

Peter Schnellbach

**Methodik zur Reduzierung von
Energieverschwendung unter Berücksichtigung
von Zielgrößen Ganzheitlicher
Produktionssysteme**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 312

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

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

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2016

ISBN 978-3-8316-4540-4

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

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	V
Verzeichnis der Formelzeichen	IX
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Spezifizierung des Betrachtungsbereichs	4
1.3 Zielsetzung	6
1.4 Aufbau der Arbeit	7
2 Grundlagen	9
2.1 Energieverschwendung in der Fertigung	9
2.1.1 Allgemeines	9
2.1.2 Der Energiebegriff im betrieblichen Umfeld	9
2.1.3 Energie als Kostenfaktor in der produzierenden Industrie	12
2.1.4 Energieeffizienz, -intensität und -verschwendung	13
2.1.5 Maßnahmen zur Reduzierung von Energieverschwendung	15
2.2 Ganzheitliche Produktionssysteme	17
2.2.1 Allgemeines	17
2.2.2 Ursprung und Entwicklung der GPS	17
2.2.3 Fertigungsprozessketten in GPS	19
2.2.4 Zieldimensionen und -größen in GPS	20
2.2.5 Wertstromdesign	28
2.2.6 Erweiterung des GPS-Gedankens um den Aspekt Energie	31
2.3 Systemtheorie und System Dynamics	33
2.3.1 Allgemeines	33
2.3.2 Grundsätze der Systemtheorie	33
2.3.3 Systemstruktur eines GPS	34
2.3.4 Modellierung von GPS mit Hilfe von System Dynamics	35

2.4	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Maßnahmen	41
2.4.1	Allgemeines	41
2.4.2	Eindimensionale Investitionsrechnung	41
2.4.3	Multikriterielle Entscheidungsfindung	43
2.5	Fazit	46
3	Stand der Erkenntnisse und Handlungsbedarf	47
3.1	Anforderungen an eine methodische Vorgehensweise zur Reduzierung von Energieverschwendung in GPS	47
3.2	Vorstellung und Einordnung betrachteter Ansätze	49
3.2.1	Ansätze zur Verbesserung der Energieeffizienz auf Basis des Wertstromdesigns	49
3.2.2	Allgemeine Ansätze zur Verbesserung der Energieeffizienz in der Fertigung	53
3.2.3	Ansätze zur Identifizierung und Bewertung von Wirkbeziehungen in GPS	56
3.3	Ermittlung des Handlungsbedarfs und Zielspezifikation	58
4	Entwicklung der Methodik zur Reduzierung von Energieverschwendung in GPS	61
4.1	Allgemeines	61
4.2	Untersuchung von Wirkbeziehungen in GPS	62
4.2.1	Generischer Aufbau des Wirkgefüges eines Prozessschrittes	62
4.2.2	Wirkbeziehungen zwischen Prozessschritt und Prozesskette	67
4.3	Energieorientierte Wertstromanalyse	71
4.3.1	Erläuterung der Vorgehensweise	71
4.3.2	Auswahl der Prozesskette	71
4.3.3	Aufnahme der Produktionsdaten	73
4.3.4	Aufnahme der Energiedaten	76
4.3.5	Datenauswertung	82
4.4	Generierung von Energieeffizienz-Maßnahmen	85
4.4.1	Ableitung von Energieeffizienz-Handlungsansätzen	85

4.4.2	Erläuterung der Energieeffizienz-Handlungsansätze	87
4.4.3	Positionierung im Energieeffizienz-Maßnahmenportfolio	91
4.4.4	Quantifizierung der Auswirkungen von Energieeffizienz-Maßnahmen auf Stellgrößen und endogene Größen	94
4.5	Generisches System-Dynamics-Modell	96
4.5.1	Erläuterung der Vorgehensweise	96
4.5.2	Phase 1: Problemartikulation	97
4.5.3	Phase 2: Qualitative Analyse des Systems	97
4.5.4	Phase 3: Erstellung des System-Dynamics-Modells	100
4.5.5	Phase 4: Verifikation und Validierung	112
4.5.6	Phase 5: Simulationsdurchführung und Auswertung	115
4.6	Erweiterte Wirtschaftlichkeitsbewertung	122
4.6.1	Genereller Aufbau des erweiterten Bewertungsverfahrens	122
4.6.2	Bewertung der GPS-Zielgrößenveränderungen	123
4.6.3	Ableitung von Umsetzungsempfehlungen	130
4.7	Fazit	134
5	Exemplarische Anwendung in der Praxis	135
5.1	Erläuterung der Vorgehensweise	135
5.2	Fallstudie 1: Lernfabrik für Energieproduktivität (LEP)	136
5.2.1	Schritt 1: Energieorientierte Wertstromanalyse	136
5.2.2	Schritt 2: Energieeffizienz-Maßnahmengenerierung	140
5.2.3	Schritt 3: Prognose der GPS-Zielgrößenwerte	143
5.2.4	Schritt 4: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsbewertung	147
5.3	Fallstudie 2: Stirnwandfertigung im Karosseriebau	151
5.3.1	Schritt 1: Energieorientierte Wertstromanalyse	151
5.3.2	Schritt 2: Energieeffizienz-Maßnahmengenerierung	153
5.3.3	Schritt 3: Prognose der GPS-Zielgrößenwerte	155
5.3.4	Schritt 4: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsbewertung	158

5.4	Bewertung der Methodik	161
6	Zusammenfassung und Ausblick	167
6.1	Zusammenfassung	167
6.2	Ausblick	169
7	Literaturverzeichnis	171
8	Übersicht betreuter Studienarbeiten	189
9	Anhang	191
A1	Kenngrößen des GPS-Wirkgefüges	191
A2	Aufbau des System-Dynamics-Modells in <i>Vensim[®] PLE Plus</i>	193
A3	Fallstudie 1: Energieorientierte Wertstromanalyse	194
A4	Fallstudie 1: Energieeffizienz-Maßnahmensteckbriefe	196
A5	Fallstudie 2: Energieorientierte Wertstromanalyse	197
A6	Fallstudie 2: Energieeffizienz-Maßnahmensteckbriefe	200

