

Hans Egermeier

**Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems
für die Montagesimulation
mit kraftrückkoppelnden Handschuhen**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 222

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2008

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 · 2008

ISBN 978-3-8316-0833-1

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

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh, dem Leiter des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik und Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, dem Leiter des Lehrstuhls für Montagesysteme und Betriebswissenschaften, für die stets wohlwollende Förderung und Unterstützung meiner wissenschaftlichen Arbeit und meines beruflichen Werdegangs.

Bei Herrn apl. Prof. Dr.-Ing. Dieter Weidlich, tätig an der Professur für Werkzeugmaschinenkonstruktion und Umformtechnik und Leiter des Virtual Reality Center Production Engineering der Technischen Universität Chemnitz, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferats bedanken.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Florian Holzapfel, dem Leiter des Lehrstuhls für Flugsystemdynamik, danke ich für die Übernahme des Vorsitzes.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des *iwb* sowie bei allen Studentinnen und Studenten, die mich bei der Erstellung der Arbeit unterstützt haben. Insbesondere möchte ich dabei Dr.-Ing. Bernd Petzold für die langjährige intensive Zusammenarbeit danken.

Mein besonderer Dank gilt zudem Herrn Dipl.-Inf. Michael Spitzweg, nicht nur als Mitglied des VR-Teams, sondern auch gemeinsam mit Herrn Dr.-Ing. Daniel Siedl und meinem Vater Gerhard Egermeier für die aufmerksame und kritische Durchsicht meiner Arbeit.

Bei meiner Freundin Susanne Platz möchte ich mich ebenfalls ganz besonders für ihr Verständnis und ihre liebevolle Unterstützung bedanken.

München, Juli 2008

Hans Egermeier

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Formelzeichen	IV
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XV
1 Einleitung	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Forschungsziel	4
1.3 Vorgehensweise und Gliederung	5
2 Stand der Technik	7
2.1 Inhalt des Kapitels	7
2.2 Montageplanung	7
2.2.1 Begriffsbestimmung	7
2.2.2 Planungsprozess	8
2.2.3 Manuelle Montage	11
2.2.4 Rechnerunterstützung	12
2.3 Virtual-Reality in der Montageplanung	16
2.3.1 Begriffsbestimmung	16
2.3.2 Funktionsprinzip	17
2.3.3 Interaktionsgeräte	18
2.3.4 Einordnung in den rechnergestützten Planungsprozess	24

2.3.5	Bestehende Ansätze	25
2.4	Defizite und Handlungsbedarf	29
3	Grundlagen	33
3.1	Inhalt des Kapitels	33
3.2	Benutzerinteraktion	33
3.2.1	Psychologische Aspekte	33
3.2.2	Physiologische Aspekte	36
3.2.3	Regelungstechnische Aspekte	40
3.2.4	Basisinteraktion	42
3.2.5	Direkte Handinteraktion	44
3.3	Handinteraktionsgeräte	49
3.3.1	Allgemeines	49
3.3.2	Sensorhandschuhe	49
3.3.3	Tragbare haptische Handinteraktionsgeräte	50
3.3.4	Bodengebundene haptische Handinteraktionsgeräte	52
3.4	Kraftberechnung	54
3.4.1	Allgemeines	54
3.4.2	Kollisionserkennung	55
3.4.3	Physik-basiertes Objektverhalten	60
3.4.4	Haptisches Rendering	63
4	Konzept	71
4.1	Inhalt des Kapitels	71
4.2	Anforderungen	71
4.2.1	Methodische Anforderungen	71
4.2.2	Technische Anforderungen	73
4.3	Prozessintegration	77
4.3.1	Makroebene	77

4.3.2	Mikroebene	79
4.4	Technische Konzeption	82
4.4.1	Allgemeines	82
4.4.2	Interaktionskonzept	82
4.4.3	Interaktionsgerät	83
4.4.4	Kollisionserkennung	84
4.4.5	Physiksimulation	85
4.4.6	Haptisches Rendering	88
5	Umsetzung von Ve²	91
5.1	Inhalt des Kapitels	91
5.2	Systemarchitektur	91
5.2.1	Allgemeines	91
5.2.2	Grundstruktur	91
5.2.3	Szenegraph	94
5.2.4	Handmodell	97
5.3	Systemabläufe	101
5.3.1	Systemkreislauf	101
5.3.2	Prozessstruktur	103
5.3.3	Handsteuerung	106
5.3.4	Anwendungssteuerung	108
5.4	Systemkonfigurationen	109
5.4.1	Allgemeines	109
5.4.2	Ve ² -Dateiformat	111
5.4.3	Geräteauswahl	112
5.4.4	Gesamtaufbau	114
6	Anwendung und Bewertung	117
6.1	Inhalt des Kapitels	117

