

- Kurzer Überblick der Datenorganisation
- Beispiele:
  - Crashbox (Stahl)
  - Stossfänger (Stahl)
  - B-Säulenverkleidung (Kunststoff)
  - Seitencrashmodell (Änderungsszenarien)
- Diskussion und Ausblick

Formoptimierung anhand  
assoziativer FE-Netze

mit

**LS - OPT**

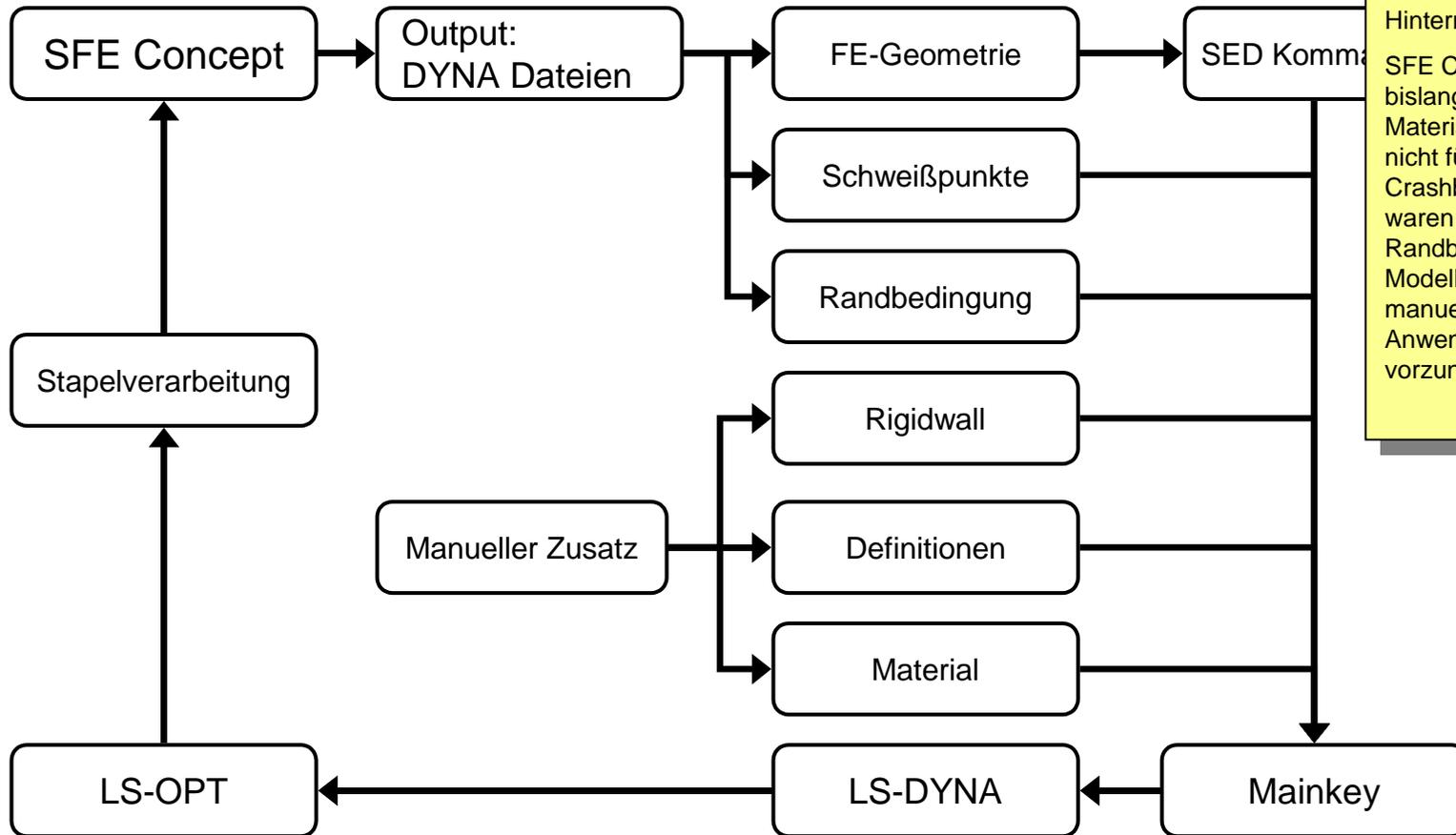
und

**SFE - CONCEPT**

**Einfache Beispiele und Hinweise**

# Datenorganisation

Ablaufdiagramm der beteiligten Programme – schematische Darstellung



## parsec:

Der gezeigte Ablauf ist in keiner Weise verbindlich und stark davon abhängig, welche Systeme für die Optimierung verwendet werden (Cluster / Lokal / FE-Solver Art / ...)

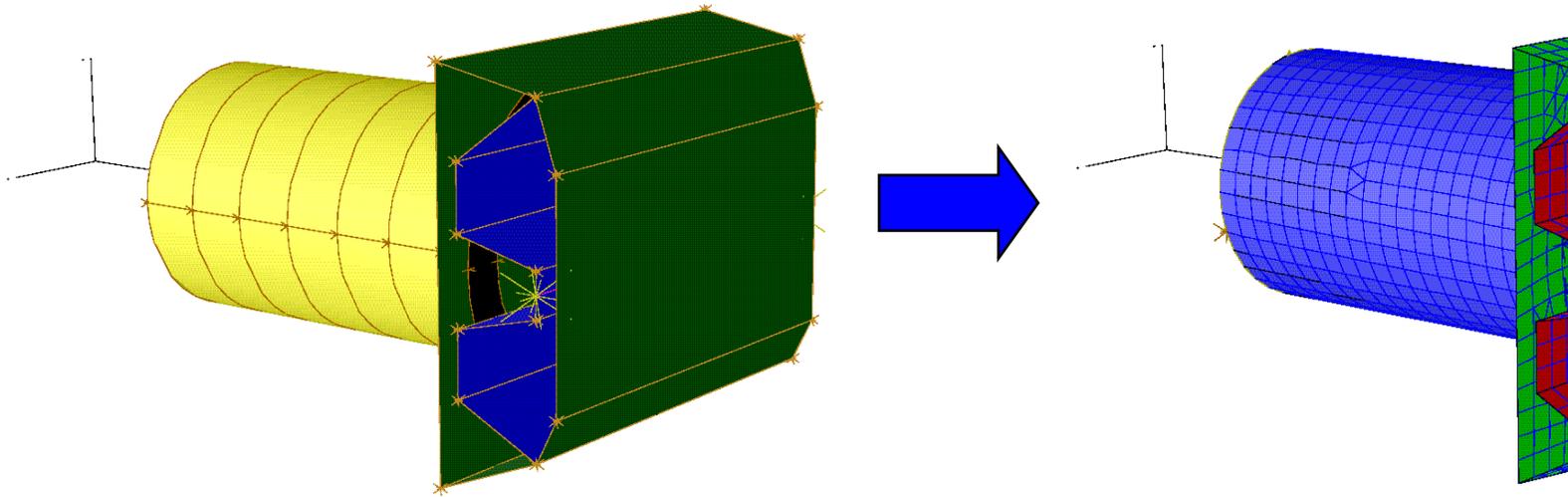
Dieser gilt nur für die drei folgenden Beispiele!

Hinterrund:

SFE Concept schreibt bislang nur einfachste Materialgesetze aus, welche nicht für die Crashberechnung geeignet waren – weitere Randbedingungen des Modells sind momentan manuell für die eigenen Anwendungsfälle vorzunehmen.

# Beispiel Nr.1 – Optimierung einer Crashbox

- Multidisziplinärer Lastfall mit entsprechender multidisziplinärer Optimierung (MDO)



- Optimierungsziele:
- Reduzierung der Kontaktkraft zw. Rigidwall und Stossfängergeometrie
  - Restriktion der Knotenverschiebung in X-Richtung (sowie in Y- und Z-Richtung)
  - Reduzierung der Masse (Wandstärke)

- Parameter:
- Skalierung der Querschnittsgeometrien des Rohres an 6 verschiedenen Stellen in Y- und Z-Richtung
  - Variierung der Bleckdicke (Wandstärke)

(13 Parameter)

## parsec:

Die gezeigte Crashbox besteht im Ausgangszustand nur aus einem zylindrischen Rohr. Die Stossfänger ähnliche Anschlussgeometrie ist nur aus Interesse definiert worden um eventuelle Auffälligkeiten zu entdecken.

Der Lastfall zeigt eine multidisziplinäre Anwendung mit dem Unterschied einer Winkeldifferenz der Rigidwall die auf die Stossfängergeometrie auftrifft.

Eine anschließende Robustheitsuntersuchung des Optimierungsergebnisses durch Variierung der Stossfängereigenschaften wäre eine sinnvolle Ergänzung.

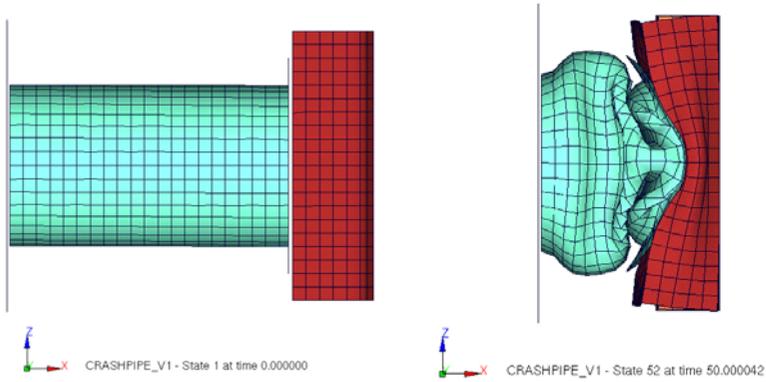
Belastung:  
Rigidwall mit 800kg  
4,2 mm/ms zur Normalenrichtung!

