



Robuste Crashboxoptimierung während der Frühen Phase der Produktentstehungsprozesses

Sebastian Werner

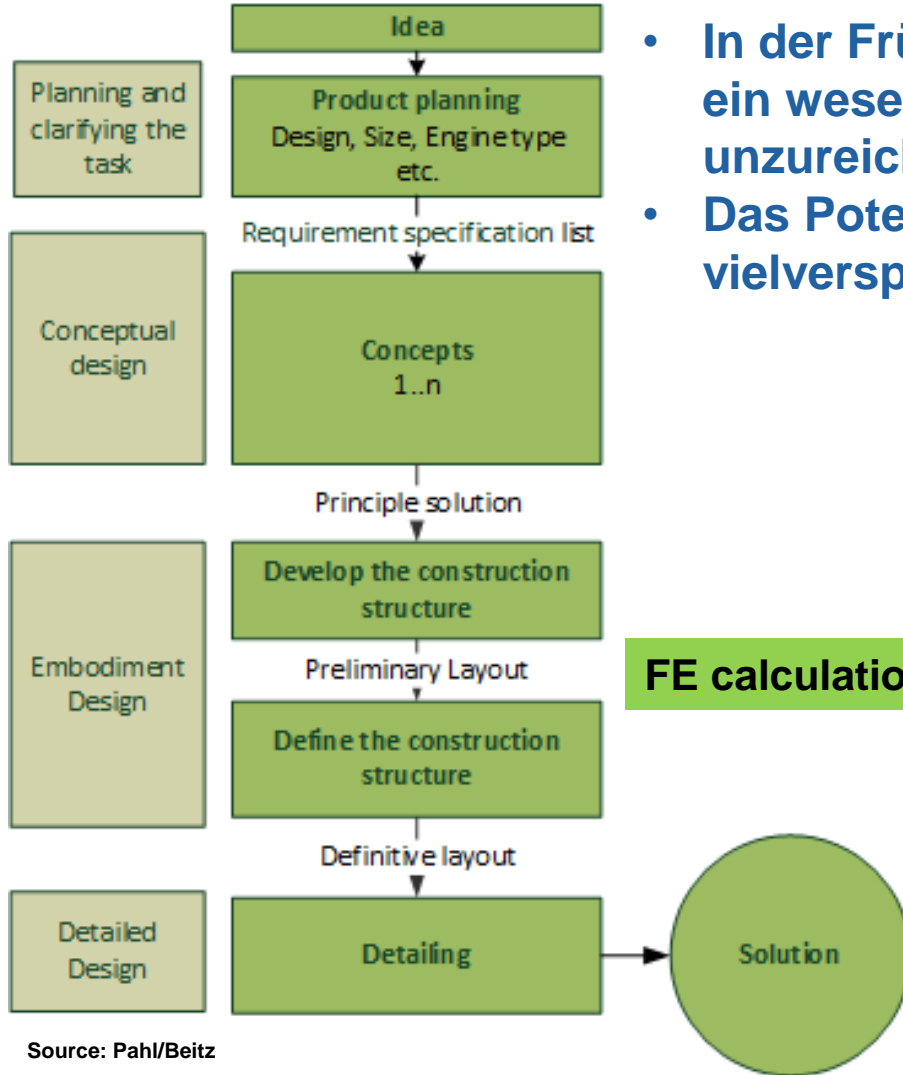
Pit Schwanitz, Dietmar Göhlich



Agenda

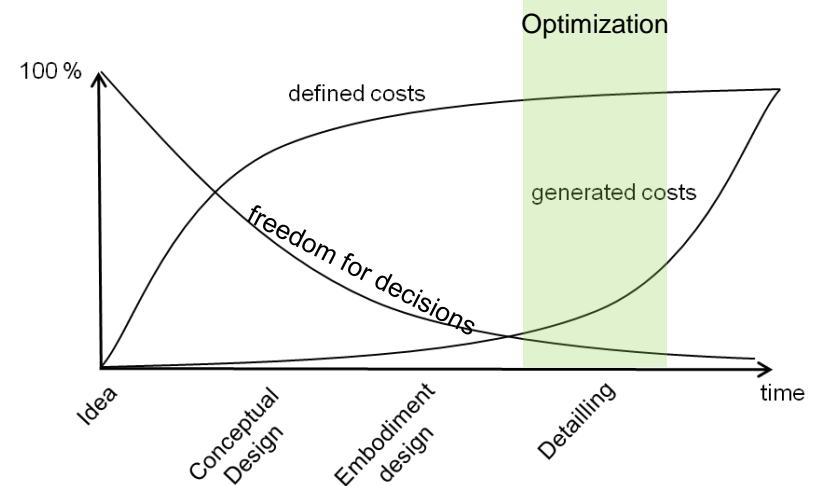
1. Motivation
2. Crashbox Design & Ziel des Forschungsvorhabens
3. Optimierungsprozess
4. Modellierung & Parametrisierung
5. Optimierung
6. Robustheitsbewertung
7. Zusammenfassung & Ausblick

Produktentwicklungsprozess (PEP)



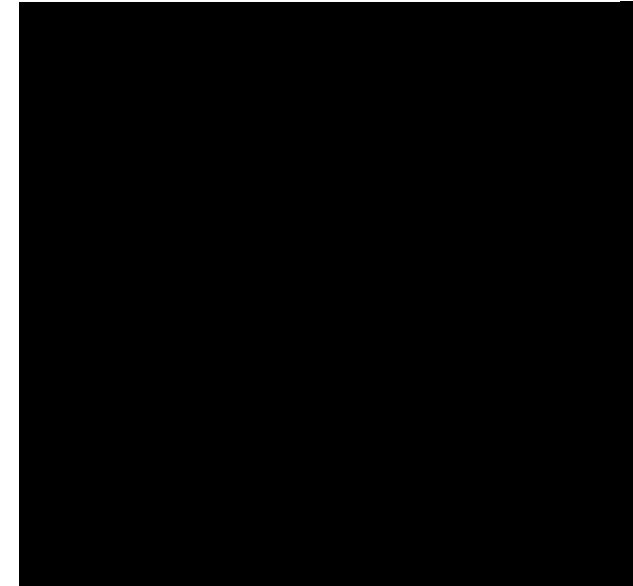
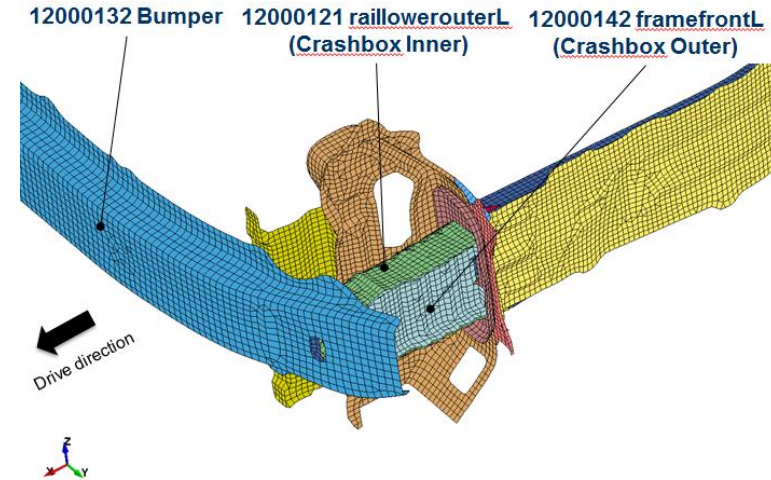
Source: Pahl/Beitz

- In der Frühen Phase der Produktenwicklung wird ein wesentlicher Anteil der Kosten auf Grundlage unzureichender Informationen festgelegt
- Das Potential zur kosteneffizienten Optimierung ist vielversprechend



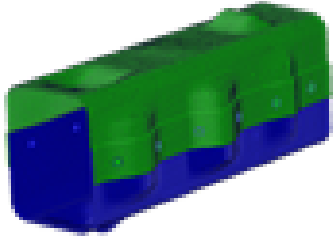
Crashbox..... wozu?

- Die Crashbox liegt zwischen dem Längsträger und dem Stoßfänger
- Funktion: Absorption der kinetischen Energie bei Unfällen mit niedrigen Geschwindigkeiten, der Längsträger erfährt nur elastischen Verformungen
- die Crashboxen reduzieren die Reparaturkosten und ermöglichen eine bessere Versicherungseinstufung
- Auslegungsrelevant sind der RCAR Strukturtest und Abschleppsimulationen



NCAC Toyota Yaris

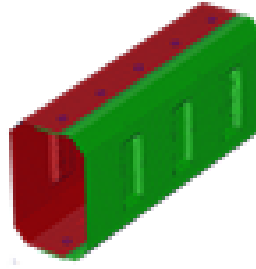
Crashbox Designs



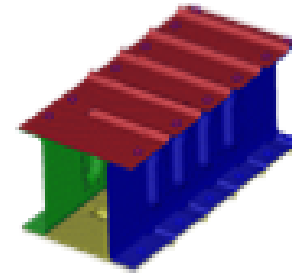
Mercedes A-Class, 1240kg



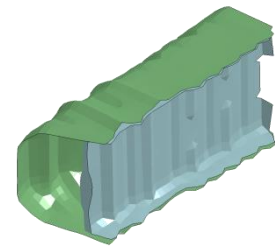
Citroen C3, 1100kg



Renault Koleos, 1724 kg



Opel Zafira, 1320 kg

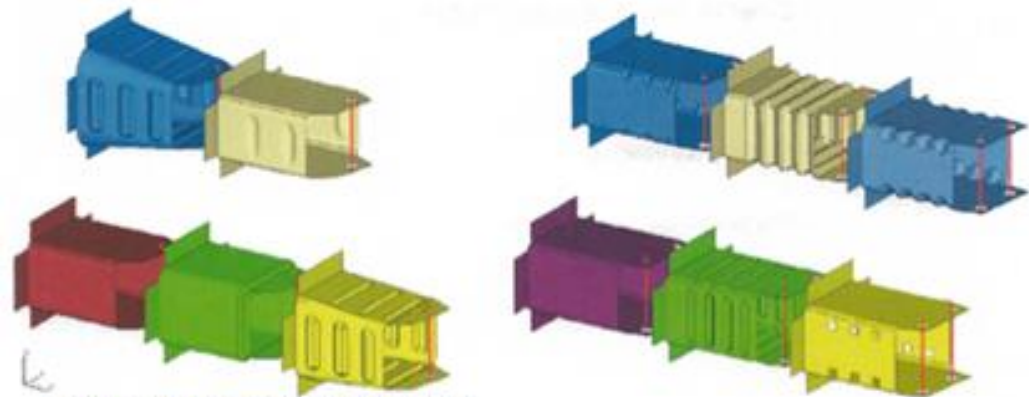


Toyota Yaris, 1200kg

→ Was führt zur Entwicklung so unterschiedlicher Designs?

Mögliche Gründe:

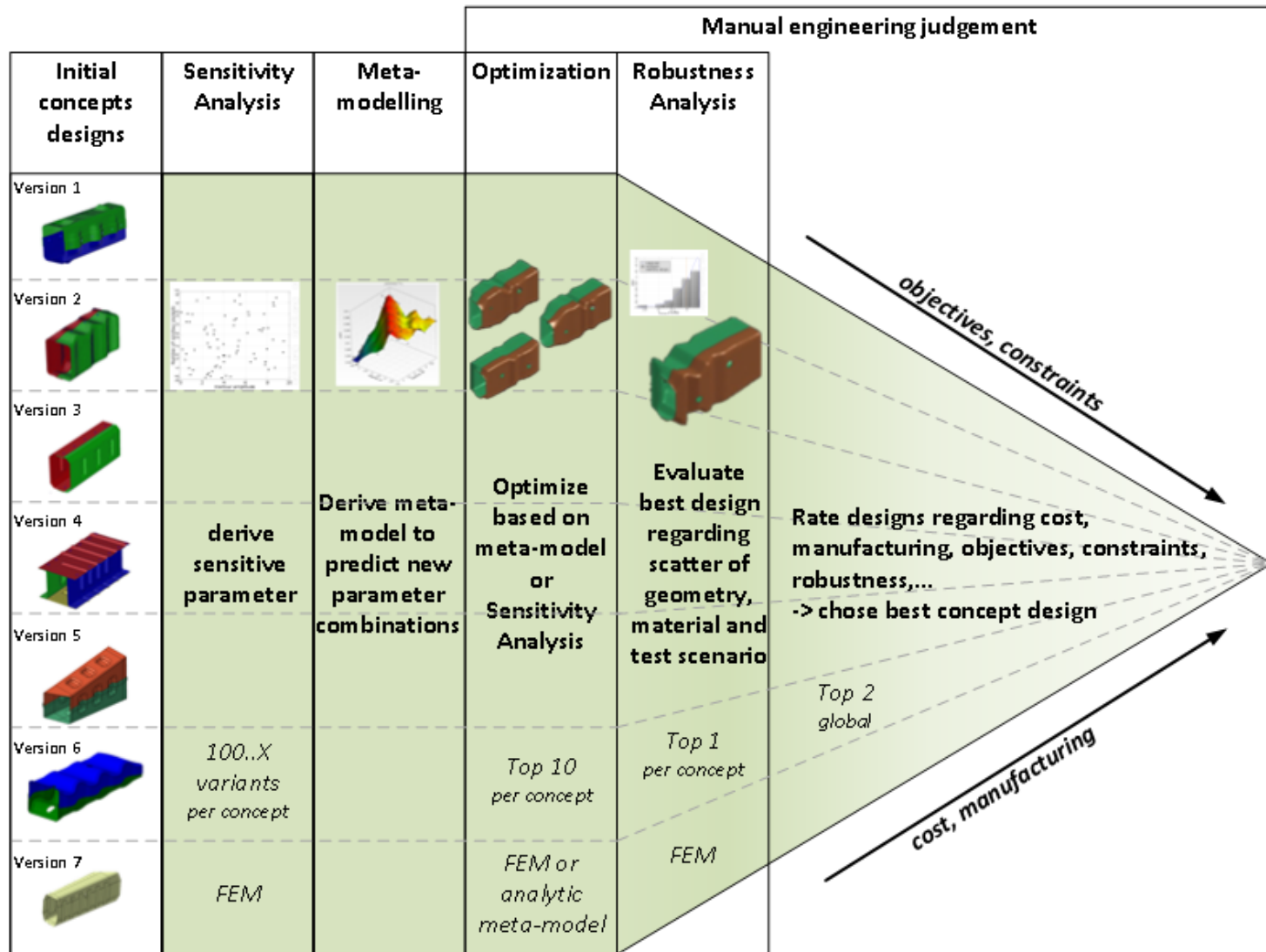
- Funktionsdefinition
- Fahrzeugmassen
- Materialauswahl
- Bauräume
- Unterschiedliche Längen
- Erfahrungswerte



Quelle: Carhs, Crashworthy Body Design

→ Gibt es ein “optimales” Crashboxdesign?

