

Michael Spitzweg

**Methode und Konzept für den Einsatz eines
physikalischen Modells in der Entwicklung
von Produktionsanlagen**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 233

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2009

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2009

ISBN 978-3-8316-0931-4

Printed in Germany
Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utzverlag.de

Verzeichnisse

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnisse	I
Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	4
1.3 Vorgehensweise.....	5
2 Situationsanalyse	7
2.1 Begriffsbestimmung	7
2.1.1 Vorbemerkung.....	7
2.1.2 Echtzeit.....	7
2.1.3 Simulationsmodell.....	7
2.1.4 Verhaltensmodell	8
2.1.5 Verhaltenssimulation.....	9
2.1.6 Kinematikmodell.....	9
2.1.7 Kinematiksimulation	9
2.1.8 Materialflussmodell.....	9
2.1.9 Visualisierungsmodell.....	10
2.1.10 Physikmodell.....	10

2.1.11 Physics Engine	10
2.1.12 Physiksimulation	10
2.1.13 Starrkörpersimulation.....	11
2.2 Aufgaben und Ablauf der virtuellen Inbetriebnahme	11
2.3 Defizite und Handlungsfelder	13
3 Grundlagen und Stand der Technik.....	17
3.1 Allgemeines.....	17
3.2 Virtuelle Inbetriebnahme.....	17
3.2.1 Grundlagen.....	17
3.2.2 Software-in-the-Loop.....	19
3.2.3 Hardware-in-the-Loop.....	19
3.2.4 Modellbildung für eine virtuelle Inbetriebnahme	20
3.2.5 Zusammenfassung.....	22
3.3 Physiksimulation	23
3.3.1 Allgemeines.....	23
3.3.2 Kollisionserkennung	25
3.3.3 Strategien zur Komplexitätsreduzierung.....	26
3.3.4 Berechnung der Kollisionsinformation	34
Kollisionsbehandlung mithilfe der Starrkörpersimulation	37
3.3.5 Bibliotheken für die Starrkörpersimulation	44
3.3.6 Simulationsumgebungen mit Starrkörpersimulation	47
3.3.7 Zusammenfassung.....	49
3.4 Virtual-Reality-Technologie	50

3.4.1	Allgemeines.....	50
3.4.2	Eingabe.....	52
3.4.3	Ausgabe.....	58
3.4.4	Zusammenfassung.....	61
3.5	Zusammenfassung der Grundlagen und des Stands der Technik.....	62
4	Anforderungsanalyse	63
4.1	Allgemeines.....	63
4.2	Methodische Anforderungen.....	63
4.3	Technische Anforderungen	65
4.3.1	Physiksimulation.....	65
4.3.2	Integration der Sensoren	65
4.3.3	Integration von Gelenken.....	66
4.3.4	Simulationszyklus	66
4.3.5	Schnittstellen.....	67
4.3.6	Skalierbare Lösung.....	67
4.3.7	Konfigurierbarkeit der Simulationsszene.....	67
4.3.8	Interaktion	68
4.4	Bewertung der Anforderungen.....	68
5	Konzept und Systementwurf.....	71
5.1	Allgemeines.....	71
5.2	Modellerstellung.....	71
5.2.1	Erstellung des Visualisierungsmodells	71
5.2.2	Erstellung des Physik- und Kinematikmodells	73

5.2.3	Integration von Sensoren.....	75
5.3	Simulationsumgebung mit Physikmodellen.....	76
5.3.1	Konfiguration.....	76
5.3.2	Parallelisierung.....	77
5.3.3	Auswahl von Kollisionserkennung und -behandlung.....	79
5.4	Eingabe.....	80
5.5	Ausgabe.....	82
5.6	Zusammenfassung.....	83
6	Umsetzung und beispielhafte Anwendung.....	85
6.1	Allgemeines.....	85
6.2	Gestaltung und Aufbau der Systemarchitektur.....	85
6.2.1	Allgemeines.....	85
6.2.2	Modulare Struktur.....	86
6.2.3	Klassendiagramm.....	88
6.2.4	Konfiguration.....	90
6.2.5	Physiksimulation in Ve ³	95
6.2.6	Externe Kommunikation.....	97
6.3	Eingabe.....	98
6.3.1	Navigation.....	99
6.3.2	Selektion.....	100
6.3.3	Manipulation.....	100
6.3.4	Applikationssteuerung.....	101
6.4	Ausgabe.....	101

6.5	Realisierung des Hardwareaufbaus	101
6.6	Exemplarische Anwendung.....	104
6.6.1	Allgemeines.....	104
6.6.2	Erstellung des Visualisierungsmodells	106
6.6.3	Erstellung des Physik- und Kinematikmodells	108
6.6.4	Integration der Sensoren	109
6.6.5	Beschreibung des Verhaltensmodells und der Kommunikation mit dem Simulationsrechner Ve ³	110
6.6.6	Simulation	112
6.6.7	Ergebnisse	117
7	Nutzenpotenziale und Bewertung	119
7.1	Allgemeines.....	119
7.2	Nutzenpotenziale	119
7.2.1	Vertrieb und Projektierung.....	119
7.2.2	Entwicklung und Inbetriebnahme	119
7.2.3	Produktion	120
7.2.4	Schulung.....	120
7.3	Technologische Bewertung	121
7.4	Wirtschaftliche Bewertung.....	123
8	Zusammenfassung und Ausblick	127
9	Literatur	129
10	Anhang.....	139
10.1	Formelverzeichnis	139

Verzeichnisse

10.2 Herstellerverzeichnis	140
----------------------------------	-----

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1-1: Gliederung und Aufbau der Arbeit.....</i>	<i>5</i>
<i>Abbildung 2-1: Aufbau eines Simulationsmodells für die virtuelle Inbetriebnahme</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 2-2: Skizzierung der einzelnen Phasen der virtuellen Inbetriebnahme</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 3-1: Systemaufbau für den SIL- und HIL-Ansatz der virtuellen Inbetriebnahme</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 3-2: Beschreibung des dynamischen Verhaltens nach LENNERZ 2002</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 3-3: Zeitlicher Ablauf der Physiksimulation mit den beiden Phasen Kollisionserkennung und Kollisionsbehandlung</i>	<i>25</i>
<i>Abbildung 3-4: Einteilung von 3-D-Modellen nach Lin & Gottschalk 1998.....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 3-5: Gleichmäßige Raumaufteilung.....</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 3-6: Schematische Darstellung der Raumaufteilung mithilfe eines Oktonärbaumes</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 3-7: Schrittweiser Aufbau eines BSP-Baumes durch Binary-Space-Partition</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 3-8: Verschiedene Hüllkörper zur schnelleren Kollisionserkennung</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 3-9: Kollisionsüberprüfung bei AABBs durch Projektion auf die Koordinatenachsen (Vereinfachte 2-D-Darstellung).....</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 3-10: Beispiel einer unmöglichen Kollisionsüberprüfung bei OBBs durch Projektion auf die Koordinatenachsen (Vereinfachte 2-D-Darstellung)</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 3-11: Verwendung des Separating-Axis-Theorems für die Kollisionsüberprüfung bei OBBs</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 3-12: 2-D-Beispiel für Closest-feature-Algorithmus unter Verwendung der Voronoi-Region.....</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 3-13: Voronoi-Regionen von Polyedern für die Features Punkt, Kante und Seitenfläche nach Mirtich 1998a am Beispiel eines Würfels.....</i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 3-14: Definition eines Starrkörpers als System von Massepunkten mit konstantem Abstand r_{ij} aller Punktepaare nach Goldstein et al. 2002.....</i>	<i>39</i>

Verzeichnisse

<i>Abbildung 3-15: Wichtige Gelenkarten für die Simulation von Starrkörpern; ein Scharniergelenk mit einem Freiheitsgrad, ein Kugelgelenk mit drei Freiheitsgraden und ein Schiebegelenk mit einem Freiheitsgrad</i>	40
<i>Abbildung 3-16: Beschreibung eines Simulationszyklus bei der Starrkörper-simulation nach Parent 2002</i>	41
<i>Abbildung 3-17: 2-D-Ansicht einer Kontaktsituation bei der Kollisionsauflösung durch analytische Verfahren; links eine Kollision und rechts ein anhaltender Kontakt zwischen den Objekten A und B (vgl. Eberly 2004, S. 241)</i>	43
<i>Abbildung 3-18: Skalierbares Engineering – Kombination von VR-Technologien durch die Anreicherung mit Ergebnissen aus anderen Simulationswerkzeugen (vgl. Aurich et al. 2007)</i>	51
<i>Abbildung 3-19: Translatorische und rotatorische Freiheitsgrade eines Objektes im virtuellen Raum (vgl. Burdea & Coiffet 2003 S. 17)</i>	52
<i>Abbildung 3-20: Datenhandschuh CyberGlove® mit Exoskelett CyberGrasp™ für die Erfassung von 22 Freiheitsgraden der Hand mit Krafrückgabe auf die Finger des Benutzers (Quelle: Immersion Corporation)</i>	56
<i>Abbildung 4-1: Zusammensetzung der für ein Physikmodell benötigten Daten und die Möglichkeiten der Automatisierung der Modellerstellung</i>	64
<i>Abbildung 5-1: Vierstufiges Verfahren zur Erstellung eines Visualisierungsmodells für den Einsatz in einer Simulationsumgebung mit Physikmodellen</i> .	72
<i>Abbildung 5-2: Erstellung des Physik- und Kinematikmodells, aufbauend auf dem simplifizierten Geometriemodell des vorhergehenden Abschnitts</i>	74
<i>Abbildung 5-3: Reflexionslichtschranke – Sender und Empfänger (1) sind in einem Gehäuse verbaut, der Lichtstrahl wird durch einen Reflektor (2) zurückgelenkt</i>	75
<i>Abbildung 5-4: Beispielhafte Integration einer doppelten Reflexions-lichtschranke als Kollisionsobjekt in der Simulation</i>	76
<i>Abbildung 5-5: Beschreibung eines Objektes – Definition der Objekteigenschaften</i> .	77
<i>Abbildung 5-6: Parallelisierung der Systemprozesse</i>	78
<i>Abbildung 5-7: 3-D-Navigation in der Simulationsumgebung zur Analyse der Produktionsanlage</i>	81
<i>Abbildung 6-1: Systemarchitektur der Simulationsplattform Virtual Engineering Environment Extended (Ve³)</i>	86
<i>Abbildung 6-2: UML-Klassendiagramm der wichtigsten Klassen der einzelnen Module von Ve³</i>	89

<i>Abbildung 6-3: Konfiguration der Simulationsumgebung mit XML-Struktur (Auszug des XML-Schemas).....</i>	<i>91</i>
<i>Abbildung 6-4: Komponenten der Konfiguration einer Simulationsszene.....</i>	<i>92</i>
<i>Abbildung 6-5: XML-Struktur der Konfigurationsdatei physics.xsd für die physikalischen Eigenschaften, Gliederung in bodies und joints.....</i>	<i>93</i>
<i>Abbildung 6-6: XML-Struktur der Konfigurationsdatei physics.xsd für die physikalischen Eigenschaften, Beschreibung body.....</i>	<i>94</i>
<i>Abbildung 6-7: XML-Struktur der Konfigurationsdatei physics.xsd für die physikalischen Eigenschaften, Beschreibung joint.....</i>	<i>95</i>
<i>Abbildung 6-8: UML-Klassendiagramm für die Abbildung der Simulationsobjekte (vgl. EGERMEIER 2008).....</i>	<i>97</i>
<i>Abbildung 6-9: Trackbares Gamepad zur Interaktion.....</i>	<i>98</i>
<i>Abbildung 6-10: Belegung der analogen Joysticks für die Navigation durch die Simulationsszene.....</i>	<i>99</i>
<i>Abbildung 6-11: Struktur des Teststandes.....</i>	<i>102</i>
<i>Abbildung 6-12: Beispielhafte Sortierstation mit vier Transportbändern, zwei Lichtschranken, einem Ausschieber und einem Auffangbehälter</i>	<i>105</i>
<i>Abbildung 6-13: Simplifizierung des triangulierten Modells der Produktionsanlage</i>	<i>107</i>
<i>Abbildung 6-14: XML-Beschreibung der für die Physiksimulation notwendigen Parameter des Ausschiebers.....</i>	<i>108</i>
<i>Abbildung 6-15: XML-Beschreibung der Kinematik des Ausschiebers für die Physiksimulation.....</i>	<i>109</i>
<i>Abbildung 6-16: Physikalische XML-Beschreibung eines Sensors.....</i>	<i>110</i>
<i>Abbildung 6-17: XML-Beschreibung des Remote-Objektes eines Sensors.....</i>	<i>110</i>
<i>Abbildung 6-18: Bedienoberfläche des Verhaltensmodells in der Simulationssoftware WinMOD®.....</i>	<i>111</i>
<i>Abbildung 6-19: Bilderserie eines Teilausschnitts der Simulation – Materialflusstau und Umschichten zwischen zwei Förderbändern durch Leitbleche.....</i>	<i>114</i>
<i>Abbildung 6-20: Bilderserie eines Teilausschnitts der Simulation – Abschieben eines Teils.....</i>	<i>115</i>
<i>Abbildung 6-21: Bilderserie eines Teilausschnitts der Simulation – Transport von Teilen über eine schräge Rutsche.....</i>	<i>116</i>

