

## **BERECHNUNG UND GESTALTUNG VON BAUTEILEN AUS FASERVERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFEN IM KONSTRUKTIONSSYSTEM MFK**

*Werner Puri*

### **Kurzfassung**

Der vorliegende Beitrag stellt das Forschungsvorhaben „*Weiterentwicklung des Konstruktionssystems mfk für den frühen Entwurfsprozess dynamisch belasteter Rahmentragwerke aus faserverstärkten Kunststoffen*“ im Rahmen des DFG Schwerpunktprogramms „Innovative rechnerunterstützte Konstruktionsprozesse: Integration von Gestaltung und Berechnung 1999“ vor. Forschungsziele und -richtung, Stand der Forschung sowie auch Vorarbeiten des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik werden dargelegt.

### **1 Einleitung**

Bei der Entwicklung elektronischer Bauteile und Geräte spielen heute sog. MID`s (Moulded Interconnected Devices) eine immer bedeutendere Rolle. Kennzeichen der MID-Technologie ist die Verknüpfung von elektrischen (Leiterbahnen, Durchkontaktierungen) und mechanischen Funktionen (z.B. Verbindungselemente wie Schnapphaken) in einem spritzgegossenen Bauteil. Die Vorteile der Technologie ergeben sich durch den Einsatz thermoplastischer Basismaterialien aus der konstruktiven Gestaltungsfreiheit des Spritzgießprozesses, verknüpft mit der möglichen Miniaturisierung von Baugruppen, der Rationalisierung und Verkürzung von Prozeßketten sowie auch dem Recyclingpotential. Hauptmerkmal bei der Herstellung von MID`s ist die Notwendigkeit der Bestückung von räumlich gekrümmten Trägerplatten.

Der Trend zur Miniaturisierung elektronischer Geräte ( Einsatz von z.B. FinePitch Bauelementen mit einem Rastermaß: 0,3 --> 0,2 mm oder Bauelementen der Größe 0603, 0402) führt zu großen Anforderungen an die Positioniergenauigkeit von elektronischen Komponenten bei der Bestückung. Geforderte Genauigkeiten von 30 bis 50 µm können als Stand der Technik angesehen werden. Gleichzeitig führt der steigende Wettbewerbsdruck zu Forderungen nach immer höheren Bestückleistungen wie z.B. bei Hochleistungssystemen mit Simultanbestückung die eine Bestückleistung von 40.000 bis 300.000 Bauelemente/Stunde erreichen. Die hohe Bestückleistung impliziert eine hohe Verfahrensgeschwindigkeit. Die inhärente dynamische Komponente der Bestückungssysteme führt aber zu einer Abnahme der Bestückgenauigkeit. Die Bestückgenauigkeit, definiert als Abweichung der tatsächlichen Bestückposition von der Sollposition des Bauelements wird auch von anderen Faktoren wie Positionierfehler der linearen Achsen, Drehfehler des Bestückkopfes, Verwindung des Portalsystems, Fehler der optischen Systeme, Zentrierfehler, Toleranzen und Verwindung der Leiterplatte usw. beeinflusst /6/.

Dynamisch und thermisch belastete Träger, wie sie heute in Bestückungsautomaten /2/ zum Einsatz kommen, können die gestellten Anforderungen an Genauigkeit und Stückzahl in „herkömmlicher“ konstruktiver Auslegung nicht mehr erfüllen.

Für die Konstruktion und Entwicklung von Trägern für Bestückungsautomaten sind zwei Forderungen ausschlaggebend: Steigerung der Positioniergeschwindigkeit und -genauigkeit. Die

Überprüfung der von Michaeli /8/ genannten Kriterien zum erfolgreichen Einsatz von FVK im Maschinenbau deuten darauf hin, daß eine FVK-Bauteilentwicklung als Lösungsansatz zur Erreichung dieser beiden Ziele geeignet wäre.

