

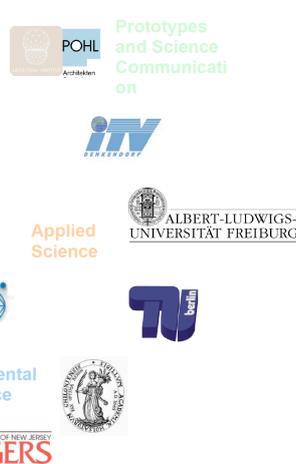
# Schlussbericht

Förderprogramm:	Virtuelle Institute
Impulsfonds-Projektnummer:	VH-VI-301
Projekttitlel:	Evolutionary principles leading to high performance lightweight constructions in Marine Planktonic Organisms – Fundamentals and technical applications (PlanktonTech)
Federführende/r Wissenschaftler/in	Dr. Christian Hamm - Dubischar
Federführendes Helmholtz-Zentrum:	Alfred-Wegener-Institut für Polar-und Meeresforschung
Weitere beteiligte Helmholtz-Zentren:	Keine direkt Beteiligten, während der Laufzeit wurde aber der Kontakt zum KIT intensiviert
Beteiligte Universitäten und andere Partner:	Universität Freiburg, TU Berlin, Universität Kiel, Rutgers University, Harvard University, ITV Denkendorf, Leichtbauinstitut Jena, Weitere Beteiligte: Universität Tübingen, SZAD Neapel
Berichtszeitraum (Förderungszeitraum)	01.03.2008 – 30.10.2013

## Partners



## Members



# I. Zusammenfassung

Die Ergebnisse des HVI PlanktonTech gliedern sich in Ergebnisse in der Grundlagenforschung, deren Nutzung in der Anwendungsforschung, sowie die Herstellung erster Prototypen auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse.

## Grundlagenforschung

In diesem Bereich wurden die wesentlichen Faktoren untersucht, die zur Evolution der hochentwickelten Schalen Mariner Planktonorganismen führten. Bemerkenswert und neu war, wie stark biogeochemische Faktoren wie die Silikatkonzentration im Zeitraum vom Paläozoikum bis heute die Geometrie und den Grad der Silifizierung der Schalenstrukturen von Radiolarien beeinflussten haben (Kotrc, Ph.D.). Durch experimentelle Untersuchungen (Fraßversuche kombiniert mit Crashtests) wurde erstmals bestätigt, dass die wesentlichen biogenen Faktoren Copepoden einen erheblichen Selektionsdruck durch starke Selektivität der Ingestionsraten in Abhängigkeit der mechanischer Festigkeit der Schalen ausüben (Friedrichs, Ph.D.). Dabei wurden bei ihnen selbst neue materialspezifische Anpassungen erstmals beschrieben: die Copepoden verringern offenbar durch den Fressvorgang entstehende Spannungen durch Integration von Resilin unterhalb der Silikatbeschichtung, die viele Copepoden auf ihren Gnathobasen zum Zerstören der sehr widerstandsfähigen Diatomeenschalen nutzen (Michels et al.). Eine statische Funktion der aus Silikat bestehenden Phytolithen bei höheren Pflanzen wurde dagegen nicht bestätigt, interessant war dagegen der Aufbau komplexer Strukturen bei höheren Pflanzen (Blecher, Ph.D.).

## Anwendungsforschung

Die Analyse verschiedener ausgewählter Diatomeen und Radiolarien zeigte bei gleicher Grundgeometrie erhebliche Unterschiede in den mechanischen Eigenschaften. Durch den parametrischen Aufbau der Grundgeometrien gelang erstmals die Optimierung dieser Strukturen für spezifische Leichtbauprobleme mit Hilfe der Evolutionsstrategie. Dabei wurde deutlich, dass sich aus der Leistung der Ausgangsform keine direkte Aussage betreffend der davon abgeleiteten, optimierten Geometrien ableiten ließen, dass aber die Nutzung verschiedener, voroptimierter Strukturen erhebliche Vorteile gegenüber rein numerischen Verfahren (wie Topologieoptimierung) bietet.

## Anwendungen und Ausblick

Im Rahmen des VI wurden Leichtbauprinzipien in Bauteile übertragen. Hierbei wurden fraktale Schalenversteifungen sowohl in CFK-Strukturen als auch in einem Ausstellungspavillon (GFK) mit Hilfe innovativer Fertigungsmethoden umgesetzt. Sowohl in technischer Hinsicht als auch in Bezug auf gestalterische Aspekte zeigten diese Prototypen ein außerordentlich hohes Potenzial für eine weitere Verwertung. Notwendig ist jedoch die Weiterentwicklung von Fertigungsmethoden. Das VI verbesserte durch seine vielfältigen Aktivitäten (Forschung, Entwicklung, Konferenzen und Messeaktivitäten) insbesondere die Effizienz und die Akzeptanz des ELiSE-Verfahrens: Es finden aktuell Aktivitäten zur Standardisierung des Verfahrens in einer VDI-Richtlinie statt, und es wird inzwischen nicht nur in Forschungsprojekten, sondern auch in Aufträgen für große Unternehmen professionell genutzt. Künftige Forschungsarbeiten mit Bezug zum VI werden im Bereich Morphogenese und Materialwissenschaften stattfinden.

## 2. Arbeits- und Ergebnisbericht

### 2.1 Ausgangslage

Grundlage des VI war das Thema Leichtbau in Natur und Technik, dies beinhaltete die Aufgaben (a) Grundlagenforschung (Leichtbauprinzipien in der Natur), (b) Anwendungsforschung (Methodenentwicklung) und (c) Produktentwicklung/ Herstellung von Prototypen.

#### 2.1.1 Ausgangsfragen

Die fachlichen Ausgangsfragen bezogen sich insbesondere auf die Themen Leichtbauoptimierung in Natur und Technik, die Entwicklung und entsprechender Verfahren zur Entwicklung hoch effektiver Leichtbaukonstruktionen, sowie deren Umsetzung in erste Prototypen. Daraus ergaben sich folgende konkrete Ausgangsfragen:

- (a) welche Prinzipien führen zur Entstehung von komplexen, stabilen Leichtbaukonstruktionen in der Natur?
- (b) wie lassen sich die vielfältigen Lösungen natürlicher Leichtbaukonstruktionen effektiv in ein Verfahren zur Entwicklung von technischen Leichtbaustrukturen übertragen?
- (c) sind komplexe Leichtbaukonstruktionen bereits heute in Faserverbundbauweise zu realisieren und erzielen sie trotz fertigungstechnischer Restriktionen Vorteile?

Eine übergeordnete Frage war, wie sich das sehr breite Spektrum an Themen aus Grundlagenforschung, Anwendungsforschung, Entwicklung von Prototypen und Vorbereitung von Verfahren sinnvoll und effektiv in einem VI kombinieren lässt. Darüber hinaus wurde die Frage untersucht, wie es am besten möglich ist, die komplexen Themen des VI sowohl einem breiteren Fachpublikum als auch der Öffentlichkeit zu vermitteln.

#### 2.1.2 Ziele

Ziele von PlanktonTech waren daher:

- (a) die Selektionsmechanismen zu erfassen, die für die Evolution von Planktonorganismen, insbesondere der Schalen biomineralisierter Protisten, entscheidend sind,
- (b) die Ergebnisse zu nutzen, um eine Methode zur Entwicklung neuer Lösungen und radikaler Innovationen für technische Leichtbaukonstruktionen zu unterstützen und
- (c) Nachwuchswissenschaftler und -Ingenieure zu unterstützen und die Ergebnisse einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

#### 2.1.3 Arbeitshypothesen

Aus Ausgangsfragen und Zielen des Virtuellen Institutes leiteten sich folgende Arbeitshypothesen ab, die im Rahmen der Arbeitspakete untersucht wurden:

Hypothese I: Im Laufe der Evolution haben Selektionsmechanismen wie Ressourcenknappheit und mechanische Herausforderungen zur Leichtbau - Optimierung insbesondere von biomineralisierten Exoskeletten mariner Protisten geführt.

Hypothese II: Erkenntnisse über natürliche Leichtbaukonstruktionen lassen sich effektiv in ein konkurrenzfähiges Verfahren zur Strukturoptimierung von technischen Bauteilen übertragen.

## 2.2 Fortschritt der durchgeführten Arbeiten

Die Meilensteine wurden mit wenigen Ausnahmen, in denen Modifikationen durchgeführt werden mussten, erreicht. Allerdings kam es z.T. zu erheblichen zeitlichen Verzögerungen, insbesondere, da für die Arbeiten geeignete Bewerber gefunden werden mussten. Darüber hinaus wurden zahlreiche Ergebnisse erzielt, die über die Aufgaben der Arbeitspakete hinausgehen. Diese werden unter Punkt 9: „Sonstiges“ dargestellt.

### 2.2.1 Meilensteine:

#### Milestone 1 (planned after 12 Months)

- *3D-Data on early and recent biomineralized protists: Diese Arbeiten wurden erfolgreich abgeschlossen.* Es wurde sowohl eine Methode entwickelt, die mit Hilfe von speziellen Farbstoffen und Laserkonfokalmikroskopie 3D-Rekonstruktionen ermöglichten, als auch 2 CAD-Tools (CATIA, SolidWorks) in Verbindung mit REM-Daten eingesetzt.
- *First assessment of the mechanical properties of shells and feeding tools:* Hier wurden sowohl reale mikromechanische Tests als auch FE-Berechnungen erfolgreich eingesetzt, die Ergebnisse wurden publiziert (u.a. Friedrichs et al. 2013).
- *First assessments of physiological limitations on shell design:* Dieser Arbeitsbereich wurde modifiziert, weil die in der Molekularbiologie notwendigen Techniken und Informationen nicht ausreichten. Stattdessen wurde die Physiologie von Diatomeen eingehend untersucht (Thamatakola, 2012).
- *First results on alteration of forms by evolutionary strategic computation:* Die Evolutionsstrategie wurde erfolgreich eingesetzt, um die Optimierung des Musters der Areolen (Öffnungen) in den Schalen durchzuführen (Santibanez, 2011).
- *First concepts on combining graded composite materials with complex shell geometries:* Konzepte für eine Produktion von CFK-Strukturen (Fraktale Waben) mit Hilfe innovativer Fertigungstechnik (Milwich, 2010).
- *First concepts on using complex lightweight shells in architecture:* Erste Arbeiten gewannen einen Wettbewerb zur Konzeption von Messehallen in Luxemburg (Pohl, 2010).

