

Untersuchung von Eigenschwingung und Leichtbaupotenzial unterschiedlicher Gitterstrukturen

am Beispiel von Magnetuntergestellen
von Teilchenbeschleunigern

Simone Andresen
NAFEMS DACH Conference
14.-16.05.2018 in Bamberg



ALFRED-WEGENER-INSTITUT
HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR POLAR-
UND MEERESFORSCHUNG





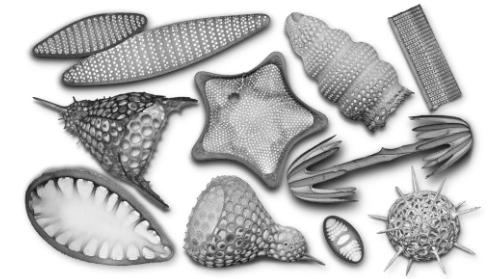
Alfred Wegener Institut

- führende Position in Polar- und Meeresforschung
- ca. 1200 Angestellte
- steigender Fokus im Bereich Technologietransfer (z.B. Leichtbau)

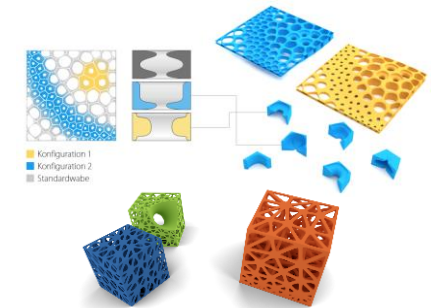


Bionischer Leichtbau / Funktionelle Morphologie am Alfred Wegener Institut

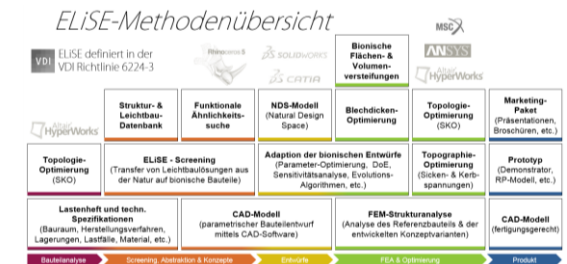
Biomechanische Grundlagenforschung an Diatomeen und Radiolarien
Kompetenz in der Untersuchung von Leichtbaustrukturen

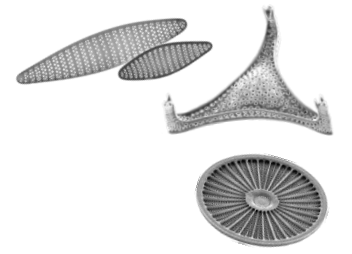


Konstruktionsalgorithmen für Flächen- und Volumenversteifungen
Automatisierter Designprozess für die Entwicklungsabteilungen
unserer Kunden



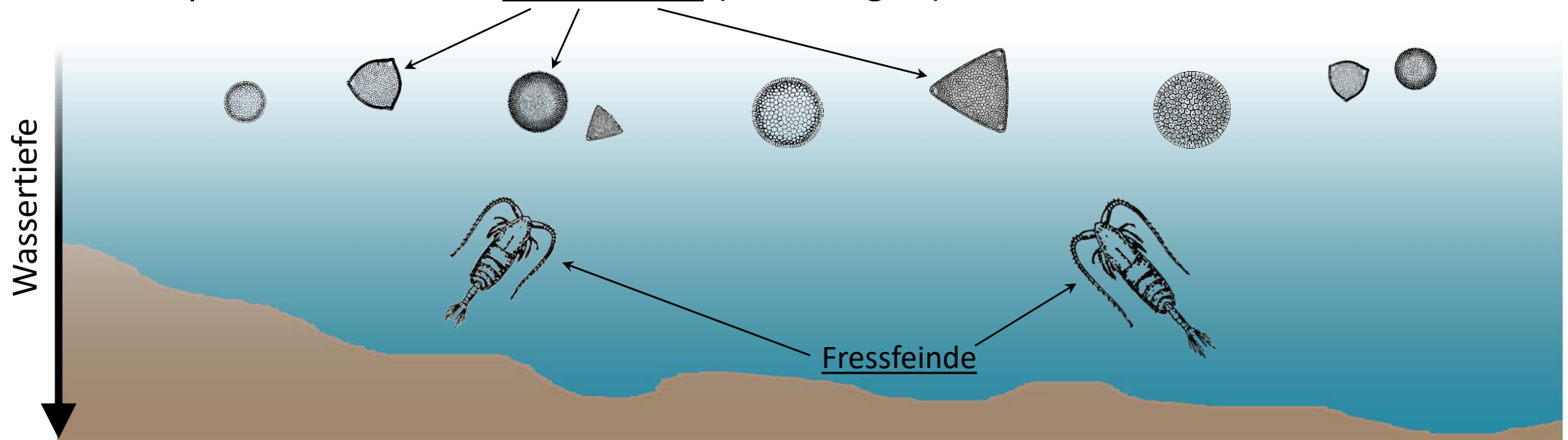
Bionischer Produktentstehungsprozess ELiSE
Standardisiertes Entwickeln von Leichtbauteilen basierend auf
biologisch inspirierten Leichtbaustrukturen: VDI Richtlinie 6224-3



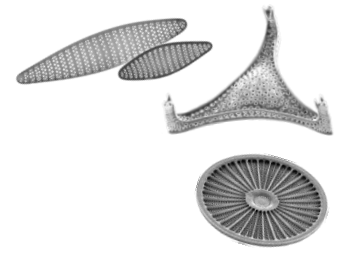


Einleitung

- Schalen mariner Einzeller: Beispiel für verschiedenste reguläre und irreguläre Gitter- und Wabenstrukturen in der Natur, die häufig unterschiedliche Funktionen erfüllen.
 - Beispiel: Schalen von Diatomeen (Kieselalgen)



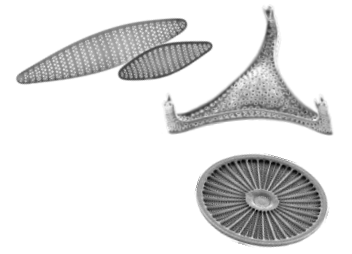
(Diatomeenbilder nach Schmidt 1902) (floridaaquafarms.com)



Einleitung

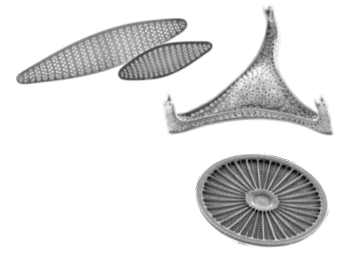
- Schalen mariner Einzeller: Beispiel für verschiedenste reguläre und irreguläre Gitter- und Wabenstrukturen in der Natur, die häufig unterschiedliche Funktionen erfüllen.
 - Beispiel: Schalen von Diatomeen (Kieselalgen)
 - Geringe Masse
 - Hohe Festigkeit
 - Gute Schwingungseigenschaften (bisher wenig untersucht)
- Es ist zu erwarten, dass die Strukturirregularitäten das Schwingungsverhalten der Strukturen beeinflussen:

Hohes Potenzial für technische Anwendungen



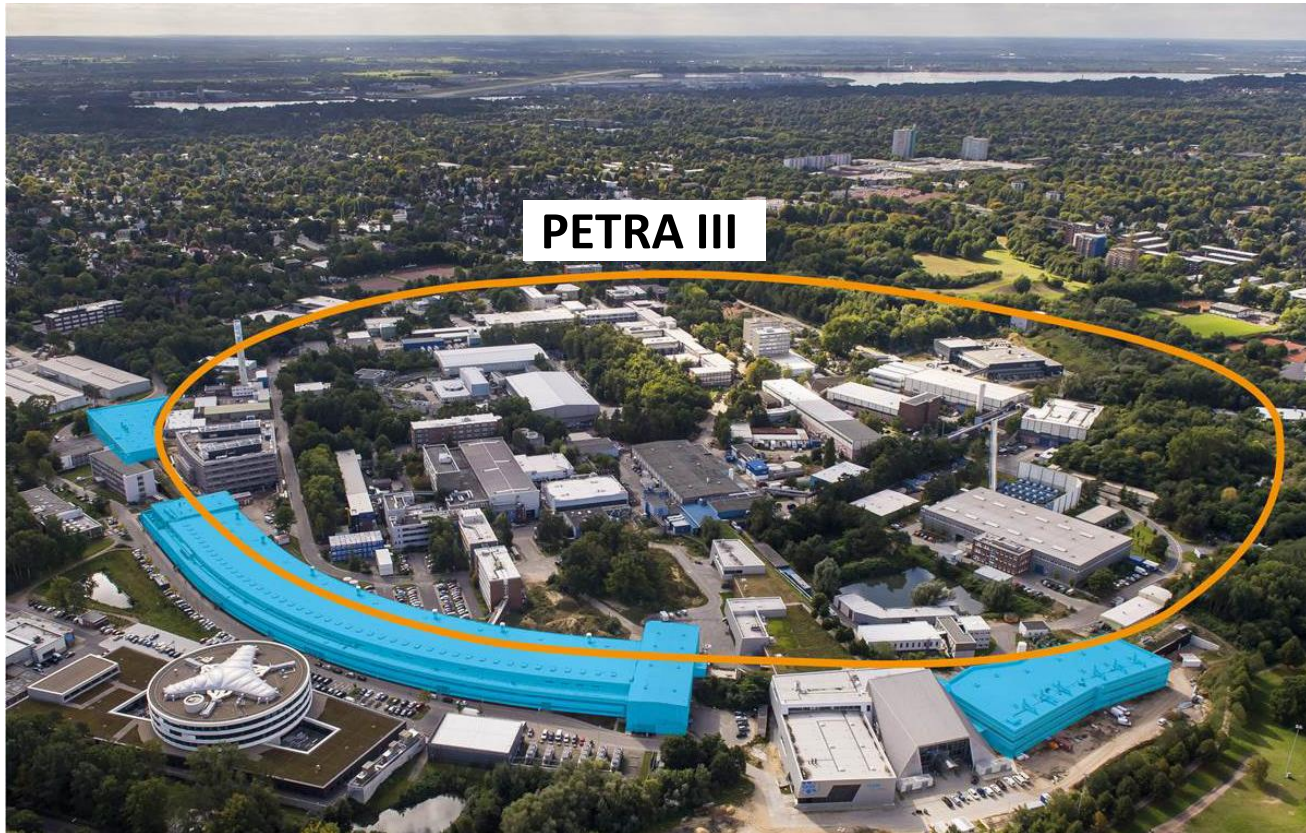
Einleitung

- Ziel der Arbeit:
 - Untersuchen, inwiefern durch biologisch inspirierte Strukturunregelmäßigkeiten die Schwingungseigenschaften positiv beeinflusst werden können
 - Exemplarische Anwendung der Gitter- und Wabenstrukturen auf ein Magnetuntergestell eines Teilchenbeschleunigers



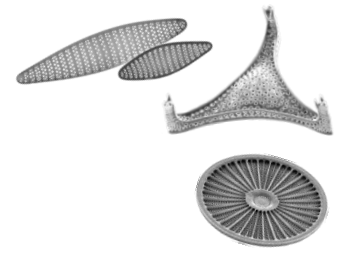
Einleitung

- Teilchenbeschleuniger PETRA III (DESY):



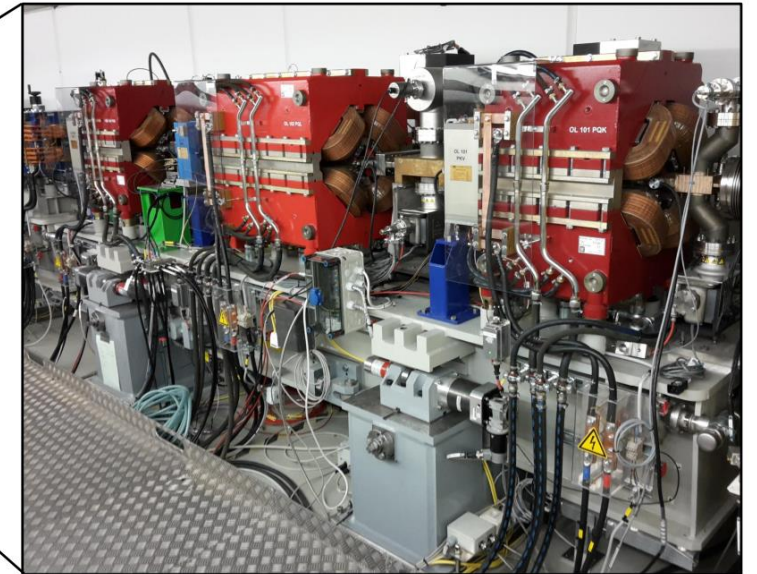
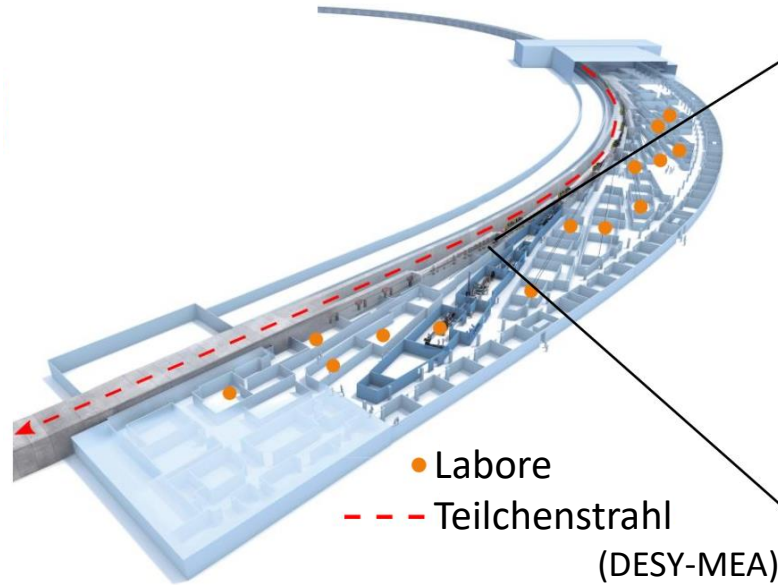
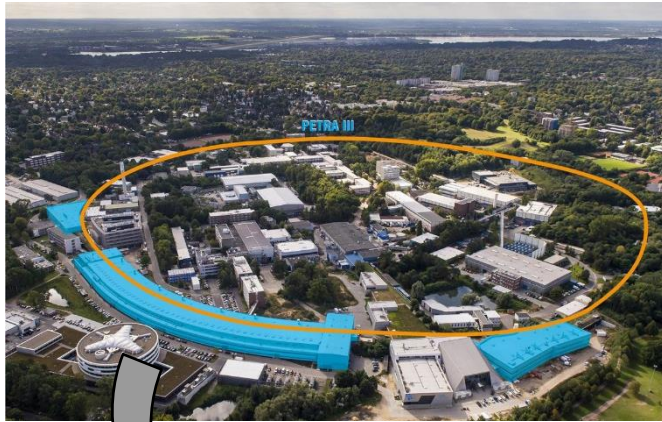
PETRA III soll in den kommenden Jahren durch eine neue Speicherring-Röntgenstrahlungsquelle PETRA IV ersetzt werden, um Skalen im Nanometerbereich aufzulösen.

