

ENTWICKLUNGSUMGEBUNGEN MECHATRONIK

Jürgen Gausemeier, Martin Flath, Stefan Möhringer

Kurzfassung

In dem engen Zusammenwirken von Mechanik, Elektronik, Regelungstechnik und Software liegt für den Maschinenbau und artverwandten Branchen ein erhebliches Erfolgspotenzial. Zur Erschließung dieses Erfolgspotenzials ist ein systematisches Vorgehen in dem Produktentwicklungsprozess mit Betonung auf der Modellbildung und –analyse erforderlich. In dem Verbundprojekt Entwicklungsumgebungen Mechatronik (EUMECH) wurden dazu produktklassenspezifische Methoden und Werkzeuge für die Entwicklung mechatronischer Produkte bereitgestellt. Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse aus den vier Querschnittsprojekten Entwicklungsmethodik Mechatronik, Modellbildung, Integrationsplattform und Mechatronische Lösungselemente vor.

1 Herausforderung Mechatronik

Produktinnovationen tragen in entscheidender Weise dazu bei, sich im globalen Wettbewerb zu behaupten. Die Erzeugnisse des Maschinenbaus und artverwandte Branchen wie dem Fahrzeugbau werden zunehmend durch die Möglichkeiten der Informationstechnik (IT) geprägt. Dies drückt sich in dem Begriff Mechatronik aus.

Mechatronik – ein Kunstwort aus Mechanik und Elektronik stellt ein Erfolgspotenzial dar. Ziel der Mechatronik ist es, das Verhalten eines technischen Systems zu verbessern, indem mit Hilfe von Sensoren Informationen über die Umgebung, aber auch über das System selbst, erfasst werden. Diese Informationen werden in Prozessoren verarbeitet und die im jeweiligen Kontext „optimalen“ Reaktionen werden mit Hilfe von Aktoren ausgelöst. Durch Mechatronik werden neue Prinziplösungen im Maschinenbau und artverwandten Branchen wie Fahrzeugbau möglich, die das Kosten/Nutzen-Verhältnis heute bekannter Produkte erheblich verbessern können, aber auch neue, heute noch nicht bekannte Produkte stimulieren können.

Um das Erfolgspotenzial der Mechatronik zu erschließen, ist in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses ein systematisches Vorgehen notwendig, wobei die Betonung auf der Modellbildung und der Modellanalyse liegt. Dies stellt neue Anforderungen sowohl an die Entwicklungsmethodik als auch an die IT-Werkzeuge, die den Entwicklungsprozess unterstützen sollen.

Dieser Forschungsbedarf wurde im Rahmenprogramm *Produktion 2000*, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), identifiziert und im Verbundprojekt Entwicklungsumgebungen Mechatronik (EUMECH) aufgegriffen. Zielsetzung des Projektes war die Bereitstellung von Entwicklungsumgebungen für mechatronische Erzeugnisse in ausgewählten Produktklassen. Diese drei Klassen - Feinwerktechnik, Hochleistungshydraulik sowie Servohydraulische Simulations- und Prüfeinrichtungen - bilden zugleich die Schwerpunktprojekte. Der Begriff Entwicklungsumgebung umfasst die erforderlichen Methoden und ein System von IT-Werkzeugen als Arbeitsumgebung des Entwicklungsingenieurs. In vier

Querschnittsprojekten wurden grundlegende Fragestellungen bearbeitet, deren Ergebnisse im folgenden dargestellt werden.

