FORSCHUNGSVEREINIGUNG AUTOMOBILTECHNIK E.V.

FAT-SCHRIFTENREIHE

FAT 251

# Parametrischer Bauraum – synchronisierter Fahrzeugentwurf

VDA Verband der Automobilindustrie

# Parametrischer Bauraum – synchronisierter Fahrzeugentwurf

SFE GmbH, Berlin
Voltastr. 5, 13355 Berlin

Verfasser:
Dipl.-Ing. Hans Zimmer
Februar 2013

Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. (FAT) gefördert.

**Inhaltsverzeichnis**

1. Ausgangssituation
2. Ziel des Forschungsvorhabens
3. Vorteile im Entwicklungsprozess
4. Prozessablauf „Parametrischer Bauraum“
5. Systemintegration der „Bauraum-Objekte“
6. Erkennung und Behebung von Bauraum-Konflikten
7. Zusammenfassung
8. Ausblick
9. Literaturverzeichnis

## Vorbemerkungen

Die frühe Absicherung neuer Fahrzeugkonzepte wird immer bedeutender. Dabei muss die Absicherung viele Disziplinen vereinen und die zum jeweiligen Entwicklungsstand verfügbaren Informationen optimal nutzen und schnell in die Berechnungsmodelle einfließen lassen. Die Vielfalt der zu berücksichtigenden Disziplinen erfordert eine dem Entwicklungsstand und der Informationstiefe angepasste Priorisierung. Obwohl der Auslegungs- und Absicherungsprozess nicht bei allen Fahrzeugherstellern einheitlich abläuft, kristallisiert sich mehr und mehr die Bedeutung der frühen Funktionsabsicherung heraus.

In der Fahrzeugentwicklung wird bisher zwischen dem Aufbau eines neuen Fahrzeugs auf der Grundlage eines Vorgänger-Fahrzeugs und der Neuentwicklung unterschieden. Denkbar sind auch Mischformen, bei denen eine neue Topologie in der Aufbaustruktur und eine gleichbleibende Topologie in der Bodengruppe erwünscht sind. Die Entwicklung auf der Grundlage eines Vorgänger-Fahrzeugs nutzt im Regelfall die bestehende Fahrzeugtopologie. Hierbei können bestehende Fahrzeugkomponenten bzw. -Module auf die neue Soll-Geometrie angepasst werden. Bei der Neuentwicklung muss die mögliche Fahrzeugtopologie unter Berücksichtigung des jeweiligen Kenntnisstands der Fahrzeugauslegungsparameter, der Hauptabmessungen, Randbedingungen, Bauweisen, Fügetechniken, verfügbaren Package- und Stylinginformationen, etc. und den abzusichernden Funktionsanforderungen aufgebaut werden.

Die Schwierigkeit besteht darin, die Umsetzung der Vorgaben und Anforderungen mit wenigen Softwarewerkzeugen optimal zu unterstützen und eine Wiederverwertbarkeit der daraus gewonnenen Erkenntnisse softwaretechnisch zu ermöglichen. Eine optimale Unterstützung muss auch eine Optimierung der Materialien, Materialstärken, Geometrieformen und Topologien in einer geschlossenen Kette ermöglichen. Dies gelingt u.E. nur, wenn der Bauraum und seine beschreibenden Größen in einen *transparenten parametrischen* Zusammenhang mit den Strukturelementen gebracht werden.

## 1. Ausgangssituation

Bereits heute erlaubt der Einsatz eines parametrischen Entwurfswerkzeuges in der Konzeptphase die schnelle Variation von Konzeptmodellen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Parametrik bauteilübergreifend und implizit ist. Eine implizite Parametrik entsteht während des Topologie- und

Geometrieaufbaus (Bild 1). Sie wird von dem Geometriekern des Programms aus den Benutzereingaben automatisch abgeleitet.

Das parametrische Entwurfswerkzeug SFE CONCEPT bietet allen am Fahrzeugentwurf beteiligten Personengruppen die Chance, nicht nur die Entwicklungszeiten zu verkürzen, sondern auch in einer frühen Phase eines Entwurfes die Varianten hinsichtlich der Funktionsabsicherung zu bewerten.

Der heutige Stand ermöglicht einen Detaillierungsgrad in der Modellierung zu erfüllen, der den Anforderungen der nachgeschalteten Analysewerkzeuge (Crash, NVH etc.) angepasst werden kann und den zum jeweiligen Zeitpunkt verfügbaren „Detail-Informationen“ gerecht wird [ 3, 4, 5, 6].

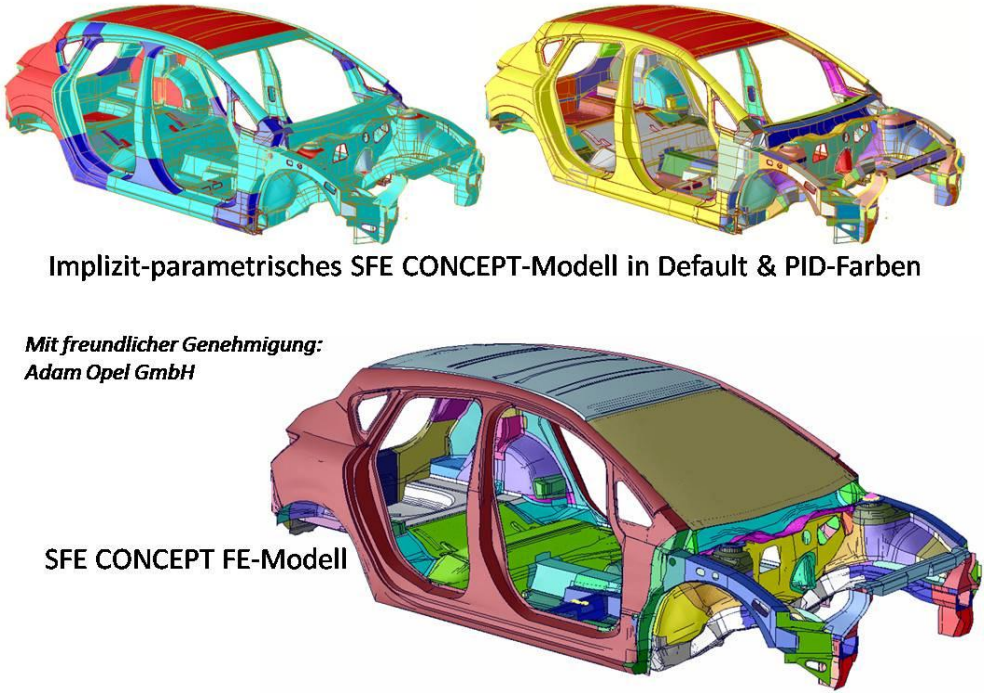


Bild 1: Implizit-parametrisches SFE CONCEPT-Modell und abgeleitetes FE-Modell
Courtesy of Adam Opel GmbH

