belCAL
Ingenieurbüro Stuttgart

CES

Finite-Elemente-Simulation und Optimierung in der frühen Entwicklungsphase

Isabel Braun

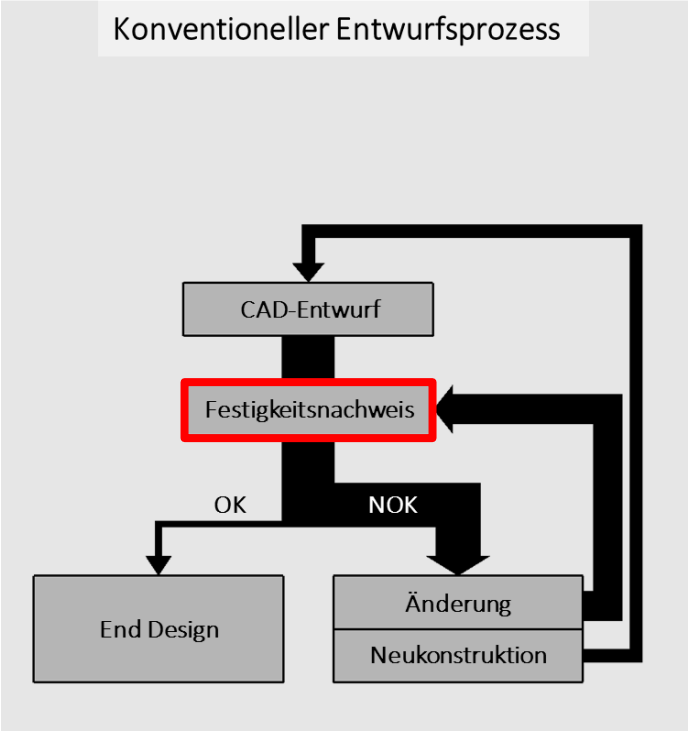
19. April 2018

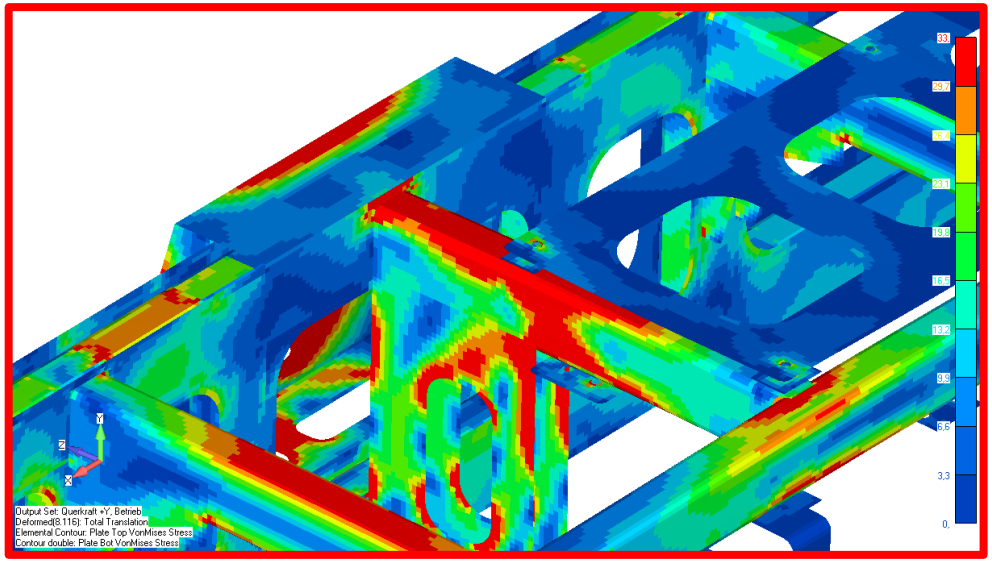
Inhalt

- Konventioneller und verbesserter Entwurfsprozess
- Grundlagen der Strukturoptimierung
  - Topologieoptimierung
  - Formoptimierung
  - Parameteroptimierung
- Praxisbeispiele für Strukturoptimierung
- Praxisbeispiel für manuelle Parameteroptimierung
- Topologieoptimierung
  - additive Verfahren
  - im Design
- Zusammenfassung

Einführung: Konventioneller Entwurfsprozess

CAD → FEM → CAD → FEM → CAD → Endlosschleife?





