

# CAE-Prozessintegration und Optimierung

Bernd Mlekusch, Christian Dornberg, Frank Streicher

AUDI-AG, Ingolstadt, Deutschland

## Abstract:

Der Einsatz von CAE-Methoden bei der Karosserieauslegung ist von zentraler Bedeutung, wofür eine Vielzahl von Gründen verantwortlich zeichnen. Ziel ist stets die Umsetzung einer optimalen, leichten Konstruktion, wobei eine Fülle an Zielkonflikten zu lösen ist.

Die Weiterentwicklung des CAE-Einsatzes fokussiert zwei Schwerpunkte: Die Erhöhung der Prognosegüte und das Datenmanagement (SDM - Simulationsdatenmanagement) inklusive einer möglichst hohen Automatisierung des Prozessablaufes. Darauf aufbauend beinhaltet letzteres auch die Methoden der numerischen Optimierung. In diesem Vortrag wird insbesondere auf das Datenmanagement und eine spezielle Form der Optimierung eingegangen.

AUDI setzt hierbei in diesen zentralen Themengebieten verstärkt auf Eigenentwicklungen.

Gesamtfahrzeug- Berechnungsdatensätze (Inputdecks) werden aus sog. Include-Files aufgebaut, welche eigenständige Untereinheiten bilden (z.B. die Karosserie, der Sitz, ein Dummy, eine Barriere etc.). Die Entwicklung einer Softwareunterstützung zum Handling und dem Zusammenbau dieser Include-Files führt zum CAE-Loadcase-Composer – LoCo.

Neben den Standard-Optimierungsverfahren zur Parameteroptimierung für multidisziplinäre Fragestellungen (welche z.B. mit LS-Opt oder Optimus durchgeführt werden können) wird die sogenannte Patch-Work Optimierung vorgestellt. Dabei werden Karosseriebleche elementweise so aufgedickt, dass eine gewichtsoptimale Gesamtstruktur entsteht. Die Lastfälle stammen dabei aus den Disziplinen Crash und NVH.

Zukünftige Entwicklungen sollen die Verbindung zwischen CAE und CAD verbessern, wobei hier eine bidirektionale Anbindung angestrebt wird.

## Keywords:

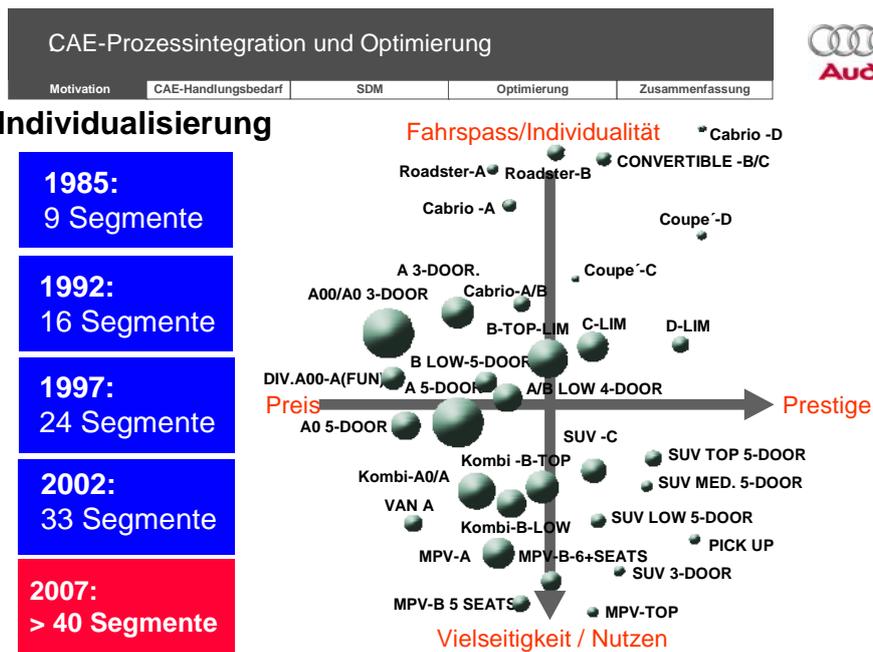
Karosserieauslegung, CAE-Methoden, Datenmanagement, Optimierung.

# 1 Motivation

Der Trend zur Zunahme an CAE - Aktivitäten ist in der Automobilindustrie nach wie vor ungebrochen. Als Gründe hierfür sind die

- Individualisierung
- eine möglichst prototypenfreie Entwicklung sowie
- eine Zunahme der Anforderungen

zu nennen. Ersteres drückt sich in einer Steigerung der Derivate pro Fahrzeugklasse aus (bei Audi für die B-Klasse von 3 auf 6). Während es durch eine geschickte Plattformstrategie gelingt, Antrieb und Fahrwerk möglichst unverändert zu lassen, erfolgt die Differenzierung „im Blech“ und den Anbauteilen. Dies bedeutet für die Karosserieentwicklung eine enorme Steigerung der Entwicklungsleistung.