Abkürzungsverzeichnis

2-D	zweidimensional
3-D	dreidimensional
AABB	Axis Aligned Bounding Box (Hüllquader mit zu den Koordinatensystemachsen übereinstimmenden Oberflächennormalen)
BKM	Bayerisches Kompetenznetzwerk für Mechatronik
BSP	Binary Space Partition (binäre Raumaufteilung)
CAD	Computer Aided Design (computergestütztes Konstruieren)
CAE	Computer Aided Engineering (computergestütztes Entwickeln)
CAX	Computer Aided x (x steht als Platzhalter, siehe auch CAD und CAE)
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
CPU	Central Processing Unit (Hauptprozessor)
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DoF	Degree of Freedom (Freiheitsgrad)
FEM	Finite-Elemente-Methode
GB	Gigabyte (Einheit für Speichergröße)
GJK	Gilbert-Johnson-Keerthi
HIL	Hardware-in-the-Loop (Der Regelkreis wird mittels Hardware für die Simulation geschlossen.)
HMD	Head-Mounted-Display
IBDS	Impulse-Based Dynamic Simulation
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
IP	Internet Protocol (Netzwerkprotokoll zum Austausch von Daten zwischen zwei Rechnern, angeordnet in der Vermittlungsschicht des ISO/OSI-Schichtenmodells)
<i>iwb</i>	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Verzeichnisse

<i>k</i> -DOP	<i>k</i> -discrete Oriented Polytop (Verallgemeinerung einer AABB)
LCP	Linear Complementarity Problem (lineares Komplementaritätsproblem)
OB	Oriented Bounding Box (gerichteter Hüllquader)
ODE	Open Dynamics Engine™
OSG	OpenSceneGraph
PAL	Physical Abstraction Layer (Abstraktionsschicht für die Bibliothek zur Physiksimulation)
PC	Personal Computer (Einzelplatzrechner)
PCI	Peripheral Component Interconnect (Bus-Standard zur Verbindung von Peripheriegeräten mit dem Chipsatz eines Prozessors)
PDM	Produktdatenmanagement
PHANToM®	Personal Haptic Interface Mechanism
SDL	Simple Direct Media Layer
SIL	Software-in-the-Loop (Der Reglerkreis wird mittels Software für die Simulation geschlossen.)
SiLVIA	Simulation Library for Virtual-Reality and Interactive Applications
SOLID	Software Library for Interference Detection
SPE	Simple Physics Engine
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
TCP	Transmission Control Protocol (Protokoll für den Austausch von Daten zwischen zwei Rechnern, angeordnet in der Transportschicht des ISO/OSI-Schichtenmodells)
UDP	User Datagram Protocol (verbindungsloses Netzprotokoll)
USB	Universal Serial Bus (serielles Bussystem)
USIS	Universal Simulation System
Ve ²	Virtual Engineering Environment
Ve ³	Virtual Engineering Environment Extended

VR	Virtual-Reality (Virtuelle Realität)
VRCA	Virtual-Reality Center Aachen
VRML	Virtual-Reality Modeling Language (Beschreibungssprache für Modelle der Virtuellen Realität)
XML	Extended Markup Language

1 Einleitung

1.1 Motivation

„Die sicherste Grundlage einer Produktion ist die Qualität. Danach und eine große Strecke weiter kommen die Produktionskosten.“

Andrew Carnegie (1835-1919) erkannte schon vor langer Zeit, was auch heute noch gilt: Qualität ist ein wichtiger Faktor in der Produktion und in unserer Zeit auch häufig ein entscheidender Standortfaktor. Die Qualität des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus ist weit über die Grenzen der Bundesrepublik anerkannt und sichert wichtige Arbeitsplätze in Deutschland. Oftmals verhindert nur der über Jahrzehnte erlangte Ruf von Qualität und Zuverlässigkeit eine Verlagerung von Produktionsstätten in so genannte Niedriglohnländer.

Es gilt deshalb, diesem Qualitätsanspruch gerecht zu werden. Kurze Lieferzeiten, ausgereifte Produkte und termintreue Lieferung und Inbetriebnahme sind hierfür wichtige Faktoren. Vor allem durch eine schnelle Inbetriebnahme und einen planmäßigen Produktionsanlauf kann der Kunde von der Qualität der gekauften Produktionsanlage überzeugt werden. Darüber hinaus sind Verzögerungen bei der Inbetriebnahme auch für den Hersteller sehr kostenintensiv. Gerade in diesem Zeitraum muss in der Regel ein großer Teil der Herstellungskosten vorfinanziert und somit sehr viel Geld für Zinsen aufgewendet werden. Bei einer Verzögerung eines Projektes aufgrund von Fehlern, die erst bei der Inbetriebnahme gefunden werden, kann durch die Zinsaufwendungen der kalkulierte Gewinn deutlich gemindert bzw. sogar in einen Verlust gewandelt werden.

Aus diesen Gründen wird mittlerweile ein großer Aufwand betrieben, um das Risiko der Inbetriebnahme, von deren Tätigkeiten ca. 90 % auf die Elektrik und Steuerungstechnik entfallen (EVERSHEIM 1990), abzusichern. Dies wird vor allem durch Simulation erreicht, mit der möglichst viele Fehlerfälle nachgestellt werden, um so Ausfälle der Maschine oder Anlage ausschließen zu können. Im Mittelpunkt der Simulation steht meist die Steuerungssoftware. Studien haben gezeigt, dass 70 % der Inbetriebnahmezeit für die Beseitigung von Softwarefehlern in der Steuerungstechnik aufgewendet werden müssen (VDW-BERICHT 1997, SPATH & LANDWEHR 2000). Um die Steuerungssoftware vor der eigentlichen Inbetriebnahme testen zu können, wird seit kurzer Zeit eine virtuelle Inbetriebnahme, bei der die Steuerungssoftware an einem Simulationsmodell getestet

wird, als Projektphase bei den Herstellern von Maschinen und Anlagen sehr erfolgreich eingeführt: Dieser Erfolg ist auf die „frühzeitige Fehlererkennung und Optimierung der einzelnen steuerungstechnischen Komponenten“ (PRITSCHOW 2002) zurückzuführen.

Mit der virtuellen Inbetriebnahme kann die Qualität der Software deutlich gesteigert und zugleich die Inbetriebnahmezeit verkürzt werden. Der Aufwand für eine virtuelle Inbetriebnahme ist jedoch nicht zu unterschätzen und stellt die Wirtschaftlichkeit meist in Frage. Besonders arbeitsaufwendig ist die Anfertigung des virtuellen Modells, mit dem die Steuerungssoftware getestet werden soll. Dies liegt daran, dass die Modelle in der Regel von Hand entwickelt werden müssen und nur selten Teile aus alten Inbetriebnahmeprojekten, und dann auch nur teilweise, kopiert werden können.

Die virtuelle Inbetriebnahme von Anlagen ist bislang nicht so verbreitet wie die virtuelle Inbetriebnahme von Maschinen. Dies resultiert zum einen aus der Historie dieses Ansatzes, zum anderen liegt es an der Komplexität der Simulationsmodelle. Diese sind für Anlagen ungleich komplizierter, da für die Simulation des Materialflusses ein zusätzliches Simulationsmodell erstellt werden muss. Bislang werden hierzu Planungstools verwendet, die einen logischen Materialfluss abbilden können, der jedoch nicht auf den Geometrien der Anlage oder der Werkstücke beruht und somit die Aussagekraft der Simulation einschränkt. Fragen, wie z. B. ob bei einem Materialflusstau ein Verklemmungszustand auftritt, bleiben unbeantwortet.

Mit der virtuellen Inbetriebnahme können Fehler frühzeitig in der Steuerungssoftware gefunden werden, die ansonsten erst vor Ort beim Kunden nach Aufbau der Maschine oder Anlage entdeckt werden würden. Ferner lassen sich mit der virtuellen Inbetriebnahme auch Fehlerfälle nachstellen, die viel später, also erst im laufenden Betrieb der Maschine oder Anlage, zu Ausfällen oder sogar zu teuren Schäden an der Produktionsanlage führen können. Somit kann die Softwarequalität deutlich gesteigert werden (MEWES 2005, STETTER 2005, 2006a, 2006b). Es stellt sich jedoch die Frage, ob es nicht möglich ist, die Fehler bereits bei der Entwicklung finden zu können oder noch besser die Fehler von vorneherein zu verhindern, denn je später ein Fehler gefunden wird, desto teurer ist seine Beseitigung (ZÄH et al. 2004b). Daher gibt es die Bestrebung, eine so genannte *integrierte Entwicklung und Konstruktion* zu realisieren, bei der die Softwareentwicklung, die bisher erst nach Abschluss der mechanischen und elektrischen Konstruktion bzw. in manchen Unternehmen erst vor Ort auf der Baustelle ihre

Arbeit aufnahm, schon von Entwicklungsbeginn an eingebunden ist (BENDER et al. 2005b). Voraussetzung hierfür ist, dass zu jeder Zeit im Entwicklungsprozess ein Simulationsmodell zur Verfügung steht, mit dem die Entwickler Softwaretests durchführen können. Um die Integrität zwischen der zu testenden Software und der Simulationsmodelle zu gewährleisten, müssen im Laufe der Entwicklung mehrfach Simulationsmodelle erstellt werden. Der Aufwand für eine manuelle Anfertigung der Modelle ist sehr hoch und für eine *integrierte Entwicklung und Konstruktion* nicht wirtschaftlich. Die Automatisierung der Modellerstellung ist deshalb eine Grundvoraussetzung.

Die Entwicklung der Simulationsmodelle ist somit ein zentraler Punkt für den Erfolg eines integrierten Konstruktions- und Entwicklungsprozesses. Zum einen ist es aus wirtschaftlicher Sicht wichtig, den Aufwand für die Modellerstellung so gering wie möglich zu halten, zum anderen müssen für eine aussagekräftige Simulation die Modelle so detailgetreu wie möglich gestaltet werden. Bislang werden Simulationsmodelle von Hand erstellt, d. h. ein Experte entwickelt aus den Unterlagen der Maschine oder Anlage, in der Regel aus der Spezifikation, ein detailgetreues Simulationsmodell für die Maschine oder Anlage. Selbstverständlich kann bei ähnlichen Maschinen oder Anlagen auf bestehende Simulationsmodelle als Vorlage zurückgegriffen und es können Teile davon übernommen werden. Auf lange Sicht ist zu empfehlen, ein Baukastensystem von Simulationsmodellen anzulegen, um den Prozess der manuellen Modellbildung zu beschleunigen.

Für eine automatisierte Modellerstellung ist die Verwaltung der notwendigen Daten von entscheidender Bedeutung, denn es werden dazu sehr detaillierte Informationen über die Maschine oder Anlage bzw. über die verbauten Komponenten benötigt. In den Unternehmen wird für die Verwaltung der Daten in der Regel eine Software für das Produktdatenmanagement (PDM) eingesetzt, die sich aus Computer-Aided-Design-Systemen (CAD-Systemen) aufgrund der immer weiter steigenden Produktdatenmenge entwickelt hat. Für das PDM und das CAD finden sich sehr viele und sehr unterschiedliche Produkte, so dass von einer heterogenen Systemlandschaft gesprochen werden kann. Es gibt mittlerweile das Bestreben, Zulieferer von Komponenten zur Übergabe von Simulationsdaten oder sogar von speziellen Simulationsmodellen zu den gelieferten Komponenten zu verpflichten, um die Modellbildung für die Simulation möglichst einfach und aufwandsarm umsetzen zu können. Voraussetzung hierfür ist, die Austauschbarkeit der Daten und Modelle gewährleisten zu können. Aus diesem Grund wurden

in letzter Zeit Datenmanagement-Tools weiterentwickelt und diesen Anforderungen angepasst. Mithilfe dieser neuen Generation von Datenmanagementtools könnte schon bald eine automatisierte oder wenigstens teilautomatisierte Modell-erstellung für Simulationen umgesetzt und somit ein wichtiger Schritt in Richtung eines integrierten Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses vollzogen werden.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Einen integrierten Entwicklungs- und Konstruktionsprozess bei Maschinen- und Anlagenbauunternehmen erfolgreich umzusetzen, ist eine große Herausforderung, die jedoch sowohl den Anwendern als auch den Herstellern deutlich Zeit und somit Kosten sparen helfen kann. Voraussetzung für den Erfolg ist eine schnelle und aufwandsarme Erzeugung der Simulationsmodelle, um schon frühzeitig Softwaretests durchführen zu können.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methode für die Erstellung von Physikmodellen zur Simulation von Maschinen und Anlagen im Rahmen eines integrierten Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses. Das vorzustellende Konzept wird anschließend an einem Anwendungsbeispiel prototypisch umgesetzt. Hierbei wird gezeigt, wie der Materialfluss einer Anlage mithilfe einer Physiksimulation realitätsnah abgebildet und somit die Aussagekraft der Simulation gesteigert werden kann. Außerdem wird erläutert, wie Physikmodelle aus Datenmanagementsystemen exportiert und aufbereitet werden können, womit die Modellerstellung für einen integrierten Entwicklungs- und Konstruktionsprozess vereinfacht werden kann.