Aspekt	Kriterien
maschinenspezifisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistungsfähigkeit der Maschine stagniert</li> <li>• Leistungsgrenze der Maschine durch ein Bauteil bedingt</li> <li>• Mehrkosten des FVK-Bauteils (Leistungssteigerung) durch Wettbewerbsvorteil vertretbar</li> </ul>
bauteilspezifisch (Werkstoff)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistungsfähigkeit des leistungsbegrenzenden Bauteils im konventionellen Werkstoffen voll ausgeschöpft</li> <li>• technische Anforderung durch spritzgegossene kurzfaserverstärkte FVK nicht erfüllbar</li> <li>• Ausnutzung der anisotropen Eigenschaften von Hochleistungs-FVK (HL-FVK) möglich</li> </ul>
bauteilspezifisch (Fertigung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HL-FVK-Bauteil in einfacher Geometrie realisierbar</li> <li>• Herstellung in einem Produktionsschritt möglich</li> </ul>

Tabelle 1: Kriterien für erfolgversprechende FVK-Anwendungen /8/

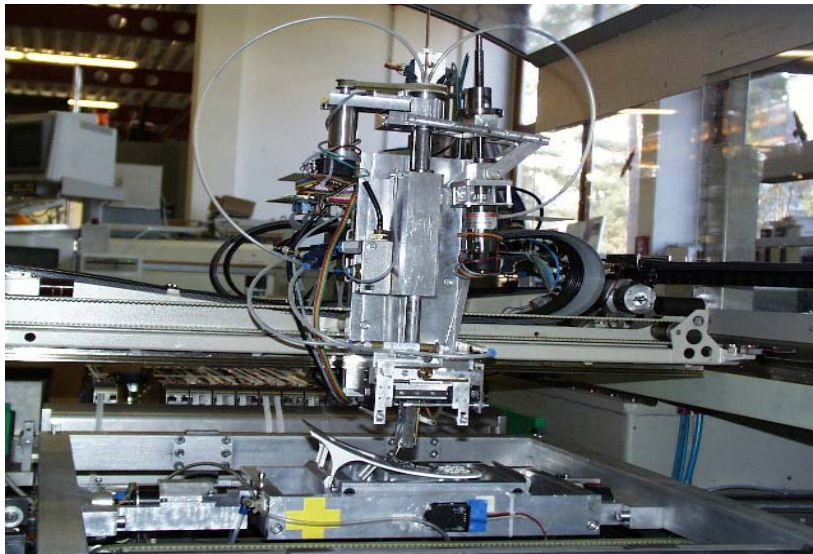


Bild 1: MID Bestückungsautomat

## 2 Faserverbundwerkstoffe (FVW) und –kunststoffe (FVK)

Das markanteste Merkmal der FVK sind die hervorragenden aber richtungsabhängigen mechanischen Eigenschaften. Sie zeichnen sich in Faserrichtung durch sehr hohe gewichtsbezogene Festigkeiten und Steifigkeiten – beides sogenannte Leichtbaueigenschaften – aus. Die Anisotropie der Eigenschaften, das typische Merkmal der FVK, ist jedoch eine der we-

sentlichen Herausforderungen an den Konstrukteur. Sie liegt dabei nicht in der „Bewältigung“ der ungewohnten Anisotropie, sondern in ihrer gezielten Nutzung.

Im Gegensatz zu den isotropen metallischen Werkstoffen umfasst die Gestaltung von FVW-Bauteilen gleichermaßen die Werkstoffauswahl, die überschlägige Dimensionierung, die Festlegung der Faserorientierung und der Wandstärke, sowie die Auswahl eines geeigneten Fertigungsverfahrens. Dabei gibt es keine absoluten oder einzig möglichen Lösungen, sondern lediglich bessere oder schlechtere Konstruktionen. Die Auslegung von FVW-Bauteilen unterscheidet sich grundsätzlich von der Auslegung metallischer Bauteile. Insbesondere die einfache Substitution des Metalls durch einen quasi-isotropen FVW stellt keine annehmbare Lösung dar, da:

- die Material- und Produktionskosten zu hoch sind,
- die Anbindung an benachbarte Bauteile nicht fasergerecht ausgeführt ist und
- sich nur eine minimale Gewichtseinsparung ergibt.

Das Potential der FVW kann nur genutzt werden, wenn ihre Vorteile wie die hohen spezifischen Steifigkeiten und Festigkeiten in Faserrichtung, die Anisotropie oder physikalische Eigenschaften wie Korrosionsbeständigkeit und geringe Wärmeausdehnung berücksichtigt werden. Ein guter Konstrukteur muss daher Kenntnisse auf den Gebieten Werkstoffverhalten, Bauteilberechnung und Fertigungstechnik von FVW haben /7/.