1 Einleitung

„Die Energie kann als Ursache für alle Veränderungen in der Welt angesehen werden.“

W. Heisenberg

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Identifiziert als einer der zukünftigen Megatrends, stellt die Ressourcenknappheit die Politik, Wirtschaft und Gesellschaft im 21. Jahrhundert vor neue Herausforderungen (ABELE & REINHART 2011, S. 17). Eine wachsende Weltbevölkerung, das globale Wirtschaftswachstum sowie die damit einhergehende Verknappung von Rohstoffen bringen die Menschheit an ihre natürlichen Grenzen (NEUGEBAUER 2008, S. 11). Folglich bildet der sparsame Umgang mit den natürlichen Ressourcen die Grundlage für ökonomisch und ökologisch verantwortungsbewusstes Handeln (RIMPAU ET AL. 2010). Der hierzu notwendige Paradigmenwechsel aus der Perspektive produzierender Unternehmen wird von NEUGEBAUER (2008, S. 12) wie folgt formuliert:

„An die Stelle von *maximaler Gewinn aus minimalem Kapital* muss *maximaler Gewinn aus minimalen Ressourcen* treten.“

Der Einsatz von Energie als eine der natürlichen Ressourcen bietet erhebliches Einsparpotenzial. Dies trifft vornehmlich auch auf produzierende Unternehmen zu, denn bei der Analyse der Energiebedarfsstruktur in Deutschland im Jahr 2013 zeigt sich, dass mit 28,5 % ein maßgeblicher Anteil am gesamten Endenergiebedarf von 9.269 PJ auf die Industrie entfällt (Abbildung 1).

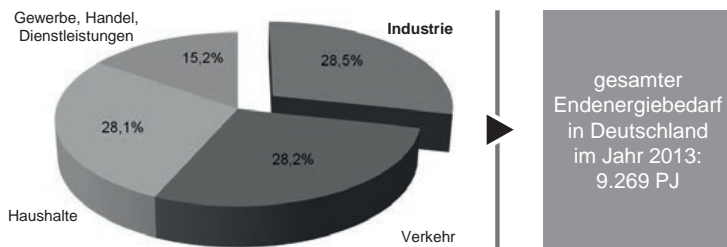


Abbildung 1: Endenergiebedarf im Jahr 2013 in Deutschland nach Verbrauchergruppen (eigene Darstellung nach BMWi 2014)

Viele Unternehmen stehen einer Realisierung von Energieeinsparungen in der Produktion allerdings skeptisch gegenüber (vgl. KFW 2005). Ein Grund für diese Haltung ist die Ungewissheit der Auswirkungen auf bestehende Produktionssysteme (KLETTI & SCHUMACHER 2011, S. 10). Oft können analog zur *Theorie des Schmetterlingseffekts* bereits kleine Eingriffe in bestehende Systeme erhebliche Auswirkungen verursachen (LORENZ 1963, S. 130). Derartige Auswirkungen sind das Resultat von Wirkbeziehungen. Der Begriff *Wirkbeziehung* stammt aus der Methodik des Vernetzten Denkens und wird zur Beschreibung und Darstellung von Zusammenhängen in komplexen Systemen verwendet (PROBST & GOMEZ 1991).

Mit dem Ziel „Produkte und Leistungen bedarfsgerecht, wirtschaftlich und termingerecht mit der erforderlichen Qualität herzustellen“ (WESTKÄMPER 2009, S. 27), wurden Produktionsprozessketten in den letzten Jahren in verstärktem Maße nach den Prinzipien der schlanken Produktion gestaltet und zu *Ganzheitlichen Produktionssystemen* (GPS) weiterentwickelt (KORGE & LENTES 2009, S. 570 ff.). Die Leistung eines GPS wird mit Hilfe von Zielgrößen wie bspw. der Durchlaufzeit oder dem Qualitätsgrad gemessen (VDI 2870, S. 11). GPS gelten zudem als komplexe Systeme, deren Elemente durch Wirkbeziehungen miteinander verbunden sind (vgl. KROPIK 2009, S. 23; HALL & FANGEN 1956, S. 18). Die Umsetzung einer Maßnahme zur Energieeinsparung kann aufgrund dieser Wirkbeziehungen zu Veränderungen im Produktionsablauf und dadurch wiederum zu ungewünschten Auswirkungen auf GPS-Zielgrößen führen (vgl. PETER 2009, S. 28). Diese Erkenntnis ist in Abbildung 2 beispielhaft dargestellt.

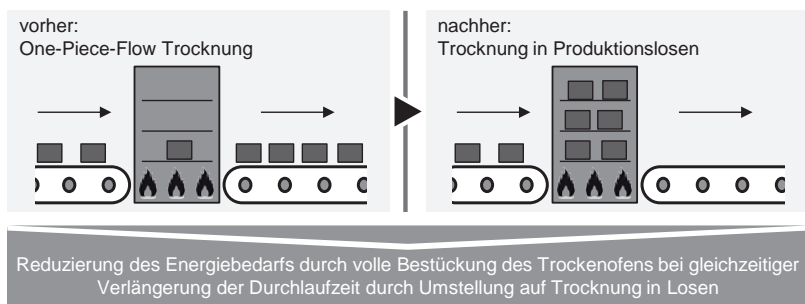


Abbildung 2: Beispielhafte Darstellung der Wirkbeziehung zwischen einer Maßnahme zur Senkung des Energiebedarfs und der Durchlaufzeit

Ein Trockenofen wird in diesem Beispiel aus Kapazitätssicht bewusst nicht vollständig, sondern mit genau einem Produkt bestückt, um die Produktion nach dem GPS-Prinzip des Einzelstückflusses (One-Piece-Flow) zu steuern (TAKEDA 2009, S. 247). Aus energetischer Sicht ist eine Ausnutzung der vollen Kapazität des Trockenofens jedoch sinnvoller. Dies kommt einer Umstellung von einer One-Piece-Flow-Trocknung auf eine Trocknung in Produktionslosen gleich. Durch diese Umstellung wird eine Reduzierung des Energiebedarfs pro Produkt erreicht. Als Nebeneffekte können vor dem Trocknungsprozess Wartezeiten und nach dem Trocknungsprozess Leerlaufzeiten auftreten, die in einer Verlängerung der Durchlaufzeit resultieren. Offensichtlich besteht im Beispiel eine Wirkbeziehung zwischen der Energieeinsparmaßnahme und der GPS-Zielgröße Durchlaufzeit.