6.2	Versuchsanwendungen	117
6.2.1	Testablauf	117
6.2.2	Testparameter	119
6.2.3	Greiftests	119
6.2.4	Fügetests	131
6.2.5	Montagebeispiel	137
6.3	Technische und wirtschaftliche Betrachtung	141
6.3.1	Allgemeines	141
6.3.2	Technische Betrachtung	142
6.3.3	Wirtschaftliche Betrachtung	145
7	Zusammenfassung und Ausblick	149
	Literaturverzeichnis	153
A	Anhang	181
A.1	Unified Modeling Language (UML)	181
A.1.1	Allgemeines	181
A.1.2	Statische Beschreibung	181
A.1.3	Dynamische Beschreibung	183
A.2	Berechnung der Durchdringungstiefe	183
A.3	Verwendete Software	184
A.4	Verwendete Hardware	186

Abbildungsverzeichnis

1.1	Kostenverantwortung und Kostenverursachung von Entwicklung, Fertigungs- und Montageplanung im Verhältnis zu der von Fertigung und Montage nach LOTTER (1992, S. 4)	2
1.2	Der Anwendungsbereich der manuellen Montage liegt bei reduzierten Losgrößen und reduzierten Investitionskosten bei einer gleichzeitig geforderten hohen Flexibilität (LOTTER ET AL. 1998, S. 3)	3
2.1	Einteilung der Grundbewegungen während der manuellen Montage nach dem Methods of Time Measurement (LOTTER ET AL. 1998, S. 14)	9
2.2	Prinzipielles Vorgehen bei der Montageplanung, zusammengefasst von GRUNWALD (2002, S. 33), basierend auf BULLINGER (1986), SCHUSTER (1992), LOTTER (1992) und KONOLD & REGER (1997)	10
2.3	Parallelisierung der Produktionsplanung und damit der Montageplanung mit der Produktentwicklung in den frühen Phasen des Produktlebenszyklus nach GRUNWALD (2002, S. 6)	11
2.4	Einsatz von virtuellen Prototypen zur Verkürzung der Produktentwicklung und Produktionsplanung bis zum Produktionsstart nach ZACHMANN (2000, S. 237)	13
2.5	Funktionsprinzip und Informationsfluss in einem VR-System	18
2.6	Verschiedene Bauformen von Head-Mounted-Displays (HMD)	20
2.7	Verschiedene Bauformen von großflächigen Projektionssystemen	21
2.8	Verschiedene Bauformen haptischer Geräte, mit denen durch Vibrationen oder Kraftrückkopplung haptische Signale ausgegeben werden können	22
2.9	Darstellungsformen der Informationen und Zuordnung der Planungsaufgaben und Planungswerkzeuge im Verlauf der Montageplanung, basierend auf PATRON (2005, S. 61)	24
3.1	Wahrnehmungs- Handlungs-Kreis von STADLER (1997)	35
3.2	Griffabelle nach CUTKOSKY & HOWE (1990), ergänzt um aufliegende Kontaktgriffe nach BULLINGER & SOLF (1979, S. 108)	38

