

INTEGRATION DER FUNKTIONS- UND PRINZIPLÖSUNGSMODELLIERUNG MECHATRONISCHER SYSTEME

Jürgen Gausemeier, Stefan Möhringer

Kurzfassung

Zur Erschließung des Erfolgspotenzials mechatronischer Systeme ist ein systematisches Vorgehen beim Konzipieren erforderlich. Die Funktionsstruktur spielt dabei eine besondere Rolle: Auf ihrer Grundlage können innovative domänenübergreifende Lösungsfelder eröffnet werden; die Prinzipien der Funktionsintegration und –trennung führen ferner zu neuen mechatronischen Funktionen. In der Praxis wird die Phase der Funktionsstrukturierung jedoch häufig übersprungen und ihre Möglichkeiten bleiben ungenutzt. Dieser Beitrag stellt ein Konzept vor, das die Funktionsmodellierung und die anschließende Phase der Prinzipiellösungsmodellierung integriert und damit das iterative Vorgehen unterstützt. Ein gemeinsames Softwarewerkzeug erleichtert die praktische Anwendung.

1 Einleitung

Mechatronik – ein Kunstwort aus Mechanik und Elektronik - stellt ein Erfolgspotenzial dar: Durch das enge Zusammenwirken von Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik werden neue Prinzipiellösungen möglich, die das Kosten/Nutzen-Verhältnis heutiger Produkte erheblich verbessern, aber auch neue, heute noch nicht bekannte Produkte stimulieren können. Um das Erfolgspotenzial der Mechatronik zu erschließen, bedarf es der frühzeitigen Kommunikation und Kooperation zwischen den beteiligten Fachdisziplinen; nur gemeinsam können Wechselwirkungen erkannt und Synergien genutzt werden. Der Funktionsstruktur kommt hierbei besondere Bedeutung zu [1], [2]:

- Durch funktionale Dekomposition kann die komplexe Gesamtaufgabe in kleinere, überschaubare Teilaufgaben zerlegt werden.
- Die lösungsneutrale Darstellung vermeidet eine Fixierung auf bestimmte Lösungs-ideen und eröffnet neue Lösungsfelder unter Beteiligung der verschiedenen Fachdisziplinen.
- Ausgehend von der Funktionsstruktur können durch gezielte Variation bzw. Kombination von Lösungsprinzipien innovative Lösungen gefunden werden.
- Durch die Prinzipien der Funktionsintegration und –trennung entstehen neue mechatronische Funktionen, z.B. Funktionsintegration durch Kopplung von Motormanagement und Bremssystem beim elektronischen Stabilitätsprogramm ESP.

Trotz dieser Vorteile wird die Phase der Funktionsstrukturierung in der industriellen Praxis häufig übersprungen: Entwicklern fehlt die Motivation, aufwendige Funktionsstrukturen zu erstellen, da die Ergebnisse oft nur zum geringen Teil weiterverwendet werden können. Die methodische Anbindung der Funktionsstruktur an vor- und nachgelagerte Entwicklungsschritte ist noch nicht erschöpfend gelöst. Ferner lassen sich zeitliche Aspekte nur unzureichend spezifizieren; Ansätze hierzu bieten u.a. [3], [4]. Der Einfluß störender Effekte wird meist ebenfalls nicht berücksichtigt. Vorschläge zur Abhilfe liefern z.B. [5], [6]. Ziel ist es deshalb, dem Entwickler das Erstellen von Funktionsstrukturen zu erleichtern und die Weiterverwendung der Ergebnisse für die anschließende Prinzipiellösungsfindung zu ermögli-

chen. Dazu bedarf es der gemeinsamen Modellierung von Funktionen und Prinziplösungen und der engen Verzahnung beider Vorgehensschritte. Im folgenden wird ein solcher Ansatz und das unterstützende Softwarewerkzeug vorgestellt.

