



Finden von Regeln für topologische Änderungen von Crashstrukturen

Axel Schumacher, Uni Wuppertal

Workshop „Nichtlineare Topologieoptimierung crashbeanspruchter
Fahrzeugstrukturen“

Stuttgart, 23. September 2013



Inhalt

- Herausforderungen bei der Craschauslegung
- Ablauf einer regelbasierten Optimierung
- Brainstorming-Meetings bei Crash-Experten
- Realisierte Heuristiken



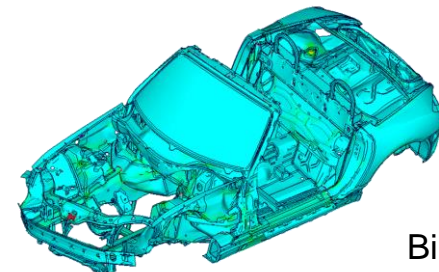
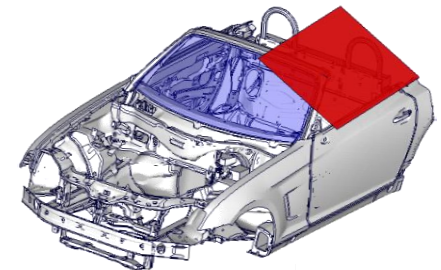
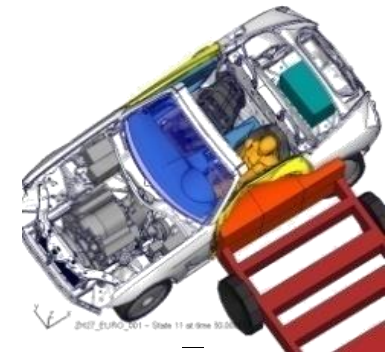
Herausforderungen bei der Crashauslegung

Übliche Restriktionen im Crash

- Berücksichtigung spezieller Beschleunigungswerte, z.B.

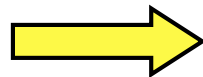
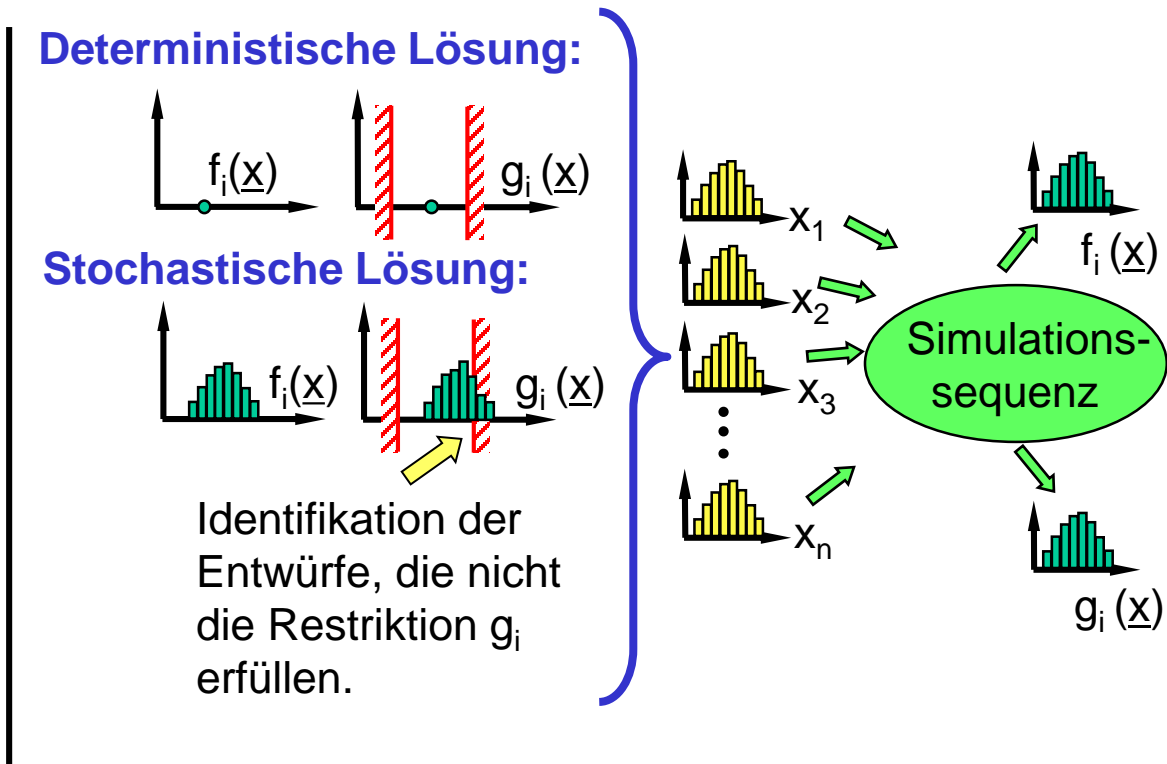
$$\text{HIC} = \max \left\{ \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2,5} \cdot (t_2 - t_1) \right\}$$

