

## NEUARTIGE SYNTHESE- UND ANALYSEMETHODEN IM ENTWICKLUNGSPROZESS FLÄCHIGER LEICHTBAUTEILE

*Andreas Stockinger*

### Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden Synthese- und Analysemethoden zur Unterstützung des Produktentwicklers im Entwicklungsprozess flächiger Leichtbauteile und ihr Zusammenwirken dargestellt. Im Fokus der Arbeiten steht dabei die ganzheitliche Sicht und durchgängige Unterstützung des Produktentwicklers während des Konstruktionsprozesses. Für die frühen Phasen der Produktentwicklung werden Synthesewerkzeuge für Funktionshierarchien, Werkstoff/Bauweisen- und Verbindungstechnologieauswahl vorgestellt. Ganzheitliche Analysen von Prinziplösungsvarianten erlauben eine multikriterielle Variantenbewertung und -auswahl, die in Bauraumüberführung und CAX-basierte Ausarbeitung mündet. Diese Methoden werden abschließend im Gesamtkontext der Prozesskette Produktentwicklung betrachtet.

### 1 Herausforderung „Entwicklung von Leichtbauteilen“

Mit dem Jungfernflug des Airbus A380 am 27. April 2005 konnte Airbus sowohl eine neue Dimension der Großraumflugzeuge als auch eines der größten technischen Prestigeprojekte des letzten Jahrzehnts realisieren [17]. Dies war nur durch den großflächigen Einsatz moderner Leichtbaumaterialien und Strukturen vorstellbar, die erhebliche Gewichtseinsparungen und somit erst ein Flugzeug dieser Größe ermöglichten (Bild 1).

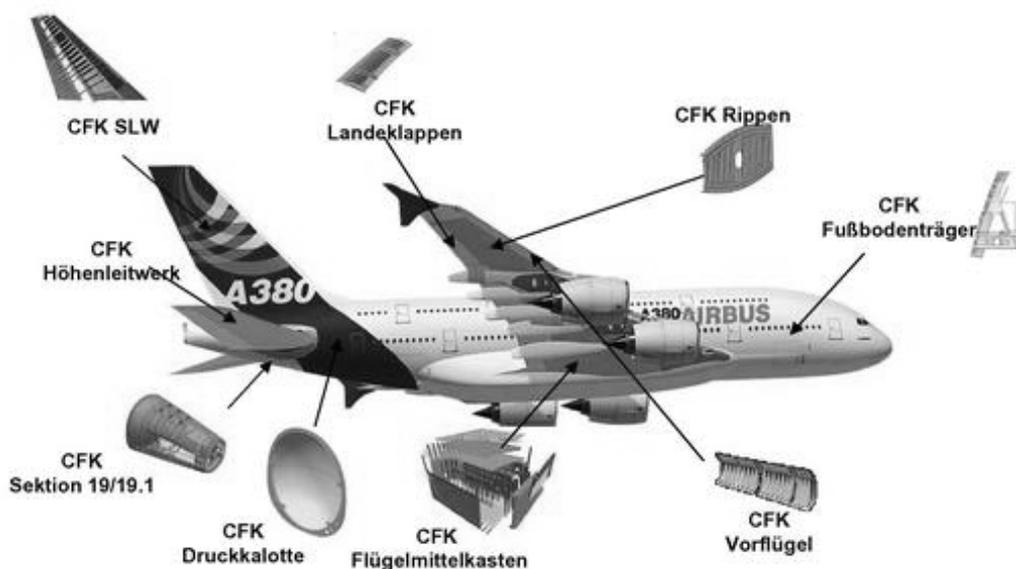


Bild 1: Einsatz von Leichtbaumaterialien strukturellen Komponenten am Airbus A380 [17]

Die Entwicklung von derartigen Produkten stellt eine große Herausforderung hinsichtlich der Vielfalt zu berücksichtigender DfX-Aspekte dar. Im Teilprojekt A1 des Sonderforschungsgebietes 396 – „Robuste, verkürzte Prozessketten für flächige Leichtbauteile“ wurde dieser

multidisziplinären Produktentwicklung im Feld flächiger Leichtbaukomponenten Rechnung getragen. Die dabei auftretenden Anforderungen an den Konstruktionsprozess einerseits und den Produktentwickler in diesem Prozess andererseits, führten zum Aufbau eines produkt- und prozessmodellbasierten Assistenzsystems, das der Informationsbereitstellung in Synthese und Analyse und der durchgängig rechnerunterstützten Produktentwicklung dient [8]. Als Synthese wird dabei im Folgenden das Auswählen einer prinzipiellen Lösung auf Grund der vorgegebenen Anforderungen bezeichnet, während unter der Analyse das Ableiten der Systemeigenschaften auf Grund dieser vorher getroffenen Entscheidung verstanden wird. Die Analyse bedeutet somit im Grunde die Überprüfung der Funktionsfähigkeit der gewählten Lösung [4],[14]. Die Synthese verarbeitet Informationen, während die Analyse primär der Informationsgewinnung dient [14]. Charakteristikum für diese Teilprozesse im gesamten Verlauf des Entwicklungsprozesses ist, dass ein ständiger Wechsel zwischen Synthese und Analyse stattfindet, der durch stark ausgeprägte Abhängigkeiten hinsichtlich der Verwendung neuartiger Werkstoffsysteme, ihrer Herstellungstechnologien und ihrer Weiterverarbeitungsmöglichkeiten, sowie durch die strategische Wahl von Bauweisen und Fügetechnologien stark beeinflusst wird. Nach HUBKA ist „das iterative Vorgehen [...] ein typisches Merkmal des Konstruierens“ [6]. Dieses kann – insbesondere bei Neuentwicklungen – durch Minimierung des Zeitaufwandes verbessert werden. Das Verbesserungspotential wird im Rahmen der Forschungsarbeiten durch die konzipierte und entwickelte Konstruktionsworkbench FPM<sup>PLUS</sup> erschlossen. Mit ihren Synthese- und Analysemethoden trägt die Assistenzlösung insbesondere in den frühen Phasen der Produktentwicklung und den Übergängen zwischen den Phasen des Entwicklungsprozesses nach VDI 2221 Rechnung.