2 Konzept zur Integration der Funktions- und Prinziplösungs-Modellierung mechatronischer Systeme

Ausgangspunkt ist die Notwendigkeit einer gemeinsamen Basis für Kommunikation und Kooperation bei der Produktkonzipierung. Mit ihrer Hilfe werden die Fachleute aus den beteiligten Disziplinen in die Lage versetzt, sich zu verständigen, gemeinsam Lösungsideen zu generieren und Konsens über die Lösungskonzeption zu finden. Eine solche Basis kann durch die semiformale Spezifikation der Lösungskonzeption geschaffen werden.

2.1 Domänenübergreifende Prinziplösungs-Modellierung

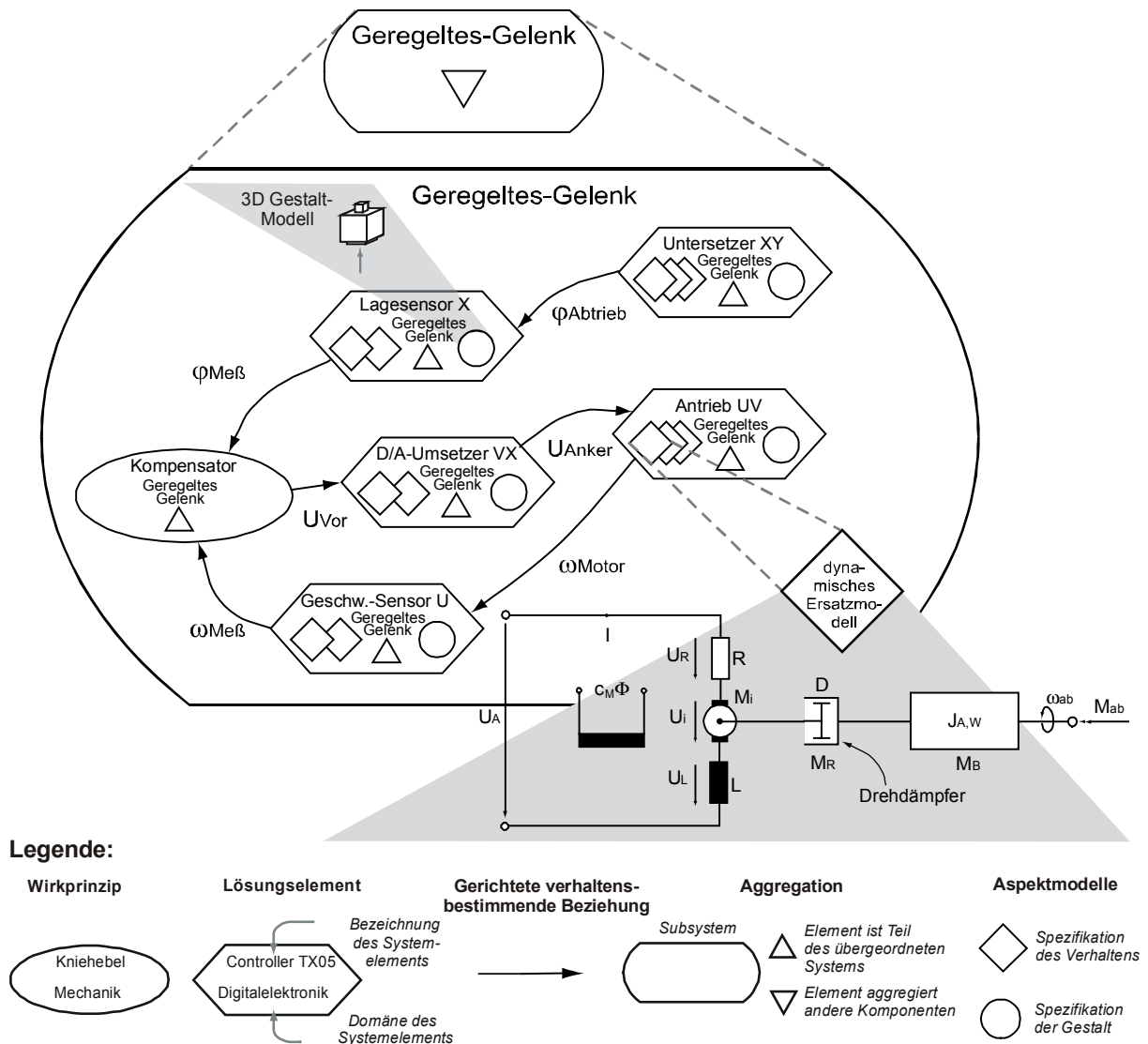


Bild 1: Beispiel zur Prinziplösungsmodellierung mechatronischer Systeme

Das Konzept baut auf der graphischen Methode zur Prinziplösungs-Modellierung nach Kallmeyer auf [7], [8]. Sie besteht aus Konstrukten zur Modellierung der Systemstruktur und zur fachbezogenen Verhaltens- und Gestaltspezifikation von Systemelementen. Systemelemente sind Wirkprinzipien¹ und Lösungselemente², die graphisch repräsentiert und durch Namen und zugehörige Fachdisziplin charakterisiert werden (Bild 1).

Mit Beziehungen zwischen den Systemelementen kann die Prinziplösung im Gesamtzusammenhang modelliert werden. Verhaltensbeziehungen zeigen das Zusammenwirken der Elemente an. Randbedingungen beschreiben nichtfunktionale Abhängigkeiten wie z.B. die Festlegung einer Zielhardware für Wirkprinzipien des Bereichs Software. Systemelemente können ferner aus logischen oder räumlichen Gesichtspunkten zu übergeordneten Subsystemen aggregiert werden. Dies trägt dazu bei, die Komplexität der zu modellierenden Systeme zu beherrschen.