Im Fokus dieser Arbeit steht die Simulation von Maschinen und Anlagen, die mit Automatisierungslösungen unter Verwendung von so genannten Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) ausgestattet sind, die im Millisekundenbereich (z. B. 10 ms) getaktet sind. Auch die Simulation muss diesem Anspruch genügen, damit die Ergebnisse korrekt berechnet werden können. Daher wird in dieser Arbeit auf eine fotorealistische Darstellung der virtuellen Maschine oder Anlage verzichtet, da diese wertvolle Rechenkapazität beanspruchen und keinen Mehrwert für die Simulation bringen würde.

Diese Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten, die Simulationsmöglichkeiten für den Maschinen- und Anlagenbau zu erweitern, um so die Qualität der Steuer-

rungssoftware und der Produktionsanlage verbessern zu können. Anhand dieser Arbeit soll der technologische und wirtschaftliche Nutzen des Einsatzes von Physikmodellen für den integrierten Entwicklungs- und Konstruktionsprozess gegenüber dem herkömmlichen Vorgehen aufgezeigt werden.

1.3 Vorgehensweise

Für die Umsetzung der beschriebenen Ziele wird folgendermaßen vorgegangen (siehe Abbildung 1-1):

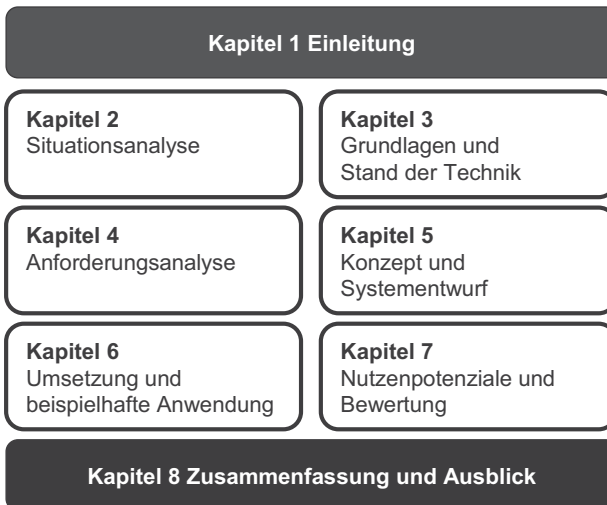


Abbildung 1-1: Gliederung und Aufbau der Arbeit

Nach der kurzen Einleitung erfolgt in **Kapitel 2** zunächst eine Begriffsbestimmung. Außerdem wird der Ablauf einer virtuellen Inbetriebnahme beschrieben. In diesem Abschnitt werden auch Defizite und Handlungsfelder dargestellt, die für einen erfolgreichen Einsatz von Physikmodellen in einem integrierten Entwicklungsprozess abgedeckt werden müssen. Das im Rahmen dieser Arbeit angefertigte Konzept basiert auf den Technologien der virtuellen Inbetriebnahme, der Physiksimulation und der Virtual-Reality (VR). Deshalb werden die Grundlagen und der Stand der Technik hierzu ausführlich in **Kapitel 3** vorgestellt. In **Kapitel 4** werden die Anforderungen an eine Simulationsumgebung, die mithilfe von Physikmodellen das Bewegungsverhalten und den Materialfluss der Maschi-

ne oder Anlage abbildet, konkretisiert. Dabei wird zwischen den methodischen und den technischen Anforderungen differenziert. **Kapitel 5** beschreibt das Konzept und den Systementwurf, um Physikmodelle generieren und in einer Simulationsumgebung nutzen zu können. Die Umsetzung der vorgestellten Methode wird in **Kapitel 6** detailliert erläutert. Darüber hinaus wird die Erprobung der Methode an einem Anwendungsbeispiel in diesem Kapitel gezeigt. Die Arbeit schließt mit einer technologischen und wirtschaftlichen Bewertung in **Kapitel 7** und einer Zusammenfassung und einem Ausblick in **Kapitel 8**.

2 Situationsanalyse

2.1 Begriffsbestimmung

2.1.1 Vorbemerkung

Im Themenbereich der Simulation von Steuerungsprogrammen werden immer wieder viele Fachbegriffe verwendet, die an verschiedenen Stellen in der Literatur etwas unterschiedlich definiert sind. Um dem Leser das Verständnis der Arbeit zu erleichtern, wird im Folgenden eine Nomenklatur für die wichtigsten Grundbegriffe eingeführt.

2.1.2 Echtzeit

Echtzeit bedeutet, dass das Ergebnis einer Berechnung innerhalb eines gewissen Zeitraumes garantiert vorliegt, d. h. bevor eine bestimmte Zeitschranke erreicht ist.

2.1.3 Simulationsmodell

Unter dem *Simulationsmodell* einer Produktionsanlage ist ein spezielles Modell für die virtuelle Inbetriebnahme der Steuerungstechnik zu verstehen. Es besteht nach aktuellem Vorgehen bei der virtuellen Inbetriebnahme aus vier Teilmodellen, und zwar dem Verhaltensmodell, dem Kinematikmodell, dem Materialflussmodell und dem Visualisierungsmodell (siehe Abbildung 2-1). Zukünftig könnte das Materialflussmodell durch ein Physikmodell ersetzt werden.

Das Simulationsmodell wird in der Literatur auch häufig als das virtuelle Modell einer Produktionsanlage bezeichnet.

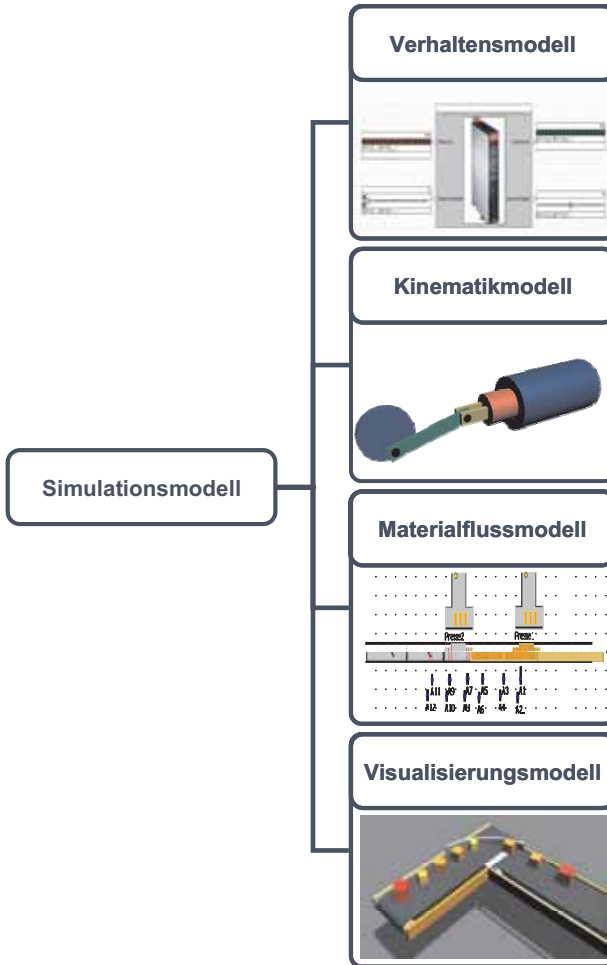


Abbildung 2-1: Aufbau eines Simulationsmodells für die virtuelle Inbetriebnahme

2.1.4 Verhaltensmodell

Das *Verhaltensmodell* ist das Signalabbild des zu simulierenden Systems. Es beschreibt sowohl das Zeit- und Schaltverhalten als auch die Logik im System

bzw. der einzelnen Komponenten (z. B. Ventile, Pumpen, Zylinder). In der Literatur wird das Verhaltensmodell auch oft als Peripheriemodell bezeichnet.

2.1.5 Verhaltenssimulation

Als *Verhaltenssimulation* wird die Softwareapplikation zur Simulation des Verhaltensmodells bezeichnet. In der Regel stehen Verhaltenssimulation und Verhaltensmodell in unmittelbarer Verbindung, weil die Verhaltenssimulation die Beschreibungssprache für das Verhaltensmodell vorgibt. Die Verhaltenssimulation wird in der Literatur auch oft als Peripheriesimulation bezeichnet (vgl. WÜNSCH 2008).

2.1.6 Kinematikmodell

Das *Kinematikmodell* bildet die möglichen Verfahrbewegungen einer Produktionsanlage ab, d. h. alle Teile, die im Produktionsprozess bewegt werden können und sollen, werden speziell parametrisiert, so dass die Bewegungen im Modell hinterlegt sind. Das Kinematikmodell steht in engem Zusammenhang mit dem Visualisierungsmodell und häufig sind die Bewegungen in diesem mit gespeichert.

2.1.7 Kinematiksimulation

Zur Veranschaulichung wird bei der virtuellen Inbetriebnahme eine *Kinematiksimulation* eingesetzt, mit der die Verfahrbewegungen der Maschine oder Anlage berechnet und visualisiert werden können. Dadurch können ohne Aufbau der realen Produktionsanlage Überprüfungen des Arbeitsraumes und der zeitlichen Abläufe durchgeführt werden.

2.1.8 Materialflussmodell

Im *Materialflussmodell* ist der Transport der Werkstücke innerhalb der Produktionsanlage abgebildet. Ferner werden in diesem Modell die Sensoren der Produktionsanlage hinterlegt, die von den beförderten Werkstücken ausgelöst werden können (z. B. Lichtschranken oder Endlageschalter).

3 Grundlagen und Stand der Technik

3.1 Allgemeines

Dieses Kapitel umfasst die Grundlagen und den Stand der Technik im Bereich der virtuellen Inbetriebnahme und der Physiksimulation sowie in den relevanten Themen der VR.

Der Ansatz der virtuellen Inbetriebnahme, die bislang nach der Entwicklung zum Test der Steuerungssoftware eingesetzt wird, kann auch auf die eigentliche Entwicklung übertragen werden. Hierzu wird schon während der Entwicklung eine Simulationsumgebung für die Softwareentwickler aufgebaut, mit welcher der programmierte Steuerungscode getestet werden kann. Die virtuelle Inbetriebnahme kann deshalb auch als Basistechnologie für eine integrierte Entwicklung der Steuerungssoftware angesehen werden und wird deshalb im Abschnitt 3.2 genauer beleuchtet.

In dieser Arbeit wird eine Methode zum Einsatz von Physikmodellen für die integrierte Entwicklung von Steuerungssoftware beschrieben. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Methode ist die Abbildung des Materialflusses in einer Produktionsanlage mithilfe einer Physiksimulation. Die Grundlagen der Physiksimulation werden im Abschnitt 3.3 dargestellt.

Mithilfe der VR-Technologien kann die Interaktion des Softwareentwicklers bei den Tests der Steuerungssoftware verbessert und somit die Akzeptanz bei der Testdurchführung gesteigert werden. Ein Überblick über die VR-Technologien, die hierfür zur Verfügung stehen, wird im Abschnitt 3.4 gegeben.

3.2 Virtuelle Inbetriebnahme

3.2.1 Grundlagen

Die Aufgaben und der Ablauf der virtuellen Inbetriebnahme sind im Abschnitt 2.2 schon ausführlich dargelegt worden. Bislang wurde die virtuelle Inbetriebnahme erst am Ende der Entwicklungsphase durchgeführt, weil der Aufwand für eine manuelle Modellerstellung während der Entwicklung als zu hoch angesehen wurde. Grundsätzlich ist es auch denkbar, den Ansatz der Simulationsumgebung während des Betriebes der Anlage beizubehalten, um Veränderungen in der

Software testen und somit den damit verbundenen Wiederanlauf verkürzen zu können.

Für den Aufbau einer Simulationsumgebung für die virtuelle Inbetriebnahme existieren zwei verschiedene Ansätze (siehe Abbildung 3-1), Software-in-the-Loop (SIL) bzw. Hardware-in-the-Loop (HIL). Diese werden im Folgenden näher beschrieben.