3.3	Sensorische Substitution: Die Substitutions- und Augmentierungsdisplays sind aufsteigend nach der Dauer der Bearbeitungszeit einer Montageaufgabe angeordnet (DEML 2004, S. 85)	39
3.4	Informationsfluss in einem haptischen Regelkreis nach ADAMS ET AL. (1998) im Falle einer Positionsregelung oder mit einer mit Klammern gekennzeichneten Kraftregelung	40
3.5	Kraftverlauf und aufgewandte Arbeit während des Kontakts mit einer virtuellen Wand (modelliert durch eine virtuelle Feder)	42
3.6	Simulationskreislauf in der Physik-basierten IMS mit krafrückkoppelnden Eingabegeräten	54
3.7	Einteilung der geometrischen Modellbeschreibung, angelehnt an LIN & GOTTSCHALK (1998) mit dem Schwerpunkt auf Beschreibungsformen für VR-Anwendungen	56
3.8	Berechnung der Durchdringung \mathbf{p} zweier Polyeder A und B mittels der Minkowski-Differenz $A - B$ (VAN DEN BERGEN 2004, S. 33–38)	60
3.9	Kollision eines punktförmigen Avatars mit einem Objekt A und Aufteilung des Avatars in HIP und IHIP nach der Punkt-basierten God-Object-Methode von ZILLES & SALISBURY (1995)	65
3.10	Strahl-basiertes haptisches Rendering nach BASDOGAN ET AL. (1997) und HO ET AL. (1997); Verschiebung des IS an die Oberfläche der Objekte in den Teilbildern a bis c; im Falle des gleichzeitigen Kontakts mit mehreren Körpern, siehe Teilbild d	66
3.11	Unterschiedliche Ansätze zur Objekt-Objekt-Interaktion nach MCNEELY ET AL. (1999) a, HASEGAWA & SATO (2004) b und JOHNSON & WILLEMSEN (2003) c	67
3.12	Kraftkomponenten \mathbf{F}_n , \mathbf{F}_r und \mathbf{F}_{tex} der an den Benutzer zurückgekoppelten Kraft \mathbf{F}_u nach BASDOGAN & SRINIVASAN (2002)	68
4.1	Einsatzbereiche der IMS in der Montageplanung	78
4.2	Drei Schritte des Simulationsprozesses der IMS mit den jeweiligen Eingangsinformationen und Arbeitsergebnissen	80
4.3	Simulationsdurchführung der Grundbewegungen nach MTM in einer IMS	82
4.4	Approximation des Kontaktpunktes p_K und des normierten Vektors der Oberflächennormalen \mathbf{n}_K in Ve^2 durch den Vektor der Durchdringungstiefe \mathbf{p}_{AB} mit den Punkten p_{KA} und p_{KB}	86
4.5	Annäherung der Geometrie von Fingergliedern durch die Minkowski-Summe $A + B$ eines Geradenstücks A und einer Kugel B zu einem Zylinder mit abgerundeten Enden C	89

4.6	VC und haptisches Rendering in Ve^2 am Beispiel einer Fingerspitze	90
5.1	Grundlegende Softwarepakete und Klassen der Manager-basierten Struktur von Ve^2	92
5.2	Beispielhafter Szenegraph in Ve^2 mit einem Tisch, einem Zylinder und einer virtuellen Hand	95
5.3	Klassendiagramm der in Ve^2 implementierten Knoten	96
5.4	Komponenten eines Geometrieknotens <i>VeNodeGeom</i> in Ve^2	97
5.5	Software-Struktur des Handmodells mit den Handkomponenten und der Verbindung zu den Hardware-Gerätetreibern auf Klassenebene	98
5.6	Explosionsdarstellung der Struktur des Handmodells, basierend auf den polygonisierten visuellen Elementen, und als zusammengesetztes Kollisionsmodell, basierend auf den Minkowski-Summen <i>C</i> und <i>F</i>	99
5.7	Schematischer Vergleich eines Oberflächenkontaktes mit dem in Ve^2 implementierten virtuellen Modell eines distalen Fingerglieds	101
5.8	Übergeordneter Systemkreislauf mit der Simulationsreihenfolge in Abhängigkeit der Benutzerinteraktion	102
5.9	Schematisches Laufzeitverhalten der Hauptprozesse in Ve^2	103
5.10	Aktivitätendiagramm der Synchronisation der visuellen Transformationsmatrizen und der Transformationsmatrizen der Kollisions- und Simulationsobjekte in der Funktion <i>VeNodeGeom::update()</i>	105
5.11	Physikalisches Handmodell und die Kopplung der Fingerglieder mit dem kinematischen Skelett der Hand	107
5.12	Virtuelles 3-D-Menü von Ve^2	110
5.13	Gesamtübersicht über alle Konfigurationsmöglichkeiten von Ve^2	111
5.14	Logischer Hardwareaufbau von Ve^2	115
5.15	Realer Aufbau zur Anwendung des Gesamtsystems Ve^2 für die IMS	116
6.1	Ablauf der Anwendungstests von Ve^2	118
6.2	Bildfolge a bis e des Kontaktversuchs zur Überprüfung des in Ve^2 implementierten haptischen Renderings	121
6.3	Verlauf des Kontaktversuchs von jeweils einer Fingerspitze mit einem frei beweglichen Würfel mit den zeitlichen Zuordnungen a bis e zu der in Abbildung 6.2 gezeigten Bildfolge	122
6.4	Bildfolge a bis d des Verlaufs des Kontaktgriffs zur Manipulation einer Platte nur mit Hilfe der Fingerspitzen	123
6.5	Zeitlicher Verlauf des Kontaktgriffs zur Manipulation einer Platte nur mit Hilfe der Fingerspitzen	124

