



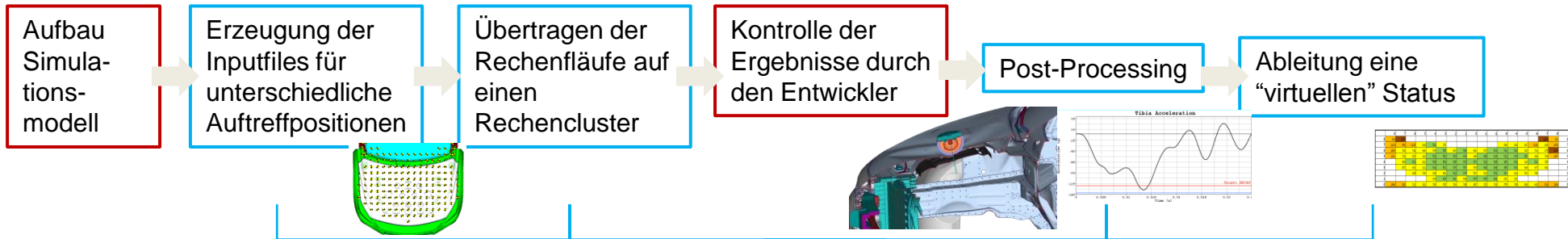
## **Eine effiziente CAE-Prognose im Fußgängerschutz durch den Einsatz von Optimierungstools**

LS-DYNA Anwenderforum 25. Sept. 2013  
Dr. Sarah Engleder, [Dr. Heribert Kassegger](#)

- **Motivation:** Warum benötigen wir Optimierungstools
- **Der Prozess einer effizienten Haubenentwicklung**
  - Das Spannungsfeld Fußgängerschutz
  - Unterschiedliche Lösungsansätze zur Erfüllung der Anforderungen
  - Ein optimierter Entwicklungsprozess
  - Beschreibung des Prozesses der Topometrieoptimierung
  - Die Ergebnisse der Optimierung
  - Zusammenfassung und weitere Schritte
- **Metamodell zur raschen Beurteilung einer Fahrzeugfront für den Lower Leg Anprall**
  - Aufgabenstellung
  - Nachstellung der Fahrzeugfront in einem Prinzipaufbau
  - Validierung des Prinzipaufbaues
  - Ableitung eines Metamodells
  - Zusammenfassung und Ausblick

## Warum benötigen wir Optimierungs- bzw. Automatisierungstools?

### Der CAE-Prozess für eine FGS-Kopfaufschlagentwicklung:



→ Dieser Prozess kann als Designstudie definiert werden (DOE) mit den Designvariablen "Kopfpositionen" → hoher Automatisierungsgrad

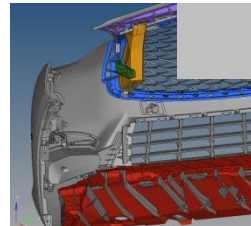
### Ein klassisches Optimierungsproblem am Beispiel FlexPLI:

Impact Point		TM1	TM2	TM3	TM4	PCL	ACL	MCL
Y	Z	170,3	180,1	201,8	112,5	8,3	6,9	21,2
-435	246	●	●	●	●	●	●	●

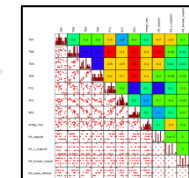
→ Ziel: MCL soll minimiert werden

#### 4 Design Variablen

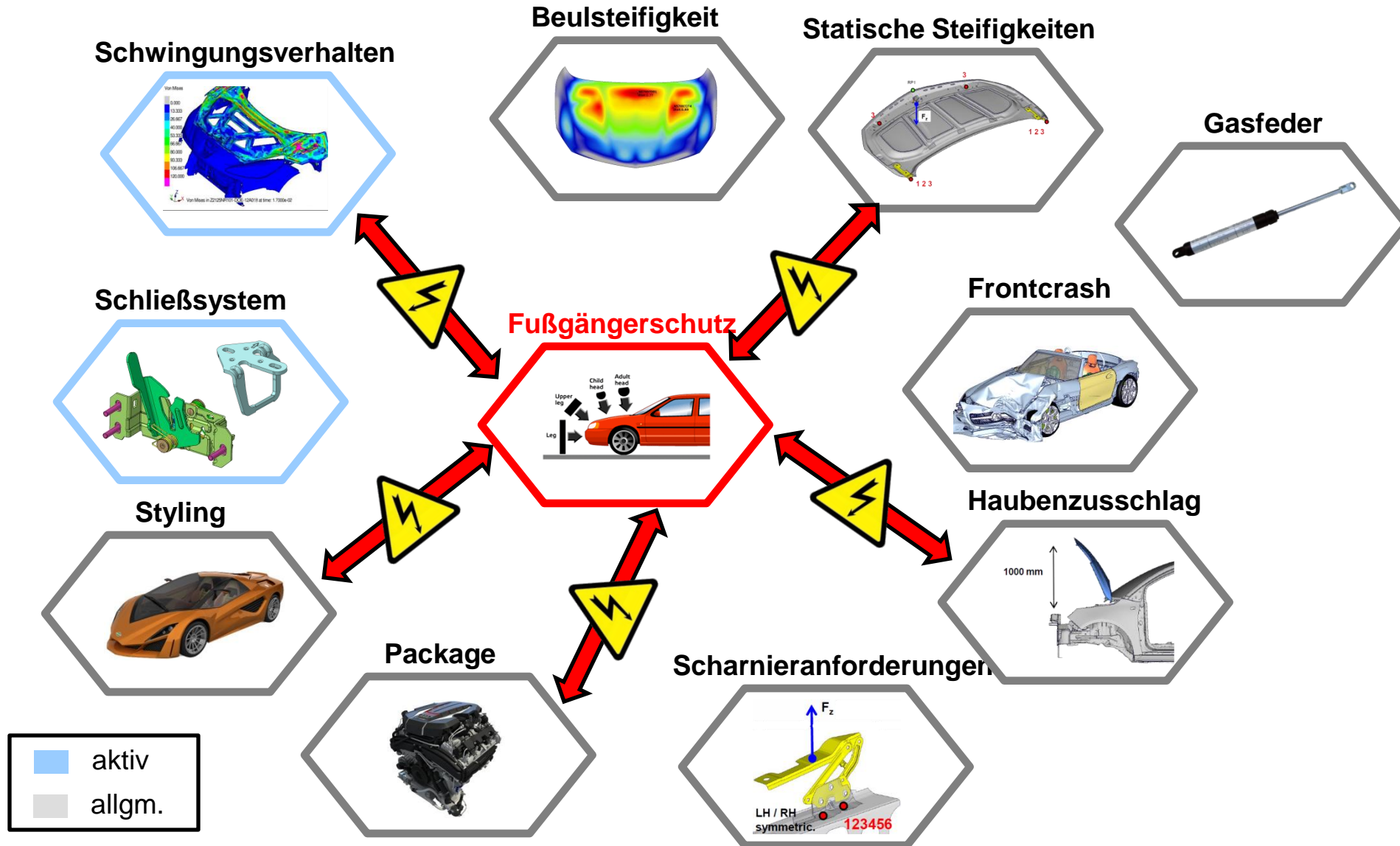
- thk\_airguide (1.0mm – 4.0mm)
- thk\_z\_support0 (2.0mm– 4.0mm)
- thk\_bumper\_support (2.0mm – 4.0mm)
- thk\_lower\_stiffener (1.5m – 4.0m)