Entsprechende Wirkbeziehungen müssen bei der Umsetzung von Energieeinsparprogrammen zwingend berücksichtigt werden (HERRMANN ET AL. 2008; BERGMILLER & MCCRIGHT 2009). Oftmals fehlt es den Unternehmen jedoch am nötigen Wissen bezüglich dieser Wirkbeziehungen, die teilweise auch als *Wechselwirkungen* bezeichnet werden. In einer Studie zur Ermittlung des Stellenwerts der Reduzierung von Energieverschwendung in GPS wurden Mitarbeiter der in Deutschland produzierenden Automobilhersteller zu ihrem Kenntnisstand zu bestehenden Wechselwirkungen zwischen Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs und Zielgrößen in GPS befragt (SCHNELLBACH ET AL. 2013, S. 433). 53 % der Befragten gaben an, dass diese Wechselwirkungen vermutet werden jedoch nur teilweise bekannt sind. Zwar vermutet, aber noch nicht näher untersucht, wurden die Wechselwirkungen nach Angabe von 11 % der Teilnehmer. Nur etwa ein Viertel der Befragten waren der Meinung, dass bestehende Wechselwirkungen bereits identifiziert und allgemein bekannt sind (Abbildung 3).

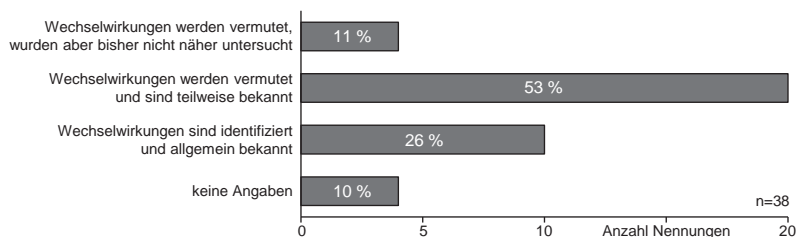


Abbildung 3: *Einschätzung bestehender Kenntnisse über Wechselwirkungen zwischen Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs und GPS-Zielgrößen (SCHNELLBACH ET AL. 2013, S. 434)*

Daneben fehlt es produzierenden Unternehmen zusätzlich auch an methodischen Vorgehensweisen, um Transparenz über mögliche Energieeinsparpotenziale zu erzeugen und diese Potenziale anschließend umzusetzen (NEUGEBAUER 2008, S. 350 f.; REINHART ET AL. 2011A, S. 253; WEINERT ET AL. 2011, S. 41). Diese methodischen Vorgehensweisen werden neben der Fabrikplanungsphase vor allem bei langen Produktlebenszyklen auch im laufenden Betrieb der Produktion benötigt (MÜLLER ET AL. 2009, S. 31; ENGELMANN 2009, S. 28).

Als Fazit kann festgehalten werden, dass aufgrund fehlender Relevanz der effiziente Einsatz von Energie in GPS in der Vergangenheit keine entscheidende Rolle spielte (GOTTMANN 2009, S. 32). Eine wachsende Bereitschaft zur Änderung dieses Umstands wird durch die mangelnde Kenntnis der Wirkbeziehungen in GPS gebremst. Aufgrund von Synergieeffekten ist die Erweiterung von GPS um eine methodische Vorgehensweise zur systematischen Energiebedarfsreduzierung in der Betriebsphase jedoch sinnvoll (MCKINSEY & COMPANY 2009, S. 51; GONCE & SOMERS 2010). Teil dieser methodischen Vorgehensweise muss jedoch die Untersuchung der Wirkung von Maßnahmen auf die Zielgrößen in GPS sein. Im nachfolgenden Abschnitt folgt die Spezifizierung des Betrachtungsbereichs der Arbeit vor dem Hintergrund der Entwicklung einer solchen methodischen Vorgehensweise.


1.2 Spezifizierung des Betrachtungsbereichs

Zur Abgrenzung des Betrachtungsbereichs der vorliegenden Arbeit werden aus der Morphologie in Abbildung 4 die im Fokus stehenden Merkmalsausprägungen aufgezeigt, die bei der Entwicklung einer methodischen Vorgehensweise zur Reduzierung des Energiebedarfs in GPS Berücksichtigung finden sollen.

Zur Spezifizierung des Betrachtungsbereichs erfolgt in der Morphologie die Unterscheidung von drei Merkmalskategorien. Die erste Kategorie bezieht sich auf die betrachtete Fertigung. Die zu entwickelnde Vorgehensweise soll in einer nach GPS-Prinzipien gestalteten Fertigung Anwendung finden. Da GPS ihren Ursprung in der Automobilfertigung haben (vgl. OHNO 1988), sind deren Merkmalsausprägungen für den Betrachtungsbereich der vorliegenden Arbeit bestens geeignet. Die methodische Vorgehensweise soll folglich in einer Fertigung anwendbar sein, die sich durch die Fertigungsart *Serienfertigung* charakterisieren lässt. Gefertigt wird nach dem *Make-to-Order*-Konzept in *Fließfertigung* (FORD & CROWTHER 1926; LÖDDING 2005, S. 95 ff.; SCHUH & STICH 2012, S. 168 ff.). Unter dem Begriff *Fertigung* werden dabei auch Montagetätigkeiten verstanden, die nach DIN 8580

Bestandteil der Fertigungsverfahren sind (DIN 8580, S. 11). In der vorliegenden Arbeit findet ein synonyme Gebrauch der Begriffe *Fertigung* und *Produktion* statt.