# Beispiel Nr.1 – Optimierung einer Crashbox

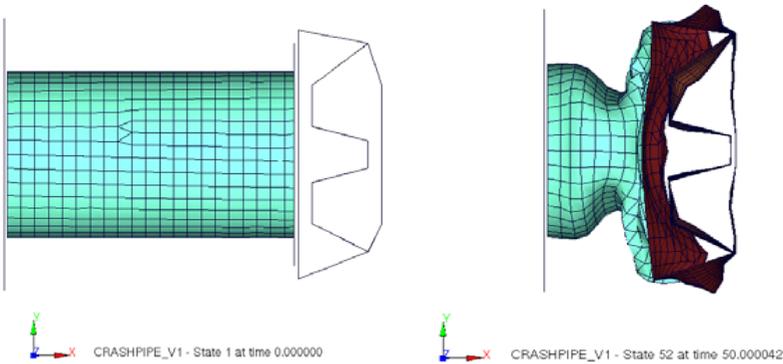
**parsec:**  
 Überblick der Basisversion  
 Geometrische Anordnung  
 und Deformationsbild nach  
 Belastung

## Vergleich der Basisvarianten

### Lastfall G

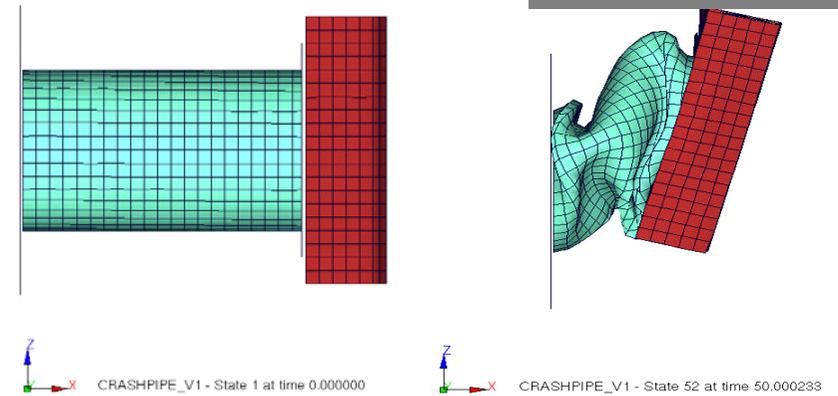


### Draufsicht

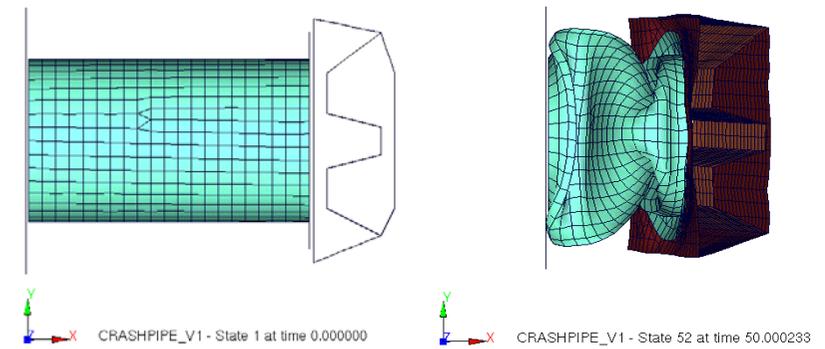


### Seitenansicht

### Lastfall H

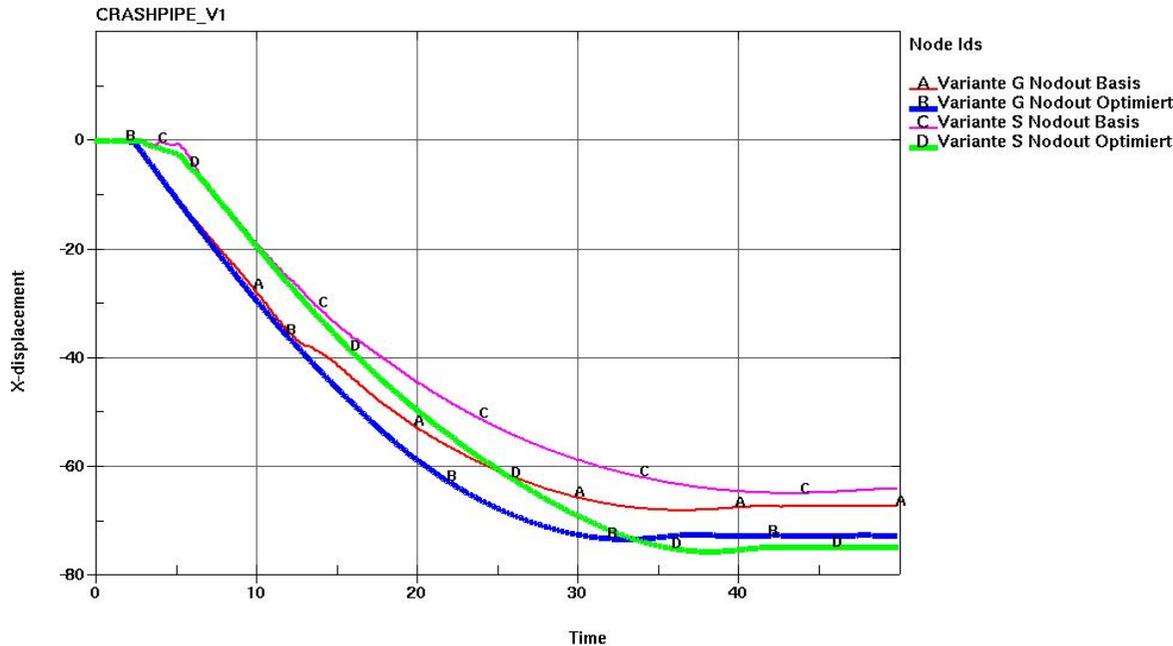
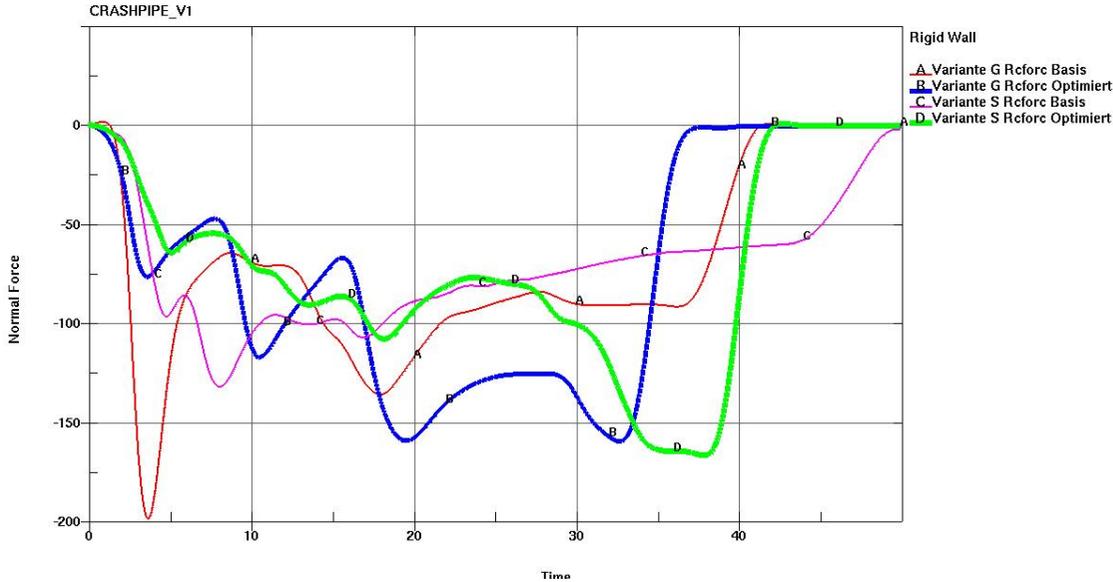


### Draufsicht



### Seitenansicht

• Vergleich der Systemantworten



Maximale (Constraint  $F=120\text{kN}$ ) Kontaktkraft wird überschritten allerdings zu Gunsten der Knotenverschiebung welche höher gewichtet wurde.

Aufgrund der Vorzeitig abgebrochenen Optimierung kann jedoch aus dem Parameterverlauf geschlossen werden, dass die Verschiebungen sich dem max. Wert von 80mm annähern werden um so die Maximalkraft zu minimieren.

**parsec:**

Die Optimierung bewirkt das eine Geometrie gefunden wird, die beide Systemantworten im Verlauf ähnlich sind. Besonders die die hohen Anfangskräfte verschwinden, allerdings wird ein ideal typischer Rechteckverlauf nicht erfüllt.

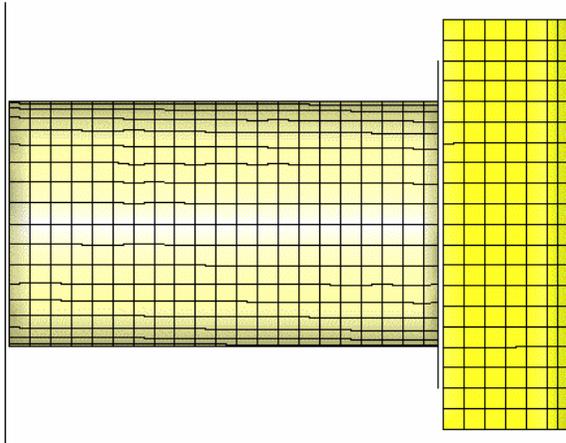
# Beispiel Nr.1 – Optimierung einer Crashbox

