



Graphen- und Heuristik-basierte Topologieoptimierung

Christopher Ortmann, Uni Wuppertal

Workshop „Nichtlineare Topologieoptimierung crashbeanspruchter
Fahrzeugstrukturen“

Stuttgart, 23. September 2013



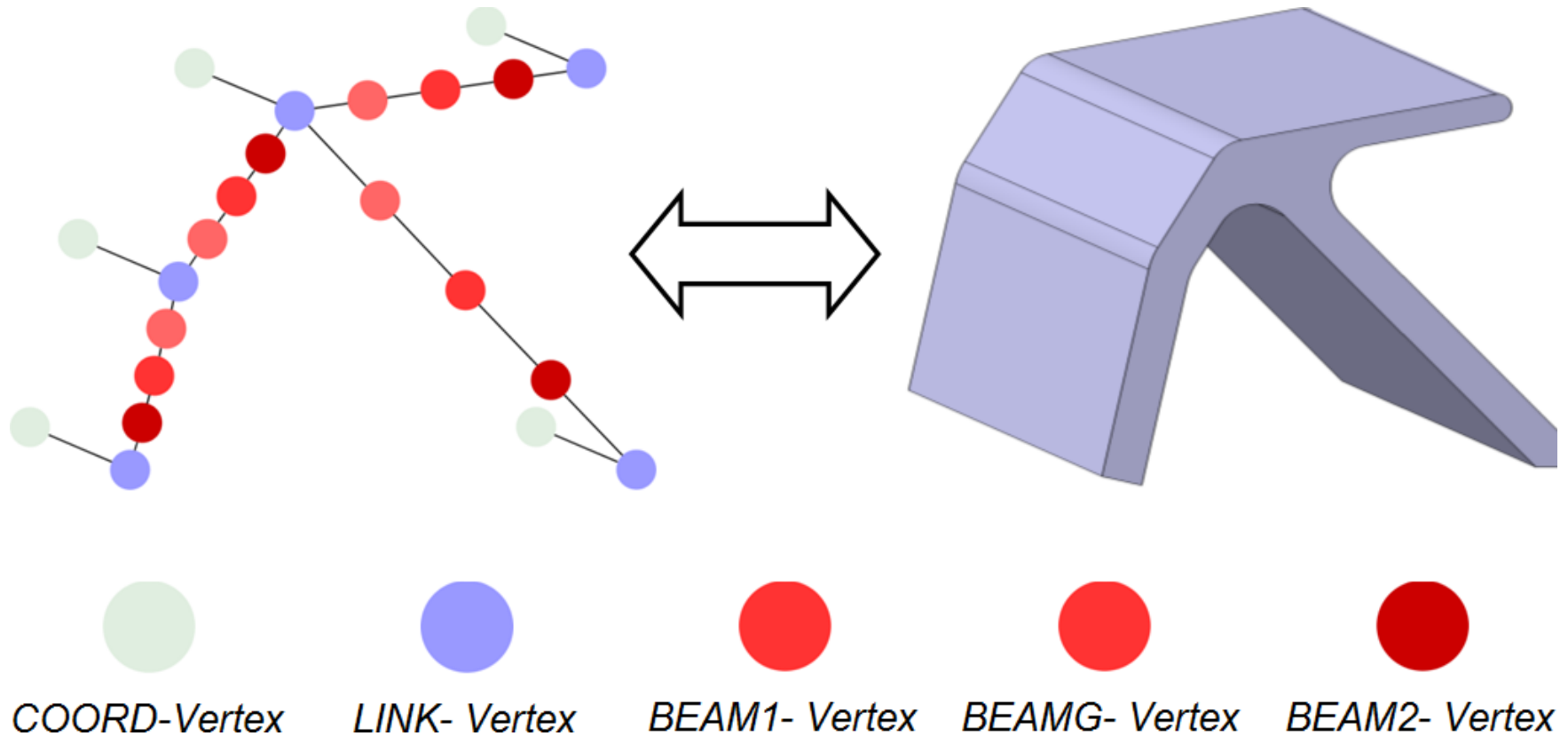
Inhalt

- Geometriebeschreibung durch mathematische Graphen
- Ablauf der Graphen- und Heuristik-basierten Topologieoptimierung (GHT)
- Anwendungsbeispiele
- Zusammenfassung



Geometriebeschreibung durch mathematische Graphen

Flexible Geometriebeschreibung mit Graphen





Flexible Geometriebeschreibung mit Graphen

- Beschreibung von Bauteilen möglich, deren Querschnitt über ihre Länge topologisch konstant ist.

- Vorteile:
 - Nutzung von Graphen-basierten, mathematischen Algorithmen,
 - Modifikation des Bauteils über seinen Graphen durch die Optimierungssoftware.

Überwachung von Fertigungsrestriktionen



Software GRAMB

Aufgaben

Überwachung der
Fertigungsrestriktionen

Modifikation des Graphen

Erzeugung einer grafischen
Darstellung des Graphen

Erzeugung eines
Geometrie/FE-Modells aus
dem Graphen

GRaph based
Mechanics
Builder
(GRAMB)

