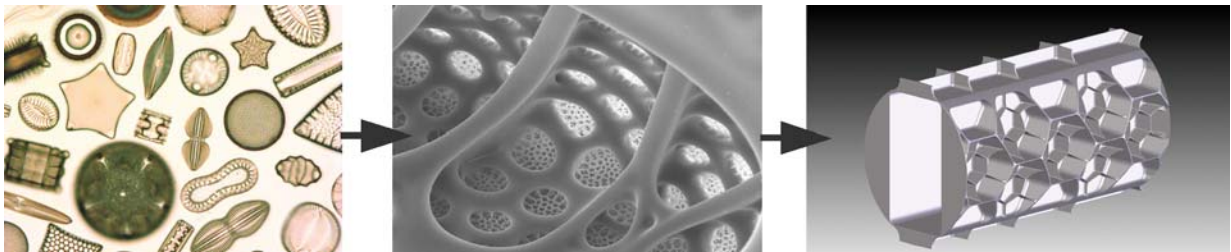


# Evolutionary Light Structure Engineering

Ein Verfahren zur Verbesserung des Strukturleichtbaus



W H I T E P A P E R

# Evolutionary Light Structure Engineering (ELiSE)

## Ein Verfahren zur Verbesserung des Strukturleichtbaus

### Inhaltsverzeichnis

Sinn, Zweck und Ziel des Verfahrens .....	3
Funktionserklärung .....	3
Was macht ELiSE zur Innovation? .....	3
Auszeichnungen .....	3
Detaillierte Beschreibung .....	4
Bekannter Stand der Technik / Prozesse .....	4
Ziel der Innovation ELiSE .....	4
Aufgaben in der Entwicklung .....	4
Herausforderung für Innovations-Wettbewerbe .....	4
Technische Vorteile .....	4
Neuartigkeit der Idee .....	5
Synergieeffekte .....	5
Ausstrahlung auf andere Bereiche .....	5
Reifegrad der Innovation, Konzeptstadium, Machbarkeitsstudie, Prototypenstadium, Kleinserie .....	5
Kundennutzen und Marktrelevanz - Applizierbarkeit im Automobilsektor .....	5
Wirtschaftlichkeit: Marktperspektive (Preis-Wert) und Wertschöpfungsperspektive (Preis-Kosten) .....	6
Weitere geplante Schritte .....	6
Weitere Publikationen zu dieser Innovation im Internet .....	7
Kontakt .....	7

## Sinn, Zweck und Ziel des Verfahrens

Das Verfahren dient zur Verbesserung des Strukturleichtbaus durch systematische Nutzung vielfältiger voroptimierter Leichtbaustrukturen mariner Planktonorganismen.

Schutzrechte: Verfahren zur Ermittlung von konstruktiven Erstmodelldaten für eine technische Leichtbaustruktur, Patent PCT/DE2005/001543

## Funktionserklärung

Leichtbaukonstruktionen für konkrete technische Aufgabenstellungen können oft durch sehr unterschiedliche Geometrien gelöst werden. Dieser Sachverhalt wird oft durch den Begriff "Optimierungsgebirge" verdeutlicht, das gleichzeitig eine Schwierigkeit der linearen Optimierungsverfahren wie Computer Aided Optimization (CAO) und Soft Kill Option (SKO) bzw. Topologie- und Gestaltoptimierung aufzeigt, nämlich dass durch eine iterative, lineare Optimierung wohl ein lokales, aber nicht das globale Optimum erreicht wird.

Im Verfahren ELiSE wird dagegen auf eine Datenbank aus konkreten, voroptimierten Leichtbaustrukturen zurückgegriffen, die eine effektive und schnelle Entwicklung diverser neuer Leichtbaulösungen ermöglichen. Unterstützt wird die Technische Umsetzung durch Grundlagenforschung in den Bereichen Plankton-Evolution, Plankton-Biomechanik, Diatomeen-Taxonomie und genetische Algorithmen.

