

Saskia Reinhardt

**Bewertung der Ressourceneffizienz  
in der Fertigung**



Herbert Utz Verlag · München

**Forschungsberichte IWB**

Band 278

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2013

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 · 2014

ISBN 978-3-8316-4317-2

Printed in Germany  
Herbert Utz Verlag GmbH, München  
089-277791-00 · [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>i</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>v</b>
<b>Verzeichnis der Formelzeichen</b>	<b>ix</b>
Kleine und große altdeutsche Buchstaben.....	ix
Kleine und große griechische Buchstaben .....	ix
Kleine und große lateinische Buchstaben.....	x
Indizes und Indexmengen.....	xiii
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation.....	1
1.2 Thematische Einordnung.....	4
1.2.1 Allgemeines.....	4
1.2.2 Ressourcen .....	4
1.2.3 Aspekte der Fertigungsgestaltung .....	8
1.3 Zielsetzung .....	12
1.3.1 Ziel der Arbeit .....	12
1.3.2 Eingrenzung des Betrachtungsraums .....	13
1.4 Aufbau der Arbeit .....	14
<b>2 Stand der Erkenntnis</b>	<b>17</b>
2.1 Allgemeines .....	17
2.2 Methodische Grundlagen der Ökobilanzierung .....	17
2.2.1 Phasen einer Ökobilanz .....	17
2.2.2 Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens .....	19
2.2.3 Sachbilanzierung .....	24
2.2.4 Wirkungsabschätzung .....	28
2.2.5 Auswertung.....	36
2.3 Ansätze zur Ökobilanzierung in der Fertigung .....	37
2.3.1 Untergliederung der bisherigen Arbeiten.....	37
2.3.2 Verfahrensspezifische Sach- und Ökobilanzen .....	37
2.3.3 Verfahrensübergreifende Modellierung und Bewertung ..	41
2.4 Zusammenfassende Analyse und Handlungsbedarf.....	46
<b>3 Ansatz zur Bewertung der Ressourceneffizienz</b>	<b>49</b>
3.1 Allgemeines .....	49
3.2 Anforderungen .....	49

3.3	Ressourcenströme einer Fertigungsprozesskette .....	51
3.3.1	Betrachtung der direkten Ressourcenströme.....	51
3.3.2	Erweiterte Betrachtung der Ressourcenströme .....	54
3.4	Konzeption der Bewertungsmethode .....	55
3.4.1	Allgemeines.....	55
3.4.2	Ökobilanzierung im Rahmen der Fertigungsgestaltung ..	56
3.4.3	Phasen der Ressourceneffizienz-Bewertung in der Fer- tigung.....	58
3.4.4	Kennzahlen zur Ressourceneffizienz-Bewertung in der Fertigung .....	61
<b>4</b>	<b>Modellierung von Ressourcenströmen</b>	<b>65</b>
4.1	Allgemeines .....	65
4.2	Generische Modellierung von Fertigungsprozessketten.....	65
4.2.1	Grundlagen der Modellierung.....	65
4.2.2	Ressourcenstromorientiertes Systemmodell .....	66
4.3	Modell zur Quantifizierung von Ressourcenströmen .....	79
4.3.1	Grundlagen der Modellierung.....	79
4.3.2	Prozessschritte und Arbeitszeiten .....	81
4.3.3	Modellierung der Brutto-Ressourcenströme .....	87
4.3.4	Modellierung der Reuse-Ressourcenströme .....	96
4.3.5	Berechnung der Netto-Ressourcenströme .....	99
4.3.6	Modellierung der Produkt-Ressourcenströme.....	100
4.4	Modellierungsprinzipien für den Alternativenvergleich .....	103
<b>5</b>	<b>Charakterisierung von Ressourcen</b>	<b>105</b>
5.1	Allgemeines .....	105
5.2	Beschreibung der Bewertungsaufgabe .....	105
5.2.1	Allgemeines.....	105
5.2.2	Bewertungsgrundlage .....	106
5.2.3	Bewertungsverfahren .....	106
5.2.4	Bestandteile des Bewertungsvorgehens .....	108
5.3	Identifikation der Ressourceneffizienz-Kriterien .....	108
5.3.1	Ableitung der Kriterienhierarchie .....	108
5.3.2	Operationalisierung der Kriterien .....	114
5.4	Bestimmung der charakteristischen Ressourcenfaktoren .....	116
5.4.1	Anforderungen und Ableitung des methodischen The- menfelds .....	116
5.4.2	Überblick über das Vorgehen .....	118
5.4.3	Gewichtung der Kriterien (Artenpräferenz) .....	119
5.4.4	Bewertung der Ressourcen (Höhenpräferenz) und Er- mittlung des Ressourcenfaktors.....	122

