

Florian Hagemann

**Ein formflexibles Werkzeug
für das Rapid Tooling beim Spritzgießen**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 226

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 · 2009

ISBN 978-3-8316-0861-4

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

Vorwort

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

Herrn Professor Dr.-Ing. Michael Friedrich Zäh und Herrn Professor Dr.-Ing. Gunther Reinhart, den Leitern dieses Instituts, gilt mein besonderer Dank für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit.

Bei Herrn Professor Dr. med. Dr.-Ing. habil Erich Wintermantel, dem Leiter des Lehrstuhls für Medizintechnik der Technischen Universität München, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken.

Ebenso bedanke ich mich aufrichtig bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts sowie allen Studenten, die mich bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt haben.

Ein wesentlicher Dank gilt auch meiner Familie, der ich diese Arbeit widme. Dabei möchte ich besonders meinem Vater Herrn Detlef Hagemann und meiner Mutter Frau Renate Hagemann für die großzügige und verständnisvolle Unterstützung während meines gesamten akademischen Werdegangs danken.

Mein größter Dank gilt meiner Frau Alexandra. Ohne ihre Unterstützung, ihr unerschütterliches Vertrauen und ihre Geduld während der unzähligen Abende, Wochenenden, Urlaubs- und Feiertage, die die Fertigstellung meiner Dissertation in Anspruch genommen hat, wäre diese schlichtweg unmöglich gewesen.

Augsburg, im Oktober 2008

Florian Hagemann

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	XI
Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme	XIII
Verzeichnis der Formelzeichen.....	XIX
1 Einleitung	1
1.1 Situationsanalyse des Wirtschaftsstandorts Deutschland	1
1.2 Begriffsdefinition.....	4
1.3 Ausgangssituation.....	5
1.3.1 Technische Aspekte des konventionellen Werkzeug- und Formenbaus am Beispiel des Spritzgießens	5
1.3.2 Wirtschaftliche Aspekte des konventionellen Werkzeug- und Formenbaus am Beispiel des Spritzgießens	9
1.3.3 Fertigungstechnologien für das Rapid Tooling	10
1.3.4 Ansätze der Formflexibilität im Werkzeug- und Formenbau.....	11
1.4 Motivation und Zielsetzung	12
1.5 Gliederung der vorliegenden Arbeit	15
2 Stand der Technik.....	17
2.1 Rapid-Technologien im Bereich des Spritzgießens.....	17
2.1.1 Rapid Tooling mittels Metall verarbeitender generativer Fertigungsverfahren.....	21

2.1.1.1	Direkte Metall verarbeitende Verfahren	21
2.1.1.2	Indirekte Metall verarbeitende Verfahren.....	22
2.1.2	Rapid Tooling mittels konventioneller Fertigungsverfahren	24
2.1.2.1	High Speed Cutting (HSC)	24
2.1.2.2	Hochvorschubfräsen	25
2.1.3	Rapid Tooling mittels Verfahrenskombinationen.....	26
2.1.3.1	Controlled Metal Build Up	26
2.1.3.2	Innovaris Alchemy-Technologie	27
2.1.3.3	Metall-Spray-Technologie	27
2.1.3.4	Präzisions-Laserstrahlsintern	28
2.1.4	Rapid Tooling durch Modularisierung.....	29
2.1.4.1	Space Puzzle Molding	29
2.1.4.2	ecoMold	30
2.1.4.3	Lamellenwerkzeuge für die Prototypenherstellung	31
2.2	Ansätze zur Realisierung von Wiederverwendbarkeit durch Formflexibilität.....	32
2.2.1	Reconfigurable Tooling Systems (RTS)	32
2.2.2	Automatisiertes Modellieren großflächiger Sandgussformen.....	33
2.2.3	Sonstige modulbasierte, wiederverwendbare Werkzeugsysteme	35
3	Handlungsbedarf vor dem Hintergrund der bestehenden Defizite im Rapid Tooling	41
3.1	Zusammenfassung von Vor- und Nachteilen	41
3.1.1	Metall verarbeitende generative Fertigungsverfahren im Bereich des Rapid Tooling.....	41

3.1.2	Konventionelle Fertigungsverfahren im Bereich des Rapid Tooling.....	42
3.1.3	Rapid Tooling mittels Verfahrenskombinationen	43
3.1.4	Rapid Tooling durch Modularisierungsansätze	44
3.1.5	Wiederverwendbare Werkzeugsysteme	45
3.2	Identifizierter Handlungsbedarf.....	46
4	Methode zur Realisierung von Formflexibilität in der Werkzeugentwicklung.....	49
4.1	Motivation für die Erarbeitung einer allgemeingültigen Methode	49
4.2	Entwickelte und adaptierte Methodenbausteine	50
4.3	Methodenablauf und -anwendung der Phase 1 am Beispiel des Spritzgießens.....	53
4.3.1	Anforderungsmatrix.....	53
4.3.2	Korrelationsmatrix	55
4.3.3	Lösungstabelle	57
4.4	Methodenablauf und -anwendung der Phase 2 am Beispiel des Spritzgießens.....	58
4.4.1	Anforderungsermittlung	58
4.4.2	Problemanalyse und -strukturierung.....	60
4.4.3	Lösungssuche und -strukturierung.....	62
4.4.4	Lösungsauswahl und Konsistenzprüfung	63
5	Konzeption und Realisierung eines formflexiblen Spritzgießwerkzeugs.....	67
5.1	Konzept des formflexiblen Werkzeugs für das Spritzgießen	67
5.2	Realisierung des formflexiblen Spritzgießwerkzeugs	72

5.2.1	Werkzeugrahmen	72
5.2.2	Spannprinzip und -mechanismus	75
5.2.3	Integration von spritzgießrelevanten Funktionen	83
5.2.4	Reduktion der Nadelraстерung zur Optimierung des Spritzgießergebnisses.....	88
5.3	Rechnergestützte Positioniereinheit zur automatischen Nadeljustage	92
5.3.1	Software-Standardoptionen.....	94
5.3.2	Software-Zusatzoptionen	99
5.3.3	Hardware-Positioniereinheit	104
5.3.4	Hardware-Steuereinheit	106
6	Anwendungsszenarien und Erprobung des formflexiblen Spritzgießwerkzeugs.....	109
6.1	Notwendigkeit der experimentellen Verifikation.....	109
6.2	Definition von Anwendungsszenarien	110
6.2.1	Abfräsen von Nadelköpfen zur Reduktion der Nadelraстерung am Spritzling.....	110
6.2.2	Verwendung von formgebenden Zwischenschalen	111
6.2.3	Direkte Verwendung der Nadelköpfe zur Formgebung.....	112
6.3	Definition der Referenzgeometrie.....	113
6.3.1	Anforderungen an das Referenzbauteil aus Sicht des Spritzgießens.....	113
6.3.2	Konstruktive Ausgestaltung des Referenzbauteils.....	114
6.4	Experimentelle Verifikation.....	116
6.4.1	Versuchsplanung.....	116
6.4.2	Versuchsdurchführung und -auswertung	118

7	Wirtschaftliche Bewertung des formflexiblen Werkzeugs für das Spritzgießen.....	125
7.1	Vorgehensweise	125
7.2	Definition von Bewertungsszenarien.....	126
7.3	Systematische Ein- und Durchführung der Bewertungsmethode	128
7.3.1	Bewertungsklasse „Kosten“	130
7.3.2	Bewertungsklasse „Zeit“	133
7.3.3	Bewertungsklasse „Qualität“	135
7.3.4	Bewertungsklasse „Technologie“	136
7.4	Handlungsempfehlung auf Basis der wirtschaftlichen Bewertung.....	138
8	Schlussbetrachtung	147
8.1	Zusammenfassung	147
8.2	Ausblick	150
	Literaturverzeichnis.....	153
	Anhang	165