## **2 Zielsetzung und Rahmenbedingungen für ein Assistenzsystem zur Entwicklung von Leichtbaukonstruktionen**

Demzufolge ist die Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur Steigerung der Robustheit und Verkürzung der Prozesskette „Produktentwicklung“ für flächige Leichtbauteile als Zielsetzung festzuhalten. In Form des Assistenzsystems FPM<sup>PLUS</sup>, das die Anwendung der erarbeiteten Methoden erlaubt, soll der Produktentwickler bei Synthese und Analyse unterstützt werden. Es ist in diesem Zusammenhang zu beachten, dass sich Assistenz sich immer auf den Umgang mit interaktiven Systemen und auf den Zugang zu den Funktionen eines technischen Systems, nicht auf die Funktionsteilung bezieht. Assistenz ist - nach WANDTKE - somit eine Brücke, die eine Verbindung herstellt zwischen den Wünschen, Zielen, dem Wissen und den Fähigkeiten der Benutzer auf der einen Seite und den Funktionen eines interaktiven Systems auf der anderen Seite [18].

Im Sinne einer integrierten Produktentwicklung wurden folgende Aspekte der Unterstützung bei der Konzeption der Entwicklungsworkbench berücksichtigt: Mensch, Methodik, Technik und Organisation (Bild 2). Zentrale Anforderung an das System ist es eine ganzheitliche Sicht und Unterstützung des Produktentwicklers im Entwicklungsprozess für flächige Leichtbauteile zu erreichen und damit eine Verkürzung der Prozesskette Produktentwicklung herbeizuführen. Entsprechende Methoden und Werkzeuge für die Synthese von Funktionshierarchien, die Synthese von Prinziplösungsvarianten, die Analyse von Funktionserfüllungsgraden, Kosten oder etwa Komplexität und eine anschließende Bewertung sind bereitzustellen. Beim Übergang von Planungsphase zu Konzeptfindung nimmt die Strategiewahl hinsichtlich Bauweisen und Werkstoffkonzepte eine wichtige Rolle ein und muss unterstützt werden. Weiterhin ist an der Schnittstelle zwischen Konzept- und Entwurfsphase ein schneller, durchgängig digitaler Übergang zur CAX-basierten Entwicklung durch Bauraumgenerierung und Wiederverwendung semantischer Konstruktionsdaten von Bedeutung.

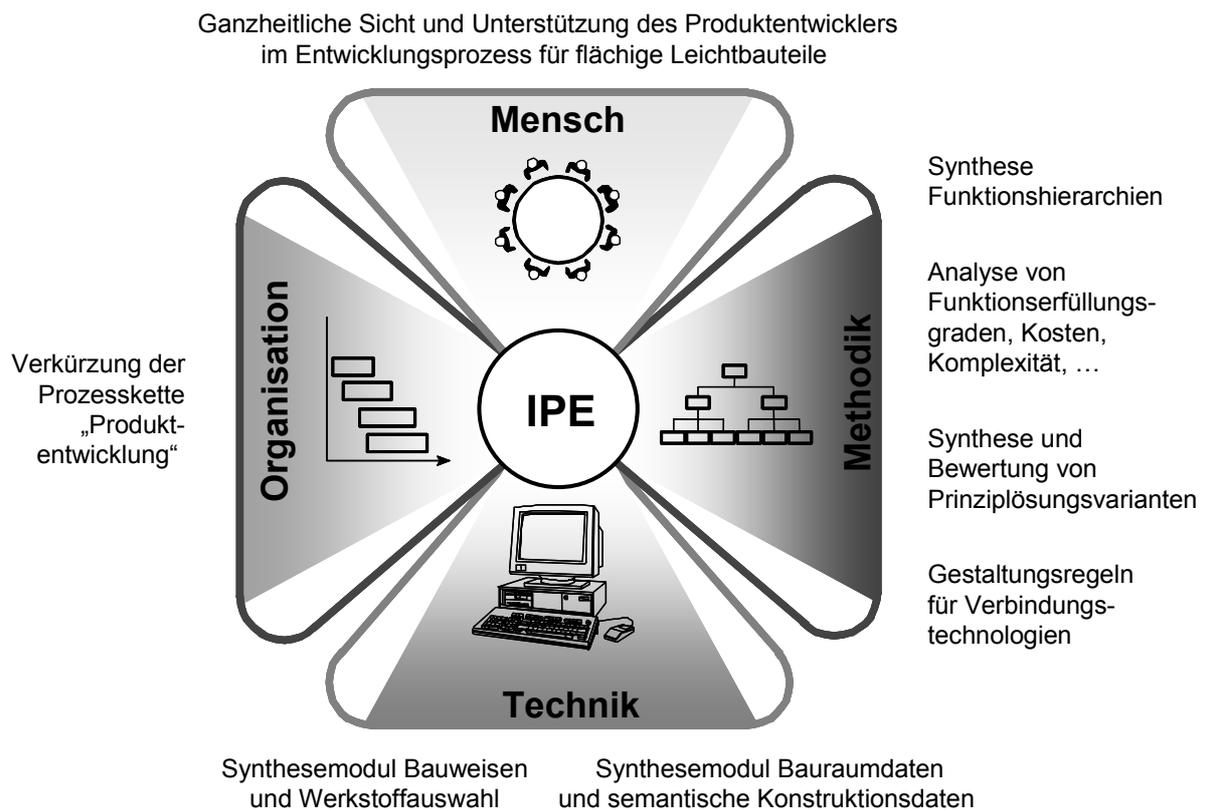


Bild 2: Aspekte der Unterstützung im Entwicklungsprozess für flächige Leichtbauteile

Zusätzlich zu diesen allgemeinen Rahmenbedingungen leiten sich nach [5] aus der Analyse bestehender Assistenzlösungen und deren Defiziten weitere Anforderungen ab, denen partiell im Rahmen dieses Beitrags entgegnet wird. Wesentliche sind:

- Der Zeitaufwand zur Synthese bewertbarer Lösungsalternativen in den frühen Phasen der Produktentwicklung muss angemessen sein, d.h. der Detaillierungsgrad darf nur so hoch sein wie für eine sinnvolle Bewertung unbedingt nötig.
- Da die Wahl der Leichtbaustrategie zum Einen von großer Bedeutung für die Entwicklung alternativer Konzepte ist und zum Anderen eng mit der Werkstoff- und damit verbundenen Prozessauswahl verknüpft ist, muss eine umfassende Datenbank an Leichtbauwerkstoffen, vor allem auch inklusive neuartiger Hybrid- bzw. Verbundwerkstoffe zur Verfügung gestellt werden.
- Weiterhin müssen Verbindungstechnologien, die leichtbaugerecht und Hybridwerkstoffgerecht sind, wissensbasiert in den Syntheseprozess eingebracht werden.
- Eine umfassende Bereitstellung von Analysewerkzeugen für generierte Prinziplösungsvarianten ist erforderlich, um möglichst viele relevante Analyse Kriterien der integrierten Produktentwicklung abdecken zu können.
- Die Integration eines Bewertungswerkzeugs in den Entwicklungsprozess, um alle generierten Lösungsvarianten multikriteriell bewerten zu können, ist unerlässlich, um die bestgeeignete Baustruktur und Prinziplösungsvariante für die Folgephasen auswählen zu können. Dabei sollen die Bewertungskriterien basierend auf entsprechenden rechnerunterstützten Analysen ermittelt und abgesichert werden.

