

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik
am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)

**Moderne Ordnungsreduktionsverfahren für die Simulation
des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen**

Thomas Günter Bonin

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. dr. ir. Daniel J. Rixen

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh

2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lohmann

Die Dissertation wurde am 01.12.2014 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 11.05.2015 angenommen.

Thomas Bonin

**Moderne Ordnungsreduktionsverfahren für die
Simulation des dynamischen Verhaltens
von Werkzeugmaschinen**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 306

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2015

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 Datenverarbeitungs-
anlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser
Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2015

ISBN 978-3-8316-4522-0

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

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	v
Verzeichnis der Formelzeichen	ix
Lateinische Buchstaben	ix
Griechische Buchstaben	xiii
Mathematische Ausdrücke und Zeichen	xiv
Glossar mathematischer Begriffe	xvi
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung	4
1.3 Zielsetzung	6
1.4 Aufbau der Arbeit	8
2 Entwicklung und Simulation von Werkzeugmaschinen	11
2.1 Inhalt des Kapitels	11
2.2 Strukturverhalten von Werkzeugmaschinen	11
2.2.1 Allgemeines	11
2.2.2 Werkzeugmaschinen als nachgiebige Systeme	12
2.2.3 Beanspruchungen der Maschinenstruktur	13
2.2.4 Betriebsverhalten des Gesamtsystems	14
2.3 Ablauf des Entwicklungsprozesses	16
2.4 Simulationsmethoden	19
2.4.1 Simulation in der Werkzeugmaschinenentwicklung	19
2.4.2 Numerische Simulationsverfahren	21
2.4.3 Strukturmechanische Berechnung	24
2.4.4 Berücksichtigung des Dämpfungsverhaltens	27
2.5 Simulation des mechatronischen Gesamtsystems	33
2.5.1 Überblick	33
2.5.2 Simulation von Gestellstrukturen	35
2.5.3 Simulation der Antriebskomponenten	36
2.5.4 Mechatronisches Gesamtmodell	37
2.5.5 Gekoppelte Struktur-Prozess-Simulation	38
2.6 Zusammenfassung	40
3 Verfahren zur Modellordnungsreduktion	41
3.1 Inhalt des Kapitels	41
3.2 Grundlagen der linearen Algebra und der Systemtheorie	41

3.2.1	Eigen- und Singulärwertzerlegung	41
3.2.2	Matrix-Zerlegungen	44
3.2.3	Projektionen	45
3.2.4	Darstellung von Systemen	47
3.2.5	Systemeigenschaften	49
3.2.6	Übertragungsverhalten	53
3.2.7	Momente einer Funktion	56
3.2.8	Normen	59
3.3	Allgemeines zur Modellordnungsreduktion	62
3.4	Betrachtete Verfahren	64
3.5	Reduktion durch Projektion	65
3.6	Modale Reduktion	67
3.6.1	Modales Abschneiden	67
3.6.2	Substrukturtechnik	69
3.7	Krylov-Unterraum-Verfahren	70
3.7.1	Definition von Krylov-Unterräumen	70
3.7.2	Approximation durch Momentenabgleich	71
3.7.3	Ein- und zweiseitige Krylov-Unterraum-Verfahren	75
3.7.4	Verwendung mehrerer Entwicklungspunkte	76
3.7.5	Bestimmung der Projektionsmatrizen	77
3.8	Modellordnungsreduktion in der Simulation von Werkzeugmaschinen	83
3.9	Zusammenfassung und Handlungsbedarf	87
4	Reduktion von Werkzeugmaschinenmodellen mit Krylov-Unterraum-Verfahren	89
4.1	Inhalt des Kapitels	89
4.2	Anforderungen an das Reduktionsverfahren	90
4.2.1	Systeme zweiter Ordnung und Matrixeigenschaften	90
4.2.2	Beschreibung der Anforderungen	92
4.3	Einflussfaktoren auf Krylov-Unterraum-Verfahren	94
4.3.1	Darstellung des Beispielsystems	94
4.3.2	Anzahl der Momente	97
4.3.3	Anwendung des ein- bzw. des zweiseitigen Krylov-Unterraum-Verfahrens	101
4.3.4	Mehrere Entwicklungspunkte und Wahl ihrer Lage	102
4.3.5	Zusammenfassung	109
4.4	Bestandteile des Reduktionsverfahrens	109
4.4.1	Allgemeines und Aufbau des Verfahrens	109
4.4.2	Reduktion von Systemen zweiter Ordnung	111
4.4.3	Berücksichtigung mehrerer Systemein- und -ausgänge ..	112
4.4.4	Verwendung mehrerer Entwicklungspunkte	113

4.4.5	Vereinfachung des Orthogonalisierungsschemas	114
4.4.6	Automatisierung des Reduktionsverfahrens.....	115
4.4.7	Zusammenfassung.....	118
4.5	Reduktionsverfahren für beliebig gedämpfte Modelle	119
4.5.1	Modellierung lokaler viskoser Dämpfungseffekte	119
4.5.2	Berücksichtigung von Strukturdämpfung	120
4.5.3	Reduktionsverfahren für beliebig gedämpfte Systeme auf Basis von Krylov-Unterräumen zweiter Ordnung ..	121
4.6	Zusammenfassung und Fazit	130
5	Integration des Reduktionsverfahrens in die entwicklungs- begleitende Simulation	133
5.1	Inhalt des Kapitels	133
5.2	Entwicklungsbegleitende Simulation	133
5.3	Anforderungen und Randbedingungen	136
5.4	Konzeption des Vorgehensmodells.....	137
5.4.1	Überblick	137
5.4.2	Modellierung der Maschinenstruktur	139
5.4.3	Erstellung des Systemmodells.....	144
5.4.4	Reduktion des Systemmodells	147
5.4.5	Überführung in ein Blockmodell.....	149
5.4.6	Berechnung der Simulationsaufgabe.....	150
5.5	Zusammenfassung und Fazit	153
6	Anwendung und Validierung des Reduktionsverfahrens	155
6.1	Inhalt des Kapitels und Vorgehen	155
6.2	Beschreibung der Beispielmodelle	156
6.2.1	Finite-Elemente-Modelle	156
6.2.2	Definition der Systemein- und -ausgänge	159
6.3	Anwendung des Reduktionsverfahrens	160
6.4	Analyse der Approximationsqualität	161
6.4.1	Allgemeines und Berechnung des Fehlers	161
6.4.2	Einfluss der Modelldimension	162
6.4.3	Einfluss des gewählten Frequenzbereiches.....	169
6.4.4	Reduzierung der Fehlerwahrscheinlichkeit durch Auto- matisierung	170
6.4.5	Berücksichtigung von Starrkörpermoden.....	171
6.4.6	Einfluss der Anzahl von Ein- und Ausgängen	174
6.4.7	Schlussfolgerungen zur Untersuchung der Approxima- tionsqualität	176
6.5	Untersuchung der Berechnungseffizienz	176
6.5.1	Allgemeines	176

