

Verbesserung der Schwingungseigenschaften durch die Nutzung biologisch-inspirierter Strukturen

Simone Andresen

2. VDI Fachtagung Schwingungen

05./06. November 2019



Übersicht

1. Bionischer Leichtbau am Alfred-Wegener-Institut: Strukturoptimierung
2. Biologisch-inspirierte Strukturen:
Unregelmäßige Platten und Gitterstrukturen
3. Innovative Magnetträgerstrukturen für Teilchenbeschleuniger
4. Fazit

Kapitel 1

Bionischer Leichtbau am Alfred-Wegener-Institut: Strukturoptimierung

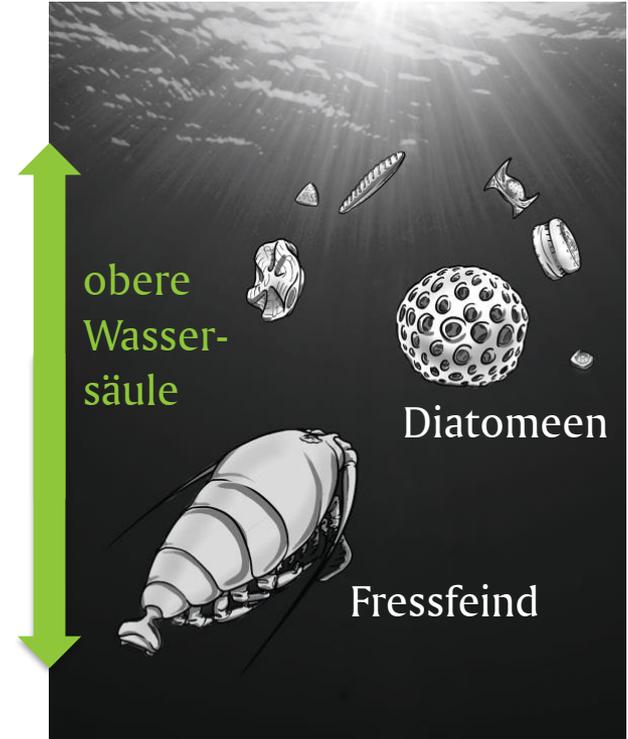
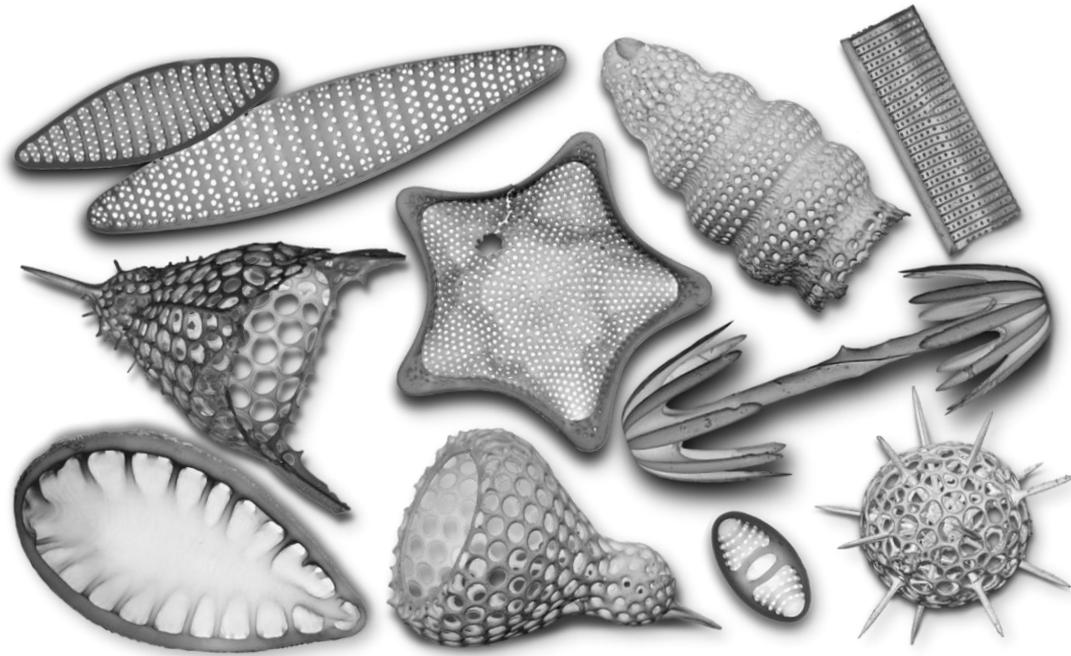


Alfred-Wegener-Institut

- Führende Position in der polaren und marinen Forschung
- ~1000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- Verstärkt seine Aktivitäten im Bereich Technologietransfer



Strukturen von Planktonorganismen

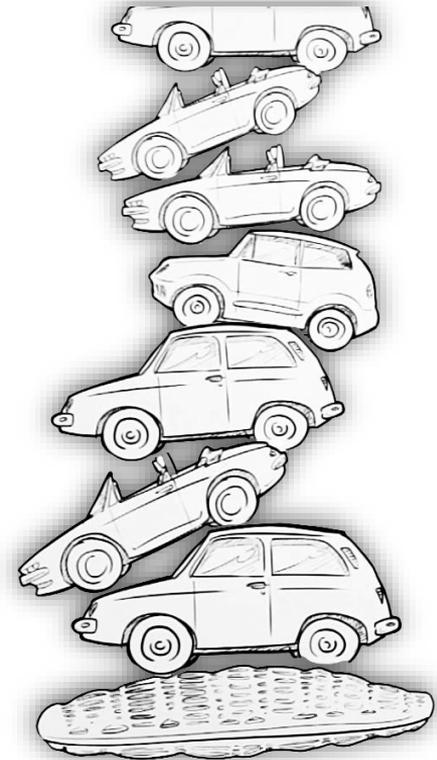
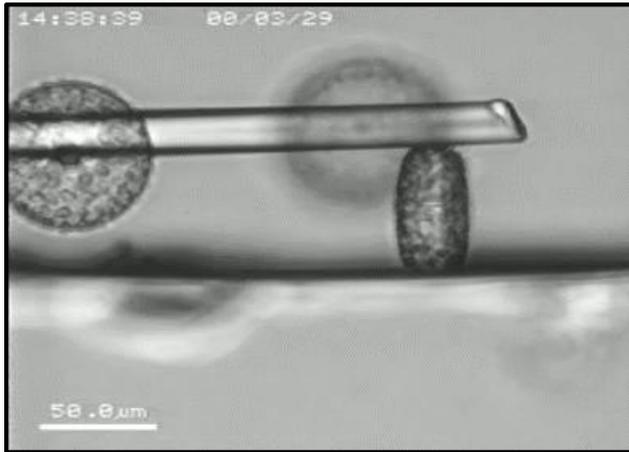