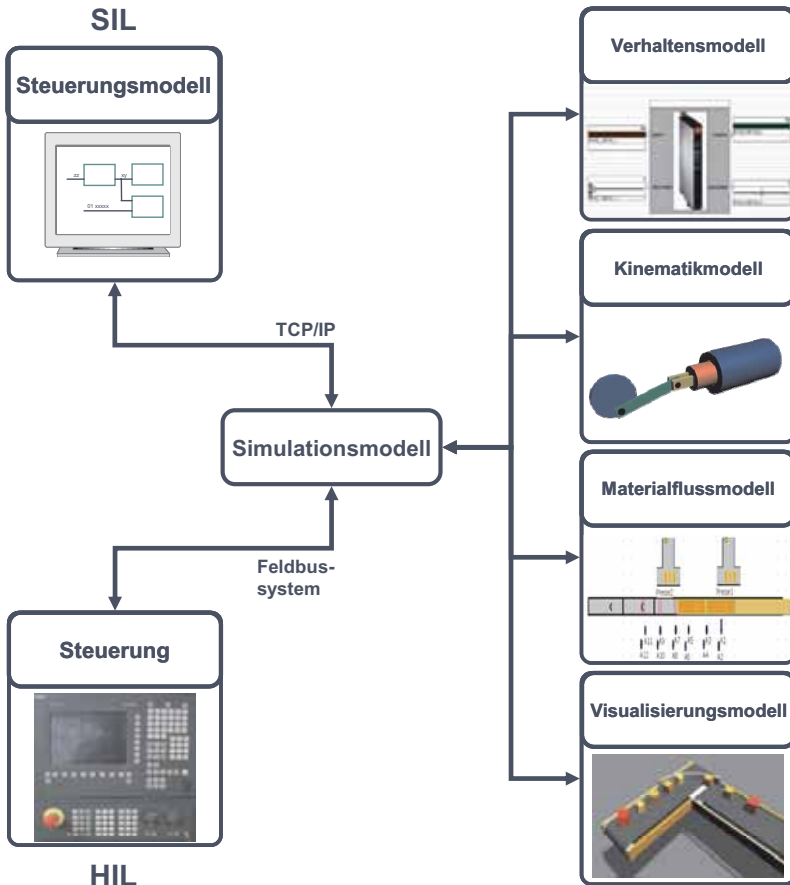


Abbildung 3-1: Systemaufbau für den SIL- und HIL-Ansatz der virtuellen Inbetriebnahme

3.2.2 Software-in-the-Loop

BENDER et al. 2005b definieren SIL als die „Ausführung der Steuerungssoftware eines technischen Systems im Verbund mit einer Umgebungssimulation auf einem Host-Rechner, d. h. nicht der Zielhardware.“ Dies kann laut BENDER et al. 2005b „entweder durch Compilieren der Software für das Hostsystem oder durch Einsatz eines Software-Emulators geschehen“. Im Aufbau einer Simulationsumgebung gemäß dem SIL-Ansatz wird die Steuerung der Produktionsanlage auf einem PC mithilfe einer Steuerungssimulation abgebildet, die über eine TCP/IP-Schnittstelle (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) mit dem Simulationsmodell verbunden ist. Bei kleineren Systemen bzw. wenn der zu simulierende Anteil der Steuerungstechnik nicht zu groß ist, kann die SIL-Simulation ohne Einschränkungen auch an einem Rechner durchgeführt werden. Nach Aufbau der Testumgebung wird das Steuerungsprogramm in der Steuerungssimulation ausgeführt. Die Ergebnisse können dann am virtuellen Modell überprüft werden. Der SIL-Ansatz hat den Vorteil, dass keine Steuerungshardware während der Entwicklung und Testphase erforderlich ist bzw. die Zielhardware während der Entwicklung noch nicht endgültig feststehen muss. Erst nach der Simulation wird der Steuerungscode in das Format der jeweiligen Steuerung konvertiert und übertragen. Die SIL-Simulation wird in der Literatur oft auch als Vollsimulation bezeichnet.

3.2.3 Hardware-in-the-Loop

Im Gegensatz zur SIL-Simulation wird bei der HIL-Simulation die reale Steuerungstechnik eingebunden. Hierfür wird die Steuerung (z. B. SPS) über einen Feldbus (z. B. Profibus) an ein virtuelles Modell der Produktionsanlage angeschlossen, das die Befehle der Steuerung entgegennimmt, bearbeitet und entsprechende Signale als Rückmeldungen zurücksendet. Dieser Ansatz wurde im Rahmen von Forschungsprojekten in Zusammenarbeit mit dem Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V. (VDW) untersucht (ZÄH et al. 2004a). In weiteren Studien wurden die gewonnenen Forschungsergebnisse in der Praxis evaluiert und der Ansatz weiterentwickelt (MUNZERT et al. 2004, ZÄH et al. 2004b, ZÄH et al. 2004c, ZÄH et al. 2004e, WÜNSCH & ZÄH 2005a, 2005b).

Der Vorteil des HIL-Ansatzes ist die Möglichkeit der direkten Übernahme der Steuerungstechnik in die Produktionsanlage nach Abschluss der virtuellen Inbetriebnahme, d. h. die Steuerungstechnik kann von der Simulationsumgebung getrennt und dann sofort an die reale Produktionsanlage angeschlossen werden.

4 Anforderungsanalyse

4.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden die Anforderungen, die an eine Simulationsumgebung mit Physikmodellen zu stellen sind, näher analysiert. Diese gliedern sich in methodische und technische Anforderungen, wobei methodische Anforderungen die Voraussetzungen im Bereich der Konstruktion und Entwicklung und die technischen Anforderungen die wesentlichen Funktionen der eigentlichen Simulationsumgebung beschreiben.

4.2 Methodische Anforderungen

Moderne Produktionsanlagen zeichnen sich durch den effizienten Einsatz verschiedener Technologien aus den Bereichen der Mechanik, der Elektrik und der Informatik aus. Die dadurch entstehende Komplexität stellt die Unternehmen vor die Herausforderung, die unterschiedlichen Fachrichtungen in einem strukturierten Entwicklungsprozess zu vereinen, um die anspruchsvollen Problemstellungen der Kunden optimal lösen zu können.

Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist die Verwendung von Computer-Aided-Engineering (CAE)- und CAD-Softwaresystemen für das Management der anfallenden Konstruktionsdaten, um den beteiligten Konstrukteuren und Entwicklern zu jeder Zeit eine konsistente Datenbasis zur Verfügung stellen zu können. Andernfalls können wichtige Änderungen verloren gehen bzw. müssen manuell in gemeinsamen Besprechungen nachgepflegt werden.

Der Einsatz von Physikmodellen zur Simulation von Produktionsanlagen hat neben der Steigerung der Aussagekraft das Ziel, die Modellerstellung zu automatisieren und so den Aufwand zu reduzieren. Diese Automatisierung lässt sich nur umsetzen, wenn die erforderlichen Daten in digitaler Form (z. B. Gerätedateien einer Produktionsanlage) vorliegen. Je größer der Anteil der digital verfügbaren Daten ist, desto leichter ist eine automatisierte Modellerstellung umzusetzen (siehe Abbildung 4-1). Recherchen im Rahmen von Studienarbeiten haben gezeigt, dass derzeit in den Unternehmen nur eine Teilautomatisierung möglich ist, weil die notwendigen Datenbanken oft noch nicht existieren bzw. sich gerade erst im Aufbau befinden.

Ein weiteres Problem beim Datenmanagement ist eine häufig heterogene Systemlandschaft in den Unternehmen, die über Jahrzehnte gewachsen ist. Für die Einführung einer automatisierten Modellerstellung müssen die verschiedenen Softwarewerkzeuge auf eine gemeinsame Datenbasis synchronisiert bzw. entsprechende Schnittstellen für den Datenaustausch definiert und umgesetzt werden.

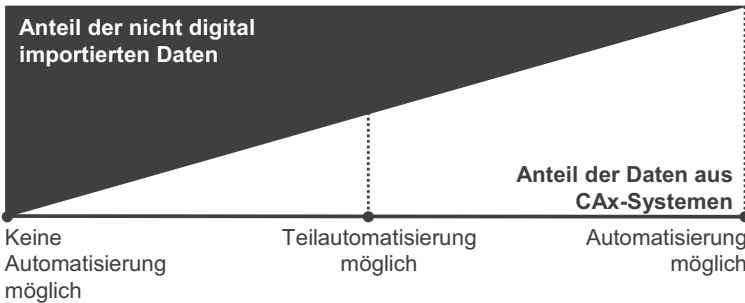


Abbildung 4-1: *Zusammensetzung der für ein Physikmodell benötigten Daten und die Möglichkeiten der Automatisierung der Modellerstellung*

Für die Erstellung eines Physikmodells einer Produktionsanlage müssen folgende Informationen über die einzelnen Bauteile der zu simulierenden Produktionsanlage bekannt sein:

- Geometrie
- Masse
- Schwerpunkt
- Trägheitsmomente (Verteilung der Masse um den Schwerpunkt)
- Reibungskoeffizienten der Flächenpaarungen

Sofern in den Unternehmen bereits eine 3-D-CAD-Software zur Konstruktion eingesetzt wird, kann die Geometrie eines Bauteils daraus übernommen werden. Es ist zwar in den meisten Fällen eine Vereinfachung des Modells erforderlich, diese kann aber mit einem Softwarewerkzeug in sehr kurzer Zeit durchgeführt werden. Wenn in den Unternehmen ein 2-D-CAD-System zum Einsatz kommt, muss die Komponente in 3-D nachkonstruiert werden, was zusätzlichen Aufwand bei der Modellerstellung zur Folge hat. Die anderen Parameter des Physikmo-

dells sind derzeit selten in Konstruktionsdatenbanken hinterlegt, was zur Folge hat, dass diese zukünftig etwas erweitert werden müssten. Die erforderlichen Daten können entweder durch Messungen bestimmt oder in den Spezifikationen der Hersteller gefunden werden.

4.3 Technische Anforderungen

4.3.1 Physiksimulation

Für die Simulation von Produktionsanlagen muss die Physiksimulation einige wichtige Anforderungen erfüllen. Die Kollisionserkennung muss auf polygonalen Modellen basieren, da die verwendeten Bauteile in einer Produktionsanlage meist geometrisch durchaus komplexe Formen aufweisen. Eine Nachbildung einer Produktionsanlage mit Standardgeometrien wäre an dieser Stelle zu aufwendig und würde zu verfälschten Ergebnissen führen.

Des Weiteren muss die Kollisionsbehandlung stabil dauerhafte Kontakte zwischen Objekten berechnen können. In einer Produktionsanlage werden Werkstücke von einer Bearbeitungsstation zur nächsten befördert. Dieser Transport wird von entsprechenden Fördereinrichtungen übernommen und wird in den meisten Fällen mit einem direkten Kontakt auf das Werkstück umgesetzt. Dadurch entsteht ein dauerhafter Kontakt zwischen Werkstück und Fördereinrichtung, der auch in der Physiksimulation nachgebildet werden muss.

4.3.2 Integration der Sensoren

Automatisierte Produktionsanlagen nutzen zur Steuerung und Überwachung des Bewegungsablaufes verschiedenste Sensoren. Sensoren sind nach SCHNELL et al. 1991 Messfühler, welche mechanische, chemische, thermische, magnetische und optische Werte in elektrische Signale umformen. Die einsetzbare Palette an Sensoren in der Automatisierungstechnik reicht mittlerweile von einfachen Kontakt- und Näherungssensoren über Lichtschranken und Laserscanner bis hin zu bildverarbeitenden Systemen. Um bei einer Simulation den Regelkreis mit der Steuerung schließen zu können, muss auch die Sensorik einer Produktionsanlage entsprechend abgebildet werden. Aus diesem Grund muss eine geeignete Simulationsumgebung über virtuelle Sensoren verfügen, die im Simulationsmodell eingebunden werden können. Wenn diese virtuellen Sensoren in der Simulation ausgelöst werden, melden sie ein Signal an die Steuerung. Bereits SCHUSTER

5 Konzept und Systementwurf

5.1 Allgemeines

Im vorangegangenen Kapitel wurden die Anforderungen für eine Simulationsumgebung mit Physikmodellen erläutert. In den folgenden Abschnitten werden auf Basis dieser Anforderungen ein Konzept und ein Systementwurf beschrieben. Zunächst werden die Möglichkeiten zur Erstellung der notwendigen Simulationsmodelle diskutiert, danach wird der eigentliche Systementwurf für eine Simulationsumgebung mit Physikmodellen vorgestellt.

5.2 Modellerstellung

5.2.1 Erstellung des Visualisierungsmodells

Das Visualisierungsmodell ist für eine Simulationsumgebung mit Physikmodellen von hoher Bedeutung, weil die Ergebnisse aus den Physikberechnungen auf das Visualisierungsmodell übertragen werden müssen, um sie für den Benutzer erfassbar machen zu können. Außerdem ist sowohl im Visualisierungsmodell als auch im Physikmodell die vollständige Geometrie der Produktionsanlage abgebildet. Um fehlerhafte Darstellungen (z. B. nicht erkennbare Kollisionen) zu vermeiden, muss deshalb der Geometrieanteil beider Modelle in jedem Simulationsschritt konsistent sein.

Das Visualisierungsmodell wird aus den CAD-Daten der Produktionsanlage gewonnen (siehe Abbildung 5-1). Die Daten sind im CAD-System in einem eigenen Format gespeichert, weshalb ein direkter Austausch unter den verschiedenen Systemen nicht möglich ist. Aus diesem Grund haben sich verschiedene Austauschformate (z. B. IGES, STEP) etabliert, welche von den meisten CAD-Systemen unterstützt werden. Diese Formate bilden die hinter den Konstruktionen liegenden mathematischen Funktionen (z. B. Bezierkurven) ab, so dass die CAD-Modelle ohne Genauigkeitsverlust übertragen werden können. Diese Modelle sind jedoch nicht für die Visualisierung und Interaktion in der VR geeignet, weil moderne Grafikkarten auf die Darstellung von Dreiecken optimiert sind. Daher ist es sinnvoll, zunächst ein polygonales Modell aus dem CAD zu exportieren (z. B. VRML97) und dieses dann mittels eines Tessellationsverfahrens (z. B. Triangulation) für die Darstellung zu optimieren. Vor allem bei größeren

Modellen ist eine Vereinfachung notwendig, um die Simulation an einzelnen Simulationsrechnern ausführen zu können und nicht auf teure Rechencluster oder Hochleistungsrechner ausweichen zu müssen. Diese Vereinfachung der Modelle und der damit verbundene Genauigkeitsverlust sind so durchzuführen, dass die wesentlichen geometrischen Eigenschaften des Modells erhalten bleiben. Eine zu starke Reduzierung der Anzahl der Polygone könnte andernfalls eine Minderung der Aussagekraft zur Folge haben.