5.5	Prinzipien der Anwendung .....	124
5.5.1	Schritte bei der Anwendung des Vorgehens .....	124
5.5.2	Zuweisung der Ausprägungen .....	126
<b>6</b>	<b>Anwendung der Ressourceneffizienz-Bewertung</b>	<b>129</b>
6.1	Allgemeines .....	129
6.2	Umsetzung in dem Softwaretool <i>REvalue</i> .....	129
6.3	Exemplarische Anwendung in der Fügetechnik .....	131
6.3.1	Produktfeatures und Prozessketten .....	131
6.3.2	Modellierung und Quantifizierung .....	133
6.3.3	Bestimmung der Ressourcenfaktoren .....	145
6.3.4	Bewertung der Ressourceneffizienz .....	148
6.4	Bewertung der Methode .....	150
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>155</b>
7.1	Zusammenfassung .....	155
7.2	Ausblick .....	157
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>159</b>
<b>Verzeichnis betreuter Studienarbeiten</b>		<b>181</b>
<b>A</b>	<b>Analyse der MADM-Verfahren</b>	<b>183</b>
<b>B</b>	<b>Ausführungen zur exemplarischen Anwendung</b>	<b>189</b>
B.1	Messungen .....	189
B.2	Globale Kriteriengewichte .....	190
B.3	Ausprägungen der Ressourcen .....	192

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Eine nachhaltige Entwicklung unserer Gesellschaft muss die Befriedigung der Bedürfnisse gegenwärtiger und zukünftiger Generationen sicherstellen (HAUFF & KLEINE 2009, S. 1, WCED 1987, S. 43). Bei deren Ausgestaltung sind die drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales zu berücksichtigen. Der ökologischen Dimension kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu, da sie die Lebensgrundlage der Menschheit bildet und daher die notwendige Voraussetzung für ökonomische und soziale Entwicklungen darstellt. Demgegenüber steht die aktuelle Erkenntnis, dass die natürliche Lebensgrundlage, in der Ökonomie auch natürliche Ressourcen genannt, zunehmend über ihre Regenerationsfähigkeit hinaus genutzt wird (MEADOWS ET AL. 2007, S. 55 ff., WEIZSÄCKER ET AL. 2010, S. 11). ROGALL (2008, S. 31 ff.) nennt fünf zentrale Problemfelder der Gefährdung der natürlichen Lebensgrundlage (vgl. Abbildung 1): die Zerstörung von Ökosystemen, Arten- und Landschaftsvielfalt, die Gefährdung der menschlichen Gesundheit, den Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen, die Übernutzung erneuerbarer Ressourcen sowie den Klimawandel.

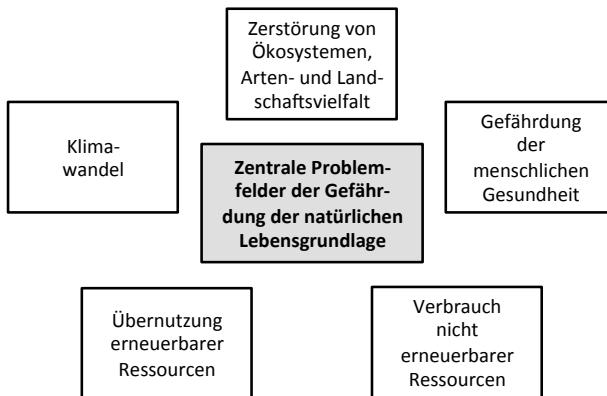


Abbildung 1: Zentrale Problemfelder der Gefährdung der natürlichen Lebensgrundlage (in Anlehnung an ROGALL (2008))

Den Schätzungen der Vereinten Nationen zufolge wird die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2025 auf etwa 8 Milliarden Menschen anwachsen. Bis zum Jahr 2050 wird eine weitere Steigerung auf über 9 Milliarden Menschen prognostiziert (UNITED NATIONS 2009, S. 49). Gleichzeitig wächst die Wirtschaft der