Schnittstellen

Altair
HyperMesh

Dassault
CATIA

SFE
CONCEPT

yWorks
yED

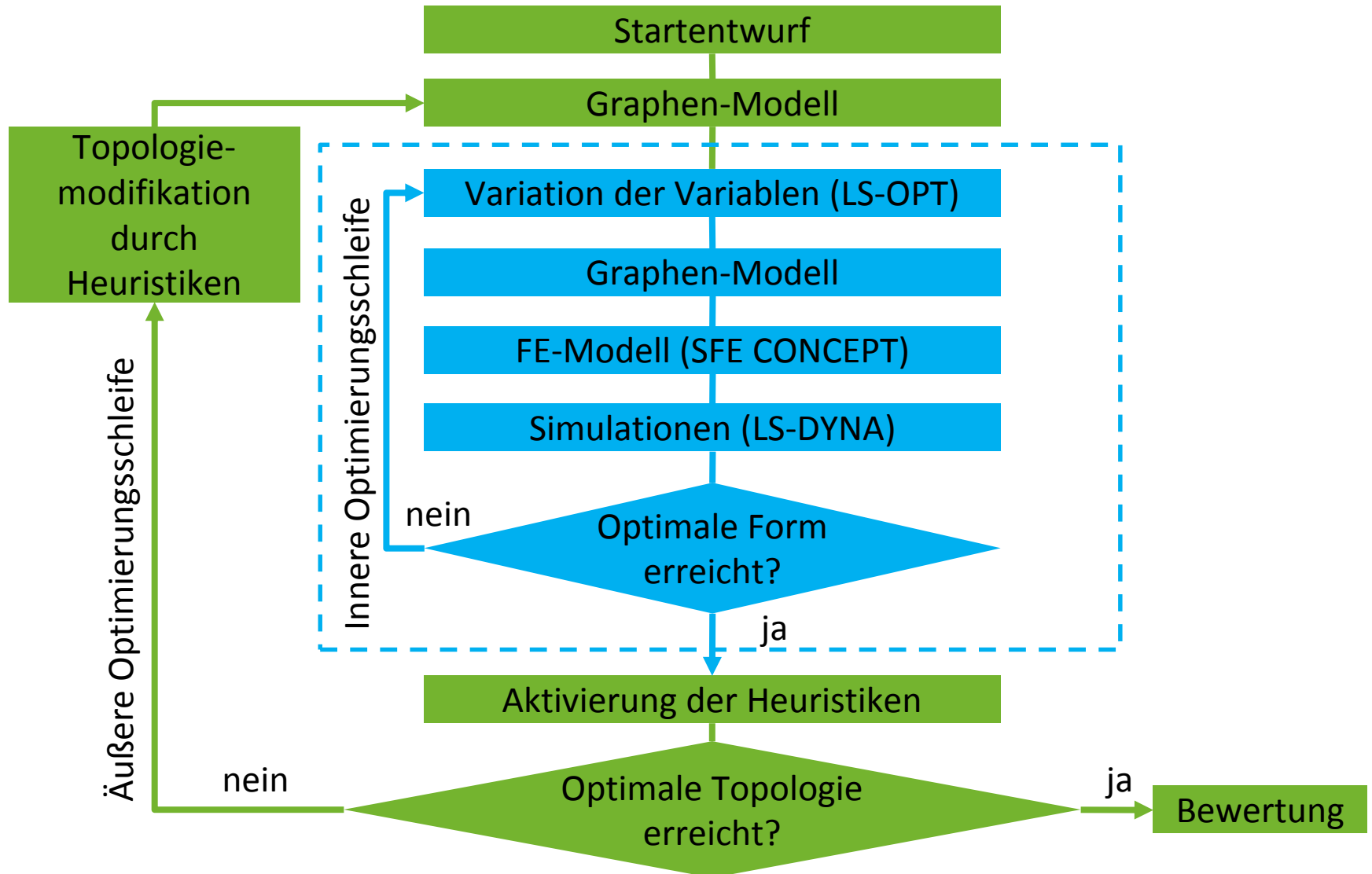


Software GRAMB

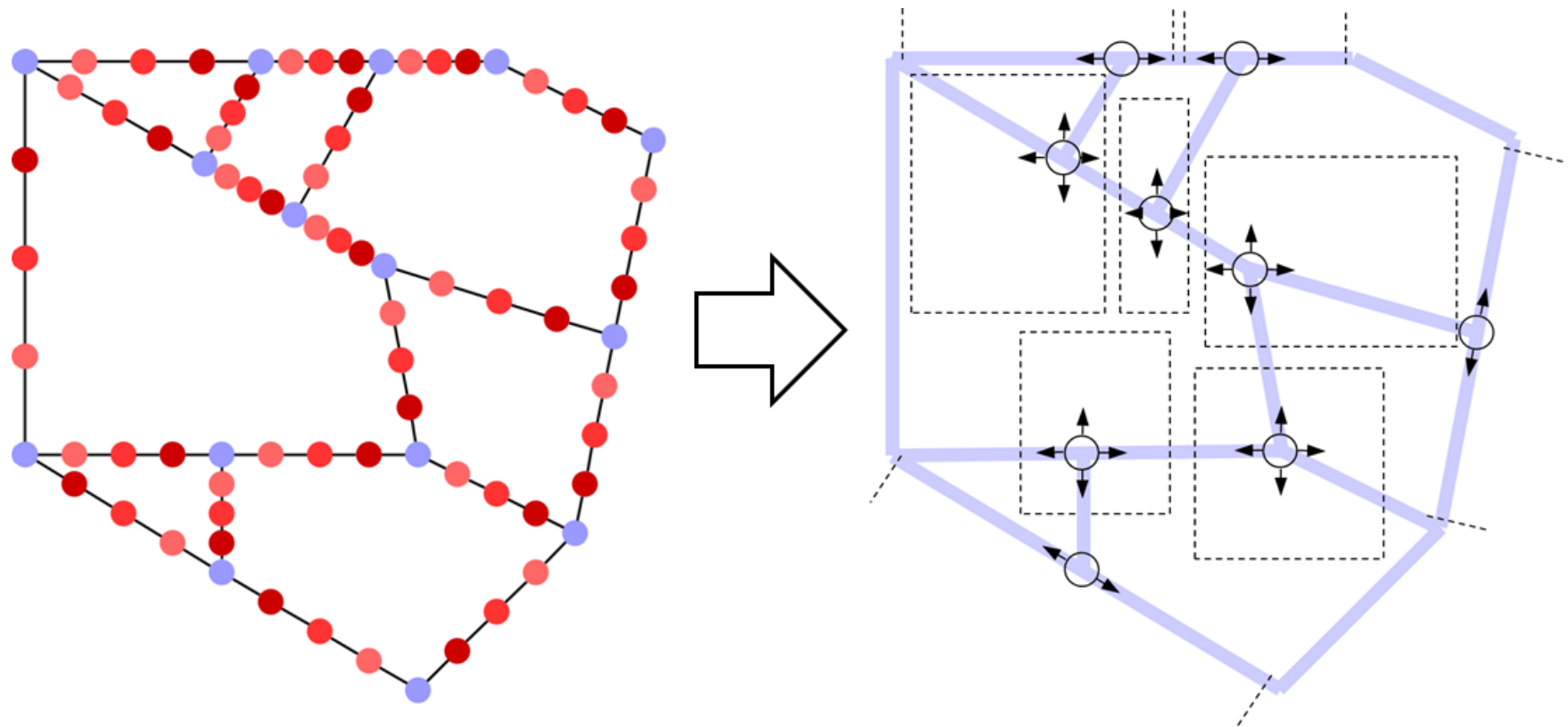
- Live-Demo



Ablauf der Graphen- und Heuristikbasierten Topologieoptimierung (GHT)

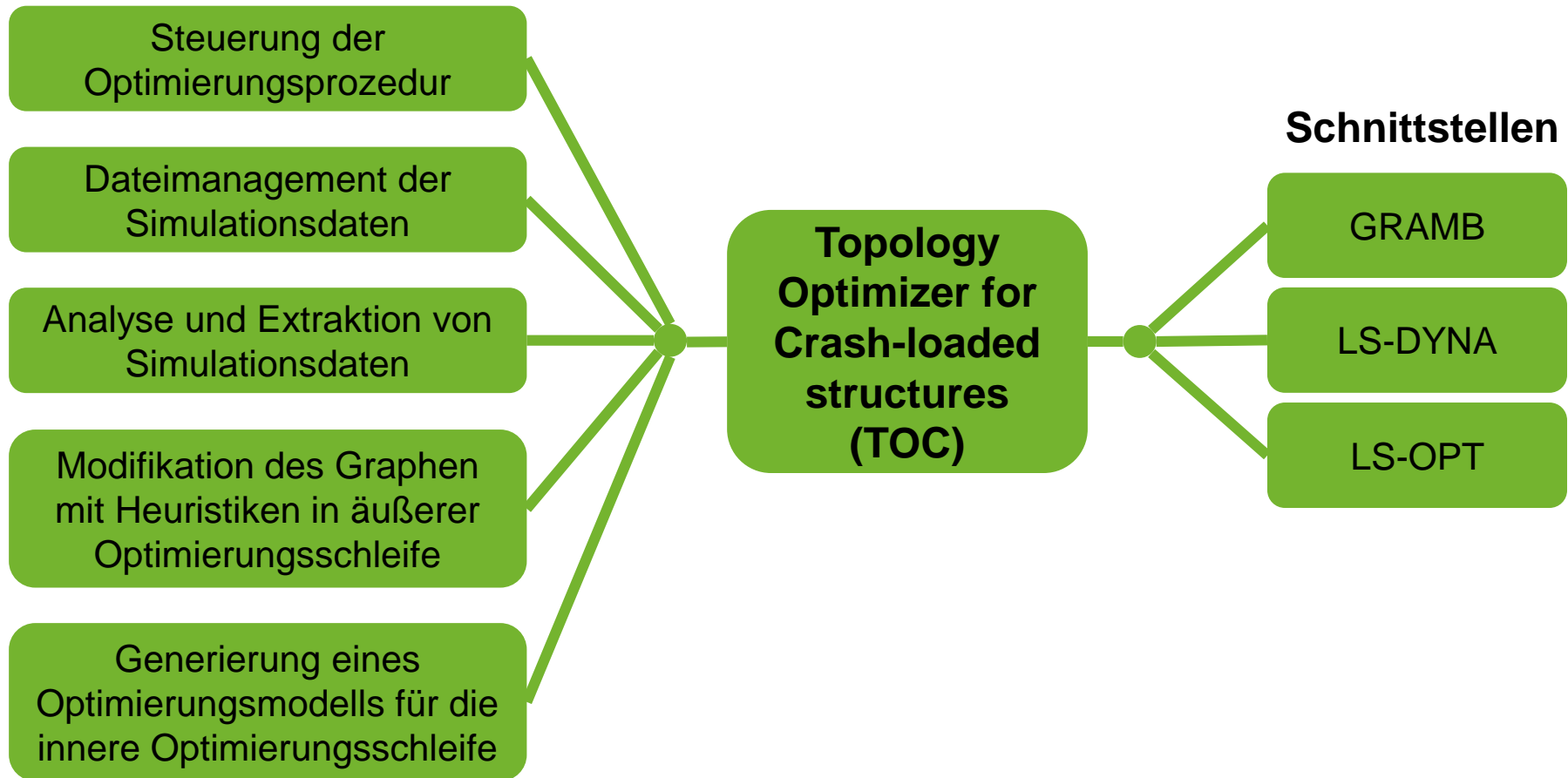


Generierung der Entwurfsvariablen und ihren Grenzen



Software TOC

Aufgaben

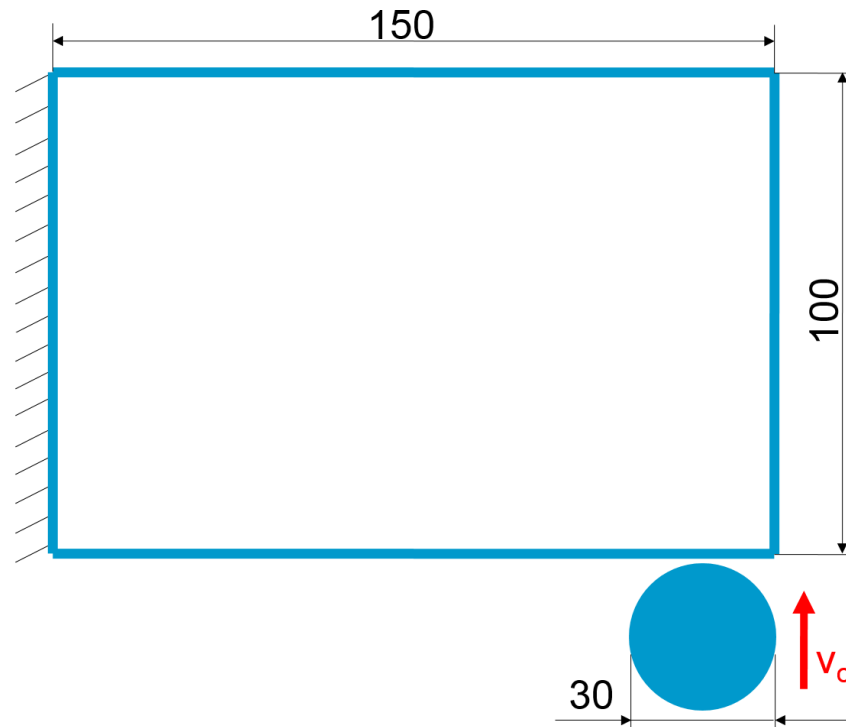




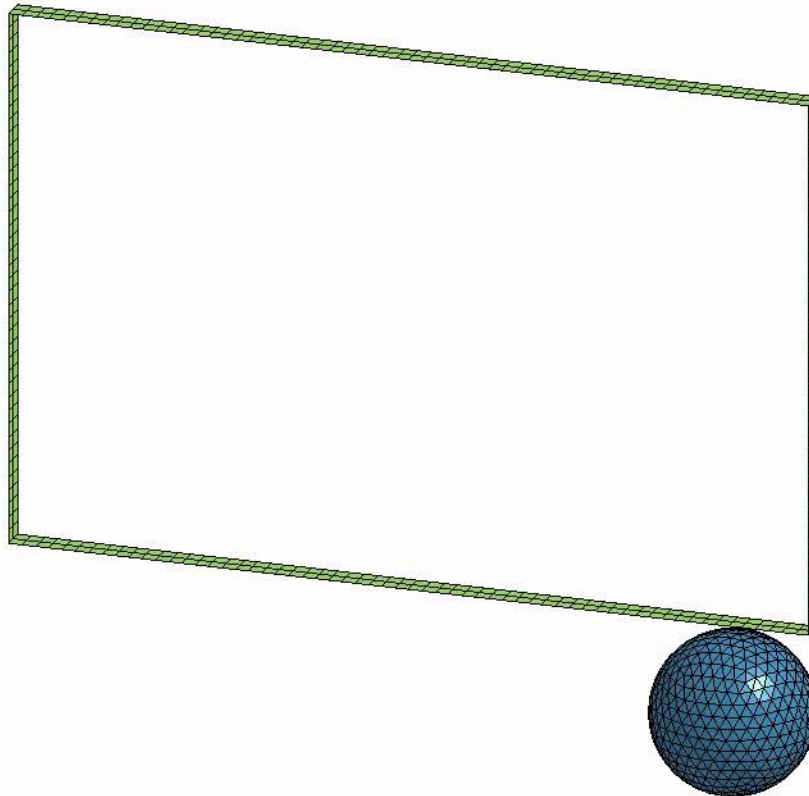
Anwendungsbeispiele

Anwendungsbeispiel 1 - Optimierung einer Rahmenstruktur

- Rahmen: 150 x 100 x 5 mm, auf einer Seite eingespannt
- Kugel: 15 mm Radius, 1,757 kg Masse, 6,25 m/s Geschwindigkeit
- Non design space: eingespannte Seite, untere Seite