Ansatz: Optimierung mittels einer DOE und Approximation (Metamodell mit 25 Läufen)



Correlationsmatrix und Metamodell ermöglichen einfaches Verständnis der Zusammenhänge

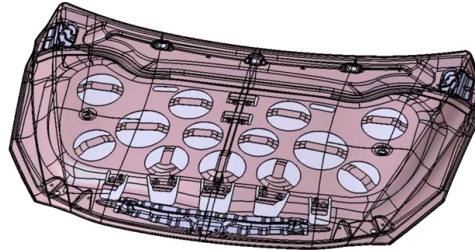


## Erfüllung der Anforderungen durch unterschiedliche Lösungsansätze

OEM 1:  
Gezielte  
Schlitzgeometrie



OEM 2: unterschiedliche Tiefe und  
Breite der Verbindungsstege



Defo-Element  
Schließbügel



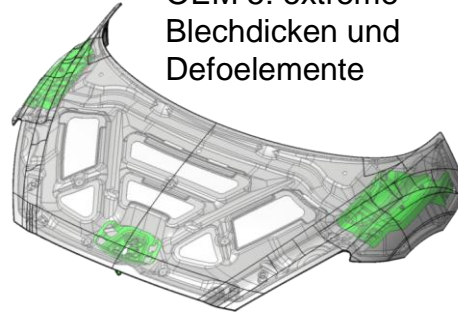
Defo-Element an Puffer



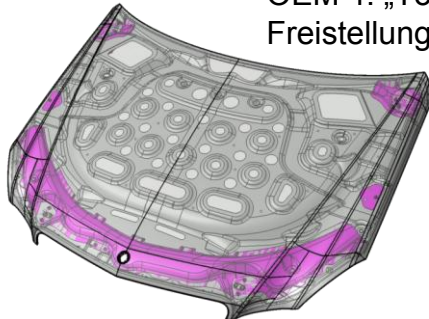
OEM 3: „deformierbare  
Konsolen“



OEM 5: extreme  
Blechkicken und  
Defoelemente



OEM 4: „Töpfe mit  
Freistellungen“



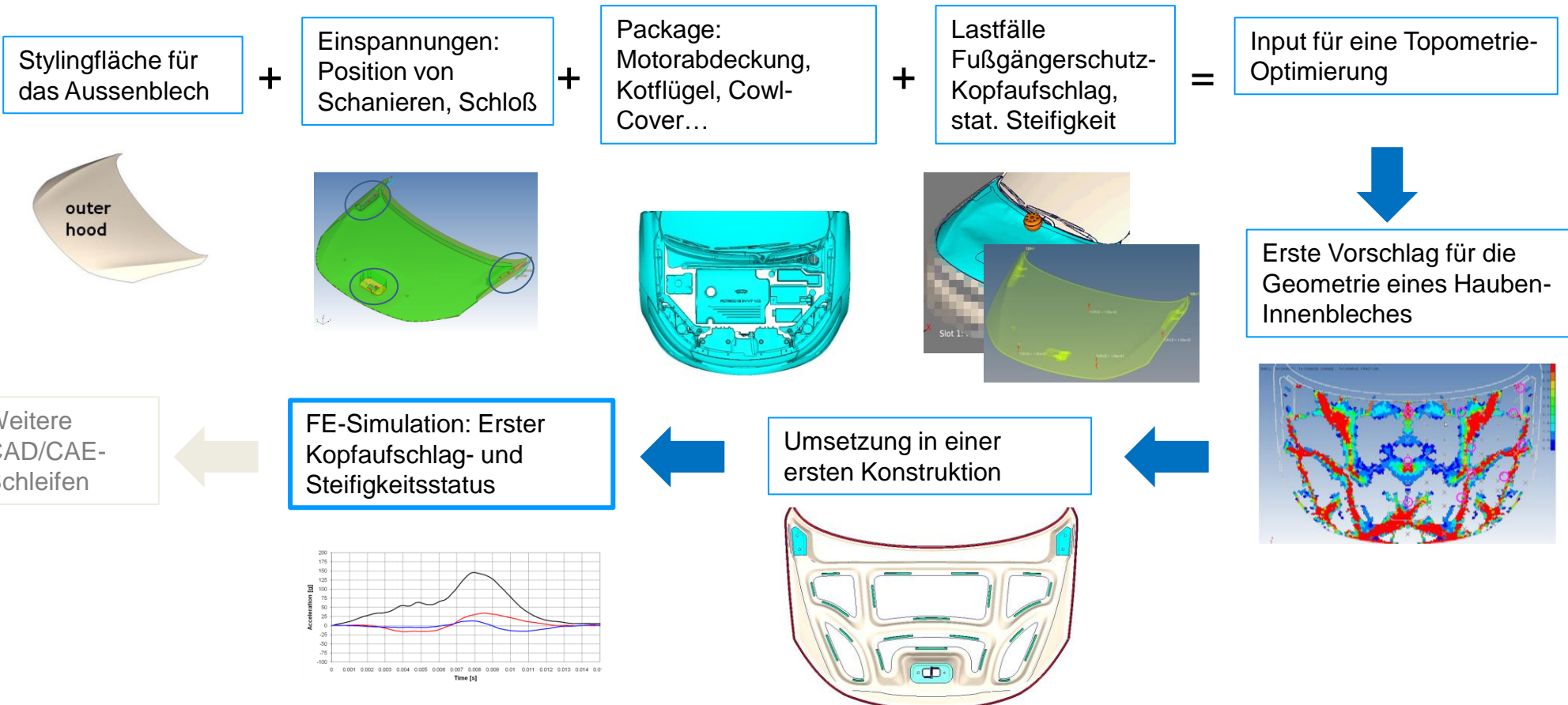
Doppelkammer -  
Dichtung



Kollabierende  
Abstützung  
Schallisolierung

Ziel: Erhalt eines ersten Konstruktionsvorschlages für ein Haubeninnenblech mit einem guten HIC-Wert für den Kopfaufschlag und guten stat. Steifigkeitswerten