Die abgeleiteten FE-Netze sind frei von Anfangsdurchdringungen und unterschreiten die minimal zulässigen Netzkantenlängen nicht. Durch die Einführung der Modulbautechnik (Library-Funktion) (Bild 2) können bereits archivierte Komponenten wieder verwendet und entsprechend den vom Benutzer definierten Regeln aus Komponenten unterschiedlicher Fahrzeuge zusammengesetzt werden.

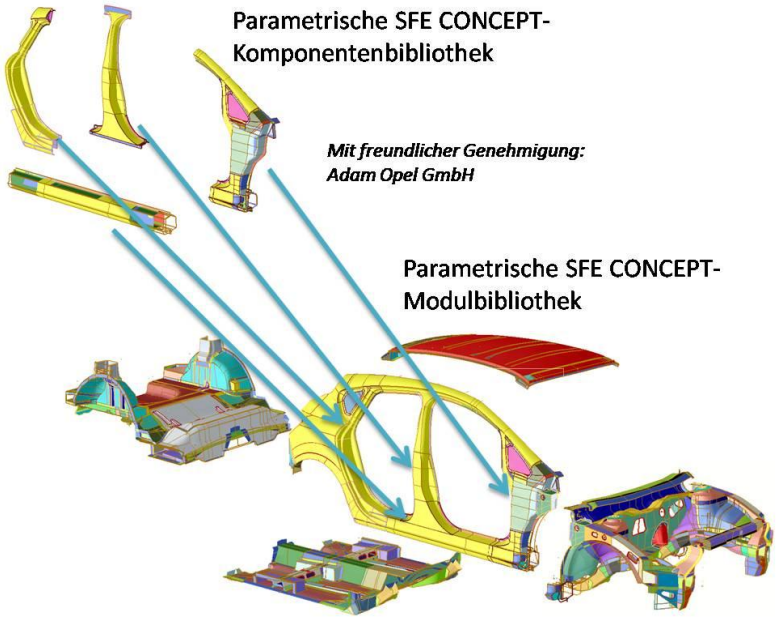


Bild 2: Parametrische SFE CONCEPT-Bibliothek
Courtesy of Adam Opel GmbH

Eine Kombination bestehender Fahrzeugkomponenten (z.B. eingefrorenes FE-Modell) mit parametrischen Komponenten ist ebenfalls möglich (Bild 3).

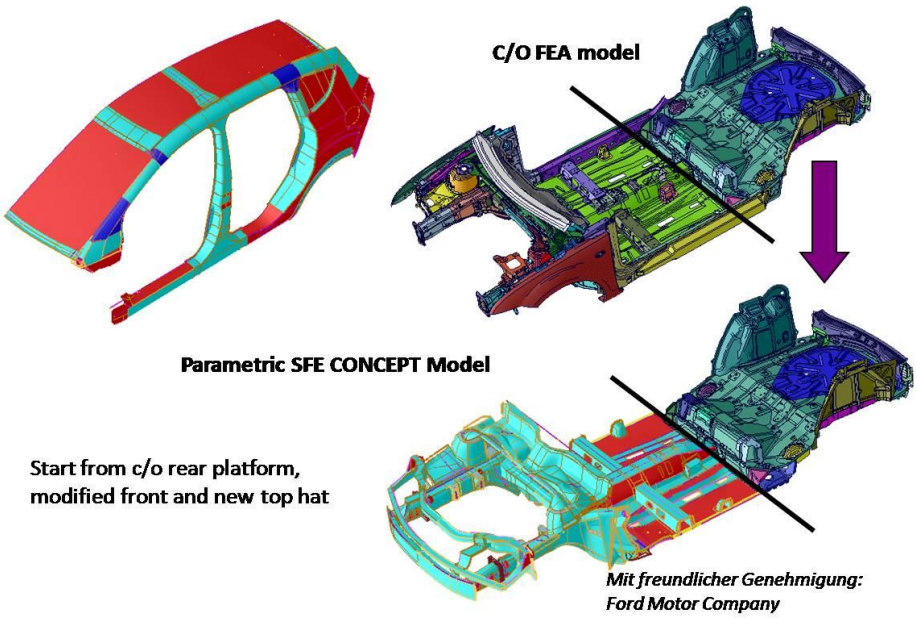


Bild 3: Bestehendes FE-Modell gekoppelt mit einem parametrischen SFE CONCEPT-Modell
Courtesy of Ford Motor Company

Die parametrischen Detaillierungen können additiv auf das Geometriemodell aufgebracht werden,

gleichsam wie mit einem Stempel aufgedrückt. Dabei steht es dem Benutzer frei, ob er die Detaillierungen modelliert oder diese aus einer bestehenden SFE CONCEPT-Bibliothek benutzt (z.B. Vorgängerfahrzeug). Entscheidend ist, dass die Detaillierungen allen Änderungen der Basisgeometrie automatisch folgen (Bild 4).