Anwendungsbeispiel 1a: Startentwurf



Masse:

0,0405 kg

Intrusion:

45,68 mm

Maximale

Beschleunigung:

248,5 m/s²

Wanddicke:

6,00 mm

Definition des Optimierungsproblems

- Anwendungsbeispiel 1a:

minimiere maximale Intrusion, Masse $\leq 0,027$ kg (66,7 % des Startentwurfs)

- Anwendungsbeispiel 1b:

minimiere maximale Beschleunigung, Intrusion ≤ 49 mm

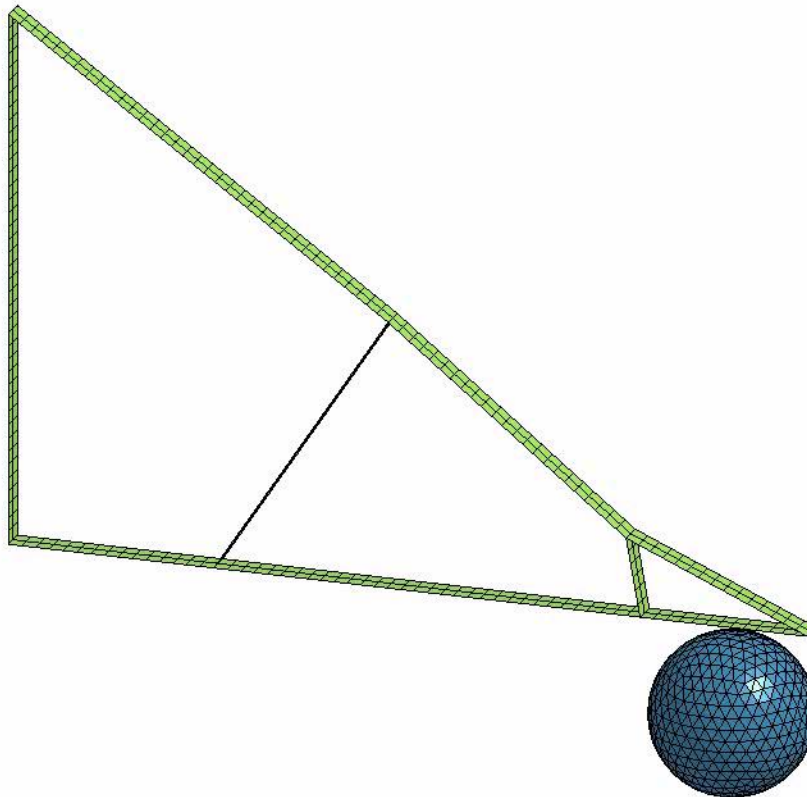
- Fertigungsrestriktionen:

$0,5$ mm \leq Wanddicke ≤ 10 mm

Abstand der Wände ≥ 10 mm

Verbindungswinkel der Wände $\geq 15^\circ$

Anwendungsbeispiel 1a : Ergebnis der Optimierung



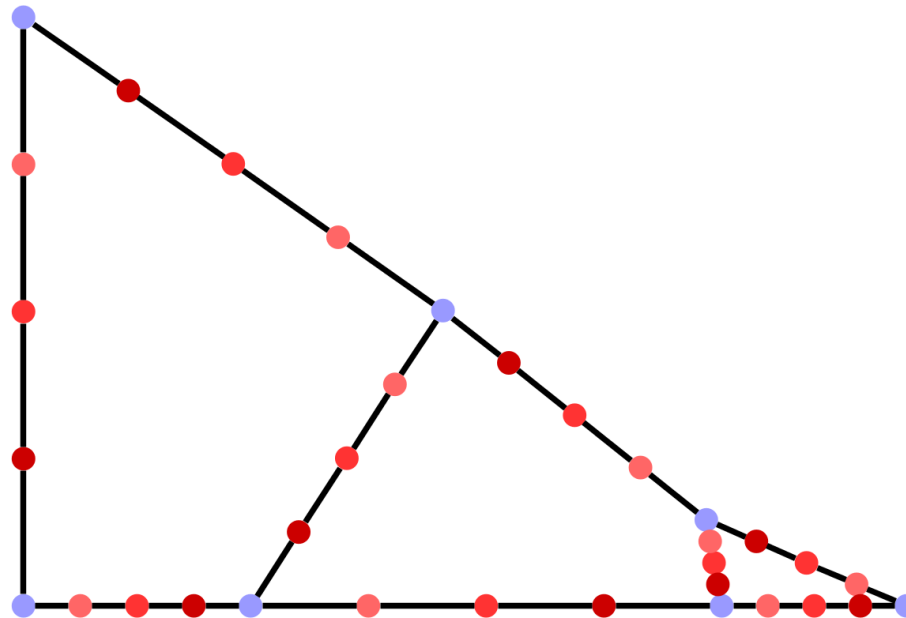
Masse
($m \leq 0.0270$ kg)
0,0270 kg

Intrusion:
6,98 mm (-84.7 %)

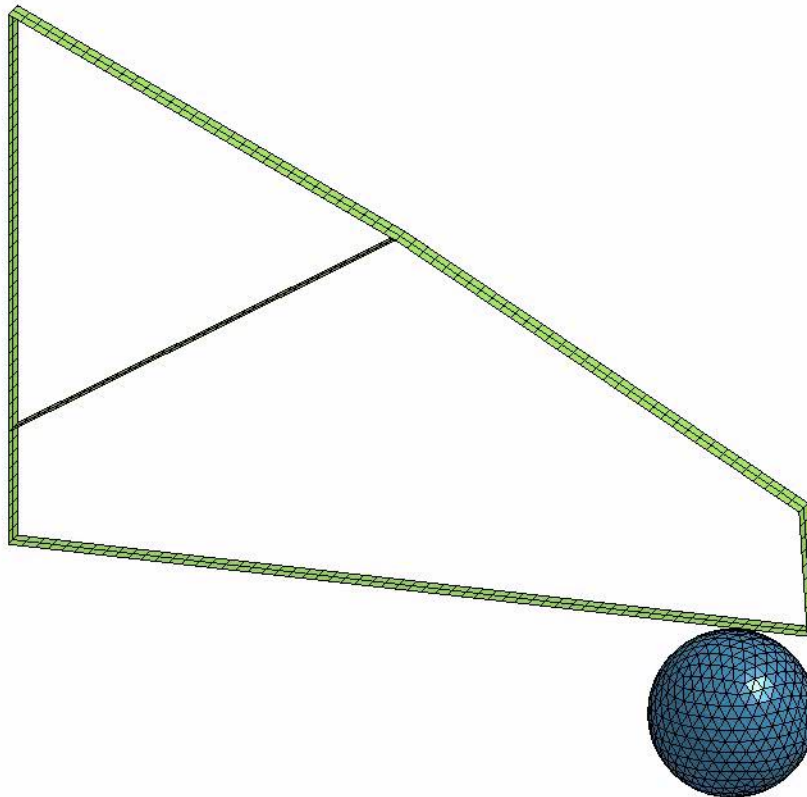
Wanddicke:
3,95 mm

Anwendungsbeispiel 1a : Optimierungshistorie

Iteration 8



Anwendungsbeispiel 1b : Ergebnis der Optimierung



Masse:

0,0251 kg (-38.0 %)

Intrusion

($d \leq 49$ mm):

48,85 mm

Maximale

Beschleunigung:

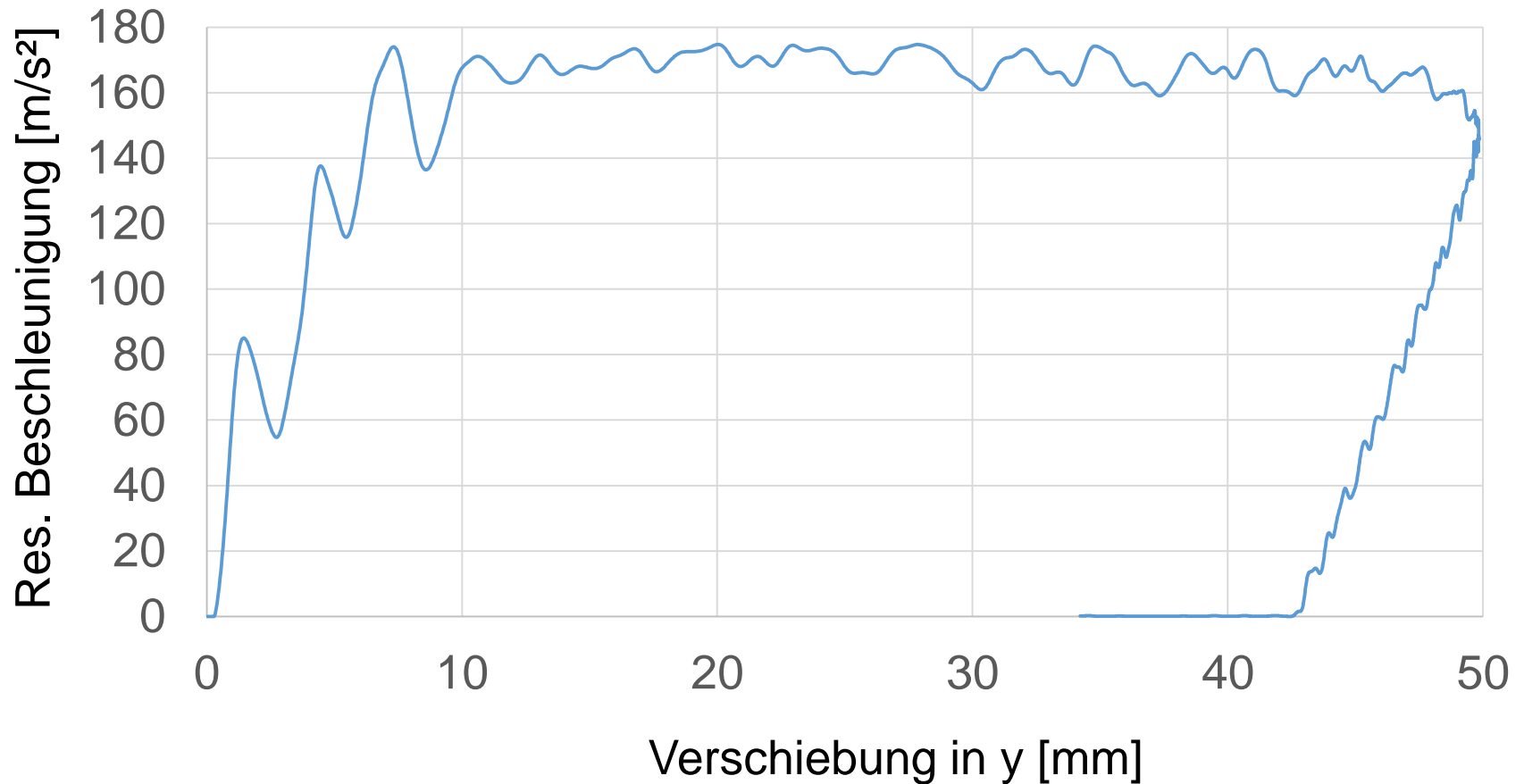
174,8 m/s² (-29.7 %)

Wanddicke:

3,54 mm

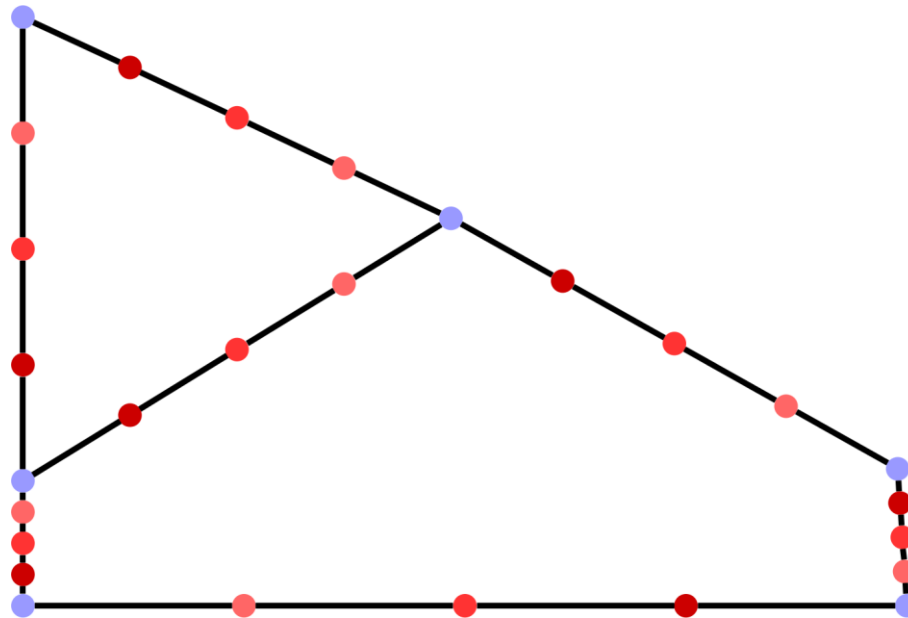
Anwendungsbeispiel 1b : minimiere Beschleunigung

Beschleunigung-Weg-Kurve



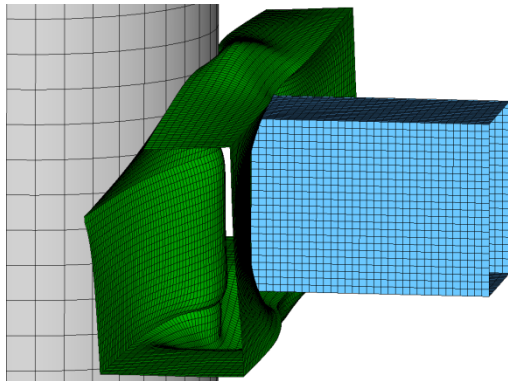
Anwendungsbeispiel 1b : Optimierungshistorie

Iteration 2

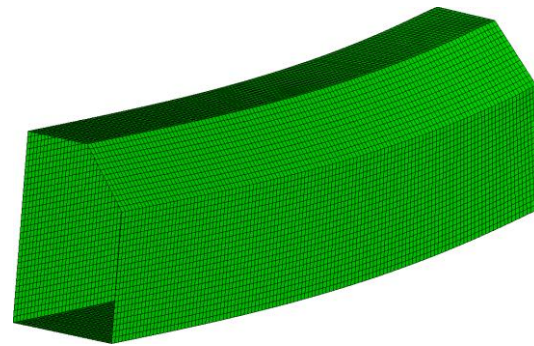


Anwendungsbeispiel 2 - Schwellermodell

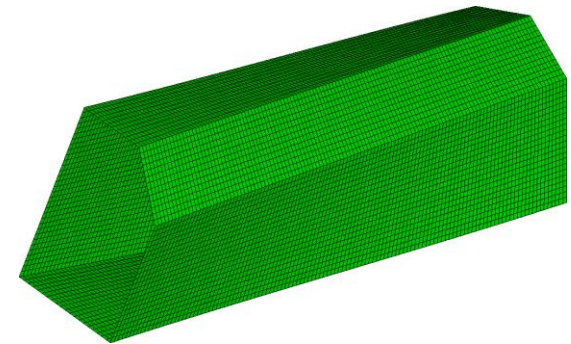
- Ein 600 mm langer Ausschnitt eines Fahrzeugschwellers wird in drei Lastfällen belastet.