- Energieabsorption,
- Spezielle Kraftniveaus,
- Glatte Beschleunigungs-Zeit-Kurven,
- Spezielle Lastpfade für spezielle Lastfälle,
- Hohe Steifigkeiten in speziellen Bereichen,
z.B. Komponenten im Kraftfluss im Fahrgastbereich
- Geringe Steifigkeiten in speziellen Bereichen,
z.B. an den möglichen Kopfaufprallpositionen,
- Spezielle Sicherheitskriterien,
z.B. Dichtigkeit des Kraftstoffsystems



Eigenschaften von Crashstrukturen

- keine glatten Struktureigenschaften
- wenig verlässliche Materialdaten
- Streuung der Materialdaten
- netzabhängige Ergebnisse
- physikalische Verzweigungspunkte
- rechnerische Verzweigungspunkte
- Simulationsmodelle für ein bestimmtes Design



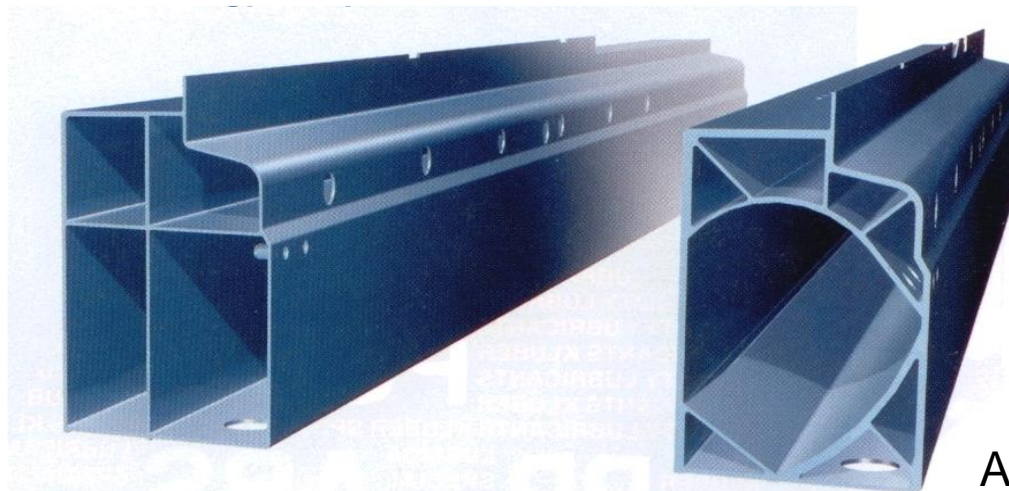
In der mathematischen Optimierung haben wir es also mit diesen Problemen zu tun.