6.5.2	Bestimmung der Berechnungszeiten	177
6.5.3	Vergleich der Berechnungszeiten	178
6.5.4	Zusammenfassung	181
6.6	Reduktion von Systemen mit nicht-proportionaler Dämpfungsma- trix	182
6.6.1	Allgemeines	182
6.6.2	Darstellung der Reduktionsergebnisse	183
6.6.3	Schlussfolgerung	186
6.7	Einsatz ordnungsreduzierter Modelle in der gekoppelten Si- mulation	187
6.8	Bewertung des Reduktionsverfahrens und Fazit	192
7	Zusammenfassung und Ausblick	195
Literaturverzeichnis		199
Anhang		215
A.1	Beanspruchungsarten mechanischer Strukturen	215
A.2	Parameter der Beispieldaten	216
A.3	Weiterführende Details zu den Bestandteilen des Reduk- tionsverfahrens	217
A.3.1	Block-Arnoldi-Algorithmus zur Berücksichtigung meh- rerer Ein- und Ausgänge	217
A.3.2	Rationale Interpolation für die Verwendung mehrerer Entwicklungspunkte	219
A.3.3	Globaler Arnoldi-Algorithmus zur Vereinfachung der Orthogonalisierung	220
A.3.4	Detailierung des VAIRGA-Verfahrens	222
A.4	Invertierung einer Matrix des $\mathbb{K}^{2 \times 2}$	224
A.5	Ergänzende Ergebnisse	225
A.5.1	Approximationsqualität der Nachgiebigkeitsfrequenz- gänge des Modells der abstrahierten WZM-Struktur ..	225
A.5.2	Approximationsqualität der Nachgiebigkeitsfrequenz- gänge des Portalfräsmaschinenmodells	227
A.5.3	Approximationsqualität bei Modellen mit Starrkörper- moden	229
A.5.4	Auswirkung der Dimensionsbegrenzung bei der Re- duktion des (9×9) -Systems	230
Verzeichnis betreuter Studienarbeiten		233

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Moderne Werkzeugmaschinen sind komplexe mechatronische Produktionssysteme, die den hohen Anforderungen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit, Genauigkeit und Zuverlässigkeit gerecht werden müssen. Wichtige Beurteilungskriterien für die Absolutgenauigkeit stellen die statische Steifigkeit und das thermische Verhalten der Maschine dar. Zur Verringerung der Haupt- und Nebenzeiten werden vom Kunden zudem eine hohe Führungsgenauigkeit bei maximalen Bahngeschwindigkeiten sowie die Prozessstabilität bei hohen Zeitspanvolumina gefordert. Hierfür spielt zusätzlich das dynamische Nachgiebigkeitsverhalten der Gestellstrukturen und Komponenten eine entscheidende Rolle, welches maßgeblich für auftretende Schwingungerscheinungen verantwortlich ist. Schwingungen beeinflussen nicht nur die Genauigkeit und die Oberflächenqualität der gefertigten Werkstücke, sondern auch den Werkzeugverschleiß und die erreichbare Zerspanungsleistung. Neben den Anforderungen an die Arbeitsgenauigkeit müssen die Hersteller auch wirtschaftliche Gesichtspunkte, wie bspw. die anfallenden Betriebskosten und das Verschleißverhalten sowie die Produktionskapazität berücksichtigen. Darüber hinaus erhält die Energie- und Ressourceneffizienz moderner Maschinen einen immer größeren Stellenwert. Diese und weitere Anforderungen an moderne Werkzeugmaschinen sind in Bild 1.1 dargestellt.

Durch den Einsatz moderner Simulationsmethoden ist es möglich, die Eigenschaften des Maschinenentwurfs frühzeitig im Produktentstehungsprozess anhand eines virtuellen Prototyps zu bewerten und zu optimieren. Dazu werden die physikalischen Gesetzmäßigkeiten durch mathematische Formulierungen beschrieben, die das Verhalten der Gestellstruktur oder des kompletten Maschinenkonzepts widerspiegeln. Da die Geometrie der Strukturbauenteile in der Regel zu komplex ist, um diese mit den Grundgleichungen der Elastomechanik zu erfassen, werden numerische Näherungsverfahren eingesetzt, welche die Struktur nicht kontinuierlich, sondern an diskreten Punkten beschreiben. Ein geeignetes und leistungsfähiges Verfahren hierfür ist die Finite-Elemente-Methode (FEM), die sich für die strukturmechanische Simulation der Gestellstrukturen von Werkzeugmaschinen eignet (MILBERG 1995, ALTINTAS ET AL. 2005, WECK & BRECHER 2006a).

Wie oben beschrieben, ist es wichtig, frühzeitig im Entwicklungsprozess die erreichbare Leistungsfähigkeit und Genauigkeit des Maschinenentwurfs abschätzen.



Bild 1.1: Anforderungen an moderne Werkzeugmaschinen (nach MILBERG 1995, WECK & BRECHER 2005, ABELE & REINHART 2011)

zen zu können. Hierfür stellt die gekoppelte Betrachtung des Finite-Elemente-(FE)-Modells der mechanischen Struktur mit der regelungstechnischen Simulation der elektrischen Antriebssysteme einen geeigneten Ansatz dar (BERKEMER 2003, OERTLI 2008). Die Erweiterung des gekoppelten Systems um das Modell eines Bearbeitungsprozesses vervollständigt den virtuellen Prototypen und ermöglicht die Simulation realer Betriebszustände im Zeitbereich. Auf diese Weise lassen sich die Wechselwirkungen zwischen der Maschinenstruktur und dem Zerspanungsprozess vorhersagen und Aussagen bezüglich der Prozessstabilität ableiten (WITT 2007, SCHWARZ 2010).

In der Methode der finiten Elemente wird das Bewegungsverhalten der Struktur als Folge der wirkenden Kräfte in Form eines diskreten Gleichungssystems beschrieben. Die Verformungen beschränken sich in der linearen FEM jedoch auf kleine Verschiebungen, wie sie bei elastischen Verformungen, z. B. Schwingungen, auftreten. Der Diskretisierungsgrad der Geometrie und die damit verbundene Anzahl finiter Elemente bestimmen dabei die Genauigkeit des Modells im Vergleich zur Realität. Dadurch werden auch die Größe der resultierenden Koeffizientenmatrizen und die Anzahl der Unbekannten des zu lösenden Gleichungssystems beeinflusst. Diese Anzahl ist im Allgemeinen so groß, dass eine numerische Lösung der Gleichungen extrem zeitaufwendig ist und das gesamte Simulationsverfahren in der industriellen Anwendung aus

Zeit- und Kostengründen nicht in Betracht gezogen wird. Besonders für die bereits genannte gekoppelte Simulation im Zeitbereich muss das hochdimensionale System von Bewegungsgleichungen auf geeignete Weise zu einem System reduziert werden, in welchem die auftretenden Matrizen eine deutlich kleinere Dimension haben. Dies erlaubt eine Lösung des reduzierten Systems mit stark verkürzter Rechenzeit.

Um das gewünschte niedrigdimensionale Verhaltensmodell der mechanischen Struktur zu erhalten, wird eine sog. Ordnungsreduktion¹ durchgeführt. Bislang kamen hierfür meist modale Reduktionsverfahren zum Einsatz (vgl. u. a. KEHL 2004, WITT 2007, OERTLI 2008, GEBHARD 2011). Diese beruhen auf der Lösung des Eigenwertproblems (EWP), wodurch die Eigenwerte bzw. Eigenfrequenzen (EF) und die dazugehörigen Eigenvektoren bzw. Eigenschwingungsformen – auch Moden genannt – bestimmt werden. Die modale Reduktion bedient sich der Vorstellung, die von äußeren Kräften hervorgerufenen Verformungen durch eine gewichtete Überlagerung der berechneten Schwingungsformen darzustellen. Dies wird auch als modale Superposition bezeichnet. Hierfür wird eine Transformation in die sog. modalen Koordinaten mit Hilfe der Modalmatrix durchgeführt, die sich aus den berechneten Spaltenvektoren der Eigenmoden zusammensetzt. Diese Modaltransformation lässt ein reduziertes System entstehen, dessen Dimension der Anzahl der berücksichtigten Eigenmoden entspricht.