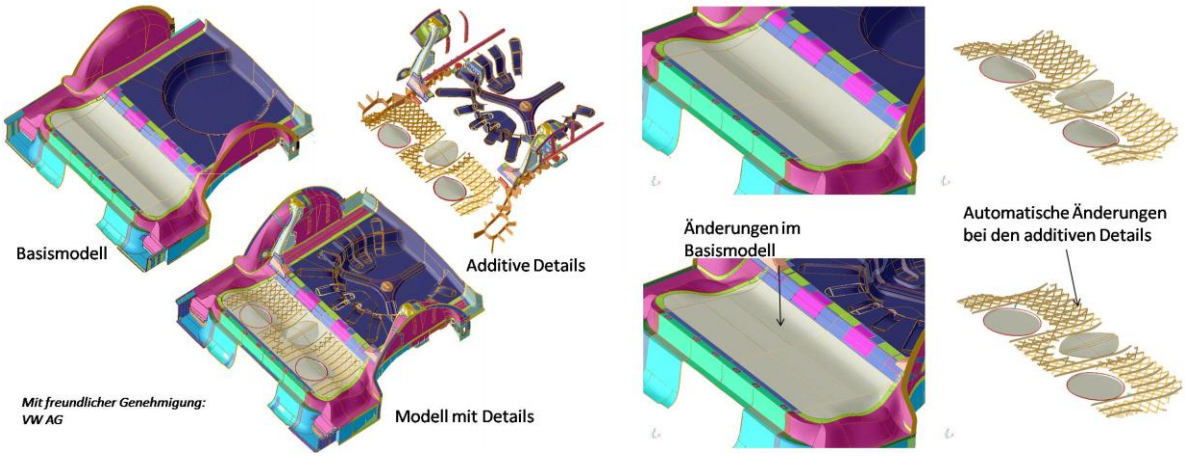


Bild 4: Parametrische Detaillierungen
Courtesy of Volkswagen AG

Bei aufwendiger Detaillierung erlauben die abgeleiteten Simulationsmodelle sogar den Vergleich mit seriennahen oder Serienmodellen für die Crash-Simulation. Dies ist durch Korrelationsabgleich hinlänglich bewiesen worden (Bild 5).

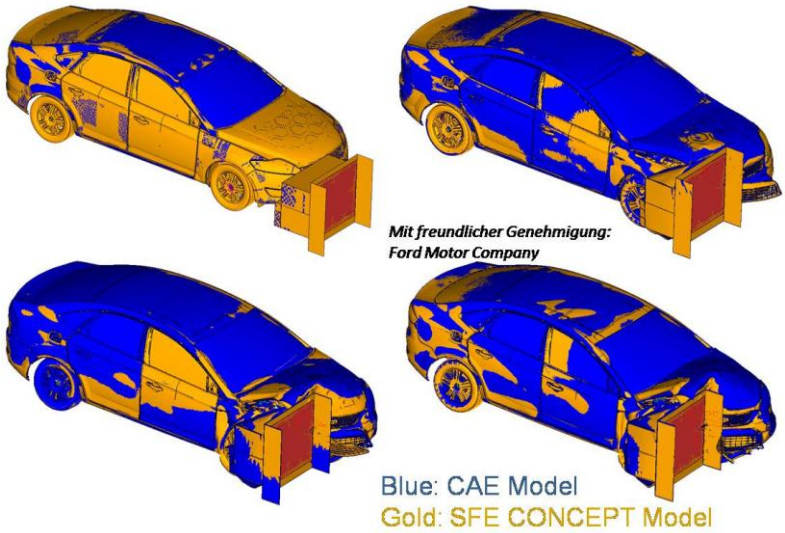


Bild 5: Korrelation Crashberechnung CAE- SFE CONCEPT Model
Courtesy of Ford Motor Company

Je nach Informationsstand können somit unterschiedlich detaillierte Simulationsgeometrien - von der ganz frühen Phase bis hin zur späten Auslegungsphase - erzeugt und direkt einer Berechnung

bzw. Optimierung zugänglich gemacht werden[ 7, 8, 9, 10]. Vorteil hierbei: die Bauteil übergreifende implizite Parametrik bleibt erhalten und lässt lokale und globale Änderungen zu  (Bild 6).