Ablauf einer regelbasierten Optimierung

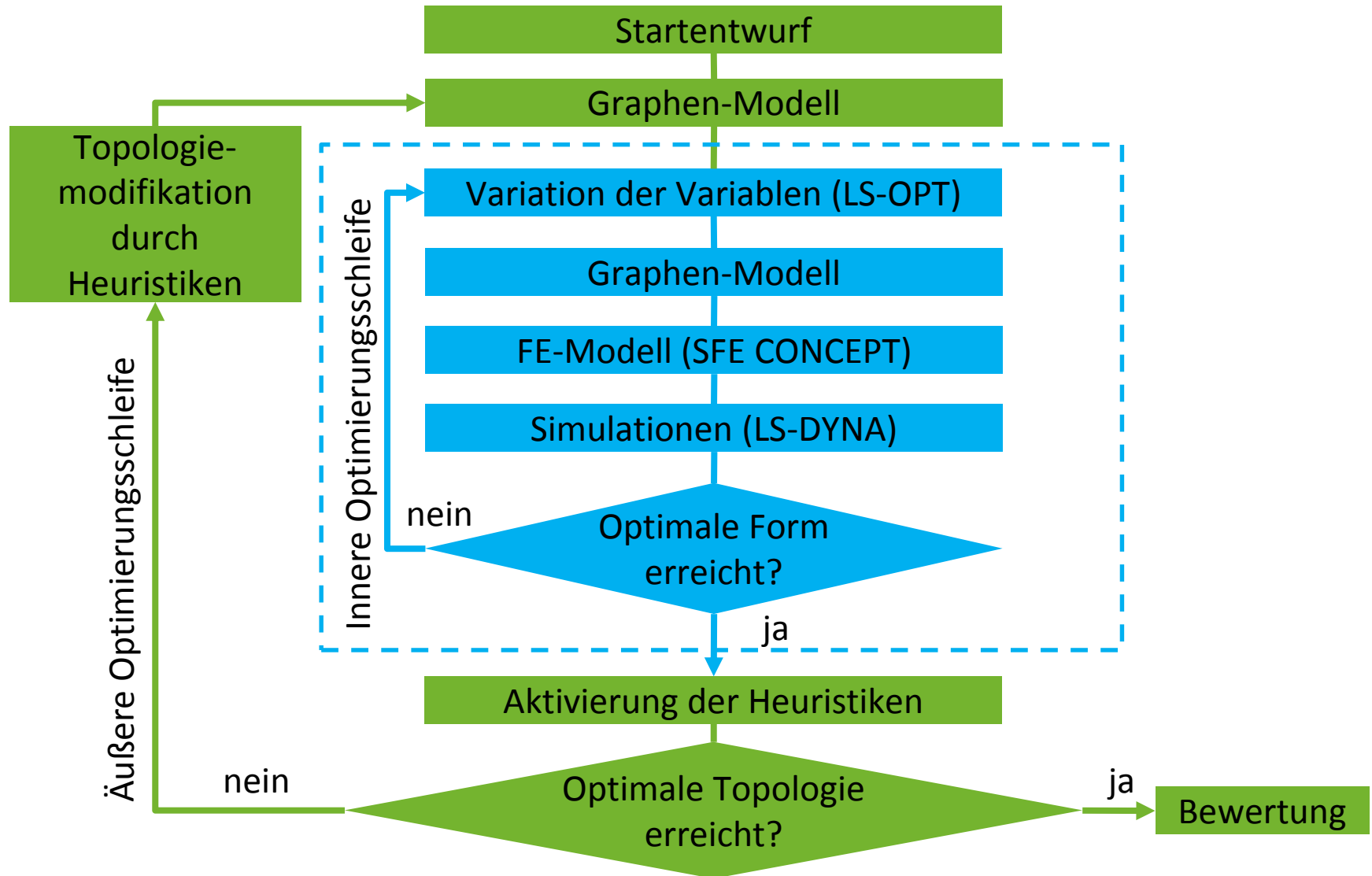
Anwendung: Strangpressprofile

- Große Relevanz in der Craschauslegung
- Große Design-Freiheit
- Relativ geringer Aufwand in der Geometrieerstellung durch die Verwendung eines konstanten Profilquerschnitts



Audi AG

Ablauf der regelbasierten Optimierung

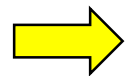




Brainstorming-Meetings bei Crash-Experten

Beteiligte Experten aus folgenden Unternehmen:

- Adam Opel AG,
- Porsche AG,
- Daimler AG
- Volkswagen Osnabrück GmbH



Sammlung von mehr als 150 unterschiedlichen
Gestaltungsregeln für crashbelastete Strukturen

Sortierte Gestaltungsregeln (1)

Erhöhung der Steifigkeit von Crashstrukturen:

- Abstützen von Komponenten mit Stabilitätsproblemen
- Erhöhung von Eckensteifigkeiten
- Einbau von Y-Strukturen
- Aufteilen hoch belasteter Strukturen
- Keine gekrümmten Formen
- Ausnutzen des Bauraums
- Füllern großer Leerräume
- Kreisstrukturen bei Torsionsbelastung
- ...