Methodischer Ansatz



Umfang des Forschungsprojektes

allgemein:

- Typ Sedan, 1200kg
- RCAR StrukturTest mit 16km/h
- Stahl

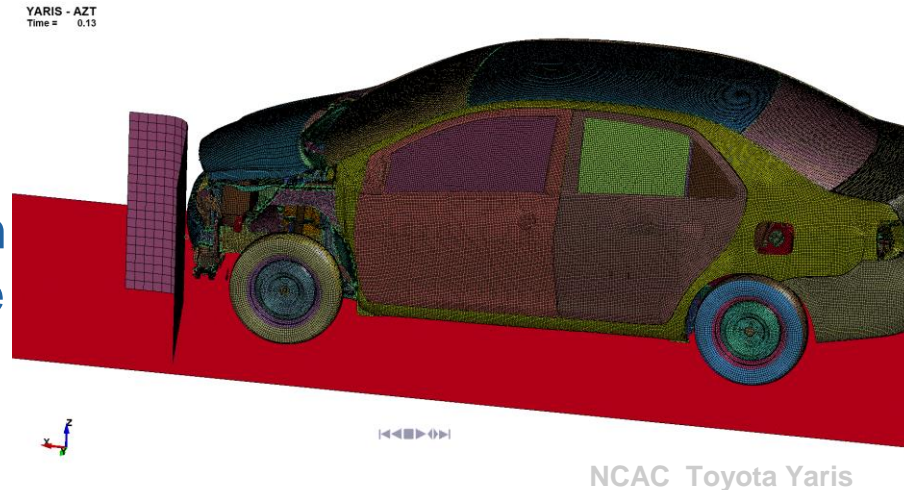
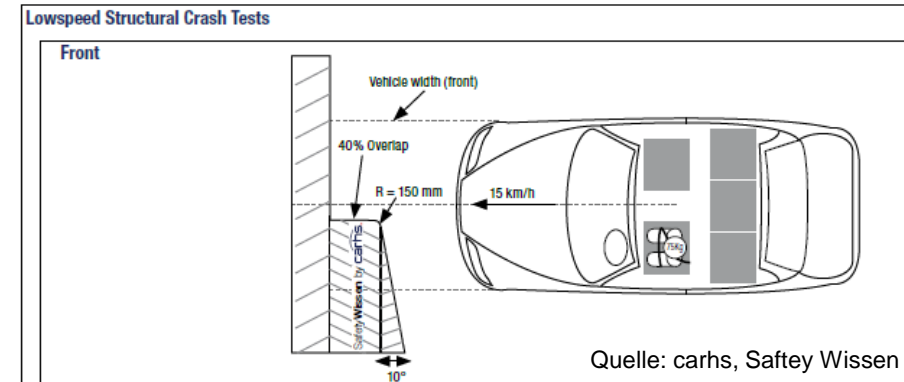
Optimierung:

- Erhöhung des Nutzungsgrades
- Gewichtsreduktion

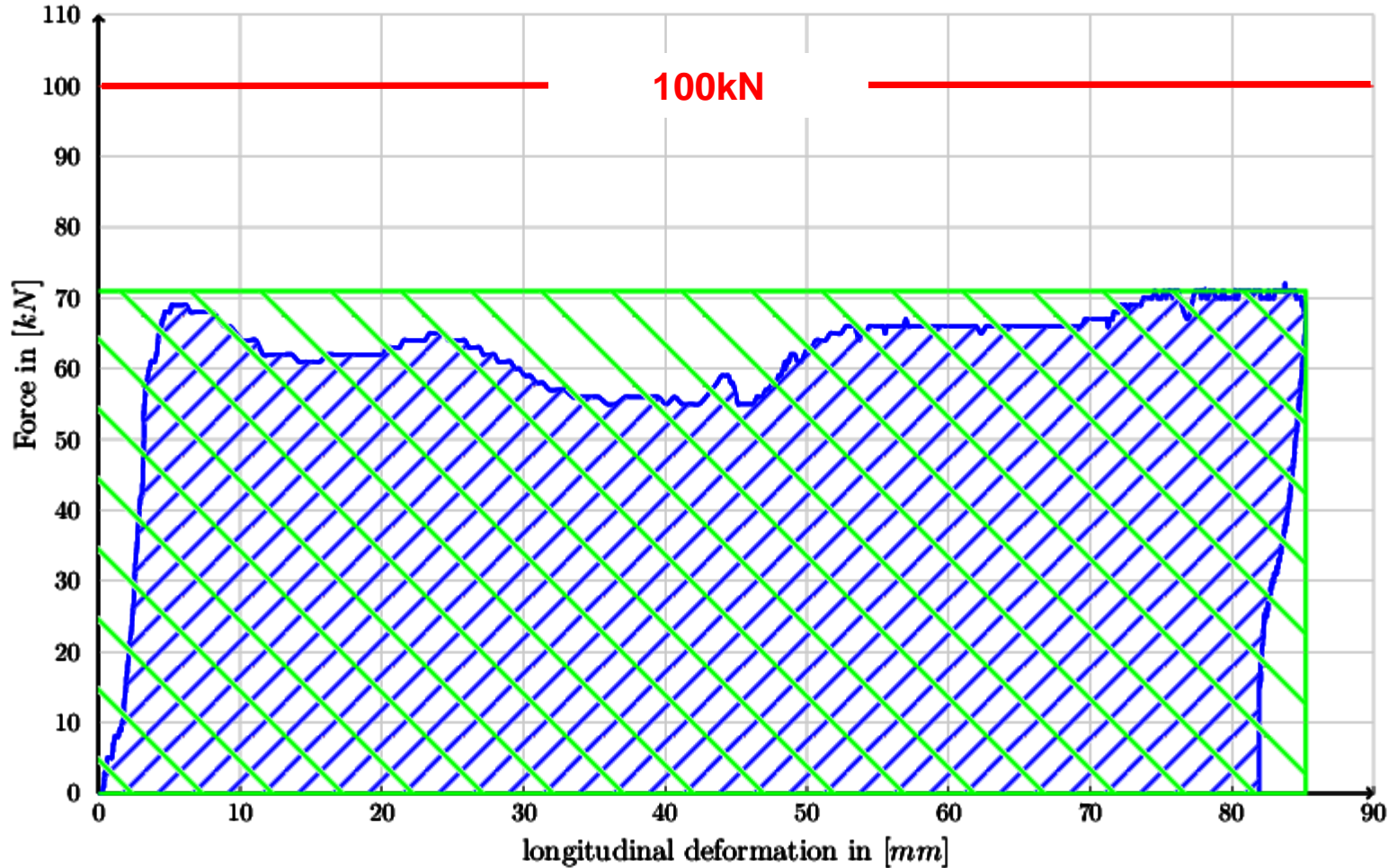
Nebenbedingung:

- Begrenzung der Maximalkraft am Längsträger auf 100 kN
- Zugkraft von 16 kN unter 45° in allen Raumrichtungen an der Abschleppöse
- Verschiebung beim Abschleppversuch kleiner 10mm

