

**İNNOVATİV ENDÜSTRİYEL TASARIMLARINDA
BİLGİSAYAR DESTEKLİ
OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ
-TOPOLOJİ OPTİMİZASYON-**

Dr. H. Özden

Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü
Konstr. Ve İmalat Anabilim Dalı,
kampusBornova / 35100İzmir
huseyin.ozden@ege.edu.tr

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Innovativ endüstriyel tasarımlarında;

gerekli işletme ömründen, dayanımından, emniyetinden ve güvenilirlikten ödün vermeden, gereğinden fazla madde (**malzeme**), güç (**enerji**) ve zaman (**işçilik**) kaçınmak, olmasa olmazlardandır. Daha mükemmel, yüksek ve çoklu getirisi bulunabilen farklı ve veya yeni endüstriyel tasarımlar, yaratıcılığın ve mesleki bilgilerin yanında günün teknolojisinin ve araç gereçlerin kullanımı ile ortaya çıkarlar.

Günümüzün endüstriyel tasarımcıları amaca uygun hazır paket programlarını, (HAZPAKPRO) kullanarak fikir ve hayallerini farklı işletme koşulları, kullanım alanları altında bilgisayar ekranında sanal olarak görüntüleme, deneme, test etme ve akabinde daha da geliştirme imkânına sahiptirler. Bilgisayar destekli bu süreçten, endüstriyel tasarımcılar iyileştirme ve yeni tasarımlar için bazı ip uçları, spontane fikirler elde etme olanağına sahiptirler.

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Bilgisayar destekli örnek tasarımlarda gösterildiği gibi, daha düne kadar mümkün olmayan yada zaman ve maliyet açısından çok külfetli endüstriyel tasarımlar, optimizasyonlar günümüz olanakları ile kolaylıkla gerçekleşmektedirler. Optimizasyon programları tasarımcının; bir çok konuda işini kolaylaştırırken, tasarımların iyileştirilmesinde olduğu kadar yeni fikirlerle buluşların ortaya çıkmasına da katkı sağlamaktadır. Bu alandaki gelişmelerin Türkiye’de yansıtılmasında yarar vardır

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Innovativ endüstriyel tasarımları ve bilgisayar destekli optimizasyon yöntemleri, (Boyut-, Form-, topoloji- ve topografi- optimizasyon) hakkında uygulamalı örneklerle bu çalışmada bilgi verilmektedir.

Özellikle son yıllarda endüstriyel tasarımından yoğun olarak uygulanan topoloji optimizasyonun önemi ve gelişme potansiyeli tartışmaya sunulmaktadır. Bu çalışmada, innovativ endüstriyel tasarımında optimizasyon konusuna dikkat çekilmektedir

Anahtar kelimeler: Innovativ, Endüstriyel-Tasarım, Optimizasyon, Yöntemler, Topolojioptimizasyon, HAZPAKPRO

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

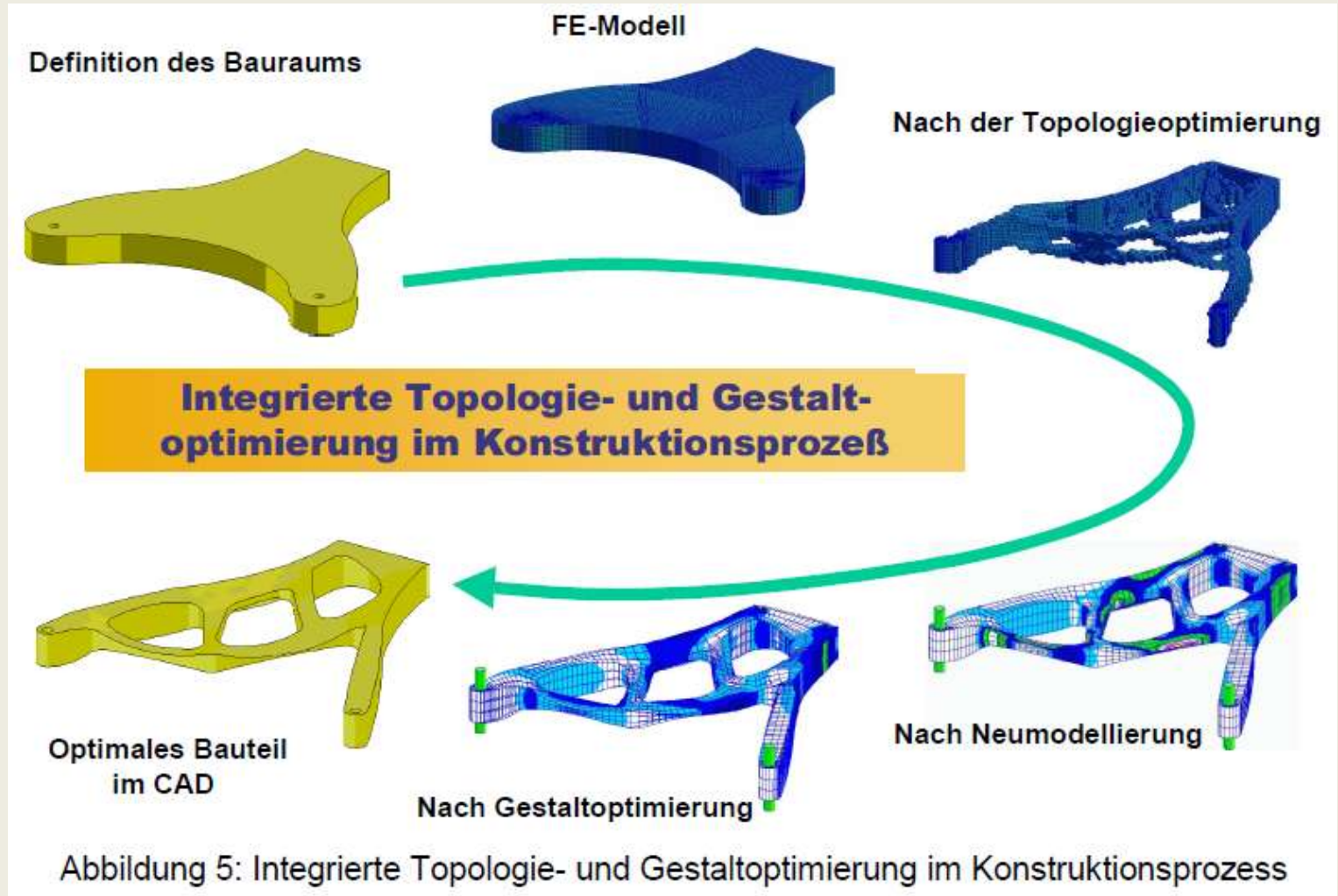
GİRİŞ

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

GİRİŞ

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

GİRİŞ



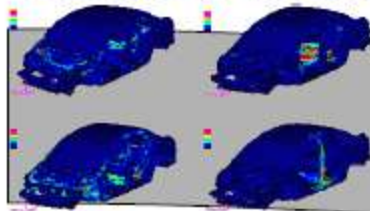
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topologieoptimierung
in der Rohkarosserie-Entwicklung

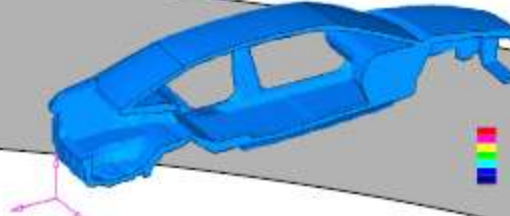


Topologieoptimierung einer Rohkarosserie

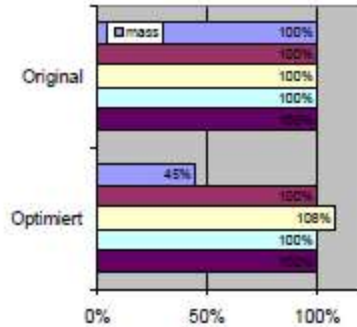
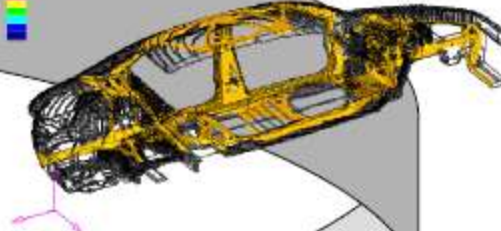
Lastfälle, Zielwerte



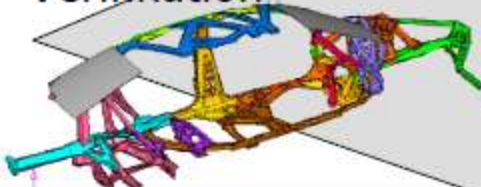
Festlegung des
Bauraumes



Topologie-
optimierung



Enddesign
Verifikation

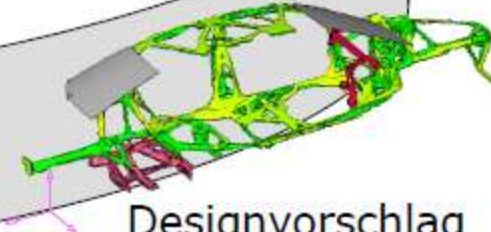


Parameter	Value	Unit
Mass	45%	%
Stress	100%	%
Displacement	100%	%
Frequency	100%	%

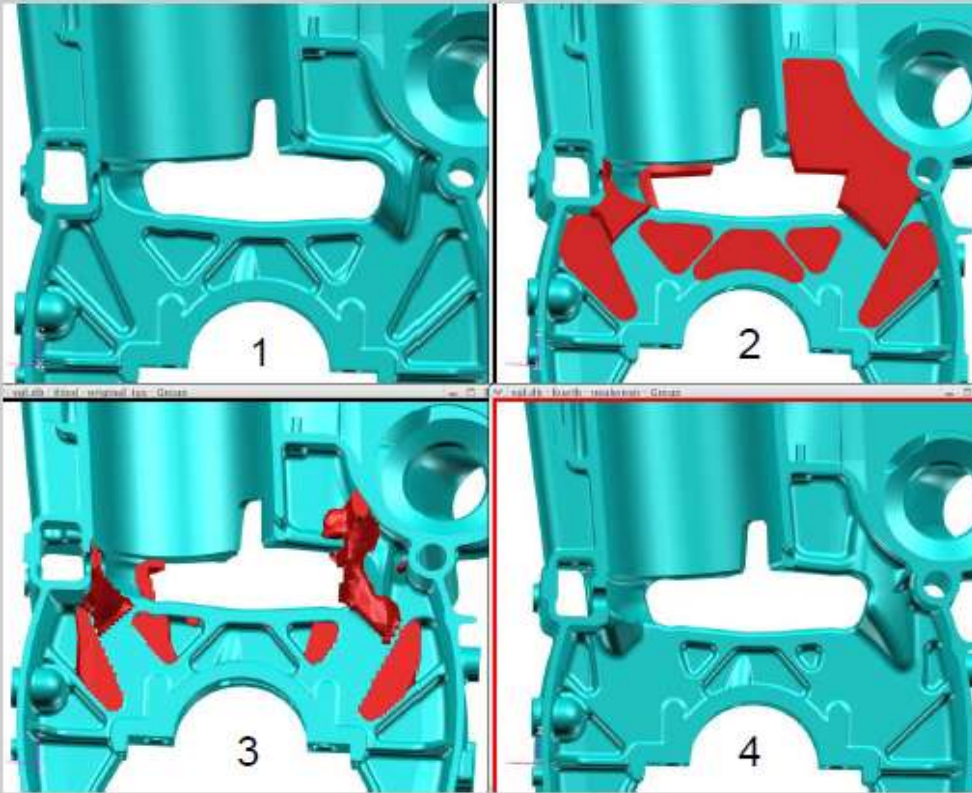
Katalog, Regeln

Konstruktive

Designvorschlag



Topology/ Shape Optimization of an engine sector



New idea for improving the structure

1. Original
2. Add material where possible
3. Topology Optimization removes excess mass, and makes a proposal
4. Proposal transformed into new design
5. Added mass: 560 g

27. September 2005

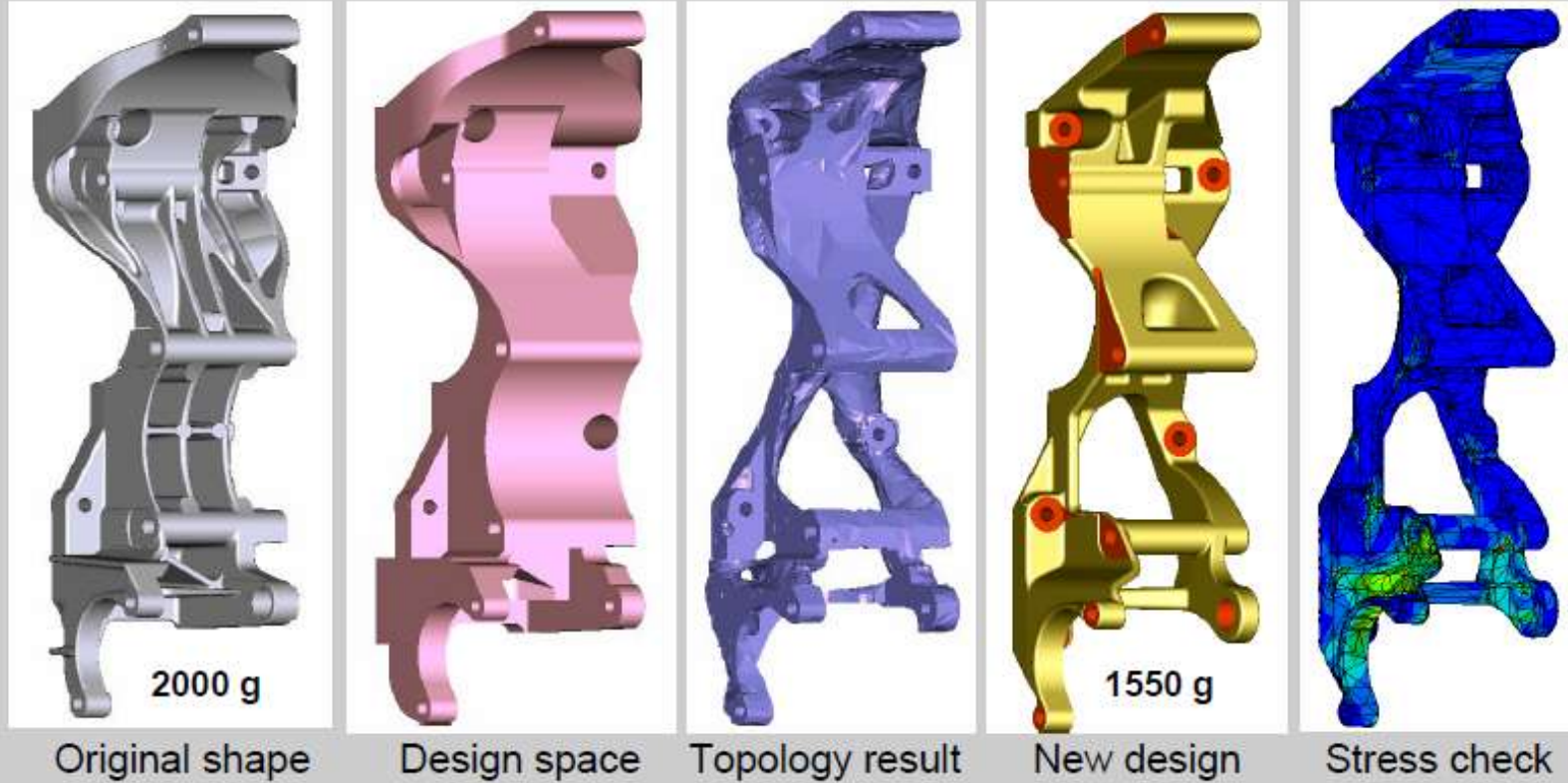
Topology Optimization at
Volkswagen

34



Selection of optimized components

Combined bracket for alternator, air-conditioning compressor, and steering pump



27. September 2005

Topology Optimization at
Volkswagen

23



Selection of optimized components

Combined bracket for alternator and air-conditioning compressor



Original shape

2058 g

Design space

Topology
result

New design

1676 g

Stress check

27. September 2005

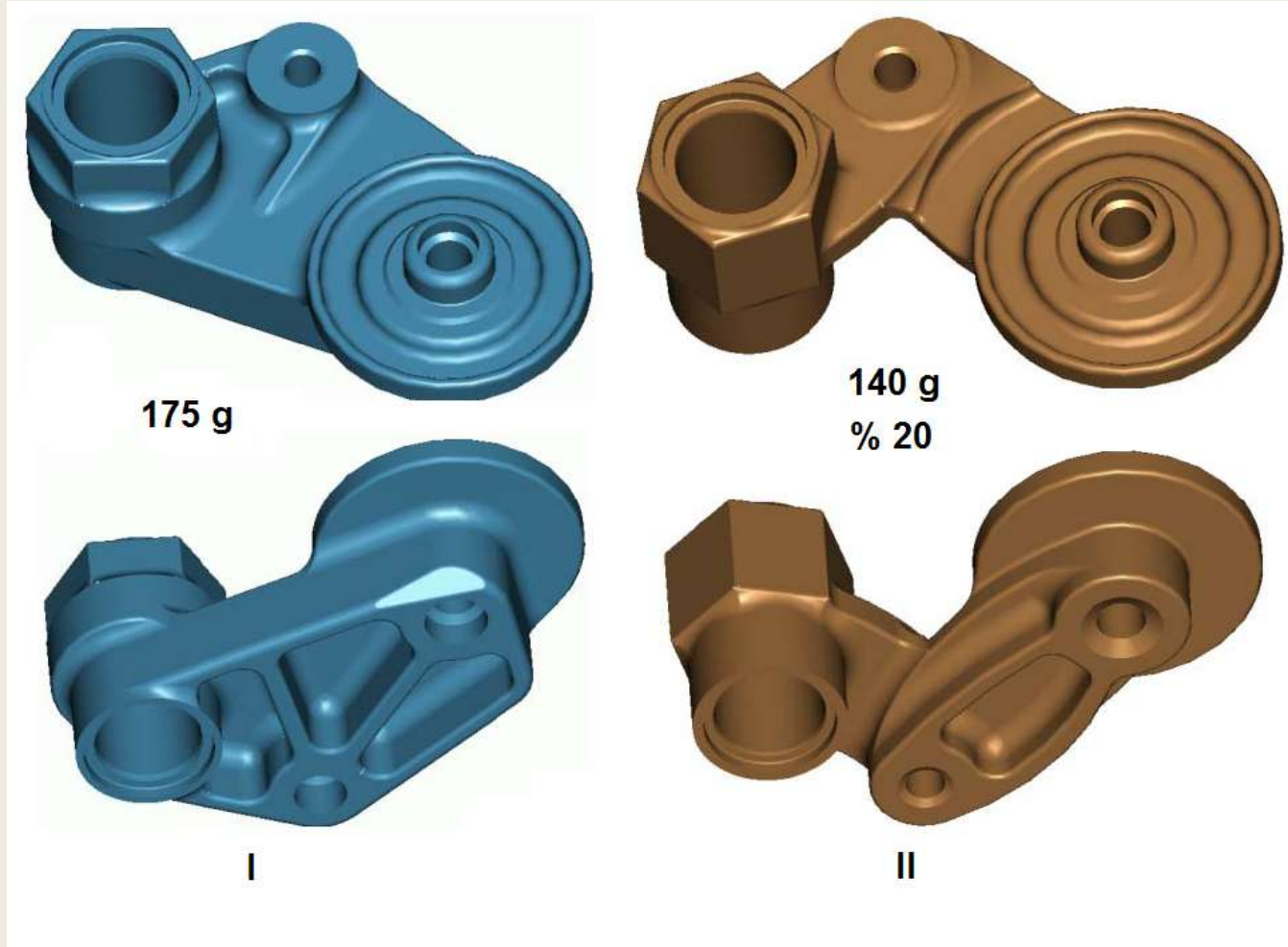
Topology Optimization at
Volkswagen

30



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

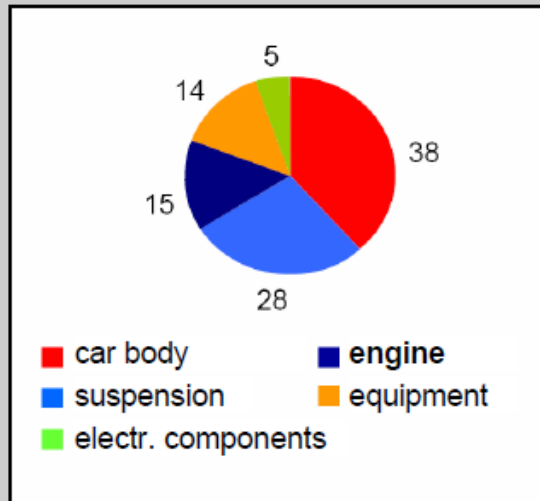
Topooji Optimizasyon



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Consequences of weight reduction

Lower fuel consumption



Contribution to vehicle weight

100 kg* reduction saves 0.35 l / 100 km
(= gain of 0.85 mpg)
and 8.4 g CO₂/km
or
to decrease 1g CO₂/km
reduce weight -12 kg

* Reference car with 1300 kg

Other parameters influencing fuel consumption:

- ❖ Rolling resistance
- ❖ Aerodynamic resistance
- ❖ Electricity consumption

27. September 2005

Topology Optimization at
Volkswagen

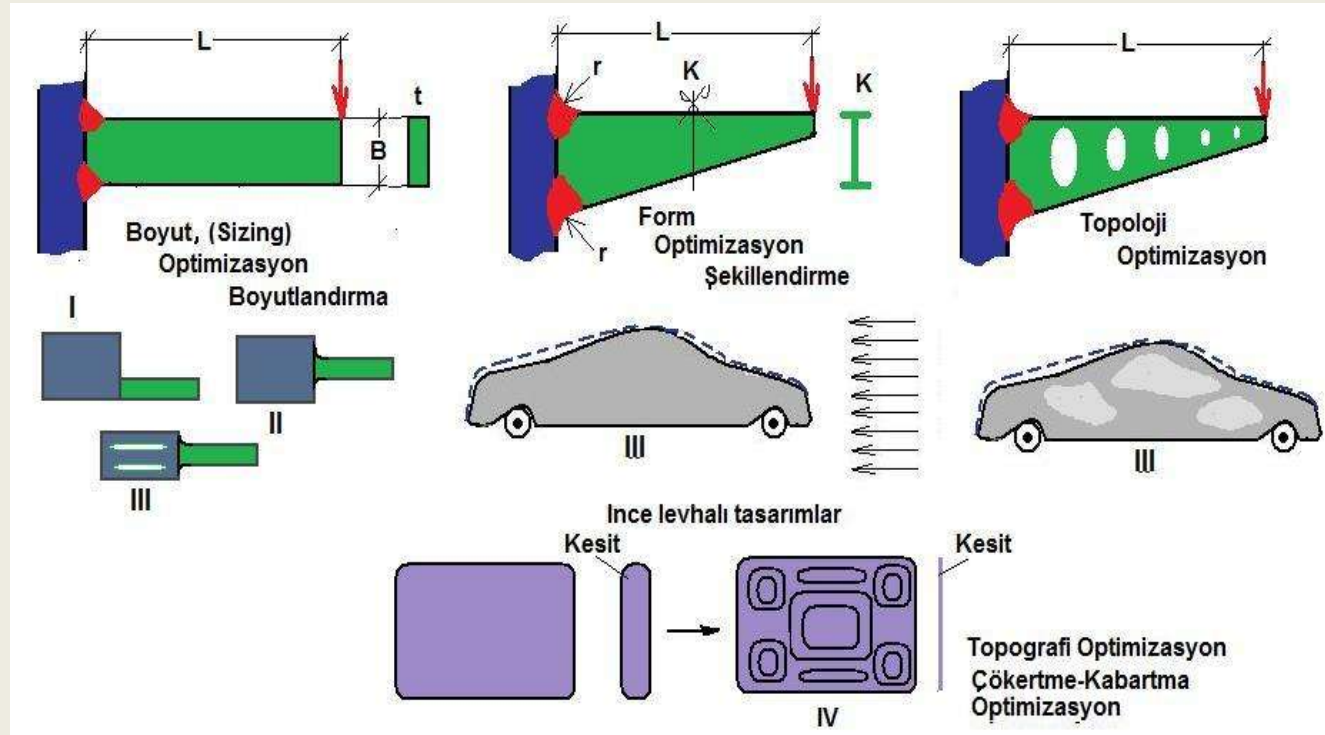
38



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

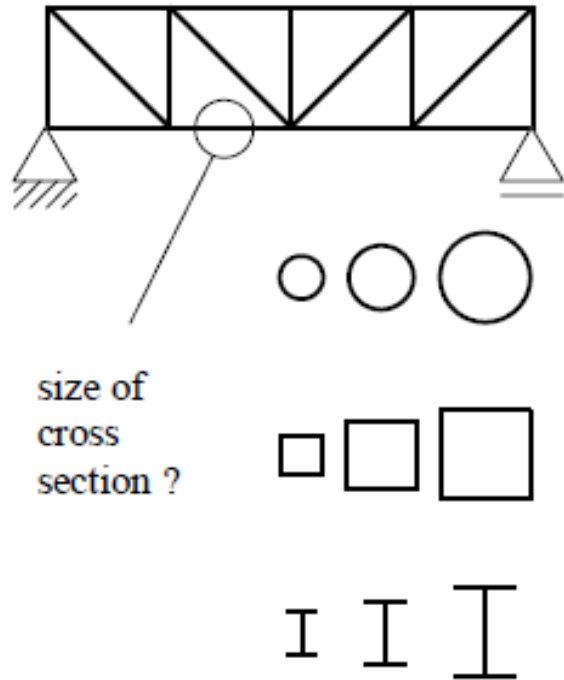
Innovativ Endüstriyel Tasarımında optimizasyon yöntemleri