Hocheffiziente Leichtbauprinzipien in Planktonorganismen

Schalen von Diatomeen
können einem Druck von bis
zu **700 t m⁻²** standhalten



Das entspricht
150 Kleinwagen
auf einem Gullideckel

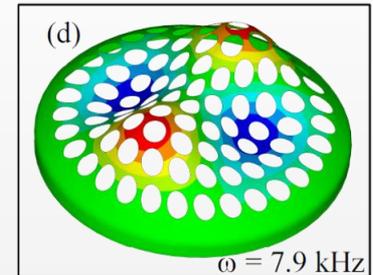
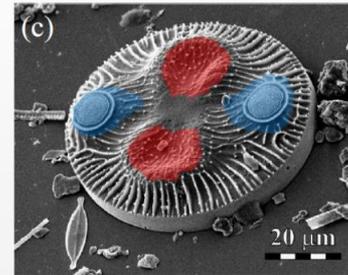
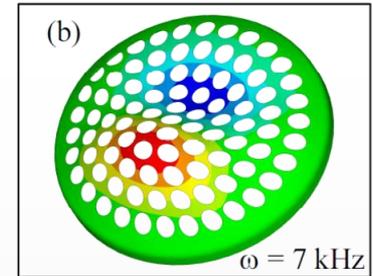
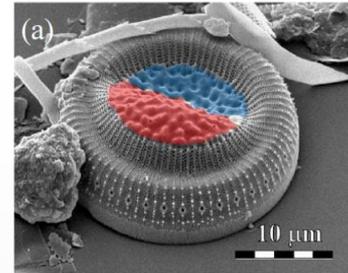
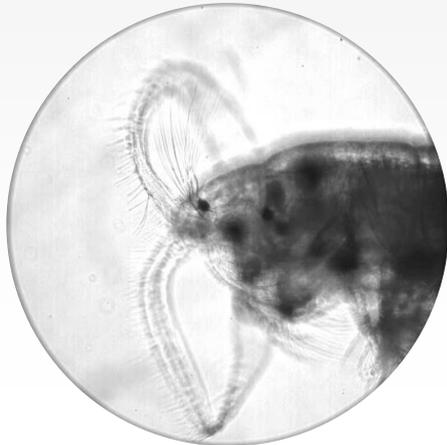


(Hamm *et al.* 2003, *Nature* 421, 841-843)

Schwingungseigenschaften von Planktonschalen

in vivo Beobachtungen

Vibrierende Angriffe von Copepoden:
Diatomeenschalen haben die innere Zelle
zu schützen



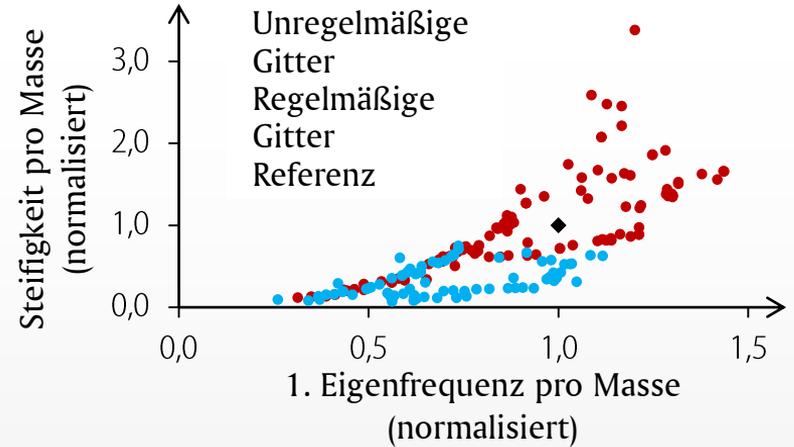
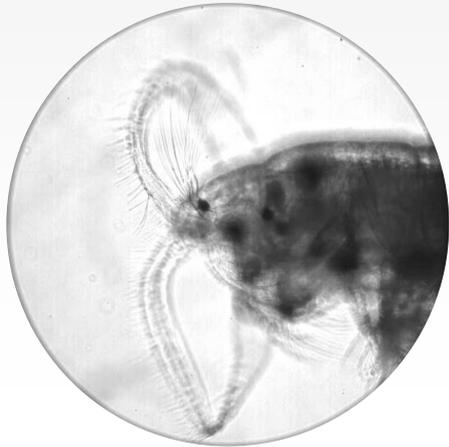
Simulationen von Diatomeenschalen

(Gutiérrez et al. 2017, *Journal of Materials Science and Engineering with Advanced Technology* 15)

Schwingungseigenschaften von Planktonschalen

in vivo Beobachtungen

Vibrierende Angriffe von Copepoden:
Diatomeenschalen haben die innere Zelle
zu schützen



Hohes Potenzial von unregelmäßigen, bio-
inspirierten Gitterstrukturen zur
Verbesserung der Schwingungseigenschaften

Analyse von Testkörpern

Möglichkeiten zur Vermeidung hoher Schwingungsamplituden

- Dämpfungsmechanismen (z.B. viskose Materialien) → Zusätzliches Gewicht (widerspricht dem Ziel von Leichtbau)
- Veränderung der Randbedingungen (z.B. Position der Lagerung) → Nicht immer möglich
- Materialeigenschaften ändern (Elastizitätsmodul, Dichte) → Nicht immer möglich
- Externe Schwingungen vermeiden (Isolierung) → Nicht immer möglich
- Veränderung der Struktur (Verschieben der Eigenfrequenz) → **Sehr vielversprechend**

Projektziele

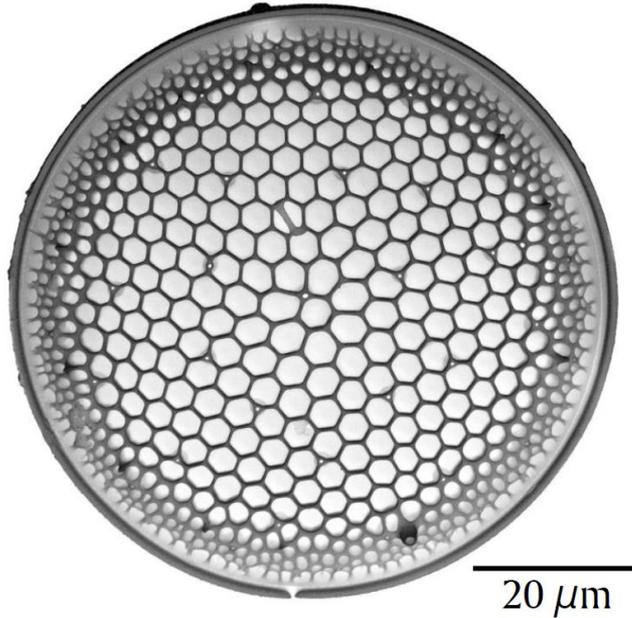
- ★ Einfluss von biologisch-inspirierten Strukturen auf die Schwingungseigenschaften untersuchen
- ★ Gezieltes Verschieben von Eigenfrequenzen
- ★ Kooperation mit dem Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY): Optimierung von Magnetträgerstrukturen

Kapitel 2

Biologisch-inspirierte Strukturen: Unregelmäßige Platten und Gitter

Lassen sich die Eigenfrequenzen von Platten durch unregelmäßige Wabenanordnung erhöhen?

Diatomeenschalen als unsere Vorbilder



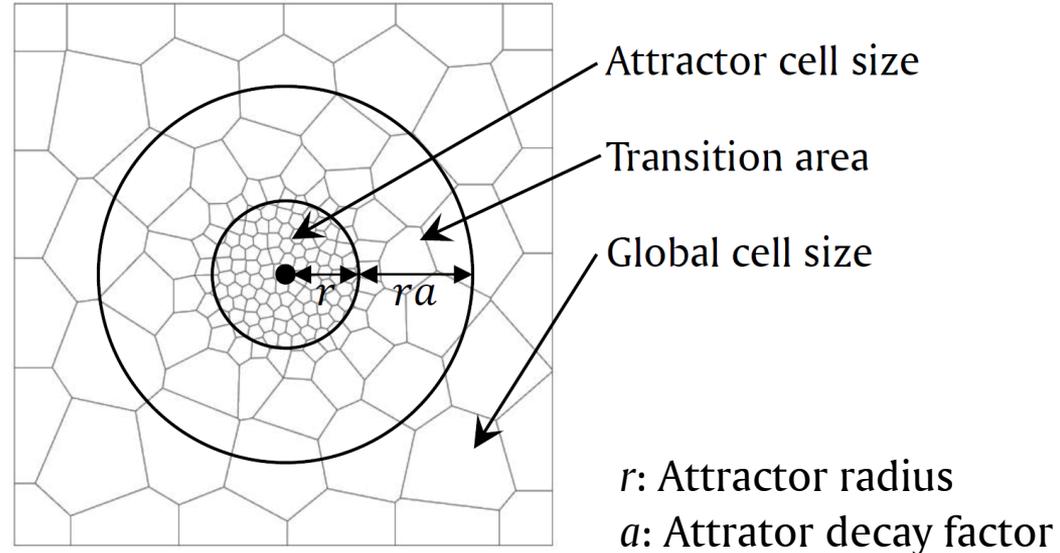
Hier:

Thalassiosira sp. mit einem Gradienten in der Wabengröße

Design komplexer Wabenplatten

Anwendung von Gradienten in der Wabengröße auf technische Platten.

