

Strukturoptimierung für Crashlastfälle anhand parametrischer Flächen- und assoziativer Berechnungsmodelle

Michael Quadbeck

Engineering und Design AG - EDAG, 71063 Sindelfingen, Deutschland
michael.quadbeck@edag.de

In Zusammenarbeit mit:

Hans Zimmer & Michel Schäfer

Gesellschaft für Strukturanalyse in Forschung und Entwicklung mbH - SFE GmbH
Voltastr. 5, 13355 Berlin, Deutschland
h.zimmer@sfe-berlin.de

Boris Lauber

FE-Design GmbH, Haid-und-Neu-Str. 7, 76131 Karlsruhe, Deutschland
boris.lauber@fe-design.de

Abstract:

Die Optimierung von Strukturen in ihrer Gestalt und Topologie ist eine allseits stark nachgefragte Forschungsleistung. Dabei sind die notwendigen Grundlagen und Voraussetzungen an Hard- und Software bislang noch nicht in der Form vorhanden, dass eine allgemeingültige Vorgehensweise und Lösung präsentiert werden könnte. Die Problematik der automatischen Optimierung von Strukturen für ein- oder mehrfachdisziplinäre Lastfälle ist nicht allein nur durch die Nichtlinearitäten im Crashvorgang begründet sondern auch die Gestaltung des Optimierungsprozesses.

Die Forderung nach einfachen und stabilen Verfahrensweisen für die Geometrieerstellung und der berechnungsrelevanten Zusatzinformationen sowie die Notwendigkeit des Vorhandenseins eines geeigneten Optimierungsalgorithmus stellt hohe Anforderungen an die Qualität der Softwareprodukte und an die Schnittstellenkommunikation aller beteiligten Softwarepakete.

Im Folgenden wird eine mögliche Optimierung im Zusammenhang mit den Softwarepaketen SFE CONCEPT, LS-OPT, Optimus und LS-DYNA vorgestellt.

Keywords:

Strukturoptimierung, Multidisziplinär, Schnittstellen, Parametrik, Crashsimulation, Algorithmus

1 Einführung

Für die Strukturoptimierung kommen eine Vielzahl an einflussnehmenden Faktoren in Betracht die einen störenden Einfluss besitzen und im Vorwege auf ihre Wirkung und Plausibilität geprüft werden müssen. Typische Berechnungsabweichungen treten bei der Verwendung unterschiedlicher Elementtypen und Qualitäten auf. Zusätzliche Abweichungen werden aus realen Versuchen und durch deren Ableitung für die Simulation ermittelten Parametern eingebracht. Modellierungsfehler des FE-Ersatz- oder Teilmodells können das eigentliche physikalische Verhalten des Systems ebenfalls stark beeinflussen und zu unbrauchbaren Ergebnissen führen.

Aus diesem Grund ist die zu optimierende Struktur in ihrer Startkonfiguration inkl. der oben angemerkten Störmöglichkeiten möglichst so zu wählen, dass eine aus der Ingenieurserfahrung heraus sinnvolle und plausible Struktur entsteht. Wobei aber genau dies ein weiteres Problem darstellt.

Für die Geometrie gilt, dass eine zu hohe Anzahl an Freiheitsgraden der parametrischen Flächenbeschreibung und eine sehr stark abweichende Anfangsgeometrie vom Optimierungsziel kombiniert mit einem zu großen Variablenbereich, in der Vergangenheit immer wieder zu unbrauchbaren Ergebnissen führte. Nicht zuletzt ist der Misserfolg auch daraus begründet, dass eine sinnvolle Einschätzung der Startparameter durch das Initial Design schwer einzuschätzen ist. Die zur Zeit zugänglichen Optimierungsverfahren wie sie in LS-OPT und Optimus zur Verfügung stehen genügen i.d.R. den Ansprüchen bei linearen und nichtlinearen Problemen - sind allerdings darauf angewiesen mit richtigen und geeigneten Informationen versorgt zu werden. Belanglose, sehr stark streuende oder falsch ermittelte Systemantworten sind als mögliche Informationsquelle für den Optimierungsalgorithmus zu vermeiden. Analog ist hierzu das Bild 6 aus Kapitel 4.3 zu berücksichtigen. Die Schwierigkeit der geeigneten Analyse von Systemantworten und der Ableitung von Korrelationen zwischen den Variablen und Antwort ist für jeden Lastfall im Grunde neu zu definieren. Besonders dann, wenn die Lastfälle in einem sog. Zielkonflikt zueinander stehen und sich auch die Systemantworten in ihrer Komplexität stark unterscheiden, ist die Wahl der Designvariablen unter Berücksichtigung der gewählten Antwortgrößen schwierig einzuschätzen.

