

EINE ENTWICKLUNGSPLATTFORM FÜR DAS KONZIPIEREN MECHATRONISCHER SYSTEME

E.G. Welp, C. Bludau, S. Jansen

Kurzfassung

Mechatronische Produkte, die sich durch synergetisches Zusammenwirken von Elementen und Komponenten aus verschiedenen Ingenieurdisziplinen auszeichnen, stellen aufgrund erhöhter Komplexität der Systemzusammenhänge besondere Anforderungen an einen domänenübergreifenden Entwicklungsprozess. In diesem Beitrag wird ein methodisches und systemtechnisches Konzept zur Realisierung einer geeigneten Entwicklungsplattform für mechatronische Produkte vorgestellt. Ausgehend von einer Betrachtung der zu berücksichtigenden Anforderungen an diese Plattform wird eine domänenübergreifende, multiple Methodenbasis vorgestellt. Am Beispiel einer mechatronischen Komponente „Sensor“ wird der hiermit verbundene Modellbildungsansatz beleuchtet. Im Anschluss wird das Konzept eines domänenübergreifenden, rechnerunterstützten Modellierungswerkzeugs beschrieben.

1 Einleitung

Mechatronische Systeme gliedern sich in die vier Basiskomponenten „Technisches Zielsystem“, „Sensor“, „IT-System“ und „Aktuator“. Zur Realisierung der einzelnen Komponenten wird auf Wirkprinzipien zurückgegriffen, die unterschiedlichen Domänen (Mechanik, Elektrotechnik, Informatik etc.) entstammen. Zum Generieren einer bestmöglichen Gesamtlösung ist es notwendig, bereits in der Konzeptionsphase einen domänenübergreifenden Entwicklungsansatz zu verfolgen, da sich eine Bestlösung in der Regel nur durch eine Optimierung des Wirkzusammenhanges im Gesamtsystem erreichen lässt. Eine isolierte Optimierung einzelner Komponenten innerhalb ihrer jeweiligen Domänengrenzen führt - vor allem wenn in frühen Entwicklungsphasen betrieben - zu suboptimalen Gesamtlösungen. Vor diesem Hintergrund ist erkennbar, dass speziell für die Konzeptionsphase eine Entwicklungsplattform anzustreben ist, mit deren Hilfe die in dieser Phase notwendigen Handlungsweisen (Analyse, Synthese, Simulation etc.) domänenübergreifend verfolgt werden können, wodurch eine integrierte Produktentwicklung gefördert wird.

2 Domänenübergreifende, multiple Methodenbasis

Eine Untersuchung und Beurteilung der auf dem Markt verfügbaren Werkzeuge zur Unterstützung des Entwicklers in der Konzeptionsphase mechatronischer Systeme erfolgt in [Lip00]. In diesem Zusammenhang wurden vier Anforderungskomplexe formuliert, die als Grundlage einer Beurteilung verschiedener Ansätze zur methodischen rechnerunterstützten Konzeption mechatronischer Systeme herangezogen wurden. Bild 1 zeigt die zugrunde gelegten Anforderungen sowie die zusammengefassten Ergebnisse der Analyse. Im Rahmen der Untersuchung wurde festgestellt, dass verschiedene Ansätze bezüglich einzelner Anforderungskomplexe gute Erfüllungsgrade aufweisen, jedoch in allen Fällen Defizite hinsichtlich der Erfüllung des gesamten Anforderungsfeldes bestehen.

Anforderungskomplex		Fazit
Ausrichtung auf...	...mechatronische Systeme	Partitionierung und funktionale Integration werden wenig unterstützt
		Konzeptkreation und -simulation erfolgen in weitgehend isolierten Prozessketten
	...Konzeptionsphase	kaum unterstützende Werkzeuge für die Konzeptionsphase
		domänenübergreifende Ansätze zur Modellbildung fehlen
	...methodisches Vorgehen	begrenzte Integrationsfähigkeit der domänenspezifischen Konzeptionsmethoden
		geringe Ausprägung der Verknüpfung komplementärer Handlungsebenen
	...rechnerunterstütztes Vorgehen	konzeptkreatierende Softwaretools fehlen
		begrenzte Wiederverwertbarkeit entwicklungsrelevanter Informationen