Schwellenländer stark an (IMF 2010, S. 61 ff.), was eine Annäherung ihres Konsumverhaltens an das der Industrieländer mit sich bringt (TNS 2010, S. 6, ROGALL 2008, S. 66). Diese Kombination aus Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum beschleunigt den Verbrauch der natürlichen Ressourcen in hohem Maße. Die Konsequenzen können bildlich anhand des ökologischen Fußabdrucks aufgezeigt werden (vgl. Abbildung 2). Der ökologische Fußabdruck ist eine Messgröße für die menschliche Inanspruchnahme der Biokapazität der Erde, der biologisch produktiven Fläche, die die Grundlagen für den Konsum liefert sowie die entstehenden Abfälle und Emissionen aufnimmt. Demnach benötigte die Weltbevölkerung im Jahr 2010 bereits das 1,5-Fache der ökologischen Quellen und Senken unserer Erde. Unter Beibehaltung der aktuellen Konsum- und Produktionsgewohnheiten wird es laut Prognosen des WWF (2010, S. 89) im Jahr 2050 das 2,8-Fache sein. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen stellt der Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen eine zentrale Herausforderung dar.

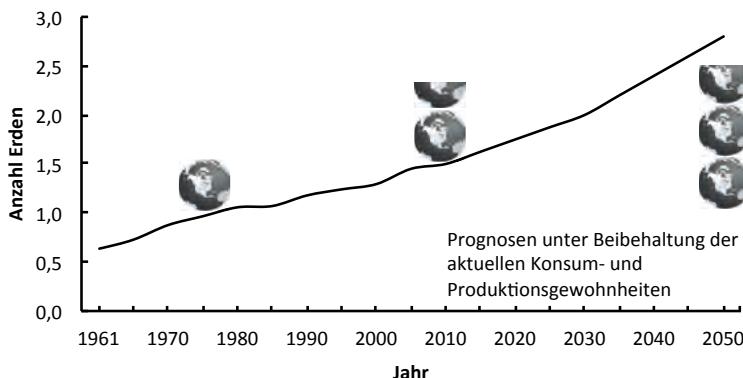


Abbildung 2: Zukünftige Entwicklung des globalen ökologischen Fußabdrucks (in Anlehnung an WWF (2010, S. 89))

Große internationale Institutionen wie die EUROPÄISCHE KOMMISSION (2003, S. 10) oder die OECD (2001, S. 11) sehen den Ansatzpunkt für einen nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen in der Entkopplung<sup>1</sup> der Ressourcennutzung und ihrer Umweltauswirkungen vom Wirtschaftswachstum. Um diese Entkopplung zu ermöglichen, müssen alle Akteure einer Volkswirtschaft ihren Beitrag zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs leisten.

<sup>1</sup> Es ist zwischen einer relativen und absoluten Entkopplung zu unterscheiden. Bei einer relativen Entkopplung steigt der Ressourcenverbrauch zwar an, aber weniger als das wirtschaftliche Wachstum. Bei einer absoluten Entkopplung nimmt der Ressourcenverbrauch ab, während die Wirtschaft wächst.

Die Industrie wird als wichtiger Befähiger für eine nachhaltige Entwicklung angesehen (JOVANE ET AL. 2009). Dies gilt im besonderen Maße für Deutschland, dessen Wirtschaft einen sehr starken industriellen Sektor aufweist. So haben produzierende Unternehmen in Deutschland mit 29 % den größten Anteil am gesamtdeutschen Energieverbrauch (BAYER 2009, S. 10). Außerdem sind sie Hauptverbraucher von Rohstoffen und Material. Im Jahr 2008 wurden in Deutschland z. B. 41,6 Mio. t Stahl, 2 Mio. t Aluminium und 1,4 Mio. t Kupfer in der Produktion benötigt (BGR 2010, S. 145 ff.). Zugleich liegt das wirtschaftlich umsetzbare Einsparpotential des Energie- und Materialverbrauchs bei 10 bis 30 % (KRISTOF ET AL. 2008, S. 55, MCKINSEY 2009, S. 51), wodurch das Thema Energie- und Materialeffizienz verstärkt in den Fokus von Industrieunternehmen tritt (HOFFMANN ET AL. 2008, S. 20). Die Europäische Union gab dahingehend bereits entsprechende Richtlinien heraus, die frühzeitig eine positive Entwicklung hinsichtlich der Ressourceneffizienz in der Industrie hervorrufen sollen und aktuell in den nationalen Gesetzgebungen der einzelnen Mitgliedsstaaten umgesetzt werden (z. B. EUROPÄISCHE UNION 2002, EUROPÄISCHE UNION 2009). Des Weiteren werden das Image und der wirtschaftliche Erfolg eines Unternehmens zunehmend durch dessen Einsatz für eine ressourceneffiziente und ökologische Produktion geprägt (KIRCHHOFF 2006, UHLMANN 2008).