Pfahlaufprall



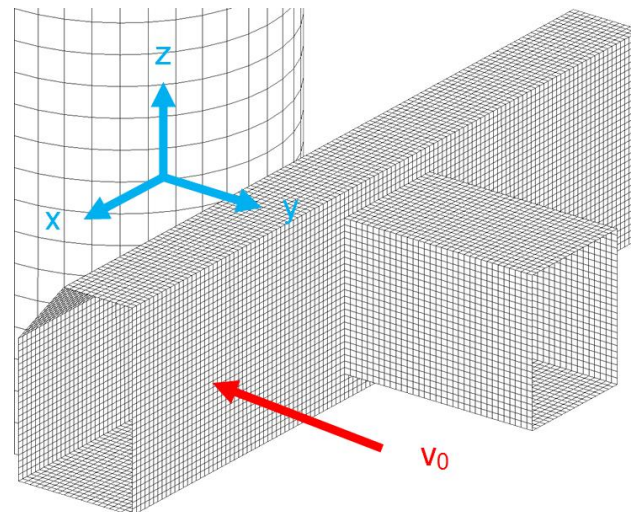
Biegung



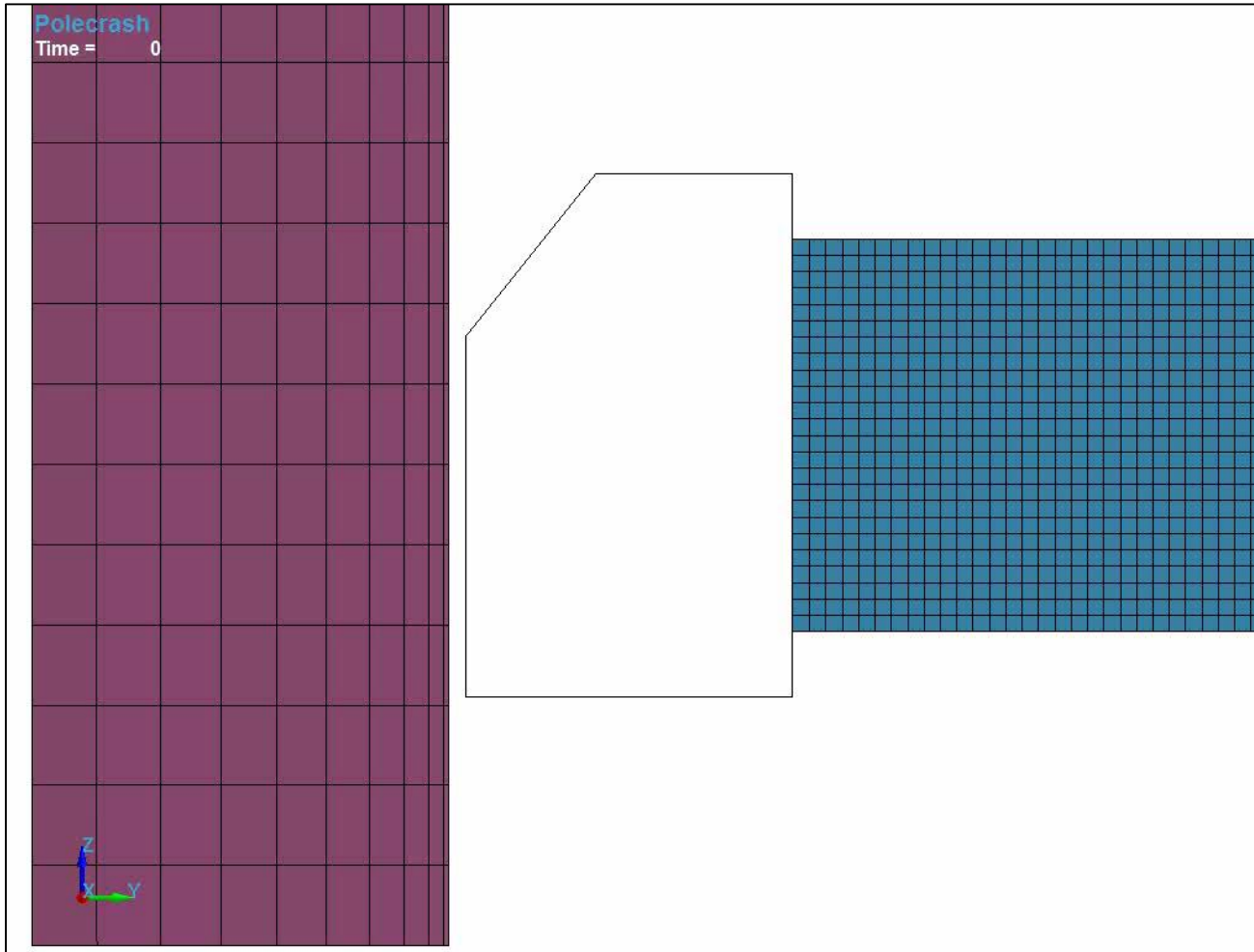
Torsion

Anwendungsbeispiel 2 - Lastfall 1

- Pfahlaufprall mit 29 km/h angelehnt an EURO-NCAP.
- Eine starre Wand befindet sich am Ende des Sitzquerträgers, welche mit 85 kg die Struktur in Richtung Pfahl drückt.
- Am Ende des Sitzquerträgerstücks sind alle Freiheitsgrade außer der Translation in y gesperrt.



Anwendungsbeispiel 2: Startentwurf



Maximale Kraft:
55,82 kN

Intrusion:
69,03 mm

Masse:
2,80 kg

Wanddicke:
3,50 mm

Definition des Optimierungsproblems

- Zielfunktion:

minimiere die maximale Reaktionskraft

- Funktionale Restriktionen:

Masse $\leq 2,801$ kg

Intrusion (Pfahlaufprall) ≤ 70 mm

Steifigkeit (Biegung) ≥ 50 % Steifigkeit (Biegung) Startentwurf

Steifigkeit (Torsion) ≥ 50 % Steifigkeit (Torsion) Startentwurf

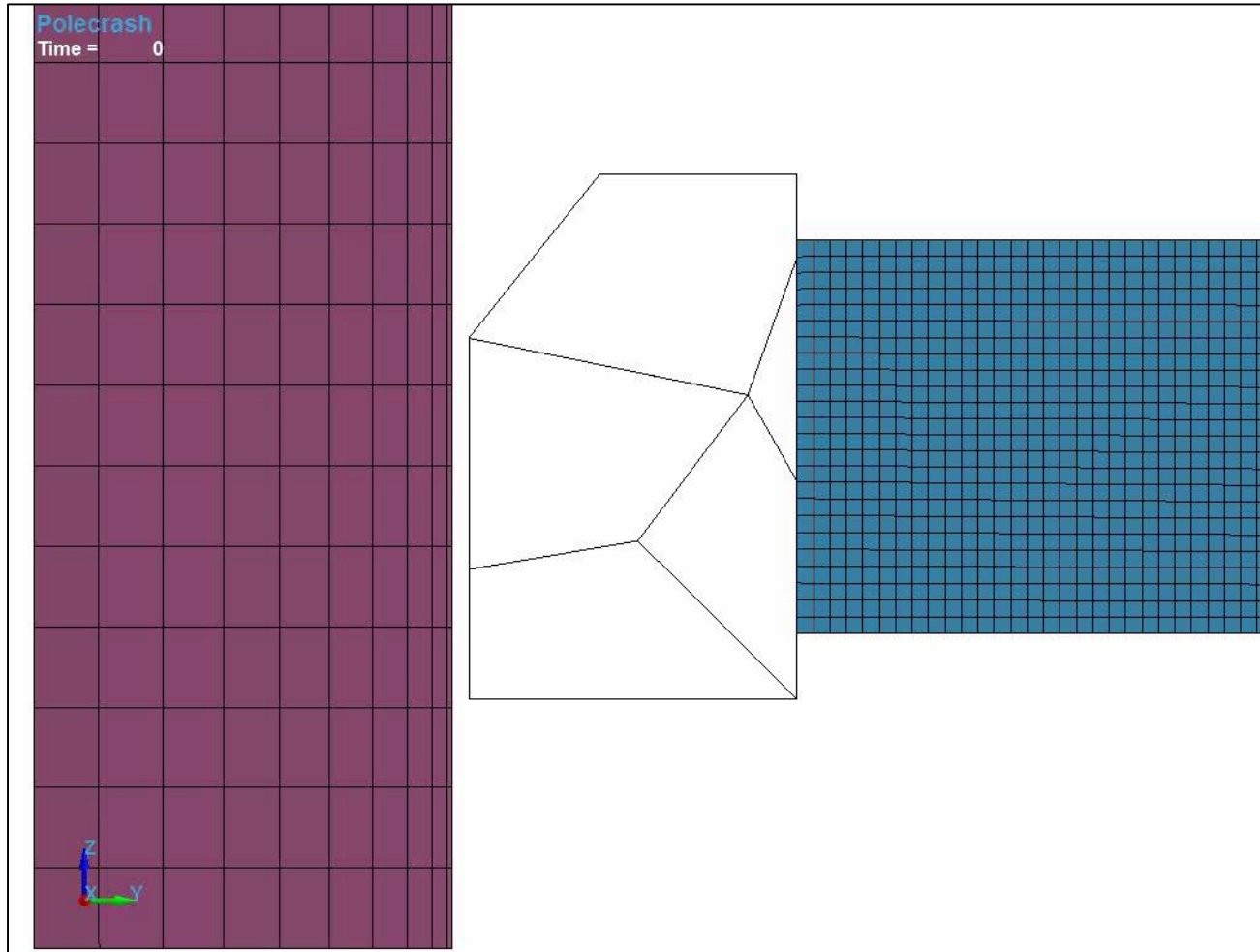
- Fertigungsrestriktionen:

$1,6$ mm \leq Wanddicke $\leq 3,5$ mm

Abstand der Wände ≥ 10 mm

Verbindungswinkel der Wände $\geq 15^\circ$

Anwendungsbeispiel 2: Ergebnis der Optimierung



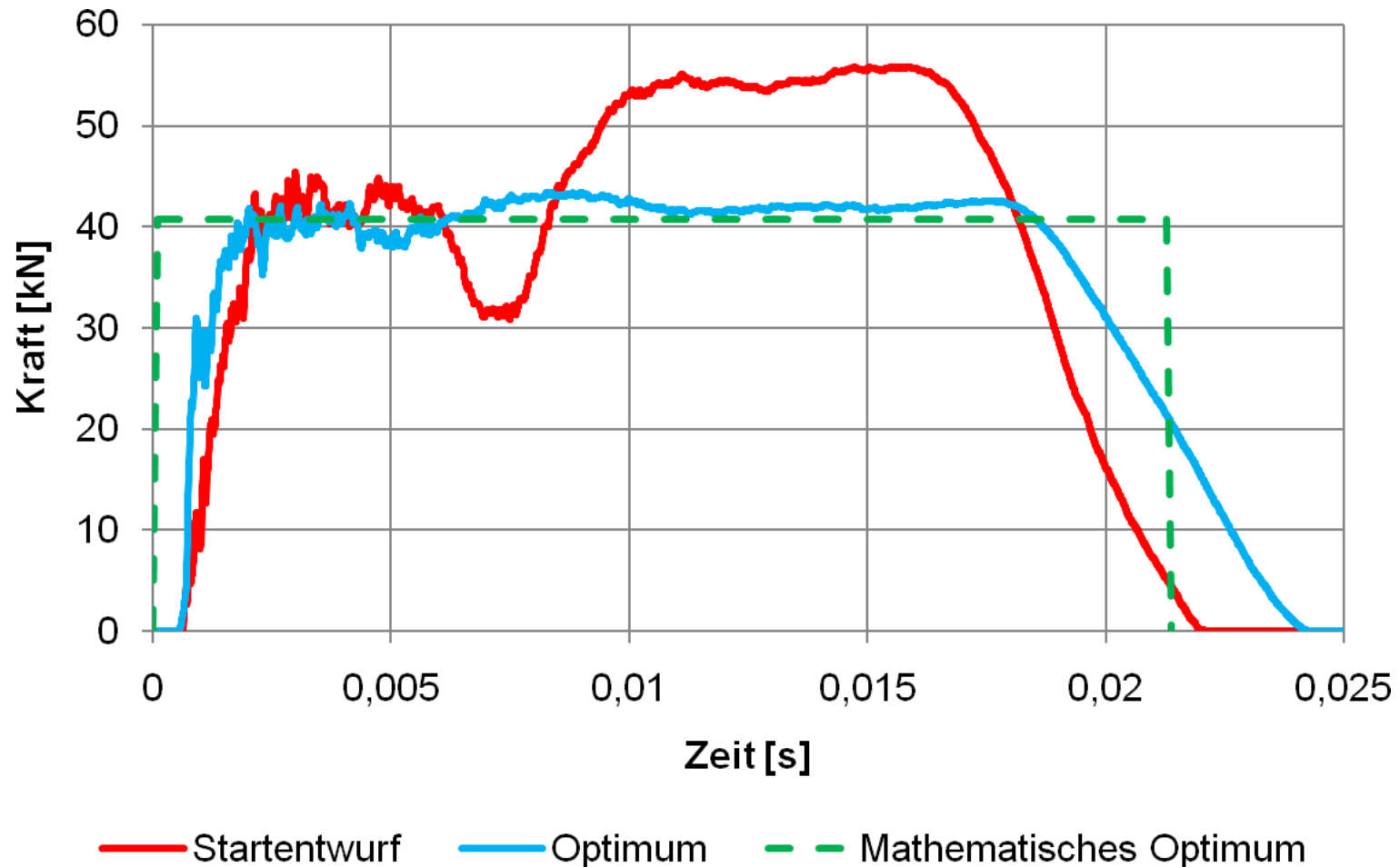
Maximale Kraft:
43,42 kN (-22,2 %)

