



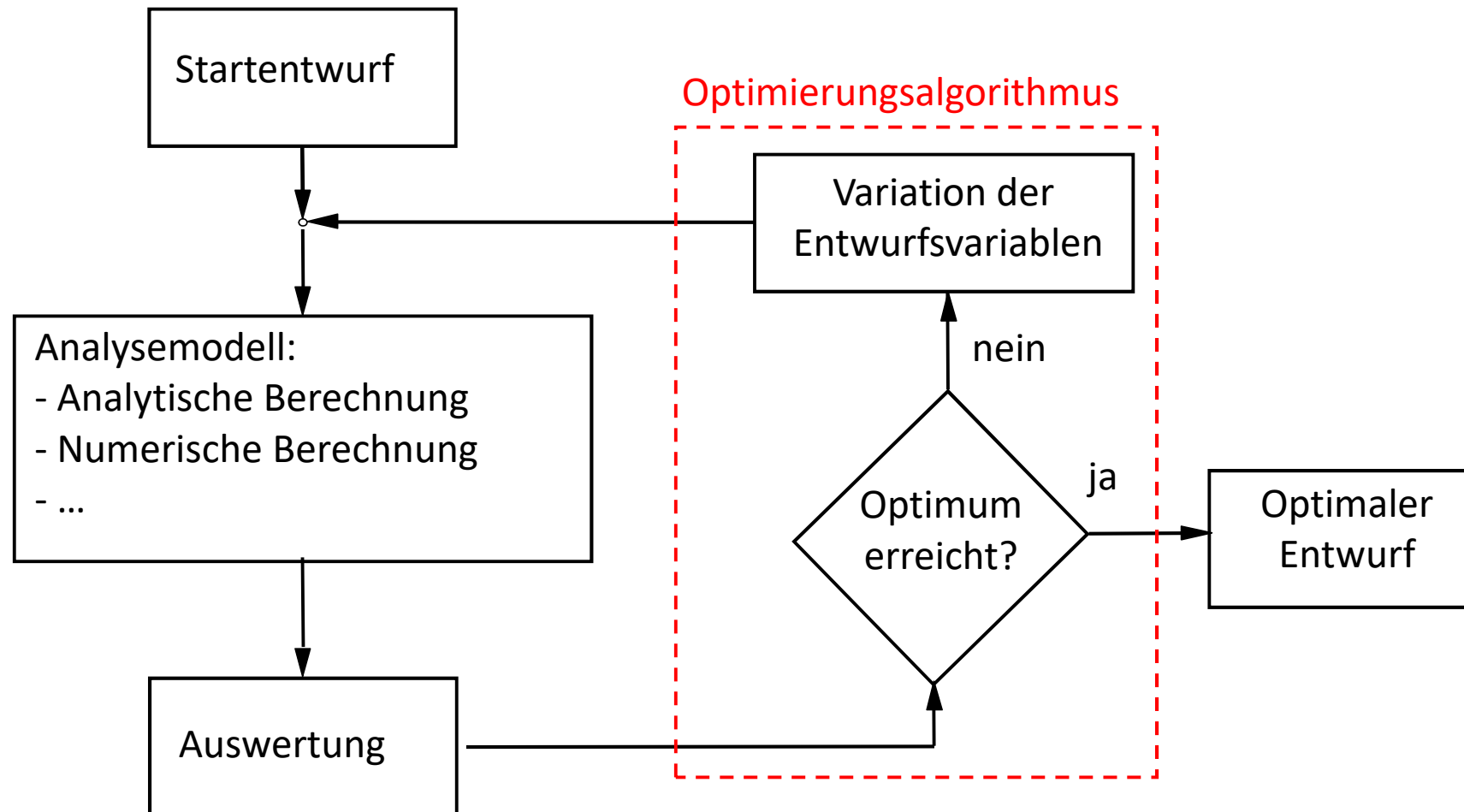
EINSATZ DER GRAPHEN- UND HEURISTIKBASIERTEN TOPOLOGIEOPTIMIERUNG FÜR DEN ENTWURF EINER PULVERMETALLURGISCH HERSTELLBAREN, DOPPELSYMMETRISCHEN CRASHZELLE

Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik
Lehrstuhl für Optimierung mechanischer Strukturen
Bergische Universität Wuppertal
Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal

Gliederung

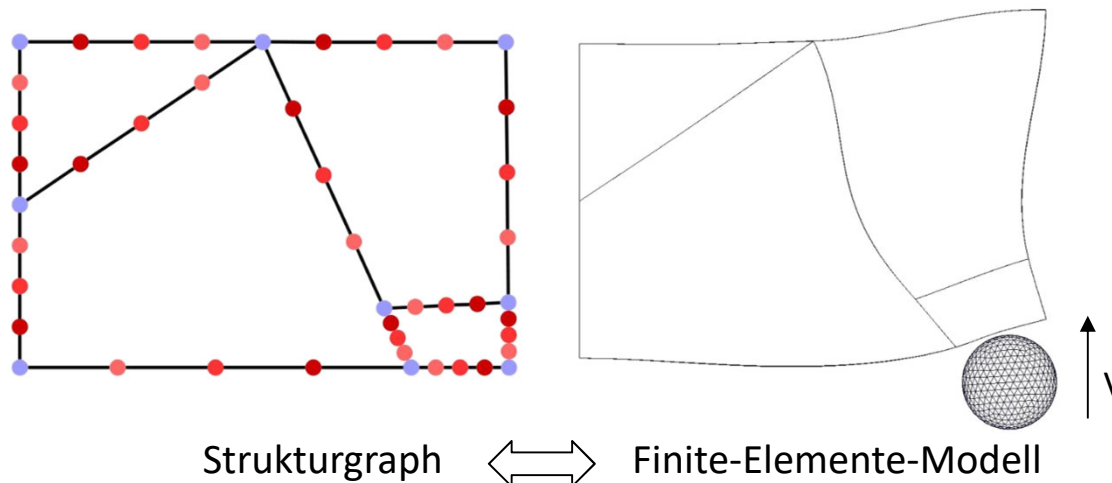
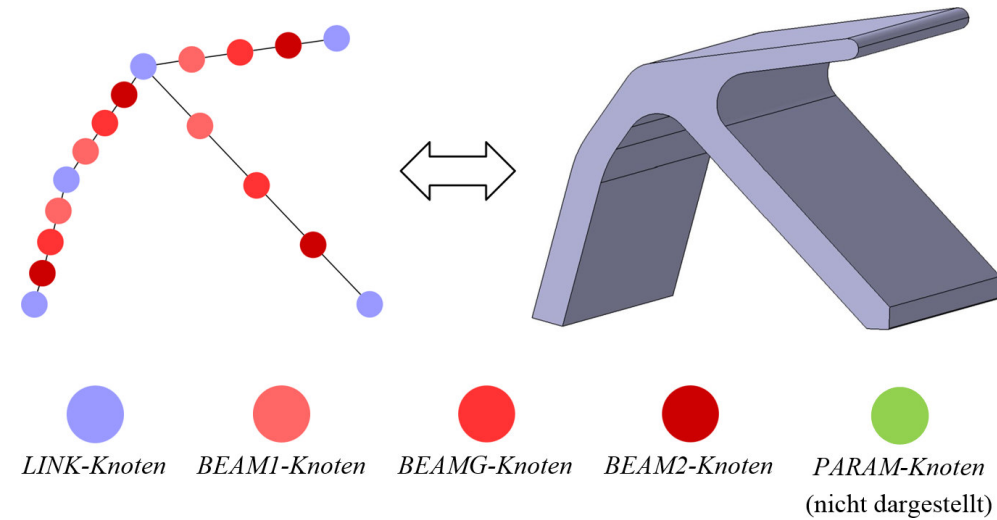
- Einführung in die Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT)
- Beispielanwendung: Fahrzeugschweller
- Vorstellung des Anwendungsfelds und der Fertigungsverfahren für die Crashzelle
- Vorstellen von Entwürfen der doppelsymmetrischen Crashzellen

Aufbau einer Optimierungsschleife



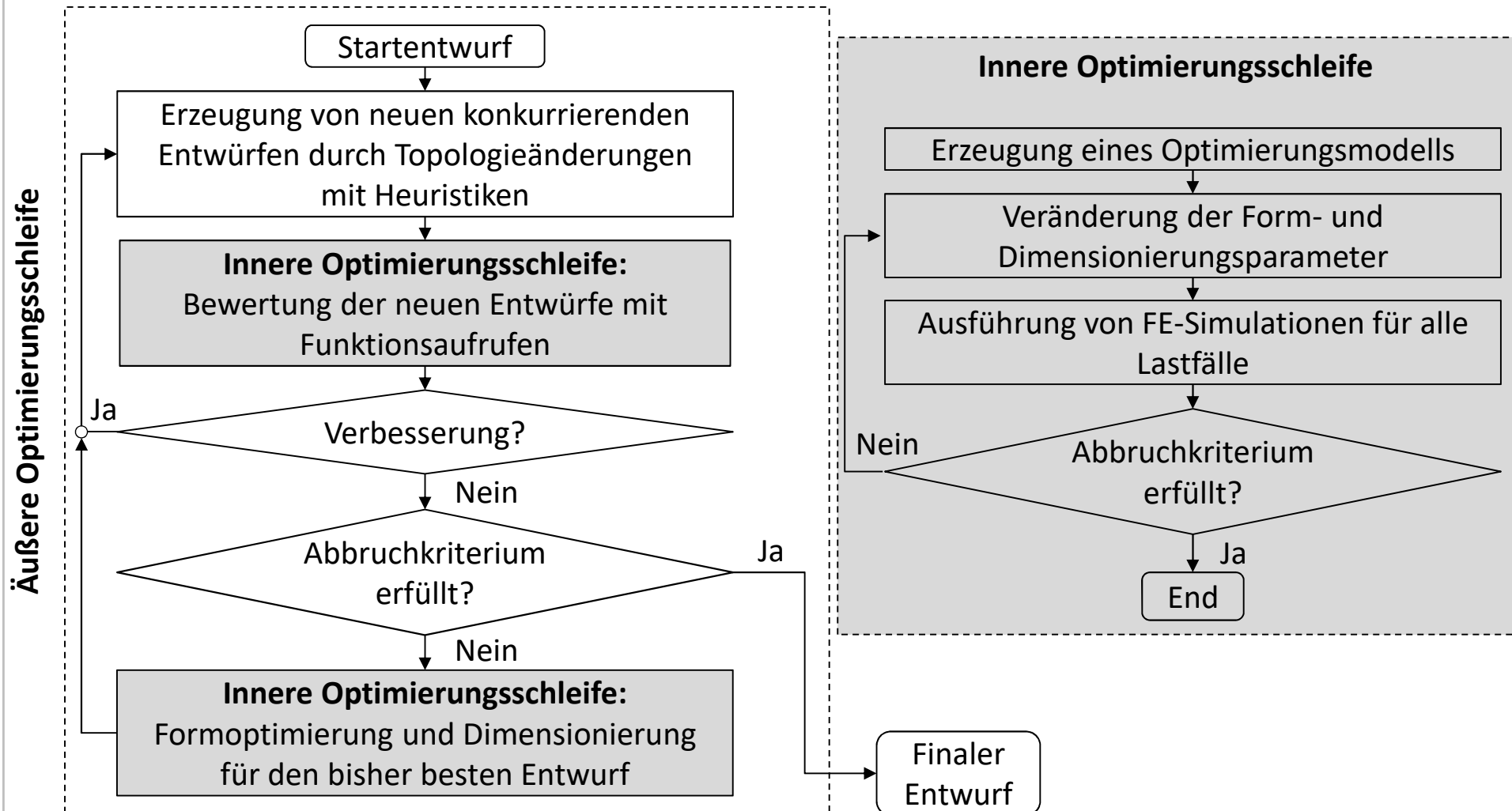
Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Graphen-Syntax