3 LS-Dyna Forum 30. September 2008 B. Miekusch EK-25

Abbildung 1: Starke Individualisierung führt zu einer Zunahme der Derivate.

Der Versuch der Ressourcenschonung auf der Hardware-Seite (Schlagwort „Prototypenfreie Entwicklung“) bedingt zusätzliche und erweiterte CAE-Anstrengungen. Zur Auslegung werden neben der Nominallage Robustheitsuntersuchungen durchgeführt und des weiteren gesamtfahrzeugnahe Ersatzversuche mit Hilfe der Simulation definiert. Audi gelang es auf diese Weise den A4-Avant ohne Gesamtfahrzeugprototypen zu entwickeln [1].

Zudem war die jüngste Vergangenheit durch eine Zunahme an Anforderungen, welche durch Gesetze und Consumertests ausgelöst wurden, geprägt. Als Schlagworte können hier stellvertretend die FMVSS 208 (US-Frontcrash Gesetz), der Fußgängerschutz oder das Thema Whiplash bei EuroNCAP erwähnt werden. Die CO<sup>2</sup>-Diskussion der vergangenen Monate ist Anlass für eine verstärkte Fokussierung des Themas Leichtbau.

CAE-Prozessintegration und Optimierung

Motivation	CAE-Handlungsbedarf	SDM	Optimierung	Zusammenfassung
------------	---------------------	-----	-------------	-----------------



### Virtuelle Entwicklung – Avant ohne Prototypen



- Einfluß von ...
- Streuung Toleranzen
  - Zuverlässigkeit Kleberauftrag
  - Festigkeit Strukturkleber



#### Absicherung Großdach

robuste Auslegung durch **stochast. Analysen**

Erprobung und Validierung in **Ersatzversuchen**

Abbildung 2: Entwicklung AUDI A4 - Avant.

CAE-Prozessintegration und Optimierung

Motivation	CAE-Handlungsbedarf	SDM	Optimierung	Zusammenfassung
------------	---------------------	-----	-------------	-----------------

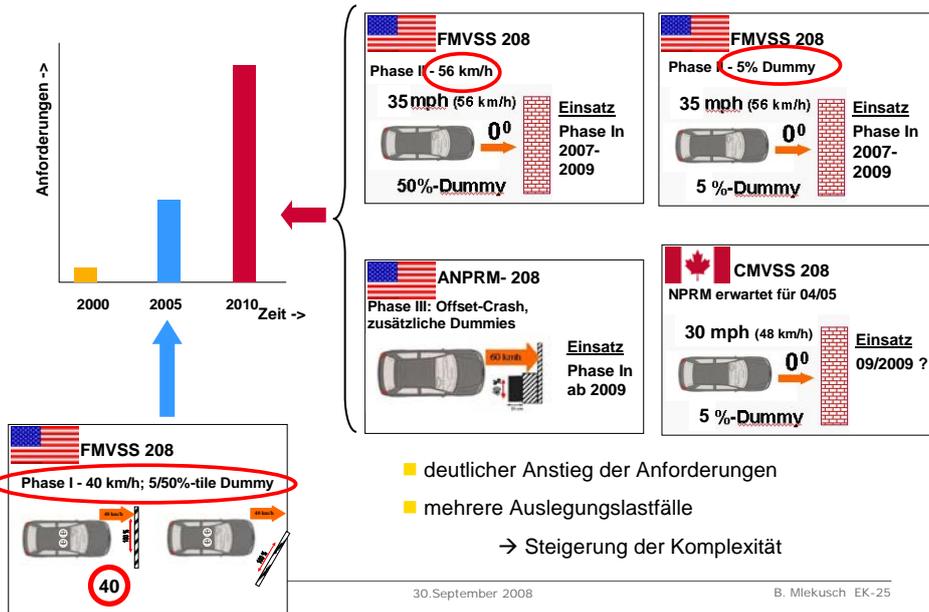


Abbildung 3: Zunahme der Anforderungen am Beispiel Frontcrash – FMVSS 208.

Der generelle Zielkonflikt bei der Karosserieauslegung kann simplifiziert wie folgt beschrieben werden: Die Berechnung versucht, die von der Fahrzeugsicherheit und dem Schwingungskomfort/NVH geforderten Funktionen mit minimalem Gewicht darzustellen. Das Design, die Kosten, die Herstellbarkeit und die Ergonomie bilden dabei zusätzliche Randbedingungen in diesem Spannungsfeld.