2 Entwicklungsmethodik Mechatronik

Der Produktentwicklungsprozess erstreckt sich im weitesten Sinne von der Produktidee bis zum erfolgreichen Markteintritt. Üblicherweise wird dieser Prozess als Phasenmodell wiedergeben [1]. Bei der Entwicklung mechatronischer Produkte steht die integrative Modellbildung und Simulation von Produkteigenschaften aus der Sicht unterschiedlicher Fachdisziplinen im Vordergrund. Diese Aktivitäten müssen vor allem in der frühen Phase der Produktkonzipierung für eine sichere Festlegung einer abgestimmten Prinziplösung erfolgen. Die Darstellung einer Entwicklungsmethodik für mechatronische Produkte muss diese grundlegende Charakteristik des Vorgehens abbilden. Dazu wurde das V-Modell, das vor allem in der Softwareentwicklung verwendet wird, angepasst. Es dient als Referenzmodell der Produktentwicklungsprozesse in der Mechatronik, um das virtuelle Abbilden von Produktstrukturen und der entscheidenden Produkteigenschaften in Abgleich zu der Realität darzustellen (Bild 1) [2].

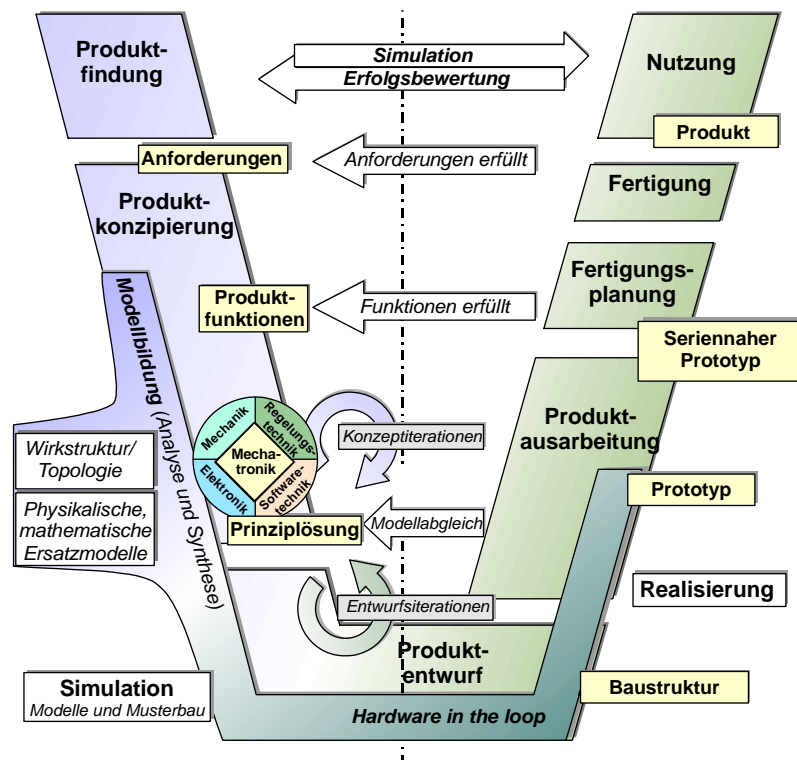


Bild 1. Das V-Modell als Referenzmodell zur Entwicklung mechatronischer Produkte

Im linken Ast des V-Modells sind die Phasen der Produktfindung, Produktkonzipierung bis zum Produktentwurf dargestellt. Auf dieser Seite werden Spezifikationen für das spätere Produkt auf der Grundlage von Simulationsmodellen und Mustern festgelegt. Die Anforderungen enthalten funktionale, d.h. lösungsneutrale Spezifikationen, sowie kinematische Zielfunktionen oder zeitliche Performancevorgaben. Zusätzlich werden Randbedingungen wie Kosten oder räumliche Vorgaben aufgestellt. Auf der Basis dieser funktionalen Spezifikationen können lösungsneutrale Funktionsstrukturen modelliert werden, mit denen ein grundsätzliches Verständnis der Entwicklungsaufgabe zwischen den beteiligten Entwickler aufgebaut werden kann. Als ein Werkzeug kann dafür beispielsweise die Software *rodon*

eingesetzt werden, mit denen hierarchische Funktionsstrukturen über algebraische Anweisungen modelliert werden können [3]. Die Ein- und Ausgänge von einzelnen Funktionsblöcken können miteinander verknüpft werden, um die gesamte Funktionsstruktur auswerten zu können. Damit können die Zielfunktionen optimiert werden und es können fehlerhafte Funktionsspezifikationen aufgedeckt werden.