Eine optimale Approximation des Originalsystems kann dabei lediglich durch die Berechnung sämtlicher Eigenwerte erreicht werden. Da dies zu sehr langen Berechnungszeiten führt, wird nur eine Auswahl von Moden für die Ordnungsreduktion verwendet. In seiner Grundform realisiert die modale Reduktion die Verkleinerung der Systemgröße, indem nicht dominante – meist hochfrequente – Bewegungsanteile der elastischen Struktur entfernt werden. Dies wird auch als modales Abschneiden oder *modal truncation* bezeichnet (GAWRONSKI 2004). Für die Modaltransformation werden somit nur die bis zu einer definierten Grenzfrequenz berechneten Schwingungsformen berücksichtigt. Als Ergebnis dieser Reduktion liegt ein niedrig dimensioniertes Verhaltensmodell der mechanischen Struktur vor, welches für die weiteren Analysen im Frequenz- sowie im Zeitbereich effizient berechenbar ist.

¹ In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe Ordnungsreduktion, Modellordnungsreduktion und Modellreduktion synonym verwendet. Allgemein wird unter diesen Verfahren die Vereinfachung von hochdimensionalen Gleichungssystemen zu niedrigdimensionalen Systemen verstanden, d. h. die Größe der Systemmatrizen wird hierbei reduziert. Dies ist nicht mit der Transformation eines Differenzialgleichungssystems 2. Ordnung in ein System 1. Ordnung zu verwechseln.

1.2 Problemstellung

Die modale Reduktion hat sich aufgrund ihrer einfachen physikalischen Vorstellung, das Systemverhalten durch die Überlagerung verschiedener Eigenmoden zu beschreiben, als Standardverfahren zur Reduktion linearer FEM-Modelle im strukturmechanischen Bereich etabliert. Die Darstellung der Strukturverformung durch überlagerte Eigenvektoren ist jedoch ein globaler Ansatz, der keine Information über die räumliche Verteilung der wirkenden Kräfte enthält. Darauf wird die Lastverteilung unzureichend approximiert (GÉRADIN & RIXEN 1997). Deshalb ist nach MEIROVITCH & KWAK (1990) eine relativ große Anzahl von Eigenmoden notwendig, um eine möglichst große Übereinstimmung mit dem Originalsystem zu erreichen. In der Literatur, z. B. in GASCH & KNOTHE (1989), sind Empfehlungen zu finden, alle Eigenmoden bis zum doppelten Wert der maximal zu erwartenden Erregerfrequenz zu verwenden.

Das Ziel der Modellreduktion, ein System geringer Dimension bei höchster Approximationsqualität zu erzeugen, kann demnach nur erreicht werden, wenn für die Transformation die für den Anwendungsfall relevanten Eigenmoden verwendet werden. Da bei Werkzeugmaschinen und anderen ähnlich komplexen Strukturen die einzelnen Eigenfrequenzen nahe zusammen liegen oder stark miteinander gekoppelt sein können (DOSSING 1989), wird die Auswahl besonders erschwert. Die größte Schwierigkeit der modalen Reduktion liegt somit in der Bestimmung der dominanten Eigenmoden (VARGA 1995, LEHNER 2007). Dabei besteht die Gefahr, dass eine oder mehrere relevante Moden nicht berücksichtigt werden. Dies kann sich in einem gekoppelten Modell, z. B. zur Reglerauslegung, negativ auswirken und die Ergebnisse verfälschen (RÖCK ET AL. 2009). Des Weiteren bieten die modalen Verfahren keine Möglichkeit, den aus der Reduktion resultierenden Approximationsfehler gegenüber dem Originalsystem im Voraus zu bestimmen (VARGA 1995). Der durch die modale Reduktion entstandene Fehler bleibt daher i. d. R. unbekannt. Hinzu kommt, dass für die Bestimmung der modalen Basis meist das ungedämpfte Modell herangezogen wird. Die Modellierung der Systemdämpfung geschieht anschließend mit Hilfe eines globalen Ansatzes am modal reduzierten System. Hierdurch besteht keine Möglichkeit, lokal auftretende Dämpfungseffekte im Modell zu berücksichtigen.

Die wichtigsten Eigenschaften der modalen Reduktion und deren Auswirkungen bezogen auf die Anwendung in der Simulation von Werkzeugmaschinen sind in Bild 1.2 nochmals zusammengefasst.

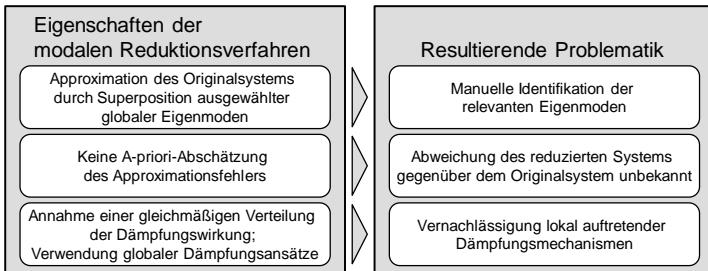


Bild 1.2: Wichtige Eigenschaften der modalen Reduktion und deren Auswirkungen auf die Simulation von Werkzeugmaschinen

Aus den genannten Gründen erfordert die Anwendung der modalen Reduktionsverfahren neben dem manuellen Aufwand für die Wahl der zu berücksichtigenden Eigenmoden die detaillierte Kenntnis des Verfahrens selbst und entsprechend umfassende Erfahrung. Weil genau diese Erfahrung im mittelständischen Werkzeugmaschinenbau häufig noch fehlt, scheitert dort meist die korrekte Anwendung. Zur Festigkeitsberechnung von Strukturkomponenten und zur Optimierung des Schwingungsverhaltens der Gesamtmaschine auf Basis der berechneten Eigenschwingungsformen wird die Finite-Elemente-Methode in der Entwicklungsphase von Werkzeugmaschinen zum Teil bereits herangezogen, die weitere Nutzung der Modellinformationen zur Reglerauslegung oder Untersuchung der Prozessstabilität mit Hilfe der gekoppelten Simulation bleibt aber häufig aus den geschilderten Gründen aus. Es bedarf daher geeigneter Verfahren und Vorgehensmethoden für die automatische Erstellung von niedrig dimensionierten Systemmodellen, die gleichzeitig höchsten Qualitätsansprüchen gerecht werden. Zudem sollen diese reduzierten Systeme für die integrierte Modellbildung der mechanischen Struktur, der Antriebe mit deren Regelung und des Bearbeitungsprozesses geeignet sein.

In den letzten Jahren wurden in den Disziplinen der Regelungstechnik und Kontrolltheorie sowie der Elektrotechnik moderne Methoden zur Ordnungsreduktion großer Differenzialgleichungssysteme erforscht (z. B. FELDMANN & FREUND 1995, GRIMME 1997, GUGERCIN 2003, ANTOULAS 2005, SALIMBAHRAMI 2005, FASSBENDER & BENNER 2006). Als wichtige Vertreter sind an dieser Stelle die Krylov-Unterraum-(KU)-basierten Verfahren zu nennen, die gegenüber den modalen Methoden einige entscheidende Vorteile aufweisen. Zum einen sind sie gut automatisierbar, da die Systembewertung auf einer mathematischen Grundlage und nicht durch den Benutzer geschieht. Zum zweiten bieten sie eine verallgemeinerte und damit verlässlichere Analyse des dominanten Systemverhaltens über einen wählbaren Frequenzbereich. Darüber

hinaus sind diese Verfahren durch den Einsatz sog. Fehlerschätzer in der Lage, vorgegebene maximal zulässige Abweichungen gegenüber dem Originalsystem einzuhalten. Des Weiteren berücksichtigen sie explizit die Ein- und Ausgänge des Systems, was insbesondere für den rechnergestützten Reglerentwurf von Vorteil ist. Nicht zuletzt ist zu erwähnen, dass die Krylov-Unterraum-Verfahren (KUV) auch lokale Dämpfungseffekte eines Systems berücksichtigen können, unabhängig davon, welcher Modellierungsansatz hierfür gewählt wurde.