Bild 1: Fazit zum Stand der Technik und Forschung

Eine Entwicklungsplattform für die Konzeption mechatronischer Produkte muss eine domänenübergreifende Modellbildung gestatten und gleichzeitig eine parallele Anwendung der in der Konzeptionsphase typischen Handlungsweisen zulassen. Während der Konzeptionsphase ist es nötig, eine Zuordnung der Teilfunktionen zu der zur Funktionserfüllung am besten geeigneten Domäne durchzuführen. Dieser Partitionierungsprozess muss ebenfalls in geeigneter Weise von der Entwicklungsplattform unterstützt werden. Auf der Wirkebene trägt eine durch Einführung eines durchgängigen Modellbildungsansatzes erzielte Verzahnung zwischen Arbeitsschritten der Kreation und Simulation dazu bei, den Entwicklungsprozess effizienter zu gestalten. Zum Zwecke der Simulation sind Bondgraphen als zentraler, domänenübergreifender Ansatz nutzbar, der durch Blockschaltbild- und Statechartmodelle ergänzt wird.

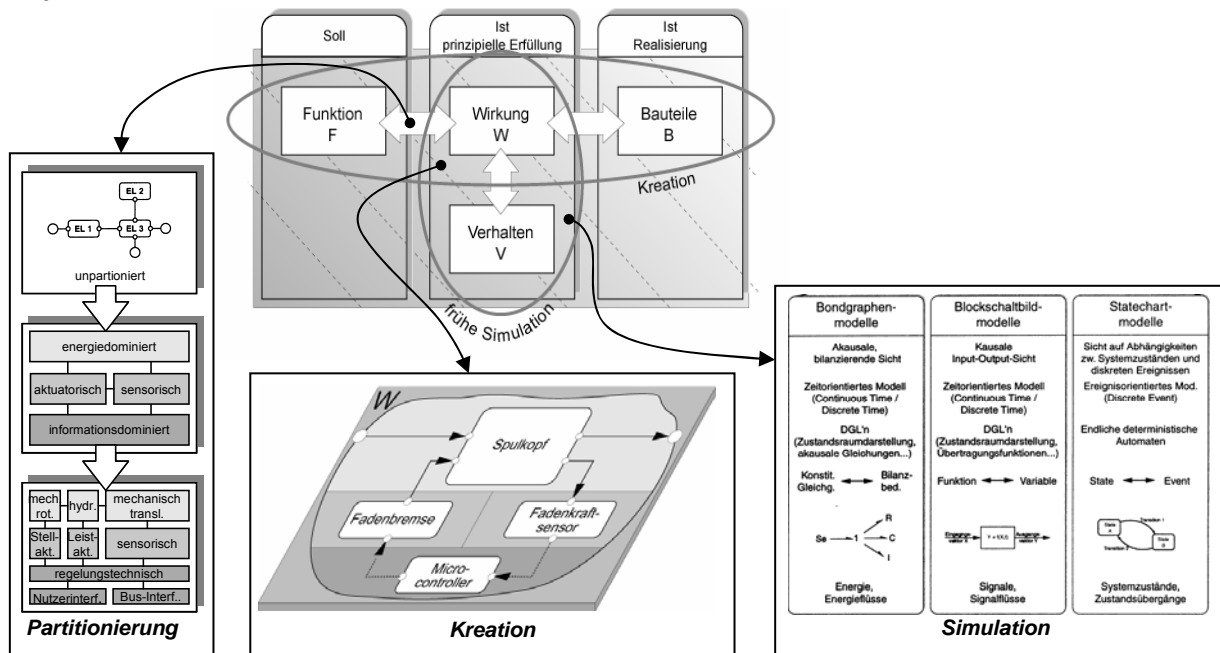


Bild 2: Konzept der multiplen Methodenbasis [Lip00]

Wie aus Bild 2 hervorgeht, kommt der Modellierung auf der Wirkebene eine zentrale Bedeutung zu, da durch den hier erzeugten Wirkzusammenhang die prinzipielle Erfüllung des Funktionszusammenhanges festgelegt wird. Der Wirkzusammenhang bildet die Grundlage für die frühen Simulationsschritte auf der Verhaltensebene, deren Ergebnisse wiederum zu einer Optimierung auf der Wirkebene herangezogen werden können. Eine domänenübergreifende Entwicklungsplattform setzt daher eine geeignete Beschreibung des Wirkzusammenhangs und einzelner Wirkelemente sowohl aus Anwendersicht als auch aus systemtechni-

scher Sicht voraus. Im folgenden wird anhand der mechatronischen Komponente „Sensor“ eine geeignete Beschreibungsform vorgestellt.