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Phasen eines Spritzgießzyklus am Beispiel einer Schneckenkolbenmaschine	6
Abbildung 2: Einfach-Spritzgießwerkzeug für einen Verschlussdeckel (GASTROW 1998)	8
Abbildung 3: Motivation und Zielsetzung	13
Abbildung 4: Struktur der vorliegenden Arbeit	16
Abbildung 5: Prozessablauf bei generativ arbeitenden Verfahren (in Anlehnung an MEINDL 2004)	18
Abbildung 6: Physikalische und chemische Vorgänge beim „Indirekten Metall-Laser-Sintern“ (BREITINGER 2003)	23
Abbildung 7: Wärmeausbreitung bei der konventionellen Zerspanung und beim Hochgeschwindigkeitsfräsen (PIEVERLING 2003)	24
Abbildung 8: Ergebnis und Teilschritte des ecoMold-Verfahrens (HENNIGS et al. 2004)	30
Abbildung 9: Prozessablauf bei der automatisierten Herstellung von Sandgussformen (SCHAAF 2005)	34
Abbildung 10: Flexibles Umformwerkzeug	35
Abbildung 11: Verfahrensablauf bei einem NPT-Werkzeug	37
Abbildung 12: Entwicklungsunterstützende Methode zur Realisierung von Formflexibilität	50
Abbildung 13: Auswahl und Gewichtung von Phase-1-Anforderungen beim Spritzgießen (Ausschnitt)	54
Abbildung 14: Ausschnitt der Bewertung von indirekt und direkt bewertbaren Anforderungen	56
Abbildung 15: Exemplarische Lösung der Korrelationsmatrix (Ausschnitt)	57
Abbildung 16: Problemstrukturierung zur Lösungsfindung (Ausschnitt)	61
Abbildung 17: Formgebungsprinzip des Werkzeugsystems	67

Abbildung 18: Prinzipieller Ablauf beim Einsatz des Werkzeugsystems.....	68
Abbildung 19: Struktur des Werkzeugrahmens	74
Abbildung 20: Nadelspannkonzep mit zwei Blenden zur Ansteuerung eine Nadelposition in der xy-Ebene.....	76
Abbildung 21: Mechanisches Verspannen des Nadelpakets durch Druckstücke	78
Abbildung 22: Spannprinzip des pneumatischen Muskels im Werkzeugsystem.....	80
Abbildung 23: Prinzipaufbau des pneumatischen Muskels (FESTO 2006).....	80
Abbildung 24: Realisierung des pneumatischen Spannsystems (für den Einstellvorgang)	82
Abbildung 25: Aufbau des Blendenadapters zur Integration von Auswerferhülsen.....	85
Abbildung 26: Auswerfersystem im formflexiblen Werkzeug	86
Abbildung 27: Mikroskop-Aufnahmen eines Bauteils, hergestellt durch einen Abgießversuch.....	89
Abbildung 28: Prozesskette und Schnittstellen beim Einstellvorgang der Nadeln	92
Abbildung 29: Graphische Benutzeroberfläche (GUI) der entwickelten Software	95
Abbildung 30: VRML-Darstellung des Berechnungsschritts „Laden“	96
Abbildung 31: Vorberechnung relevanter Koordinaten.....	97
Abbildung 32: Zusammenfassung des Ablaufs zur Generierung der virtuellen Werkzeugkavität	98
Abbildung 33: Ablauf zur automatischen Generierung von Zwischenschalen.....	102
Abbildung 34: Entwickelte Positioniereinheit	105
Abbildung 35: Integration eines Kühlkanals in eine Zwischenschale	111
Abbildung 36: Verwendetes Benchmarkbauteil mit stark vereinfachter Geometrie für die Qualifizierung des formflexiblen Werkzeugsystems	115
Abbildung 37: Haupteffektediagramm der Mittelwerte.....	121
Abbildung 38: Auf Zielgrößen bezogene Wirkungsfächendiagramme	122

Abbildung 39: Anwendung des formflexiblen Werkzeugs	124
Abbildung 40: Ablauf der wirtschaftlichen Bewertung.....	129
Abbildung 41: Vergleich der Gesamtkosten zwischen Szenarium 2 und Szenarium 7	143
Abbildung 42: Vergleich der Gesamtzeit zwischen Szenarium 2 und Szenarium 7	143
Abbildung 43: Ansatz zur Weiterentwicklung des formflexiblen Werkzeugkonzepts als 6-seitiges Werkzeug	151
Abbildung 44: Übersicht des Programms FlexEdit (Unified-Modelling-Language-Diagramm).....	166
Abbildung 45: Skalarprodukt zur Ermittlung des Winkels zwischen zwei Vektoren.....	171
Abbildung 46: Anpassung der Koordinaten an die Nadelraasterung	173

1 Einleitung

1.1 Situationsanalyse des Wirtschaftsstandorts Deutschland

Der Standort Deutschland befindet sich derzeit in einer immer stärker werdenden globalen Konkurrenzsituation. Gerade die vergleichsweise hohen Lohnkosten machen es deutschen Unternehmen schwer, sich gegenüber Schwellenländern, wie beispielsweise China, Russland, Indien oder auch Brasilien, zu behaupten. Globalisierung spiegelt in diesem Zusammenhang zunehmenden Wettbewerbsdruck wider, dem nahezu ausschließlich durch Innovation, Differenzierung, Rationalisierung und Konzentration auf Schwerpunkte begegnet werden kann (ZÄH et al. 2007a). Die Folge ist, dass das produzierende Gewerbe in Deutschland, also der sekundäre Sektor, als Arbeitsplatzgarant an Gewicht verliert, da meist nur durch Automatisierung lohnkostenarme, konkurrenzfähige Produkte „Made in Germany“ hergestellt werden können. Bisher konnte der damit verbundene Arbeitsplatzabbau durch den tertiären Sektor kompensiert werden. Deutschland kann jedoch nicht ausschließlich von Dienstleistungen leben. Der prozentuale Anteil des sekundären Bereichs an der Bruttowertschöpfung der Bundesrepublik Deutschland liegt bei ca. 24 % (BUNDESAGENTUR FÜR ARBEIT 2006). Anhand dieser Zahl wird deutlich, dass es massiven Handlungsbedarf gibt, den sekundären Bereich am Standort Deutschland in angemessener Höhe zu bewahren. Nur durch stetig vorangetriebene, marktgerechte Innovationen kann die Bundesrepublik Deutschland auch als Hochlohnland das produzierende Gewerbe erhalten und somit den Standort langfristig sichern.

Die Entwicklung technischer Neuerungen reicht zukünftig nicht mehr aus. Daher gilt es, globale Innovationen zu schaffen (nach SCHUMPETER 1952). Global bedeutet in diesem Kontext, Neuerungen in den Bereichen Technologie, Prozess, Organisation und Produkt umzusetzen und zu etablieren. Daher muss auch die darauf folgende Platzierung der Produkte am Markt gezielt gefördert und unterstützt werden. Es ist notwendig zu verhindern, dass Deutschland ein Innovationsgenerator ist, dessen Energie jedoch von anderen Ländern genutzt wird. Gleichzeitig sollte Deutschland lernen, dass eine Offenheit gegenüber Technikentwicklung und Technikwertigkeit essenziell ist, um unter globaler Konkurrenz eine Zukunft zu haben (REINHART & HAGEMANN 2007).