Merkmale	Ausprägungen				
	Fertigungsart	Einzel-fertigung	Fertigung in kleinen Losen	Serien-fertigung	Massen-fertigung
Fertigungs-konzept	Engineering to Order		Make to Order	Make to Stock	
Fertigungsprinzip	Fließ-Fertigung		Insel-fertigung	Werkstatt-fertigung	
Fabriklebenszyklus	Entwicklung	Aufbau	Anlauf	Betrieb	Abbau
Verbesserungs-ansatz	Innovation			Kaizen / KVP	
Elemente der Energiewandlung	Primär-energie	Sekundär-energie	End-energie	Nutz-energie	
Energetischer Stellhebel	Energiebedarfsreduzierung			Lastmanagement	

 im Betrachtungsfokus

Merkmale der Fertigung in GPS

Merkmale der Fabrik-planung

Merkmale des Energie-managements

Abbildung 4: Morphologie zur Abgrenzung des Betrachtungsbereichs

Durch die zweite Merkmalskategorie – die Fabrikplanung – wird festgelegt, in welcher Phase des Fabriklebenszyklus die methodische Vorgehensweise angewandt werden kann und welcher Verbesserungsansatz ihr zugrunde liegt. Entsprechend dem Ursprung der GPS soll der Fokus der Betrachtung während des Fabriklebenszyklus auf der Phase des laufenden *Betriebs* liegen (MÜLLER ET AL. 2009, S. 132). In dieser Phase gestaltet sich eine Verbesserung nach dem Prinzip der Innovation für bestehende Produktionsprozessketten häufig kostenintensiv (vgl. PROGNOSE 2007, S. 105). Daher soll vorrangig der Ansatz des *Kontinuierlichen Verbesserungsprozesses* (KVP) gelten. In Japan ist dieser unter dem Terminus *Kaizen* bekannt (IMAI 1986, S. 37).

Das Energiemanagement stellt die dritte Merkmalskategorie dar und legt fest, welche Energieform betrachtet und welcher energetische Stellhebel genutzt werden soll. Innerhalb der Energiewandlungskette liegt der Fokus der Betrachtung auf der Endenergie, welche der Fabrik bereitgestellt wird. Sie wird entweder sofort in der Fertigung genutzt (in dem Fall entspricht die Endenergie der Nutzenergie) oder aber

innerhalb der Fabrik, z. B. in Form von Druckluft, partiell in Nutzenergie umgewandelt (VDI 4661, S. 11 f.). Nach der Zusammensetzung des Energiepreises ist es kostenseitig sowohl sinnvoll, den absoluten Energiebedarf zu reduzieren, als auch ein Lastmanagement zu betreiben, das zur Glättung des Leistungsbedarfs beiträgt (MÜLLER ET AL. 2009, S. 96 ff.; REINHART ET AL. 2012, S. 622). Zur Betreibung eines funktionstüchtigen Lastmanagements werden „komplexere elektronisch gesteuerte Systeme“ benötigt (ERLACH & WESTKÄMPER 2009, S. 72). Eine Glättung des Leistungsbedarfs gestaltet sich somit auf operativer Ebene schwierig. Für die zu entwickelnde methodische Vorgehensweise wird daher die *Energiebedarfsreduzierung* als energetischer Stellhebel festgelegt. Sie kann auf operativer Ebene einfach beeinflusst und nachverfolgt werden (REINHART ET AL. 2011A, S. 260).

1.3 Zielsetzung

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit besteht in der Entwicklung einer methodischen Vorgehensweise, die es einem Anwender ermöglichen soll, den Energiebedarf einer nach GPS-Prinzipien gestalteten Fertigung zu reduzieren. Dazu bietet die Vorgehensweise Lösungen zur Identifizierung von Energieverschwendung in der Fertigung. Als Energieverschwendung kann jegliche eingesetzte Energie bezeichnet werden, die nicht zwingend zur Erzeugung der Produktionsausbringung benötigt wird (ERLACH & WESTKÄMPER 2009, S. 17). Auf Basis ermittelter Einsparpotenziale soll dem Anwender dann eine Systematik zur Generierung von Maßnahmen zur Reduzierung der Energieverschwendung geboten werden. Vor der Umsetzung der Maßnahmen sollen deren Auswirkungen auf GPS-Zielgrößen prognostiziert werden, um abschließend eine Umsetzungsempfehlung für den Anwender zu ermöglichen. Als Anwender der zu entwickelnden Vorgehensweise werden Energie- und/oder GPS-Experten angesehen, die für die kontinuierliche Verbesserung der Fertigung zuständig sind.

Als Untersuchungsbereich der Vorgehensweise wird eine nach GPS-Prinzipien ausgerichtete Fließfertigung ausgewählt. Demnach kann im untersuchten Bereich ein fortgeschrittener GPS-Einführungsstand und somit auch eine Steuerung der Produktion mit Hilfe der GPS-Zielgrößen vorausgesetzt werden¹.

Für die vorliegende Arbeit ergeben sich daraus vier Forschungsfragen:

¹Informationen zum Einführungsstand von GPS in der produzierenden Industrie können u. a. BECKER ET AL. (2002), KESSLER ET AL. (2008), KLUGE ET AL. (2009) und SCHNELLBACH ET AL. (2013) entnommen werden.

Wie kann Energieverschwendung in einem ausgewählten Produktionsbereich identifiziert werden?

Wie können Maßnahmen zur Reduzierung von Energieverschwendung generiert werden?

Wie können Wirkungen der Umsetzung dieser Maßnahmen auf Zielgroßen Ganzheitlicher Produktionssysteme ermittelt werden?

Wie können die ermittelten Wirkungen in einer Wirtschaftlichkeitsbewertung der Maßnahmen berücksichtigt werden?