Die Verwendung von Krylov-Unterraum-Verfahren basiert auf der Approximation der Übertragungsfunktion des Originalmodells mit Hilfe eines Momentenabgleichs der Potenzreihenentwicklung der Übertragungsfunktion. Dabei werden unter den Momenten einer Potenzreihe in der Mathematik die Summanden der Reihe verstanden. Als Momentenabgleich wird die Bestimmung eines reduzierten Systems bezeichnet, dessen erste Momente mit den ersten Momenten des Originalsystems übereinstimmen. Entspricht eine gewisse Anzahl dieser Momente des Originalsystems denen des reduzierten Systems, so kann die Übertragungsfunktion durch Interpolation approximiert werden, weshalb die Verfahren auch unter dem Begriff *Moment-Matching*-Methoden (engl. für Momentenabgleich) bekannt sind.

Aufgrund des Ursprungs der genannten Krylov-Unterraum-basierten Reduktionsverfahren wird deren Potenzial im strukturmechanischen Bereich noch eher selten genutzt und kommt insbesondere für die Simulation von Werkzeugmaschinen noch nicht zum Einsatz. Um einen wirtschaftlichen Einsatz in der industriellen Anwendung zu ermöglichen, müssen die Verfahren an die mathematischen Eigenschaften der aus der FEM resultierenden Gleichungssysteme angepasst werden. Zudem existiert bisher keine durchgängige Lösung für den Einsatz moderner Ordnungsreduktionsverfahren im Rahmen der Simulation von Werkzeugmaschinen. Das erwähnte Potenzial kann demnach nur durch das Aufzeigen und Umsetzen einer solchen Lösung ausgeschöpft werden.

1.3 Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein integriertes Verfahren für die effiziente Berechnung von Finite-Elemente-Modellen zur Simulation von Werkzeugmaschinen zu entwickeln. Hierfür sollen Krylov-Unterraum-basierte Ordnungsreduktionsverfahren zum Einsatz kommen und qualifiziert werden, um die hoch dimensionierten Gleichungssysteme in kleine, einfach zu berechnende Systemmodelle zu überführen. Dies setzt die Adaption und Bereitstellung der aus dem Fachbereich der Mathematik stammenden Reduktionsverfahren für die vorliegende ingenieurwissenschaftliche Anwendung einer strukturmechanischen

Simulation von Werkzeugmaschinen voraus. Das entstehende reduzierte Modell soll so beschaffen sein, dass es für die bekannten Ansätze der gekoppelten Simulation von Struktur- und Bearbeitungsprozessmodell bzw. Regelungstechnischem Modell geeignet ist und möglichst früh in den Entwicklungsphasen im Unternehmen eingesetzt werden kann.

Ausgehend von der übergeordneten Zielsetzung lassen sich folgende Teilziele dieser Arbeit ableiten:

- Das erste Teilziel besteht in der Analyse der Eigenschaften und der Anpassung der KU-basierten Reduktionsverfahren an die Anforderungen der aus der FEM resultierenden Gleichungssysteme. Dabei liegt ein besonderes Augenmerk auf der größtmöglichen Automatisierung, um eine weitestgehende Unabhängigkeit vom Anwender und von dessen bislang für die modale Reduktion nötigen Erfahrungsschatz zu erreichen. Zudem soll das Reduktionsverfahren die Dämpfungsmatrix, unabhängig von deren Modellierungsansatz, berücksichtigen können, um damit die realen in Werkzeugmaschinen auftretenden Dämpfungseffekte besser beherrschen zu können.
- Das zweite Ziel der Arbeit liegt in der Konzeption und Entwicklung einer Vorgehensmethodik für die effiziente numerische Simulation von Werkzeugmaschinen. Hierfür muss der gesamte Prozess von der Erstellung des FEM-Modells bis zur Berechnung und Auswertung der Ergebnisse auf das Reduktionsverfahren abgestimmt werden und ein durchgängiges Vorgehensmodell für die Integration der Verfahren entwickelt werden. Auf diese Weise soll die Durchführung der Simulation des mechatronischen Gesamtsystems inklusive der Betrachtung der Berücksichtigung von Regelungs- und Prozesseinflüssen erleichtert und effizienter gestaltet werden.
- In einem dritten Schritt soll das eingesetzte Reduktionsverfahren und das Vorgehensmodell ausführlich getestet und analysiert werden, um deren Eignung für den Einsatz in der Entwicklung von Werkzeugmaschinen beurteilen zu können. Diese Untersuchungen dienen der Prüfung, inwiefern sich die Potenziale der automatischen Reduktion in der strukturmechanischen Simulation von Werkzeugmaschinen nutzen lassen und ob das Verfahren die geforderte Approximationsqualität erfüllen kann.

Mit der vorliegenden Arbeit soll somit eine Schnittstelle zwischen der Mathematik und dem ingenieurwissenschaftlichen Anwendungsgebiet der Strukturdynamik von Werkzeugmaschinen entstehen. Auf diese Weise sollen die nötigen Grundlagen geschaffen und den Entwicklern die Anwendbarkeit der mathematischen Methoden ermöglicht werden.

1.4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau dieser Arbeit orientiert sich an den in Abschnitt 1.3 beschriebenen Teilzielen und ist daher in drei thematische Blöcke unterteilt (Bild 1.3). In Kapitel 2 werden zunächst die Grundlagen in Bezug auf die Entwicklung von Werkzeugmaschinen sowie der Einsatz von Simulationsmethoden als Instrument zur Unterstützung des Produktentwicklungsprozesses erläutert. Am Ende des Kapitels wird die Notwendigkeit einer Ordnungsreduktion dargestellt, sodass in Kapitel 3 der Stand der Forschung und Technik zu Modellordnungsreduktionsverfahren im Allgemeinen und zu deren Einsatz in der strukturdynamischen Simulation von Werkzeugmaschinen im Speziellen detailliert wird.