- Boyutlandırma Optimizasyonu, (Sizing Optimization)
- Şekillendirme Optimizasyonu, (Form Optimization, Shape Optimization)
- Çökertme-Kabartma Optimizasyonu, (Topography Optimization)
- Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

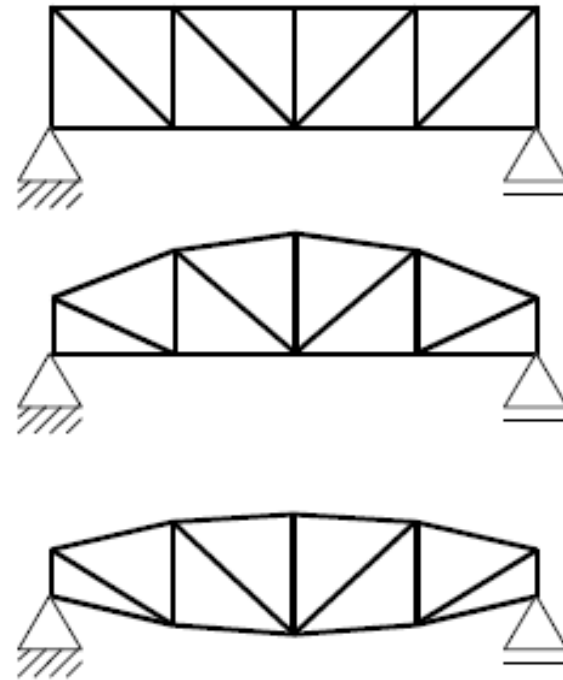


ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

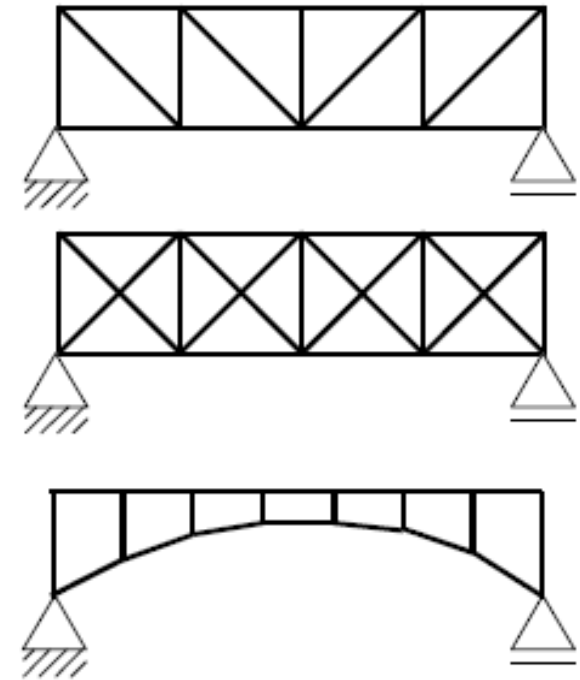
sizing



shape optimization



topology optimization



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

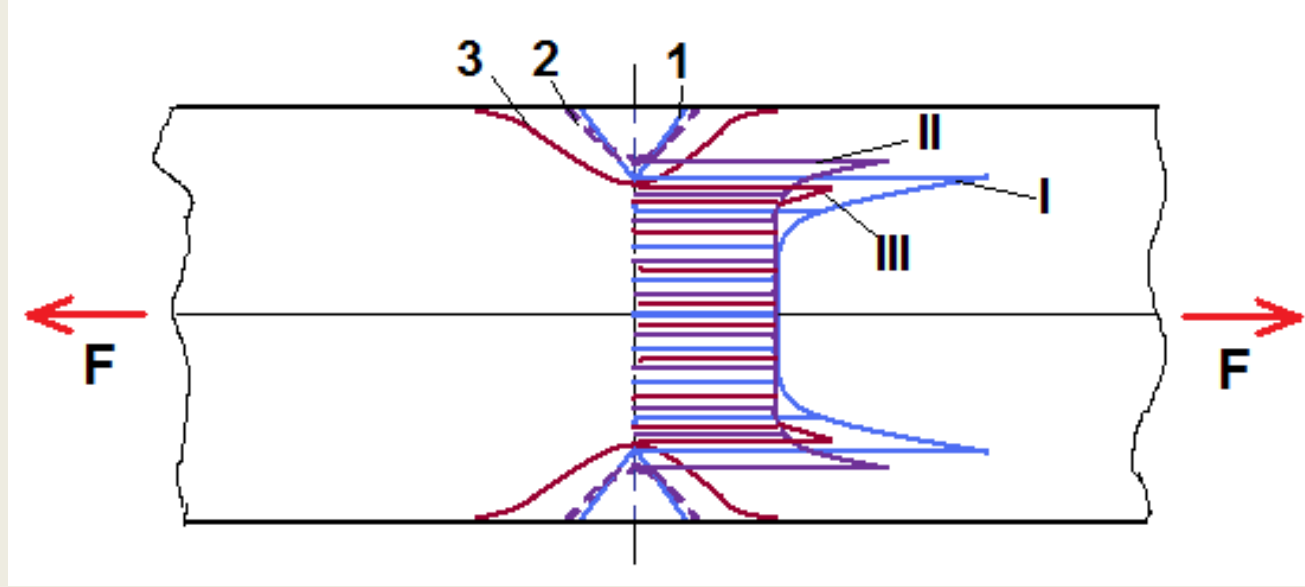
Boyutlandırma Optimizasyonu, (Sizing Optimization)

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Form Optimizasyon

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Şekillendirme Optimizasyonu, (Form Optimization, Shape Optimization)



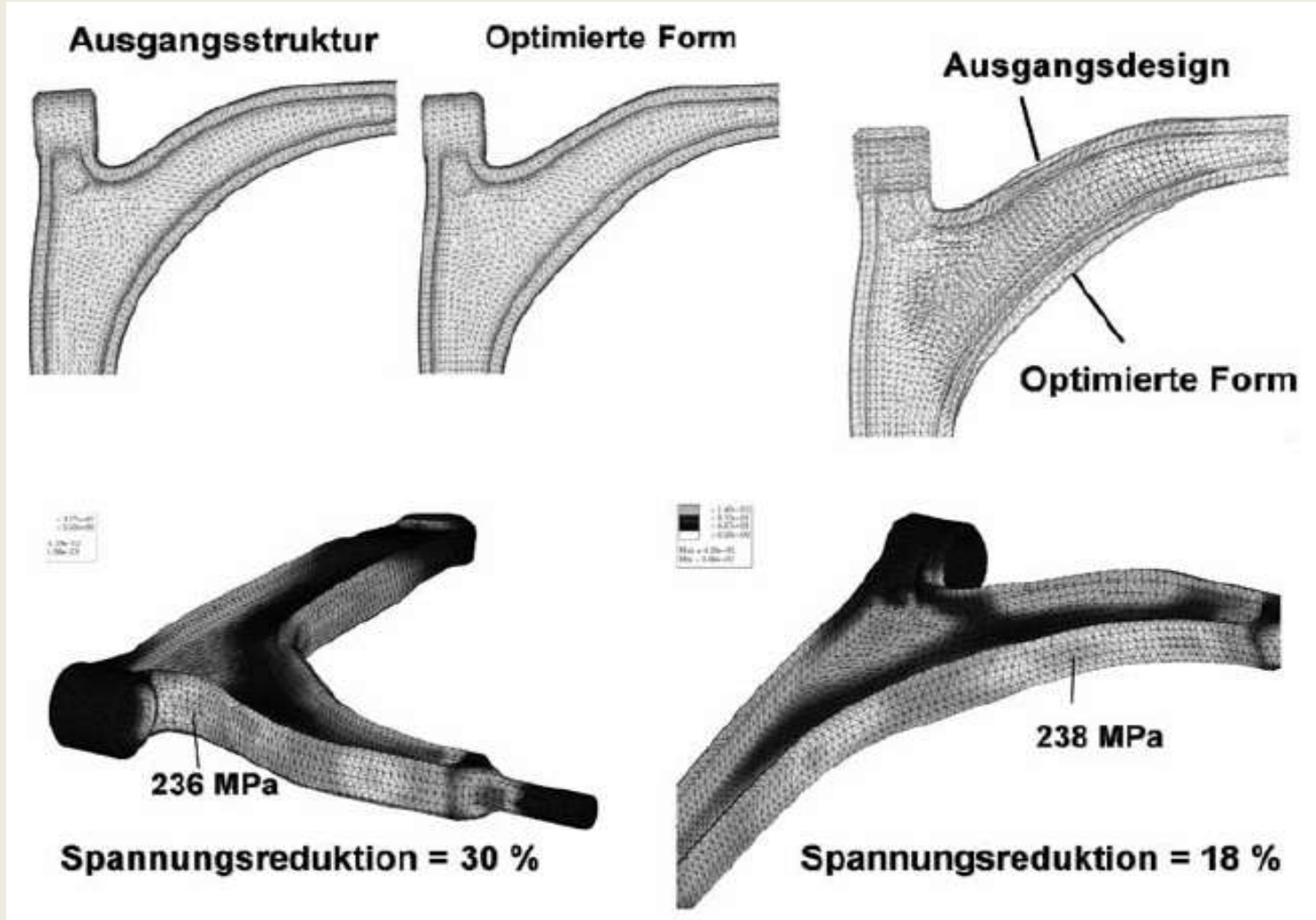
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Form Optimizasyon

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

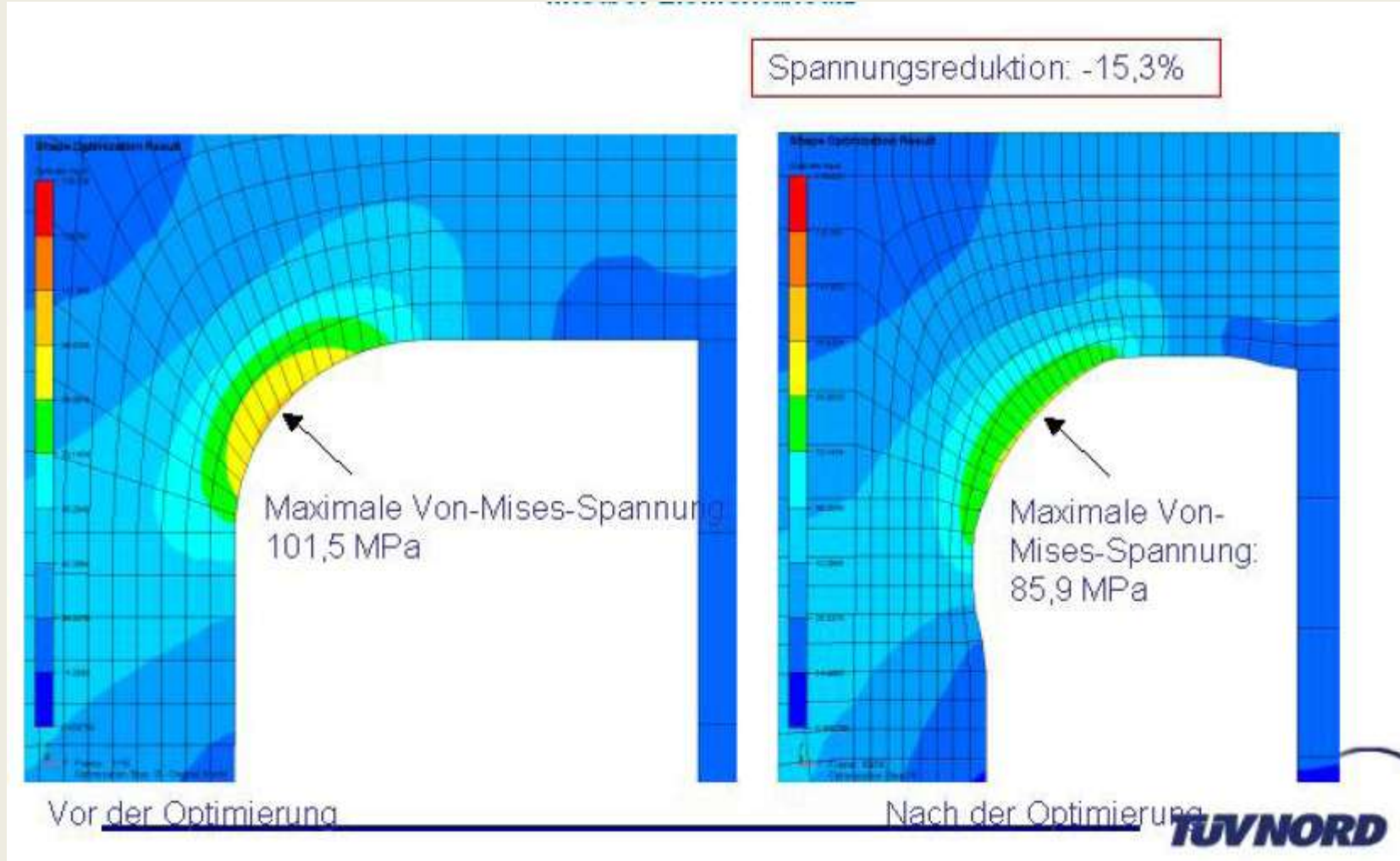
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Şekillendirme Optimizasyonu, (Form Optimization, Shape Optimization)

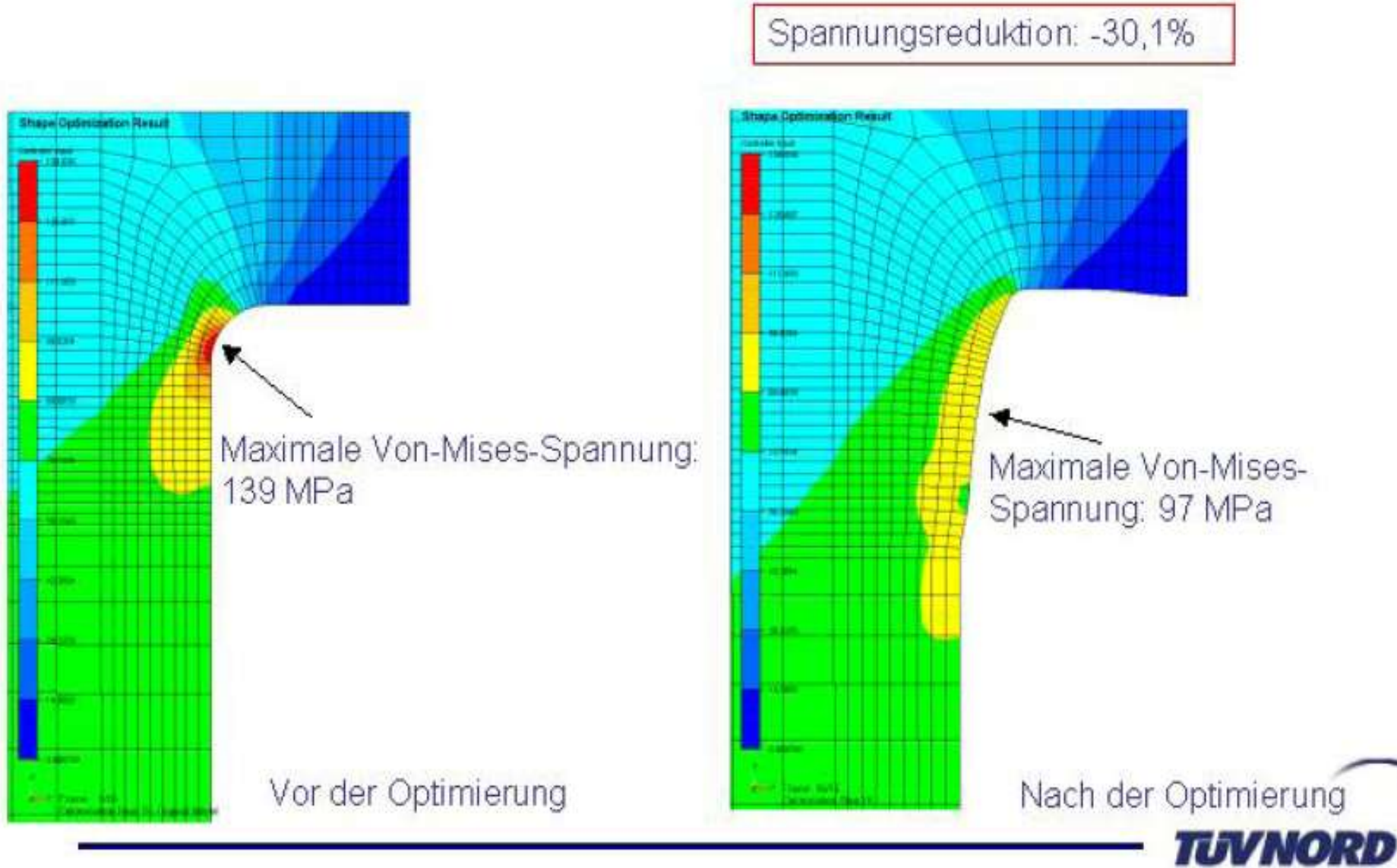


ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Boyutlandırma Optimizasyonu, (Sizing Optimization)

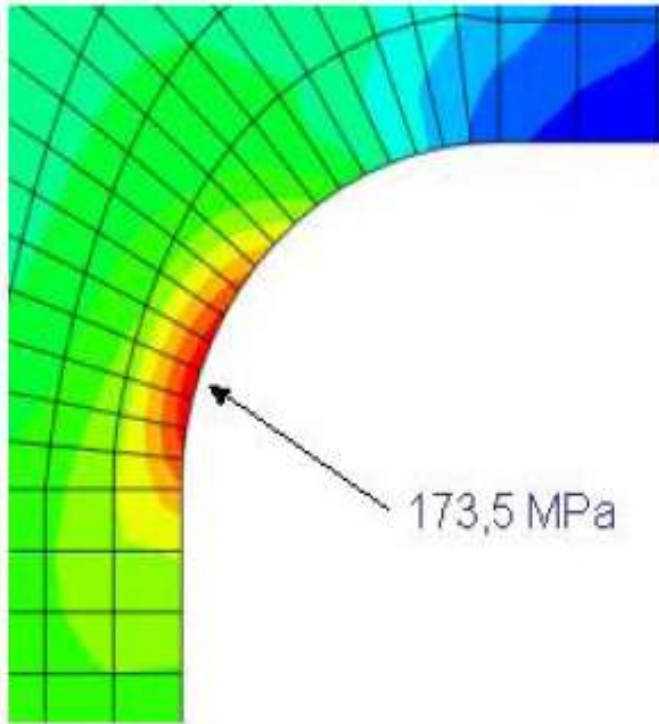


ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

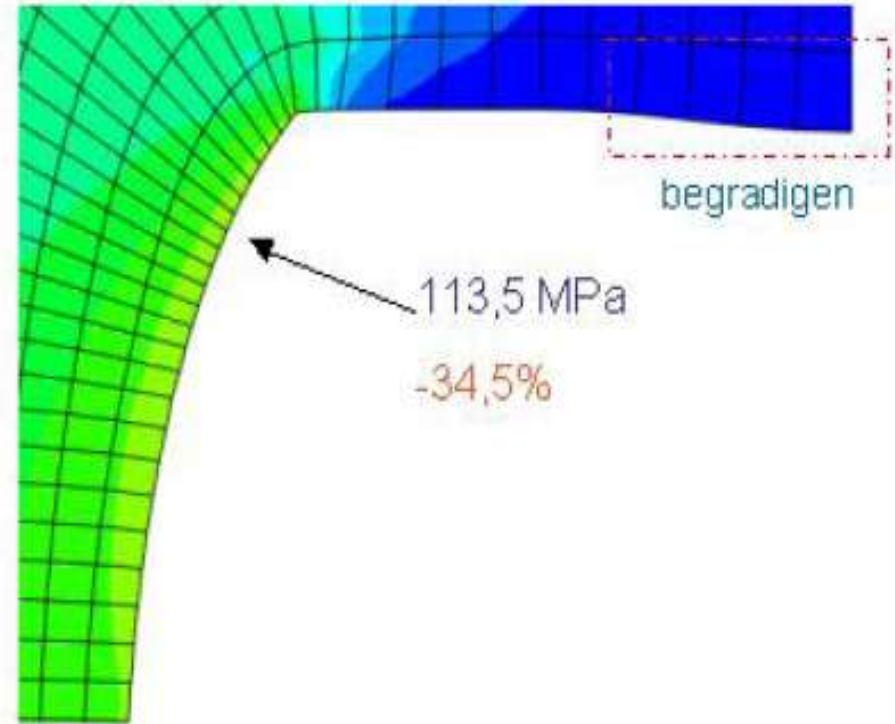


ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Ausgangsmodell



optimiertes Modell

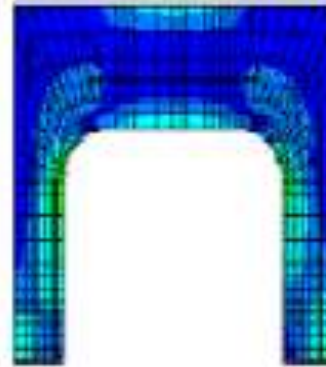
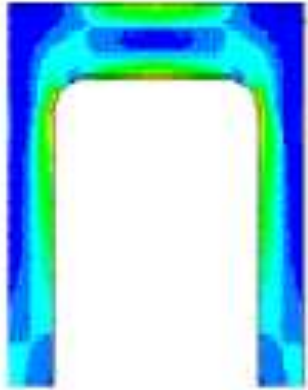