Plattendimension:
100 x 100 x 2 mm

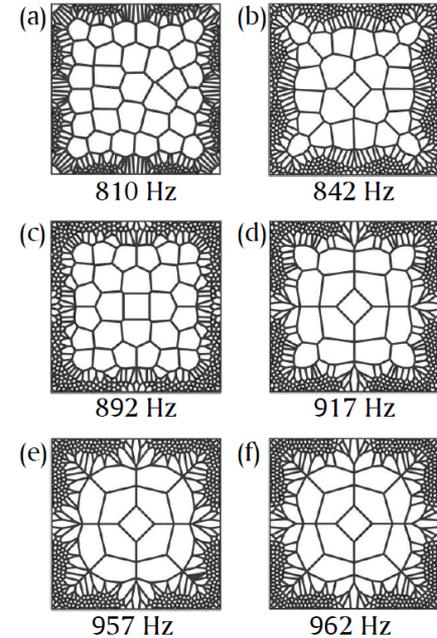
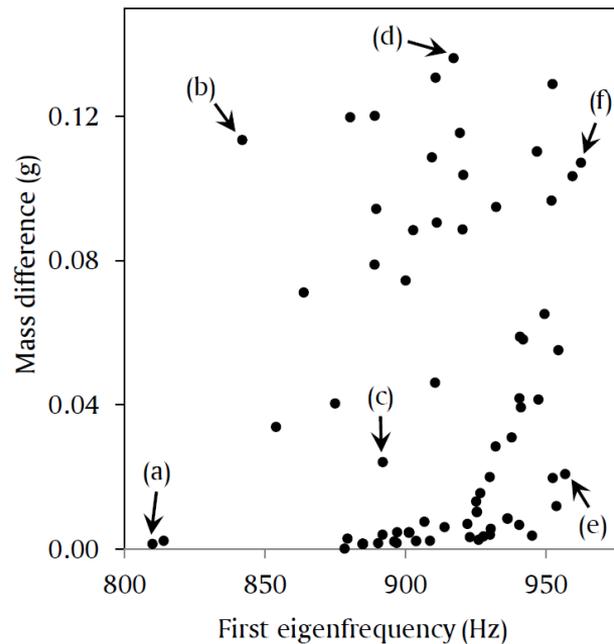


(Andresen 2019, *Proceedings of ICOVP 2019*, Springer Nature Singapore, under review)

Optimierung führt zu einer Vielzahl an komplexen Platten

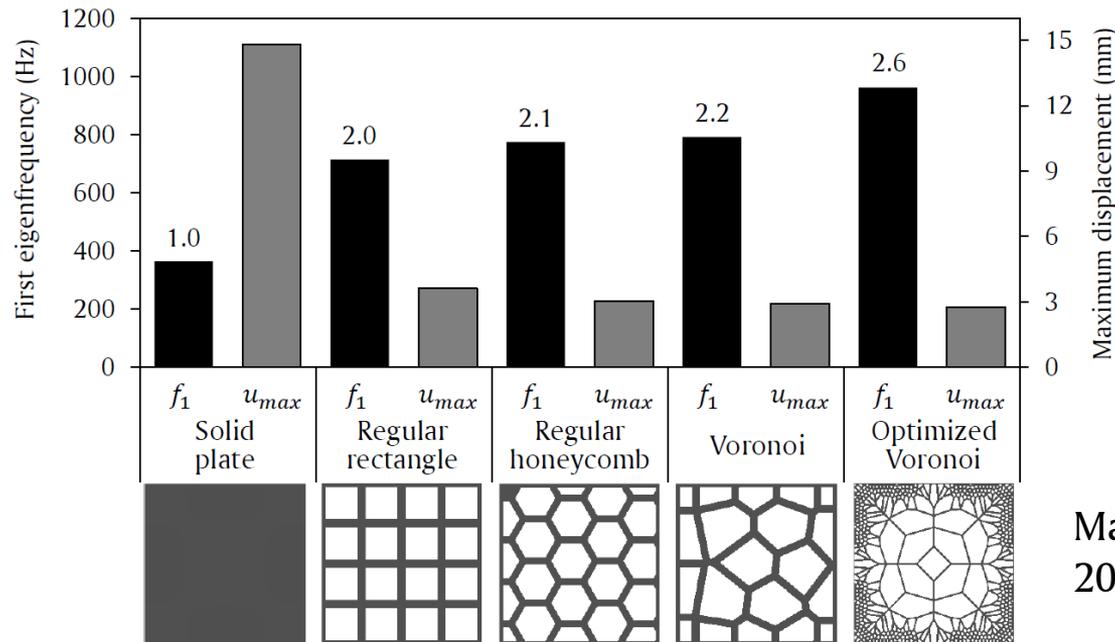
Ergebnisse einer
Strukturoptimierung

Anmerkung:
1. Eigenfrequenz der
soliden Platte: 363 Hz
(Masse: 20,0 g)



(Andresen 2019, *Proceedings of ICOVP 2019*, Springer Nature Singapore, under review)

Einfluss der Wabenunregelmäßigkeit auf die Platteneigenfrequenz



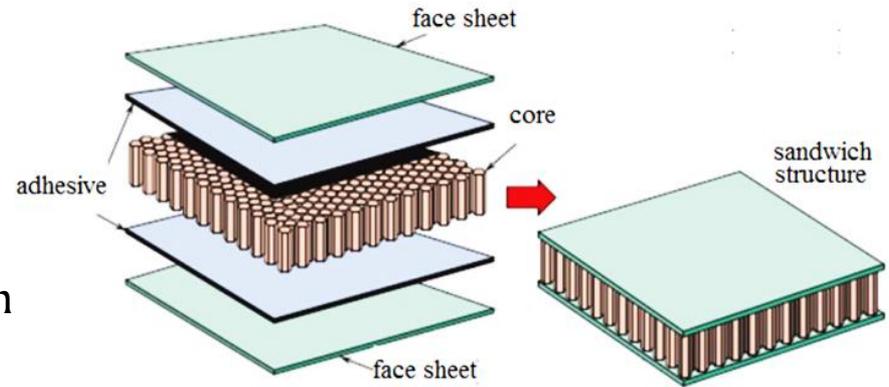
Massen liegen bei $20 \pm 0,1$ g.