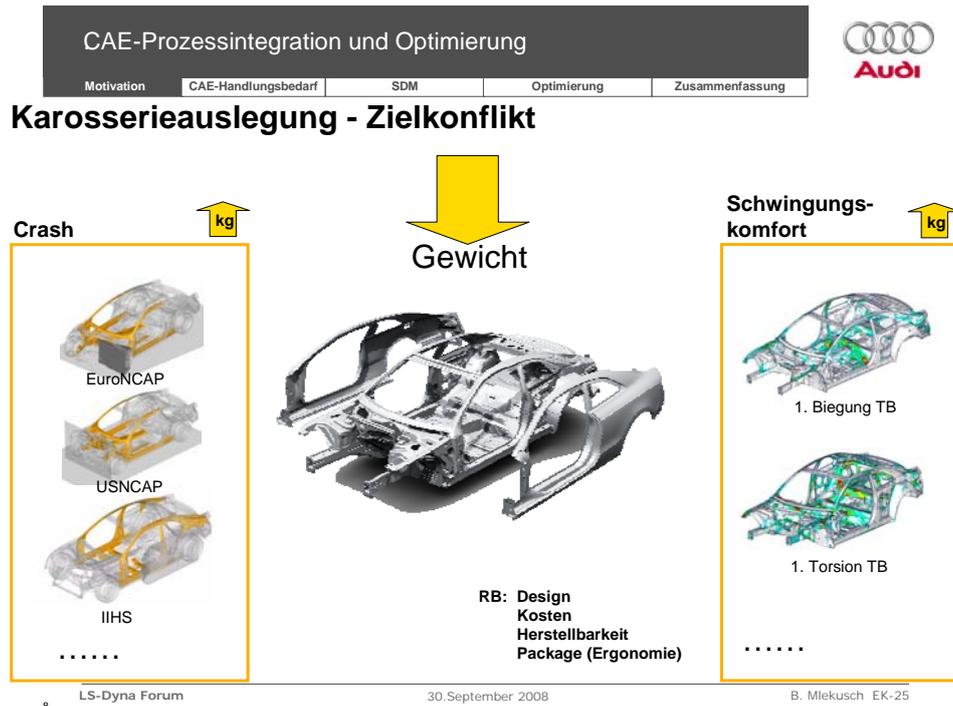


Abbildung 4: Spannungsfeld Karosserieauslegung.

## 2 CAE-Handlungsschwerpunkte

Aus den geschilderten Gründen entsteht die naheliegende Forderung, genauer und schneller zu berechnen:

### 2.1 Prognosegüte

Hier werden die Themen Verbindungstechnik und Materialversagen sowie die Validierung von Komponenten fokussiert. Bei der Abbildung des Schweißpunktversagens kommt die Hybride-Trefftz Methode zum Einsatz [2]. Diese für implizite Analysen bereits erprobte Methode wird nun auf explizite Verfahren adaptiert (Abbildung 5).

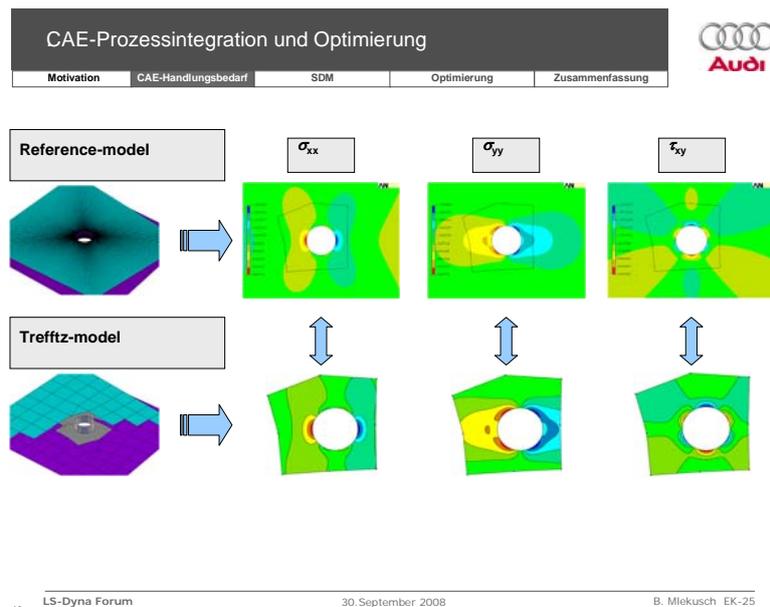


Abbildung 5: Trefftz-Modell zur Schweißpunktmodellierung.

In den Bereich der Komponentvalidierung fallen sowohl die Verbesserung der FE-Abbildung von Fahrzeugsystemen (z.B. B-Säule) als auch der eingesetzten Barrieren. Gerade in letzterem Bereich werden große Anstrengungen unternommen, welche eigenes konzipierte, sehr gut instrumentierte Versuchsaufbauten bedingen (Abbildung 6).

