

## **RECHNERUNTERSTÜTZUNG IN DER KONZEPTPHASE – ERWEITERUNG EINES KONSTRUKTIONSSASSISTENZSYSTEMS**

*Christian Hauck*

### **Kurzfassung**

Die Rechnerunterstützung in späten Konstruktionsphasen wie der Entwurfs- und Ausarbeitungsphase ist heutzutage als befriedigend zu bezeichnen. Frühe Phasen des Konstruktionsprozesses wie die Konzeptphase werden hingegen nur unzureichend unterstützt. Im Teilprojekt A1 des Sonderforschungsbereiches 396 soll das bereits für späte Phasen existierende, auf flächige Leichtbaukomponenten ausgerichtete Konstruktionsassistenzsystem daher in die Konzeptphase erweitert werden.

### **1 Einleitung**

Im Teilprojekt A1 des Sonderforschungsbereichs 396 „Robuste, verkürzte Prozessketten für flächige Leichtbauteile“ wird ein Konstruktionsassistenzsystem entwickelt, welches auf einem integrierenden Ansatz beruht [5] und alle Konstruktionsphasen des Produktentstehungsprozesses berücksichtigen soll. Das Grundkonzept des Assistenzsystems wurde vom Konstruktionsystem *KSmfk* übernommen, welches seit vielen Jahren am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik entsteht. In Phase I und II des Sonderforschungsbereichs war es das Ziel, geeignete Methoden und ggf. Software-Tools zu entwickeln, um speziell in der Entwurfs- und Ausarbeitungsphase den Konstruktionsprozess robuster zu gestalten und die Entwicklungszeiten zu minimieren. Einerseits wurden wissensbasierte Synthesemöglichkeiten geschaffen, z.B. eine wissensbasierte Synthese von Gussaugen. Andererseits können verschiedenste Analysen bezüglich des Konstruktionsobjektes durchgeführt werden, z.B. die Überprüfung der Gussgerechtigkeit eines Objektes. In der dritten Phase des Sonderforschungsbereichs soll nun das Konstruktionsassistenzsystem weiter auf frühe Konstruktionsphasen ausgedehnt werden, im Besonderen soll auf die Konzeptphase eingegangen werden. Es ist zu untersuchen, inwieweit verschiedene Methoden und Software-Tools in dieser Phase den Konstrukteur bei der Konzeption von flächigen Leichtbauteilen bzw. Komponenten unterstützen können, sodass die gesamte Prozesskette robuster gestaltet und verkürzt werden kann. Als Demonstrator, an welchem alle erarbeiteten Methoden und Softwarewerkzeuge evaluiert werden, kommt im Sonderforschungsbereich eine Kfz-Tür zum Einsatz.

### **2 Anforderungen an das Assistenzsystem**

Charakteristisch für die Planungs- und Konzeptphase des Konstruktionsprozesses ist, dass in diesen Phasen so gut wie keine Geometrie von Bauteilen bzw. Gruppen vorliegt. Erste geometrische Elemente werden erst beim Übergang von der Konzeptphase zur Entwurfsphase erzeugt [1].

#### **2.1 Synthese und Analyse von Haupt- und Teilfunktionen**

Das Aufstellen der Haupt-/Teilfunktionen bzw. der Funktionsstruktur ist der erste Schritt innerhalb der Konzeptphase nach VDI 2221. Flächige Leichtbauteile, hier als Beispiel eine Kfz-Tür, weisen als Rohbauverbund, unabhängig von der Baustruktur, nur einige wenige Teilfunktionen auf. Betrachtet man diese näher, so ist festzustellen, dass die Mehrheit dieser Funktionen einen äußerst passiven und sehr abstrakten Charakter aufweist, d.h. es ist nicht

möglich, aus den Teilfunktionen eine Funktionsstruktur zu bilden. Es kann zwischen Funktionen unterschieden werden, die sich auf den Rohbauverbund beziehen und zwischen solchen, die die durch alle Anbauteile fertig montierte flächige Baugruppenkomponente als Ganzes betrachten. Im Folgenden sind beide Funktionsgruppen aufgeführt:

Rohbauverbund:

- Seitencrashbelastung aufnehmen
- Karosserie versteifen (bei Offsetcrash)
- Außenhaut aufnehmen
- Verriegelungsmechanismus (Schloss) aufnehmen
- Türführung bereitstellen
- Aggregate(träger) aufnehmen
- Fenster führen
- Fensterhebermechanismus bereitstellen/aufnehmen
- usw.

Flächige Komponente als Gesamtstruktur:

- Innenraum abdichten
- Innenraum schützen (Insassen schützen gegen X)
- Innenraum sichern (gegen unbefugten Zugriff)
- Innenraum belüften
- Innenraum öffnen/schließen
- Aussicht ermöglichen
- Käufer gefallen
- etc.