Diese Rahmenbedingungen haben dazu geführt, dass Unternehmen die ökologischen Auswirkungen ihrer Produkte während deren Nutzungs- und Entsorgungsphase bereits heute in der Konstruktion berücksichtigen. Allerdings spielen der Verbrauch von Ressourcen und die Belastung der Umwelt mit Abfällen nicht nur bei der Nutzung und Entsorgung eines Produkts, sondern auch im besonderen Maße während dessen Herstellung eine Rolle. Wenn das Produkt konstruiert ist, ist die Planung und Ausgestaltung seiner Fertigung bestimmend für den Verbrauch von Ressourcen und die Belastung der Umwelt mit Fertigungsabfällen (GUTOWSKI ET AL. 2009). Aufgrund der mangelnden Transparenz wird dem Ressourceneinsatz während der Fertigung aktuell wenig Beachtung geschenkt (DUFLOU ET AL. 2011). Um den Ressourcenverbrauch der Produktion transparent zu machen und damit schlussendlich vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln, bedarf es geeigneter Bewertungskenngrößen (WEGNER ET AL. 2010, S. 102). Insbesondere ist es notwendig, den bisherigen Kennwertsystemen der Fabrik- und Anlagenplanung Werkzeuge und Methoden hinzuzufügen. Diese müssen relevante Einflussgrößen auf den Energie- und Materialbedarf möglichst vollständig erfassen sowie die Bewertung und Planung des Ressourcenverbrauchs sowohl in der Investitions- als auch in der Betriebsphase ermöglichen (NEUGEBAUER 2008, S. 350). Denn auch hier gilt der Grundsatz: „If you cannot measure it, you cannot improve it.“ (LORD KELVIN).

## 1.2 Thematische Einordnung

### 1.2.1 Allgemeines

Um ein einheitliches Verständnis für die anschließende Zielsetzung (vgl. Abschnitt 1.3) der vorliegenden Arbeit zu gewährleisten, wird im Folgenden eine thematische Einordnung vorgenommen. In diesem Rahmen erfolgt zudem eine Abgrenzung der verwendeten Begrifflichkeiten, welche, je nach Kontext und Wissenschaftsbereich, auf unterschiedliche Weise interpretiert werden können.

### 1.2.2 Ressourcen

#### 1.2.2.1 Definition und Kategorisierung

Die Begriffe Ressourcen und Produktionsfaktoren werden im ökonomischen Kontext synonym verwendet. In der klassischen Ökonomie fallen hierunter alle Inputs, untergliedert in Arbeit, Kapital und Boden, die beim Produktionsvorgang in einem Unternehmen zur Herstellung neuer Güter gebraucht werden (POLLERT ET AL. 2010, STOBBE 1994, S. 5). In der neuen Umweltökonomie wird der Produktionsfaktor Boden weiter gefasst und als Naturkapital bzw. natürliche Ressourcen bezeichnet, worunter alle Bestandteile der Natur verstanden werden (ROGALL 2008, S. 57). ROGALL (2008, S. 58) spezifiziert den Begriff *natürliche Ressourcen* mithilfe vier verschiedener Kategorien:

1. „Erneuerbare Ressourcen, die aber erschöpfbar sind, wenn ihre Regenerationsrate überschritten wird: alle Tiere und Pflanzen (Artenvielfalt).“
2. Nicht erneuerbare Rohstoffe und Primärenergieträger (Kohle, Erdöl und Erdgas): Sie können sich in menschlichen Zeitmaßen nicht regenerieren und sind daher knapp.
3. Quasi unerschöpfliche Ressourcen (jedenfalls für menschliche Zeiträume) wie Sonne, Wind, Gezeiten und Erdwärme.
4. Umweltmedien: Boden, Wasser, Luft.“