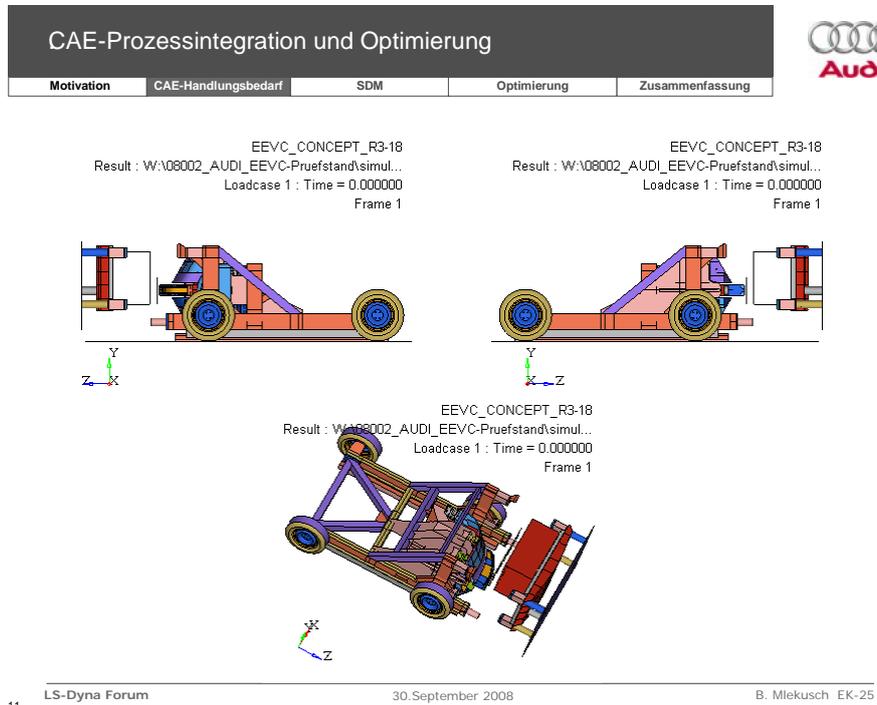


Abbildung 6: Versuchsaufbau zur Validierung der Frontcrashbarriere.

### 2.2 Datenmanagement und Automatisierung

Im Laufe einer Fahrzeugentwicklung werden verschiedenste Baustufen durchlaufen, deren Detaillierung zunimmt. Ausgangspunkt bei Audi ist ein hochparametrisches CAD-Modell (Technikmodell [3]).

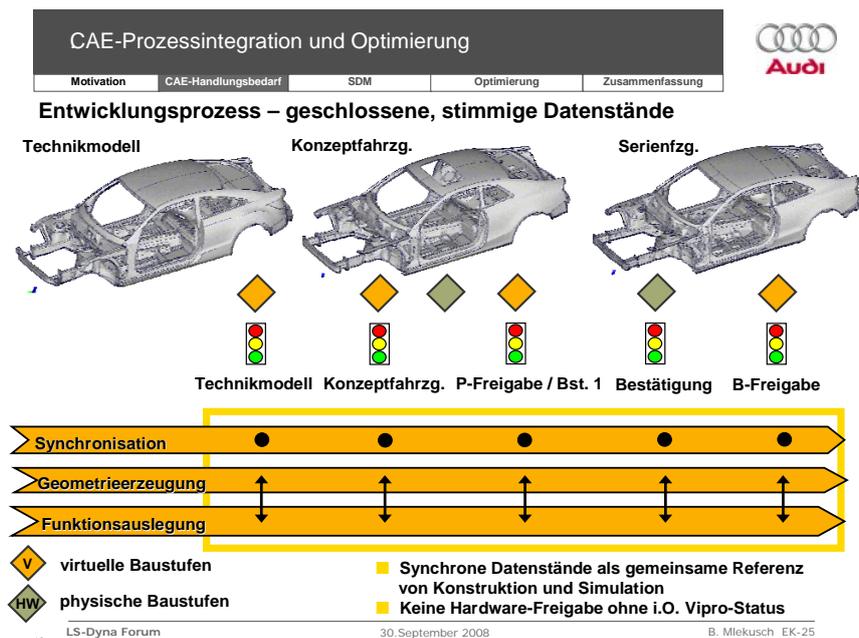


Abbildung 7: Entwicklungsstufen bei der Karosserieentwicklung des AUDI A5.

Die Herausforderung liegt nun in der Synchronisation der Datenstände zwischen CAD und CAE sowie in einem schnellen Rückfluss der gewonnenen Erkenntnisse.

### 3 Simulationsdatenmanagement (SDM)

Abbildung 8 zeigt den klassischen Simulationsprozess: Auf Basis von CAD-Daten werden Fahrzeugmodelle erstellt. Die zu rechenfähigen Modellen assemblierten Input-Decks werden auf Cluster geschickt und die daraus resultierenden Ergebnisse automatisiert ausgewertet sowie in einer Datenbank abgelegt. In einer zweiten Datenbank befinden sich die Versuchsergebnisse, welche für die Validierung der Simulationen benötigt werden.