Das Verhalten und die Gestalt der Systemelemente wird mittels der in den Disziplinen bekannten und verwendeten Modelle spezifiziert. Während beispielsweise in der Regelungstechnik kinematische und dynamische Ersatzmodelle zur Verhaltensspezifikation genutzt werden, kommen zur Gestaltspezifikation 3D-Gestaltmodelle zum Einsatz (vgl. Bild 1). Durch die Verwendung etablierter fachspezifischer Verhaltensbeschreibungen ist ein reibungsloser Übergang zur Entwurfsphase gewährleistet.

2.2 Erweiterung um die Funktions-Modellierung

Die Funktionsmodellierung erfolgt ebenfalls auf semiformaler Ebene mit Hilfe graphischer Elemente.

Basiskonstrukte der Funktionsmodellierung: Basiskonstrukte bilden die bekannten Symbole zur Darstellung von Funktionen, vgl. [1], [2] (Bild 2). Der Schwerpunkt liegt auf der funktionalen Dekomposition, denn hierin werden zwei wichtige Effekte für das Konzipieren mechatronischer Produkte gesehen: die Reduzierung der Komplexität sowie die Vorbereitung der Partitionierung, d.h. der Aufteilung in Wirkprinzipien / Lösungselemente der beteiligten Domänen und ihrer Zuordnung zu Funktionen. Zur Erhöhung der Übersichtlichkeit großer hierarchischer Funktionsstrukturen können Teilfunktionen zu Subsystemen aggregiert werden.