Die bereits angedeuteten fehlerhaften Abbildungen von Materialverhaltensweisen aufgrund ungenauer Testergebnisse können einen bedeutenden Anteil der Abweichungen vom Optimierten Simulationsmodell zum Realmodell annehmen. Es sind also nicht einzig die Optimierungsalgorithmen für den eventuellen Misserfolg verantwortlich, sondern ebenfalls das Missverständnis in der korrekten Anwendung und die Qualität der realen Testdaten und des FE-Modells.

2 Parametrische Modelle

Für die iterative Optimierung einer Form sind in der Regel eine Vielzahl an Berechnungen notwendig – die soweit möglich – ohne manuellen Eingriff in einem automatisierten Verfahren organisiert werden. Hieraus entsteht die Forderung nach zuverlässigen Vorgehensweisen zur Flächenänderung und der assoziativen Vernetzung inkl. der Erstellung der notwendigen FE-Randbedingungen. Diese, beinahe schon trivial klingende Forderung, ist das mit Abstand anspruchvollste Aufgabengebiet innerhalb der Optimierung. Größte Hilfestellung wird durch die Steuerung ausgewählter Geometrielemente über die SFE CONCEPT interne Schnittstelle im sog. Batchmode im ASCII Format ermöglicht. Externe Programme wie LS-OPT und Optimus können direkt auf diese Schnittstellen zugreifen und werden so SFE CONCEPT direkt mit in den Optimierungsworkflow integrieren.

Dabei ist SFE CONCEPT im Detail ein Tool für Konzeptentwürfe beliebiger Flächen- und Topologiestrukturen. Die Grundphilosophie von SFE CONCEPT bedient sich dabei einfacher und klar hierarchisch gegliederter Geometrielemente um die gewünschte Flächengeometrie und Topologie zu beschreiben. Die zwingende Strukturgestaltung nach den Regeln von SFE Concept für weiterführende Geometriemodifikationen ist Grundvoraussetzung für die spätere batchgesteuerte Änderung der Gestalt. Über die einfache Variation der Gestalt einer Flächengeometrie hinaus, können übergeordnet auch auf Datenbanken basierende Topologieänderungen vorgenommen werden.