- Weiterhin sind die gesammelten und gewonnenen Informationen während des gesamten Entwicklungsprozesses weiterverarbeitbar abzulegen und über entsprechende Schnittstellen z.B. in den CAD-basierten Entwicklungsprozess zu integrieren. Nur auf diese Weise können die Übergänge zwischen den Phasen optimiert und die erforderlichen Iterationsschritte zielgerichteter ausgeführt werden.
- Für eine detaillierte Ausführung von Verbindungstechnologien im Syntheseprozess der Entwurfsphase sind Gestaltungsrichtlinien und Anwendungsbeispiele bereitzustellen.
- Die Einbindung der Informationen in ein PDM-System, ähnlich wie heute üblich in späten Konstruktionsphasen, ist anzustreben, um etwa die Transparenz des Konzeptionsprozesses im Produktlebenszyklus zu erhöhen oder einen verteilten Zugriff auf Funktionshierarchien und Prinziplösungen zu ermöglichen.

### 3 Synthese- und Analysemethoden im Produktentwicklungsprozess flächiger Leichtbauteile

#### 3.1 Produktentwicklungsprozess nach VDI 2221

Der Produktentwicklungsprozess kann auf vielfältige Weise strukturiert und betrachtet werden. Im Folgenden wird der Vorgehensplan nach Pahl/Beitz, festgehalten in der VDI-Richtlinie 2221 ([14], [15]), als Betrachtungsschema herangezogen (Bild 3). Bei der Untersuchung des Vorgehensmodells konnten mehrere Übergangsphasen ausgemacht werden, an denen basierend auf einer digitalen Produktbeschreibung Unterstützungspotential auszu-schöpfen ist (Bild 3).

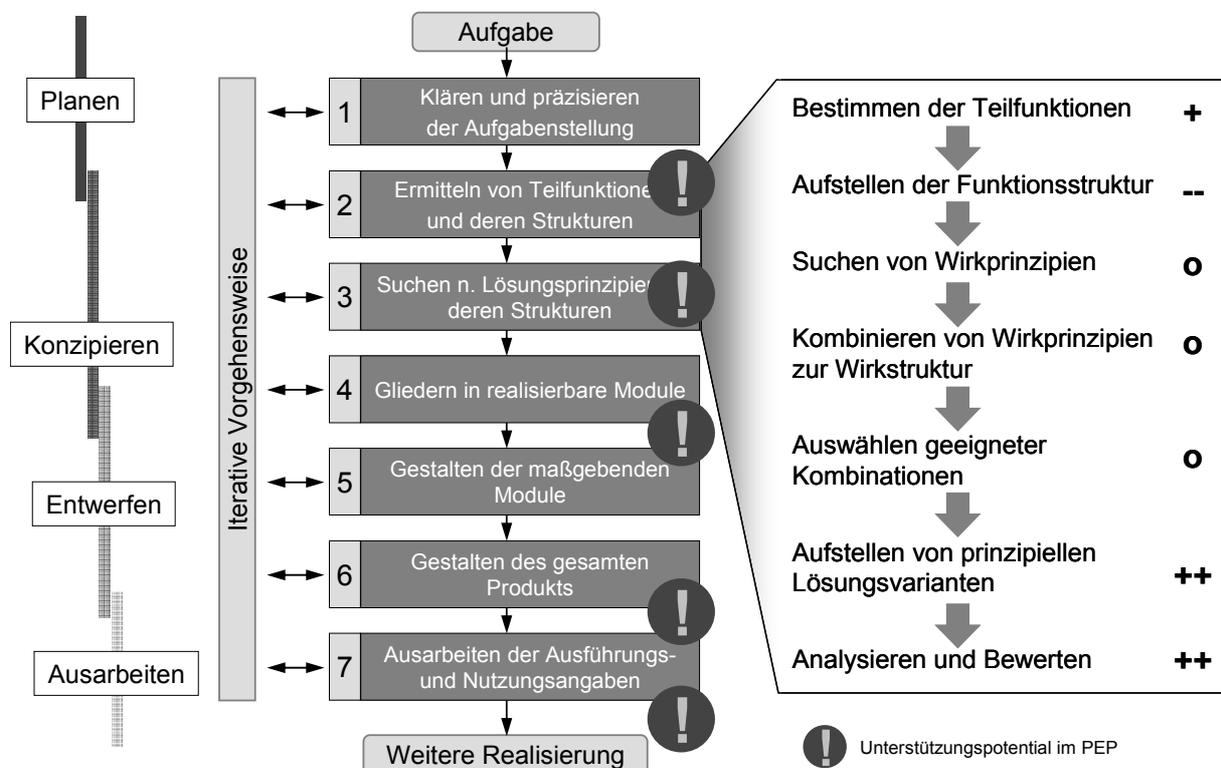


Bild 3: Identifiziertes Unterstützungspotential im angepassten Prozessmodell VDI 2221 [11]

Die Phase Ermittlung der Teilfunktionen und deren Strukturen wird durch eine wissensbasierte Sammlung von Funktionshierarchiedaten unterstützt und um eine erweiterte Funktionsrepräsentationsform ergänzt. Da sich einige Teilschritte dieser Phase nur eingeschränkt für die Entwicklung von Leichtbaustrukturen eignen, werden primär die Schritte „Aufstellen einer Funktionsstruktur“ und „Aufstellen von prinzipiellen Lösungsvarianten“ betrachtet [5], [11]. Nach VDI2221 wird als Struktur die Darstellung von Teilen eines Ganzen und deren Beziehungen zueinander bezeichnet [14]. Der Begriff Funktion stellt nach GERO den teleologischen Zusammenhang zwischen den Zielen des Entwicklers und der messbaren Wirkung des Systems her [4], während Pahl/Beitz als Funktion den „allgemeinen und gewollten Zusammenhang zwischen dem Eingang und Ausgang eines Systems mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen“ definiert [15].