Die Entwicklung einer Vorgehensweise zur Reduzierung von Energieverschwendung unter Berücksichtigung der Wirkbeziehungen in GPS erfordert die Beantwortung dieser vier Forschungsfragen.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in sechs Kapitel, deren logischer Aufbau in Abbildung 5 dargestellt ist.

In Kapitel 1 wurde in der Einleitung bereits auf die *Ausgangssituation und Motivation* der Arbeit eingegangen. Nach der *Spezifizierung des Betrachtungsraums* und der Formulierung der *Zielsetzung* endet das Kapitel mit der Beschreibung des *Aufbaus der Arbeit*.

Kapitel 2 widmet sich der Aufarbeitung der für die Arbeit notwendigen Grundlagen. Nach einer Erläuterung der Thematik *Energieverschwendung in der Fertigung*, werden *Ganzheitliche Produktionssysteme* beschrieben. Da es sich bei GPS um komplexe Systeme handelt, wird anschließend eine Übersicht der *Systemtheorie* gegeben und um den Ansatz *System Dynamics* ergänzt. Mit Hilfe dieses Ansatzes können komplexe Systeme beschrieben werden. Abschließend findet eine Aufarbeitung der Thematik der *Wirtschaftlichkeitsbewertung von Maßnahmen* statt.

Auf Basis der Grundlagen erfolgen im dritten Kapitel die Erörterung von *Anforderungen an die methodischen Vorgehensweise* und die *Vorstellung und Einordnung betrachteter wissenschaftlicher Ansätze*. Anschließend werden eine *Ermittlung des Handlungsbedarfs* sowie eine *Zielspezifikation* durchgeführt.

Für die Entwicklung einer Methodik zur Reduzierung von Energieverschwendung in GPS werden zu Beginn von Kapitel 4 zunächst *Wirkbeziehungen in GPS*

untersucht. Nach dieser Vorarbeit wird die *energieorientierte Wertstromanalyse* als erster Schritt der Methodik entwickelt. Den zweiten Schritt bildet die Vorgehensweise zur *Generierung von Energieeffizienz-Maßnahmen*, gefolgt von dem Aufbau eines *generischen System-Dynamics-Modells*. Dieses wird zur Prognose der Auswirkungen von Maßnahmen auf die GPS-Zielgrößen benötigt. Der letzte Entwicklungsschritt ist die *erweiterte Wirtschaftlichkeitsbewertung*.

In Kapitel 5 wird anschließend der Nachweis der operativen Anwendbarkeit durch die exemplarische Anwendung der Methodik im Rahmen zweier Fallstudien erbracht. Kapitel 6 schließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf weiterführende Handlungsfelder ab.

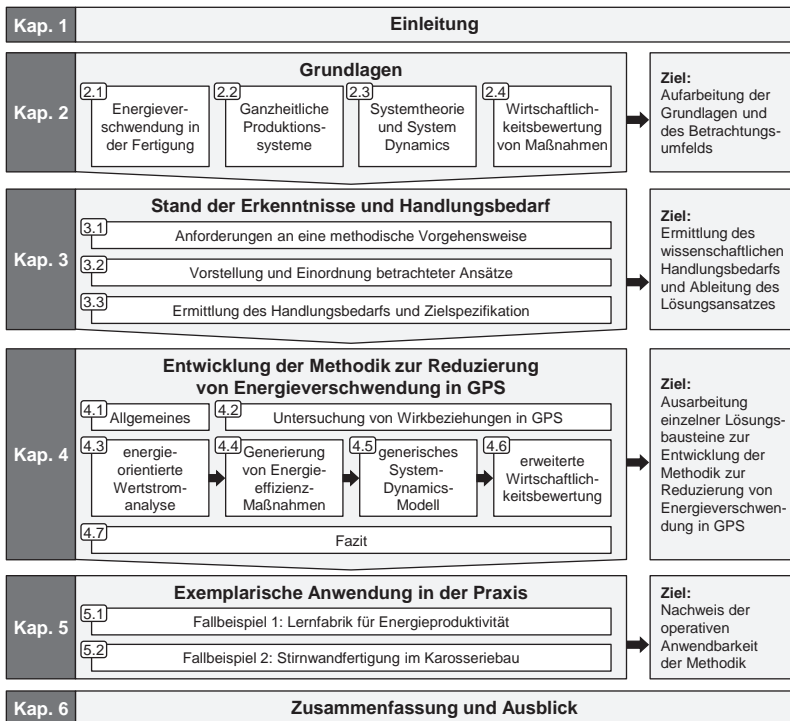


Abbildung 5: Aufbaudiagramm der Arbeit

- 119 Bauer, L.: Strategien zur rechnergestützten Offline- Programmierung von 3D-Laseranlagen
1999 - 98 Abb. - 145 Seiten - ISBN 3-540-65382-1
- 120 Pfof, E.: Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
1999 - 69 Abb. - 154 Seiten - ISBN 3-540-65525-5
- 121 Spitznagel, J.: Erfahrungsgeleitete Planung von Laseranlagen
1999 - 63 Abb. - 156 Seiten - ISBN 3-540-65896-3