Versicherungseinstufungstests RCAR

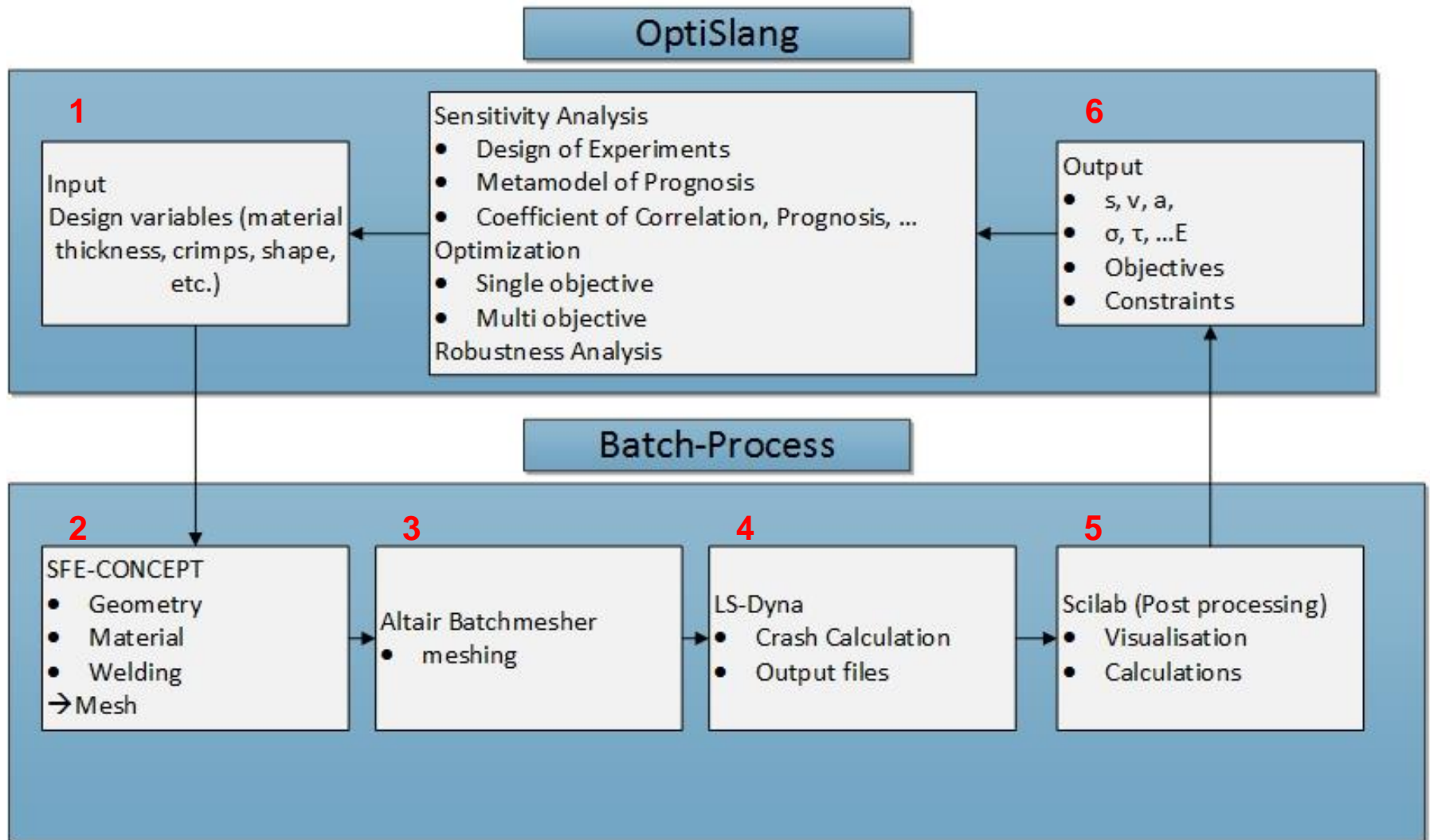


Definition des Nutzungsgrades



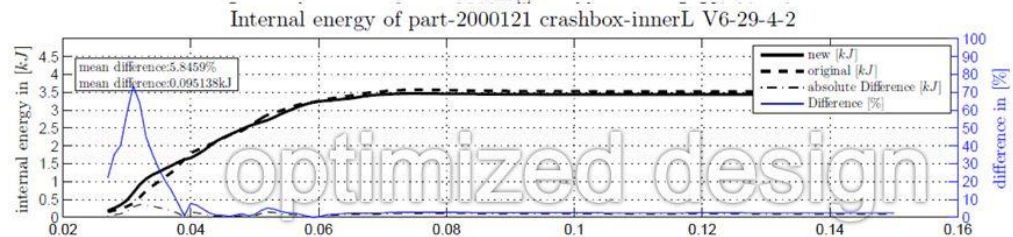
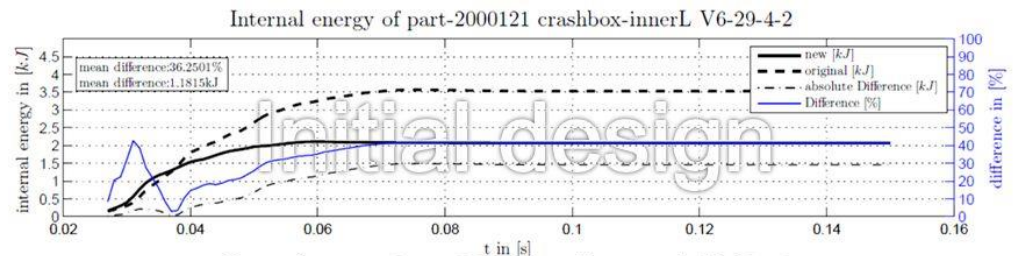
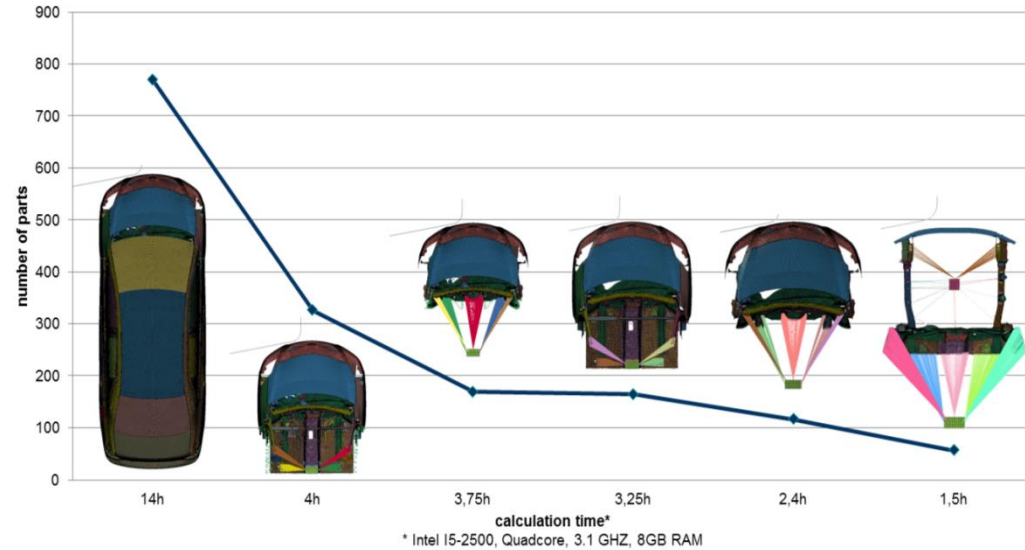
$$\eta_{CB} = \frac{\int_{l_{\text{deformation}}} F_{\text{Kontaktkraft}} dl}{F_{\text{Kontaktkraft,max}} \cdot l_{\text{deformation,max}}}$$

Optimierungsprozess



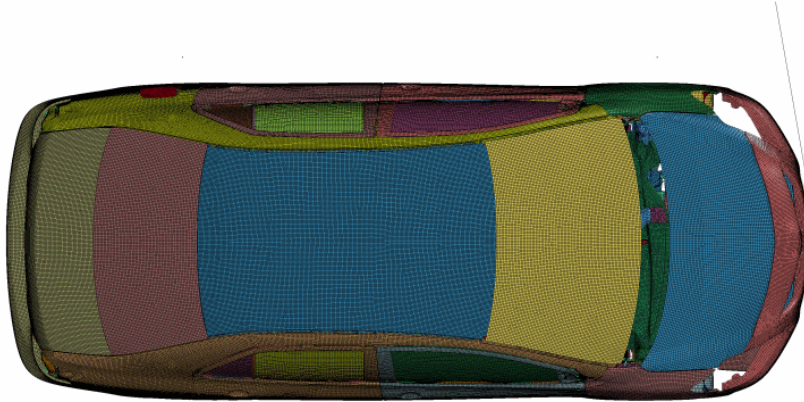
Vereinfachtes Simulationsmodell

- Referenzmodell Toyota Yaris 2010 von NCAC
- Mittels Optimierung wurden die Ersatzmassen und Trägheiten angepasst um ein vergleichbares Verhalten zu erzielen
- Rechenzeit konnte von 14h auf 1,5h reduziert werden
- Stoßfänger und Crashbox wurden hinsichtlich der Energieabsorption geprüft
- Nach der Optimierung wurde eine durchschnittliche Abweichung von 5,4% erreicht (initial 25%)

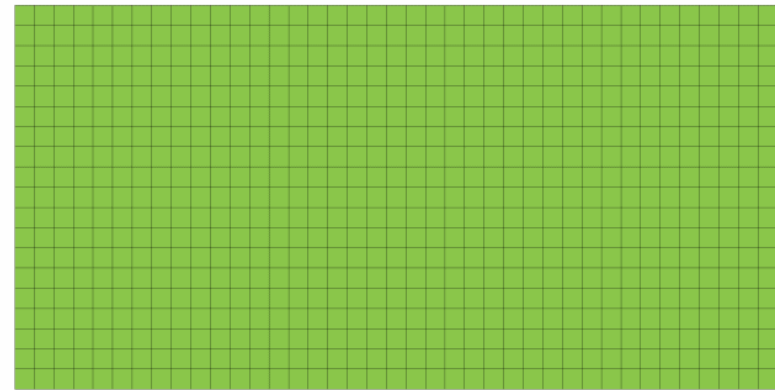


Vergleich stark reduziertes Modell mit Referenzmodell

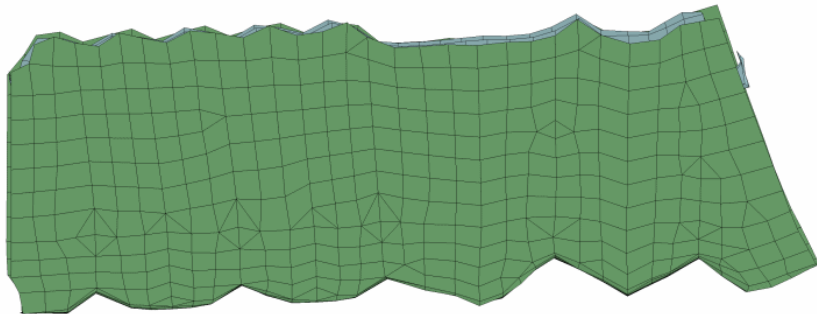
YARIS - AZT
Time = 0



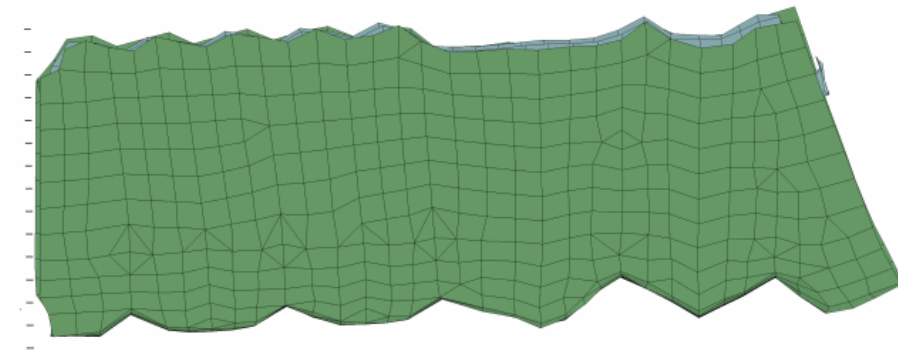
YARIS - AZT
Time = 0



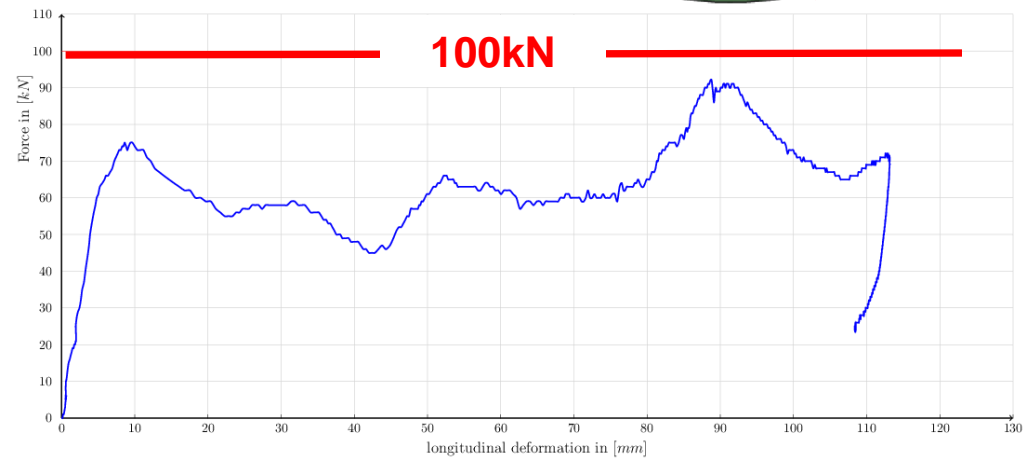
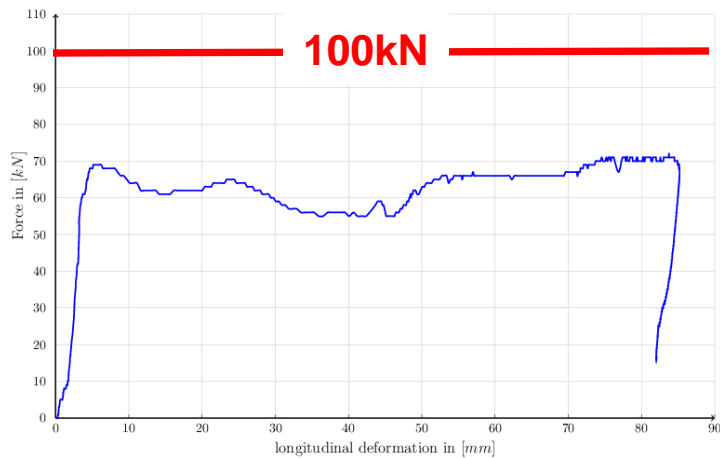
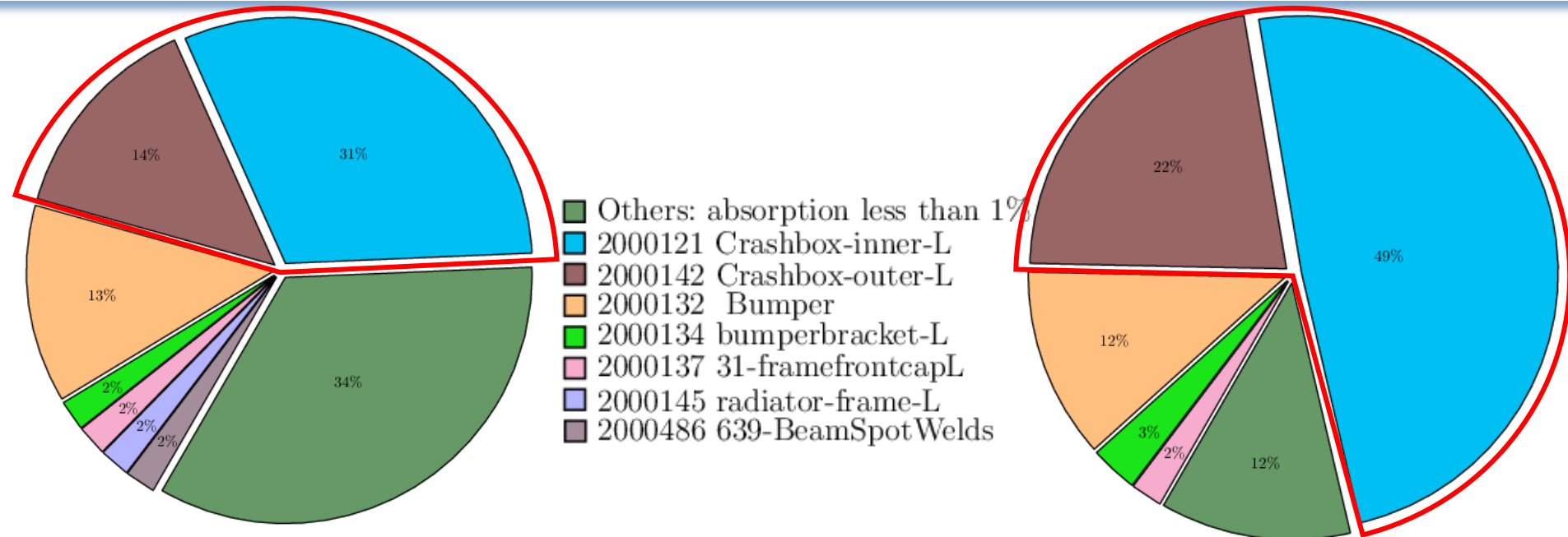
YARIS - AZT
Time = 0