- Optimierungsverfahren für Crash-belastete Strukturen mit kontinuierlichen Querschnitt
- Heuristiken manipulieren einen Strukturgraph
- Aus dem Graph wird ein Finite-Elemente-Modell abgeleitet



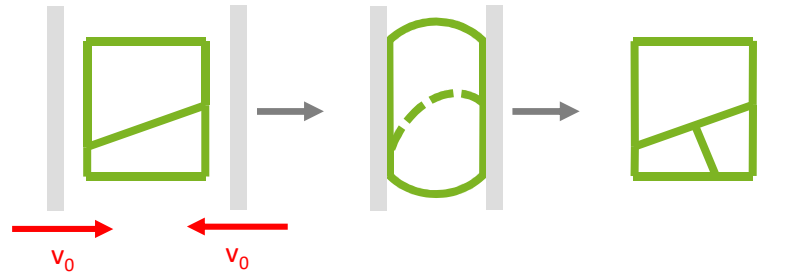
- Definieren von Zielgrößen und Restriktionen
- Fertigungsrestriktionen

Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Optimierungsschleife

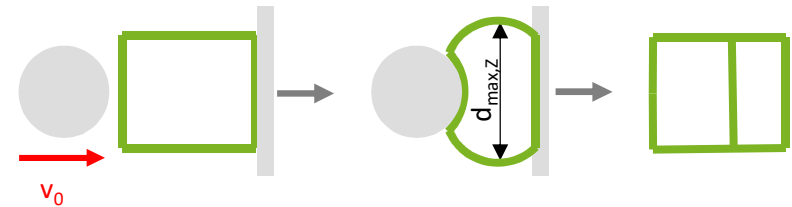


Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Heuristiken

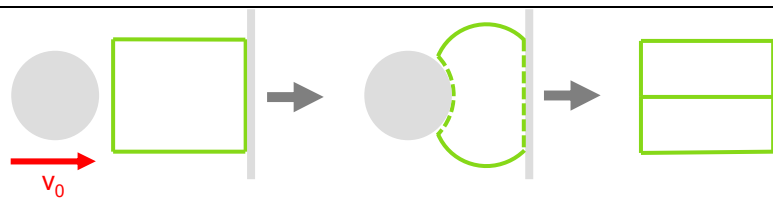
„Abstützen sich schnell deformierender Wände“