Neben den Leichtbaueigenschaften gibt es weitere, oft als sekundär eingestufte Vorteile der FVK. Dies sind die sehr guten Dämpfungseigenschaften, die geringen und in Grenzen sogar „einstellbare Wärmedehnung“ und die sehr gute chemische Beständigkeit. Demgegenüber stehen heute noch gravierende Nachteile:

- höhere Werkstoff- und Fertigungskosten im Gegensatz zu konventionellen Werkstoffen,
- fehlende Fertigungseinrichtungen und FVK-Infrastruktur in den Unternehmen,
- fehlendes Know-how bei den Konstrukteuren,
- der Konstruktionsprozess mit FVK ist wesentlich komplexer als mit konventionellen Werkstoffen./8/

### **3 Stand der Forschung, eigene Vorarbeiten**

Das Forschungsvorhaben stellt eine Weiterentwicklung des im ersten Teil des Schwerpunktprogramms bearbeiteten Themas „Integration von Berechnungen in den frühen Entwurfsprozess“ dar /1/. Ziel des ersten Projektabschnittes war die Berechnung einer generischen Gestalt aufgrund vager Vorgaben wie Bauraum, statischem Kraftfluss, isotrope Werkstoffe usw., durch Integration von einfachen Berechnungsmodellen in das Konstruktionssystem mfk. Die gewonnen Erkenntnisse sollen durch den Übergang zu thermisch-dynamischen Beanspruchungen und anisotropen Werkstoffen ergänzt und erweitert werden. Die entwickelten Konzepte und Lösungen sollen anhand eines praxisrelevanten Problems mit hohem industriellen Interessenhorizont (Brücke-Bestückungsautomat) verifiziert werden.

### 3.1 Das Konstruktionssystem mfk und das Produktmodell

Ausgangspunkt für die weitere Entwicklung ist das Produktmodell des am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik konzipierten objektorientierten, wissensbasierten Konstruktionssystems /3/. Es setzt auf herkömmliche CAD-Systeme auf, welche für die Visualisierung und für die Interaktion mit dem Konstrukteur benötigt werden. Es gliedert sich in einem Synthese- und einem Analyseteil, die über das Produktmodell miteinander verbunden sind (Bild 2).