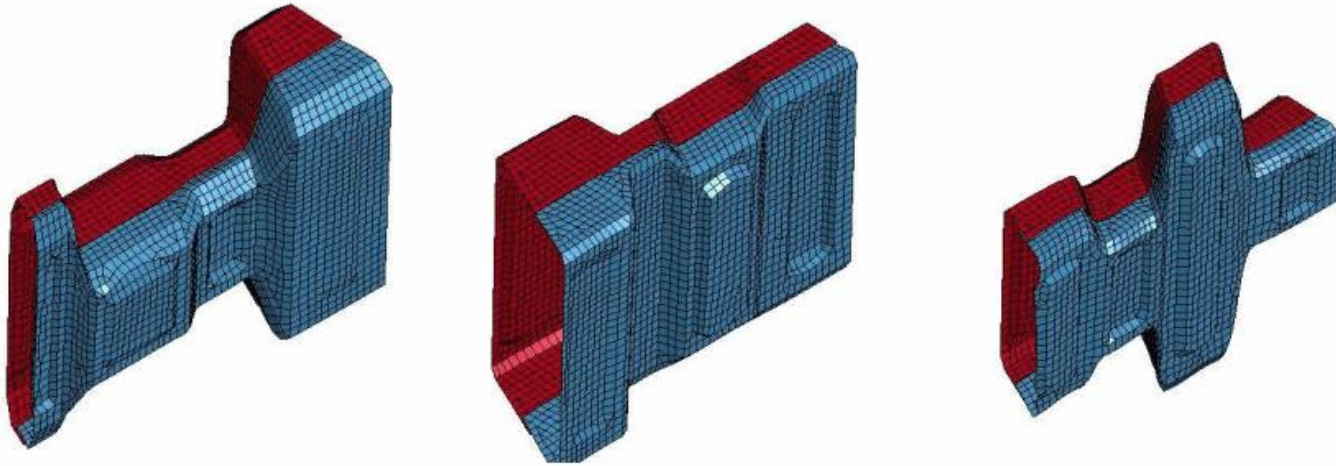
S - AZT
Time = 0



Vergleich reduziertes Modell mit Referenzmodell

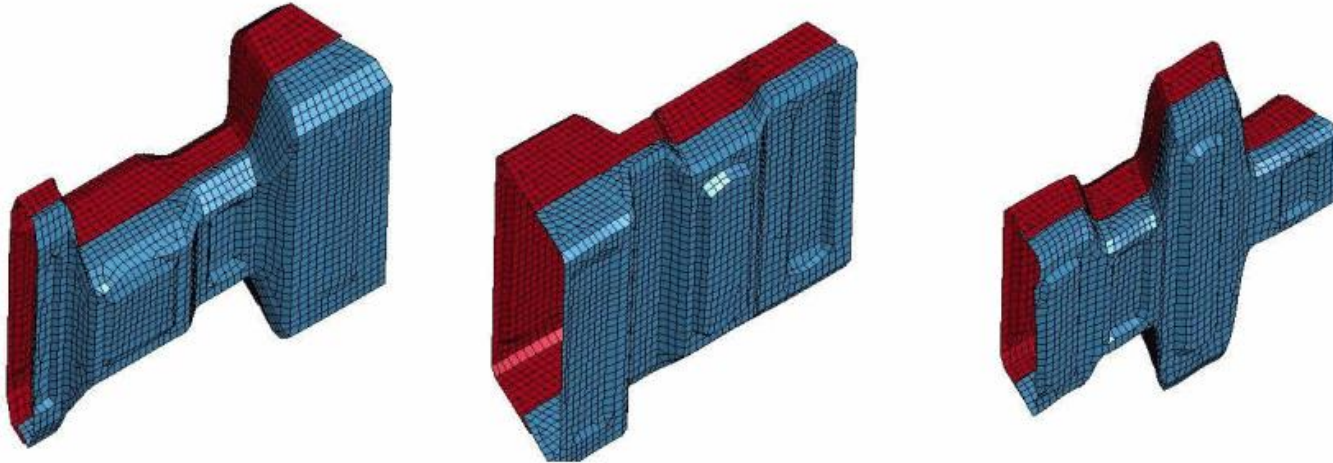


Parametrisierung in SFE CONCEPT



Parameter	Anzahl	Typ	Range	
Verkürzung	1	kontinuierlich	0	40
Skalierung in y	4	kontinuierlich	0.5	2
Skalierung in z	4	kontinuierlich	0.5	1.8
Länge der Ebenen	4	kontinuierlich	0.1	0.3
Länge der Übergänge	3	kontinuierlich	0.05	0.1
Winkel der Querschnitte	1	kontinuierlich	-10	10

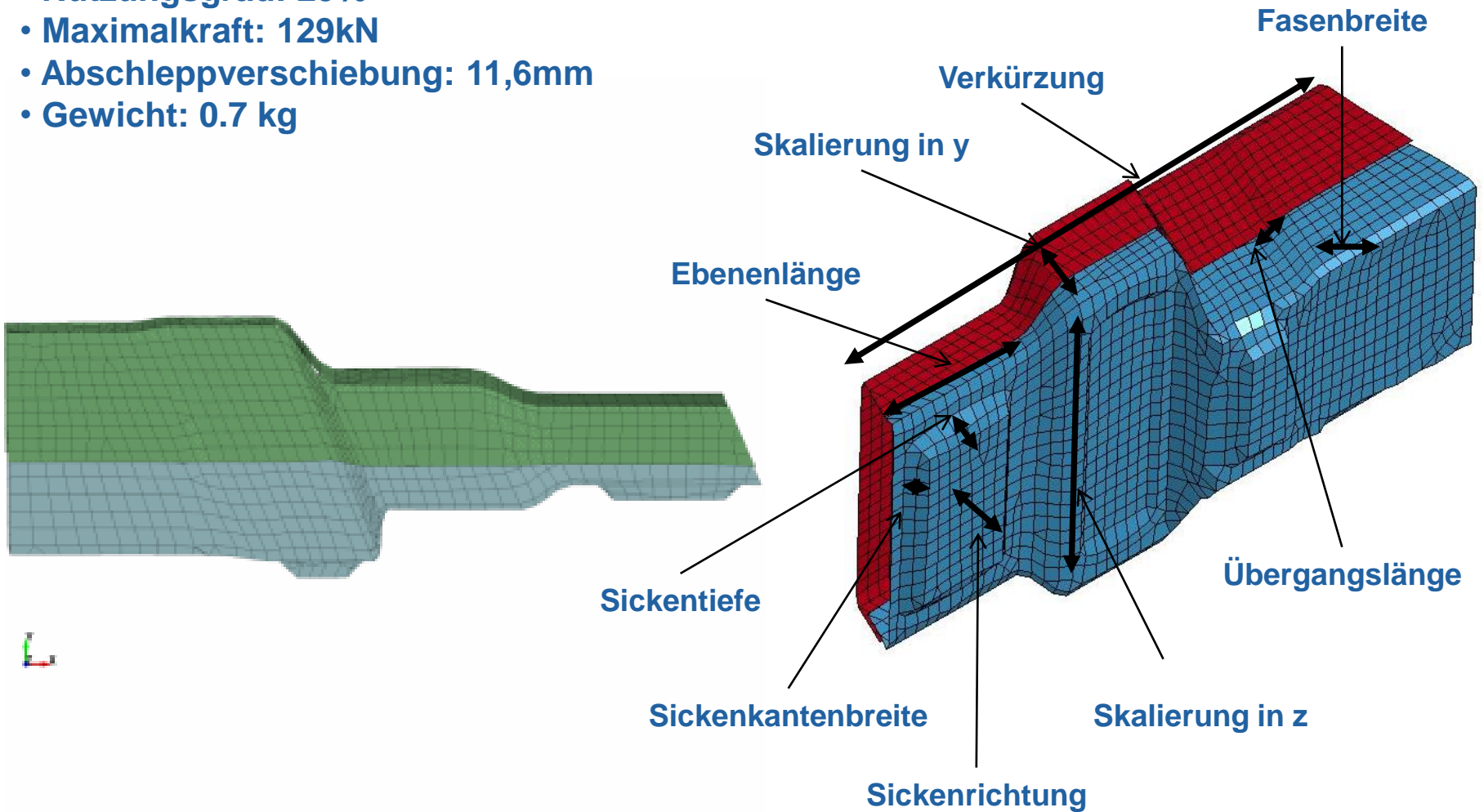
Parametrisierung in SFE CONCEPT



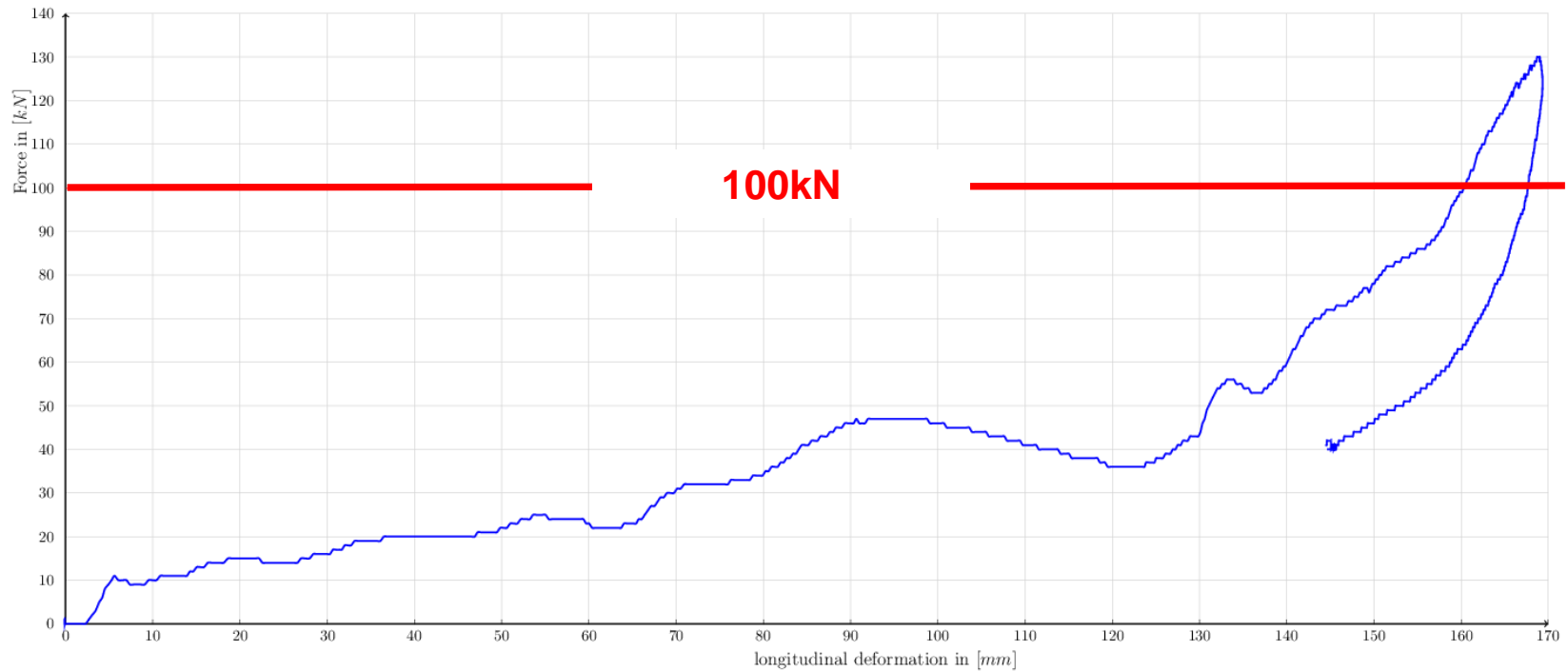
Parameter	Anzahl	Typ	Range	
Materialdicke	2	diskret	0.7:0.1:2.5	
Fasbreite	1	kontinuierlich	2	15
Sickentiefe	8	kontinuierlich	0	5
Sickenrichtung	8	diskret	-1	1
Sickenkantenbreite	8	kontinuierlich	1	5
Summe	44			

Initiales Design

- Nutzungsgrad: 29%
- Maximalkraft: 129kN
- Abschleppverschiebung: 11,6mm
- Gewicht: 0.7 kg

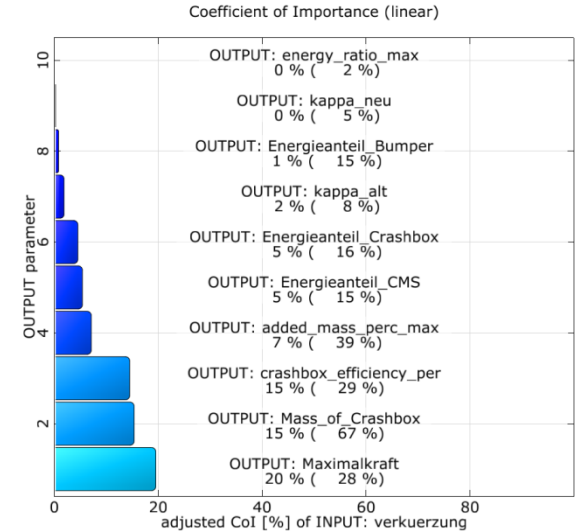
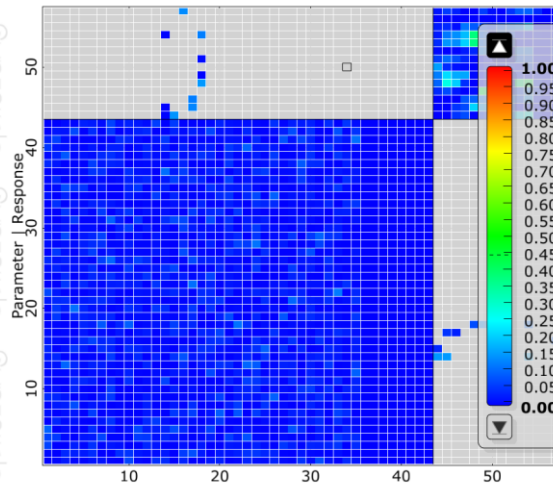
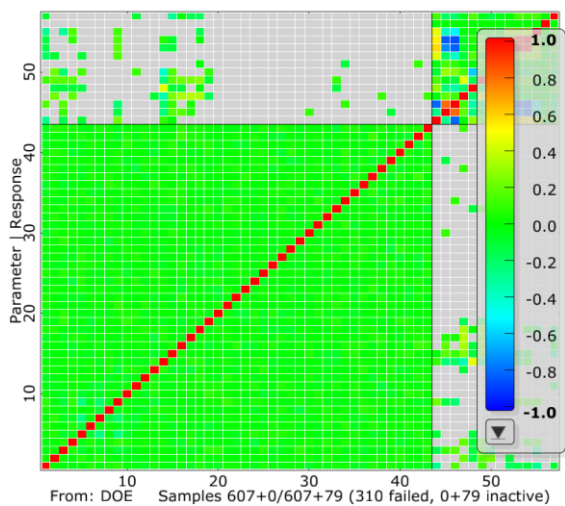