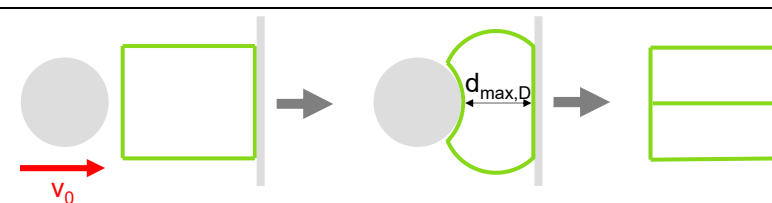
„Ausnutzen des Deformationsraums Zug“



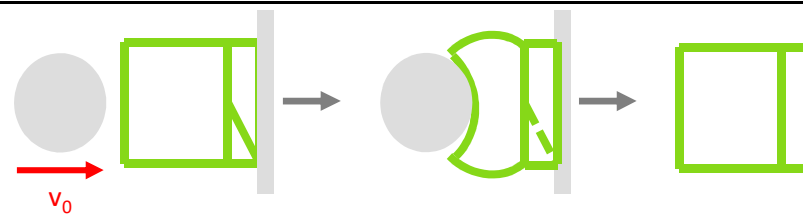
„Ausgleichen der Energiedichte“



„Ausnutzen des Deformationsraums Druck“



„Entfernen unbelasteter Wände“



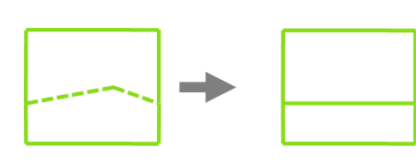
„Skalieren der Wanddicken“



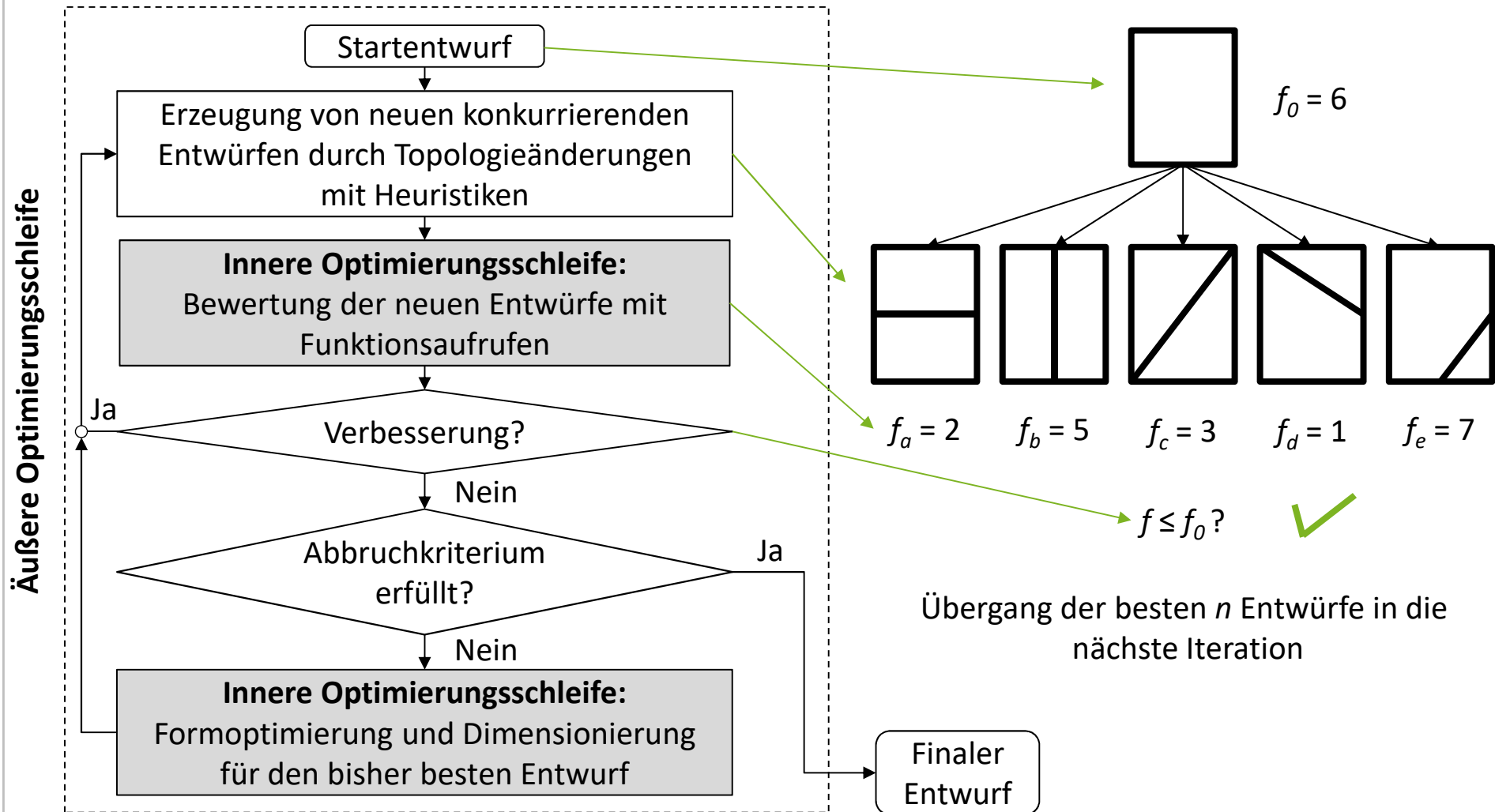
„Entfernen kleiner Kammern“



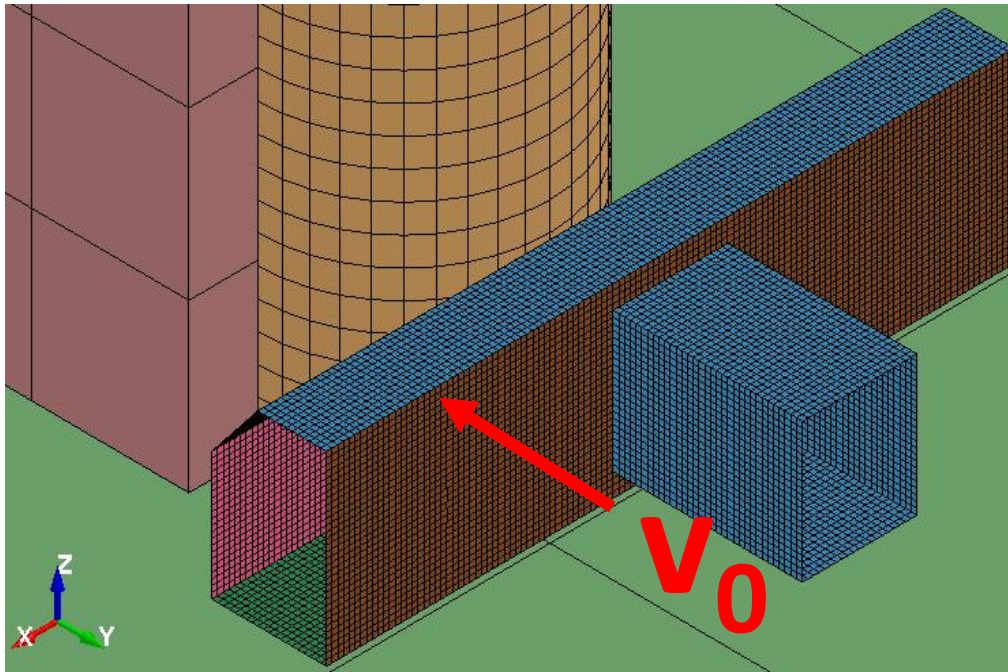
„Glätten der Struktur“



Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Verlauf der Optimierung



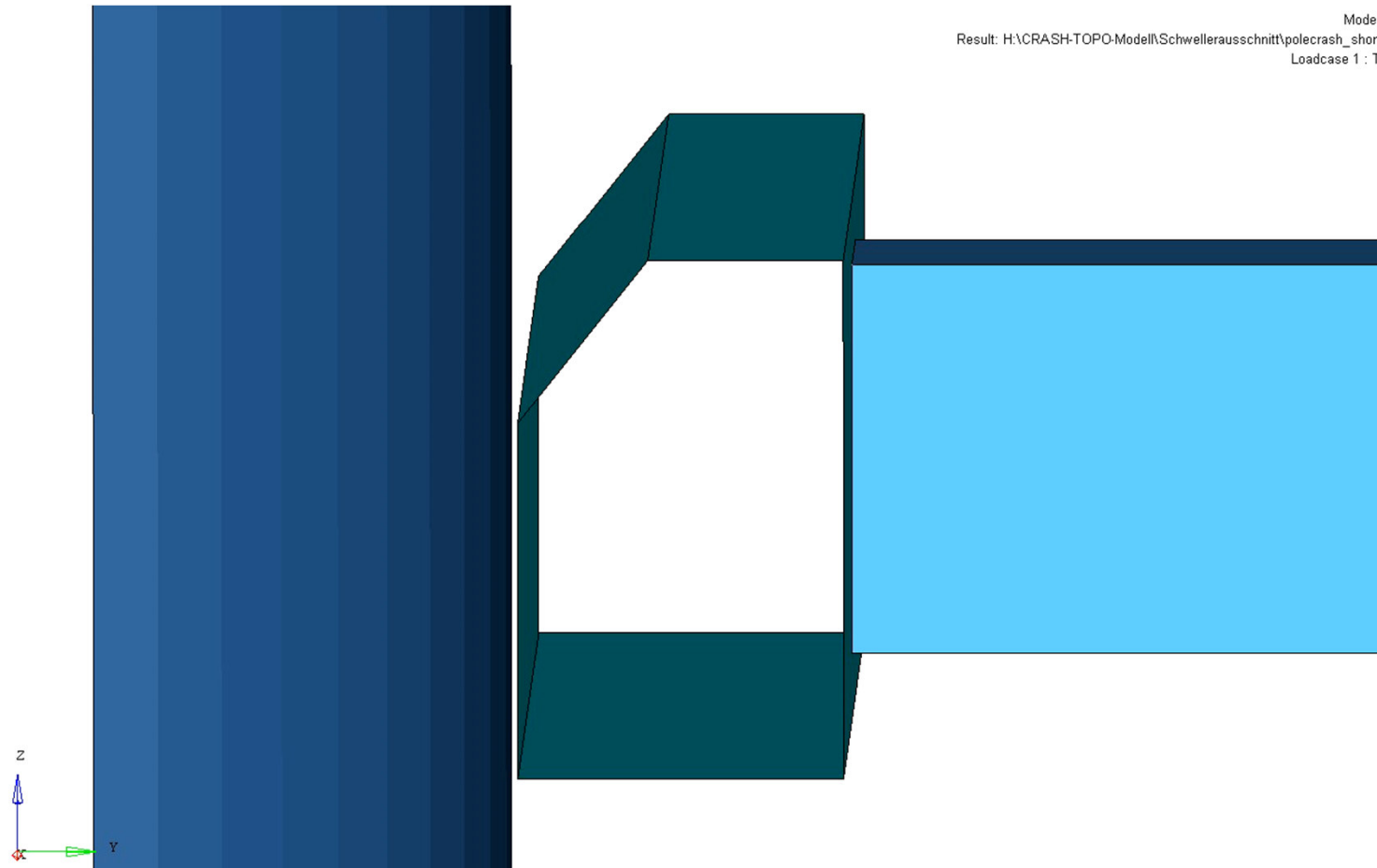
Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Einführung, Beispiel Fahrzeugschweller



Optimierungsaufgabe:

Suche die optimale Topologie und Form des Querschnittsprofils, Zielfunktion: Minimiere die maximale Kraft an der schiebenden, starren Wand so dass Steifigkeitsrestriktionen und Herstellungsrestriktionen eingehalten werden.

Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Einführung, Beispiel Fahrzeugschweller

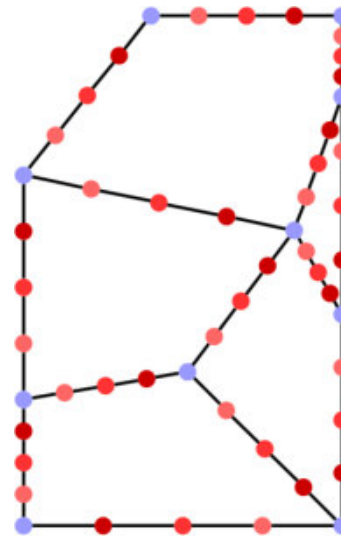


Model info: Polecrash
Result: H:\CRASH-TOPO-Modell\Schwellerausschnitt\polecrash_short_sill_hm\d3plot
Loadcase 1 : Time = 0.000000
Frame 1

Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Einführung, Beispiel Fahrzeugschweller

Historie der Optimierung des Schwellers

Iteration 4

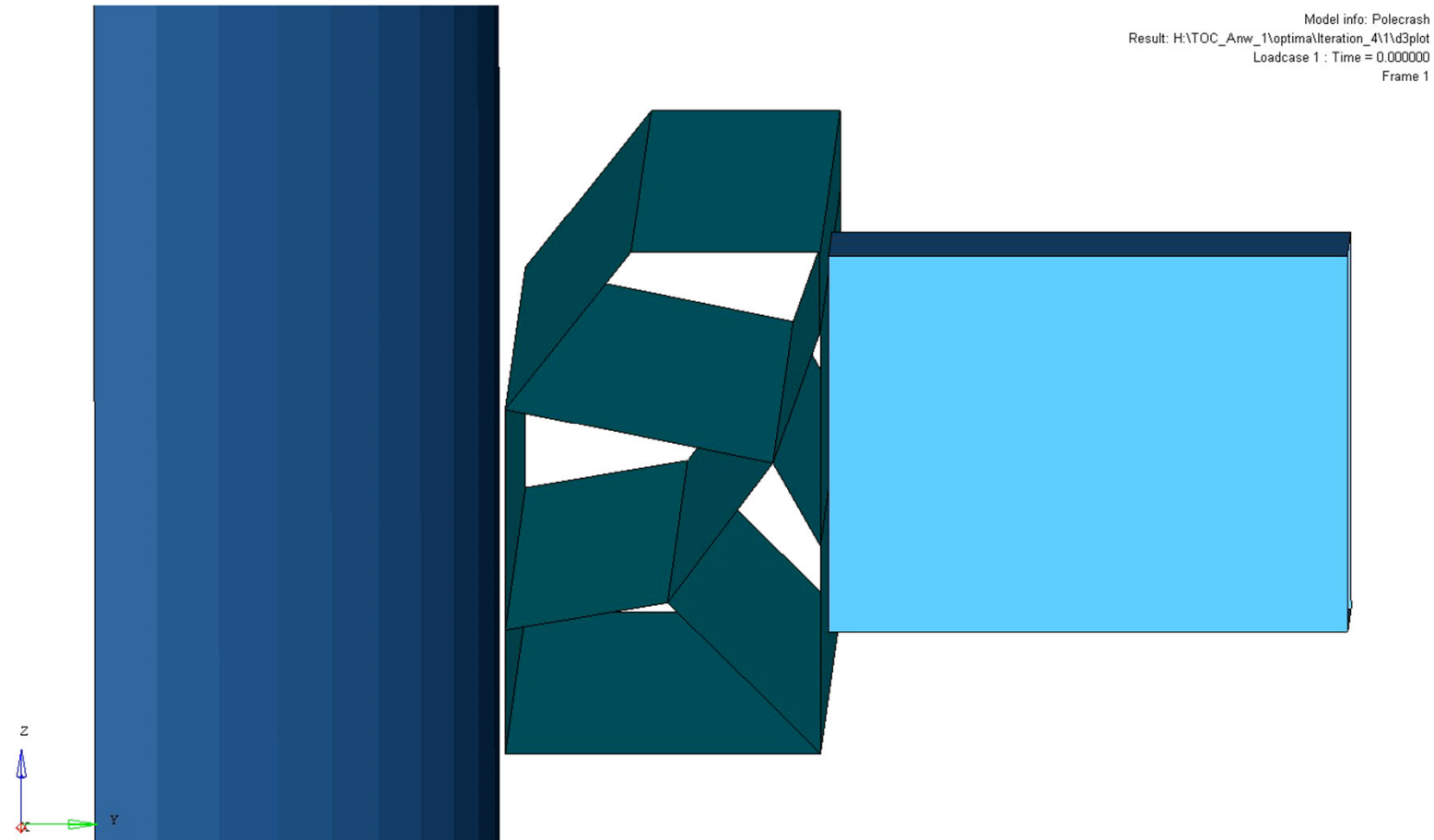


Ortmann, C.; Schumacher, A. (2013):
"Graph and heuristic based topology
optimization of crash loaded structures",
Structural and Multidisciplinary
Optimization (2013) 47:839–854