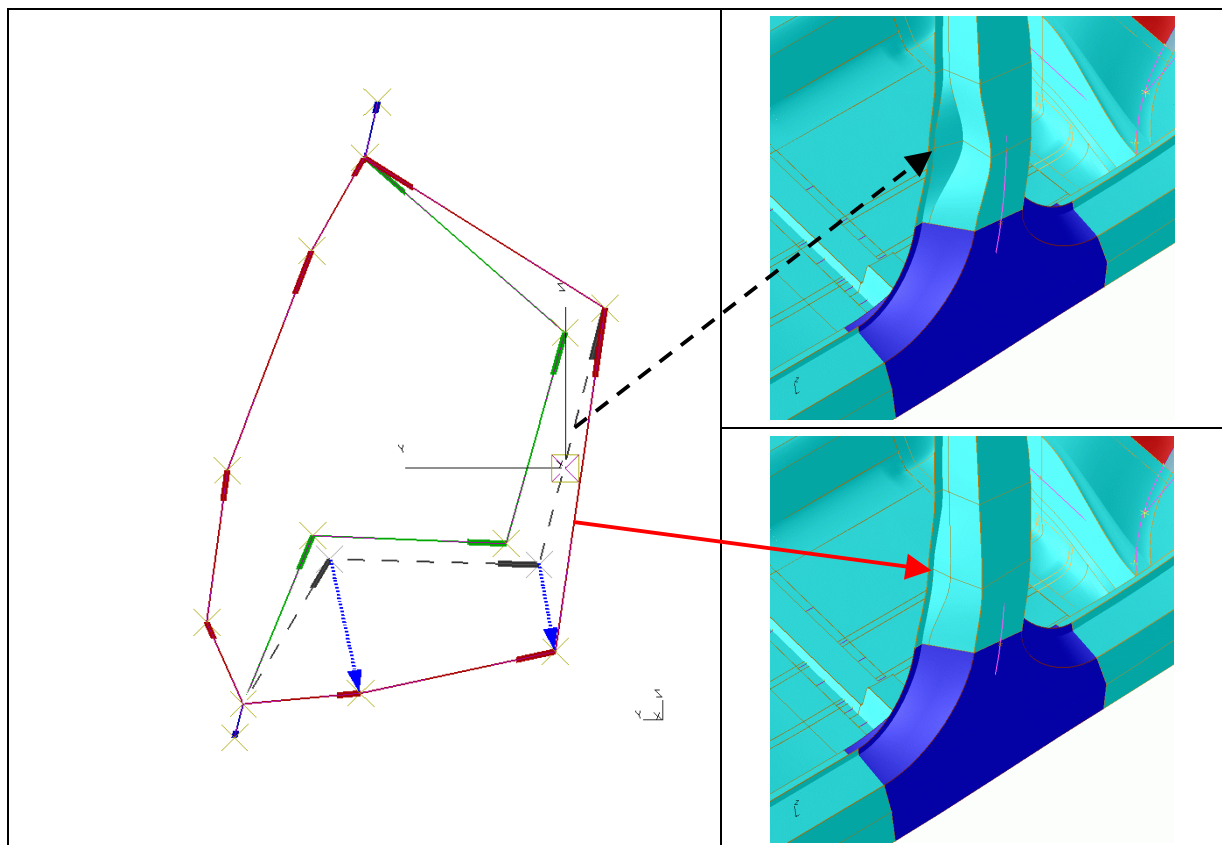


Bild 1 | Typische Querschnittsdefinition und Variation in SFE CONCEPT durch charakterisierende Eckpunkte des Querschnittes.

Der Zusammenhang der Grundelemente in SFE CONCEPT kann gut mit einer hierarchischen Rangfolge in Bild 2 im Vergleich betrachtet werden, wobei jedes einzelne Segment der Kette seine Information immer an das nächst niedrigere Kettenglied weitergibt. Das Ranghöchste und somit auch einflussstärkste Geometrielement ist der Einflusspunkt (IP). Eine Änderung seiner Position beispielsweise wirkt sich auf alle aufbauende Topologie- und Flächenelemente aus. Der IP bildet zusammen mit der Basislinie und der Basiskontur die komplette Bandbreite der Topologie und der Gestalt des Modells ab. Alle Balken-, Zwischen- und Verbindungsflächen werden automatisch erzeugt bzw. neu interpretiert.

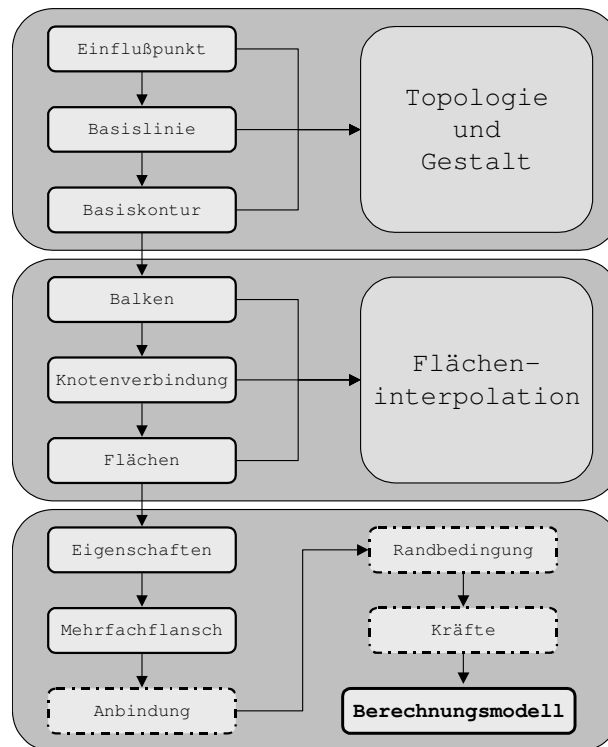


Bild 2 | Hierarchie- und Informationsstruktur eines SFE CONCEPT-Modells

Die Ableitung von möglichen Designvariablen für die spätere Optimierung ist aus allen drei Teilbereichen der Grafik denkbar. Für das hier vorgestellte Modell wurden die Koordinaten von einzelnen Einflusspunkten (IP) und Eckpunkte unterschiedlicher Basiskonturen sowie die Eigenschaften mehrerer PID's durch Wandstärkenänderungen modifiziert.

Die Definition der Designvariablen und deren Ober- und Untergrenzen kann mittels der grafischen Oberfläche von SFE CONCEPT vorgenommen werden. Dabei genügt es die Änderungen der Parameter interaktiv aufzuzeichnen, diese werden dann in einer Designvariablen gespeichert. Zudem können die Designvariableninformationen direkt zu verschiedenen Optimierungstools wie z.B. LS-OPT und Optimus exportiert werden. Die Steuerung der Designvariablen im sog. Batchmode von SFE CONCEPT durch Eingabedaten im ASCII-Format ermöglicht den direkten Zugriff durch die Optimierungstools. Mit dem internen Finite Elemente-Generator von SFE CONCEPT ist es möglich direkt zu jeder Geometrie ein FE-Modell zur Analyse abzuleiten.

3 Modelldefinition

3.1 Modellaufbau

Das verwendete Designmodell ist ein Fahrzeughalbmodell auf Basis einer viertürigen Limousine. Zur Vereinfachung des Modells werden keine Türen oder Interieur sowie Fahrwerksbauteile mitberücksichtigt. Das Halbmodell wird auf Höhe des Y0 Schnittes fest gelagert. Eine Modellierung der symmetrischen nicht abgebildeten rechten Fahrzeugstruktur wäre ersatzweise auch durch einen Starrkörper mit bestimmten Trägheitseigenschaften ersatzweise darstellbar gewesen würde aber zugunsten der Vereinfachung der Parse Funktionen für die Auswertepunkte hier vernachlässigt. Die Belastung der Fahrzeugstruktur wird durch eine stark vereinfachte Barrierenkonstruktion dargestellt. Diese bewegt sich mit der konstanten Geschwindigkeit von 5 m/s seitlich auf Höhe der B-Säule auf die Fahrzeugstruktur zu. Die Barriere besitzt eine gleichmäßig verteilte Masse von 1000kg. Siehe Bild 3.