Auf der Basis dieser Funktionsmodelle setzen die Spezifikationstechniken der Fachdisziplinen auf. Mit der Vorgabe der abgestimmten Zielfunktionen können die Wirkprinzipien und die Lösungselemente der Fachdisziplinen ausgewählt und spezifiziert werden. In dieser Phase müssen die unterschiedlichen Lösungsbeiträge bewertbar dargestellt werden. Für mechatronische Produkte ist charakteristisch, dass Funktionen durch Wirkprinzipien unterschiedlicher Fachdisziplinen wie der Mechanik oder der Informationsverarbeitung erfüllt werden können. Die Entwickler müssen die verschiedenen Lösungsmöglichkeiten sicher spezifizieren und auslegen können. Es muss eine gemeinsame Prinziplösung festgelegt werden können, in der die entscheidenden Spezifikationen und Verhaltenszusammenhänge der Systemkomponenten abgebildet werden können. Dazu werden die unterschiedlichen Spezifikationstechniken der Fachdisziplinen einheitlich in einem Prinziplösungsmodell zusammengefasst [4].

3 Modellbildung

Die Modellbildung mechatronischer Komponenten bildet die Grundlage zur sicheren Erstellung einer Prinziplösung (vgl. Bild 1). Eine einheitliche Einordnung der Modellbildungsschritte macht die Erstellung der Prinziplösung transparenter und ist die Basis für die Erstellung integrativer Verhaltensmodellen. Dazu wird ein Ebenenmodell etabliert, in denen die unterschiedlichen Repräsentationstechniken eingeordnet werden können (Bild 2) [5]. Auf den verschiedenen Ebenen können jeweils Modellaustauschtechniken angewendet werden, um die Repräsentationstechniken unterschiedlicher Fachdisziplinen miteinander zu verknüpfen.