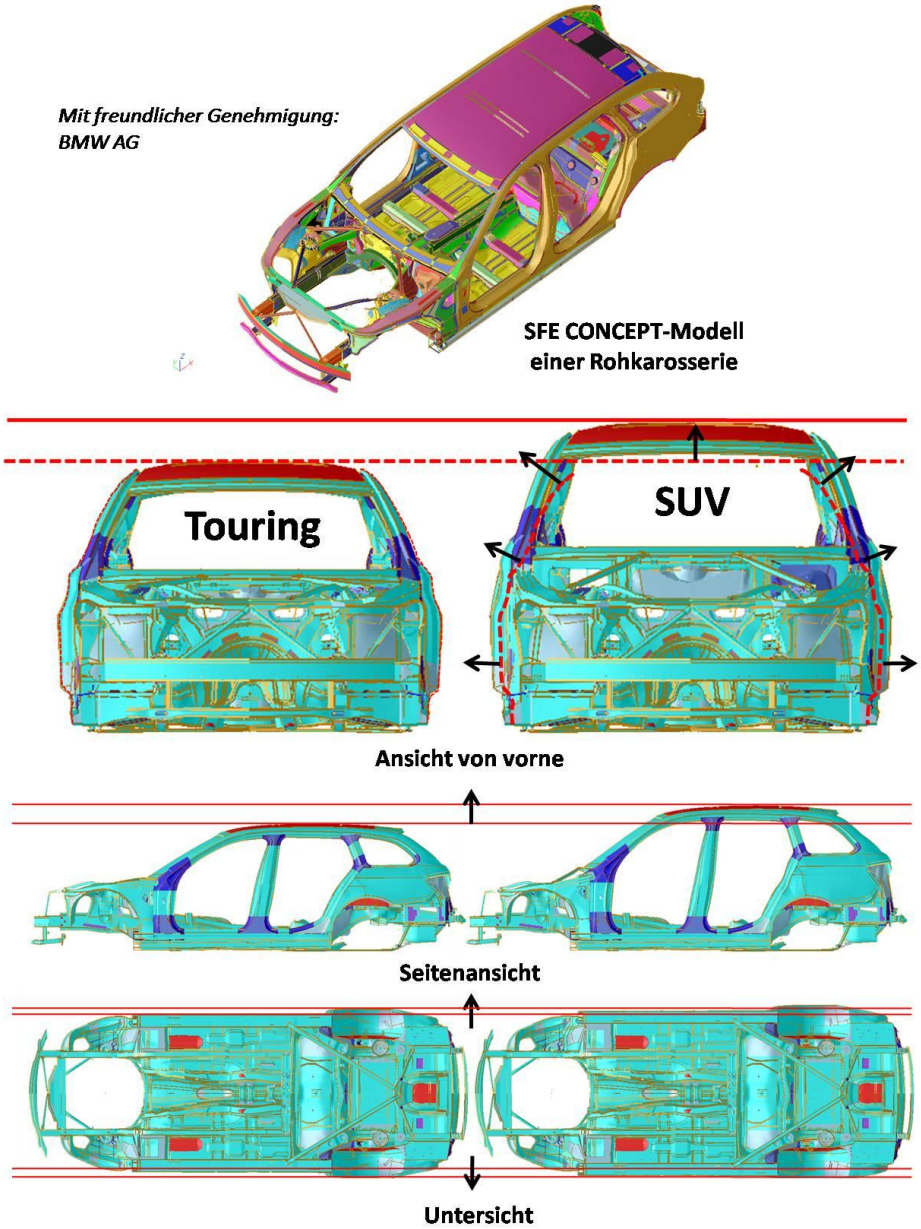


Bild 6: Globale Änderungen Touring → SUV

Courtesy of BMW AG

Dieser Entwicklungsstand und Reifegrad von SFE CONCEPT ist nicht zuletzt der großzügigen finanziellen und inhaltlichen Unterstützung der FAT zu verdanken.

Die FAT hat in der Vergangenheit das Forschungsvorhaben „Erweiterte Knotenfunktionalität im parametrischen Entwurfswerkzeug SFE CONCEPT“ ermöglicht. Des Weiteren haben einige deutsche Automobilfirmen das BMBF-Vorhaben „AUTO-OPT“ [12] mit unterstützt.

## 2. Ziel des Forschungsvorhabens

Ziel des Gesamt-Forschungsvorhabens war der Aufbau einer transparenten parametrischen Verknüpfung der den Bauraum beschreibenden und begrenzenden Komponenten aus Package und Styling mit den parametrischen Strukturkomponenten [11]. Hierzu muss das Strukturmodell um Package- und Stylingobjekte erweitert und selektierte Restriktionen in Form von Flächen, Linien und Punkten müssen einbezogen werden, um in einem Gesamtmodell zu verschmelzen. Gelingt dies und sind auch alle parametrischen Strukturkomponenten in einer Volumendarstellung beschrieben, so lassen sich im parametrischen Zusammenspiel mit den Package- und Stylingobjekten und den selektierten Restriktionen folgende weit reichende Anwendungen umsetzen:

- Verschiebung (Transformation) und Veränderung von Bauteilen zwecks Kollisionsvermeidung
- Kollisionsüberprüfung und Visualisierung
- Überprüfung auf Einhaltung zugelassener Relationen zwischen den Objekten
- Parameterstudien im Package mit Nachbarobjekten
- Volumenprägung von Bauteilen zur Kollisionsvermeidung

Mit anderen Worten: Die parametrischen Nachbarschaftsbeziehungen der Volumina untereinander sind nicht nur bekannt, sondern lassen sich auch nutzen, um kollisionsfreie Positionierungen und Gestaltungen im Bauraum (Kontrollvolumen) automatisch zu bestimmen. Dies ist eine notwendige Bedingung und Voraussetzung, um Form- und Topologieoptimierung in einem geschlossenen Rechenlauf zu ermöglichen.

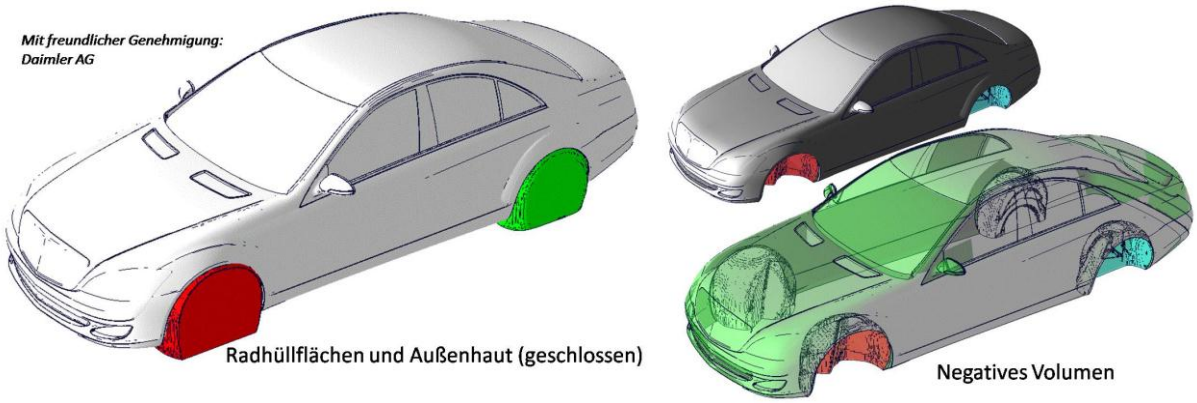


Bild 7: Bauraumbegrenzung Radhüllflächen und Styling
Courtesy of Daimler AG

In diesem Sinne werden sowohl Package- und Stylingobjekte (Bild 7) als auch Restriktionen zu nutzbaren Steuerungselementen für die Gestaltung der Fahrzeugstruktur. Hervorzuheben ist, dass diese Steuerung nicht nur manuell auf Basis der Visualisierung der Nachbarschaftsbeziehungen erfolgen kann, sondern auch ohne Benutzereingriff im Optimierungs-Rechenlauf.

## 3. Vorteile im Entwicklungsprozess

Nach erfolgreichem Abschluss des Forschungsvorhabens besteht erstmalig eine durchgängige parametrische Verknüpfung der in sich parametrischen Bauteile (Strukturobjekte), der Package-Volumen und der selektierten Restriktionen (siehe Prozessschaubild). Unabhängig davon, ob die Package-Volumen Starrkörpereigenschaften haben oder selbst parametrisch sind, führt diese Verknüpfung zu einer konsequenten Bauraumkontrolle und Bauraumnutzung. Letztere Eigenschaft ist die notwendige Voraussetzung, um darauf aufbauende Form- und Topologieoptimierungen in einer geschlossenen Optimierungsschleife durchführen zu können. Es stellt einen bemerkenswerten Fortschritt dar, wenn der parametrische und veränderbare Bauraum nicht nur eineindeutig digital beschrieben ist, sondern auch genutzt werden kann, um neue Lagen und Formen der parametrischen Bauteile zuweisen zu können.