**parsec:**  
Videos der Deformation  
beider Lastfälle mit  
optimierter Geometrie

- Video

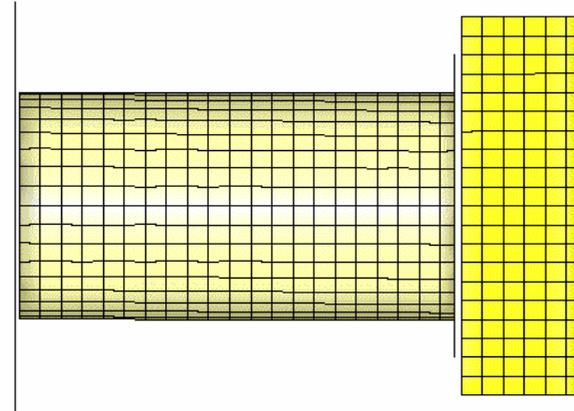
CRASHPIPE\_V1  
Time = 0

Crashpipe G Basis.avi



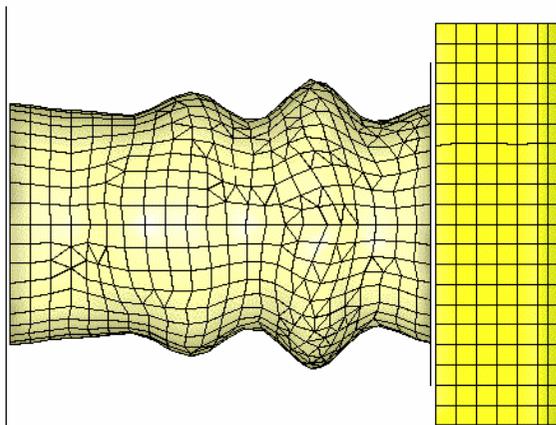
CRASHPIPE\_V1  
Time = 0

Crashpipe S Basis.avi



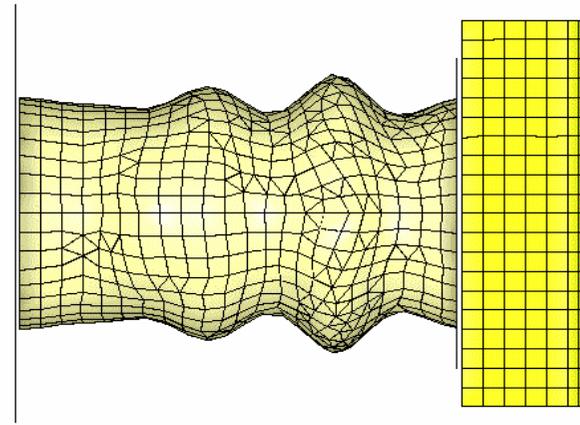
CRASHPIPE\_V1  
Time = 0

Crashpipe G Opt.avi



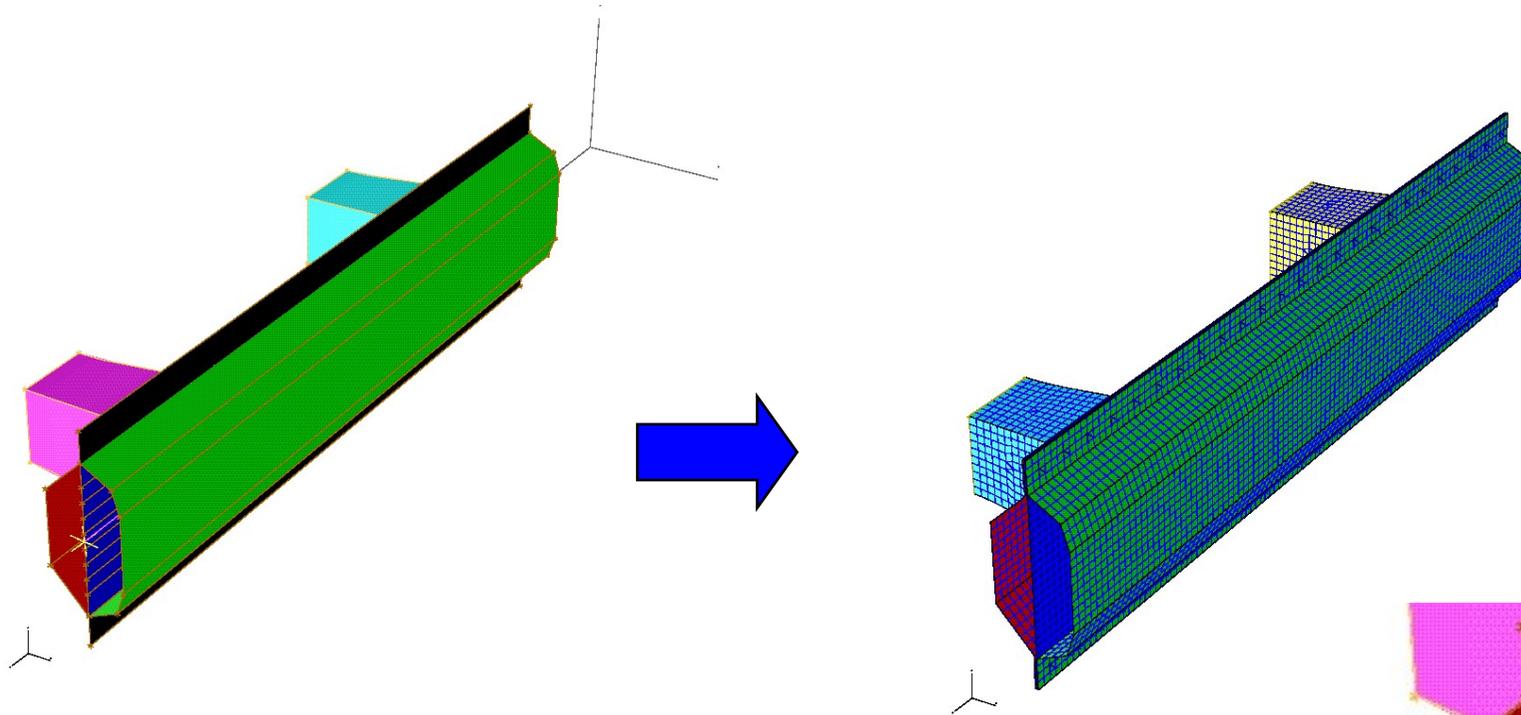
CRASHPIPE\_V1  
Time = 0

Crashpipe S Opt.avi



## Beispiel Nr.2 – Optimierung eines Stossfängers

- Multidisziplinärer Lastfall mit entsprechender multidisziplinärer Optimierung (MDO)



### parsec:

Gezeigt wird eine einfache Stossfängergeometrie mit Anschlussgeometrie. Es handelt sich auch hier um eine multidisziplinäre Anwendung, bei der die Stossfängergeometrie mittig getroffen wird und mittig versetzt auf Höhe einer Anschlussgeometrie.

Geometrische Änderungen werden nur am inneren Versteifungsblech vorgenommen, wobei sich die sechs Parameterpunkte nur paarweise verschieben (zu Gunsten der geometrischen Endkontur)

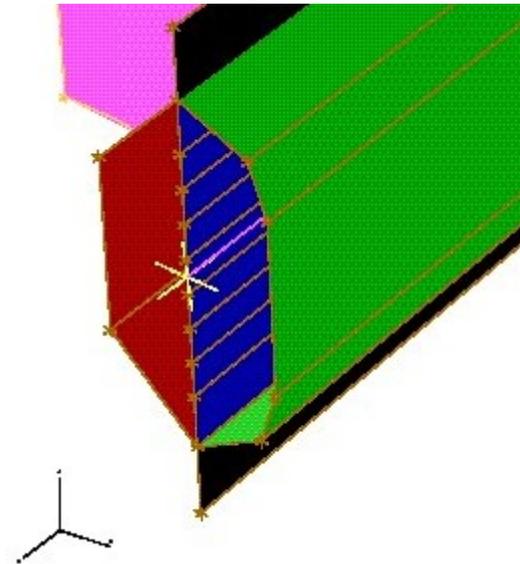
Optimierungsziele:  
(3 Verschiedene)

- Reduzierung der Kontaktkraft zw. Barriere und Stossfängergeometrie
- Restriktion der Knotenverschiebung in Y-Richtung der Barriere
- Reduzierung der Masse (Wandstärke)

Parameter:

- Paarweise Knotenverschiebung der Versteifungskontur
- Variierung der Bleckdicke (Wandstärke)

(7 Parameter)



## Beispiel Nr.2 – Optimierung eines Stossfängers

- Optimierungsziele

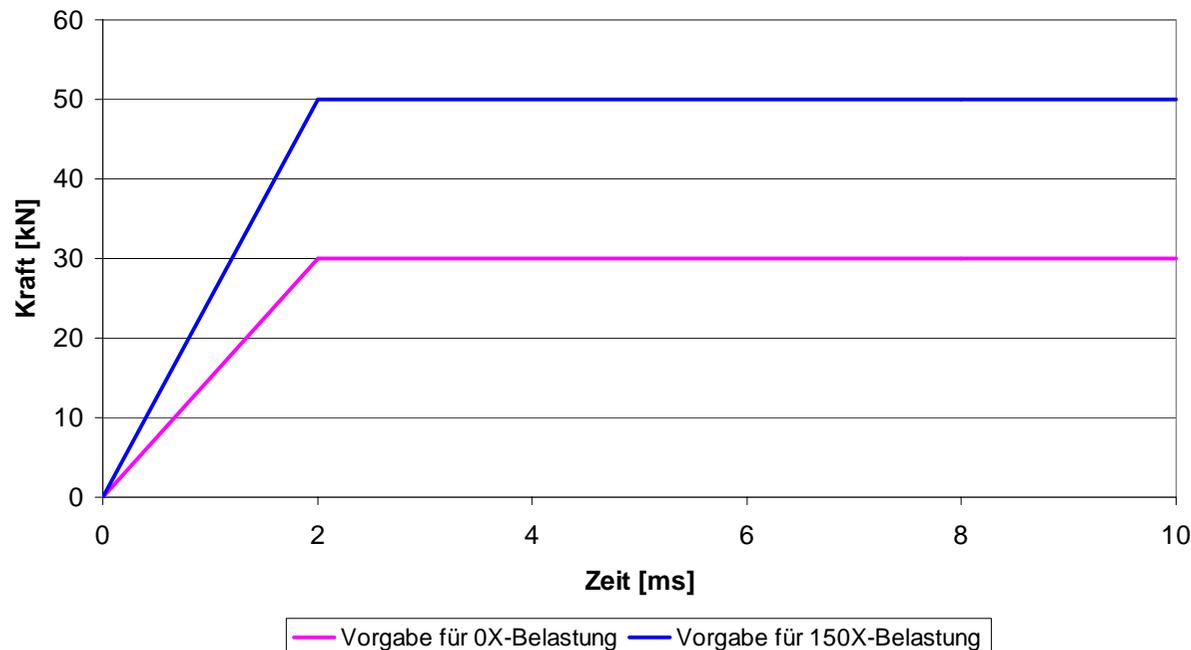
Optimierung Nr.0: Maximierung der Inneren Energie der drei Stossfängerkonturen  
Minimierung der Kontaktkraft / Wandstärke (nur Versteifungsblech) / und Intra

Optimierung Nr.1: Minimierung der Kontaktkraft / Wandstärke (nur Versteifungsblech) / und Intra

Optimierung Nr.2: Minimierung der Kontaktkraft / Wandstärke (nur Versteifungsblech)

Optimierung Nr.3: Minimierung des Fehlers der Kontaktkraft gegenüber der Vorgabekurve

Vorgabekurven der Kontaktkraft zw. Barriere und Stossfänger

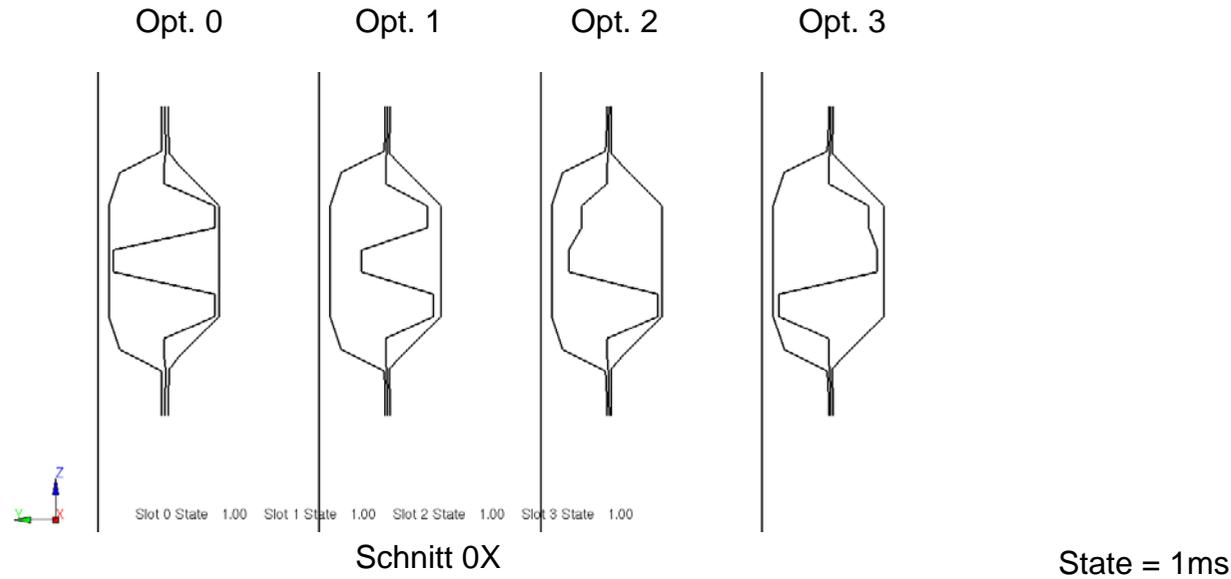


### parsec:

Anhand des Beispiels wurden 4 verschiedene Optimierungen vorgenommen –

Zu beachten ist, dass die Wichtung der Systemantworten entsprechend auf die Optimierung wirken.

Eindrucksvoll zeigt die Optimierung 0 die Wichtung der inneren Energie – welche dominant die weiteren Randbedingungen unterdrückt.