Betrachtet man beide Gruppen genauer, so ist zu erkennen, dass sich die zweite Funktionsgruppe auf abstrakterem Niveau befindet als die erste. Sie soll deshalb zunächst nicht zur Rechnerunterstützung herangezogen werden.

Ziel muss es sein, den Konstrukteur so zu unterstützen, dass für das flächige Leichtbauteil bzw. Komponente ein möglichst hoher Grad an Funktionsintegration erreicht wird. D.h., dass ein Einzelbauteil nach Möglichkeit mehr als eine einzige Funktion erfüllen soll, was Potentiale z. B. hinsichtlich des Gesamtgewichts, der Kosten und der Montage erschließen kann.

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, wird das Assistenzsystem in einen Synthese- und Analyseteil gegliedert werden. Im Syntheseteil muss es dem Konstrukteur ermöglicht werden, alle Teilfunktionen der Komponente zu bestimmen. In einem späteren Analyseschritt

kann dann der Grad der Funktionsintegration überprüft und dem Konstrukteur gezielt Verbesserungsvorschläge unterbreitet werden. Hierzu ist es ebenfalls sinnvoll, das in Phase I und II im Sonderforschungsbereich entwickelte Informationssystem „HYMIS“ [2] um einen Funktionsbereich zu erweitern.

Da im Allgemeinen der Abstraktionsgrad der Teilfunktionen flächiger Baukomponenten sehr hoch ist, soll sich die Rechnerunterstützung hauptsächlich auf den zweiten Teil der Konzeptphase, nämlich auf die Prinziplösungsmodellierung, konzentrieren.

## 2.2 Synthese und Analyse von Prinziplösungen

In Phase I und II des Sonderforschungsbereiches 396 wurden die zu Beginn der Entwurfsphase entstehenden Baustrukturvarianten analysiert und bewertet. Diese Baustrukturvarianten charakterisieren sich dadurch, dass sie geometrisch bereits sehr detailliert modelliert sind. Um Aussagen hinsichtlich einzusetzender Fertigungsverfahren, einer Kostenabschätzung und anderer Kriterien bereits früher in der Konzeptphase treffen zu können, müssen hingegen abstraktere Prinziplösungen untersucht werden. D.h. es muss eine Möglichkeit geschaffen werden, die Synthese von Prinziplösungen flächiger Bauteilkomponenten zu unterstützen.

Hierzu muss unter anderem das Datenmodell des Sonderforschungsbereichs entsprechend modifiziert bzw. erweitert werden. Es sollen bei der Synthese auch neuartige Werkstoffverbunde, wie sie im Sonderforschungsbereich entwickelt werden, Berücksichtigung finden. Hier sind vor allem Metallschaumverbunde und Kunststoff-Metall-Hybridstrukturen zu nennen.

Die Analyse der synthetisierten Prinziplösungen erfolgt hinsichtlich folgender Kriterien:

Ausgehend von der Prinziplösung können benötigte Fertigungsverfahren zur Fertigung der Leichtbaukomponente abgeleitet werden. Das firmeninterne PDM-System kann nun Auskunft darüber geben, ob die notwendigen Fertigungsprozesse im eigenen Hause möglich sind oder nicht. Weiterhin wird vom Analyseteil des Assistenzsystems ermittelt, wie hoch der Modularisierungsgrad der Konstruktion ist, d.h. inwiefern eine Ableitung von Baureihen möglich erscheint. Über den prinzipiellen Aufbau kann auch eine Abschätzung der Gesamtkosten der Komponente erfolgen, da alle relevanten Daten über verwendete Werkstoffe, Verbindungstechniken, Fertigungsverfahren usw. bekannt sind. Die Montagegerechtheit wird ebenfalls vom System wissensbasiert überprüft. Ist der prinzipielle Aufbau bekannt, so kann das Gesamtgewicht des Bauteils bestimmt werden, dies jedoch nur qualitativ gegenüber anderen Konstruktionsvarianten, da für eine genauere Schätzung einfach zu wenig Information zu diesem Zeitpunkt vorhanden ist. Bereits in diesem Stadium kann ebenfalls eine regelbasierte Analyse hinsichtlich der Demontagegerechtheit erfolgen.

Abschließend ist festzustellen, dass eine klassische Funktionsmodellierung für flächige Leichtbaukomponenten nur bedingt sinnvoll ist. Auch sind andere klassische Tätigkeiten in der Konzeptphase nach VDI 2221 wie z. B. „Suchen von Wirkprinzipien zur Erfüllung der Teilfunktionen“ oder „Kombinieren der Wirkprinzipien zur Wirkstruktur“ i. A. bei flächigen Leichtbaukomponenten nicht möglich. Bild 1 zeigt die Konstruktionstätigkeiten der Konzeptphase, wie sie typischerweise bei flächigen Leichtbauteilen auftreten, sofern der Fokus des Konstruktionsprozesses auf der Rohbaustruktur liegt.