Bauraum, Package-Volumen und Bauteile stehen dann in bekannten geometrischen und topologischen Nachbarschaftsbeziehungen. Somit sind sie gegenseitig nutzbare Steuerungselemente zur Bestimmung und Kontrolle der Dicken-, Form- und Topologieänderung. Der Entwicklungsprozess (Bild 8) eines neuen Fahrzeuges kann damit nicht nur erheblich beschleunigt werden, sondern es wird auch die Voraussetzung für einen durchgängigen Einsatz von Optimierungsmethoden und eingebundenen CAE- Bewertungen zur Funktionsabsicherung geschaffen. Die Kenntnis der „Nachbarschaftsbeziehungen“ dieser o. g. Objekte und des zulässigen Bauraums wird entscheidend helfen, das gegenseitige Verständnis zwischen Package- und CAE-Team beim täglichen „Kampf um Bauraum“ zu versachlichen und zu fördern.

Bild 8: Prozessschaubild

## 4. Prozessablauf „Parametrischer Bauraum“

Die Packageobjekte werden unterschieden in importierte Starrkörper (z.B. Motor), implizit parametrische Regelkörper und importierte Restriktionen. Letztere grenzen den Bauraum über nichtzulässige Bereiche ein. Dies können Punkt-, Linien- und flächenhafte Informationen (wie z.B. Stylingflächen für Außenhaut, Türöffnungslinien) sein.

Importierte Starrkörper und Restriktionen werden in der Regel aus anderen Systemen importiert. Dieses können CAD-, Package- oder Datenverwaltungssysteme (PDM) sein, in denen die Daten in unterschiedlichen Formaten vorliegen.

Starrkörper repräsentieren die zu berücksichtigenden Komponenten für den Entwurfsprozess, welche geometrisch nicht verändert werden sollen oder dürfen. Sie sollen lediglich die Möglichkeit einer Transformation (Translation/Rotation) besitzen, damit Entwürfe mit unterschiedlichen Positionen der Komponenten untersucht werden können. Diese Transformationsmöglichkeit ist auch für Komponenten ohne eine vorgegebene Ausgangslage (z.B. aus einem Packagesystem) und für in SFE CONCEPT erzeugte parametrische Komponenten notwendig.

Restriktionen sind geometrische Ausprägungen von Bereichsgrenzen, die in der Regel in einem Packagesystem erzeugt werden. Sie können aus

- Vorgaben (z.B. Motorisierung),
- den Auslegungsparametern (z.B. Radstand),
- zu berücksichtigenden Gesetzen (Lage der Scheinwerfer)
- oder einer Berechnung (Augellipse) resultieren.

Neben den o.g. Packageobjekten müssen auch die Strukturobjekte (SFE CONCEPT Objekte) in eine Volumenbeschreibung zur nachfolgenden Bauraumbeschreibung überführt werden.

## 5. Systemintegration der „Bauraum-Objekte“

Die neuen Objekte (Bauraum-Objekte) müssen zum Erhalt der Systemintegrität die analogen Voraussetzungen der Strukturobjekte erfüllen. Die Bauraum-Objekte entstehen aus der Differenzgeometrie der Außenhaut bzw. Styling abzüglich der Package-Volumina (Bild 9).

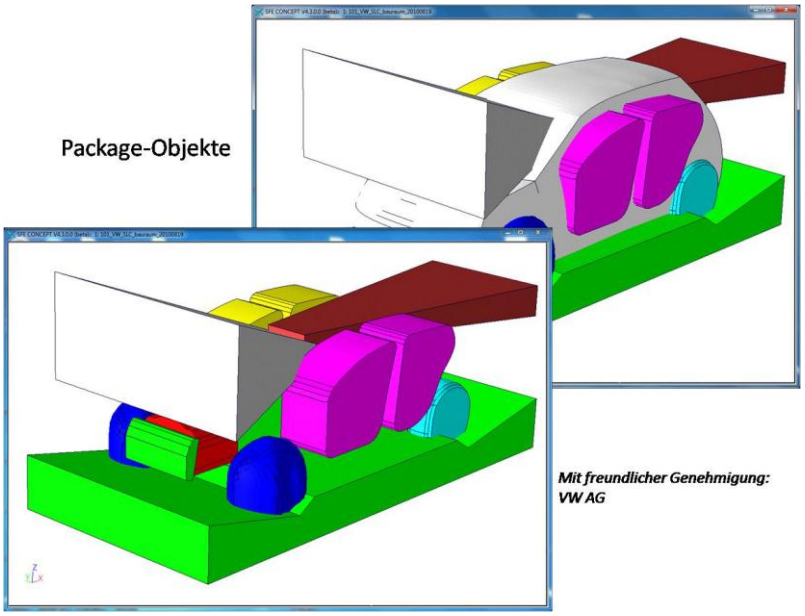


Bild 9: Bauraum begrenzende Objekte
Courtesy of Volkswagen AG

Der verbleibende Bauraum lässt sich größtenteils in Volumen-Objekte aufteilen, deren Charakteristika durch die eingrenzenden Package-Volumina und anschließende Grenzflächen und / oder Restriktionen definiert ist. Aus den eingrenzenden Geometrieinformationen lässt sich für diese Volumen-Objekte eine Analogie zu den implizit parametrischen Strukturobjekten aufbauen. Voraussetzung hierfür ist die „Reparametrisierung“ dieser Bauraumobjekte.

Die Bauraumobjekte werden in SFE CONCEPT automatisch rekonstruiert (Bild 10). Das bedeutet, dass aus der jeweiligen Bauraumformation automatisch implizit-parametrische Komponenten

aufgebaut werden. Als Beispiel: Die implizit-parametrische Bauraumkomponente „B-Säule“ wird automatisch über die SFE CONCEPT typischen Größen wie Einflusspunkte, Basislinien und Profile beschrieben.

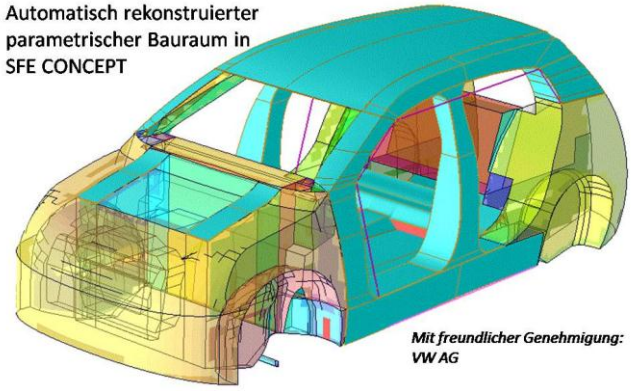


Bild 10: Automatisch rekonstruierter parametrischer Bauraum
Courtesy of Volkswagen AG

Diese Bauraum-Objekte lassen sich – da parametrisch – leicht gezielt modifizieren. Neue Bauraumobjekte können sich natürlich auch durch die Verarbeitung neuer Informationen über die begrenzenden geometrischen Größen identifizieren lassen.