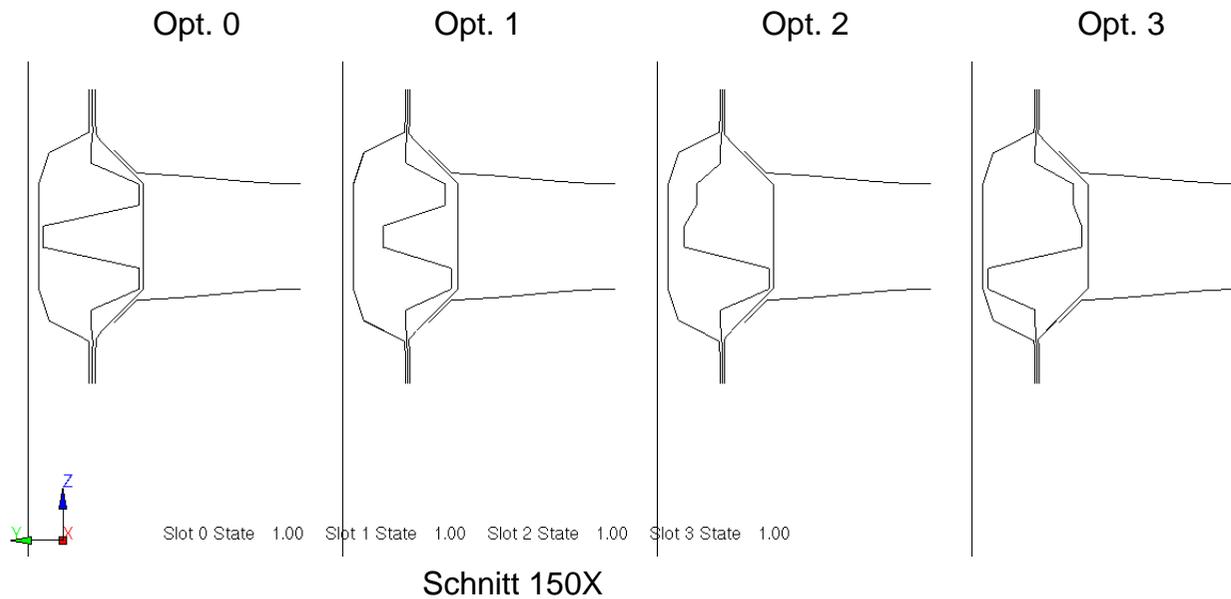


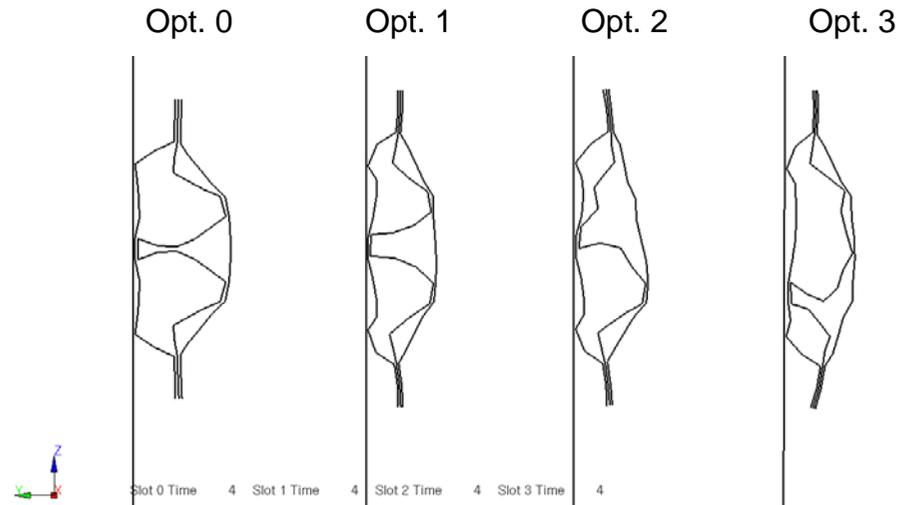
Darstellung der vier Optimierungsergebnisse der Versteifungskontur aufgrund unterschiedlicher Zieldefinitionen der Optimierung

Gezeigt wird der unbelastete Zustand

### parsec:

Abhängig von der gewünschten Zielfunktion bilden sich mehr oder weniger konstruktiv geeignete Strukturen aus um den Randbedingungen zu genügen.



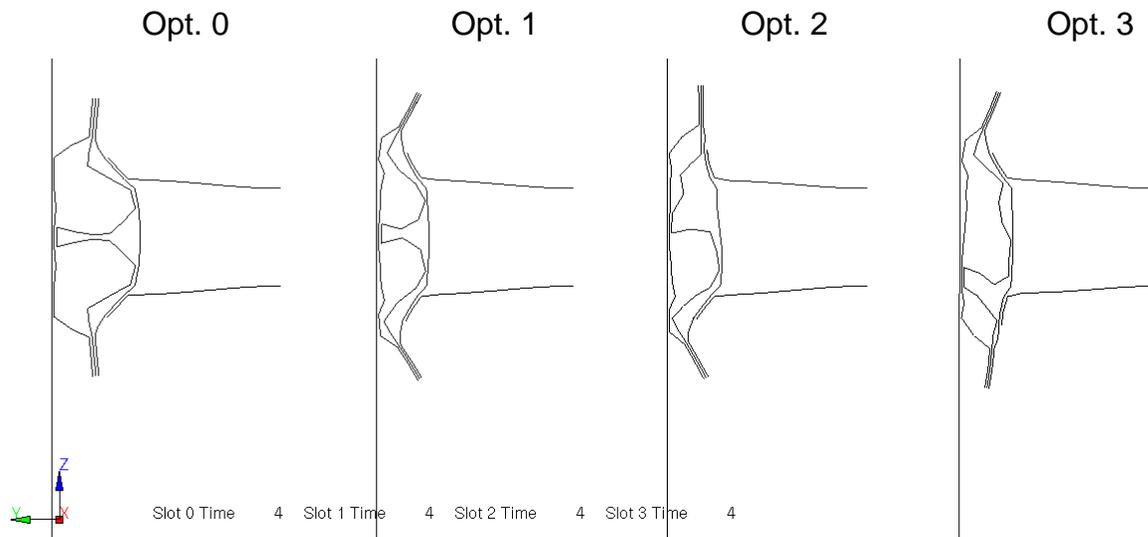


Schnitt 0X

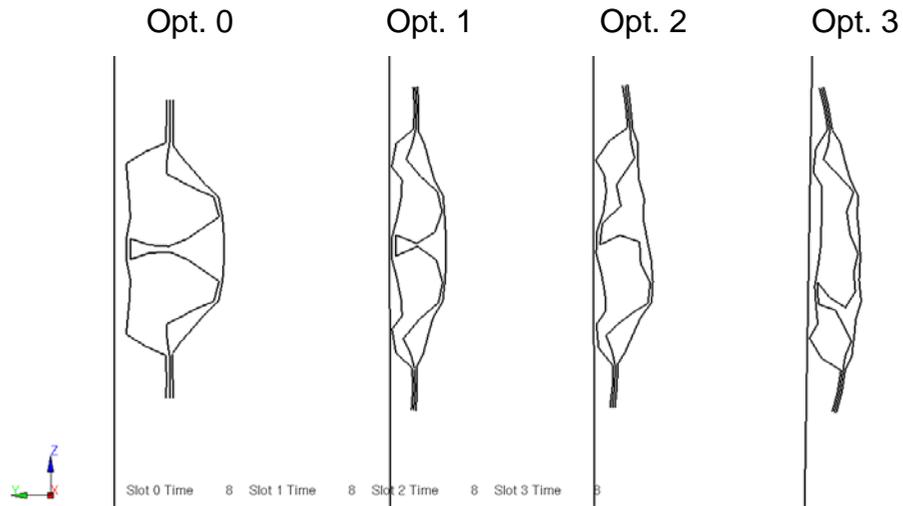
## parsec:

Die Deformationen beim State 4ms zeigen aufgrund der strukturellen Unterschiede auch entsprechend stark unterschiedliche Verhaltensweisen auf.

Besonders kritisch und Kritikpunkt für die gesamte Optimierung ist, die Erkennung von strukturellen stabilen Zwischenständen (wie in der Abbildung von Opt.Nr.0 zu sehen) nicht einfach ist, und in ihrer Bewertung noch schwieriger zu handeln.