Intrusion
($d \leq 70$ mm):
69,95 mm

Masse:
2,36 kg (-15,7 %)

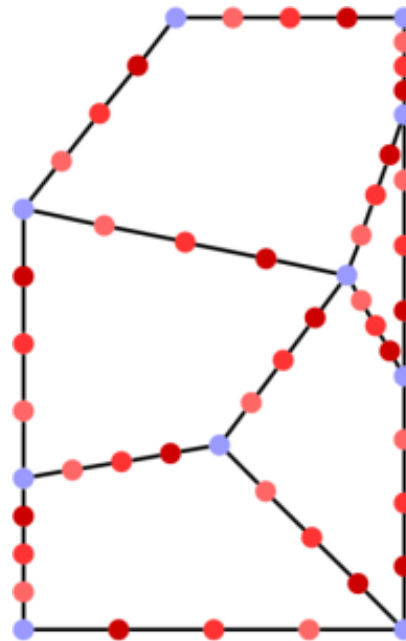
Wanddicke:
2,75 mm

Anwendungsbeispiel 2 - Vergleich der Kraft-Zeit-Verläufe



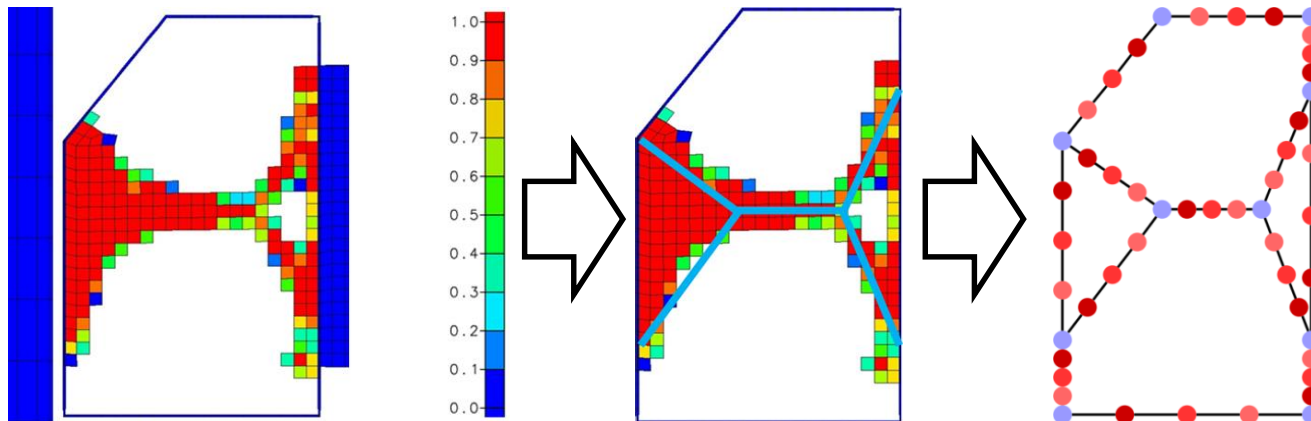
Anwendungsbeispiel 2 - Optimierungshistorie

Iteration 2

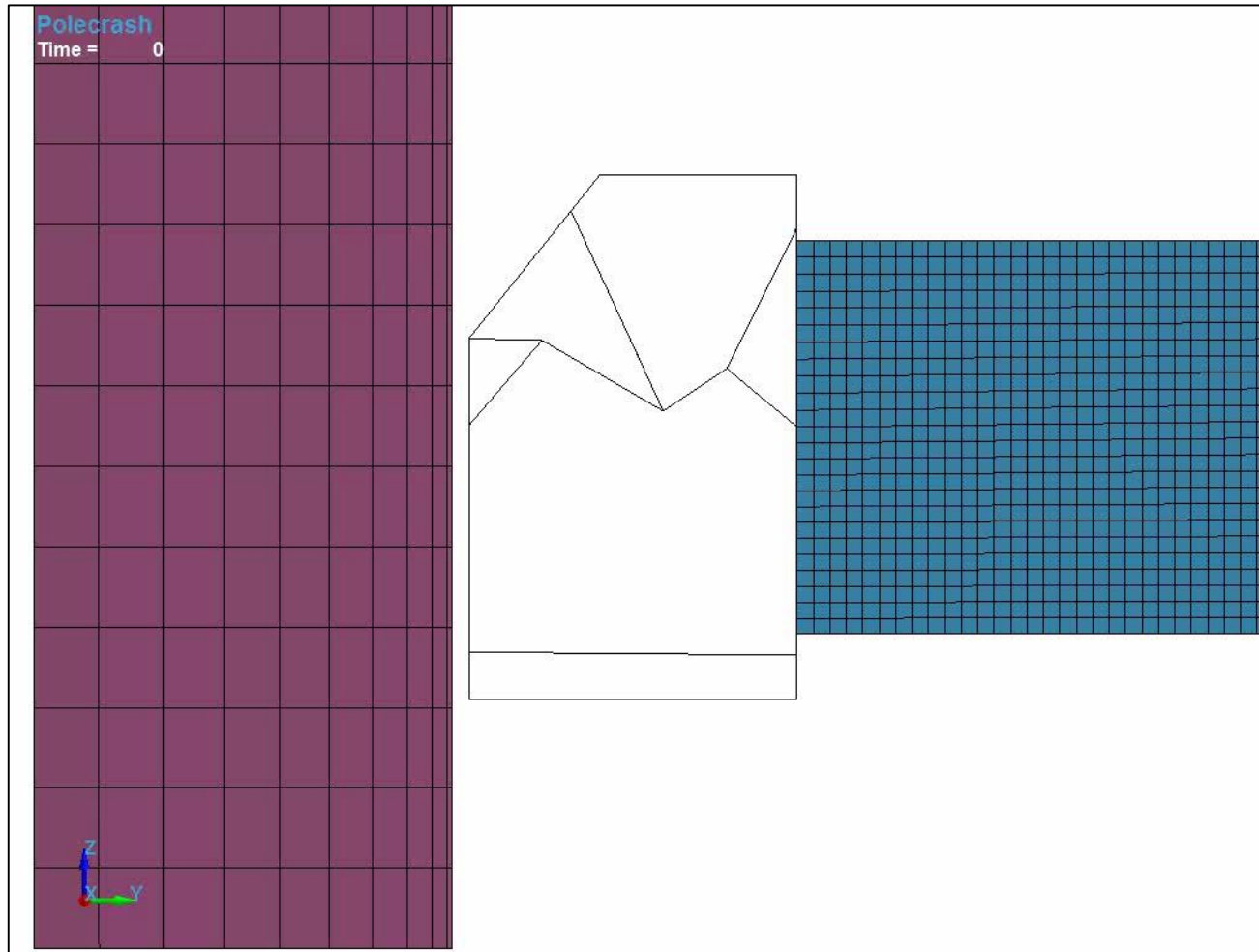


Verwendung eines voroptimierten Startentwurfs

- Verwendung eines durch die HCA-Methode voroptimierten Startentwurfs anstelle eines leeren Schwellers.
- Das Ergebnis der HCA-Methode ist nicht dünnwandig und muss interpretiert werden



Verwendung eines voroptimierten Startentwurfs



Maximale Kraft:
43,48 kN (-22,1 %)

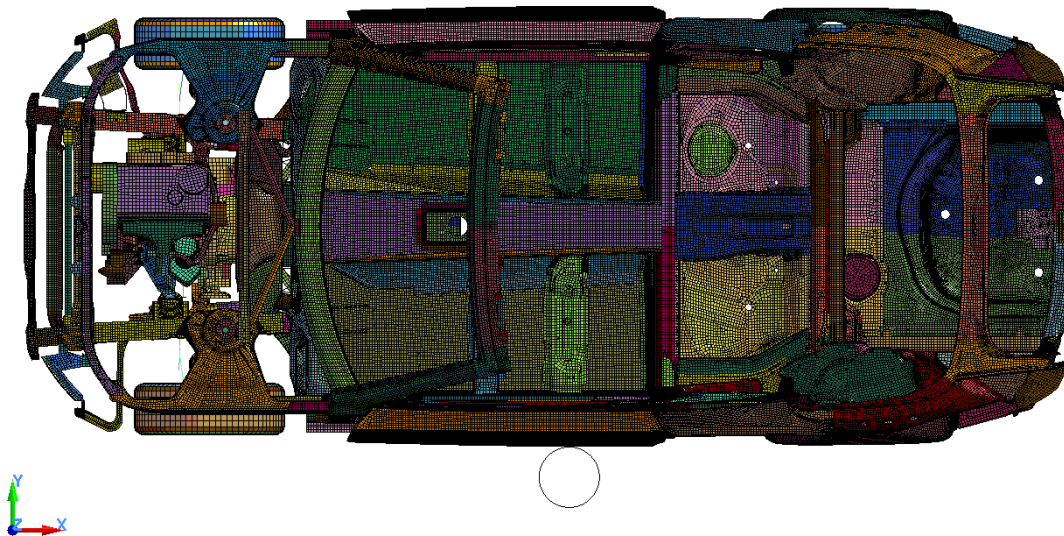
Intrusion
($d \leq 70$ mm):
70,00 mm

Masse:
2,42 kg (-13,6 %)

Wanddicke:
1,73 mm

Anwendungsbeispiel 3 - Gesamtfahrzeugmodell

- Analysemodell: Gesamtfahrzeugmodell von VW-Osnabrück
- Der Lastfall ist angelehnt an den EURO-NCAP Pfahlaufprall



- Optimiert werden soll der Profilquerschnitt des Schwellers im Hinblick auf eine möglichst geringe Masse.