TUVNORD

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

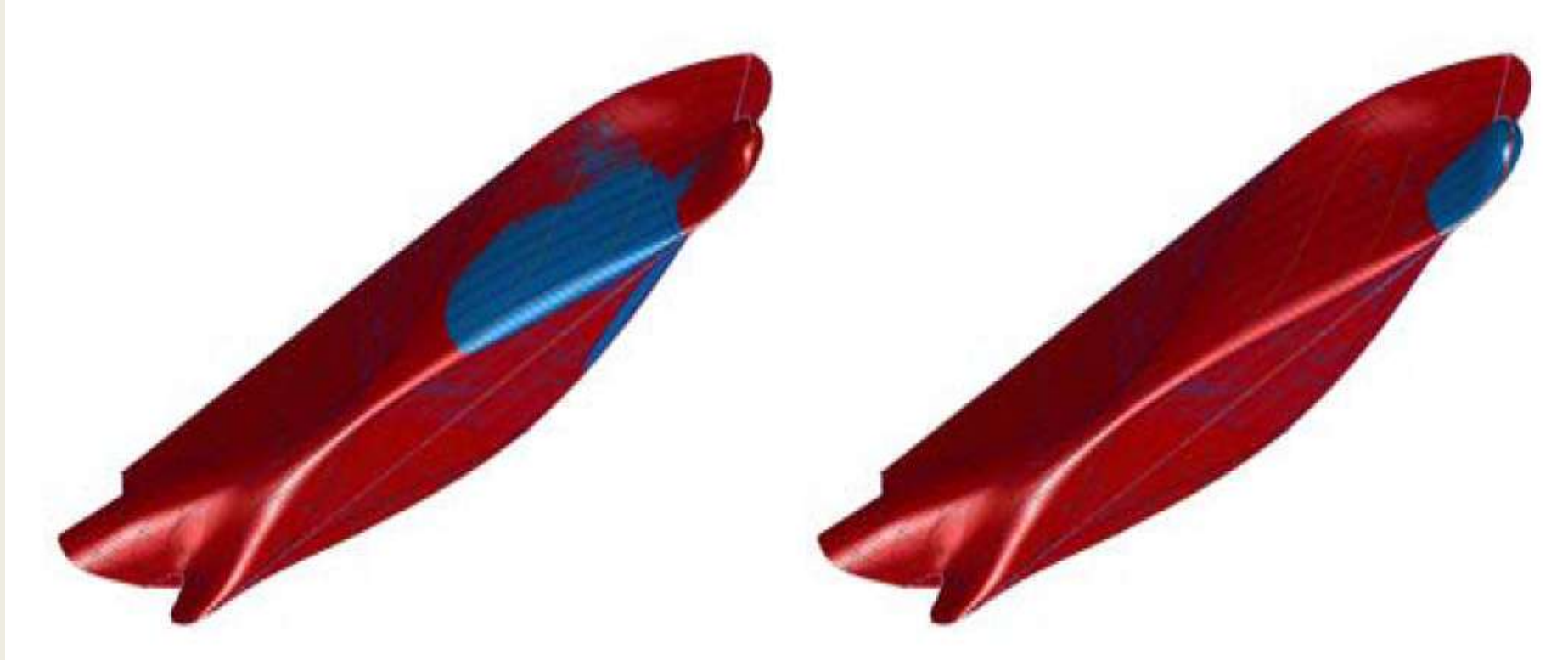
Gestalt / Form

parameterorientiert

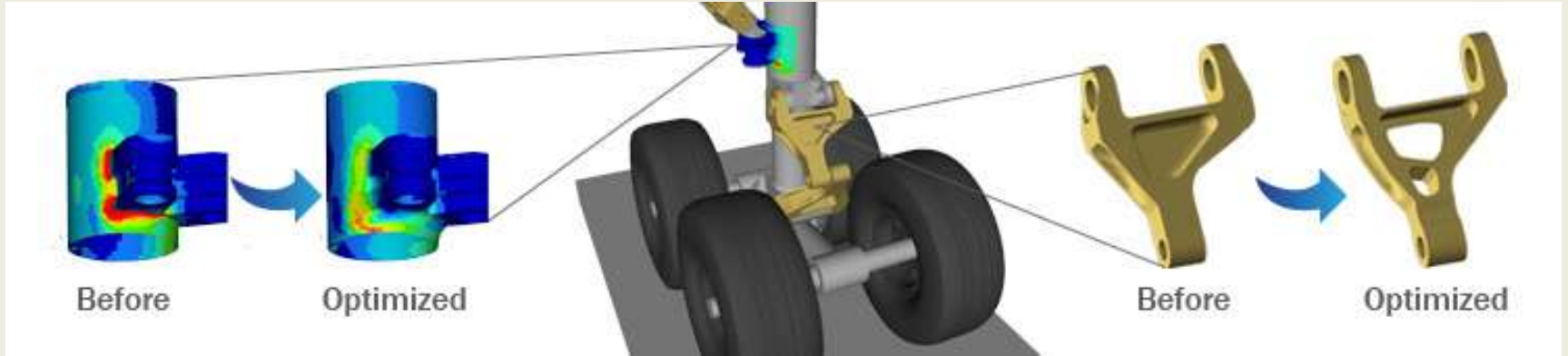


parameterfrei

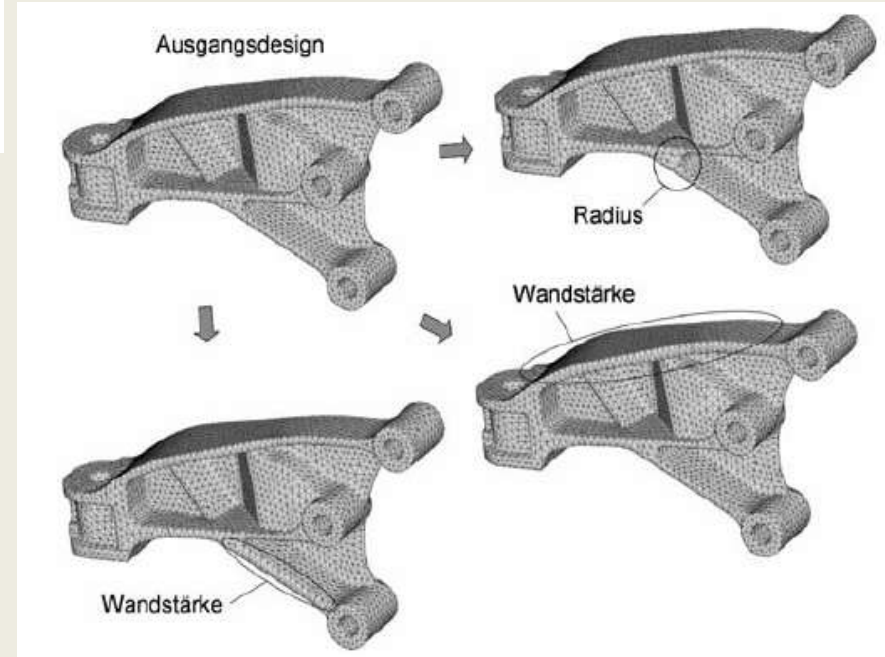
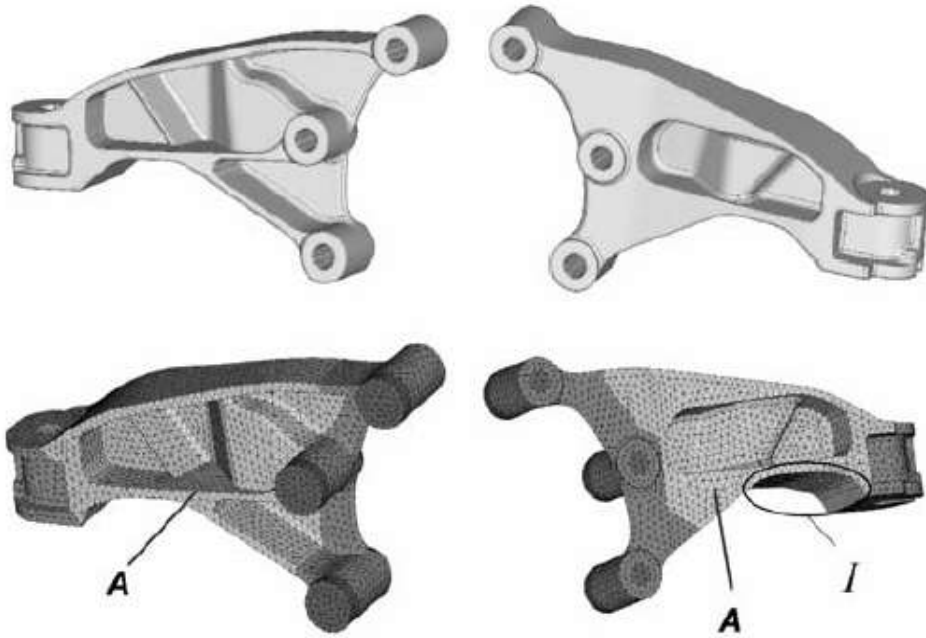
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri



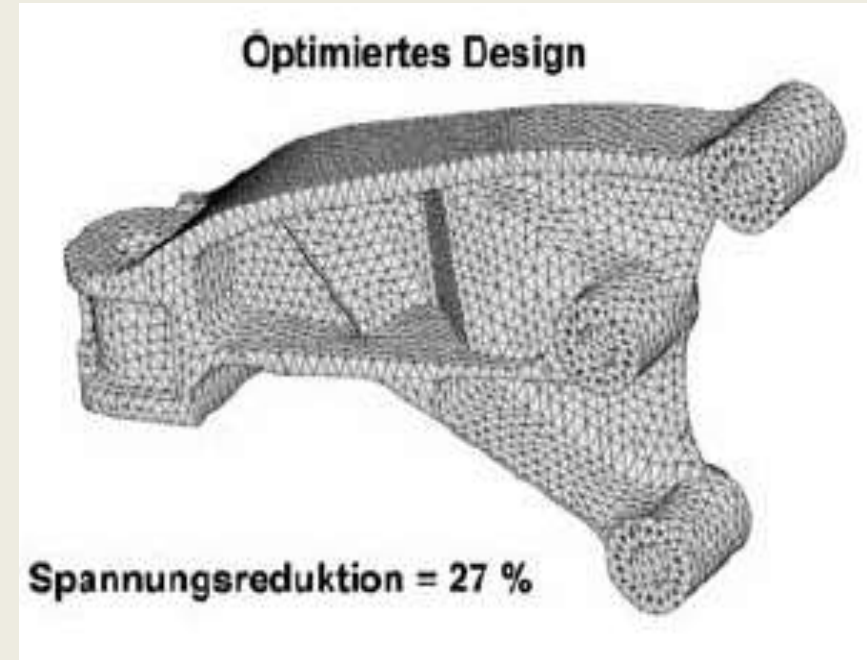
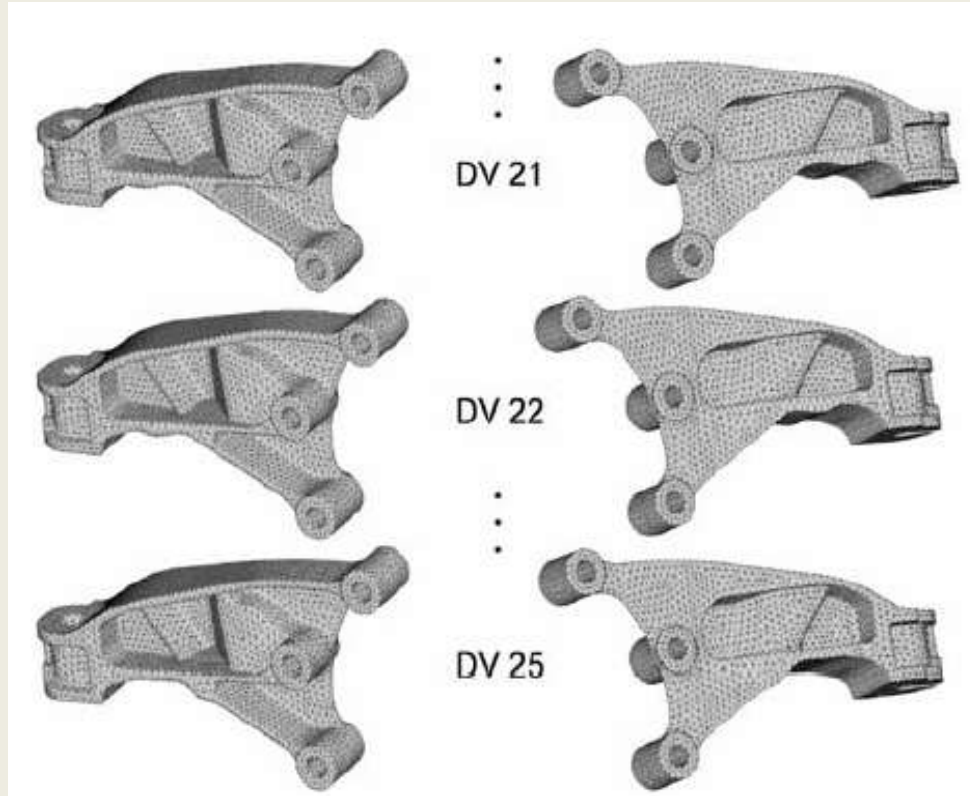
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

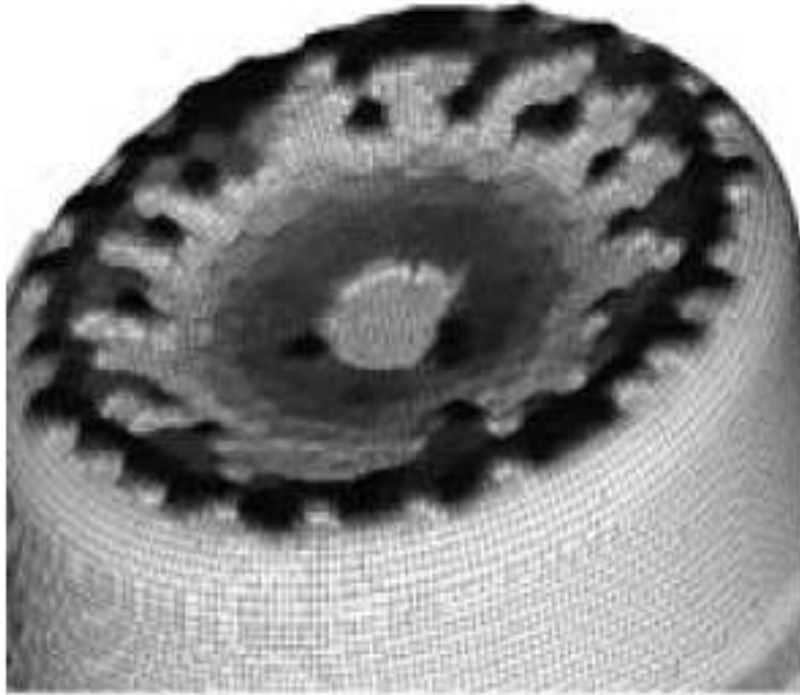
Topograf Optimizasyon, Cökertme-Kabartma Optimizasyon yöntemi

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topograf Optimizasyon, Cökertme-Kabartma Optimizasyon yöntemi

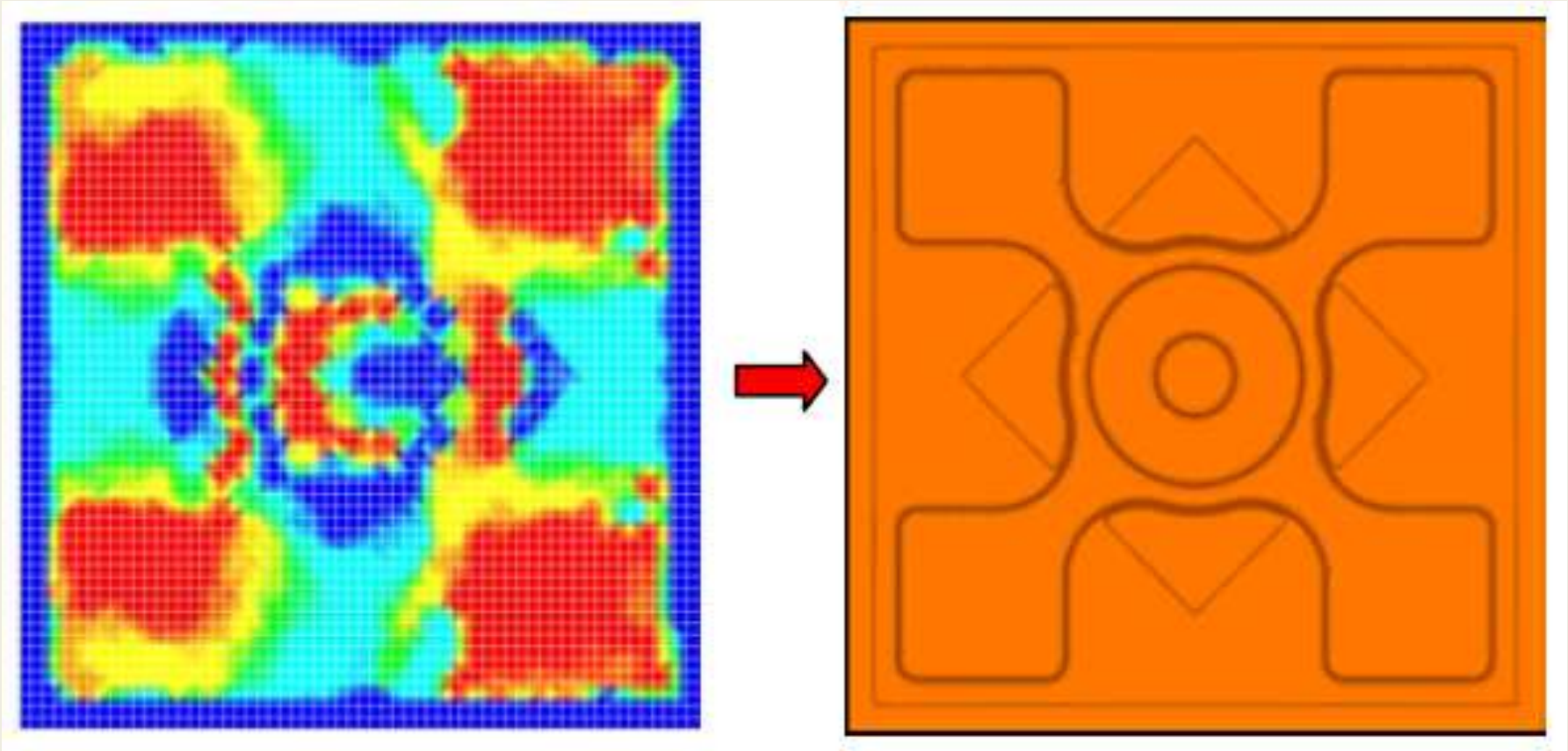
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topograf Optimizasyon, Cökertme-Kabartma Optimizasyon yöntemi



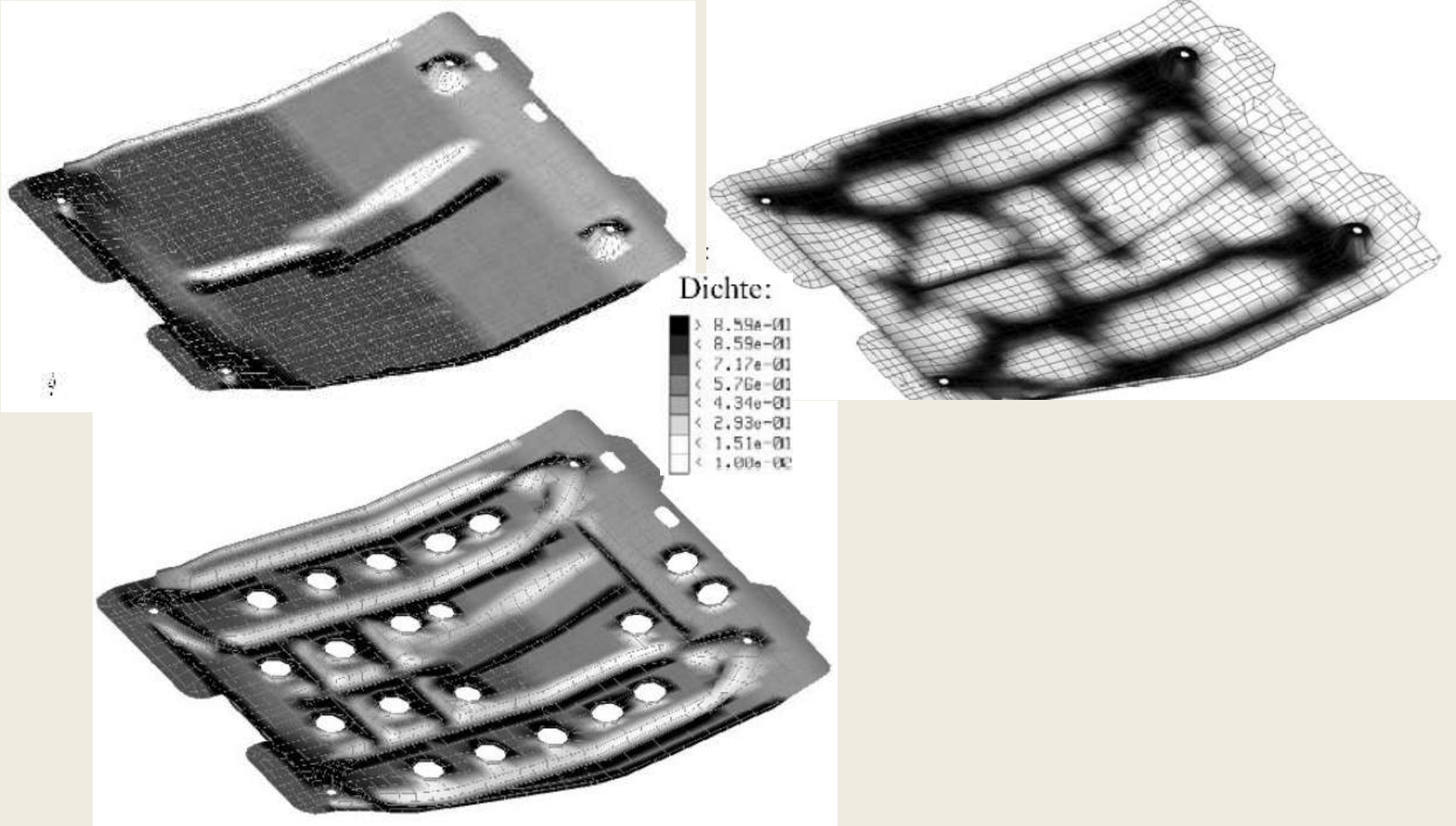
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topograf Optimizasyon, Cökertme-Kabartma Optimizasyon yöntemi



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

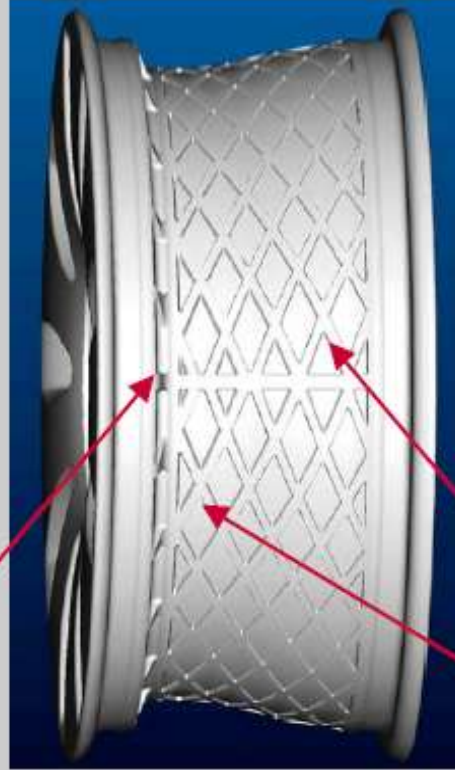
Topografi Optimizasyon, Cökertme-Kabartma Optimizasyon yöntemi



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA OPTİMİZASYON,

Tanım ve Uygulama örnekleri

Topograf Optimizasyon, Cökertme-Kabartma Optimizasyon yöntemi



Reifensitz außen:

Berechnet: 715 Gramm

Ist: 132 Gramm

Felgenbett:

Berechnet: 326 Gramm

Ist: 576 Gramm

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyon, Yerel optimizasyon yöntemi

