

INTEGRATION DOMÄNENÜBERGREIFENDER ENTWICKLUNGSARBEITEN AUF BASIS MECHATRONISCHER LÖSUNGSELEMENTE¹

*Dipl.-Wirt. Ing. R. Czubayko, Prof. Dr.-Ing. J. Gausemeier
Heinz Nixdorf Institut, Paderborn*

Zusammenfassung

Der moderne Maschinenbau ist durch das enge Zusammenwirken von Komponenten der Mechanik, Regelungstechnik, Elektronik sowie Software geprägt. Zur Verkürzung der Produktentwicklungszeit und zur frühzeitigen Optimierung der Produkteigenschaften erhöht sich daher der Abstimmungsbedarf zwischen den Ingenieuren der verschiedenen Domänen. Erschwert wird das domänenübergreifende Arbeiten jedoch dadurch, dass die produktbeschreibenden Daten in verschiedenen CAE-Werkzeugen in inkompatiblen Formaten und Strukturen erzeugt werden. Weiterhin sind interdisziplinäre Lösungen in der Regel nur unzureichend systematisiert, was zu vermeidbarem Mehraufwand führt. In diesem Beitrag wird eine neuartige Repräsentation mechatronischer Lösungselemente zur durchgängigen Abbildung mechatronischer Produktdaten und zur Unterstützung des verteilten kooperativen Arbeitens vorgestellt. Dies ermöglicht die effektive und effiziente Bereitstellung von bewährten Lösungen aus den verschiedenen Domänen und das automatische Nachführen von Produktdaten bei Änderungen. Der Schwerpunkt liegt auf der Konzipierung eines Datenmodells, das die domänenspezifischen Sichtweisen zusammenführt und die Lösungselemente mit Informationsverarbeitungsfunktionalität ausstattet. Informationstechnische Basis bildet ein PDM-System. Die Validierung erfolgt an Hand eines komplexen mechatronischen Erzeugnisses aus dem Automobilbereich.

1 Einführung

Maschinen sind allgegenwärtig. Sie produzieren, sie transportieren. Maschinen erleichtern die Arbeit und helfen dem Menschen. Jeder fünfte Arbeitsplatz resultiert aus dem Maschinenbau und verwandten Branchen wie dem Automobilbau. Aus der zunehmenden Durchdringung des Maschinenbaus mit der Informationstechnik eröffnen sich erhebliche Erfolgspotentiale. Der Begriff Mechatronik bringt dies zum Ausdruck – gemeint ist damit das enge Zusammenwirken von Mechanik, Elektronik, Regelungstechnik und Softwaretechnik. Moderner Maschinenbau ist Mechatronik. Die Entwicklung mechatronischer Produkte erfordert die Kommunikation und Kooperation der Fachleute aus den genannten Domänen. Zur Unterstützung eines solchen domänenübergreifenden Entwicklungsprozesses spielen zwei Faktoren eine entscheidende Rolle: Das Arbeiten mit konsistenten Produktdaten sowie die Wiederverwendung bewährter Lösungen.

Zur informationstechnischen Unterstützung der Arbeiten im Produktentwicklungsprozess stehen den Entwicklungsingenieuren² leistungsfähige CAE-Werkzeuge zur Verfügung. Dabei

¹ Ein Teil der in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse wurde im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Integration von Gestaltung und Berechnung“ (Deutsche Forschungsgemeinschaft) entwickelt.

² Wir verwenden ausschließlich wegen der einfachen Lesbarkeit die maskuline Form. Selbstredend meinen wir auch Ingenieurinnen etc.

wird eine Vielzahl von Modellen erzeugt und verarbeitet, die jeweils einzelne Aspekte behandeln. Diese Modelle werden jedoch häufig in inkompatiblen Formaten und Strukturen abgebildet. Die Folge sind teils redundante Datenpools und Medienbrüche. Änderungen an diesen Daten und Informationen führen zu inkonsistenten Produktdaten.