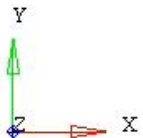
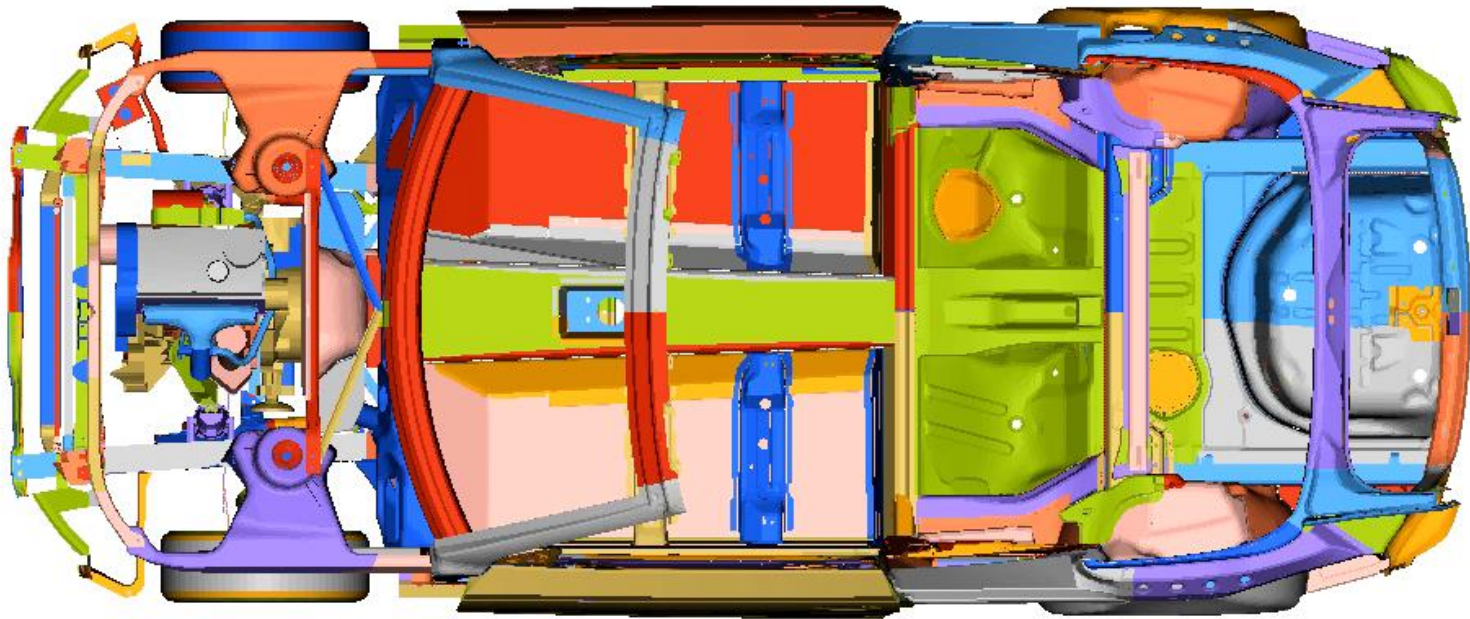
Anwendungsbeispiel 3 - Strukturverhalten

Model info: LF_Pfahl

Result: D:\VW-OS_Modell\VW-OS_seite_pfahl\VW-OS_Graechen_Referenzmodell_RBE_Rechnung\d3plot

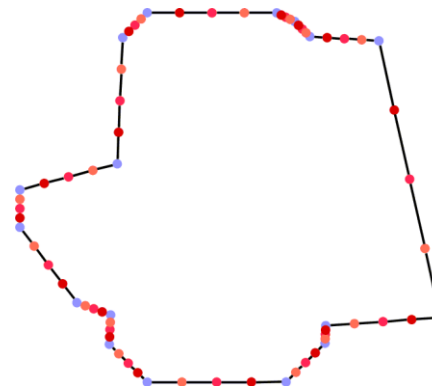
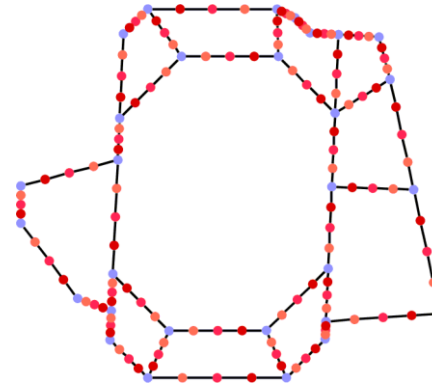
Loadcase 1 : Time = 0.000000

Frame 1



Anwendungsbeispiel 3 - Start- und Referenzentwurf

- Als Referenzentwurf wird der im Modell vorliegende Profilquerschnitt des Schwellers verwendet.
- Als Startentwurf dient ein hohler Profilquerschnitt mit einer Wanddicke von 6 mm.



Definition des Optimierungsproblems

- Zielfunktion:

minimiere Masse

- Funktionale Restriktion:

Überlebensraum $\geq 471,8$ mm

(Abstand Türinnenblech/Tunnelrand, unverformt: 651,4mm)

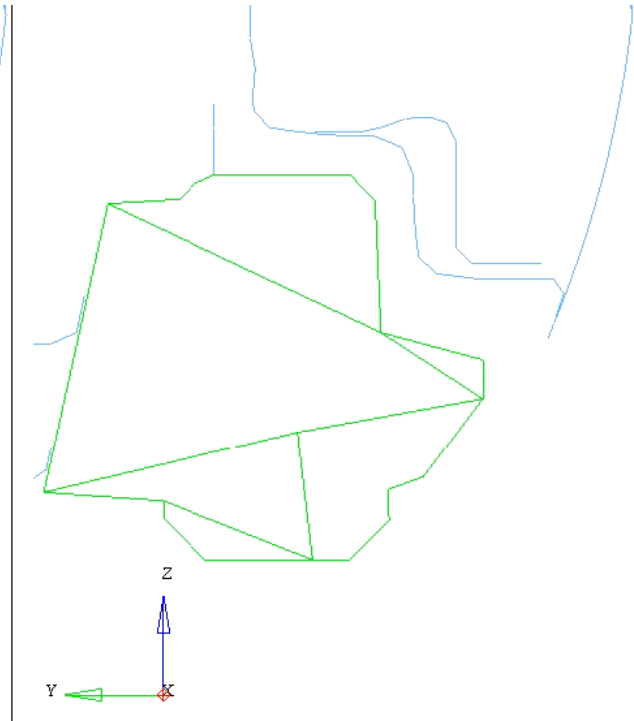
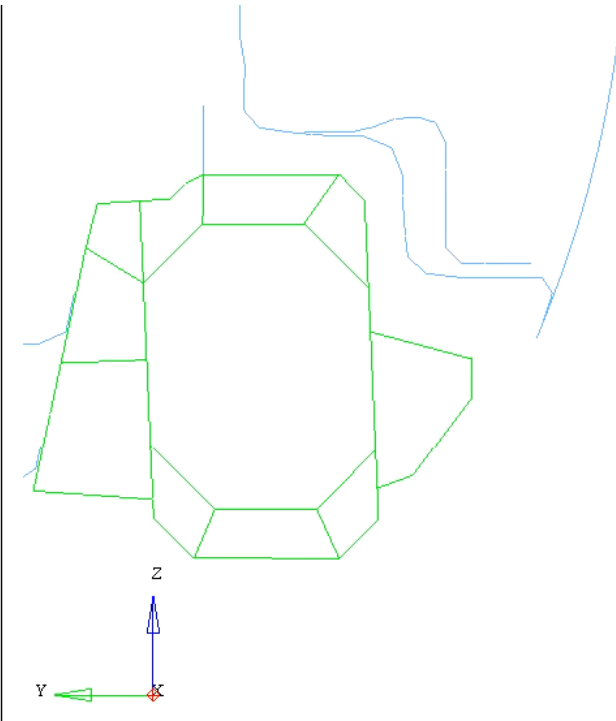
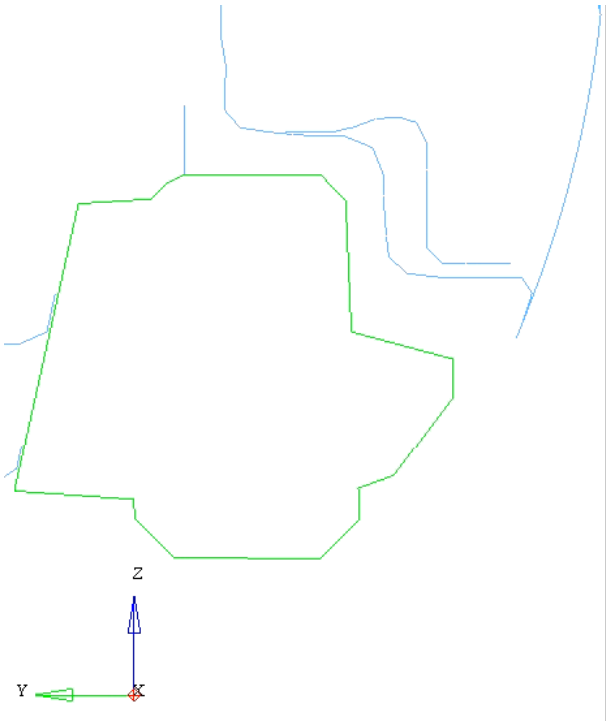
- Fertigungsrestriktionen:

$1,6 \text{ mm} \leq \text{Wanddicke} \leq 6 \text{ mm}$

Abstand der Wände ≥ 10 mm

Verbindungswinkel der Wände $\geq 15^\circ$

Start- (li.), Referenzentwurf (mi.) und Optimum (re.)