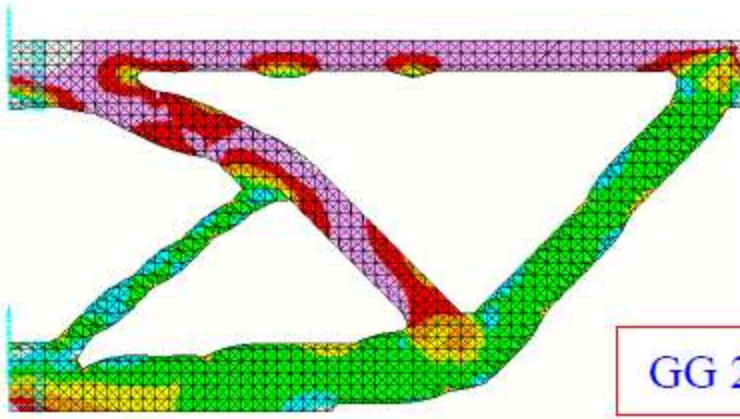
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

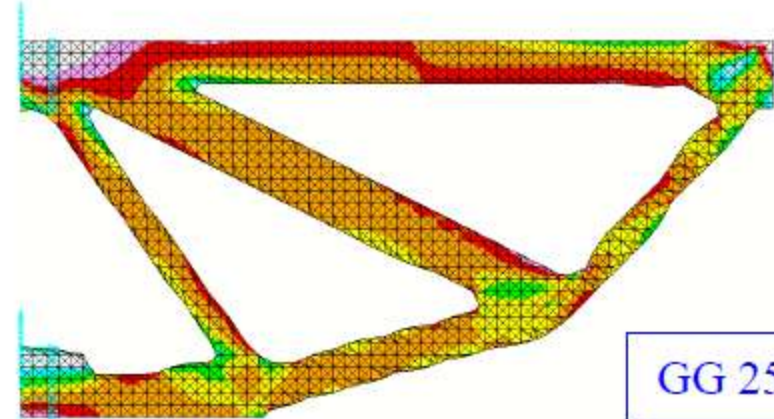
Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Struktur A

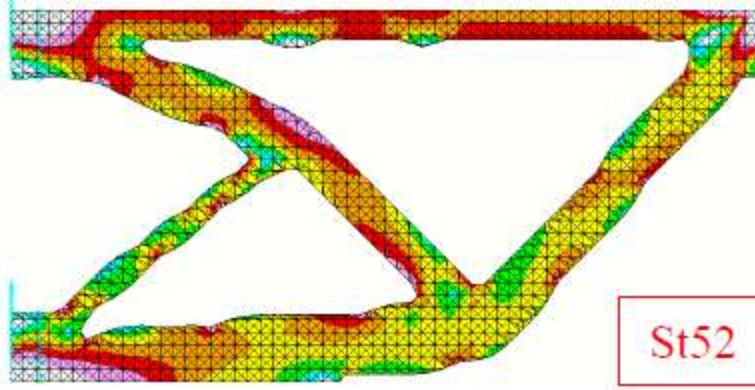


GG 25

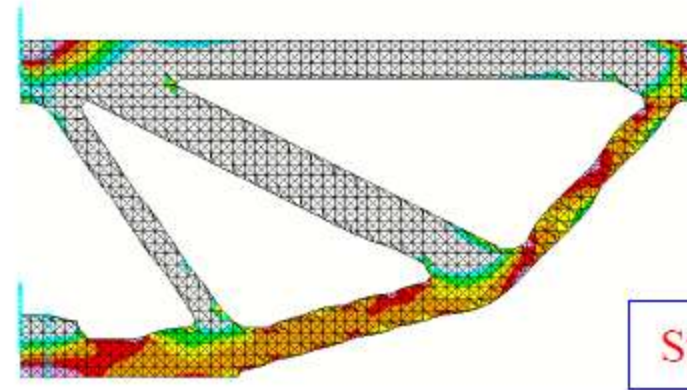
Struktur B



GG 25



St52



St52

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Strukturoptimierung

Grundlage der Optimierung bilden solide Berechnungsergebnisse. Bei der Optimierung wird versucht, direkt aus den Berechnungsergebnissen Designverbesserungen abzuleiten. Das modifizierte Modell wird danach ebenfalls bewertet, sodass man sich (möglichst automatisiert) iterativ dem Optimum nähert. Als Optimierungsstrategie stehen allgemeine mathematische Algorithmen (z. B.: gradientenbasierte Verfahren) aber auch z. T. auf Erfahrungen basierende Techniken (adaptives Wachstum) zur Geometrieoptimierung zur Verfügung.

Formoptimierung (Bild B.13). Bei der Shapeoptimierung werden die freien Oberflächen so verändert, dass Spannungskonzentrationen vermieden werden. In Abhängigkeit von den auftretenden Spannungen findet ein adaptives Wachstum (aber auch Schrumpfen) statt, bei dem die Topologie des Bauteils (und des FE-Modells) jedoch unverändert bleibt. Durch Kopplungsbedingungen können Restriktionen wie prismatische Form für Stanz- oder Sinterteile, sowie beispielsweise Rundheit bzw. bestimmte Radien von gebohrten Löchern berücksichtigt werden.

Topologieoptimierung (Bild B.14). Zur Erzielung einer kraftflussgerechten Gestaltung kann mit Hilfe der Topologieoptimierung die günstigste Materialverteilung bei Vorgabe von Gewicht bzw. Steifigkeit gefunden werden. Ausgehend vom sog. Bauraum, der maximal möglichen Bauteilvariante, wird dabei schrittweise das wenig belastete Material entfernt. Die genaue Kenntnis aller auftretenden Lastfälle ist von entscheidender Bedeutung, da die optimierten Bauteile ähnlich wie ein Sportler auf nicht trainierte Belastungen sehr empfindlich reagieren können.

Parameteroptimierung. Kann die Geometrie eines Bauteils mit wenigen Parametern (Radien, Wandstärken, Winkel, ...) beschrieben werden, so ist es vorteilhaft, über Sensitivitätsanalysen eine mathematische Optimierung dieser Parameter durchzuführen. Beim Einsatz dieser Methode können auch sehr große Bauteilveränderungen auftreten, sie erfordert jedoch ein parametrisiert aufgebautes CAD-Modell und einen automatisierten Transfer zwischen CAD- und Simulationssoftware. Ein weiteres Beispiel hierfür wäre eine Variante der Shapeoptimierung, bei der die Formänderungen mit Hilfe von Ansatzfunktionen und deren Koeffizienten beschrieben werden. In beiden Fällen sind die möglichen Bauteilgestalten jedoch durch die Wahl der Parameter bzw. Ansatzfunktionen festgelegt und somit eingeschränkt.

Topographieoptimierung. Mit Hilfe der Topographieoptimierung können z. B. günstige Sickenverläufe zur Versteifung von Blechteilen gefunden werden. Die Topologie des Bauteils bleibt dabei unverändert, im Gegensatz zur Shapeoptimierung treten aber keine Wandstärkenerhöhungen auf.

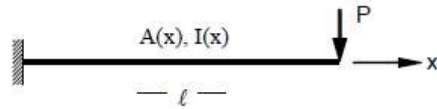
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

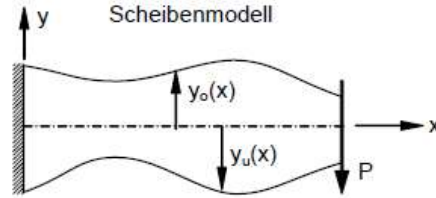
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

mechanische Modells

Balkenmodell



Scheibenmodell



Querschnittsoptimierung/Balkenmodell; gesucht: Verläufe $A(x)$, $I(x)$ von Querschnittsfläche und Trägheitsmoment:

$$\text{Zielfunktion: } f = \frac{1}{2} \int_0^{\ell} EI(x) \kappa^2 dx \rightarrow \min_{A(x), I(x)}$$

$$\text{Nebenbedingung: } g = \int_0^{\ell} \rho A(x) dx - M = 0 \quad (1)$$

$$\text{Zustandsgleichung (Gleichgewicht, PvV): } \delta W = \int_0^{\ell} EI(x) \kappa \delta \kappa dx - P \delta w = 0$$

Formoptimierung/Scheibenmodell; gesucht: oberer und unterer Rand $y_o(x)$, $y_u(x)$:

$$\text{Zielfunktion: } f = \frac{1}{2} \int_0^{\ell} \int_{y_u(x)}^{y_o(x)} \sigma \varepsilon t dy dx \rightarrow \min_{y_o, y_u}$$

$$\text{Nebenbedingung: } g = \int_0^{\ell} \int_{y_u(x)}^{y_o(x)} \rho t dy dx - M = 0 \quad (2)$$

$$\text{Zustandsgleichung (Gleichgewicht, PvV): } \delta W = \int_0^{\ell} \int_{y_u(x)}^{y_o(x)} \sigma \delta \varepsilon t dy dx - P \delta w = 0$$

Beide Probleme sind in der dargestellten Form Aufgaben der Variationsrechnung.

$$\text{Verschiebungen: } \mathbf{u}_h = \sum_n N_i(\xi, \eta) \mathbf{u}_i \quad (3)$$

$$\text{Geometrie: } \mathbf{x}_h = \sum_n N_i(\xi, \eta) \hat{\mathbf{x}}_i$$

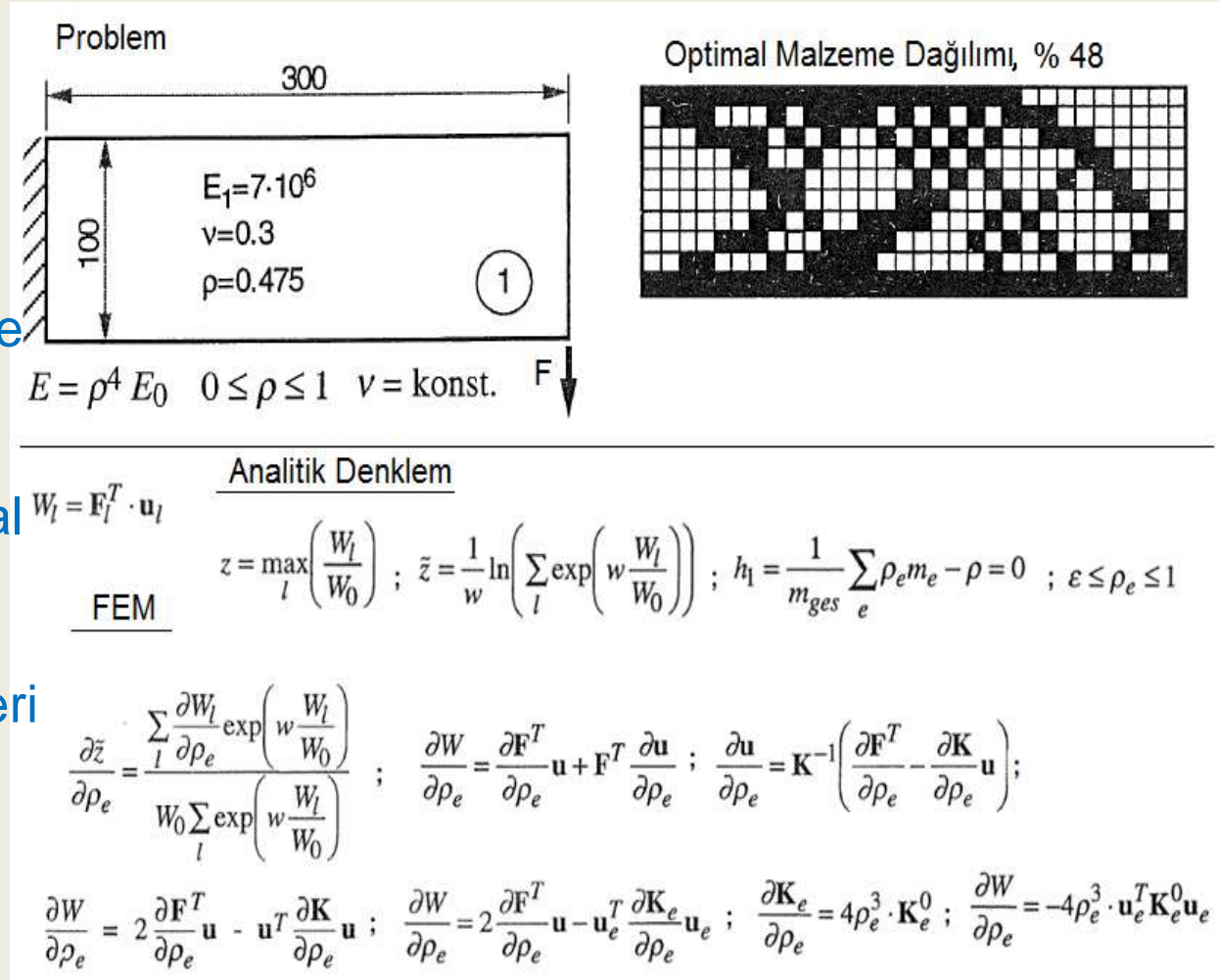
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON,

Tanım ve Uygulama örnekleri

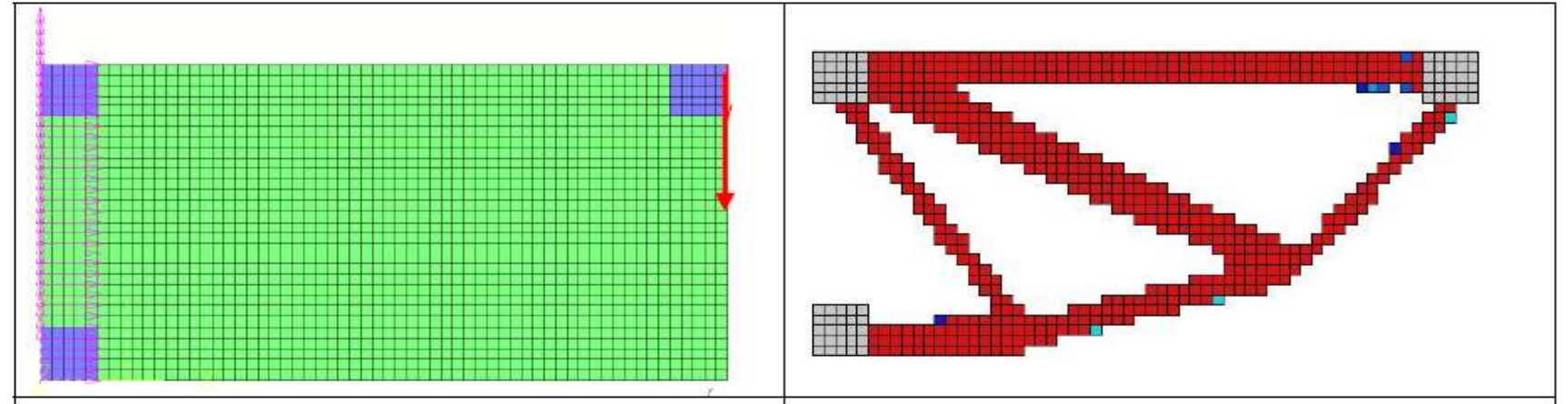
Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Üç boyutlu endüstriyel tasarımların geometrik şekilleri ve boyutları, karmaşık matematiksel denklemleri ile tanımlanmaktadır. Genelde non lineer matris, diferansiyel denklemler, işletme koşulları ve sınırsal değerler dikkate alınarak bazı varsayımlarla sonlu elemanlar hesap yöntemleri ile çözülmektedirler.

[Matematiksel Denklemler için tıklayın](#)



Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)



üç boyutlu ortamda herhangi bir endüstriyel tasarımı oluşturan malzemenin yada malzemelerin en uygun dağılımını sağlayan bir optimizasyon yöntemidir. Dış zorlamaların etkisiyle gerilmelerin yoğun olduğu kritik bölgelere malzemeyi gerilim azaltıcı, dağıtıcı olarak ölçülü yığmak, ve veya E-Modülü yüksek malzemeleri yaymak, gerilmelerin az olduğu yerlerden ise malzemeyi eksiltmek ya da E-Modül, yada yoğunluğu düşük malzemeler kullanmak esasına dayanmaktadır. Topoloji optimizasyon yönteminde üç boyutlu malzeme dağılımı ile dayanım, rijitlik gibi işletme özelliklerden ödün vermeden daha hafif, albenili, karlı endüstriyel tasarımların elde edilmesi hedeflenmektedir.

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Gewicht (Volumen):

$$f_w = \sum_e \int_V \gamma dV \quad f_v = \sum_e \int_V dV$$

γ ... spezifisches Gewicht
 Σ ... Summe über Elemente

Formänderungsenergie:

$$f_E = \sum_e \frac{1}{2} \int_V \sigma_{ij} \cdot \varepsilon_{ij} dV$$

$\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}$... Elemente des Spannungs- und Dehnungstensors

mit der Gesamtanzahl an Elementen n , der Oberfläche A , der Dichte ρ , und der Dicke t im Vektor der Designvariablen.

$$L(\underline{X}) = \underbrace{F(\underline{X})}_{\text{Zielfunktion}} + \nu_j \cdot \underbrace{g_j(\underline{X})}_{\substack{\text{Randbedingungen} \\ \text{z. B. max. Spannung}}} + \sum_{i=1}^n \alpha_i \underbrace{\left(-t_i + t_i^U\right)}_{\substack{\text{Nebenbedingung} \\ \text{min. Wandstärke}}} + \sum_{i=1}^n \beta_i \underbrace{\left(t_i - t_i^O\right)}_{\substack{\text{Nebenbedingung} \\ \text{max. Wandstärke}}}$$

Beschreibt man das Optimierungsproblem durch eine Lagrange Funktion,

so ist das Minimum durch den Sattelpunkt der Lagrange Funktion definiert (Kuhn-Tucker Bedingung).

Im Fall der Erfüllung der Rand- und Nebenbedingungen liegt ein unbeschränktes Optimierungsproblem vor. Der Gradient der Zielfunktion definiert in diesem Fall die Richtung der notwendigen Veränderungen hinsichtlich einer Verbesserung. Anschaulich lässt sich dieses Verfahren bei zwei Variablen erläutern. Die Zielfunktion, also beispielsweise die Bauteilmasse, ergibt sich als Kombination beider Variablen und stellt im Raum eine ein- oder mehrfach gekrümmte Fläche dar.

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Minimum	Maksimum
Dayanım	İsletme ömrü
Gerilme	Rijitlik
Ağırlık, Hacim	Frekans
Şekil değiştirme enerjisi	Havalandırma, soğutma

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Endüstriyel tasarımda optimizasyon hesaplarının hedefi aşağıdaki gibi sıralanabilir ;

- Gerilme yığılmalarını gidermek,
- Rijitliği artmak
- Ağırlığı düşürmek
- Şekildeğiştirme enerjisini azaltmak
- Tasarımlardan uygun olanın seçiminde
- Havalandırma, soğutma
- Hacmi küçültmek
- Dayanımı artırmak
- İşletme ömrüne artırmak
- Frekansı değiştirmek
- Eigenfrekansa erişmek
- İmalata uygunluk

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

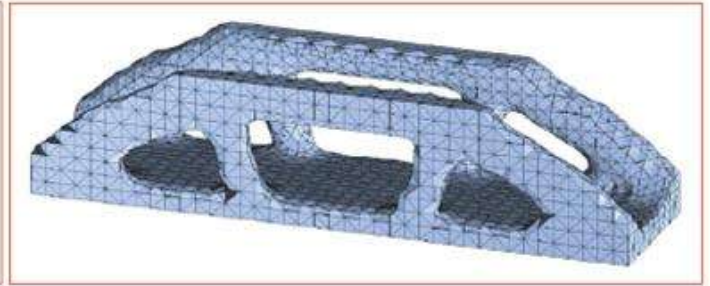
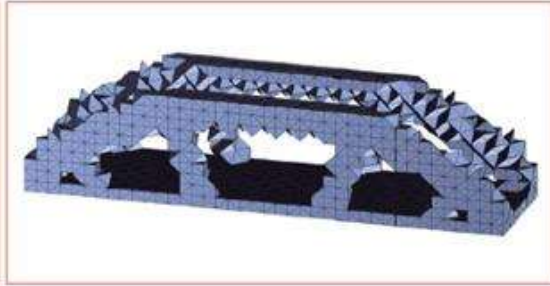
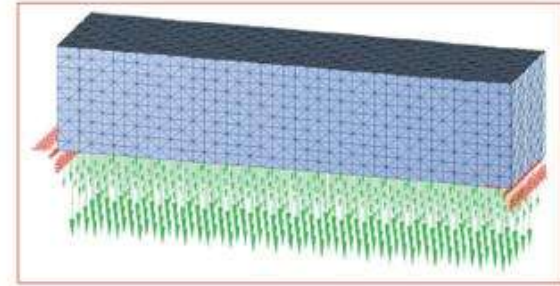
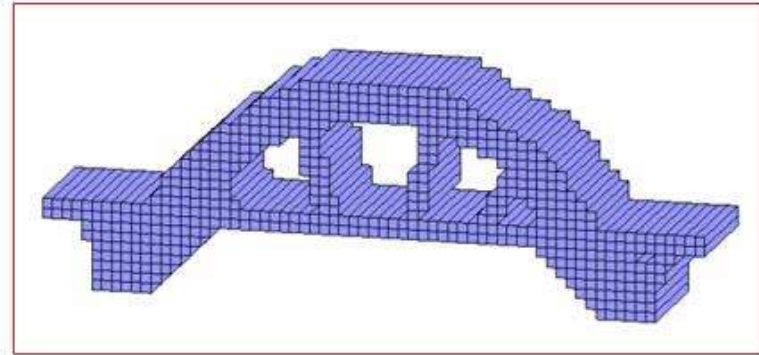
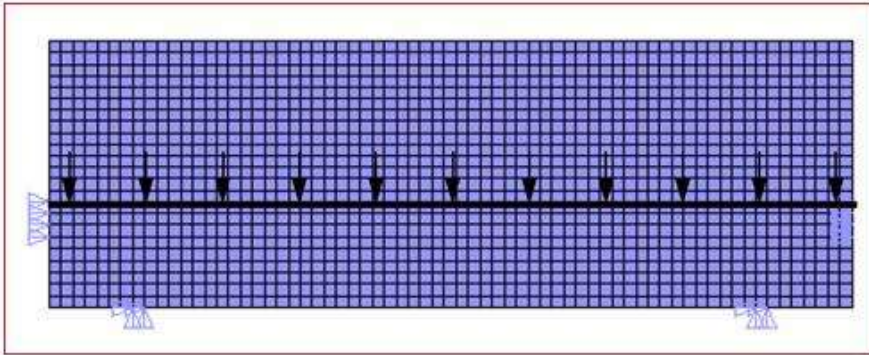
Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