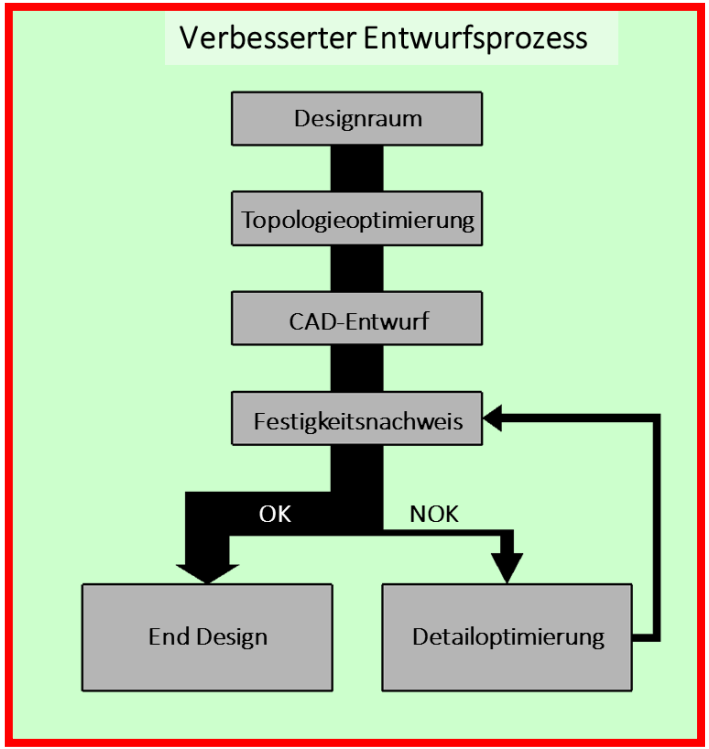
Versuch und Irrtum?

Verbesserter Entwurfsprozess

Vorauslegung mit

- Analytischen Hand-Rechnungen
- Finite-Elemente-Simulationen
- Optimierung

Versuch und Irrtum reduzieren!



Inhalt

- Konventioneller und verbesserter Entwurfsprozess
- Grundlagen der Strukturoptimierung
  - Topologieoptimierung
  - Formoptimierung
  - Parameteroptimierung
- Praxisbeispiele für Strukturoptimierung
- Praxisbeispiel für manuelle Parameteroptimierung
- Topologieoptimierung
  - additive Verfahren
  - im Design
- Zusammenfassung

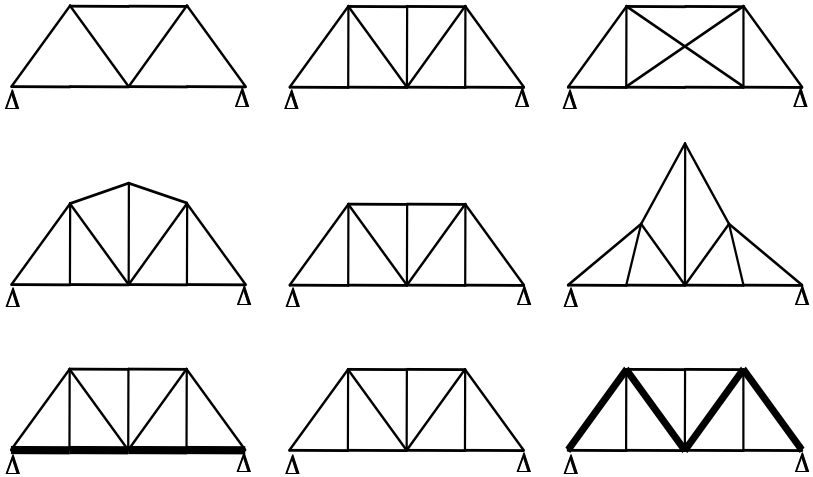
Optimierungsdisziplinen im Überblick

Ziel: Geforderte Steifigkeit und Festigkeit unter minimalem Materialeinsatz erreichen.

Topologie-optimierung: Wie sieht die ideale Lage und Anordnung der Strukturelemente aus?

Formoptimierung: Wie sieht die ideale Form der Struktur aus?

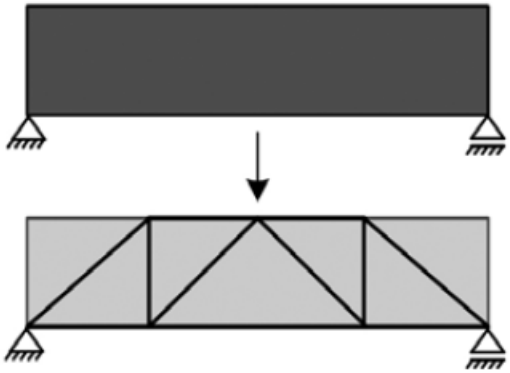
Parameter-optimierung: Welche Abmessungen müssen die eingesetzten Strukturelemente haben?