Eine differenziertere, stärker an der betrieblichen Leistungserstellung im Fertigungsumfeld orientierte Untergliederung der Produktionsfaktoren findet sich in der Betriebswirtschaftslehre. Die unterschiedlichen Kategorisierungsmöglichkeiten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Grundsätzlich werden die Elementarfaktoren, bestehend aus der ausführenden menschlichen Arbeitsleistung, den Betriebsmitteln und den Werkstoffen, für die Erstellung von Produkten kombiniert. Bei der allgemeinen menschlichen Arbeitsleistung kann eine zusätzliche Differenzierung zwischen objektbezogener und dispositiver Arbeit vorgenommen werden. Die *objektbezogene Arbeit* dient

unmittelbar der Leistungserstellung und ist somit ein Elementarfaktor. Die *dispositive Arbeit* beschäftigt sich, als sogenannter dispositiver Faktor, mit der Leitung und Lenkung betrieblicher Vorgänge. Zu den Betriebsmitteln zählen alle Hilfs- und Betriebsstoffe sowie Einrichtungen und Anlagen, die die technischen Voraussetzungen für die betriebliche Leistungserstellung bieten. Rohstoffe, Halb- und Fertigerzeugnisse sowie die wiederverwendeten Abfälle solcher Stoffe werden den *Werkstoffen* zugeordnet (GUTENBERG 1983, S. 3 ff.). In dieser Arbeit werden allerdings unter dem Begriff *Betriebsmittel* „Maschinen, Anlagen und alle sonstigen Geräte, die in irgendeiner Weise in einem Arbeitssystem daran beteiligt sind, die Arbeitsaufgabe zu erfüllen“ analog zu REFA (1993, S. 43) verstanden. Eine zusätzliche Gliederung ergibt sich durch die Einteilung der Produktionsfaktoren nach ihrem Verbrauchsmuster. Es kann diesbezüglich zwischen Repetierfaktoren und Potentialfaktoren unterschieden werden. *Repetierfaktoren* gehen materiell unter, sind i. d. R. beliebig teilbar und müssen häufig wiederbeschafft werden. Dazu zählen alle Werkstoffe sowie die den Betriebsmitteln zugeordneten Hilfs- und Betriebsstoffe. Materiell beständige, nicht beliebig teilbare und in großen Zeitabständen wiederzubeschaffende Elementarfaktoren wie Anlagen und Arbeitskräfte werden als *Potentialfaktoren* bezeichnet (HEINEN 1992, S. 166).

Tabelle 1: Gliederung der Produktionsfaktoren nach GUTENBERG (1983) und HEINEN (1992)

Elementarfaktoren		dispositive Faktoren	
Repetierfaktoren	Potentialfaktoren		
Rohstoffe	halbfertige/fertige Erzeugnisse		
	wiederverwendete Abfallstoffe		
Hilfsstoffe			
Betriebsstoffe			
	Einrichtungen/Anlagen		
		Ausführung	
Werkstoffe	Betriebsmittel	objektbez. Arbeit	dispositive Arbeit
Kapital/Boden		Arbeit	
			Leitung
			Lenkung

### 1.2.2.2 Ressourceneffizienz

Allgemein wird unter Effizienz das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand verstanden. Der Begriff Ressourceneffizienz drückt diesen Zusammenhang auf Ressourcen bezogen aus. Im Folgenden werden bereits bestehende Definitionen aufgeführt und darauf aufbauend die unterschiedlichen Ausprägungen der Ressourceneffizienz herausgearbeitet.

Die EUROPÄISCHE KOMMISSION (2003, S. 9) verwendet die Begriffe Ressourceneffizienz und Ressourcenproduktivität synonym und definiert sie als die Effizienz, „(...) mit der Energie und Materialien in der Wirtschaft genutzt werden, d. h. der Mehrwert je Einheit Ressourceninput. (...) Die obige Definition von Ressourceneffizienz bezieht sich nur auf die Nutzung, der die Ressourcen zugeführt werden. Das bedeutet, dass unberücksichtigt bleibt, wie die Ressourcen gewonnen oder geerntet werden (der Wirtschaftstätigkeit vorgeschaltet) oder wie sie zu Luft, Wasser und Boden stehen (der Wirtschaftstätigkeit nachgelagert). Um die Umweltauswirkungen der Ressourcennutzung ganz zu erfassen, müssen die Tätigkeiten im vor- und nachgelagerten Bereich ebenfalls einbezogen werden.“