Forschungsberichte IWB ab Band 122

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

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

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

- 150 **Jörn Böhl:** Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0020-5
- 151 **Robert Bürgel:** Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben
185 Seiten - ISBN 978-3-8316-0021-2
- 152 **Stephan Dürrschmidt:** Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-0023-6
- 153 **Bernhard Eich:** Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung
136 Seiten - ISBN 978-3-8316-0028-1
- 154 **Wolfgang Rudarfer:** Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke
207 Seiten - ISBN 978-3-8316-0037-3
- 155 **Hans Meier:** Verteilte kooperative Steuerung maschinenaher Abläufe
166 Seiten - ISBN 978-3-8316-0044-1
- 156 **Gerhard Nowak:** Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0055-7
- 157 **Martin Werner:** Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen
191 Seiten - ISBN 978-3-8316-0058-8
- 158 **Bernhard Lenz:** Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
162 Seiten - ISBN 978-3-8316-0094-6
- 159 **Stefan Grunwald:** Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-0095-3
- 160 **Josef Gartner:** Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
165 Seiten - ISBN 978-3-8316-0096-0
- 161 **Wolfgang Zeller:** Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0100-4
- 162 **Michael Loferer:** Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
178 Seiten - ISBN 978-3-8316-0118-9
- 163 **Jörg Führer:** Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0124-0
- 164 **Jürgen Höppner:** Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
144 Seiten - ISBN 978-3-8316-0125-7
- 165 **Hubert Götte:** Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
258 Seiten - ISBN 978-3-8316-0126-4
- 166 **Martin Weissenberger:** Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-0138-7
- 167 **Dirk Jacob:** Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0142-4
- 168 **Ulrich Raßgoderer:** System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
175 Seiten - ISBN 978-3-8316-0154-7
- 169 **Robert Klingel:** Anziehfverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
164 Seiten - ISBN 978-3-8316-0174-5
- 170 **Paul Jens Peter Ross:** Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
144 Seiten - ISBN 978-3-8316-0191-2
- 171 **Stefan von Praun:** Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-0202-5
- 172 **Florian von der Hagen:** Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-0208-7
- 173 **Oliver Kramer:** Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
212 Seiten - ISBN 978-3-8316-0211-7
- 174 **Winfried Dohmen:** Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0214-8
- 175 **Oliver Anton:** Ein Beitrag zur Entwicklung telepräseanter Montagesysteme
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-0215-5
- 176 **Welf Broser:** Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-0217-9
- 177 **Frank Breitinge:** Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
156 Seiten - ISBN 978-3-8316-0227-8
- 178 **Johann von Pieveling:** Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
163 Seiten - ISBN 978-3-8316-0230-8
- 179 **Thomas Baudisch:** Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0249-0
- 180 **Heinrich Schieferstein:** Experimentelle Analyse des menschlichen Kaustems
132 Seiten - ISBN 978-3-8316-0251-3
- 181 **Joachim Berlak:** Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-0258-2
- 182 **Christian Meierloh:** Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
181 Seiten - ISBN 978-3-8316-0292-6
- 183 **Volker Weber:** Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-0330-5
- 184 **Thomas Bongardt:** Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
170 Seiten - ISBN 978-3-8316-0332-9
- 185 **Tim Angerer:** Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0336-7
- 186 **Alexander Krüger:** Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
197 Seiten - ISBN 978-3-8316-0371-8
- 187 **Matthias Meindl:** Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
236 Seiten - ISBN 978-3-8316-0465-4
- 188 **Thomas Fusch:** Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0467-8
- 189 **Thomas Mosandl:** Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
182 Seiten - ISBN 978-3-8316-0471-5
- 190 **Christian Patron:** Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0474-6
- 191 **Robert Cisek:** Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0475-3

- 192 **Florian Auer:** Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
160 Seiten - ISBN 978-3-8316-0485-2
- 193 **Carsten Selke:** Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
137 Seiten - ISBN 978-3-8316-0495-1
- 194 **Markus Seefried:** Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-0503-3
- 195 **Wolfgang Wagner:** Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0586-6
- 196 **Christopher Ulrich:** Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0590-3
- 197 **Johann Härtl:** Prozessgasfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
148 Seiten - ISBN 978-3-8316-0611-5
- 198 **Bernd Hartmann:** Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0615-3
- 199 **Michael Schilp:** Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0631-3
- 200 **Florian Manfred Grätz:** Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0643-6
- 201 **Dieter Eireiner:** Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-0650-4
- 202 **Gerhard Volkwein:** Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0663-9
- 203 **Sven Roeren:** Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 **Henning Rudolf:** Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 **Stella Clarke-Griebisch:** Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 **Michael Ehrenstraßer:** Sensoreinsatz in der telepräsen-ten Mikromontage
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0743-3
- 207 **Rainer Schack:** Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 **Wolfgang Sudhoff:** Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
300 Seiten - ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 **Stefan Müller:** Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 **Ulrich Kohler:** Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
246 Seiten - ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 **Klaus Schlicknieder:** Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 **Niklas Müller:** Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 **Daniel Siedl:** Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrenbewegungen
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 **Dirk Ansorge:** Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 **Georg Würnsch:** Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme
238 Seiten - ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 **Thomas Oertli:** Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 **Bernd Petzold:** Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräsen-ten Mikromontage
234 Seiten - ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 **Lucas Papadakis:** Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 **Mathias Mörtl:** Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 **Sebastian Weig:** Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-0823-2
- 221 **Tobias Hornfeck:** Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0826-3
- 222 **Hans Egermeier:** Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 **Matthäus Sigi:** Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlstahns
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0841-6
- 224 **Mark Harfensteller:** Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets
198 Seiten - ISBN 978-3-8316-0849-2
- 225 **Jochen Werner:** Methode zur roboterbasieren förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 **Florian Hagemann:** Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-0861-4
- 227 **Haitham Rashidy:** Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0862-1
- 228 **Wolfgang Vogl:** Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern
248 Seiten - ISBN 978-3-8316-0869-0
- 229 **Sonja Schedl:** Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0874-4
- 230 **Andreas Trautmann:** Bifocal Hybrid Laser Welding - A Technology for Welding of Aluminium and Zinc-Coated Steels
314 Seiten - ISBN 978-3-8316-0876-8
- 231 **Patrick Neise:** Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0878-2
- 232 **Christian Habicht:** Einsatz und Auslegung zeitenfensterbasierter Planungssysteme in unterbetrieblichen Wertschöpfungsketten
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 **Michael Spitzweg:** Methode und Konzept für den Einsatz eines physikalischen Modells in der Entwicklung von Produktionsanlagen
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0931-4