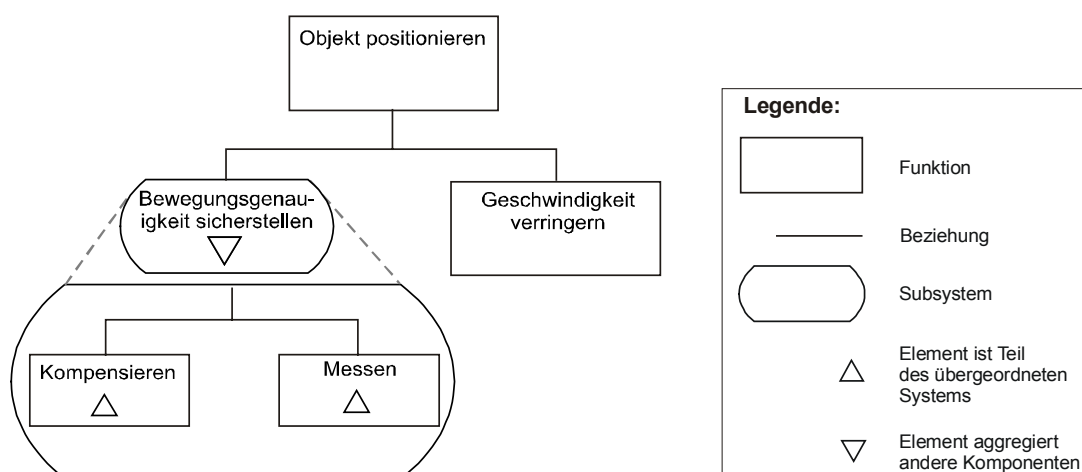


Bild 2: Basiskonstrukte der Funktionsmodellierung und Aggregationsbeziehungen

¹ Wirkprinzip bezeichnet den Zusammenhang vom physikalischen Effekt sowie geometrischen und stofflichen Merkmalen (Wirkgeometrie, Wirkbewegung und Werkstoff) [1].

² Lösungselement stellt eine realisierte, bewährte Lösung zur Erfüllung einer Funktion dar.

Modellierung polyhierarchischer Beziehungen zwischen Funktionen und Wirkprinzipien / Lösungselementen: Die Zuordnung von Wirkprinzipien / Lösungselementen zu Funktionen kann nicht immer als 1:1 Beziehung realisiert werden; sie sind vielmehr polyhierarchisch vernetzt [2]. Dies ist z.B. beim tragenden Lösungselementen wie dem Gehäuse der Fall, das mehrere Teilfunktionen (befestigen, tragen, dichten, etc.) erfüllt. Die Modellierung dieser polyhierarchischen Beziehungen ist von besonderer Bedeutung, um die Prinzipien der Funktionsintegration und –trennung systematisch einsetzen zu können und deren Auswirkungen frühzeitig zu erkennen. Erfüllt bspw. ein Lösungselement mehrere erwünschte Funktionen (Funktionsintegration), so nehmen meist auch die unerwünschten, die sog. parasitären Funktionen zu, die von diesem Lösungselement ausgehen [9]. Werden diese Wechselwirkungen sichtbar gemacht, können die Entwickler die Funktionsintegration so wählen, daß möglichst wenig parasitäre Funktionen entstehen. Die Beziehungen zwischen Funktionen und Wirkprinzipien werden in Bild 3 modelliert: Der Verweis einer Funktion auf ein oder mehrere Wirkprinzipien / Lösungselemente erfolgt durch das verkleinerte entsprechende Konstrukt. In diesem Beispiel wird die Funktion „Halten“ durch die Lösungselemente „Träger“ und „Lagesensor“ erfüllt.