Die Entwicklung eines mechatronischen Erzeugnisses basiert darüber hinaus auf dem Erfahrungswissen der Experten aus unterschiedlichen Domänen. Unterstützt wird der Entwicklungsprozess durch die Abwägung und Gewichtung von Lösungsalternativen aus den Teildisziplinen sowie deren Kombination zu mechatronischen Teilsystemen. Dabei ist eine effektive Lokalisierung und Nutzung von bereits erarbeitetem Wissen notwendig. Dies führt zur Vermeidung von aufwendigen Neuentwicklungen und damit zur Verkürzung der Produktentwicklungsprozesse und Time-to-Market. Die gängige Praxis zeigt jedoch, dass bewährte Lösungen und insbesondere solche, die aus interdisziplinärer Zusammenarbeit entstanden sind, nur unzureichend systematisiert sind.

Ansätze zur Bewältigung dieser Herausforderungen bietet der Einsatz von Lösungselementen in Verbindung mit einer durchgängigen Rechnerunterstützung. Beispielsweise stellen Produktdatenmanagement-Systeme (PDM-Systeme) Funktionen zur systematischen Verwaltung produktbeschreibender Daten und zur Prozessunterstützung in der Produktentwicklung bereit [2]. So werden PDM-Systeme in der Regel als Integrationsplattform für heterogene CAD-Systeme in der Produktentwicklung eingesetzt. Den Anforderungen der Domänen Elektronik, Software und Regelungstechnik wird dagegen bisher nur begrenzt Rechnung getragen. Am Heinz Nixdorf Institut wurde eine neuartige Repräsentationsform für mechatronische Lösungselemente entwickelt [3].

2 Mechatronische Lösungselemente

Ein Lösungselement ist eine realisierte und bewährte Lösung zur Erfüllung einer Funktion. Dabei handelt es sich im allgemeinen um eine Baugruppe, die auf einem Wirkprinzip bzw. mehreren Wirkprinzipien beruht. Die rechnerinterne Repräsentation eines Lösungselementes strukturiert sich nach unterschiedlichen Aspekten wie Verhalten und Gestalt. Jeder dieser Aspekte weist unterschiedliche Konkretisierungen auf, die den Phasen des Entwicklungsprozesses entsprechen [4], [5]. Die Produktaspekte eines mechatronischen Lösungselementes werden durch Aspektmodelle beschrieben. Weiterhin wird ein mechatronisches Lösungselement durch Metadaten gekennzeichnet.

Aspektmodelle der **Gestalt** legen die geometrischen Daten, Formen und relative räumliche Anordnungen fest. Zu diesen Aspektmodellen zählen insbesondere CAD-Modelle und 3D-Visualisierungen. Beispielsweise werden mit einem 3D-CAD-System Aspektmodelle der Gestalt generiert und bearbeitet.

Aspektmodelle der **Topologie** beschreiben die physikalischen Eigenschaften der Baugruppen und Bauteile sowie deren Anordnung in einem mechatronischen Lösungselement. Für die Reglerauslegung (z.B. im Werkzeug CAMEL [5]) werden hier beispielsweise Gelenke und eingeprägte Lasten, deren Parameter (z.B. Feder- und Dämpfungskonstanten) sowie Verknüpfungen wie die kinematischen Zusammenhänge der mechanischen Komponenten abgebildet.

Aspektmodelle des **Verhaltens** sind mathematische Ersatzmodelle eines mechatronischen Systems. Typische mathematische Verhaltensmodelle werden zur Mehrkörpersimulation modelliert (z.B. im Werkzeug ADAMS). Sie beinhalten für ein Bauteil bzw. eine Baugruppe algebraische Gleichungen oder Differentialgleichungen sowie Gleichungen zur Berechnung statischer Ruhelagen, Kennfelder oder Zustandsräume.

Metadaten sind beschreibende Daten, die unter anderem der Identifizierung und dem Auffinden vorhandener Lösungselemente dienen. Typische Metadaten sind die aus dem CAD-Bereich bekannten Teilenummern. Darüber hinaus wurden weitere Metadaten definiert, die den mechatronischen Charakter des Lösungselementes entsprechen (z.B. Funktion, Effekt, Wirkprinzip).