- 234 **Ulrich Munzert:** Bahnplanungsalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0948-2
- 235 **Georg Völlner:** Rührreißschweißen mit Schwerlast-Industrierobotern
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-0955-0
- 236 **Nils Müller:** Modell für die Beherrschung und Reduktion von Nachfrageschwankungen
286 Seiten - ISBN 978-3-8316-0992-5
- 237 **Franz Decker:** Unternehmensspezifische Strukturierung der Produktion als permanente Aufgabe
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0996-3
- 238 **Christian Lau:** Methodik für eine selbstoptimierende Produktionssteuerung
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-4012-6
- 239 **Christoph Rimpau:** Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte
268 Seiten - ISBN 978-3-8316-4015-7
- 240 **Michael Loy:** Modulare Vibrationswendelförderer für flexiblen Teilezuführung
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-4027-0
- 241 **Andreas Eursch:** Konzept eines immersiven Assistenzsystems mit Augmented Reality zur Unterstützung manueller Aktivitäten in radioaktiven Produktionsumgebungen
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-4029-4
- 242 **Florian Schwarz:** Simulation der Wechselwirkungen zwischen Prozess und Struktur bei der Drehbearbeitung
282 Seiten - ISBN 978-3-8316-4030-0
- 243 **Martin Georg Prasch:** Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage
261 Seiten - ISBN 978-3-8316-4033-1
- 244 **Johannes Schilp:** Adaptive Montagesysteme für hybride Mikrosysteme unter Einsatz von Telepräsenz
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4063-8
- 245 **Stefan Lutzmann:** Beitrag zur Prozessbeherrschung des Elektronenstrahlschmelzens
242 Seiten - ISBN 978-3-8316-4070-6
- 246 **Gregor Branner:** Modellierung transientser Effekte in der Struktursimulation von Schichtbauverfahren
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-4071-3
- 247 **Josef Ludwig Zimmermann:** Eine Methodik zur Gestaltung berührungslos arbeitender Handhabungssysteme
186 Seiten - ISBN 978-3-8316-4091-1
- 248 **Clemens Pörnbacher:** Modellgetriebene Entwicklung der Steuerungssoftware automatisierter Fertigungssysteme
280 Seiten - ISBN 978-3-8316-4108-6
- 249 **Alexander Lindworsky:** Teilautomatische Generierung von Simulationsmodellen für den entwicklungsbegleitenden Steuerungstest
294 Seiten - ISBN 978-3-8316-4125-3
- 250 **Michael Mauderer:** Ein Beitrag zur Planung und Entwicklung von rekonfigurierbaren mechatronischen Systemen – am Beispiel von starren Fertigungssystemen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4126-0
- 251 **Roland Mark:** Qualitätsbewertung und -regelung für die Fertigung von Karosserieteilen in Presswerken auf Basis Neuronaler Netze
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-4127-7
- 252 **Florian Reichl:** Methode zum Management der Kooperation von Fabrik- und Technologieplanung
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4128-4
- 253 **Paul Gebhard:** Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen bei Anwendung für das Rührreißschweißen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4129-1
- 254 **Michael Heinz:** Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgreifsysteme für die Mikrosystemtechnik
302 Seiten - ISBN 978-3-8316-4147-5
- 255 **Pascal Krebs:** Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-4156-7
- 256 **Gerhard Straßer:** Greiftechnologie für die automatisierte Handhabung von technischen Textilien in der Faserverbundfertigung
290 Seiten - ISBN 978-3-8316-4161-1
- 257 **Frédéric-Felix Lacour:** Modellbildung für die physikbasierte Virtuelle Inbetriebnahme materialflusintensiver Produktionsanlagen
222 Seiten - ISBN 978-3-8316-4162-8
- 258 **Thomas Hensel:** Modellbasierter Entwicklungsprozess für Automatisierungslösungen
184 Seiten - ISBN 978-3-8316-4167-3
- 259 **Sherif Zaidan:** A Work-Piece Based Approach for Programming Cooperating Industrial Robots
212 Seiten - ISBN 978-3-8316-4175-8
- 260 **Hendrik Schellmann:** Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4189-5
- 261 **Marwan Rad:** Workspace scaling and haptic feedback for industrial telepresence and teleaction systems with heavy-duty teleoperators
172 Seiten - ISBN 978-3-8316-4195-6
- 262 **Markus Ruhstorfer:** Rührreißschweißen von Rohren
206 Seiten - ISBN 978-3-8316-4197-0
- 263 **Rüdiger Daub:** Erhöhung der Nahttiefe beim Laserstrahl-Wärmelitungsschweißen von Stählen
182 Seiten - ISBN 978-3-8316-4199-4
- 264 **Michael Ott:** Multimaterialverarbeitung bei der additiven strahl- und pulverbettbasierten Fertigung
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4201-4
- 265 **Martin Ostgathe:** System zur produktbasierten Steuerung von Abläufen in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage
278 Seiten - ISBN 978-3-8316-4206-9
- 266 **Imke Nora Kellner:** Materialsysteme für das pulverbettbasierte 3D-Drucken
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4223-6
- 267 **Florian Oefele:** Remote-Laserstrahlschweißen mit brillanten Laserstrahlquellen
238 Seiten - ISBN 978-3-8316-4224-3
- 268 **Claudia Anna Ehinger:** Automatisierte Montage von Faserverbund-Vorformlingen
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-4233-5
- 269 **Tobias Zeilinger:** Laserbasierte Bauteillagebestimmung bei der Montage optischer Mikrokomponenten
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4234-2
- 270 **Stefan Krug:** Automatische Konfiguration von Robotersystemen (Plug&Produce)
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4243-4
- 271 **Marc Lotz:** Erhöhung der Fertigungsgenauigkeit beim Schwungrad-Reißschweißen durch modellbasierte Regelungsverfahren
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4245-8
- 272 **William Brice Tekouo Mouthicho:** A New Programming Approach for Robot-based Flexible Inspection systems
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4247-2
- 273 **Matthias Waibel:** Aktive Zusatzsysteme zur Schwingungsreduktion an Werkzeugmaschinen
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-4250-2
- 274 **Christian Eschey:** Maschinenspezifische Erhöhung der Prozessfähigkeit in der additiven Fertigung
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-4270-0
- 275 **Florian Aull:** Modell zur Ableitung effizienter Implementierungsstrategien für Lean-Production-Methoden
270 Seiten - ISBN 978-3-8316-4283-0
- 276 **Marcus Hennauer:** Entwicklungsbegleitende Prognose der mechatronischen Eigenschaften von Werkzeugmaschinen
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-4306-6