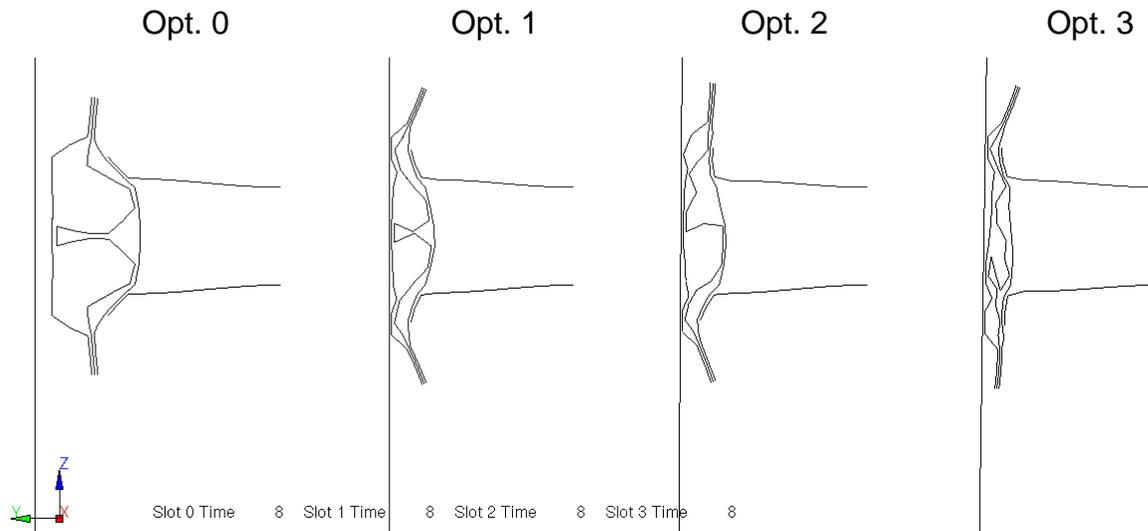


Schnitt 150X

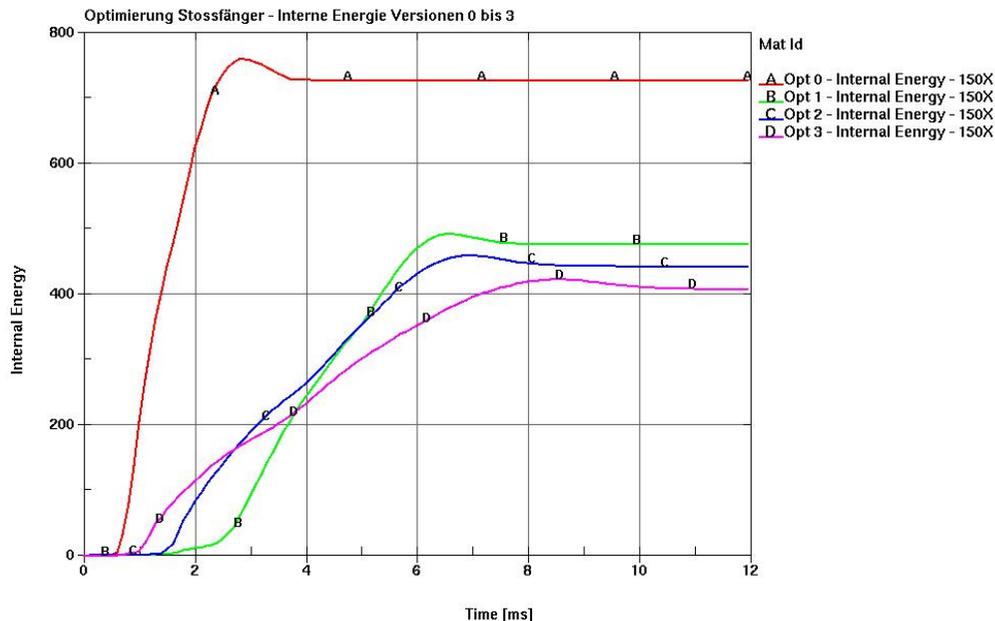
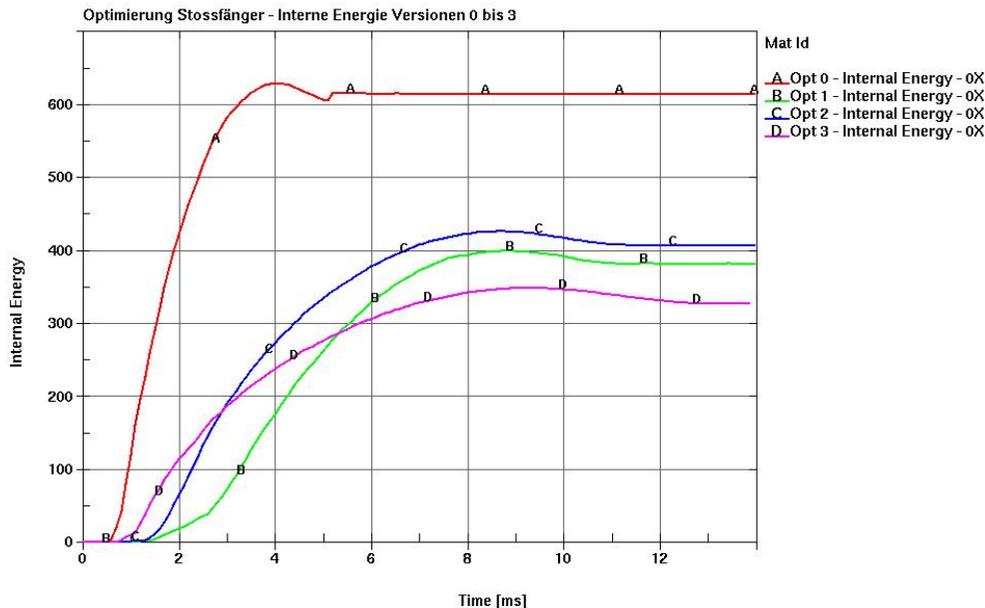


Schnitt 0X

State = 8ms



Schnitt 150X



Gezeigt wird der Verlauf der inneren Energie des Versteifungsbleches während der Deformation

Die Opt. 0 Variante besitzt die höchste Energie Aufnahme trotz deutlich geringerer sichtbarer Deformation der gesamten Konstruktion.

Gezeigte Problematik ist die Gewichtung der Systemantwort von der inneren Energie und der Kontaktkraft und Verschiebung.

## parsec:

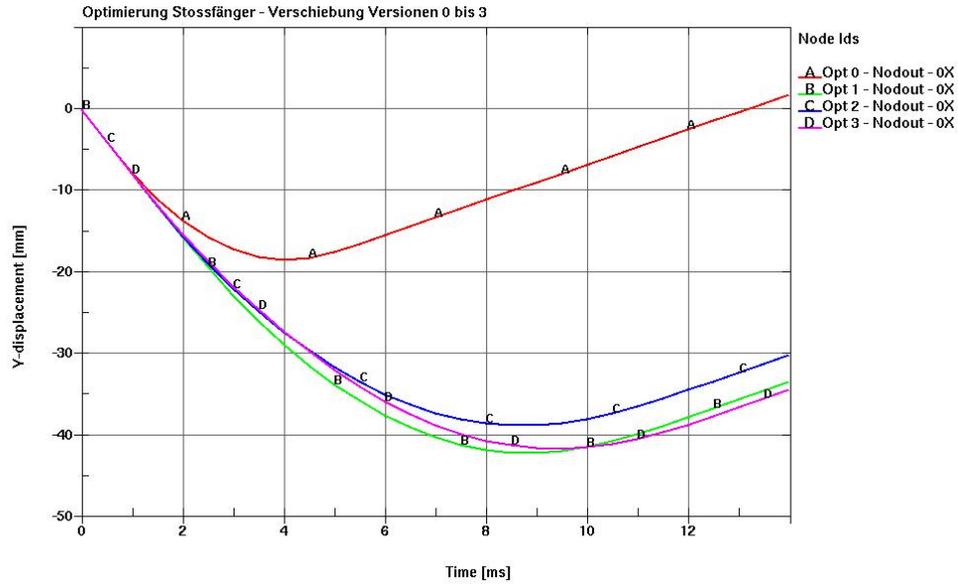
Die folgenden Diagramme zeigen die inneren Energieverläufe des inneren Versteifungsbleches, der Knotenverschiebungen der Barriere und den Kraft-Zeit-Verlauf des Kontaktes zwischen Barriere und Stossfänger.

Deutlich zu erkennen, ist die Entscheidung von LS-OPT entsprechend der gewichteten Zielfunktion in der Struktur des Versteifungsbleches und in den „Systemantworten“.

Obwohl die Systemantworten der Optimierungen 1 bis 3 sich nicht vollständig im Verlauf und Betrag unterscheiden, entstehen stark unterschiedliche Strukturen.

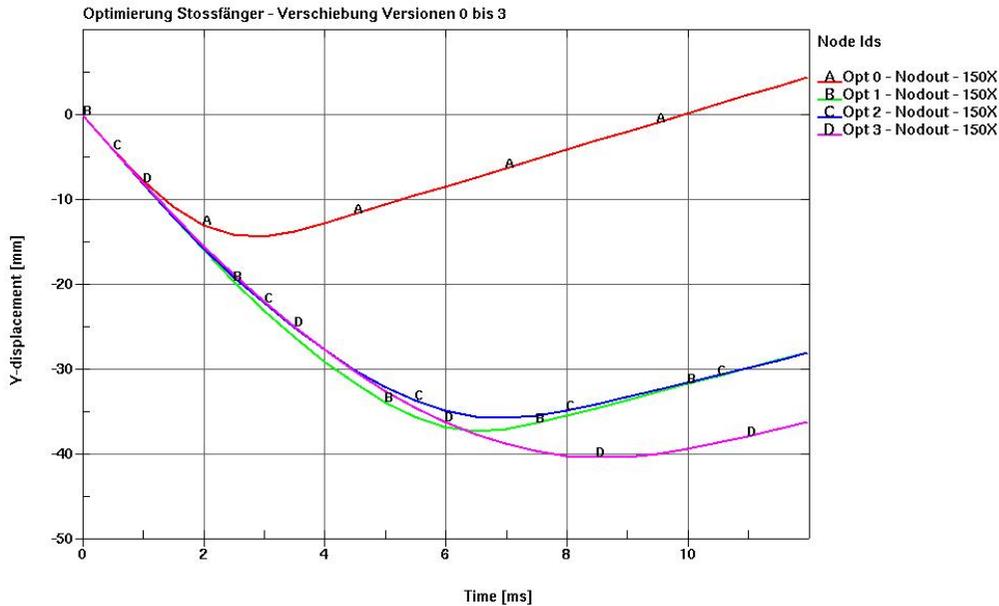
Die Entscheidung des Algorithmus für bestimmte Strukturen mit unterschiedlichen Anfangsrandbedingungen und eventuell stabilen Kontaktbedingungen der Bauteile selbst oder untereinander sind nicht direkt nachzuvollziehen. Diese Erkenntnis der Schwierigkeiten ist aber schon Wert genug um entsprechend weitere Ansätze zu entwickeln um diese Phänomene kontrollierbar zu machen.

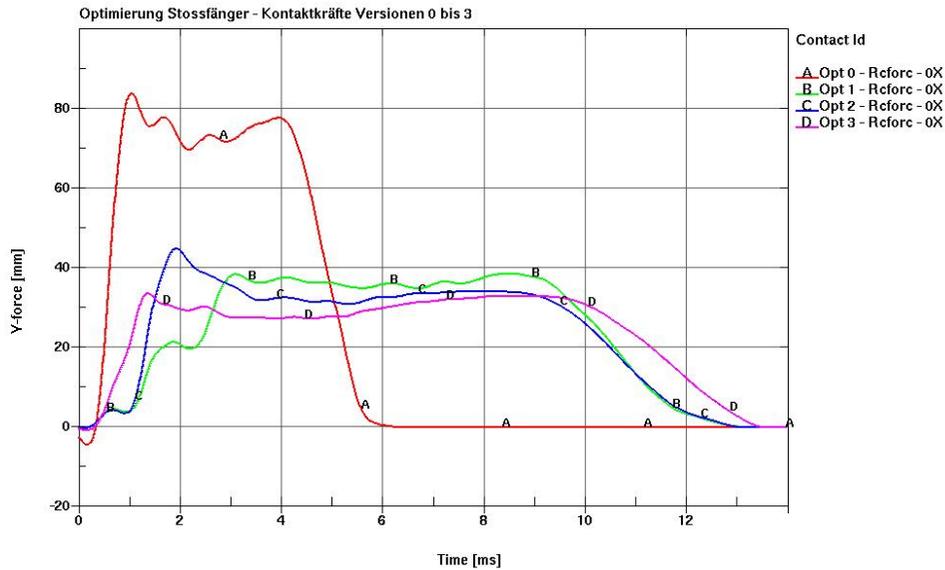
# Beispiel Nr.2 – Optimierung eines Stossfängers



Randbedingungen

	0X	150X
Opt. 0-3:	-35mm	-28mm



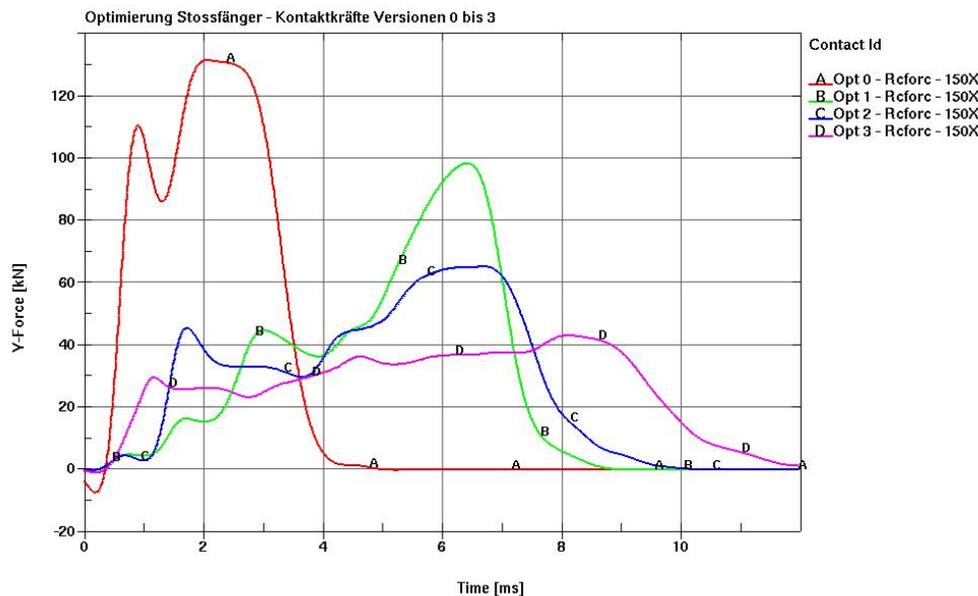


Das Kraftniveau ist bei der Opt. 0 Variante erwartungsgemäß sehr hoch – dennoch weist auch diese Variante den fast idealen Kraft-Zeit/-Weg-Verlauf auf.