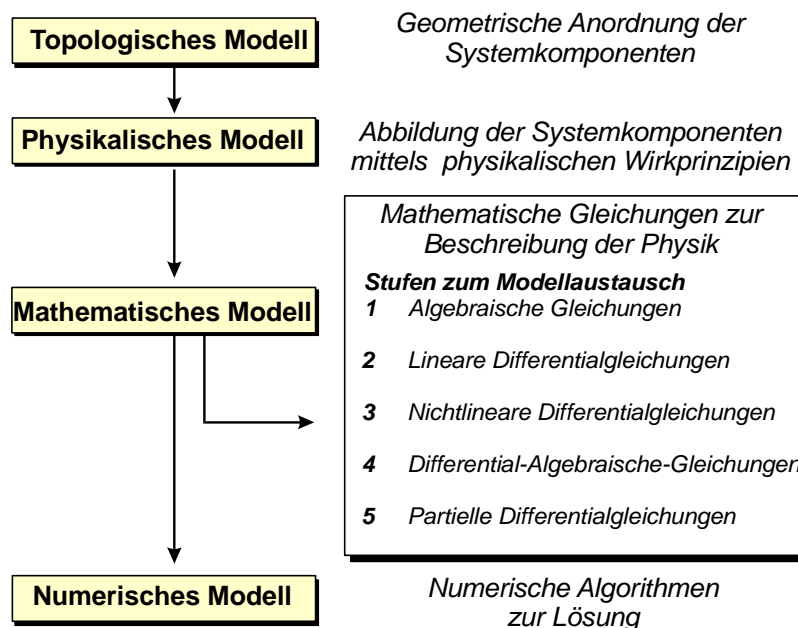


Bild 2. Ebenenmodell der Modellbildung mechatronischer Systeme

Auf der topologischen Ebene werden beispielsweise die kinematischen Zusammenhänge mechanischer Komponenten abgebildet. Ausgehend von der Topologiebeschreibung wird ein physikalisches Modell erstellt, in dem zentrale Wirkparameter wie Massen oder Längen beschrieben werden. Das mathematische Modell bildet die eigentliche Grundlage der Verhaltensbeschreibung des Systems. Es bildet die physikalischen Eigenschaften in einer abstrakten, systemunabhängigen Darstellung ab. Auf dieser Modellebene müssen Entscheidungen hinsichtlich der Modellierungstiefe und der verwendeten Mathematik getroffen werden. Das numerische Modell beinhaltet die Aufarbeitung des mathematischen Modells, um es einer Verarbeitung auf einem Rechner in einem Simulationsmodell zuzuführen. Ein Modellaustausch auf topologischer oder physikalischer Ebene kann nur innerhalb eines Modellbildungswerkzeugs erfolgen, da die darunter liegende mathematische Beschreibung konsistent sein muss. Dies ist bei der meist notwendigen Verwendung unterschiedlicher Modellierungswerkzeuge, wie es bei einer Co-Simulation hydraulischer und mechanischer Komponenten üblich ist, nicht mehr gewährleistet. In solchen Fällen muss der Modellaustausch auf den mathematischen Ebenen in unterschiedlichen Stufen angepasst werden. Ein Modellaustausch auf numerischer Ebene ist aufgrund der schwierigen Abstimmung der Integratoren unterschiedlicher Modellbildungswerkzeuge nicht empfehlenswert [6].

4 Integrationsplattform

Zur Verbesserung der interdisziplinären Produktentwicklung sind Entwicklungsumgebungen gefragt, die das Zusammenspiel der einzelnen Entwicklungswerkzeuge im Sinne eines integrativen Entwicklungsprozesses idealtypisch modell-, prozess- und systemtechnisch unterstützen. Ausgehend vom V-Modell (vgl. Kap. 2) unterstützt die hier entwickelte Integrationsplattform die Phase der Produktkonzipierung. Dabei gilt es einerseits, den parallelen Abgleich der verschiedenen rechnerinternen Modelle im Sinne des Concurrent Engineering zu gewährleisten. Andererseits müssen die Konsistenz der Modelle bei der Detaillierung konstruktiver Lösungen sowie einheitliche Stati wie Freigabe, Baselining etc. gewährleistet werden [7]. Somit lassen sich drei Basisanforderungen für die Integrationsplattform aufstellen:

1. **Prozessmanagement:** Zur Koordinierung der Entwicklungsaktivitäten definiert das Projektmanagement Prozesse, die ad hoc (nicht-deterministisch), als Ketten (deterministisch) und in paralleler Form ablaufen können. Die Integrationsplattform muss solche Prozesse koordinieren können.
2. **Produktdatenmanagement (PDM):** Die Integrationsplattform muss über ein PDM-System verfügen, das sämtliche Produktinformationen der verteilten Entwicklungsarbeit koordiniert und dem Entwickler den transparenten Zugriff auf einen immer aktuellen und konsistenten Datenbestand gewährleistet.
3. **Prozessintegration der Softwarewerkzeuge:** Die Entwicklungsaufgaben werden von einer Vielzahl von Softwarewerkzeugen unterstützt. Die Integrationsplattform muss dem Entwickler abhängig von seiner Aufgabe prozessorientiert die richtigen Werkzeuge zur Verfügung stellen.

Die Integrationsplattform gliedert sich in fünf Gruppen:

Integrationskomponente: Die Integrationskomponente übernimmt die Aufgaben der Workflow-Steuerung sowie der Werkzeugintegration in Prozessbeschreibungen. Im Sinne der systemtechnischen Integration steht die Integrationskomponente im Zentrum der

Plattform. Mit Hilfe der sog. Tool Encapsulation Specification (TES) integriert sie Werkzeuge zur Laufzeit in die Prozessbearbeitung.