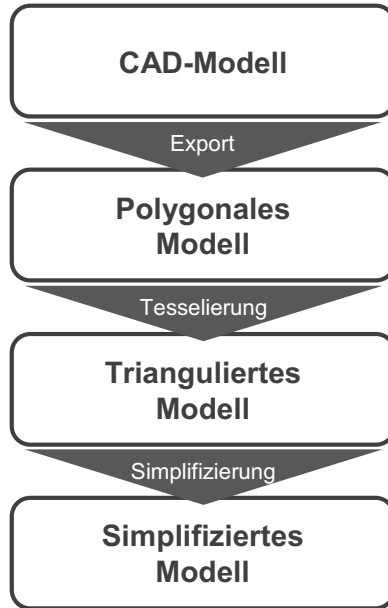


Abbildung 5-1: Vierstufiges Verfahren zur Erstellung eines Visualisierungsmodells für den Einsatz in einer Simulationsumgebung mit Physikmodellen

Das beschriebene vierstufige Verfahren zur Erstellung eines Visualisierungsmodells kann rechnerunterstützt in wenigen Arbeitsschritten durchgeführt werden. Mit einer entsprechenden Definition der Schnittstellen zwischen den einzelnen Stufen könnte das Verfahren auch automatisiert ablaufen, wodurch je nach Modellgröße die Erstellung in wenigen Minuten abgeschlossen werden kann.

Die in einer Produktionsanlage zu befördernden und zu bearbeitenden Werkstücke werden meist nicht im CAD-System des Herstellers konstruiert, so dass diese Modelle entweder vom späteren Betreiber der Produktionsanlage zur Verfügung gestellt oder neu entwickelt werden müssen. Auch diese Modelle müssen über den beschriebenen Ansatz zu einem triangulierten Modell konvertiert werden. Bei größerer Komplexität ist auch eine Simplifizierung zu empfehlen, da die Werkstücke häufig in hoher Stückzahl in einer Produktionsanlage transportiert und verarbeitet werden und so einen erhöhten Rechenaufwand bei der Simulation beanspruchen.

5.2.2 Erstellung des Physik- und Kinematikmodells

In diesem Abschnitt wird der gewählte Ansatz für die Erstellung des Physikmodells vorgestellt (siehe Abbildung 5-2). Ausgangspunkt dafür ist das im vorhergehenden Abschnitt beschriebene simplifizierte Geometriemodell, um die Konsistenz zwischen Physikmodell und Visualisierungsmodell sicherstellen zu können.

Neben der reinen Geometrie ist für die Erstellung eines Physikmodells vor allem die Parametrierung der einzelnen Objekte des Modells mit den physikalischen Eigenschaften von hoher Bedeutung. Bislang ist in den Unternehmen keine Datenbasis vorhanden, in der die physikalischen Eigenschaften der in der Produktionsanlage verbauten Komponenten erfasst sind. Deshalb müssen die Daten zunächst aus den Spezifikationen der Hersteller und aus Nachschlagewerken gewonnen und aufbereitet werden. Um das simplifizierte Modell mit den physikalischen Daten anreichern zu können, gibt es zwei verschiedene Lösungsansätze. Der einfachere und kurzfristig umsetzbare Weg ist, die Daten mittels einer Konfigurationsdatei den einzelnen Objekten des Simulationsmodells zuzuordnen. Langfristig ist die Speicherung der Daten im PDM-System zu empfehlen, um diese dann bauteilbezogen abgelegt und eine manuelle Zuordnung durch einen definierten Export ersetzen zu können.

Die Verfahren der Stereoskopie lassen sich auch auf Mehrseitenprojektionen übertragen, wobei sich dadurch der Aufwand bezüglich der Hardware und für die Administration des Systems deutlich erhöht. Im ersten Entwurf wird deshalb eine Umsetzung für die Darstellung über einen Monitor und eine Einseitenprojektion favorisiert. Die Erweiterbarkeit auf eine Mehrseitenprojektion wird im Systementwurf jedoch berücksichtigt.

5.6 Zusammenfassung

In Kapitel 5 wurden das Konzept und der Systementwurf für eine Simulationsumgebung mit Physikmodellen beschrieben. Ein Schwerpunkt liegt hier auf der Erstellung der notwendigen Simulationsmodelle (Visualisierungs-, Physik- und Kinematikmodell). Eine strukturierte Modellerstellung ist die Basis, um später diesen Prozess automatisieren und somit insgesamt deutlich beschleunigen zu können. Um eine Simulation mit Physikmodellen durchführen zu können, ist außerdem eine Simulationsumgebung erforderlich, in welcher der Benutzer an den Modellen Testfälle nachstellen und so auch mit diesen Modellen interagieren kann. Die wesentliche Herausforderung ist – neben der Konfiguration der Umgebung und der Synchronisierung der verschiedenen Threads der Anwendung – die richtige Auswahl einer Bibliothek für die Kollisionserkennung und -behandlung. Für die Simulation von Produktionsanlagen ist für die Kollisionserkennung der GJK-Algorithmus am besten geeignet, da hier in einem Schritt alle benötigten Kollisionsinformationen berechnet werden können. Aufgrund der häufig auftretenden dauerhaften Kontakte zwischen Simulationsobjekten bei der Simulation von Produktionsanlagen ist die Verwendung eines Ansatzes mit Zwangsbedingungen für die Kollisionsbehandlung zweckmäßig. Andere Ansätze können dauerhafte Kontakte nur unbefriedigend auflösen, was zu verfälschten Ergebnissen führen kann. Ein weiterer Schwerpunkt des Systementwurfs liegt in der Integration moderner Interaktionsmethoden, sowohl bei der Eingabe als auch bei der Ausgabe. Auf Basis dieser Umsetzung ist es dem Benutzer möglich, leicht und schnell Fehlerfälle nachzustellen und zu analysieren.

6 Umsetzung und beispielhafte Anwendung

6.1 Allgemeines

In diesem Kapitel wird die Umsetzung des in Kapitel 5 konzipierten Systemwurfs beschrieben. Die entwickelte Simulationsumgebung für den Einsatz von Physikmodellen trägt den Namen *Virtual Engineering Environment Extended* (Ve^3) und basiert auf seinem Vorgänger Ve^2 (Virtual Engineering Environment), der von wissenschaftlichen Mitarbeitern des *iwb* im Rahmen der Forschungsinitiative *Bayerisches Kompetenznetzwerk für Mechatronik* (BKM) zwischen 2000 und 2005 entwickelt wurde (EGERMEIER & PETZOLD 2002, SPITZWEG et al. 2004, ZÄH et al. 2004d). Während Ve^2 vor allem für die haptische Interaktion in der VR konzipiert war, wurde bei Ve^3 der Schwerpunkt der Realisierung auf die Physiksimulation und die damit verbundene Modellkonfiguration gelegt. Die Möglichkeiten der haptischen Interaktion von Ve^2 können später aufgrund der Schnittstellendefinition in Ve^3 integriert werden.

Am Ende dieses Kapitels wird die Erprobung der Simulationsumgebung mit Physikmodellen für ein Beispiel beschrieben, das den Prozess der Modellerstellung und die Simulationsdurchführung verdeutlichen soll. Im folgenden Abschnitt werden zunächst der Aufbau und die Struktur des VR-Systems Ve^3 näher beschrieben.

6.2 Gestaltung und Aufbau der Systemarchitektur

6.2.1 Allgemeines

Während Ve^2 für das Betriebssystem Linux entwickelt wurde, wurde bei der Umsetzung von Ve^3 die Windows-Plattform bevorzugt, weil inzwischen alle erforderlichen Bibliotheken auch für Windows erhältlich sind. Die Möglichkeit einer späteren Übertragung auf ein Linux-System wurde jedoch stets beachtet, um eventuell Tests an Hochleistungsrechnern durchführen zu können.

Die Umsetzung der Simulationsumgebung erfolgte in der Hochsprache C++, da sich diese Sprache aufgrund der hohen Performanz vor allem im Bereich der 3-D-Anwendungen durchgesetzt hat und zusätzlich alle wichtigen Bibliotheken (z. B. Kollisionserkennung und -behandlung) ebenfalls in C++ zur Verfügung

stehen. Dies erleichterte die Integration, weil entsprechende Schnittstellen direkt genutzt werden konnten.

Aufgrund der sehr rechenintensiven Operationen für die Simulation und der gleichzeitigen Kommunikation mit anderen Programmen über externe Schnittstellen muss die Simulationsumgebung mit nebenläufigen Programmabläufen (Multithreading) betrieben werden. Dies ist vor allem auch wichtig, um für den Benutzer eine Unterbrechung bei der Interaktion zu vermeiden.

6.2.2 Modulare Struktur

Die Simulationsumgebung Ve^3 besteht aus mehreren Modulen, um eine klare Zuordnung der Funktionalität zu erreichen und die Kommunikationswege unter den einzelnen Modulen kontrollieren zu können. Jeder Manager ist ein abgeschlossenes Softwaremodul mit festen Aufgaben (siehe Abbildung 6-1).

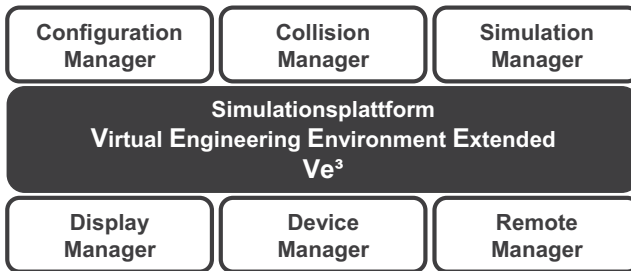


Abbildung 6-1: Systemarchitektur der Simulationsplattform Virtual Engineering Environment Extended (Ve^3)

Im Folgenden werden die einzelnen Softwaremodule von Ve^3 näher beschrieben:

Configuration Manager

Der Configuration Manager liest aus den Konfigurationsdateien die Daten für die Konfiguration der Simulationsumgebung und der Simulationsszene aus und stellt sie während des Programmablaufs zur Verfügung. Die Konfigurationsdaten, welche zu Beginn des Programmablaufs mittels eines XML-Parsers in Ve^3 geladen werden, sind in einer XML-Struktur gespeichert. Für das Laden und Speichern der Konfiguration wird die Softwarebibliothek Xerces 2.8.0 verwendet.

Die entsprechenden Konfigurationsmöglichkeiten werden in Abschnitt 6.2.4 näher erläutert.

Collision Manager

Die Kollisionserkennung in Ve^3 wird vom Collision Manager übernommen, welcher sowohl die Kollision zwischen zwei Objekten detektiert als auch im Falle einer auftretenden Kollision die Durchdringungstiefe und die Oberflächennormalen berechnet. Diese Informationen werden dann an den Simulation Manager zur Durchführung der Kollisionsbehandlung weitergegeben. Die Berechnung erfolgt in der Collision Engine, die in einem eigenen Thread läuft und deshalb unabhängig vom Hauptthread getaktet werden kann.

Simulation Manager

Auf Basis eines Algorithmus der Starrkörpersimulationen mit Zwangsbedingung wird im Falle einer Kollision vom Simulation Manager die Kollisionsauflösung berechnet. Die Kollisionsbehandlung erfolgt in einem eigenen Thread, der synchron zur Kollisionserkennung läuft.

Display Manager

Der Display Manager verwaltet die verschiedenen Ausgabemöglichkeiten (z. B. stereoskopische Ausgabe auf Powerwall) von Ve^3 . Hierzu wird vom Display Manager eine Display Engine angelegt, die in konfigurierten Zeitabständen, entsprechend der Taktung, die Bilder der virtuellen Kamera an das angeschlossene Ausgabegerät sendet.

Die Umsetzung erfolgte mit der 3-D-Grafikbibliothek OpenSceneGraph (OSG) in der Version 2.4.0.

Device Manager

Für die Verwaltung der Eingabegeräte ist in Ve^3 der Device Manager zuständig. Mittels der Device Engine werden alle angeschlossenen Eingabegeräte in regelmäßigen Abständen nach neuen Daten abgefragt, die zuvor vom Eingabegerät an die jeweilige Instanz des Gerätes in Ve^3 übertragen wurden. Neben den verschiedenen Treibern der Eingabegeräte kommt auch die Bibliothek Simple DirectMedia Layer (SDL) in der Version 1.2.13 für die Anbindung von USB-Geräten zum Einsatz.

7 Nutzenpotenziale und Bewertung

7.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden die Nutzenpotenziale des Einsatzes von Physikmodellen zur Simulation von Produktionsanlagen beschrieben. Im Anschluss daran wird das Verfahren technologisch und wirtschaftlich bewertet.

