

WISSENSBASIERTE ENTWICKLUNG MECHATRONISCHER PRODUKTE

Christian Bludau, E.G. Welp

Kurzfassung

Die Entwicklung mechatronischer Produkte, wobei diese als Integration mechanischer und nicht-mechanischer Elemente und Komponenten mit hohem Komplexitätsgrad zu verstehen sind, stellt in verteilten Entwicklungsprozessen und interdisziplinär zusammengesetzten Entwicklungsteams eine besondere Herausforderung dar.

In diesem Beitrag wird der Ansatz wissensbasierter Entwicklung unter dem Gesichtspunkt einer disziplinenübergreifende Modellierung mechatronischer Produktkonzepte vorgestellt, in dem die Systeme ModCoDe (**M**odelling System for **C**onceptual **D**esign) und WISENT (System zur **W**issensarchivierung und –verarbeitung in **E**ntwicklungsprozessen) eingebettet sind. Sie unterstützen die Produktentwickler bei der iterativen Konzeptkreation und sind vollständig in vorhandene Arbeits- und Systemwelten integrierbar.

1 Herausforderung Mechatronik

Globalisierung der Märkte bedeutet für die Unternehmen des Maschinen- und Fahrzeugbaus zunehmende Konkurrenz und damit hohen Zeit-, Kosten- und Innovationsdruck. Daher gilt es, sowohl auf der Produkt- als auch auf der Prozessseite Optimierungen vorzunehmen.

Dabei reicht es nicht aus, bestehende Produktkonzepte hinsichtlich ihrer Kosten zu verbessern, sondern es ist vielmehr erforderlich, **Innovationsstrategien** zu etablieren, die bekannte Produktfunktionen in neuer Qualität oder neuartige Produktfunktionen und Produkte erwarten lassen.

Mechatronischen Produkten kommt hierbei eine **Schlüsselstellung** zu. Sie besitzen die Fähigkeit, durch Sensoren innere und äußere Größen aufzunehmen, diese zu verarbeiten und schließlich über Aktoren auf Ereignisse zu reagieren. Daher werden mechatronische Produkte häufig auch als „**intelligente**“ **Produkte** bezeichnet.

Die **hohe Interdisziplinarität und Komplexität** sowie die Ausschöpfung des sich bietenden Lösungsspektrums stellt einen besonderen Anspruch an die Entwicklung dieser Produkte. Geeignete Methoden und Werkzeuge spielen hierbei eine zentrale Rolle und unterstützen die richtige und zielgerichtete **Integration** von Teilsystemen zu einem optimal wirkenden Gesamtsystem.

In diesem Zusammenhang stellt gerade die wissensbasierte Produktentwicklung im Sinne eines Methoden und Werkzeuge integrierenden Ansatzes eine hervorragende Möglichkeit zur Förderung und auch Fokussierung von hierfür notwendigem Kreativitätspotenzial dar.

2 Wissensbasierte Produktentwicklung

Der Produktentwicklungsprozess ist geprägt durch intensiven Einsatz von Kreativität und Wissen zur Lösung der in vielfältiger Form auftretenden Aufgaben und Probleme.

Wissensbasierte Produktentwicklung stellt hierbei den **bewussten und gezielten Umgang mit der Ressource Wissen** in den Vordergrund der Betrachtungen zu Methoden und Werkzeugen, die das Vorgehen im Entwicklungsprozess effizienter gestalten sollen. Dies gelingt insbesondere dadurch, dass der Produktentwickler hierbei von Routineaufgaben entlastet und das **kreative und iterative Vorgehen** unter Fokussierung der im Sinne der Zielerreichung nützlichen Innovationspotenziale gefördert wird.

Eine allgemein anerkannte **Definition des Begriffs „Wissen“** ist, wie das Ergebnis einer Recherche in [Brau99] zeigt, in der mathematisch-naturwissenschaftlichen Literatur nicht zu finden. Allerdings lassen sich die Interpretationen der meisten Definitionen inhaltlich kaum voneinander unterscheiden. Nach einer Autorengemeinschaft der VDI-Gesellschaft EKV und der Gesellschaft für Informatik [VDI92] ist unter Wissen die Ansammlung von Kenntnissen, Erfahrungen und Problemlösungsmethoden zur Lösung von Problemen und Aufgaben in bestimmten Anwendungsgebieten zu verstehen.