Als Verhalten wird dabei nach GERO bezeichnet, was das System macht was es machen muss, um seinen Zweck (Funktion) zu erfüllen [4], aber auch resultierende Eigenschaften der Konstruktion. D.h. die Systemfunktionen sind eine Teilmenge des gesamten Systemverhaltens. Für den Syntheseprozess von Leichtbaustrukturen kann, da nach [4] der Grundsatz „no function in structure“ gilt, gefolgert werden, dass die Möglichkeit der Verknüpfung von Funktion und Strukturelementen vorgesehen werden muss. Im Syntheseprozess erfolgt somit eine semantische Verknüpfung von Funktionsstrukturdaten und Prinziplösungsvarianten, das durch eine Zuordnung von Untermengen an Funktionen der Funktionshierarchie zu Konzept-Feature-Elementen erfolgt. Weiterhin ist in der Phase „Suchen nach Lösungsprinzipien“ für Leichtbaustrukturen eine Unterstützung in Form einer integrierten Bauweisen- und Werkstoffsynthese bereitzustellen, die anschließend eine vereinfachte Modellierung von Prinziplösungsvarianten unterstützt und ermöglicht. Da Fügetechnologien eine Schlüsselrolle im Leichtbau einnehmen, wurde eine wissensbasierte Unterstützung der Verbindungstechnologieauswahl umgesetzt. Von herausragender Bedeutung in diesem angepassten Gesamtprozess ist die Analyse der erzeugten Prinziplösungsvarianten hinsichtlich verschiedenster DfX-Aspekte und Kriterien, wie etwa zu erwartender Komplexitätsgrad, Funktionsintegration (Haupt-/Nebenfunktionen), Vergleichbarkeit der Prinziplösungsvarianten, vergleichende Masseschätzung, recyclingerechte Gestaltung, interne Fertigungsmöglichkeiten und fuzzy-basierte, vergleichende Kostenschätzung. Diese Analysen erlauben eine detaillierte, multikriterielle Bewertung von Varianten und deren Auswahl. Für den Übergang zur Phase „Gestalten der maßgebenden Module“, deren Bearbeitung üblicherweise im CAX-Umfeld erfolgt, wurde als zentrale Anforderung die schnittstellenbasierte Übernahme von Daten der frühen Phasen in das CAD-System in Form einer Bauraumgenerierung und Weiterverarbeitung semantischer Informationen identifiziert.

Weiteres Verbesserungspotential im Produktentwicklungsprozess nach VDI 2221 wurde schlussendlich im Bereich „Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben“ und den Folgephasen ausgeschöpft [12]: entwicklungsnahe Methoden der Toleranzvisualisierung und eine konstruktionsinterne Montagevorplanung runden die ganzheitliche Betrachtung des Entwicklungsprozesses ab. Diese Schritte werden jedoch hier im Detail nicht behandelt.

### **3.2 Syntheseschritte des angepassten Prozessmodells und softwaretechnische Realisierung**

Wesentliche Schritte im angepassten Entwicklungsprozess sind die Funktionshierarchiesynthese und die Prinziplösungsmodellierung. Hierbei werden im Folgenden Bauweisenstrategiewahl und Werkstoffassistenz, sowie die Werkstoffauswahl und -zuweisung und die damit verbundenen Prozesse näher erläutert.

Eine Synthese von Funktionshierarchien für Leichtbaustrukturen wird in einem webbasierten Werkzeug vorgenommen. Dabei können neue Funktionen oder aus dem bestehenden Datenbestand eingefügt und in einer Baumstruktur angeordnet werden. Um die Funktionen in

den frühen Phasen auf abstraktem Niveau mit zusätzlichen, weiterverarbeitbaren Informationen auszustatten wurde eine neuartige Funktionshierarchierepräsentation eingeführt (Bild 4).

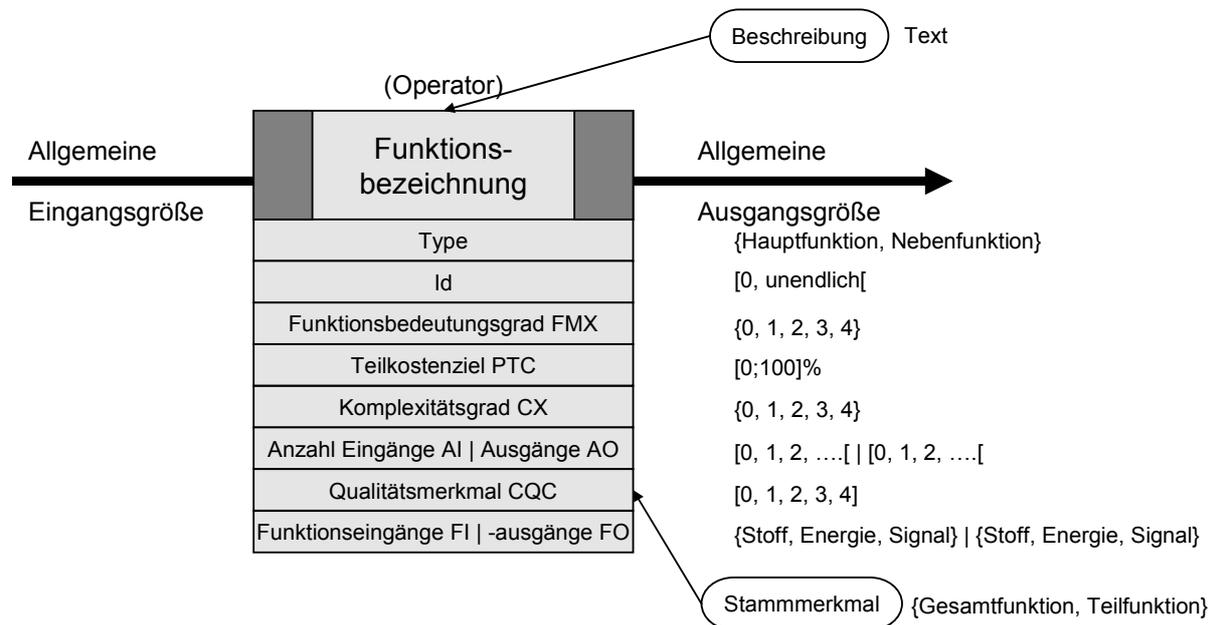


Bild 4: Erweiterte Funktionsrepräsentation mit Attributen und Wertebereichen der Parameter

Die Funktionsrepräsentation zeichnet sich neben herkömmlicher Beschreibung durch die zusätzlichen Stammmerkmale Type, Identifikationsnummer (ID), Funktionsbedeutungsgrad (FMX), Teilkostenziel (PTC), Komplexitätsgrad (CX), Anzahl Eingänge (AI) und Anzahl der Ausgänge (AO), kundenrelevantes Qualitätsmerkmal (CQC), Funktionseingänge (FI) und Funktionsausgänge (FO) aus. Diese Attribute sind im Syntheseprozess vom Produktentwicklungsteam durch Schätzungen zu vergeben und werden basierend auf einem XML-Datenmodell in allen Folgeschritten bereitgestellt.