Bild von September 2016 (photon-science.desy.de)



Einleitung

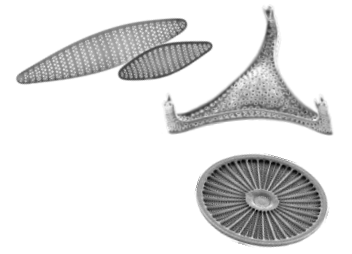
- Teilchenbeschleuniger PETRA III (DESY):



Laborhalle

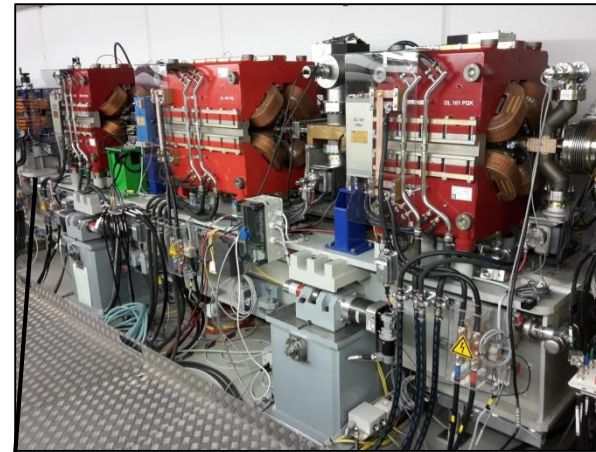
(photon-science.desy.de)

„Blick in den Tunnel“
(zu optimierende
Trägerstruktur in hellgrau)

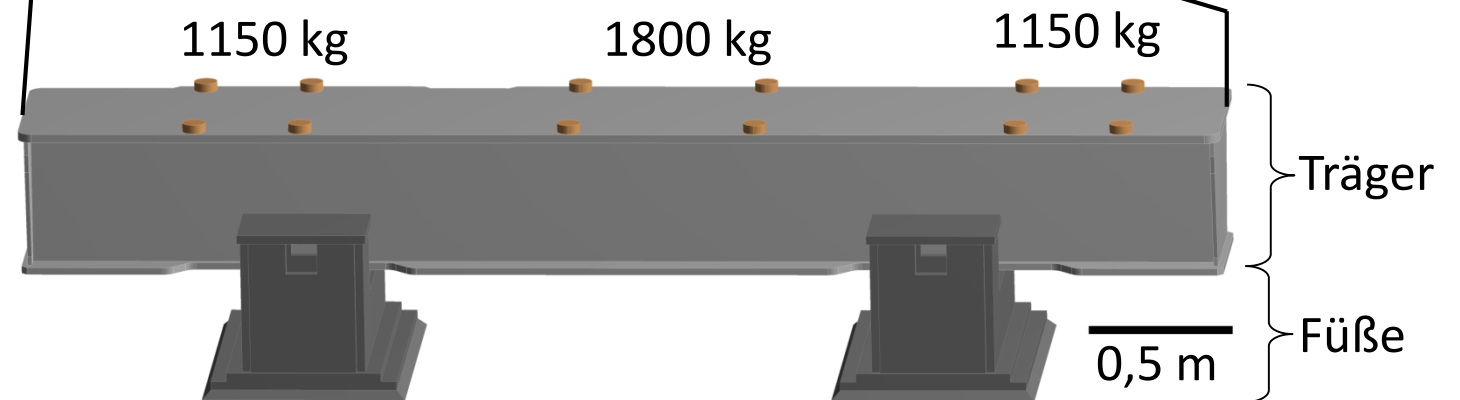


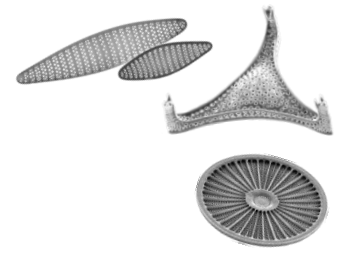
Methode

- Referenzstruktur
 - CAD-Modell von DESY
 - Drei Auflagerpunkte an den Besselpunkten der unteren Strukturfläche
 - Drei große Magnete als Punktmassen vereinfacht
 - Material: Stahl
(E-Modul: $2,1e11 \text{ N m}^{-2}$,
Dichte: 7850 kg m^{-3})



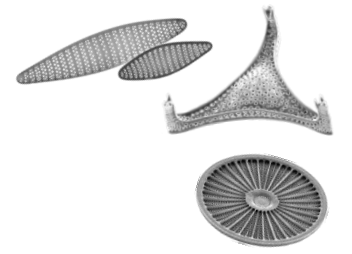
Träger ist innen hohl mit sieben Versteifungsrippen





Methode

- Gitterstrukturen nach biologischem Vorbild
 - Gitterstrukturen ersetzen die Referenzstruktur
 - Randbedingungen und Materialeigenschaften entsprechen der Referenz
 - Parametrische Konstruktion unter Verwendung von Konstruktionsalgorithmen, die die biologischen Vorbildstrukturen generieren (Software: Rhinoceros, Plug-In Grasshopper)
 - Unregelmäßige Gitter basierten auf Punkteverteilungen im Designraum