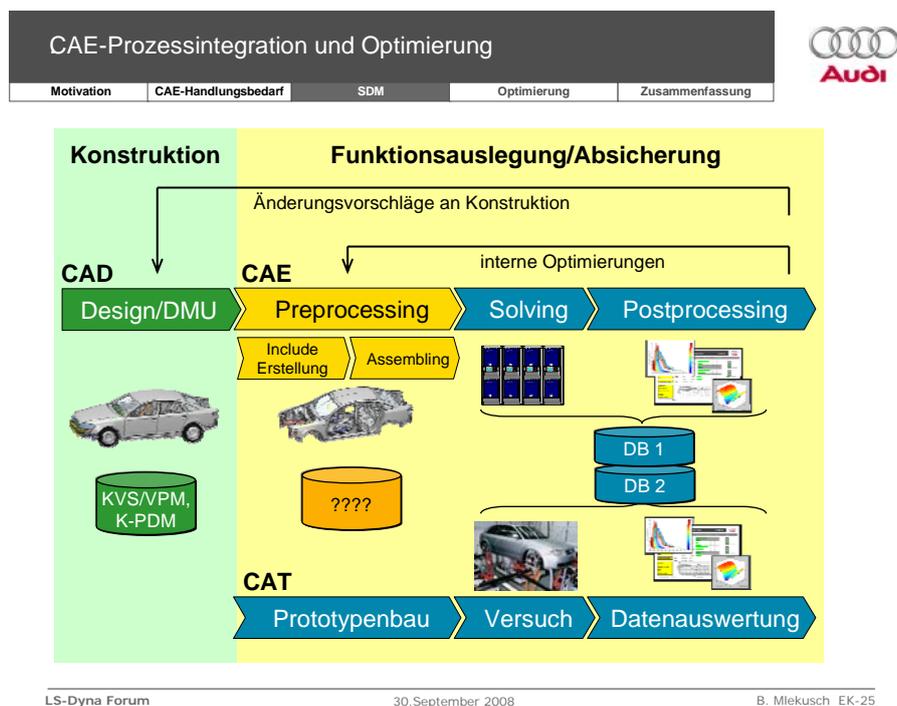


Abbildung 8: Gesamthafte Darstellung des Simulationsprozesses.

Eine genauere Betrachtung dieser Prozesskette zeigt jedoch ein differenzierteres Bild: In der Regel werden Analysen dazu durchgeführt, um Optimierungen in Teilbereichen der Karosserie durchzuführen wie z.B. dem Längsträgerverhalten im Frontcrash in verschiedenen Lastfällen. Dazu werden in der Berechnung selbst die entsprechenden geometrischen Änderungen durchgeführt und gegebenenfalls die Materialien variiert. In der frühen Projektphase gibt es darüber hinaus kaum geschlossene CAD-Stände, sodass teilweise auf Vorgängermodelle zurückgegriffen werden muss. Ein vollständiger Modell-Neuaufbau auf Grundlage von CAD-Daten erfolgt über Projektlaufzeit selten (ca. 4-5 Mal).

Dies kommt auch dadurch zum Ausdruck, wenn man den Personaleinsatz in den Bereichen Modellaufbereitung und Berechnung betrachtet: Dieser ist in der Funktionsauslegung um den Faktor 25 höher.

AUDI verfolgt beim Modellaufbau die Philosophie, die rechenfähigen Inputdecks aus Teilmodellen (sog. Include-Files) zu assemblieren (Abbildung 9). Diese teilen sich in fahrzeugabhängige (wie zB. Karosserie, Türen, usw.) und fahrzeugunabhängige Include-Files (zB. Barriere und Dummys). Sämtliche Include-Files liegen in einem sog. Include-Pool, aus dem die Lastfälle assembliert werden. Der Include-Pool bildet einen „150%-Topf“, da hier z.B. Komponenten von Rechtslenker- und Linkslenkervarianten, Sitze in verschiedenen Positionen etc, abgelegt sind. Die Komplexität wird zudem erhöht, da eine Vielzahl von Berechnungsdisziplinen auf den Include-Pool zugreifen (Abbildung 10).

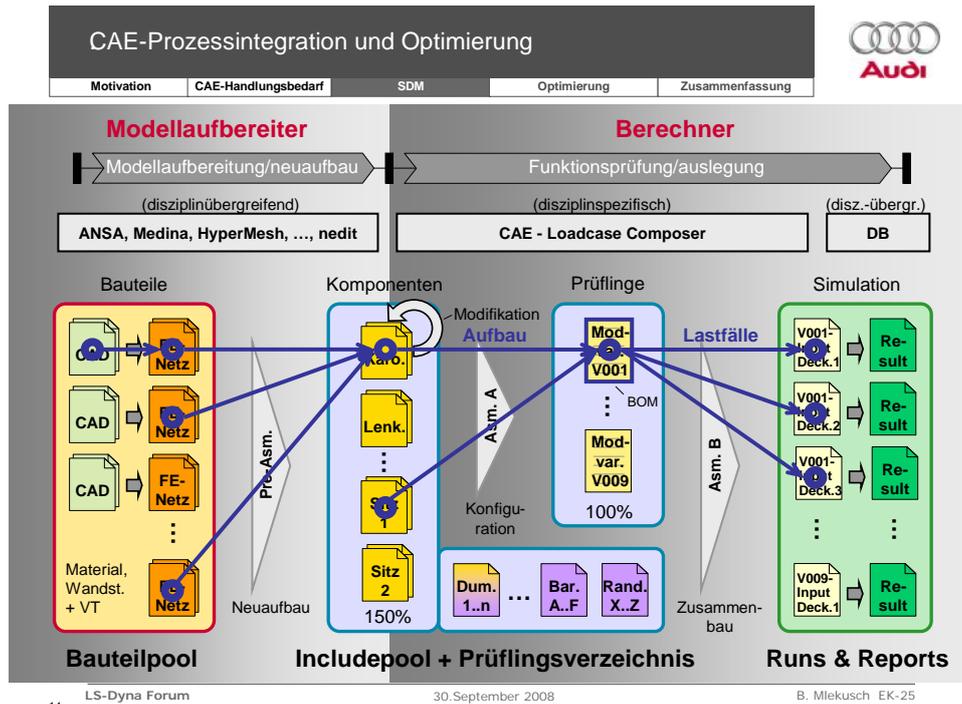


Abbildung 9: Modellaufbau mittels Include-Files.

