

# Echtzeitsimulation zum Test von Maschinensteuerungen

József Albert  
Klaus Bender  
Thomas Holzmüller  
Bernhard Jünger  
Oliver Kaiser  
Werner Kriesel  
Oliver Prinz  
Christoph Schaich  
Joachim Schullerer  
Jacek Tomaszunas

Herausgegeben von

**Prof. Dr.-Ing. Klaus Bender**  
**Technische Universität München**

in der Reihe

**Informationstechnik im Maschinenwesen**



Herbert Utz Verlag · Wissenschaft  
München 1999

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

**Echtzeitsimulation zum Test von Maschinensteuerungen /**

Bender, Klaus (Hrsg.). - München : Utz, Wiss., 1999

(Informationstechnik im Maschinenwesen)

ISBN 3-89675-482-3

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 1999

ISBN 3-89675-482-3

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München

Tel.: 089/277791-00 · Fax: 089/277791-01

## ***Vorwort***

Der rasante Anstieg der Mikrosystemtechnik in modernen Maschinen und Produktionsanlagen setzt sich weiter unaufhaltsam fort und revolutioniert den Maschinenbau. Innovative Maschinenbauunternehmen entwickeln heute intelligente Maschinen zu einem ausgeklügelten System von Mechanik, Sensorik und Aktorik, die immer häufiger Mikrosysteme als Basis haben. Feldbusse und Mikroprozessor-Steuerungen verbinden die Komponenten untereinander und bilden so das Gehirn und Nervensystem, das die Maschine zum Leben erweckt.

Der zunehmende Funktionsumfang durch die Informations- und Mikrosystemtechnik und die damit verbundene Komplexitätssteigerung führen zu immer längeren Entwicklungszeiten für die Steuerungssoftware. Für die Unternehmen bedeutet dieser Trend eine dramatische Entwicklung, denn Test- und Optimierungsphase der Software sind erst nach Abschluß der Mechanik-Entwicklung bei der Kopplung mit der Maschine möglich und liegen direkt im kritischen Projektpfad. Nur durch Simultaneous Engineering, durch Parallelisierung der Entwicklungsabläufe, kann die wertvolle "Time-to-Market" verkürzt werden.

Das Institut für Informationstechnik im Maschinenwesen (itm) der TU München hat hierfür im Zusammenwirken mit Industrie- und Hochschulpartnern ein PC-basiertes Simulationssystem entwickelt, mit dessen Hilfe das Maschinenverhalten in Echtzeit simuliert werden kann. Dadurch läßt sich der Steuerungstest in eine frühere Projektphase vorverlagern, während die Mechanikentwicklung parallel stattfindet. Die Steuerung wird an diesen Simulator, eine sog. virtuelle Maschine, schnittstellenkompatibel angeschlossen, so dass sich für die Steuerungssoftware der Unterschied zur realen Maschine nicht bemerkbar macht. Die moderne Feldbustechnik vereinfacht diese Kopplung drastisch.

Der besondere Ansatz liegt in der komponentenbasierten Modellierung, um ein Simulationsmodell der intelligenten Maschine komfortabel erstellen zu können. Die Nachbildung des gesamten Maschinenverhaltens erfolgt durch Komposition einzelner modellierter Maschinenkomponenten aus einer Bibliothek (Transportband, Greifer, Zylinder, Aktoren, Sensoren usw.).

Die hier vorgestellten Erkenntnisse beruhen im wesentlichen auf Ergebnissen aus dem vom BMBF geförderten Verbundprojekt SEMI (Simultaneous Engineering zur Entwicklung von Maschinen mit Mikrosystemen, Förderkennzeichen 16SV178).

Die projektbegleitenden Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und auf Kongressen hatten in der Fachöffentlichkeit eine große Resonanz und Nachfrage erzeugt. Das hat die beteiligten Mitarbeiter ermutigt, die Projektergebnisse in der vorliegenden Buchreihe einer breiteren Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen.

Mein besonderer Dank gebührt den genannten Autoren, Mitarbeitern meines Instituts an der Technischen Universität München, sowie Herrn Prof. Kriesel, Herrn Holzmüller und Herrn Lippik vom Fachbereich Elektrotechnik der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur in Leipzig.

Freundlicherweise haben auch Fachleute aus der Industrie bei der Erstellung einzelner Kapitel des Buches mitgewirkt. Besonders nennen möchte ich die Herren N. Dietl (Fa. Krones), A. Häckel (Fa. Trumpf), D. Schöppner (Fa. TMG Automation) und W. Zintz (Fa. Brückner).

*Garching bei München, im März 1999*

*Klaus Bender*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Problematik des Vorabtests von Steuerungssoftware</b>	<b>3</b>
2.1	Wirtschaftliche Relevanz .....	3
2.2	Anforderungsanalyse.....	5
2.2.1	Steuerungstest und Inbetriebnahme von Produktionsmaschinen.....	6
2.2.2	Simultaneous Engineering und die virtuelle Maschine .....	7
2.2.3	Eigenschaften komplexer Produktionsmaschinen .....	9
2.2.4	Produktionsmaschine als ereignisdiskretes System.....	10
2.2.5	Anforderungen an das Simulationssystem.....	11
2.3	Konventionelle Testmethoden.....	14
2.3.1	Forschungsaktivitäten .....	15
2.3.2	Industrienumfeld .....	16
2.3.3	Benachbarte Gebiete .....	17
2.3.4	Bewertung.....	18
<b>3</b>	<b>Das Projekt SEMI</b>	<b>21</b>
3.1	Projektstruktur und -verlauf .....	21
3.2	Projektpartner .....	21
3.3	Aufgaben des Verbundprojekts .....	22
3.3.1	AP 1: Projektkoordination .....	22
3.3.2	AP 2: Systemarchitektur .....	22
3.3.3	AP 3: Bedienung.....	23
3.3.4	AP 4: Modellierung intelligenter Maschinen mit Mikrosystemen.....	24
3.3.5	AP 5: Emulator .....	25
3.3.6	AP 6: Ein-/Ausgabe .....	25
3.3.7	AP 7: Emulator-Programmierungumgebung.....	26
3.3.8	AP 8: Bibliothek wiederverwendbarer Module.....	27
3.3.9	AP 9: Testumgebung für Mikrosystem-Software .....	27
3.3.10	AP 10: Integration und Inbetriebnahme .....	28
3.3.11	Phasenplan .....	29
3.4	Erreichte Ziele.....	29
3.5	Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse .....	31
3.5.1	Zeiteinsparung.....	31
3.5.2	Qualitätsverbesserung .....	32
3.5.3	Komplexitätsbeherrschung.....	33
3.5.4	Kostenreduzierung.....	33
3.5.5	Imagesteigerung .....	33
3.5.6	Bedienertraining.....	34
<b>4</b>	<b>Überblick über das SEMI-Maschinen-Simulationssystem</b>	<b>35</b>
4.1	Aufgabenstellung .....	35
4.2	Vorgehensmodell .....	37
4.2.1	Analysieren der Maschinenspezifikation .....	37

4.2.2	Zusammenstellen des Maschinenmodells.....	38
4.2.3	Auswählen und Einstellen der E/A-Kopplungsvarianten .....	38
4.2.4	Verdrahten der SPS mit dem Simulationsrechner .....	40
4.2.5	Test des SPS-Programms .....	40
4.3	Hardwarearchitektur.....	41
4.4	Software-Werkzeuge des Simulationssystems.....	42
<b>5</b>	<b>Konzept für komponentenbasierte Maschinenmodellierung</b>	<b>44</b>
5.1	Rahmenbedingungen und Anforderungen .....	44
5.2	Vorgehensmodell.....	45
5.3	Modellierungsmethode ROOM .....	47
5.4	Maschinenmodellierung nach ROOM.....	50
5.4.1	Maschinenanalyse .....	50
5.4.2	Komponentenmodellierung.....	55
5.5	Modulbibliothek .....	72
<b>6</b>	<b>Software-Werkzeuge des Simulationssystems</b>	<b>77</b>
6.1	Überblick.....	77
6.2	Moduleditor (MaSiEd) .....	80
6.2.1	Hybride Modellierung.....	87
6.2.2	Datenverwaltung .....	89
6.2.3	Simulationsdiagnose.....	91
6.2.4	Simulationssoftware .....	93
6.2.5	Ergebnis .....	94
6.3	Testumgebung für Steuerungssoftware.....	95
6.3.1	Motivation und Konzepte.....	95
6.3.2	Realisierung .....	102
6.3.3	Implementierung .....	107
6.3.4	Einschätzung und Ausblick .....	111
6.4	Maschinenkonfigurator.....	112
6.4.1	Maschinenmodellierung durch Konfiguration.....	112
6.4.2	Systemkonzept .....	114
6.4.3	Erstellung und Pflege des Baustein-Pools.....	116
6.4.4	Erstellung von Maschinenmodellen .....	118
6.4.5	Online-Modus .....	119
6.4.6	Zusätzliche Erfahrungen aus dem Teilprojekt.....	120
<b>7</b>	<b>Hardware und Software der Echtzeitstation</b>	<b>123</b>
7.1	Intelligente Maschinen und Anlagen .....	123
7.2	Anforderungen an eine Echtzeitsimulation.....	124
7.3	Anforderungen an den Echtzeitsimulator .....	126
7.4	Realisierung des Echtzeitsimulators .....	127
<b>8</b>	<b>Echtzeitfähige E/A-Ankopplung</b>	<b>129</b>
8.1	Einleitung .....	129
8.2	Kopplung von Maschinenemulatoren mit Hardware-in-the-Loop.....	130
8.3	Realzeitsysteme.....	132
8.3.1	Stand der Technik .....	132
8.3.2	Echtzeitnachweis.....	137

8.3.3	Lösungsansatz.....	137
8.4	Architekturmodell des E/A-Emulators .....	138
8.5	Signalkoppler und Teststecker.....	140
8.5.1	Prozessperipherie-Emulatoren .....	141
8.5.2	Teststecker .....	143
8.6	Realisierung.....	143
8.7	Evaluation des E/A-Emulators .....	144
8.7.1	Struktur und Funktion .....	144
8.7.2	Echtzeitfähigkeit .....	146
8.7.3	Wirtschaftlichkeit.....	149
8.8	Gesamtaussage .....	150
<b>9</b>	<b>Simulation stückgutverarbeitender Maschinen</b>	<b>153</b>
9.1	Motivation.....	153
9.2	Modellierung einer Transfer-Honmaschine.....	157
9.3	Anwendungspotential und Nutzbarkeit der Ergebnisse .....	163
<b>10</b>	<b>Simulation mit Hardware in the Loop</b>	<b>165</b>
10.1	Motivation.....	165
10.2	Modellierung eines Blechbearbeitungszentrums .....	168
10.3	Anwendungspotential und Nutzbarkeit der Ergebnisse .....	171
<b>11</b>	<b>Simulation hochdynamischer Vorgänge</b>	<b>173</b>
11.1	Motivation.....	173
11.2	Modellierung einer Abfüllmaschine .....	177
<b>12</b>	<b>Simulation kontinuierlich arbeitender Maschinen</b>	<b>180</b>
12.1	Motivation.....	180
12.2	Modellierung eines Folienwicklers .....	187
<b>13</b>	<b>Industrielle Einführung der Projektergebnisse</b>	<b>189</b>
13.1	Motivation.....	189
13.2	Ergebnisse für die industrielle Einführung .....	191
13.3	Anwendungspotential und industrielle Nutzbarkeit.....	193
13.3.1	Hardware in the Loop .....	193
13.3.2	Qualitätsverbesserung .....	195
13.3.3	Kostenreduzierung.....	196
13.3.4	Aufgabenteilung bei der Erstellung der Simulation .....	197
13.3.5	Allgemeiner nicht quantifizierbarer Zusatznutzen .....	198
13.3.6	Weiterentwicklungen .....	198
	<b>Literatur/Veröffentlichungen</b>	<b>200</b>





## 1 Einleitung

Die in dem vorliegenden Buch behandelte Thematik der Echtzeitsimulation zum Test von Maschinensteuerungen ist in mehrerer Hinsicht sehr vielgestaltig. Sie wirft Fragen auf nach den Abläufen, in denen Menschen unterschiedlicher Technikdisziplinen in Entwicklungsprozessen zusammenarbeiten, und Fragen nach der richtigen Technologie, die für eine Maschinensimulation einzusetzen sei.

Der Steuerungstest bzw. die Entwicklung einer Maschinensimulation für den Steuerungstest ist keine Aufgabe eines einzelnen. Vielmehr verlangt sie die interdisziplinäre Zusammenarbeit aller an der Maschinenentwicklung beteiligten Mitarbeiter, denn die Qualitätssicherung der Maschine ist von überlebenswichtiger Bedeutung für die Maschinenbauunternehmen. Sie verlangt die Kooperation von Elektrotechnik- und Maschinenbauingenieuren, Steuerungsprogrammierern, aber auch die Zusammenarbeit der für Organisationsabläufe Verantwortlichen, damit der Steuerungstest zum richtigen Zeitpunkt möglichst parallel zur Mechanikentwicklung in den Entwicklungs- oder Produktionsprozess eingefügt werden kann.

Neben dem menschlichen und organisatorischen Aspekt ist die Simulation von Maschinen zum Zweck des Steuerungstests vor allem auch ein aus technischer Sicht themenreiches Gebiet. Simulation wird bereits in vielen technischen Disziplinen angewendet, aber welche Technologien lassen sich auf den vorliegenden Anwendungsbereich übertragen? Welche Voraussetzungen müssen erfüllt werden, um die Maschine tatsächlich in Echtzeit zu simulieren?

Die Simulationserstellung erfordert die Beschreibung des Verhaltens der Maschine. Hierfür stehen aus vielen Bereichen bereits eine Vielzahl unterschiedlicher Sprachen und Beschreibungsmittel zur Verfügung. Welche lassen sich aber wirklich in einem Maschinenbauunternehmen für diesen Zweck effizient einsetzen? Welche Mitarbeiter müssen die Beschreibungssprache beherrschen?

Für die Kopplung der Maschinensimulation an eine Steuerung bieten sich vielfältige, in der Praxis sehr unterschiedlich aufwändige Möglichkeiten. Die zunehmende Verbreitung von Feldbustechnologie macht die verdrahtungstechnische Ankopplung sehr einfach, erfordert aber den Einsatz spezieller Schnittstellenkarten. Welche An-

kopplungsmöglichkeiten sind geeignet? Wie aufwändig ist eine Ankopplungsvariante und welchen Einfluss hat sie auf die Einhaltung von Echtzeitbedingungen?

Das vorliegende Buch greift die vielfältigen Fragestellungen auf und versucht Antworten zu geben, die im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojekts SEMI (Simultaneous Engineering zur Entwicklung von Maschinen mit Mikrosystemen, Förderkennzeichen 16SV178) gefunden wurden. Nachfolgend sind Hinweise zu den Inhalten der einzelnen Kapitel gegeben.

Kapitel 2 beschreibt die grundsätzliche Problemstellung bei der Steuerungssoftwareentwicklung für intelligente Maschinen. Ausgehend von dem Lösungsgedanken, die reale Maschine zu simulieren, werden Anforderungen an ein geeignetes Simulationssystem erarbeitet und mit am Markt verfügbaren Produkten verglichen.

Der Lösungsansatz wurde im Rahmen eines vom BMBF geförderten Verbundprojektes bearbeitet. Dabei wurde ein PC-basiertes Simulationssystem bis zum Prototypenstadium entwickelt und an realen Maschinen erprobt. Kapitel 3 enthält eine Beschreibung dieses Verbundprojekts, der bearbeiteten Arbeitspakete und der erreichten Ziele.

Kapitel 4 gibt einen Überblick über das Gesamtsystem, das in den folgenden Kapiteln im Detail beschrieben wird. Der Prototyp des SEMI-Simulationssystems besteht aus einem Bedienrechner und einem Echtzeitrechner sowie verschiedenen PC-basierten Software-Werkzeugen, die in den entsprechenden Phasen eines erarbeiteten Vorgehensmodells zur Anwendung kommen.

Für die Modellierung von Maschinen wurde eine komponentenbasierte Modellierungsmethode erarbeitet. Diese wird in Kapitel 5 behandelt.

Kapitel 6 beschreibt ausführlich die einzelnen Software-Werkzeuge des SEMI-Simulationssystems.

In Kapitel 7 werden die Simulationshardware und das Betriebssystem dargestellt, die zugleich die Basis für das in Echtzeit ausgeführte Maschinenmodell bilden.

Die Kopplungsvarianten zwischen der zu testenden Steuerung und dem SEMI-Simulationssystem sind Gegenstand der Ausführungen in Kapitel 8.

Über praktische Erfahrungen in der Anwendung des SEMI-Simulationssystems bei Pilotprojekten wird in den Kapiteln 9 bis 13 berichtet.