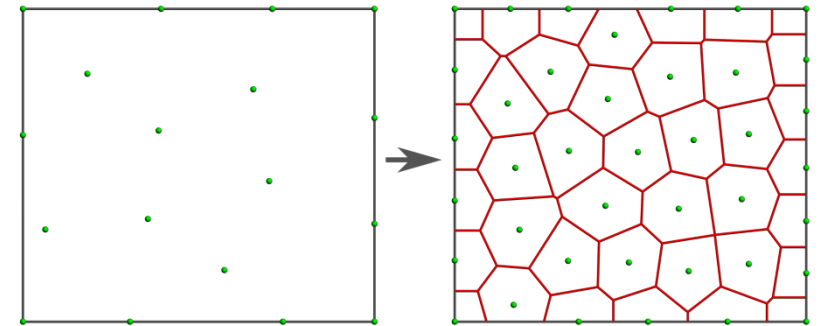


Methode

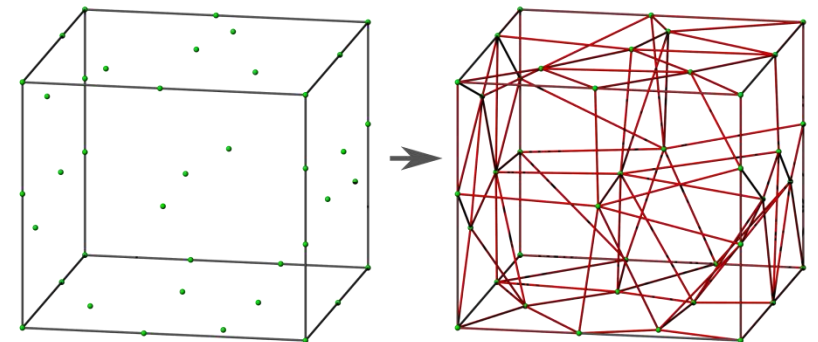
- Gitterstrukturen nach biologischem Vorbild
 - Zwei unregelmäßige Gitter:

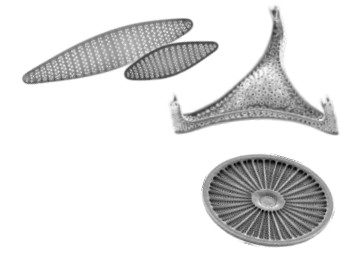
Basierten auf bestimmten Verteilungen von Punkten im Raum

*Voronoi-
waben
(hier: 2D)*



*Verbindung
benachbarter
Punkte*

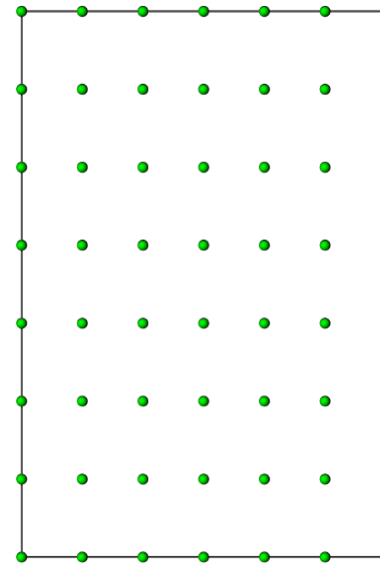




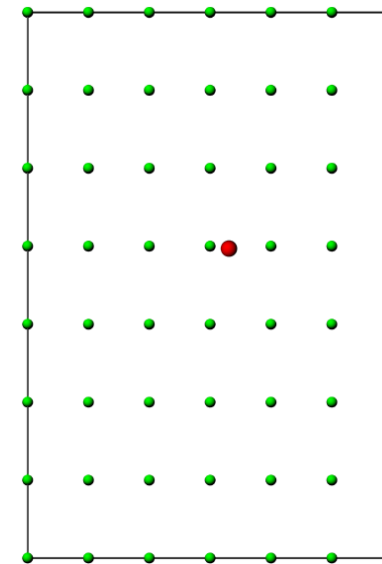
Methode

- Gitterstrukturen nach biologischem Vorbild
 - Zwei unregelmäßige Gitter:

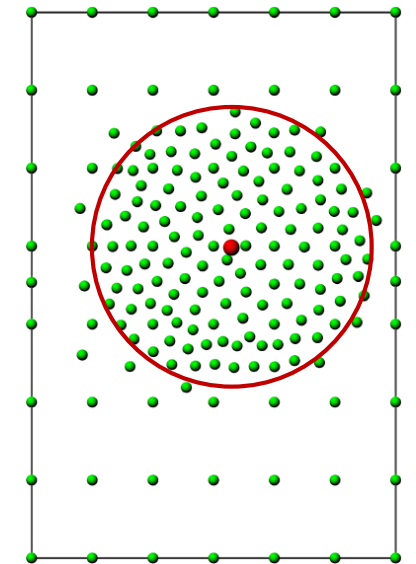
Beeinflussung der Punkteverteilung durch Attraktoren



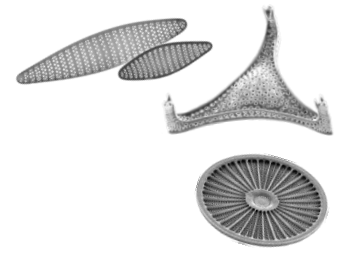
Verteilung von Punkten



Definition eines Attraktors (hier: roter Punkt)



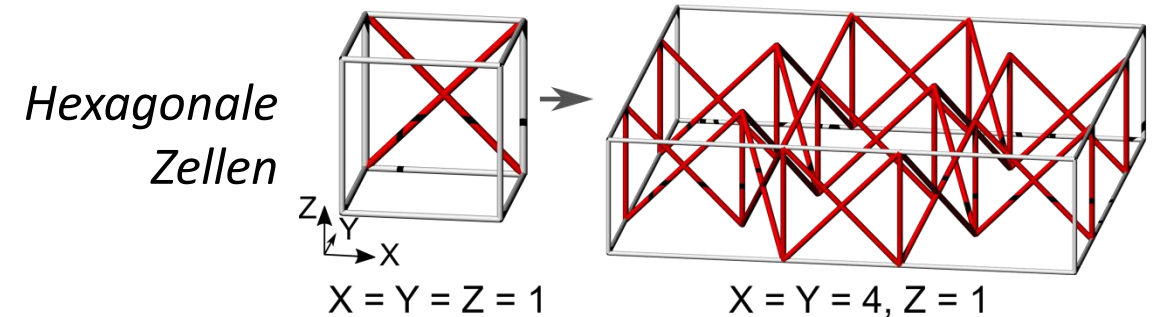
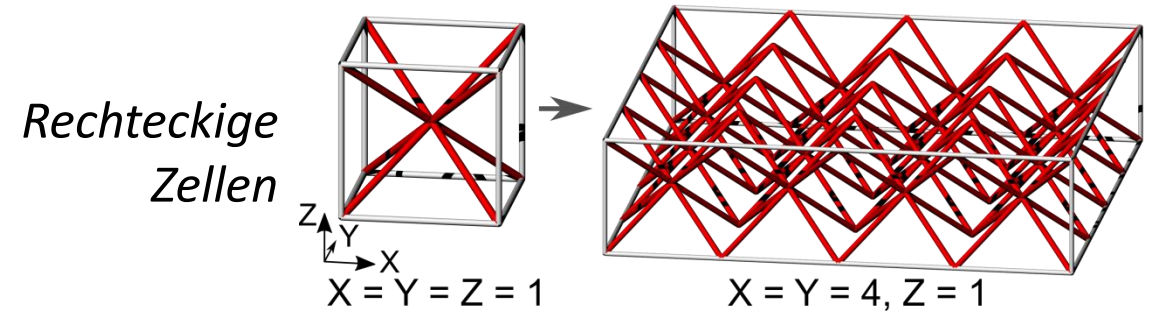
Lokale Dichte-
veränderung der Punkteverteilung