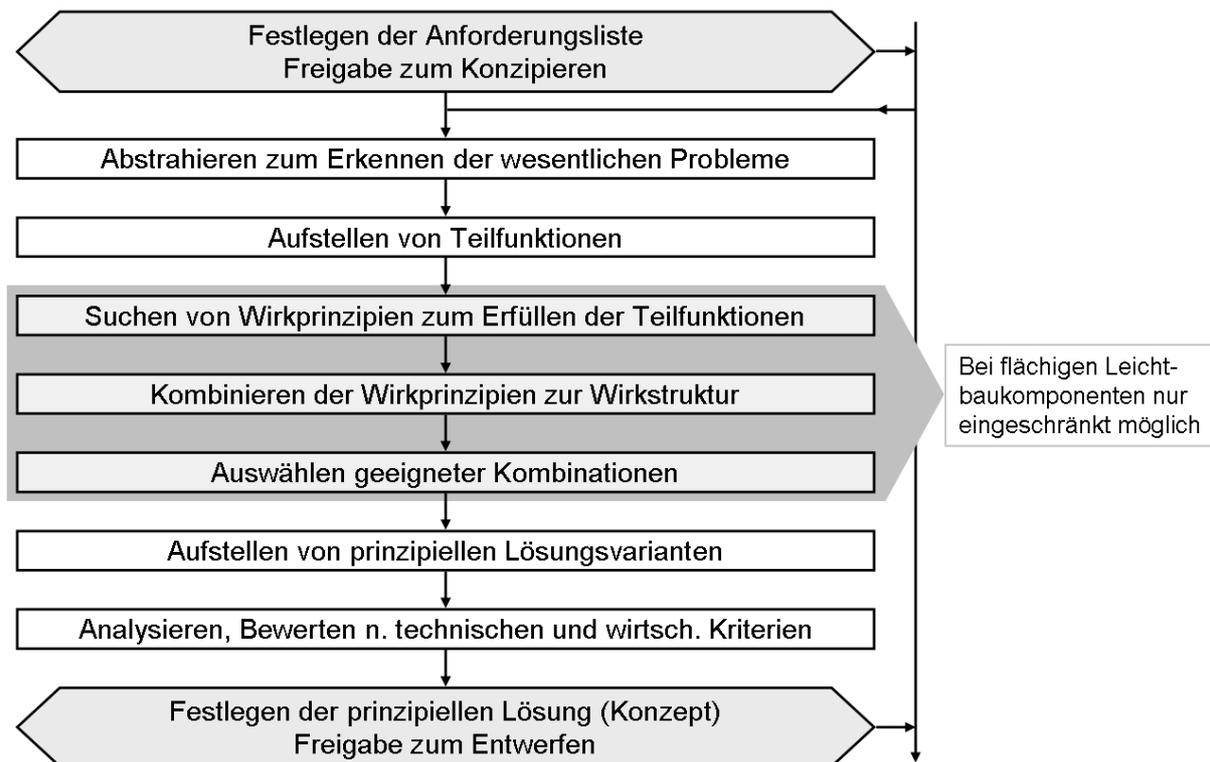


Bild 1: Konstruktionstätigkeiten während der Konzeptphase nach VDI 2221

### 3 Konzept zur Erweiterung des Assistenzsystems

Das Konzept der Rechnerunterstützung kann wiederum grob in die Bereiche „Funktionsmodellierung“ und „Prinziplösungsmodellierung“ unterteilt werden.

#### 3.1 Rechnerunterstützung der Funktionsmodellierung

Wie bereits in Kapitel 2 festgestellt, ist es für flächige Leichtbauteile bzw. -Komponenten nicht möglich, sehr detaillierte Teilfunktionen bzw. Funktionsstrukturen anzugeben, wie es z.B. für Haushaltsgeräte möglich ist. Auch soll hier speziell der „flächige“ Charakter der Komponente Berücksichtigung finden, d.h. der Fokus liegt eher auf der Rohbaustuktur als auf Einbauelementen. Auch fällt bei einer genaueren Untersuchung der Teilfunktionen auf, dass viele Funktionen sehr häufig bei bestimmten Kategorien von Leichtbauteilen anzutreffen sind. Es erscheint sinnvoll, dass dem Assistenzsystem eine Datenbank hinterlegt wird, in der alle gängigen Teilfunktionen verfügbar sind, klassifiziert nach den verschiedenen Kategorien von Leichtbauteilen bzw. Komponenten, wie z. B. Türen/Klappen, Karosserieteile, Gehäuseteile (Gruppe Haushaltsgeräte) usw.. Beginnt der Konstrukteur seine Arbeit, wird er zunächst die Hauptkategorie und ggf. weitere Unterkategorien des zu entwerfenden Produkts auswählen. Es werden ihm alle verfügbaren Teilfunktionen angezeigt und er kann diese Auswahl modifizieren, d.h. Funktionen löschen oder weitere Teilfunktionen in das System eingeben. In einem späteren Schritt können alle Teilfunktionen den einzelnen Elementen der erarbeiteten Prinziplösung zugeordnet werden. Hierdurch ist eine Analyse der Höhe der Funktionsintegration möglich.