---

#### Milestone 2 (planned after 24 Months)

- *Concept of evolutionary transition from simple to complex forms:* Die Arbeiten zur Analyse und Veränderung von Morphospaces in der Entwicklungsgeschichte von Diatomeen wurden erfolgreich umgesetzt (Kotrc, Ph.D.).
- *Concept on evolutionary interaction between aggressive (feeding tools) and defensive structures:* Die Basis für das Verständnis dieser Wechselwirkungen wurde experimentell geschaffen, indem ein direkter Zusammenhang zwischen mechanischer Festigkeit, Fraßrate und Wachstumsraten nachgewiesen werden konnte.
- *Concept on trade-off between defense and physiological efficiency:* Dieser Zusammenhang konnte im Rahmen experimenteller Arbeiten nachgewiesen werden (Friedrichs et al. 2013).
- *Results concerning reverse interpretation of plankton shells:* Die Interpretation spezieller Anpassungen wurde auf der Basis von FE-Berechnungen unter Annahme verschiedener prinzipieller Lastfälle getroffen

und zusätzlich durch konkrete Lastfälle auf der Basis typischer Predatoren ergänzt (Niebuhr, Wullenweber).

- *Detailed concept on combining graded composite materials with complex structures and first prototype:* Erste Konzepte (Entwurf von GFK-Strukturen) und Prototypen (CFK-Strukturen) wurden fertig gestellt.
- *Detailed concept concerning complex lightweight shells in architecture, first model:* Konzepte wurden vorgestellt (Voronoi-Strukturen in gekrümmten Bauwerken, Julia Pohl).

---

### Final Milestone (after 36 Months)

- *Detailed results concerning the transitions of existing shell geometries as a function of changes in loadcases in connection with evolutionary factors:* Erfolgreiche Durchführung von Anpassung der Diatomeengeometrien zentrischer Arten als Funktion veränderter Lastfälle durch Einsatz der Evolutionsstrategie an parametrischen Modellen.
- *Results on the concept of an evolutionary arms race:* Ein Konzept entstand im Zusammenhang mit den experimentellen Studien, darauf basierend wird bereits an der Simulation des Wetttrüstens unter Planktonorganismen gearbeitet.
- *Publication of the results in books/ special issues:* (siehe „Publikationen“) Zahlreiche Publikationen wurden veröffentlicht, ein Buch wird dieses Jahr folgen.
- *Preparation of prototypes, architecture structures and exhibition(s):* (siehe auch unter Verwertungspotenzial und Öffentlichkeitsarbeit) Es wurden diverse Prototypen sowie auch größere Strukturen hergestellt und öffentlich präsentiert.
- *Efforts to fund a continuation of the virtual institute:* Erfolgreich erreicht, siehe unter Punkt 4: Ausblick auf zukünftige Arbeiten, Nachhaltigkeit.

### 2.2.2 Abweichungen

Es gab wegen der Komplexität und Neuheit des Themenbereichs diverse, insbesondere zeitliche Abweichungen vom ursprünglichen Arbeitsplan (siehe 2.2.1). Die wesentlichen Meilensteine wurden aber erreicht. Zusätzlich wurden weitere, im Laufe des VI neu entstandene Aufgaben bearbeitet.

### 2.2.3 Finanzplan

Der Finanzplan war so konzipiert, dass die Kernaufgaben und zusätzliche Aufgaben wie Organisation von Messeauftritten, Konferenzen und Prototypen bewältigt werden konnten.

### 2.2.4 Probleme und Lösungen:

Wegen der Unterschiedlichkeit der Ansätze und der verschiedenen Expertisen sowie Forschungs- und Entwicklungskulturen in den unterschiedlichen Fachbereichen wie Paläontologie, Planktologie, Produktionstechnik und Architektur war die Kooperation z.T. aufwändig und ein sehr ambitioniertes Projekt, das selbst mit der sehr guten Ausstattung eines VI an Grenzen stieß. Dieses Problem wurde durch Synergieeffekte mit weiteren, unterstützenden Projekten und Aktivitäten gelöst.

## 3. Darstellung der erzielten Ergebnisse

### 3.1 Wissenschaftlicher Erfolg

Der Wissenschaftliche Erfolg des Projektes gründet sich zunächst auf dem erfolgreichen Erreichen der Meilensteine (2.2.1). Die einzelnen Ergebnisse sind für sich gesehen sehr wertvoll in ihren jeweiligen Bereichen. Auf einer höheren Ebene wird in der Betrachtung des Gesamtprojektes deutlich, dass außerordentlich wertvolle Synergieeffekte zwischen Grundlagen- und Anwendungsforschung entstanden. So wurde nicht nur Wissen aus dem Bereich funktionelle Morphologie in den technischen Bereich übertragen, sondern es wurden auch Entwicklungen für den technischen Bereich in die Grundlagenforschung übertragen.

- Sehr wichtig war die Verifizierung des Zusammenhangs zwischen mechanischer Festigkeit als Verteidigungsstrategie und der Reduktion von Fraßraten (Friedrichs et al. 2013), sowie des Einflusses der Materialverfügbarkeit auf die Ausprägung biomineralisierter Planktonschalen. Damit konnten wesentliche Faktoren für die Evolution von Leichtbauschalen erfasst werden.
- Der detaillierte Nachweis und genaue räumliche Anordnung neuer Materialkomponenten wie Resilin in den Gnathobasen der Copepoden war ein wichtiges Ergebnis, dass die Hypothese eines Wettrüstens zwischen Protisten und Copepoden wesentlich stützt (Michels et al. 2013, Abb. 1B).
- Eine Analyse der Ausprägung der Geometrien (Morphospaces) von Diatomeenschalen in den letzten 60 Millionen Jahren zeigte, dass bestimmte geometrische Baupläne nur transient vorhanden waren. Damit wurde nachgewiesen, dass grundsätzlich unterschiedliche Geometrien fossiler Arten für eine Übertragung in die Technik berücksichtigt werden sollten (Kotrc et al. 2013 Abb 1A).
- Die Silikatstrukturen bei höheren Pflanzen wurden hinsichtlich einer statischen Funktion untersucht, diese konnten im Gegensatz zu den aquatischen Silikat-Exoskeletten nicht nachgewiesen werden. Damit wurde die Hypothese einer völlig verschiedenen Koevolution von Silikatstrukturen mit terrestrischen Herbivoren (Erzeugung von abrasiven Effekten) unterstützt.
- Die Evolutionsstrategie wurde erstmals angewandt, um Strukturen (Areolen der Diatomeen) zu optimieren (TU Berlin, AWI). Diese Arbeiten haben sehr hohes Potenzial in der Evolutionsforschung und werden systematisch intensiviert.
- Neue Erkenntnisse zur Physiologie von Diatomeen zeigten die spezifischen Stoffwechselwege dieser Organismengruppe und weisen auf weitere Verwertungsmöglichkeiten außerhalb der Strukturoptimierung wie Naturstoffgewinnung hin.

Die im Grundlagenbereich erarbeiteten Publikationen und Ergebnisse bilden eine einziartige Basis für weitere Arbeiten in den Bereichen funktionelle Morphologie, Leichtbauoptimierung und Simulation evolutiver Prozesse.