Heuristik, die zu einem Gleichgewicht der Energie in den
Wänden“

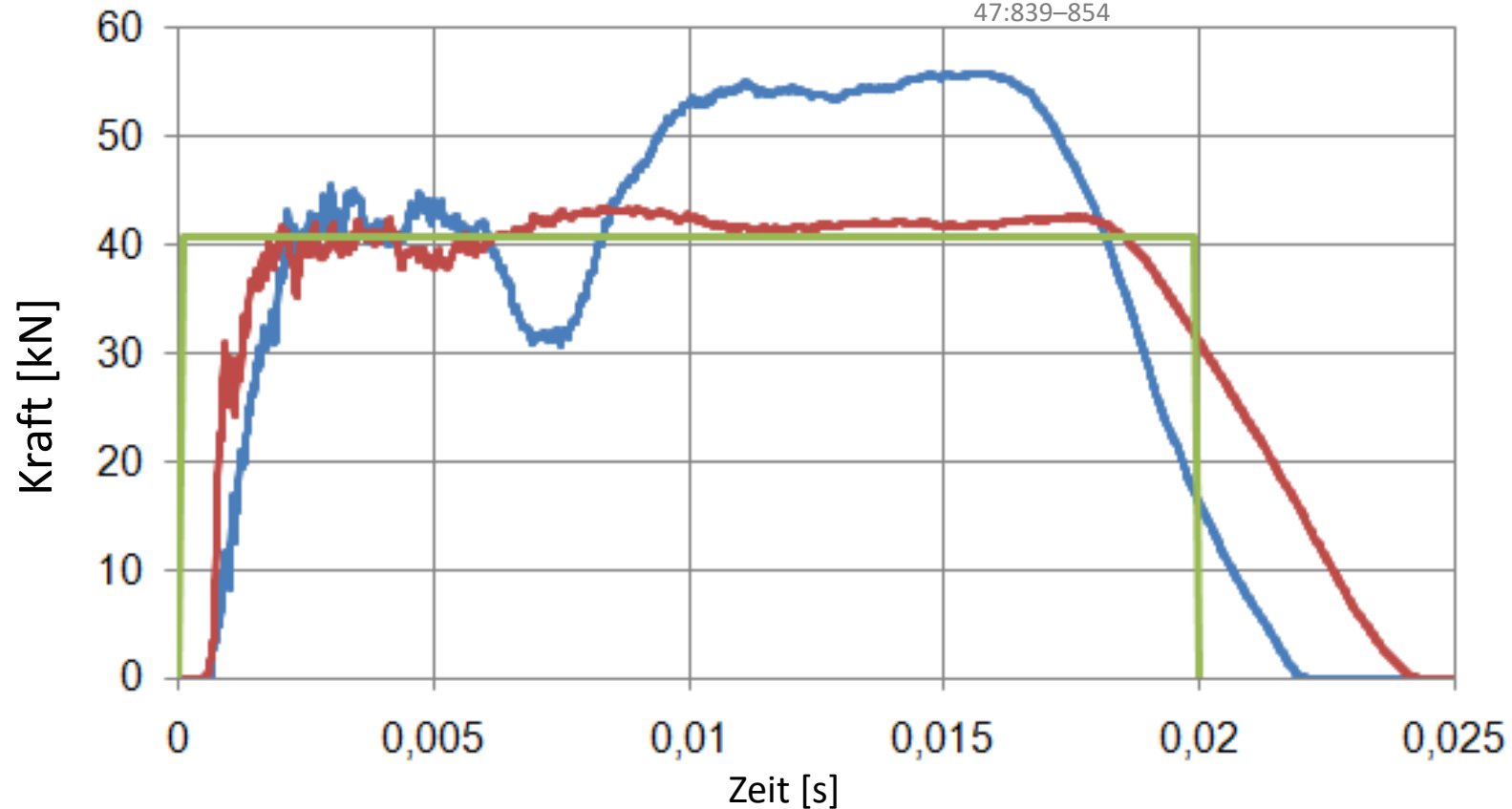
- Anzahl der durchgeführten Iterationen: 6
- Anzahl der verworfenen Iterationen: 2

Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Einführung, Beispiel Fahrzeugschweller



Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Einführung, Beispiel Fahrzeugschweller

Ortmann, C.; Schumacher, A. (2013): "Graph and heuristic based topology optimization of crash loaded structures", Structural and Multidisciplinary Optimization (2013) 47:839–854



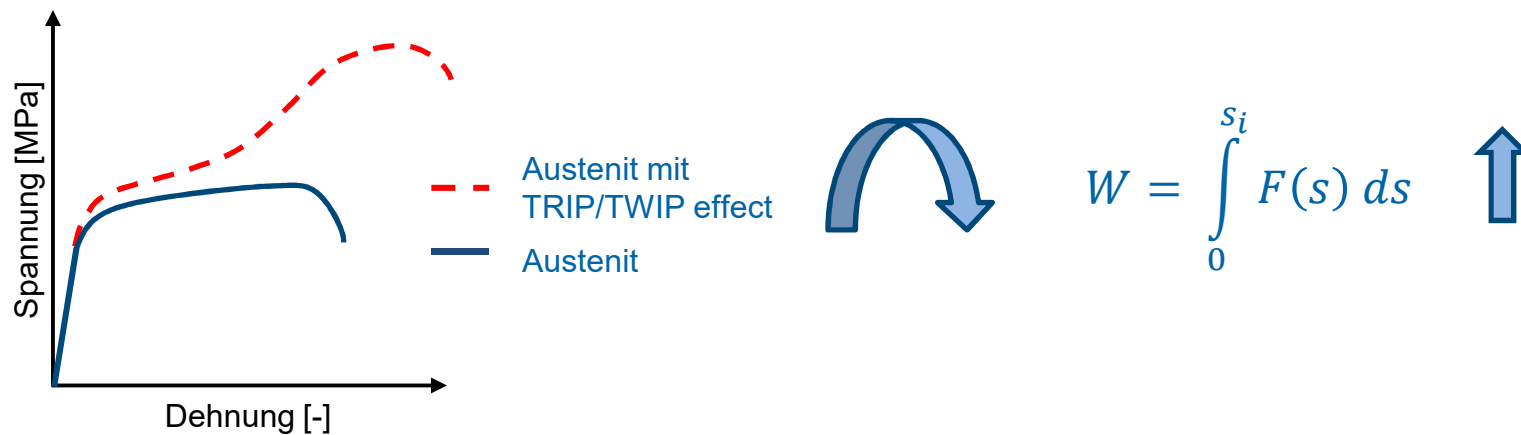
— Start-
entwurf

— Optimum

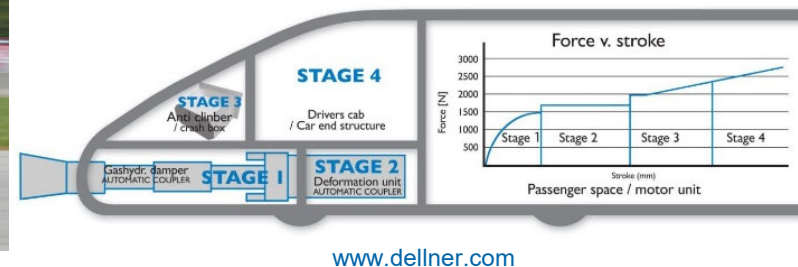
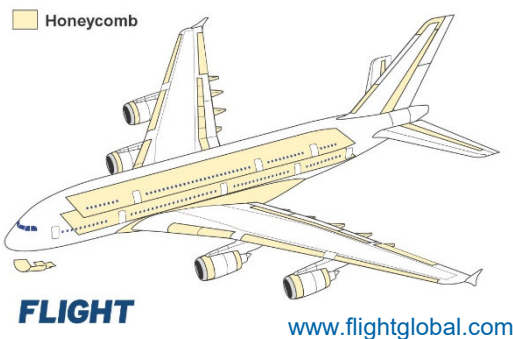
— theoretisches
Optimum

Anwendungsfeld

- Forschungsschwerpunkt sind Stähle mit **TR**ansformation Induced Plasticity(**TRIP**)-effect and **TW**inning Induced Plasticity(**TWIP**)-effect
- Verformungsinduzierte Martensitbildung oder Zwillingsbildung führt zu hoher Festigkeit und Duktilität

