

POTENZIALE DER METHODE FUNKTIONSDIAGRAMME BEIM LEICHTBAU VON FLUGZEUGKÜCHEN

Thomas Gumpinger, Dieter Krause

Zusammenfassung

Mit der Forderung nach Energieeffizienz rückt Leichtbau noch weiter in den Vordergrund. Die Integration von mehreren Funktionen auf einen Funktionsträger stellt dabei eine Möglichkeit zur Lösung dar. Die Methode der Funktionsintegration wird dabei meist bei Produkten mit hoher Stückzahl angewendet, da die Integration mehrerer Funktionen oft mit einem erhöhten Entwicklungsaufwand einhergeht und dieser Entwicklungsaufwand durch Materialeinsparungen kompensiert werden kann. Moderne Methoden wie Finite Elemente und Topologieoptimierung ersetzen immer mehr aufwendige Versuche und beschleunigen die Entwicklung. Dies macht Funktionsintegration auch für variantenreiche Kleinserienprodukte, wie sie im Flugzeuginterieur anzutreffen sind, interessant. Für den Konstrukteur ist ein angepasstes Vorgehen notwendig, um die Potenziale der Funktionsintegration am Produkt optimal ausschöpfen zu können.

Im Beitrag erfolgen zunächst eine Definition der Begrifflichkeiten sowie eine Abgrenzung zu anderen Aspekten des funktionsorientierten Leichtbaus wie Integralbauweise und Multifunktionalbauweise. Ein methodisches Vorgehen für die Funktionsintegration in Sandwichpanels wird am Beispiel einer Flugzeugküche, die ein variantenreiches Kleinserienprodukt darstellt, vorgestellt.

1 Einleitung

Um die anhaltenden Forderungen der Luftfahrtindustrie nach geringerem Gewicht und weiteren Funktionen in der Konstruktion umzusetzen, werden seit Langem Leichtbauweisen angewandt. Bei der Konstruktion von Kabinenausstattungen dominiert hierbei der Stoffleichtbau, dessen Umsetzung in vielen Fällen eine Umkonstruktion der entsprechenden Komponenten erfordert, um sie - zum Beispiel hinsichtlich der Fügeverfahren - an die veränderten Materialeigenschaften anzupassen. Durch moderne Werkstoffentwicklungen sind Gewichtsreduzierungen hier möglich, jedoch mit einem zunehmenden Kostenaufwand verbunden. Dem reinen Stoffleichtbau sind also wirtschaftlich immer stärker Grenzen gesetzt [5].

Durch zwei verschiedene Aspekte kann die Funktionsintegration hierbei helfen, diese Grenzen zu erweitern. Zum einen lassen sich durch die Integration von Funktionen Bauteile und damit Gewicht einsparen, zum anderen kann durch eine funktionsintegrierte Gestaltung der Einsatz von modernen Leichtbauwerkstoffen wirtschaftlich lohnend werden, wenn hierdurch die zusätzlich geforderte Funktionalität abgebildet werden kann. Diese beiden Zusammenhänge werden durch optimierte Nutzung und Kombination der Bauteil- und Materialeigenschaften erreicht.

Die Funktionsintegration bietet die Möglichkeit zur Verringerung der Gesamtanzahl von Bauteilen in einem gegebenen Produkt. Das Ziel ist es dabei, das Verhältnis von erfüllten Funktionen pro Teil zu erhöhen, indem ein Bauteil ein Maximum an Eigenschaften zur Erfüllung der gewünschten Funktionen beiträgt und so andere Teile einspart. Dies spezialisiert allerdings die Bauteile und wirkt einem universellen Einsatz entgegen, wodurch die Funktionsintegrati-

on als Maßnahme bei variantenreichen Kleinserien eingeschränkt wird. In diesem Fall müssen daher die Funktionen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Variantenvielfalt geprüft werden, um sinnvoll integrierbare Funktionen zu identifizieren.