Reduzierung der Steifigkeit von Crashstrukturen:

- Einbau von Crashelementen
- Einbau gekrümmter Komponenten
- Einbau dreieckiger Aussparungen
- ...

Sortierte Gestaltungsregeln (2)

Vereinfachungen:

- Löschen unbelasteter Komponenten
- Verwendung von möglichst wenigen Kammern
- ...

Ausgleichen der Energiedichte:

- Homogenisierung der Größen der Beulfelder
- Verwendung ähnlicher Wanddicken
- ...

Anforderungen aus der Fertigung:

- Verwendung bestimmter Wanddicken
- Verwendung bestimmter Kreuzungswinkel der Komponenten
- Verwendung bestimmter Mindestabstände der Komponenten
- ...



Realisierte Heuristiken

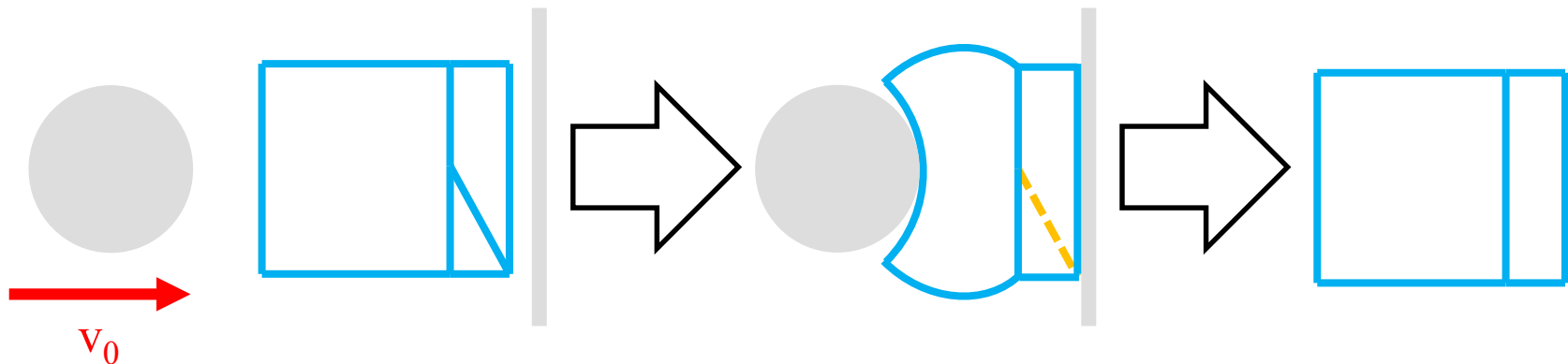


Arbeitsweise der Heuristiken

- Heuristiken benutzen Simulationsdaten (Verschiebungen, Geschwindigkeiten, Energien, etc.) der letzten Iteration.
- Typen von Heuristiken:
 - Heuristiken zur Topologieänderung
 - Heuristiken zur Formänderung und Dimensionierung
- Heuristiken zur Topologieoptimierung konkurrieren untereinander und werden über die Berechnung der Vorschläge bewertet.
- Die Heuristiken sind entstanden aus der Algorithmierung von intuitiv verwendetem Expertenwissen.

Heuristik - „Entfernen unbelasteter Wände“

- Entfernung von in Relation zum Rest der Struktur wenig beanspruchten inneren Wänden.



- Kriterium hierfür ist die über die gesamte Länge der Struktur aufsummierte innere Energiedichte der Wände.