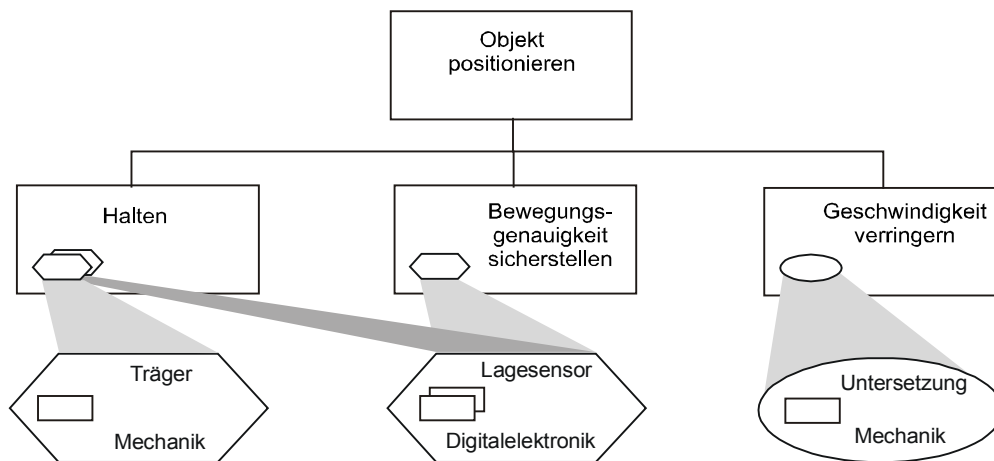


Bild 3: polyhierarchische Beziehungen zwischen Funktionen und Wirkprinzipien / Lösungselementen

Wechsel zwischen Funktions- und Prinziplösungssicht: Das Konzipieren ist keine starre Abfolge von Vorgehensschritten, sondern ist durch Iterationen und Sprünge zwischen Entwurfsdimensionen (Abstrahieren – Konkretisieren, Generalisieren – Detaillieren etc.) geprägt. Dieses Vorgehen wird durch die Modellierung unterstützt: Ein Wechsel zwischen Funktions- und Prinziplösungssicht ist möglich, ohne daß der Bezug zwischen den beiden Sichten verloren geht (Bild 4).

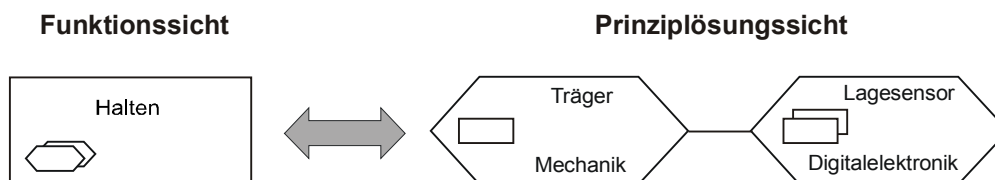


Bild 4: Wechsel zwischen Funktions- und Prinziplösungssicht

Hybride Modellierung von Funktionen und Prinziplösungen: Komplexe Produkte weisen ferner unterschiedliche Konkretisierungsgrade innerhalb der Produktstruktur auf. Einzelnen Teilfunktionen können z.B. bereits fertig gestaltete Lösungselemente (Zukaufteile: Spezifikation durch Auftraggeber vorgegeben) zugeordnet sein, während andere Teilfunktionen erst

funktional oder durch Wirkprinzipien spezifiziert werden. Dies erfordert die hybride Modellierung von Funktionen und Prinziplösungen in einer Darstellung (Bild 5).