2 Grundlagen der Funktionsintegration

„Zum Beschreiben und Lösen konstruktiver Aufgaben ist es zweckmäßig, unter Funktion den allgemeinen und gewollten Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen, zu verstehen“ [1]. Für die Integration und Trennung von Funktionen werden in der gängigen Literatur unterschiedlich Begriffe genannt [1]. ROTH gibt eine umfassende Definition. Unter Funktionsintegration soll „die Erhöhung der Eigenschaften eines Einzelteils mit dem Ziel, mehrere Funktionen mit ihm erfüllen zu können“ verstanden werden [2]. Dabei wird die Umkehrung dieses Vorgehen, also „die Verringerung (...) der Eigenschaften zum Zwecke des Ausschließens unerwünschter Funktionen Funktions-trennung genannt“.

Im Verlauf des Konstruktionsprozesses ist die Konkretisierung von der Funktionsebene auf die Bauteilebene im Hinblick auf die Funktionsintegration von entscheidender Bedeutung. Während dieser Phase wird die abstrakte Funktionsstruktur als Beschreibung des Produktkonzeptes in eine konkrete Bauteilstruktur überführt (siehe Bild 1). Dieser Übergang zwischen den Darstellungsebenen bietet dem Konstrukteur breite Möglichkeiten auf die Gestaltung des Produktes Einfluss zu nehmen [2].

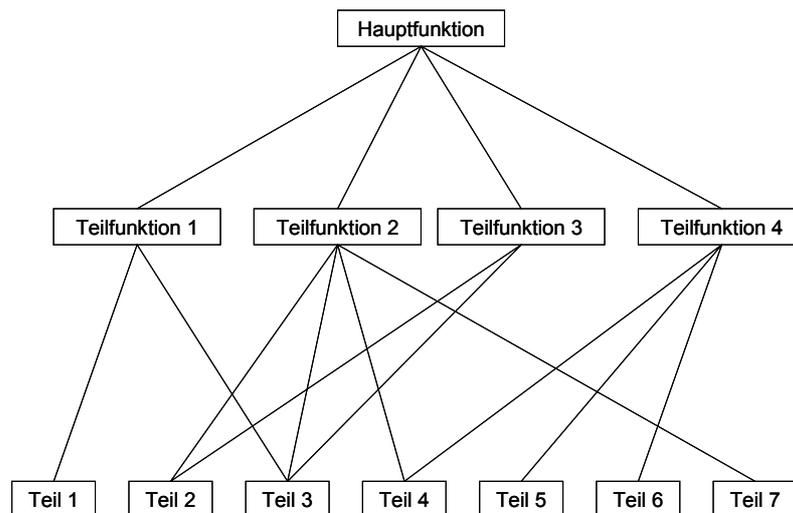


Bild 1: Polyhierarchische Verknüpfung von Teilfunktionen und Bauteilen, nach [2]

Für diese Konkretisierung müssen direkte Zuordnungen zwischen Funktionen und Bauteilen geschaffen werden, welche meist polyhierarchisch sind. Durch Maßnahmen der Funktionsintegration werden die Menge der Einzelteile sowie deren Zuordnung zur Teilfunktionsebene verändert.

Ein wesentlicher Aspekt der Funktionsintegration nach ROTH ist die Vereinigung der Wirkflächen oder Wirkräume von Bauteilen (siehe Bild 2). Besonders diese Eigenschaft grenzt die Funktionsintegration zu anderen Bauweisen wie der Integralbauweise ab, da bei diesen die funktionsrelevant Flächen und Räume voneinander separiert sein können.