3 Modellbildung am Beispiel einer Sensorkonzeption

Der Sensor stellt innerhalb des mechatronischen Systems die Verbindung zwischen dem technischen Zielsystem und der steuerungs- bzw. regelungstechnischen Komponente (IT-System) dar. Seine primäre Aufgabe ist es, eine im Zielsystem auftretende energiedominante Größe in eine informationstechnisch nutzbare Größe zu wandeln, wobei letztere im Sinne der Mechatronik elektrischer Art ist. Aus diesen Überlegungen und durch eine analytische Betrachtung bekannter Systeme lässt sich der im oberen Teil von Bild 3 dargestellte allgemeine Aufbau eines Sensors ableiten.

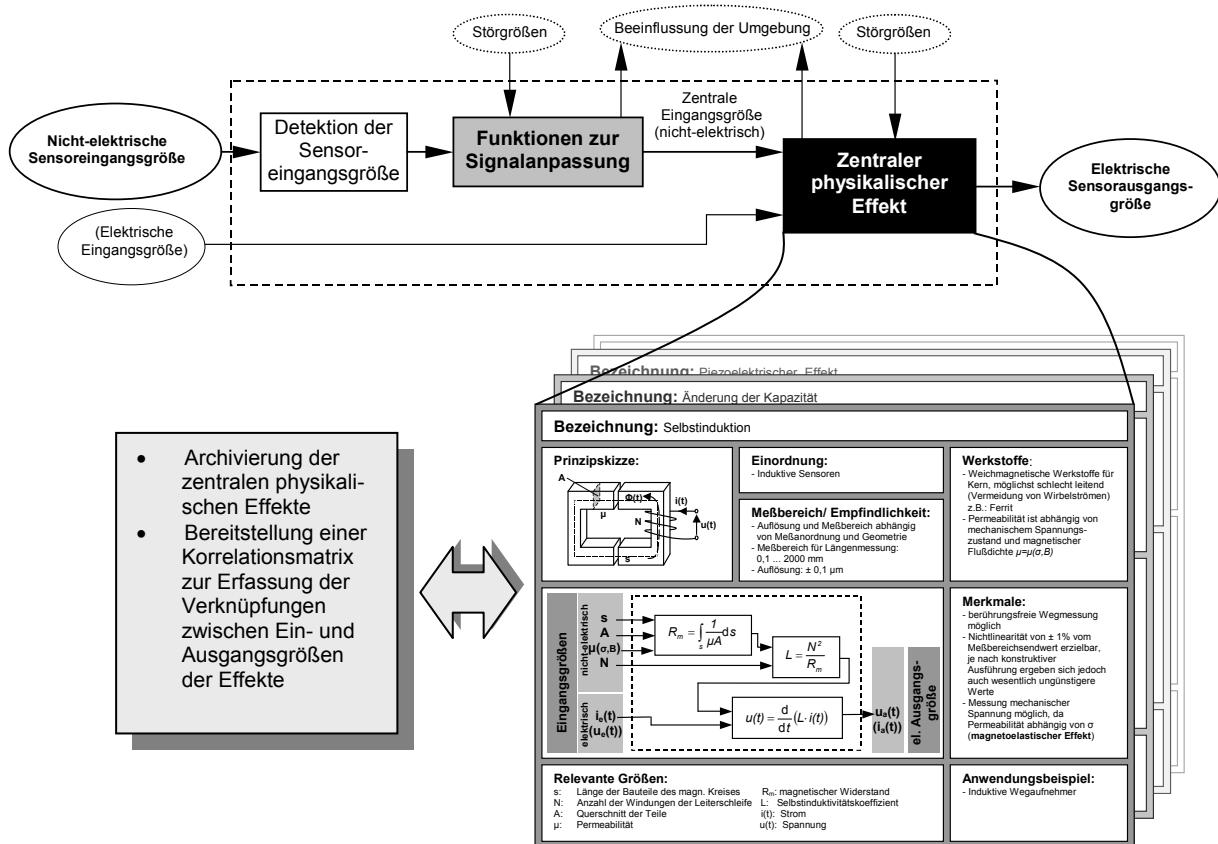


Bild 3: Allgemeiner Aufbau eines Sensors und Bereitstellung einer Informationsbasis für zentrale physikalische Effekte [Jan00]

Die nicht-elektrische Sensoreingangsgröße wird detektiert und durch bestimmte Funktionen, hier als „Funktionen zur Signalanpassung“ bezeichnet, in die zentrale Eingangsgröße überführt. Diese stellt die nicht-elektrische Eingangsgröße des zentralen physikalischen Effektes dar, mit dessen Hilfe sie in eine elektrische Größe gewandelt wird. Diese Sensorausgangsgröße kann innerhalb der elektrotechnischen Domäne weiterverarbeitet werden.