## Vom Styling bis zum ersten Vorschlag für die Konstruktion:



# Vorgabe für die Topometrieoptimierung (F&E-Projekt zusammen mit Fa. Dynamore)

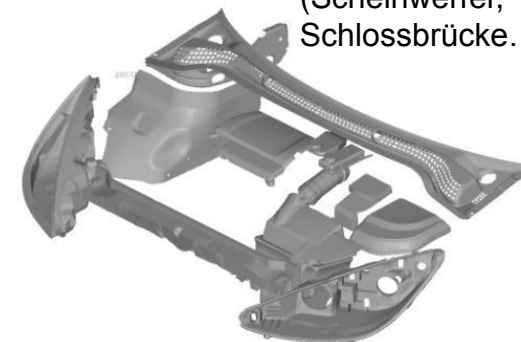
Äußere Stylingfläche:  
• Kopfaufschlagbereich



Designspace:  
• Einspannungen: Position Scharniere und Schlösser  
• Hüllfläche der blockenden Elemente



Package:  
• harte Komponenten  
• angrenzende Teile (Scheinwerfer, Schlossbrücke...)



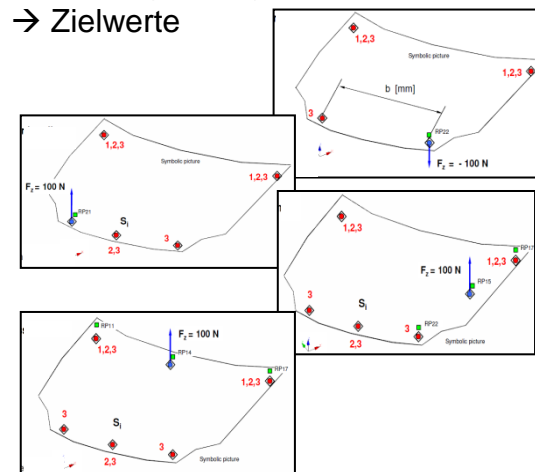
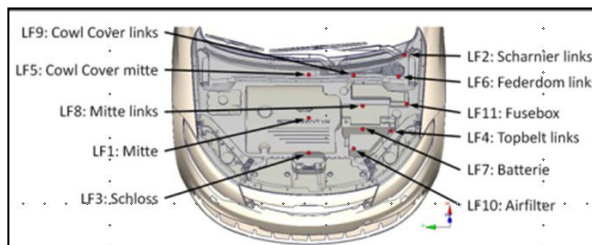
+ Angaben zum Material von Außen- und Innenblech

Lastfall Kopfaufschlag:  
• Aufschlagpositionen  
• Kinderkopf/Erwachsenenkopf  
• Zielwerte für HIC

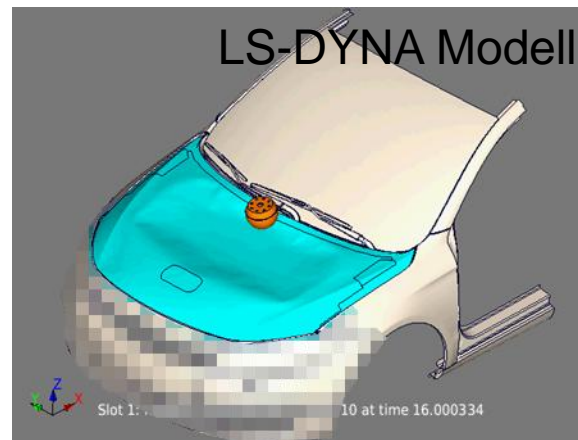
Lastfall statische Steifigkeit:  
• Torsionssteifigkeit  
• Eckbiegesteifigkeit  
• Längsbiegesteifigkeit  
• Querbiegesteifigkeit  
→ Zielwerte

$$HIC = \max_{T_0 \leq t_1 \leq t_2 \leq T_f} \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} R(t) dt \right]^{2.5} \cdot (t_2 - t_1) < 1000$$

Mit R(t).... resultierende Beschleunigung in [g]  
t<sub>i</sub> ..... Zeitdauer in s  
t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>.... max. 15ms



- Außenblech: Material H220, Dicke: 0.6mm, Innenblech DX56 → zusammenfallende Elemente und Knoten
- Topometrie-Optimierung: als Designvariable wurde die Dicke der einzelnen Elemente definiert → um die Anzahl der Variablen reduzieren zu können, wurden immer 4 benachbarte Elemente zusammengefasst  
Annahme: Symmetrie in y-Richtung
- LS-Dyna-Modell für nichtlineare Kopfaufschlagsimulation: sehr vereinfachtes Fahrzeugmodell mit der Abbildung der Einspannungen (Scharniere, Schloß, Scheibenwurzel, Kotflügel) und blockenden Elementen im Motorraum