Grafiken: Prof. Dr.-Ing. Axel Schumacher
Structural optimization theory

Topologieoptimierung

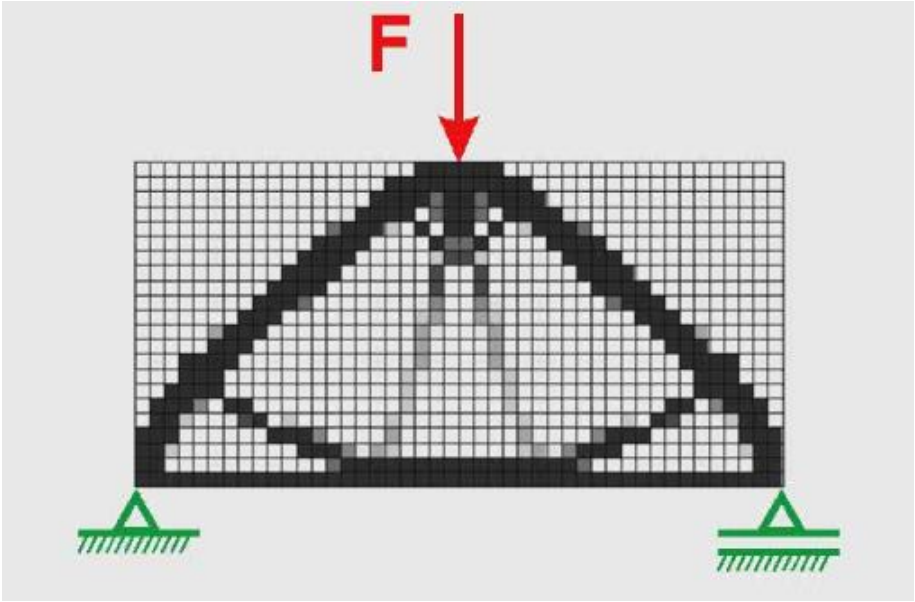
- Die Grundgestalt des Bauteils liegt zu Beginn der Optimierung noch nicht fest.
- Die Topologie ist entscheidend um Steifigkeits- und Festigkeitsvorgaben zu erfüllen.
- Die Topologieoptimierung muss daher in einem frühen Stadium des Entwurfsprozesses erfolgen.
- Für den gesamten Entwurfsraum des Bauteils wird mittels Simulation die optimale Materialverteilung ermittelt.
- In einem iterativen Prozess wird für jedes finite Element der Dichtewert variiert. Je feiner das zu Grunde liegende Netz ist desto feiner ist die so gefundene Struktur.
- Das Verfahren ist global, der gesamte verfügbare Entwurfsraum wird berücksichtigt.
- Das Ergebnis ist ein Designvorschlag, kein fertiges Bauteil.