Eine weitere Möglichkeit, den Konstrukteur hinsichtlich Funktionsmodellierung zu unterstützen, besteht in der Erweiterung des in Phase I und II entstandenen Hypermedia-Informationssystems „HYMIS“ [2]. Dieses System stellt in aufbereiteter Weise dem Konstrukteur nicht formalisierbares Konstruktionswissen über alle Phasen des Konstruktionsprozesses

ses zur Verfügung. Um die Funktionsmodellierung zu unterstützen, werden alle für flächige Leichtbaukomponenten typischen Teilfunktionen in das System eingepflegt und mit verschiedenen, nicht formalen Wissensbasen verknüpft. Dies sind hauptsächlich bewährte Prinziplösungen, an welche verschiedene weitere Daten, wie zu beachtende Randbedingungen usw., gelinkt werden können.

Weiterhin wird untersucht werden, in wieweit das am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik entstandene Leichtbau-Portal „LEIBIS“ [6] in das Hypermedia-Informationssystem „HYMIS“ integriert werden kann. Im Leichtbau-Portal „LEIBIS“ kann sich der Konstrukteur über verschiedene Leichtbaustrategien bzw. -Arten informieren.

### 3.2 Rechnerunterstützte Prinziplösungsmodellierung

Betrachtet man „konventionelle“ Prinziplösungen technischer Systeme oder Teilsysteme (Prinziplösungen nicht eingeschränkt auf flächige Leichtbaukomponenten), so kann festgestellt werden, dass diese über ein Baukastenprinzip aufgebaut werden, d.h. sie werden aus einer Fülle von Standard-Prinzipenlementen wie z. B. Achsen, Lagern, Gehäusen usw. modelliert. Diese Methodik kann auch auf flächige Leichtbauteile bzw. Leichtbaukomponenten übertragen werden. Auch hier werden viele für den flächigen Leichtbau typische Prinziplösungselemente eingesetzt, im Folgenden als Konzept-Features bezeichnet. Es handelt sich hierbei prinzipiell um geometrische Bauelemente, Verbindungen usw., wie Bild 2 zeigt.