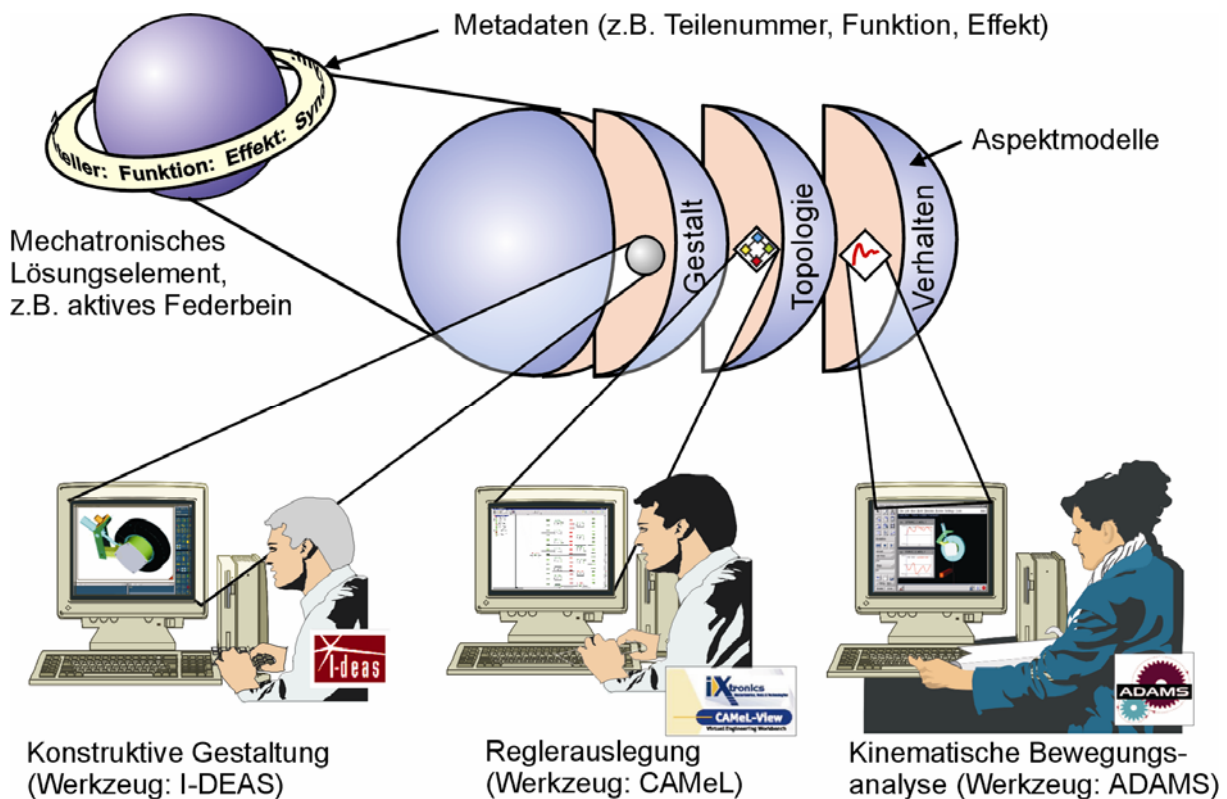


Bild 1: Ein mechatronisches Lösungselement wird im Produktentwicklungsprozess durch Metadaten sowie Aspektmodelle der Gestalt, der Topologie und des Verhaltens beschrieben.

3 Integration von Aspektmodellen

Bei der parallelen Bearbeitung von Aspektmodellen eines mechatronischen Lösungselementes werden Daten häufig redundant abgebildet. Beispielsweise werden für ein mechatronisches Lösungselement „aktives Fahrwerk“ sowohl für den Aspekt Gestalt als auch für den Aspekt Topologie Hebellängen abgebildet. Die Aspektmodelle sind somit unmittelbar voneinander abhängig. Zur Abbildung derartiger Abhängigkeiten zwischen zwei Aspektmodellen wurden verschiedene Typen von Beziehungsobjekten definiert. Eine Form von Beziehungsobjekten stellen Integrationsobjekte dar.