Zur Bereitstellung einer Informationsbasis für die zur Wandlung einer nicht-elektrischen in eine elektrische Größe nutzbaren physikalischen Effekte können diese in einer Datenbank abgelegt werden. Dazu bietet sich die im unteren Teil von Bild 3 dargestellte Beschreibungsform an. Die beteiligten Ein- und Ausgangsgrößen der Effekte können mit Hilfe einer Korrela-

tionsmatrix verknüpft werden, sodass der Entwickler die zur Lösung des Messproblems günstigen Effekte anhand ihrer Eingangsgrößen auswählen kann. Existiert kein zentraler physikalischer Effekt mit einer der Sensoreingangsgröße entsprechenden Eingangsgröße, so erfolgt in nachfolgenden Schritten eine Suche nach geeigneten Funktionen zur Signalanpassung.

Beim Aufbau des Wirkzusammenhanges stellt die Entwicklungsplattform dem Anwender einen Vorrat bereits konzipierter Wirkelemente bzw. Wirkkomplexe zur Verfügung. Dieser Vorrat ist flexibel erweiterbar, sodass bei nachfolgenden Entwicklungen eine Wiederverwendung von Konzepten ermöglicht wird. Um einen effektiven Rückgriff auf bereits erzeugte Wirkkomplexe sicherzustellen, müssen die konzipierten Komponenten in geeigneter Weise dargestellt und erklärt werden. Bild 4 zeigt an einem Beispiel aus der Textilverarbeitung, in welcher Weise die entwickelten Sensorkonzepte beschrieben werden können und welche Informationen über die Beschreibung des Wirkzusammenhanges hinaus in einer Datenbank abzulegen sind. Das exemplarische Messproblem besteht darin, die sich durch den Wickelvorgang auf einer Kreuzspule ergebende Wickelspannung eines Fadens zu bestimmen, um diese regeln zu können.