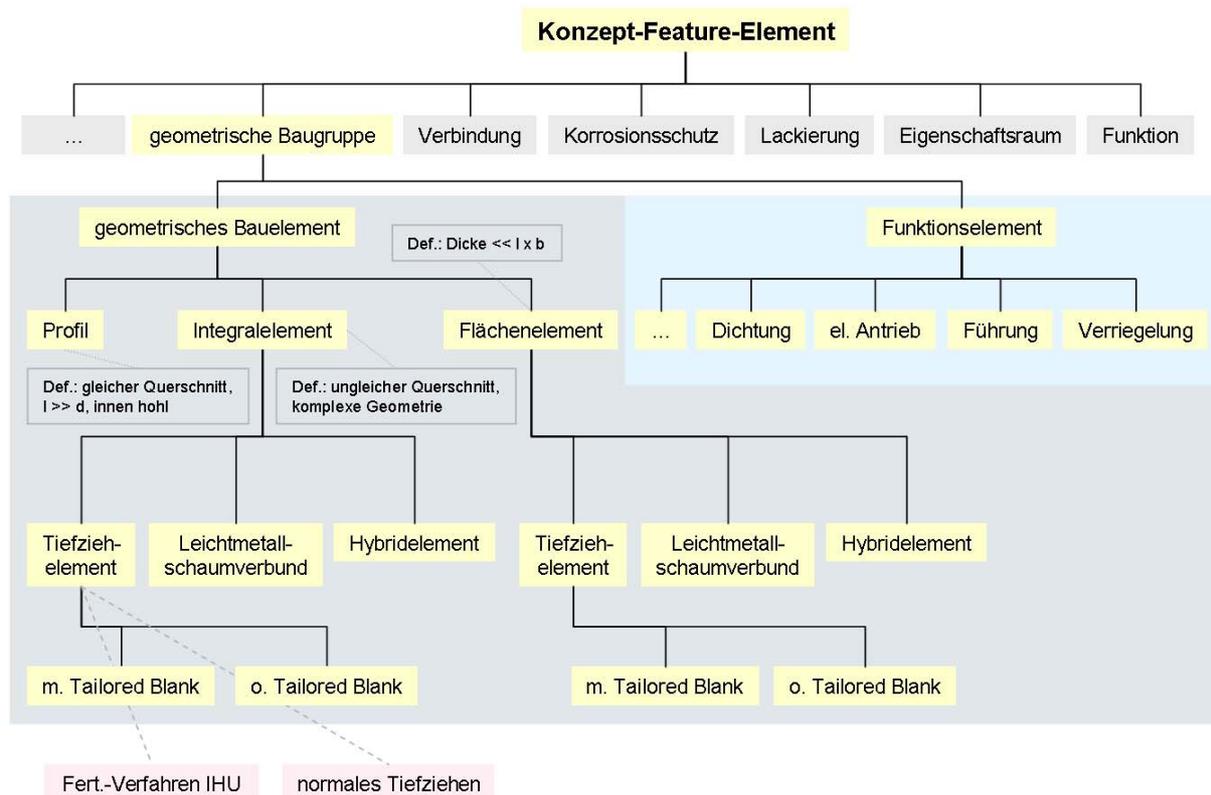


Bild 2: Übersicht über die sog. Konzept-Feature-Elemente, hier detailliert dargestellt das Element „geometrische Baugruppe“

In Bild 2 wird die „geometrische Baugruppe“ weiter unterteilt in ein geometrisches Bauelement, welches wiederum durch ein Profil, ein Integralelement oder eine flächige Komponente repräsentiert werden kann. Das Integral- und das Flächenelement kann aus einer Tiefziehkomponente, einem umspritzten Schaumkern (Metall oder Kunststoff) und einem Hybridelement bestehen, das durch eine Struktur aus formschlüssig miteinander verbundenen Materi-

alien aufgebaut ist. Ebenso kann ein „Flächenelement“ mit den eben genannten Strukturen realisiert werden. Eine „geometrische Baugruppe“ kann zusätzlich sog. „Funktionselemente“ beinhalten, wie z. B. einen Verriegelungsmechanismus oder eine Führungseinheit (im Falle des Demonstrators z. B. für das Führen der Fensterscheibe). Hier werden sicherlich Zukaufteile bzw. Zukaufkomponenten zum Einsatz kommen.

Diese Synthese des Konstruktionsobjektes mittels Konzept-Feature-Elementen grenzt sich von den ersten Entwürfen der Konzeptphase dadurch ab, dass hier keinerlei geometrische Ausgestaltung der flächigen Komponente durchgeführt wird. Als einzige geometrische Angaben werden die groben Hauptabmessungen der einzelnen Elemente definiert.

Hinsichtlich der Rechnerunterstützung der Prinziplösungsmodellierung bedeutet dies, dass dem Konstrukteur ein Baukastensystem mit allen notwendigen Konzept-Feature-Elementen zur Verfügung gestellt werden muss. Mit Hilfe dieser Baukastenelemente kann die Prinziplösung der flächigen Leichtbaukomponente erzeugt werden. Bild 3 und Bild 4 zeigen zwei Beispiele, bei denen eine Prinziplösung einer Kfz-Tür mittels Konzept-Feature-Elementen aufgebaut wurde, nämlich die Tür des „Smart“ und eine konventionelle Stanzschalentür.