Grafik: Patrick Forman
Topologische Optimierung von Betonstrukturen

Topologieoptimierung

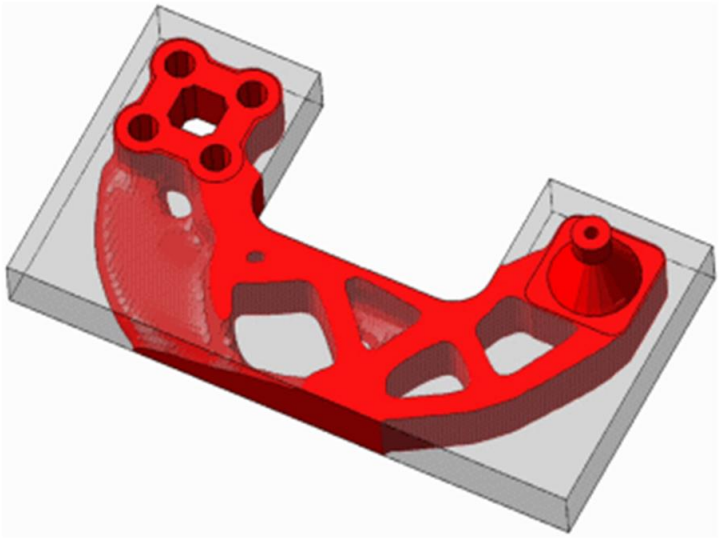
Akademisches Beispiel



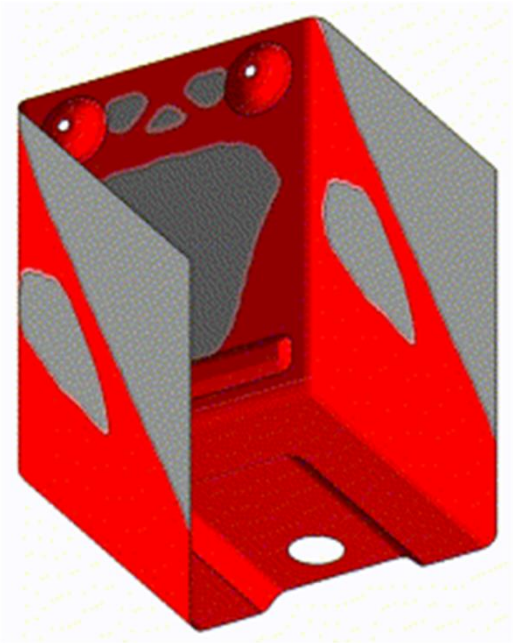
Grafik: ALTAIR Engineering GmbH

Topologieoptimierung: 3D und 2D

3D: Grundgestalt wird ermittelt
Materialentfernung dreidimensional



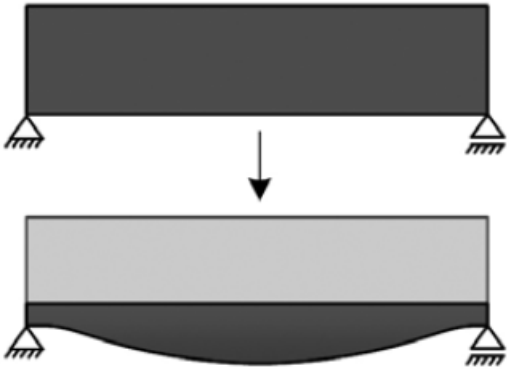
2D: Grundgestalt steht schon fest
Materialentfernung zweidimensional



Grafiken: ALTAIR Engineering GmbH

Formoptimierung

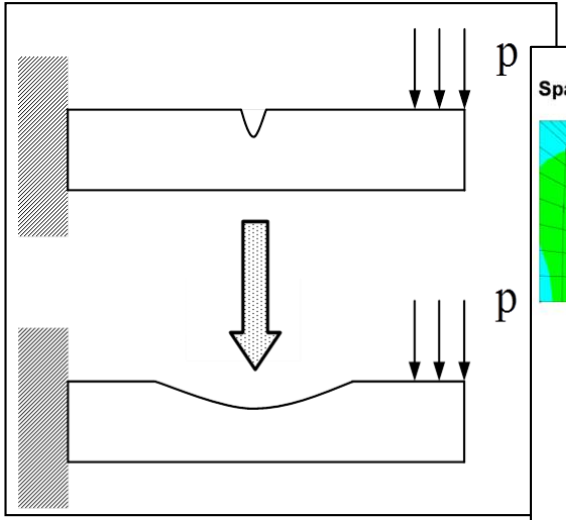
- Die Grundgestalt des Bauteils liegt schon fest.
- Es wird oft lokal (z.B. im Bereich einer Spannungsspitze) optimiert.
- Definierte Bereiche werden verändert, indem im FE-Modell die zugrunde liegenden Knoten verschoben werden.
- Dadurch wachsen oder schrumpfen die Elemente des Netzes.
- Spannungsspitzen können abgemildert werden.
- Steifigkeit kann erhöht werden.



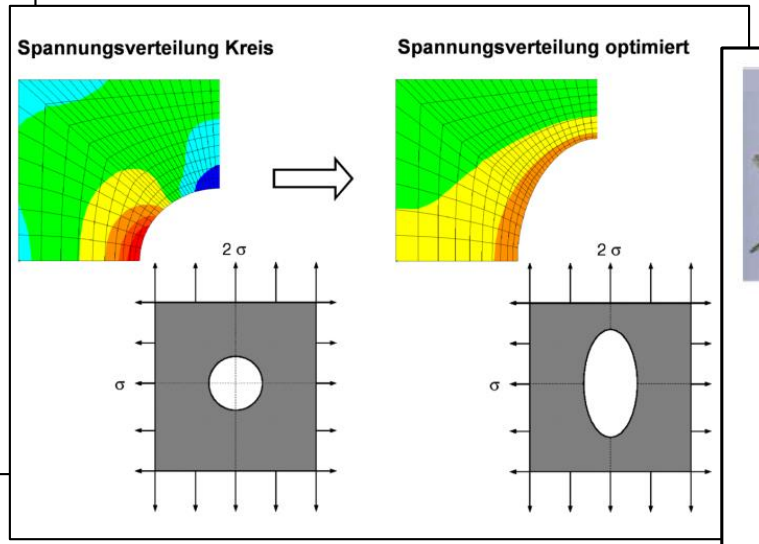
Grafik: Patrick Forman
Topologische Optimierung von Betonstrukturen