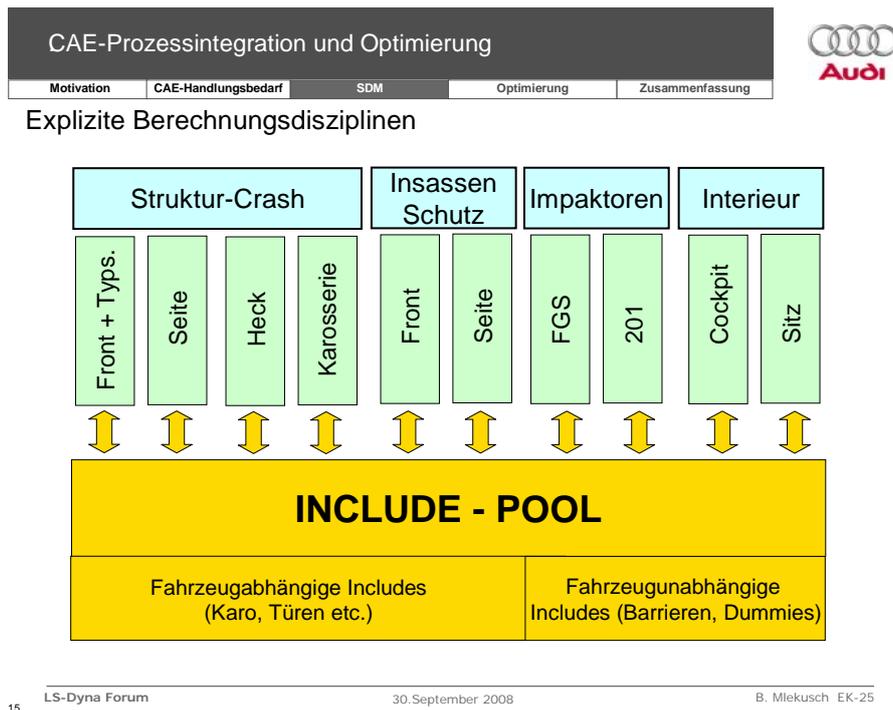


Abbildung 10: Explizite Berechnungsdisziplinen und Zugriff auf Include-Pool .

Die beschriebene Vorgehensweise softwaretechnisch zu unterstützen ist Aufgabe des CAX-Loadcase-Composers (LoCo). Neben dem Verwalten des Include-Pools sind die Parametrisierung und der Aufbau von Variantenbäumen hervorzuhebende Funktionalitäten im LoCo. Die Parametrisierungsfunktion ermöglicht es, Variablen beim Zusammenbau durch feste Werte, welche in einer lastfallabhängigen Steuerdatei abgelegt sind, zu ersetzen. Damit lassen sich sehr einfach Transformationen umsetzen (z.B. im Fußgängerschutz das Schießen einer Vielzahl von Aufschlagpunkten) oder aber im Insassenschutz die jeweils für den Lastfall gültigen Parameter (z.B. für Airbag-Zündzeit oder die Einstellungen von adaptiven Systemen) setzen.

CAE-Prozessintegration und Optimierung

Motivation	CAE-Handlungsbedarf	SDM	Optimierung	Zusammenfassung
------------	---------------------	-----	-------------	-----------------

### Anforderungen an den CAX-Loadcase-Composer (LoCo)

- Verwalten der Include-Files (geringe Redundanz)
- Flexibler, automatisierter Aufbau von Lastfallkombinationen
- Unterstützen kollaboratives Arbeiten (lokal/global; Einbindung externer Entwickler)
- Parametrisierung der Include-Files (z.B. Transformkarten)
- Varianten-Verfolgung (History-Trees)

LS-Dyna Forum

30. September 2008

B. Miekusch EK-25

Abbildung 11: Anforderungen an den Loadcase-Composer (LoCo).

Der Variantenbau dient zur Darstellung der Versionsgeschichte. Er lässt sich auf Include-Files, Teilmodellstände, Modellstände, Lastfälle und Lastfallgruppen anwenden. Auch einfache Vergleiche können somit sehr schnell und übersichtlich durchgeführt werden, wie das Beispiel B-Säule in Abbildung 13 zeigt. Als Parameter sind (fiktive) Gewichte dargestellt, auch die Differenzen zu einem beliebigen Master sind visualisierbar.

CAE-Prozessintegration und Optimierung

### Darstellung Variantenbaum

17

LS-Dyna Forum

30. September 2008

B. Miekusch EK-25

Abbildung 12: Variantenbaum für Include-Files im Loadcase-Composer (LoCo).