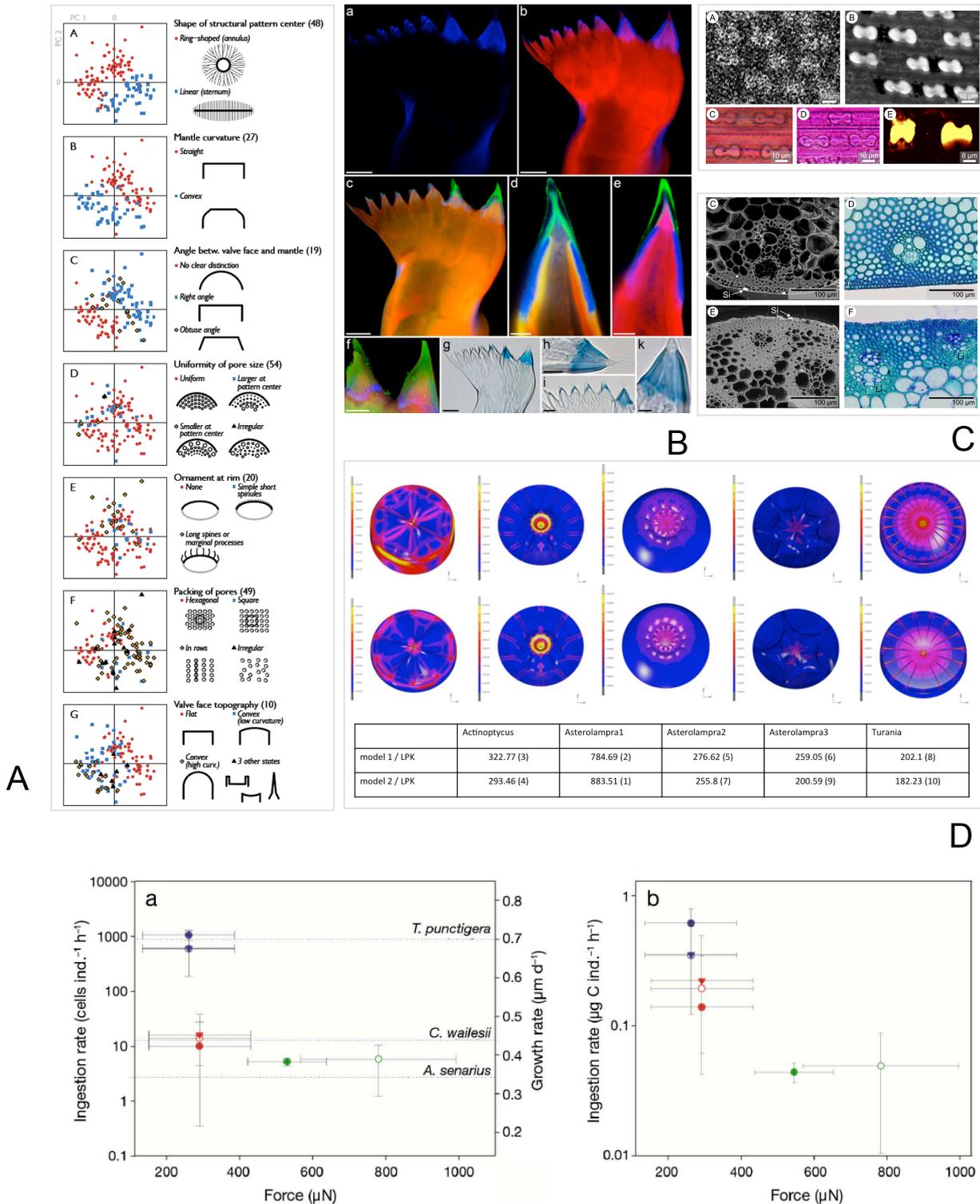


Fig. 4. Ingestion rates of (a) cells and (b) carbon versus mean crushing forces. Ingestion rates correspond to Fig. 3, the forces are means  $\pm$  SD from all 3 alignments and correspond to the values in Fig. 2. Copepods:  $\bullet$  = *Acartia clausi*;  $\circ$  = *Temora longicornis*;  $\blacktriangledown$  = *Centropages hamatus*; diatoms: blue = *Thalassiosira punctigera*; red = *Coscinodiscus walesii*; green = *Actinoptycus senarius*; dotted lines: growth rates of the diatoms

Abb 1: Exemplarische wissenschaftliche Ergebnisse aus dem VI PlanktonTech. (A) Einteilung und Bewertung von Morphospaces, (B) Materialzusammensetzung von Gnathobasen (blau: neu entdeckte Komponente Resilin), (C) Phytolithen und deren Position im Gewebe von Poaceen, (D) Parametrische Diatomeenmodelle und Berechnung von Spannungen und Leichtbaukennwerten als Funktion von Flächenlasten (E) Ingestionsraten in Abhängigkeit der mechanischen Festigkeit von Diatomeenschalen.

## 3.2 Technischer und wirtschaftlicher Erfolg

Der technische Erfolg des VI PlanktonTech beruht auf methodischen Neuentwicklungen (Mikroskopie, Optimierungsverfahren, Herstellung von innovativen Strukturen in Verbundbauweise) und der Verbesserung des Verständnisses von Strukturleichtbau durch die Untersuchung natürlicher Leichtbaustrukturen und ihrer Funktionsprinzipien. Genutzt wurden diese Erkenntnisse beim ITV Denkdorf und Leichtbauinstitut Jena für innovative Realisierungen (komplexe CFK-Wabenstrukturen, u.a. für Roboterarm, Architekturdwürfe).

Ein besonderer technischer Erfolg war die Weiterentwicklung des ELiSE-Verfahrens, das auf Erkenntnissen aus der Planktonforschung beruht. Hierbei gelang es, wesentliche Schritte, die bisher nur mit sehr viel Aufwand und Expertise von Spezialisten zu bewältigen waren, durch Standardisierung und Automation wesentlich effektiver zu gestalten.

Die technischen Weiterentwicklungen, die im VI PlanktonTech für das Verfahren ELiSE bearbeitet werden konnten, waren außerordentlich wertvoll für den Gesamtprozess des Leichtbauverfahrens. Sie wurden durch Aktivitäten aus anderen Bereichen unterstützt.

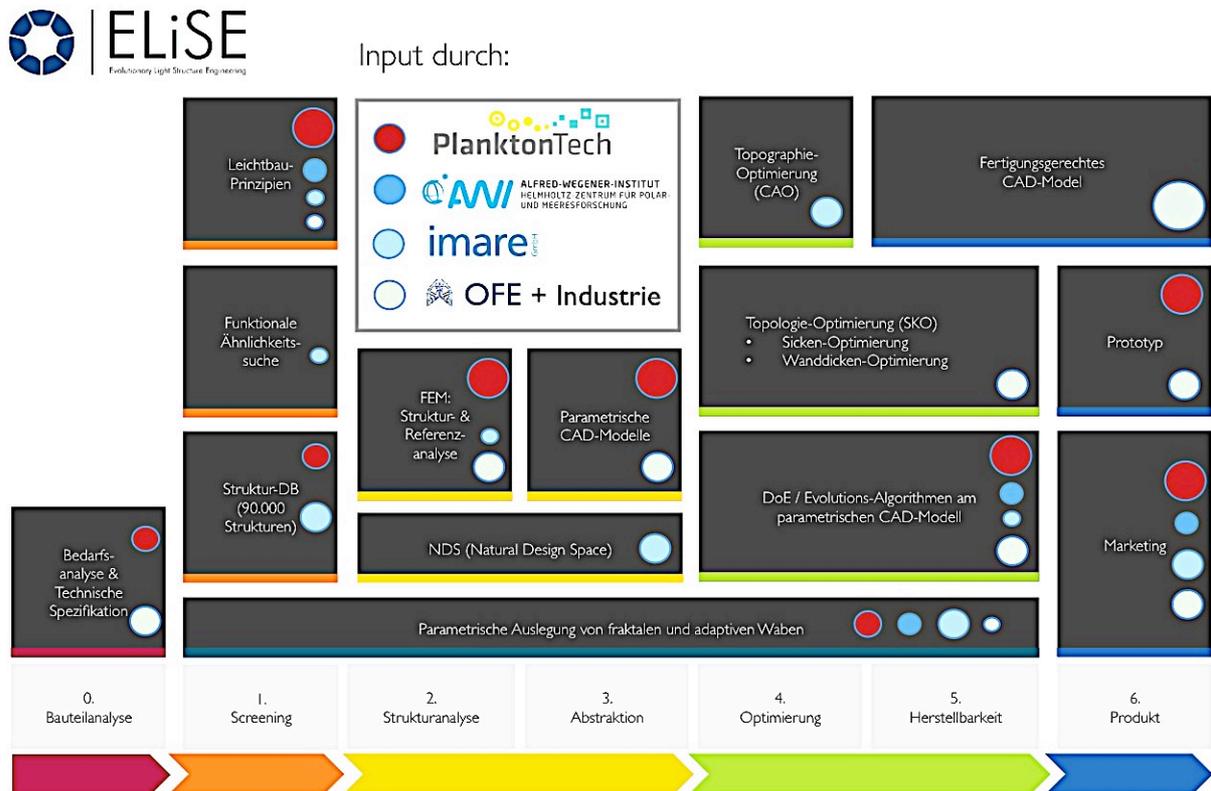


Abb. 2: Schema der Prozesse und Methoden im ELiSE-Verfahren. Das VI PlanktonTech hat in verschiedenen Bereichen signifikant zum Aufbau und zur Verbesserung der Teilmethoden beigetragen.

### 3.3 Bewertung der Ergebnisse im internationalen Umfeld

Obwohl das VI ein sehr breites Spektrum an Themen abdeckte und sowohl reine Grundlagenforschung als auch Anwendungsforschung, Prototypenbau und Methodenentwicklung umfasste, konnten in allen Bereichen des virtuellen Institutes international bedeutende Ergebnisse erzielt werden. Diese Einschätzung gründet sich auf:

#### 3.4.1 Grundlagenforschung

Die Ergebnisse wurden sowohl auf internationalen Konferenzen vorgestellt als auch in hochwertigen, peer-reviewed Journals wie MEPS, PloS, Nature Scientific Reports publiziert. Darüber hinaus bilden sie die Basis für zukünftige, sehr innovative Forschungsbereiche wie eine Simulation der Evolution von Strukturen mit dem Hintergrund eines evolutiven Wettrennens zwischen Zooplankton und biomineralisierten Protisten.

#### 3.4.2 Anwendungsforschung

Auch in der Anwendungsforschung konnten die entsprechenden Vorträge und Publikationen in Zeitschriften wie u.a. Journal of Bionic Engineering, Journal of Microscopy, sowie Publikationen im Springer-Verlag. Institute wie das ITV Denkendorf und das Leichtbauinstitut Jena konnten mit Hilfe von PlanktonTech ihr Profil erweitern und innovative VI - Themen integrieren.

#### 3.4.3 Wirtschaftlicher Erfolg

Der Bau von Prototypen, die Erfolge bei der Produktentwicklung im Rahmen von Drittmittelprojekten sowie internationale Konkurrenzfähigkeit im Bereich von Industriaufträgen (Auftrag über 125.000€ wurde über einem Firmen-Workshop in den USA akquiriert) belegen die globale Bedeutung und Wettbewerbsfähigkeit der Ergebnisse.



Abb. 3: Hannover Messe 2012: Ausgestellt wurden u.a. Forschungsergebnisse und Prototypen aus dem PlanktonTech-Projekt (Pavillon Entwurf: Jule Pohl, Realisierung: FiberTech GmbH), Laser-Konfokalmikroskopie, sowie ein Modell einer bionisch Optimierte Gründungsstruktur.