Bei Betrachtung der Sparte des Werkzeug- und Formenbaus, ein Beispiel für einen Vertreter des sekundären Sektors, stellt sich die Situation wie folgt dar: Insbesondere der

Verlust der Wettbewerbsfähigkeit in den letzten Jahren gegenüber Ländern aus der asiatisch-pazifischen Region und dem osteuropäischen Raum ist in erster Linie auf die hohen Kosten des Faktors Arbeit am Standort Deutschland zurückzuführen (BREUN 2006). Besonders im Werkzeug- und Formenbau müssen einerseits durchgängige Prozesse entwickelt werden, die eine lohnkostenarme Herstellung der Werkzeuge oder Formen ermöglichen. Andererseits führt die Internationalisierung des Wettbewerbs zu offenen Märkten und damit zu der Möglichkeit, den größer werdenden Exportmarkt zu nutzen. Der Umsatz des deutschen Werkzeug- und Formenbaus lag im Jahr 2006 bei 5,5 Mrd. €, was nicht zuletzt im steigenden Exportvolumen begründet ist (GRIMM 2006). China konnte dagegen schon im Jahr 2005 rund 6 Mrd. € im Werkzeug- und Formenbau erwirtschaften und ist mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 15 % ein ernst zu nehmender Konkurrent. Hinzu kommt, dass China im Bereich wenig komplexer, standardisierter Werkzeuge aktuell Kostenvorteile von bis zu 70 % gegenüber europäischen Konkurrenten hat (YANAN 2006). Auf Grund eines derzeitigen Mangels an qualifiziertem Personal schrumpft dieser Kostenvorteil bei Werkzeugen mit geforderten, hohen Standzeiten sowie hoher Präzision auf ein Minimum. Allerdings wird gerade China dieses Defizit in Zukunft schnell kompensieren können. Zum einen lässt China die eigenen Menschen verstärkt im Ausland ausbilden, zum anderen führen die hohen Importraten automatisch zu einem Know-how-Aufbau der chinesischen Unternehmen und damit zu einem Verlust des Wissensvorsprungs des exportierenden Landes.

Vor diesem Hintergrund wird das Dilemma des deutschen Werkzeug- und Formenbaus deutlich. Auf der einen Seite zeigen die Wachstumsraten auf Grund guter Exportzahlen, dass die Globalisierung den Standort Deutschland sichert, auf der anderen Seite verliert Deutschland infolge des Know-how-Verlusts jedoch einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil. Die weltweite Verfügbarkeit von Informationen und Technologien sowie globale Wertschöpfungsnetzwerke verstärken diesen Trend zusätzlich (WILDEMANN et al. 2007). Um den Werkzeug- und Formenbau am Standort Deutschland zu sichern bzw. auszubauen, ist es notwendig, durch globale Innovationen schneller Wissen zu generieren, als es wieder abfließen kann. Für den Werkzeug- und Formenbau heißt dies, Werkzeuge hoch automatisiert, flexibel und vor allem wiederverwendbar zu gestalten, um einen maximalen Kostenvorsprung gegenüber konventionell hergestellten Werkzeugen zu erzielen. Dabei ist eine Betrachtung der gesamten Prozesskette der Werkzeugherstellung unabdingbar. Die Kette beginnt bei der Konstruktion des Werkzeugs, der Ableitung der Werkzeugkavität, setzt sich bei der Generierung von Steuerbefehlen für die eigentliche Fertigung fort und endet mit der möglichst vollständig automatisierten Herstellung des Werkzeugs.

Die Entwicklung der Märkte zeigt, dass Produkte zunehmend kundenorientiert gestaltet und produziert werden (UHLMANN 2003), also ein Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt stattgefunden hat (HOFFMANN 2003). Diese Individualisierung bedingt die Entwicklung von flexiblen Fertigungsverfahren und Fertigungstechnologien, die eine wirtschaftliche Realisierung von Individualprodukten bis hin zu einer „Losgröße 1“ oder auch von Kleinstserien erlauben. Flexibilität bezeichnet in diesem Zusammenhang die Fähigkeit, mit einer Fertigungstechnologie schnellst möglich auf sich ändernde Randbedingungen reagieren zu können (HAGEMANN 2007). Für den Werkzeug- und Formenbau heißt das in erster Linie, geänderte Produktgeometrien auf Basis gewandelter Kundenwünsche zeitnah und aufwandsarm in der Werkzeuggeometrie zu realisieren, um eine Vielzahl an Varianten herstellbar zu machen und gegebenenfalls Änderungen ohne hohen Kosten- und Zeitaufwand zu realisieren.

Beim konventionellen Werkzeug- und Formenbau für das Spritzgießen kommt die lohnkostenintensive, von manueller Tätigkeit geprägte Fertigung der Werkzeuge hinzu. Im Fall ausreichend großer Stückzahlen und einer entsprechend langen Laufzeit des Produkts sind die hohen Werkzeugherstellkosten wirtschaftlich auf die Produkte umzulegen. Sobald aber einer oder gar beide der genannten Faktoren (Stückzahl oder Laufzeit) reduziert werden, besteht die Gefahr einer wirtschaftlich erschwerten bzw. unmöglichen Produktion. Gerade im Bereich der Kleinserienfertigung oder der Fertigung von Prototypen sind die Werkzeugkosten von hoher Relevanz für die späteren Produktkosten. Es bleibt festzuhalten, dass besonders die Herstellung von kleinen Stückzahlen oder Prototypen im Bereich des Spritzgießens sich auf Grund der hohen Werkzeugkosten an der Grenze der Rentabilität befinden. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sind die so genannten Rapid-Technologien eine technische Möglichkeit, um die Flexibilität und den Automatisierungsgrad im Prototypenwerkzeugbau zu erhöhen. In der Anwendung im Werkzeug- und Formenbau werden diese auch als Rapid-Tooling-Technologien bezeichnet. Allerdings gilt es in diesem Bereich, einen Innovationssprung durch eine automatisierte, an jegliche Geometrie anpassbare und damit wiederverwendbare Werkzeugkavität zu entwickeln. Ein solches formflexibles Werkzeug ist eine viel versprechende Möglichkeit, das Serienherstellungsverfahren Spritzgießen für kleine Losgrößen wirtschaftlich zu gestalten und die Vorteile des Spritzgießens (z. B. Materialvielfalt, Bauteilfestigkeit, geringe Herstellzeit, etc.) auch im Prototypenbereich nutzbar und sichtbar zu machen. Zusätzlich kann durch eine automatisierte und damit rationalisierte Herstellung der formgebenden Kavität dem Wettbewerbsvorteil geringer Lohnkosten seitens der Schwellenländer, wie beispielsweise China, entgegen getreten werden.

Die hier angesprochenen Themenschwerpunkte werden im Folgenden detailliert behandelt. Zum einen wird gezeigt, wie durch methodisches Vorgehen innovative Ideen generier- und ausbaubar sind, zum anderen werden die Potenziale dieser Ideen durch die konkrete Realisierung und Anwendung am Beispiel eines formflexiblen Werkzeugs für das Spritzgießen demonstriert. Zunächst erfolgt jedoch eine allgemeine Begriffsdefinition der in dieser Arbeit verwendeten Bezeichnungen.

1.2 Begriffsdefinition

Bei der Betrachtung einschlägiger Fachliteratur im Bereich der Rapid-Technologien fällt auf, dass eine einheitliche Verwendung von Begriffen noch nicht etabliert ist. Vielmehr verwendet jeder Autor seine eigene Nomenklatur. Diese Situation entstand vor allem auf Grund eines sich sehr schnell entwickelnden Marktes und einer Vielzahl von sehr ähnlichen Verfahren. Anlagenhersteller sind in diesem Umfeld bemüht, die eigenen Technologien ständig unter neuen Begriffen zu vermarkten, um sich so von der Konkurrenz zu unterscheiden.

Um für diese Arbeit ein einheitliches Verständnis der wesentlichen Begriffe zu schaffen, erfolgt nachstehend eine zusammenfassende Begriffsdefinition. Unter Rapid-Technologien werden in dieser Arbeit alle Fertigungsverfahren verstanden, die einer schnellen Herstellung von Objekten im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren gerecht werden. Hierbei wird der Begriff Objekt verwendet, da sowohl fertige Produkte, Normalien und Prototypen als auch Werkzeuge relevant bzw. adressiert sein können. Hinter dem Begriff der Rapid-Technologien verbergen sich demnach nicht nur die klassischen, schichtweise, also generativ, arbeitenden Verfahren, sondern auch Fertigungsverfahren und -ketten, die beispielsweise durch entsprechende Organisationsstrukturen oder innovative Technologieansätze, in Bezug auf kurze Durchlauf- und Produktionszeiten, optimiert sind (BREITINGER 2005).