Auch ROGALL (2008, S. 26) setzt die Begriffe Ressourceneffizienz und Ressourcenproduktivität gleich. Anders als die EUROPÄISCHE KOMMISSION (2003) integriert er jedoch die Ressourcennutzung der vor- und nachgelagerten Tätigkeiten in seine Definition, indem er sich auf die natürlichen Ressourcen bezieht: „(Ressourceneffizienz) drückt das Verhältnis vom Output zum Einsatz der natürlichen Ressourcen aus (z. B. einem Produkt oder dem Bruttoinlandsprodukt – BIP). Hierbei wird auch die Schadstofffreisetzung als Verbrauch natürlicher Ressourcen angesehen. (...) Damit sagt die Entwicklung der Ressourceneffizienz etwas darüber aus, wie effizient eine Volkswirtschaft [Anm.: oder ein produzierendes Unternehmen] mit den natürlichen Ressourcen umgeht. Sie sagt aber nichts darüber aus, wie hoch der absolute Verbrauch ist.“

SCHÜTZ & BRINGEZU (2008, S. 105) unterscheiden hingegen die Begriffe Ressourceneffizienz und Ressourcenproduktivität: „Ressourceneffizienz bezieht sich allgemein auf das Verhältnis eines erwünschten Outputs eines Prozesses zu dem damit verbundenen Ressourcenaufwand oder -input. Ist der Output eine ökonomische Größe, z. B. Wertschöpfung oder BIP, so spricht man im gesamtwirtschaftlichen Kontext von ‚Ressourcenproduktivität‘. Die Ressourceneffizienz von Prozessen kann sich jedoch auch auf das Verhältnis von physischen Relationen beziehen, z. B. das Verhältnis von verwerteter Rohstoffentnahme zur Gesamtextraktion von Primärmaterial.“

Aus den oben genannten Definitionen wird ersichtlich, dass das Verständnis von Ressourceneffizienz variiert. Die unterschiedlichen Ausprägungen der Ressourceneffizienz sind in Abbildung 3 dargestellt. Hinsichtlich des Nutzens ist

es möglich, als Bezugsgröße die ökonomisch quantifizierte Wertschöpfung, wie z. B. den Produktpreis, heranzuziehen. Eine andere Möglichkeit, diesen auszudrücken, bietet die Beschreibung über physische Größen, wie beispielsweise die Produktmasse. Bezuglich des Aufwands kann sich der Betrachtungsumfang sowohl im Hinblick auf das zugrundeliegende Ressourcenverständnis als auch in Bezug auf die gewählte Systemgrenze unterscheiden. Im engeren Sinne werden nur die unmittelbar im Prozess verbrauchten Ressourcen, Energie und Material, als Aufwand betrachtet. Ein im weiteren Sinne gefasstes Verständnis schließt auch die mittelbare Nutzung der natürlichen Ressourcen mit ein, welche die direkt im Prozess eingesetzten Ressourcen mit sich bringen. Hierunter sind beispielsweise die Schädigung der Ozonschicht durch gasförmige Emissionen oder die Landnutzung für den notwendigen Erzabbau des verwendeten Stahls zu verstehen. Die gewählte Systemgrenze ist fast beliebig skalierbar. Es kann jedoch grob unterschieden werden, ob nur die für den betrachteten Prozess verwendeten Ressourcen als Aufwand angerechnet werden oder zusätzlich die Verbräuche der vor- und nachgelagerten Prozesse<sup>2</sup>. Die Ressourceneffizienz ist zudem über alle Definitionen hinweg eine relative Messgröße und gibt daher nicht den absoluten Verbrauch wieder.

Merkmal		Merkmalausprägung	
Nutzen	Bezugsgröße	ökonomische Größe	physische Größe
Aufwand	Ressourcen-verständnis	Ressourcen im engeren Sinne (Energie und Material)	Ressourcen im weiteren Sinne (natürliche Ressourcen)
	Systemgrenze	Prozess	Prozess inkl. Vor- und Nachprozesse

Abbildung 3: Ausprägungen der Ressourceneffizienz

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Nutzen über physische Größen beschrieben. Seitens des Aufwands wird sowohl das Ressourcenverständnis im engeren Sinne als auch das im weiteren Sinne berücksichtigt. Diese Unterscheidung wird ergänzt durch die Festlegung einer direkt den Prozess betreffenden und einer erweiterten Systemgrenze. Daraus ergeben sich die Ressourceneffizienz im engeren Sinne und die im weiteren Sinne, wobei jeder der Ansätze einen eigenständigen, wichtigen Betrachtungsschwerpunkt bietet.