(Andresen 2019, *Proceedings of ICOVP 2019*, Springer Nature Singapore, under review)

Anwendung von Platten mit unregelmäßigen Wabenkernen

Sandwichstrukturen

- Leichtbau
- Hohe Steifigkeit
- Hohe Eigenfrequenzen
- Hohe Dämpfungseigenschaften möglich



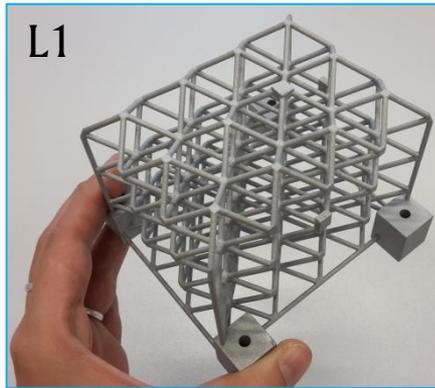
(Sivák et al. 2017, *American Journal of Mechanical Engineering* 5)

➔ Weitere Erhöhung von Eigenfrequenzen und Steifigkeiten durch den Einsatz unregelmäßiger Sandwichkerne

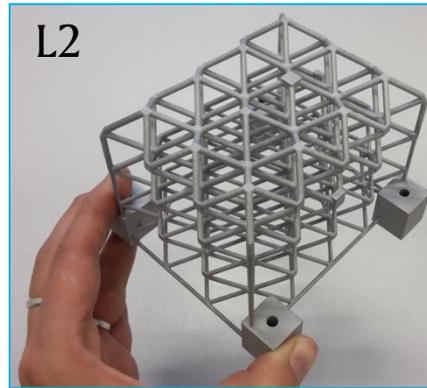
Lassen sich die Eigenfrequenzen von Gittern durch unregelmäßige Strebenquerschnitte und Strebenanordnung erhöhen?

Verschiedene Gitterstrukturen: Design und Fertigung

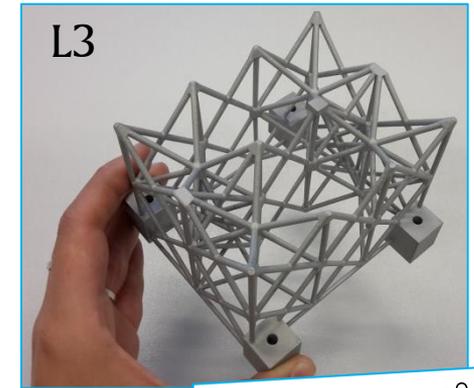
Regelmäßiges Gitter,
Konstanter Streben-
querschnitt



Regelmäßiges Gitter,
Unregelmäßiger Streben-
querschnitt



Unregelmäßiges Gitter,
Unregelmäßiger Streben-
querschnitt

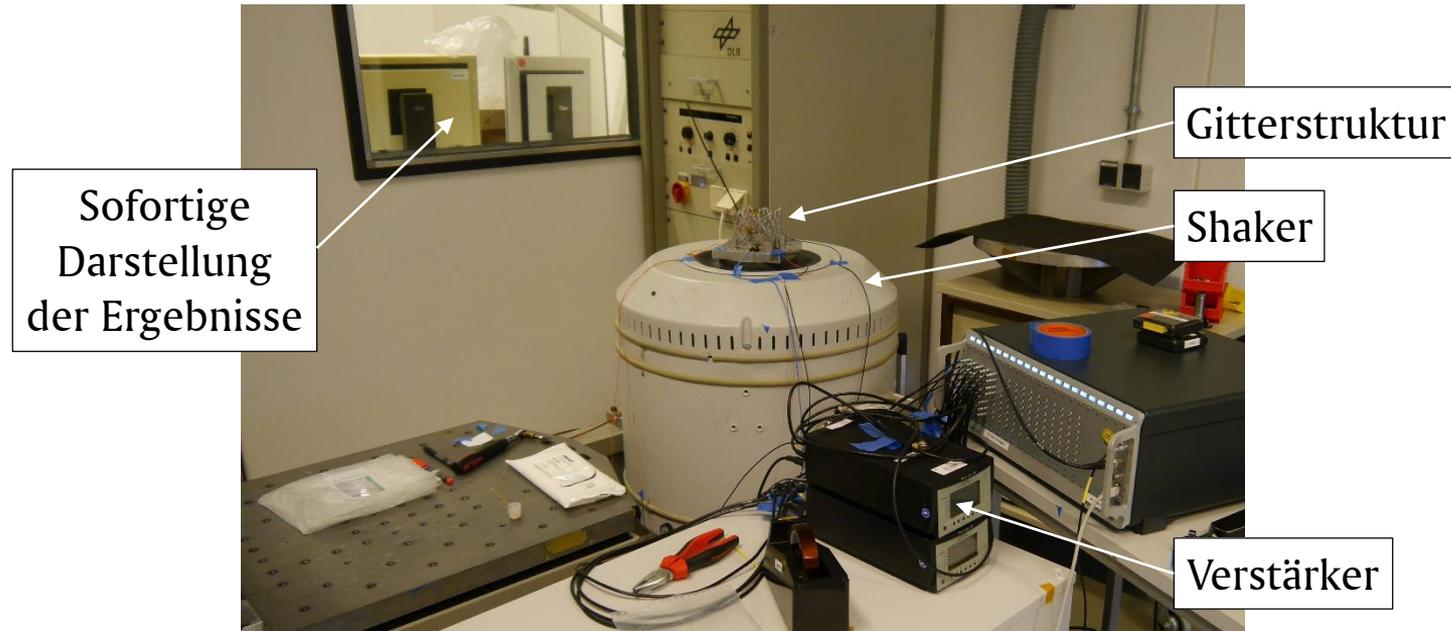


Kontante Masse: 127 g; Material: AlSi10Mg

Winkel $\geq 45^\circ$

(Andresen et al. 2020, *Journal of Sound and Vibration* 465)

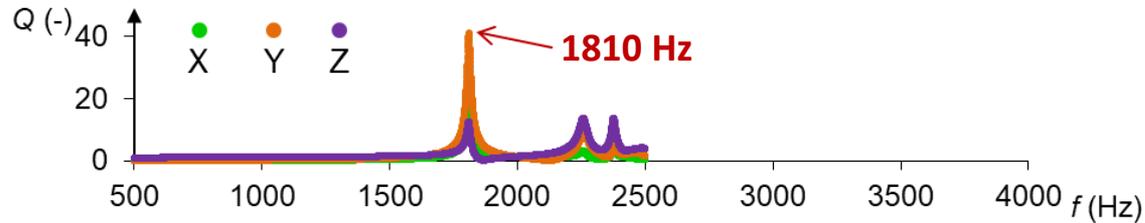
Verschiedene Gitterstrukturen: Messung der Eigenfrequenzen



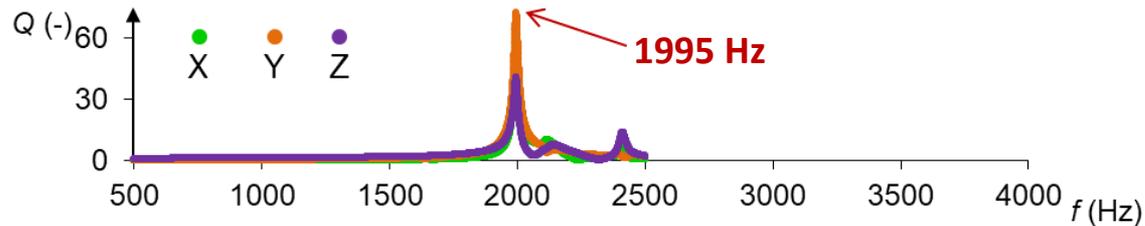
(Andresen et al. 2020, *Journal of Sound and Vibration* 465)

Verschiedene Gitterstrukturen: Messergebnisse

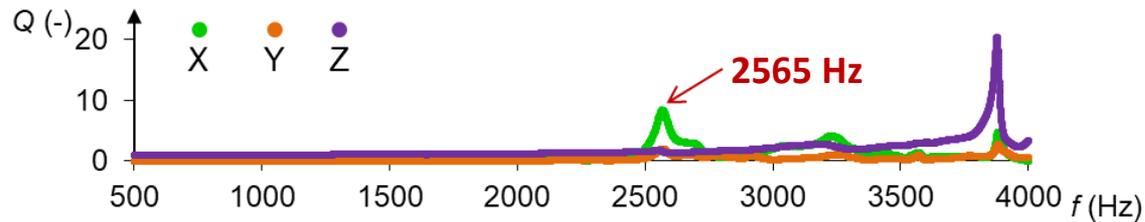
Regelmäßiges Gitter,
konstanter Streben-
querschnitt (L1)