Weitere Begrifflichkeiten, die auf der Unterscheidung des herzustellenden Gegenstands beruhen, entstehen durch die Einteilung der Rapid-Technologien in die Bereiche Rapid Prototyping, Rapid Tooling und Rapid Manufacturing. Beim Rapid Prototyping sind Prototypen der Fokus, beim Rapid Tooling Werkzeuge und beim Rapid Manufacturing gilt es, fertige Produkte oder Produktkomponenten herzustellen (ZÄH et al. 2006c)

Das im Folgenden vorgestellte Konzept eines formflexiblen Spritzgießwerkzeugs kann demnach zu den Rapid-Technologien gezählt werden und ist ein Vertreter des Rapid Tooling. Neben dieser Einordnung ist es für das weitere Verständnis notwendig, den

Begriff der Formflexibilität einzugrenzen bzw. dem Leser eine eindeutige Definition des damit auszudrückenden Inhalts anzubieten.

Formflexibilität ist ein Kunstwort und setzt sich aus den Begriffen „Form“ und „Flexibilität“ zusammen. Unter „Flexibilität“ wird im allgemeinen Sprachgebrauch eine biegsame bzw. verformbare Eigenschaft verstanden (DUDENREDAKTION 2004). In der Technik ist dieser Begriff allerdings nicht exakt definiert, da eine bestimmte Eigenschaft nicht eindeutig mit diesem beschrieben werden kann. Vielmehr ist eine Kombination aus mehreren Eigenschaften, wie z. B. Elastizitätsmodul, Festigkeit oder die Geometrie des Körpers gemeint, wenn von „Flexibilität“ aus technologischer Sicht gesprochen wird. Genau diese, fehlende Eindeutigkeit des Begriffs bzw. die Tatsache, dass eine Vielzahl von Eigenschaften im Begriff der „Flexibilität“ vereint sind, trifft den Kern des im Folgenden vorgestellten Ansatzes und rechtfertigt die Verwendung dieses Begriffes. In Verbindung mit dem Wort „Form“, was die äußere Gestalt eines Körpers definiert (DUDENREDAKTION 2004), entsteht so ein Begriff, der ein Objekt beschreibt, das eine verformbare, an die jeweilige Situation anpassbare und auch wieder änderbare äußere oder innere Gestalt aufweist.

1.3 Ausgangssituation

1.3.1 Technische Aspekte des konventionellen Werkzeug- und Formenbaus am Beispiel des Spritzgießens

Die Spritzgießtechnik ist eine Herstellungsvariante für Kunststoffbauteile, die nach DIN 8580 zu den urformenden Fertigungsverfahren gezählt werden kann. Darunter wird das Fertigen eines festen Körpers aus einem so genannten formlosen Stoff mit anschließendem Schaffen des Zusammenhaltes zur Geometriegestaltung verstanden. Der formlose Stoff ist im Fall des hier betrachteten Kunststoffspritzgießens eine Kunststoffschmelze, die erhitzt und unter hohem Druck von einer Spritzgießmaschine in ein Werkzeug gepresst wird. Die Kombination von Werkzeug und Spritzgießmaschine kann als Formgebungseinheit bezeichnet werden, über die direkt gebrauchsfertige Formteile (Spritzlinge) ohne zusätzliche Nacharbeit hergestellt werden können (WINTERMANTEL et al. 2008a). Rein funktionell ist das Aufschmelzen von Kunststoffen unter Einwirkung von Wärme in einem Zylinder-Kolbensystem und die Überführung der Schmelze unter teilweise sehr hohen Drücken in eine formgebende, gekühlte Werkzeughöhle schon seit 1872 für dieses Verfahren bekannt (JOHANNABER & MICHAELI 2004). Dieser periodisch wiederkehrende Vorgang ist als Zyklus zu bezeichnen (BÜRKLE et al. 2008).

Ein Spritzgießzyklus wird in 3 Hauptphasen gegliedert: das Einspritzen, das Plastifizieren (Nachdrücken und Kühlen) sowie das prozessfinalisierende Auswerfen. Der Ablauf eines kompletten Zyklus des Spritzgießens ist in Abbildung 1 dargestellt.

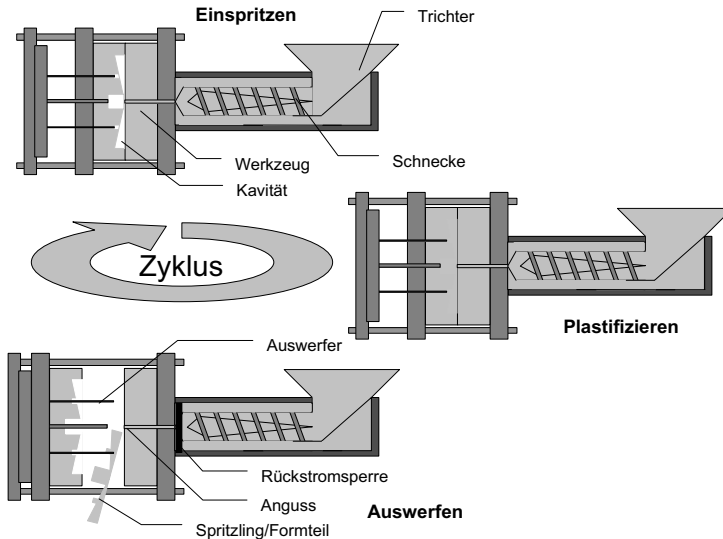


Abbildung 1: Phasen eines Spritzgießzyklus am Beispiel einer Schneckenkolbenmaschine

Folgende Prozesse lassen sich bei einem Spritzgießzyklus identifizieren (MENGES & MOHREN 1991):

- Die Schließeinheit der Spritzgießanlage schließt das Werkzeug und bringt die Schließkraft oder auch Zuhaltkraft auf, damit keine Schmelze aus dem Werkzeug entweichen kann.
- Eine Plastifiziereinheit (Düse) fährt an die Angussbuchse des Werkzeugs.
- Die plastifizierte Formmasse wird in die Kavität gespritzt. Dabei kommt meist ein Schneckenextruder mit einer koaxial verschiebbaren Schnecke zum Einsatz, die als Kolben fungiert.
- Die Plastifiziereinheit hält den Nachdruck aufrecht, um die Schwindung des Kunststoffes in der Kavität auszugleichen, die durch die Volumenkontraktion beim Abkühlen der Schmelze entsteht.

- Die Rückstromsperre wird aktiviert bzw. es verhindert bereits verfestigtes Material im Anguss den Rückfluss der Schmelze aus dem Werkzeug. Die Schnecke rotiert rückwärts, fördert und plastifiziert die Formmasse (Granulat) erneut, bis das Dosierwedge erreicht ist.
- Nach dem Erstarren des Spritzlings fährt die Plastifiziereinheit in die Ausgangsstellung zurück.
- Mit Ablauf der Restkühlzeit öffnet die Schließeinheit das Werkzeug.
- Das Auswerferpaket entformt parallel zum Öffnen des Werkzeugs das Formteil automatisch.

Mit dem Schließen des Werkzeugs beginnt der Vorgang des Spritzgießens erneut.