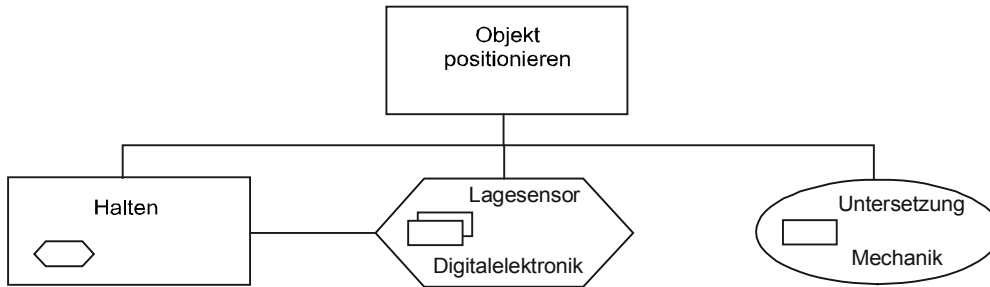


Bild 5: Gemeinsame Modellierung von Funktionen, Wirkprinzip und Lösungselementen

2.3 Werkzeug zur integrierten rechnerunterstützten Modellierung

Zur integrierten rechnerunterstützten Modellierung von Funktionen und Prinziplösungen wurde ein Werkzeug auf der Basis von iGrafx-Professional³ entwickelt und in Industrieprojekten erprobt. Es ermöglicht die komfortable Definition und Visualisierung der graphischen Konstrukte und sowie den dynamischen Wechsel zwischen Hierarchien und Sichten (Funktionen, Prinziplösungen, domänenspezifische Aspektmodelle) (Bild 6).

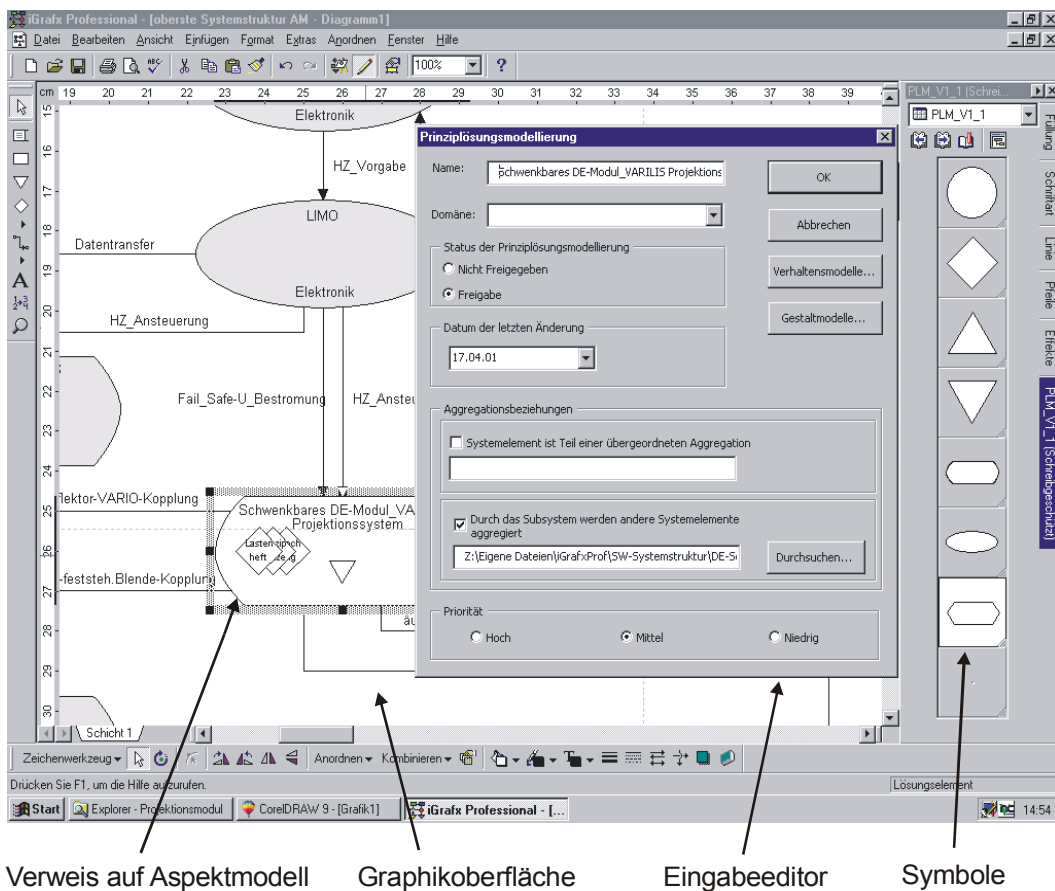


Bild 6: Bildschirmabzug des entwickelten Softwarewerkzeugs

³ Werkzeug zur Modellierung von Geschäftsdiagrammen, Fa. Micrografx, <http://www.micrografx.com/iGrafx/Professional/>