## Was macht ELiSE zur Innovation?

Das Verfahren ELiSE baut auf Erkenntnissen der Grundlagenforschung auf, die zeigen, dass die Schalen von Planktonorganismen insbesondere unterschiedlichen mechanischen Belastungen durch Fresswerkzeuge ausgesetzt sind.

Die Innovation gegenüber anderen Herangehensweisen besteht darin, dass nicht abstrakte Lösungsansätze extrahiert werden, sondern konkrete Strukturen aus einer Datenbank als voroptimierte Leichtbaukonstruktionen für technische Probleme verwendet werden, die zu diversen, schnellen und effektiveren Lösungen führen.

Die Skalierung mikroskopischer Leichtbaustrukturen wird dadurch möglich, dass sowohl Materialquerschnitt und Flächendruck mit dem Quadrat des Längenmaßstabes skalieren. Damit ist eine Übertragung fantastischer Leichtbaustrukturen aus dem Mikrokosmos für fast beliebige technische Anwendungen problemlos möglich.

## Auszeichnungen

ELiSE wurde beim NoAE Innovations-Wettbewerb 2008 in der Sparte „CO<sub>2</sub>-Reduzierung, Leichtbau und neue Materialien“ von Bundeswirtschaftsminister Michael Glos ausgezeichnet. Ein Teilbereich (Folgenentwicklung) wurde vom Wiener Standard als "Idee des Jahres 2007" ausgezeichnet.

## Detaillierte Beschreibung

### Bekannter Stand der Technik / Prozesse

Leichtbaustrukturen werden gegenwärtig noch häufig durch ständige Verbesserung bestehender Systeme konstruiert, ein gewisses Maß an Automatisierung ist allerdings durch Verfahren wie Topologie- und Gestaltoptimierung (bzw. CAO/SKO) gegeben. Diese linearen Optimierungsverfahren eignen sich trotz hervorragender Ergebnisse im Fahrzeugbau jedoch (noch) nicht für komplexere Bauten. Auch differenzieren sie nicht zwischen Druck- und Zugspannung, sondern arbeiten mit von Mises-Vergleichsspannung.

Da aber Elemente, die ausschließlich unter Zugspannung stehen, deutlich leichter dimensioniert werden können, führt dies zu schwereren Lösungen, als dies nötig ist. Als weitere Beschränkung kommt hinzu, dass das erreichte Optimum einer Leichtbaustruktur oft nur ein lokales Maximum unter einer Anzahl möglicher Optima in einem bestimmten Bauraum darstellt.

### Ziel der Innovation ELiSE

Ursprüngliches Ziel war die Nutzbarmachung der Erkenntnis, dass Planktonschalen hervorragend konstruierte stabile Leichtbaukonstruktionen darstellen (siehe Publikation Hamm et al. 2003). Aufgrund des Wissens, dass ca. 100.000 verschiedene Arten mit jeweils unterschiedlichen Leichtbaugeometrien verfügbar sind, sollte eine systematische Nutzung dieses Pools an potenziell auch technisch einsetzbaren Strukturen entwickelt werden.

### Aufgaben in der Entwicklung

Die Hauptaufgabe bestand darin, ein Verfahren zu entwickeln, das für einen möglichst breiten Kreis an Anwendern nutzbar ist. Das ausschließliche Wissen über die sehr guten Eigenschaften von Planktonschalen als stabile Leichtbaukonstruktionen würde ein recht großes Team aus Biologen, Konstrukteuren und Berechnungsingenieuren erfordern, um eine technische Leichtbaulösung zu erzeugen.

### Herausforderung für Innovations-Wettbewerbe

Neuheitswert / technischer Vorteil / Neuartigkeit der Idee / Synergieeffekte / Ausstrahlung auf andere Bereiche

Neuheitswert der Innovation: Es sind keine vergleichbaren Methoden vorhanden, die die 3D-Daten einer Gruppe von Organismen systematisch für technische Leichtbaukonstruktionen nutzen.