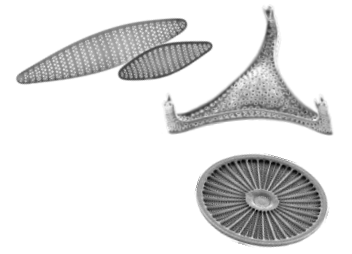


Methode

- Gitterstrukturen nach biologischem Vorbild
 - Zwei regelmäßige Gitter:

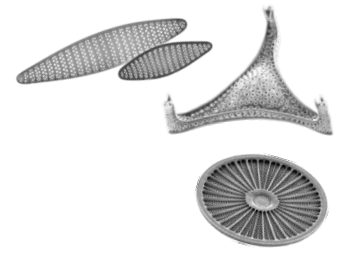
Basierten auf
Einheitszellen





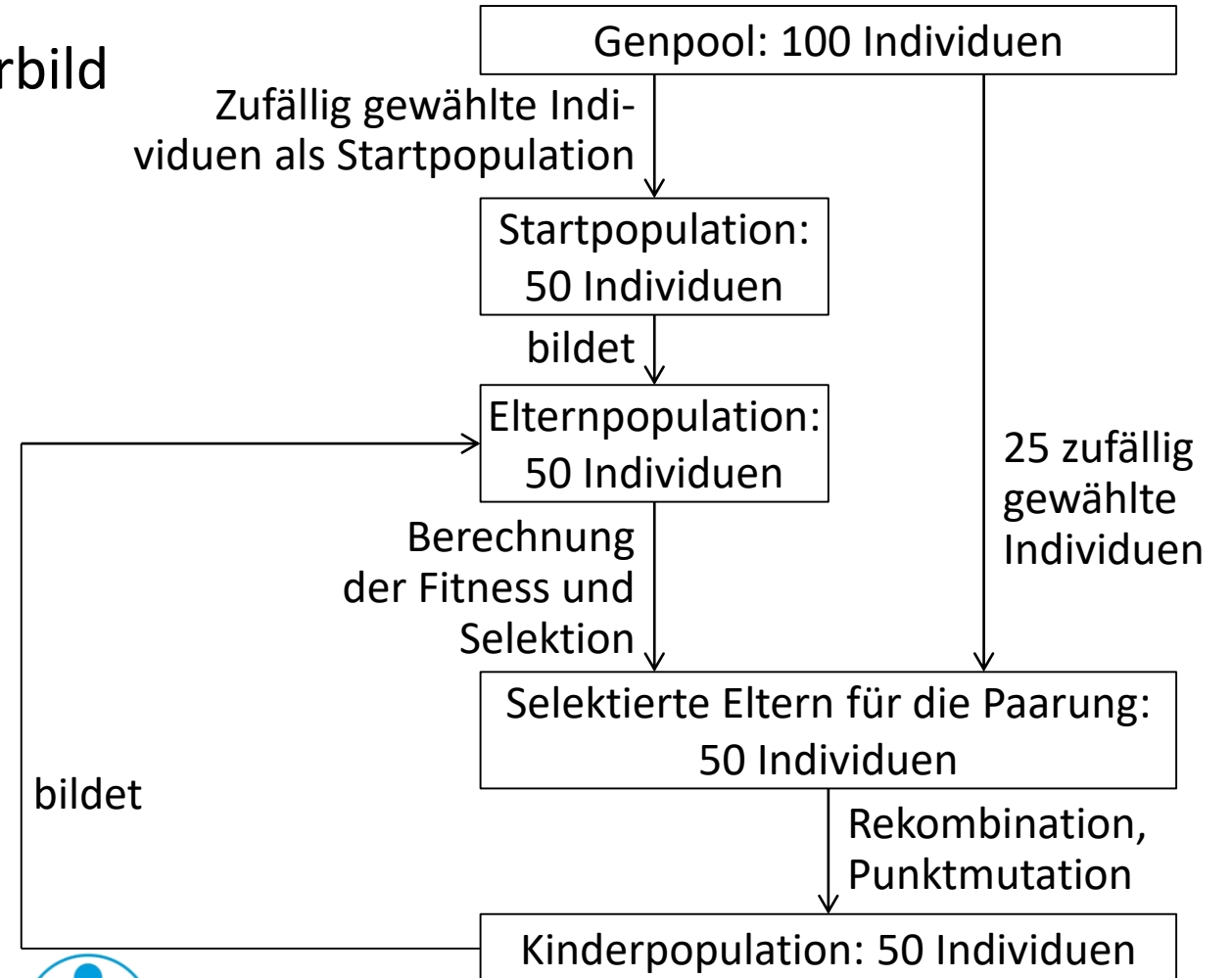
Methode

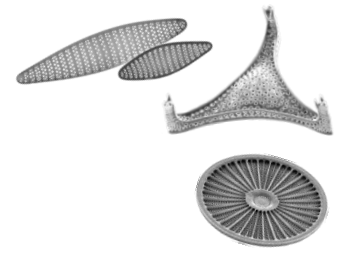
- Gitterstrukturen nach biologischem Vorbild
 - Drei Zielfunktionen, die minimiert werden sollten:
 - Minimierung der negativen 1. Eigenfrequenz
 - Minimierung der maximalen Verformung
 - Minimierung der Masse
- } Bildeten zu gleichen Anteilen die Fitness
- Multikriterielle Optimierungsrechnungen auf Grundlage der Evolutionsstrategie zum Auffinden der bestmöglichen Parameterkombinationen (Solver: OptiStruct)
 - Generierung verschiedenster Strukturen und Ermittlung ihrer Fitness, wobei mit jeder Generation (Iteration) die Strukturen eine immer höhere Fitness besitzen sollen



Methode

- Gitterstrukturen nach biologischem Vorbild
 - Aufbau der Evolutionsstrategie
 - 50 Generationen