Die Prinziplösungsmodellierung verschiedener Varianten beginnt mit dem Einlesen der Funktionshierarchie. Durch Zugriff auf ein Werkzeug zur Bauweisen- und Werkstoffauswahl erhält der Produktentwickler die Möglichkeit seine Strategiewahl zwischen Integralbauweise oder Differentialbauweise unter Einsatz hybrider Werkstoffe abzusichern. Um bei modernen Leichtbauprodukten ein Optimum der gewünschten Eigenschaften zu erreichen, ist eine gezielte Kombination der Konstruktionsstrategien Stoffleichtbau, Formleichtbau und Konzeptleichtbau erforderlich. Somit wird ein Produkt, wie etwa Verbundwerkstoffe oder Werkstoffverbunde, nicht nur über seine Ausgangsstoffe sondern auch über seinen Werkstoffaufbau bzw. Bauweise und über die Fertigungstechnologie, die bei der Herstellung zum Einsatz kommt, definiert. Dies erfordert eine ganzheitliche Betrachtungsweise des Endwerkstoffes, die das Zusammenspiel der unterschiedlichen Teilwerkstoffe, Bauweisen und Herstellungstechnologien berücksichtigt und so ein endgültiges Materialverhalten abbildet [2]. Diese Randbedingungen werden im Werkzeug zur Bauweisen- und Werkstoffauswahl berücksichtigt. Bei der Integralbauweise etwa wurden die Kategorien Tailored (Engineered) Products, sowie Sandwichbauweise (Werkstoffverbund) oder verstärkter Bauweise (Verbundwerkstoffe) bei Hybridwerkstoffen identifiziert. Durch eine matrixartige Zuordnung von für Bauweisen typischen Werkstoffen kann nach diesen strukturiert gesucht werden, wodurch der Produktentwickler frühzeitig über mögliche Lösungsvarianten der Problemstellung Informationen einholen kann. Für die Abbildung der Informationen wurde ein relationales Modell nach [3] gewählt. Eine Teilübersicht der verfügbaren Klassen zeigt Bild 5.

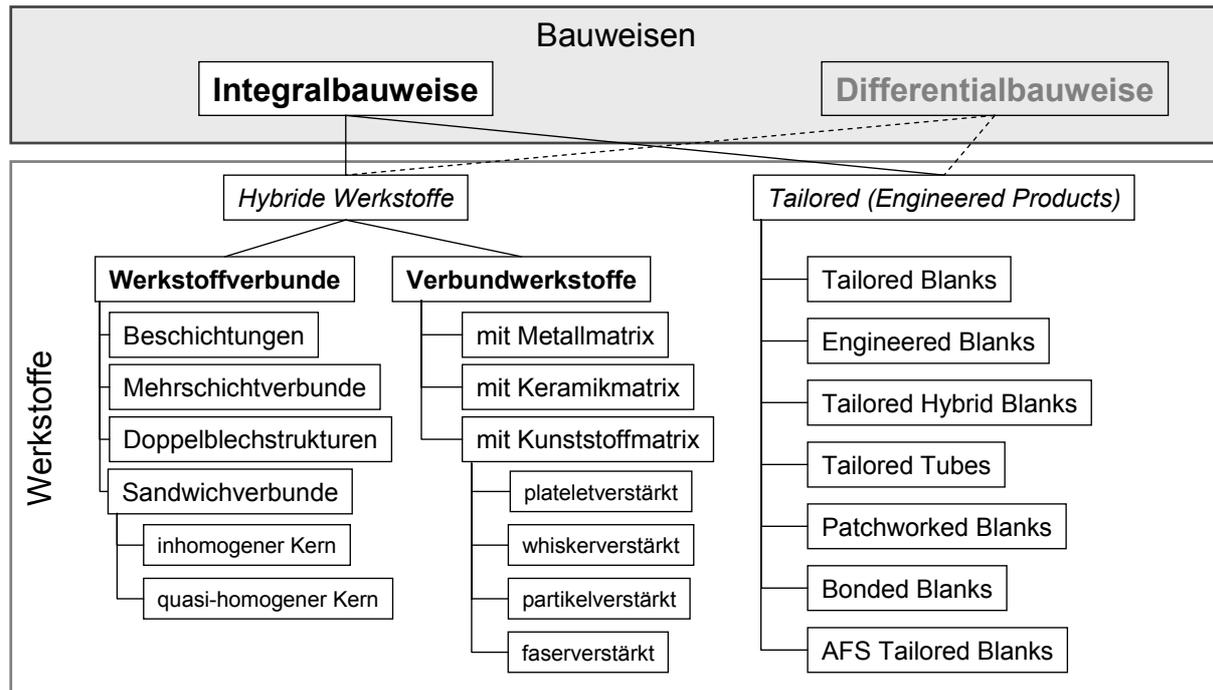


Bild 5: Bauweisen und Zuordnung von Werkstoffen in einer Klassifizierung zum Werkstoffaufbau

Wurden nach dieser strategischen Phase eine mögliche Strukturform und Bauweise für die aktuelle Lösungsvariante festgelegt, so kann die zweieinhalbdimensionale Prinziplösungsmodellierung nach [5] erfolgen. Während dieses Prozesses konkretisiert sich die Werkstofffestlegung für Haupt- und Nebenstrukturelemente. Dieser Syntheseprozess wird erneut durch das System zu Werkstoffauswahl unterstützt, da eine Auswahl von modernen Leichtbauwerkstoffen einen hohen Kenntnisstand über den Werkstoff voraussetzt und Unterstützung erfordert. Die Absicherung der Werkstoffeigenschaften während der unterschiedlichen Entwicklungsphasen wird gewährleistet, indem dem Konstrukteur mittels Auswahlkriterien sowohl eine schnelle Hilfestellung als auch leichtbaubezogene Vergleichskriterien bereitgestellt werden. Hierzu wurden die verfügbaren Leichtbaukenngößen analysiert [7], [19] und ein Leichtbaukenngößenmodell abgeleitet, sodass sie im Auswahlprozess bereitgestellt werden können. Die herangezogenen Größen sind das spezifische Volumen, die spezifische Steifigkeit, der Stabilitätswiderstand und die Reißlänge. Hierbei erlaubt die Kenngröße „Spezifisches Volumen“  $L_v$  unabhängig von den mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes, das von dem Bauteil eingenommene Volumen zu beurteilen, indem nur die Dichte  $\rho$  in  $g/cm^3$  und der Ortsvektor  $g$  in  $N/mm^2$  betrachtet werden (Formel 1).

$$L_v = \frac{1}{(g\rho)} \quad (1)$$

Die spezifische Steifigkeit  $L_{DE}$  für Biegung und Schub  $L_{DG}$  erlaubt unter Einbeziehung des Elastizitäts- bzw. des Schubmoduls eine Aussage über die zu erwartenden elastischen Deformationen (Formeln 2, 3).