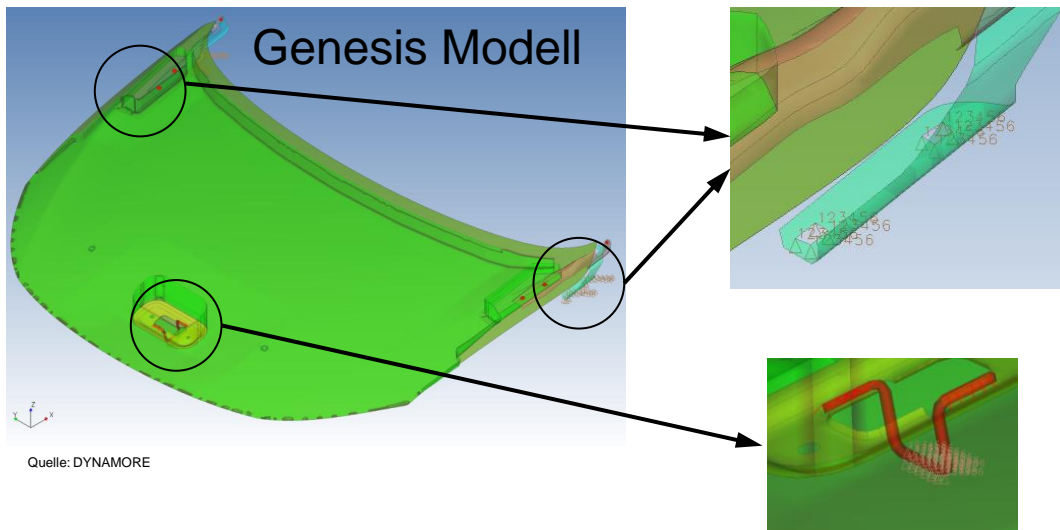
Quelle: DYNAMORE



- Genesis-Modell für die Optimierung mit der ESL (equivalent static load)-Methode:

Problem: nur Größen die mit einem linearen statischen Modell errechnet werden können, können als Zielfunktion od. Nebenbedingung angegeben werden → Optimierung nach dem HIC = HIC(a, t) nicht möglich!

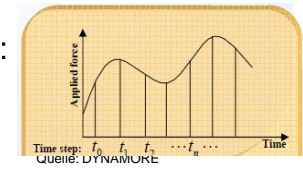
nur mehr Haubenfläche mit Scharnieren und Schließern wurde abgebildet → Einspannungen durch SPC s  
Die vorausgehende LS-Dyna-Simulation wurde mittels 9 equivalent static load cases discretisiert (bei einer durchschnittlichen Simulationsdauer von 18ms je Kopfaufschlag →  $\Delta t=2ms$ )



### ESL-Methode:

Aus nichtlinearen dynamischen Lastfällen ergibt sich ein Verschiebungsfeld

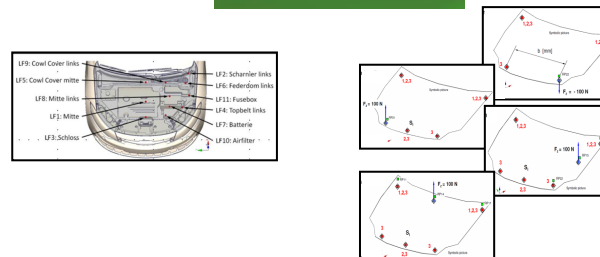
Equivalent static loads:  
 $F_t(x) = K_{lin} u_t(x)$



mit  $F_t(x)$ .... Kraft,  
 $K_{lin}$ .... Steifigkeitsmatrix  
 $u_t(x)$ ..... Verschiebungsfeld

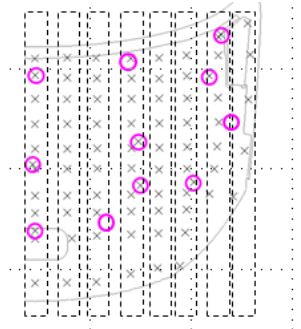
Werden statisch Lastfälle für die einzelnen Zeitschritte generiert

- Lastfälle:  
11 Kopfaufschlagpunkte  
4 statische Lastfälle



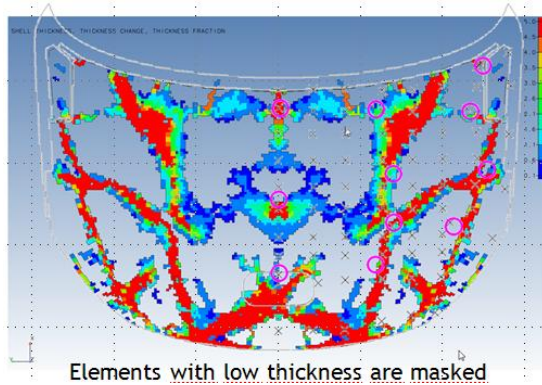
Zielfunktion und Nebenbedingungen:

- Maximale Deformation der Haube ohne jedoch auf harte Komponenten zu schlagen
- **Zielfunktion:** Maximierung der Verformungsenergie für Kopfaufprall (Ausnutzung des maximal möglichen Deformationsweges)
- **Nebenbedingungen:**
  - 1) Beschränkung der Verschiebungen in z-Richtung für die Kopfaufschlag-Lastfälle
    - über die gesamte Haube wurden für ca. 80 Pkte die maximal mögliche Deformation definiert (gemessen zwischen Außenfläche und Hüllfläche der „harten“ Komponente)
    - nur für die ESL-Lastfälle mit großer Deformation (ab 6ms für jeden Kopfaufschlagpunkt: → 6ms, 8ms, 10ms, 12ms, 14ms, 16ms, 18ms) →  $11(\text{Kopfaufschlagpunkte}) \cdot 7(\text{ESL}) \cdot 80(\text{Pkte mit Verschiebungsbeschränkung}) = 6160$  Nebenbedingungen
  - 2) Beschränkung der Verschiebung einzelner Knoten für die statischen Lastfälle



Quelle: DYNAMORE

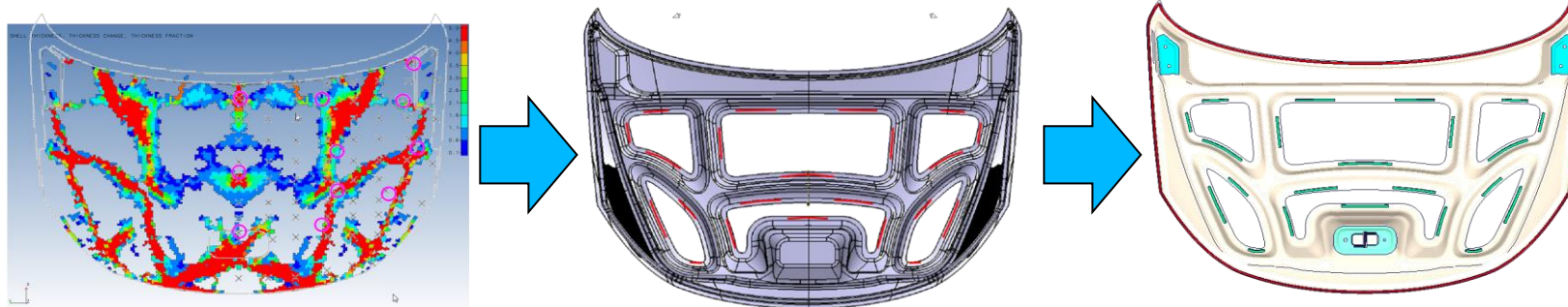
**Ergebnis:** Das Ergebnis dieser Optimierung ist dann eine Dickenverteilung.