Regelmäßiges Gitter,
unregelmäßige
Strebenquerschnitte (L2)



Unregelmäßiges Gitter,
unregelmäßige
Strebenquerschnitte (L3)

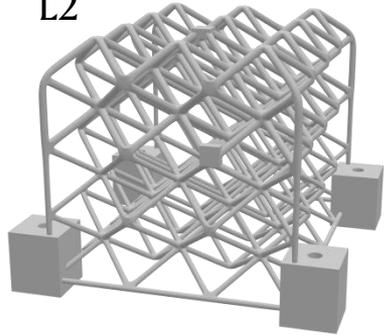


Zunahme an Strukturunregelmäßigkeiten
Zunahme der ersten Eigenfrequenz

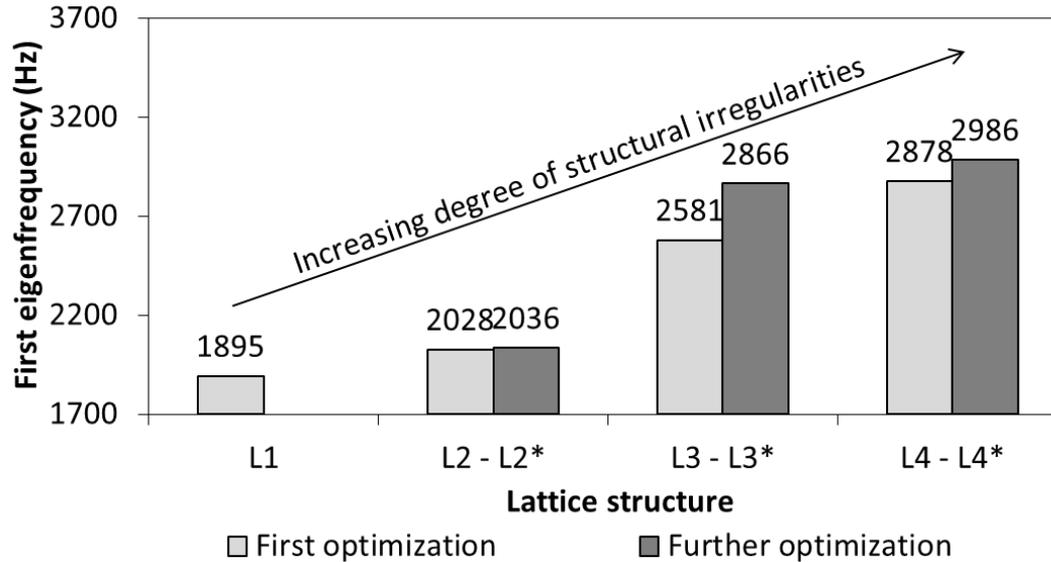
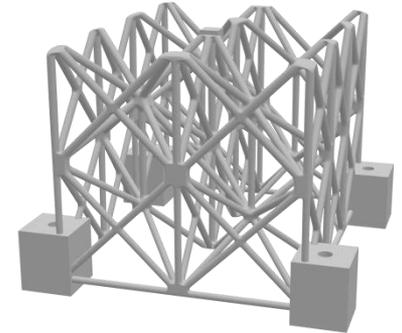
(Andresen et al. 2020, *Journal of Sound and Vibration* 465)

Verschiedene Gitterstrukturen: Optimierungsergebnis

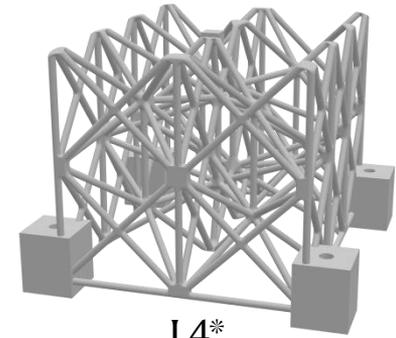
L2



L3



L1



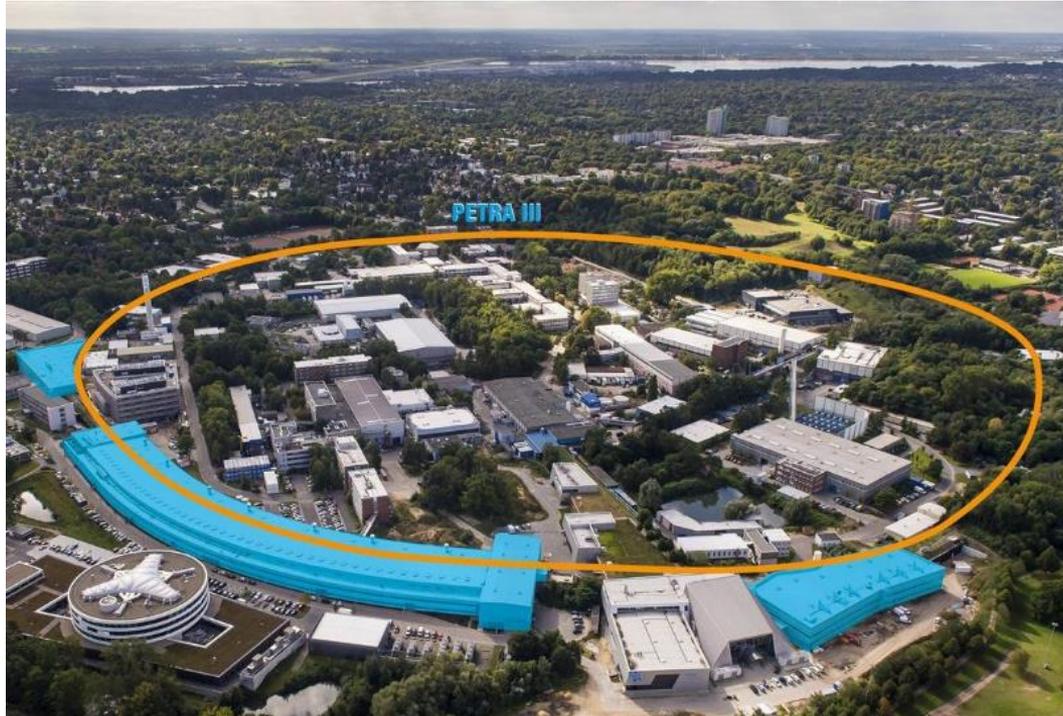
L4*

(Andresen et al. 2020, *Journal of Sound and Vibration* 465)

Kapitel 3

Innovative Magnetträgerstrukturen für Teilchenbeschleuniger

Optimierte Träger für PETRA IV



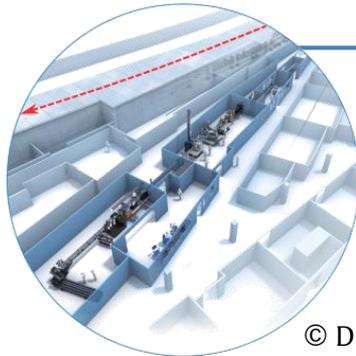
PETRA IV Projekt bei DESY:
Synchrotronquelle PETRA III
wird umgebaut zu PETRA IV
→ Neue Designs für die
Trägerstruktur werden
benötigt