Die grundlegende Aufgabe eines Werkzeugs beim Spritzgießen besteht darin, die Schmelze aufzunehmen, zu verteilen, auszuformen, zu temperieren und nach dem Verfestigen auszuwerfen. Daraus leiten sich die konstruktiv zu realisierenden Funktionalitäten eines Spritzgießwerkzeugs ab. Mit den im Folgenden aufgeführten Komponenten lassen sich die genannten Aufgaben in einem konventionell gefertigten Werkzeug realisieren:

- | | |
|---------------------------|--|
| ▪ Maschinenaufnahme | ▪ Auswerferpaket |
| ▪ Bewegungsübertragung | ▪ Formnest mit entsprechender Entlüftung |
| ▪ Kraftaufnahme | ▪ Temperierung |
| ▪ Führung und Zentrierung | ▪ Angussystem |

Im einfachsten Fall besteht das formgebende Werkzeug aus zwei Hälften, die über entsprechende Zentrierungen, eine Kombination aus Führungssäulen und Führungsbuchsen oder aus kegelförmigen Zentriereinheiten zueinander ausgerichtet sind und direkt in die Spritzgießmaschine integriert werden. Dazu sind Aufspannbereiche am Werkzeug vorgesehen, in die beispielsweise die Spannpratzen der Spritzgießmaschine greifen. Im Allgemeinen können die beiden Werkzeughälften als Auswerferseite (schließseitige Werkzeughälfte) und als Angussseite (düsenseitige Werkzeughälfte) bezeichnet werden. Das eigentliche Auswerferpaket der Auswerferseite ist fest mit dem Bett der Spritzgießanlage gekoppelt. Der formgebende Bereich der schließseitigen Werkzeughälfte kann hingegen mit der beweglichen Aufspannfläche der Spritzgießanlage verbunden werden. Durch diese Konstruktion (siehe Abbildung 2) entsteht beim Öffnen des Werkzeugs bzw. der Spritzgießanlage eine Relativbewegung zwischen der schließseitigen Werkzeughälfte und den Auswerferstiften, wodurch der Spritzling aus der Kavität geschoben wird. In die Angussseite ist eine Angießbuchse integriert, die die Schnittstelle zwischen

der Düse in der Plastifiziereinheit und der Kavität des Werkzeugs darstellt. Zum einen wird so das Einspritzen des Kunststoffes in das Werkzeug realisiert, zum anderen zentriert die Angießbuchse die Einspritzdüse, wodurch ein ungewolltes Austreten von flüssigem Kunststoff durch die damit einhergehende Abdichtung verhindert wird.

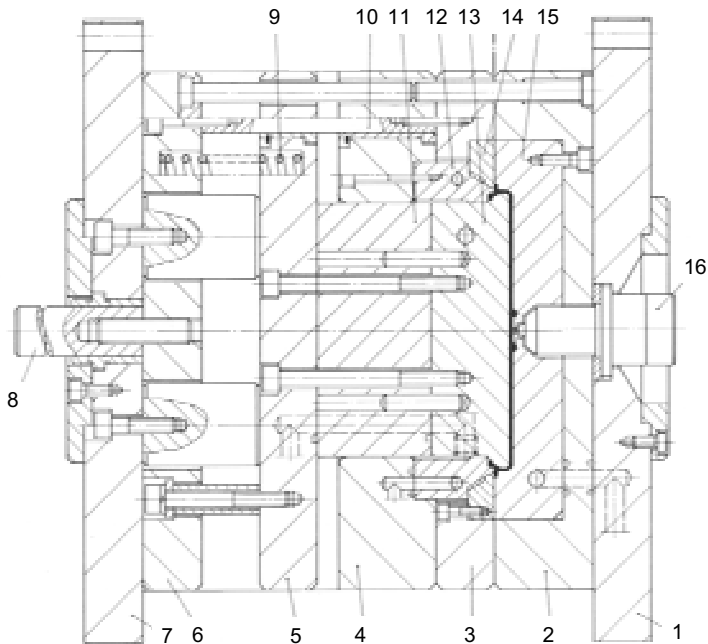


Abbildung 2: Einfach-Spritzgießwerkzeug für einen Verschlussdeckel¹ (GASTROW 1998)

Der eigentliche formgebende Bereich eines Werkzeugs wird konventionell über spanende oder abtragende Fertigungsverfahren realisiert. Das gebräuchlichste Fertigungsverfahren hierfür ist das Fräsen. Stößt dieses Verfahren allerdings an seine Grenzen, beispielsweise bei sehr großen Aspektverhältnissen, so kommen kostenintensive, elektrochemische Verfahren zum Einsatz, bei denen der Abtrag des Werkstoffes durch Funkenentladung erfolgt (z. B. Senkerrodieren). Zusätzlich müssen die beiden Werkzeughälften in einem finalisierenden Touchierprozess aneinander angepasst werden, um die entsprechende Dichtigkeit zwischen den Werkzeughälften zu erzielen.

¹ 1, 7 Aufspannplatte; 2, 3, 4 Formplatte; 5, 6 Auswerferplatte; 8 Auswerferstange; 9 Druckfeder; 10 Ausstoßbolzen; 11 Kernsöckel; 12 Formring; 13 Kernaufsatz; 14 Abschiebering; 15 formgebender Bereich; 16 Angießdüse

1.3.2 Wirtschaftliche Aspekte des konventionellen Werkzeug- und Formenbaus am Beispiel des Spritzgießens

Die einleitende Darstellung der Aufgaben und Funktionalitäten eines Spritzgießwerkzeugs und die damit beschriebenen Anforderungen an den Werkzeug- und Formenbau zeigen den Komplexitätsgrad der Werkzeugherstellung. Der konventionelle Werkzeug- und Formenbau ist zusätzlich geprägt von einer stark sequentiellen, zeit- und lohnkostenintensiven Vorgehensweise (LANGEN 1998). Bei kleinen Serien beeinflussen die Werkzeugkosten sehr häufig die Entscheidung für ein Produkt bzw. für die Fertigung des Produkts durch die Spritzgießtechnologie (HORVÁTH et al. 1994). Dies ist darin begründet, dass unterschiedliche Geometrien jeweils speziell angepasste Werkzeuge benötigen. Zusätzlich werden bei veränderten Randbedingungen innerhalb einer Anwendung veränderte Werkzeugausprägungen relevant. Daher kann konstatiert werden, dass Werkzeuge im Allgemeinen für ein singuläres Einsatzszenarium entwickelt bzw. hergestellt werden und bei sich ändernden Randbedingungen ersetzt, aufwändig umgestaltet oder ergänzt werden müssen. Bei der Fertigung von Produkten unter Verwendung von Werkzeugen sind daher die Werkzeugkosten direkt auf die Herstellkosten des Produkts aufzuschlagen und beeinflussen somit indirekt (da abhängig von den Produktstückzahlen, die mit einem Werkzeug fertigbar sind) den Preis für das einzelne Produkt. Zusätzlich sind Spritzgießwerkzeuge hoch präzise gefertigt und werden daher in der Regel nur einmal hergestellt (MENGEN & MOHREN 1991). Änderungen während des Produktentwicklungsprozesses können daher oft nur mit erheblichem Aufwand und damit kostenintensiv umgesetzt werden. Eine weitere Problematik ist in der geringen Flexibilität und Wiederverwendbarkeit von konventionellen Werkzeugen zu sehen. Ein Umliegen von Werkzeugkosten auf mehrere Produktgenerationen ist nur selten möglich. Hinzu kommt, dass sich die Randbedingungen im Werkzeug- und Formenbau in den letzten Jahren stark verändert haben (siehe Abschnitt 1.1).

Der derzeitige Trend zu individualisierten Produkten führt gleichzeitig zu reduzierten Stückzahlen pro Variante. Die Wirtschaftlichkeit des Spritzgießens wird durch hohe Werkzeugkosten eingeschränkt, die bei großer Variantenvielfalt nur auf eine geringe Anzahl von Bauteilen umgelegt werden können. Dabei erhöhen die Ansätze der Modularisierung bzw. Standardisierung von Werkzeugsegmenten die Flexibilität der Werkzeuge nur geringfügig (ZÄH et al. 2006b). Trotz der Möglichkeit, bestimmte Bereiche des Werkzeugs im Fall von Änderungen in der Produktgeometrie zu ersetzen, können die Module immer nur für eine spezielle Bauteilgeometrie genutzt werden. Von Wiederverwendbarkeit des Werkzeugs kann daher nur begrenzt gesprochen werden, da

lediglich der Formrahmen bzw. im günstigsten Fall die Angussysteme oder Auswerferpakete mehrfach genutzt werden können.