7.2 Nutzenpotenziale

7.2.1 Vertrieb und Projektierung

Der Einsatz von Simulation bereits während des Vertriebes und in der Projektierung erhöht die Chancen, Kunden für sich zu gewinnen, weil schon sehr früh wichtige Aussagen bezüglich der Auslegung einer Produktionsanlage getroffen werden können. Die realistischen Effekte der Simulation können auf Kunden überzeugend wirken, da diesen viele der simulierbaren Effekte aus der Praxis gut bekannt sind (z. B. Kippen von Transportgut). Derzeit wird im Vertrieb und in der Projektierung Simulation nur sehr eingeschränkt eingesetzt, weil der Aufwand für die Modellerstellung bislang als zu hoch angesehen wird. Hier bietet der Ansatz der Simulation mit Physikmodellen durch das Ableiten der Modelle aus dem CAD eine Aufwandsreduzierung und ermöglicht somit den Einsatz der Simulation bereits in der Vertriebs- und Projektierungsphase einer Produktionsanlage.

7.2.2 Entwicklung und Inbetriebnahme

Die aufwendige Modellerstellung für eine virtuelle Inbetriebnahme hat bisher eine entwicklungsbegleitende Simulation der Steuerungsprogramme unwirtschaftlich erscheinen lassen, so dass aus Kostengründen allenfalls eine virtuelle Inbetriebnahme am Ende des Entwicklungsprozesses durchführbar war. Durch die schnelle und teilautomatisierte Modellerstellung beim Ansatz mit Physikmodellen kann zukünftig bereits während der Entwicklung des Steuerungscode ein entsprechendes Simulationsmodell der Produktionsanlage zur Verfügung gestellt werden. Dies wird auch den Entwicklungsprozess wesentlich vereinfachen, da, wie bei der Softwareentwicklung in Programmierhochsprachen, ein Test des Steuerungsprogramms oder von Teilen davon während der Entwicklung möglich

ist. Die nachgelagerte virtuelle Inbetriebnahme einer Produktionsanlage könnte dann vom Aufwand her reduziert oder sogar ganz eingespart werden, was eine Verkürzung des Entwicklungsprozesses zur Folge hätte. Auch der Einsatz des beschriebenen Simulationsansatzes für eine spätere Weiterentwicklung der Steuerungssoftware, um die Produktionsanlage nach der Inbetriebnahme zu optimieren, lässt großes Potenzial vermuten, da so zeitgleich produziert und entwickelt werden kann.

7.2.3 Produktion

Die Simulation einer Produktionsanlage auf Basis eines Modells, das sich exakt wie die reale Produktionsanlage verhält, könnte die Steuerung derartiger Anlagen revolutionieren. Damit könnten eventuell auftretende Fehlerzustände im Programmablauf vorausschauend im laufenden Betrieb erkannt und vermieden werden. Ein realitätsgetreues Simulationsmodell ist aber auch mit dem Ansatz der Physiksimulation in den kommenden Jahren noch nicht realisierbar. Diese Aufgabenstellung gilt es in weiteren Forschungsarbeiten genauer zu untersuchen, auch wenn die vorgestellten Ergebnisse in dieser Arbeit ein wichtiger Schritt dorthin sein können.

7.2.4 Schulung

An einer physikbasierten Simulationsumgebung können Beispiele für die Schulung nachgestellt werden, die bislang nur an einer realen Maschine simuliert werden konnten. So kann Bedienpersonal von Anlagen am Monitor mit einem Bedienpanel der Maschine geschult werden, d. h. es müssen beim Hersteller von Produktionsanlagen keine teuren Schulungsanlagen vorgehalten werden. Bislang wird häufig auf der Produktionsanlage vor Ort beim Kunden geschult, was aber den Produktionsprozess einschränkt bzw. unterbricht. Oft entspricht die Schulungsanlage nur in etwa der Anlage beim Kunden, weil selten dazu identische Produktionsanlagen ausgeliefert werden. Mit dem Einsatz der Physikmodelle können schnell Simulationsmodelle von ausgelieferten Produktionsanlagen erstellt werden, wodurch die Schulung an einem mit der beim Kunden stehenden Anlage identischen Simulationsmodell durchgeführt werden kann. Dies birgt vor allem für mittelständische Maschinen- und Anlagenbauer großes Potenzial, die bislang keine Schulungszentren vorhalten können und so dem Wettbewerb im Bereich der Schulung unterlegen sind. Typische Aussagen bei Schulungen wie

„Dies ist bei Ihrer Produktionsanlage ein kleines bisschen anders“ könnten somit bald der Vergangenheit angehören.

7.3 Technologische Bewertung

Gegenüber den bisher bekannten Ansätzen zur Materialflusssimulation, die sich auch für eine virtuelle Inbetriebnahme bzw. als Testmodell für die Entwicklung von Steuerungsprogrammen eignen, zeichnet sich das in dieser Arbeit vorgestellte Verfahren in einigen wesentlichen Punkten aus.

Der Einsatz von Physikmodellen ermöglicht eine Materialflusssimulation, die nicht auf logischen Verkettungen, sondern auf physikalischen Gesetzen basiert. Dies erhöht die Aussagekraft bei der Simulation deutlich, weil die abgebildeten Simulationsobjekte realitätsnahes Verhalten zeigen. Durch diesen Effekt können Szenarien simuliert und getestet werden, die bislang nur an der realen Produktionsanlage nachgestellt werden konnten. Im Folgenden sind einige Beispiele hierfür aufgelistet:

- Simulation von undefiniertem Materialfluss (z. B. auf nicht angetriebenen Fördereinrichtungen wie Rutschen)
- Stau im Materialfluss (z. B. durch Verklemmen der Teile bei einer zu kleinen Öffnung)
- Das Herunterfallen von Teilen, die an Übergängen von verschiedenen Fördermitteln nicht ordnungsgemäß weitergeleitet werden
- Das Kippen von Teilen auf Förderbändern, wenn die Bewegungsausführung zu ruckartig erfolgt oder die Lage der Teile auf den Förderbändern ein leichtes Kippen ermöglicht
- Zufällige Verteilung von Transportgut bei Schikanen im Materialfluss (z. B. Transport von Flaschen in einer Abfüllanlage)

Neben der Steigerung der Aussagekraft kann beim Verfahren mit Physikmodellen die Modellerstellung wesentlich verkürzt und in weiten Teilen automatisiert werden. Durch die direkte Übernahme der Modelle aus dem CAD werden Fehler bei der Modellerstellung weitgehend vermieden. Es lassen sich dadurch Modelle, die vorher in mehreren Tagen entwickelt werden mussten, in wenigen Minuten oder Stunden generieren und konfigurieren.

Neben den beschriebenen Vorteilen gibt es auch Einschränkungen, die an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben dürfen.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Qualität eines Produktes ist einer der wichtigsten Faktoren, um an einem Hochlohnstandort eine Produktionsstätte erfolgreich zu betreiben. Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau boomt seit vielen Jahren, da vor allem die Qualität der hergestellten Produktionsanlagen überzeugt, die auf einen strukturierten Entwicklungsprozess zurückzuführen ist. Zu diesem gehört vor allem ein umfangreicher Test vor Auslieferung der Produktionsanlage, um den Zeitaufwand der realen Inbetriebnahme vor Ort beim Kunden möglichst gering zu halten.

In den letzten Jahren hat sich deshalb vor allem die virtuelle Inbetriebnahme durchgesetzt, mit welcher der Steuerungscode an einem virtuellen Simulationsmodell der Produktionsanlage getestet und Fehlerfälle nachgestellt werden können. Allerdings ist der Aufwand für die Erstellung des Simulationsmodells erheblich, weshalb eine konsequente Durchführung häufig an fehlenden Ressourcen oder sogar an der Wirtschaftlichkeit scheitert. Die Komplexität der Modellerstellung verhindert darüber hinaus, dass bereits während der Entwicklung des Steuerungscode ein Simulationsmodell zur Verfügung steht. So müssen am Ende des Entwicklungsprozesses Fehler gesucht und beseitigt werden, anstatt diese bereits von Anfang an zu vermeiden.

Die in dieser Arbeit beschriebene Verwendung von Physikmodellen für die virtuelle Inbetriebnahme ist deshalb ein wichtiger Schritt für einen integrierten Entwicklungsprozess. Der Ansatz bietet die Möglichkeit, den Aufwand für die Erstellung des Materialflussmodells deutlich zu reduzieren bzw. den Prozess der Modellerstellung teilweise zu automatisieren. Dieses Verfahren revolutioniert die Steuerungsprogrammierung, weil der entwickelte Code Schritt für Schritt direkt an einem Simulationsmodell getestet werden kann. Neben der Aufwandsreduzierung bietet der Einsatz von Physikmodellen eine deutliche Steigerung der Aussagekraft der Simulation. Durch die physikalischen Effekte, die in der Simulation berücksichtigt werden, können in Zukunft ohne weiteren Programmieraufwand Test- und Fehlerfälle (z. B. Staubildung im Materialfluss) nachgestellt werden, die bislang nicht oder nur mit unwirtschaftlich hohem Aufwand simuliert werden konnten. Auf diese Weise ist es möglich, die Zuverlässigkeit der Produktionsanlagen und damit auch die Qualität zu steigern.

Durch die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Simulationsplattform Ve³ konnte die generelle Machbarkeit des beschriebenen Ansatzes nachgewiesen werden. Bei den durchgeführten Tests konnten verschiedene Themen identifiziert werden,

9 Literatur

3DCONNEXION 2008

3Dconnexion: 3Dconnexion, a Logitech Company
<<http://www.3dconnexion.de>> - 03. Februar 2008.

AKENINE-MÖLLER & HAINES 2002

Akenine-Möller, T.; Haines, E.: Real-Time Rendering. 2. Auflage. Natick (MA) / USA: A K Peters 2002.

AURICH et al. 2007

Aurich, J. C.; Ostermayer, D.; Wagenknecht, C.: Integration von Materialfluss-simulation und FEM in die Virtuelle Realität. wt Werkstattstechnik online 97 (2007) 5, S. 369-375.

BANERJEE & ZETU 2001

Banerjee, P.; Zetu, D.: Virtual Manufacturing. New York, Chichester, Weinheim: John Wiley & Sons, Inc. 2001.

BARAFF 1989

Baraff, D.: Analytical Methods for Dynamic Simulation of Non-penetrating Rigid Bodies. In: Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH), Boston (MA) / USA, Juli 1989. ACM Press 1989, Band 23, S. 223-232.

BARAFF 1990

Baraff, D.: Curved Surfaces and Coherence for Non-penetrating Rigid Body Simulation. In: Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH), Dallas (TX) / USA, August 1990. ACM Press 1990, Band 24, S. 19-28.

BARAFF 1991

Baraff, D.: Coping with Friction for Non-penetrating Rigid Body Simulation. In: Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH), Las Vegas (NV) / USA, Juli 1991. ACM Press 1991, Band 25, S. 31-40.

BARAFF 1993

Baraff, D.: Non-penetrating Rigid Body Simulation. In: Eurographics '93 State of the Art Reports, Barcelona / Spanien, September 1993. 1993.

BARAFF 1994

Baraff, D.: Fast Contact Force Computation for Non-penetrating Rigid Bodies. In: Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH), Orlando (FL) / USA, Juli 1994. ACM Press 1994, Band 28, S. 23-34.

BARAFF & WITKIN 1997

Baraff, D.; Witkin, A.: Physically Based Modeling: Principles and Practice. In: Course Notes of the International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH), Los Angeles (CA) / USA, August 1997. 1997.

10 Anhang

10.1 Formelverzeichnis

Zeichen	Erklärung
a	Punkt a
A	Polyeder A
b	Punkt b
B	Polyeder B
d	Distanz
F_A	Feature des Polyeders A
F_B	Feature des Polyeders B
m	Anzahl der statischen Geometrien
min	Minimumsfunktion
n	Anzahl der dynamischen Geometrien
N	Normalenvektor
$O(1)$	Landausymbol für konstante Komplexität
$O(n)$	Landausymbol für lineare Komplexität
$O(n^2)$	Landausymbol für quadratische Komplexität
P	Kontaktpunkt
r_{ij}	Konstanter Abstand aller Punktepaare i und j
V	Voronoi-Region
V_A	Geschwindigkeitsvektor des Polyeders A
x	Abszisse (horizontale Koordinatenachse)
y	Ordinate (senkrechte Koordinatenachse)
z	Applikate (räumliche Koordinatenachse)

10.2 Herstellerverzeichnis

GSL - Software-Bibliothek für mathematische Operationen

Free Software Foundation, Inc.,

51 Franklin St, Fifth Floor

Boston, MA 02110

USA

<<http://www.gnu.org/software/gsl/>>

IC:One - Projektionssystem

ICIDO GmbH

Jurastrasse 8

D - 70565 Stuttgart

<www.icido.de>

ODE - Software-Bibliothek für Physiksimulation

Open Dynamics Engine

<<http://www.ode.org>>

Rumblepad II Cordless - Interaktionsgeräte

LOGITECH GmbH

Streiflacher Strasse 7

D - 82110 GERMERING

<www.logitech.de>

S7, SIMBApro PCI - Steuerung, Schnittstellenkarten und Zubehör

Siemens AG

Wittelsbacherplatz 2

D - 80333 München

<<http://www.siemens.de>>

Trackingsystem und Zubehör

Advanced Realtime Tracking GmbH

Am Öferl 6

D - 82362 Weilheim

<www.ar-tracking.de>

VizUp – Software zur Polygonreduzierung

VizUp, Inc.