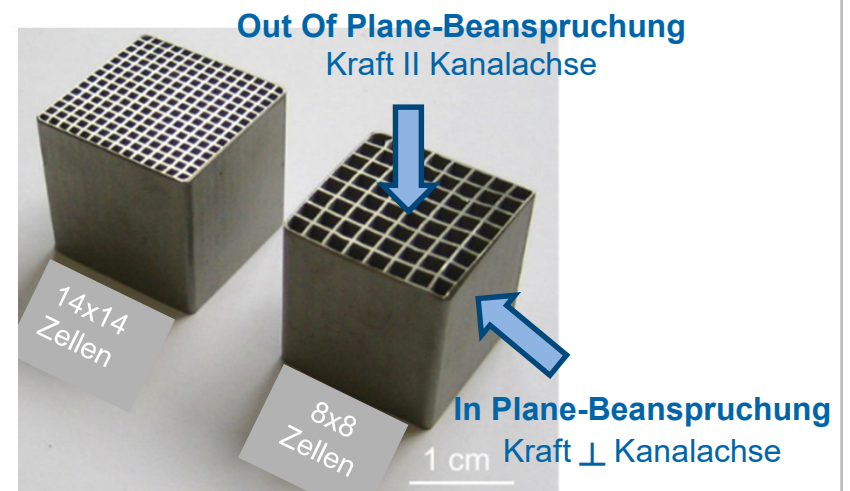
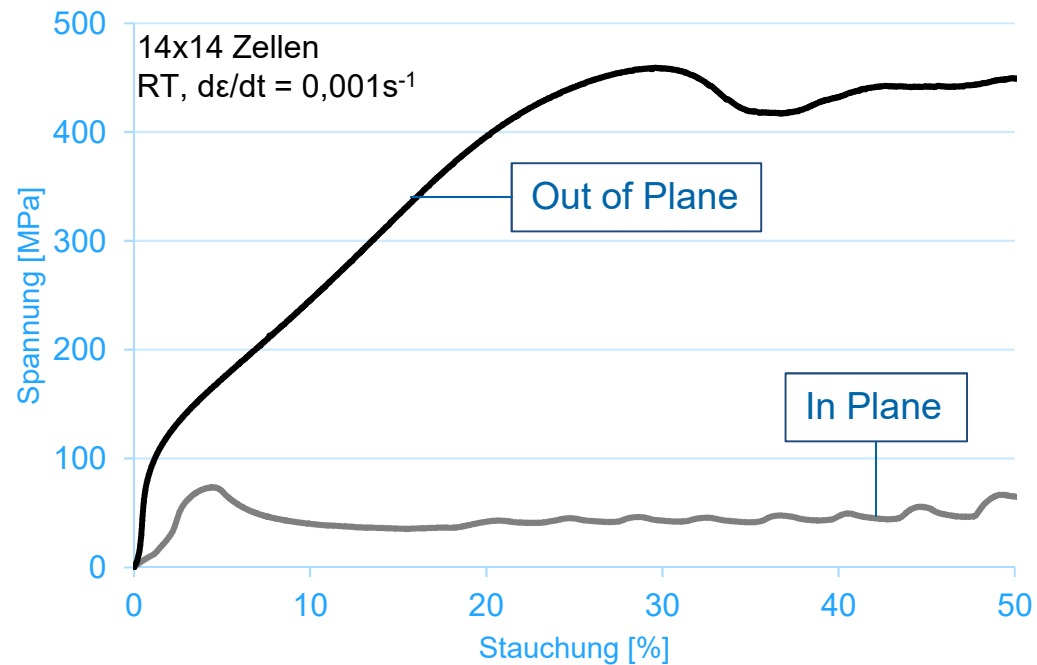


- Einsatz als Zellwandwerkstoff in Wabenstrukturen für Leichtbaukomponenten mit hohem Energieabsorptionspotential

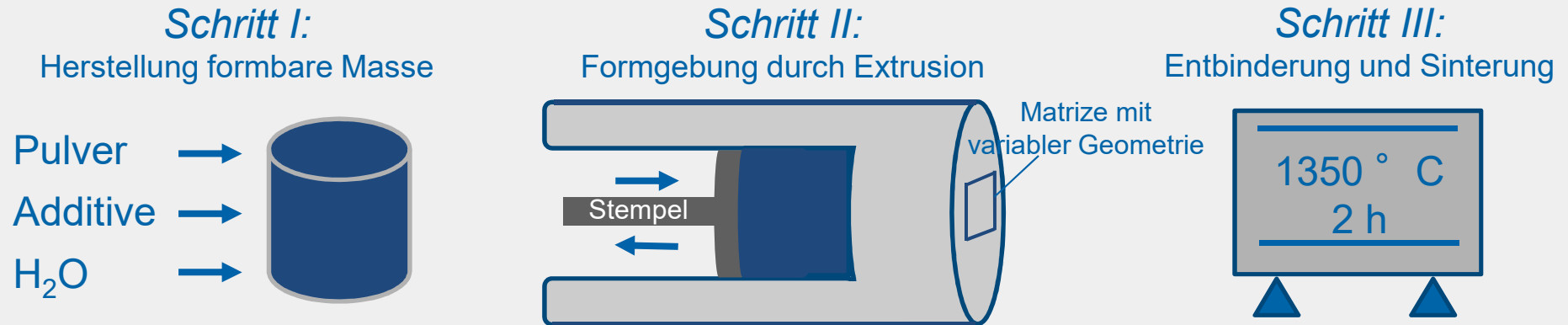


Anwendungsfeld und Fertigung

- Anisotrope Werkstoffeigenschaften in In Plane- und Out of Plane-Richtung
- Angleichung der Festigkeitsniveaus durch eine veränderte Zellgeometrie möglich?
- Überprüfung mit Heuristiken- und Graphenbasierten Algorithmus



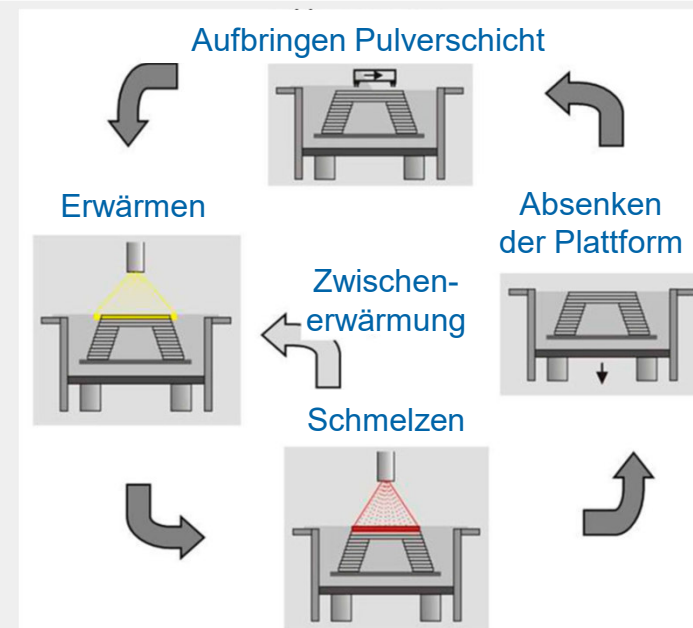
Herstellung über Extrusionsprozess



Additive Fertigung mittels EBM

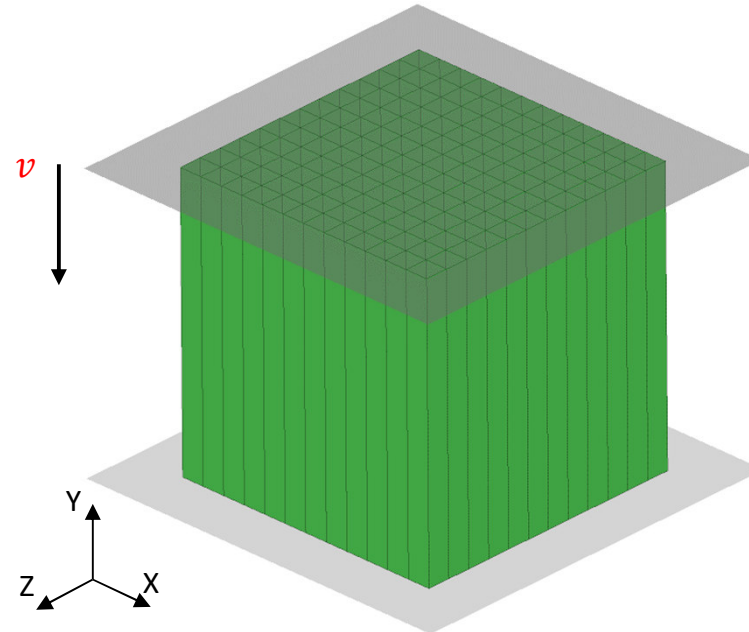
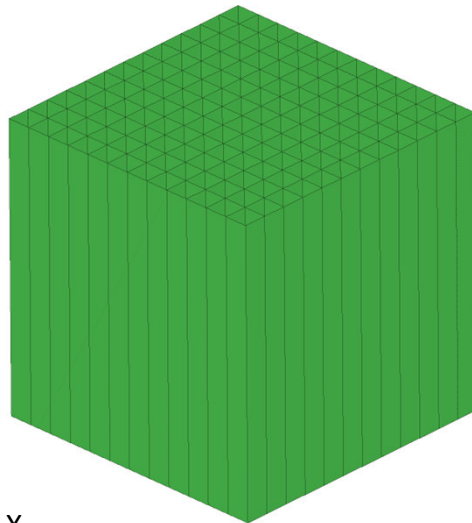
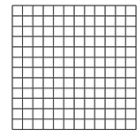


- Schnelle Herstellung der optimierten Geometrien
- Keine Fertigung von Matrizen notwendig
- Vielfältigere Gestaltungsmöglichkeiten der Zellen