- 277 **Alexander Götzfried:** Analyse und Vergleich fertigungstechnischer Prozessketten für Flugzeugtriebwerks-Rotoren
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4310-3
- 278 **Saskia Reinhardt:** Bewertung der Ressourceneffizienz in der Fertigung
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4317-2
- 279 **Fabian J. Meling:** Methodik für die Rekombination von Anlagentechnik
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4319-6
- 280 **Jörg Egbers:** Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4328-8
- 281 **Max von Bredow:** Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit und des Risikos unternehmensübergreifender Wertschöpfungskonfigurationen in der Automobilindustrie
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-4337-0
- 282 **Tobias Philipp:** RFID-gestützte Produktionssteuerungsverfahren für die Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundkunststoffen
142 Seiten - ISBN 978-3-8316-4346-2
- 283 **Stefan Rainer Johann Braunreuther:** Untersuchungen zur Lasersicherheit für Materialbearbeitungsanwendungen mit brillanten Laserstrahlquellen
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4348-6
- 284 **Johannes Pohl:** Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen
202 Seiten - ISBN 978-3-8316-4358-5
- 285 **Mathy Wiesbeck:** Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-4337-1
- 286 **Sonja Huber:** In-situ-Legierungsbestimmung beim Laserstrahlschweißen
206 Seiten - ISBN 978-3-8316-4370-7
- 287 **Robert Wiedenmann:** Prozessmodell und Systemtechnik für das laserunterstützte Fräsen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4384-4
- 288 **Thomas Irenhauser:** Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz
242 Seiten - ISBN 978-3-8316-4404-9
- 289 **Jens Hatwig:** Automatisierte Bahnplanung für Industrieroboter und Scanneroptiken bei der Remote-Laserstrahlbearbeitung
196 Seiten - ISBN 978-3-8316-4405-6
- 290 **Matthias Baur:** Aktives Dämpfungssystem zur Ratterunterdrückung an spanenden Werkzeugmaschinen
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-4408-7
- 291 **Alexander Schober:** Eine Methode zur Wärmequellenkalibrierung in der Schweißstruktursimulation
198 Seiten - ISBN 978-3-8316-4415-5
- 292 **Matthias Glonegger:** Berücksichtigung menschlicher Leistungsschwankungen bei der Planung von Variantenfließmontagesystemen
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-4419-3
- 293 **Markus Kahmert:** Scanstrategien zur verbesserten Prozessführung beim Elektronenstrahlschmelzen (EBM)
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-4416-2
- 294 **Sebastian Schindler:** Strategische Planung von Technologieketten für die Produktion
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4434-6
- 295 **Tobias Föckerer:** Methode zur rechnergestützten Prozessgestaltung des Schleifhärrens
128 Seiten - ISBN 978-3-8316-4448-3
- 296 **Rüdiger Spillner:** Einsatz und Planung von Roboterassistenz zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen in der Produktion
286 Seiten - ISBN 978-3-8316-4450-6
- 297 **Daniel Schmid:** Rührreibschweißen von Aluminiumlegierungen mit Stählen für die Automobilindustrie
300 Seiten - ISBN 978-3-8316-4452-0
- 298 **Florian Karl:** Bedarfsermittlung und Planung von Rekonfigurationen an Betriebsmitteln
222 Seiten - ISBN 978-3-8316-4458-2
- 299 **Philipp Ronald Engelhardt:** System für die RFID-gestützte situationsbasierte Produktionssteuerung in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage
246 Seiten - ISBN 978-3-8316-4472-8
- 300 **Markus Graßl:** Bewertung der Energieflexibilität in der Produktion
202 Seiten - ISBN 978-3-8316-4476-6
- 301 **Thomas Kirchmeier:** Methode zur Anwendung der berührungslosen Handhabung mittels Ultraschall im automatisierten Montageprozess
196 Seiten - ISBN 978-3-8316-4478-0
- 302 **Oliver Rösch:** Steigerung der Arbeitsgenauigkeit bei der Fräsbearbeitung metallischer Werkstoffe mit Industrierobotern
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-4486-5
- 303 **Christoph Sieben:** Entwicklung eines Prognosemodells zur prozessbegleitenden Beurteilung der Montagequalität von Kolbendichtungen
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-4510-7
- 304 **Philipp Alexander Schmidt:** Laserstrahlschweißen elektrischer Kontakte von Lithium-Ionen-Batterien in Elektro- und Hybridfahrzeugen
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-4519-0
- 305 **Yi Shen:** System für die Mensch-Roboter-Koexistenz in der Fließmontage
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-4520-6
- 306 **Thomas Bonin:** Moderne Ordnungsreduktionsverfahren für die Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen
274 Seiten - ISBN 978-3-8316-4522-0
- 307 **Jan Daniel Musial:** Remote-Laserstrahl-Abtragschneiden
168 Seiten - ISBN 978-3-8316-4523-7
- 308 **Emin Genç:** Frühwarnsystem für ein adaptives Störungsmanagement
234 Seiten - ISBN 978-3-8316-4525-1
- 309 **Mirko Langhorst:** Beherrschung von Schweißverzug und Schweißeigenströmungen
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-4524-2
- 310 **Markus Schweizer:** Simulative und experimentelle Untersuchungen zum Laserschweißen mit Strahloszillation
284 Seiten - ISBN 978-3-8316-4536-7
- 311 **Florian Geiger:** System zur wissensbasierten Maschinenbelegungsplanung auf Basis produktspezifischer Auftragsdaten
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4537-4
- 312 **Peter Schnellbach:** Methodik zur Reduzierung von Energieverschwendung unter Berücksichtigung von Zielgrößen Ganzheitlicher Produktionssysteme
236 Seiten - ISBN 978-3-8316-4540-4