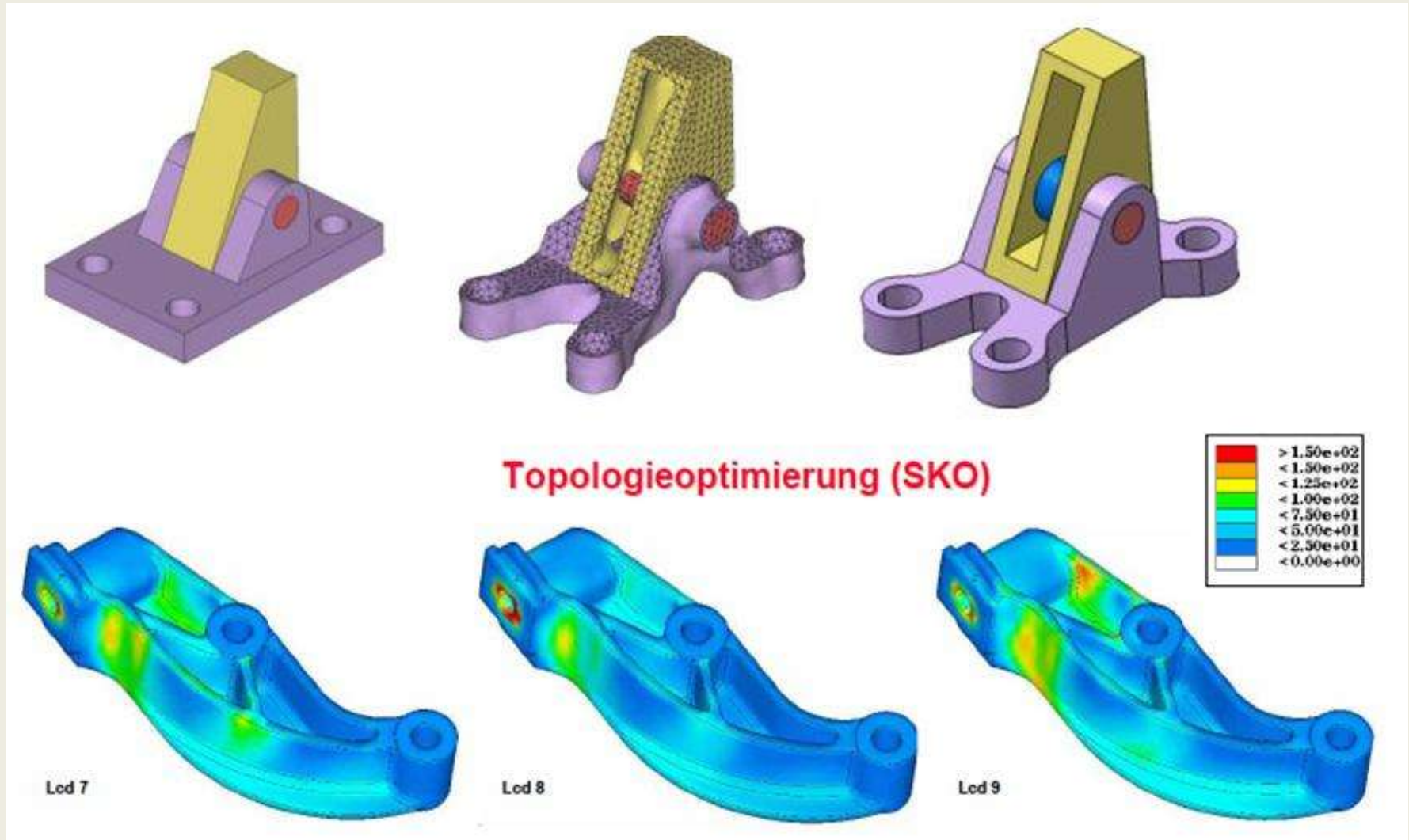
Topoloji optimizasyonda üç boyutlu endüstriyel tasarımın şekli kompleks matematiksel denklemlerle tanımlanmaktadır. Maksimum ya da minimum hedeflenen değerlere göre bu denklemin iteratif sayısına göre üç boyutlu şekilsel çözümler elde edilmektedir. Nümerik çözüm yöntemlerinde, program; **zorlamaların yüksek olduğu toposlara, yani yerlere malzeme yığmakta, ve veya E-Modülü, yoğunluğu yüksek olan malzeme değerlerini sanal olarak seçmektedir. Buna karşın gerilmelerin az ya da hiç olmayan yerlerden sanal olarak malzeme eksiltmektedir. Buradaki gerilme boşlukları E-modülü ya da yoğunluğu çok düşük olan poröz malzeme değerleri, programın işlemesi nedeniyle, sanal olarak seçilmektedir.**

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

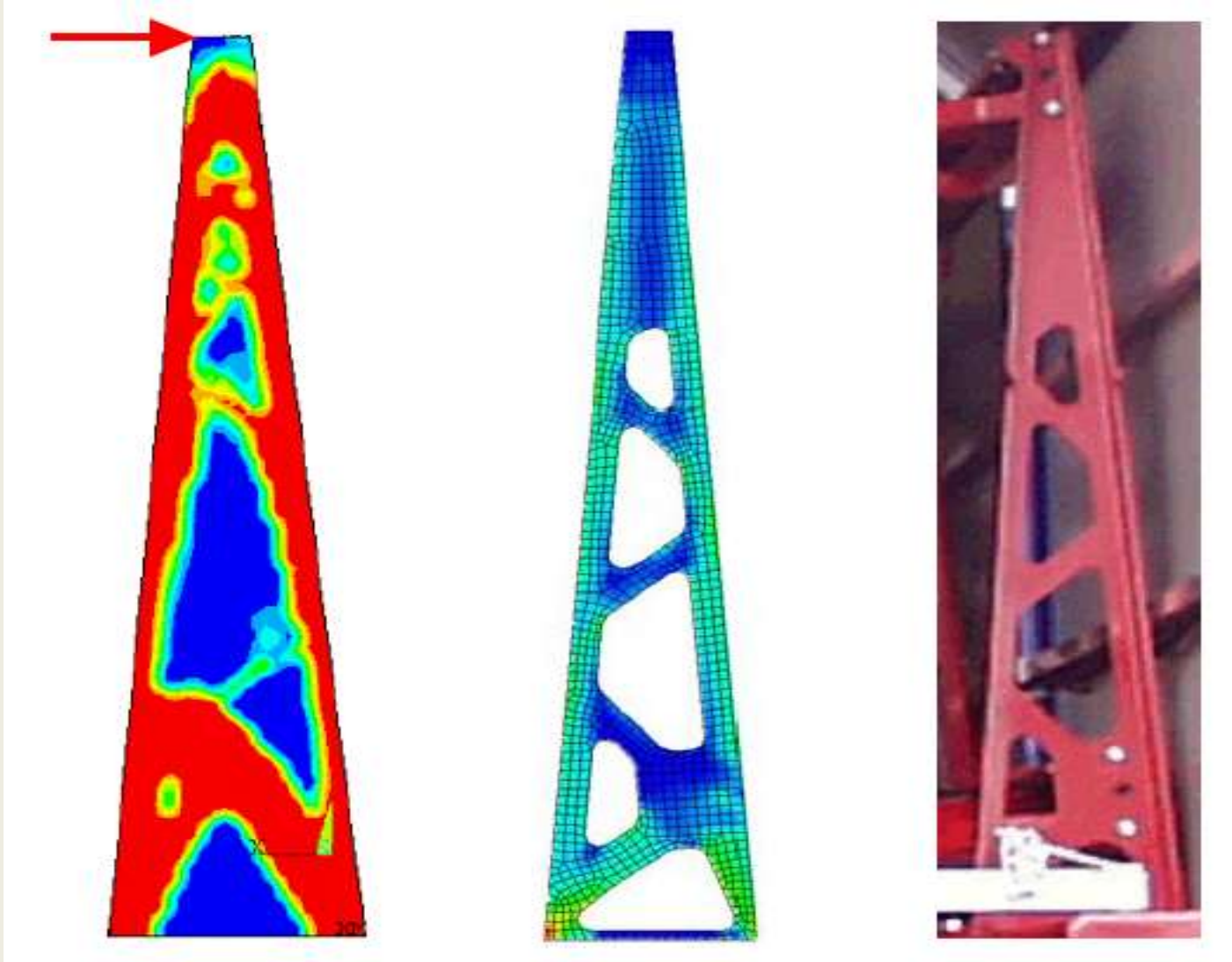


ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri



Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

**Topoloji optimizasyonun da literatürde farklı alt grupları
bulunmaktadır, Örneğin;**

- matematiksel topoloji optimizasyon,**
 - empirik topoloji optimizasyon,**
 - dinamik topoloji optimizasyon,**
- materyal topoloji optimizasyon,**
 - geometrik optimizasyon**

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Gibi, günümüzde topoloji optimizasyon yöntemi ile ilgili çok sayıda hazır paket programları bulunmaktadır. Bunların kullanımı basitleştirilmiş, kolaylaştırılmıştır, kabul edilebilir, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmektedir.

**ANSYS, MSC.NASTRAN, HYPERWORKS, MATLAB, CATIA,
INVENTOR, SOLIDWORKS, CAOSS; ABAQUS, TOSCA,
I-DEAS ,.....**

Çok sayıdaki optimizasyon hazır paket programların genel bir kullanımı söz konusu olmamaktadır. **Bazı optimizasyon programları belli endüstriyel tasarımları için memnun edici, kullanılabilir sonuçlar verirken başka tasarımlar için kullanılmaz sonuçlar da verebilmektedirler.**

Bazı mühendislik danışmanlık bürolarının belli tasarımlar, ürünler için geliştirdikleri optimizasyon programlarını piyasada bulmak mümkündür.

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Selection of optimized components

Combined bracket for alternator and air-conditioning compressor



Original shape

Design space

Topology
result

New design

Stress check

2058 g

1676 g

27. September 2005

Topology Optimization at
Volkswagen

30



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Topoloji optimizasyonu ile elde edilen malzeme tasarrufu küçümsenmemelidir. Elde edilen malzeme tasarrufu endüstriyel tasarımın hacimsel büyüklüğüne, sistemin parça, eleman sayılarına göre bir kaç gram olabildiği kadar yüzlerce kilo da olabilmektedir. Bilhassa seri yığınsal parça üretimden elde edilen malzeme, işlem ve enerji tasarrufu ile işletmenin kazancı ve rekabet şansı artar.

Ulaşım vasıtalarında

(otomobil, otobüs gibi taşıt karoserlerinde, gemi ve uçak konstrüksiyonlarında) Multi optimizasyon yöntemleri, uygun malzeme secimi ve uygun imalat yöntemleri ile elde edilen ağırlık tasarrufu, vasıtanın tipine göre % 40 lara kadar varabilmektedir. Buradaki malzeme tasarrufu tasarımın üretim ve işletmedeki enerji masraflarını da büyük ölçüde azaltmaktadır.

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Endüstriyel tasarımların büyüklüklerine ve, karmaşıklıklarına göre tasarım, işletme dayanımı ömür hesapları, malzeme, imalat ve nümerik hesap yöntemleri gibi farklı bilim alanlarının bir kombinasyonu gerekli olmaktadır. Günümüzde endüstriyel bir tasarımın piyasaya gerekli bir zaman süresinde kullanıma hazır getirilmesi için farklı bilim alanlarının ile ortak ekipsel bir çalışması söz konusu olmaktadır. Örneğin, uluslar arası bir proje dahilinde sürdürülen ARGE- çalışmalarında yeni tip otomobil karoserlerinde rijitlik artışı yanında ağırlıktan % 30 kadar tasarruf edilmiştir.

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

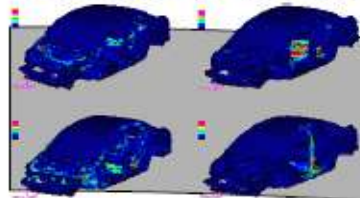
Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Topologieoptimierung
in der Rohkarosserie-Entwicklung

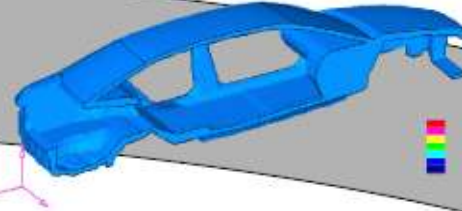


Topologieoptimierung einer Rohkarosserie

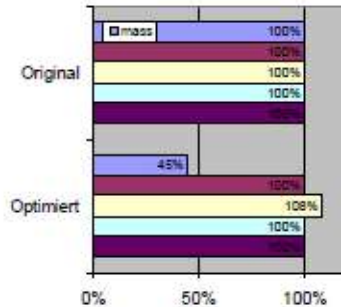
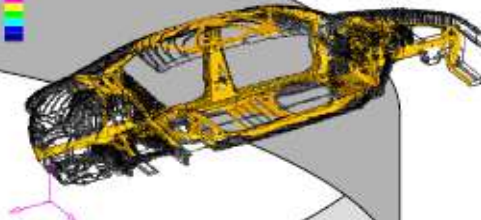
Lastfälle, Zielwerte



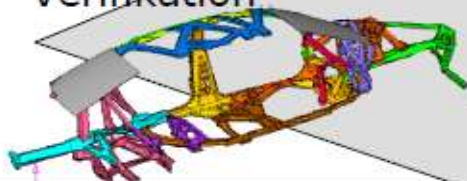
Festlegung des
Bauraumes



Topologie-
optimierung



Enddesign
Verifikation



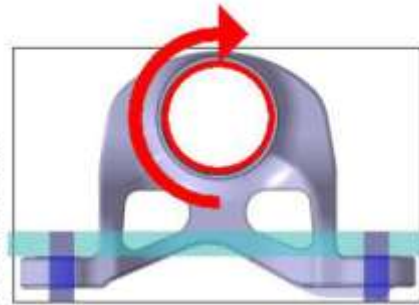
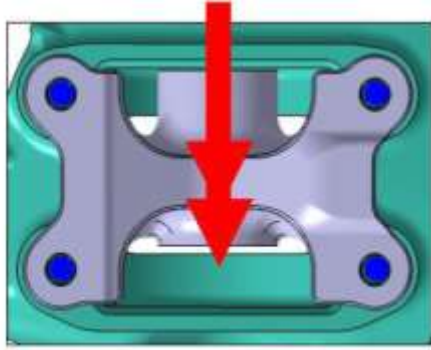
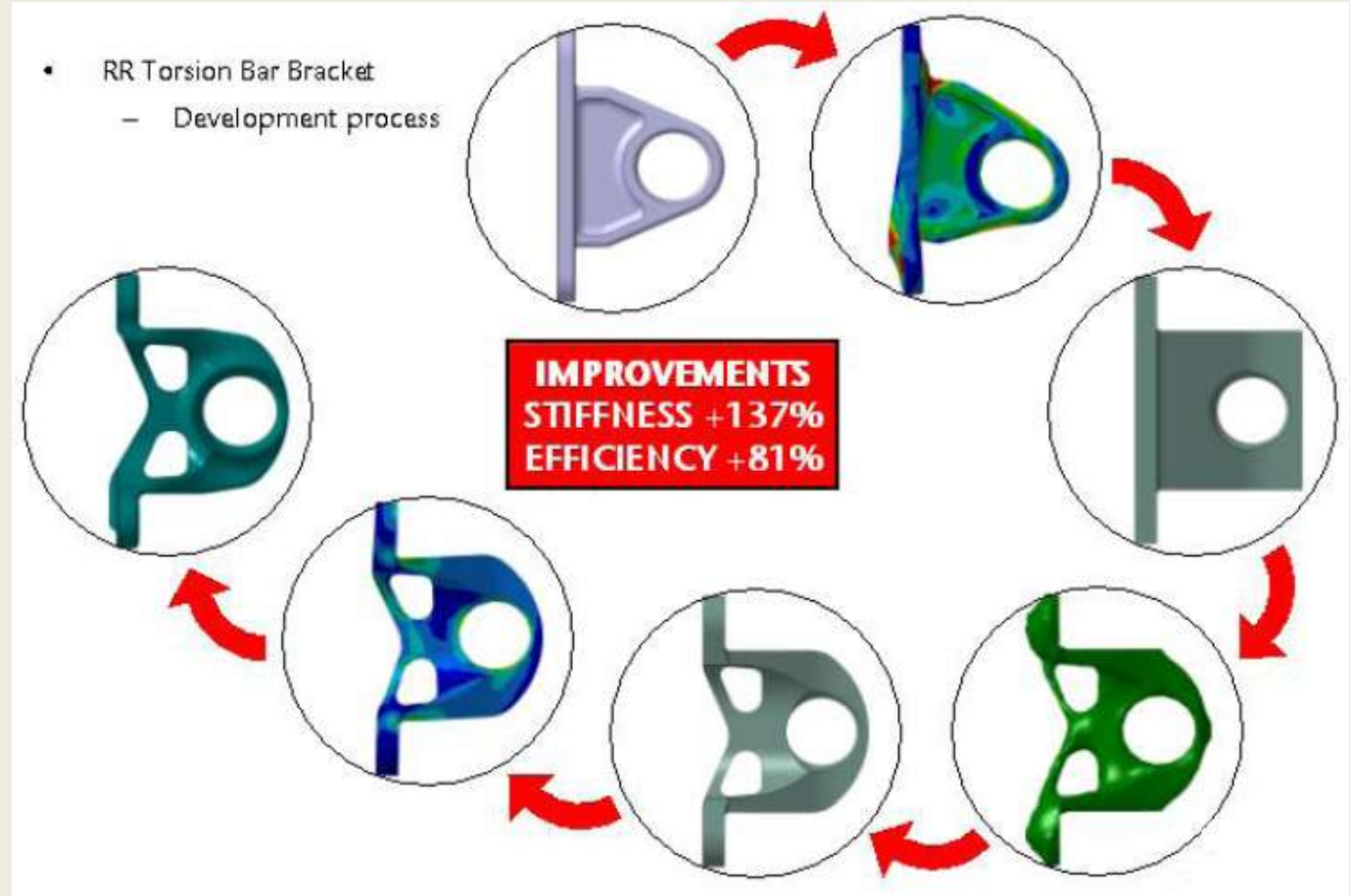
Item	Value	Unit
...
...
...
...
...

Katalog, Regeln
Konstruktive

Designvorschlag

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

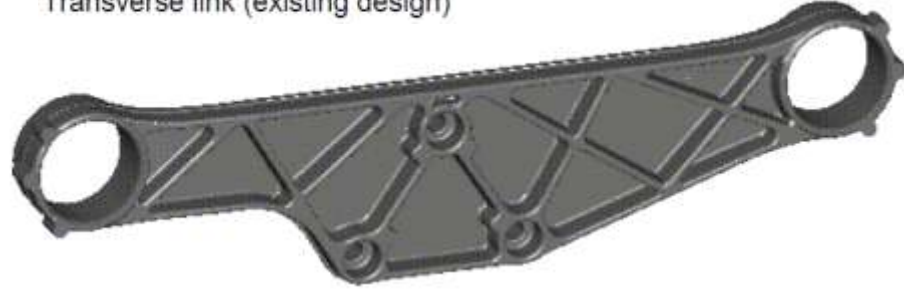
Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)



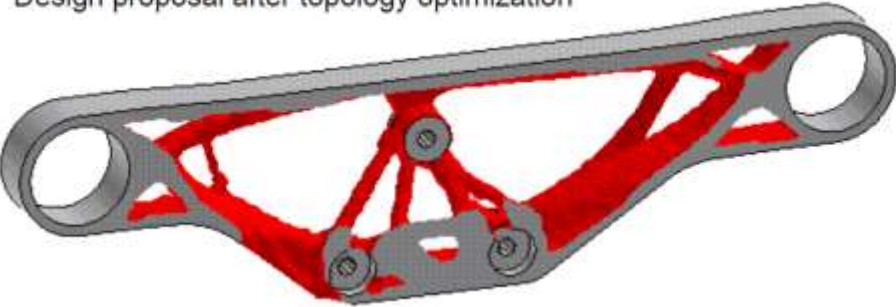
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Transverse link (existing design)



Design proposal after topology optimization



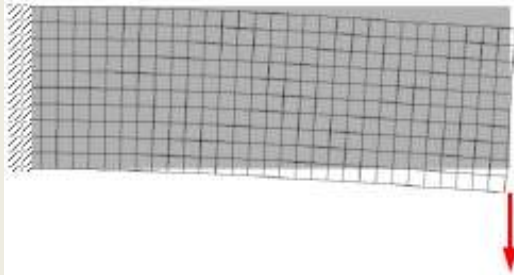
New design based on the topology optimization results

Durch den Einsatz der Topologieoptimierung konnte ein steiferes, höher belastbares Teil bei gleichzeitiger Gewichtsreduzierung erstellt werden. Aufgrund der konstruktionsbegleitenden Simulation waren die Festigkeitsversuche bereits für den 1. Prototyp erfolgreich.

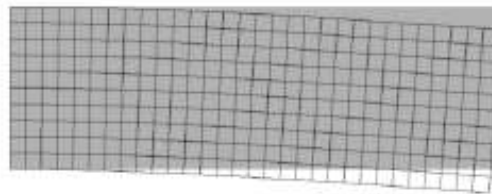
%12 ağırlıktan tasarruf, % 60 dayanım ve % 16 rijitlik artışı

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

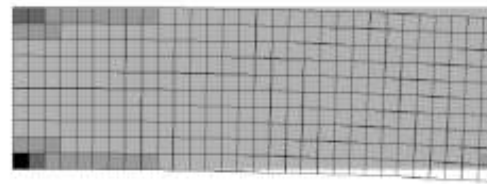
Homogenisierungsmethode von Bendsøe und Kikuchi: Optimierungsprozess



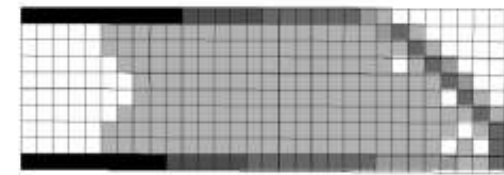
Mittlere Dichte : $\rho=0.525$
Anzahl Elemente : $N=300$



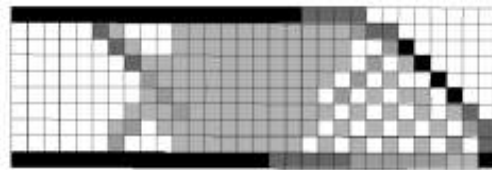
Initial Design



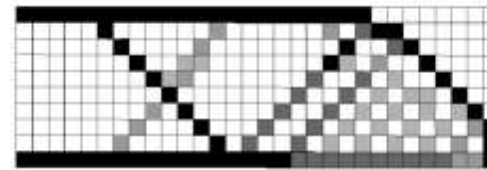
1 Iteration



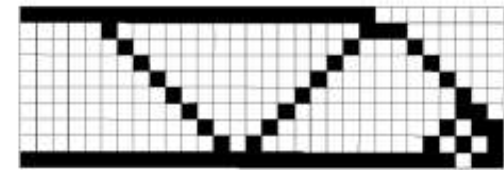
20 Iterationen



40 Iterationen



60 Iterationen



83 Iterationen

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Hazır paket programların kullanımı ile topoloji optimizasyonuna örnek

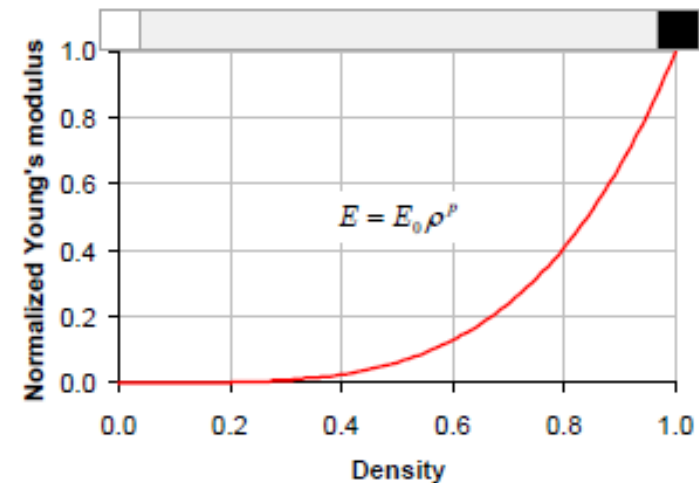
Homogenisierungsmethode von Bendsøe und Kikuchi: Dichtefunktion

Als Lösung des Topologieoptimierungsproblems sollten alle Elemente entweder leer oder gefüllt sein, also einen von zwei möglichen diskreten Zuständen angenommen haben.

Bendsøe und Kikuchi führen eine kontinuierliche Dichtefunktion ein, so dass jedes Element sogar unendlich viele Zustände annehmen kann. Das überführt das diskrete Problem in ein stetiges, welches schneller lösbar ist.