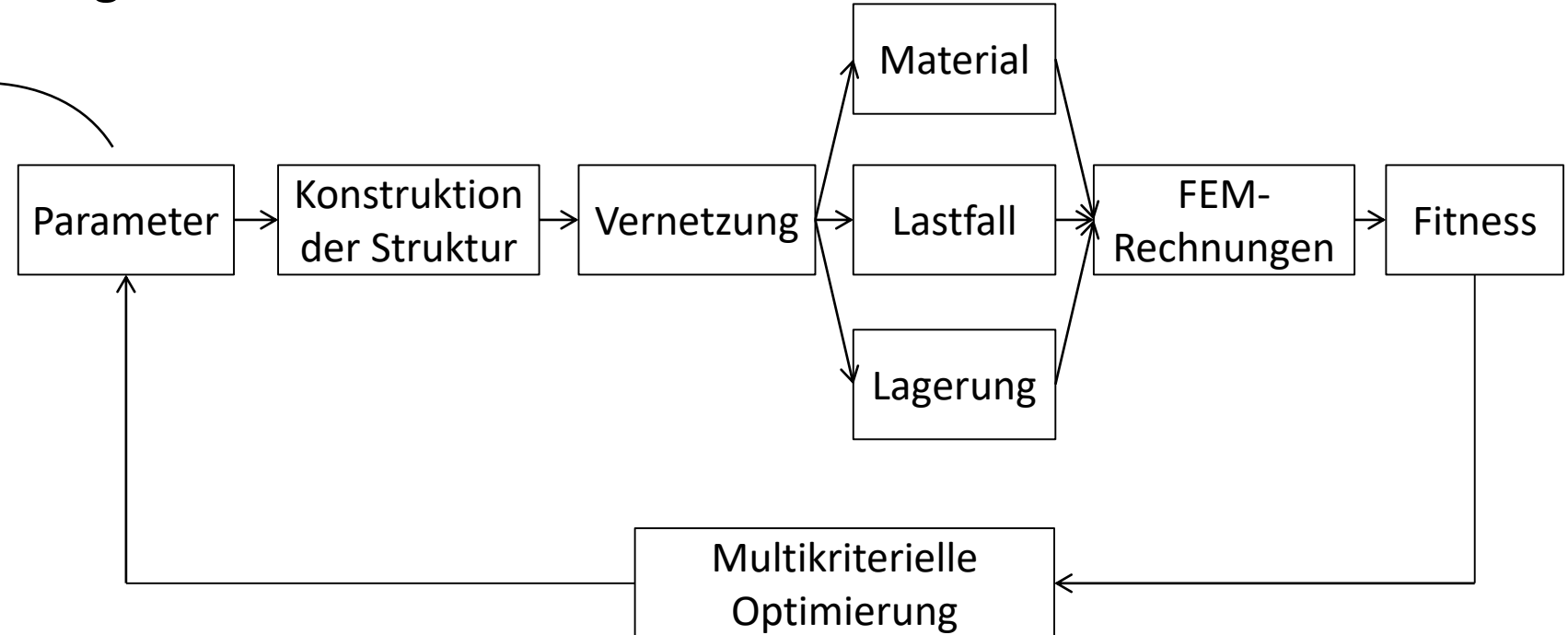


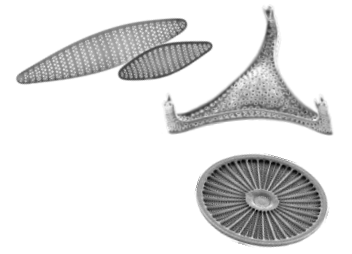
Methode

- Gitterstrukturen nach biologischem Vorbild
 - Ablauf der Rechnungen

Konstruktionsparameter:

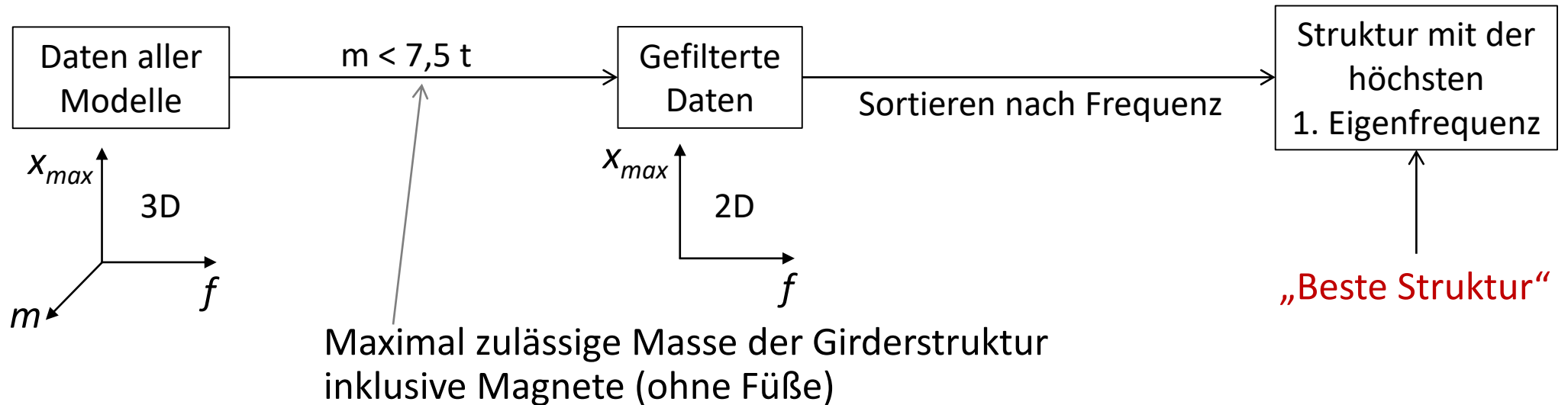
- Dichte der Punkteverteilung
- Gitterstreben-durchmesser
- Wanddicke der Füße
- Anzahl an Zellen
- Anzahl benachbarter Punkte