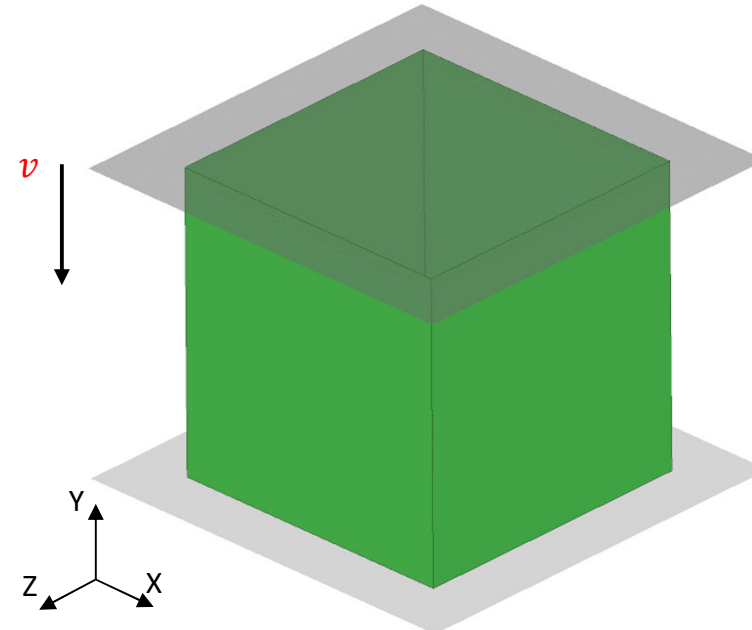
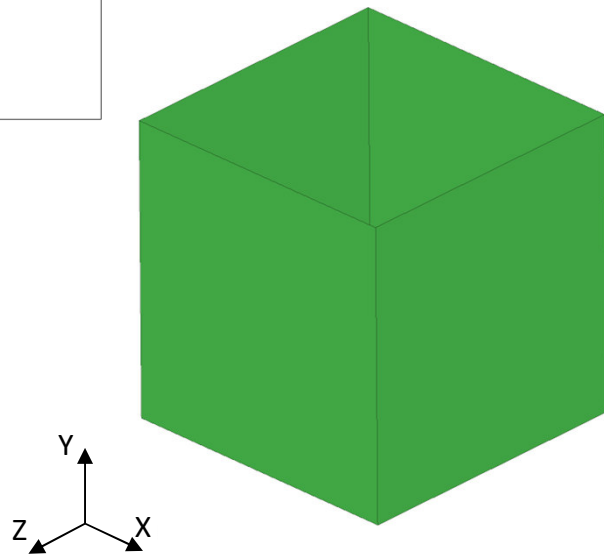
Aus C. Körner, Int. Mater. Rev., 2016 (61) 5

Lastfall für die Crashzelle



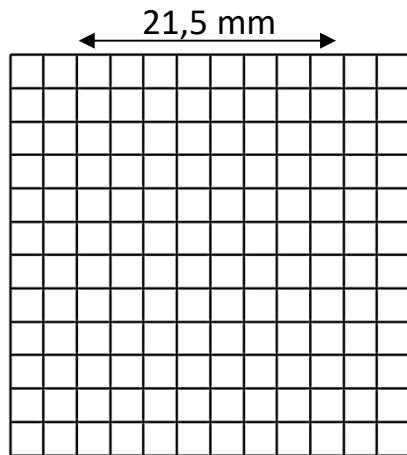
- Referenzmodell – besteht im Querschnitt aus quadratische Zellen
- Fragestellung: Kann die Aufnahme der inneren Energie mittels der GHT gesteigert werden?
- Crashzelle wird zwischen zwei starren Wänden positioniert
- Stauchung von Höhe 22 mm auf 5.875 mm in 4.16 ms $v \approx 13$ km/h

Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Ausgangsentwurf

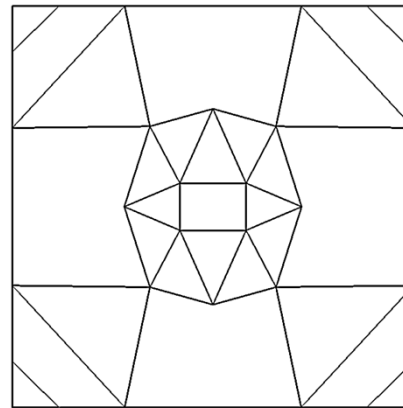


- die Wanddicke muss mindestens das 10 fache der Partikelgröße des eingesetzten Stahlpulvers aufweisen, d.h. $10 \times 33 \mu\text{m} = 330 \mu\text{m}$ (0,33 mm); **500 μm** (0,50 mm) für Elektronenstrahl
- die Struktur sollte **symmetrisch** sein, da es sonst zum Verzug während des Sinterprozesses kommt (Schwindung uneinheitlich)
- die Struktur sollte **einheitliche Wandstärken** besitzen
- **Materialanhäufungen** in der Struktur durch die geometrische Gestaltung sollten **vermieden** werden
- zur Vergleichbarkeit sollte die Struktur eine **relative Materialverteilung** von **0,38** aufweisen
- das Mundstück wird über einen Erodier-Prozess gefertigt, sodass sich ausschließlich Wände ausführen lassen, die sich **kontinuierlich** durch die Struktur fortsetzen

Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Ergebnisse in der Übersicht

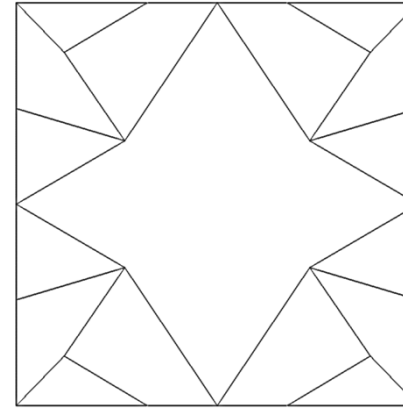


1. Wandstärke von **0,330 mm**



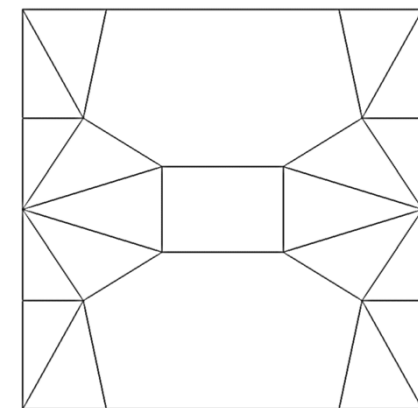
2. Wandstärke von **0,638 mm**

axiale Belastung



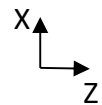
3. Wandstärke: **0,760 mm**

laterale Belastung

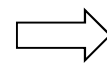


4. Wandstärke: **0,711 mm**

axiale Belastung
 +
 laterale Belastung



Minimale Wandstärke: 0,5 mm
 Maximale Wandstärke: 2 mm
 Doppelsymmetriebedingungen



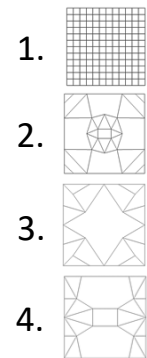
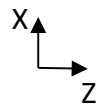
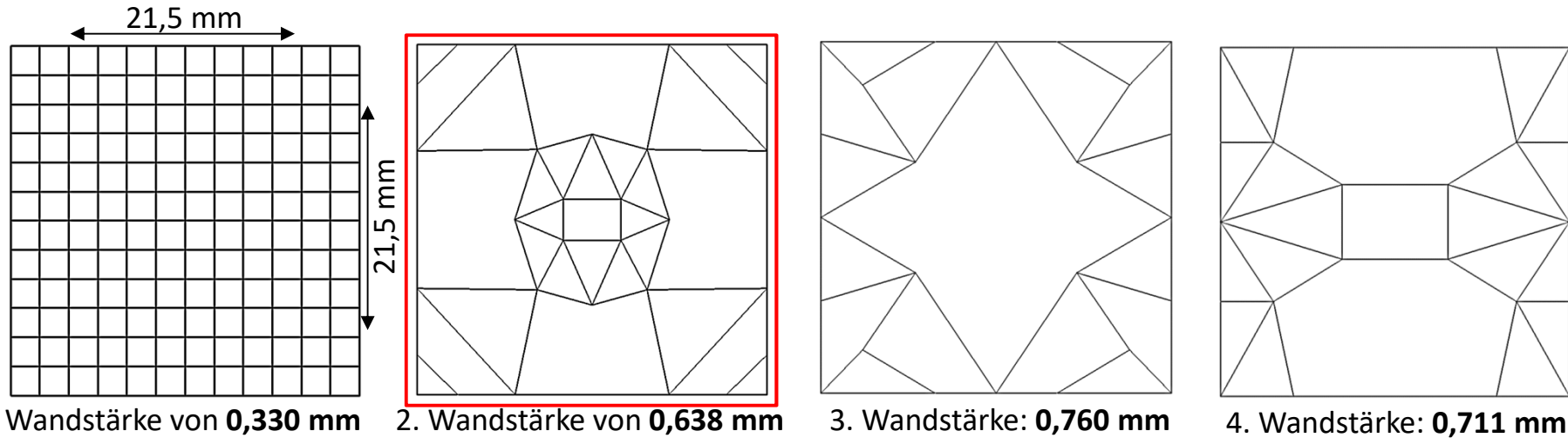
Optimierungsziel:
 maximiere die aufgenommene Energie

$$\text{zul. Volumen} = 0,38 * 10169,5 \text{ mm}^3 = 3864,41 \text{ mm}^3$$

$$\text{Gewicht} = 3864,41 \text{ mm}^3 * 6,68 * 10^{-9} \frac{\text{t}}{\text{mm}^3} = 25,8\text{g}$$