## 4 Ausblick auf zukünftige Arbeiten, Nachhaltigkeit

### 4.1 Vernetzung mit Hochschulpartnern

Im Rahmen des VI wurde mit sehr vielen Partnern gearbeitet, um die Ziele des VI zu erreichen (siehe Meilensteine). Primäres Ziel war die Bewältigung der im Antrag gestellten Aufgaben. Dazu ergaben sich im Rahmen von PlanktonTech zahlreiche weitere Kooperationen, die ebenfalls gepflegt werden. Beispiele hierfür sind Hochschulen und Universitäten mit Studiengängen im Bereich Bionik (Hochschule Bremen, Hochschule Bocholt, KIT). Eine Weiterführung der etablierten Kooperationen hängt vor allem von fachlichen Fragestellungen sowie verfügbaren Förderprogrammen ab.

### 4.2 Mehrwert der Förderung

In der aktuellen Konstellation der Forschungslandschaft ist es nicht praktikabel, Kooperationen ohne gemeinsame, drittmittelfinanzierte Projekte durchzuführen. Einige Förderinstrumente, wie DFG-Graduiertenschulen, Schwerpunkte oder Sonderforschungsbereiche, sind dabei für HGF-Institute nur sehr eingeschränkt zugänglich. Umso wichtiger ist es, die Möglichkeit zu haben, unter bestimmten Rahmenbedingungen wie beispielsweise denen der virtuellen Institute, größere Themenkomplexe zu bewältigen. Damit kann der Mehrwert des VI für einen strategischen Aufbau eines integrierten, international wettbewerbsfähigen Forschungsthemas gar nicht hoch genug eingeschätzt werden.

### 4.3 VI PlanktonTech in Zukunft

Die VI PlanktonTech wird voraussichtlich unter dem Begriff „Leichtbauoptimierung in Natur und Technik“ sowie im Anwendungsbereich mit dem Verfahren ELiSE weiter geführt. Die für 2015 angestrebte organisatorische Konstellation ist unter Punkt 9 dargestellt. Es finden am Alfred Wegener Institut sowohl mit dem Direktorium (Prof. Dr. Karin Lochte und Dr. Heike Wolke) als auch mit dem Technologietransfer (Dr. Eberhard Sauter) intensive Gespräche über die fachliche und organisatorische Verstärkung der in PlanktonTech initiierten Themen statt.

### 4.4 Weiterführende Arbeiten und Kooperationen

Im Förderprogramm BIONA des BMBF wurden 2 Projekte bearbeitet, die einen unmittelbaren Bezug zu PlanktonTech haben. Dies sind:

- (1) OFE – Energie- und materialsparende Gründungsstrukturen für Offshore-Windkraftanlagen durch das bionische Leichtbau- und Optimierungsverfahren ELiSE und
- (2) BOWOSS – nachhaltige Bausysteme bionisch inspirierter Holzschalenkonstruktionen.

Ähnliche Projekte werden auch in Zukunft in Kooperation mit PlanktonTech-Partnern durchgeführt werden. Ein Beispiel hierfür sind Weiterentwicklungen der komplexen CFK-Strukturen, die im Rahmen von PlanktonTech am ITV Denkendorf entwickelt wurden (Abb. 4). In Zukunft sollen auch verstärkt:

- (a) universelle Leichtbauprinzipien identifiziert werden, die in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden können (Beispiel: Technische Leichtbaukonstruktion mit einer fraktal gegliederten Stützstruktur. Patentschrift: DE 10 2007 011 107 B4 ),
  - (b) eigene Produkte entwickelt und vermarktet werden,
  - (c) eine Ausgründung vorbereitet werden (ELiSE GmbH) - diese soll voraussichtlich 2015 starten.
- Hier werden Aufträge bearbeitet werden, während am AWI innovative Forschung zum Thema Evolution und Morphogenese von Leichtbaustrukturen fortgeführt wird.

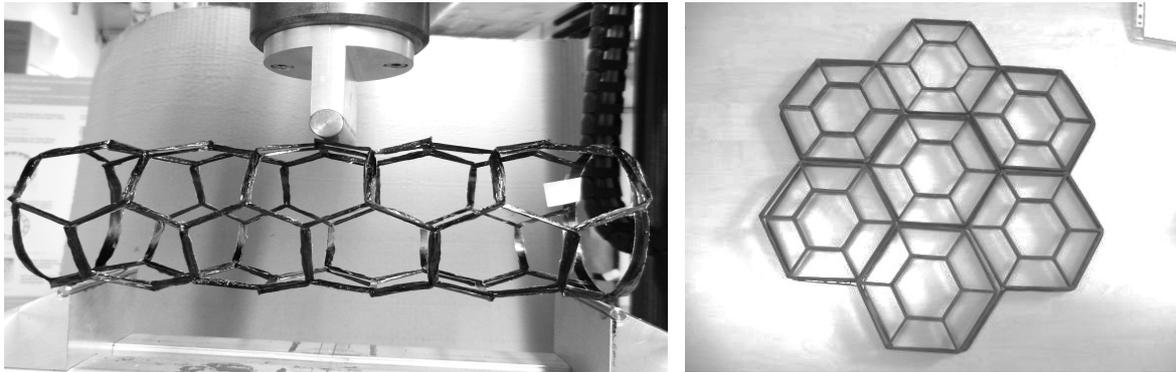


Abb. 4: Komplexe CFK-Strukturen auf der Basis der Geometrien von Planktonorganismen. Tests der mechanischen Eigenschaften zeigten Vorteile gegenüber herkömmlichen Roboterarmen bzw. flächigen Strukturen.

#### 4.5 Neue Partner

Weil sich das Thema Leichtbauoptimierung sowohl im Grundlagen- als auch im Anwendungsbereich aktuell sehr dynamisch entwickelt, wurden Gespräche mit zahlreichen Partnern aus Grundlagenforschung (z.B. DLR, ESA), Anwendungsforschung (KIT, Fraunhoferinstitute, Laserzentrum Nord), und Firmen (Voith, Faurecia, Audi, Continental, Diehl) geführt. Auch auf Verbandsebene wurden mit dem VDI (Messeauftritt, Richtlinienarbeit für das ELiSE-Verfahren, VDI-Workshop) und der European Science Foundation (ESF) wertvolle Partner gewonnen.

#### 4.7 Konkrete Förderzusagen

Es existiert seit 2012 ein Kooperationsvertrag zwischen dem Alfred Wegener Institut und der anwendungsorientierten Imare GmbH, bei der das AWI eine Gesellschafterfunktion innehat. Dieser Vertrag beinhaltet eine Förderzusage von mehreren Stellen als Grundfinanzierung, und ermöglichte den Aufbau einer Abteilung mit insgesamt ca. 11 Mitarbeitern. Im Kooperationsvertrag wird ausdrücklich auf das TT-Potenzial des HVI PlanktonTech hingewiesen:

„Das AWI übernimmt über seine Kernaufgaben hinaus weitere gesellschaftlich relevanten Aufgaben wie Technologietransfer und unterstützt diesen Bereich durch seine Stabstelle Technologietransfer, in technologie- und anwendungsbezogenen Projekten (wie z.B. das Virtuelle Helmholtz-Institut „PlanktonTech“) und verwertungsnahen Arbeitsgruppen wie der Arbeitsgruppe "Plankton Biomechanik und Bionik". Diese von Dr. C. Hamm geleitete Gruppe entwickelte eine umfangreiche Expertise im bionischen Strukturleichtbau. Insbesondere entwickelte sie das Leichtbauverfahren ELiSE („Evolutionary Light Structure Engineering“), ein zum Patent angemeldetes bzw. in einigen Staaten bereits als Patent erteiltes Leichtbauoptimierungsverfahren, das technische Herausforderungen innovativ löst und dabei verschiedene Varianten von Schalenstrukturen mariner Planktonorganismen als Vorbild nimmt.

Die mechanischen Eigenschaften dieser hoch spezialisierten Schalenstrukturen liefern die Basis für neue Leichtbauprodukte und Verbundwerkstoffe. In Verbindung mit dem am AWI beheimateten Hustedt Arbeitsplatz für Diatomeenforschung mit über 130.000 Präparaten verfügt die multidisziplinär aufgestellte AG Hamm mit ihrer spezifischen Instrumentierung (z.B. CLSM, 3D-Rekonstruktion, CAD- und FEM – Software, genetische Algorithmen) und zahlreichen AWI-Schutzrechten über international einzigartige Kompetenzen für die Entwicklung bionischer Leichtbaukonstruktionen, welche in etliche bestehende Kooperationen mit Industrie- und Forschungspartnern verschiedener Branchen einfließen.“

## 5. Verwertungspotenziale

### 5.1 Verwertungspotenzial der Ergebnisse

Das Verwertungspotenzial ist außerordentlich hoch, da innovative Lösungen für den Leichtbau aktuell stark nachgefragt werden. Verwertungsmöglichkeiten werden von ITV Denkendorf (Verbundwerkstoffe in Kombination mit komplexen Leichtbaustrukturen und Leichtbauinstitut Jena (Architektur) sowie vom Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung wahrgenommen.

### 5.2 Verwertungsmaßnahmen

Unsere Kommunikations-Strategie stützte sich auf folgende Aktivitäten:

#### Klassische Marketing-Instrumente

- Messen (Hannover Messe 2010, 2012, 2013: Bionik-Stand und Leichtbauhalle, Leichtbaumesse Chemnitz (2012), Journalisten-Messe Wissenswerte 2013 (Schwerpunkt Leichtbau)
- Vorträge (diese werden auf Konferenzen und Workshops der relevanten Branchen gehalten)
- Fernsehbeiträge (u.a. nano), Veröffentlichungen in Zeitschriften und Fachzeitschriften (VDI-Nachrichten)
- zahlreiche Ausstellungen (Museen)
- Ausrichtung eigener Konferenzen (MRB 2011)
- Printmedien (Broschüren, Flyer, Poster)

Im Nachgang von größeren Messeauftritten werden mit Hilfe eines internen CRM-Programmes (Customer- Relationship-Management) Potenziale bewertet und die Kunden und Kooperationspartner systematisch kontaktiert.