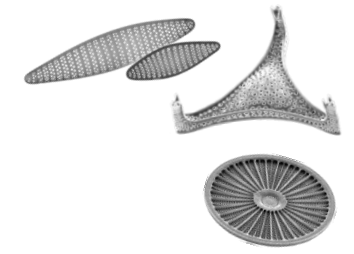




Methode

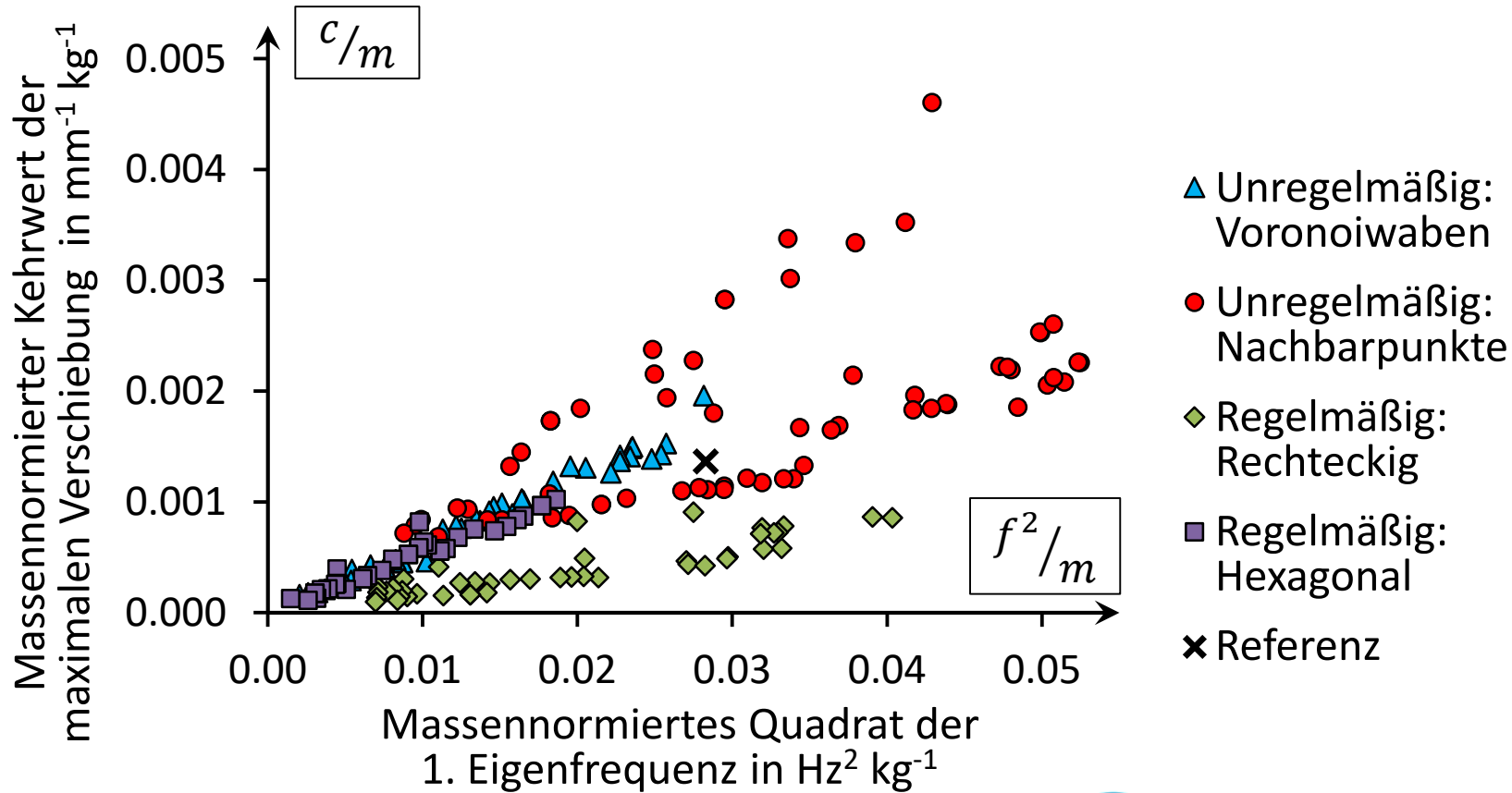
- Gitterstrukturen nach biologischem Vorbild
 - Auswahlschema zur Ermittlung des jeweils besten Gitters





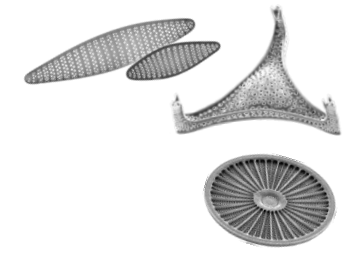
Ergebnis und Diskussion

- Gitterstrukturen der jeweils letzten Generation



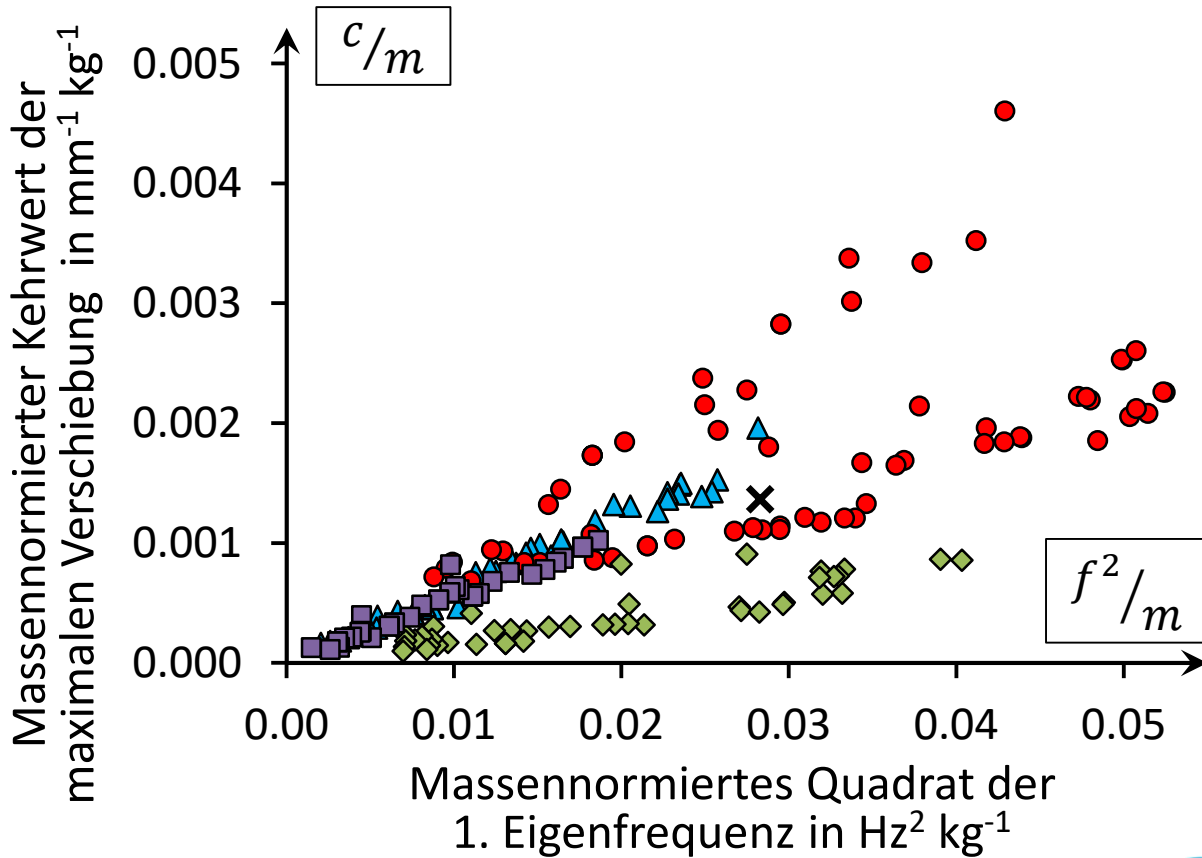
Notiz: Einmassenschwinger:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{c/m}$$