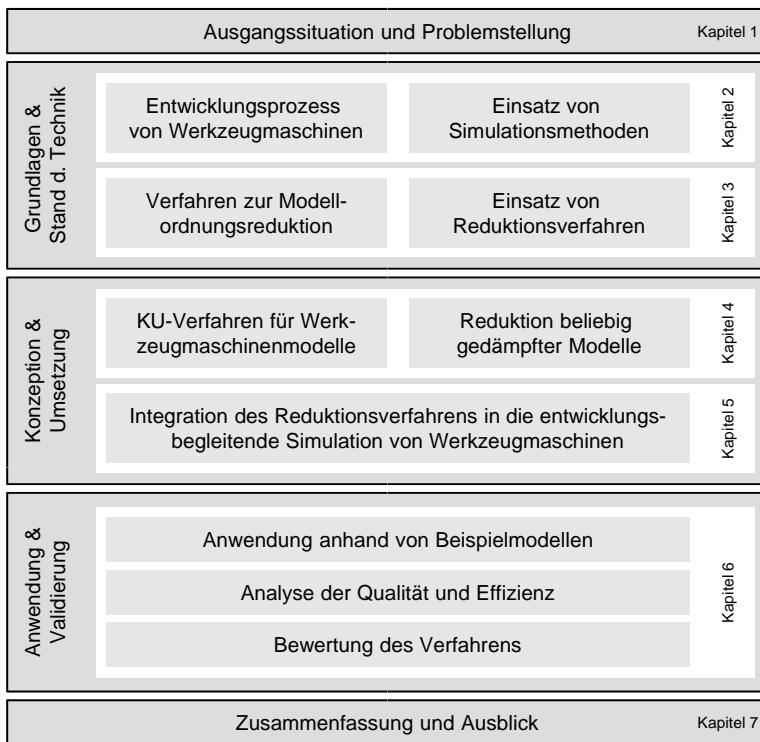


Bild 1.3: Aufbau der Arbeit

Im Hauptteil der Arbeit wird in Kapitel 4 ein automatisches Reduktionsverfahren, welches die Anforderungen von Seiten der FEM-Modelle von Werkzeugmaschinen erfüllt, beschrieben. Einen besonderen Neuheitsaspekt stellt dabei die Variante zur Reduktion von Modellen dar, welche eine nicht zur Masse und Steifigkeit des Systems proportionale Dämpfungsmaatrix besitzen. Damit wird es erstmals möglich, kleine und effizient zu berechnende Systemmodelle zu erstellen, welche lokal auftretende und entsprechend modellierte Dämpfungseffekte wiedergeben. In Kapitel 5 wird schließlich ein Vorgehensmodell für die Integration des Reduktionsverfahrens in den Entwicklungsprozess präsentiert, um zukünftig einen zielgerichteten Einsatz der Ordnungsreduktion zu gewährleisten. Dieser Teil stellt eine Vereinigung zwischen den mathematisch geprägten Reduktionsmethoden und der ingenieurwissenschaftlichen Anwendung dar, indem auf die Anforderungen der Simulation von Werkzeugmaschinen eingegangen wird und die Randbedingungen der Ordnungsreduktion berücksichtigt werden.

Schließlich wird in Kapitel 6 das entwickelte Vorgehen für die Anwendung des automatischen Krylov-Unterraum-basierten Reduktionsverfahrens auf verschiedene Beispielmodelle beschrieben. Die Ergebnisse werden hierbei nach unterschiedlichen Kriterien analysiert und ausgewertet. Den Abschluss bildet eine Bewertung des Verfahrens hinsichtlich dessen Eignung für die entwicklungsbegleitende Simulation von Werkzeugmaschinen. Die Arbeit endet mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf noch anstehende Forschungsaktivitäten.

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@utzverlag.de, www.utzverlag.de

- 1 Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung
115 Seiten · ISBN 3-931327-0-9
- 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 Produktionsysteme
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 Industrieramik 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 Prototypenserenien**
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 Produktionsysteme - Genauigkeit gezielt entwickeln**
131 Seiten - ISBN 3-89675-060-7
- 61 **Nicht erscheinen - 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 Produktionsysteme - Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvergehen, 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 3-89675-069-0
- 70 **Mechatronik - Strukturodynamik 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 Kapsel 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-Erfahrungsförum - 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
- 90 **Rapid Manufacturing und Digitale Fabrik - Durch Innovation schnell und flexibel am Markt**
100 Seiten - ISBN 978-3-89675-090-7
- 91 **Robotik in der Kleinserienproduktion - Die Zukunft der Automatisierungstechnik**
ISBN 978-3-89675-091-4
- 92 **Rapid Manufacturing - Ressourceneffizienz durch generative Fertigung im Werkzeug- und Formenbau**
ISBN 978-3-89675-092-1
- 93 **Handhabungstechnik - Innovative Greiftechnik für komplexe Handhabungsaufgaben**
136 Seiten - ISBN 978-3-89675-093-8
- 94 **iwb Seminarreihe 2009 Themengruppe Werkzeugmaschinen**
245 Seiten - ISBN 978-3-89675-094-5
- 95 **Zuführtechnik - Herausforderung der automatisierten Montage!**
111 Seiten - ISBN 978-3-89675-095-2
- 96 **Risikobewertung bei Entscheidungen im Produktionsumfeld - Seminar »Risiko und Chance«**
151 Seiten - ISBN 978-3-89675-096-9
- 97 **Seminar Rapid Manufacturing 2010 - Innovative Einsatzmöglichkeiten durch neue Werkstoffe bei Schichtbauverfahren**
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-097-6

- 98 Handhabungstechnik - Der Schlüssel für eine automatisierte Herstellung von Composite-Bauteilen
260 Seiten · ISBN 978-3-89675-098-3
- 99 Abschlussveranstaltung SimuSint 2010 - Modulares Simulationsystem für das Strahlschmelzen
270 Seiten · ISBN 978-3-89675-099-0
- 100 Additive Fertigung: Innovative Lösungen zur Steigerung der Bauteilqualität bei additiven Fertigungsverfahren
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-4114-7
- 101 Mechatronische Simulation in der industriellen Anwendung
91 Seiten · ISBN 978-3-8316-4149-9
- 102 Wissensmanagement in produzierenden Unternehmen
ISBN 978-3-8316-4169-7
- 103 Additive Fertigung: Bauteil- und Prozessauslegung für die wirtschaftliche Fertigung
ISBN 978-3-8316-4188-8
- 104 Ressourceneffizienz in der Lebensmittelkette
ISBN 978-3-8316-4192-5
- 105 Werkzeugmaschinen: Leichter schwer zerspanen! - Herausforderungen und Lösungen für die Zerspanung von Hochleistungswerkstoffen
120 Seiten · ISBN 978-3-8316-4217-5
- 106 Batterieproduktion - Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher
108 Seiten · ISBN 978-3-8316-4221-2
- 107 Batterieproduktion - Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-4249-6

Forschungsberichte IWB Band 1-121

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

Band 1 -121 sind im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg erschienen.

- 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, J.: 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 Barthelmeß, P.: Montagegerechte Konstruktionen 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 Groha, A.: Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme
1988 - 74 Abb. - 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 Riese, K.: Klipsmontage mit Industrierobotern
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 Heusler, H.-J.: Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme
1989 - 43 Abb. - 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 Kirchknopf, P.: Ermittlung modularer 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 Karstedt, K.: Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigung automatisierung
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 Wrba, P.: Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik
1990 - 125 Abb. - 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 Eibelshäuser, 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. - 148 Seiten - ISBN 3-540-53021-5
- 32 Hartberger, H.: Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme
1991 - 58 Abb. - 154 Seiten - ISBN 3-540-53326-5
- 33 Tuzcek, H.: Inspektion von Karosseriepreßteilen 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-Fertigungssräten
1991 - 60 Abb. - 166 Seiten - ISBN 3-540-54027-X
- 35 Moser, O.: 3D-Echtzeitkollisionschutz für Drehmaschinen
1991 - 66 Abb. - 177 Seiten - ISBN 3-540-54076-8
- 36 Naber, 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 3-540-54365-1
- 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 Hößmann, J.: Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen
1992 - 73 Abb. - 168 Seiten - ISBN 3-540-5520-0
- 44 Petry, M.: Systematik zur Entwicklung eines modularen Programmbaukastens für robotergeführte Klebefprozesse
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 3-540-55378-0
- 47 Gebauer, L.: Prozeßuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 - 84 Abb. - 150 Seiten - ISBN 3-540-55378-9
- 48 Schrüfer, N.: Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 - 103 Abb. - 161 Seiten - ISBN 3-540-55431-9
- 49 Wissbacher, J.: Methoden zur rationalen 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 Zustandesregelung elektrischer Vorschubantriebe
1992 - 89 Abb. - 159 Seiten - ISBN 3-540-4441-2
- 52 Glaas, W.: Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung
1992 - 67 Abb. - 140 Seiten - ISBN 3-540-55749-0
- 53 Helm, H.J.: Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose
1992 - 60 Abb. - 135 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 Bomm, 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 Strohmayer, R.: Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von Zubringereinrichtungen
1993 - 80 Abb. - 152 Seiten - ISBN 3-540-56652-X
- 61 Glas, J.: Standardisierte Aufbau anwendungsspezifischer Zellenrechnersoftware
1993 - 80 Abb. - 145 Seiten - ISBN 3.540-56890-5
- 62 Stetter, R.: Rechnergestützte Simulationswerkzeuge zur Effizienzsteigerung des Industrieroboterreinigungs
1994 - 91 Abb. - 146 Seiten - ISBN 3-540-56889-1
- 63 Dirndorfer, 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 Kummelsteiner, G.: 3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur Planung manueller Montagesysteme
1994 - 62 Abb. - 146 Seiten - ISBN 3-540-57535-9
- 67 Kugelman, F.: Einsatz nachgiebiger 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-Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik
1994 - 96 Abb. - 148 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 Seehuber, M.: Automatische Inbetriebnahme geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler
1994 - 72 Abb. - 155 Seiten - ISBN 3-540-57896-X
- 71 Armann, 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 3-540-580-0
- 74 Zettelmayer, H.: Verfahren zur simulationsgestützten Produktionseinstellung in der Einzel- und Kleinerienproduktion
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 Raitt, 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 Produktionsystemen 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 Zwaner, N.: Technologisches Prozeßmodell für die Kugelschleifbearbeitung
1995 - 65 Abb. - 150 Seiten - ISBN 3-540-58634-2
- 81 Romanov, P.: Konstruktionsbegleitende Kalkulation von Werkzeugmaschinen
1995 - 66 Abb. - 151 Seiten - ISBN 3-540-58771-3
- 82 Kahlenberg, 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 Produktionszellen
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-Groha, 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 Produktionsysteme
1995 - 62 Abb. - 150 Seiten - ISBN 3-540-59084-6
- 90 Deutsche, 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 Albertz, F.: Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen - Gestellstrukturen
1995 - 83 Abb. - 156 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. - 145 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 da 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 Pischelsrieder, 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 Feldmann, 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.: Steuerungsintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahre 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 Kröner, U.: Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitssuche 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 Arbeitsystemgestaltung
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 Lindermairer, 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 Dichtmasse
1999 - 76 Abb. - 162 Seiten - ISBN 3-540-65320-1
- 118 Debusch, M.: Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsoorientierten 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.:** Erfahrungsgleitete Planung von Laseranlagen
1999 - 63 Abb. - 156 Seiten - ISBN 3-540-65896-3