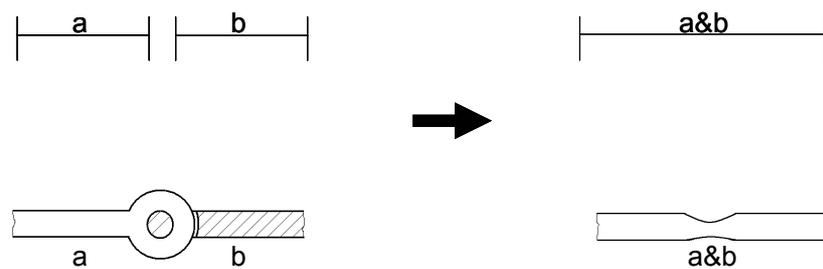


Bild 2: Wirkräume und -flächen, einfaches Beispiel einer Funktionsintegration durch die Vereinigung an den Wirkflächen (Filmgelenk), nach [2]

Bauweisen, „welche durch das Verhältnis zwischen der Zahl an Funktionen (Fähigkeiten) und der Anzahl der Bausteine eines technischen Gebildes bestimmt“ sind, werden von KOLLER als Funktionsbauweisen bezeichnet. Im Wesentlichen werden diese Bauweisen durch die Arten der hervorgerufenen Korrelation zwischen Funktions- und Teilemenge definiert, die in Bild 3 aufgezeigt sind.

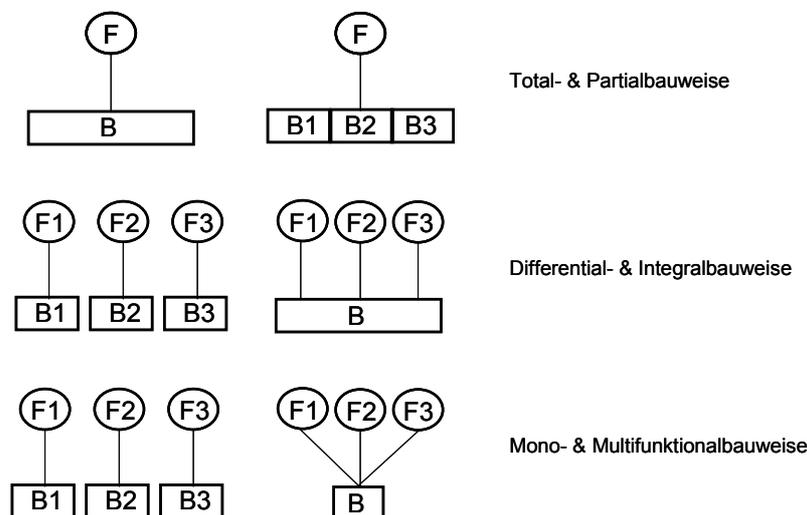


Bild 3: Funktionsbauweisen von Bauteilen bzw. Baugruppen [3]

Die Multifunktionalbauweise weist eine weitgehende Übereinstimmung zu der von ROTH definierten Funktionsintegration auf. Diese ist als die Erfüllung weiterer Funktionen durch ein Bauteil ohne nennenswerten Fertigungs- oder Kostenaufwand definiert, Funktionen sollen also ohne Aufwand integriert werden können [3]. Da dies nicht zwingend für die Funktionsintegration zutreffen muss und da der Aspekt der Vereinigung der Wirkflächen bei der Multifunktionalbauweise nicht besteht, überschneiden sich diese Begrifflichkeiten.

Wie die Funktionsintegration verwendet wird, um durch die Verringerung der Bauteilanzahl Kosten, Gewicht und Bauraum einzusparen, so erreicht man durch die Funktionstrennung, eine konstruktive Lösung, die durch reduzierte Anforderungen besser ausgelegt werden kann [1]. Im Falle einer funktionsgetrennten Bauweise sind der konstruktiven Gestaltung mehr Freiheiten gegeben. Durch die Funktionsintegration bieten sich Möglichkeiten zur Einsparung von Bauteilen und somit Material und Bauraum. Durch diesen Zusammenhang steigt im Allgemeinen die wirtschaftliche Wertigkeit eines Produktes bei einer zunehmend funktionsintegrierten Gestaltung und die technische Wertigkeit nimmt ab [2].