Ein **Beziehungsobjekt** setzt zwei Aspektmodelle in einen kausalen Zusammenhang (wenn Aspektmodell x geändert wird, dann führe Aspektmodell y nach). Aus Sicht eines wissensbasierten Systems beschreibt es somit eine Regel. Sind zwei Aspektmodelle wechselseitig voneinander abhängig, so ist dieser Zusammenhang über eine bidirektionale Beziehung abzubilden.

Ein **Integrationsobjekt** ist ein Beziehungsobjekt, das zwischen den Aspekten Gestalt und Topologie definiert wird (vgl. Bild 2). Existiert ein Integrationsobjekt als gerichtete Beziehung vom Gestaltmodell eines aktiven Fahrwerks zu dessen topologischem Ersatzmodell für die

Mehrkörpersimulation, so hat die Änderung des Gestaltmodells das Nachführen des MKS-Topologiemodells zur Folge. Dies bedeutet, dass die Regel „feuert“.

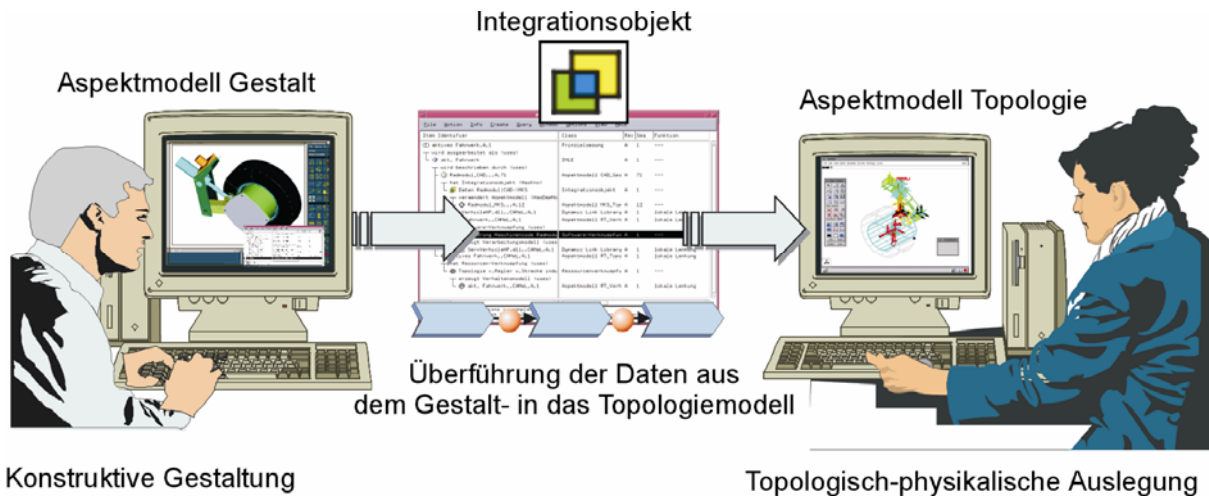


Bild 2: Integrationsobjekte definieren den kausalen Zusammenhang zwischen zwei Aspektmodellen der Gestalt und Topologie. Damit schaffen sie die Voraussetzung zur Integration der Modell-Daten (Beispiel: Aktives Federbein).

Die detaillierten Informationen, die zum Nachführen der Daten benötigt werden, sind im Integrationsobjekt hinterlegt. Insbesondere wird dort definiert, wann eine Regel gefeuert wird (z.B. beim Check-In oder bei der Modifikation eines Aspektmodells), welche Aktivitäten zur Koordination der beteiligten Ingenieure durchzuführen sind (durch die eindeutige Referenzierung eines Änderungsworkflows) und welche Transformationen zur Überführung der Aspektmodelldaten ausgeführt werden. Das automatische Nachführen von Aspektmodelldaten charakterisiert das mechatronische Lösungselement als intelligent.

Ein Integrationsobjekt wird angelegt, sobald für ein mechatronisches Lösungselement mit einem bereits existierenden Gestalt-Aspektmodell ein neues Topologie-Aspektmodell angelegt wird. Die Etablierung dieses Integrationsobjektes erfolgt weitgehend automatisiert. Da jedem Aspektmodell ein verantwortlicher Bearbeiter zugeordnet ist, werden die organisatorischen Rollen/Verantwortlichkeiten des Änderungsworkflows eindeutig zugewiesen. Über die CAE-Werkzeuge, die den Aspektmodellen eindeutig zugeordnet sind, wird auf die vorhandenen Transformationsmechanismen geschlossen. Die Transformationsmechanismen werden der zu Grunde liegenden Wissensbasis entnommen, welche von Wissensingenieuren kontinuierlich gepflegt wird.