⇒ Massenrestriktion = 25,8 g

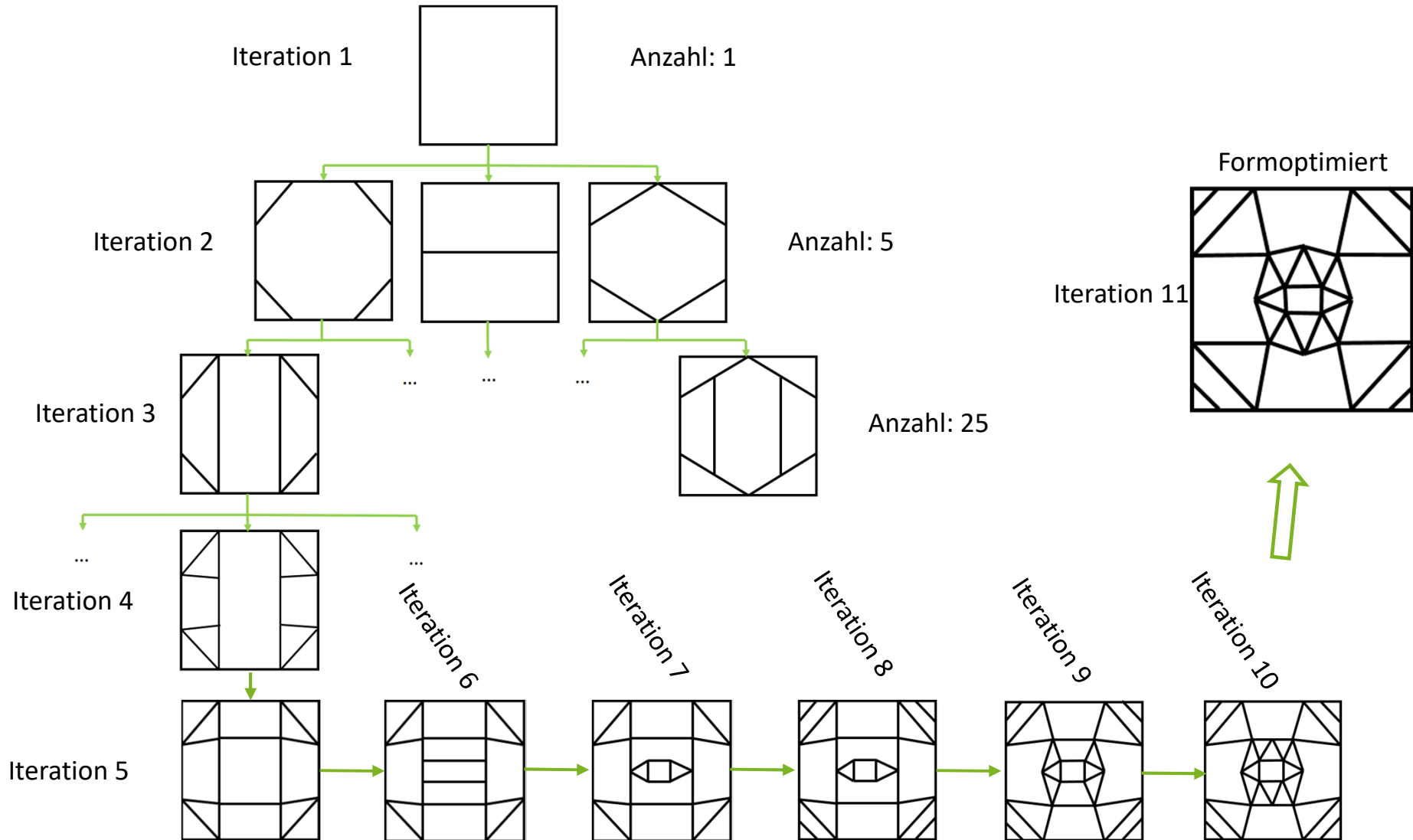
Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Ergebnisse in der Übersicht



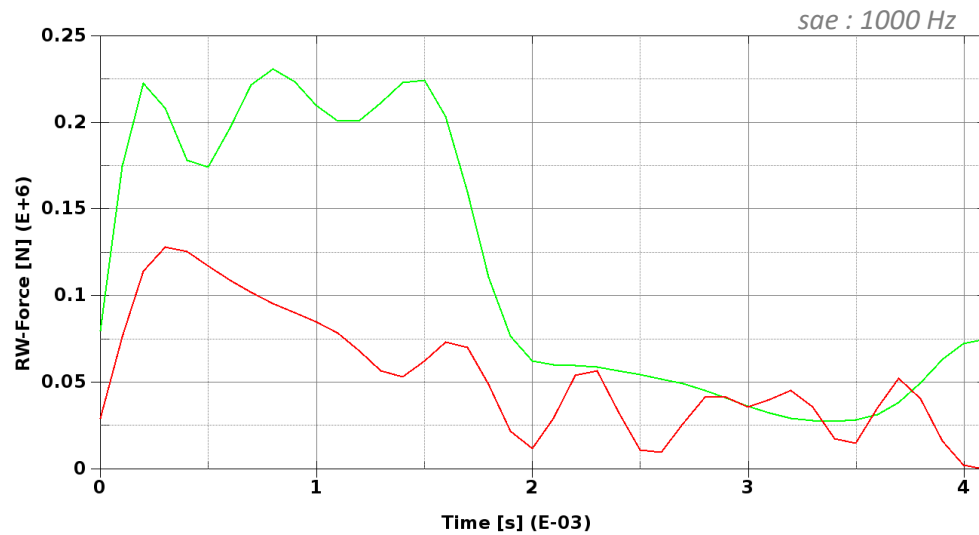
| | Energie lateral [Nmm] \perp | Energie axial [Nmm] \parallel | Rel. Materialverteilung | Wandstärke [mm] |
|----|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| 1. | 3.859,98 | 17.417,95 | 0,399 | 0,330 |
| 2. | 2.799,67 | 23.663,13 | 0,38 | 0,638 |
| 3. | 4.546,65 | 6.689,77 | 0,38 | 0,760 |
| 4. | 2.685,78 | 21.392,52 | 0,38 | 0,711 |

Tabelle 1: aufgenommene Energie im Vergleich

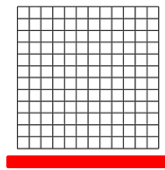
Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Optimierungsverlauf, axial belastet



GHT: Ergebnis im Vergleich zur Referenz axiale Belastung (diagonaler Schnitt)

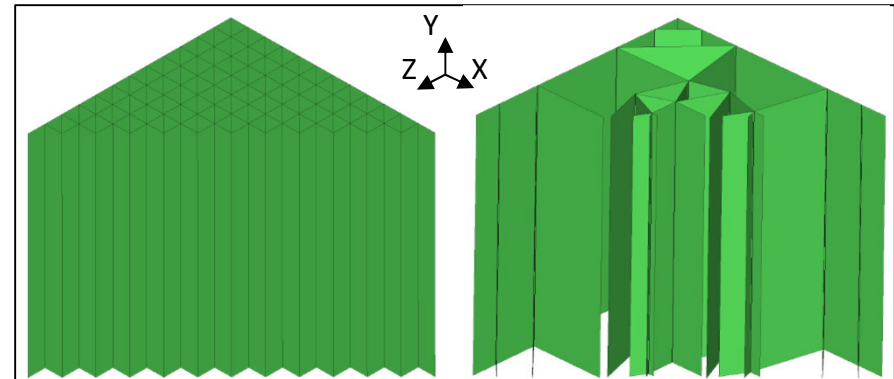


- Ergebnis GHT – axiale Belastung
- Ergebnis quadratische Zellen – axiale Belastung