Dyna-Rechnung	LF1 Mitte	LF2 Scharnier	LF3 Schloss	LF4 Topbelt	LF5 Cowl Cover	LF6 Federdom	LF7 Batterie	LF8 Mitte II	LF9 Cowl links	LF10 Airfilter	LF11 Fuse-Box
Ausgangs-Design											
0											
Optimiertes Design											
17											

	HIC < 900
	900 < HIC < 1000
	HIC > 1000

**Diese Dickenverteilung muss konstruktiv umgesetzt werden (Erfahrung notwendig!):**



**Die Kontrollrechnung ergab für**

- Lastfall Kopfaufschlag: ähnliche Ergebnisse wie in der Optimierung (siehe oben)
- Lastfall Steifigkeit:
  - Torsionssteifigkeit: Vorgaben erreicht
  - Eckbiegesteifigkeit: Vorgaben erreicht
  - Querbiegesteifigkeit: Vorgaben leicht überschritten
  - Längsbiegesteifigkeit: Vorgaben erreicht

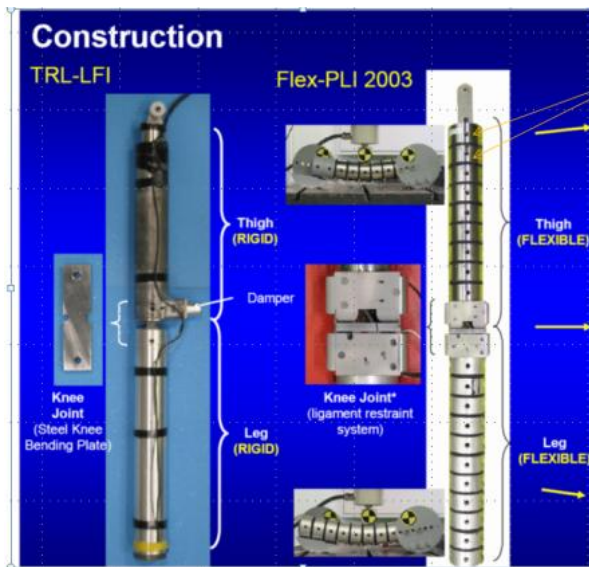


- Die Topometrieoptimierung für eine Frontklappe zeigt gute, verwertbare Ergebnisse → Vorgabe an die Konstruktion möglich
- Die ESL-Methode erweist sich als brauchbares Werkzeug für die Abbildung von Kopfaufschlag Lastfällen in der Welt der Optimierung
- Ein Prozess für die Verknüpfung von nichtlinearen dynamischen Fußgängerschutz Lastfällen und linearen statisch Lastfällen wurde erarbeitet und in Form einer Topometrieoptimierung umgesetzt.
- Als nächster Schritt sollte mit LS-OPT eine Parameteroptimierung durchgeführt werden, wobei sich die Länge der Kleberauppen, die Dicke der Verstärkungsbleche und diverse geometrische Anpassungen des Innenbleches u.s.w. als Parameter anbieten

# Metamodell zur raschen Beurteilung einer Fahrzeugfront für den Lower Leg Anprall

## Aufgabenstellung:

- Auf Basis einer vorgegebenen Fahrzeugfront sollte ein Metamodell abgeleitet werden, welches es erlaubt unterschiedliche Einflussgrößen auf den Beinanprall einfach und rasch zu untersuchen und zu beurteilen
- Als Lastfall wurde der Beinanprall mittels TRL-Bein-Impaktor gewählt, allerdings mit der Option, später einmal auch den FlexPLI-Impaktor verwenden zu können
- Das Metamodell sollte auf Basis eines Prinzipmodells erstellt werden, sodass eine versuchstechnische Überprüfung jederzeit möglich ist



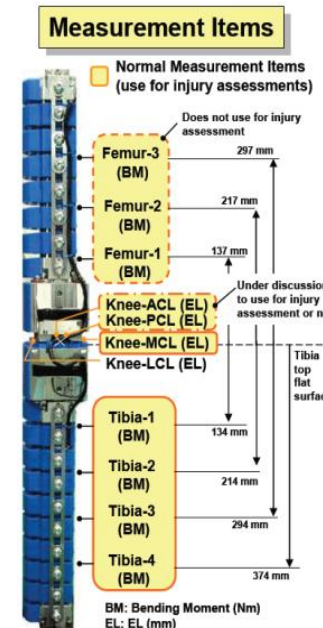
Single bodies are connected with flexible steel cables

### Measurement Categories in FlexPLI:

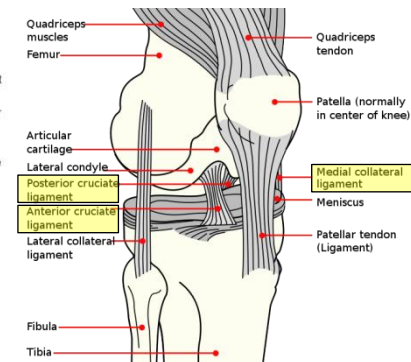
- Elongation in knee ligaments
- Bending moments in Femur and Tibia