Die Einführung von Beziehungsobjekten erlaubt das automatisierte und zugleich differenzierte Nachführen von Änderungen in Aspektmodellen bei Änderungsvorgängen. Es wird einerseits sichergestellt, dass bereits existierende Daten aus anderen Aspektmodellen genutzt und verarbeitet werden können. Andererseits wird ein fortlaufendes „Überschreiben“ von Daten verhindert und die Kommunikation der beteiligten Ingenieure sichergestellt.

Um einen frühen Funktionsnachweis zu erbringen und späte Änderungsschleifen zu vermeiden, ist eine frühzeitige Integration von Lösungselementen in mechatronische Teilsysteme notwendig. Häufig sind dabei Lösungselemente aus unterschiedlichen Domänen – d.h. von der mechanischen Tragstruktur bis hin zur Software-Modulebene – zusammenzuführen. In der Entwurfsphase sind diese Integrationschritte zu verfeinern. Die Lösungselemente stehen jedoch häufig in logisch-funktionaler bzw. räumlicher Wechselwirkung zueinander. Dazu werden Stoff-, Energie- und Signalflüsse bzw. relative räumliche Anordnungen zwischen mechatronischen Lösungselementen abgebildet. Eine Auswertung dieser Objekte erlaubt z.B. das Nachführen von Eingangsgrößen,

Rahmenbedingungen oder eingepprägten Lasten bei Änderungen. Abgerundet wird die Konzeption durch differenzierte Aggregationsbeziehungen, die eine integrative hierarchische Strukturierung ermöglichen. Auf diese Weise kann z.B. das mechatronische Lösungselement „Hybridmotor“ sowohl dem gestaltlosen Lösungselement „Antriebsregelsystem“ als auch dem gestaltbehafteten Lösungselement „Radmodul“ zugeordnet werden. Änderungen am Radmodul werden somit in allen Domänen nachgeführt.

4 Einsatzkonzept

Die Konzeption mechatronischer Lösungselemente wurde an Hand des komplexen mechatronischen Erzeugnisses „Servicezubringer“³ [6] erfolgreich validiert (vgl. Bild 3). Bei der integrativen Produktentwicklung wird für ein neu zu entwickelndes Erzeugnis die Gesamtfunktion in Teilfunktionen geringerer Komplexität aufgeschlüsselt. Zur Erfüllung dieser Teilfunktionen wird u.a. nach verfügbaren mechatronischen Lösungselementen gesucht (Suche über Metadaten bzw. Navigation in abgeschlossenen Entwicklungsprojekten). Die bewährten mechatronischen Lösungselemente sind bereits in Bezug auf ihre geometrischen, stofflichen und funktionalen Eigenschaften vollständig spezifiziert. Im Rahmen des neu zu entwickelnden mechatronischen Erzeugnisses sind diese Eigenschaften jedoch anzupassen. Durch die Beziehungsobjekte werden die Daten in den anderen Aspektmodellen des mechatronischen Lösungselementes nachgeführt.