6.6	Bildfolge a bis e des Verlaufs eines zirkularen Präzisionsgriffs am Beispiel eines Würfels	126
6.7	Zeitlicher Verlauf eines Präzisionsgriffs am Beispiel eines Würfels	127
6.8	Objektmanipulation mit einem prismatischen und einem zirkularen Präzisionsgriff am Beispiel eines Zylinders und einer Kugel als Testkörper	128
6.9	Bildfolge a bis e des Verlaufs eines Kraftgriffs, in Kombination mit einem Präzisionsgriff zum gezielten Abstellen des Testobjekts am Beispiel eines Zylinders	129
6.10	Zeitlicher Verlauf eines Kraftgriffs, in Kombination mit einem Präzisionsgriff zum gezielten Abstellen des Testobjekts am Beispiel eines Zylinders	130
6.11	Ausführung von zirkularen Kraftgriffen anhand eines Würfels (a, b) und einer Kugel (c, d) als Testobjekte	131
6.12	Physik-basiertes interaktives Fügen und Trennen einer formschlüssigen Steckverbindung in Ve^2 , ohne logische Verbindungsregeln zu erfordern	132
6.13	Physik-basiertes interaktives Fügen, Testen und Trennen einer formschlüssigen Drehverbindung in Ve^2	134
6.14	Interaktives Fügen einer kraftschlüssigen nicht lösbaren Steckverbindung	136
6.15	Schematischer Vorgang beim Fügen nicht lösbarer Verbindungen	137
6.16	Einfaches Einlegebeispiel mit insgesamt vier dynamischen Objekten	138
6.17	Erfasste Messwerte bezüglich der Anzahl der auftretenden Kontakte und der Ausführungsgeschwindigkeit der zwei Hauptprozesse sowie der auftretenden Fingerkräfte von Daumen, Zeigefinger, Mittelfinger, Ringfinger und kleinem Finger während der Objektmanipulation im Rahmen eines einfachen Einlegebeispiels mit insgesamt vier dynamischen Objekten	140
6.18	Vorteile für Benutzer, die durch den Einsatz von VR gesehen werden. Das Ergebnis basiert auf der Befragung von 25 Anwendern durch KLOCKE & STRAUBE (2004)	142
A.1	Für Ve^2 verwendete Elemente eines UML-Klassendiagramms zur Darstellung von Softwarepaketen	181
A.2	Für Ve^2 verwendete Elemente eines UML-Klassendiagramms zur Darstellung der Beziehungen zwischen Klassen	182
A.3	Für Ve^2 verwendete Elemente eines UML-Aktivitätendiagramms	183

Tabellenverzeichnis

2.1	Zusammenfassung I des Standes der Technik. Einstufung der Bewertungskriterien: ● erfüllt, ● teilweise erfüllt, ○ nicht erfüllt, ∅ keine Angaben . . .	27
2.2	Zusammenfassung II des Standes der Technik. Einstufung der Bewertungskriterien: ● erfüllt, ● teilweise erfüllt, ○ nicht erfüllt, ∅ keine Angaben . . .	28
3.1	Aufstellung der Ansätze zur direkten Handinteraktion; Einstufung der Kriterien: ● erfüllt, ● teilweise erfüllt, ○ nicht erfüllt, ∅ keine Angaben	48
3.2	Eigenschaften der untersuchten Sensorhandschuhe	50
3.3	Eigenschaften tragbarer haptischer Handinteraktionsgeräte	51
3.4	Eigenschaften bodengebundener haptischer Handinteraktionsgeräte	53
6.1	Allgemeine Parameter für die Versuchsanwendungen und Systemtests	120
A.1	Für die Entwicklung von Ve ² verwendete Software	184
A.2	Für die Umsetzung von Ve ² verwendete und getestete Hardware	186

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Technische Innovationen werden allgemein als Schlüsselfaktoren für nachhaltiges wirtschaftliches Wachstum und gesellschaftlichen Wohlstand angesehen. Daraus ergibt sich als eine der zentralen Herausforderungen, der sich produzierende Unternehmen stellen müssen, die schnelle Umsetzung der technischen Innovationen in marktfähige Produkte.