Initiales Design

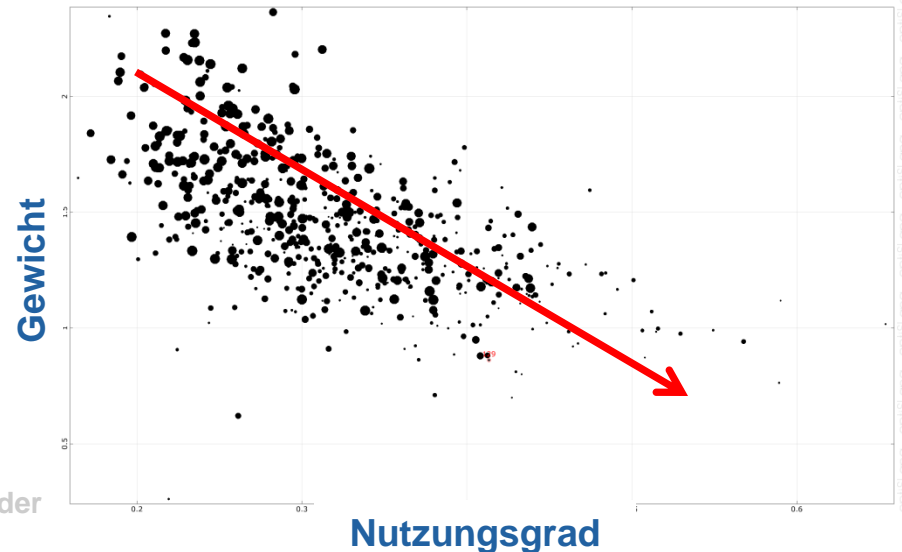


Sensitivitätsanalyse

OUTPUT: hourglass_max vs. INPUT: S2_depth_inner, $r = -0.021$



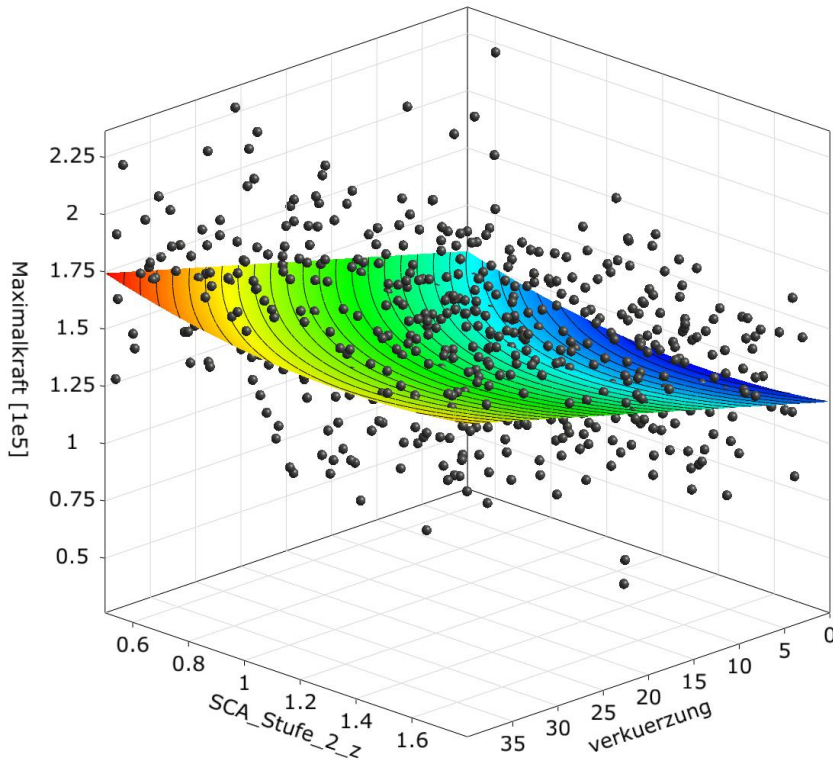
- Durch die Sensitivitätsanalyse kann die Anzahl der Parameter von 44 auf 28 reduziert werden
- Die Sickenrichtung und die Breite der Sickenkanten sind nicht sensitiv



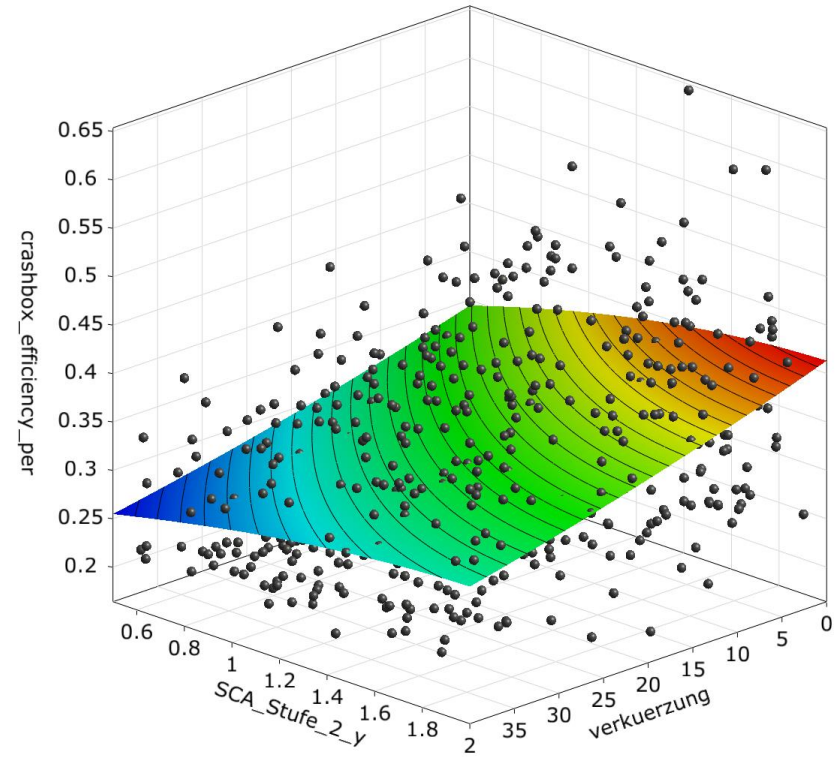
Die Kreisgröße korreliert mit der Crashboxlänge

Metamodel of optimal Prognosis

Polynomial regression of Maximalkraft
Coefficient of Prognosis = 27 %



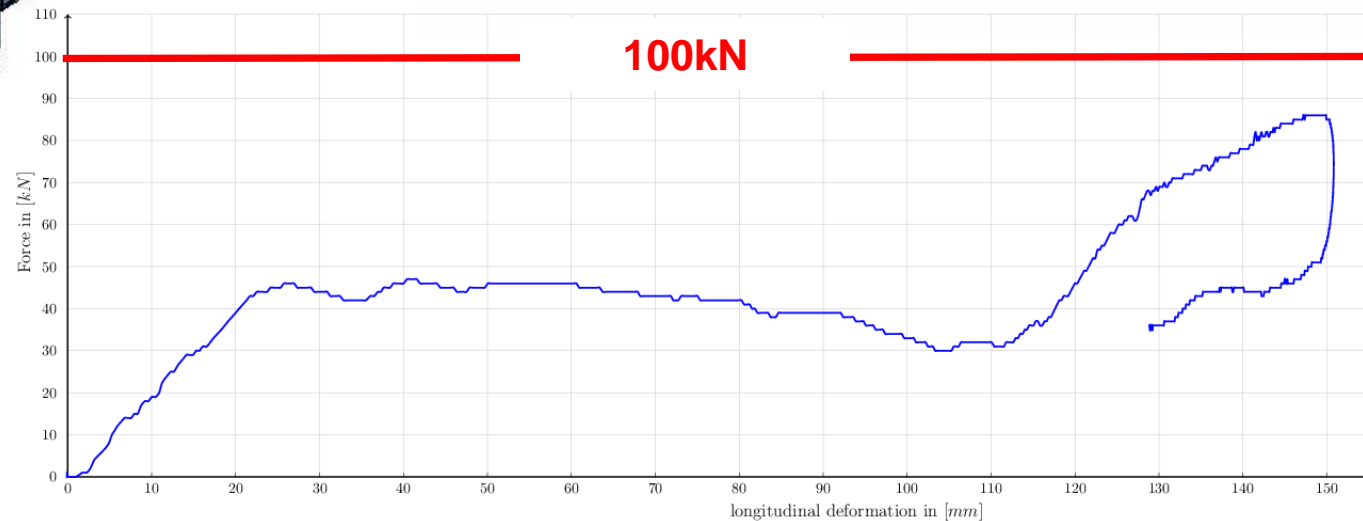
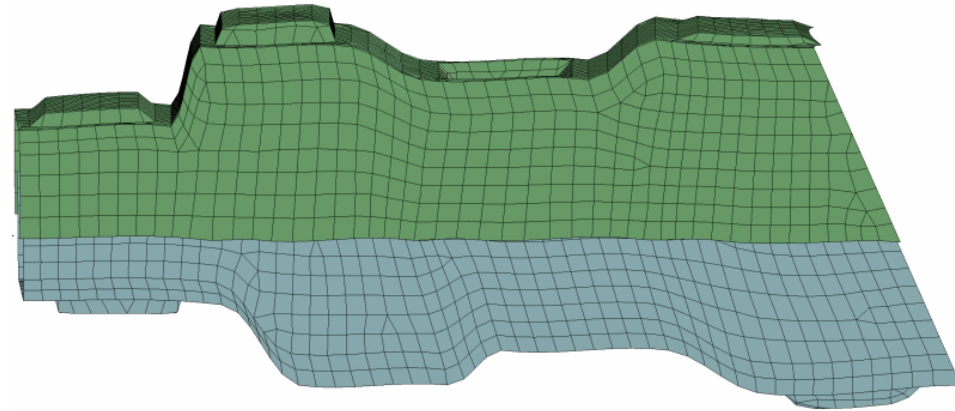
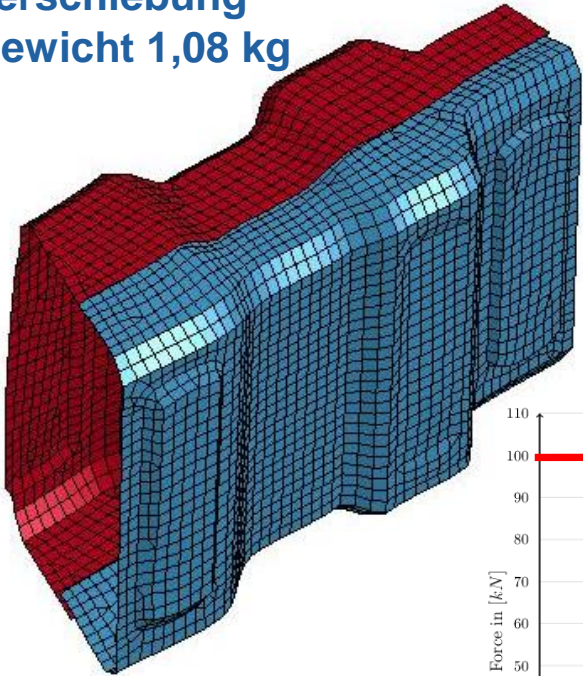
Quadratic no mixed regression of crashbox_efficiency_per
Coefficient of Prognosis = 31 %



- beispielhafte Metamodelle für die Zielfunktionen nach 600 Rechnungen
- CoP's sind nicht ausreichend