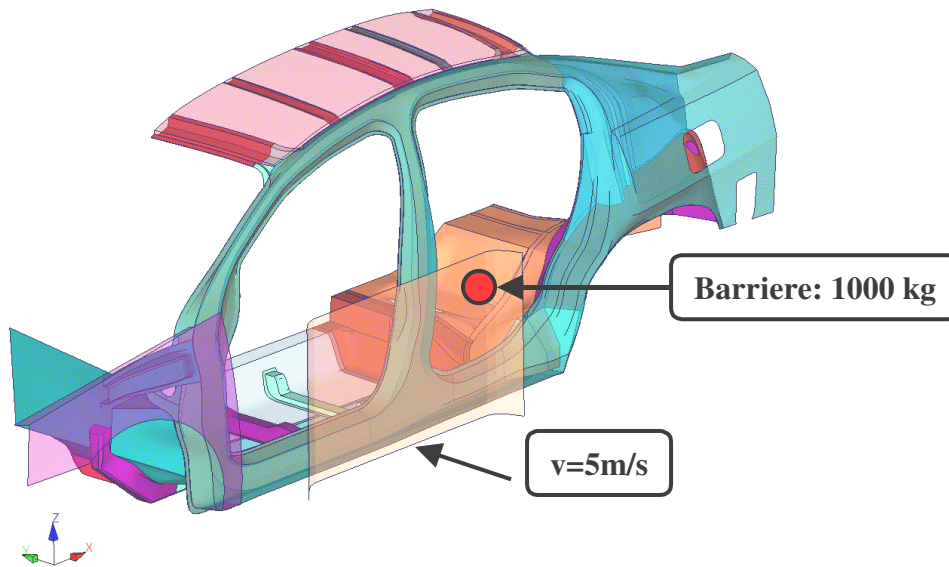


Bild 3 | Darstellung der Fahrzeug- und Belastungsstruktur und Wirkungsrichtung

3.2 Designvariablen

Die kinetische Energie des Barrierensystems wird durch die Deformation im Schweller und Bodenbereich abgebaut. Aus den Deformationen des Ausgangssystems wurden geeignete Designvariablen erarbeitet, welche für diesen Lastfall eine direkte Relevanz besitzen und erfahrungsgemäß die Struktur während der Optimierung positiv beeinflussen, um das Erreichen des Optimierungsziels zu unterstützen.

Die Verteilung der Variablen ist in der Tabelle 1 und der Abbildung 4 dargestellt.

Nr.	Bezeichnung	Wirkung
1	B_FLOOR_CM_POS_X	X-Position hinterer Quertraeger
2	AB_FLOOR_CM_POS_X	X-Position vorderer Quertraeger
3	B_FLOOR_CM_MID_HEIGHT	Höhe des hinteren - mittleren Quertraegerstückes
4	AB_FLOOR_CM_MID_HEIGHT	Höhe des vorderen - mittleren Quertraegerstückes
5	C_FLOOR_CM_WIDTH	Breite des hinteren Sitzbankquertraegers
6	LWR_B_PLR_J_FRT_STIFF	Position vorderes Schottblech
7	LWR_B_PLR_J_RR_STIFF	Position hinteres Schottblech
8	AB_ROCKER_STIFF	Position des vorderen Schweller-Versteifungsbleches
9	BC_ROCKER_STIFF	Position des hinteren Schweller-Versteifungsbleches
10	B_PLR_STIFF	Position des B-Saeulen-Versteifungsbleches
11	PID_2_FLOOR	Blechstärke Boden
12	PID_3_B_FLOOR_CM	Blechstärke vorderer Quertraeger
13	PID_4_AB_FLOOR_CM	Blechstärke hinterer Quertraeger
14	PID_20_STIFFENER	Blechstärke der Versteifungsbleche im Schweller
15	PID_106_B_PLR_J_STIFF	Blechstärke des Versteifungsbleches B-Saeule

Tabelle 1 | Designvariablen für das Optimierungsproblem anhand des Seitencrashmodells