Neben technischen Innovationen bietet ein hoher Grad an Produktindividualisierung den Unternehmen die Möglichkeit, sich von ihren Bewerbern erkennbar abzusetzen, um erfolgreich auf dem Markt zu bestehen (REINHART & ZÄH 2003). Damit einher geht die stetig steigende Funktionalität von Produkten wie z. B. bei modernen Autos, die neben den grundlegenden Funktionen der Fortbewegung und des Transports noch weitere Funktionen wie den aktiven Insassenschutz, die Navigationsunterstützung und Multimediafunktionalitäten bieten. So steigen marktbedingt die Komplexität der Produkte und damit eng verknüpft die Komplexität des gesamten Produktentstehungsprozesses (GRUNWALD 2002, S. 14–16).

Hinsichtlich der marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen agieren die heutigen Unternehmen in einem dynamischen und von hohem Konkurrenzdruck bestimmten globalisierten Umfeld. Flexibilität und Reaktionsfähigkeit sind gefordert, um den daraus erwachsenden Anforderungen begegnen zu können (REINHART 2000). So müssen produzierende Unternehmen nicht nur auf komplexe Produkte mit großer Spezifität, Variantenvielfalt und dadurch geringeren Losgrößen, sondern auch auf kurze Produktlebenszyklen eingestellt sein.

In diesem Zusammenhang kommt im Produktentstehungsprozess der Montage als einem entscheidenden Kostenfaktor eine wichtige Rolle zu. Abbildung 1.1 zeigt die prozentualen Anteile der Produktentstehungsphasen an Kostenverantwortung und Kostenverursachung: Während der Hauptteil der Kostenverantwortung in der Entwicklung und in der Fertigungs- und der Montageplanung zu finden ist, liegt ein Großteil der Kostenverursachung in der Montage. Diesen Zusammenhang bestätigen Analysen der Herstellkosten industriell gefertigter Produkte. Diese zeigen, dass der Kostenanteil der Montage, je nach

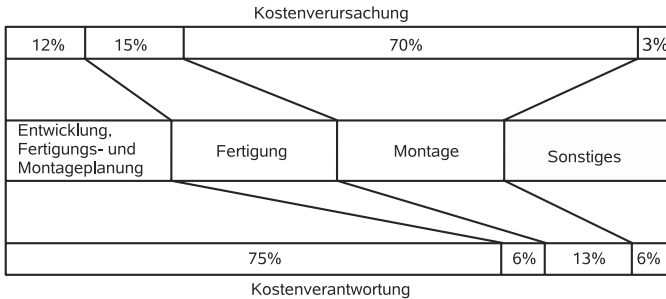


Abbildung 1.1: Kostenverantwortung und Kostenverursachung von Entwicklung, Fertigungs- und Montageplanung im Verhältnis zu der von Fertigung und Montage nach LOTTER (1992, S. 4)

Branche oder Produkt, zwischen 20 % und 70 % liegt (LOTTER 2004, S. 358). Kosteneinsparungen in der Montage tragen somit wesentlich zu einer kosteneffizienten Produktion bei.

Je nach Produkt und den daraus abgeleiteten Produktionserfordernissen kann dabei, wie in Abbildung 1.2 dargestellt, eine automatisierte oder eine manuelle Montage vorteilhafter sein. Bei hohen Stückzahlen und eingeschränkter Flexibilität können automatisierte Verfahren effizient eingesetzt werden. Steigt jedoch die geforderte Flexibilität in der Montage bei gleichzeitig geringen Stückzahlen, so wird vermehrt an die manuelle Montage zurückgegriffen. Um bei der manuellen Montage ein Optimum an Produktivität und Qualität zu erreichen, müssen allerdings die Betriebsmittel und die Prozesse entsprechend auf die Bedürfnisse der Mitarbeiter angepasst sein, da die individuelle Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter eine entscheidende Rolle spielt. Dementsprechend sind für einen schnellen Produktionsanlauf und für den reibungslosen Produktionsbetrieb eine detaillierte Planung und die simulative Absicherung manueller Montageprozesse sehr wichtige Schritte in der Produktionsplanung.