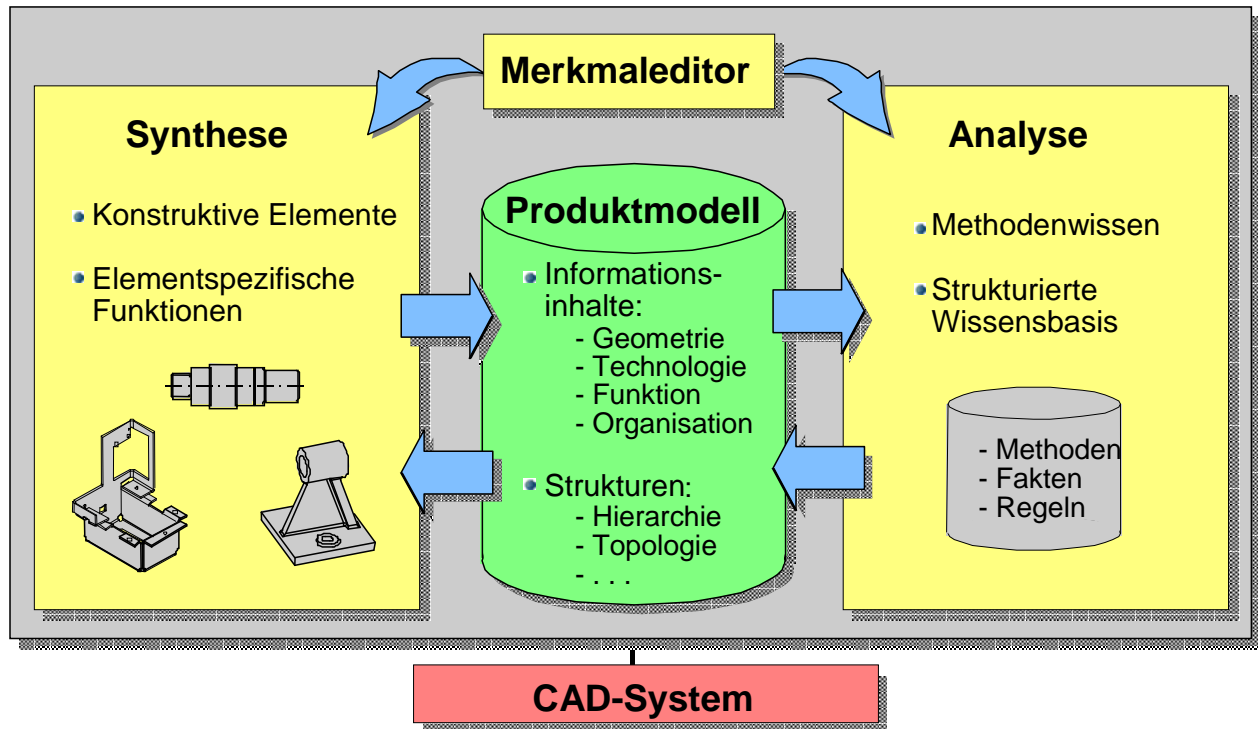


Bild 2: Das Konstruktionssystem *mfk*

Mit Hilfe des Syntheseteils des Systems wird die konstruktive Lösung erzeugt und vollständig beschrieben. Dazu werden dem Konstrukteur konstruktive Elemente unterschiedlicher Komplexität (Konstruktionsgrundelemente, -elemente und -bausteine) zur Verfügung gestellt, die er mit Hilfe der Konstruktionsmodule (Handhabungsfunktionen) erzeugen, ändern und löschen kann. Die konstruktiven Elemente sind Konstruktionsobjekte aus der Begriffs- und Vorstellungswelt des Konstrukteurs, die neben der reinen Geometrieinformation auch Funktions-, Technologie- und Organisationsinformationen enthalten können. Diese Informationen werden während des Synthesevorgangs automatisch in dem vom CAD-System unabhängigen Produktmodell abgelegt, das damit alle produktdefinierenden Daten enthält und somit als Bindeglied zum Analyseteil prädestiniert ist. Der Analyseteil dient der Informationsbereitstellung für den Konstrukteur, indem, im Sinne des Simultaneous Engineering, das Wissen verschiedener Experten auf die aktuelle Konstruktion angewendet wird. Dabei werden im ersten Schritt die analysespezifischen Beschreibungsmerkmale aus dem Produktmodell erkannt und anschließend den jeweiligen Informationsmodulen zur Verfügung gestellt. Diese führen dann unter Einbeziehung des in einer Wissensbasis hinterlegten Expertenwissens die Analyse der aktuellen Produkt-/Bauteilstruktur durch. Das als Schnittstelle dienende Produktmodell wurde in Richtung eines relationsbasierten, semantischen Datenmodells weiterentwickelt. Mit Hilfe einer relationsbasierten Beschreibung ist die explizite Abbildung sowohl der innerhalb von sog. Beschreibungsmerkmalen (Kombination aus verschiedenen Informationselementen) gültigen Zusammenhänge, als auch der für deren sinnvollen Einsatz notwendigen Relationen zu Elementen einer realen Umgebung möglich. Dieser, auch für das vorliegende Forschungsprojekt zu verwendende Ansatz wurde in /3/ ausführlich beschrieben.

## 4 Forschungsvorhaben

Der Lehrstuhl befasst sich schon seit mehreren Jahren mit der Integration von Berechnungen in CAD-Systeme /4, 5/. Ziel dieser Arbeiten ist es, dem Konstrukteur Werkzeuge an die Hand zu geben, mit denen er in einer möglichst frühen Phase des Konstruktionsprozesses die Auswirkungen seiner konstruktiven Entscheidung in bezug auf die Bauteilbeanspruchung erkennen kann. Die in diesen Arbeiten betrachteten Berechnungswerkzeuge und ihre prototypische Umsetzung in das Konstruktionssystem dienen sämtlich der Untersuchung *statischer* Belastungen in Bauteilen aus *isotropen* Werkstoffen. Die vorliegende Aufgabenstellung erfordert die Berücksichtigung *anisotroper* Werkstoffe, speziell von Laminaten bestehend aus unidirektionalen Schichten und darüber hinaus gekoppelter *thermisch-dynamischer* Beanspruchungen.

Es ist hinreichend bekannt, dass die Konzipierung faserverstärkter Bauteile aufgrund des typischen erheblich größeren Umfang an Materialdaten und der auftretenden Anisotropie eine erhebliche Erschwernis mit sich bringt. Eine einfache Auslegung mit den Mitteln der Technischen Mechanik ist daher nicht mehr möglich (die Anisotropie der eingesetzten Werkstoffe verhindert z.B. eine Entkopplung von Normalkraft- und Schubkraftwirkungen). Die Forderung seitens des Produktentwicklers nach adäquaten integrierten Werkzeugen ist daher hier nur zu verständlich. Rechnerunterstützung ist eine *conditio sine qua non*. Kommerzielle Berechnungswerkzeuge ermöglichen die Erfassung und Berechnung der thermischen und dynamischen Beanspruchungen. Was wiederum fehlt, ist die notwendige Integration der Analysen in den Gestaltungsprozess sowie die Rückführung der Analyseergebnisse in diesen. Diese beiden Forderungen stellen das zentrale Anliegen des Forschungsvorhabens im Sinne des Schwerpunktprogramms dar.