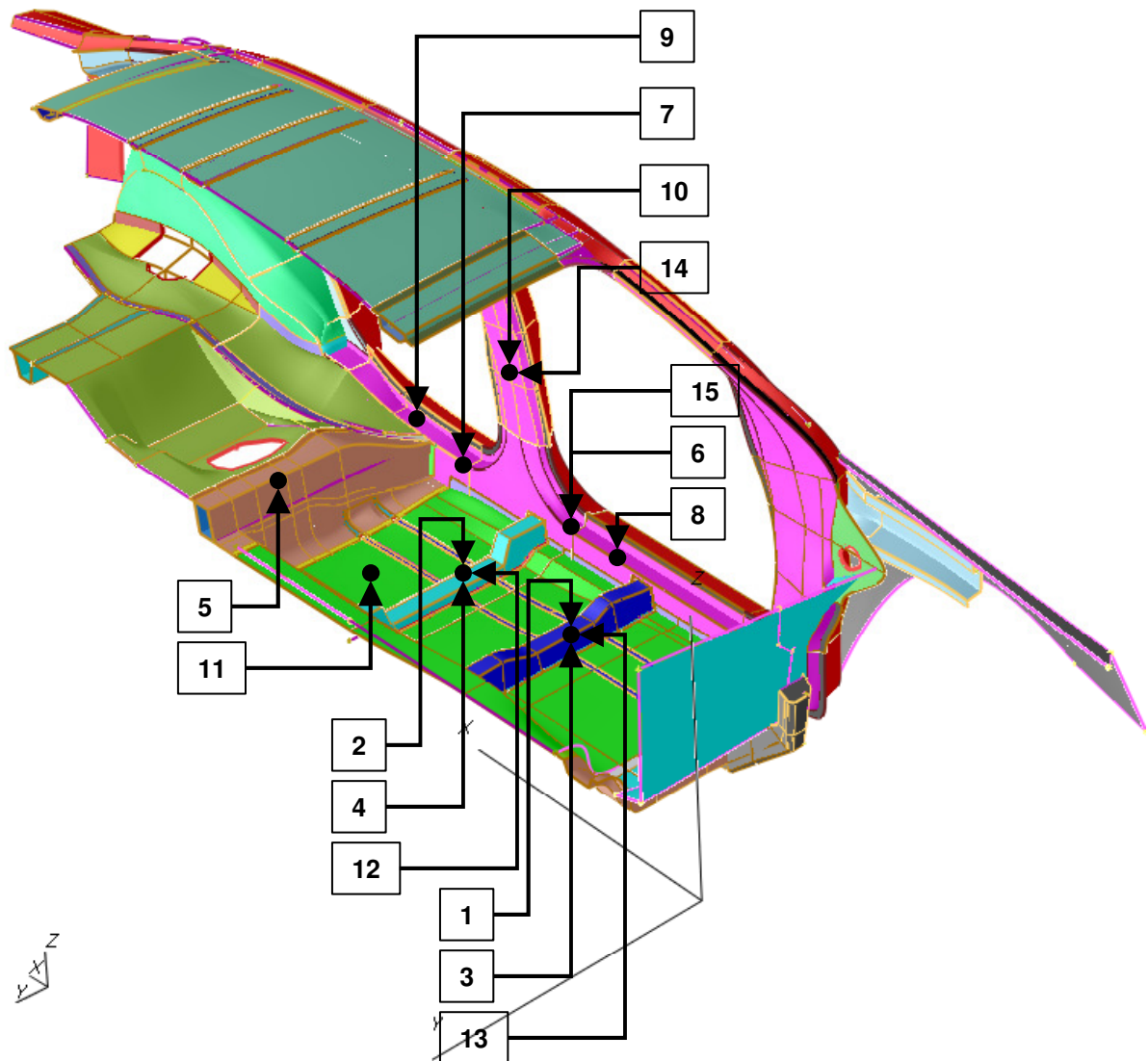


Bild 4 | Markierung der Änderungsbereiche im SFE CONCEPT-Modell

4 Optimierungszielrechnung

4.1 Optimierungsziel

Als Ziel für die Optimierung wurde die Reduzierung der Masse des Fahrzeugsystems gewählt. Die Randbedingungen wurden dabei so gewählt, dass die Eigenschaften des Ausgangssystems weiterhin erfüllt werden.

Das Gesamtproblem wird folgend definiert:

Minimiere	Masse (x_{crash})	Initial Design = 139,3 kg (nur FZG)
Randbedingung	Intrusion (x_{crash})	P12 < 75 mm P13 < 90 mm P14 < 150 mm

Die Zeitliche Verteilung der Intrusionswerte der Punkte 12 bis 14 wird im Bild 5 für das Ausgangssystem dargestellt.