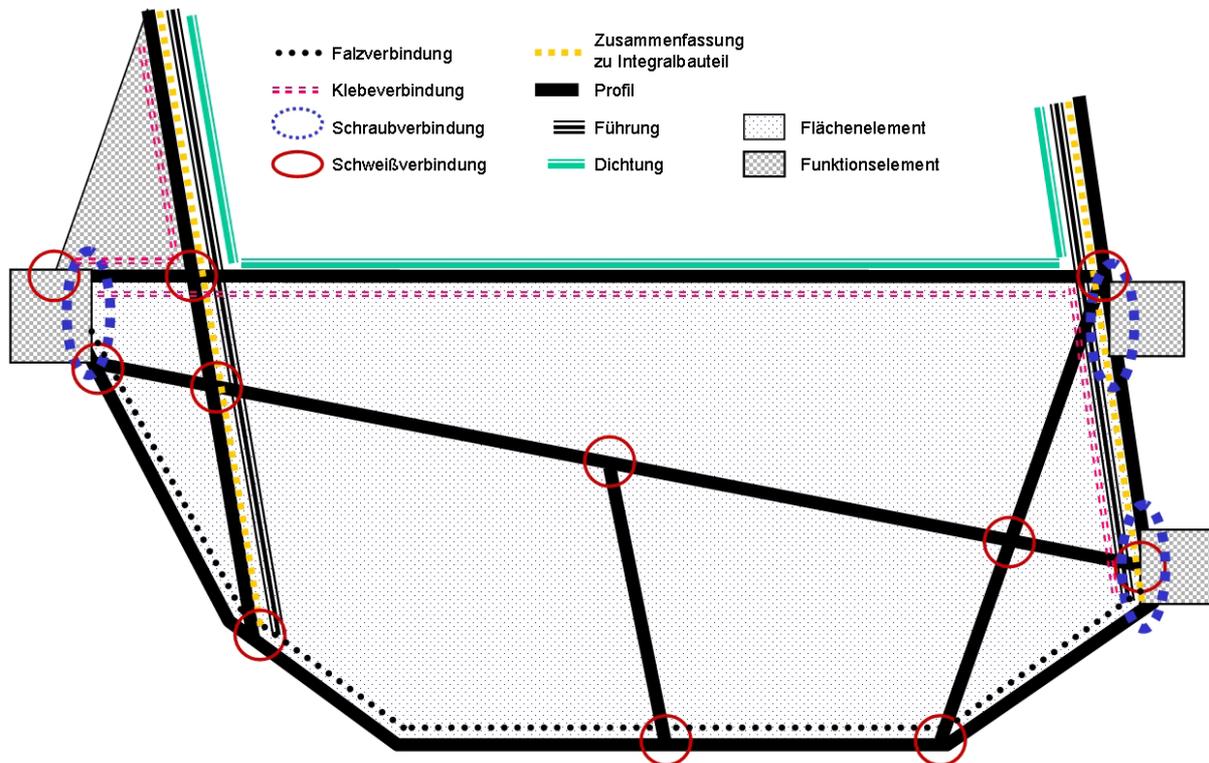


Bild 3: „Smart“-Tür mittels Konzept-Feature-Elementen modelliert

Die Eingabe, Positionierung und Dimensionierung der Konzept-Feature-Elemente muss auf einer grafischen Oberfläche mittels Drag & Drop geschehen. Hierbei ist es noch zu klären, ob eine zweidimensionale Eingabe, wie sie sich für flächige Komponenten anbietet, ausreichend ist, um alle Relationen zwischen den Konzept-Feature-Elementen benutzergerecht abbilden zu können. Alle Elemente werden vom Konstrukteur passend angeordnet, wodurch auch die groben Abmessungen definiert werden. Anschließend können allen Verbindungsstellen entsprechende Verbindungstechniken zugeordnet und weitere „Anbauteile“, wie z. B. im Falle der Kfz-Tür das Schlossmodul, entsprechend angeordnet werden.