Im Kontext des Gesamtproduktes sind bei der Funktionsintegration weitere Faktoren mit Einfluss auf die wirtschaftliche und technische Wertigkeit einzubeziehen. Zum einen beruht die

Zunahme der wirtschaftlichen Wertigkeit mit einer funktionsintegrierten Gestaltung durch die Einsparung von Bauteilen und deren Produktionskosten stark auf die ausnutzbaren Stückzahlereffekten. Daher ist sie je nach auftretenden Stückzahlen der Bauteile zu relativieren. Des Weiteren spielt die Varianz und Modularisierung des jeweiligen Produktes eine große Rolle. Eine Integration von Funktionen, die in nur wenigen Varianten oder Modulen gemeinsam vorkommen, steigert meist die innere Varianz und reduziert die wirtschaftliche Wertigkeit. Es müssen also durch eine variantenorientierte Betrachtung der Produktstruktur Funktionen gefunden werden, die für eine Funktionsintegration aus wirtschaftlicher Sicht besonders geeignet sind. Zum anderen lassen sich moderne Werkstoffe zunehmend an die Einsatzsituation anpassen. Das Nutzen dieser Freiheit kann durch zunehmende Komplexität die Bauteilauslegung erschweren, erhöht jedoch die Möglichkeiten zur Funktionsintegration. Hierbei wird der Konstrukteur durch moderne Auslegungsverfahren und Materialmodelle unterstützt. CAx Tools, wie die Finite Elemente Methode und Topologieoptimierung, gestatten die Auslegung von immer komplexeren Belastungsfällen. Aufgrund dieser Zusammenhänge sind die Auswirkungen jeder in Betracht gezogener Funktionsintegration auf die technische und wirtschaftliche Wertigkeit im Produkt zu beurteilen.

Zur konkreten Umsetzung der Funktionsintegration werden bei ROTH basierend auf einer Strukturanalyse des Produktes die verschiedenen Arten der Vereinigung von Wirkflächen und –räume auf ihre Anwendbarkeit geprüft. Dieses systematische Vorgehen hat die Vereinfachung einer vorliegenden Konstruktion durch sieben grundsätzliche Möglichkeiten zur Vereinigung von Wirkräumen oder Wirkflächen zum Ziel, die zusätzlich nach serieller oder paralleler Integration unterschieden werden.

3 Anwendung der Funktionsintegration am Beispiel einer Flugzeugküche

Im folgenden Abschnitt soll der verfolgte methodische Ansatz zur Funktionsintegration bei Sandwichplatten für Flugzeugküchen (Galley) aufgezeigt werden. Mit der Erläuterung der Grundlagen zu Sandwichpanels und Galleys erfolgt die Einführung in das Thema. Aufbauend darauf wird die Problemstellung diskutiert und der methodische Ansatz vorgestellt.

Strukturen wie Gepäckfächer, Bordtoiletten und Bordküchen im Flugzeuginterieur sind meist aus Glasfasersandwichplatten aufgebaut. Die Platten bestehen aus einem Kernmaterial und zwei Deckschichten. Eine funktionale Analogie zu diesen Sandwichplatten ist der I-Träger, wobei der Kern dem Steg und die Deckschichten den Flanschen entsprechen. Wegen der breiten Verwendung der Sandwichplatten in der Kabinenausstattung werden diese als Funktionsträger für die weitere Funktionsintegration ausgewählt.

Zur kundenindividuellen Ausstattung der Galleys kommt die Vielfalt an unterschiedlichen Typen hinzu. Dadurch ergibt sich eine hohe Varianz, welcher man derzeit in der Fertigung durch einen hohen Anteil an manuellen Tätigkeiten gerecht wird. Im Falle der Flugzeugküchen liegen darüber hinaus niedrige Stückzahlen vor, sodass bei den meisten möglichen Funktionsintegrationen eine Kostenersparnis durch eine vereinfachte Produktion nicht zu erwarten ist. Der Einsatz von Funktionsintegration ist deshalb zu überdenken, da er dieses Problemfeld noch intensivieren würde. Der Identifikation von integrationsgeeigneten Funktionen kommt daher eine besonders große Bedeutung zu.