$$L_{DE} = \frac{E}{(g\rho)} \quad (2)$$

$$L_{DG} = \frac{G}{(g\rho)} \quad (3)$$

Als weitere bedeutende Kenngröße sei hier beispielhaft die Reißlänge aufgeführt, die unter Verwendung der auf das spezifische Volumen bezogenen Zugfestigkeit  $R_m$  die Einschätzung der Zugbeanspruchbarkeit des Werkstoffes ermöglicht (Formel 4).

$$L_R = \frac{R_m}{(g\rho)} \quad (4)$$

In der realisierten Assistenzumgebung kann der Konstrukteur optional nach einem Werkstoff, einer Bauweise oder nach bestimmten Werkstoffparametern suchen, wobei die Suchgrenzen wählbar sind. Dabei können gezielte Anfragen einzeln aber auch kombiniert (mehrere Werkstoffgruppen oder auch eine bestimmte Werkstoffgruppe und eine bestimmte Bauweise) gestellt werden. Die dem Suchkriterium entsprechenden Werkstoffe werden in einer Übersichtstabelle zusammen mit ihrem Kurznamen, der Werkstoffnummer, den gesuchten Parametern, den Werkstoffbauweisen, den Ausgangsstoffen, den möglichen Herstellungs- und Weiterverarbeitungsprozessen, sowie den errechneten Leichtbaukriterien angezeigt. Für die Detailauswahl können Datensätze über das Verhalten unter verschiedenen Standardlastfällen und der Materialkarte angezeigt werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, ausgewählte Werkstoffe anhand der vom Anwender gesuchten Parameter zu vergleichen und schlussendlich den leichtbaugerechten Werkstoff auszuwählen. Durch explizite Materialzuweisung in der Prinziplösungsmodellierung wird einem Konzept-Feature-Element die Werkstoffreferenz zugewiesen [5]. Basierend auf diesen Daten kann anschließend die wissensbasierte Verbindungstechnologiezuweisung nach [5], [11] vorgenommen werden. Die abgelegten Daten zur Verbindungstechnologie werden für den späteren Detaillierungsprozess nach der Bauraumgenerierung digital im XML-Datenmodell abgelegt und über eine Schnittstelle an das CAD-System in Form von Verweisen übergeben (siehe Abschnitt 3.1). Im Detaillierungsprozess sollen somit dem Produktentwickler wichtige Informationen zur Ausführung der im Konzeptionsprozess festgelegten Fügetechnologie gegeben werden. Der Unterstützungsaspekt ist hierbei wiederum so vielfältig wie bei der Werkstoffauswahl. Die Fügbarkeit eines Bauteils ist abhängig von Werkstoff, Verfahren und Konstruktion an sich, was in folgendem Schaubild verdeutlicht wird (Bild 6).

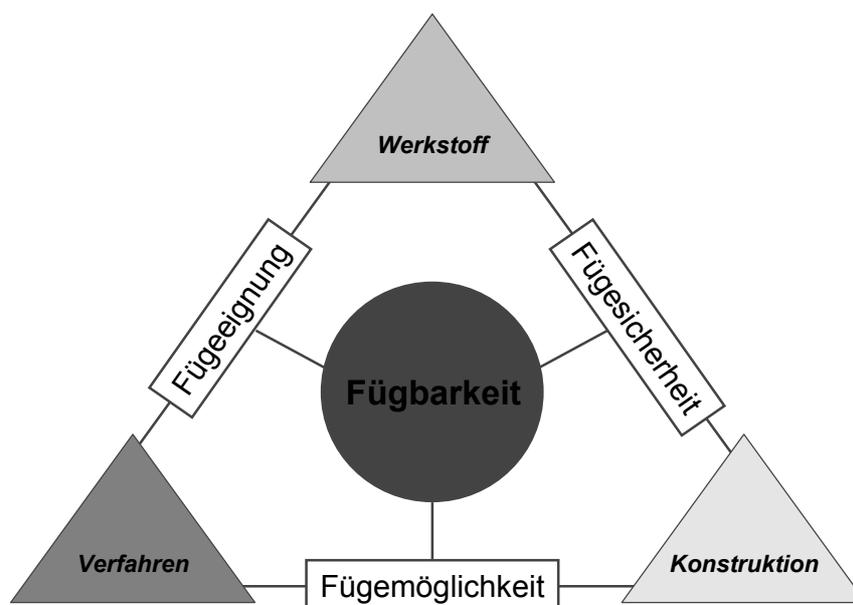


Bild 6: Beurteilung der Fügbarkeit von Leichtbaukonstruktionen [10]

Der letzte hier betrachtete Syntheseschritt am Übergang zur Phase „Gestalten der maßgebenden Module“ ist die Bauraumsynthese. Hierbei werden aus den geometrischen Informati-

onen der ausgewählten Prinziplösungsvariante über die Programmierschnittstelle Pro/Toolkit im CAD-System Pro/Engineer zu jedem Konzept-Feature-Element einzelne Bauraumteile erzeugt. Die relative Positionierung der Subbauräume wird anhand von Koordinatensystemausrichtungen in einer Bauraumbaugruppe vorgenommen. Dies ermöglicht im Detaillierungsprozess eine Anpassungsflexibilität und die Möglichkeit im Sinne kollaborativer Projektbearbeitung Bauräume getrennt voneinander ausarbeiten zu lassen. Die Bauräume sind im CAD-System an die in der Prinziplösungsmodellierung nicht erfassten Anforderungen und Randbedingungen anzupassen. Dies kann nun mit den CAD-System-eigenen Werkzeugen und deren vollen Funktionsumfang erfolgen. Es werden jedoch nicht nur geometrische Daten, sondern auch semantische Konstruktionsinformationen in Form von Parametern und textuellen Anmerkungen, sowie Verweise auf die Synthesedatenbasis übertragen. Mit Hilfe der verfügbaren Bauraumdaten können weitere konstruktionsbegleitende, in [13] aufgeführte Analysen durchgeführt werden.