Die formgebenden Kavitäten sind hingegen nicht für neue Produktgeometrien verwendbar. Neben der geringen Wiederverwendbarkeit von Werkzeugelementen ist ein weiterer kostenintensiver Bereich der Werkzeugherstellung in der Fertigung der eigentlichen Kavitäten zu sehen. Oft handelt es sich dabei um komplexe Freiformflächen, die durch mehrere Prozessschritte und Herstellungsverfahren, wie beispielsweise Fräsen und Erodieren, gefertigt werden müssen. Gerade wenn der Einsatz von Erodierverfahren notwendig ist, steigen die Herstellkosten, da neben dem hohen Zeitbedarf beim Erodieren auch die Konstruktion und Fertigung der Erodier Elektroden anfallen und auf die Werkzeugkosten aufgeschlagen werden müssen (ZÄH et al. 2006a). Ein erster Schritt zur Kostensenkung im Werkzeug- und Formenbau ist daher in der Modularisierung der formgebenden Werkzeugbereiche zu sehen. Der Fertigungsaufwand pro Modul lässt sich erheblich senken, da kleinere Segmente der Freiformflächen beispielsweise durch die bessere Zugänglichkeit schneller und mit weniger Aufwand auch auf Standard-Maschinen gefertigt werden können.

Neben der Modularisierung des Werkzeugs sind allerdings zusätzliche Innovationen im Bereich der Fertigungsverfahren und der Fertigungsorganisation nötig, um die Wirtschaftlichkeit im Werkzeug- und Formenbau bei Kleinserien zu garantieren (SPATH 2004). Eine mögliche Innovation stellen die so genannten Rapid-Technologien mit dem Rapid Tooling dar, auf die im folgenden Abschnitt einführend eingegangen wird.

1.3.3 Fertigungstechnologien für das Rapid Tooling

Das Rapid Tooling unterscheidet sich grundsätzlich vom Serienwerkzeugbau. In diesem werden höchste Anforderungen an die Präzision (WINTERMANTEL et al. 2008b) und Standzeit der Werkzeuge gestellt. Mit hohem Kostenaufwand müssen die entsprechenden Werkzeuge für möglichst geringe Zykluszeiten in der späteren Produktion der Bauteile optimiert bzw. die notwendigen Werkzeugoberflächen durch aufwändige Prozessketten (z. B. Fräsen, Erodieren, Schleifen) hergestellt werden. Diese Anforderungen sind dagegen im Rapid Tooling abgeschwächt. Meist genügen hier beispielsweise der Einsatz von Aluminiumwerkzeugen sowie die einfache Gestaltung der Werkzeuge durch Einlegeteile anstelle von aufwändigen Schiebern, um einen Prototypen oder eine Kleinserie zu fertigen. Beim Rapid Tooling sinkt daher der Aufwand bei der Entwicklung und Fertigung des Werkzeugs für die Prototypenherstellung. Allerdings verursachen solche Rapid-Tooling-Werkzeuge meist längere Zykluszeiten bei der eigentlichen Bauteilproduktion, was auf Grund der geringen herzustellenden

Stückzahlen im Bereich der Prototypen oder einer Kleinserie nicht ins Gewicht fällt. Wie bereits erwähnt, ist ein weiterer Aspekt des Rapid Tooling in der konsequenten Ausrichtung auf kurze Durchlaufzeiten bei der Werkzeugherstellung zu sehen. Sind die dafür notwendigen organisatorischen Voraussetzungen erfüllt, so können Rapid-Technologien bereits heute im Bereich der Fertigung von Spritzgießwerkzeugen effizient zum Einsatz kommen. Erschwerend kommt jedoch hinzu, dass Prototypenwerkzeuge häufig einem sehr hohen Änderungsbedarf und damit -aufwand unterliegen (BREITINGER 2005). Diese Änderungen erfordern meist einen weiteren Materialabtrag für das Einbringen zusätzlicher Konturelemente oder den gesamten Neubau des Formeinsatzes. Das Rapid Tooling bietet im Hinblick auf Wiederverwendbarkeit bzw. Anpassbarkeit von kompletten Spritzgießwerkzeugen bei Geometrieänderungen noch keine technische Lösung. Derzeit beinhaltet dieses Konzept, dass ein standardisierter Rahmen mit Formeinsätzen kombiniert wird, die mittels Rapid-Technologien – meist durch Metall verarbeitende generative Verfahren – oder mit Hilfe der HSC-Technik hergestellt werden (BREITINGER 2003). Eine detaillierte Darstellung von Rapid-Technologien im Bereich des Rapid Tooling ist Kapitel 2 zu entnehmen.

1.3.4 Ansätze der Formflexibilität im Werkzeug- und Formenbau

Im folgenden Unterabschnitt wird aufgezeigt, welche Ideen es bereits zur Realisierung von Formflexibilität im Werkzeug- und Formenbau gibt. Diese fokussieren sich in erster Linie auf den Einsatz im Bereich der Umformtechnik. Weltweit existieren verschiedene Institute, die sich mit der Verwendung von Stempelkissen beim Tiefziehen oder der Blechumformung, beispielsweise für Flugzeugrumpfssegmente, beschäftigen. Eine genaue Beschreibung dieser Projekte ist Abschnitt 2.2 zu entnehmen. Im Rahmen dieses Unterabschnitts soll das Umfeld, in dem die Entwicklung des formflexiblen Spritzgießwerkzeug-Konzepts stattfindet, aufgezeigt werden.

Im Bereich des Spritzgießens gibt es mit Ausnahme der hier beschriebenen Forschungstätigkeit keinerlei Aktivitäten bezüglich der Entwicklung und Realisierung eines wiederverwendbaren, flexiblen Werkzeugs. Lediglich ein Patent der Firma *Nissan Motor Co., Ltd.*, aus dem Jahr 1994 befasst sich mit dieser Thematik (PATENTSCHRIFT DE 41 12 736 C 2 1994). Allerdings wird in dieser Patentschrift das Prinzip eines Stempelkissens zur Formgebung aus dem Bereich der Umformung herangezogen und lediglich für das Druck- und Spritzgießen als Anwendungsbeispiel patentiert. Eine direkte Anpassung an die Randbedingungen und Anforderungen des Spritz- oder Druckgießens wird nicht vorgenommen.

Neben dem bereits genannten Patent sind weitere Arbeiten bezüglich des Einsatzes von verstellbaren Stempeln in flexiblen Umformwerkzeugen bekannt. Beispielsweise konnte ein solches Konzept für das Tiefziehen vom Lehrstuhl für umformende Fertigungsverfahren der Universität Dortmund entwickelt werden (KLEINER & SMATLOCH 1991). Aber auch die Verwendung von Stempelkissen bei der automatisierten Modellierung großflächiger Sandgussformen wurde vom Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart angedacht (SCHAAF 2005). Neben der rein wissenschaftlich getriebenen Betrachtung von flexibel nutzbaren Stempelkissen bietet beispielsweise die Firma *OptiMal Forming Solutions* kommerziell ein System an, das ein flexibles Werkzeug für die Umformung darstellt. Dabei werden Bleche mittels flexibler Werkzeuge auf Basis von Stempeln in Kombination mit Gummikissen umgeformt (BOERS et al. 2007). Des Weiteren existiert ein Ansatz im Bereich der Blechumformung von dreidimensionalen Außenhautteilen bei Flugzeugen auf Basis einstellbarer Stempelkissen. Dieses Projekt wird am Manufacturing Engineering Centre der Universität Cardiff (UK) in Zusammenarbeit mit dem Dieless Forming Technology Development Centre der Jilin Universität Changchun (China) bearbeitet (PHAM et al. 2007).

Eine über den Bereich der Fertigungstechnik hinausgehende Recherche hat gezeigt, dass das Grundkonzept der Formflexibilität auch im Bereich der Montagetechnik Anwendung findet. Es bestehen Ansätze, das Stempelkonzept in Betriebsmitteln zu nutzen, um dadurch besonders komplexe Bauteile mit ausgeprägten Freiformflächen zu spannen. Als Beispiel hierfür sind die Formspannsysteme der Firma *MATRIX GmbH* zu nennen. Die Grundelemente dieses Systems sind Stößelmodule, die sich dem jeweiligen Werkstück spezifisch anpassen (MATRIX 2007).