Formoptimierung

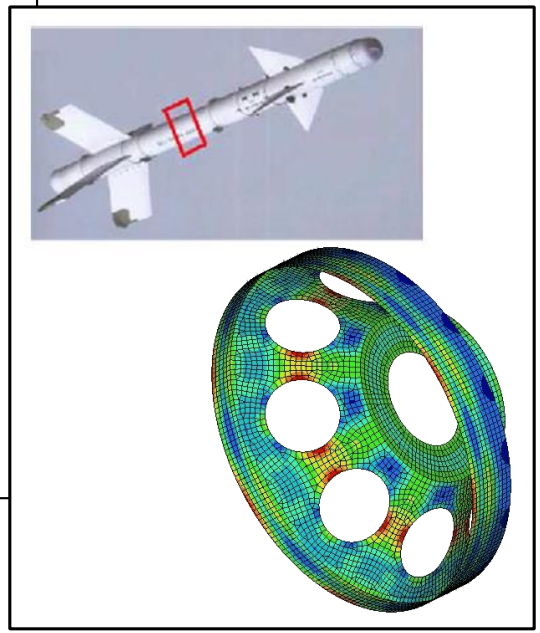
Free-Shape Optimierung



Grafik: Prof. Dr.-Ing. Axel Schumacher, Structural optimization theory



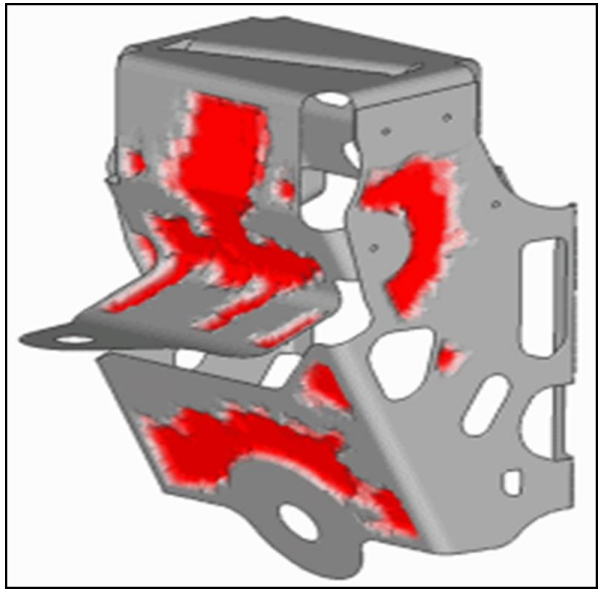
Grafik: L. Harzheim: Strukturoptimierung, Grundlagen und Anwendungen.