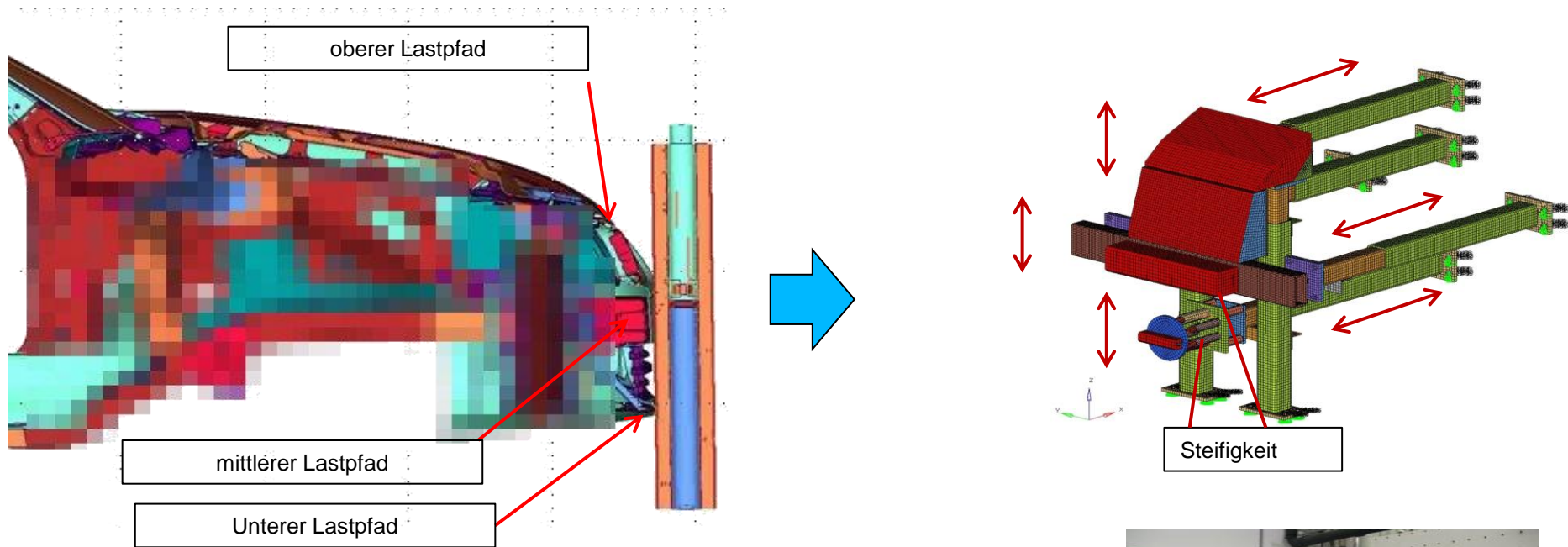
### Measurement Categories in TRL-Leg:

- Acceleration in tibia
- Bending angle in knee joint
- Shearing in knee joint



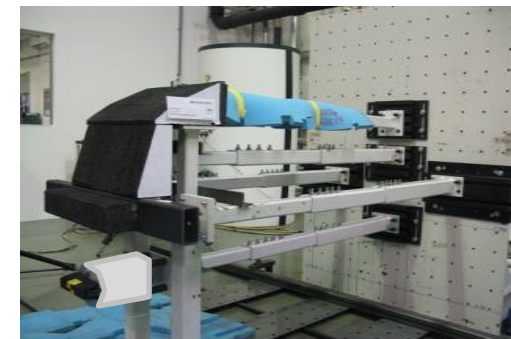
Gesetzesrelevant:  
Untere Tibiamomente 1-4  
Bänderdehnung: MCL, ACL/PCL