Die **Akquisition, Bewahrung und Bereitstellung** von Wissen sind, wie in [Brau99] und [Püst01] gezeigt wird, zentrale Themen des mit wissensbasierter Produktentwicklung eng verbundenen Einsatzes rechnerbasierter Werkzeuge. Diese ermöglichen vor allem eine von Personen unabhängige Bewahrung von Wissen, was einen jederzeit und von jedem Ort möglichen Zugriff auf diese Ressource erlaubt.

In diesem Zusammenhang lässt sich eine Präzisierung des oben genannten Verständnisses von Wissen vornehmen: Mit Wissen verbindet sich ein **besonderer Anspruch** an die Qualität der Inhalte und die Art diese zur Verfügung zu stellen. Ziel ist die Entwickler auf Basis dieses Anspruchs jederzeit, sofern ein entsprechendes Wissen bereits vorliegt oder abgeleitet werden kann, unmittelbar in **Handlungsfähigkeit** versetzen zu können.

Dies unterscheidet Wissensbereitstellung nachhaltig von Informationsbereitstellung, wie sie beispielsweise häufig in Form von Inter- und Intranetapplikationen realisiert wird. In der Regel ist es hier seitens des Anwenders notwendig, die aufgrund einer Anfrage meist unstrukturiert und auf verschiedenen Qualitätsstufen gelieferten Informationen einem komplexeren Aufarbeitungsprozess vor der eigentlichen An- bzw. Verwendung zu unterziehen.

Zusammenfassend lassen sich folgende **Anforderungen an Methoden und Werkzeuge** zur Unterstützung wissensbasierter Produktentwicklung formulieren:

- Aufwandsarme Akquisition von Wissen,
- Strukturierte Bewahrung von Wissen,
- Kontextsensitive Bereitstellung von Wissen,
- Vollständige Integration der Methoden und Werkzeuge in das vorhandene Arbeits- und Applikationsumfeld.

3 Methodischer Lösungsansatz

Ausgehend von den zuvor beschriebenen Ansprüchen an die wissensbasierte Produktentwicklung, werden im Folgenden die am Institut auf der Basis dieser Überlegungen entwickelten rechnerbasierten Lösungen für den Bereich der Konzeption mechatronischer Produkte vorgestellt. Hierzu gehören zum einen ModCoDe (Modelling System for Conceptual Design) und zum anderen WISENT (System zur Wissensarchivierung und -verarbeitung in Entwicklungsprozessen).

ModCoDe ist integraler Bestandteil der in [Lipp00] entwickelten und bereits in [WeBIJa00] vorgestellten Methode zur disziplinenübergreifenden Modellierung mechatronischer Produktkonzepte.

Ausgehend von einer ersten „Idee“ erlaubt ModCoDe den Produktentwicklern die iterative Konzeptkreation auf der Ebene von Wirkstrukturen, bestehend aus über Stoff-, Energie- und Signalflüsse gekoppelten Wirkelementen. Wirkelemente sind auf verallgemeinerten Effekten (physikalische, softwaretechnische, ...) basierende Lösungselemente zur Erfüllung der geforderten Funktionen eines mechatronischen Systems.

ModCoDe ermöglicht darüber hinaus das Verhalten der modellierten Wirkelemente in Form eines „Verhaltensmodells“, bestehend aus Blockschaltbildern, Statecharts sowie Bondgraphen darzustellen und zu instanziiieren. Diese Modellierungsebene bildet zugleich die Integrationsbasis für die an ModCoDe anschließbaren Simulationssysteme.