<sup>2</sup> Die vor- und nachgelagerten Prozesse werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit auch als Vor- und Nachprozesse bezeichnet.

## 1.2.3 Aspekte der Fertigungsgestaltung

Wie bereits in Abschnitt 1.1 erwähnt, trägt der Fertigungsbereich im besonderen Maße zum Verbrauch von Ressourcen und zur Belastung der Umwelt durch Emissionen bei, da dieser den Kernbereich der Wertschöpfung eines produzierenden Unternehmens bildet. Im Folgenden werden zunächst einige Grundlagen und Begrifflichkeiten der Fertigung erklärt, um anschließend Ansatzpunkte für die Steigerung der Ressourceneffizienz herauszuarbeiten.

Nach HIERSIG (1995, S. 275) umfasst die *Fertigung* „(...) die Umwandlung von Rohmaterialien in Einzelteile unter Einbeziehung technischer und organisatorischer Hilfsmittel und Methoden.“ Die DIN 8580 (2003) spezifiziert die Fertigungsverfahren als „alle Verfahren zur Herstellung von geometrisch bestimmten festen Körpern. Sie schließen die Verfahren zur Gewinnung erster Formen aus dem formlosen Zustand, zur Veränderung dieser Form sowie zur Veränderung der Stoffeigenschaften ein.“ Im Rahmen der DIN 8580 (2003) erfolgt eine Einteilung der Verfahren in sechs Hauptgruppen, die zum einen anhand der Änderung des Stoffzusammenhalts und zum anderen bezüglich der Formgebung und des Einflusses auf die Stoffeigenschaften untergliedert werden (vgl. Tabelle 2). Der Begriff Technologie wird häufig als Synonym für den Begriff Fertigungsverfahren genutzt.

Tabelle 2: Gliederung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 (2003)

Schaffen der Form	Ändern der Form				Ändern der Stoffeigenschaften
Zusammenhalt schaffen	Zusammenhalt beibehalten	Zusammenhalt vermindern	Zusammenhalt vermehren		
Hauptgruppe 1 Urformen	Hauptgruppe 2 Umformen	Hauptgruppe 3 Trennen	Hauptgruppe 4 Fügen	Hauptgruppe 5 Beschichten	Hauptgruppe 6 Stoffeigenschaften ändern

Ein *Fertigungsverfahren* bzw. eine *Technologie* stellt ein generisches, vom Betriebsmittel unabhängiges Wirkprinzip dar (EVERSHEIM 1996, S. 44). FALLBÖHMER (2000, S. 14 f.) unterscheidet hinsichtlich des Konkretisierungsgrads Technologieketten, Prozessfolgen und Fertigungsfolgen. Eine *Technologiekette* ist eine abstrakte, produktionsmittelunabhängige Kombination von Fertigungstechnologien bzw. Fertigungsverfahren in definierter Reihenfolge zur Herstellung eines Produkts. Die einzelnen Technologien sind hierbei über Werkstückzwi schenzustände verbunden (vgl. Abbildung 4). Eine *Prozessfolge* entspricht der betriebsmittelbezogenen Technologiekette. Bei einer *Fertigungsfolge* werden

neben den direkt wertschöpfenden Fertigungsschritten auch die im Materialfluss zur Herstellung eines Produkts notwendigen Handhabungs-, Prüf-, Lager- und Transportschritte inklusive deren Betriebsmittel berücksichtigt. Im Rahmen dieser Arbeit ist eine Unterscheidung zwischen Prozessfolgen und Fertigungsfolgen nicht zielführend, da das Vorgehen zur Bewertung der Ressourceneffizienz in beiden Fällen identisch ist, solange mindestens ein wertschöpfender Prozess beteiligt ist. Als allgemeine Bezeichnung für den Einsatz einer Technologie auf einem bestimmten Betriebsmittel wird der Begriff *Fertigungsprozess* nach EVERSHIME (1997, S. 27) gewählt. Entsprechend wird eine Aneinanderreihung von direkt wertschöpfenden Fertigungsprozessen und ggf. nicht wertschöpfenden Prozessen zur schrittweisen Erfüllung der Fertigungsaufgabe im Folgenden als *Fertigungsprozesskette* bezeichnet.