Die technische Wertigkeit wird in großem Maße durch den Wunsch der Gewichtsreduktion bestimmt, welche mittels Funktionsintegration durch den Wegfall von Bauteilen und Materialeinsparungen erreicht werden kann.

Die individuelle Anpassung und Gestaltung von den eingesetzten FKV kann genutzt werden, um die technische Wertigkeit einer funktionsintegrierten Lösung zu steigern. Kompromisse in der Auslegung können reduziert oder optimiert werden.

Der Grundgedanke des Vorgehens handelt nach dem Umkehrprinzip: „Welche Funktionen schaden bei ihrer Integration?“. Die restlichen Funktionen gelten insofern als integrierbar, als dass sie sich nicht negativ auf das Produkt im Hinblick auf Varianz und Modularität auswirken.

Zwischen dem aus verschiedenen Sichten des Produktlebenszyklus erstrebenswerten Konzept der Modularisierung und der Funktionsintegration besteht folgender Konflikt. Der Aufbau eines modularen Produktes aus physisch abgetrennten Einheiten mit eindeutig zugeordneten Funktionen widerspricht dem Gedanke der Funktionsintegration. Ein Vorgehen zur Funktionsintegration bei einem variantenreichen Kleinserienprodukt muss diesen Zielkonflikt durch die Auswahl von unkritischen Funktionen umgehen, die sich bei einer Integration nicht negativ auf die Modularität und Variantengerechtigkeit des Produktes auswirken.

Um eine solche Auswahl durchzuführen, wird das Konzept der Modultreiber nach ERIXON für die Identifikation von geeigneten Funktionen adaptiert. Nach diesem Ansatz sprechen verschiedene Modultreiber aus unterschiedlichen Bereichen des Produktlebenszyklus für die Abgrenzung bestimmter Komponenten in eigenständige Module [4]. Diese Methode kann hier sinnvoll eingesetzt werden, indem mit der Kenntnis der geforderten Vielfalt innerhalb einer bestehenden Funktionsstruktur Funktions-Cluster gebildet werden, die einem oder mehreren Modultreibern gerecht werden. Funktionsintegrationen innerhalb dieser Cluster bilden Ansätze für die Optimierung der Flugzeugküchenstruktur.

Die betrachtete Menge an Sandwichplatten als Funktionsträger konnte vorab reduziert werden, da einige nur eine strukturelle Funktion in der Galley besitzen. Zur Analyse wurde die Menge an Funktionen aus dem Umfeld der Sandwichplatte als Funktionsträger erfasst und Modultreibern gegenübergestellt. Dies geschieht mithilfe einer adaptierten Version der Modul Indication Matrix (MIM) nach ERIXON. Die hierbei verwendeten Kriterien bestehen aus einer Auswahl geeigneter Modultreiber. Da deren ursprüngliche Intention jedoch die Identifikation modularisierbarer Komponenten ist und sie nur bedingt auf Funktionen anwendbar sind, müssen zukünftig für die weitere Verbesserung dieses Ansatzes sinnvolle Identifikatoren gefunden werden.

	Funktion 1	Funktion 2	Funktion 3	Funktion 4	Funktion 5	Funktion 6	Funktion 7	Funktion 8
Modultreiber 1			3	1		1		1
Modultreiber 2		1	9	9				1
Modultreiber 3	1	1	1	1		3		9
Modultreibersumme	1	2	13	11	0	4	0	11

schwacher Modultreiber 1
 mittlerer Modultreiber 3
 starker Modultreiber 9

Bild 4: Adaptierte Module Indication Matrix zur Identifikation von sinnvollen Funktionsintegrationen, nach [4]

Eine hohe Bewertung einer Funktion durch die Modultreiber sowie eine ausgeprägte Alleinstellung der Bewertungsverteilung indizieren Funktionen, die wenig für eine Integration geeignet sind. Die in Bild 4 markierten Funktionen sind aufgrund ihrer ähnlichen Verteilung der Bewertung für eine Abtrennung in einem eigenständigen Modul in Betracht zu ziehen. Die Funktionen mit einer niedrigen Modultreibersumme werden dagegen als unkritisch eingestuft und auf die Möglichkeit der Funktionsintegration in den Funktionsträger hin untersucht.