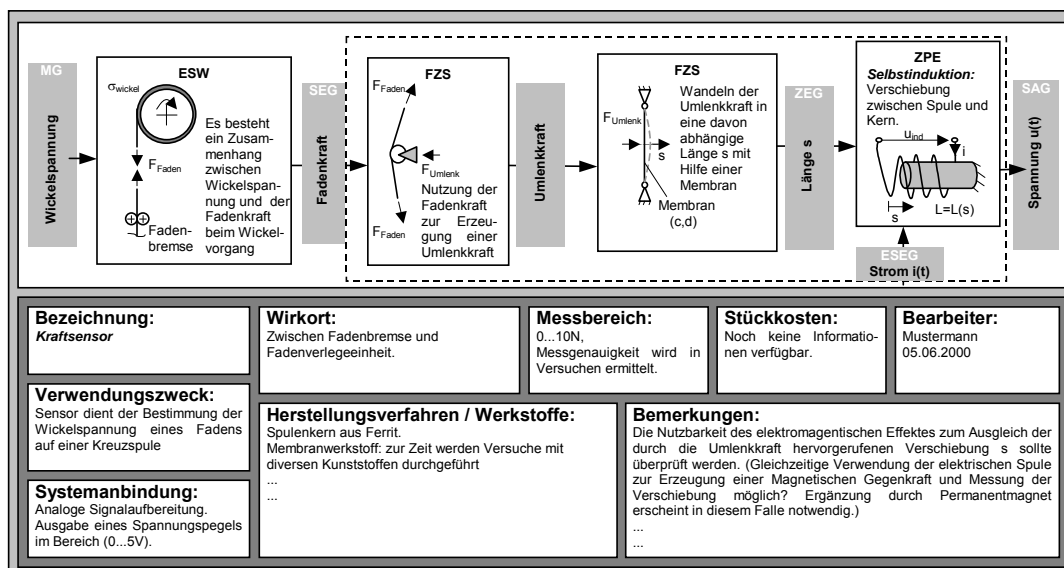


Bild 4: Wirkkomplex „Kraftsensor“

Als zentraler physikalischer Effekt wurde die Selbstinduktion mit der zentralen Eingangsgröße „Länge“ ausgewählt (vgl. Bild 3 unten). Die Darstellung der zur Wandlung der Messgröße (MG) in die Sensorausgangsgröße (SAG) genutzte Wirkkette ist ein wesentlicher Bestandteil der Konzeptbeschreibung. Es ist erkennbar, dass im dargestellten Fall die Wandlung der Wickelspannung in die als Sensoreingangsgröße (SEG) dienende Fadenkraft außerhalb des Sensors erfolgt, weshalb sie der externen Signalwandlung (ESW) zugerechnet wird. Innerhalb des Sensors dienen die Funktionen zur Signalanpassung (FZS) der Wandlung der Fadenkraft in die als zentrale Eingangsgröße (ZEG) dienende Länge. Im zentralen physikalischen Effekt (ZPE) wird so unter Zuhilfenahme der elektrischen Sensoreingangsgröße (ESEG) die Sensorausgangsgröße beeinflusst.

Die vorgestellte Beschreibungsform für Sensoren kann auf die Beschreibung von Aktuatoren sowie technischer Zielsysteme ausgeweitet werden. Die Kopplung mit einer funktionalen Beschreibung der IT-Komponente wird über die elektrischen Größen (z.B. Sensorausgangsgröße) ermöglicht.

4 Konzept für einen domänenübergreifenden Modellierer

Mechatronische Produkte stellen, wie am Beispiel des Fadenkraftsensors gezeigt, aufgrund erhöhter Komplexität der Systemzusammenhänge besondere Anforderungen an den Entwicklungsprozess.

Ein wesentlicher Fortschritt in Entwicklungsprozessen hinsichtlich Effektivität und Effizienz kann durch die Anwendung von Modellierungs- und Simulationssystemen auf verschiedenen Abstraktionsebenen erreicht werden. Die bisher verfügbaren Modellierungssysteme sind in der Regel dediziert, auf physikalischer oder mathematischer Ebene konzipiert und erfüllen damit nicht den Anspruch ganzheitlicher Modellierung von Wirk- und Systemzusammenhängen [Lip00].

An dieser Forschungsstelle wird eine Lösung realisiert, die es dem Produktentwickler erlaubt, Wirkelemente und -komplexe rechnerunterstützt so zu modellieren, dass aus einem ganzheitlich erstellten Modell verschiedene Modellsichten - z.B. für unterschiedliche Simulationen - abgeleitet werden können. Die Modellierung von Wirkzusammenhängen ist hierbei so konzipiert, dass aus vorgefertigten Klassenstrukturen geeignete Wirkelemente (Lösungselemente) ausgewählt und als Objekte mit ihren physikalischen und anderen konkretisierenden Merkmalen instanziiert werden können. Derartige Wirkelemente können dann durch Relationen zu Wirkstrukturen (Wirkkomplexen) und damit Objektstrukturen verknüpft und einem nachfolgenden Simulationssystem zugeführt werden. Als Arbeitsgrundlage dient die sogenannte „objektorientierte Entwurfsmethodik“, eine Symbiose zwischen der vorgestellten domänenübergreifenden, multiplen Methodenbasis und der aus der Informatik stammenden objektorientierten Methodik.