© DESY 2016

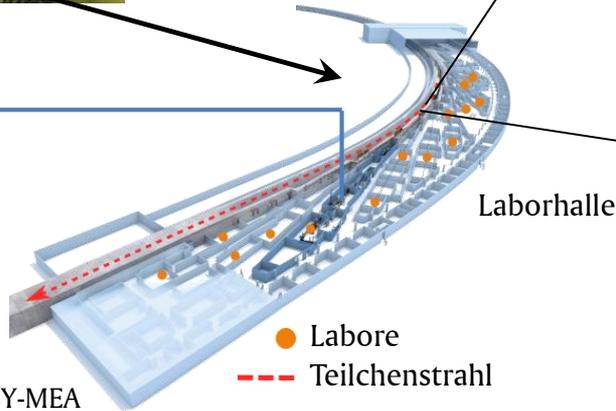
Optimierte Träger für PETRA IV



© DESY 2016



© DESY-MEA



Blick in den PETRA III Tunnel

Ziel: Optimierung der Trägerstruktur

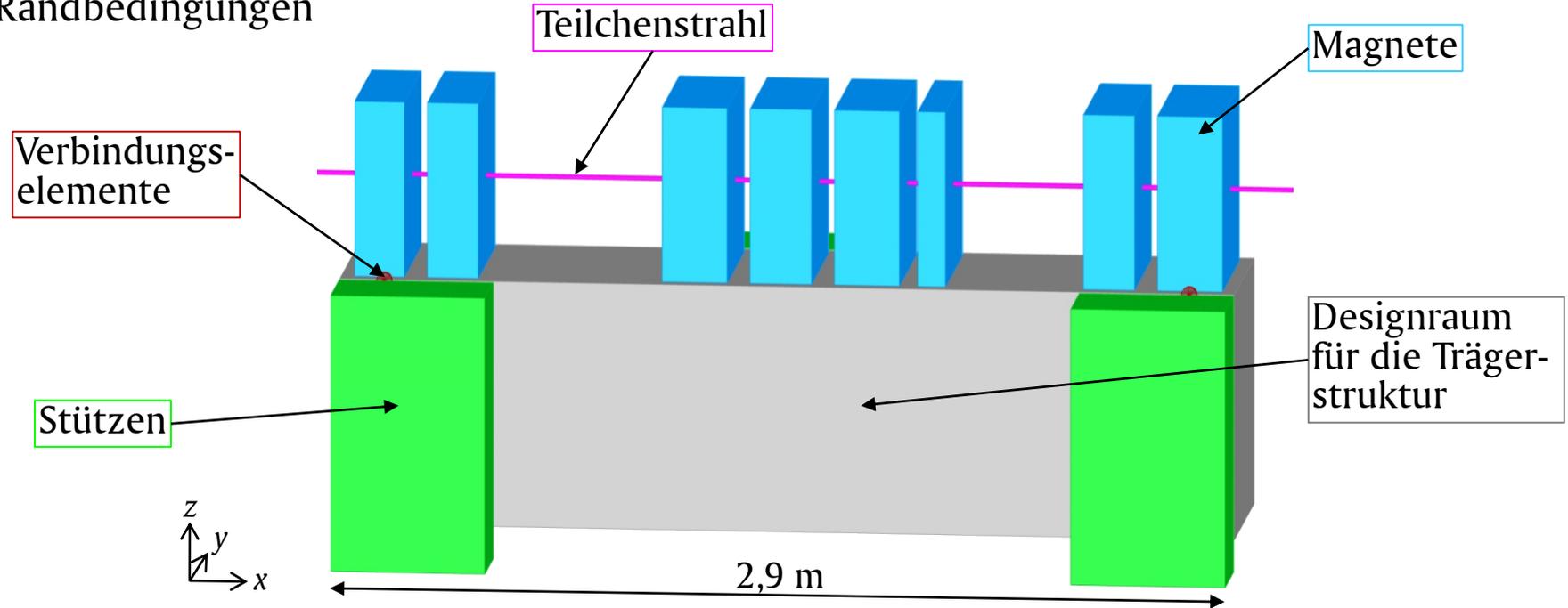
Optimierte Träger für PETRA IV

Anforderungen an die Trägerstrukturen

- ★ Hohe erste Eigenfrequenz → Stärkste Bodenvibrationen im Frequenzbereich von bis zu 50 Hz
- ★ Hohe Steifigkeit → Trägerstruktur muss hohen Lasten durch die schweren Magnete standhalten
- ★ Geringe Masse → Transport des Magnetträgeraufbaus in den Tunnel muss möglich sein

Entwicklung einer Trägerstruktur

Randbedingungen

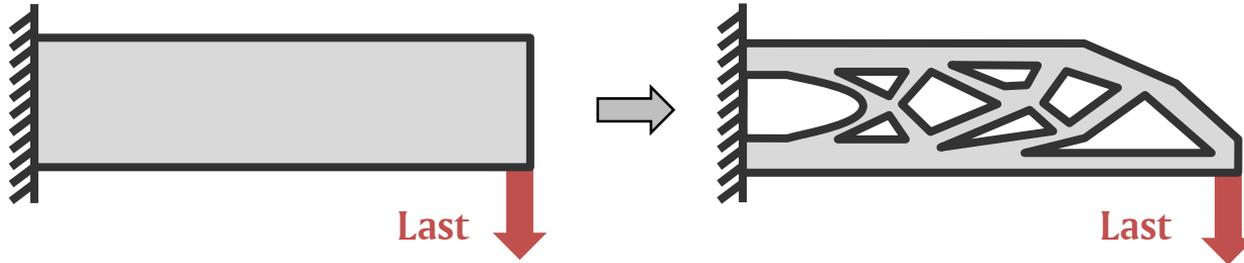


Entwicklung einer Trägerstruktur

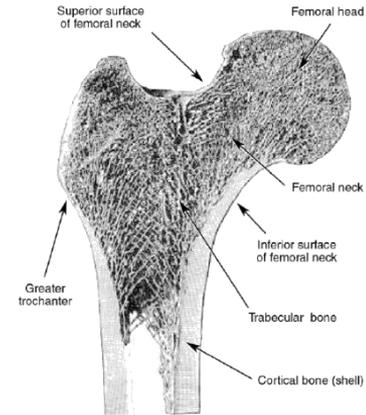
Topologieoptimierung

Oberschenkelknochen eines Menschen:
Anordnung des Materials entlang der Lastpfade

➔ Übertragung auf die Optimierung:
Material wird an den Stellen entfernt, wo
es zum Standhalten der Lasten nicht
benötigt wird.



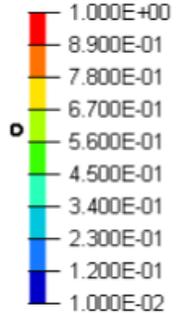
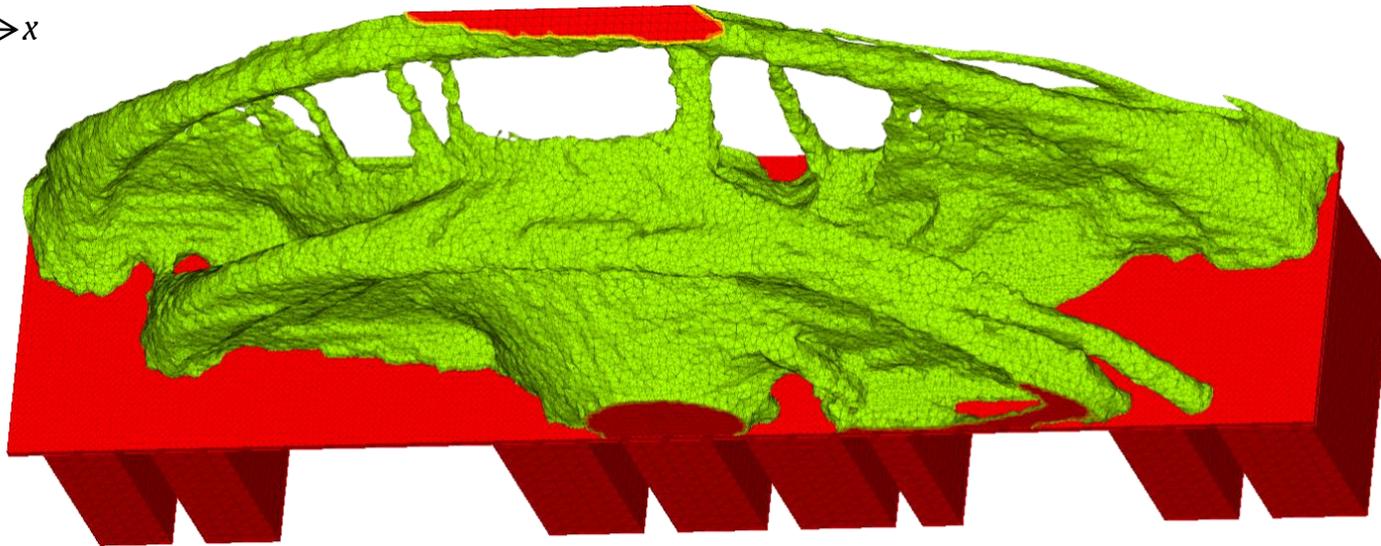
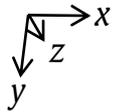
(Voo et al. 2004, Johns Hopkins APL Technical Digest 25)