Darüber hinaus ist eine enge Verzahnung von Entwicklung und Produktionsplanung unbedingt erforderlich. Nur so sind bei einer steigenden Variantenzahl und Produktkomplexität die gleichzeitig geforderte Reduktion der Produktionskosten und die Verkürzung der Entwicklungszyklen möglich. Im Idealfall startet die Planung eines Montagesystems bereits in der Frühphase der Produktentwicklung. Sie wird parallel zur Spezifikation der Produkteigenschaften weitergeführt und angepasst (FRANKE 2003, S. 1). Die Planungs- und Entwicklungsprozesse können durch die heute schon eingesetzten entsprechenden Me-

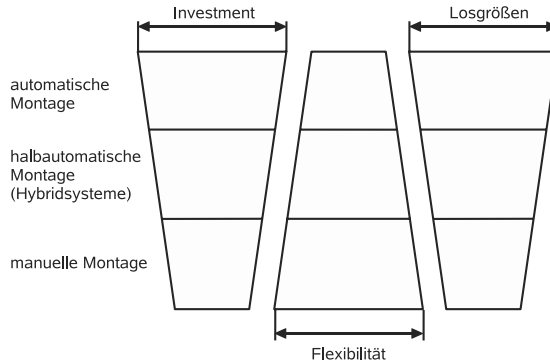


Abbildung 1.2: Der Anwendungsbereich der manuellen Montage liegt bei reduzierten Losgrößen und reduzierten Investitionskosten bei einer gleichzeitig geforderten hohen Flexibilität (LOTTER ET AL. 1998, S. 3)

thoden und die jeweils darauf abgestimmten Werkzeuge verbessert und verkürzt werden. Ganzheitliche Methodenansätze, die die Vernetzung in den Vordergrund rücken, sind Simultaneous Engineering oder Concurrent Engineering (EHRENSPIEL 2003, S. 202–211). Diese Methoden setzen alle eine starke Rechnerunterstützung und einen reibungslosen Datenaustausch der beteiligten Bearbeiter und Rechnerwerkzeuge voraus.

Im Besonderen ist in den letzten Jahren deutlich geworden, dass sich ohne 3-D-Modelle keine konkurrenzfähige Entwicklung mehr realisieren lässt und dass auch die rechnerische Abbildung der Produktion im Vorfeld der realen Produktion nicht außer Acht gelassen werden darf. Die Digitale Fabrik (BIERSCHENK ET AL. 2005, S. 8), die Virtuelle Fabrik (WESTKÄMPER 2003, S. 48) und die Virtuelle Produktion (REINHART ET AL. 1999) sind dabei die Überbegriffe, mit denen der rechnergestützte Produktionsprozess beschrieben wird.

Vor allem im Bereich der Produktions- und Montageplanung für automatisierte Prozesse wurden Rechnerwerkzeuge entwickelt, die eine Beschleunigung und qualitative Verbesserung der Planungsprozesse zur Folge haben. Allerdings steht dem gegenüber eine noch unbefriedigende Situation hinsichtlich Simulationswerkzeugen, die manuelle Montageprozesse abbilden können. So werden trotz der Fülle an potentiell zur Verfügung stehenden Rechnerwerkzeugen gemäß einer Studie im Umfeld von kleinen und mittelständischen Unternehmen (kmU) (BIERSCHENK ET AL. 2005, S. 34) nur 38 % der Arbeitsplätze mit Hilfe von digitalen Werkzeugen geplant. 62 % der befragten Unternehmen gaben an, ei-

ne detaillierte räumliche und ergonomische Ausgestaltung manueller Arbeitsschritte nur auf Expertenwissen basierend zu gestalten und diese im laufenden Betrieb nachträglich zu optimieren. Eine der Hauptursachen ist der hohe Aufwand. Er beträgt für eine 3-D-Simulation in der Produktionsplanung für die Modellerstellung und Validierung bis zu 80 % der Gesamtzeit. Nur 20 % verbleiben für Experimente und Analysen. Ein weiteres bedeutendes Problem ist die noch unzureichende Benutzerfreundlichkeit bestehender Rechnerwerkzeuge (WENDEROTH 2002), was den Bedienungsaufwand zusätzlich erhöht. Durch den mangelnden Einsatz an Simulationswerkzeugen ist eine systematische Produktgestaltung in Kombination mit der Produktionsplanung für eine manuellen Montage erschwert. Optimierungspotentiale werden nicht voll ausgeschöpft und unerkannte Probleme und Fehler in der Planungsphase müssen nachträglich mit einem erhöhten Aufwand in der realen Produktion nachgebessert werden.