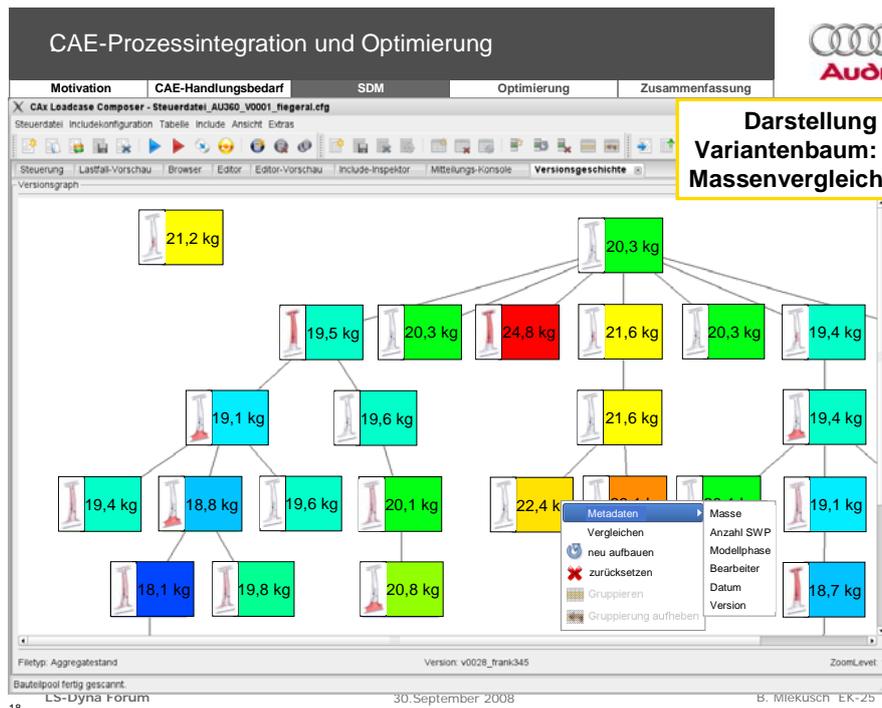


Abbildung 13: Gewichtsvergleich im Variantenbaum.

## 4 Optimierung

### 4.1 Parameteroptimierung

Für die klassische Parameteroptimierung (z.B. Wandstärken, Rückhaltesystemkennwerte) werden bei AUDI die Pakete Optimus und LS-Opt eingesetzt [4]. Für letzteres wurde eine Erweiterung entwickelt (DeSpEx – Design Space Explorer), welche den raschen Aufbau von Metamodellen aus Simulationsergebnissen und deren Exploration erlaubt [5,6]. Hierbei können Schieber verwendet werden, um Inputvariable zu verändern.

### 4.2 „Patch-Work“ - Optimierung

Die Patch-Work Optimierung ist eine multidisziplinäre Optimierungsmethode (MDO), welche sowohl die Crash- als auch die Steifigkeitsfunktionen berücksichtigt. Die zugrundeliegende Idee besteht darin, die Wandstärken elementweise dort zu erhöhen, wo Material benötigt wird. Als Parameter hierfür werden die plastische Dehnung (Crash) und die Energiedichte (NVH) verwendet.

Am Start wird eine einheitliche, „dünne“ Wandstärke und ein einheitliches Material für die gesamte Karosserie vergeben. Bei der Optimierung dickt nun jeder Lastfall die für ihn notwendigen Teilbereiche auf (ausgewiesene Deformationszonen werden aus dem Algorithmus ausgenommen) und somit entstehen Patches, welche jeden Lastfall zu einem bestimmten Prozentsatz erfüllen. Durch diese Patches erkennt man, wo welcher Lastfall Material benötigt. Zudem werden Stellen aufgezeigt, an denen sich Anforderungen aus mehreren Lastfällen überlagern. Sind die einzelnen Patches berechnet, werden sie zusammengeführt und das Funktionsziel wird erhöht. Man nähert sich hier sozusagen gewichtsmäßig „von unten“ der optimalen Karosseriestruktur.

Sukzessive müssen die errechneten Patches für die einzelnen Lastfälle durch konstruktive Lösungen und festeres Material (höhere Güte) ersetzt werden. Als vorteilhaft erweist sich, dass dies an den einzelnen Stellen parallel geschehen kann, da die restliche Karosserie durch die Patches im Funktionsziel gehalten wird und somit nur geringe Wechselwirkungen zu erwarten sind.

Der Loadcase-Composer (LoCo) bildet eine sehr gute Basis für die Umsetzung der Patchwork - Optimierung, da es leicht möglich ist, das „Bookkeeping“ der Patches durchzuführen und die Evolutionen selbiger zu verfolgen.