## 5 Zusammenfassung

Das Forschungsvorhaben soll, unter besonderer Betonung der frühen Phasen des Konstruktionsprozesses, mit Hilfe des Produktmodells des Konstruktionssystems mfk die notwendigen konstruktiven Konzepte für faserverstärkte Baustrukturen, mit definiertem Temperatur- und Dämpfungsverhalten schaffen. Ziel ist es, die erforderlichen Laminatdaten (Faser- und Matrixmaterialien, Schichtwinkel, -aufbau und -stärke) der Bauteilgeometrie zuzuordnen und damit einer thermischen und dynamischen Analyse (Modalanalyse und Responseverhalten) zugänglich zu machen. Modifikationen als Ergebnis der Analyse sind anschließend im Sinne einer Systemidentifikation wieder in den Gestaltungsprozess zurückzuführen. Die hinsichtlich der unvermeidlichen dynamischen und unerwünschten thermischen Effekte optimierte Trägerstruktur soll auf zwei, simultan zu beschreitenden Wegen im Sinne einer mechatronischen Systementwicklung erreicht werden. In unmittelbarem Zusammenhang zu der konstruktiven Gestaltung sollen die gewonnenen dynamischen Kennwerte (z.B. Eigenwerte) auch bei der Erstellung neuer intelligenter Steuerungsstrategien eingesetzt werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Meerkamm, H., Schweiger, W., Heynen, C.: Abschlußbericht zum Forschungsprojekt „Integration von Berechnungen in den frühen Entwurfsprozeß“ im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogrammes: Integration von Gestaltung und Berechnung, Zeitraum 01.09.95-31.08.98.
- [2] SFB 356: „Produktionssysteme in der Elektotechnik“, Bericht des Forschungsverbundes 1992-1995, Hrsg. K. Feldmann u. M. Geiger, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1995.
- [3] Meerkamm, H.: „Design System mfk - an important step towards an engineering workbench“, Proc. Instn Mech. Engrs., Vol. 207, Journal of Engineering Manufacture, p. 105-116, 1993.
- [4] Meerkamm, H.; Rösch, S., Krause, D., Löffel C.: „Integration von Berechnung und Simulation in das Konstruktionssystem mfk“; Tagungsband zu den 2. Entwicklungsmanagementtagen: Simultaneous Engineering, in Mittelhessen; Oranien-Verlag, Gießen-Friedberg 1994, S.232-250.
- [5] Meerkamm H., Schweiger, W., Löffel, C.: „Integration von Berechnungswerkzeugen in den Konstruktionsprozeß - ein ganzheitlicher Ansatz auf Basis des Konstruktionssystems mfk“, Konstruktion 49 (1997), S. 26-32.
- [6] Siemens AG.: „Die Welt der Surface Mount Technology. Das Technologiehandbuch aus der Praxis für die Praxis“, Messeausgabe Produktronica, 1995.
- [7] Hinz, B.: „Faserverbundwerkstoffe mit thermoplastischer Matrix - Hochleistungswerkstoffe für rationelle Verarbeitung“ in: Bartz, W. J.: „Auslegung und Dimensionierung von Bauteilen aus thermoplastischen Faserverbundwerkstoffen“, Expert Verlag, Rellingen-Malmsheim, 1997.
- [8] Michaeli, Huybrechts, Wegener: „Dimensionieren mit Faserverbundwerkstoffen, Einführung und praktische Hilfen“, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1995

Dipl.-Ing. Werner Puri  
LEHRSTUHL FÜR KONSTRUKTIONSTECHNIK  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Martensstr. 9  
91058 Erlangen  
Germany  
Tel: +49 (9131) 6199-14  
Fax: +49 (9131) 6199-30  
E-mail: [puri@mfk.uni-erlangen.de](mailto:puri@mfk.uni-erlangen.de)  
Internet: <http://www.mfk.uni-erlangen.de/>