Entwicklung einer Trägerstruktur

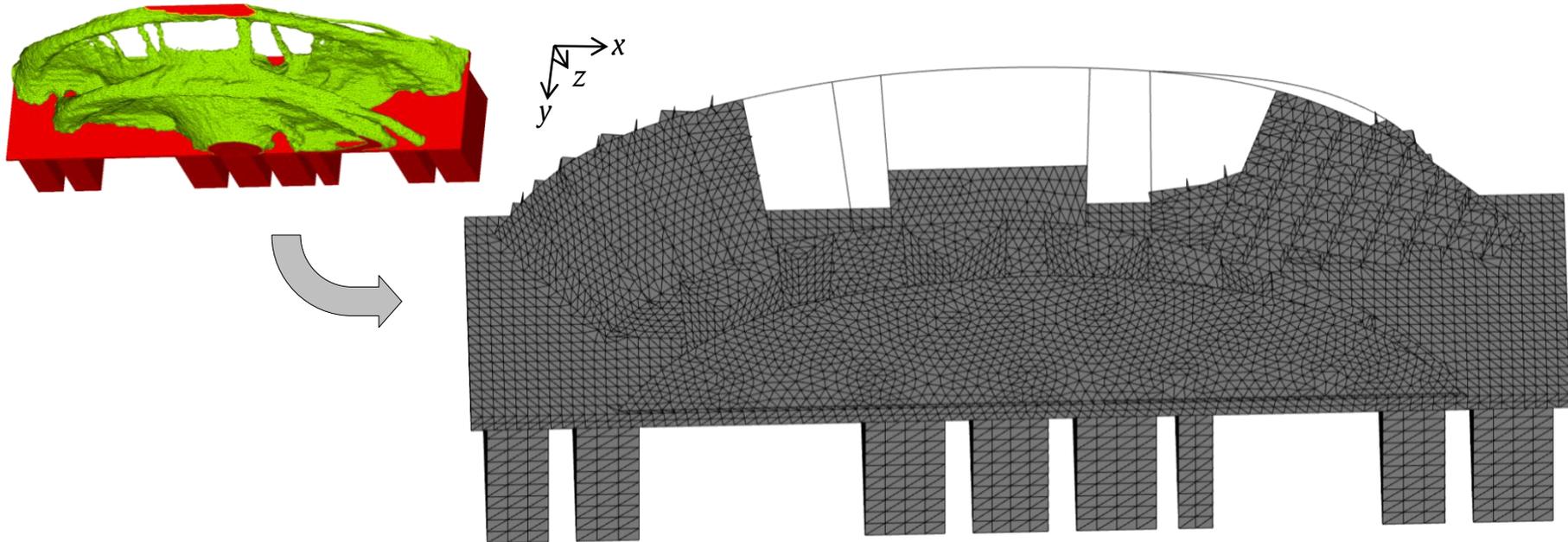
Topologieoptimierung

Verteilung der Elementdichte



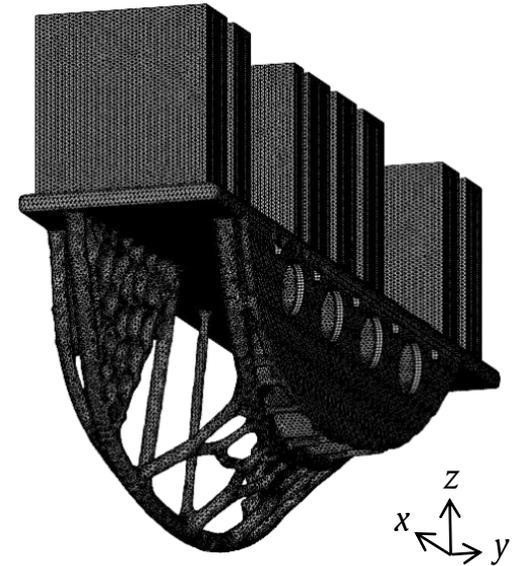
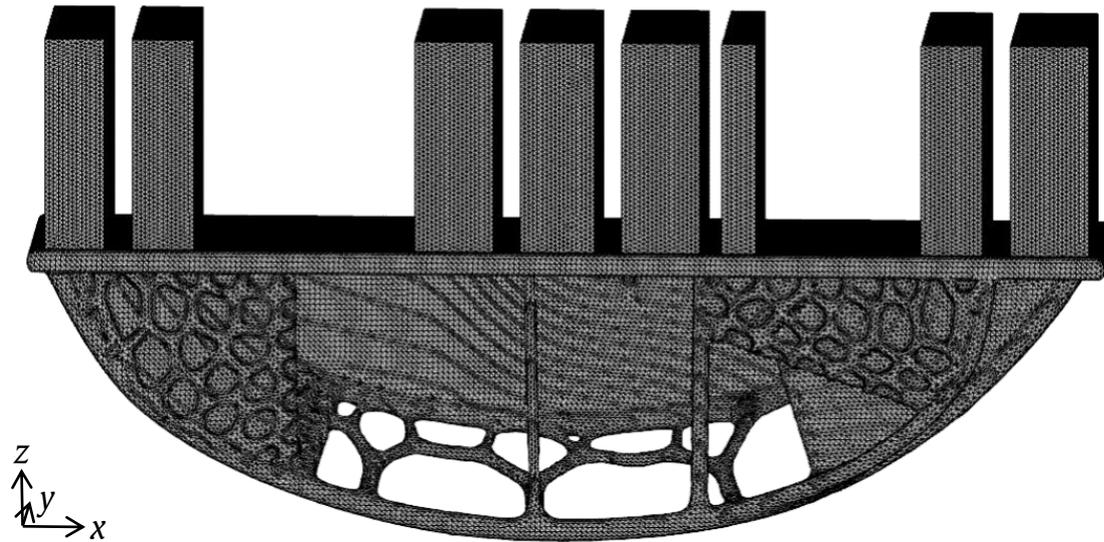
Entwicklung einer Trägerstruktur