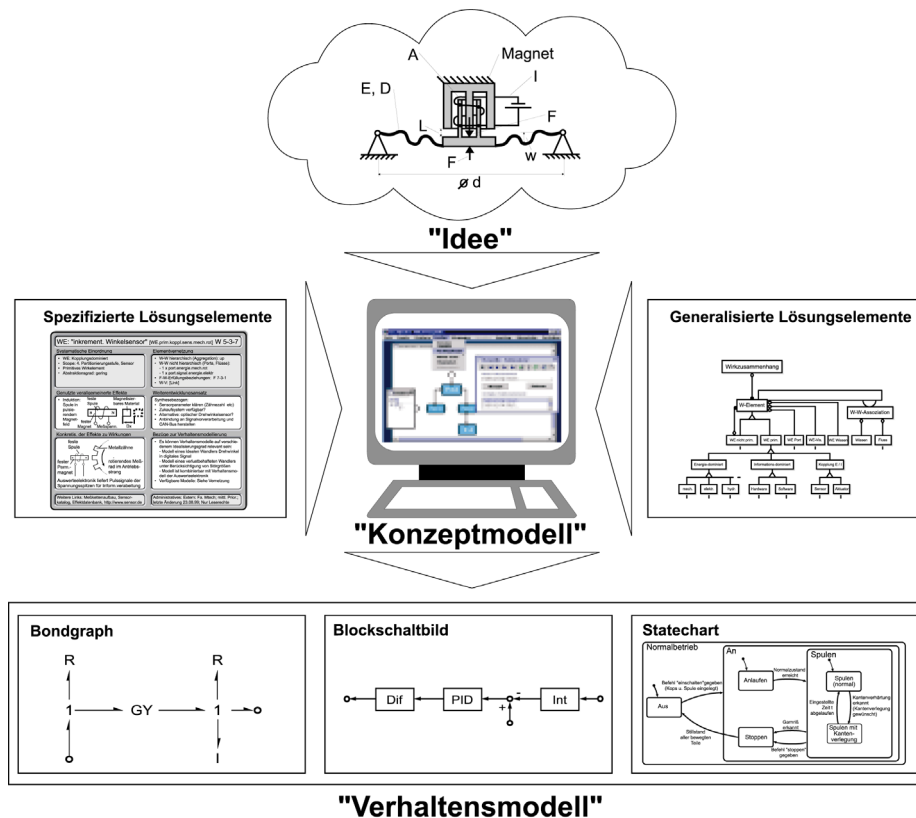


Bild 1: Von der Idee zum Konzept- und Verhaltensmodell mit ModCoDe

Die Qualität dieser Lösung im Sinne wissensbasierter Produktentwicklung wird bestimmt durch die Möglichkeit bei der Erarbeitung von „Konzeptmodellen“ sowohl auf bereits vorhandene Wirkelemente oder Produktkonzepte als auch auf sogenannte generalisierte Wirkelemente, auf deren Basis neue Elemente erzeugt werden können, zurückgreifen zu können. Die Effizienz der implementierten Rückgriffsmechanismen ist vor allem auf die Wahl einer objektorientierter Strukturierung der Elementebasen zurückzuführen und ist wesentliche Voraussetzung für die Unterstützung der Entwickler bei der Auswahl geeigneter Elemente und Konzepte aus solchen Basen.

Die auf der Modellierungsebene genutzte Beschreibungssprache ist disziplinenübergreifend konzipiert und damit dazu geeignet Basis eines interdisziplinären Wissensaustausches zwischen den Ingenieuren der verschiedenen Fachrichtungen zu sein.

Darüber hinaus bietet sich aufgrund der nach Maßgaben entwicklungstechnischer Fragestellungen strukturierten Wissensbasen zu jedem Wirkelement und Produktkonzept die Möglichkeit, Wissensbedarfe jedes an dem Entwicklungsprozess Beteiligten oder Interessierten zu jeder Zeit zu decken, und durch die Einbindung in die Arbeitsoberfläche von ModCoDe neues Wissen einfach, schnell und intuitiv einpflegen zu können. Hierdurch wird die Explizierung und Formalisierung von Wissen in natürlicher Weise angeregt und somit eine anschließende rechnerbasierte Auswert- und Verarbeitbarkeit gefördert. In Ergänzung zu diesem Ansatz sind beliebige Daten und Informationen in Form von multimedialen Dokumenten mit den Wirkelementen und Produktkonzepten assoziierbar.

Eine Aufzeichnung der vollzogenen Arbeitsschritte erlaubt es in Kombination mit den zuvor genannten Elementen wissensbasierter Entwicklung, Entscheidungshintergründe nachzuvollziehen und in ganzheitlicher Sicht prozessorientierte Problemlösungsstrategien zu erarbeiten.