CAE-Prozessintegration und Optimierung

Motivation	CAE-Handlungsbedarf	SDM	Optimierung	Zusammenfassung
------------	---------------------	-----	-------------	-----------------



**Patch-Work Optimierung**

Wiederholtes, elementweises Aufdicken der sensitiven Stellen, bis die Funktionen für alle Lastfälle i.O. sind (für Crash und NVH). „Wo es nicht hält, dort pappen wir ein Pflaster hin“

- Visualisierung der einzelnen, erforderliche Elementdicken für die einzelnen Lastfälle in einer Karosserie.
- Identifizierung von Bereichen, die durch mehrere Lastfälle beansprucht werden.
- Aufzeigen ungenutzter Bleche oder Teilbereiche.
- Sukzessives Ersetzen der Patches durch konstruktive Lösungen, bis die Wirkung des Patches wieder erreicht ist.

**Vorteile:**

Die Patches halten die Karosserie „künstlich“ im Funktionsziel. Wird ein Patch (= zur Funktionserfüllung notwendiger Geometriebereich) bearbeitet, kann der Einfluss genau dieser Stelle betrachtet werden, ohne dass wesentliche Wechselwirkungen mit anderen Stellen entstehen.

Aufzeigen, welche Disziplin wie weit (in kg) vom Funktionsziel entfernt ist.

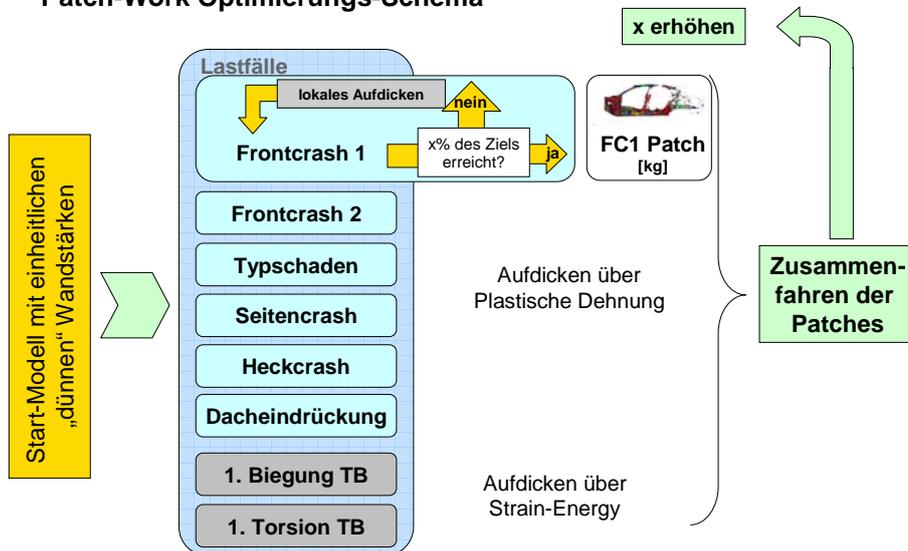
**Abbildung 14: Generelles Konzept der „Patch-Work“ - Optimierung.**

CAE-Prozessintegration und Optimierung

Motivation	CAE-Handlungsbedarf	SDM	Optimierung	Zusammenfassung
------------	---------------------	-----	-------------	-----------------



**Patch-Work Optimierungs-Schema**



**Abbildung 15: Umsetzungsschema für die „Patch-Work“ - Optimierung.**

## 5 Fazit/Ausblick

CAE-Prozessintegration und Optimierung				
Motivation	CAE-Handlungsbedarf	SDM	Optimierung	Zusammenfassung



### Zusammenfassung/Ausblick

- hohe Bedeutung der CAE-Auslegung in der Karosserieentwicklung bei zunehmender Komplexität (Derivatisierung, neue Anforderungen, Reduktion PTs);
- Leichtbau (stofflich und geometrisch) steht wieder verstärkt im Fokus.



- Datenmanagement zwingend zur effektiven Bewältigung der Aufgaben erforderlich;
- bei flexibler Gestaltung können Workflow und Optimierung sehr gut unterstützt werden.
- Ausblick: Bidirektionale Schnittstelle Richtung CAD (inkl. Verbindungstechnik).

## Literatur

- [1] J. Pischner, B. Mlekusch, „Audi A4 Avant – Entwicklung ohne Prototypen“, Vortrag Karosseriebautage Hamburg, (2008).
- [2] T. Heubrandtner, D. Scherjau, C. Lind, „Advanced spotweld failure modelling based on Trefftz Formulation“, 5-th Int. Conference of Shell and Spatial Structures (IASS IACM 2005), Salzburg, (2005).
- [3] St. Gülich, „Das Technikmodell bei AUDI – Eine hochparametrische Konstruktion in der frühen Projektphase“, VDI-Tagung, Baden-Baden, (2008).
- [4] M. Kaufmann, B. Lauber, „Das Audi A6 Karosserie MDO-Projekt“, Virtual Product Creation 2005, Stuttgart, (2005).
- [5] M. van den Hove, B. Mlekusch, „FE-Simulation Based Optimization of an Adaptive Restraint System using LS-Opt“, LS-Dyna-Forum, Bamberg, (2005).
- [6] K. Witowski, „D-SPEX an advanced post-processor for optimization and stochastic investigations“, LS-Dyna, (2008).