Abstraktion als Balken- und Schalenmodell



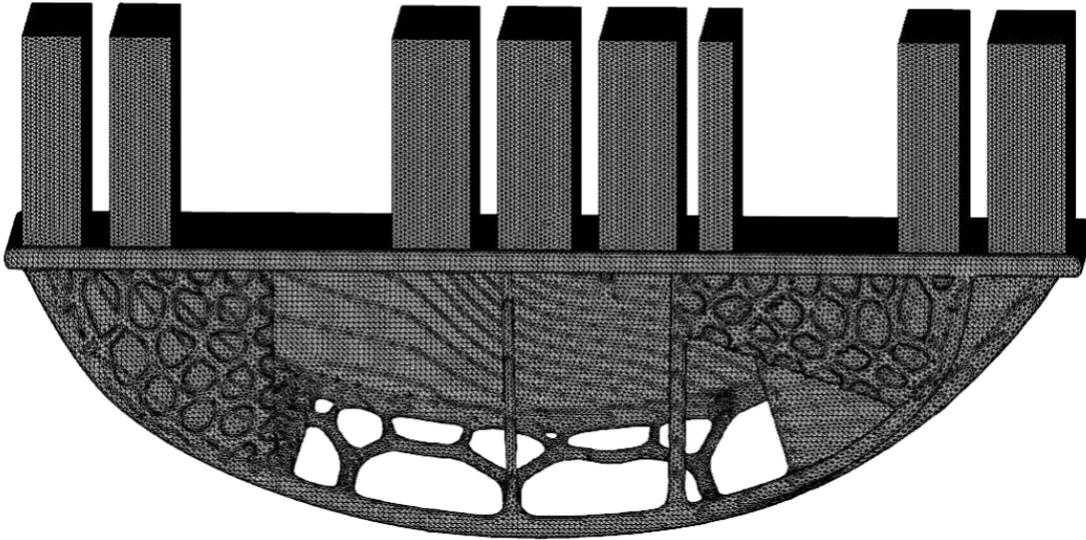
Entwicklung einer Trägerstruktur

Querschnittsoptimierung & Integration bio-inspirierter Designprinzipien



Entwicklung einer Trägerstruktur

Eigenschaften der neuen Trägerstruktur



- 1. Eigenfrequenz: $f_1 = 70,4$ Hz
- 1. Eigenmode: Torsion in Y-Z-Ebene

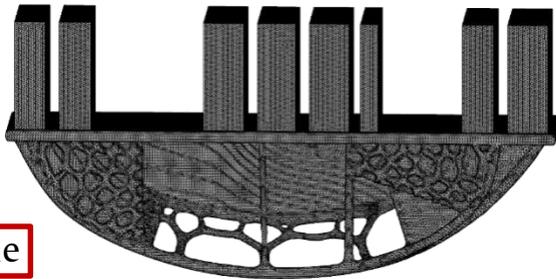
Max. statische Deformation unter
Eigenlast: $u_{max} = 0,05$ mm

Masse der Trägerstruktur: $m = 1,81$ t

Entwicklung einer Trägerstruktur

Kritischer Eigenmode wurde durch die Strukturoptimierung in einen höheren Frequenzbereich verschoben.

Eigenschaften der neuen Trägerstruktur im Vergleich zur vorherigen Struktur



4. Eigenmode:

Kippen in Y-Z-Ebene

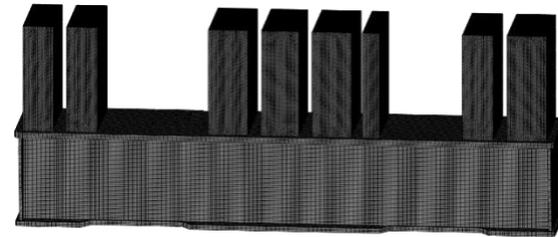
(102,3 Hz)

1. Eigenfrequenz: $f_1 = 70,4$ Hz

1. Eigenmode: Torsion in Y-Z-Ebene

Max. statische Deformation unter Eigenlast: $u_{max} = 0,05$ mm

Masse der Trägerstruktur: $m = 1,81$ t



1. Eigenfrequenz: $f_1 = 65,1$ Hz

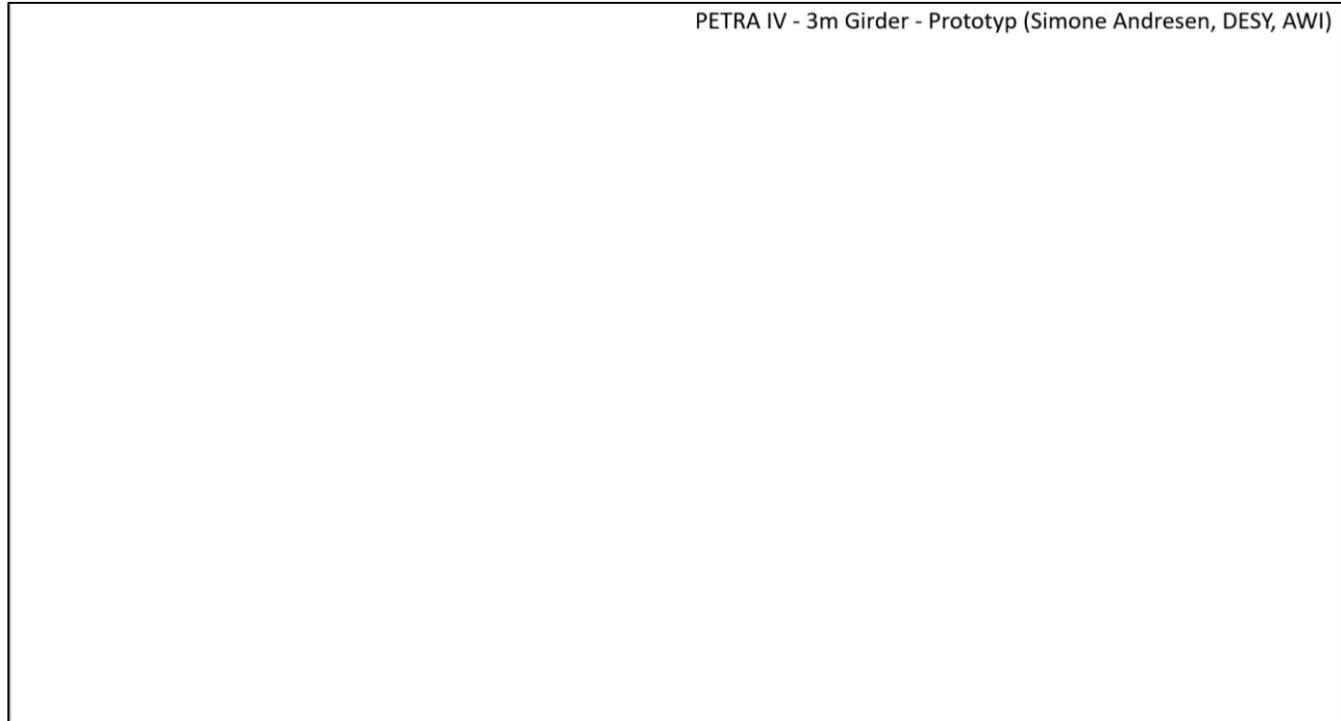
1. Eigenmode: Kippen in Y-Z-Ebene

Max. statische Deformation unter Eigenlast: $u_{max} = 0,06$ mm

Masse der Trägerstruktur: $m = 1,39$ t

Entwicklung einer Trägerstruktur

Prototyp



Kapitel 4

Fazit

Fazit

- Marine Planktonorganismen dienen nicht nur als Inspiration für Leichtbaustrukturen, sondern weisen auch Prinzipien zur Schwingungsoptimierung auf.
- Biologisch-inspirierte, unregelmäßige Wabenplatten und Gitterstrukturen führen zu signifikant höheren Eigenfrequenzen als regelmäßige Strukturen.
- Unter Verwendung biologisch-inspirierter Strukturen und Optimierungsverfahren lassen sich innovative Magnetträgerstrukturen mit verbesserten Eigenschaften entwickeln.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Simone Andresen

Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung
Bionischer Leichtbau

Bussestr. 27, 27570 Bremerhaven

Telefon: +49-471-4831-2827

E-Mail: simone.andresen@awi.de



HELMHOLTZ
RESEARCH FOR GRAND CHALLENGES