### **3.3 Analyseschritte des angepassten Prozessmodells und softwaretechnische Realisierung**

Die im Abschnitt 3.2 dargestellte rechnerunterstützte Synthese von Baustrukturvarianten und Prinziplösungen erlaubt eine umfassende Analyse dieser zur Entscheidungsfindung bei der Auswahl. Dabei ist es entscheidend die Vergleichbarkeit der Prinziplösungsvarianten durch gleichen Ausarbeitungsstand sicherzustellen. Auf Basis des Funktionskomplexitätsgrades und der Zuordnung von Teilfunktionen zu Strukturelementen der Prinziplösungen kann eine Abschätzung der zu erwartenden Gesamtkomplexität einer Prinziplösung vorgenommen werden. Wird in einer Variante beispielsweise die Funktion „Bauteilverformung verhindern“ der Funktionsgruppe „Fahrtbelastung aufnehmen“ durch ein Integralteil abgedeckt, so hat diese im Vergleich zu einer Variante in Differentialbauweise, bei der mehrere Teile durch entsprechende Fügetechnologien verbunden werden müssen, einen geringeren Komplexitätsgrad. Dies wird im Programm durch entsprechende Zuweisung von Funktionen zu Konzept-Feature-Elementen erreicht. Darüberhinaus erlaubt die vorgestellte Vorgehensweise die vergleichende Beurteilung der Funktionsintegration. Lösungsvarianten können hinsichtlich der Abdeckung von Haupt- und Nebenfunktionen überprüft werden. Beim Durchlaufen der Funktionshierarchie wird überprüft, welche Hauptfunktionen durch Bauteile abgedeckt sind (binäre Aussage). Durch den Funktionsbedeutungsgrad mit Wertebereich 0-4 wird die entsprechende Erfüllung gewichtet und das Ergebnis für jede Funktion aufsummiert. Diese Vorgehensweise wird analog für die Nebenfunktionen durchgeführt. Damit stehen erste Bewertungsgrundlagen der Prinziplösungsvarianten zur Verfügung.

Für die vergleichende Evaluation von Leichtbaulösungen ist die Analyse der zu erwartenden Masse unverzichtbar. Hierbei werden die in der Synthese vergebenen Materialdaten mit den verfügbaren geometrischen Merkmalen zur Gewichtsabschätzung herangezogen. Die ermittelten Werte stellen jedoch sicherlich auf Grund des hohen Abstraktionsgrades lediglich Anhaltswerte für den Vergleich der Varianten dar, sind aber dennoch wichtiger Bestandteil der Entscheidungsfindung.

In der Konzeptphase reicht der Detaillierungsgrad von abstrakten Teilfunktionen bis hin zu prinzipiellen Lösungskonzepten, wobei der Abstraktionsgrad zu Beginn der Konzeptphase so hoch ist, dass keine Kostenprognosen erstellt werden können [5]. Aufgrund des unscharfen Charakters der Informationen innerhalb der Konzeptphase ist es erforderlich, dass eine Methode gewählt wird, die diese Informationsart verarbeiten kann. Aus diesen Gründen wurde eine vergleichende, fuzzy-basierte Kostenschätzung von Prinziplösungsvarianten ausgewählt und unter Zuhilfenahme der fuzzy-logic-Toolbox in MATLAB, derartige Analysen ermöglicht.

Weiterhin wurden im Rahmen der Arbeiten Analysekonzepte für eingesetzte Verbindungstechnologien, recyclinggerechte Gestaltung und interne Fertigungsmöglichkeiten entwickelt,

die den Analyseprozess in der Workbench abrunden (u.a. [5]). Eine Einbindung des Bewertungswerkzeuges Evaluator nach [1] in den Entwicklungsprozess erlaubt schlussendlich die multikriterielle Bewertung der Lösungsvarianten, die zur Auswahl und Überführung der Prinziplösung in einen Bauraumdatensatz erlaubt. Im weiteren Konstruktionsverlauf können dann die in CAX-Werkzeugen integrierten Analysemöglichkeiten, wie etwa die Kollisionsanalyse zwischen Bauräumen und ausdetaillierten Baugruppen im Zusammenhang mit Design Reviews verwendet werden [13].

#### 4 Assistenzlösung im Gesamtkontext des Produktentwicklungsprozesses von Leichtbaustrukturen

Die vorgestellte Assistenzlösung zur Unterstützung des Produktentwicklers bei der Konzeption flächiger Leichtbaustrukturen ist im Rahmen der Prozesskettenbetrachtung zu beurteilen. Die Assistenzlösung stellt ein Werkzeug zur Synthese von Funktionshierarchien bereit. Die dabei ermittelten Informationen werden durchgängig in der Prinziplösungsmodellierung bis hin zur Bauraumgenerierung weiterverarbeitet. Auf Basis der erarbeiteten abschätzenden Analysekonzepte in der Phase „Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen“ rechnerunterstützt bewertet werden. Der Übergang zur Phase Gestalten der maßgebenden Module wird mit der vorgestellten Workbench durch Bauraumgenerierung unterstützt. Die Betrachtung der Prozesskette zeigt, dass bei der vorgestellten Vorgehensweise auf teilweise zeitintensive, bei der Entwicklung von Leichtbaustrukturen nicht zielführende Schritte verzichtet wurde. Andererseits wurden weitere Schritte eingeführt, die jedoch auf Grund der Datendurchgängigkeit zur Beurteilungsfähigkeit von Konzepten in den frühen Phasen beitragen. Die entwickelten Werkzeuge im Rahmen des Forschungsvorhabens sind – in Zuordnung zu den Phasen des Produktentwicklungsprozesses – in folgender Darstellung aufgelistet (Bild 7).