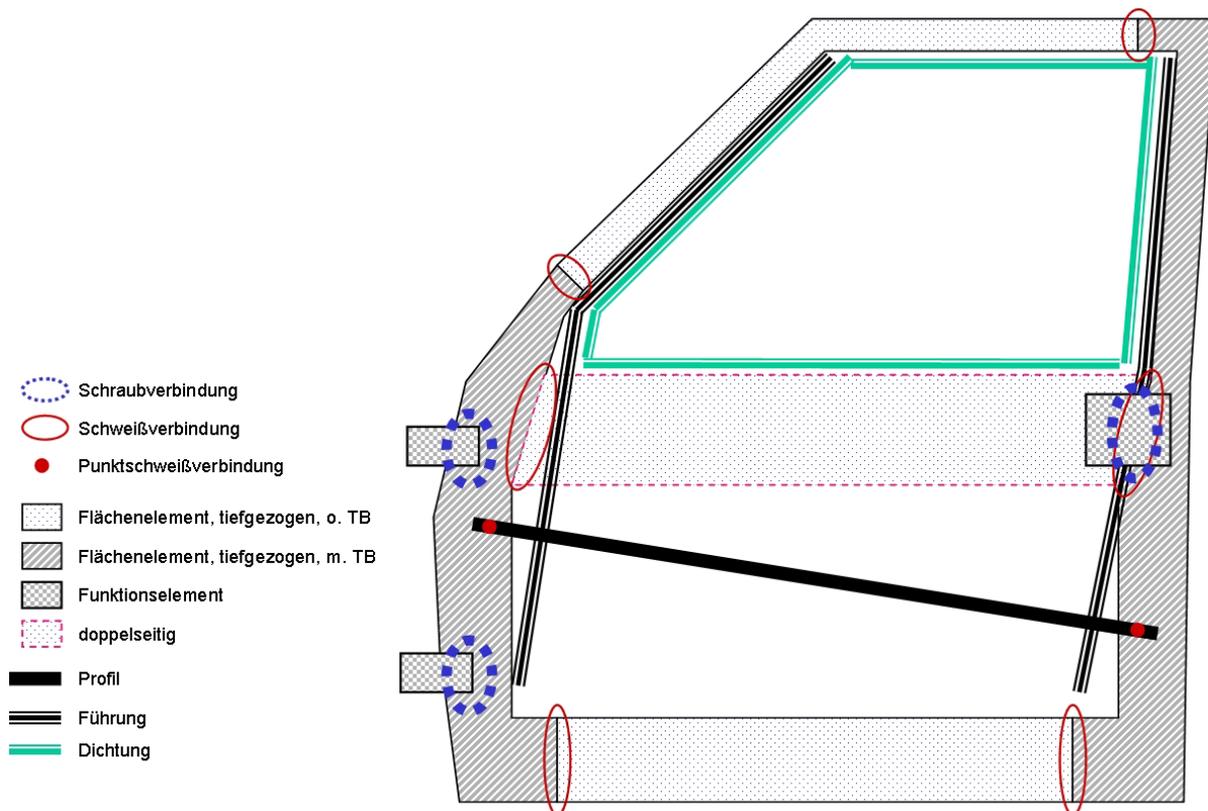


Bild 4: Konventionelle Stanzschalentür mittels Konzept-Feature-Elementen modelliert

Abschließend werden allen Bauelementen, die verbaut wurden, die ganz zu Beginn gewählten Teilfunktionen des Leichtbaukomponentenrohbaus zugeordnet. Bei der Auswahl von Standardelementen wie z. B. verschiedenen Anbauteilen (im Falle der Kfz-Tür Schloss, Scharniere etc.) oder Profilrohren kann bereits während der Synthesephase das PDM-System Hinweise darauf geben, welche Elemente bereits im Unternehmen vorhanden sind und ggf. mit leichten Abänderungen Verwendung finden können. Weiterhin ist es möglich, über verschiedene Teilfunktionen zu bereits vorhandenen Baugruppen bzw. Bauteilen zu gelangen, beispielsweise können der Funktion „Fenster führen“ verschiedene im Unternehmen bereits vorhandene Führungsschienen zugeordnet sein. Dies setzt natürlich voraus, dass im PDM-System Baugruppen bzw. Bauteile mit den Funktionen verknüpft sind, die sie erfüllen können. Das PDM-System muss deshalb so erweitert werden, dass eine Abbildung von Funktionen möglich ist und eine entsprechende Schnittstelle zum Assistenzsystem zur Verfügung steht.

Ziel muss es sein, möglichst mehrere Varianten zu erzeugen, welche dann analysiert werden können. Ist die Synthese der flächigen Leichtbaukomponenten abgeschlossen, so kann bei der weiteren Analyse zwischen zwei verschiedenen Möglichkeiten unterschieden werden:

Zum einen kann jede einzelne Lösungsvariante vollautomatisiert vom Assistenzsystem hinsichtlich verschiedener Kriterien analysiert werden, d.h. es wird eine Beurteilung für jede der verschiedenen Varianten durchgeführt, jedoch keine Bewertung untereinander. Da die groben Abmessungen der Einzelbauteile und ihr werkstoffseitiger Aufbau bekannt sind, kann über eine Schnittstelle automatisiert im PDM-System ermittelt werden, ob die firmeninternen Fertigungsmöglichkeiten prinzipiell ausreichen, um alle Bauteile zu fertigen. Auch kann die Recyclinggerechtigkeit der Konstruktion vom System regelbasiert untersucht und dem Konstrukteur Schwachstellen aufgezeigt werden. Als Datengrundlage hierfür stehen verschiedene Konstruktionsregeln im Expertensystem „NEXPERT OBJECT“ zur Verfügung, welches

bereits in Phase II des Sonderforschungsbereichs eingeführt wurde. Weiterhin muss analysiert werden, ob alle zu Beginn des Syntheseprozesses festgelegten Teilfunktionen erfüllt werden und wie hoch die Funktionsintegration der einzelnen Bauelemente ist. Eine Kostenanalyse ist ebenso möglich, da die groben Abmessungen der Bauelemente, die entsprechende Fertigungstechnologie und alle notwendigen Füge- bzw. Verbindungsverfahren bekannt sind [3].