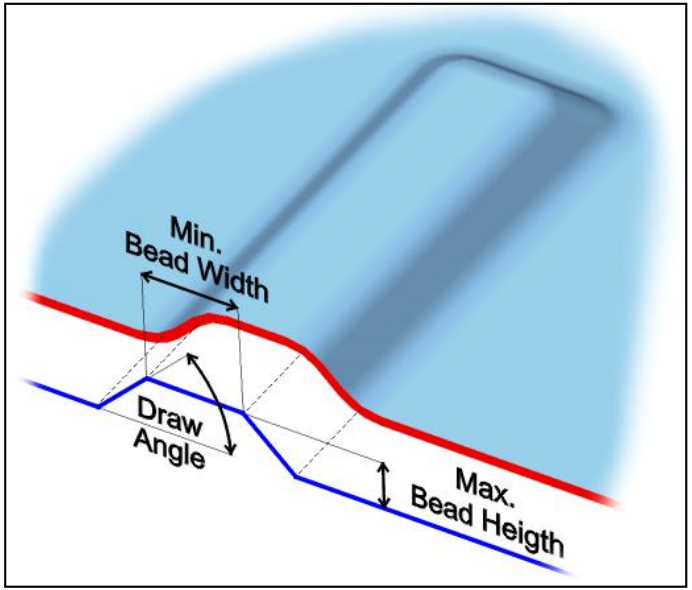


Grafik: ALTAIR Engineering GmbH

Formoptimierung

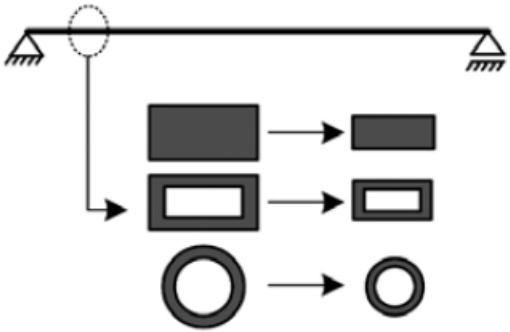
Sickenoptimierung (Topographieoptimierung)





Parameteroptimierung

- Die Grundgestalt des Bauteils liegt in der Regel schon fest.
- Es werden einzelne Parameter, beispielsweise der Querschnitt eines Balken-Elementes oder die Wanddicke eines Schalenelementes variiert.
- Besonders geeignet für Baugruppen aus Halbzeugen und standardisierten Bauteilen.



Grafik: Patrick Forman
Topologische Optimierung von Betonstrukturen

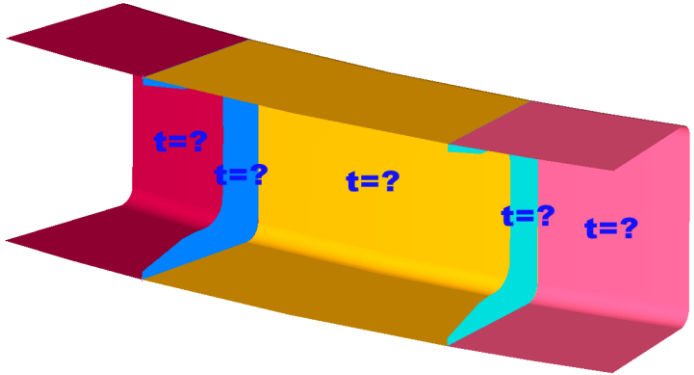
Parameteroptimierung

belCAT Ingenieurbüro Stuttgart

CES

Gauge Optimierung

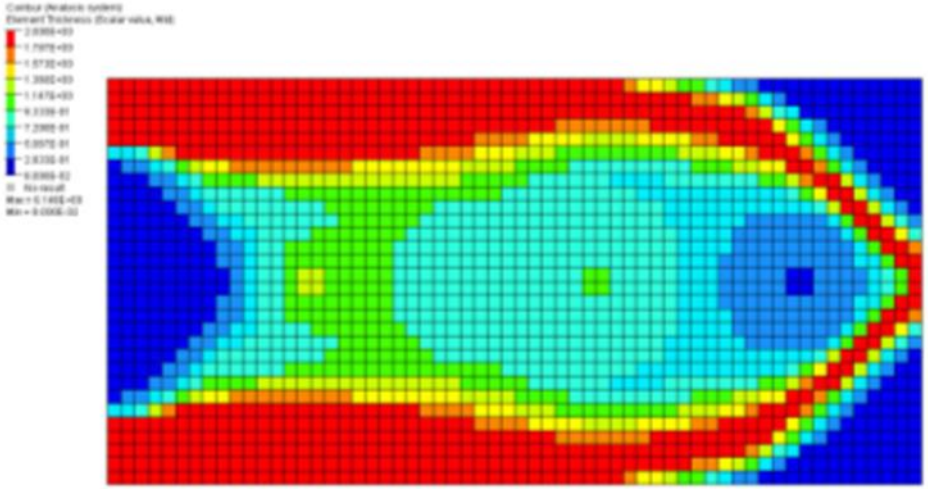
Wanddicke konstant



Jedes Schalenelement bekommt einen diskreten Wert zugewiesen. Kann z.B. für Schweißkonstruktionen aus unterschiedlich dicken Blechen verwendet werden.

Free-Size Optimierung

Wanddicke variabel



Jedes finite Element bekommt einen Wert zugewiesen. Kann z.B. für Faserverbundbauteile (Dickenverteilung der Lagen) verwendet werden.