Produktdatenmanagement (Small PDM): Die Systemkomponente Small PDM stellt die notwendige PDM-Funktionalität zur Verfügung und erfüllt somit die Basisanforderung zwei. Sie verwaltet die Produktstruktur und alle relevanten Produktinformationen von den Aspektmodellen bis zu den Versionsnummern. Die Integrationskomponente sowie das Small PDM System arbeiten daher eng zusammen.

Entwicklungswerkzeuge: Die zur „eigentlichen“ Entwicklungsarbeit eingesetzten Werkzeuge wie CAD-, FEM- oder Simulationssysteme gehören zur Gruppe der Entwicklungswerkzeuge. Diese Gruppe ist beliebig anpass- und erweiterbar. Lediglich TES-Beschreibungen für die Integrationskomponente sind jeweils anzulegen.

Konvertierungs- und Kopplungsdienste: Für das durchgängige Arbeiten mit den Entwicklungswerkzeugen sind drei Konvertierungs- und ein Kopplungsdienst entwickelt worden. Die Gruppe der Konvertierungs- und Kopplungsdienste kann ebenfalls beliebig erweitert werden.

Weitere Systemkomponenten: Neben den genannten Systemkomponenten sorgen zwei weitere für die Ergänzung der Plattformfunktionalität. Die Schnittstelle zu den externen Lösungselementen ermöglicht das direkte Einbinden von freigegebenen Aspektmodellen, wie z.B. ein CAD-Volumenmodell eines zugekauften Elektromotors zur frühzeitigen Berücksichtigung bei der Bauraumdimensionierung einer zu entwickelnden Baugruppe. Ebenso ist die Integration von Standardwerkzeugen wie Office-Programmen vorgesehen. Sie finden z.B. Verwendung bei der Dokumentation von Testergebnissen.

5 Mechatronische Lösungselemente

Nur noch wenige Unternehmen verfügen über das Know-how und die Ressourcen, komplexe Produkte im Alleingang schnell genug zu entwickeln und zu fertigen. Hierdurch kommt es zu neuen Formen der Zusammenarbeit und des Informationsaustausches zwischen Unternehmen und deren Zulieferern. Ein große Bedeutung hat die Bereitstellung von Lösungselementen als realisierte und bewährte Lösung zur Erfüllung einer Funktion. Bei mechatronischen Lösungselementen ist deren Repräsentation in Form von Aspektmodellen wie Verhalten und Gestalt von entscheidender Bedeutung, um eine schnelle und leistungsfähige Produktentwicklung zu unterstützen. Während es früher noch ausreichte, die technischen Informationen und den Produktpreis über Printkataloge bereitzustellen, werden durch den notwendigen Einsatz von Simulationsmethoden immer mehr Informationen zu einem Lösungselement benötigt.

Zur verarbeitungsgerechten Bereitstellung müssen die Produktentwickler über verschiedene Suchstrategien bedarfsgerecht auf die mechatronischen Lösungselemente zugreifen können (Bild 3). Dafür wurde eine internetbasierte Infrastruktur aufgebaut, mit der mechatronischer Lösungselemente intern in Unternehmen und extern in elektronischen Marktplätzen verwaltet und angeboten werden können [8].