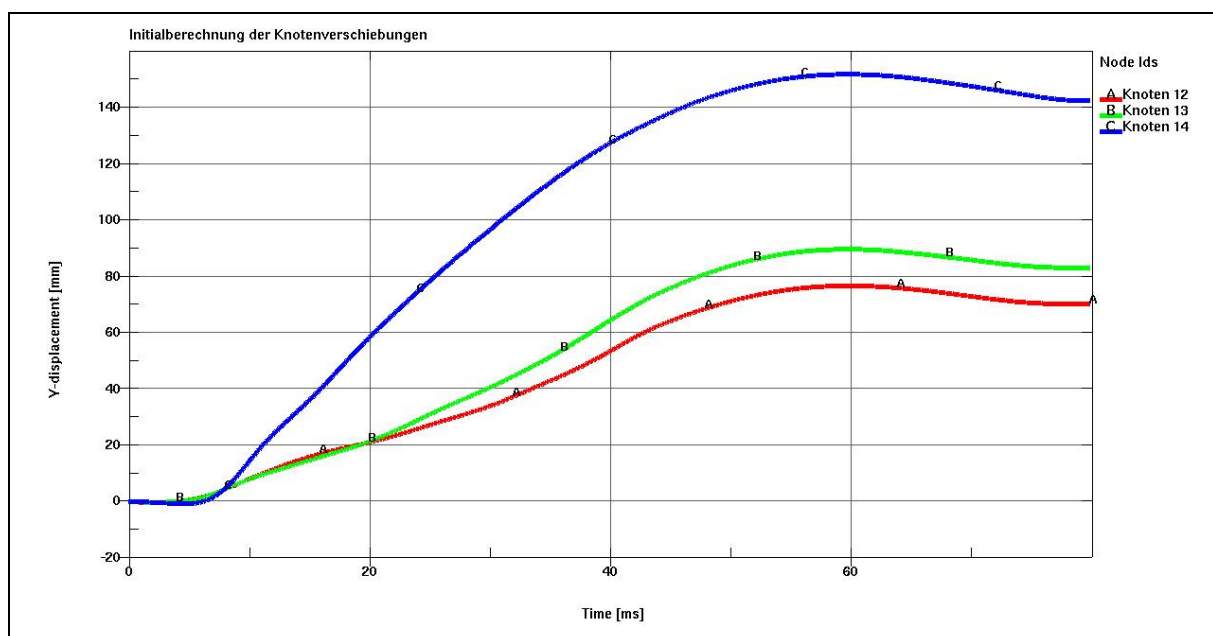


Bild 5 | Intrusionswerte der Punkte 12 bis 14 in der Ausgangsvariante

4.2 Systemantworten

Die Auswahl und Bewertung der Systemantworten sollten im idealen Fall repräsentativ für das Optimierungsproblem sein. Sicherlich ergibt sich zwangsläufig aus der Forderung einer Minimierung der Masse und Einhaltung von bestimmten Intrusionen eine angepasste Auslesung der dafür notwendigen Daten – allerdings stellt sich die Frage, ob eine zusätzliche Systemantwort für bestimmte Problemstellungen notwendig sein kann, um den Optimierungserfolg zu erhöhen. Laufende Untersuchungen zu diesem Thema ergeben eine bislang unscharfe Deutung der Zusammenhänge und deren gezielten Einsatz von zusätzlichen Systemantworten für die Optimierung. Für die hier dargestellte Optimierung wurde auf die Registrierung von weiteren Systemantworten verzichtet. Aber auch die Registrierung von eventuell vorgeschriebenen Systemantworten ist bei starken Oszillationen und unzureichenden Filterungsmöglichkeiten eine zusätzliche Fehlerquelle, wenn diese mit stark schwankender Qualität mit in den Optimierungsprozess eingebunden wird.

4.3 Designvariablen und weitere Faktoren

Für die Optimierung der Struktur sind geeigneten Variablen zu definieren, welche soweit bekannt, direkten und sinnvollen Einfluss während der Optimierung besitzen. Obwohl sich der Einfluss von Variablen erst aus einer hohen Anzahl von Berechnungsvariationen darstellen lässt, so hat sich aus vorrangegangenen Untersuchungen die in Bild 6 dargestellte Einflusshierarchie auf den Optimierungserfolg von Strukturformen ergeben.

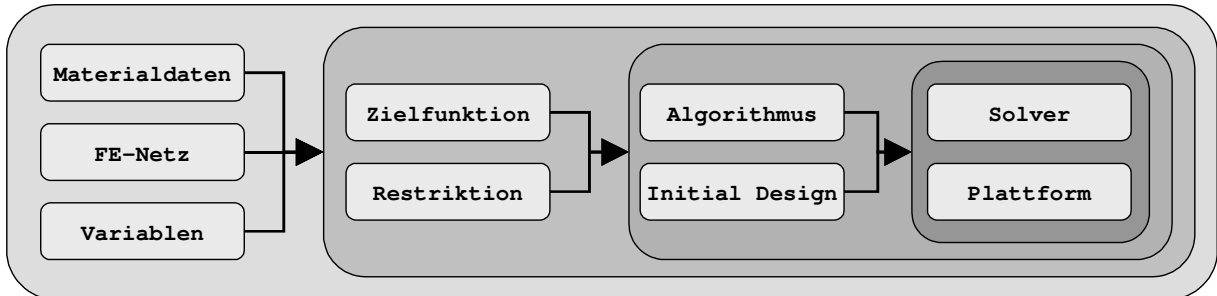


Bild 6 | Erfahrungsgemäße - hierarchisch geordnete - Einflussfaktoren auf die Optimierung der Gestalt von Strukturen