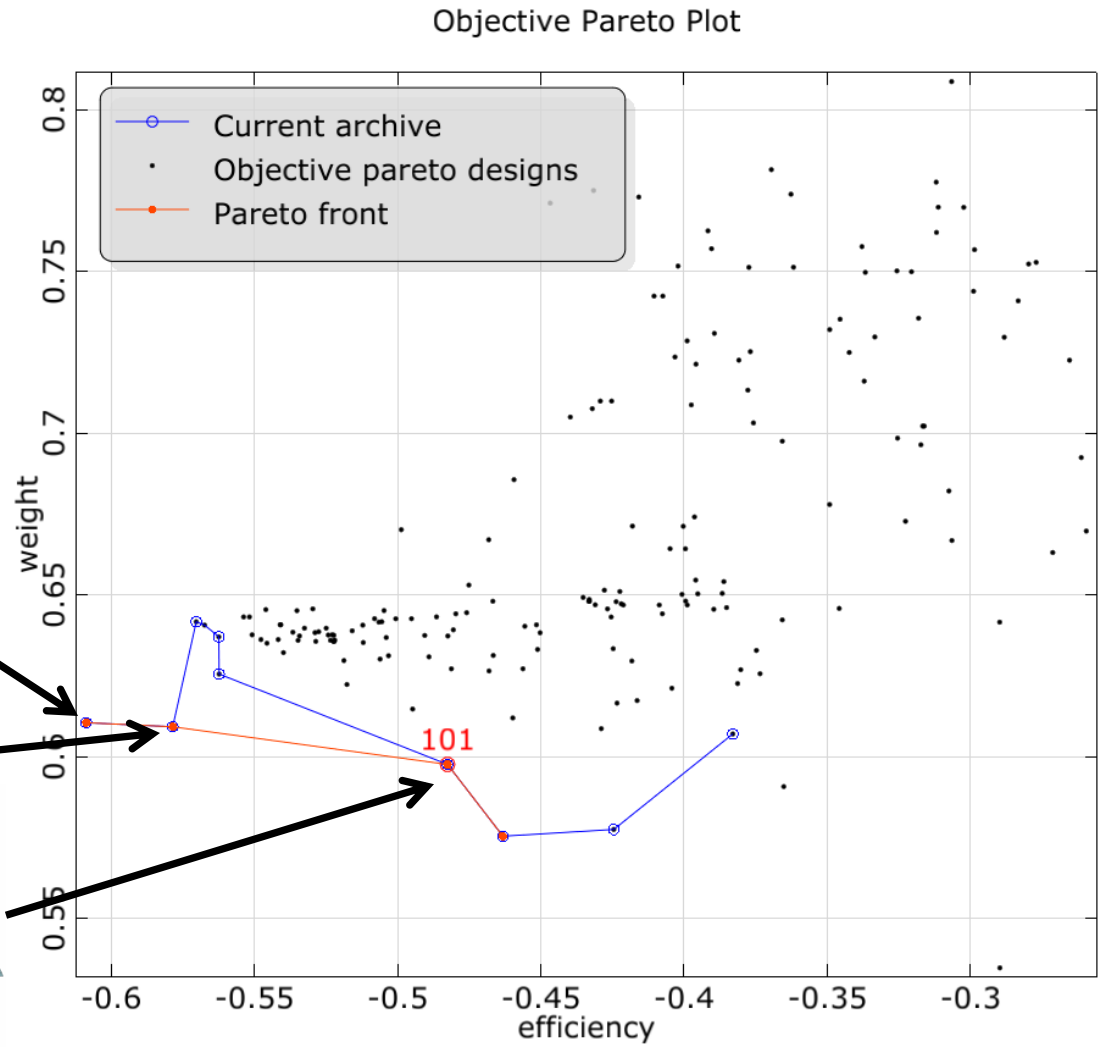
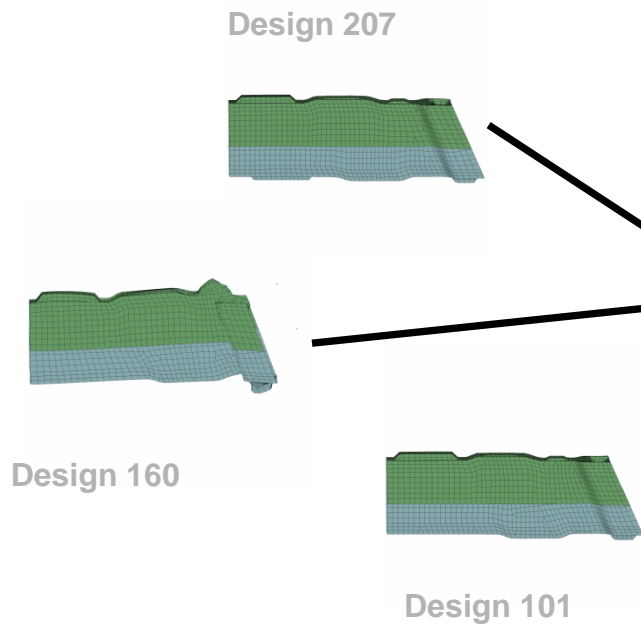
Referenzdesign für Optimierung

Nutzungsgrad 41%
Maximalkraft 86kN
Statische 1 mm
Verschiebung
Gewicht 1,08 kg



Optimierungsergebnisse

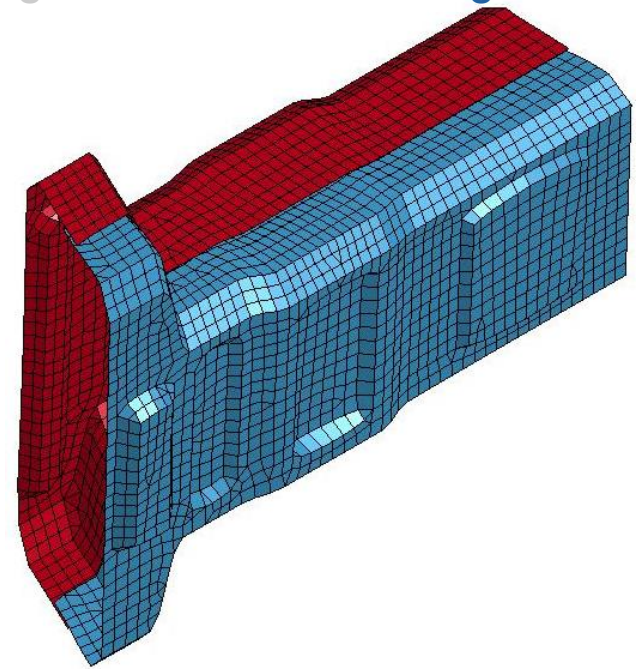
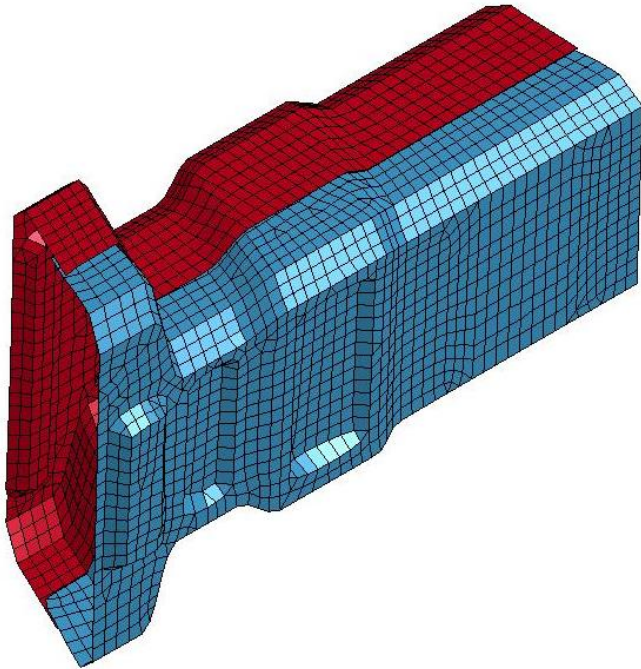
- lokaler evolutionärer Algorithmus
- 30 Startdesigns
- 25 Generationen
- 220 gerechnete Designs



optiSlang optiSlang optiSlang of

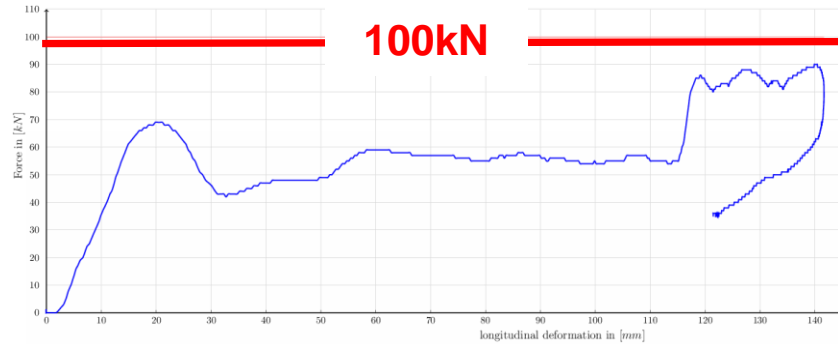
Optimierungsergebnisse

	Design 101	Initiales Design	Design 207
Nutzungsgrad	48 %	29%	60 %
Maximalkraft	89 kN	129 kN	85 kN
Abschleppverschiebung	1,32 mm	11,6 mm	1,2 mm
Gewicht	0,84 kg	0,7 kg	0,86 kg

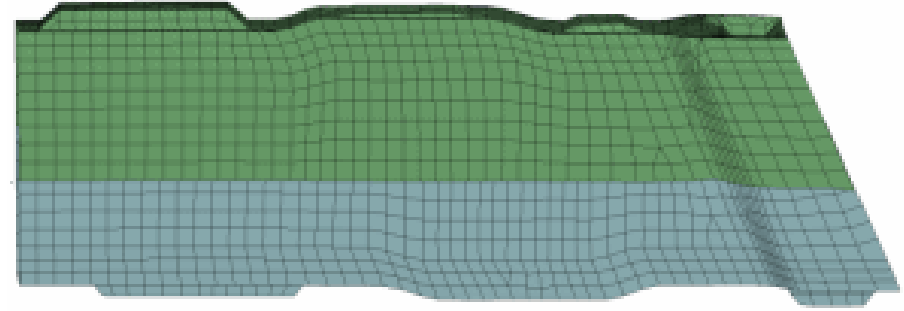
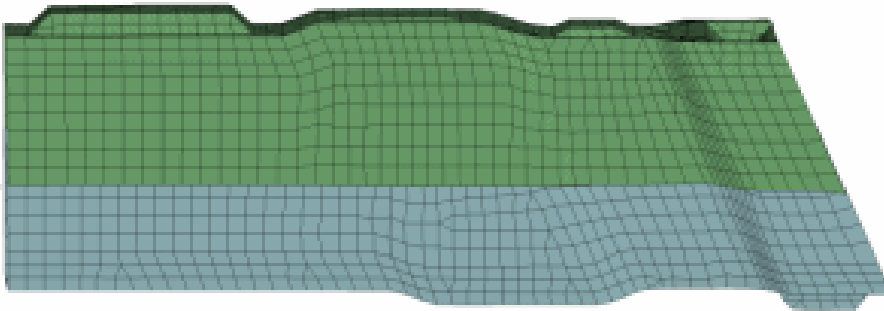
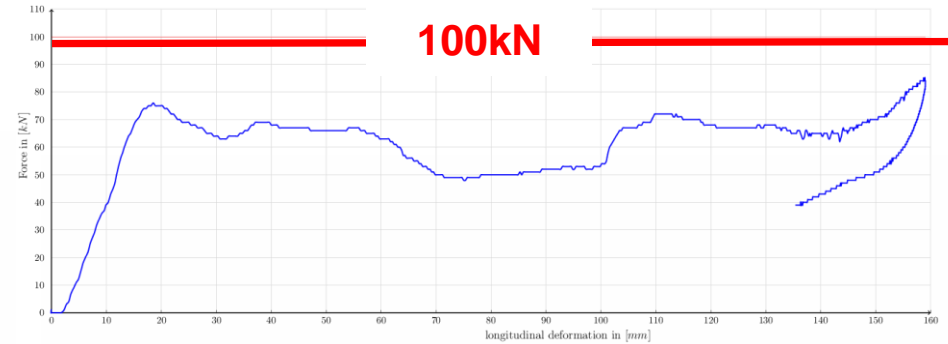


Optimierungsergebnisse

Design 101



Design 207



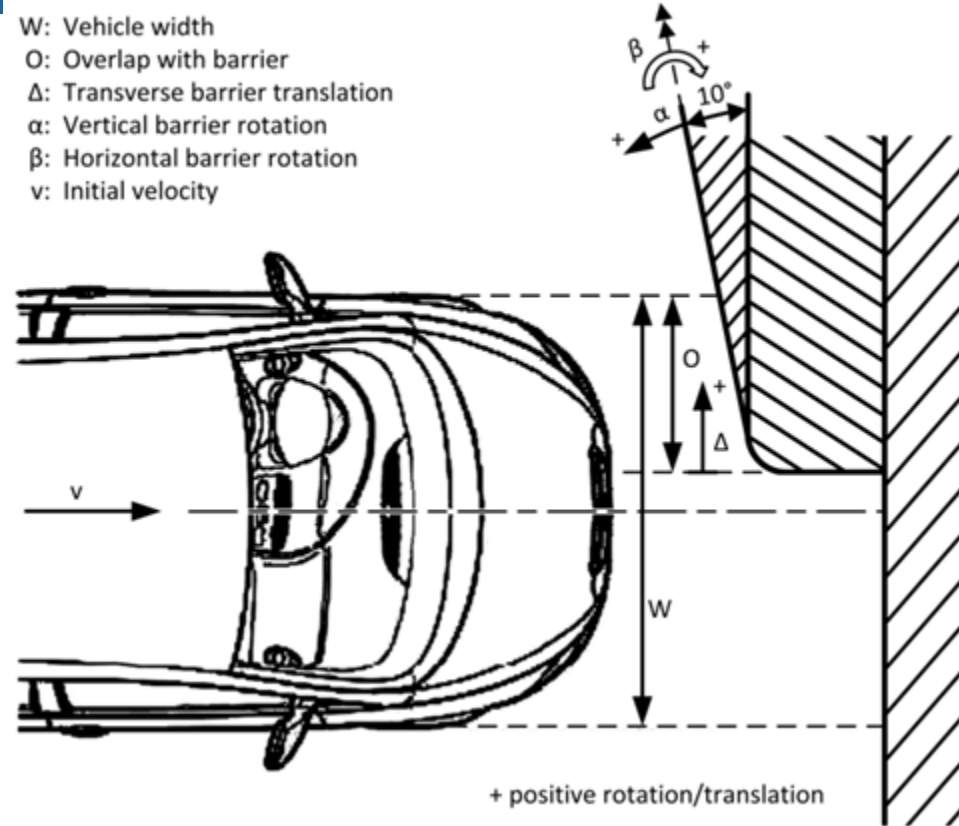
Design 101 und Design 207 werden einer Robustheitsbewertung bezüglich Streuungen im RCAR Strukturtest unterzogen