Ergebnis und Diskussion

- Gitterstrukturen der jeweils letzten Generation

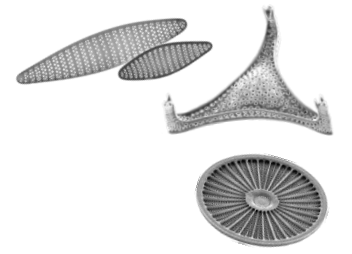


Notiz: Einmassenschwinger:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{c/m}$$

	1. Eigenfrequenz	Maximale Verformung
▲ Unregelmäßig: Voronoiwaben	14,47 Hz	0,069 mm
● Unregelmäßig: Nachbarpunkte	18,67 Hz	0,063 mm
◆ Regelmäßig: Rechteckig	16,72 Hz	0,169 mm
■ Regelmäßig: Hexagonal	11,69 Hz	0,133 mm
× Referenz	13,09 Hz	0,121 mm

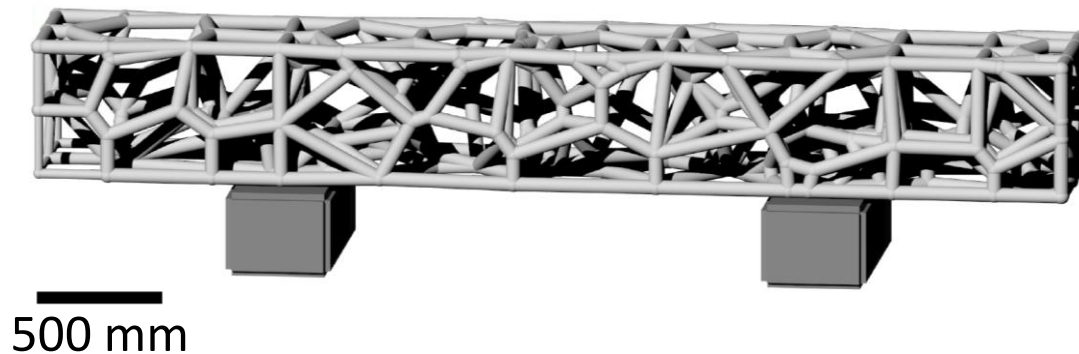
Daten der jeweils besten Strukturen



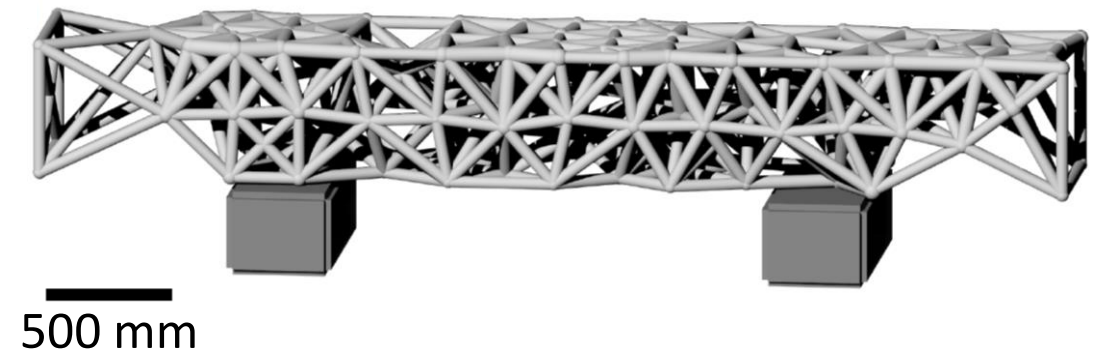
Ergebnis und Diskussion

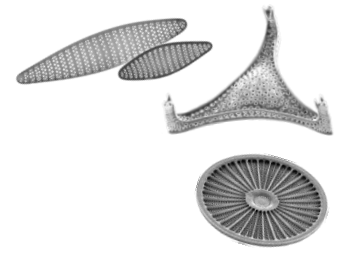
- Gitterstrukturen der jeweils letzten Generation
 - Beste unregelmäßige Gitterstrukturen

Voronoiwaben



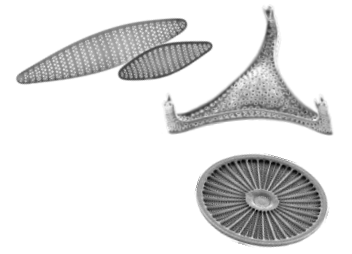
Verbindung benachbarter Punkte





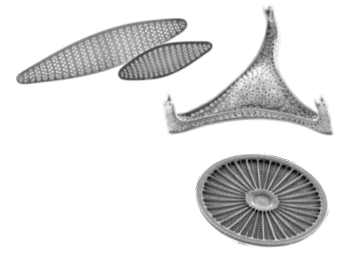
Ergebnis und Diskussion

- Unregelmäßige Gitterstrukturen nach biologischem Vorbild führten zu höheren
1. Eigenfrequenzen und Steifigkeiten als regelmäßige Strukturen
- Weiterführende Studien sind notwendig
 - Anpassen der Randbedingungen
 - Berücksichtigung von Fertigungsrestriktionen



Fazit

- Biologisch inspirierte Gitter- und Wabenstrukturen bieten ein hohes Potenzial zur Schwingungsoptimierung
- Die Anwendung der Strukturen auf den Träger eines Teilchenbeschleunigers führte zur gleichzeitigen Erhöhung der 1. Eigenfrequenz (Faktor 1,4) und Steifigkeit (Faktor 1,9).



Abbildungsquellen

- Schmidt, A. (1902). „Vorläufige Erläuterungen Zu A. Schmidt’s Atlas Der Diatomaceenkunde.“ Atlas der Diatomaceenkunde. O.R. Reisland.
- <http://floridaaquafarms.com/shop/freshwater-copepods/>, Zugriff: 13.04.2018
- http://photon-science.desy.de/facilities/petra_iii/beamlines/index_eng.html, Zugriff: 13.04.2018
- http://photon-science.desy.de/facilities/petra_iii/index_eng.html, Zugriff: 13.04.2018

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Simone Andresen

Alfred Wegener Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung
Abteilung Bionischer Leichtbau / Funktionelle Morphologie

Bussestr. 27, 27570 Bremerhaven

Tel: +49 471 4831 2827

E-Mail: simone.andresen@awi.de



**Alfred Wegener Institut
Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung
Abteilung Bionischer Leichtbau / Funktionelle Morphologie**