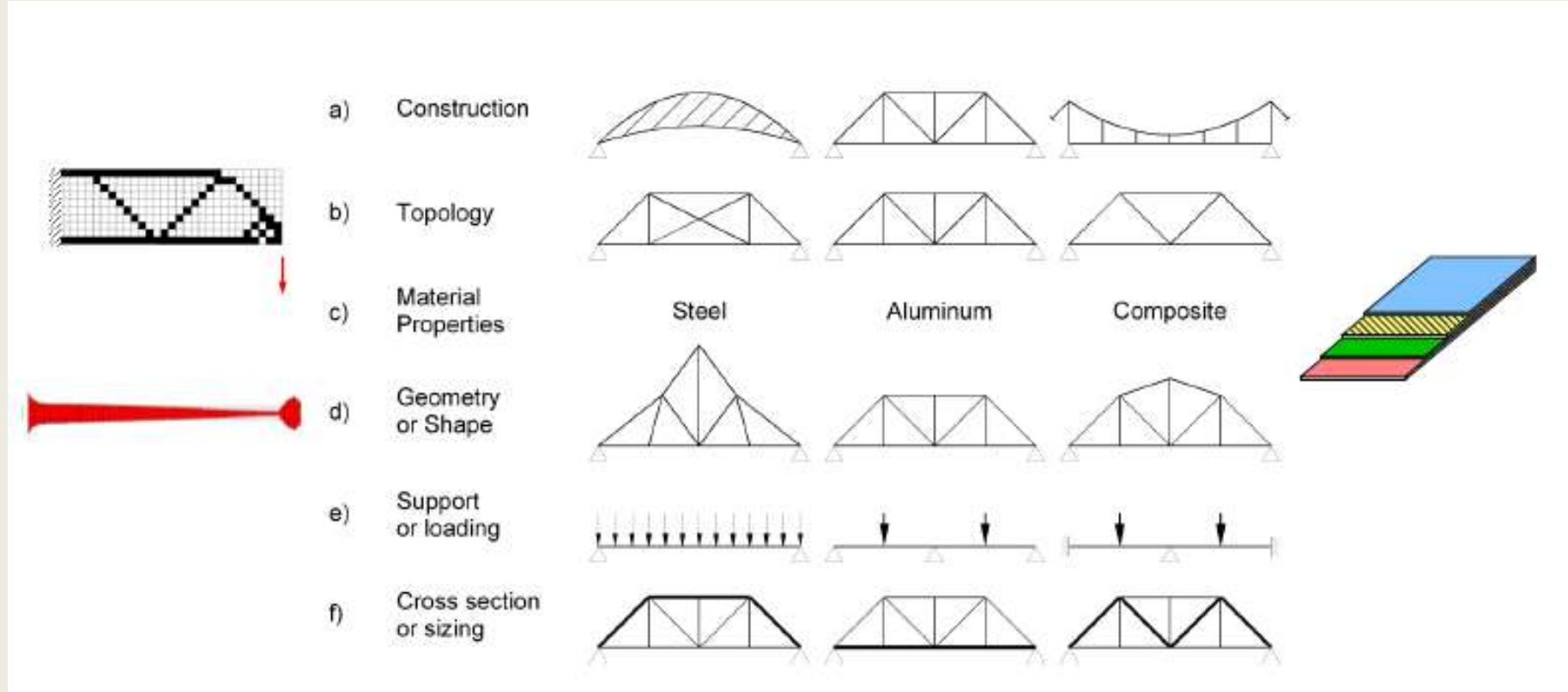
Das Problem der Topologieoptimierung wird so umgewandelt in ein Auslegungsproblem, indem die optimalen Werte der Dichte der einzelnen Elemente gefunden werden muss.

Im iterativen Optimierungsprozess bevorzugt die Dichtefunktion die beiden Zustände "0" und "1".



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)



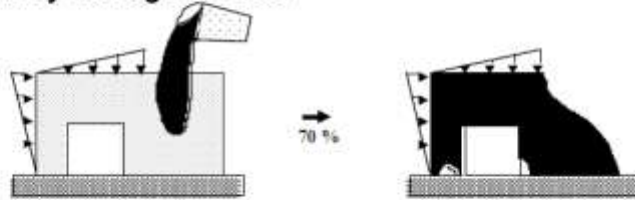
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Topology Optimization

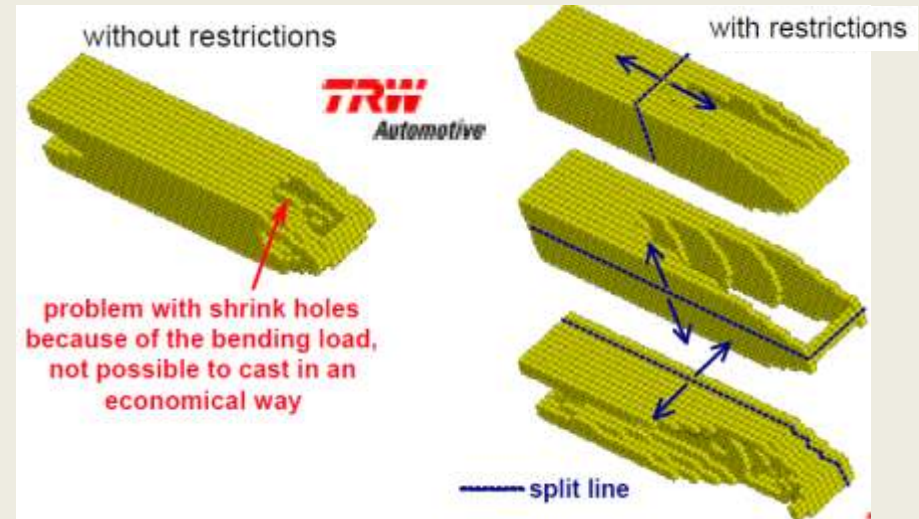
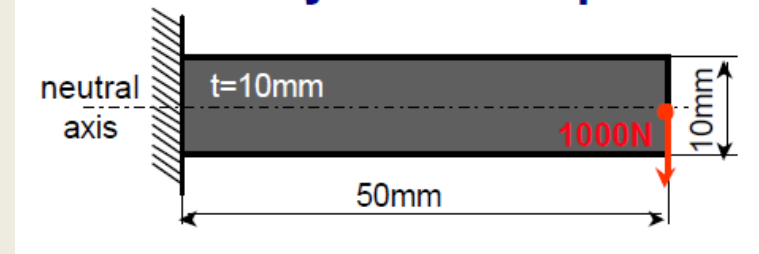
Target:

Distribute a quantity of material in a field to minimize/maximize the elastic energy, respectively the eigenvalues.



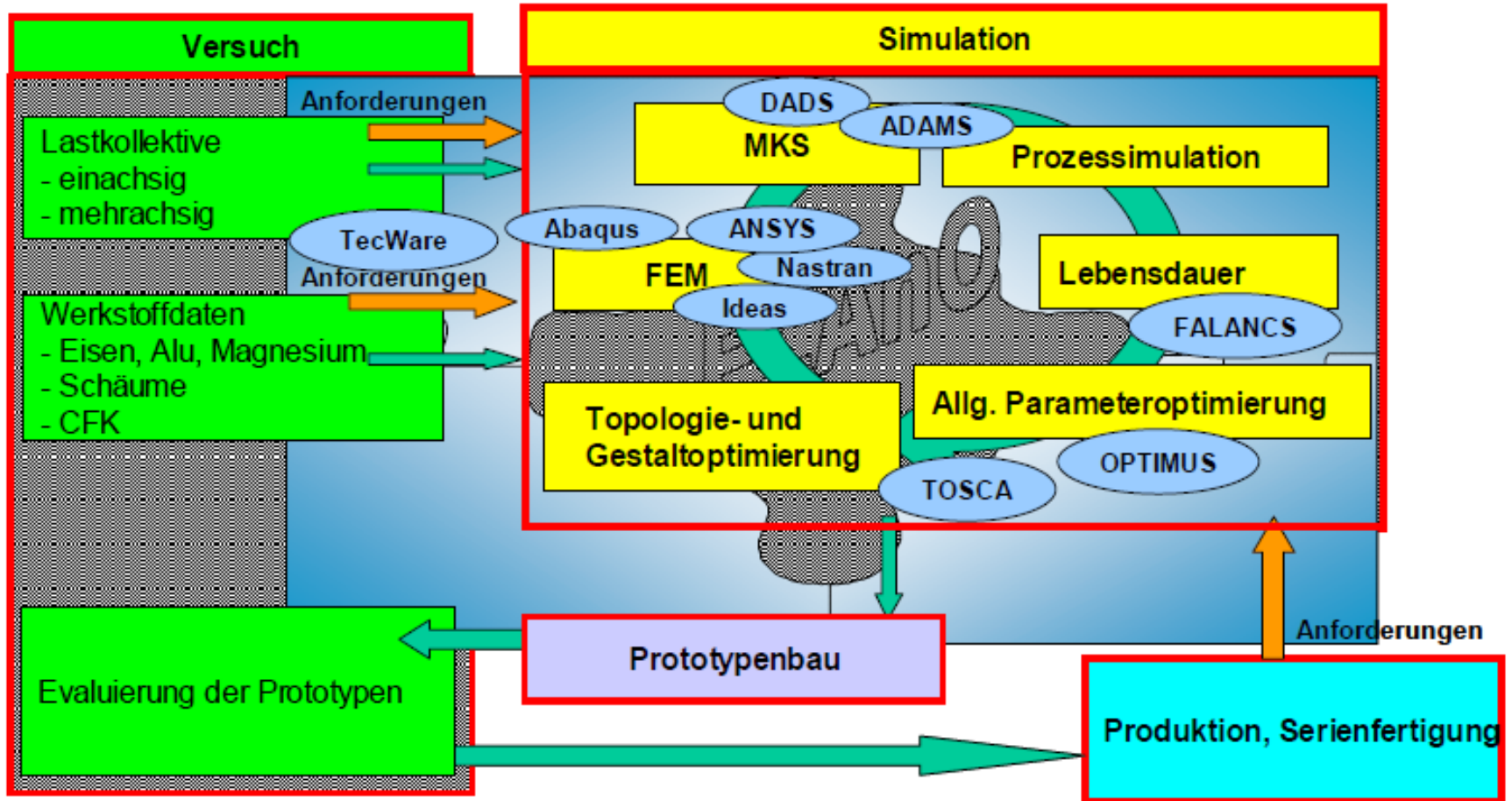
Ziel:

Verteile eine gewisse Menge von Material auf einem vordefinierten Bereich so, dass die Energien der elastischen Nachgiebigkeiten bzw. die Eigenwerte minimal / maximal werden



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)



1 Zusammenspiel der verschiedenen Module

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Die Topologieoptimierung (TPO)

Die Definition des Optimierungsproblems bei der Topologieoptimierung stellt keine hohen Anforderungen an den Anwender. Der Einsatzbereich der noch relativ neuen Topologieoptimierung ist derzeit auf die Optimierung der Steifigkeit und der Eigenwerte beschränkt. Die Unterschiede der kommerziellen Produkte, bezüglich der Vielfalt der Zielfunktion ist nicht sehr groß. Da die Feinheit der Lösung von der Vernetzung abhängt, sollten die Modelle relativ fein vernetzt sein. Bei 3D-Solidstrukturen bedeutet dies sofort eine große Anzahl von Elementen. Bei der Topologieoptimierung sind Modelle mit über 100 000 Elementen (300 000 DOF) keine Seltenheit.

Die Dimensionierungsoptimierung (DIO)

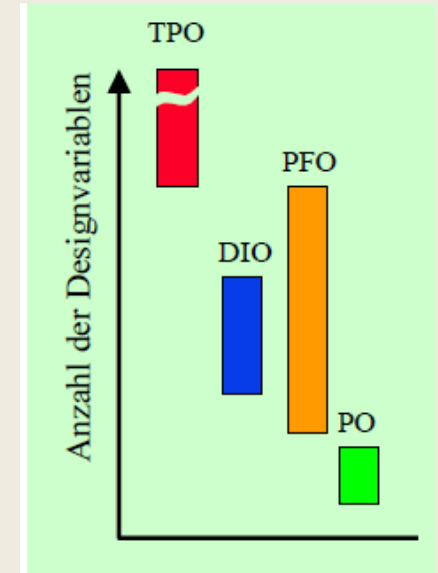
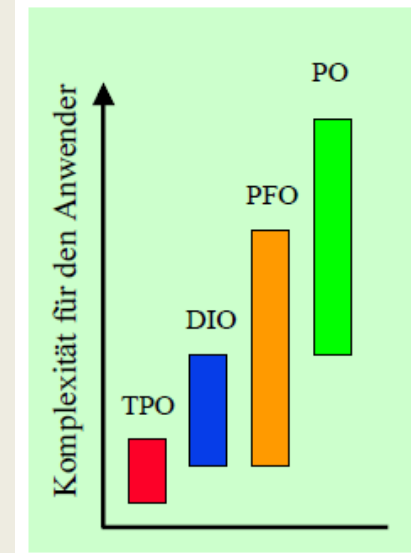
Die Anforderungen an den Anwender zur Definition des Optimierungsproblems bei der Dimensionierungsoptimierung sind höher als an die Topologieoptimierung. Die Komplexität variiert etwas, je nach eingesetztem Programm und dem zu lösenden Problem. Die Dimensionierung erfolgt in der Regel mit mathematischen Optimierungsalgorithmen, bei denen eine Vielzahl von Zielfunktionen vorgegeben werden kann. Die Vielzahl der kommerziell vorhandenen und eingesetzten Produkte unterscheiden sich hinsichtlich Handhabung, Funktionalität und Effizienz erheblich. Bei der Dimensionierungsoptimierung handelt es sich meist um Schalen- bzw. Balkenstrukturen, die teilweise sehr komplex sind.

Die parameterfreie Gestaltoptimierung (PFO)

Der Aufwand für die Definition des Optimierungsproblems bei der parameterfreien Gestaltoptimierung ist stark von dem eingesetzten Programm und von den einzugebenden Restriktionen abhängig. Die Vielfalt der Zielfunktionen ergibt sich aufgrund der im Programm eingesetzten Optimierungsstrategie und schwankt sehr stark. Die Anzahl der vernünftig verarbeitbaren Designvariablen ist ebenfalls abhängig von dem eingesetzten Produkt. Die Anzahl der Designvariablen ist, je nach gewünschter Flexibilität, teilweise sehr hoch (große Anzahl von Stützstellen zur Beschreibung der flexiblen Geometrie).

Die parameterorientierte Gestaltoptimierung (PO)

Der Aufwand zur Definition des Optimierungsproblems ist bei dieser Art der Optimierung besonders hoch. Der Aufwand ist abhängig vom eingesetzten Programm und insbesondere vom zu lösenden Optimierungsproblem. Im Gegensatz zu den anderen Optimierungsarten steigt hier der Aufwand für den Benutzer und die Störanfälligkeit der Optimierung stark mit der Anzahl der Designvariablen. Die Anzahl der Designvariablen ist im Gegensatz zu den anderen Optimierungsverfahren sehr klein. Mit steigender Anzahl der Designvariablen erhöht sich die Anzahl der notwendigen Iterationen und die Wahrscheinlichkeit, daß die Optimierung nicht konvergiert.



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

3.5 Topologieoptimierung (TPO)

Allg. Beschreibung

In der frühen Entwurfsphase ist man bestrebt, eine Grobgestalt des zu entwerfenden Bauteiles zu finden, die die funktional wichtigen Bereiche miteinander verbindet und welche den bereits bekannten Restriktionen wie z.B. aus Fertigung und Einbau genügt. Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist dabei die beanspruchungsgerechte Konstruktion des Bauteils.

Bei der Topologieoptimierung in der Konzeptphase, wird nur der maximal zulässige Bauraum modelliert (inklusive eingefrorener, funktional wichtiger Bereiche). Zusammen mit den aufgetragenen Randbedingungen erhält der Entwickler Auskunft über Lage und Dimension von Durchbrüchen und Rippen. Der Bauraum ist in vielen Fällen eine sehr einfache Struktur, die kein CAD-Modell erfordert. Die Topologieoptimierung kann aber auch zur Verbesserung (Gewichtsreduktion) von bestehenden Bauteilen eingesetzt werden.

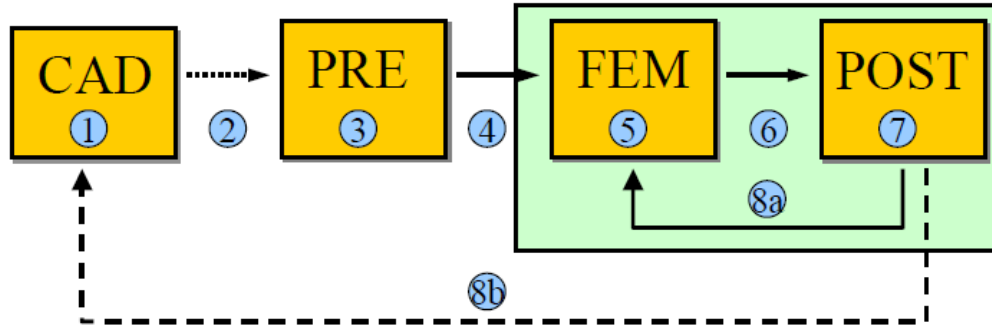


Bild 9 Schema einer Topologieoptimierung

Aufgaben des Anwenders

- Aufbau und einfache Vernetzung des Konstruktionsraumes
- Aufbringen der Randbedingungen (n-Lastfälle)
- Zielfunktion definieren

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

3.6 Voraussetzungen für die Optimierung (tabellarisch)

Voraussetzungen für die Optimierung	Dimensionierungsoptimierung (DIO)	Parameterorientierte Gestaltoptimierung (PO)	Parameterfreie Gestaltoptimierung (PFO)	Topologieoptimierung (TPO)
Step 1, CAD-Modellerstellung	<ul style="list-style-type: none"> • CAD kann, muß aber nicht vorhanden sein • Parametrisierung nicht notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> • CAD-Modell muß parametrisiert sein • CAD-Modell muß bei der Veränderung der Parameter innerhalb des zulässigen Bereiches regulär aufgebaut werden (keine Entartung) 	<ul style="list-style-type: none"> • CAD kann, muß aber nicht vorhanden sein • Parametrisierung nicht notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> • sehr einfaches CAD-Modell, das den zulässigen Konstruktionsraum darstellt (im klassischen Sinne kein CAD-Modell)
Step 2, Geometrie/Modelltransfer	<ul style="list-style-type: none"> • Mittelfläche sollte im CAD generiert werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Parameter dürfen bei der Optimierung nicht verloren gehen (Kein IGES, VDAFS, STEP möglich) => Direktschnittstellen oder integrierte Lösungen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie bei einer normalen FE-Analyse (Geometriedaten werden nicht benötigt) 	<ul style="list-style-type: none"> • wie bei einer normalen FE-Analyse (Geometriedaten werden nicht benötigt)
Step 3, Modellaufbereitung im Preprozessor, Definition des Optimierungsproblems (Zielfunktion, Randbedingungen, Restriktionen)	<ul style="list-style-type: none"> • abstrahiertes Modell (meist Balken oder Schalen) muß vorhanden sein • Benutzer muß gewissen Abstraktionsgrad akzeptieren 	<ul style="list-style-type: none"> • Definition des Optimierungsproblems ist eine klassische Funktionalität eines parameter-orientierten CAD-Systems. • Besser ist, wenn die Optimierungsbedingungen gleich im CAD-System definiert werden. • Viel Flexibilität bedeutet hohen Aufwand, wenig Flexibilität geringen. • Die Schnittstelle (Step 2) muß diese Daten dann auch übertragen • Meist wird in der Iteration eine Neuvernetzung durchgeführt, oder eine extrem flexible Vernetzung ist erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> • Viel Flexibilität bedeutet geringen Aufwand, wenig Flexibilität bedeutet hohen Aufwand (z.B. viele Fertigungsrestriktionen). • Möglich ist auch eine Definition im CAD-Modell • gute Vernetzung sollte vorhanden sein, weil meist mit Netzkorrekturalgorithmen gearbeitet wird. 	<ul style="list-style-type: none"> • Definition des Optimierungsproblems ist sehr einfach • Möglich ist auch eine Definition im CAD-Modell • Vernetzung sehr einfach, Verwendung mit Voxel ist denkbar
Step 4, Modelltransfer zum Solver	<ul style="list-style-type: none"> • keine spezifischen Optimierungsprobleme 	<ul style="list-style-type: none"> • keine spezifischen Optimierungsprobleme 	<ul style="list-style-type: none"> • keine spezifischen Optimierungsprobleme 	<ul style="list-style-type: none"> • keine spezifischen Optimierungsprobleme
Step 5, Analyse des numerischen Modells,	<ul style="list-style-type: none"> • keine Probleme (im Bezug auf Optimierung) 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Probleme (im Bezug auf Optimierung) • ev. stark verzerrte Netze 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Probleme (im Bezug auf Optimierung) • eventuell. stark verzerrte Netze 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Probleme (im Bezug auf Optimierung) • große Modelle (500000 DOF's und mehr)

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Voraussetzungen für die Optimierung	Dimensionierungsoptimierung (DIO)	Parameterorientierte Gestaltoptimierung (PO)	Parameterfreie Gestaltoptimierung (PFO)	Topologieoptimierung (TPO)
Step 6, Transfer der Berechnungsergebnisse	<ul style="list-style-type: none">• keine spezifischen Optimierungsprobleme	<ul style="list-style-type: none">• keine spezifischen Optimierungsprobleme	<ul style="list-style-type: none">• keine spezifischen Optimierungsprobleme	<ul style="list-style-type: none">• keine spezifischen Optimierungsprobleme
Step 7, Auswertung	<ul style="list-style-type: none">• siehe allgemeine Anforderungen	<ul style="list-style-type: none">• siehe allgemeine Anforderungen	<ul style="list-style-type: none">• siehe allgemeine Anforderungen	<ul style="list-style-type: none">• siehe allgemeine Anforderungen
Step 8, Modellveränderung (während der Optimierung)	<ul style="list-style-type: none">• Änderung der Prop.ID von Elementen (Balken, Schalen, ...)• Veränderung erfolgt meist direkt im Solver	<ul style="list-style-type: none">• Parameterveränderung hat direkte Rückkopplung auf das CAD-Modell• Netzkorrektur (bei kleinen Geometrieänderungen) oder komplette Neuvernetzung (oft nur Tetraeder möglich) notwendig• Notwendigkeit einer automatischen Neuvernetzung (hier methodenbedingt mit P- Methode einfacher als mit H-Methode)	<ul style="list-style-type: none">• Veränderung der Gestalt aufgrund von Verschiebungen der Knoten an der Oberfläche.• Korrektur des FE-Netzes (verschiedene Methoden)• Entkopplung zur Geometrie	<ul style="list-style-type: none">• Veränderung des FE-Modells durch eine lokale Veränderung der Materialeigenschaften und lokale Veränderung der Elemente.• Veränderung auf FE-Modell Basis
Step 8b, Modellweiterverarbeitung (nach der Optimierung)	<ul style="list-style-type: none">• keine weitere Modellveränderung• kein Transfer zu CAD-Systemen• Mittellage der Schalen kann in CAD-System übertragen werden, Erzeugung der 3D-Struktur entsprechend der Schalendicke und Offset von Hand, halbautomatisch, automatisch ?	<ul style="list-style-type: none">• keine weitere Modellveränderung notwendig, Geometrie direkt im CAD-System	<ul style="list-style-type: none">• Rückführung des von der Geometrie entkoppelten FE-Modells (Geometrierückführung), von Hand, halbautomatisch, automatisch ?	<ul style="list-style-type: none">• Keine weitere Modellverarbeitung (Ideenskizze) oder• Rückführung des FE-Modells in ein CAD -System (geglättete Struktur), von Hand, halbautomatisch, automatisch ?