Robustheitsbewertung

Einflußparameter	Referenzwert	Untere Schranke	Obere Schranke
Translatorische Verschiebung der Barriere	0.4B	-25mm	25mm
Vertikale Rotation der Barriere	10°	-1°	1°
Horizontale Rotation der Barriere	0°	-1°	1°
Geschwindigkeit	15 km/h	-0 km/h	+1km/h

Für die Parameter wurde jeweils eine Standardverteilung um den Mittelwert des zulässigen Parameterbereiches angenommen. Die Standardabweichung wurde so gewählt, das der Abstand Mittelwert –Grenzwert 6 Sigma beträgt

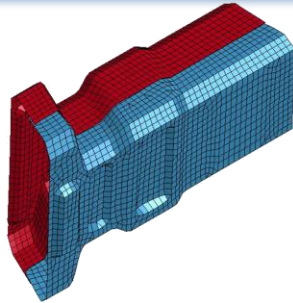
W: Vehicle width
 O: Overlap with barrier
 Δ : Transverse barrier translation
 α : Vertical barrier rotation
 β : Horizontal barrier rotation
 v: Initial velocity



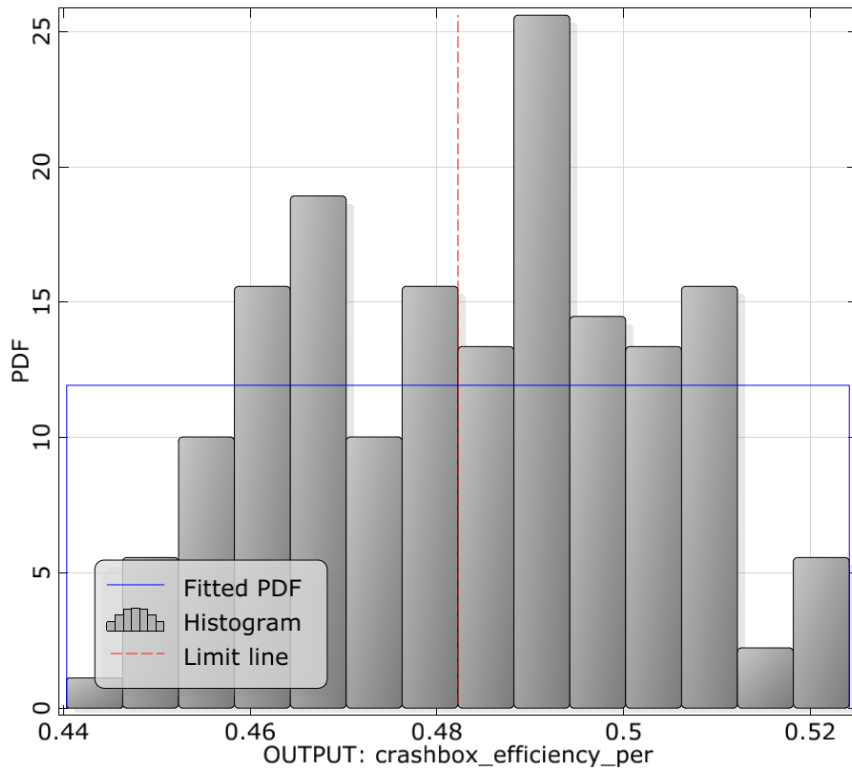
Quelle: RCAR

Robustheitsbewertung

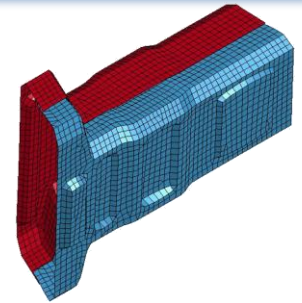
Design 101



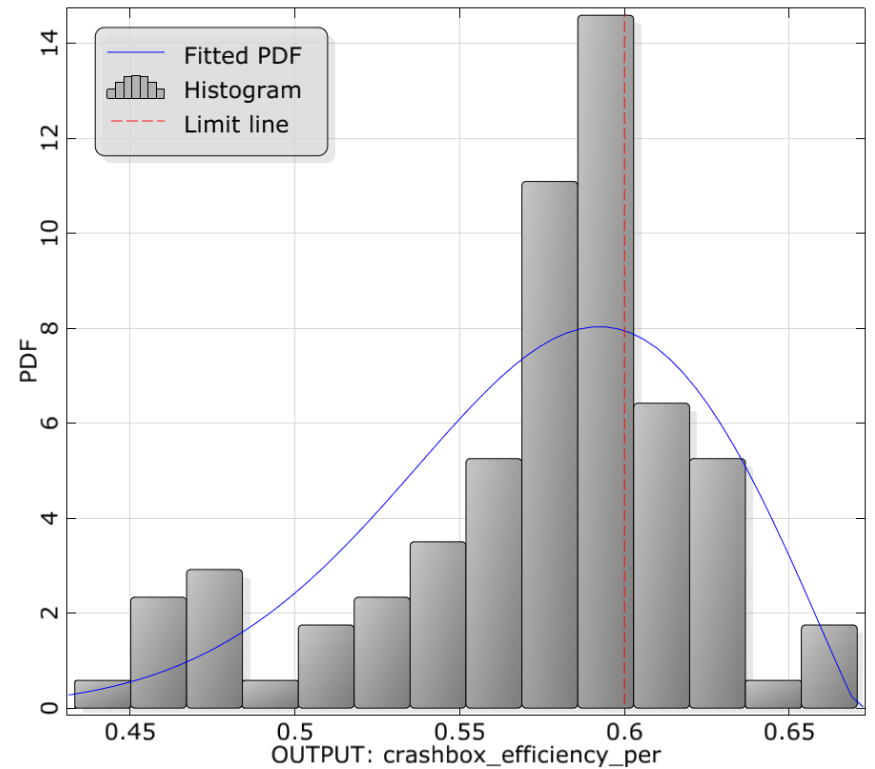
OUTPUT: crashbox_efficiency_per



Design 207

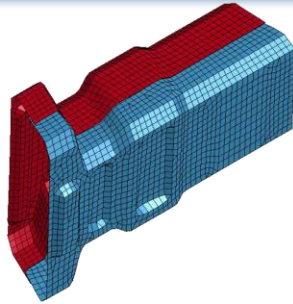


OUTPUT: crashbox_efficiency_per



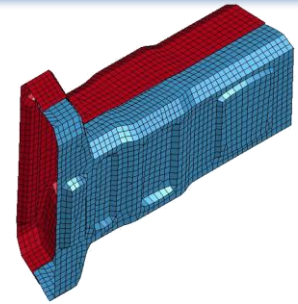
Robustheitsbewertung

Design 101

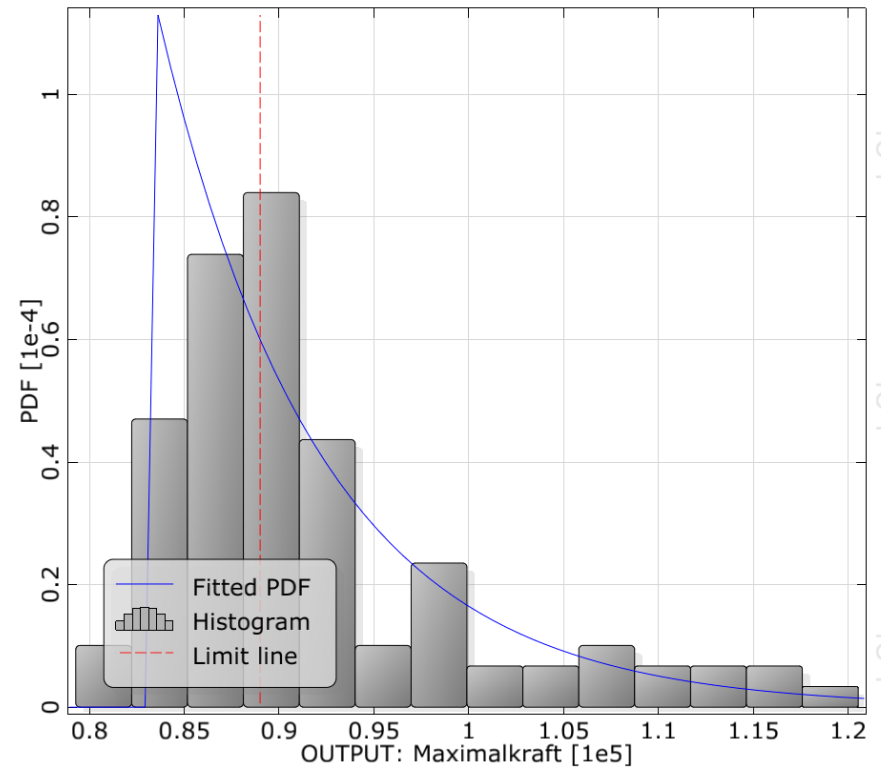
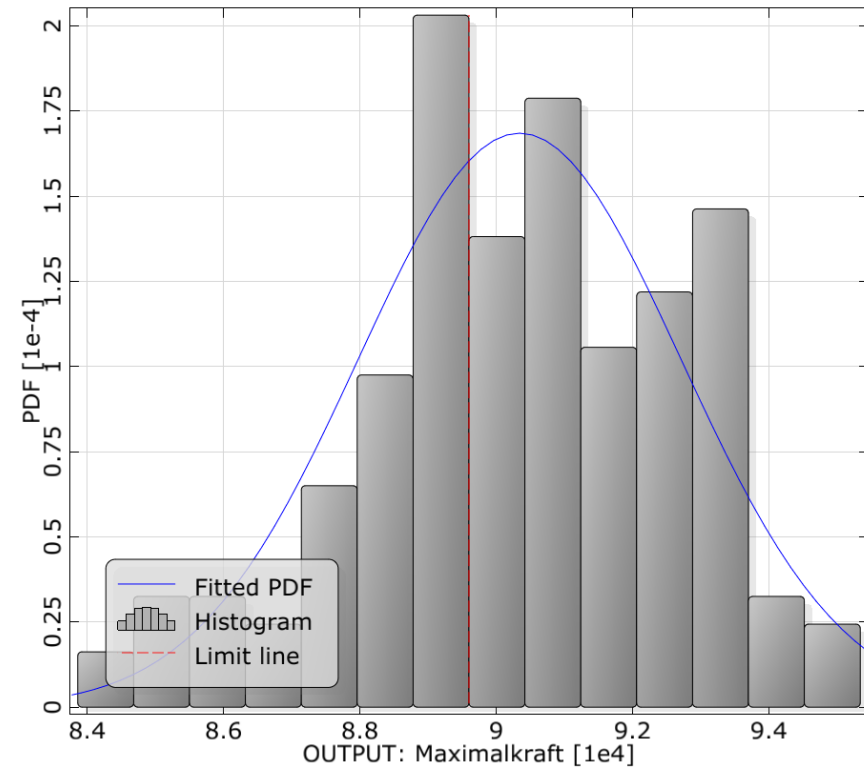