Grafiken: ALTAIR Engineering GmbH

Inhalt

- Konventioneller und verbesserter Entwurfsprozess
- Grundlagen der Strukturoptimierung
  - Topologieoptimierung
  - Formoptimierung
  - Parameteroptimierung
- Praxisbeispiele für Strukturoptimierung
- Praxisbeispiel für manuelle Parameteroptimierung
- Topologieoptimierung
  - additive Verfahren
  - im Design
- Zusammenfassung

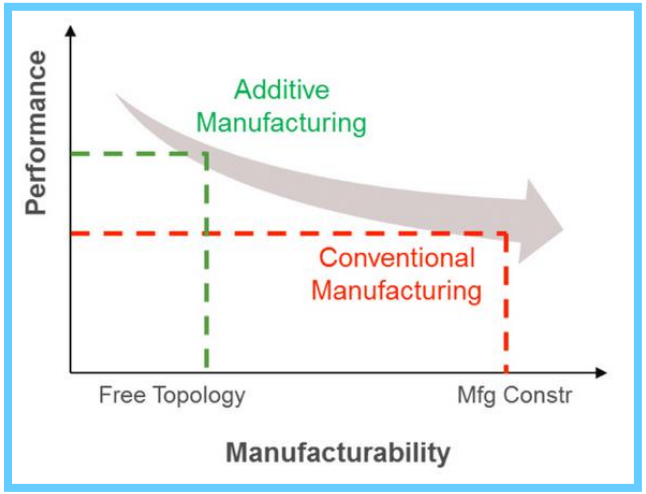
Inhalt

- Konventioneller und verbesserter Entwurfsprozess
- Grundlagen der Strukturoptimierung
  - Topologieoptimierung
  - Formoptimierung
  - Parameteroptimierung
- Praxisbeispiele für Strukturoptimierung
- Praxisbeispiel für manuelle Parameteroptimierung
- Topologieoptimierung
  - additive Verfahren
  - im Design
- Zusammenfassung

Topologieoptimierung und additive Verfahren

Fertigungsrandbedingungen

Abnahme der Performance mit Zunahme der Fertigungsrandbedingungen



Grafik: ALTAIR Engineering GmbH

Kabinenhalter des Airbus A350 mit Stützstruktur

Bild: Concept Laser

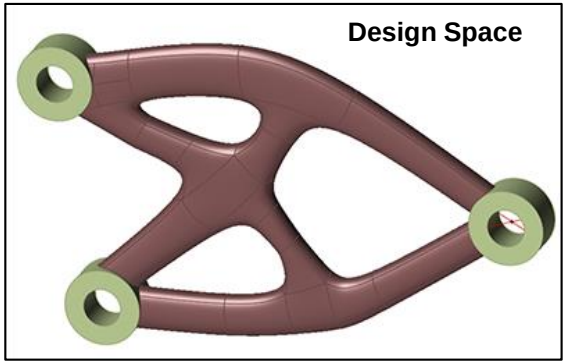
Stützstruktur mechanisch entfernt

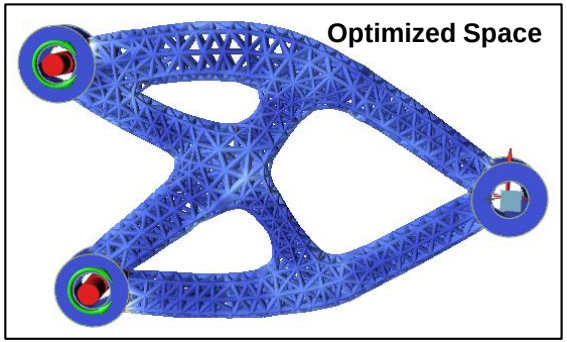
Bild: Concept Laser

Topologieoptimierung und additive Verfahren

Fertigungsrandbedingungen

Lattice Strukturen





Beispiel Ventilkörper

Ventilkörper massiv

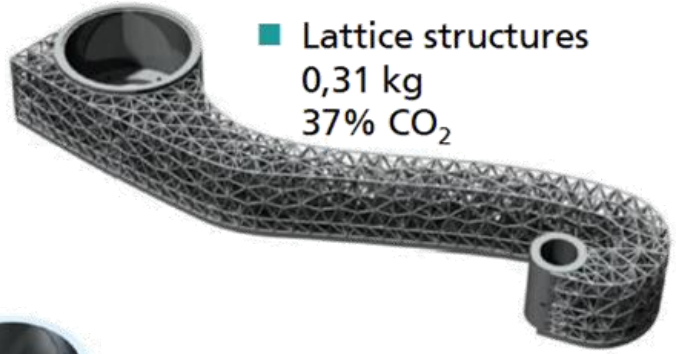
Ventilkörper mit Lattice Struktur im Inneren

Bilder: Altair Engineering GmbH

Topologieoptimierung und additive Verfahren

Topologieoptimierung vs. Lattice Struktur

- Classic Design
  0,8 kg
  100% CO_2



- Lattice structures
  0,31 kg
  37% CO_2

- Topology Optimization
  0,37 kg
  46% CO_2

Quelle: Loughborough University, Econolyst Ltd.