WISENT ist ein System, das den Produktentwickler über den gesamten Entwicklungsprozess begleiten kann und neben seinen Funktionalitäten zur Akquisition, Bewahrung und Bereitstellung, sich vor allem durch seine Möglichkeiten zur rechnerbasierten Verarbeitung von Wissen auszeichnet. WISENT kann somit selbstständig Schlussfolgerungen aus dem eingespeisten Wissen ziehen und ist aufgrund der vorgesehenen Repräsentationsformalismen dazu geeignet mit hoher Komplexität einhergehende Wissensgebiete vollständig abzubilden.

WISENT ist wie ModCoDe durchgängig objektorientiert angelegt. Neben der Implementierung gilt dies für die Struktur der Wissensbasen, insbesondere aber auch für die gewählten Repräsentationsformen zur Bewahrung von Wissen sowie Verarbeitungsmechanismen für das Wissen.

Für das wissensbasierte Konzipieren und Entwerfen mechatronischer Produkte bietet WISENT die Möglichkeit der Kopplung mit ModCoDe. In [Püst01] wurden hierzu auf Basis von in [Dült00] erarbeiteten Anforderungen die hierfür notwendigen Funktionalitäten und Schnittstellen sowie Wissensbasen angelegt, die Konsistenzprüfungen und Bewertungen der entwickelten Konzeptmodelle erlauben. Darüber hinaus ist WISENT über diese Kopplung in der Lage den jeweiligen Entwicklungskontext zu erfassen und hierzu passende Modifikationsempfehlungen auszugeben (Bild 2).

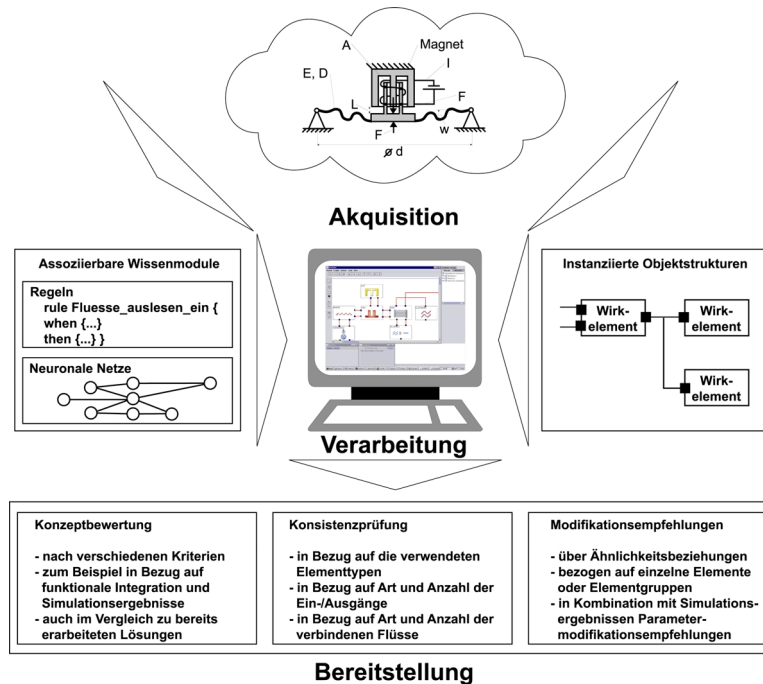


Bild 2: WISENT Funktionalitäten im Konzeptions- und Entwurfsprozess

Konstruktionssprache lässt sich in vielen Bereichen auf die Grundformen „Subjekt-Prädikat-Objekt“ (z.B. „Membran trägt Magnet“) und „Subjekt-Prädikat-Objekt1-Präposition-Objekt2“ (z. B. „Nabe verbindet Welle mit Schwungrad“) reduzieren [VDI92]. Allgemein kann man davon ausgehen, dass alles, was ein Konstrukteur mit Worten beschreibt, in Regeln umsetzbar ist [Wolf94]. Das bedeutet aber nicht, dass sich Wissen in all seinen Ausprägungen beliebig in Regeln fassen lässt.

In einer morphologischen Betrachtung [Brau00] stellte sich heraus, dass eine Wissensverarbeitung idealerweise hybrid anzulegen ist, d. h. dass verschiedene Repräsentationsformalismen und Problemlösungsverfahren zur Anwendung kommen müssen, um sämtliche Wissensarten in all ihren Ausprägungen abbilden zu können.

Betrachtet man die Interdependenzen zwischen Wissensrepräsentationsformalismen und Problemlösungsverfahren, so stellt sich heraus, dass Regeln in Bezug auf die Anzahl der verarbeitbaren Wissensarten im Vergleich zu den anderen Repräsentationsformen am größten ist. Daher wurde in einem ersten Schritt WISENT in Kombination mit einer Regelverarbeitung realisiert.

4 Systemtechnischer Lösungsansatz

4.1 Überblick

Prägendes Merkmal der rechnerbasierten Werkzeuge ModCoDe und WISENT ist die **konsequente Nutzung des objektorientierten Paradigmas**. Dieses zeichnet sich zum einen durch seine Qualitäten in Bezug auf die Strukturierung komplexer Zusammenhänge, wie sie in Entwicklungsprozessen im Vordergrund stehen, und zum anderen durch Übersetzbarkeit von Entwicklungsinhalten und Wissen in miteinander assoziierbare informationstechnische Objekte aus. Hiermit verbinden sich vielfältige

informationstechnische Möglichkeiten, wie miteinander integrierbare und verteilt arbeitende Anwendungen in Kopplung mit neutralen Wissensbasen.

Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich vor allem auf das **WISENT** betreffende systemtechnische Konzept und dessen Realisierung. Eine detailliertere Darstellung der für ModCoDe spezifischen Lösungen kann in [WeBIJa00] nachgelesen werden.

WISENT ist keine isolierte Anwendung, sondern integrierbar in vorhandene Arbeits- sowie Systemwelten und erfüllt den Anspruch der Netzwerkfähigkeit. Somit unterstützt sie verteilte Entwicklungsprozesse und -teams.

WISENT ist als **JAVA**-basierte Anwendung plattformneutral und kommuniziert über seine Schnittstellen mit anderen Anwendungen. Hierzu zählen neben ModCoDe mit seiner Anbindung an kommerzielle Simulationssysteme, zur Zeit der Integrationsprozessor INPRO [WeiBra97] mit seiner Anbindung an kommerzielle Gestaltungs- und Berechnungssysteme sowie die **objektorientierte Datenbank OBJECTIVITY** als Träger der Wissensbasen. Die Verarbeitungsmechanismen werden mit Hilfe der durch die **Spracherweiterung ILOG JRULES** zur Verfügung gestellten Klassenbibliotheken realisiert.

4.2 Regelverarbeitung

ILOG JRULES erweitert Java um Mechanismen zur Archivierung und Verarbeitung von Regeln. Diese Regeln können direkt auf beliebige und somit auch auf die in ModCoDe erzeugten oder in OBJECTIVITY abgelegten Objekte angewendet werden.

Regeln werden mit Hilfe des ILOG JRULES Regelcompilers zur Laufzeit in reinen Java Code umgewandelt. Der Compiler generiert aus jedem Regelsatz eine Klasse. Die Instanz einer generierten Klasse eines Regelsatzes wird „Kontext“ genannt. Dieser umfasst neben dem Regelsatz einen eigenen Arbeitsspeicher, in dem die betrachteten Objekte abgelegt werden, und eine Agenda, in der mögliche ausführbare Regeln enthalten sind und die Reihenfolge, in der die Regeln auszuführen sind.

Jedem Kontext können zur Laufzeit neue Regeln hinzugefügt werden. Somit ist dynamisches Modifizieren der Wissensbasen möglich.

4.3 Architektur und Schnittstellen

Die für verteilte Entwicklungsprozesse notwendige Netzwerkfähigkeit von WISENT wird durch Nutzung der in Bild 3 gezeigten **Drei-Schichten-Architektur** ermöglicht. Mit diesem Ansatz ist WISENT zugleich als netzbasierte und bedarfsgerecht abrufbare Applikation konfigurierbar, die von jedem vernetzten Rechnerarbeitsplatz aus genutzt werden kann.

WISENT besteht aus den drei Komponenten Benutzerschnittstelle, Wissensverarbeitung und Datenbank, zwischen denen jeweils ein Netzwerk liegen kann.

Die **Benutzerschnittstelle** stellt dem Anwender von WISENT sämtliche Funktionalitäten zur Verfügung, die er im Zusammenhang mit der Akquisition, Bewahrung und Bereitstellung von Wissen benötigt. Applikationstechnisch kapselt die Benutzerschnittstelle sämtliche Methoden der Mensch-Maschine-Interaktion.

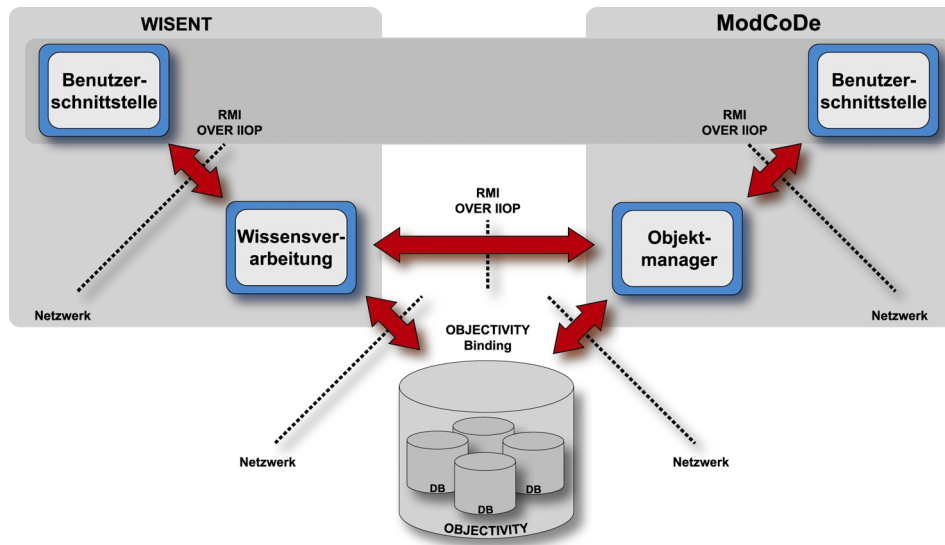


Bild 3: Drei-Schichten-Architektur und Kopplung von WISENT und ModCoDe

Mittels **RMI over IIOOP** (Remote Method Invocation over Internet Inter-Orb Protocol) kommuniziert die Benutzerschnittstelle mit der Wissensverarbeitung. RMI over IIOOP ist ein auf dem CORBA (Common Object Request Broker Architecture) Ansatz basierender Kommunikationsmechanismus für das Java-Umfeld. Er erlaubt es, Objektmethoden auf einfache Weise im Netz zu verteilen und ihre Dienste anderen Applikationen zur Verfügung zu stellen.

Die auf der Seite der Benutzerschnittstelle durch den Anwender durchgeführten Operationen bedeuten aus Sicht der Applikation Methodenaufrufe an die **Wissensverarbeitung**, deren Aufgabe die Koordinierung und Ausführung der Inferenzmechanismen ist. Auf diese Weise wird die Benutzerschnittstelle zu einer „leichtgewichtigen“, d. h. ressourcenschonenden Komponente und der zeitaufwändige und das Netzwerk belastende Download von „Wissensobjekten“ auf den Client vermieden.

Die Kommunikationsverbindung zwischen Wissensverarbeitung und objektorientierter Datenbank wird über das sogenannte **OBJECTIVITY Binding** hergestellt. Hierbei handelt es sich um eine Anbindung, die den transparenten Zugriff auf sämtliche in der Datenbank abgelegten Objekte und somit auch Wissensbasen erlaubt.

OBJECTIVITY ist eine page-basierte und damit hoch performante, objektorientierte Datenbank. Die in ihr abgelegten Objekte und Objektzusammenhänge lassen sich mit Hilfe von Federated Databases, Databases und Containern strukturieren. Databases können wiederum beliebig in einem Netzwerk verteilt werden. Container sind Basis der Optimierung nebenläufiger Prozesse. Darüber hinaus bietet OBJECTIVITY Dienste, wie FTO (Fault Tolerant Option) oder DRO (Data Replication Option) zur Erhöhung der Datensicherheit an.

Die RMI over IIOOP Verbindung zwischen der Wissensverarbeitungskomponente von WISENT und dem Objektmanager von ModCoDe erlaubt Methodenaufrufe zwischen den Applikationen. Durch die hiermit verbundene Möglichkeit der automatisierten Erfassung des jeweiligen Entwicklungskontextes kann WISENT Wissen bedarfsgerecht anbieten. Des Weiteren wird ModCode hierdurch beispielsweise in die Lage versetzt, auf Wunsch des Entwicklers selbstständig Konsistenzprüfungen auszulösen.

5 Wissensbasierter Entwicklungsprozess eines Fadenkraftsensors

Anwendungsorientiert lässt sich der Entwicklungsstatus von ModCoDe und WISENT wie folgt skizzieren.

Bild 4 zeigt einen „Screenshot“, der die Sicht des Produktentwicklers auf ModCoDe und WISENT im Konzeptions- und Entwurfsprozess eines Fadenkraftsensors verdeutlicht. Zur Konfiguration des Wirkzusammenhangs im Modellierungsfenster von ModCoDe (1) stehen dem Entwickler Wirkelemente zur Verfügung, die er über die Navigationsleiste (2) aus der angeschlossenen Datenbank abrufen kann. Darüber hinaus kann er über die Schaltleiste auf der linken Seite von (1) jederzeit neue Elemente erzeugen und dynamisch attributieren.

Im rechten, unteren Bildschirmbereich ist die Informationsbasis (3) für das zum Einsatz kommende Wirkelement „Membran“ zu sehen. Die zu jedem Element abrufbare Informationsbasis enthält in diesem Beispiel Angaben u. a. zu den mit diesem Element realisierten Funktionen, dem genutzten physikalischen Effekt, Attributen sowie verschiedenen Verhaltensmodellen.

Des Weiteren kann der Entwickler mit Hilfe von WISENT (4) auf das zu einem Entwicklungskontext gehörende Wissen zugreifen oder neues ergänzen. In diesem Beispiel wurde die an Elementtyp, Art und Anzahl der Ein- und Ausgänge sowie der dazwischenliegenden Flüsse bemessene Konsistenz des erarbeiteten mechatronischen Konzeptes überprüft.

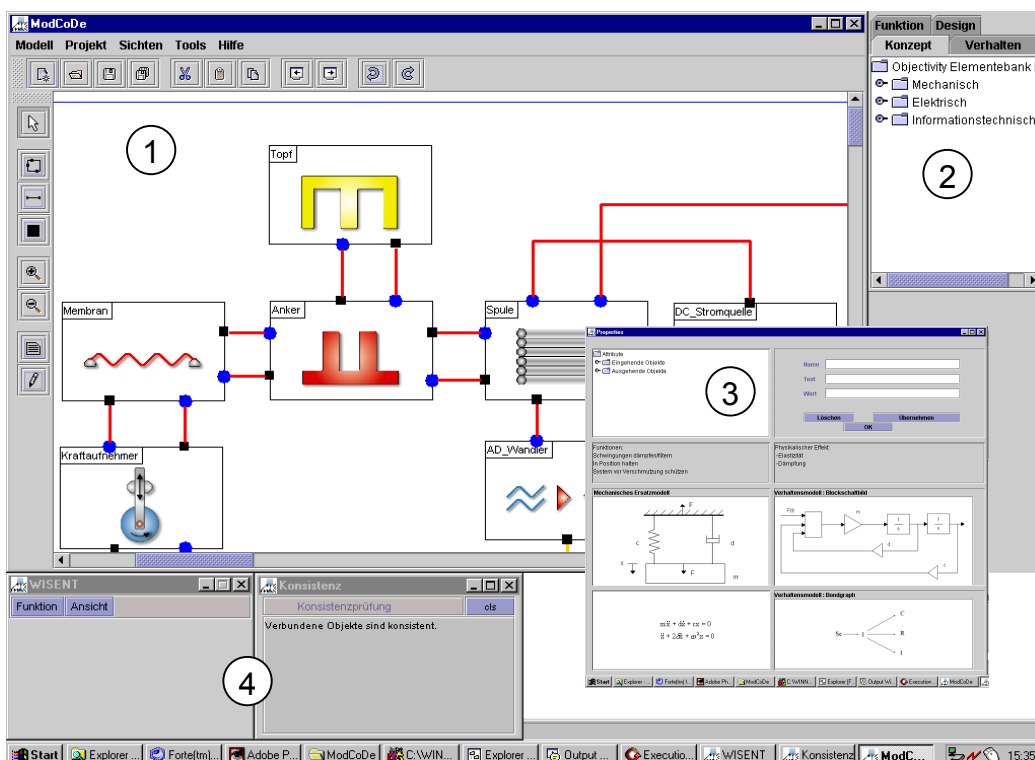


Bild 4: Wissensbasierter Konzeptions- und Entwurfsprozess mit ModCoDe und WISENT

6 Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden ausgehend von den durch die Komplexität und Interdisziplinarität mechatronischer Produkte und Entwicklungsprozesse begründeten Herausforderungen für die beteiligten Ingenieure und Fachkräfte, Methoden und Werkzeuge vorgestellt, die dem **durch wissensbasierte Produktentwicklung definierten Qualitätsanspruch** folgen und somit einen Beitrag zur effizienteren und besseren Erreichung von Entwicklungszielen leisten.

Hierzu zählen zum einen das den Konzipierungs- und Entwurfsprozess mechatronischer Produkte unterstützende System **ModCoDe**, das sich durch die Möglichkeit wissensbasierter Konzeptkreation und Simulation auszeichnet, und zum anderen das über den gesamten Entwicklungsprozess einsetzbare wissensverarbeitende System **WISENT**, das die Akquisition, Bewahrung und Bereitstellung von Wissen um die Komponente der rechnerseitigen Verarbeitung von Wissen und damit einhergehender Abbildbarkeit komplexer Wissensgebiete erweitert.

Eine Schlüsselstellung in diesem Ansatz nimmt die **durchgängige Nutzung des objektorientierten Paradigmas** ein. Aus Anwendersicht bietet sich hiermit ein hervorragendes Instrument Komplexität durch einen geeigneten Strukturierungsansatz zu beherrschen. Aus systemtechnischer Sicht sind vor allem die Übersetzbarkeit von Entwicklungsinhalten und Wissen in miteinander assoziierbare informationstechnische Objekte und die hiermit verbundenen vielfältigen Möglichkeiten, wie miteinander integrierbare und verteilt arbeitende Anwendungen in Kopplung mit neutralen Wissensbasen, prägend.

7 Literaturverzeichnis

- [Brau00] Braun, P.: *Objektorientierte Wissensarchivierung und -verarbeitung in modellassozierten Gestaltungs- und Berechnungssystemen*. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 1999. ISBN 3-8265-7768-X
- [Dült00] Dültgen, P.: *Wissensmanagement in der Produktentwicklung mit dem Schwerpunkt Konzeptionsprozesse mechatronischer Systeme*. Studienarbeit, Ruhr-Universität Bochum, 2000.
- [Lipp00] Lippold, C.: *Eine domänenübergreifende Konzeptionsumgebung für die Entwicklung mechatronischer Systeme*. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 2000. ISBN 3-8265-8707-3
- [Püst01] Püster, T.: *Entwicklung eines Systemmoduls zur Unterstützung wissensbasierter Produktentwicklungsprozesse*. Diplomarbeit, Ruhr-Universität Bochum, 2001.
- [VDI92] VDI-Gesellschaft Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb (VDI-EKV) und Gesellschaft für Informatik (GI) (Hrsg.): *Wissensbasierte Systeme für Konstruktion und Arbeitsplanung*. Düsseldorf: VDI Verlag 1992.

- [WeBlJa00] Welp, E.G.; Bludau, C.; Jansen, S.: *Eine Entwicklungsplattform für das Konzipieren mechatronischer Systeme*. 11. Symposium "Design for X" Schnaittach, 12. und 13. Oktober 2000, ISBN 3-00-006874-0.
- [WelBra97] Welp, E.G.; Braun, P.: *Semantische und systemtechnische Kopplung kommerzieller CAD- und Berechnungssysteme durch einen objektorientierten Integrationsprozessor*. VDI-Berichte 1357, VDI-Verlag 1997.
- [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.
- [Wolf94] Wolfram, K.: *Entwicklungstendenzen wissensbasierter Systeme in der Konstruktion*. Diplomarbeit, Ruhr-Universität Bochum, 1994.

Prof. Dr.-Ing. E.G. Welp, Dipl.-Ing. C. Bludau
Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstr. 150, D-44801 Bochum

Tel: +49 (0234) 32-22011

Fax: +49 (0234) 32-14159

Internet: welp@lmk.ruhr-uni-bochum.de
bludau@lmk.ruhr-uni-bochum.de