OUTPUT: Maximalkraft

Design 207

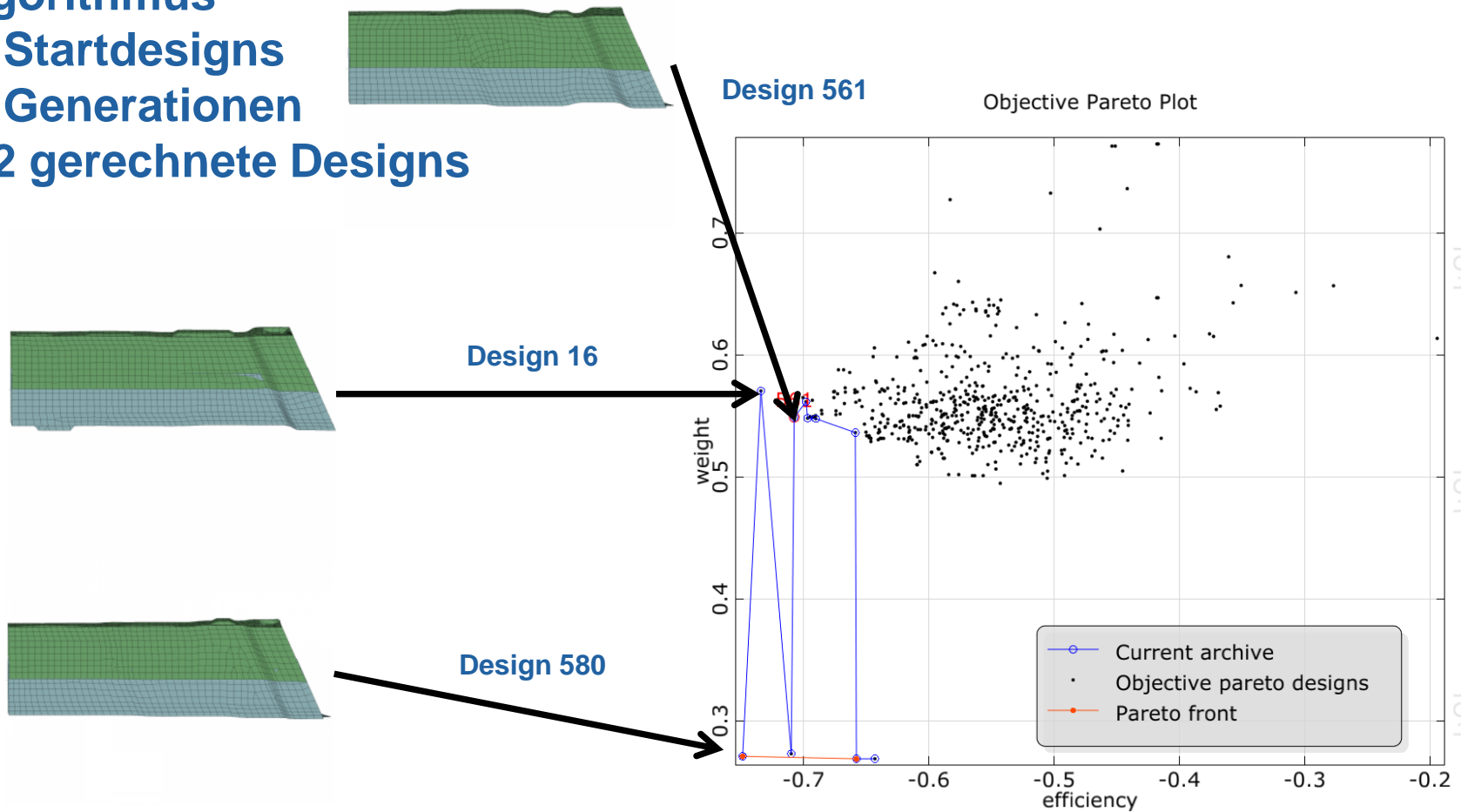


OUTPUT: Maximalkraft



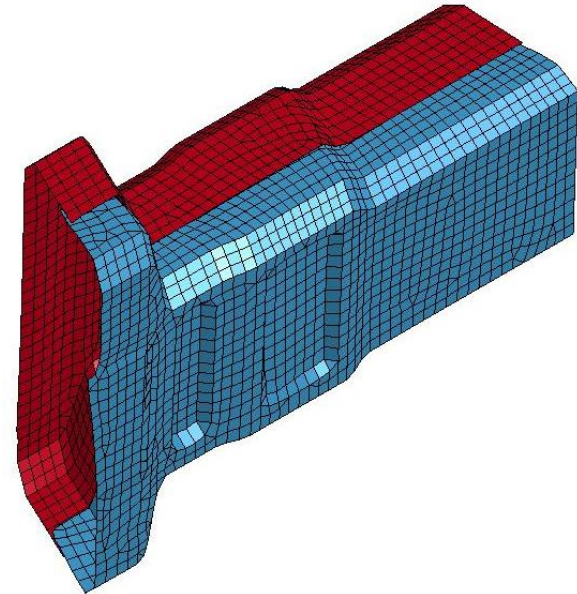
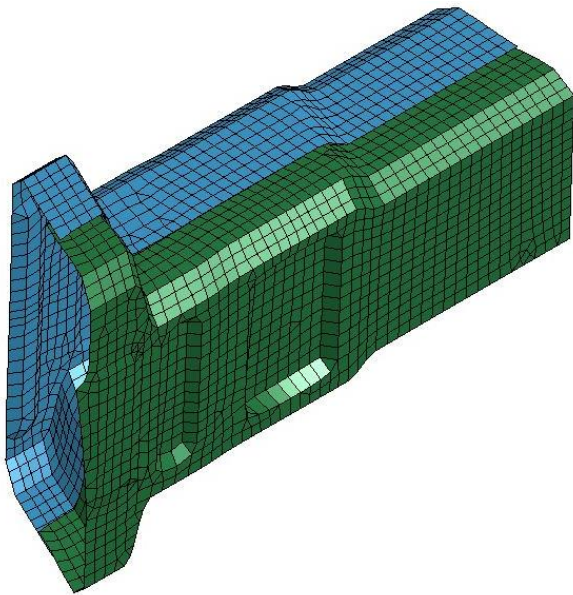
Erweiterte Optimierung

- lokaler evolutionärer Algorithmus
- 42 Startdesigns
- 60 Generationen
- 632 gerechnete Designs



Optimierungsergebnisse

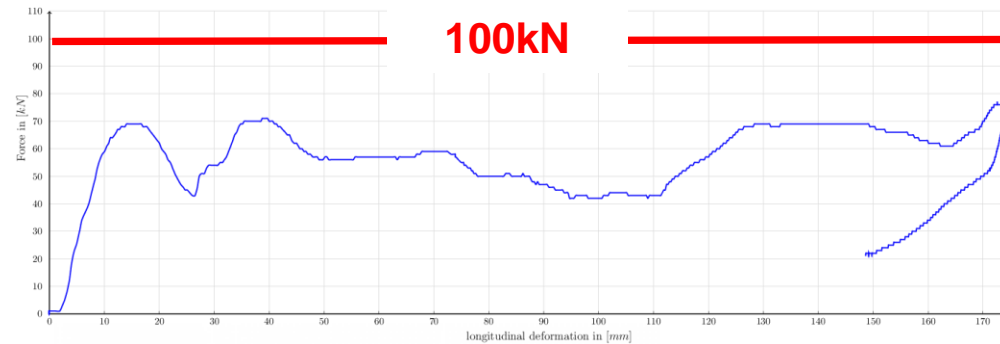
	Design 580	Initiales Design	Design 561
Nutzungsgrad	74 %	29%	70 %
Maximalkraft	76 kN	129 kN	76 kN
Abschleppverschiebung	2 mm	11,6 mm	1,2 mm
Gewicht	0,78 kg	0,7 kg	0,78 kg



Erweiterte Optimierung

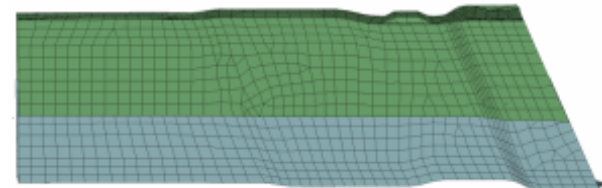
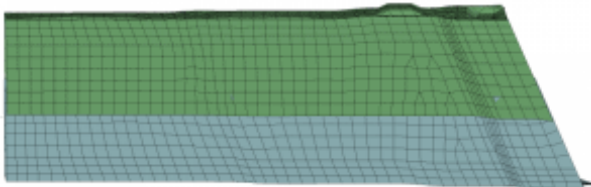
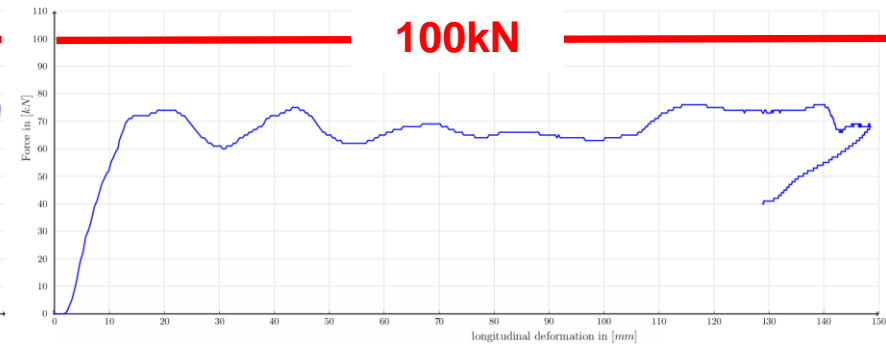
Design 580

100kN



Design 561

100kN



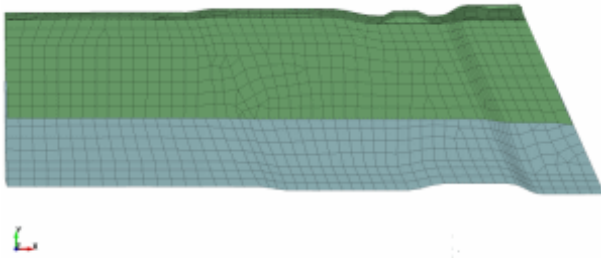
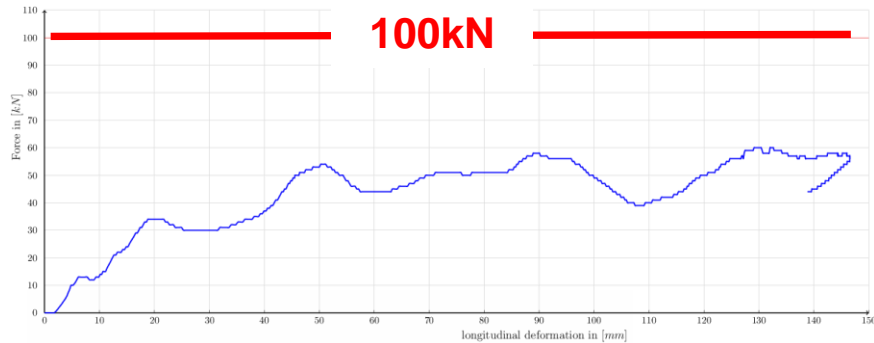
- Design 580 zeigt bei einer Variation der Barriere verstärkt instabiles Falten
- Design 561 faltet auch bei Variation der Barriere stabil
- Die zulässige Maximalkraft wird bei beiden Designs nicht überschritten und die Nutzungsgrade befinden sich in der Nähe der Referenzgröße

Zurückführung-Design 561-15km/h

Referenzfahrzeug

Nutzungsgrad 59%

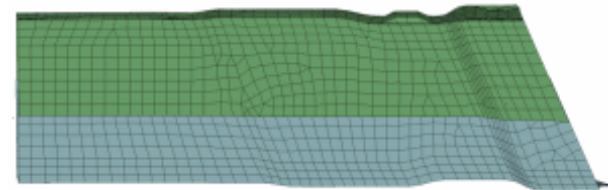
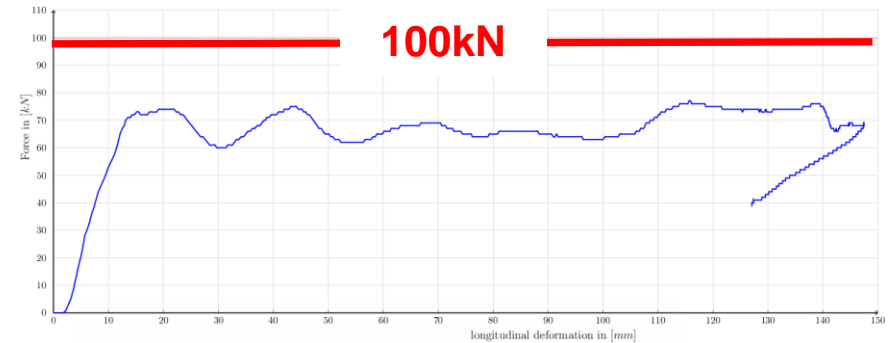
Maximalkraft 60 kN



Reduziertes Modell

Nutzungsgrad 69%

Maximalkraft 76 kN



- Die Überhöhung der Maximalkraft zeigt sich auch mit der optimierten Crashbox

Zeitaufwand

Arbeitsschritt	Software	Zeitaufwand
CAD-Modell aufbauen	SFE CONCEPT	2h
Parametrisierung	Scilab, SFE CONCEPT	1h
ermitteln von modellbedingten Parameter Grenzen	Scilab, SFE CONCEPT	2h
Setup in optiSLang und Debugging der Batchimplementierung	optiSLang	2h
Sensitivitätsanalyse (~600 Designs, 20 Workstations)	SFE CONCEPT, optiSLang, LS-Dyna, Scilab, Altair Batchmesher	2d
Metamodel of optimal Prognosis (44 Parameter, 14 outputs)	optiSLang	1.5h
Optimierung (30 Generationen, 20 Workstations, ~220 Designs)	SFE CONCEPT, optiSLang, LS-Dyna, Scilab, Altair Batchmesher	1d
Robustheitsbewertung (2x 150 Designs)	SFE CONCEPT, optiSLang, LS-Dyna, Scilab, Altair Batchmesher	0.5d
Auswertung	optiSLang	1d
Summe		~5d

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- Optimierung eines Crashboxdesigns in kurzer Zeit erfolgreich umgesetzt
- Robustheit wurde geprüft
- Nutzungsgrad der Crashbox wurde gesteigert

Ausblick:

- Vergleich der Simulationsergebnisse des optimierten Designs in unterschiedlichen Reduktionsstufen des Fahrzeugmodelles zur Bewertung der Aussagequalität
- Best Practice für MOP
- Reale Anwendungsfälle rechnen (konkrete OEM Zielstellung, ist in Bearbeitung)
- Fertigungsrandbedingungen implementieren
- Verschiedene Materialien
- Verschiedene Lastfälle implementieren (Struktur und Bumper Test, high speed)



Herzlichen Dank für ihre Aufmerksamkeit!