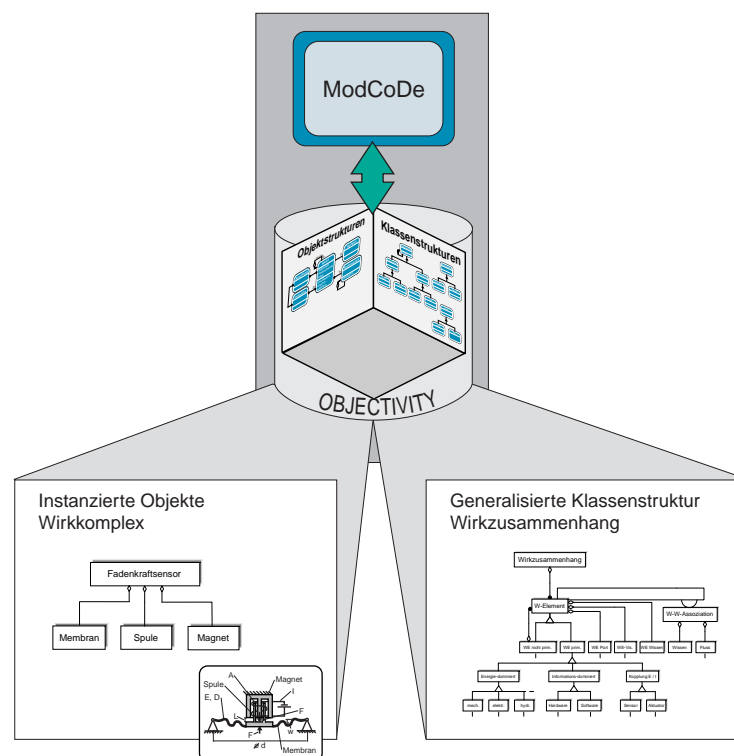


Bild 6: Modellierungswerkzeug ModCoDe

Das System zur Modellierung von Wirkelementen und -komplexen ModCoDe (**Modelling System for Conceptual Design**), das mit der objektorientierten Datenbank OBJECTIVITY gekoppelt wird und in ein CAx-Umfeld integrierbar ist, wird mit dem Anspruch auf Plattformneutralität und Netzwerkfähigkeit entwickelt [Welp00].

Die Plattformneutralität wird dadurch erreicht, dass der Modellierer auf der Basis von JAVA implementiert wird. Die Netzwerkfähigkeit wird durch Nutzung von Client-Server Architekturen, Browser-Konzepten sowie standardisierter Kommunikation sowohl im INTRA- als auch im INTERNET sichergestellt.

ModCoDe besteht aus den funktionalen Einheiten Benutzerschnittstelle (graphische Oberfläche), Objekt-Manager (Funktionen zur Manipulationen der Objekte) sowie Anwendungsschnittstellen (Datenbank und CAx-Anwendungen).

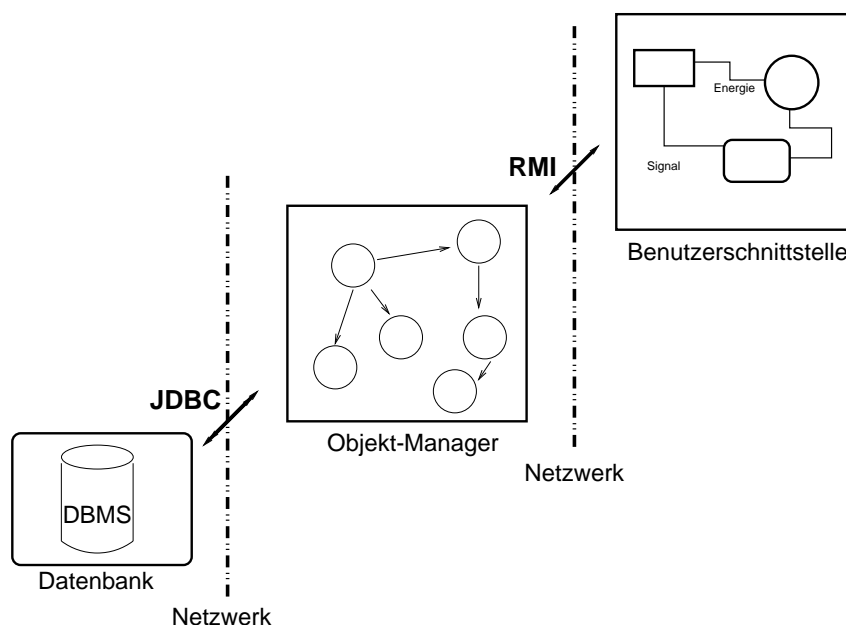


Bild 7: Struktur des Modellierungswerkzeugs ModCoDe

Die Kopplung mit der Datenbank erfolgt über die JDBC-Schnittstelle von OBJECTIVITY. Benutzerschnittstelle und Objektmanager kommunizieren mittels RMI (**R**emote **M**ethod **I**nvocation) miteinander. Für den Datenaustausch mit anderen CAx-Anwendungen, insbesondere den in der Konzeptionsphase relevanten Simulationssystemen, wird ModCoDe mit einer XML-Schnittstelle ausgestattet.