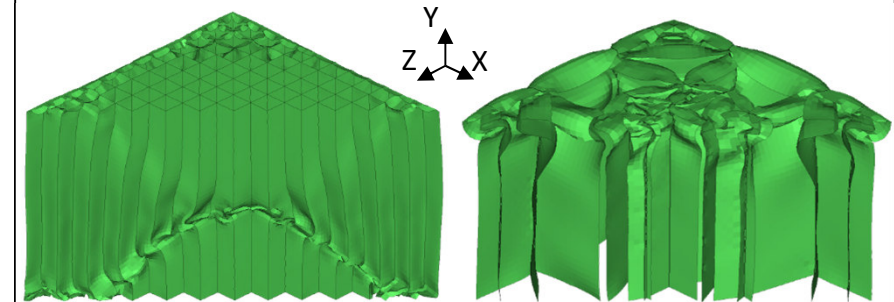


quadratische Zellen

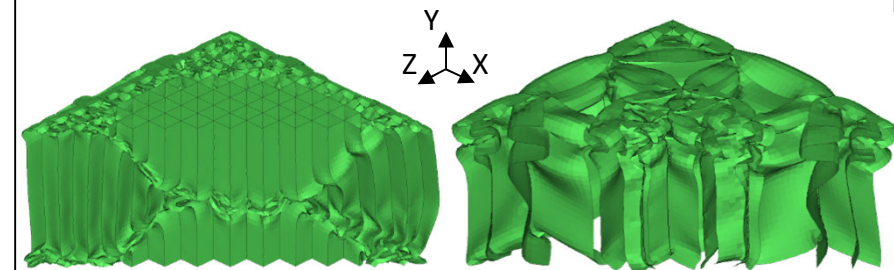
GHT: axiale Belastung



Zeitpunkt: t = 0 / 0,004160 Sekunden

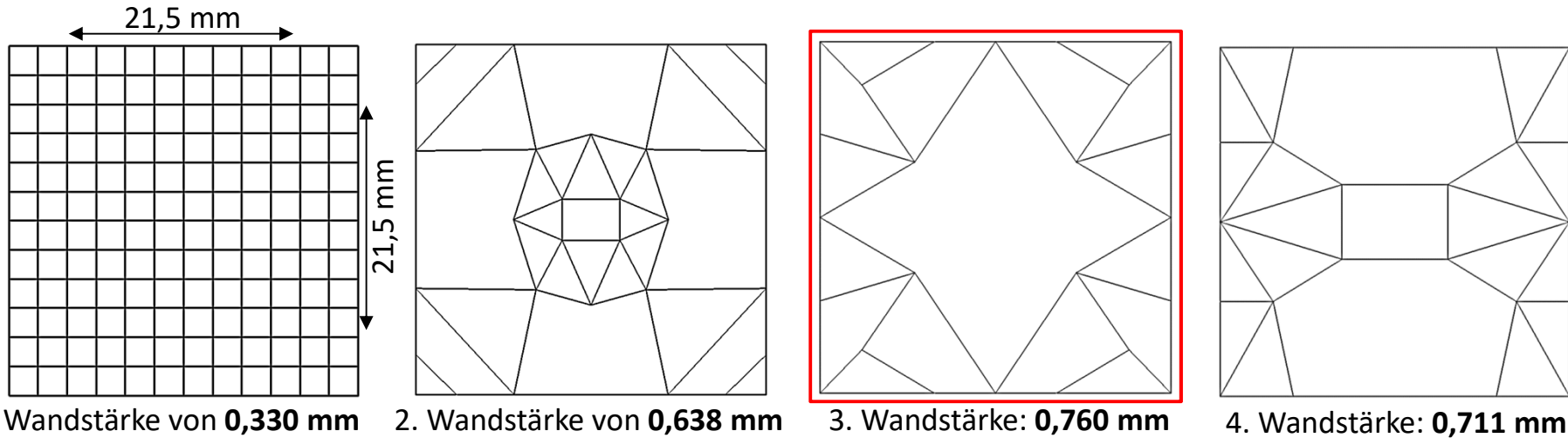


Zeitpunkt: t = 0,0015 / 0,004160 Sekunden



Zeitpunkt: t = 0,0025 / 0,004160 Sekunden

Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Ergebnisse in der Übersicht







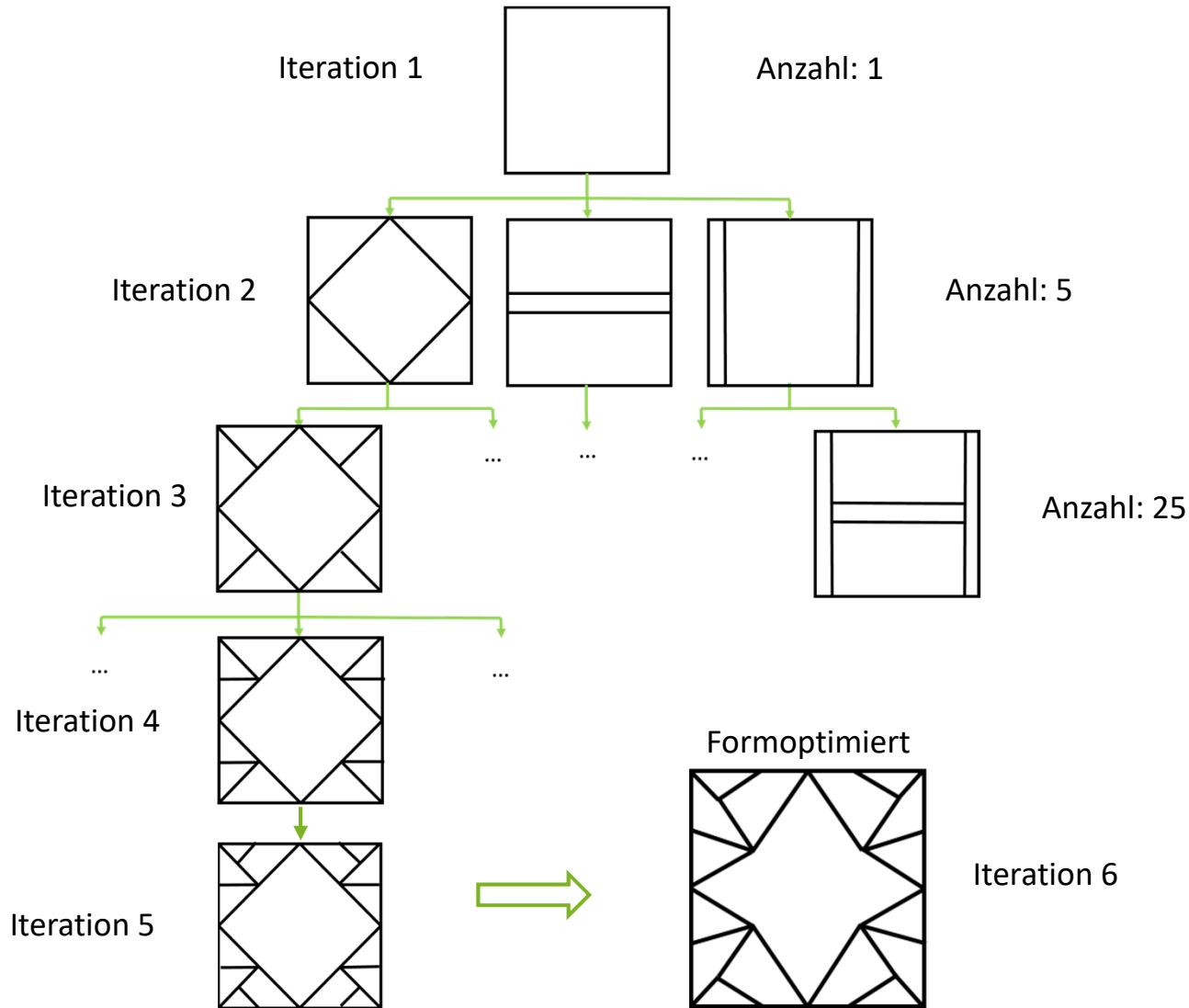
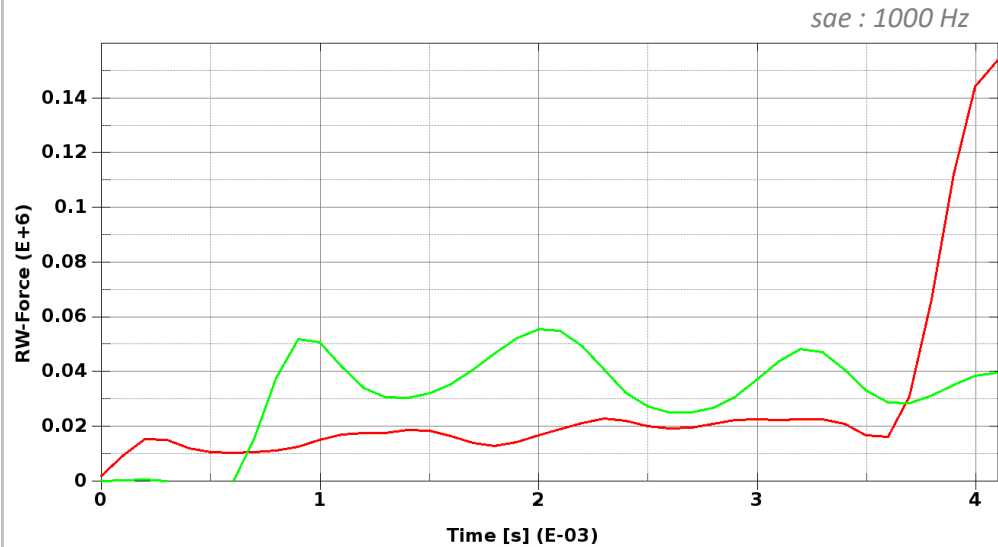
| | Energie lateral [Nmm] \perp | Energie axial [Nmm] \parallel | Rel. Materialverteilung | Wandstärke [mm] |
|--|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| 1.  | 3.859,98 | 17.417,95 | 0,399 | 0,330 |
| 2.  | 2.799,67 | 23.663,13 | 0,38 | 0,638 |
| 3.  | 4.546,65 | 6.689,77 | 0,38 | 0,760 |
| 4.  | 2.685,78 | 21.392,52 | 0,38 | 0,711 |

Tabelle 1: aufgenommene Energie im Vergleich

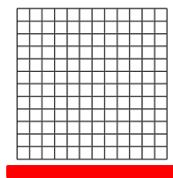
Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT): Optimierungsverlauf, lateral belastet



GHT: Ergebnis im Vergleich zur Referenz laterale Belastung (Draufsicht)

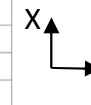
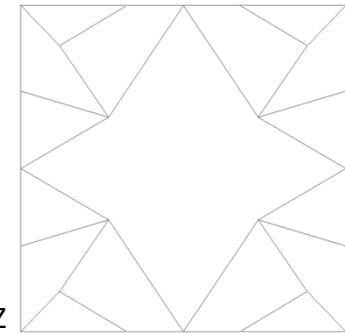
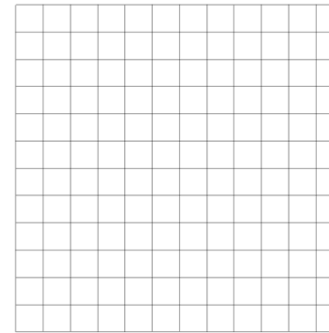


- Ergebnis GHT – lateral Belastung
- Ergebnis quadratische Zellen – lateral Belastung

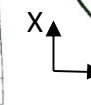
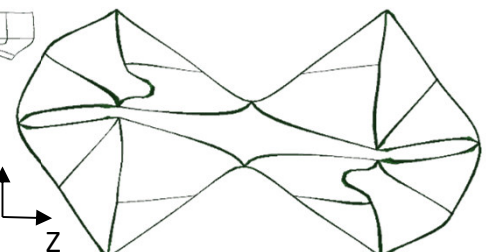
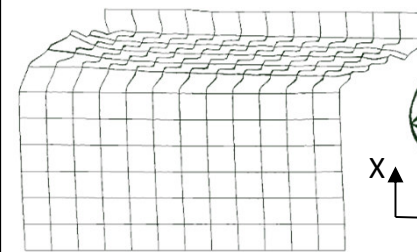


quadratische Zellen

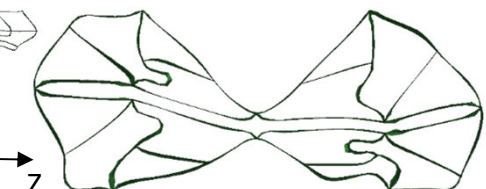
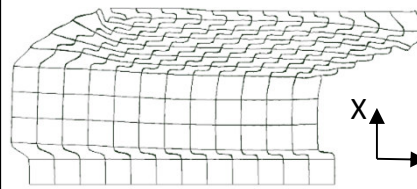
GHT: axiale Belastung



Zeitpunkt: $t = 0 / 0,004160$ Sekunden



Zeitpunkt: $t = 0,0015 / 0,004160$ Sekunden



Zeitpunkt: $t = 0,0025 / 0,004160$ Sekunden

Fragenstellungen

- Lässt sich ein Rückschluss aus dem Verhalten einer einzelnen Zelle zu dem Verhalten mehrerer Zellen im Verbund ziehen, bei Crash?
 - > Randeffekte?
 - > bei unterschiedlichen periodischen Zellengrößen
- Wie ist das Verhalten der gesinterten Bauteile im Vergleich zum Simulationsmodell, Fehlstellen?
- Das Ergebnis des Optimierungsverfahren variiert im Ergebnis in Abh. der Randbedingungen

Ausblick

- Eine Fertigung mit der Arcam-Anlage findet bereits statt (Elektronenstrahl)
- Mit den gefertigten Zellen sollen Tests in axialer und lateraler Belastung durchgeführt werden