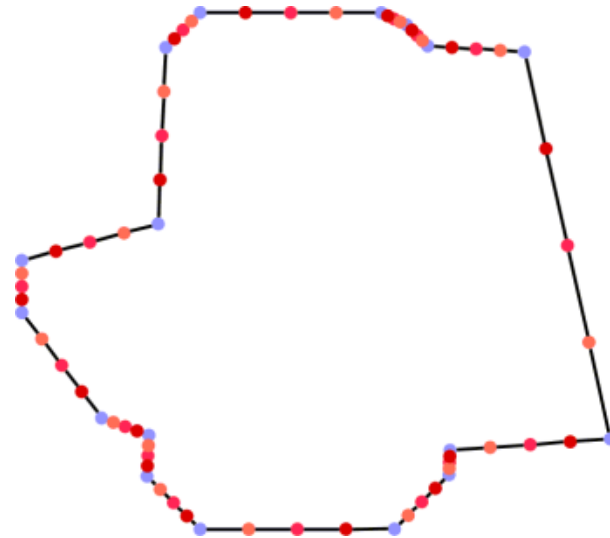
Masse: 17,403 kg
Überlebensraum: 479,5 mm
Wanddicke: 6,00 mm

Masse: 14,552 kg
Überlebensraum: 471,8 mm
Wanddicke: 2,00 – 2,75 mm

Masse: 12,768 kg
Überlebensraum: 475,2 mm
Wanddicke: 2,42 mm

Anwendungsbeispiel 3a - Optimierungshistorie

Iteration 8





Anwendungsbeispiel 3b – Reduktion der Funktionsaufrufe

- In einer zweiten Optimierungsprozedur wird versucht ein ähnlich gutes Ergebnis mit weniger Funktionsaufrufen so erreichen

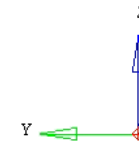
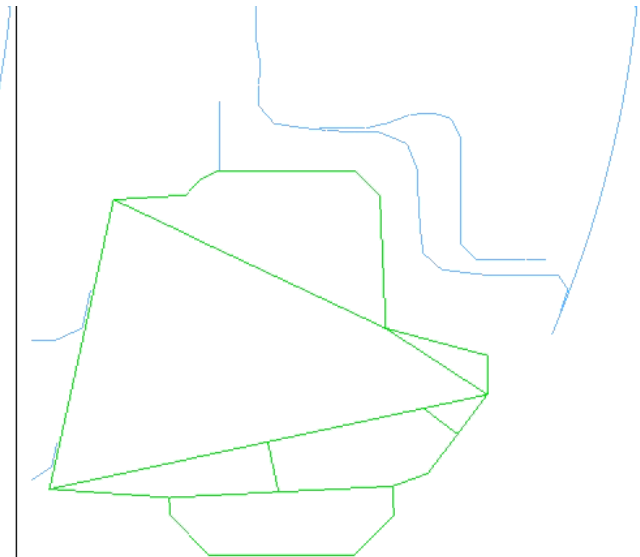
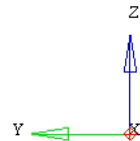
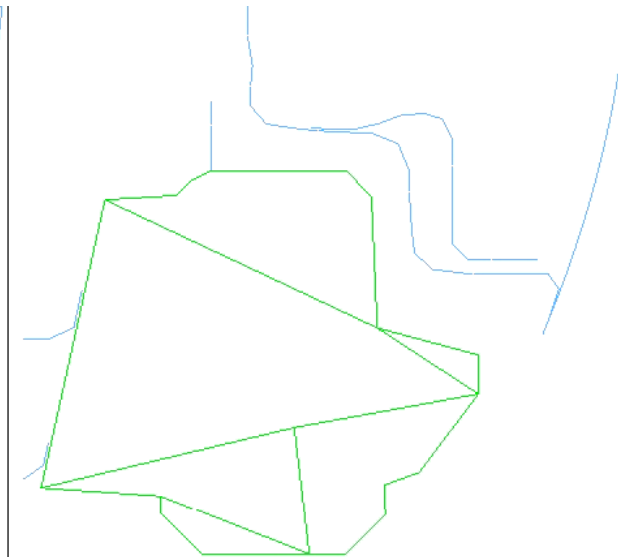
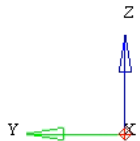
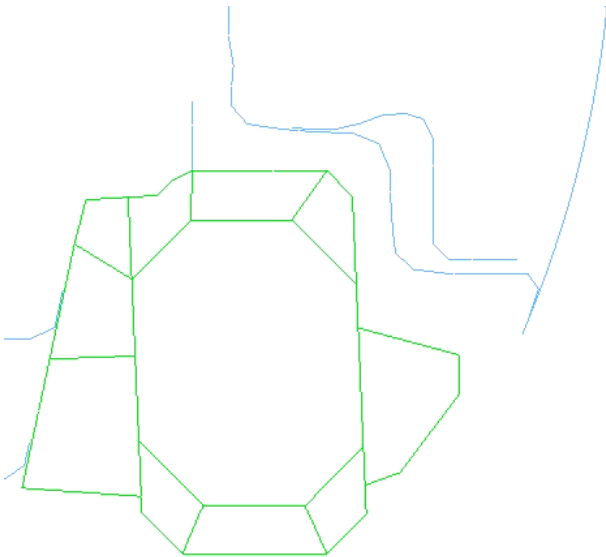
Phase 1:

- Maximierung des Überlebensraums mit konstanter Masse
- Keine Gestaltoptimierung und Dimensionierung in den inneren Optimierungsschleifen -> nur ein Funktionsaufruf pro Iteration

Phase 2:

- Dimensionierung mit einer Wanddicke
- Minimierung der Masse mit einer Restriktion des Überlebensraums
- Lediglich 21 Funktionsaufrufe

Referenzentwurf (li.), Optimum 3a (mi.), Optimum 3b (re.)



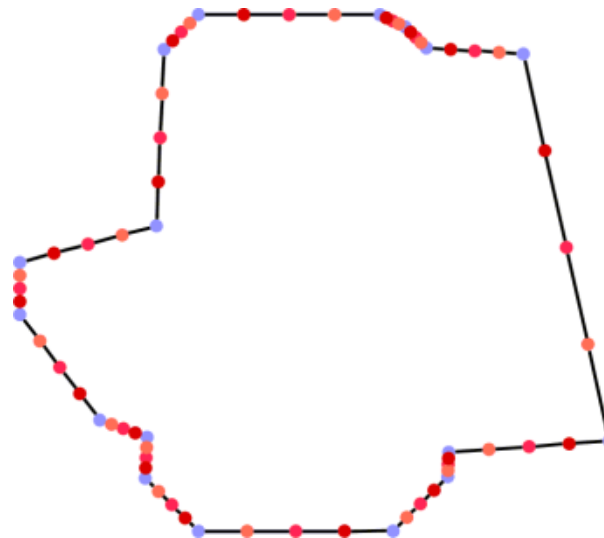
Masse: 14,552 kg
Überlebensraum: 471,8 mm
Wanddicke: 2,00 – 2,75 mm

Masse: 12,768 kg
Überlebensraum: 475,2 mm
Wanddicke: 2,42 mm

Masse: 13,054 kg
Überlebensraum: 473,8 mm
Wanddicke: 2,45 mm

Anwendungsbeispiel 3b - Optimierungshistorie

Iteration 9





Software TOC

- Live-Demo



Zusammenfassung



Zusammenfassung

- Mit der Methode der Graphen- und Heuristikbasierten Topologieoptimierung ist die Optimierung von Crash-belasteten Profilstrukturen möglich.
- Dynamische Steuerung der Funktionsaufrufe
- Beliebiger Startentwurf möglich
- Zukünftige Arbeiten haben weitere Effizienzsteigerungen zum Ziel

Veröffentlichungen

- Schumacher A, Ortmann C (2011) Topology Optimization - Research State of the Art. Proceeding of the Automotive CAE Grand Challenge 2011, Hanau, Deutschland, 19 - 20 April
- Schumacher A, Ortmann C (2012) Regelbasiertes Verfahren zur Topologieoptimierung von Profilquerschnitten für Crashlastfälle. Beitrag auf den Karosseriebautagen Hamburg 2012 12. Internationale ATZ-Fachtagung, Hamburg, Deutschland, 10.-11. Mai
- Schumacher A, Ortmann C (2012) Crashtoptimierung - Vergleich Intuition und Algorithmus. Mobiles Fachzeitschrift für Konstrukteure 37: 58-60
- Schumacher A, Ortmann C (2012) Topology optimization of crash structures - creativity versus computer-based algorithms. Beitrag auf dem 11. LS-DYNA Forum, Ulm, Deutschland, 9.-10. Oktober
- Ortmann C, Schumacher A (2012) Methodik der Graphen- und heuristikbasierten Topologieoptimierung zur Auslegung von crashbelasteten Fahrzeugstrukturen. Beitrag auf der SIMVEC Berechnung, Simulation und Erprobung im Fahrzeugbau 2012, Baden-Baden, Deutschland, 20.-21. November
- Ortmann C, Schumacher A (2013) Graph and heuristic based topology optimization of crash loaded structures. Struct Multidisc Optim 47(6): 839-854
- Ortmann C, Schumacher A (2013) Hierarchical topology and shape optimization of crash-loaded profile structures. Proceeding of the 10th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, ISSMO, Orlando, Florida, USA, 19 – 24. Mai
- Schumacher A, Ortmann C (2013) Rule generation for optimal topology changes of crash-loaded structures, Proceeding of the 10th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, ISSMO, Orlando, Florida, USA, 19 – 24. Mai