

Abschlußbericht

„OMPRO“

Verbundprojekt OMPRO: **„Objektorientierte Modellbildung elektro-hydraulisch-mechanischer Systeme für eine durchgängig rechnergestützte Produktentwicklung“**

Kooperationspartner: **Mechatronik Laboratorium Paderborn (MLaP)
Universität-GH Paderborn**

**Sauer Sundstrand GmbH & Co (SAS)
Neumünster**

Berichtszeitraum: 01. Mai 1995 - 30. April 1997

Autor: Dipl.-Ing. Ulrich Meier-Noe

Juli 1997

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie unter dem Förderkennzeichen 01 IS 511B/4 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Prof. Dr.-Ing. J. Lückel
(Projektleiter)

U. Meier-Noe
(Autor)

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Abschlussbericht
3a. Titel des Berichts Objektorientierte Modellbildung elektro-hydraulisch-mechanischer Systeme für eine durchgängig rechnergestützte Produktentwicklung (OMPRO)	
3b. Titel der Publikation The Use of Physical Modelling and Object-Oriented Databases for the Development of Mechatronic Systems, Exemplified by a Hydrostatic Transmission	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Meier-Noe, Ulrich	5. Abschlußdatum des Vortrags 30.04.1997
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)) Esders, Hans; Meier-Noe, Ulrich Schlüter, Friedhelm; Wolf, Matthias	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation Fachzeitschrift
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Mechatronik Laboratorium Paderborn (MLaP) Universität-GH Paderborn Pohlweg 55 33098 Paderborn	9. Ber.Nr. Durchführende Institution --
	10. Förderkennzeichen 01 IS 511 B/4
	11a. Seitenzahl Bericht 83
	11b. Seitenzahl Publikation --
	12. Literaturangaben 28
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) 53170 Bonn	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 28
	16. Zusätzliche Angaben
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzbezug Das Projekt „OMPRO“ (Objektorientierte Modellbildung elektro-hydraulisch-mechanischer Systeme für eine durchgängig rechner-gestützte Produktentwicklung) dient der Entwicklung und Erprobung eines Simulations-Programmsystems sowie der objektorientierten Modellbildung und Verifizierung hydraulischer Komponenten und Systeme. Die Motivation für dieses Projekt liegt in den Unzulänglichkeiten konventioneller Simulations-Programme. Diese beinhalten meist nur eine Modellbildung auf mathematischer Ebene, die zudem nicht objektorientiert ist. Dies bedeutet für den Anwender einen extrem hohen Aufwand bei der Erstellung physikalischer Modelle aus den verfügbaren mathematischen Bibliotheken. Weiterhin ist die Pflege, Änderung und Variantenbildung der Modelle sehr aufwendig und fehlerträchtig, da die Vorteile der Objektorientierung bei diesen häufig wiederkehrenden Arbeitsschritten nicht genutzt werden können. Aufgrund dieser Nachteile wird das Tool „Simulation“ derzeit nur in äußerst geringem Umfang bei der Entwicklung elektro-hydraulisch-mechanischer Komponenten und Systeme eingesetzt. Im Rahmen des Projektes wurden Software-Module zur Modellbildung Basis-Modelle zur Simulation von hydraulischen Systemen spezifiziert und erstellt sowie eine Modellbildungs-Software erprobt und optimiert. Die Verifizierung der Ergebnisse, d. h. der Hydraulik Bibliothek und der Modellbildungssoftware, erfolgte durch exemplarische Anwendung (Modellbildung, Simulation, Abgleich mit Messungen) auf zwei reale Probleme: elektrohydraulische Servoverstellung einer Verstellpumpe und Fahrtrieb eines Gabelstaplers.	
19. Schlagwörter Objekt-orientierte Modellbildung; Entwurf mechatronischer Systeme; Hydraulik	
20. Verlag	21. Preis

*) Auf dem Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN --	2. Type of Report final report
3a. Report Title Objektorientierte Modellbildung elektro-hydraulisch-mechanischer Systeme für eine durchgängig rechnergestützte Produktentwicklung (OMPRO)	
3b. Title of Publication The Use of Physical Modelling and Object-Oriented Databases for the Development of Mechatronic Systems, Exemplified by a Hydrostatic Transmission	
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Meier-Noe, Ulrich	5. End of Project 30.04.1997
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s)) Esders, Hans; Meier-Noe, Ulrich Schlüter, Friedhelm Wolf, Matthias	6. Publication Date planned
	7. Form of Publication technical journal
8. Performing Organization(s) (Name, Address) Mechatronik Laboratorium Paderborn (MLaP) Universität-GH Paderborn Pohlweg 55 33098 Paderborn	9. Originator's Report No. --
	10. Reference No. 01 IS 511 B/4
	11a. No. of Pages Report 83
	11b. No. of Pages Publication --
	12. No. of References 28
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) 53170 Bonn	14. No. of Tables 1
	15. No. of Figures 28
	16. Supplementary Notes
17. Presented at (Title, Place, Date)	
18. Abstract <p>The goal of the OMPRO-project (object-oriented modelling of electric-hydraulic-mechanical systems for fully computer aided product development) is the development and testing of a simulation software package as well as the object oriented modelling and verification of hydraulic components and systems. The motivation for developing a new simulation software are some major lacks in conventional simulation packages. These allow only mathematical modelling and no physical modelling. Moreover, the modelling is not object orientated. For the user, this means a lot of work, when he wants to built up a physical model out of the libraries of mathematical blocks. Maintenance, changes and building of similar models is very error-prone because of missing benefits of the object oriented approach. Due to these disadvantages, today, the tool „simulation“ is rarely used for development of electric-hydraulic-mechanical systems. During this project software modules for modelling and basic blocks for simulating hydraulic systems have been specified and written and the modelling software was tested and optimized. The results (library of hydraulic components and modelling software) have been applied (modelling, simulation, comparison with measurements) to two real world problems: electrohydraulic displacement control of a variable hydrostatic pump and propel drive of a forklift truck.</p>	
19. Keywords Object-oriented Modelling; Design of Mechatronic System; Hydraulic	
20. Publisher --	21. Price --

Inhaltsangabe

1 EINLEITUNG	2
2 PROJEKTDESCHEIBUNG	4
2.1 Aufgabenstellung	4
2.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	5
2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	6
2.4 Stand der Technik zu Beginn des Vorhabens	7
2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	8
3 DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE	8
3.1 Modellbildungsumgebung	8
3.1.1 Modellierung physikalischer Systeme	10
3.1.2 Modellbeschreibungssprache Objective-DSS	13
3.1.3 Modellverwaltung	15
3.2 Klassen- und Modellbibliothek	16
3.2.1 Klassenhierarchie hydraulischer Komponenten	17
3.2.2 Modellbibliothek hydraulischer Komponenten	20
3.3 Modellierung am Beispiel eines Gabelstaplers	21
3.3.1 Reales System	21
3.3.2 Modellierung	21
3.3.3 Verifizierung	26
3.4 Generierung von Matlab-Modellen (S-Funktionen)	29
3.5 Automatische Modell-Dokumentation	32
3.6 Nutzen und Verwertbarkeit	36
3.7 Fortschritte bei anderen Stellen	36
3.8 Veröffentlichungen	37
4 AUSBLICK	38
5 LITERATUR	39
6 ANHANG	41
6.1 Modelldokumentation	41

Eingetragene Warenzeichen und Produkte

Windows 95 und Windows NT sind eingetragene Warenzeichen der Microsoft Corporation.

Winword ist ein eingetragenes Warenzeichen der Microsoft Corporation.

Matlab und Simulink sind eingetragene Warenzeichen der MathWorks, Inc.

ADAMS ist ein Produkt der Mechanical Dynamics, Inc.

NEWEUL ist ein Produkt der Universität Stuttgart.

SIMPACK ist ein Produkt der DLR.

SPICE ist ein Produkt der inutsoft.

TUTSIM ist ein Produkt der Tutsim Products, Inc.

HOPSAN ist ein Produkt der Universität Lund, Schweden.

HydrauSim ist ein Produkt von Norgren.

BathFp ist ein Produkt der Universität Bath, GB.

DSHplus ist ein Produkt der Fluidon GmbH.

MOSIHS ist ein Produkt der Mannesmann Rexroth GmbH.

MATRIXx ist ein Produkt der Integrated Systems, Inc.

DYMOLA ist ein Produkt der Dynasim AB.

AMESim ist ein Produkt der Imagine Investissements.

ACSL ist ein Produkt der MAG Software.

1 Einleitung

In den letzten Jahren haben sich die Anforderungen an neue technische Produkte stark gewandelt. Durch die Globalisierung der Märkte entstand ein verstärkter Konkurrenzdruck, der dazu führt, daß neue, verlässliche Produkte sehr schnell auf dem Markt sein müssen. Darüber hinaus müssen sie innovative technische Neuerungen beinhalten, denn nur so lassen sie sich noch profitabel absetzen. Der dabei erzielte Gewinn wird jedoch stark durch die heute noch zeitintensive und damit teure Entwicklung der Produkte geschmälert.

Die innovativen technischen Neuerungen führen dabei üblicherweise zu sehr komplexen Systemen, die eine geforderte Funktionalität gewährleisten müssen. Dazu werden Komponenten und Wirkprinzipien aus den Disziplinen Mechanik, Elektrotechnik, Hydraulik und Informationsverarbeitung verwendet, wobei die einzelnen Teilsysteme stark verkoppelt sind und sich häufig gegenseitig beeinflussen. Solche Systeme werden auch als mechatronische Systeme bezeichnet.

Die Entwicklung dieser Systeme erfolgt heutzutage fast immer durch „Trial and Error“. Dabei wird, der traditionellen Konstruktionssystematik folgend, die zu erfüllende Funktionalität spezifiziert, unterschiedliche Wirkprinzipien betrachtet und ausgewählt, ein Entwurf für einen Prototypen erstellt und dieser gebaut. Stellt sich heraus, daß dieser Prototyp die geforderte Funktion nicht gewährleistet oder einer Belastung nicht standhält, so wird er modifiziert. Diese Modifikationen werden so lange vorgenommen, bis ein Prototyp entstanden ist, der den Anforderungen genügt.

Diese Vorgehensweise mag für relativ einfache Systeme noch funktionieren, bei denen der „Trial and Error“-Prozeß vielleicht nur ein oder zwei mal durchlaufen wird. Jedoch für komplexe Systeme mit sich gegenseitig beeinflussenden Komponenten ist dieser Ansatz zur Entwicklung eines neuen Produkts zu zeit- und somit zu kostenintensiv. Darüber hinaus gibt es Produkte, die sich in ihrer Gesamtheit auf diese Weise nicht mehr entwickeln lassen.

Eine alternative und preiswertere Vorgehensweise bietet die Voruntersuchung eines solchen Systems im Rechner. Mit Hilfe dieser Untersuchungen kann z. B. die Stabilität eines Systems im Sinne der Regelungstechnik bestimmt, die dynamischen und kinematischen Eigenschaften festgelegt oder die Bruchfestigkeit einer Konstruktion mit Hilfe der FEM nachgewiesen werden. Ein auf Basis dieser Untersuchungen ausgelegter Prototyp kommt dem letztendlichen Produkt deutlich näher.

Ein Vielzahl dieser Untersuchungen erfolgt auf Basis eines mathematischen Ersatzmodells des zu untersuchenden Systems. Für die Beschreibung des Ersatzmodells existieren unterschiedliche Ansätze, zur Beschreibung der dynamischen Eigenschaften eines Systems z. B. die nichtlineare Zustandsraumdarstellung [Schröder] oder Differential-Algebraische Gleichungssysteme (DAE) [Cellier]. Die Erstellung eines solchen Ersatzmodells erfolgt üblicherweise derart, daß der Anwender einzelne Komponenten oder Teilsysteme des Gesamtsystems mit Hilfe der gewählten mathematischen Beschreibungsform formuliert und deren Verkopplung über mathematische Zuweisungen realisiert.

Für diese mathematische Modellierung existieren bereits unterschiedliche Werkzeuge, die den Anwender mehr oder minder komfortabel unterstützen. Jedoch bleibt die Erstellung dieser Modelle sehr zeitaufwendig, da der Anwender die für die einzelnen Disziplinen benötigten mathematischen Gleichungen herleiten und die einzelnen Komponenten miteinander verkoppeln muß. Darüber hinaus ist diese Form der Modellierung hinsichtlich der Eingabe sehr fehlerträchtig.

Die physikalische Modellbildung und die automatisierte Ableitung des mathematischen Modells bieten dazu eine Alternative. Bei der physikalischen Modellbildung werden einzelne physikalische Komponenten (z. B. starre Massen, hydraulische Pumpen und Motoren, Ventile etc.) mit Parametern versehen und über physikalische Kopplungen miteinander zu komplexen mechatronischen Systemen verknüpft.

Dabei muß sich der Anwender nicht mehr um die Erstellung der mathematischen Repräsentation und die richtige Zuweisung von Ein- und Ausgängen kümmern, sondern er kann sich vollkommen auf die Auswahl der Komponenten und deren Parametrisierung konzentrieren. Das für die rechnergestützte Untersuchung benötigte mathematische Modell wird automatisiert aus der physikalischen Repräsentation abgeleitet. Für die physikalische Modellierung und die Ableitung des mathematischen Modells werden üblicherweise objektorientierte und graphen-theoretische Ansätze verwendet.

Diese Form der Modellierung kann genutzt werden, um einen umfassenderen Ansatz zur Entwicklung mechatronischer Produkte zu verfolgen, wie er in Abbildung 1 gezeigt ist. Der Entwicklungskreislauf ermöglicht eine rechnergestützte Entwicklung mechatronischer Systeme und bietet dem Anwender Unterstützung von der Frage- und Aufgabenstellung bis hin zum Prüfstand- und Feldversuch.

Im Abschnitt A des Kreislaufs wird ausgehend vom realen System und der Aufgabenstellung das physikalische Ersatzmodell erstellt. Es enthält Informationen über die einzelnen Komponenten und deren Parametrisierung sowie über die Verknüpfung der Bauteile zum Gesamtsystem (Topologieinformationen). Aus dem physikalischen Ersatzmodell wird automatisiert das mathematische Ersatzmodell generiert, auf dem die Werkzeuge zur Analyse (Simulation, Eigenwerte, Frequenzgänge etc.) bzw. Identifikation und Parameteroptimierung aufsetzen.

Im Abschnitt B erfolgt die Reglerauslegung und die Analyse des geregelten Systems auf Basis von Analysemethoden im Zeit- und Frequenzbereich. Das Auslegungsergebnis kann mit Hilfe einer Animation verifiziert werden. Im letzten Abschnitt C wird auf der Basis des Ersatzmodells der zur Regelung erforderliche Echtzeit-Code erzeugt und gegebenenfalls am Prüfstand erprobt (Hardware-in-the-Loop-Simulation und Reglerprototyping). Daran schließen sich Feldversuche an.

In jeder einzelnen Phase des Entwicklungskreislaufs kann der Anwender aufgrund gewonnener Erkenntnisse über das Systemverhalten das physikalische Ersatzmodell modifizieren und mit dem modifizierten Modell den Kreislauf erneut durchlaufen. So können vom Anwender durch unterschiedlich viele Iterationen Systemparameter verändert und die Modellierungstiefe bzw. Granularität des Systems modifiziert werden. Die Veränderungen der Systemparameter (und/oder der Struktur) wird vom Anwender dann vorgenommen, wenn das Systemverhalten

nicht dem geforderten Verhalten entspricht. Z. B. ändert der Anwender die Modellierungstiefe des Systems, wenn für eine korrekte Beurteilung des Systemverhaltens wesentliche Effekte bisher nicht abgebildet waren oder wenn umgekehrt Effekte modelliert waren, die sich für die Aufgabenstellung als unerheblich erwiesen.

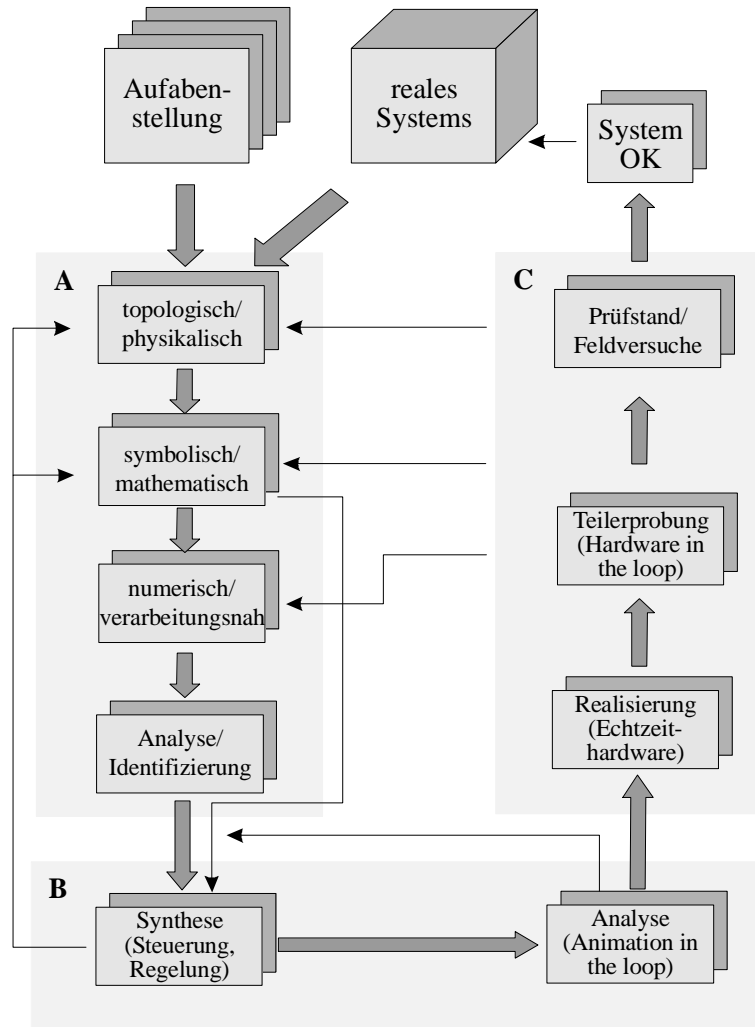


Abbildung 1: Entwicklungskreislauf mechatronischer Systeme

Das vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie geförderte Verbundprojekt OMPRO hat die objektorientierte Modellbildung elektrohydraulisch-mechanischer Systeme zum Ziel und siedelt sich somit hauptsächlich in dem Abschnitt A des gezeigten Entwicklungskreislaufs an. Dem Anwender soll hier mit einer komfortablen Modellbildungsumgebung die interaktive, objektorientierte Modellierung komplexer mechatronischer Systeme auf der physikalischen Ebene ermöglicht werden. Für das mit Hilfe graphentheoretischer Ansätze aus der physikalischen Beschreibung abgeleitete mathematische Modell soll eine Analyse- und Simulationsumgebung zur Verfügung gestellt werden.

Im folgenden Kapitel 2 wird die Aufgabenstellung des Projekts OMPRO und dessen Verlauf erläutert. Kapitel 3 beinhaltet die Darstellung der Ergebnisse des Vorhabens.

2 Projektbeschreibung

In diesem Kapitel wird die Aufgabenstellung, die dem Projekt OMPRO zugrunde liegt, und die Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde, erläutert. Im Anschluß daran wird der Ablauf des Projekts OMPRO und der Stand der Technik zu Beginn des Vorhabens beschrieben.

2.1 Aufgabenstellung

Ziel des Projektes OMPRO ist die objektorientierte Modellbildung von elektro-hydraulisch-mechanischen Systemen. Dabei soll speziell die Interdisziplinarität in der Modellbildung und im Entwurf mechatronischer Systeme berücksichtigt werden. Die beteiligten Komponenten der verschiedenen Disziplinen werden ihrer physikalischen Repräsentation entsprechend formuliert und graphisch miteinander verknüpft. So soll der Anwender Komponenten (z. B. hydraulische Kammern, hydraulische Motoren und Pumpen, elektrisch angesteuerte Ventile und starre Massen) auf Basis ihrer physikalischen Parameter beschreiben und graphisch miteinander verknüpfen können.

Für die Modellbildungsumgebung soll eine Bibliothek hydraulischer Komponenten entstehen. Dazu werden objektorientierte Ansätze genutzt, deren Ziel die Strukturierung komplexer Systeme ist. Die dabei verwendeten Prinzipien Hierarchisierung, Vererbung, Modularität und Abstraktion [Booch] erleichtern die Lösung der Aufgabenstellung. Ein Schritt zur besseren Handhabung von Komplexität ist die Einführung der Hierarchie als Strukturierungsmittel, das in der Objektorientierung in zwei unterschiedlichen Ausprägungen genutzt wird:

- „part-of“ Hierarchie und
- „kind-of“ Hierarchie

Das Schema der „part-of“ Hierarchie betrachtet die verschiedenen Komponenten eines Systems. So ist zum Beispiel der Hydraulikmotor eine Komponente des hydrostatischen Antriebs. Die Zuordnung der einzelnen Komponenten zu Gruppen entspricht dem objektorientierten Ansatz folgend der „kind-of“ Hierarchie. Dabei werden z. B. alle Hydraulikmotoren zu einer Gruppe „hydraulisch-mechanische Antriebe“ zusammengefaßt.

Ebenso wie die physikalischen Bauteile können auch ihre Beschreibungselemente nach diesen Kriterien organisiert und in eine Klassenhierarchie eingearbeitet werden. In der Klassenhierarchie werden den einzelnen Klassen Eigenschaften zugeordnet, wie ihre physikalischen Parameter oder ihre mathematische Abbildung. Die so organisierten Beschreibungselemente stehen über die Klassenhierarchie miteinander in Beziehung, wobei die Suklassen Eigenschaften und Verhalten ihrer übergeordneten Klassen (Superklassen) erben können. Die Subklassen stellen somit eine Spezialisierung der Superklassen dar. Die Superklassen selbst sind häufig abstrakte Klassen, die ausschließlich der Strukturierung der Klassen dienen und Gemeinsamkeiten der Subklassen implementieren.

Zur Beschreibung von Mehrkörpersystemen besteht am MLaP bereits eine Klassenhierarchie physikalischer Systeme, in die die Beschreibungselemente hydraulischer Komponenten als