Die Variante Opt. 1 zeigt trotz der optisch „besten“ Lösung bei dem 150X Lastfall ein schlechtes Verhalten mit kurzzeitigen Spitzen in der Kraft-Zeit/Weg-Kurve auf (Auftreffen auf die Anschlussgeometrie und erreichen neuer struktureller Stabilität).

Randbedingungen

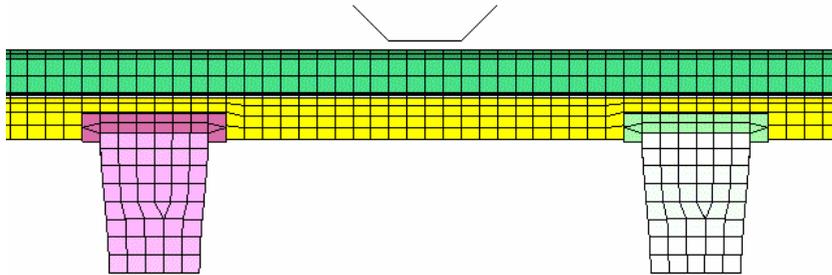
	0X	150X
Opt. 0-3	40kN	60kN



## Videos

DURCHSTOSS V1  
Time = 0

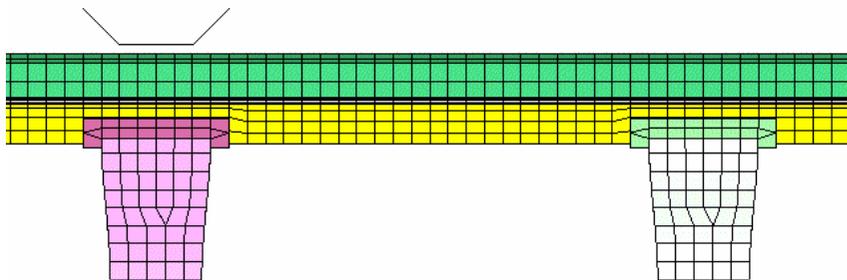
Stoss V0 0X.avi



Animierte Darstellung des Optimierungsergebnisses von Variante Nr.0

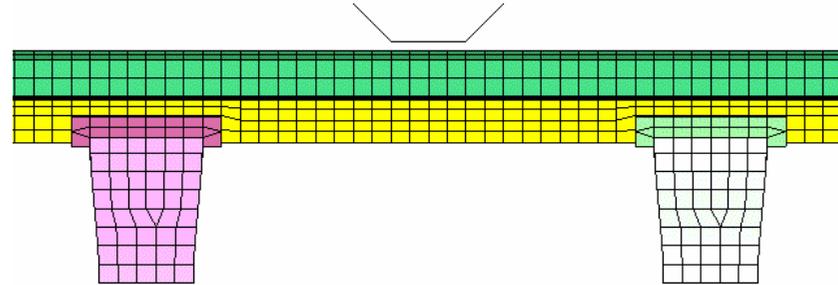
DURCHSTOSS V1  
Time = 0

Stoss V0 150X.avi



DURCHSTOSS V1  
Time = 0

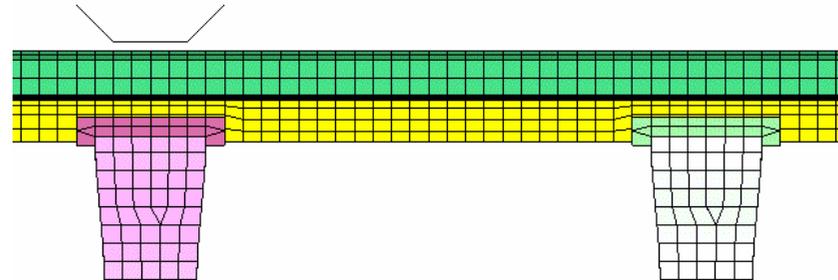
Stoss V3 0X.avi



Animierte Darstellung des Optimierungsergebnisses von Variante Nr.3

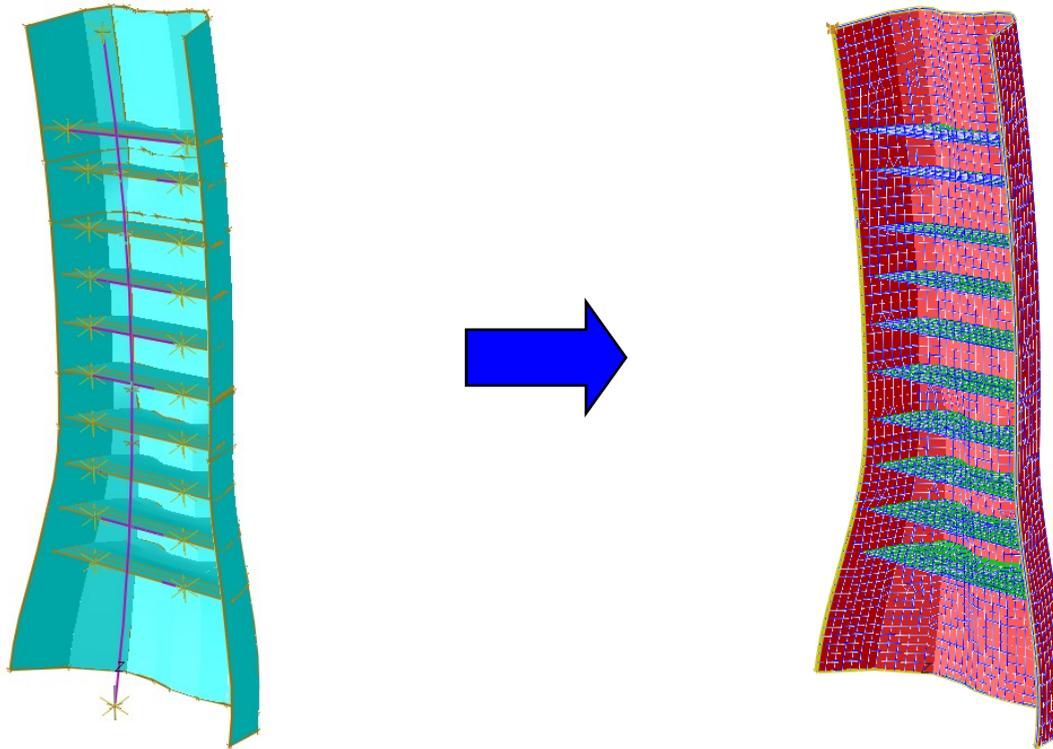
DURCHSTOSS V1  
Time = 0

Stoss V3 150X.avi



# Beispiel Nr.3 – Optimierung einer B-Säulen ähnlichen Verkleidung

- Einzellastfall



Optimierungsziele:  
(3 Verschiedene)

- Reduzierung der Kontaktkraft zw. Barriere und B-Säulenverkleidungsgeometrie
- Restriktion der Knotenverschiebung in X-Richtung der Barriere
- Reduzierung der Masse (Wandstärke)

Parameter:

- Variation der Rippenwandstärke
- Variierung der Rippenhöhe (4 Rippen im Bereich der Belastung)

Besonderheit:

- Wechsel der Elementkantengröße und Materialparameter

(5 Parameter)

## parsec:

Mit besonderer Vorsicht sind die FE-Randbedingungen zu beachten welche das Modell beschreiben und charakterisieren. Mit besonderer Vorsicht sind die Materialeigenschaften zu beachten, welche direkten Einfluss auf die Wahl der Struktur besitzen.

Die Optimierung der inneren Versteifungsrippen einer B-Säulen ähnlichen Verkleidung beziehen sich auf deren Höhe und deren Wandstärke. Belastet wird die Struktur durch eine Halbkugel ähnliche Geometrie mit einer Geschwindigkeit von ca. 8mm/ms und einer Masse von 10 Kg.

Untersucht werden drei verschiedene Modelle.

Modellunterscheidung:

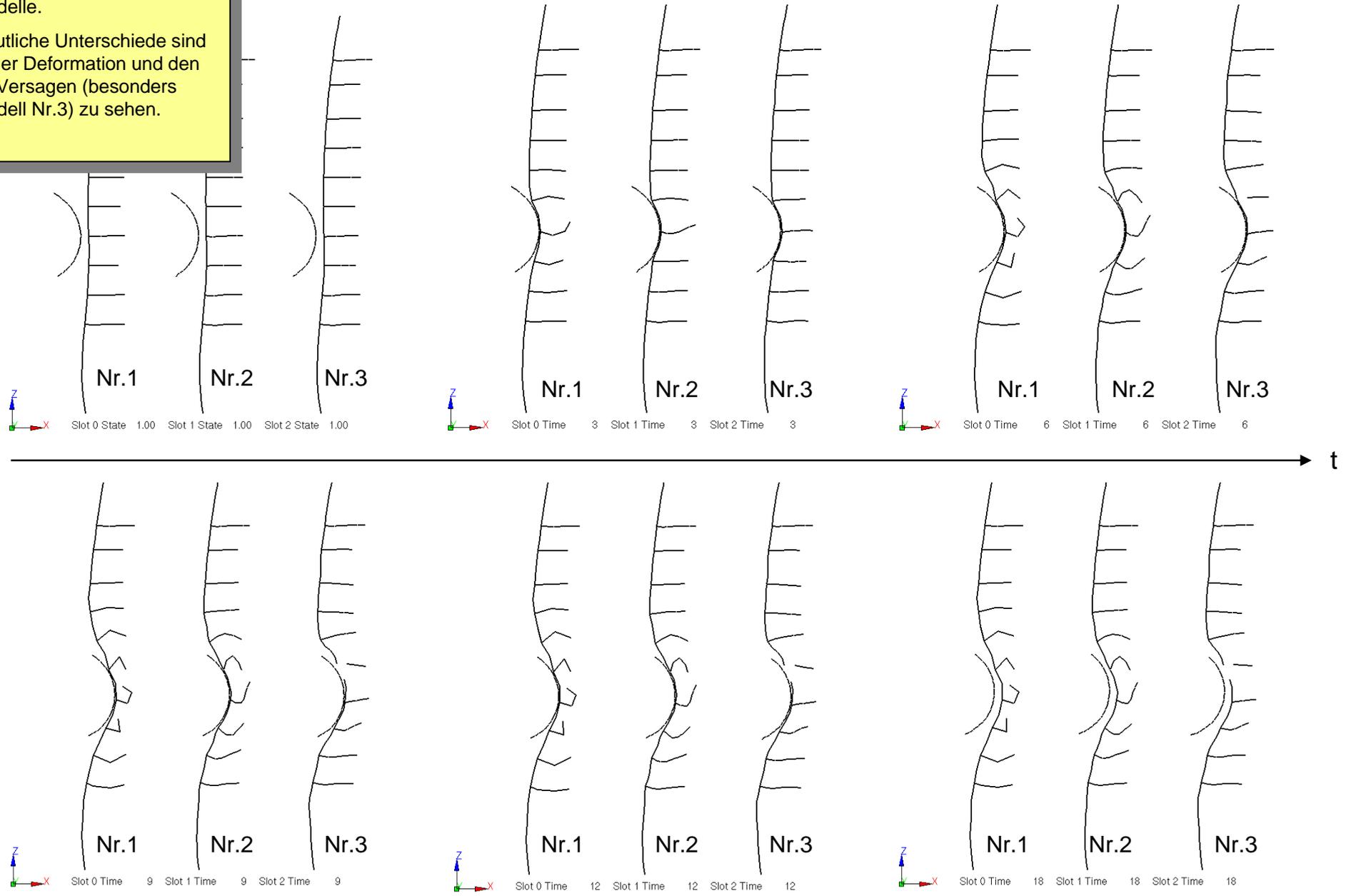
Nr.1 10mm FE Netz – **EDAG**  
optimiertes Kunststoffmaterial