Die benötigten Konstrukte sind in der Symbolbibliothek als graphische Symbole hinterlegt. Nach dem Plazieren des Symbols auf der Graphikoberfläche öffnet sich der Eingabeeditor, in dem die erforderlichen Daten spezifiziert werden. Neben Namen und Domäne des Konstrukts können die Aggregationsbeziehungen definiert und die Aspektmodelle (Verhaltens- und Gestaltmodell) hinterlegt werden. Letztgenanntes erfolgt durch einen Verweis auf beliebige Dateien. Durch Anklicken des gewünschten Aspektmodells (z.B. im Bild 6 „Lastenheft“) wird automatisch das erforderliche Werkzeug (z.B. MS Word) gestartet und die Datei geöffnet. Die Erfahrung hat gezeigt, daß der Entwicklungsfortschritt während der Konzipierung häufig in unstrukturierter Form (Text, Berechnungen, Graphiken) dokumentiert wird. Diese Informationen können auf einfache Weise als Aspektmodelle verknüpft und allen Entwicklern zugänglich gemacht werden.

Der Wechsel zwischen Funktions- und Prinziplösungsicht erfolgt ebenfalls durch einfaches Anklicken des jeweils hinterlegten Konstrukts. Das Werkzeug ermöglicht so das Zurückkehren auf ein höheres Abstraktionsniveau ohne zusätzlichen Modellierungsaufwand und erhöht die Motivation, die Vorteile der Funktionsbetrachtung in der Praxis zu nutzen.

3 Literaturverzeichnis

- [1] Pahl, G. / Beitz, W., "Konstruktionslehre", 4. Auflage, Springer, Berlin, 1997.
- [2] Roth, K.: "Konstruieren mit Konstruktionskatalogen", Band 1 Konstruktionslehre, 2. Auflage, Springer, Berlin, 1994.
- [3] Kuttig, D.: "Rechnerunterstützte Funktions- und Wirkstrukturverarbeitung beim Konzipieren", Diss., TU Berlin, Schriftenreihe Konstruktionstechnik 25, Berlin, 1993.
- [4] Huber, R.J.: "Wissensbasierte Funktionsmodellierung als Grundlage zur Gestaltfindung in Konstruktionssystemen", Diss., Universität Karlsruhe, Shaker, Aachen, 1994.
- [5] Heidemann, B.; Beelich, K.H.; Schneider, M.; Birkhofer, H.: "Das Mittel zum Zweck – Ein Prozessmodell als Mittel bei der methodischen Produktentwicklung", in: Konstruktion, 7/8-2000, S. 68-73.
- [6] Gausemeier, J.; Flath, M.; Möhringer, S.: "Conceptual Design of Mechatronic Systems Supported by Semi-formal Specification", in: 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings, 8-12 July 2001, Como, Italy.
- [7] Kallmeyer, F.: "Eine Methode zur Modellierung prinzipieller Lösungen mechatronischer Systeme", Diss., Fachbereich Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagschriftenreihe, Band 42, Paderborn, 1998.
- [8] Gausemeier, J.; Ebbesmeyer, P.; Kallmeyer, F.: "Produktinnovation - Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen", Carl Hanser Verlag, 2001.
- [9] Kallenbach, E.; Birli, O.; Saffert, E.; Schäffel, C.: "Zur Gestaltung integrierter mechatronischer Produkte", in: Tagung Mechatronik im Maschinen- und Fahrzeugbau, Moers, 10.-12. März 1997, VDI Berichte 1315, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997, S. 1-14.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Dr.-Ing. Stefan Möhringer
 Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn
 Fürstenallee 11, D-33102 Paderborn
 Tel: 0 52 51 – 60 62 67
 Fax: 0 52 51 – 60 62 68
 Internet: gausemeier@hni.uni-paderborn.de
moehr@hni.uni-paderborn.de