#### Weiterreichende Ansätze

- ELiSE-Kurzvideo auf Social-Media-Plattformen wie Youtube.com
- Aufwändige Internetpräsenz mit starkem Fokus auf ansprechendes Design ([www.elise3d.com](http://www.elise3d.com))
- Umfangreiche Online-Umfragen mit interaktivem Charakter
- Beauftragung von Technologie – Beratungen inkl. Kontaktaufbau von Schlüsselpartnern in der Industrie engage (engage key technology ventures)
- Interaktive Demonstratoren auf Veranstaltungen (z. B. Interaktive Wabengenerierung als Touch-Tisch auf Hannover-Messe 2013/2014)
- Vorträge auf den führenden Workshops zum Thema Leichtbau (z.B. Leichtbaugipfel Würzburg)

Die ästhetischen Strukturen unserer biologischen Vorbilder setzen wir für eine ansprechende visuelle Kommunikation ein. Über Präsentationen, Printmedien und Poster erzielt unsere Corporate Identity starke Aufmerksamkeit.

## 5.4 Patente

Das VI baute u.a. auf Patenten auf, die im AWI vorhanden waren. Dies sind u.a.:

1. C.E. Hamm (2004): Method for determining constructional prototype data for a technical lightweight structure, applications of said method and prototype produced with said method, Patent, EP 04790356.2-2224., auch US, JP (ELiSE-Verfahren)
2. C.E.Hamm (2008): Lightweight construction having a fractally structured supporting structure. WO 2008/106925 A I
3. C.E.Hamm (2007): Anorganische Markierungspartikel zur Kennzeichnung von Produkten zu deren Originalitätsnachweis, Verfahren zur Herstellung und Anwendung. Patentschrift WO 2007/031077 A I

## 5.5 Lizenzen

Lizenzen für das ELiSE-Verfahren, das durch das HVI PlanktonTech verbessert werden konnte, werden aktuell über die Aktivitäten der imare GmbH (Auftragsforschung) generiert, hier existiert ein Kooperationsvertrag mit dem AWI. Darüber hinaus besteht ein Lizenzvertrag mit der Polysecure GmbH (Patent 3), ein entsprechendes ZIM-Projekt wird 2014 gestartet.

## 5.6 Industriekooperationen

Das ELiSE Verfahren wird bereits im Rahmen von Forschungsaufträgen und Industrieaufträgen eingesetzt ([www.elise3d.com](http://www.elise3d.com)):

- Automobilindustrie: Hier besteht ein hoher Bedarf für innovativen Leichtbau wegen der gesetzlichen Vorgaben zur CO<sub>2</sub> Reduktion. (Referenzen: B-Säule für Fa. Stadco, Sitzstrukturen für Faurecia, verschiedene Komponenten für Audi).
- Offshoreindustrie (Kooperation WeserWind): Im Rahmen des BMBF-Projektes OFE wurde eine innovative Gründungsstruktur entwickelt.
- Haushaltswaren: Auftrag zur Leichtbauoptimierung verschiedener Strukturkomponenten, deutliche Gewichtsreduzierung. (Referenzen: Staubsauger-Komponenten für FA Vorwerk)
- Bauingenieurwesen: Beteiligung im Kontrollausschuss DFG-SPP 1542 leicht bauen mit Beton (Auftrag für Fa. Job-Bulbs GmbH)
- Luft- und Raumfahrt: Der Bedarf an Leichtbaulösungen ist offensichtlich. In diesem Bereich arbeiten wir u.a. mit OHB, Airbus und Diehl. (Referenzen: Fa. Diehl Stiftung & Co KG; Fa. Airbus). Darüber hinaus Beratungen für ESA/ESF.
- Yachtbau: Projekt zur Optimierung von Rennyachten (Referenz: Judel, Vrolijk & Co. GmbH)
- Design und Architektur: Pavillon mit fraktalen funktionsintegrierenden Leichtbaustrukturen (Archipel Dienstleistungen Bremen)
- Maschinenbau: Optimierung von Strukturen für Spritzgusswerkzeuge (Berfelde GmbH)

Wesentlich für den nachhaltigen Erfolg von ELiSE ist ein multidisziplinäres Team aus Biologen, Bionikern, Ingenieuren aus Maschinenbau, Schiffbau, Luft- und Raumfahrt, Designern, Betriebs- und Wirtschaftsingenieuren (aktuelle Zusammensetzung), weitere Kompetenzen (Informatik, Genomik) werden in Zukunft integriert werden. Diese fachliche Kompetenz wird inzwischen ergänzt durch professionelles Management der Industriekooperationen und – Aufträge (CRM-System, Zeiterfassung in Projekten, Schulungen im Projektmanagement, Qualitätssicherungsmaßnahmen).

## 6. Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses

### 6.1 Maßnahmen

Als zentrale Maßnahme wurde das Projekt so angelegt, dass Dissertationen unterstützt werden konnten. Dies wurde an 3 Standorten (AWI, Harvard, Freiburg) wahrgenommen. In andern Instituten (Kiel, Berlin) wurden entsprechende Aufgaben von Post-Docs übernommen. Zusätzlich wurden zahlreiche Abschlussarbeiten in verschiedenen Bereichen durchgeführt. Da am Alfred Wegener Institut der Schwerpunkt des Virtuellen Institutes angesiedelt war und das Thema durch weitere Förderinstrumente (z.B. BMBF-Projekte) unterstützt wurde, wurden hier auch die meisten Arbeiten zur Qualifizierung durchgeführt.

### 6.2 Besonderheiten

Eine Besonderheit des VI PlanktonTech war das extrem hohe Maß an Interdisziplinarität. Am Projekt beteiligt waren Personen aus den Bereichen Marine Planktologie, Geologie/ Paläontologie, Physiologie, Zoologie, Bionik, Evolutionsstrategie, Botanik, Architektur, Design und Produktionstechnik. Daraus ergab sich ein außerordentlich fruchtbares Umfeld, um Ergebnisse über das unmittelbare fachliche Umfeld hinaus zu interpretieren und einzusetzen.

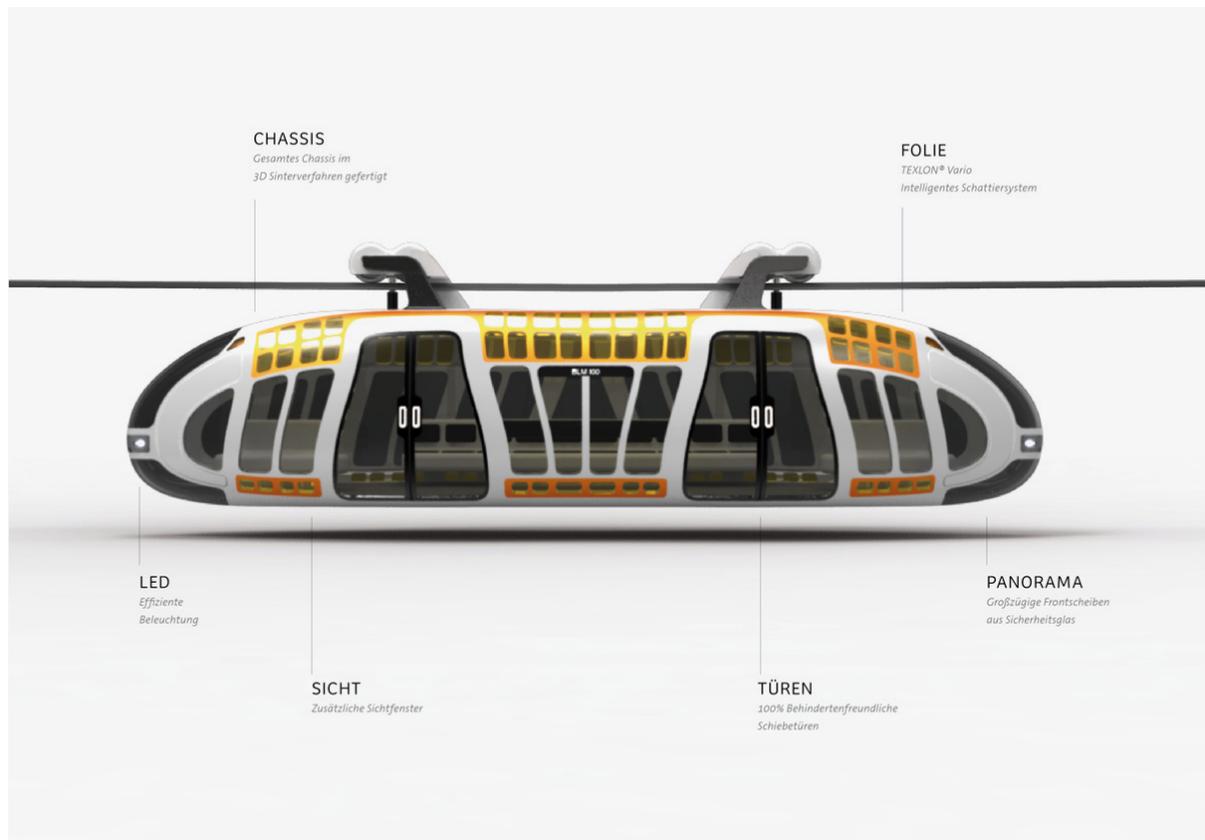


Abb. 5: Entwurf der „Bionic Lightweight Metro“ im Rahmen der Bachelorarbeit von Simon Szameitat (FH Potsdam, Design). Lucky Strike Award 2013 (Besondere Anerkennung).