### Technische Vorteile

1. Schnelle Entwicklung von hocheffektiven Leichtbaukonstruktionen
2. Große Vielfalt an möglichen Lösungen, dadurch
3. Flexibilität für Designer und Produktionstechniker
4. Kombination mit weiteren Funktionen möglich (z.B. Permeabilität, Transparenz)

## Neuartigkeit der Idee

Die systematische Katalogisierung von biologischen 3D-Leichtbaustrukturen (biomineralisierte Planktonschalen) sowie deren Spannungsverläufe für Standardlastfälle in einer Datenbank wurde noch nicht diskutiert. Bisher wurden die Geometrien von Leichtbauschalen von Planktonorganismen eher als Studienobjekte für Taxonomie (Einteilung in systematische Verwandtschaftsverhältnisse) verwendet. Bekannt waren die Schalen allerdings z.T. namhaften Architekten wie Buckminster Fuller oder Frei Otto, die sie aber eher als unspezifische Inspirationsquellen verwendeten.

## Synergieeffekte

Synergieeffekte sind mit allen Bereichen der heute schon vorhandenen Optimierungsansätze für Leichtbau zu erwarten. So ist eine Kombination der voroptimierten Strukturen sowohl mit Topologie- und Gestaltoptimierung (CAO/SKO) als auch mit genetischen Algorithmen sinnvoll. In diesem Zusammenhang ist auch eine Parametrierung komplexer Geometrien notwendig. In allen diesen Bereichen bestehen bereits entsprechende Kooperationen.

## Ausstrahlung auf andere Bereiche

Insbesondere in Bereichen wie Werkstoffwissenschaften (z. B. Faserverbundwerkstoffe), Produktionstechnik, aber auch Aspekte wie Design und Ästhetik werden von dem Verfahren ELiSE maßgeblich beeinflusst werden. In einigen Bereichen sind die meist komplexen Geometrien der Leichtbauschalen eine große Herausforderung, sie bieten aber auch hier die Chance für signifikante Neuentwicklungen.

## Reifegrad der Innovation, Konzeptstadium, Machbarkeitsstudie, Prototypenstadium, Kleinserie

Die Funktionsfähigkeit der Innovation wurde bereits in diversen Projekten getestet. In der Regel wurde von Seiten der Industrie eine konkrete Aufgabenstellung gegeben. Daraufhin wurden die biologischen Sammlungen hinsichtlich möglicher Problemlösungen gescannt. Die Konstruktion erfolgte z. T. "manuell", d. h. mit Hilfe Rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen und entsprechender Konstruktionssoftware (Solid Works, CATIA), z. T. auch schon halbautomatisch mit Hilfe der Laserkonfokalmikroskopie, die wie die Computertomographie diskrete Schnitte des Objektes fertigt, die wiederum in entsprechenden Programmen zu einer 3D-Struktur zusammengefügt werden.

Diese 3D-Strukturen wurden mit Hilfe eines Mesh Generators für FE-Berechnungen vorbereitet, hier wurden die wesentlichen Lastfälle berechnet und anhand der Spannungsverläufe nach Bedarf modifiziert. Von diesen Objekten existieren Demonstratoren und Prototypen. Im Verlauf diverser Projekte wurden sehr gute Kooperationen mit verschiedenen Unternehmen aufgebaut (z. B. RLE international).

## Kundennutzen und Marktrelevanz - Applizierbarkeit im Automobilsektor

Das Verfahren ELiSE führt in folgenden Punkten zu einem konkreten Kundennutzen:

1. Vereinfachung des Konstruktionsprozesses
2. Beschleunigung des Konstruktionsprozesses (Einsparung
3. Verbesserung der Effektivität der Leichtbaukonstruktionen
4. Unterschiedliche Lösungen im Angebot

Die Applizierbarkeit im Automobilssektor ist insbesondere durch den Druck gegeben, der durch diverse Verordnungen zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung entstanden ist. Leichtbau ist ein wesentlicher Schlüssel dazu, die entsprechenden Grenzwerte zu erreichen.