Selbstverständlich besitzt die in Bild 6 gezeigte Einflussabstufung nur eingeschränkte Gültigkeit welche abhängig vom Gesamtverhalten des Systems und Optimierungsziel sich durchaus ändern kann. Eventuelle Wechselwirkungen der Hierarchiestufen sind generell vorhanden, sind aber wie oben erwähnt, nicht direkt einer Gesetzmäßigkeit zuzuordnen.

4.4 Optimierungsverfahren

Die hier vorgestellte erfolgreich integrierte Optimierung wurde mit einem genetischen Algorithmus [7] in Optimus durchgeführt. Die Designvariablen, Randbedingungen und Ziele der Optimierung entsprechen denen in Kapiteln 3.2 und 4.1 dargestellten Einstellungen. Der mit SFE CONCEPT und Optimus intern realisierte Workflow ist in Bild 7 abgebildet.

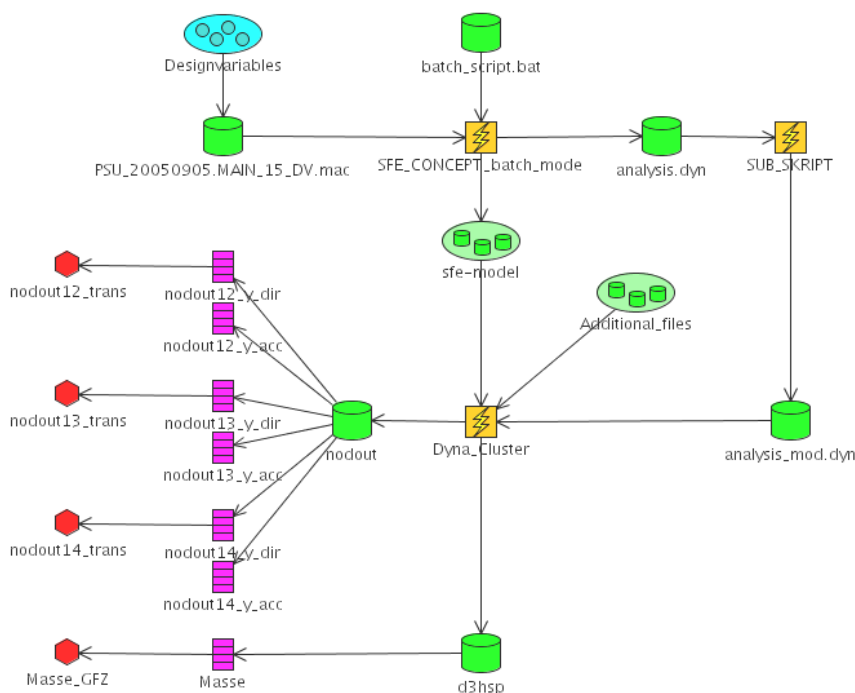


Bild 7 | Optimierungssteuerung innerhalb von Optimus

Aufgrund der zu erwartenden stark nichtlinearen Systemantworten des Modells würde für die Optimierung mit LS-OPT die Anwendung des SRSM-Verfahrens [1] (successive response surface method) mit einer quadratischen Ansatzfunktion gewählt werden. Der durch die quadratische Approximierung des Analysemodell erforderliche erhöhte Rechenaufwand rechtfertigt sich aus qualitativen Gründen und oft auch aus wirtschaftlichen Gründen aufgrund einer schnelleren Konvergenz und sicheren Optimierung - wie aus bereits kleineren Untersuchungen bestätigt. Durch die daraus resultierenden geringeren Varianzen des erstellten Ersatzmodells können nachträglich im eingeschränkten Umfang weitere Untersuchungen vorgenommen werden.

Leider ist bis zur Fertigstellung dieser Schriftstückversion kein funktionierender Optimierungsablauf mit LS-OPT entstanden, so dass bis auf Weiteres erst zum Ende des Jahres 2005 mit konkreten Lösungen und Ergebnissen gerechnet werden kann. Der interessierte Leser wird daher gebeten, sich an Herrn Dr. H. Müllerschön oder direkt an den Autor Herrn M. Quadbeck zu wenden.