Zum anderen ist es möglich, eine multikriterielle Bewertung der einzelnen Prinziplösungsvarianten hinsichtlich verschiedener Gerechtheiten durchzuführen. Dies ist im Anschluss an die o. g. automatisierte Analyse sinnvoll. Die Bewertung kann nicht nur von einem Bewerter, sondern bei der entsprechenden Wahl des Bewertungsverfahrens auch von mehreren Bewertern durchgeführt werden. Die verschiedenen Kriterien der Bewertung werden hierbei vom Assistenzsystem vorgeschlagen und können vom Konstrukteur modifiziert werden. Bevor die eigentliche Bewertung durchgeführt wird, müssen die Bewertungskriterien gewichtet werden, d.h. es muss festgelegt werden, wie wichtig verschiedene Kriterien sein sollen. Hierfür kommt ein neuer Ansatz nach BAUER [4] zum Einsatz, welcher es sehr gut ermöglicht, die richtige Strategie zur Festlegung der einzelnen Kriteriengewichte zu finden. Da die Prinziplösungsvarianten einen doch sehr abstrakten Charakter besitzen, ist es unbedingt notwendig, für jedes Bewertungskriterium einen Unsicherheitsfaktor einzuführen, der angibt, wie „sicher“ sich der Bewerter bei der Vergabe von Maßzahlen eines Kriteriums ist. Dieser Faktor wird mit in die Berechnung der Gesamtwertigkeit integriert [1].

Für die Umsetzung der Bewertung auf dem Rechner bietet sich die vom Lehrstuhl für Konstruktionstechnik entwickelte Bewertungssoftware „EVALUATOR“ [7] an. Diese soll entsprechend erweitert und über eine geeignete Schnittstelle an das Assistenzsystem gekoppelt werden.

## **4 Zusammenfassung und Ausblick**

Im vorliegenden Beitrag konnte gezeigt werden, dass eine Erweiterung des Konstruktions-Assistenzsystems des Sonderforschungsbereichs 396 hinein in die Konzeptphase möglich und sinnvoll ist. Die Erweiterung des Systems unterstützt den Konstrukteur bei der Funktions- und Prinziplösungsmodellierung, wobei der Fokus auf der Prinziplösungsmodellierung und -Analyse liegt. Es wurden charakteristische Teilfunktionen flächiger Leichtbaukomponenten aufgezeigt und auf Probleme bei der Funktionsmodellierung flächiger Leichtbaukomponenten eingegangen. Weiterhin wurde ein Baukastensystem zur Synthese von Prinziplösungsvarianten vorgestellt und detailliert auf verschiedene Möglichkeiten einer Analyse bzw. Bewertung der Prinziplösungsvarianten eingegangen.

Ein zukünftiges Ziel muss es sein, das Konstruktions-Assistenzsystem in die Planungsphase zu erweitern. Einerseits bieten die sehr frühen Konstruktionsphasen das größte Potential, das entstehende Produkt hinsichtlich verschiedenster Kriterien zu optimieren. Auf der anderen Seite befinden sich alle Arbeitstätigkeiten des Konstrukteurs auf sehr abstraktem Niveau, was eine Rechnerunterstützung in sehr frühen Phasen erschwert. Gerade hierin ist die Herausforderung zu sehen, mit neuen Methoden und Konzepten eine Computerunterstützung zu realisieren.

## **5 Literatur**

- [1] Pahl G.; Beitz W.: Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen, Springer-Verlag, Berlin 1997

- [2] Meerkamm H.; Wartzack S.: Verkürzung der Produktentwicklungszeiten durch Integration von Fertigungswissen in den Konstruktionsprozess, VDI-Berichte Nr. 1435, VDI-Verlag, Düsseldorf 1998, S. 208
- [3] Ehrlenspiel K.; Kiewert A.; Lindemann U.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren, Springer-Verlag, 2. Auflage, Berlin 1998
- [4] Bauer, S.: Design for X, Definition, Strukturierung und Strategiebildung, Design for X-Beiträge zum Symposium, (Hrsg. Meerkamm, H.), Neukirchen, 13./14. Oktober 2003
- [5] Meerkamm H., Weber A.: Konstruktionssystem *mfk* – Integration von Bauteilsynthese und –Analyse, VDI-Berichte Nr. 903, VDI-Verlag, Düsseldorf 1991, S. 231-248
- [6] Krüger H.: Konzept und prototypenhafte Umsetzung eines Informationssystems für Leichtbau auf HTML-Basis, Studienarbeit, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Erlangen 2002
- [7] Adunka R.; Wartzack S.: Evaluator – Computerunterstützung für die multikriterielle, verteilte Bewertung technischer Systeme, In: H. Meerkamm (Hrsg.): Fertigungsge-rechtes Konstruieren - Beiträge zum 10. Symposium, Schnaittach, 14./15. Oktober 1999

Dipl.-Ing. Christian Hauck  
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik  
FAU Erlangen-Nürnberg  
Martensstraße 9, D-91058 Erlangen  
Tel: +49-9131-85-23217  
Fax: +49-9131-85-23223  
Email: [hauck@mfk.uni-erlangen.de](mailto:hauck@mfk.uni-erlangen.de)  
URL: <http://www.mfk.uni-erlangen.de>