Forschungsberichte IWB ab Band 122

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@utzverlag.de, www.utzverlag.de

- 122 **Burghard Schneider:** Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
183 Seiten - ISBN 978-3-89675-559-9
- 123 **Bernd Goldstein:** Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
170 Seiten - ISBN 978-3-89675-546-9
- 124 **Helmut E. Mößner:** Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionsysteme
164 Seiten - ISBN 978-3-89675-585-8
- 125 **Ralf-Gunter Gräser:** Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
167 Seiten - ISBN 978-3-89675-603-9
- 126 **Hans-Jürgen Trossin:** Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
162 Seiten - ISBN 978-3-89675-614-5
- 127 **Doris Kugelman:** Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
168 Seiten - ISBN 978-3-89675-615-2
- 128 **Rolf Diesch:** Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
160 Seiten - ISBN 978-3-89675-618-3
- 129 **Werner E. Lulay:** Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Konstruktion teilautonomer Produktionsstrukturen
190 Seiten - ISBN 978-3-89675-620-6
- 130 **Otto Murr:** Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
178 Seiten - ISBN 978-3-89675-636-7
- 131 **Michael Macht:** Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
170 Seiten - ISBN 978-3-89675-638-1
- 132 **Bruno H. Mehler:** Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbünden
152 Seiten - ISBN 978-3-89675-645-9
- 133 **Knut Heitmann:** Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle
146 Seiten - ISBN 978-3-89675-675-6
- 134 **Stefan Blessing:** Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
160 Seiten - ISBN 978-3-89675-690-9
- 135 **Can Abay:** Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriereramik
159 Seiten - ISBN 978-3-89675-697-8
- 136 **Stefan Brandner:** Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
172 Seiten - ISBN 978-3-89675-715-9
- 137 **Arnd G. Hirschberg:** Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
165 Seiten - ISBN 978-3-89675-729-6
- 138 **Alexandra Reek:** Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen
193 Seiten - ISBN 978-3-89675-730-2
- 139 **Khalid-Alexander Sabbah:** Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
148 Seiten - ISBN 978-3-89675-739-5
- 140 **Klaus U. Schlippenbacher:** Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
187 Seiten - ISBN 978-3-89675-754-8
- 141 **Andreas Sprengel:** Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
144 Seiten - ISBN 978-3-89675-757-9
- 142 **Andreas Gallasch:** Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
150 Seiten - ISBN 978-3-89675-781-4
- 143 **Ralf Cuiper:** Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
174 Seiten - ISBN 978-3-89675-783-8
- 144 **Christian Schneider:** Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-789-0
- 145 **Christian Jonas:** Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen
183 Seiten - ISBN 978-3-89675-870-5
- 146 **Ulrich Willnecker:** Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen
194 Seiten - ISBN 978-3-89675-891-0
- 147 **Christof Lehrer:** Beschreibung des Nd:YAG-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss
205 Seiten - ISBN 978-3-8316-0004-5
- 148 **Frank Rick:** Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen
145 Seiten - ISBN 978-3-8316-0008-3
- 149 **Michael Höhn:** Sensorgeführt Montage hybrider Mikrosysteme
185 Seiten - ISBN 978-3-8316-0012-0

- 150 *Jörn Böhl*: Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-0020-5
- 151 *Robert Bürgel*: Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben
185 Seiten · ISBN 978-3-8316-0212-2
- 152 *Stephan Dürrschmidt*: Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-0023-6
- 153 *Bernhard Eich*: Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung
136 Seiten · ISBN 978-3-8316-0028-1
- 154 *Wolfgang Ruderer*: Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke
207 Seiten · ISBN 978-3-8316-0037-3
- 155 *Hans Meier*: Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe
166 Seiten · ISBN 978-3-8316-0044-1
- 156 *Gerhard Nowak*: Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0055-7
- 157 *Martin Werner*: Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen
191 Seiten · ISBN 978-3-8316-0058-8
- 158 *Bernhard Lenz*: Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlenschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
162 Seiten · ISBN 978-3-8316-0094-6
- 159 *Stefan Grunwald*: Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-0095-3
- 160 *Josef Gartner*: Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
165 Seiten · ISBN 978-3-8316-0096-0
- 161 *Wolfgang Zeller*: Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0100-4
- 162 *Michael Löfer*: Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
178 Seiten · ISBN 978-3-8316-0118-9
- 163 *Jörg Fähr*: Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0124-0
- 164 *Jürgen Höppner*: Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsschärfer Schallwandler
144 Seiten · ISBN 978-3-8316-0125-7
- 165 *Hubert Götte*: Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
258 Seiten · ISBN 978-3-8316-0126-4
- 166 *Martin Weißenberger*: Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-0138-7
- 167 *Dirk Jacob*: Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0142-4
- 168 *Ulrich Roßgoderer*: System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
175 Seiten · ISBN 978-3-8316-0154-7
- 169 *Robert Klingel*: Anzielverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
164 Seiten · ISBN 978-3-8316-0174-5
- 170 *Paul lens Peter Ross*: Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
144 Seiten · ISBN 978-3-8316-0191-2
- 171 *Stefan von Praun*: Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
252 Seiten · ISBN 978-3-8316-0202-5
- 172 *Florian von der Hagen*: Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-0208-7
- 173 *Oliver Kramer*: Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
212 Seiten · ISBN 978-3-8316-0211-7
- 174 *Winfried Dohmen*: Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0214-8
- 175 *Oliver Anton*: Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsentier Montagesysteme
158 Seiten · ISBN 978-3-8316-0215-5
- 176 *Wolfgang Broser*: Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-0217-9
- 177 *Frank Breitinger*: Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
156 Seiten · ISBN 978-3-8316-0227-8
- 178 *Johann von Pieverling*: Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
163 Seiten · ISBN 978-3-8316-0230-8
- 179 *Thomas Baudisch*: Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-0249-0
- 180 *Heinrich Schieferstein*: Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems
132 Seiten · ISBN 978-3-8316-0251-3
- 181 *Joachim Berkak*: Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungsystmen
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-0258-2
- 182 *Christian Meierhofer*: Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
181 Seiten · ISBN 978-3-8316-0292-6
- 183 *Volker Weber*: Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-0330-5
- 184 *Thomas Bongardt*: Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
170 Seiten · ISBN 978-3-8316-0332-9
- 185 *Tim Angerer*: Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0336-7
- 186 *Alexander Krüger*: Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
197 Seiten · ISBN 978-3-8316-0371-8
- 187 *Matthias Meinrl*: Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
236 Seiten · ISBN 978-3-8316-0465-4
- 188 *Thomas Fusch*: Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-0467-8
- 189 *Thomas Mosandl*: Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
182 Seiten · ISBN 978-3-8316-0471-5
- 190 *Christian Patron*: Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0474-6
- 191 *Robert Cisek*: Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionsystemen
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0475-3