Um analoge Voraussetzungen erfüllen zu können, müssen diese Objekte auch analoge Eigenschaften wie die Struktur-Objekte haben, damit folgende Anforderungen konfliktfrei werden:

Update-Fähigkeit: Synchronisierung der Update-Aufrufe in Abhängigkeit des Kontaktes

- Darstellbarkeit: Grafische Ausgabe mit Pickbarkeit
- Löschbarkeit: Konsistentes Entfernen der Kontakte
- Speicherbarkeit: Persistente Ablage mit dem Strukturmodell
- Kopierbarkeit: Wechsel in andere Modelle
- Archivierbarkeit: Ablage in existierenden Bibliotheken

Die Bauraum-Objekte werden analog zu den Struktur-Objekten aufgebaut. Sie sind somit topologisch zugeordnet und lassen sich parametrisch wie Strukturobjekte verändern (Bild 11).

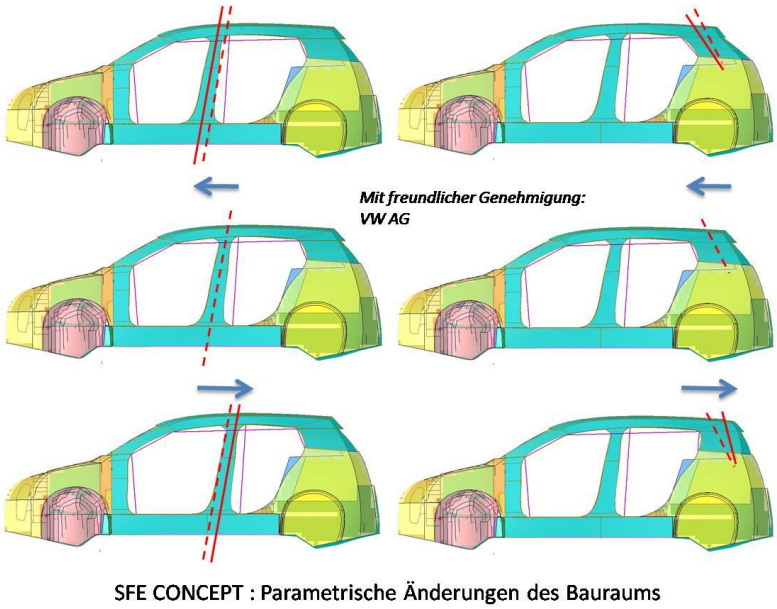


Bild 11: Parametrische Änderungen des Bauraums
Courtesy of Volkswagen AG

## 6. Erkennung und Behebung von Bauraum-Konflikten

Der Großteil der rekonstruierten Bauraumobjekte kann über die begrenzenden Packageobjekte eindeutig einer „logischen“ Position im Fahrzeug zugeordnet werden (z.B. Bauraum B-Säule). Somit können die Strukturobjekte (z.B. B-Säule) aus der Bibliothek direkt im Bauraum positioniert werden (Bild 12).

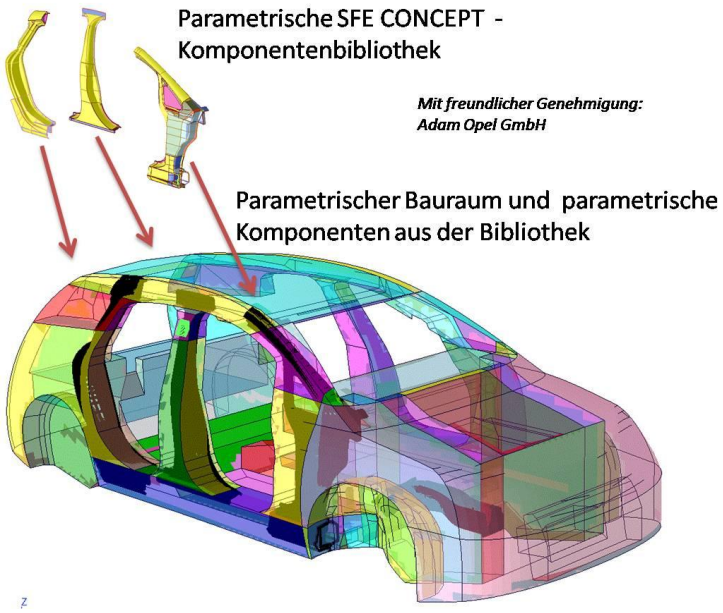


Bild 12: Parametrischer Bauraum und parametrische Strukturkomponenten
Courtesy of Adam Opel GmbH

Im Regelfall werden die neuen Bauraumgrenzen mit der „alten“ Strukturkomponente kollidieren.

Die Behebung dieser Konflikte kann interaktiv durch den Benutzer oder automatisch durch das Programm gelöst werden. Voraussetzung hierfür ist, dass der Benutzer „vorab“ definiert, welche „Freiheiten“ er für die Form- und Positionsänderung der Struktur zulässt. Der Benutzer von SFE CONCEPT definiert dies über Designrecords. In diesen Records legt er fest, ob z.B. die Position eines Einflusspunktes, die Tangentenrichtung oder das Querschnittsprofil geändert werden dürfen.

Bei der automatischen Konfliktbehebung wird das Konfliktvolumen (Überlappung der Bauraumgrenzflächen mit der Strukturgeometrie) nach Maßgabe der o.g. Designrecords minimiert (Bild 13).