Bei der Suche nach Technologien und Ideen zur Umsetzung der einzelnen Integrationen wurden die geforderten Funktionen den vorhandenen Material- und Bauteileigenschaften der Sandwichplatte als gewünschter Funktionsträger gegenübergestellt. Zur Integration einer Funktion werden Bauteileigenschaften entweder direkt genutzt, oder, zum Beispiel durch eine Umgestaltung oder Materialauswahl, so beeinflusst, dass die Funktion erfüllt werden kann. Dabei sollte das Wechseln zu anderen Wirkprinzipien in Betracht gezogen werden. Im Folgenden wird ein Teil der gefundenen Lösungen beschrieben.

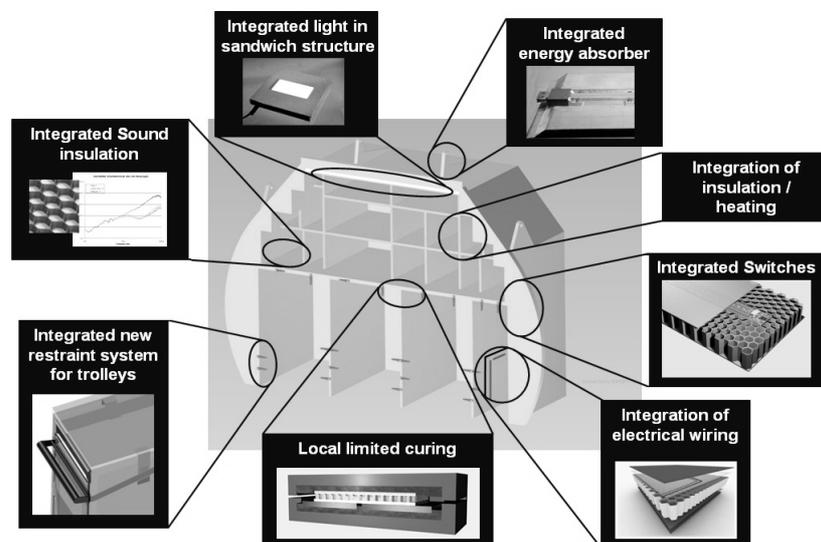


Bild 5: Potenzielle Funktionsintegrationen im Bereich einer Flugzeugküche [8]

Eine breite Anwendung für Funktionsintegration bietet die elektrisch isolierende Eigenschaft des Sandwichmaterials, die sich für eine Vielzahl an elektrischen Anwendungen nutzbar machen lässt. EL-Leuchtfolien können ohne deren normalerweise nötigen Schutzschichten in das Oberflächenlaminat eingebracht werden. Die dazu nötigen Eigenschaften, also eine gute Transparenz, die elektrische Isolation und der mechanische Schutz, sind bereits vorhanden oder können durch angepasste Harze im Deckschichtlaminat erreicht werden.

Bei der Verlagerung von elektrischen Leitungen, einfachen Schaltkreisen, Induktionsspulen, Antennen und Heizelementen in die Sandwichplatte kann auf gesonderte Isolation verzichtet und damit Gewicht gespart werden. Auch Gehäuse und Montageteile entfallen. Die solide Struktur der Platte bietet zusätzlichen Schutz und kann somit dem erhöhten Wartungsaufwand für die integrierten Funktionen durch eine besondere Zuverlässigkeit entgegenwirken. Glattere Oberflächen der Galley vereinfachen die Reinigung und reduzieren damit Stillstandzeiten.

Um die Funktion der Wärmeisolation von Kühlfächern und Öfen zu erfüllen, kann das Kernmaterial der Sandwichplatten optimiert werden, sodass zusätzliche Isolationen entfallen oder der Energieverbrauch gesenkt werden können.