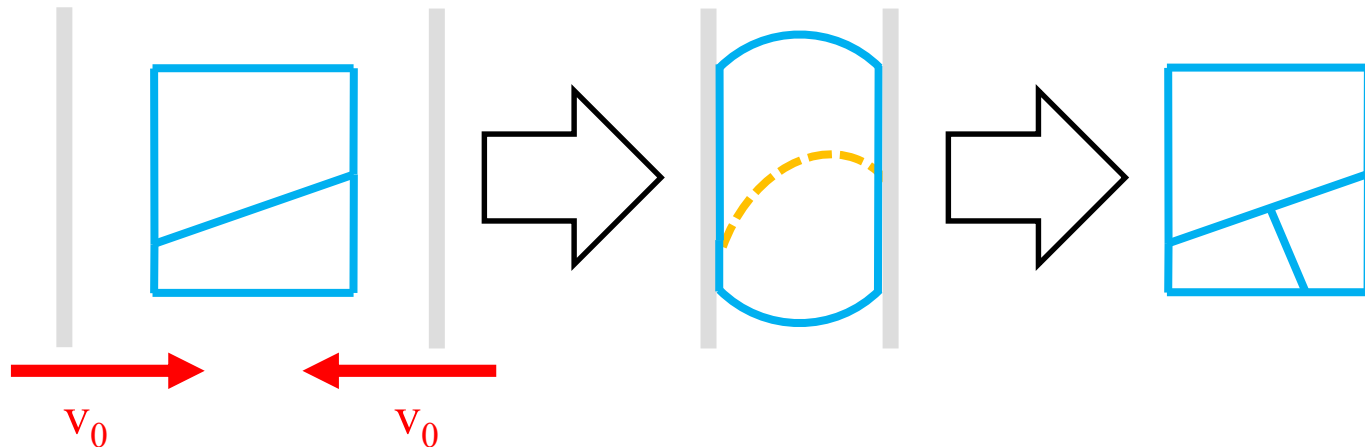
$$u_{b_i, l_k} = \frac{U_{b_i, l_k, \max}}{V_{b_i}}$$

$$u_{b_i, l_k}^* = \frac{u_{b_i, l_k}}{\frac{1}{I} \cdot \sum_{i=1}^I u_{b_i, l_k}}$$

$$u_{b_i}^* = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K u_{b_i, l_k}^*$$

Heuristik - „Abstützen sich schnell deformierender Wände“

- Abstützen einer Wand, welcher sich mit höheren Geschwindigkeiten deformiert als der Rest der Struktur.



- Homogenisierung des Beul- oder Deformationsverhaltens der Struktur.
- Anwendung: a) Wände, die der Intrusion durch andere Körper wenig Widerstand entgegen setzen,
b) instabile Wände.
- Verwendete Simulationsdaten: Geschwindigkeitsvektoren FE-Knoten.

Identifikationsformel der Heuristik

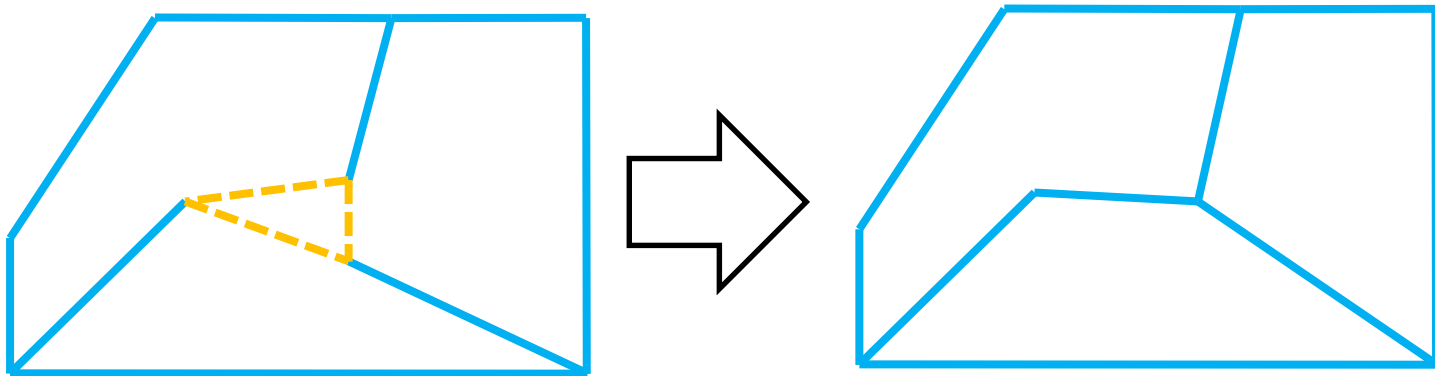
„Abstützen sich schnell deformierender Wände“

$$\alpha_{b_i, l_k} = \frac{1}{\left(L_{b_i, l_k}^2 - L_{b_i, l_k}\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot N_{l_k}} \cdot \sum_{n=1}^{N_{l_k}} \sum_{l=1}^{L_{b_i, l_k}} \sum_{m=(l+1)}^{L_{b_i, l_k}} \frac{\Delta v_{e_{lm}, b_i, l_k, t_n}^2}{\Delta d_{e_{lm}, b_i, l_k}}$$

$$\alpha_{b_i, l_k}^* = \frac{\alpha_{b_i, l_k}}{\frac{1}{I} \cdot \sum_{i=1}^I \alpha_{b_i, l_k}}$$