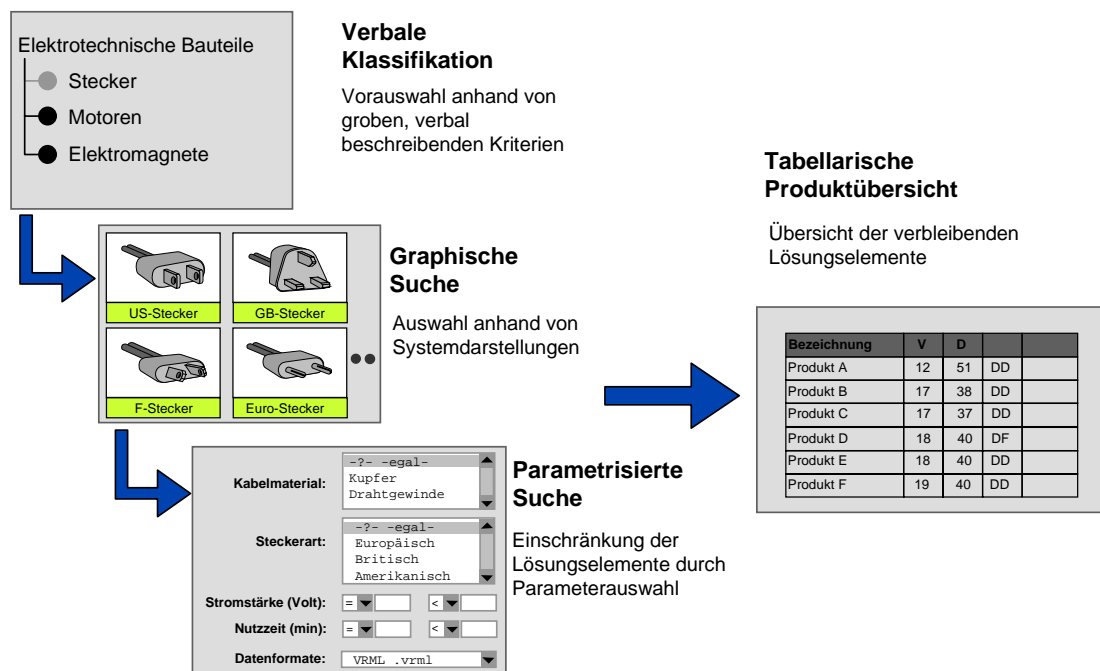


Bild 3. Kombination verschiedener Suchmethoden in einer internetbasierten Plattform

6 Literaturverzeichnis

- [1] Pahl, G. / Beitz, W., "Konstruktionslehre", 4. Auflage, Springer, Berlin, 1997.
- [2] Gausemeier, J. / Lückel, J. / Flath, M. / Seuss, J., "Design Methodology and Modelling of Mechatronic Systems, exemplified by a novel approach to vehicle convoy driving", 1st IFAC-Conference on Mechatronic Systems, 18-20.9.2000, Darmstadt, 2000.
- [3] Seibold, W., "First time right from layout to repair", in: 30th ISATA Symp. S. 483-492, Automotive Automation Limited, 1997.
- [4] Kallmeyer, F. / Gausemeier, J., "Modellierung prinzipieller Lösungen mechatronischer Systeme", in: Konstruktion, Jahrgang 51, Heft 11/12, S. 15-2, Springer, Berlin, 1999.
- [5] Brandstetter, S. / Seuss, J. / Oberschelp, O.: "Modellbildung mechatronischer System", in: Gausemeier, J. / Lückel, J. (Hrsg.), Entwicklungsumgebungen Mechatronik, Heinz Nixdorf Institut Verlagsschriftenreihe, Bd. 80, Paderborn, 2000.
- [6] Hahn, M., "OMD - Ein Objektmodell für den Mechatronikentwurf", Dissertation im Fachbereich Maschinentechnik, Universität Paderborn, VDI-Reihe 20 Nr. 299, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999.
- [7] Anderl, R.; Tripper, D., "STEP Standard for the Exchange of Product Model Data – Eine Einführung in die Entwicklung, Implementierung und industrielle Nutzung der Normenreihe ISO 10303 (STEP)", B.G. Teubner, Stuttgart, 2000.
- [8] Avenarius, J.: "Mechatronische Lösungselemente", in: Gausemeier, J. / Lückel, J. (Hrsg.), Entwicklungsumgebungen Mechatronik, Heinz Nixdorf Institut Verlagsschriftenreihe, Bd. 80, Paderborn, 2000.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Dipl.-Ing. Martin Flath, 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

E-,mail: gausemeier|flath|moehr}@hni.uni-paderborn.de