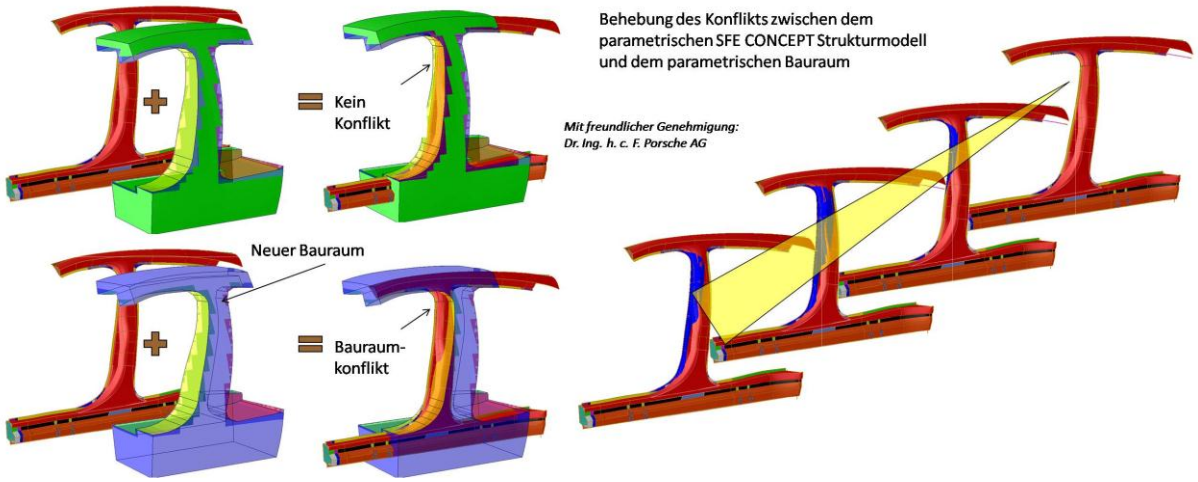


Bild 13: Behebung von Bauraumkonflikten - interaktiv - automatisch

Courtesy of Porsche AG

## 7. Zusammenfassung

Die erfolgreiche Umsetzung des Forschungsprojektes „Parametrischer Bauraum“ unterstützt den synchronisierten Fahrzeugentwurf. Es wird das assoziative Wechselspiel zwischen parametrischem Bauraum und parametrischen Strukturen ermöglicht (Bild 14).

Somit werden Package- und Stylingobjekte nutzbare Steuerungselemente für die Erstellung der Fahrzeugstruktur. In der heutigen Anforderung zur Umsetzung neuer Fahrzeugarchitekturen für neue Antriebe ist eine geschlossene, konsequente Bauraumkontrolle und Bauraumausnutzung unerlässlich. Die implizit-parametrische Beschreibung der Bauraum- und Strukturkomponenten in SFE CONCEPT ermöglicht dies.

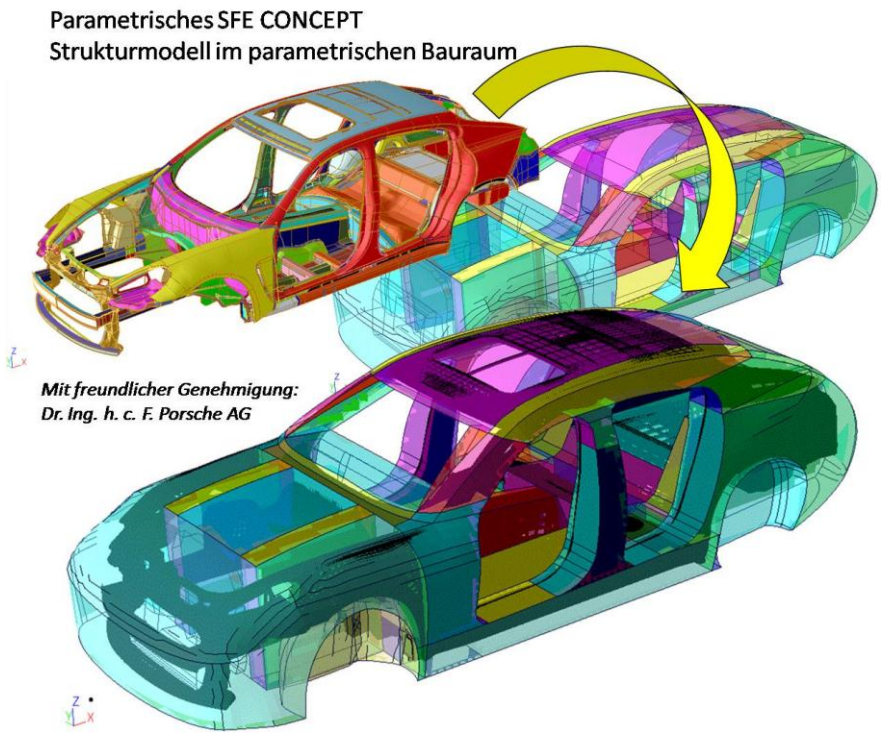


Bild 14: SFE CONCEPT Strukturmodell - Bauraum - rekonstruierter Bauraum
Courtesy of Porsche AG

## 8. Ausblick

In einem ab 2010 von der Forschungsvereinigung Automobiltechnik geförderten Forschungsvorhaben „Verzahnter CAD/CAE-Prozess“ wird SFE, basierend auf den Ergebnissen des vorangegangenen Projektes „Parametrischer Bauraum“, die direkte Verzahnung CAD und CAE umsetzen. Voraussetzung hierfür ist u.a. die Verknüpfung der übergeordneten Fahrzeugauslegungsparameter mit dem parametrischen Bauraum und der parametrischen Struktur (Bild 15). Dieser Prozess wird erheblich erleichtert durch die zwischenzeitlich erfolgte Integration von SFE CONCEPT in CATIA V5 (Bild 16).

