twistlock-Systeme & Befestigung der Einhausung), IMAWIS und Kaefer (Festigkeit der Paneele).

Durch die zwei vorhandenen Veröffentlichungen konnte der breiten Öffentlichkeit die leistungsfähige, wissenschaftliche Basis der Dimensionierungsverfahren für Twistlock-Systeme bereitgestellt werden. Zusätzlich wird eine Veröffentlichung über eine Zusammenfassung der erreichten Berechnungs- und Auslegungsverfahren im Juni 2014 bei der OMAE geplant.

Folgende wissenschaftliche Verwertungsmöglichkeiten werden sich nach derzeitigem Stand ergeben:

Jahr nach Projektende	geplante Aktivität
1 bis 3	Veröffentlichung von Fachartikeln
1 bis 3	Weiterführende strukturmechanische Berechnungen und Untersuchungen zur Qualifizierung von maritimen Strukturen für den arktischen Bereich
1 bis 3	Erweiterung des vorhandenen Versuchstandkonzeptes, sowie Durchführung vergleichender numerischer und experimenteller Versuche an Realobjekten (-strukturen, -gebäuden)

Innerhalb des Bündnisses tragen der Erkenntnisgewinn während der Projektlaufzeit sowie der anschließende qualifizierte Gebrauch der zu entwickelnden „Werkzeuge“ maßgeblich zum raschen Erreichen der erforderlichen „Know How“-Führerschaft des Bündnisses in der Entwicklung und im Bau von Wohn- und Servicemodulen in arktischen Klimazonen bei.

Auf der Grundlage der im Rahmen dieses Projektes entwickelten numerischen und experimentellen „Werkzeuge“ wurden von den Antragstellern neue Forschungsprojekte angestrebt.

5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es gab während des Vorhabens keinen bekannten Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.

6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

OMAE 2012-83021: Assessment of Container Mountings in Modular Offshore Platform Designs for Arctic Regions; Autoren: Josefine Michel, Patrick Kaeding; Organisation: ASME

Go 3D 2012: Raumluftrömungssimulation in der Meerestechnik; Autor: Henning Knuths; Organisation: IBPSA-Germany

OMAE 2013-10012: Dimensioning of Twistlocks in Modular Offshore Platform Designs for Arctic Regions; Autoren: Josefine Michel, Patrick Kaeding; Organisation: ASME

Geplant: **OMAE 2014:** Simulations of Mountings on Offshore Platforms in Arctic Regions; Autoren: Josefine Michel, Steffen Garke, Patrick Kaeding; Organisation: ASME

Geplant: **Bausim 2014:** Validation von Raumluftrömungssimulationen; Autor: Henning Wranik; Organisation: IBPSA-Germany

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Production, Operation and Living in Arctic Regions (POLAR) TP 3H : Werkzeuge zur strukturmechanischen und strömungstechnischen Optimierung modularer Wohn- und Serviceeinheiten	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Prof. Dr.-Ing. habil. Mathias Paschen (1) Prof. Dr.Eng./Hiroshima Univ. Patrick Kaeding (2) Dipl.-Ing. Josefine Michel (2) Dipl.Technomath. Henning Wranik (1)	5. Abschlussdatum des Vorhabens November 2013
	6. Veröffentlichungsdatum Januar 2014
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Universität Rostock Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik (1) - Lehrstuhl für Meerestechnik (2) - Lehrstuhl für Schiffstechnische Konstruktionen 18051 Rostock	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen
	11. Seitenzahl ca. 16
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben
	14. Tabellen 2
	15. Abbildungen 19
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung In diesem Teilprojekt sollten Werkzeuge zur strukturmechanischen und strömungstechnischen Optimierung modularer Wohn- und Serviceeinheiten entwickelt werden. Zum einen wurde die strukturelle Integrität ausgewählter Servicemodule untersucht und zum anderen die klimatischen Bedingungen innerhalb der Wohn- und Servicemodul-Einhausung. Bei der Prüfung der bestehenden Berechnungs- und Auslegungsverfahren für Strukturen im Eis wurde festgestellt, dass die Berechnungs- und Dimensionierungsvorschriften für LNG-Carrier, deren Anlagen und Offshore Plattformen unter arktischen Einsatzbedingungen keine Regularien für Befestigungen der Wohn- und Serviceeinheiten, bzw. der Einhausung beinhalten. Ziel war es, numerische Berechnungen mithilfe der FEM so weit zu vereinfachen, dass sie im täglichen Entwurfsprozess von Strukturen für den Einsatz unter Harsh Environment direkt angewendet werden können. Eine Aufgabe innerhalb des Teilprojektes war es, die Dimensionierungsgrundlage für erste Entwürfe von Wohncontainerbefestigungen unter den besonderen Einsatzbedingungen zu schaffen. Mithilfe einer Parameterstudie und Regressionsanalyse wurde eine Dimensionierungsgleichung für die Berechnung der Belastungen auf ein Twistlock System erstellt. Zusätzlich wurde die Verbindung der Einhausung an der Offshore Plattform mittels einer Sub-Modell-Technik in ANSYS untersucht um eine sichere Montage in arktischen Gebieten zu gewährleisten. Die strömungstechnischen Fragestellungen innerhalb des Teilprojektes führten zur Entwicklung eines numerischen Simulationsmodells. Es basiert auf dem im Verbundprojekt stetig veränderten und optimierten Konstruktionskonzept der Wohn- und Servicemodul-Einhausung. Das Simulationsmodell konnte wertvolle Aussagen zu thermischen Bedingungen in der Einhausung liefern und wurde für die Entwicklung und die Überprüfung erster Lüftungskonzepte eingesetzt. Hauptaugenmerk war dabei die Verhinderung von Kondensation an den Außenwänden, durch gezielte Belüftung der Außenwandpaneele.	
19. Schlagwörter Twistlock, FEM, Raumluftrömung, CFD	
20. Verlag	21. Preis