## 6.3 Erfolge

Es ist unsere Überzeugung, dass zukünftige Arbeitsplätze auch im naturwissenschaftlichen Bereich durch fachübergreifende Qualifizierung besser gesichert werden können. Dabei versuchen wir konsequent, durch Aufhebung der Trennung zwischen Grundlagenforschung und Anwendungsforschung sowie Auftragsforschung gegenseitig Nutzeffekte einzusetzen.

Dies unterstützt auch eine zentrale Aussage der Helmholtz-Gemeinschaft hinsichtlich der Nachwuchsförderung:

„Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses hat in der Helmholtz-Gemeinschaft höchste Priorität. Das Qualifizierungsangebot im Bereich der Nachwuchsförderung konzentriert sich auf Promovierende, Postdocs und Nachwuchsführungskräfte. Darüber hinaus leistet die Gemeinschaft durch gezielte Angebote für Kinder und Jugendliche sowie Studierende und Auszubildende einen Beitrag zur Sicherung von qualifiziertem Personal für die Forschung in der Zukunft“.

Die Abschlussarbeiten sind unter Punkt 7.2 aufgelistet. Als besonderen Erfolg sehen wir die Tatsache, dass sowohl im Bereich Grundlagenforschung/Biologie als auch im Bereich Bionik und Ingenieurwissenschaften, als auch in den Bereichen Kunst, Design und Architektur viele Abschlussarbeiten im Rahmen des VI PlanktonTech durchgeführt wurden (siehe Liste der Abschlussarbeiten unter Punkt 7). Zusätzlich fanden die betroffenen Personen in der Regel Möglichkeiten, in ihrer weiteren Laufbahn die Themen aus dem VI weiter zu führen. Einige haben Stellen in der ELISE-Brückengruppe angenommen.

Ebenfalls wurde eine Abschlussarbeit (Wirtschaftsingenieur, MBE) mit Unterstützung des Helmholtz-HEF-Programmes zum Thema Verwertung bionischer Leichtbaumethoden geschrieben (Abb. 6).

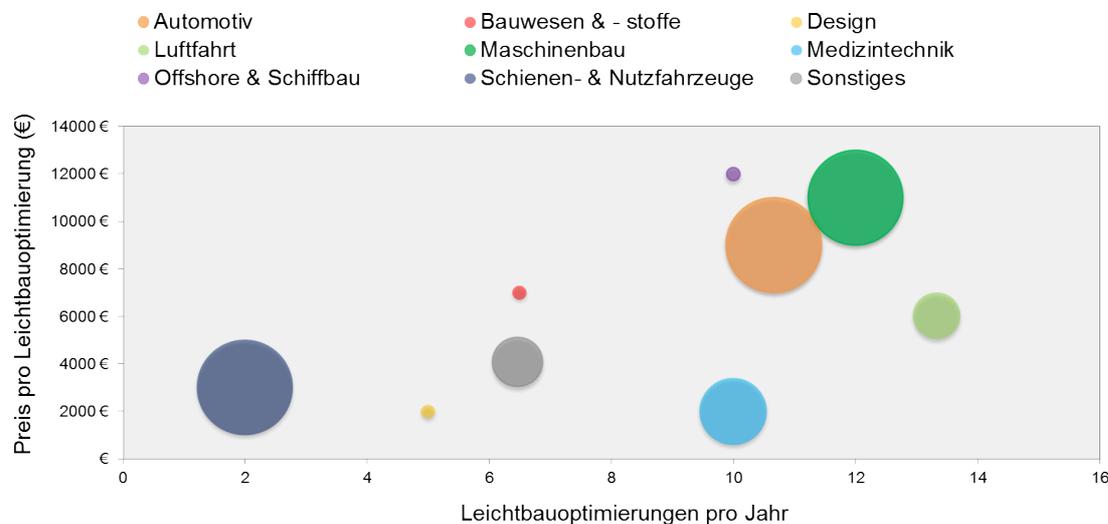


Abb. 6: Analyse des Marktpotenzials für die Dienstleistung „Bionische Leichtbauoptimierung“ auf Basis einer Umfrage 2012 aus der MBE-Arbeit von Daniel Siegel (Steinbeis-Hochschule Berlin). Die Tendenz der Branchen hat sich inzwischen bestätigt, es werden z.T. mehrere Leichtbauentwicklungen innerhalb eines Auftrages bearbeitet. Aufträge um 10.000€ bilden inzwischen eher die untere Grenze, es ist uns gelungen, Aufträge über 100.000€ einzuwerben.

## 7. Publikationen

### 7.1 Fachzeitschriften und Buchbeiträge

1. Lazarus, D., B. Kotrc, G. Wulf, and D. N. Schmidt. (2009). Radiolarians decreased silicification as an evolutionary response to reduced Cenozoic ocean silica availability. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 106 (23): 9333-38.
2. Finkel, Z. and Kotrc, B. (2010). Silica use through time: macroevolutionary change in the morphology of the diatom frustule. *Geomicrobiology Journal* 27: 596-608.
3. Michels, J., Büntzow, M. (2010). Assessment of Congo red as a fluorescence marker for the exoskeleton of small crustaceans and the cuticle of polychaetes. *Journal of Microscopy* 238, 95-101.
4. Bechstein, K., Michels, J., Vogt, J., Schwartze, G.C., Vogt, C. (2011). Position- resolved determination of trace elements in mandibular gnathobases of the Antarctic copepod *Calanoides acutus* using a multimethod approach. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 399, 501-508.
5. Blecher, I.C., R. Seidel, R. Thomann, T. Speck (2012). Comparison of Different Methods for the Detection of Silica Inclusions in Plant Tissues. *International Journal of Plant Sciences*, 173, 229-238.
6. Michels, J., Gorb, S.N. (2012). Detailed three-dimensional visualization of resilin in the exoskeleton of arthropods using confocal laser scanning microscopy. *Journal of Microscopy* 245, 1-16.
7. Michels, J., J. Vogt, Gorb, S.N. (2012) Tools for crushing diatoms – opal teeth in copepods feature a rubber-like bearing composed of resilin. *Nature Scientific Reports*, 2, 465.
8. Friedrichs, L., M. Maier and C. Hamm (2013). A new method for exact three-dimensional reconstructions of diatom frustules. *Journal of Microscopy* 248, 208-217.
9. Friedrichs, L. (2013). A simple cleaning and fluorescent staining protocol for recent and fossil diatom frustules.
10. Friedrichs, L., M. Hörnig, L. Schulze, A. Bertram, S. Jansen, C. Hamm (2013). Size and biomechanic properties of diatom frustules influence food uptake by copepods. *Marine Ecology Progress Series* 481: 41-51.
11. Maier, M. D. Siegel, K.-D. Thoben, N. Niebuhr, C. Hamm (2013): Transfer of Natural Microstructures to Bionic Lightweight Design Proposals. *Journal of Bionic Engineering* 10: 469-478.
12. Thamatrakoln K, Bailleul B, Brown CM, Gorbunov MY, Kustka AB, Frada M, Joliot PA, Falkowski PG, Bidle KD (2013). Death-specific protein in a marine diatom regulates photosynthetic responses to iron and light availability. *Proc Natl Acad Sci* 110: 20123-8.
13. – 24. : Buchbeiträge (Fertigstellung 2014) in Hamm (ed.): *Evolution of Lightweight Structures*. Springer Verlag.

## 7.2 Liste der Abschlussarbeiten

### Dissertationen

1. Blecher, Inga (2013): Einfluss anorganischer Einlagerungen und unterschiedlicher Hierarchieebenen auf die Mechanik von ausgewählten Organen höherer Pflanzen, Dissertation, Universität Freiburg.
2. Kotrc, Ben (2013): Evolution of Silica Biomineralizing Plankton. Ph.D. Thesis, Harvard University.
3. Friedrichs, Lars (ca. Mai 2014): Universität Bremen, FB Biologie,
4. Maier, Moritz (ca. Mai 2014): Universität Bremen, FB Produktionstechnik. Entwicklung eines datenbankgestützten Engineering und Design-Tools für bionischen Strukturleichtbau nach dem Vorbild mariner Planktonorganismen.
5. Niebuhr, Nils (ca. November 2014): Helmut Schmidt Universität Hamburg. Analyse und parametrische Optimierung von Leichtbaustrukturen in Natur und Technik.

### Diplomarbeiten

1. Hömig, Mario (2010): Untersuchungen zur Funktion von Leichtbauschalen mariner Planktonorganismen. Diplomarbeit, Universität Bremen, 74 S.
2. Heinzel, Saskia (2011) Das Morphogenetische Kuriositätenkabinett – Ein Ausstellungskonzept. Diplomarbeit, Fachhochschule Potsdam, 183 S.

### Masterarbeiten

1. Niebuhr, Niels (2010), Master Thesis: „Konstruktion von Gründungsstrukturen für Offshore Windkraftanlagen nach biologischem Leichtbauvorbild“, Hochschule Wismar, Studiengang Maschinenbau, 56 S.
2. Siegel, Daniel (2012): Master Thesis Strategic analysis of generating a business model based on the Evolutionary Light Structure Engineering technology developed by the Alfred-Wegener-Institute. (MBE).
3. Haufe, Patrick (2013): Analyse des Leichtbaupotentials von parametrischen fraktalen Waben unter statischer Belastung mittels numerischer Methoden, Master of Engineering, Hochschule Bremen, 100 S.