- 192 *Florian Auer*: Methode zur Simulation des Laserstrahlenschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
160 Seiten · ISBN 978-3-8316-0485-2
- 193 *Carsten Selke*: Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
137 Seiten · ISBN 978-3-8316-0495-1
- 194 *Markus Seefried*: Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-0503-3
- 195 *Wolfgang Wagner*: Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostenenkung bei marktnaher Produktion
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0586-6
- 196 *Christopher Ulrich*: Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0590-3
- 197 *Johann Härtl*: Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
148 Seiten · ISBN 978-3-8316-0611-5
- 198 *Bernd Hartmann*: Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0615-3
- 199 *Michael Schilp*: Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0631-3
- 200 *Florian Manfred Grätz*: Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0643-6
- 201 *Dieter Eireiner*: Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
214 Seiten · ISBN 978-3-8316-0650-4
- 202 *Gerhard Volkwein*: Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 *Sven Rooren*: Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 *Henning Rudolf*: Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 *Stella Clarke-Griebisch*: Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 *Michael Ehrensträßer*: Sensorsreinsatz in der telepräsenten Mikromontage
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0743-3
- 207 *Rainer Schack*: Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 *Wolfgang Sudhoff*: Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
300 Seiten · ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 *Stefan Müller*: Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 *Ulrich Kohler*: Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
246 Seiten · ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 *Klaus Schlickerrieder*: Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 *Niklas Möller*: Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionsysteme
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 *Daniel Siedl*: Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrbewegungen
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 *Dirk Ansorge*: Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 *Georg Wünsch*: Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme
238 Seiten · ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 *Thomas Oertli*: Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 *Bernd Petzold*: Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräsente Mikromontage
234 Seiten · ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 *Locas Papadakis*: Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 *Mathias Mörtl*: Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung
228 Seiten · ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 *Sebastian Weig*: Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten
252 Seiten · ISBN 978-3-8316-0823-2
- 221 *Tobias Hornfeck*: Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0826-3
- 222 *Hans Egermeier*: Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 *Matthäus Sigl*: Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlsinterns
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0841-6
- 224 *Mark Hartensteller*: Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets
198 Seiten · ISBN 978-3-8316-0849-2
- 225 *Jochen Werner*: Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 *Florian Hagemann*: Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-0861-4
- 227 *Haitham Rashidy*: Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0862-1
- 228 *Wolfgang Vogl*: Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern
248 Seiten · ISBN 978-3-8316-0869-0
- 229 *Sonja Schedl*: Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0874-4
- 230 *Andreas Trautmann*: Bifocal Hybrid Laser Welding - A Technology for Welding of Aluminium and Zinc-Coated Steels
314 Seiten · ISBN 978-3-8316-0876-8
- 231 *Patrick Neise*: Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0878-2
- 232 *Christian Habicht*: Einsatz und Auslegung zeitfensterbasierter Planungssysteme in überbetrieblichen Wertschöpfungsketten
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 *Michael Spitzweg*: Methoden und Konzept für den Einsatz eines physikalischen Modells in der Entwicklung von Produktionsanlagen
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0931-4

- 234 *Ulrich Munzert*: Bahnplanungsalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0948-2
- 235 *Georg Völlner*: Röhrengeschweißen mit Schwerlast-Industrierobotern
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-0955-0
- 236 *Nils Müller*: Modell für die Beherrschung und Reduktion von Nachfrageschwankungen
286 Seiten - ISBN 978-3-8316-0992-5
- 237 *Franz Decker*: Unternehmensspezifische Strukturierung der Produktion als permanente Aufgabe
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0996-3
- 238 *Christian Lau*: Methodik für eine selbstoptimierende Produktionssteuerung
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-4012-6
- 239 *Christoph Rimpau*: Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte
268 Seiten - ISBN 978-3-8316-4015-7
- 240 *Michael Loy*: Modularer Vibrationswendelförderer zur flexiblen Teilezuführung
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-4027-0
- 241 *Andreas Ersch*: Konzept eines immersiven Assistenzsystems mit Augmented Reality zur Unterstützung manueller Aktivitäten in radioaktiven Produktionsumgebungen
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-4029-4
- 242 *Florian Schwarz*: Simulation der Wechselwirkungen zwischen Prozess und Struktur bei der Drehbearbeitung
282 Seiten - ISBN 978-3-8316-4030-0
- 243 *Martin Georg Prasch*: Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die varianterneiche Serienmontage
261 Seiten - ISBN 978-3-8316-4031-1
- 244 *Johannes Schipf*: Adaptive Montagesysteme für hybride Mikrosysteme unter Einsatz von Telepräsenz
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4063-8
- 245 *Stefan Lutzmann*: Beitrag zur Prozessbeherrschung des Elektronenstrahl schmelzens
242 Seiten - ISBN 978-3-8316-4070-6
- 246 *Gregor Branner*: Modellierung transienter Effekte in der Struktursimulation von Schichtbauverfahren
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-4071-3
- 247 *Josef Ludwig Zimmermann*: Eine Methodik zur Gestaltung berührungsloser arbeitender Handhabungssysteme
186 Seiten - ISBN 978-3-8316-4091-1
- 248 *Clemens Pörnbacher*: Modellgetriebene Entwicklung der Steuerungssoftware automatisierter Fertigungssysteme
280 Seiten - ISBN 978-3-8316-4108-6
- 249 *Alexander Lindworsky*: Teilautomatische Generierung von Simulationsmodellen für den entwicklungs begleitenden Steuerungstest
294 Seiten - ISBN 978-3-8316-4125-3
- 250 *Michael Mauderer*: Ein Beitrag zur Planung und Entwicklung von rekonfigurierbaren mechatronischen Systemen – am Beispiel von starren Fertigungssystemen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4126-0
- 251 *Roland Mork*: Qualitätsbewertung und -regelung für die Fertigung von Karosserie teilen in Presswerkten auf Basis Neuronaler Netze
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-4127-7
- 252 *Florian Reichl*: Methode zum Management der Kooperation von Fabrik- und Technologieplanung
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4128-4
- 253 *Paul Gebhard*: Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen bei Anwendung für das Röhrengeschweißen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4129-1
- 254 *Michael Heinz*: Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgrefsysteme für die Mikrosystemtechnik
302 Seiten - ISBN 978-3-8316-4147-5
- 255 *Pascal Krebs*: Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-4156-7
- 256 *Gerhard Straßer*: Greiftechnologie für die automatisierte Handhabung von technischen Textilien in der Faserverbundfertigung
290 Seiten - ISBN 978-3-8316-4161-1
- 257 *Frédéric-Felix Lacur*: Modellbildung für die physikbasierte Virtuelle Inbetriebnahme materialflussintensiver Produktionsanlagen
222 Seiten - ISBN 978-3-8316-4162-8
- 258 *Thomas Hensel*: Modellbasierter Entwicklungsprozess für Automatisierungslösungen
184 Seiten - ISBN 978-3-8316-4167-3
- 259 *Sherif Zaidan*: A Work-Piece Based Approach for Programming Cooperating Industrial Robots
212 Seiten - ISBN 978-3-8316-4175-8
- 260 *Hendrik Schellmann*: Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4189-5
- 261 *Marwan Radj*: Workspace scaling and haptic feedback for industrial telepresence and teleaction systems with heavy-duty teleoperators
172 Seiten - ISBN 978-3-8316-4195-6
- 262 *Markus Rührstorfer*: Röhrengeschweißen von Rohren
206 Seiten - ISBN 978-3-8316-4197-0
- 263 *Rüdiger Daub*: Erhöhung der Nahttiefe beim Laserstrahl-Wärmeleitungsschweißen von Stählen
182 Seiten - ISBN 978-3-8316-4199-4
- 264 *Michael Ott*: Multimaterialverarbeitung bei der additiven strahl- und pulverbettbasierte Fertigung
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4201-4
- 265 *Markus Ostgathe*: System zur produktbasierten Steuerung von Abläufen in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage
278 Seiten - ISBN 978-3-8316-4206-9
- 266 *Imke Nora Kellner*: Materialsysteme für das pulverbettbasierte 3D-Drucken
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4223-6
- 267 *Florian Oefele*: Remote-Laserstrahlschweißen mit brillanten Laserstrahlquellen
238 Seiten - ISBN 978-3-8316-4224-3
- 268 *Claudia Anna Ehinger*: Automatisierte Montage von Faserverbund-Vorformlingen
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-4233-5
- 269 *Tobias Zeilinger*: Laserbasierte Bauteilellagebestimmung bei der Montage optischer Mikrokomponenten
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4234-2
- 270 *Stefan Krug*: Automatische Konfiguration von Robotersystemen (Plug&Produce)
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4243-4
- 271 *Marc Lotz*: Erhöhung der Fertigungsgenauigkeit beim Schwinggrad-Reibschweißen durch modellbasierte Regelungsverfahren
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4245-8
- 272 *William Brice Tekkou Moutchivo*: A New Programming Approach for Robot-based Flexible Inspection systems
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4247-2
- 273 *Matthias Waibel*: Aktive Zusatzsysteme zur Schwingungsreduktion an Werkzeugmaschinen
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-4250-2
- 274 *Christian Eschey*: Maschinenspezifische Erhöhung der Prozessfähigkeit in der additiven Fertigung
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-4270-0
- 275 *Florian Aull*: Modell zur Ableitung effizienter Implementierungsstrategien für Lean-Production-Methoden
270 Seiten - ISBN 978-3-8316-4283-0
- 276 *Marcus Henauer*: Entwicklungsbegleitende Prognose der mechatronischen Eigenschaften von Werkzeugmaschinen
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-4306-6