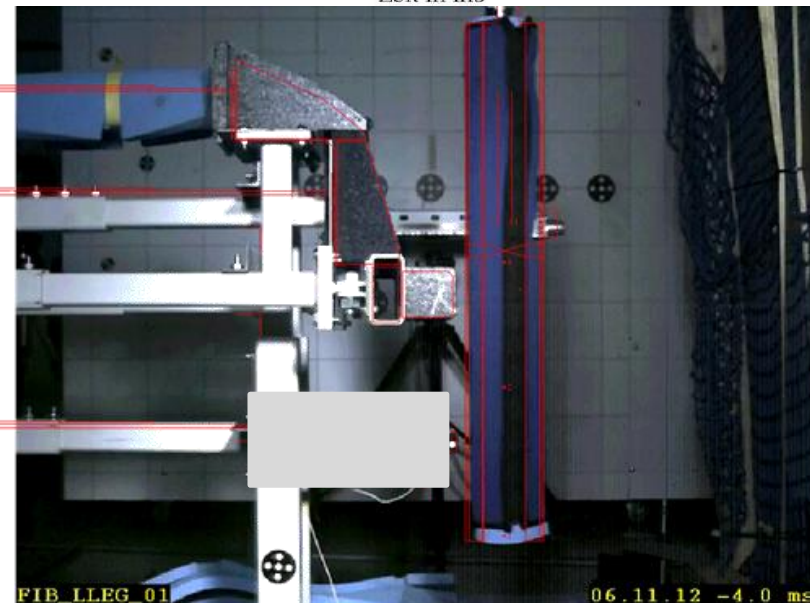
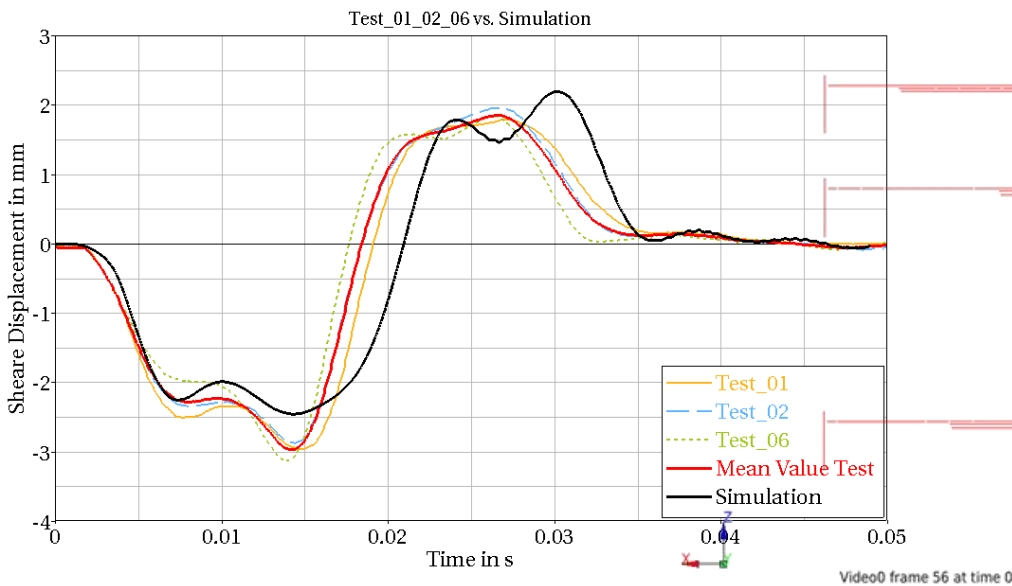
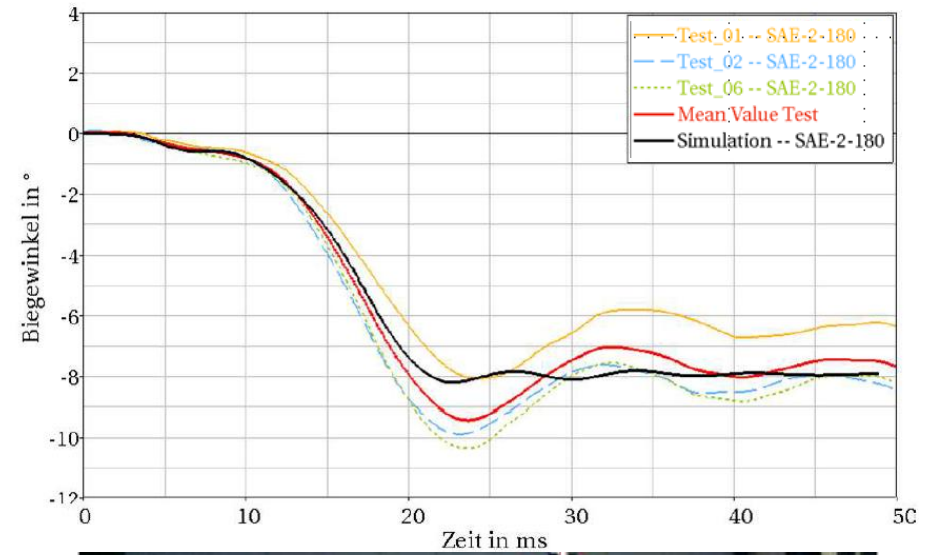
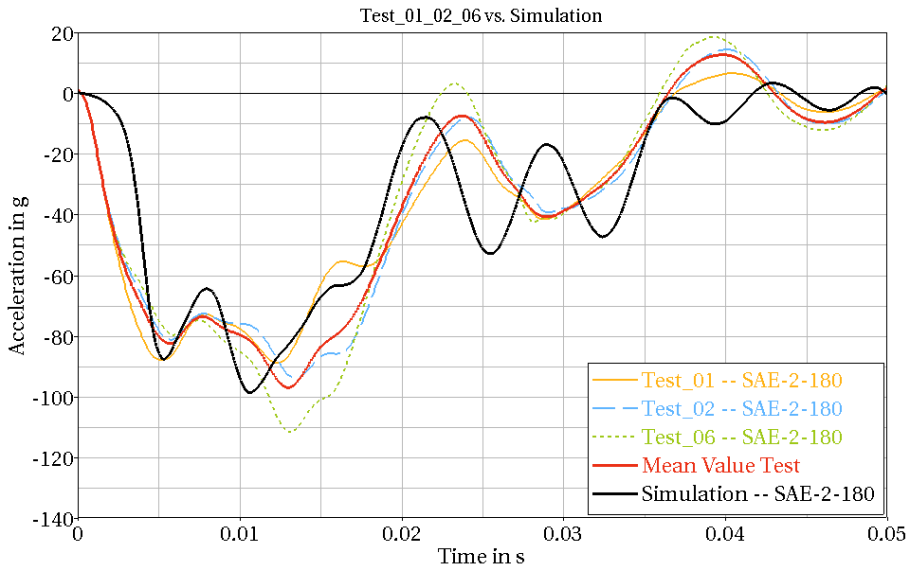