Das im Folgenden beschriebene Forschungsziel dieser Arbeit leitet sich demnach aus dem Bedarf nach einem Rechnerwerkzeug für die simulative Absicherung manueller Montageprozesse ab, das den Modellerstellungs- und Vorbereitungsaufwand reduziert und dessen Anwendung intuitiv möglich ist. Virtual-Reality (VR) zur Visualisierung und zur Realisierung einer benutzerfreundlichen Interaktion, basierend auf einem physikalischen, realitätsnahen Verhalten der virtuellen Montageobjekte, bietet sich hierfür als grundlegende zu untersuchende Technologie für die Konzeption und Umsetzung eines derartigen Rechnerwerkzeugs an.

1.2 Forschungsziel

Die Zielsetzung dieser Arbeit kann in drei Teilgebiete untergliedert werden:

- Montagesimulation,
- Interaktion und Objektverhalten,
- Systemdesign und Implementierung.

Aus Sicht der *Montagesimulation* ist es das Ziel, ein effizientes Simulationswerkzeug zu entwickeln, mit dem manuelle Montageprozesse realitätsnah abgebildet und somit schnell und intuitiv verifiziert werden können. Damit soll einerseits die Möglichkeit geschaffen werden, die prinzipielle Montierbarkeit unabhängig von dem später in der Produktion eingesetzten manuellen oder automatisierten Montageverfahren zu überprüfen. Andererseits sollen die Erstellung und die Verifizierung der Montagereihenfolge sowie die Optimierung der manuellen wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Abläufe zur Analyse von manuellen Montagearbeitsplätzen interaktiv ermöglicht werden.

Hinsichtlich *Interaktion und Objektverhalten* ist das Forschungsziel, eine intuitive und realitätsnahe Interaktion mit den zu manipulierenden und zu montierenden Objekten zu ermöglichen. Dies setzt den Einsatz von geeigneten Eingabegeräten zur Feinmanipulation voraus. Die Hand des Simulationsanwenders soll komplett in der virtuellen Umgebung repräsentiert werden, um den vollen Nutzen aus der damit verbundenen motorischen Leistungsfähigkeit des Menschen zu ziehen. Die virtuelle Umgebung muss sich dabei qualitativ nach Physik-basierten Gesetzmäßigkeiten verhalten. Die Aussagekraft der Simulation wird dadurch vergrößert; dem planenden Ingenieur und den Fachkräften aus der Montagepraxis wird ein leichter Systemzugang ermöglicht. Dies beinhaltet die plausible Darstellung von Gravitation, Trägheit und Reibkontakten.

Aus der Perspektive *Systemdesign und Implementierung* ist das Entwicklungsziel die technische Umsetzung eines interaktiven Echtzeitsystems, genannt Virtual Engineering Environment (Ve²), das eine Physik-basierte Simulation und die haptische Interaktion ermöglicht. Die Machbarkeit mit den heute verfügbaren Hard- und Softwarekomponenten der Computertechnik steht im Mittelpunkt und soll anhand der durchgeführten Arbeiten hergeleitet und belegt werden.

1.3 Vorgehensweise und Gliederung

Um die gesetzten Ziele zu erreichen, gliedert sich die gewählte Vorgehensweise in folgende Kapitel:

Beginnend mit *Kapitel 2* werden die grundlegenden Begriffe der Montage und der Montageplanung geklärt und die Besonderheiten der manuellen Montage erläutert. Darüber hinaus werden in einem allgemeinen Kontext die Möglichkeiten vorgestellt, die Montageplanung durch Rechnerwerkzeuge zu unterstützen. Insbesondere werden der VR-Einsatz in der Montagesimulation und die Integration der Technologie in den übergeordneten Montageplanungsprozess beschrieben. Anhand der bekannten Ansätze werden die bestehenden Defizite des VR-Einsatzes herausgearbeitet und der Handlungsbedarf für die vorliegende Arbeit aufgezeigt.