- 277 *Alexander Götzfried*: Analyse und Vergleich fertigungstechnischer Prozessketten für Flugzeugtriebwerks-Rotoren
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4310-3
- 278 *Saskia Reinhardt*: Bewertung der Ressourceneffizienz in der Fertigung
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4317-2
- 279 *Fabian J. Meling*: Methodik für die Rekombination von Anlagentechnik
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-4319-6
- 280 *Jörg Egbers*: Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-4328-8
- 281 *Max von Bredow*: Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit und des Risikos unternehmensübergreifender Wertschöpfungskonfigurationen in der Automobilindustrie
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-4337-0
- 282 *Tobias Philipp*: RFID-gestützte Produktionssteuerungsverfahren für die Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundkunststoffen
142 Seiten · ISBN 978-3-8316-4346-2
- 283 *Stefan Rainer Johann Braunertheuer*: Untersuchungen zur Lasersicherheit für Materialbearbeitungsanwendungen mit brillanten Laserstrahlquellen
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4348-6
- 284 *Johannes Pohl*: Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen
202 Seiten · ISBN 978-3-8316-4358-5
- 285 *Matthey Wiesbeck*: Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Workerföhrung
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-4369-1
- 286 *Sonja Huber*: In-situ-Legierungsbestimmung beim Laserstrahlschweißen
206 Seiten · ISBN 978-3-8316-4370-7
- 287 *Robert Wiedemann*: Prozessmodell und Systemtechnik für das laserunterstützte Fräsen
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4384-4
- 288 *Thomas Irenhauser*: Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz
242 Seiten · ISBN 978-3-8316-4404-9
- 289 *Jens Hatwig*: Automatisierte Bahnanplanung für Industrieroboter und Scanneroptiken bei der Remote-Laserstrahlbearbeitung
196 Seiten · ISBN 978-3-8316-4405-6
- 290 *Matthias Baur*: Aktives Dämpfungssystem zur Ratterunterdrückung an spanenden Werkzeugmaschinen
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-4408-7
- 291 *Alexander Schöber*: Eine Methode zur Wärmequellenkalibrierung in der Schweißstruktursimulation
198 Seiten · ISBN 978-3-8316-4415-5
- 292 *Matthias Glonegger*: Berücksichtigung menschlicher Leistungsschwankungen bei der Planung von Variantenfiletmontagesystemen
214 Seiten · ISBN 978-3-8316-4419-3
- 293 *Markus Kahnert*: Scanstrategien zur verbesserten Prozessführung beim Elektronenstrahl schmelzen (EBM)
228 Seiten · ISBN 978-3-8316-4416-2
- 294 *Sebastian Schindler*: Strategische Planung von Technologieketten für die Produktion
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4444-6
- 295 *Tobias Föcker*: Methode zur rechnergestützten Prozessgestaltung des Schleifhärtens
128 Seiten · ISBN 978-3-8316-4448-3
- 296 *Rüdiger Spiller*: Einsatz und Planung von Roboterausstoss zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen in der Produktion
286 Seiten · ISBN 978-3-8316-4450-6
- 297 *Daniel Schmid*: Röhrebschweißen von Aluminiumlegierungen mit Stählen für die Automobilindustrie
300 Seiten · ISBN 978-3-8316-4452-0
- 298 *Florian Karl*: Bedarfsermittlung und Planung von Rekonfigurationen an Betriebsmitteln
222 Seiten · ISBN 978-3-8316-4458-2
- 299 *Philipp Ronald Engelhardt*: System für die RFID-gestützte situationsbasierte Produktionssteuerung in der auftragsbezogenen Fertigung
246 Seiten · ISBN 978-3-8316-4472-8
- 300 *Markus Graßl*: Bewertung der Energieflexibilität in der Produktion
202 Seiten · ISBN 978-3-8316-4476-6
- 301 *Thomas Kirchmeier*: Methode zur Anwendung der berührungslosen Handhabung mittels Ultraschall im automatisierten Montageprozess
196 Seiten · ISBN 978-3-8316-4478-0
- 302 *Oliver Rösch*: Steigerung der Arbeitsgenauigkeit bei der Fräsbearbeitung metallischer Werkstoffe mit Industrierobotern
214 Seiten · ISBN 978-3-8316-4486-5
- 303 *Christoph Sieben*: Entwicklung eines Prognosemodells zur prozessbegleitenden Beurteilung der Montagequalität von Kolbendichtungen
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-4510-7
- 304 *Philipp Alexander Schmidt*: Laserstrahlschweißen elektrischer Kontakte von Lithium-Ionen-Batterien in Elektro- und Hybridfahrzeugen
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-4519-0
- 305 *Yi Shen*: System für die Mensch-Roboter-Koexistenz in der Fließmontage
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-4520-6
- 306 *Thomas Bonin*: Moderne Ordnungsreduktionsverfahren für die Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen
274 Seiten · ISBN 978-3-8316-4522-0