### Bachelorarbeiten:

1. Schulze, Leona (2009): Fraßversuche von Copepoden an Diatomeen unter Berücksichtigung biomechanischer Aspekte. Bachelorarbeit, Universität Bremen, 79 S.
2. Bertram, Anna (2010): Untersuchung biomechanischer Aspekte von Fraßstrategien mit dem Schwerpunkt auf Calanoiden Copepoden. Bachelor of Science, Univ. Bremen, 69 S.
3. Czelnik, C.G. (2010) Diplomarbeit: „Mikrobereichsanalytik an marinen Biomineralisationsprodukten“, Leibniz Universität Hannover, 61 S.
4. Siegel, Daniel (2010): Parametrisierung einer Radiolarie zur bionischen Anwendung einer Offshore-Gründungsstruktur. Bachelorarbeit, Hochschule Bremen, FB Bionik, 58 S.
5. Haufe, Patrick (2011): Leichtbauoptimierung von Strukturen für Hochleistungsrennyachten auf der Basis von pennaten Diatomeen Schalen. Bachelorarbeit, Hochschule Bremen, 48 S.
6. Schmitz, Christoph (2011): Bündelung verschiedener CAE Analyseverfahren zu einem automatisierten Optimierungsprozess am Beispiel von Offshore Gründungsstrukturen. Bachelorarbeit, Rheinische Fachhochschule Köln, 154 S.
7. Naguschewski, Robert (2012): Leichtbau-Optimierung an Wabenkreisplatten nach Vorbild der Diatomeen. Bachelorarbeit, Hochschule Bremen, 33 S.
8. Ciomber, Isabelle (2013): Kerbspannungsreduzierung durch Geometriemodifikationen nach Vorbild pennater Diatomeen. Bachelorarbeit, Hochschule Bremen, 50 S.
9. Dunker, Tim (2013): Entwurf eines transparenten Vakuuminisationspaneels für Gewächshäuser nach Vorbild fraktaler Wabenstrukturen von Diatomeen. Bachelorarbeit, Hochschule Bremen, 48 S.

10. Szameitat, Simon (2013): Bionic Lightweight Metro – Neues Verkehrsmittel für Schwellenländer. Bachelorarbeit (Bachelor of Art), Fachhochschule Potsdam, 92 S.
11. Wullenweber, Maïke (2013): Funktionelle Morphologie von Diatomeenschalen in Ökosystemen. Universität Hamburg, 65 S.

## 7.3 Sonstige Publikationen

### Vorträge (Auswahl):

1. Stegmaier, T., Dauner, M., Sarsour, J., Linke, M., Milwich, M., Sartori, J., Scherrieble, A., Schneider, P., Bagkesen, F., Gottschalk, V., Planck, H.: „Aktuelle Entwicklungen am „Zentrum der bionischen Innovationen für die Industrie“, Bionik und faserbasierte Werkstoffe - Bionik-Symposium, Denkendorf (18.-19.05.2010)
2. Posterpräsentation: Friedrichs, L., Schulze, L., Hörnig M., Jurkoic, P., Hamm, C.: "Mechanical Properties of Diatom Shells and Evidence from the Field", Doktorandentag Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven (25.-28.05.2010)
3. Posterpräsentation: Blecher, I. C., Speck, T., Thomann, R., Seidel, R.: „Comparison of different methods to detect silica depositions in plants“, Annual Main Meeting of the Society for Experimental Biology, Prag (30.06.-03.07.2010)
4. Michels, J., Vogt, J., Gorb, S.N., Simon, P.: „Mandibular gnathobases of copepods – fascinating feeding tools with complex composite structures.“ Bionik-Kongress, Bremen (22.-23.10.2010)
5. Posterpräsentation: Blecher, I., Speck, T., Thomann, R., Seidel, R.: „Structural and mechanical relevance of silica depositions in land plants: Comparison of different methods to detect silica depositions in plant tissues“, Vorstands- und Gutachtersitzung des Kompetenznetzes Biomimetik, Freiburg (02.-03.12.2010)
6. Friedrichs, L.: Diatom microstructures - function and 3D-analysis, Internationale IMARE-Konferenz: Marine Resources and Beyond 2011, Bremerhaven
7. Hamm, C.: The potential of bionic approaches for structural lightweight innovations, Internationale IMARE-Konferenz: Marine Resources and Beyond 2011, Bremerhaven
8. Haufe, P.: Parametric lightweight optimization of yacht components using structures of diatom shells. Internationale IMARE-Konferenz: Marine Resources and Beyond 2011, Bremerhaven
9. Kooistra, W.: Diatoms and their use in applied research and technological development. Internationale IMARE-Konferenz: Marine Resources and Beyond 2011, Bremerhaven
10. Maier, M.: ELISE3D - a database-driven engineering and design tool. Internationale IMARE-Konferenz: Marine Resources and Beyond 2011, Bremerhaven
11. Michels, J., Vogt, J., Simon, P., Gorb, S.N. (Vortrag) Mechanical challenges for diatoms caused by highly adapted feeding tools of pelagic copepods and Antarctic krill. Marine Resources and Beyond 2011, Bremerhaven
12. Milwich, M.: Engineering of tailored, ultralightweight composites. Internationale IMARE-Konferenz: Marine Resources and Beyond 2011, Bremerhaven
13. Nebelsick, J.: Skeletal variations and architectural solutions of the light weight sea urchins. Internationale IMARE-Konferenz: Marine Resources and Beyond 2011, Bremerhaven
14. Pohl, G.: BOWOOS - Bionic Optimized Wood Shells with Sustainability. Internationale IMARE-Konferenz: Marine Resources and Beyond 2011, Bremerhaven
15. Pohl, J.: Research Project PlankonTech - Architecture Prototype Gazebo. Internationale IMARE-Konferenz: Marine Resources and Beyond 2011, Bremerhaven
16. Stegmaier, T.: Multifunctional aspects of lightweight constructions. Internationale IMARE - Konferenz: Marine Resources and Beyond 2011, Bremerhaven
17. Siegel, D.: Parameterisation of radiolarian geometries for efficient development of offshore foundations. Internationale IMARE-Konferenz: Marine Resources and Beyond 2011, Bremerhaven
18. Speck, T.: Light-weight constructions and self-x-materials in biology and engineering. Internationale IMARE-Konferenz: Marine Resources and Beyond 2011, Bremerhaven
19. Michels, J., Gorb, S.N. (Vortrag) Detailed three-dimensional visualization of the exoskeleton of arthropods using confocal laser scanning microscopy. Microscopy Conference 2011, Kiel
20. Michels, J., Vogt, J., Simon, P., Gorb, S.N. (Poster) Resolving the morphology of complex composite structures in mandibular gnathobases of marine copepods using a combination of different high-resolution microscopy and element analysis techniques. Microscopy Conference 2011, Kiel

21. Hamm, C.: Bionischer Leichtbau für Offshore Gründungsstrukturen. International Industrial Convention on Biomimetics, Berlin (17.3.2011)
22. Hamm, C.: Leichtbau von Offshore – Gründungsstrukturen durch das bionische Verfahren ELiSE (OFE). Wissenschaft in Bremerhaven - Impulsgeber und Standortfaktor (23.03.2011)
23. Michels, J., Vogt, J., Simon, P., Gorb, S.N. (Poster) Biomimetic ideas from the Ocean: mandibular gnathobases of copepods – feeding tools with complex composite structures. Klausurtagung des Exzellenzclusters „The Future Ocean“, Schleswig (28.-29.03.2011)
24. Hamm, C.: Combining complex lightweight structures with fiber composites: solutions in nature and potentials for the technical world. Biomimetic fiber composite workshop (31.08.2011)
25. Hamm, C.: Bionische Methoden für den Strukturleichtbau – Inspiration oder systematische Nutzung? Treffen des DFG SPP 1542 in Annweiler / Trifels( 15.11.2011)

## 8. Öffentlichkeitsarbeit

Zahlreiche Aktivitäten machten die PlanktonTech-Themen auch einer größeren Öffentlichkeit bekannt. Hervorzuheben sind insbesondere die Messeteilnahmen, eine internationale Konferenz (Marine Resources and Beyond 2011), sowie die Beteiligung an diversen Ausstellungen.

26. Pressemitteilungen (AWI, TU Berlin),  
[http://www.awi.de/index.php?id=71&type=123&L=1&tx\\_list\\_pi1%5Buid%5D=600&filename=awi.pdf](http://www.awi.de/index.php?id=71&type=123&L=1&tx_list_pi1%5Buid%5D=600&filename=awi.pdf),  
[http://www.pressestelle.tu-berlin.de/newsportal/einblick\\_fuer\\_journalisten/filigrane\\_leichtbauwerke\\_nach\\_dem\\_vorbild\\_von\\_kieselalgen/](http://www.pressestelle.tu-berlin.de/newsportal/einblick_fuer_journalisten/filigrane_leichtbauwerke_nach_dem_vorbild_von_kieselalgen/)
27. Erstellung einer eigenen Homepage (siehe: [www.PlanktonTech.de](http://www.PlanktonTech.de)), dabei auch Entwicklung eines PlanktonTech - Logos
28. Das in PlanktonTech integrierte Verfahren ELiSE gewinnt den Innovationspreis des Network of Automotive Excellence (NoAE) 2008
29. Teilnahme an der Ausstellung „Prototypen – Bionik und der Blick auf die Natur“ im Max Liebermann Haus Berlin (24.05. – 24.08.2008)
30. Teilnahmen an der Hannover Messe, Gemeinschaftsstand BioKoN -Bionik Kompetenz Netzwerk (2008, 2010, 2012, 2013) zusätzlich 2012 großer Stand (90 m<sup>2</sup>) in Halle 6 (Leichtbau), hierfür Sponsoring durch die Messe AG (ca. 25.000€).
31. Eingeladener Vortrag und Gespräche an der Harvard University (PlanktonTech-Mitglied) über weitere Konzepte und Vorgehen im Hinblick auf geplante gemeinsame Arbeiten und Ausstellungen
32. Posterpräsentation „PlanktonTech – von der Grundlagenforschung zu hochentwickelten Prototypen“ Bionik Kongress „Patente der Natur“ (07.-08.11.2008)
33. Vortrag „Das Meer als Architekturbüro“ Nano Truck Wilhelmshaven (04.-05.12.2008)
34. Vorstellung von PlanktonTech auf der Veranstaltung „365 Orte im Land der Ideen“, Innovationen und Meer, Bremerhaven (09.06.2009)
35. Vortrag „PlanktonTech: Entwicklung bionischer Leichtbaustrukturen und deren Kombination mit Faserverbundwerkstoffen“ auf der Konferenz „AK Naturfasern – Anwendungspotentiale und Forschungsbedarfe“, Bremerhaven (25.06.2009)
36. Posterpräsentation „PlanktonTech - Evolutionary principles leading to high performance lightweight constructions in Marine Planktonic Organisms – Fundamentals and technical applications“ bei der Jahreshauptversammlung des Kompetenznetzes Biomimetik 2009 Freiburg (23.10.2009)
37. Partner der Sonderausstellung “Diatomeen Formensinn” im Phyletischen Museum Jena, Oktober 2009 – Oktober 2010 und verschiedene Beiträge im Begleitband zur Sonderausstellung
38. Vortrag „Marine Bionik: Patente aus der Natur“ im Haus der Wissenschaft, Bremen (10.12.2009)
39. Vorstellung PlanktonTech im Zweijahresbericht 2008/2009 vom Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung
40. Posterpräsentation: Speck, T. et al.: „Evolutionary principles leading to high performance lightweight constructions in marine planktonic organisms: fundamentals and technical applications“ Vorstand- und Mitgliederversammlung des Kompetenznetzes Biomimetik, Freiburg (19.03.2010)
41. Posterpräsentation: Friedrichs, L., Schulze, L., Hörnig M., Jurkoic, P., Hamm, C.: "Mechanical Properties of Diatom Shells and Evidence from the Field", Tag der offenen Tür am Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven (25.04.2010)
42. Haufe, P.: Parametric lightweight optimization of yacht components using structures of diatom (2011), Vortrag auf dem CAE-Workshop der Hannover Messe.