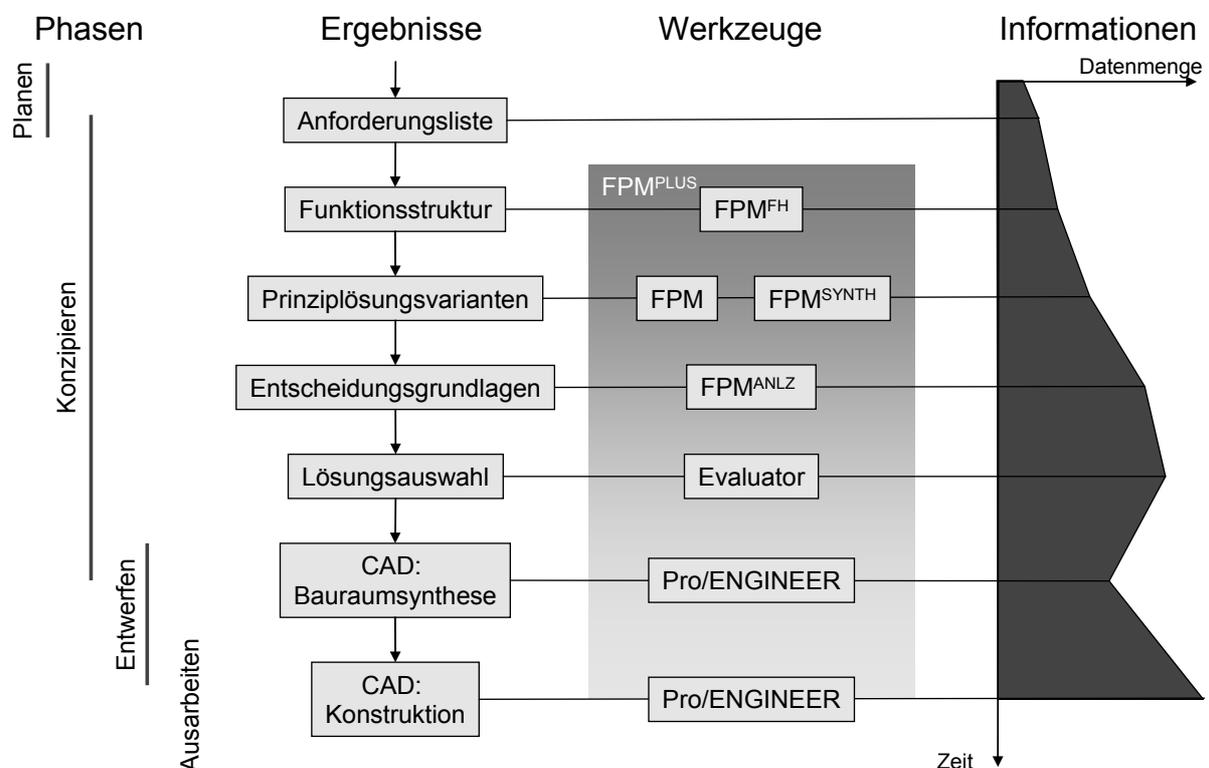


Bild 7: Einreihung der Werkzeuge in den Entwicklungsprozess und Informationsgewinnung

Der Zuwachs an Informationen über der Zeit ist dabei qualitativ festgehalten. Es ist erkennbar, dass die Bewertung und Auswahl der Prinziplösungsvarianten – im Falle der Betrachtung der Informationsgewinnung für eine Variante – einen bedeutenden Einschnitt darstellt. Wesentliche Aufgabe der Werkzeuge ist es demzufolge diesen Prozess durch abgesicherte, nachvollziehbare Analysen und damit auch die Entscheidungsfindung zu unterstützen.

Im Teilprojekt A1 des Sonderforschungsbereiches 396 – „Robuste, verkürzte Prozessketten für flächige Leichtbauteile“ wurden über die vorgestellten Ergebnisse hinaus noch weitere Untersuchungen wie Toleranzvisualisierung und konstruktionsinterne Montagevorplanung [16] angestellt, die einer digitalen Absicherung von Produkteigenschaften dienen und damit eine Verbesserung des Produktentstehungsprozesses erzielen. Durch die vorgestellte Workbench kann eine Unterstützung des Produktentwicklers bei der multidisziplinären Erarbeitung von Leichtbauprodukten herbeigeführt werden, die sich auf eine ganzheitliche, integrierte Sichtweise stützt.

## 5 Literatur

- [1] Adunka, R.: Rechnerunterstützter Bewertungsprozess im Umfeld methodischer Produktentwicklung. FAU Erlangen-Nürnberg, Dissertation, 2002
- [2] Boss, D.-I.M. CAE und präventive Qualitätssicherung bei der Entwicklung von Teilen aus faserverstärkten Kunststoffen. in 7. Nationales SAMPE Symposium 2001. Erlangen.
- [3] Codd, E. F.: A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. In: A. f. C. Machinery (Hrsg.): Communications of the ACM, Vol. 13, No. 6. New York (USA), 1970.
- [4] Gero, J.S.; Kannengiesser, U.: The situated function-behaviour-structure framework. In: J.S. Gero (Hrsg.), Artificial Intelligence in Design'02, Kluwer, Dordrecht, 2002. Quelle: <http://wwwpeople.arch.usyd.edu.au/~john/publications/2002.html> (16. Januar 2007).
- [5] Hauck, C.: Beitrag zur methodischen, rechnerunterstützten Konzeption und Prinziplösungsmodellierung flächiger Leichtbaukomponenten. FAU Erlangen-Nürnberg, Dissertation, 2006.
- [6] Hubka, V.: Theorie der Konstruktionsprozesse – Analyse der Konstruktionstätigkeit. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1976.
- [7] Klein B.: Leichtbau-Konstruktion. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg, 2001.
- [8] Koch, M.: Ein bauraumorientierter Ansatz zur durchgängigen Unterstützung der frühen Konstruktionsphasen. In: VDI (Hrsg.): VDI-Berichte Reihe 1 Nr. 383. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2005.
- [9] Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau – Grundlagen des methodischen Konstruierens. 2. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1985.
- [10] Matthes, K.-J.; Riedel, F.: Fügetechnik – Überblick - Löten - Kleben - Fügen durch Umformen. Chemnitz: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2003.
- [11] Meerkamm, H.; Hauck, C.: Conceptual Design - Enhancement of a Design Assistant System. 8th International Design Conference, Dubrovnik, 2004.
- [12] Meerkamm, H.; Koch, A.; Rückel, V.; Feldmann, K.: Process Data Management in the whole Product Creation Process. In: Proceedings of "The 9th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD 2005)", Coventry (Großbritannien), 24.-26. Mai 2005

- [13] Meerkamm, H.; Wittmann, S.; Stockinger, A.: Verbesserung des industriellen Produktentwicklungsprozesses unter Einsatz der Bauraumsynthese auf Basis eines PDM-System-Konzeptes, DFG Sonderforschungsbereich 396 - Beiträge zum Berichts- und Industriekolloquium, Erlangen, 20./21. Juni 2006
- [14] N.N.: VDI 2221. Methodik zum Entwickeln und Konstruieren Technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI, 1986.
- [15] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin 1997
- [16] Rückel, V.: Verkürzung von Montageprozessen durch den Einsatz CAD-gestützter Ablaufplanung und kooperierender Industrieroboter. In: Feldmann, K.; Geiger, M. (Hrsg.): Dissertationsreihe Fertigungstechnik – Erlangen – Band 178. Meisenbach: Bamberg, 2006.
- [17] Strauß, O.: Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK): Unschlagbar leicht und stabil. Industrie Anzeiger, 2006. Seite 38.
- [18] Wandtke, H.; Wetzenstein-Ollenschläger, E.: Assistenzsysteme: Woher und Wohin?. 1. Aufl. Berlin: <http://www.gc-upa.de>, 2003.
- [19] Wiedemann, J.: Leichtbau Band 1: Elemente. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1986

Dipl.-Ing. Andreas Stockinger  
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Martensstraße 9, D-91058 Erlangen  
Tel: +49-9131-85-23217  
Fax: +49-9131-85-27988  
Email: [stockinger@mfk.uni-erlangen.de](mailto:stockinger@mfk.uni-erlangen.de)  
URL: <http://www.mfk.uni-erlangen.de>