550 Burrard Street, Suite 215

Vancouver, BC V6C 2B5

Canada

<<http://www.vizup.net>>

WinMOD - Software für Verhaltenssimulation

Mewes & Partner GmbH

Neuendorfstrasse 15

D - 16761 Hennigsdorf

<<http://www.winmod.de>>

Xerces XML Parser - Software-Bibliothek für XML-Konfiguration

The Apache Software Foundation

1901 Munsey Drive

Forest Hill, MD 21050-2747

USA

<<http://xerces.apache.org/>>

iwb Forschungsberichte Band 1–121

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121 erschienen im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg und sind im Erscheinungsjahr und den folgenden drei Kalenderjahren erhältlich im Buchhandel oder durch Lange & Springer, Otto-Suhr-Allee 26–28, 10585 Berlin

- 1 *Streifinger, E.*
Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 *Fuchsberger, A.*
Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 *Maier, C.*
Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 *Summer, H.*
Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 *Simon, W.*
Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 *Büchs, S.*
Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, I.*
Schneiderodierte Oberflächen
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*
Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmaß, P.*
Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozessgestaltung
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 *Reithofer, N.*
Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 *Diess, H.*
Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 *Reinhart, G.*
Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 *Bürstner, H.*
Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 *Grahe, A.*
Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Fleise, K.*
Klippsmontage mit Industrieroboter
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 *Lutz, P.*
Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 *Klippel, C.*
Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 *Rascher, R.*
Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 *Heuser, H.-J.*
Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 *Kirchknopf, P.*
Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 *Sauerer, Ch.*
Beitrag für ein Zerspanprozessmodell Metallbandsägen
1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
- 22 *Karstadt, K.*
Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigungsautomatisierung
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
- 23 *Peiker, St.*
Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
- 24 *Schugmann, R.*
Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 *Wirtz, P.*
Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 *Eitelshäuser, P.*
Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung
1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7
- 27 *Prasch, J.*
Computerunterstützte Planung von chirurgischen Eingriffen in der Orthopädie
1990 · 113 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-52543-2

- 28 *Teich, K.*
Prozesskommunikation und Rechnerverbund in der
Produktion
1990 · 52 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-52764-8
- 29 *Pfrang, W.*
Rechnergestützte und graphische Planung manueller und
teilautomatisierter Arbeitsplätze
1990 · 59 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-52829-6
- 30 *Tauber, A.*
Modellbildung kinematischer Strukturen als Komponente
der Montageplanung
1990 · 93 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-52911-X
- 31 *Jäger, A.*
Systematische Planung komplexer Produktionssysteme
1991 · 75 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-53021-5
- 32 *Herberberger, H.*
Wissensbasierte Simulation komplexer
Produktionssysteme
1991 · 58 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-53326-5
- 33 *Tuzsak, H.*
Inspektion von Karosseriepfeilstellen auf Risse und
Einschnürungen mittels Methoden der Bildverarbeitung
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*
Planungsstrategien zur störungstechnischen
Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*
3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54076-8
- 36 *Näher, H.*
Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit
unabhängiger Lokomotions- und
Manipulationskomponente
1991 · 85 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-54216-7
- 37 *Kupec, Th.*
Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler
Fertigungsanlagen
1991 · 68 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-54260-4
- 38 *Maulhardt, U.*
Dynamisches Verhalten von Kreissägen
1991 · 109 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-54366-1
- 39 *Götz, R.*
Strukturierte Planung flexibel automatisierter
Montagesysteme für flächige Bauteile
1991 · 86 Abb. · 201 Seiten · ISBN 3-540-54401-1
- 40 *Koepfer, Th.*
3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung - ein Ansatz zur
Aufhebung der Arbeitsteilung
1991 · 74 Abb. · 126 Seiten · ISBN 3-540-54436-4
- 41 *Schmidt, M.*
Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter
Montagesysteme
1992 · 108 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55025-9
- 42 *Burger, C.*
Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden
Informationssystemen
1992 · 94 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-55187-5
- 43 *Hoßmann, J.*
Methodik zur Planung der automatischen Montage von
nicht formstabilen Bauteilen
1992 · 73 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55200-0
- 44 *Petry, M.*
Systematik zur Entwicklung eines modularen
Programmbaukastens für robotergeführte Klebprozesse
1992 · 106 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-55374-6
- 45 *Schönecker, W.*
Integrierte Diagnose in Produktionszellen
1992 · 87 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-55375-4
- 46 *Bick, W.*
Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter
Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen
Automatisierungsgrades
1992 · 70 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-55377-0
- 47 *Gebauer, L.*
Prozeforschungen zur automatisierten Montage von
optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schröder, N.*
Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung
von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *Wischner, J.*
Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage
von Schnellbefestigungselementen
1992 · 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9
- 50 *Garnich, F.*
Laserbearbeitung mit Robotern
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7
- 51 *Eubert, P.*
Digitale Zustandsregelung elektrischer
Vorschubantriebe
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2
- 52 *Gleas, W.*
Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0
- 53 *Helml, H.-J.*
Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose
1992 · 60 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-55750-4
- 54 *Lang, Ch.*
Wissensbasierte Unterstützung der
Verfügbarkeitsplanung
1992 · 75 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55751-2
- 55 *Schuster, G.*
Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel
automatisierte Montage
1992 · 67 Abb. · 135 Seiten · ISBN 3-540-55830-6
- 56 *Bamm, H.*
Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum
Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme
1992 · 87 Abb. · 195 Seiten · ISBN 3-540-55964-7
- 57 *Wendt, A.*
Qualitätssicherung in flexibel automatisierten
Montagesystemen
1992 · 74 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-56044-0
- 58 *Hansmaier, H.*
Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung
1993 · 67 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-56053-2
- 59 *Dilling, U.*
Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch
Wirtschaftssimulationen
1993 · 72 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56307-5

- 60 *Srohmeier, R.*
Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von
Zubringeinrichtungen
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56662-X
- 61 *Glas, J.*
Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer
Zellenrechnersoftware
1993 · 80 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56690-5
- 62 *Stetter, R.*
Rechnergestützte Simulationswerkzeuge zur
Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dirdorf, A.*
Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*
Simulation des Schwingungsverhaltens spanender
Werkzeugmaschinen
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*
Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-
Layoutoptimierung
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummersteiner, G.*
3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur
Planung manueller Montagesysteme
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57635-9
- 67 *Kugelmann, F.*
Einsatz nachgebiger Elemente zur wirtschaftlichen
Automatisierung von Produktionssystemen
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*
Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-
Laserverarbeitung mit integrierter Sensorik
1994 · 96 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*
Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Saeuber, M.*
Automatische Inbetriebnahme
geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*
Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von
Produktionssystemen
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*
Rechnergestütztes Projektinformations- und
Koordinationsystem für das Fertigungsvorfeld
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*
Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur
Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-58040-0
- 74 *Zeitmeyer, H.*
Verfahren zur simulationsgestützten
Produktionsregelung in der Einzel- und
Kleinserienproduktion
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindl, M.*
Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5
- 76 *Zipper, B.*
Das integrierte Betriebsmittelwesen - Baustein einer
flexiblen Fertigung
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3
- 77 *Raith, P.*
Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in
der Arbeitsvorbereitung
1995 · 51 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58223-1
- 78 *Engel, A.*
Strömungstechnische Optimierung von
Produktionssystemen durch Simulation
1994 · 69 Abb. · 160 Seiten · ISBN 3-540-58258-4
- 79 *Zäh, M. F.*
Dynamisches Prozessmodell Kreissägen
1995 · 95 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-58624-5
- 80 *Zwenzner, N.*
Technologisches Prozessmodell für die
Kugelschleifbearbeitung
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58634-2
- 81 *Romanow, P.*
Konstruktionsbegleitende Kalkulation von
Werkzeugmaschinen
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3
- 82 *Kaltenberg, R.*
Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen
Fertigungszellen
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1
- 83 *Huber, A.*
Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der
Hartbearbeitung
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*
Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in
flexiblen Produktionssystemen
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*
Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung
und logistisches Störungsmanagement
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-Grahe, V.*
Systematische Planung anwendungsspezifischer
Materialflussteuerungen
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rockland, M.*
Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in
Montageanlagen
1995 · 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6
- 88 *Linner, St.*
Konzept einer integrierten Produktentwicklung
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*
Integrierte Planung von Informationssystemen für
rechnergestützte Produktionssysteme
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deuschle, U.*
Prozessorientierte Organisation der Auftragsentwicklung
in mittelständischen Unternehmen
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*
Recyclingintegrierte Produktentwicklung
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*
Personalorientierte Montageplanung für komplexe und
variantenreiche Produkte
1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Alberzt, F.*
Dynamischer Entwurf von Werkzeugmaschinen -
Gestellstrukturen
1995 · 83 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*
Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit
3D-Konturfolgesensoren
1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*
Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme
1996 · 83 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*
Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in
Werkzeugmaschinen
1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*
Systematische Integration adaptiver
Produktionssysteme
1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*
Autonome Fertigungszellen - Gestaltung, Steuerung und
integrierte Störungsbehandlung
1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *Moctezuma de la Barrera, J.L.*
Ein durchgängiges System zur computer- und
rechnergestützten Chirurgie
1996 · 99 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-61145-2
- 100 *Geuer, A.*
Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der
Produktentwicklung
1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8
- 101 *Ebner, C.*
Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement
unter Verwendung von Felddaten
1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0
- 102 *Fischelsrieder, K.*
Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion
1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Köhler, R.*
Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen
variantenreichen Kleinprodukten
1997 · 62 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-62024-9
- 104 *Falkmann, Ch.*
Eine Methode für die integrierte rechnergestützte
Montageplanung
1997 · 71 Abb. · 163 Seiten · ISBN 3-540-62059-1
- 105 *Lehmann, H.*
Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch
Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystem
1997 · 96 Abb. · 191 Seiten · ISBN 3-540-62202-0
- 106 *Wagner, M.*
Steuerungintegrierte Fehlerbehandlung für
maschinennahe Abläufe
1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62656-5
- 107 *Lorenzen, J.*
Simulationsgestützte Kostenanalyse in
produktorientierten Fertigungsstrukturen
1997 · 63 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-62794-4
- 108 *Krönert, U.*
Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche
und Standardisierung
1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3
- 109 *Pfersdorf, I.*
Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur
Organisation des industriellen Service
1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3
- 110 *Kuba, R.*
Informations- und kommunikationstechnische
Integration von Menschen in der Produktion
1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0
- 111 *Kaiser, J.*
Vernetztes Gestalten von Produkt und
Produktionsprozess mit Produktmodellen
1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3
- 112 *Geyer, M.*
Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung
ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und
Arbeitssystemgestaltung
1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5
- 113 *Martin, C.*
Produktionsregelung - ein modularer, modellbasierter
Ansatz
1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6
- 114 *Löffler, Th.*
Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse
1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X
- 115 *Lindermaier, R.*
Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen
1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8
- 116 *Koehler, J.*
Prozessorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit
Großserienfertigung
1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*
Leitfaden zum automatisierten Auftrag von
hochviskosen Dichtmassen
1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1
- 118 *Deluschewitz, M.*
Integrierte Methodik und Werkzeuge zur
herstellungsorientierten Produktentwicklung
1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3
- 119 *Bauer, L.*
Strategien zur rechnergestützten Offline-
Programmierung von 3D-Laseranlagen
1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1
- 120 *Pfob, E.*
Modellgestützte Arbeitsplanung bei
Fertigungsmaschinen
1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*
Erfahrungsgeladene Planung von Laseranlagen
1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**
86 Seiten · ISBN 3-931327-76-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-77-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel**
130 Seiten · ISBN 3-931327-78-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**
120 Seiten · ISBN 3-931327-79-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 15 **Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung**
80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**
80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**
165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**
85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen - Plug & Play - Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**
105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**
95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**
95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**
195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**
152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag**
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar**
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätsteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen**
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobauteilen**
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1