Das Verfahren ELiSE ermöglicht es durch die Vielzahl an möglichen Lösungen, Leichtbau in sehr vielen Industriezweigen einzusetzen. Dies betrifft Branchen wie die Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt, Hochbau, Offshore-Industrie, Architektur, Medizintechnik sowie zahlreiche weitere.

Der Nutzen ergibt sich aus folgenden Punkten:

1. Rohstoffeinsparung
2. Energieeinsparung bei der Produktion und im Betrieb
3. Weniger Material, das recyclet werden muss
4. Ansprechendes Design
5. Bessere Funktion (mehr Sicherheit, höherer Komfort)

### Wirtschaftlichkeit: Marktperspektive (Preis-Wert) und Wertschöpfungsperspektive (Preis-Kosten)

Das Verfahren kann sehr wirtschaftlich eingesetzt werden, da die Leichtbaustrukturen nach dem Verfahren ELiSE vergleichsweise schnell entwickelt werden. Die in der Regel hohe Komplexität der Geometrien kann mit der heutigen Fertigungstechnik effektiv in die entsprechenden Werkzeuge umgesetzt werden. Kosten werden insbesondere durch Einsparung an Rohstoffen und während des Betriebes eingespart (z.B. leichtere Fahrzeuge), es ist dabei nicht zu erwarten, dass die Entwicklungskosten höher werden, als die gegenwärtig der Fall ist. Gewichtseinsparungen von 20-30% konnten in einigen Referenzprojekten problemlos erreicht werden.

### Weitere geplante Schritte

1. Erforschung von Strukturoptimierung und effizienter Kombinationen komplexer Leichtbaustrukturen und Verbundwerkstoffe im Virtuellen Helmholtz-Institut "PLanktonTech" Laufzeit 2008 bis 2011. Hier werden in Kooperation mit diversen Partnern (Harvard University, Rutgers University, TU Berlin, Universität Freiburg, Universität Kiel, Leichtbauinstitut Jena, ITV Denkendorf) die Prinzipien der Evolution von Leichtbauschalen aus dem Plankton erforscht und in technische Bauteile umgesetzt.
2. Aufbau einer 3D-Datenbank mit Geometrie-Parametrisierung aus Naturkundlichen Sammlungen. Hustedt- Sammlung für Diatomeenkunde mit über 80.000 Präparaten)
3. Verbesserung linearer Optimierungsschritte
4. Kombination mit genetischen Algorithmen
5. Aufbau eines internationalen Netzwerkes

## Weitere Publikationen zu dieser Innovation im Internet

1. Hamm et al. 2003 Architecture and Material Properties of diatom frustules provide effective mechanical protection. Nature 421, 841-843.  
<http://www.nature.com/nature/journal/v421/n6925/abs/nature01416.html>
2. Hamm 2005 (Biospektrum) Kieselalgen als Muster für Technische Konstruktionen  
[http://www.biokon.net/bionik/download/HammChristian\\_BiokeramischeVerbundwerkstoffe.pdf](http://www.biokon.net/bionik/download/HammChristian_BiokeramischeVerbundwerkstoffe.pdf)
3. Ammolight - Fraktale Leichtbauschalen (Poster zum BMBF- Projekt "Ammolight", ausgestellt im Technikmuseum Berlin)  
[http://www.rle.de/fileadmin/www/images/nova/Bionik\\_Ammolight.pdf](http://www.rle.de/fileadmin/www/images/nova/Bionik_Ammolight.pdf)
4. Weitere: unter [http://en.scientificcommons.org/c\\_hamm](http://en.scientificcommons.org/c_hamm)

## Kontakt

Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung  
Dr. Christian Hamm  
Am Handelshafen 12  
27570 Bremerhaven

Telefon: +49 (0) 471/4831-1868  
Fax: +49 (0) 471/4831-1149

E-Mail: [info@awi.de](mailto:info@awi.de)  
Website: [www.awi.de](http://www.awi.de)