XML (**E**xtensible **M**arkup **L**anguage) eignet sich für die in der Objektorientierung wichtige Beschreibung hierarchischer Strukturen [W3C98]. Es existiert eine direkte Entsprechung zwischen Objekten und ihren Attributen und XML-Elementen und deren Attributen bzw. Kind-Elementen. D.h. die im Modellierer erarbeiteten Wirkelemente bzw. -komplexe und damit Objekte bzw. Objektstrukturen können vollständig in XML abgebildet werden.

In Abhängigkeit der Schnittstelle des Simulationssystems können nun unter Nutzung von XSL bzw. XSLT (**E**xtensible **S**tylesheet **L**anguage **T**ransformations) Transformationsprozesse [W3C99] z.B. in ein für das jeweilige System geeignetes Datenformat vorgenommen werden oder mit Hilfe von XML-Parsern geeignete Anweisungen für die Programmierschnittstelle eines solchen Systems erzeugt werden.

5 Zusammenfassung

Die domänenübergreifende, multiple Methodenbasis ist ein Ansatz, der Methode und informationstechnische Umsetzung mit dem Ziel der Verbesserung des gesamten Entwicklungsprozesses mechatronischer Produkte hinsichtlich Effektivität und Effizienz eng aneinander bindet. Als ein wichtiger und geeigneter Einstiegspunkt wird die Modellierung und Simulation mechatronischer Konzepte, ausgedrückt durch Wirkelemente und Wirkkomplexe, gesehen.

Die Weiterentwicklung der Methodenbasis geht dabei einher mit der Realisierung einer neuen Art von Rechnerunterstützung im Entwicklungsprozess: ModCoDe in Kopplung mit einer objektorientierten Datenbank macht es möglich, mechatronische Produktkonzepte auf einer domänenübergreifenden Ebene zu erarbeiten. Neue Lösungen können unter Nutzung der in der Datenbank abgelegten physikalischen Effekte, Wirkprinzipien, Wirkelemente sowie Wirkkomplexe konfiguriert und im Anschluss analysiert werden. Die erarbeiteten Lösungen werden anschließend archiviert und stehen damit für künftige Konzeptionsaufgaben wieder zur Verfügung.

6 Literaturverzeichnis

- [Jan00] Jansen, S.: *Methodische Analyse von Sensorsystemen in der Automobilindustrie und Perspektiven für zukünftige Entwicklungen*, Diplomarbeit, Ruhr-Universität-Bochum, 2000.
- [Lip00] Lippold, C.: *Eine multiple Methodenbasis zur Konzipierung mechatronischer Systeme*, vorgelegte Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 2000.
- [Welp00] Welp, E.G.: *System zur objektorientierten Wissensarchivierung und –verarbeitung in frühen Entwurfsphasen hybrider Produkte*, Fortsetzungsantrag zum DFG Schwerpunktprogramm: *Innovative rechnerunterstützte Konstruktionsprozesse*, Ruhr-Universität Bochum, 2000.
- [W3C98] Tim, B.; Paoli, J.; Sperberg-McQueen, C.M.: *Extensible Markup Language (XML) 1.0*, <http://www.w3.org/TR/REC-xml>, 1998.
- [W3C99] Clark, J.: *XSL Transformations (XSLT) Version 1.0*, <http://www.w3.org/TR/xslt>, 1999.

Prof. Dr.-Ing. E. G. Welp
Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre
Institut für Konstruktionstechnik
Fakultät für Maschinenbau
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150
Gebäude IB 2/152
44801 Bochum, Germany
Tel.: 0234 / 32-22636
Fax: 0234 / 32-14159
e-mail: welp@lmk.ruhr-uni-bochum.de
Internet: <http://www.ruhr-uni-bochum.de/lmk>

Dipl.-Ing. C. Bludau
Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre
Institut für Konstruktionstechnik
Fakultät für Maschinenbau
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150
Gebäude IB 2/44
44801 Bochum, Germany
Tel.: 0234 / 32-22011
Fax: 0234 / 32-14159
e-mail: bludau@lmk.ruhr-uni--bochum.de
Internet: <http://www.ruhr-uni-bochum.de/lmk>

Dipl.-Ing. S. Jansen
Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre
Fakultät für Maschinenbau
Institut für Konstruktionstechnik
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150
Gebäude IB 2/49
44801 Bochum, Germany
Tel.: 0234 / 32-26314
Fax: 0234 / 32-14159
e-mail: jansen@lmk.ruhr-uni-bochum.de
Internet: <http://www.ruhr-uni-bochum.de/lmk>