Heuristik - „Entfernen kleiner Kammern“

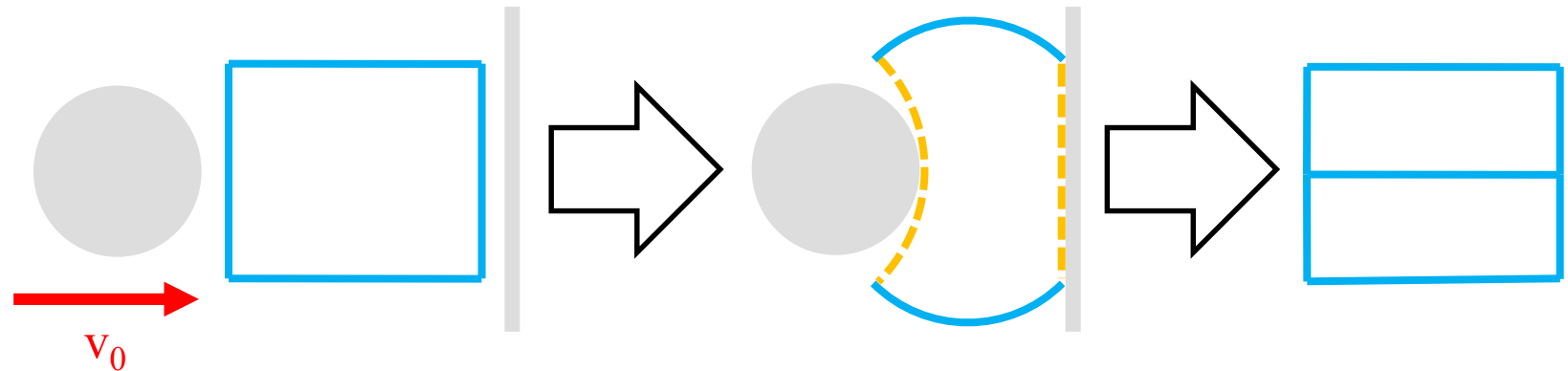
- Entfernung von Kammern, welche aus drei Wänden bestehen, von denen mindestens einer eine definierte Mindestlänge unterschreitet.



- Es werden nur dreiseitige Kammern behandelt, da während der Gestaltoptimierung eine n-seitige in eine 3-seitige Kammer reduziert werden kann, eine weitere Reduzierung aber nur über eine Topologieänderung möglich ist.

Heuristik - „Ausgleichen der Energiedichte“

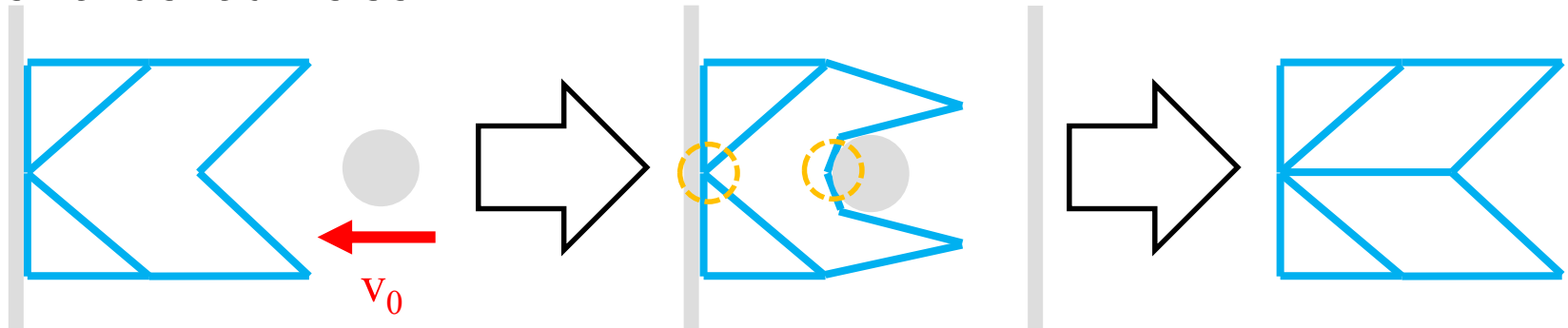
- Es wird ein Paar aus Wänden miteinander verbunden, die eine möglichst hohe Differenz an aufgenommener Energie aufweisen.