Nr.2 5 mm FE Netz – **EDAG**  
optimiertes Kunststoffmaterial

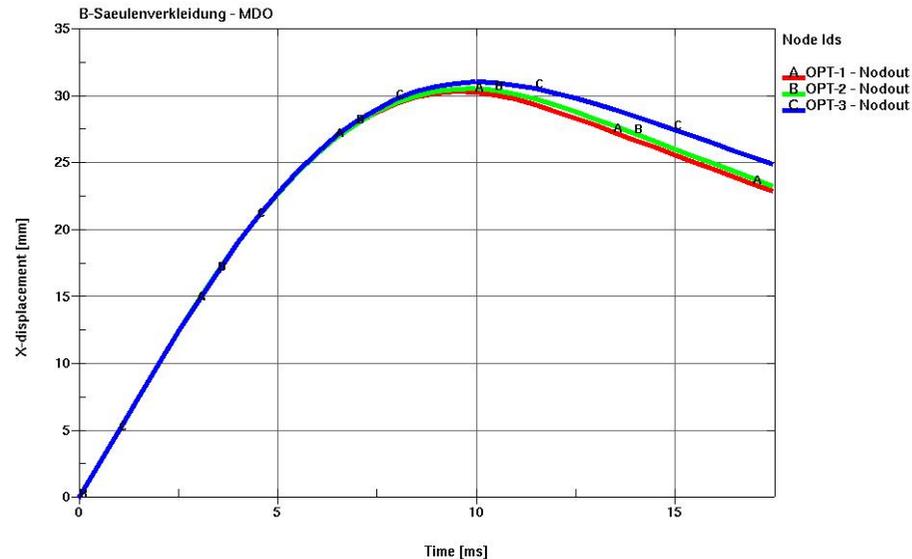
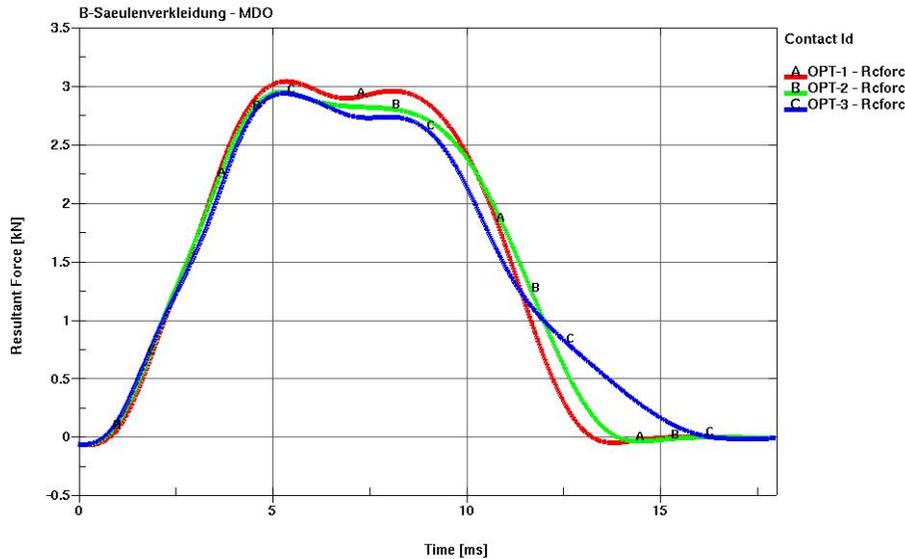
Nr.3 5mm FE-Netz – nicht  
optimiertes Kunststoffmaterial

# Optimierung einer B-Säulen ähnlichen Verkleidung

**parsec:**  
 Gezeigt werden die Deformationen der drei Modelle.  
 Deutliche Unterschiede sind in der Deformation und den im Versagen (besonders Modell Nr.3) zu sehen.



- Systemantworten



Die Systemantworten aller 3 Optimierungen unterscheiden sich nur geringfügig.

Iterationsanzahl:

OPT1 = 10  
 OPT2 = 9  
 OPT3 = 12

LS – OPT findet trotz unterschiedlicher Randbedingungen die geeignete Parameterkombination um die Zielfunktion zu erfüllen.

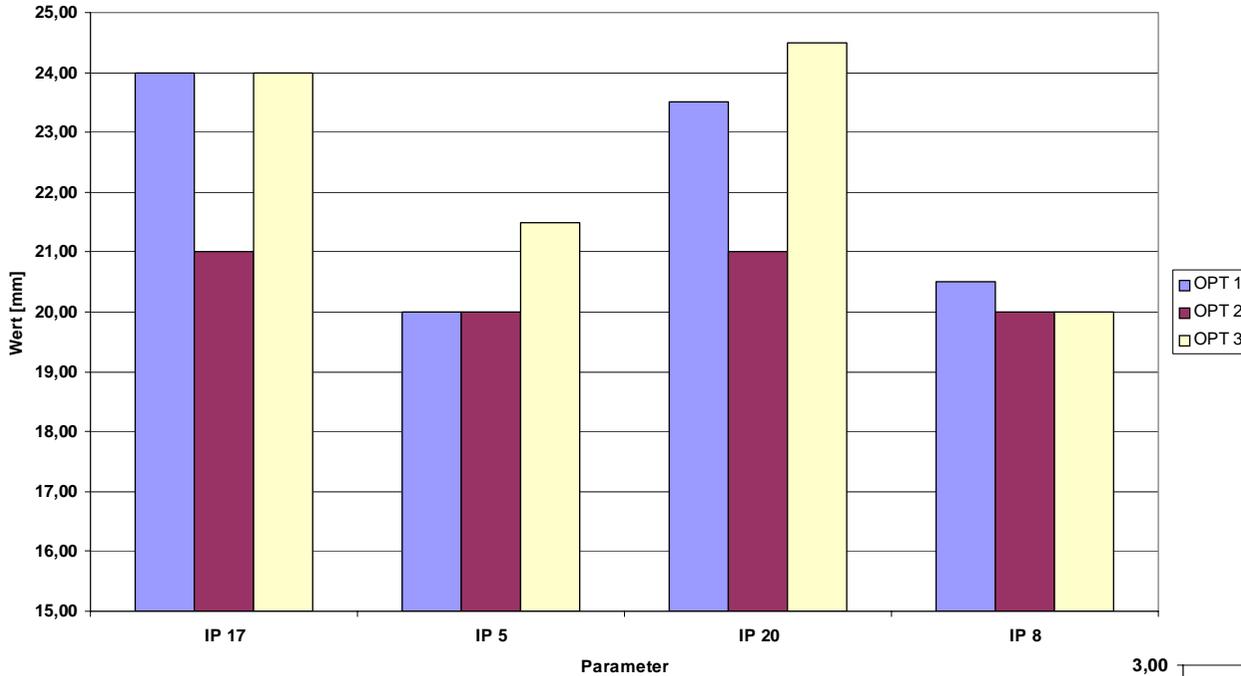
**parsec:**

Die Optimierung bzw. LS-OPT ermittelt für alle drei Modelle fast identische Antworten. Diese werden jedoch auf Kosten großer Unterschiede in der Struktur insbesondere der Dimension erreicht.

Die plausibelste Optimierung ist der Optimierung Nr.2 zuzusprechen, da hier das **EDAG** optimierte Material verwendet wurde und dieses mit 1mm/3mm/ und 5mm Optimierungen Verifiziert wurde!

• Variablenwerte

Variablenwerte der Rippenhöhen

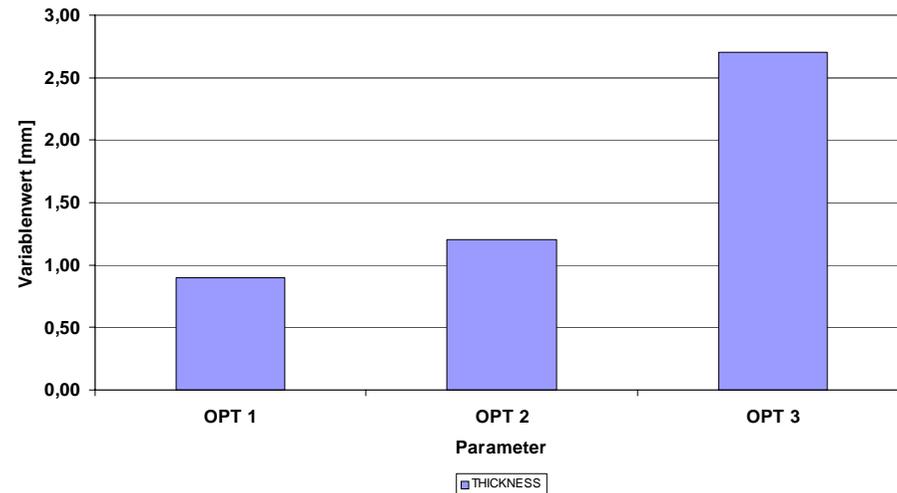


**parsec:**

Die eindeutigen Unterschiede der Optimierungen (insbesondere zwischen Nr.1/Nr.2 und der Nr.3) zeigen die Notwendigkeit der Optimierung der essentiellen Grundlagen des geometrischen Verhaltens. D.h., die Materialdefinition und Kenntnis der Skalierungsmöglichkeiten bei unterschiedlichen FE-Netzgrößen sind zwingend notwendig um erfolgreich und beweisbar strukturellen Optimierung zu betreiben.

Besonders eindeutig sind die Dimensionalen Unterschiede der Optimierung. Die Verwendung von unzureichend validierten Materialgesetzen bzw. Parametereinstellungen für spezielle Werkstoffe in der FEM führen zu nicht realistischen Ergebnissen!!!