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

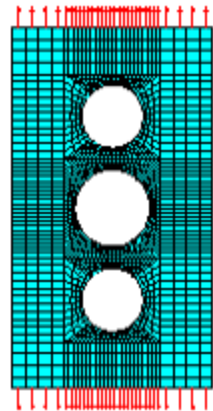
3.7 Charakterisierung der unterschiedlichen Arten der Strukturoptimierung (tabellarisch)

Charakterisierung	Dimensionierungsoptimierung (DIO)	Parameterorientierte Gestaltoptimierung (PO)	Parameterfreie Gestaltoptimierung (PFO)	Topologieoptimierung (TPO)
Probleme/Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Rückkopplung zu CAD-System, Weiterverarbeitung der Daten • Eingeschränkt auf Balken und Schaleneneigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl der Parameter sollte überschaubar bleiben (damit numerisch stabil) • Auswahl geeigneter Optimierungsalgorithmen, -> große Unstetigkeiten) • Auswahl der DV so, daß gute Lösung möglich ist, wenn die Parametrisierung geeignet hinterlegt wurde. Ist abhängig von der Kreativität des Anwenders und den Funktionen des 3D-Systems. • Neuvernetzung oder Netzkorrektur erforderlich • Unflexibel bzgl. DV-Änderung (Auswahl der Designvariablen und die Modellierung sind stark gekoppelt) 	<ul style="list-style-type: none"> • Einbau von Fertigungsrestriktionen, Einbau von Parametern (Kreis muß Kreis bleiben), ist möglich aber umständlich • Entkopplung zur Geometrie durch Knotenverschiebung • Rückkopplung zu CAD-System, Weiterverarbeitung der Daten • Der Aufwand für die Fertigung wird in der Regel aufwendiger (Komplexe Formen und Flächen entstehen) 	<ul style="list-style-type: none"> • extrem hohe Anzahl von Elementen notwendig, damit die Auflösung genügend fein ist (für Ingenieurprobleme) • Große Datenmenge (sowohl auf der Festplatte als auch für die Visualisierung) • benötigt leistungsfähige Rechner mit viel Speicherkapazität (Festplatte und RAM)
Nutzen/Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • wenige Softwarekomponenten betroffen • verschiedene stabile Algorithmen vorhanden und im Einsatz • viele Restriktionen & Zielfunktionen zulässig • externe Lösungen relativ einfach an verschiedene Solver anknüpfbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Lösung direkt in der CAD-Umgebung zurückzuführen und weiterverarbeitbar 	<ul style="list-style-type: none"> • große Auswahl an Designvariablen zulässig • hohe Flexibilität • sehr gute Lösung • unabhängig von der Kreativität des Bearbeiters • echte neue Lösungen (auch Überraschungen zulässig) 	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch erzeugter Entwurf • echte neue Lösungen möglich • entscheidender Winner-Point

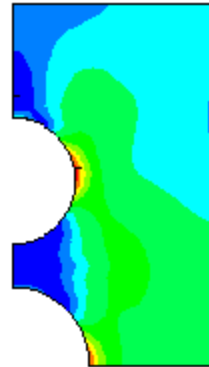
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

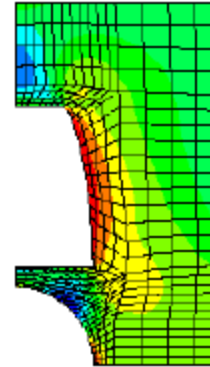
Charakterisierung	Dimensionierungsoptimierung (DIO)	Parameterorientierte Gestaltoptimierung (PO)	Parameterfreie Gestaltoptimierung (PFO)	Topologieoptimierung (TPO)
Fazit	<ul style="list-style-type: none">• Stand der Technik• viele Imp• Probleme metriemo	<ul style="list-style-type: none">• wenige Systeme verfügbar	<ul style="list-style-type: none">• wenige Systeme verfügbar	<ul style="list-style-type: none">• relativ neue Technologie (derzeit starke Expansion)• völlig neue Einsatzgebiete (außerhalb der klassischen FE-Anwendung)
Anwendungen	<ul style="list-style-type: none">• MSC/NA• Permas• ANSYS• u.v.a.			<ul style="list-style-type: none">• MSC/CONSTRUCT (Topology)• OPTISTRUC, HYPERSHAPE.• ANSYS (ab V5.4 angekündigt)



FE- Model with BC's
($\sigma_{v,max} = 230 \text{ MPa}$)



1st Step :
Parametric Optimization
($\sigma_{v,max} = 200 \text{ MPa}$)



2nd Step :
Non Parametric Optimization
($\sigma_{v,max} = 160 \text{ MPa}$)

Bild 12 Zweistufige Gestaltoptimierung

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

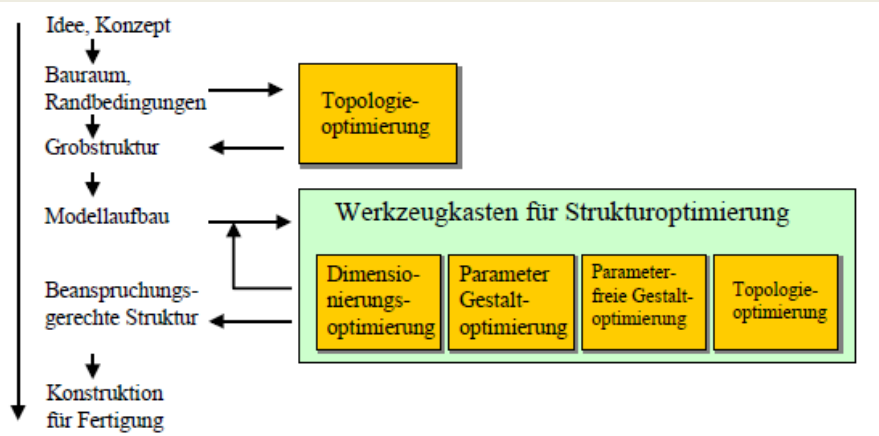


Bild 10 Gesamtkonzept zum Einsatz der Strukturoptimierung

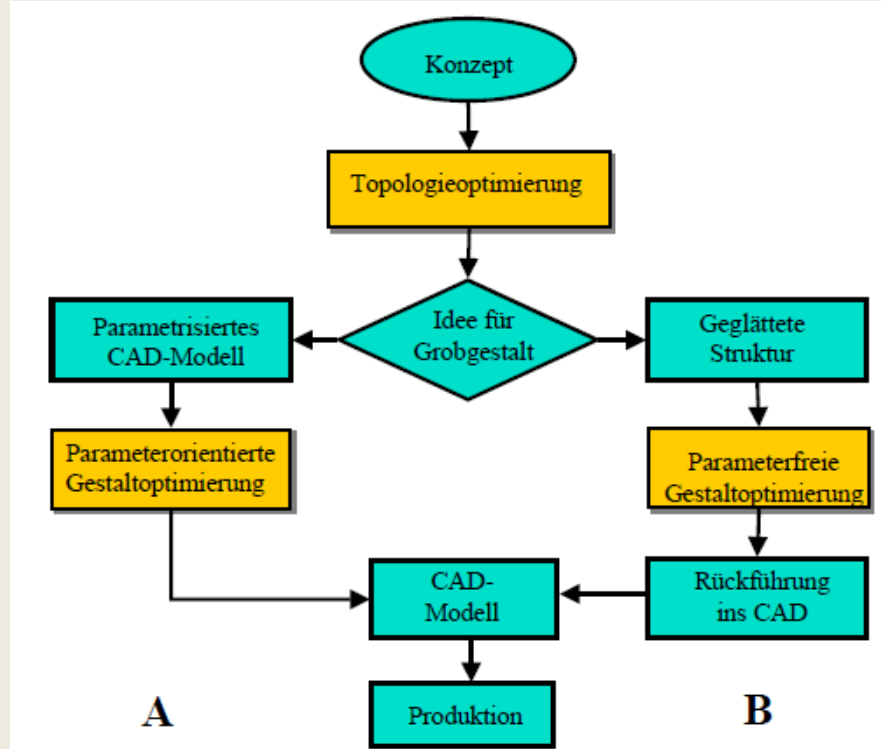
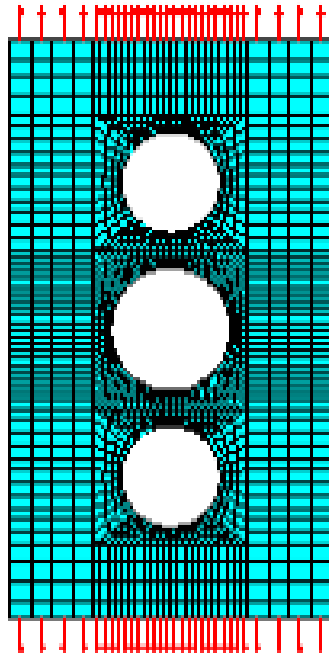


Bild 11 Schematische Darstellung zweier Wege einer Produktentstehung unter Einsatz von Strukturoptimierungswerkzeugen

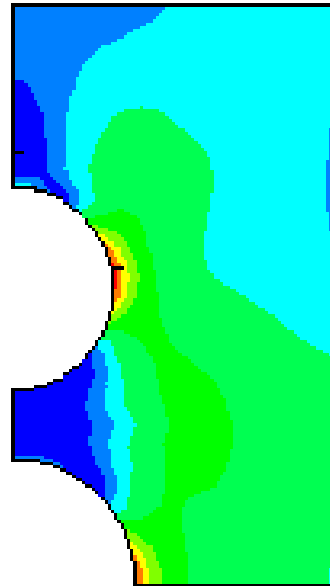
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)



FE- Model with BC's

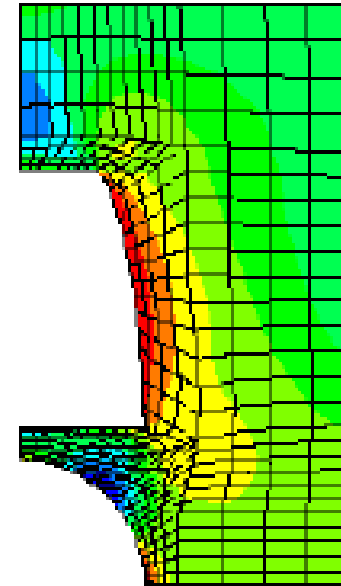
($\sigma_{v,max} = 230$ MPa)



1st Step :

Parametric Optimization

($\sigma_{v,max} = 200$ MPa)



2nd Step :

Non Parametric Optimization

($\sigma_{v,max} = 160$ MPa)

Bild 12 Zweistufige Gestaltoptimierung

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Industrielle Beispiele zum Einsatz verschiedener Strukturoptimierungswerkzeuge

Im ersten Beispiel wird eine Anwendung gezeigt, die entsprechend Weg B (aus Kapitel 4) durchgeführt wurde. Sie wurde anlässlich der MSC-Anwenderkonferenz 1998 veröffentlicht und bei der Firma INA-Wälzlagertechnik durchgeführt.

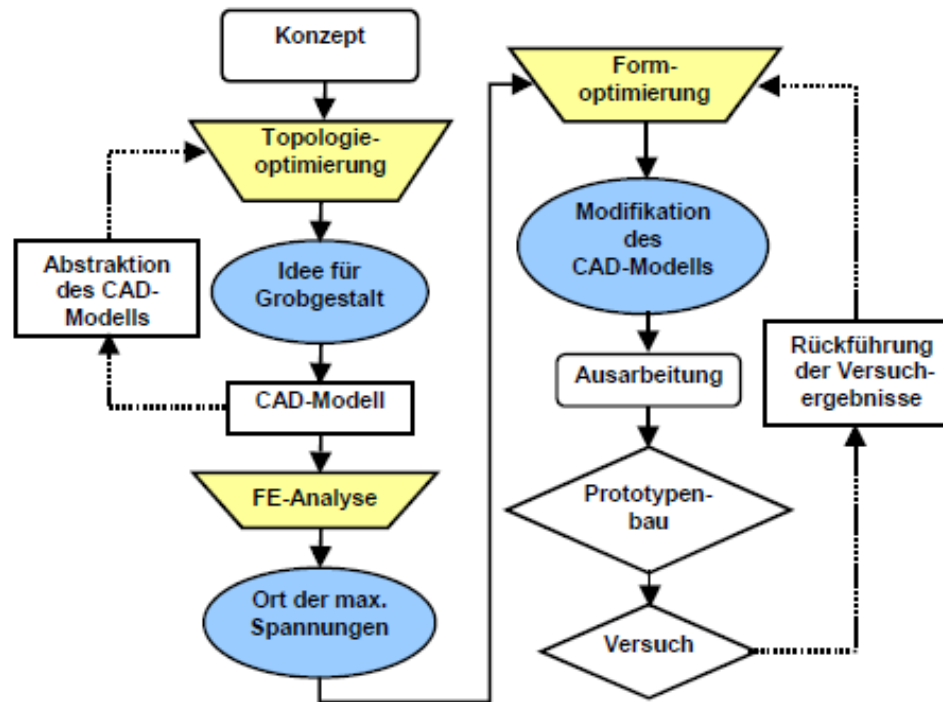


Bild 13 Produktentstehung unter Einsatz von Strukturoptimierungswerkzeugen
(Quelle [LÖF-98])

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

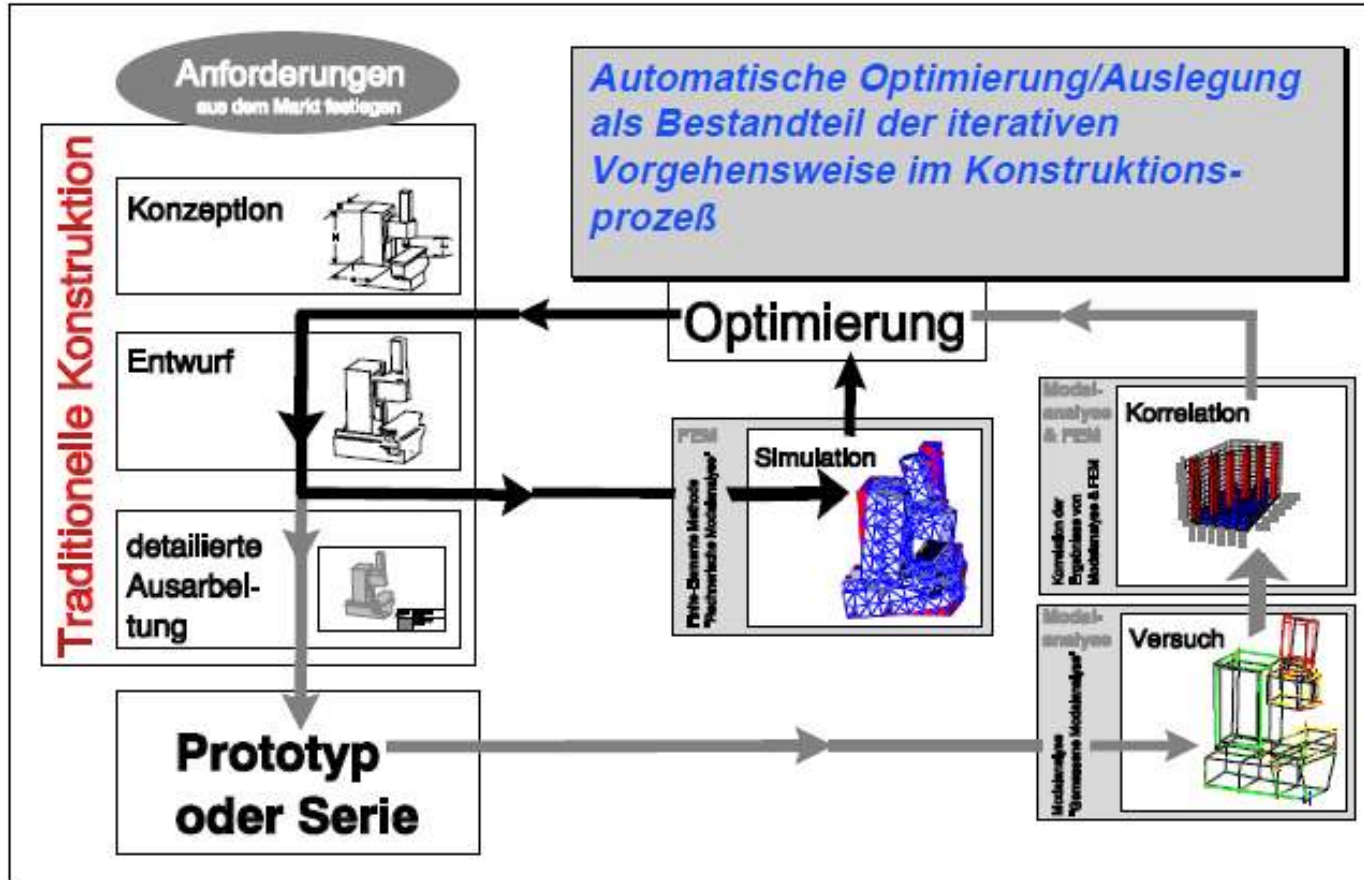


Bild 24 Iterative Vorgehensweise unterstützt den traditionellen Konstruktionsprozess [WBK-96]

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization) , Yerel Optimizasyon Yöntemi

Industriearbeitskreis „Strukturoptimierungswerkzeuge im integrierten Produktentwicklungsprozeß“

Im folgenden wird das Konzept eines zukünftigen Industriearbeitskreises dargestellt, der sich mit Strukturoptimierungswerkzeugen im integrierten Konstruktionsprozeß beschäftigen soll. In den vergangenen Jahren sind zahlreiche Industriearbeitskreise unter der „Schirmherrschaft“ des BMBF¹ bzw. dem FZK²/PFT³ entstanden, die sich 1-4 mal jährlich treffen. Eine begleitende wissenschaftliche Auswertung zeigte, daß der Nutzen und die Zufriedenheit der Teilnehmer sehr hoch war [BÖH-97]. Der wesentliche Nutzen lag aus der Sicht der befragten Unternehmensvertreter darin, daß:

- sie sicherer in ihren Entscheidungen wurden,
- neue Ideen und Vorgehensweisen kennenlernten und
- Fehler und Sackgassen vermeiden konnten.

Es kristallisierten sich drei Typen von Arbeitskreisen heraus:

- Erfahrungsaustausch-Arbeitskreis
- Seminar-Arbeitskreis
- Output-orientierter Arbeitskreis

Jeder Typ hat spezifische Eigenschaften. Keiner der drei Arbeitskreiskonzepte ist den anderen überlegen. Die Teilnehmer können je nach Interessenlage und Zusammensetzung die für sie beste Form wählen.

Beim ersten Zusammentreffen der Interessenten werden die Erwartungen, Interessenlagen und die Zielsetzungen der Teilnehmer erörtert. Nach einer detaillierteren Analyse der bisher mit Industriearbeitskreisen gesammelten Erfahrungen wird die Verbindlichkeit der Zusammenarbeit, der Aufwand je Teilnehmer und die weitere Arbeitsweise festgelegt. Ebenso werden die thematischen Schwerpunkte spezifiziert. Ein erster Vorschlag ist im nachfolgenden skizziert.

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Ziel der industriellen Zusammenarbeit ist es Ideen, Methoden und Werkzeuge zur Struktur-optimierung im Rahmen des integrierten Konstruktionsprozesses auszutauschen und zu entwickeln (im Sinne einer innovativen Produktentwicklung). Hierzu arbeiten Anwender, Software-Entwickler und Berater aus verschiedenen Industriebranchen, auf gemeinsamer Interessenslage zusammen

Folgende Themen können beispielhaft behandelt werden:

- Werkzeuge zur Topologieoptimierung
- Bauteile mit geringem Gewicht, langer Lebensdauer, hoher Steifigkeit und günstigem dynamischen Verhalten.
- Automatismen und Interaktionsmöglichkeiten, wieviel Handarbeit ist gut.
- Die Schale, Potentiale der Optimierung, Was gibt es außer der Dicke noch?
- Die geometriebasierende Gestaltoptimierung, Variabilität von parametrisierten CAD-Konstruktionen, Chancen und Grenzen
- Was bringt eine flexible parameterfrei Gestaltoptimierung, welchen Preis muß man dafür bezahlen?
- Allgemeine Informationsbereitstellung

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

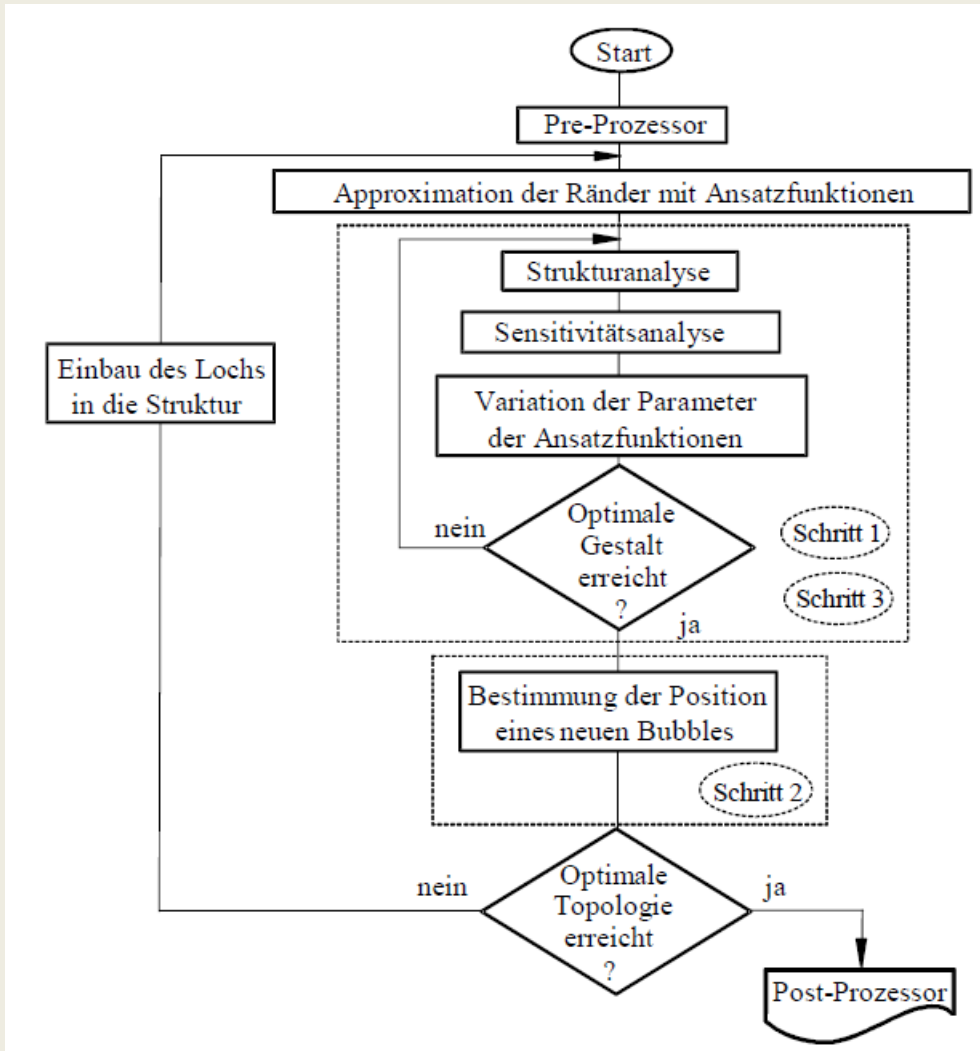
Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Literaturverzeichnis

- [ALL-95] Allinger, Friedrich, Müller, Mulfingher, Puchinger, Sauter
Shape and Topology Optimization Using CAOSS and MSC/NASTRAN, MSC World User's Conference 1995, May 8. - 12., Universal City, California
- [BAK-96] Bakhtiary, Allinger, Friedrich, Mulfingher, Sauter, Müller, Puchinger
SAE Technical Paper Series No. 960814, International Congress & Exposition Detroit, Michigan, February 26-29, 1996
- [BLE-91] Bletzinger, K.-U., Kimmich, S., Ramm, E.
Efficient modeling in shape optimal design. Computing Systems in Engineering, 2, 483-495.
- [BLE-93] Bletzinger, K.-U.; Reitingner, R.; Kimmich, S.; Ramm, E.
Shape optimization with program CARAT. In: Hörnlein, H., Schittkowski, K. (ed) Software Systems for Structural Optimization, Int. Series of Numerical Mathematics, Vol. 110, pp. 97-124. Birkhäuser.
- [BLE-93] Bletzinger, K.-U.
Extended Method of Moving Asymptotes based on Second Order Information. Structural Optimization, 5, 175-183.
- [BÖH-97] Böhler, Wengel, Winter-Hoss:
Erfahrungen Austauschen, Qualität und Zuverlässigkeit (QZ), Band 42(1997) 6, Seite 676-681, Carl Hanser Verlag München,
- [BRA-94] Braun, M.; Bischoff, M.; Ramm, E.
Nonlinear Shell Formulation for Complete Three-Dimensional Constitutive Laws Including Composites and Laminates. Computational Mechanics, 15, pp. 1-18.
- [FUJ-97] Fujii, F.; Ramm, E.
Computational bifurcation theory: path-tracing, pinpointing and path-switching. Engineering Structures, Vol.19, No.5, pp.385-392.
- [GOE-93] Goering, H.; Roos, H.-R.; Tobiska, L.
Finite- Elemente- Methode, Akademie Verlag, 1993
- [KAS-92] Kaster, T.
Auswirkungen der Gestaltoptimierung auf die Lebensdauer eines Bauteils, ANSYS-USERS-MEETING, Tagungsband, Arolsen, Oktober 1992
- [KAS-94] Kasper, K.; Friedrich, M.; Sauter, J.; Albers, A.
Parameterfreie Formoptimierung von Bauteilen, Erfahrungen im industriellen Einsatz, Infografik, 2/1994, März
- [KAS-94b] Kasper, K.
Strukturoptimierung in der KFZ-Industrie, Grundlagen und Anwendungen, 2. COS-MOS/M Benutzertreffen, Alsfeld/Romrod, 16.-17. Juni 1994 München