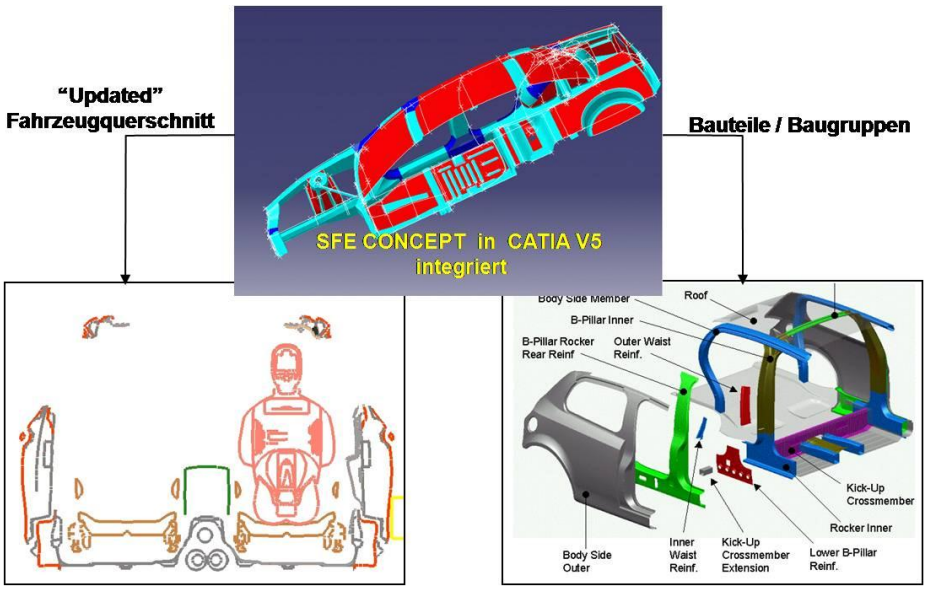


Bild 15

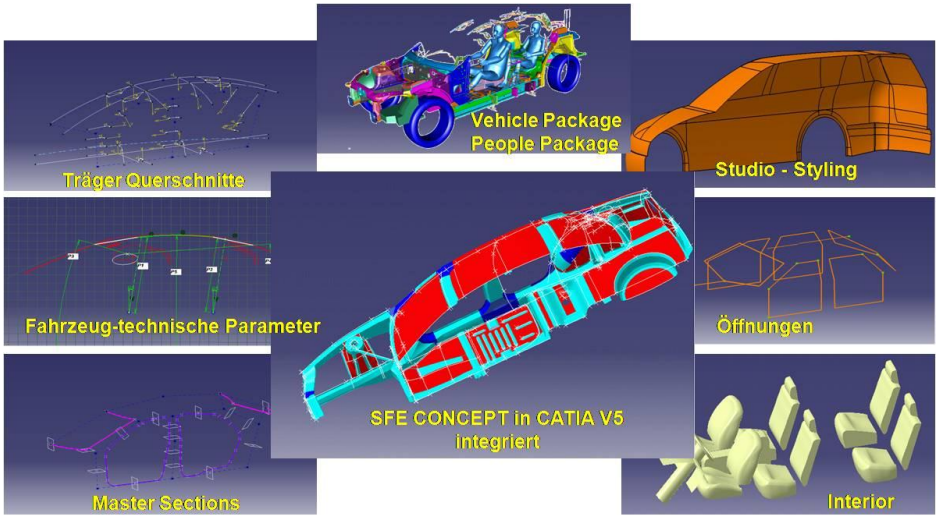


Bild 16

## 9. Literaturverzeichnis


[ 1] ZIMMER, H.; HÖVELMANN, A.; SCHMIDT, H.; UMLAUF, U.; FRODL, B.; HÄNLE, U.: Entwurfstool zur Generierung parametrischer, virtueller Prototypen im Fahrzeugbau, VDI-Bericht Nr. 1559, 2000

[ 2] LEOHOLD, J.: „Leichtbau – Herausforderung und Potentiale“, FAT-Forum, $CO_2$ Reduzierung durch Leichtbau, 9. Dezember , 2008, Frankfurt

[ 3] HÄNSCHKE, A.; HILMANN, J.: „Der Einsatz vereinfachter Modelle zur verbesserten Auslegung der passiven Fahrzeugsicherheit in der Konzeptphase“, Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, Oktober 2001, Aachen.

[ 4] HEISERER, D.; ZIMMER, H.; HOLZHEUER, C.; KONDZIELLA, R.: „Formoptimierung in der frühen Phase der Karosserieentwicklung“, VDI Bericht Nr.: 1846, 2004

[ 5] QUADBECK, M.; ZIMMER, H.; SCHÄFER, M.: „Strukturoptimierung für Crash-Lastfälle anhand parametrischer Flächen- und assoziativer Berechnungsmodelle“, 4. LS-DYNA Anwenderforum, Bamberg, 2005

[ 6] ZIMMER, H.; PRABHUWAINGANKAR, M.: „Implicitly parametric CRASH and NVH analysis in the vehicle concept design phase“, 4. LS-DYNA Anwenderforum, Bamberg, 2005

[ 7] VOLZ, K.; DIRSCHMID, F.; DUDDECK, F.: „Optimierung der Crasheigenschaften von Rohkarosserien in der frühen Phase der Produktentwicklung“, VDI-Bericht Nr.: 1967, 2006

[ 8] TECKLENBURG, G.: „Die parametrische assoziative Konstruktion im Entwicklungsprozess Karosserie“, Tagung: Parametrisch assoziative Entwicklung von Baugruppen der Fahrzeugkarosserie, Haus der Technik, Essen, 22. - 23. November 2007

[ 9] ZIMMER, H.; SCHUMACHER, A.: „SFE CONCEPT: Funktionsauslegung und Optimierung in der frühen Designphase“, Tagung: Parametrisch assoziative Entwicklung von Baugruppen der Fahrzeugkarosserie, Haus der Technik, Essen, 22. - 23. November 2007

[10] HÄNSCHKE, A.; PAAS, M.: "Methoden und Modelle zur Gesamtfahrzeugoptimierung - Anwendungsbeispiele und Potentiale", FAT-Forum "CO2-Reduzierung durch Leichtbau", 09. Dezember, 2008, VDA Frankfurt/M

[11] FAT-AK27: „Parametrische Verknüpfung des Bauraums und der Strukturkomponenten in der frühen Fahrzeugentwurfsphase – Parametrischer Bauraum“, Forschungsantrag der SFE GmbH Berlin, März 2007

[12] AUTO-OPT – Automobilentwurf durch Simulation und Optimierung; auto>opt Abschlussbericht [www.auto-opt.de] Juni 2005 ; gefördert vom BMBF Kz: 01 IR B01; Herausgeber: Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI

# Impressum

Herausgeber FAT
Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.
Behrenstraße 35
10117 Berlin
Telefon +49 30 897842-0
Fax +49 30 897842-600
www.vda-fat.de

ISSN 2192-7863

Copyright Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) 2013

VDA | Verband der Automobilindustrie

FAT | Forschungsvereinigung Automobiltechnik

Behrenstraße 35
10117 Berlin
www.vda.de
www.vda-fat.de