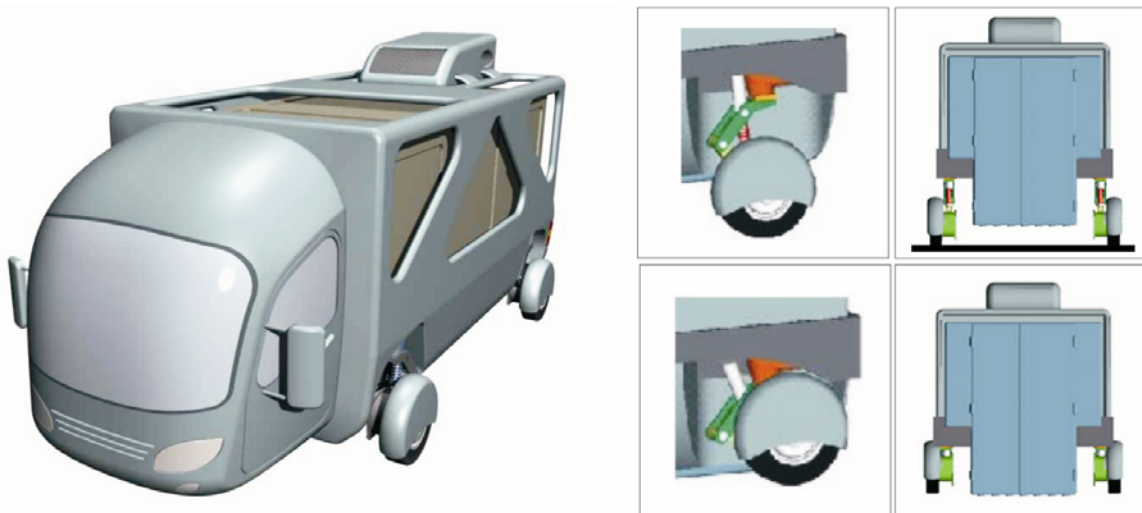


Bild 3: Innovativer Servicezubringer (Rapid-Prototype-Modell: DiK)

Insbesondere während des domänenspezifischen Entwurfs und der Ausarbeitung werden an den bewährten, modifizierten und neu zu erstellenden mechatronischen Lösungselementen verteilt Aufgaben zur Gestaltung und Berechnung durchgeführt. Änderungen an Aspektmodellen werden durch Beziehungsobjekte nachgeführt. Über die integrativen hierarchischen Strukturen wird sichergestellt, dass Änderungen nicht zu Widersprüchen bei hierarchisch übergeordneten oder nachgeordneten mechatronischen Lösungselementen führen.

³ Das Anwendungsbeispiel „Innovativer Servicezubringer“ wurde in einer Kooperation der drei Institute Mechatronic Laboratory Paderborn (MLaP, Prof. Lückel), Lehrstuhl für Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK, Prof. Anderl) und dem Lehrstuhl für Rechnerintegrierte Produktion am Heinz Nixdorf Institut (HNI, Prof. Gausemeier) entwickelt.

5 Literatur

- [1] Spur, G.: Das digitale Produktmodell als virtueller Prototyp; in: ZWF, 7-8/1999, Carl Hanser Verlag, München, 1999
- [2] Eigner, M. / Stelzer, R.: Produktdatenmanagement-Systeme. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. Springer Verlag, Berlin, 2001
- [3] Czubyko, R.: Rechnerinterne Repräsentation von informationsverarbeitenden Lösungselementen für die verteilte kooperative Produktentwicklung in der Mechatronik. Im Fachbereich 10 der Universität Paderborn eingereichte und angenommene Dissertation, Paderborn, 2002
- [4] Gausemeier, J. / Ebbesmeyer, P. / Kallmeyer, F.: Produktinnovation - Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. Carl Hanser Verlag, München Wien, 2001
- [5] Gausemeier, J. / Lückel, J. (Hrsg.): Entwicklungsumgebungen Mechatronik - Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 80, Paderborn, 2000
- [6] Lückel, J. / Gausemeier, J. / Anderl, R. / Koch, T. / Schmitz, J. / Czubyko, R. / Lemke, J. / Gräß, R.: Computer Aided Design of Mechatronic Systems, exemplified by the integrated wheel suspension of an innovative service vehicle. 1st IFAC Conference on Mechatronic Systems. Darmstadt, 2000

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
Rechnerintegrierte Produktion,
Heinz Nixdorf Institut, Univ. Paderborn
Fürstenallee 11
D-33102 Paderborn
Tel.: ++49-5251-60-6267
Fax: ++49-5251-60-6268
Email: gausemeier@hni.upb.de
URL: <http://www.hni.upb.de/rip>

Dipl.-Wirt. Ing. Roland Czubyko,
Hella KG & Hueck Co.
Rixbecker Str. 75
D-59552 Lippstadt
Tel: ++49-2941-38-7361
Email: roland.czubyko@hella.de
URL: <http://www.hella.de>