- Durch das Verbinden von belasteten mit unbelasteten Bereichen soll die Verteilung der inneren Energiedichte homogenisiert werden.
- Verwendete Simulationsdaten: über die gesamte Länge der Struktur aufsummierte innere Energiedichte der Wände.

Heuristik - „Ausnutzen des Deformationsraums“

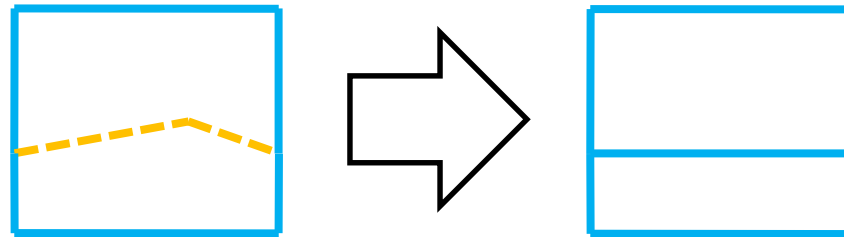
- Es werden Punkte des Profilquerschnitts miteinander verbunden, die in Relation zum Anfangsabstand eine hohe relative Verschiebung zueinander aufweisen.



- Bessere Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Deformationsraums
- Verwendete Simulationsdaten: Verschiebungen der FE-Knoten in einer vorgegebenen Analyseebene.

Heuristik - „Glätten der Struktur“

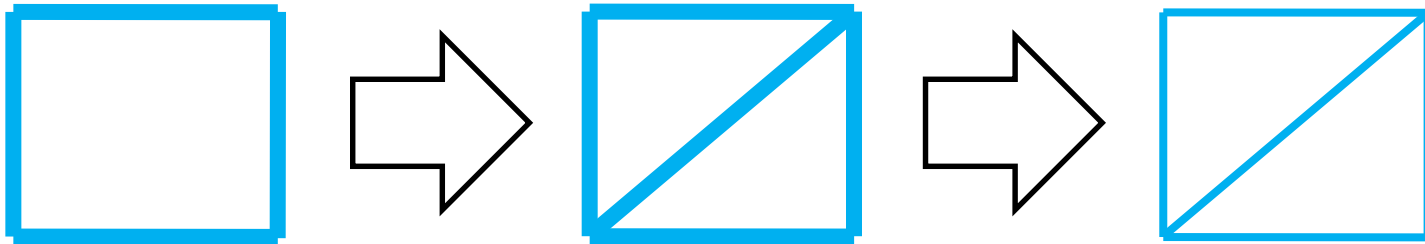
- Vereinfachung der Struktur durch das Glätten von Knicken im Inneren der Struktur.
- Hierdurch wird die Anzahl der Entwurfsvariablen in der inneren Optimierungsschleife reduziert.



- Konkurriert nicht mit anderen Heuristiken, da keine Topologieänderung.
- Aktivierung nach jeder Topologieänderung der Struktur.

Heuristik - „Skalieren der Wanddicken“

- Skalierung der Wanddicken der Struktur, um eine vorgegebene Masse zu erreichen.



- Konkurriert nicht mit anderen Heuristiken, da keine Topologieänderung.
- Aktivierung nach jeder Topologieänderung der Struktur, damit die Masse der Struktur sich durch die Topologieänderung nicht verändert.



Zusammenfassung und Diskussion

- Wenn mathematische Verfahren einsetzbar sind, werden sie eingesetzt.
- Sind mathematische Verfahren nicht vorhanden, können Heuristiken hilfreich sein.
- Es fehlen derzeit mathematische Verfahren zur Topologieoptimierung von Crashstrukturen. Hier kommen die Heuristiken zum Einsatz.
- Mathematische Verfahren in der inneren Schleife der Formoptimierung bewerten und korrigieren die Heuristiken.