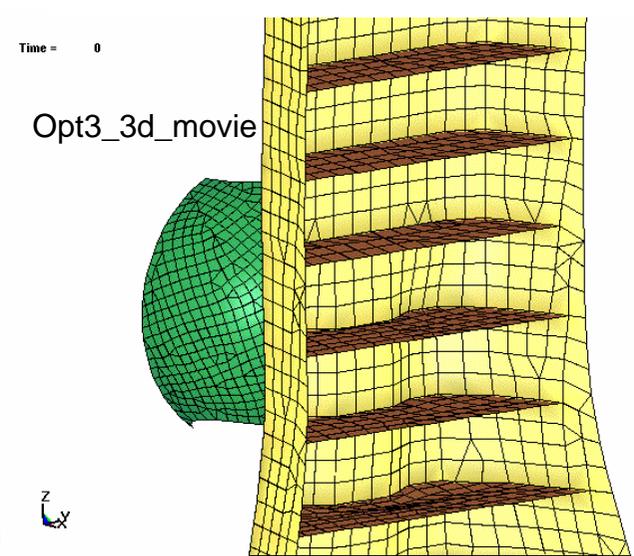
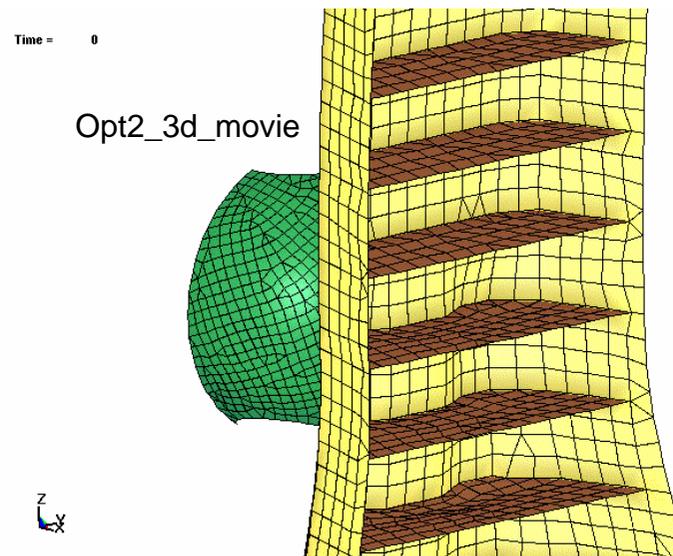
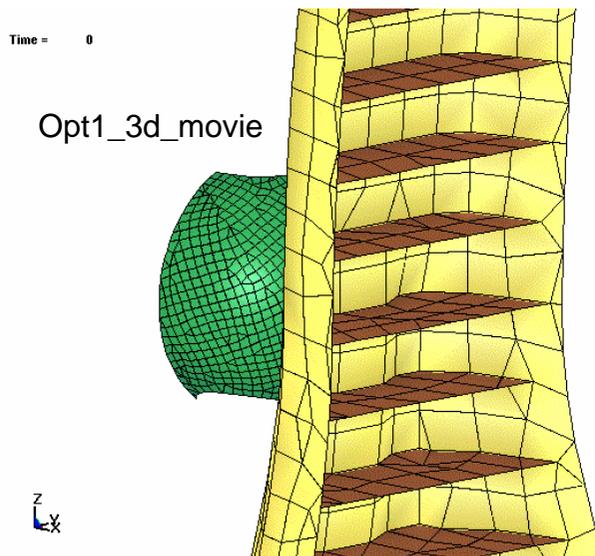
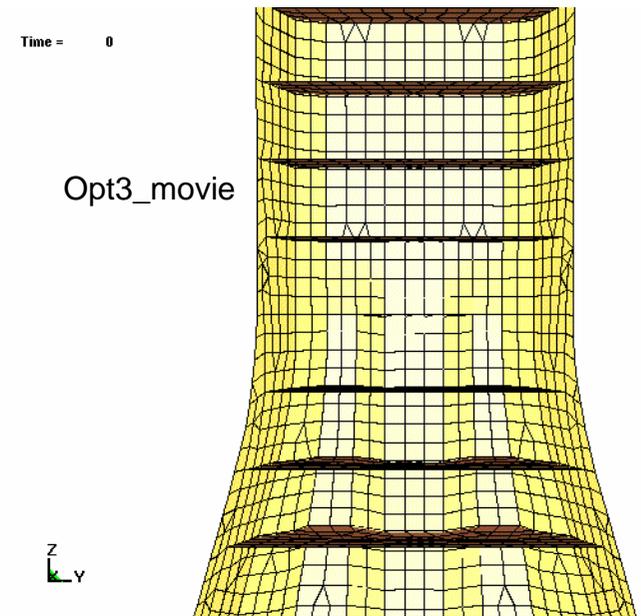
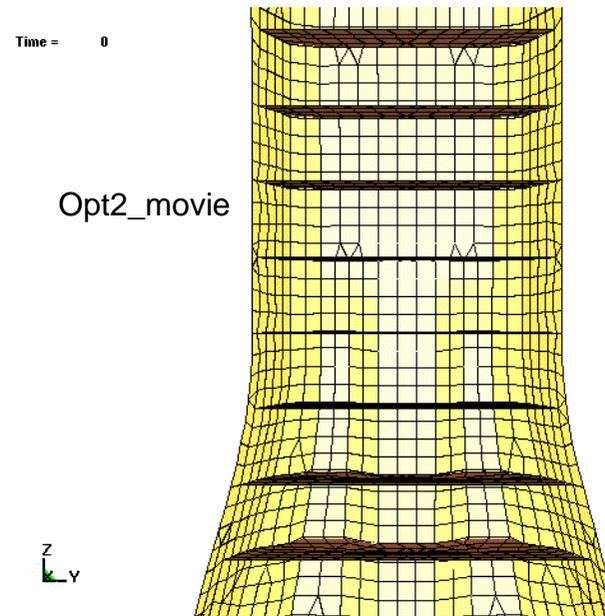
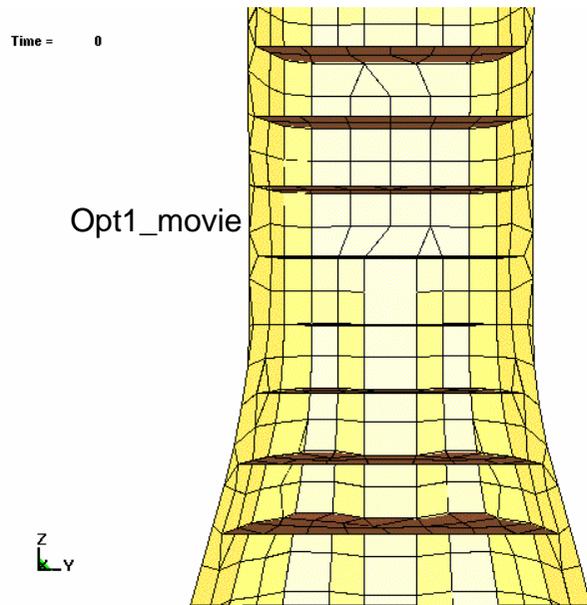
Variablenwerte der Rippenwandstärke

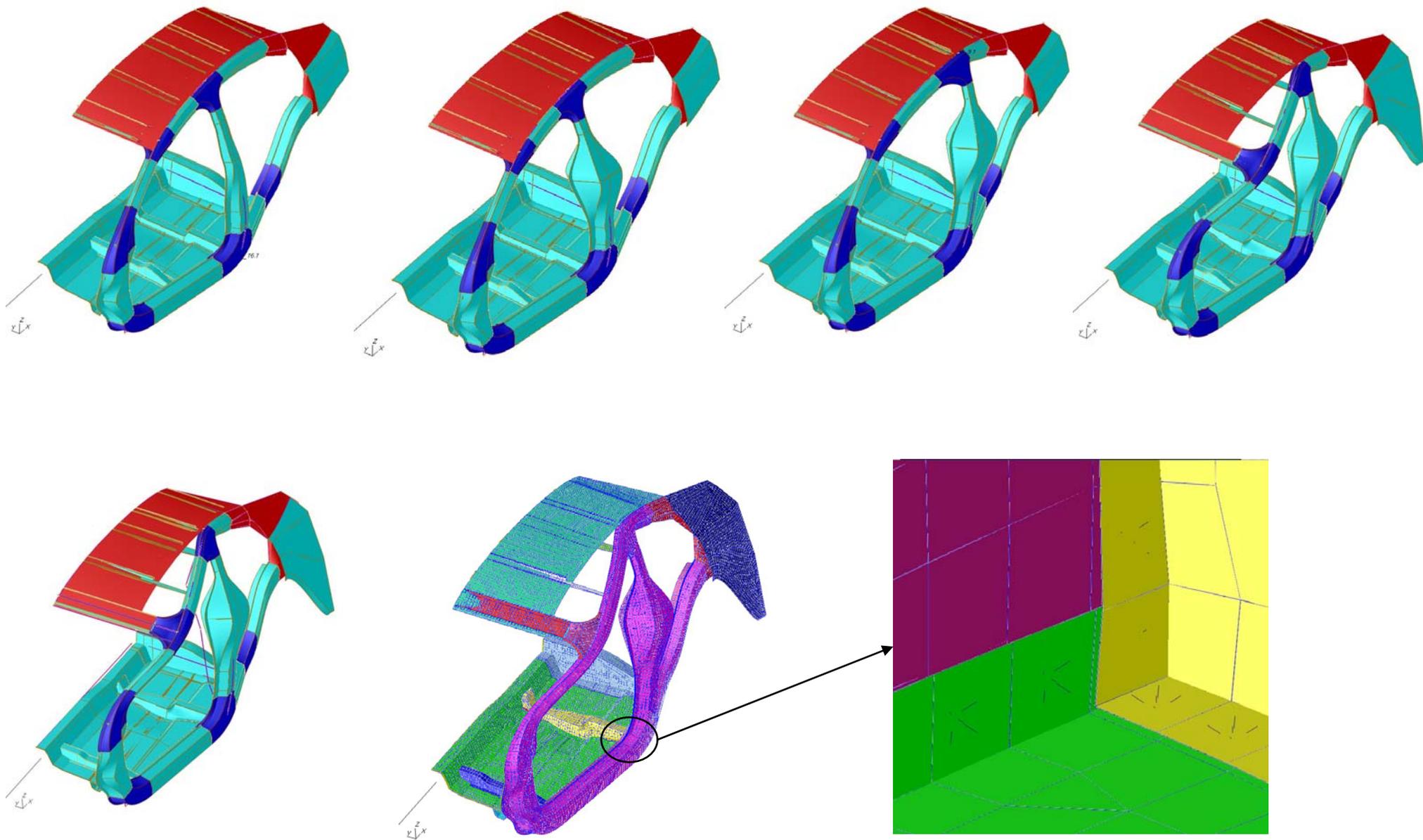


Optimierungsergebnis muß auf Plausibilität geprüft werden !

Die robuste Optimierung mit LS-OPT und SFE-Concept ist nur bei geeigneter Modellierung und Materialparameterwahl sinnvoll !

# Beispiel Nr.3 – Optimierung einer B-Säulen ähnlichen Verkleidung





## Probleme der Strukturoptimierung

- Hohe Anzahl an Parametern bei Formoptimierung
  - Resultierend hohe Anzahl an Iterationsschritten bei der Optimierung
- Schwierige Abschätzung der Plausibilität des Ergebnisses bei kritischen Bauteilen oder ungenügend validierten Materialgesetzen
- Schnittstellenprobleme zwischen den beteiligten Softwarepaketen
- keine Garantie des Fehlerausschlusses während der Optimierung vorhanden

## Ausblick

- Erfolg der Strukturoptimierung durch topologische Änderungen unterstützen
- wesentliche Verbesserung der Materialgesetze und deren mechanischen Prüfverfahren (Graustufenkorrelation, ...)
- Verbesserung der Vernetzungsqualität bzw. Verwendung von entsprechenden Skalierungsfaktoren zur Kompensation
- direkte Einbindung von assoziativen SFE-Concept FE-Modellen in bestehende Berechnungsmodelle
- Verbesserung der Versagenskriterien und deren Berücksichtigung im Optimierungsprozess
- ...

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit