

Lingxiang Xu

**Wiederverwendbare Modelle zur
Maschinensimulation für den Steuerungstest**

Herausgegeben von

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

in der Reihe

Informationstechnik im Maschinenwesen



Herbert Utz Verlag · Wissenschaft
München 2003

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2003

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 2003

ISBN 3-8316-0281-6

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München

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

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	1
1.1	ALLGEMEINER HINTERGRUND.....	1
1.2	EINORDNUNG UND AUFBAU DER ARBEIT.....	3
2	DEFIZITE BEI MASCHINENSIMULATIONEN ZUM FUNKTIONSTEST	6
2.1	GRUNDLAGEN.....	7
2.1.1	<i>Grundbegriffe.....</i>	<i>7</i>
2.1.2	<i>Simulation im maschinennahen Bereich.....</i>	<i>9</i>
2.2	SIMULTANEOUS ENGINEERING BEI DER STEUERUNGSPROJEKTIERUNG.....	11
2.2.1	<i>Simultaneous Engineering und Qualitätssicherung.....</i>	<i>11</i>
2.2.2	<i>Methoden und Verfahren zur Qualitätssicherung.....</i>	<i>13</i>
2.2.3	<i>Entwicklung und Nutzung des simulationsgestützten Testsystems.....</i>	<i>16</i>
2.3	WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG.....	21
2.3.1	<i>Gegenüberstellung von Nutzen und Aufwand.....</i>	<i>22</i>
2.3.2	<i>Wirtschaftlichkeitsanforderungen.....</i>	<i>24</i>
2.3.3	<i>Defizit bei der Modellwiederverwendung.....</i>	<i>25</i>
2.4	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSWEG.....	29
3	KONZEPTE UND PRINZIPIEN ZUR SOFTWARE-WIEDERVERWENDUNG	31
3.1	WIEDERVERWENDUNG UND WIEDERVERWENDBARKEIT.....	32
3.2	KONZEPTE UND PRINZIPIEN AUS DER INFORMATIK.....	33
3.2.1	<i>Grundlegende Prinzipien zur Software-Wiederverwendung.....</i>	<i>33</i>
3.2.2	<i>Konzeptionelle und technologische Mittel.....</i>	<i>36</i>
3.3	ANSÄTZE IM BEREICH EINGEBETTETER SYSTEME.....	38
3.4	ANSÄTZE ZUR MODELLIERUNG BETRIEBLICHER INFORMATIONSSYSTEME.....	40
3.4.1	<i>Auswahlentscheidungsgestützte Referenzmodellkonstruktion.....</i>	<i>41</i>
3.4.2	<i>Referenzmodellierung mit Prozesspartikeln.....</i>	<i>42</i>
3.5	ANSÄTZE AUS DEM STEP-UMFELD.....	45
3.5.1	<i>Informationsrahmen zur Konfigurierung modularer Werkzeugmaschinen.....</i>	<i>45</i>
3.5.2	<i>Betriebsmittel-Datenbank für die 3D-Simulation.....</i>	<i>46</i>
3.6	FAZIT UND LÖSUNGSANSATZ.....	48
3.6.1	<i>Fazit.....</i>	<i>48</i>
3.6.2	<i>Lösungsansatz.....</i>	<i>49</i>
4	KONZEPTION DER MODELLWIEDERVERWENDUNG	51
4.1	STRUKTUR UND FUNKTIONSWEISE DES TECHNISCHEN SYSTEMS.....	52
4.1.1	<i>Maschinensysteme und ihre Klassifikation nach Abstraktionsgrad.....</i>	<i>52</i>
4.1.2	<i>Technischer Prozess und Technisches Prozessgut.....</i>	<i>55</i>
4.1.3	<i>Automatisierungsorientierte Betrachtung des technischen Systems.....</i>	<i>56</i>
4.2	EREIGNISDISKRETE MASCHINENMODELLIERUNG.....	61
4.2.1	<i>Allgemeine Modellierungskonzepte.....</i>	<i>63</i>
4.2.2	<i>Qualitätsanforderungen an die Komponentenbibliothek.....</i>	<i>77</i>
4.3	RAHMENSTRUKTUR FÜR DIE KOMONENTENBIBLIOTHEK.....	78
4.3.1	<i>Begriffsspezifikation.....</i>	<i>79</i>
4.3.2	<i>Akquisition und Einteilung von Modellkomponenten.....</i>	<i>87</i>
4.3.3	<i>Integration der Funktionsausdrücke und Zuweisungstabellen.....</i>	<i>89</i>

4.3.4	<i>Dokumentation der Modellkomponente</i>	89
4.4	MASCHINENFAMILIENSPEZIFISCHER MODULBAUKASTEN	93
4.4.1	<i>Modulbaukasten und Qualitätsanforderungen</i>	94
4.4.2	<i>Vorgehen zum Entwickeln des Modulbaukastens</i>	97
5	REALISIERUNG DER KOMPONENTENBIBLIOTHEK IN MASIED	105
5.1	SOFTWAREUMGEBUNG ZUR REALISIERUNG DER KOMPONENTENBIBLIOTHEK	105
5.2	REFERENZMASCHINEN ZUR AKQUISITION VON MODELLKOMPONENTEN	107
5.3	BIBLIOTHEKSYSTEMATIK IN MASIED	111
5.3.1	<i>Organisation der Komponentenbibliothek</i>	111
5.3.2	<i>Verwaltung von Daten- und Schnittstellentypen</i>	114
5.3.3	<i>Erstellung von Datenblättern</i>	116
5.3.4	<i>Fazit</i>	118
6	ENTWICKLUNG DES MODULBAUKASTENS EINER GETRÄNKEABFÜLLANLAGE	120
6.1	ENTWICKLUNGSHINTERGRUND	120
6.2	ENTWICKLUNG UND ORGANISATION DES MODULBAUKASTENS.....	122
6.2.1	<i>Funktionale Gliederung des Super-Blocs</i>	122
6.2.2	<i>Konfigurationsvarianten des Super-Blocs</i>	124
6.2.3	<i>Generische Verbindungsstruktur</i>	128
6.2.4	<i>Modellmodule und Dokumentation</i>	129
6.3	ANWENDUNG DES MODULBAUKASTENS UND FAZIT	133
7	SCHLUSSBEMERKUNGEN	136
7.1	ZUSAMMENFASSUNG.....	136
7.2	AUSBLICK	139
8	GLOSSAR	140
9	LITERATUR	142

1 Einleitung

1.1 Allgemeiner Hintergrund

Mit seinen über 890 Tsd. Beschäftigten und einem Umsatz von 28,9 Mrd. € (Stand 2000) bleibt die Maschinenbauindustrie einer der wichtigsten Wirtschaftszweige der deutschen Industrie [VDMA01]. Diese zu einem großen Teil von mittelständischen Unternehmen geprägte Branche konnte bisher durch ein stark differenziertes Produktangebot große Kundensegmente für sich beanspruchen. Neuere Entwicklungen zeigen aber, dass auch die ausländische Konkurrenz kundenindividuelle Lösungskonzepte anbieten kann, und dadurch bedingt der deutsche Maschinenbau in Zugzwang gerät.

Vor diesem Hintergrund lässt die Produktentwicklung auf der einen Seite, anhand einer Veränderung der wertmäßigen Anteile, drei Abschnitte erkennen (s. Abb. 1-1, links): War zunächst der Wertteil mechanischer Komponenten dominierend, so drängte im zweiten Abschnitt der Einsatz der Elektronik und Elektrotechnik diesen zurück. Den dritten Abschnitt bestimmt die Software, die zunehmend an Bedeutung gewinnt. Der wertmäßige Funktionsanteil der Software liegt heutzutage bei ca. 40%. Auf der anderen Seite wächst die Komplexität der Produkte durch die steigende Anzahl von Produktvarianten, d.h. durch die steigende Anzahl von möglichen Konfigurationen für ein Produkt. Hauptursache für diese Entwicklung ist die immer stärker werdende Kundenorientierung der Maschinenhersteller als Antwort auf die zunehmende Konkurrenzsituation [Schölling97] (s. Abb. 1-1, rechts)

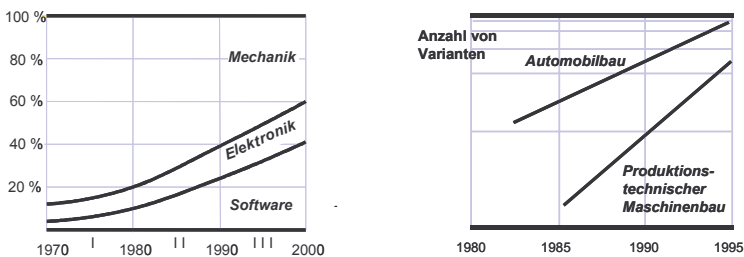


Abb. 1-1: Trend zum intelligenten Produkt (links) und Anstieg von Produktvarianten nach [Kohen90][Gerhardt96](rechts)

Die kurzfristige Entwicklung neuer Produkte, verbunden mit frühzeitigem Markteintritt (time-to-market), hat sich zum entscheidenden Kriterium für den Markterfolg eines Produktes entwickelt [Ever90-b]. Die Analyse erfolgreicher Unternehmen zeigt, dass es ihnen in besonderer Weise gelungen ist, im Rahmen der Produktentwicklung die Parameter des magischen Dreiecks (*Kosten-Qualität-Zeit*) zu entkoppeln und jeden Parameter optimal zu gestalten [Warschat96][Hase95]. Zur gleichzeitigen Verkürzung von Entwicklungszeit, zur Senkung der Entwicklungskosten sowie zur konsequenten Ausrichtung der Qualität an die Kundenbefürfnisse hat sich als Methode das Simultaneous-Engineering-Prinzip (SE-Prinzip) bewährt.

Als besonders kritische Phase im Prozess der Maschinenentwicklung erweist sich immer mehr die Inbetriebnahme der Steuerung. [Ever90-a] zufolge macht die elektrische Inbetriebnahme einer Werkzeugmaschine 90% des gesamten Inbetriebnahmeaufwands aus. Ein Großteil dieses Inbetriebnahmeaufwands wiederum besteht aus dem Testen der Steuerungssoftware. Von dieser Kenntnis ausgehend liegt es nahe, die SE-Methode bei der Steuerungsprojektierung einzusetzen ([Bender95], s. Abschnitt 2.2). Damit der Steuerungssoftwaretest parallel zur Fertigung und Montage der Maschine stattfinden kann, wird allerdings ein Ersatz für die noch nicht zur Verfügung stehende Maschine benötigt. Der Maschinenersatz wird durch eine computerbasierte Maschinensimulation geschaffen, die zeitlich und funktional genau wie im wirklichen System erfolgen können. Der Nutzen einer solchen simulationsgestützten Qualitätssicherungs-Methode (QS) entspricht dem Vorteil des SE-Prinzips:

- Verringerung der Entwicklungszeiten durch die Parallelisierung der Steuerungstests und der Fertigung der Mechanik
- Verbesserung der Steuerungsqualität durch breitere und tiefere Tests
- kostengünstigere, leichtere bzw. sichere Durchführung des Testens [Bender96].

Um diese QS-Methode effektiv anwenden zu können, muss neben den technischen Kriterien noch folgende wirtschaftliche Anforderung gegeben sein: Für den Steuerungstest einer bestimmten Maschine ist jeweils ein Simulationsmodell dieser Maschine zu erstellen. Dies bedeutet einen zusätzlichen Aufwand für die Gesamtmaschinenentwicklung, der so gering wie möglich zu halten ist. Diese Anforderung gewinnt besonders an Gewicht, wenn diese Methode als ein Standardansatz zur Qualitätssicherung in den Entwicklungsprozess integriert wird, da der zunehmende Einsatz der simulationsgestützten QS-Methode zu einem rasant wachsenden Bedarf an Simulationssys-

temen führt, die deshalb effizient und kostengünstig entwickelt werden müssen. Die durchgeführten Bestandsaufnahmen zum derzeitigen Einsatzstand der Maschinensimulation in der Praxis haben u.a. zu Ergebnissen geführt, die sich in folgenden Thesen zusammenfassen lassen:

- Der Einsatz der Maschinensimulation als *längerfristig genutztes* Testunterstützungssystem wird bisher weder konzeptionell, noch organisatorisch oder technisch in Betracht gezogen. Es überwiegt als isolierte Insellösung der Einmal-Einsatz von „Wegwerf“-Modellen für einen eng definierten Testauftrag, obwohl die computerbasierte Simulationstechnik aufgrund ihrer Flexibilität und Universalität, hierbei unter Gesichtspunkten der Modellwiederverwendbarkeit und damit Wirtschaftlichkeit der QS-Methode, vorrangige Unterstützung leisten kann.
- Modellierung im Maschinenbereich ist mit einem hohen Aufwand verbunden, der sich trotz der laufenden Verbesserung des Verständnisses der technischen Grundlagen nur durch eine Rationalisierung entscheidend reduzieren lässt. Die Wiederverwendung von bereits entwickelten Modellen nimmt dabei eine Schlüsselrolle ein.

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht und erarbeitet werden, welche Möglichkeiten und Konzepte zur Erhöhung der Modellwiederverwendbarkeit im Bereich der Maschinenmodellierung für die simulationsgestützte QS-Methode existieren. Damit ist diese Arbeit keine Beschreibung einer Modellierungsmethode, sondern vielmehr eine Systematisierung des Modellierungsprozesses. Diese soll dem Modellierer bei der Durchführung von Simulationsprojekten den Weg zeigen. Der Modellierer soll einerseits lernen, wie man wiederzuverwendende Modellkomponenten erstellt und benutzt, und andererseits erfahren, wie er maschinenfamilienbezogene Modellvariantenbildung vorantreibt.

1.2 Einordnung und Aufbau der Arbeit

Für die Gewährleistung zeitlich korrekten Verhaltens der Simulation kann die Analyse der Echtzeitanforderungen sowie der Echtzeitnachweise nach [Kaiser00] durchgeführt werden. Die Auswahl und die Bewertung einer, für die Maschinenmodellierung geeigneten, Methode sind Gegenstand in [Tomaszun98], in der die Eignung der ereignisdiskreten Methode für die Maschinenmodellierung bewiesen wurde. Die Anstrengung, durch die Erhöhung der Wiederverwendbarkeit von Modellen, die Wirtschaft-