Topologieoptimierung im Design

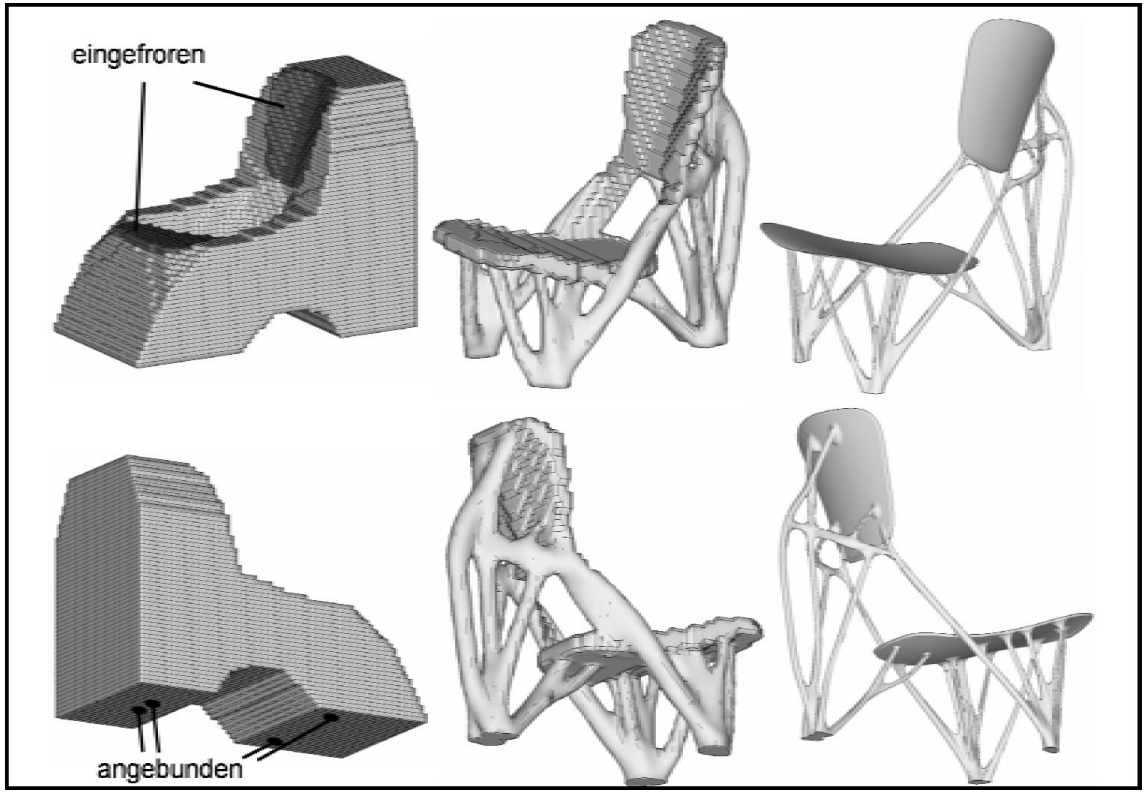


Bild: Lothar Harzheim
Bionische Optimierung bei der Konstruktion technischer Bauteile in der Automobilindustrie

Topologieoptimierung im Design

Bone Chair von Joris Laarman / Aluminiumguss

Bild: Joris Laarman
http://www.jorislaarman.com/work/bone-chair/

Zusammenfassung

- Einsatz von Simulation für Vorauslegung in der Entwurfsphase spart Zeit und Kosten.
- Es gibt mit den modernen FE-Optimierungsverfahren praktikable Werkzeuge für diese Vorauslegung.
- Diese Werkzeuge sind (zum Teil) auch für Ingenieure ohne umfassende Simulationserfahrung nutzbar.
- Bionische Optimierungsmethoden aus der Natur können mithilfe von rechnergestützten Optimierungsalgorithmen bei der Bauteilauslegung eingesetzt werden.