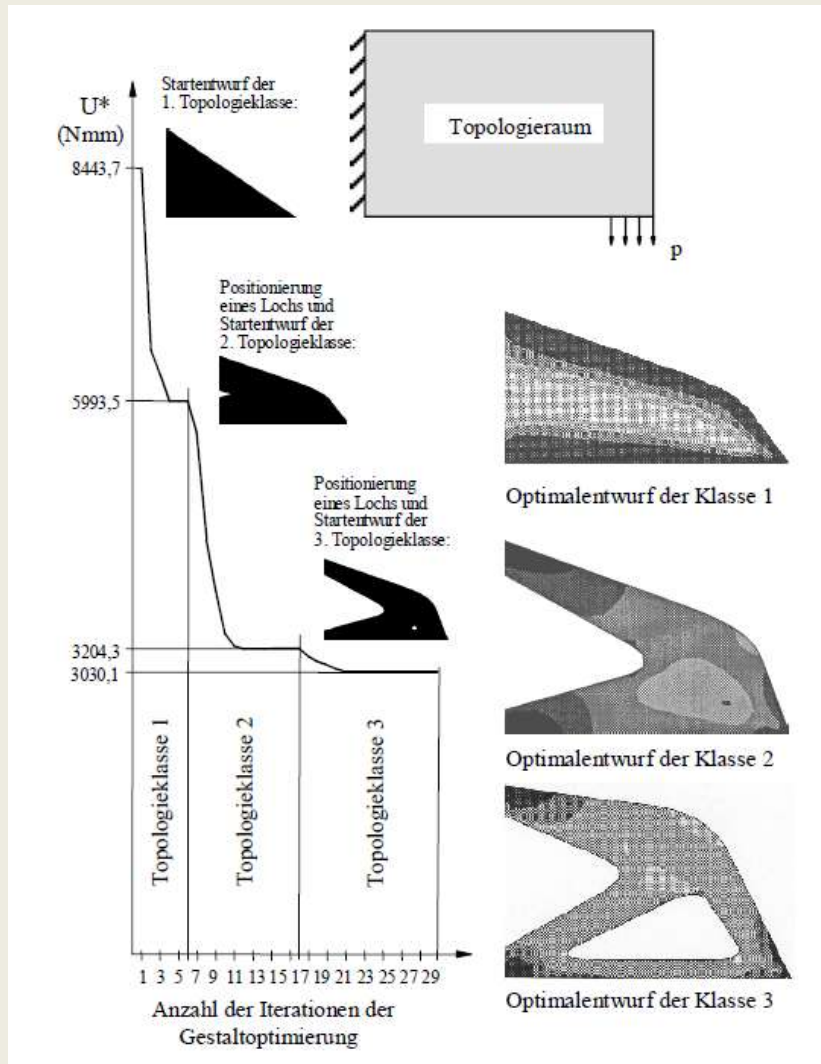
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)



ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)



Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

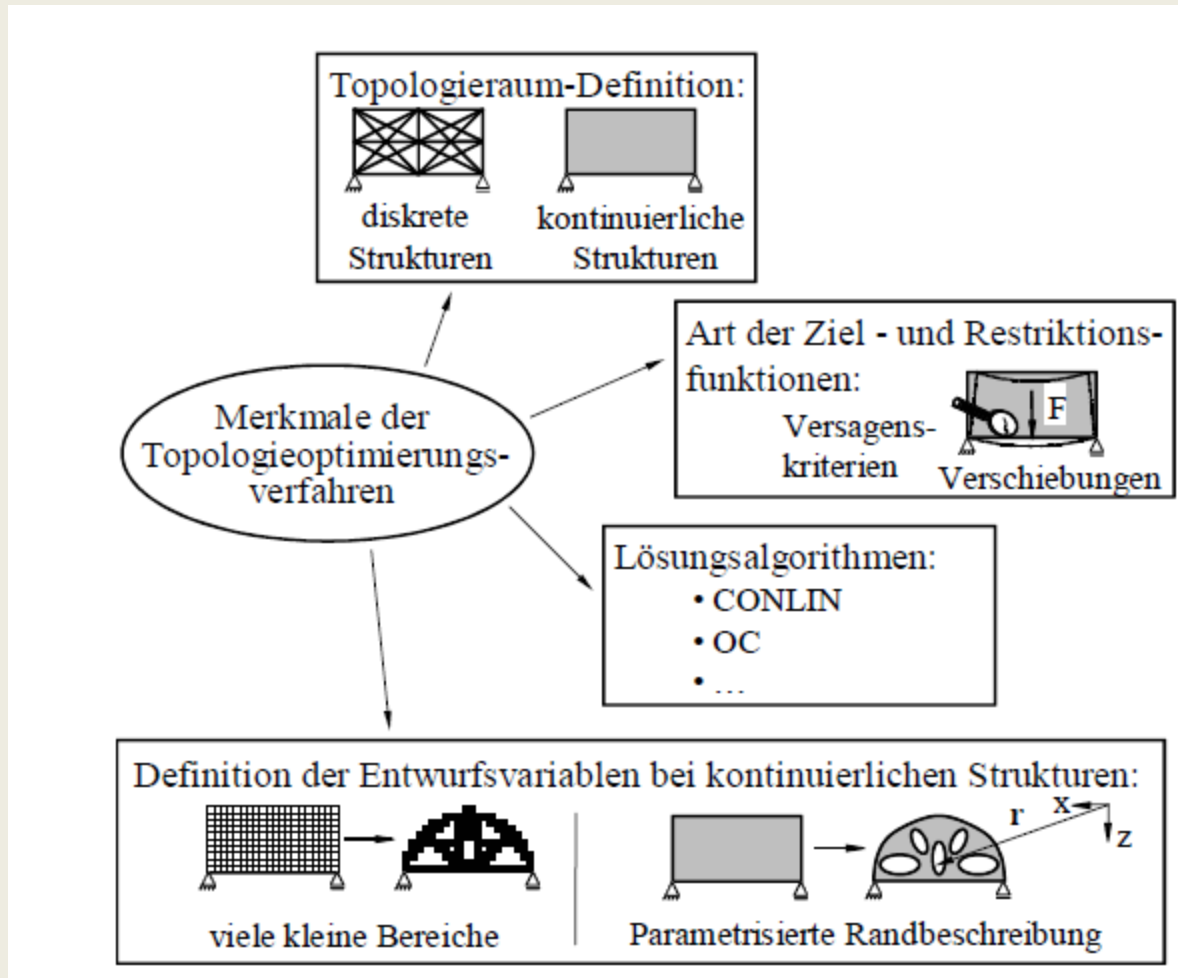
8.6 Erweiterungen der Topologieoptimierungsverfahren

Die meisten Forschungsaktivitäten zur Topologieoptimierung sind in den letzten 10 Jahren in die *Homogenisierungsmethode* eingeflossen. Viele dieser Aktivitäten sind aus den speziellen Einschränkungen der *Homogenisierungsmethode* entstanden. Da die *Homogenisierungsmethode* aber im Kern sehr schnell ist und deshalb in der Industrie sehr verbreitet ist, sind die Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet zum großen Teil unmittelbar praxisrelevant. Die folgende Liste soll einen Überblick über die aktuellen Forschungsthemen zur *Homogenisierungsmethode* geben (Cinquini et al., 2003):

- Berücksichtigung der Entformungsrichtung bei der Topologieoptimierung von Gussbauteilen.
- Robustheitsoptimierung: Es werden die in Abschn. 6.5 vorgestellten Verfahren auf die Topologieoptimierung angewendet.
- Berücksichtigung von Eigengewicht in der Optimierung,
- Einbeziehung der belasteten Bereiche in die Optimierung,
- Verwendung anderer Optimierungsalgorithmen (z.B. Evolutionsstrategien),
- verbesserte Integration in den Entwicklungsprozess durch Kombination mit CAD-Systemen wie Unigraphics® und CATIA®.

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)



Merkmale der Topologieoptimierungsverfahren

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

Mathematische Grundlagen von
Optimierungsverfahren

K. Sztickowski¹

1.1 Das nichtlineare Optimierungsproblem

Es werden Optimierungsaufgaben betrachtet, die dadurch charakterisiert sind, daß eine Zielfunktion f unter nichtlinearen Gleichungs- und Ungleichungsnebenbedingungen minimiert wird, d.h.

$$\begin{aligned} & \min f(x) \\ & g_j(x) = 0 \quad , \quad j = 1, \dots, m_e \\ x \in \mathbf{R}^n : & g_j(x) \geq 0 \quad , \quad j = m_e + 1, \dots, m \\ & x_l \leq x \leq x_u \end{aligned}$$

Für die nachfolgenden theoretischen Untersuchungen soll vorausgesetzt werden, daß die oberen und unteren Schranken nicht existieren bzw. als allgemeine Restriktionen formuliert werden. Das obige Problem wird im Folgenden mit (NLP) bezeichnet.

Besitzen Zielfunktion f und der zulässige Bereich bzw. die Nebenbedingungen g_j eine spezielle Gestalt, so können zur Lösung des obigen Problems u.U. Spezialverfahren herangezogen werden.

Für die Zielfunktion sind folgende Strukturen interessant:

Allgemeine nichtlineare Zielfunktion $f(x)$

Lineare Zielfunktion $f(x) = c^T x$

Quadratische Zielfunktion $f(x) = \frac{1}{2} x^T C x + d^T x$

Summe von Quadraten (Regression) $f(x) = \sum_{i=1}^m (y_i - f(x, t_i))^2$,
(y_i Meßwert zum Zeitpunkt t_i)

Maximum von Funktionen $f(x) = \max_{j=1, \dots, m} f_j(x)$

In Bezug auf die Nebenbedingungen sind folgende Situationen typisch:

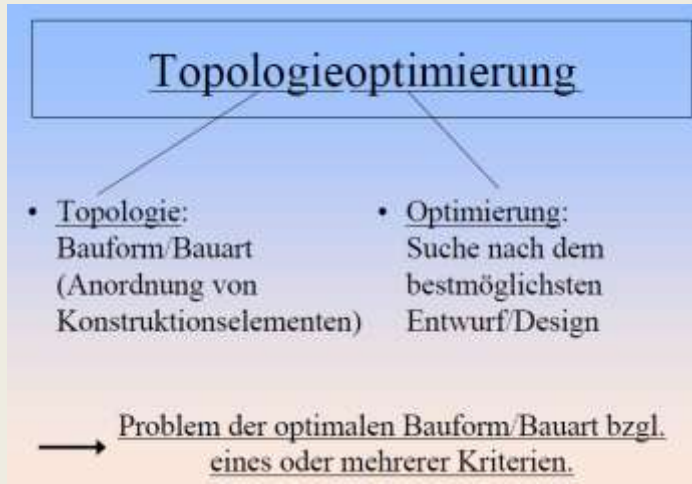
allgemeine nichtlineare Nebenbedingungen

lineare Nebenbedingungen

keine Nebenbedingungen

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

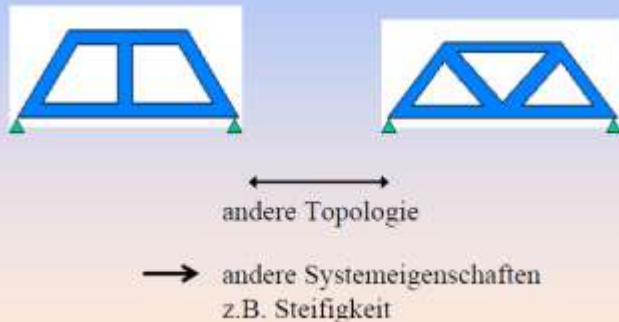
Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)



Einordnung verschiedenartiger Strukturoptimierungsprobleme

<u>Topologieopt.</u>	<u>Gestaltopt.</u>	<u>Dimensionierung</u>
Grundlegende Bauform/Bauart wird optimiert	Form/Geometrie der Strukturelemente wird optimiert	Wanddicken der Strukturelemente werden optimiert.

Topologieoptimierung ist die Synthese der Systemtopologie, wobei die Systemeigenschaften optimal werden.



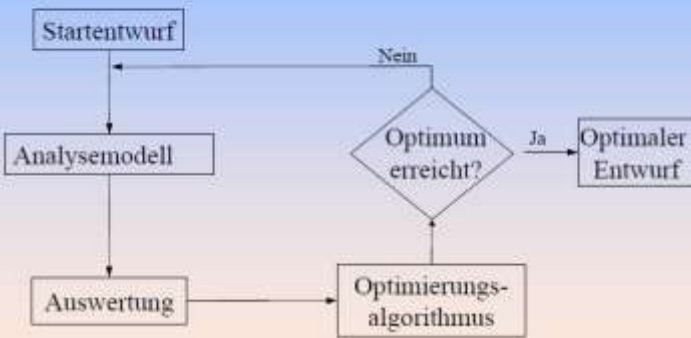
Aber auch die Gestaltseigenschaften und die Dimensionierung sind entscheidend für die Struktur



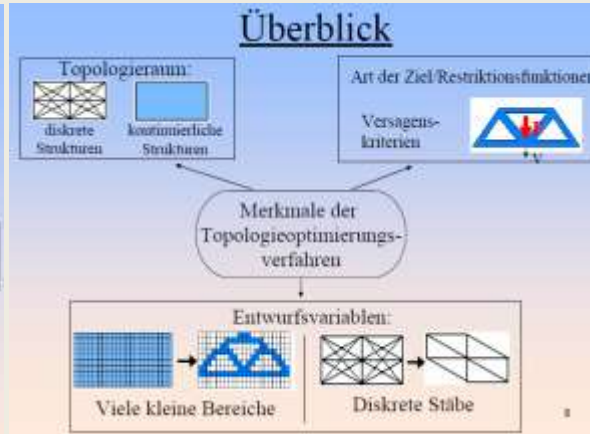
ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

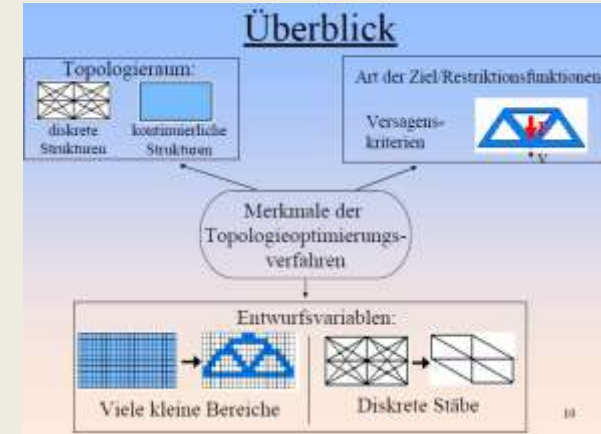
Optimierungsproblem



Überblick



Überblick



Ziel- und Restriktionsfunktionen

Häufige Zielfunktionen sind:

- Eine möglichst kleine lokale Verschiebung (hohe Steifigkeit)
- Die Erhöhung von Eigenfrequenzen bei dynamisch belasteten Bauteilen.



Es soll keine Resonanz auftreten

Oft müssen gewisse Nebenbedingungen eingehalten werden. Hierzu werden sog. Restriktionsfunktionen aufgestellt.

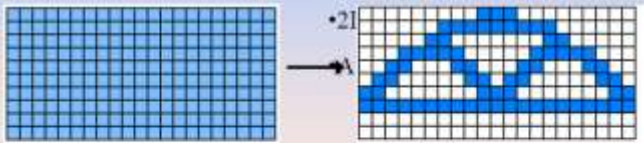
- Masse/Volumen
- Spannungen
- Bauraum

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization),

Topologieoptimierung von Finite-Element-Strukturen

Kontinuierlicher Topologie-/Bauraum wird mit
Finiten Elementen diskretisiert



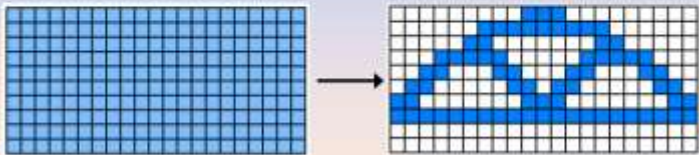
- Angestrebt wird in der optimalen Konfiguration der Entwurfsvariablen eine Struktur, die sich aus FE mit (1) und FE "ohne" (0) Material zusammensetzt.

Finite Elemente Methode (FEM)

- Dient dazu das Verhalten des entstehenden Bauteils zu simulieren.
- Man erhält am Ende die Steifigkeit des Gesamtbauteils.
- Diese Daten werden zur Auswertung der Zielfunktion benötigt
- Mit mehr Aufwand lassen sich mit der FEM auch dynamische Systeme simulieren.

Entwurfsvariablen

- Die Entwurfsvariablen müssen so gewählt werden, dass sie die Strukturtopologie möglichst allgemein und genau beschreiben.



z.B.: Wo ist Material mit (hoher) Steifigkeit? wo ist kein
Material (Löcher)?

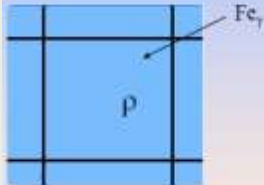
10

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

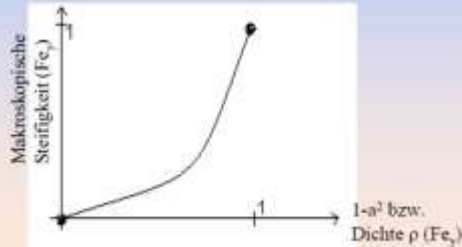
Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization),

Homogenisierungsmethode

makroskopische Steifigkeit lässt sich verändern/parametrisieren, in dem man mikroskopisch kleine Löcher einfügt.



•Die Kantenlängen a der Löcher bestimmen die Dichte ρ .



Homogenisierungsmethode / SIMP

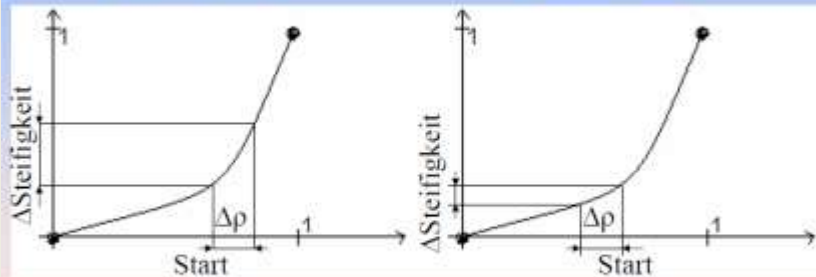
- Welche Elemente dichter und welche leerer werden sollen wird durch eine sog. **Sensitivitätsanalyse** entschieden.

Sensitivität: Ableitungen der Zielfunktion nach den Entwurfsvariablen.

Homogenisierungsmethode / SIMP

Element Nr.1:

Element Nr.2:



→ Der Füllungsgrad bleibt konstant, aber es wurde eine Steigerung der Steifigkeit erzielt!

Homogenisierungsmethode / SIMP

Aus der FE- Analyse

$$\min_{\rho} f(\rho) \rightarrow \text{z.B. } \min_{\rho} |F \cdot v(\rho)|$$

$$\text{s.t. } \sum_i \rho_i - V^{\max} = 0,$$

$$(\rho_i \in \{0,1\})$$

Relaxierung

$$\rho_{\min} \leq \rho_i \leq 1, \quad i = 1(1)n$$

Wegen max. Füllungsgrad

Weil mittlere Werte für ρ ineffizient sind gehen alle ρ_i gegen 1 bzw. ρ_{\min} .

(Preis-Leistungs-Verhältnis)

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization) ,

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization) ,

Problem #2 „Formel 1 Felge“

Maximale Steifigkeit, minimales Gewicht einer Rennfelge



Ziel: möglichst hohe Steifigkeit

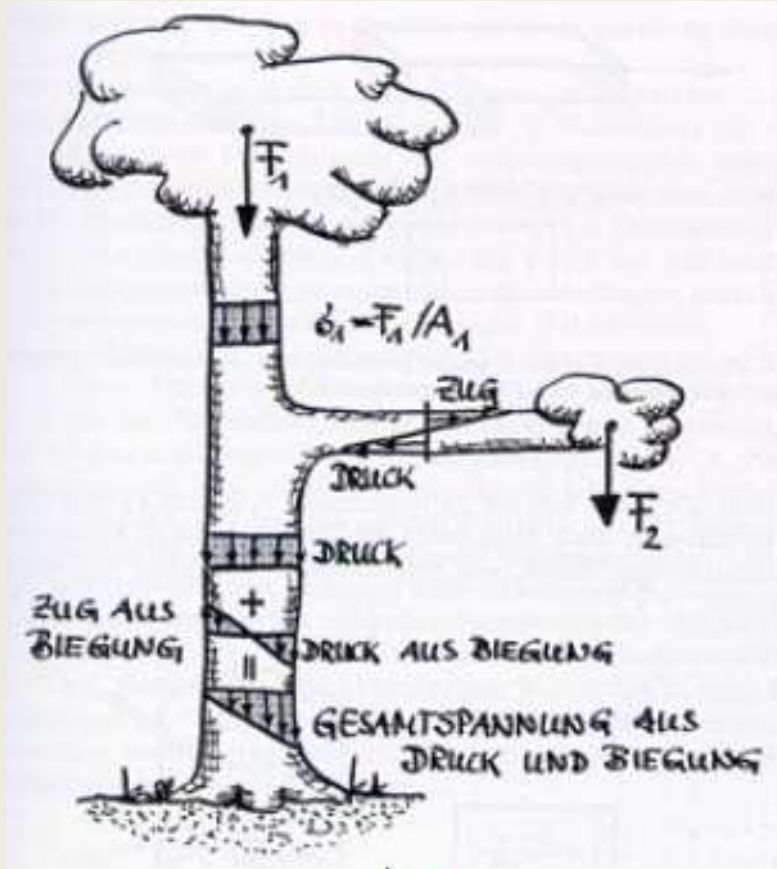
Ziel: möglichst geringes Gewicht

Nebenbedingung:

- Festigkeit
- Funktion
- Bauraum für Bremsen beachten
- Reglement
- aus vorgegebenem geschmiedetem Teil herauszufräsen

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization),



?

ENDÜSTRİYEL TASARIMINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYON, Tanım ve Uygulama örnekleri

Topoloji Optimizasyonu, (Topology Optimization)

• DERS MATERYALI

- Buradaki konu ile ilgili şekillerin, animasyonların bir çoğu internetten seçilmişlerdir. Ticari amaçlı kullanılmamaktadırlar . Derste şekiller örnek olarak görüntülenerek tarafımdan öğrencilere gerekli açıklamalar yapılmaktadır. Dersler sırasında bilgilendirme amaçlıdır.
- Genelde İnternetteki şekiller, yayınlar ticari amaçlı olmadığı sürece ve kullanım için izin yada kopyalama sınırlanması gibi haklar belirtilmediği sürece kullanabilmektedir. Bu konumdaki yayınların internetten indirilerek ticari amaçlı olmamak şartıyla bilhassa eğitim öğretimde kullanım için özel izne gerek duyulmaması görüsündeyim!

dr. husso