Gesonderte Energieabsorber wie sie als Verbindungselemente von Kabinenkomponenten an die tragende Struktur des Flugzeuges verwendet werden können mit mehreren ihrer Teil-

funktionen in die Ausbauten selbst integriert werden. Die Struktur der Sandwichplatte selbst kann so gestaltet werden, dass sie durch definierte Deformation als Energieabsorber fungieren kann. Bei dem in [9] vorgestellten Absorber wird dazu ein Bolzen definiert durch den Faserkunststoffverbund gezogen.

4 Zusammenfassung

Synergetische Bauweisen, welche den Stoffleichtbau mit neuen Funktionen kombinieren, können den Leichtbau weiter vorantreiben. Dabei müssen die Auswirkungen einer Funktionsintegration auf den Produktlebenszyklus berücksichtigt werden. In diesem Beitrag wurde ein erster Ansatz vorgestellt, der vorab den Aspekt der Variantengerechtigkeit in das Vorgehen einbezieht. Dieses adaptierte Vorgehen erwies sich im Zielkonflikt zwischen variantengerechter Gestaltung und Funktionsintegration als vielversprechend und ist zukünftig weiter zu verfolgen und zu verifizieren.

Die Vorgehensweise für die Umsetzung von Funktionsintegration nach ROTH ist auf die Umgestaltung vorliegender Konstruktionen anzuwenden. Durch ihre Anwendung am Beispiel der Flugzeugküche zeigte sich die Notwendigkeit einer Methodik, die bereits in früheren Phasen des Konstruktionsprozesses anwendbar ist und hier mehr Freiheiten für Funktionsintegration gibt.

Im Bereich der Innenausstattung von Verkehrsflugzeugen kann die Funktionsintegration gute Lösungsansätze für die aktuellen Forderungen nach Leichtbau und wachsenden Funktionsumfang bieten. Viele dieser Ansätze werden erst durch eine variantengerechtere Gestaltung der Galley wirtschaftlich sinnvoll. Dabei zeigen aktuelle Konzeptstudien eine deutlich ausgeprägtere Modularität und ebenfalls den Wunsch nach einem weiteren Funktionsumfang. Die Funktionsintegration wird daher im Bereich Flugzeuginnenausstattung zunehmend an Bedeutung gewinnen.

5 Literatur

- [1] Pahl G. Beitz W.: Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen, Springer-Verlag, Berlin, 1997
- [2] Roth, K: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 1: Konstruktionslehre, Springer-Verlag, Berlin, 2000
- [3] Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau: Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen, Springer Verlag, Berlin, 1998
- [4] Erixon, G.: Modular Function Deployment: a method for product modularisation, Stockholm: The Royal Institute of Technology, Dept. of Manufacturing Systems, Assembly Systems Division, 1998
- [5] Hutmann, P.; Wunder, J.: Innovativer Leichtbau durch Funktionsintegration im PKW Bau, DVM-Tag „Fügetechnik im Automobilbau“, Berlin, 2001
- [6] Birkhofer, H.: Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte, Dissertation, TU Braunschweig, 1980
- [7] Kipp, T.; Krause, D.: Design for variety - efficient support for design engineers, DESIGN 2008, 10th International Design Conference, Dubrovnik - Croatia, 2008
- [8] Krause, D.; Pein, M.; Gumpinger, T.: Innovative approaches for integration of functions in composite sandwich structures by the example of cabin interior, First CEAS European Air and Space Conference, Berlin, 2007

- [9] Krause, D.; Pein, M.; Middendorf, P.; Heimbs, S.: Hybrid composite materials for a highly integrated energy-absorbing concept for aircraft cabin interior, The Fifth Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, Atlantic City, 2007

Dipl.-Ing. Thomas Gumpinger
Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause
Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
Technische Universität Hamburg Harburg
Denickestraße 17, 21073, Hamburg
Tel: +49-40-428782148
Fax: +49-40-428782296
Email: gumpinger@tuhh.de
URL: <http://www.tuhh.de/pkt>