4.5 Optimierungsprozess

Der Optimierungsprozess in Bild 8 repräsentiert die allgemeingültige Struktur eines Optimierungsablaufes. Im Detail unterscheidet sich dieser nur durch die Verwendung unterschiedlicher Optimierungssoftware und durch die Berücksichtigung berechnungsspezifischer Angaben sowie eventueller Schnittstellenprobleme. Auch hier gilt, dass dieser Prozess in sich fehlerlos funktionieren muss – wobei genau diese Vorgabe durch teilweise nicht erklärbare Phänomene empfindlich gestört werden kann. Bei Eintreten solcher Ereignisse muss der Prozess oder das Modell entsprechend geändert werden oder es müssen nachträglich nicht relevante, sowie fehlerhafte Berechnungen aus der Bewertung der Optimierung beseitigt werden, um die Qualität der Responsemodelle zu gewährleisten.

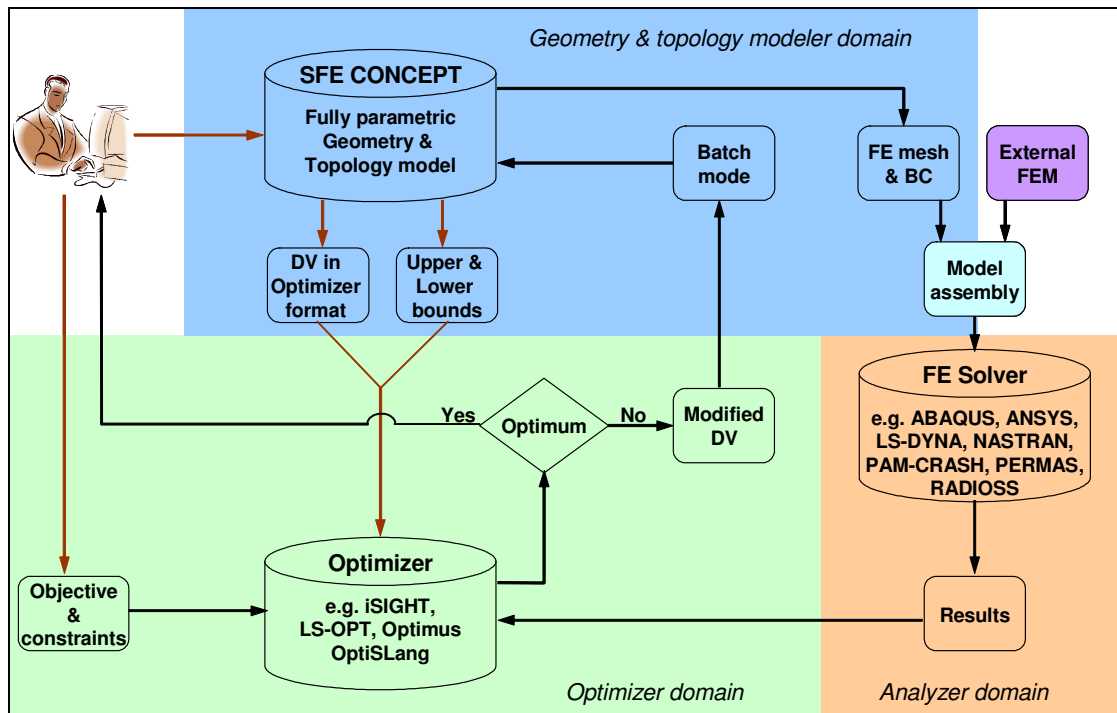


Bild: 8 | Allgemeine Darstellung des Optimierungsablaufes und der Vorgehensweise

5 Optimierungsergebnis

-> 20 Oktober, LS-DYNA Konferenz in Bamberg

6 Zusammenfassung

-> 20 Oktober, LS-DYNA Konferenz in Bamberg

7 Literatur

- [1] LS-OPT online Handbuch für die Version 2.2, 2005
- [2] SFE GmbH, SFE CONCEPT™ V3 Reference manual, 2005
- [3] Stuhec,U.; Zhou,S.; Shahidi,B.; Zimmer,H.; Prabhuwaingankar,M.: CAE Concept Design-a Key Enabler in Virtual Product Development: 11th International Conference on Human-Computer Interaction, Las Vegas, Nevada USA, July 22-27,2005
- [4] Hoppe, A.; Zimmer,H.; Widmann,U.; Papke,L.; et al: Multidisziplinäre Optimierung parametrischer Fahrzeugkomponenten: Entwicklungen im Karosseriebau, Hamburg, 4.- 5.Mai 2004: VDI Berichte 1833
- [5] Heiserer,D.; Zimmer,H.; Schäfer,M.; Holzheuer,Ch.;Kondziella,R.: Formoptimierung in der frühen Phase der Karosserieentwicklung: Berechnung und Simulation im Fahrzeugbau, Würzburg, 29.- 30.September 2004: VDI Berichte 1846
- [6] 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
- [7] Optimus Benutzerhandbuch
- [8] Quadbeck, M.; Diplomarbeit „Optimierung von Crashkomponenten basierend auf parametrischen Entwurfsmodellen mit assoziativen Berechnungsmodellen“ HAW Hamburg, 2005