Anschließend werden in *Kapitel 3* die grundlegenden Bestandteile eines VR-Systems und die zu berücksichtigenden Aspekte hinsichtlich der Benutzerinteraktion vorgestellt. Der spezielle Entwicklungsstand der entscheidenden Hardware- und Softwarekomponenten wird in diesem Zusammenhang aufgezeigt. Es werden Interaktionsstrategien, Handeingabegeräte und Algorithmen zur Kollisionserkennung und für die Physiksimulation vorgestellt und hinsichtlich des Einsatzes in einem System zur virtuellen Montagesimulation diskutiert und bewertet.

Aufbauend auf *Kapitel 2* und *3* werden in *Kapitel 4* die technischen und methodischen Anforderungen für das zu entwickelnde VR-System Ve^2 aufgestellt, um die Software- und Hardwareanforderungen festzulegen. Ein eigenes Konzept zur Integration des Rechnerwerkzeugs in den Montageplanungsprozess wird vorgestellt. Zudem werden die einzelnen technischen Konzepte beschrieben, mit denen die zentralen Funktionalitäten von Ve^2 realisiert werden.

In *Kapitel 5* werden die Struktur und die konkrete technische Umsetzung von Ve^2 erläutert. Dieses Kapitel untergliedert sich in folgende Schwerpunkte: Systemarchitektur, Systemabläufe und Systemkonfiguration. In dem Abschnitt *Systemarchitektur* wird die grundlegende Datenstruktur des Systems und seiner Komponenten erläutert. Der Abschnitt *Systemabläufe* beschreibt die zur Berechnung und Visualisierung voneinander abhängigen parallelen und hintereinander geschalteten Berechnungsprozesse. Abschließend wird die *Systemkonfiguration* dargestellt.

Kapitel 6 beinhaltet die Anwendung von Ve^2 , demonstriert anhand von unterschiedlichen Fallbeispielen zur Simulation von Handhabungs- und Fügevorgängen; technische und wirtschaftliche Betrachtungen für den heutigen und den zukünftigen praktischen Einsatz dieser Technologie werden angestellt.

In *Kapitel 7* werden die wichtigsten Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit zusammengefasst; Anknüpfungspunkte für eine nachhaltige Weiterentwicklung der Forschungsarbeiten sowie Perspektiven für einen Transfer der Technologie und der entwickelten Simulationsumgebung in die Industrie werden angesprochen.

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 *Barthelmeß, 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 *Groha, A.*
Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Riese, K.*
Klippsmontage 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 Montage-systeme
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 *Saverer, 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 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 *Wrtbe, 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 Karosserieteilen 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 3-540-54078-8
- 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 *Hoßmann, 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 Programmabkastens 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.*
Prozeßuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schräfer, N.*
Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *Wisbacher, 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 *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. · 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 *Strohmayr, R.*
**Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von
Zubringeinrichtungen**
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56652-X
- 61 *Glas, J.*
**Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer
Zellenrechnersoftware**
1993 · 80 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-56689-5
- 62 *Stetter, R.*
**Rechnergestützte Simulationwerkzeuge zur
Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes**
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 *Kugelmann, 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 *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
Koordinationssystem 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 *Zetlmayer, 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 *Rath, 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 *Zwanzer, 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 *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
Harthbearbeitung**
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-Groha, V.*
**Systematische Planung anwendungsspezifischer
Materialflußsteuerungen**
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rackland, 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 *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 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 *Pischelsrieder, K.*
Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion
1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Kähler, 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.*
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.*
Systemik 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.*
Präzeorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung
1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*
Leitfäden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen
1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1
- 118 *Debuschewitz, 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.*
Erfahrungsgleitetete 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 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-07-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ins Ziel**
130 Seiten · ISBN 3-931327-08-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**
120 Seiten · ISBN 3-931327-09-5
- 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 Dichtungs montage 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 - Produktivitätssteigerung 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 Mikrobautteilen**
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**
133 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 3-89675-069-0
- 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 Kapselfür 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 Mößmer, 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 telepräsenster 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 · 67 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 kompetenzorientierten 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-Griebsch
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 Ehrenstraßer
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 Schlickerieder
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 Wünsch
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