Ein weiteres Beispiel, bei dem Stempel zur formflexiblen Gestaltung von Betriebsmitteln Verwendung finden, ist der von der Firma *Schunk* patentierte Stiftgreifer (OFFENLEGUNGSSCHRIFT DE 43 39 102 A1 1994). Dabei wird ein Werkstück in einem so genannten Stiffeld über einen doppelwirkenden Zylinder verspannt. Der Greifer ist so ausgelegt, dass er als Handhabungsvorrichtung zum mechanischen Greifen, Halten oder Bewegen von Gegenständen, beispielsweise durch einen Industrieroboter, verwendet werden kann.

1.4 Motivation und Zielsetzung

Auf Grund der zuvor beschriebenen Sachverhalte lässt sich feststellen, dass die Argumente zur Entwicklung einer neuen Technik bzw. eines formflexiblen Werkzeug-

konzepts im Bereich des Rapid Tooling am Beispiel des Spritzgießens in drei Motivationssichten eingeteilt werden können. Zum einen fordert eine geänderte Marktsituation innovative, flexible Fertigungstechnologien, zum anderen müssen bestehende Herausforderungen im konventionellen Werkzeug- und Formenbau durch neue Ansätze ausgeglichen werden (siehe Abbildung 3). Hinzu kommt, dass derzeitige Verfahren des Rapid Tooling spezifische Defizite aufweisen (siehe Abschnitt 2.1 und Kapitel 3) und nicht oder nur teilweise an die sich wandelnde Marktsituation anpassbar sind.

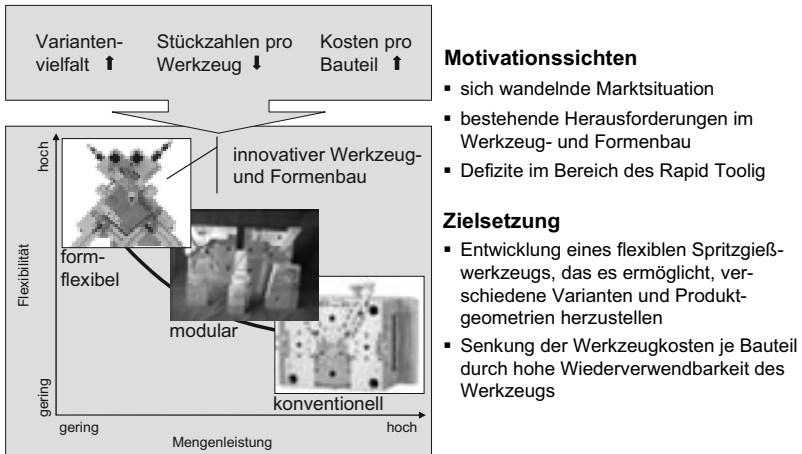


Abbildung 3: Motivation und Zielsetzung

Der Fokus bei der Entwicklung eines neuen, innovativen Werkzeugkonzepts für das Spritzgießen ist in der Realisierung von wiederverwendbaren, flexibel einsetzbaren Arbeitsmitteln zu sehen, die es ermöglichen, jegliche Geometrie mit einem einzigen Werkzeug abzubilden. Damit wird gewährleistet, dass die Werkzeugkosten sinken und das Serienfertungsverfahren Spritzgießen auch im Prototypenbereich wirtschaftlich einsetzbar ist.

Für die eigentliche Entwicklung des Werkzeugkonzepts gilt es, diesen Fokus durch detaillierte Ziele zu präzisieren. Aufbauend auf den identifizierten Motivationssichten zeigt Tabelle 1 die bestehenden Herausforderungen sowie die daraus resultierenden Ziele.

Motivations- sichten	Herausforderungen		Ziele
sich wandelnde Marktsituation	kurze Produktentwicklungs- zeiten	▶	frühe Absicherung von Konstruktionen
	hohe Lohnkosten und globale Konkurrenz	▶	Steigerung des Auto- matisierungsgrads
	verstärkte Standortsicherung	▶	Innovationsbedarf
	kundenorientierte Produkte	▶	Flexibilität und Wiederver- wendbarkeit
bestehende Herausforder- ungen im Werk- zeug- und Formenbau	aufwändige Konstruktionen	▶	automatisierte CAX-Kette
	kostenintensive formgebende Bereiche	▶	reduzierte Anzahl an Prozessschritten
	sequentielle, zeit- und lohn- kostenintensive Fertigung	▶	Steigerung des Auto- matisierungsgrads
	keine Wiederverwendbarkeit	▶	Flexibilität und Wiederver- wendbarkeit
Defizite im Be- reich des Rapid Tooling	hoher Nachbearbeitungsauf- wand	▶	reduzierte Anzahl an Prozessschritten
	hohe Prozess- und Anlagen- kosten	▶	einfaches, investitionsarmes Konzept
	Technologievorteile nicht im Prototypenwerkzeugbau nutz- bar	▶	Ausrichtung auf An- forderungen des Prototypen- werkzeugbaus
	keine Wiederverwendbarkeit	▶	Flexibilität und Wiederver- wendbarkeit

Tabelle 1: Einteilung in Motivationssichten und Ableitung von Zielen

Eine Revolution in der Auslegung von Spritzgießwerkzeugen ist darin zu sehen, ein im Bereich der formgebenden Elemente flexibles System zu entwickeln, das durch Anpassung seiner eigenen Gestalt das mit dem Werkzeug herstellbare Produktspektrum erweitert und damit auf sich ändernde Randbedingungen reagiert. Die hohe Wiederverwendbarkeit eines solchen formflexiblen Werkzeugsystems bietet enormes Einsparpotenzial im Werkzeug- und Formenbau, was mittels einer anzustrebenden automatisierten Gestaltänderung vollständig ausgeschöpft werden kann. Gerade im Hinblick auf die zunehmende Konkurrenz des globalen Markts kann der innovative Ansatz der Formflexibilität im Bereich der Werkzeugauslegung als standortsichernder Faktor fungieren. Durch eine konsequente Ausrichtung des Werkzeugsystems im Hinblick auf einen hohen Automatisierungsgrad, der neben dem eigentlichen Einstellvorgang auch die Ableitung der Werkzeugkavität beinhaltet, können zusätzliche, lohnkostenintensive Arbeitsschritte reduziert und der wirtschaftliche Einsatz eines formflexiblen Spritzgießwerkzeugs bei Kleinserien und Prototypen gewährleistet werden. Allerdings ist darauf zu achten, dass der technologische Aufwand zur Realisierung der Formflexibili-

tät möglichst gering gehalten wird, um die Potenziale dieses Ansatzes auch bei Kleinserien oder der „Losgröße 1“ noch nutzen zu können. Darin unterscheidet sich dieses Konzept grundlegend von anderen Rapid-Tooling-Verfahren, die meist auf hoch technologisierten Anlagen basieren. Gerade unter den hier beschriebenen Voraussetzungen kann ein formflexibles Werkzeugkonzept besonders wirtschaftlich bei der Erprobung von Erstserien, der Markteinführung und -abschätzung oder sogar bei der Absicherung der Serienproduktion und des Produktionsstarts eingesetzt werden. Hinzu kommt die Möglichkeit der schnellen, kostengünstigen Herstellung serienidentischer Prototypen aus dem Originalwerkstoff mit dem Serienfertigungsverfahren Spritzgießen. Dies ist besonders bei der Absicherung der Serienproduktion relevant, da die Eigenschaften von Spritzgießbauteilen sehr stark von den Prozessparametern im Produktionsprozess abhängen. Aus diesem Grund ist es unabdingbar, Formwerkzeuge herzustellen, mit denen Prototypenbauteile unter möglichst serienidentischen Bedingungen produzierbar sind. Gerade dieser Aspekt spiegelt den Bedarf der Wiederverwendbarkeit und Formflexibilität von Werkzeugen im Produktentstehungsprozess wider.