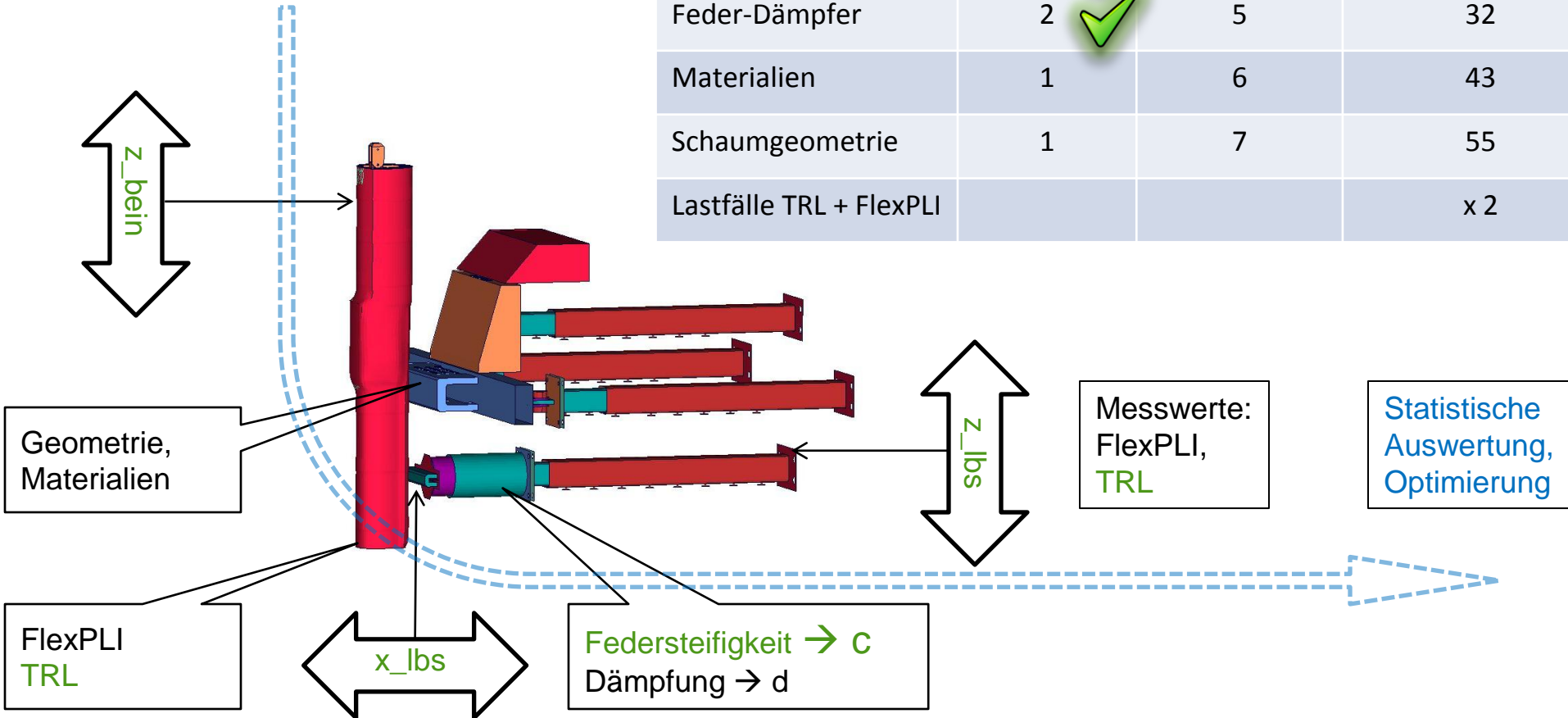
## Beschreibung des Prinzipaufbaues

- Die 3 Lastpfade sind in x- und z-Richtung verschiebbar
- Der obere Lastpfad, die Geometrie des Fahrzeuges wurde mittels einfacher Blöcke aus EPP-Schaum nachgestellt
- Die Steifigkeit des mittleren Lastpfades kann durch Dichteänderung und/oder Geometrieänderung des Schaumblockes adaptiert werden
- Die Steifigkeit des unteren Lastpfades kann mittels spezieller Feder/Dämpfer-Elemente eingestellt werden





LS-OPT Parameter

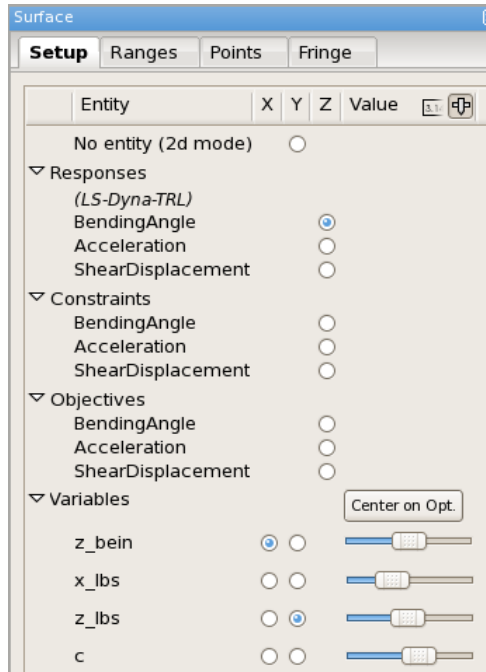


Verstellparameter	Variablen	$\Sigma$ Variablen	Minimale Simulationen
Lastpfadgeometrie	3 ✓	3	16
Feder-Dämpfer	2 ✓	5	32
Materialien	1	6	43
Schaumgeometrie	1	7	55
Lastfälle TRL + FlexPLI			x 2

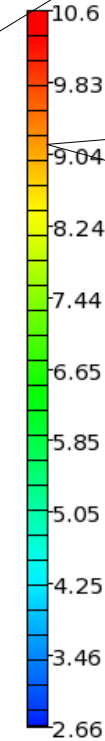
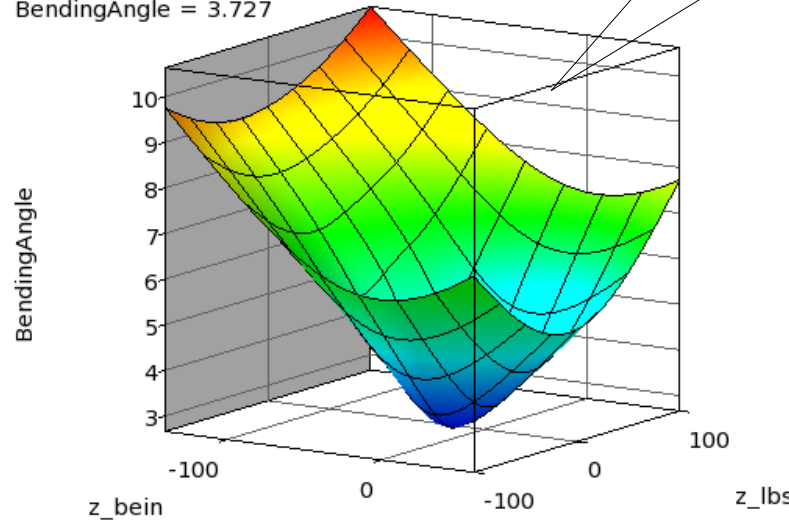


Darstellung des variablen Meta-Models mit Verstellmöglichkeiten über den gesamten Wertebereich

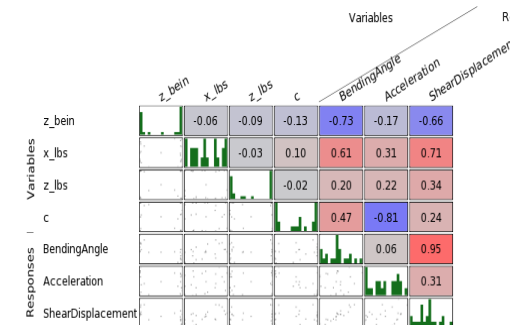
Anschauliche Darstellung der Zusammenhänge der einzelnen Messgrößen



z\_bein = -40  
z\_lbs = 0  
BendingAngle = 3.727



Schnelle Abschätzung der Relevanz der Messgrößen möglich



	LS-OPT Prognose	TRL – Lauf (nach LS-OPT)
Beschleunigung	107 g	105,8 g
Scherung	3,2 mm	3,2 mm
Biegungswinkel	3,2	3,1

- Das erstellte Metamodell ist ein gutes Entwicklungswerkzeug zur Abschätzung des Beinanprallverhaltens einer Fahrzeuggeometrie
- Die Korrelationsmatrix hilft komplexe Zusammenhänge besser zu verstehen
- Das Prinzipmodell erlaubt jeder Zeit eine Überprüfung der Ergebnisse mittels Realtests -> Prinzipversuchsaufbau steht als „Hardware“ zur Verfügung

## **Nächste Schritte:**

- Das Metamodell wird um zusätzliche Variablen erweitert (unterschiedliche Schaumdichten, Schaumgeometrien, FlexPLI)
- Validierungstests des Prinzipmodells mit dem FlexPLI

**DANKE**

**FÜR IHRE**

**AUFMERKSAMKEIT**