43. Aktionen rund um die Fertigstellung des PlanktonTech-Pavillons "Cocoon", der von den Jenaer Architekten Jule und Göran Pohl konzipiert und als spezielle Attraktion für die Ausstellung des New Yorker Künstlers Frank Stella in Jena eingesetzt wurde. Über den Transport nach Bremerhaven wurde im MDR und in verschiedenen Zeitungen berichtet, der Einsatz auf der Hannover Messe 2012 ermöglichte ein Sponsoring durch die Messgesellschaft.

Die Öffentlichkeitsarbeit wird laufend fortgeführt, hierfür wurde am AWI das ELiSE-Verfahren u.a. als Wortmarke eingeführt und mit einem Logo versehen. Der Bekanntheitsgrad steigt dadurch in den einschlägigen Branchen (z.B. durch VDI-Workshops (2014), Vorträgen auf Veranstaltungen wie Leichtbaugipfel Würzburg (2014) und Messeauftritten (HMI 2014, 2013, 2012, 2010). Auch die Arbeit an einer VDI - Richtlinie zum ELiSE-Verfahren (Konstituierung 2013, 1. Arbeitssitzung 6.3.2014) stärkt das Vertrauen der einschlägigen Branchen in das Verfahren und bietet gleichzeitig die Möglichkeit, das Verfahren weiter zu systematisieren.

Im öffentlichen Bereich sind Unterstützungen für Zeitungsartikel sowie Radio- und Fernsehbeiträge vorgesehen. Allerdings sollen neben der Reaktion auf Anfragen durch Journalisten auch aktiv hochwertige Beiträge für überregionale Medien platziert werden.

Der Nutzen für solche Aktivitäten hängt stark von den Entwicklungspartnern aus der Industrie ab. Da unsere Leichtbauoptimierungen in der Regel in der Vorentwicklung der jeweiligen Partnerfirma stattfinden müssen, sind schnelle Markteinführungen in der Regel nicht möglich. Daher wurde die Strategie umgesetzt, mit Industriepartnern gemeinsam über den Bau von Prototypen und die Darstellung gemeinsamer Entwicklungen auf Messen und Workshops überzeugende Referenzprojekte öffentlich vorzustellen.



Abb. 7: Präsentationsform für ein Projekt, das im Auftrag der Firma Stadco durchgeführt und auf Messen, dem Leichtbaugipfel Würzburg und VDI-Veranstaltungen vorgestellt wird.

## 9. Ausblick

Es ist gelungen, im Rahmen des HVI PlanktonTech eine fast ideale Konstellation aus Grundlagenforschung, Anwendungsforschung, Methodenentwicklung und Verwertung zu finden und über die Laufzeit des Projektes hinaus zu verstetigen.

Der nachhaltige Aufbau eines solchen Themenkomplexes stand im Mittelpunkt unserer Anstrengungen. Obwohl die Heterogenität der Aufgaben auch das Risiko birgt, die für hohe Qualität notwendigen personellen Kapazitäten nicht aufrechterhalten zu können, bestehen inzwischen gute Chancen, dass das Thema in allen Bereichen sehr erfolgreich weitergeführt werden kann.

- Ein Vertrag über die Kooperation zwischen dem Alfred-Wegener-Institut und der imare GmbH im Rahmen einer Brückengruppe beinhaltet die Verstetigung der in PlanktonTech angelegten Kombination am AWI (siehe Abbildung). Sobald eine angemessene Eingliederung in die AWI-Organisationsstruktur gelungen ist, wird der Themenkomplex erheblich zum Erfolg des AWI und der HGF im Bereich Technologie-Transfer beitragen.
- Da der Anteil der Industrie – Aufträge gegenwärtig stark zunimmt, ist eine Ausgründung einer „EliSE GmbH“ in 2015 wahrscheinlich. Gleichzeitig ist deren enge Verbindung zu Grundlagen- und Anwendungsforschung am AWI geplant, um weitere Innovationen für das Thema Leichtbauoptimierung zur Anwendung zu bringen.

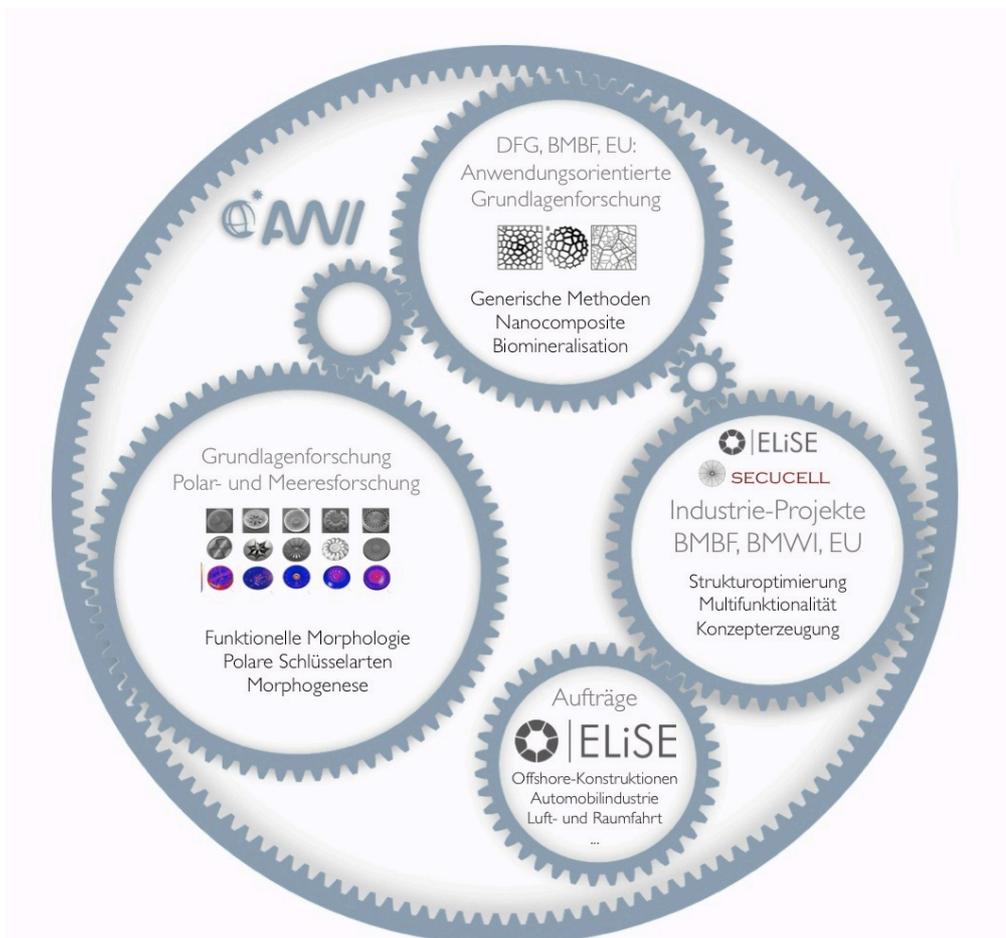


Abb. 8: Themenkomplex Leichtbauoptimierung in Natur und Technik am Alfred Wegener Institut. Der Umfang der Industrieaufträge wird stark ansteigen und daher mittelfristig (2015 ff) in einer Ausgründung durchgeführt.

Wir danken dem AWI-Direktorium, dem HGF-Team, dem Hustedt-Team, dem AWI-Technologietransfer, der Sektion Polare Biologische Ozeanographie, der imare GmbH und ihren Gesellschaftern, der AWI-Verwaltung, und allen Mitgliedern und Partnern des HVI PlanktonTech für ihre großartige Unterstützung und die spannende Zusammenarbeit.



Bremerhaven, den 14.2.2014

Christian Hamm  
Sprecher HVI PlanktonTech

Informationen:

[www.planktontech.org](http://www.planktontech.org)  
[www.elise3d.com](http://www.elise3d.com)