- 47 Virtuelle Produktion · Prozeß- und Produktsimulation
131 Seiten · ISBN 3-89675-047-X
- 48 Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen
106 Seiten · ISBN 3-89675-048-8
- 49 Rapid Prototyping · Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung
150 Seiten · ISBN 3-89675-049-6
- 50 Rapid Manufacturing · Methoden für die reaktionsfähige Produktion
121 Seiten · ISBN 3-89675-050-X
- 51 Flexibles Kleben und Dichten · Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle
137 Seiten · ISBN 3-89675-051-8
- 52 Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien
124 Seiten · ISBN 3-89675-052-6
- 53 Mischverbindungen · Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung
107 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 54 Virtuelle Produktion · Integrierte Prozess- und Produktsimulation
133 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 55 e-Business in der Produktion · Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele
150 Seiten · ISBN 3-89675-055-0
- 56 Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug
150 Seiten · ISBN 3-89675-056-9
- 57 Virtuelle Produktion – Datenintegration und Benutzerschnittstellen
150 Seiten · ISBN 3-89675-057-7
- 58 Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien
169 Seiten · ISBN 3-89675-058-7
- 59 Automatisierte Mikromontage · Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik
114 Seiten · ISBN 3-89675-059-3
- 60 Mechatronische Produktionssysteme · Genauigkeit gezielt entwickeln
131 Seiten · ISBN 3-89675-060-7
- 61 Nicht erschienen – wird nicht erscheinen
- 62 Rapid Technologien · Anspruch – Realität – Technologien
100 Seiten · ISBN 3-89675-062-3
- 63 Fabrikplanung 2002 · Visionen – Umsetzung – Werkzeuge
124 Seiten · ISBN 3-89675-063-1
- 64 Mischverbindungen · Einsatz und Innovationspotenzial
143 Seiten · ISBN 3-89675-064-X
- 65 Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum · Erfahrungen Werkzeuge Visionen
136 Seiten · ISBN 3-89675-065-8
- 66 Mit Rapid Technologien zum Aufschwung · Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder
185 Seiten · ISBN 3-89675-066-6
- 67 Mechatronische Produktionssysteme · Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder
148 Seiten · ISBN 3-89675-067-4
- 68 Virtuelle Produktion · Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik
139 Seiten · ISBN 3-89675-068-2
- 69 Kooperationsmanagement in der Produktion · Visionen und Methoden zur Kooperation – Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation – Kooperation entlang der Wertschöpfungskette
134 Seiten · ISBN 3-98675-069-0
- 70 Mechatronik · Strukturndynamik von Werkzeugmaschinen
161 Seiten · ISBN 3-89675-070-4
- 71 Klebtechnik · Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten
ISBN 3-89675-071-2 · vergriffen
- 72 Fabrikplanung 2004 · Erfolgsfaktor im Wettbewerb · Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen
ISBN 3-89675-072-0 · vergriffen
- 73 Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion · Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen
179 Seiten · ISBN 3-89675-073-9
- 74 Virtuelle Produktionssystemplanung · Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik
133 Seiten · ISBN 3-89675-074-7
- 75 Nicht erschienen – wird nicht erscheinen
- 76 Berührungslose Handhabung · Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapselfel zur aseptischen Ampulle
95 Seiten · ISBN 3-89675-076-3
- 77 ERP-Systeme · Einführung in die betriebliche Praxis · Erfahrungen, Best Practices, Visionen
153 Seiten · ISBN 3-89675-077-7
- 78 Mechatronik · Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen
155 Seiten · ISBN 3-89675-078-X
- 79 Produktionsmanagement
267 Seiten · ISBN 3-89675-079-8
- 80 Rapid Manufacturing · Fertigungsverfahren für alle Ansprüche
154 Seiten · ISBN 3-89675-080-1
- 81 Rapid Manufacturing · Heutige Trends – Zukünftige Anwendungsfelder
172 Seiten · ISBN 3-89675-081-X
- 82 Produktionsmanagement · Herausforderung Variantenmanagement
100 Seiten · ISBN 3-89675-082-8
- 83 Mechatronik · Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen
160 Seiten · ISBN 3-89675-083-6
- 84 Virtuelle Inbetriebnahme · Von der Kür zur Pflicht?
104 Seiten · ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 3D-Erfahrungsforum · Innovation im Werkzeug- und Formenbau
375 Seiten · ISBN 978-3-89675-085-3
- 86 Rapid Manufacturing · Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung
162 Seiten · ISBN 978-3-89675-086-0
- 87 Produktionsmanagement · Schlank im Mittelstand
102 Seiten · ISBN 978-3-89675-087-7
- 88 Mechatronik · Vorsprung durch Simulation
134 Seiten · ISBN 978-3-89675-088-4
- 89 RFID in der Produktion · Wertschöpfung effizient gestalten
122 Seiten · ISBN 978-3-89675-089-1

Forschungsberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

Forschungsberichte iwb ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 122 Schneider, Burghard
Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
1999 · 183 Seiten · 98 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-559-5
- 123 Goldstein, Bernd
Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
1999 · 170 Seiten · 65 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-546-3
- 124 Mößner, Helmut E.
Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme
1999 · 164 Seiten · 67 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-585-4
- 125 Gräser, Ralf-Gunter
Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
1999 · 167 Seiten · 63 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-603-6
- 126 Trossin, Hans-Jürgen
Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
1999 · 162 Seiten · 75 Abb. · 11 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-614-1
- 127 Kugelmann, Doris
Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
1999 · 168 Seiten · 68 Abb. · 2 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-615-X
- 128 Diesch, Rolf
Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
1999 · 160 Seiten · 69 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-618-4
- 129 Lulay, Werner E.
Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen
1999 · 182 Seiten · 51 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-620-6
- 130 Murr, Otto
Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
1999 · 178 Seiten · 85 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-636-2
- 131 Macht, Michael
Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
1999 · 170 Seiten · 87 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-638-9
- 132 Mehler, Bruno H.
Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbänden
1999 · 152 Seiten · 44 Abb. · 27 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-645-1
- 133 Heitmann, Knut
Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle
1999 · 146 Seiten · 60 Abb. · 13 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-675-3
- 134 Blessing, Stefan
Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
1999 · 160 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-690-7
- 135 Abay, Can
Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik
2000 · 159 Seiten · 46 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-697-4

- 136 Brandner, Stefan
Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
 2000 · 172 Seiten · 61 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-715-6
- 137 Hirschberg, Arnd G.
Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
 2000 · 165 Seiten · 49 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-729-6
- 138 Reek, Alexandra
Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen
 2000 · 193 Seiten · 103 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-730-X
- 139 Sabbah, Khalid-Alexander
Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
 2000 · 148 Seiten · 75 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-739-3
- 140 Schliffenbacher, Klaus U.
Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
 2000 · 187 Seiten · 70 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-754-7
- 141 Sprengel, Andreas
Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
 2000 · 144 Seiten · 55 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-757-1
- 142 Gallasch, Andreas
Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
 2000 · 150 Seiten · 69 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-781-4
- 143 Cuiper, Ralf
Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
 2000 · 168 Seiten · 75 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-783-0
- 144 Schneider, Christian
Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion
 2000 · 180 Seiten · 66 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-789-X
- 145 Jonas, Christian
Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen
 2000 · 183 Seiten · 82 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-870-5
- 146 Willnecker, Ulrich
Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen
 2001 · 175 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-891-8
- 147 Lehner, Christof
Beschreibung des Nd:Yag-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss
 2001 · 205 Seiten · 94 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0004-X
- 148 Rick, Frank
Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen
 2001 · 145 Seiten · 57 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0008-2
- 149 Höhn, Michael
Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme
 2001 · 171 Seiten · 74 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0012-0
- 150 Böhl, Jörn
Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung
 2001 · 179 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0020-1
- 151 Bürgel, Robert
Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben
 2001 · 185 Seiten · 60 Abb. · 10 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0021-X
- 152 Stephan Dürrschmidt
Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion
 2001 · 914 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0023-6
- 153 Bernhard Eich
Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung
 2001 · 132 Seiten · 48 Abb. · 6 Tabellen · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0028-7

- 154 Wolfgang Rudorfer
Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke
 2001 · 207 Seiten · 89 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0037-6
- 155 Hans Meier
Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe
 2001 · 162 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0044-9
- 156 Gerhard Nowak
Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen
 2001 · 203 Seiten · 95 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0055-4
- 157 Martin Werner
Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen
 2001 · 191 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0058-9
- 158 Bernhard Lenz
Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
 2001 · 150 Seiten · 47 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0094-5
- 159 Stefan Grunwald
Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
 2002 · 206 Seiten · 80 Abb. · 25 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0095-3
- 160 Josef Gartner
Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
 2002 · 165 Seiten · 74 Abb. · 21 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0096-1
- 161 Wolfgang Zeller
Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
 2002 · 192 Seiten · 54 Abb. · 15 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0100-3
- 162 Michael Loferer
Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
 2002 · 178 Seiten · 80 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0118-6
- 163 Jörg Fahrer
Ganzeitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
 2002 · 176 Seiten · 69 Abb. · 13 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0124-0
- 164 Jürgen Höppner
Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
 2002 · 132 Seiten · 24 Abb. · 3 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0125-9
- 165 Hubert Götte
Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
 2002 · 258 Seiten · 123 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0126-7
- 166 Martin Weißberger
Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
 2002 · 210 Seiten · 86 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0138-0
- 167 Dirk Jacob
Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
 2002 · 200 Seiten · 82 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0142-9
- 168 Ulrich Roßgoderer
System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
 2002 · 175 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0154-2
- 169 Robert Klingel
Anziehverfahren für hochfeste Schraubverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
 2002 · 164 Seiten · 89 Abb. · 27 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0174-7
- 170 Paul Jens Peter Ross
Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
 2002 · 144 Seiten · 38 Abb. · 38 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0191-7
- 171 Stefan von Praun
Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
 2002 · 250 Seiten · 62 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0202-6

- 172 Florian von der Hagen
Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
 2002 · 220 Seiten · 104 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0208-5
- 173 Oliver Kramer
Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
 2002 · 212 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0211-5
- 174 Winfried Dohmen
Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
 2002 · 200 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0214-X
- 175 Oliver Anton
Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsender Montagesysteme
 2002 · 158 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0215-8
- 176 Welf Broser
Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
 2002 · 224 Seiten · 122 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0217-4
- 177 Frank Breitingner
Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
 2003 · 156 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0227-1
- 178 Johann von Pieverling
Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
 2003 · 163 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0230-1
- 179 Thomas Baudisch
Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
 2003 · 190 Seiten · 64 Abb. · 8 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0249-2
- 180 Heinrich Schieferstein
Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems
 2003 · 132 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0251-4
- 181 Joachim Berlak
Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen
 2003 · 244 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0258-1
- 182 Christian Meierlohr
Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
 2003 · 181 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0292-1
- 183 Volker Weber
Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken
 2004 · 210 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0330-8
- 184 Thomas Bongardt
Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
 2004 · 170 Seiten · 40 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0332-4
- 185 Tim Angerer
Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
 2004 · 180 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0336-7
- 186 Alexander Krüger
Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
 2004 · 197 Seiten · 83 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0371-5
- 187 Matthias Meindl
Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
 2005 · 222 Seiten · 97 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0465-7
- 188 Thomas Fusch
Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
 2005 · 190 Seiten · 99 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0467-3

- 189 Thomas Mosandl
Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
 2005 · 182 Seiten · 58 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0471-1
- 190 Christian Patron
Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
 2005 · 150 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0474-6
- 191 Robert Cisek
Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen
 2005 · 200 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0475-4
- 192 Florian Auer
Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
 2005 · 160 Seiten · 65 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0485-1
- 193 Carsten Selke
Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
 2005 · 137 Seiten · 53 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0495-9
- 194 Markus Seefried
Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern
 2005 · 216 Seiten · 82 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0503-3
- 195 Wolfgang Wagner
Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion
 2006 · 208 Seiten · 43 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0586-6
- 196 Christopher Ulrich
Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
 2006 · 178 Seiten · 74 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0590-4
- 197 Johann Härtl
Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
 2006 · 140 Seiten · 55 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0611-0
- 198 Bernd Hartmann
Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
 2006 · 208 Seiten · 105 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0615-3
- 199 Michael Schilp
Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
 2006 · 130 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0631-5
- 200 Florian Manfred Grätz
Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
 2006 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0643-9
- 201 Dieter Eireiner
Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
 2006 · 214 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0650-1
- 202 Gerhard Volkwein
Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
 2007 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 Sven Roeren
Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
 2007 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 Henning Rudolf
Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
 2007 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 Stella Clarke-Griebisch
Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
 2007 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 Michael Ehrenstraßeer
Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage
 2008 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0743-3

- 207 Rainer Schack
Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
 2008 · 248 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 Wolfgang Sudhoff
Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
 2008 · 276 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 Stefan Müller
Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
 2008 · 240 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 Ulrich Kohler
Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
 2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 Klaus Schlickerrieder
Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
 2008 · 204 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 Niklas Möller
Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme
 2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 Daniel Siedl
Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrbewegungen
 2008 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 Dirk Ansorge
Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen
 2008 · 146 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 Georg Wunsch
Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme
 2008 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 Thomas Oertli
Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben
 2008 · 194 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 Bernd Petzold
Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräsenste Mikromontage
 2008 · 234 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 Loucas Papadakis
Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains
 2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 Mathias Mörtl
Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung
 2008 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 Sebastian Weig
Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten
 2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0823-2
- 221 Tobias Hornfeck
Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie
 2008 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0826-3
- 222 Hans Egermeier
Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen
 2008 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 Matthäus Sigl
Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlsinterns
 2008 · 185 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0841-6

- 224 Mark Harfensteller
Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets
2009 · 196 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0849-8
- 225 Jochen Werner
Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie
2009 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 Florian Hagemann
Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen
2009 · 226 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0861-4
- 227 Haitham Rashidy
Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry
2009 · 212 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0862-1
- 228 Wolfgang Vogl
Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern
2009 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0869-0
- 229 Sonja Schedl
Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess
2009 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0874-4
- 230 Andreas Trautmann
Bifocal Hybrid Laser Welding – A Technology for Welding of Aluminium and Zinc-Coated Steels
2009 · 268 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0876-8
- 231 Patrick Neise
Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models
2009 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0878-2
- 232 Christian Habicht
Einsatz und Auslegung zeitfensterbasierter Planungssysteme in überbetrieblichen Wertschöpfungsketten
2009 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 Michael Spitzweg
Methode und Konzept für den Einsatz eines physikalischen Modells in der Entwicklung von Produktionsanlagen
2009 · 180 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0931-4