Die dargelegten Anforderungen an ein wiederverwendbares, formflexibles Werkzeug werden derzeit von keinem der bekannten Rapid-Tooling-Verfahren erfüllt. Die Notwendigkeit der Entwicklung von Formflexibilität ist daher unbestritten. Im Rahmen dieser Arbeit soll am Beispiel des Spritzgießens das Potenzial von Formflexibilität aufgezeigt, aber auch ein Ausblick auf zukünftige Anwendungsmöglichkeiten skizziert werden.

1.5 Gliederung der vorliegenden Arbeit

Auf Grund der zuvor beschriebenen Situation lassen sich die in Abschnitt 1.4 definierten Motivationssichten und Ziele ableiten. Damit bildet das Kapitel 1 die Basis für die im Folgenden beschriebenen Darstellungen und Handlungsschritte (siehe Abbildung 4). Im Einleitungskapitel wurde besonderes Augenmerk auf die Motivations-sicht „sich wandelnde Marktsituation“ sowie „bestehende Herausforderungen im Werkzeug- und Formenbau“ gelegt. Die dritte Motivations-sicht („Defizite im Bereich des Rapid Tooling“) blieb dabei nur angedeutet. Dies ist sinnvoll, da im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Entwicklung eines neuen Werkzeugkonzepts im Bereich des Rapid Tooling behandelt wird. Damit ist der zentrale Aspekt in Kapitel 2 (Stand der Technik) festgelegt und beinhaltet die noch notwendige detaillierte Darstellung der Techniken beim Rapid Tooling.



Abbildung 4: Struktur der vorliegenden Arbeit

Daraus lassen sich derzeit existierende Defizite ableiten. Somit wird der bereits angedeutete, zentrale Handlungsbedarf zur Entwicklung eines wiederverwendbaren formflexiblen Werkzeugs beim Rapid Tooling identifizierbar (siehe Kapitel 3). Die größte Herausforderung bei der Umsetzung von Formflexibilität für die Werkzeugauslegung ist in der physikalischen Realisierung der formflexiblen Elemente zu sehen. Es hat sich gezeigt, dass in den meisten Fällen ein Umsetzungsanstoß in Form einer Initialidee fehlt. Daher beschreibt Kapitel 4 die Entwicklung und Anwendung einer Methode, die aufbauend auf Anforderungen an ein geplantes formflexibles System physikalische Grundprinzipien vorschlägt, die dem Anspruch der Formflexibilität entsprechen. Am Beispiel des Spritzgießens zeigt dieses Kapitel die Einsetzbarkeit der Methode und schafft somit die Basis für den zentralen Kern der Arbeit: die Konzeption und Entwicklung eines formflexiblen Werkzeugsystems (siehe Kapitel 5). Dessen praktische Einsetzbarkeit wird in Kapitel 6 anhand verschiedener Einsatzszenarien aufgezeigt und durch die Beschreibung praktischer Versuchsreihen bewiesen. Diese Ergebnisse sind Grundlage für die abschließende wirtschaftliche Betrachtung des entwickelten Systems (siehe Kapitel 7) und die zusammenfassende Darstellung der Vor- und Nachteile eines formflexiblen Werkzeugs im Vergleich zu konventionellen Ansätzen im Bereich des Rapid Tooling für das Spritzgießen. Weitere zukünftige Handlungsfelder in Wissenschaft und Industrie sind Kapitel 8 zu entnehmen.

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 Montagesysteme
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 *Kirchknopf, P.*
Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 *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 *Wrbn, 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.*
Prozefkommunikation 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 *Tuzek, 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.*
Prozefuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schröder, N.*
Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *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 *Glas, 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 *Zwanzner, 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 Hartbearbeitung
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*
Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in flexiblen Produktionssystemen
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*
Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung und logistisches Störungsmanagement
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-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.*
Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche und Standardisierung
1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3
- 109 *Pfersdorf, I.*
Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service
1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3
- 110 *Kuba, R.*
Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion
1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0
- 111 *Kaiser, J.*
Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozess mit Produktmodellen
1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3
- 112 *Geyer, M.*
Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung
1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5
- 113 *Martin, C.*
Produktionsregelung · ein modularer, modellbasierter Ansatz
1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6
- 114 *Löffler, Th.*
Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse
1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X
- 115 *Lindnermaier, 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.*
Leitfaden 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 **Lasert 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**
150 Seiten · ISBN 3-89675-057-7
- 58 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien**
169 Seiten · ISBN 3-89675-058-7
- 59 **Automatisierte Mikromontage · Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik**
114 Seiten · ISBN 3-89675-059-3
- 60 **Mechatronische Produktionssysteme · Genauigkeit gezielt entwickeln**
131 Seiten · ISBN 3-89675-060-7
- 61 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 62 **Rapid Technologien · Anspruch – Realität – Technologien**
100 Seiten · ISBN 3-89675-062-3
- 63 **Fabrikplanung 2002 · Visionen – Umsetzung – Werkzeuge**
124 Seiten · ISBN 3-89675-063-1
- 64 **Mischverbindungen · Einsatz und Innovationspotenzial**
143 Seiten · ISBN 3-89675-064-X
- 65 **Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum · Erfahrungen Werkzeuge Visionen**
136 Seiten · ISBN 3-89675-065-8
- 66 **Mit Rapid Technologien zum Aufschwung · Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder**
185 Seiten · ISBN 3-89675-066-6
- 67 **Mechatronische Produktionssysteme · Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder**
148 Seiten · ISBN 3-89675-067-4
- 68 **Virtuelle Produktion · Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik**
139 Seiten · ISBN 3-89675-068-2
- 69 **Kooperationsmanagement in der Produktion · Visionen und Methoden zur Kooperation – Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation – Kooperation entlang der Wertschöpfungskette**
134 Seiten · ISBN 3-89675-069-0
- 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 iw b

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

Forschungsberichte iw b 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 kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken
 2004 · 210 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0330-8
- 184 Thomas Bongardt
Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
 2004 · 170 Seiten · 40 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0332-4
- 185 Tim Angerer
Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
 2004 · 180 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0336-7
- 186 Alexander Krüger
Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
 2004 · 197 Seiten · 83 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0371-5
- 187 Matthias Meindl
Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
 2005 · 222 Seiten · 97 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0465-7
- 188 Thomas Fusch
Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
 2005 · 190 Seiten · 99 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0467-3

- 189 Thomas Mosandl
Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
2005 · 182 Seiten · 58 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0471-1
- 190 Christian Patron
Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
2005 · 150 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0474-6
- 191 Robert Cisek
Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen
2005 · 200 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0475-4
- 192 Florian Auer
Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
2005 · 160 Seiten · 65 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0485-1
- 193 Carsten Selke
Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
2005 · 137 Seiten · 53 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0495-9
- 194 Markus Seefried
Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern
2005 · 216 Seiten · 82 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0503-3
- 195 Wolfgang Wagner
Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion
2006 · 208 Seiten · 43 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0586-6
- 196 Christopher Ulrich
Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
2006 · 178 Seiten · 74 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0590-4
- 197 Johann Härtl
Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
2006 · 140 Seiten · 55 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0611-0
- 198 Bernd Hartmann
Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
2006 · 208 Seiten · 105 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0615-3
- 199 Michael Schilp
Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
2006 · 130 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0631-5
- 200 Florian Manfred Grätz
Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
2006 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0643-9
- 201 Dieter Eireiner
Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
2006 · 214 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0650-1
- 202 Gerhard Volkwein
Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
2007 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 Sven Roeren
Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
2007 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 Henning Rudolf
Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
2007 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 Stella Clarke-Gribsch
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 Schlickerrieder
Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
 2008 · 204 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 Niklas Möller
Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme
 2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 Daniel Siedl
Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfabrbewegungen
 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
- 223 Matthäus Sigl
Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlsinterns
 2008 · 185 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0841-6

- 224 Mark Harfensteller
Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets
2009 · 196 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0849-8
- 225 Jochen Werner
Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie
2009 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 Florian Hagemann
Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen
2009 · 226 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0861-4
- 227 Haitham Rashidy
Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry
2009 · 212 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0862-1