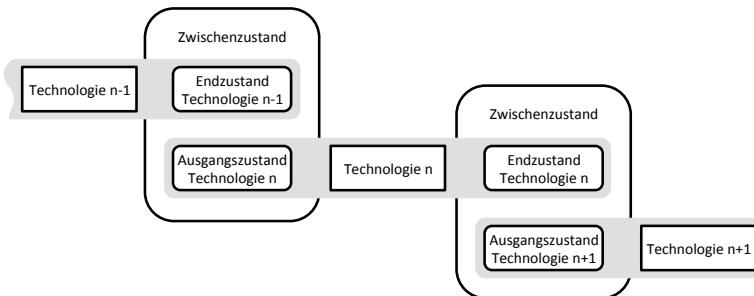


Abbildung 4: Schematischer Aufbau einer Technologiekette nach FALLBÖHMER (2000, S. 101)

Zur Charakterisierung einer Fertigung kann zwischen unterschiedlichen Fertigungsarten differenziert werden, die sich durch die Wiederholhäufigkeit bestimmter Werkstücke sowie durch die produzierte Stückzahl pro Periode bestimmen lassen. Nach aufsteigender Stückzahl und Wiederholhäufigkeit geordnet, werden als Fertigungsarten Einzelfertigung, Kleinserienfertigung, Großserienfertigung und Massenfertigung unterschieden. Zwischen den einzelnen Fertigungsarten sind die Grenzen fließend und die spezifischen Stückzahlen und Wiederholhäufigkeiten sind abhängig von dem betrachteten Fertigungsverfahren (EVERSHIME 1996, S. 103).

Das Soll-Verhalten einer Fertigung wird bei deren Planung festgelegt. Bezüglich der vorhandenen Freiheitsgrade bzw. Planungspotentiale kann grundsätzlich zwischen Neuplanung und Umplanung unterschieden werden. Die Neuplanung bietet die höchsten Freiheitsgrade. Diese erstrecken sich von der Auswahl geeigneter Technologien, unter Berücksichtigung der Bearbeitungsaufgabe und der geplanten Produktionsmenge, über die Anordnung der Betriebsmittel bis hin zur Planung der Gebäudestruktur. Mit einer Umplanung wird die Optimierung

der Produktionsbedingungen bei größtenteils vorhandenen Betriebsmitteln beabsichtigt. Die Zahl der Freiheitsgrade ist hierbei geringer und reduziert damit auch das mögliche Verbesserungspotential (EVERSHEIM 1996, S. 107 f.). Entscheidend für die Ausgestaltung der Fertigung, insbesondere bei einer Neuplanung, sind die herzustellenden Produkte. Die Möglichkeiten zur Beeinflussung der Ressourceneffizienz von Fertigungsprozessen sollen daher anhand des Zusammenspiels von Produktlebenszyklus und Technologiemanagement aufgezeigt werden (vgl. Abbildung 5).

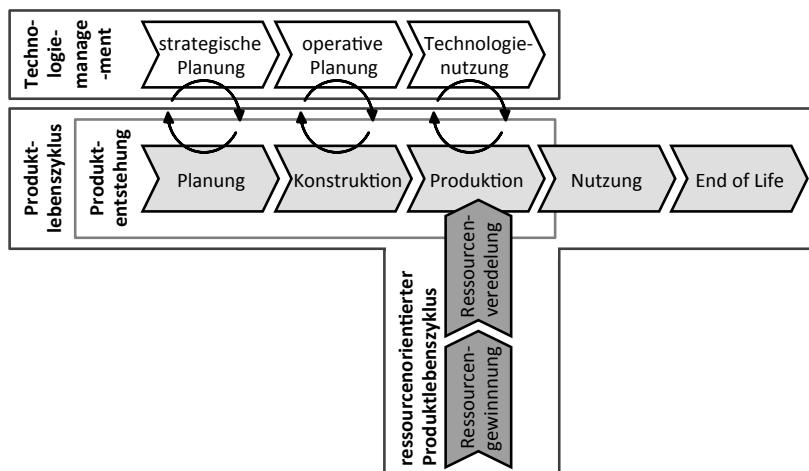


Abbildung 5: Interaktion zwischen Technologiemanagement und Produktlebenszyklus

Der *Produktlebenszyklus* gibt alle Phasen wieder, die ein Produkt grundsätzlich durchläuft. Zunächst erfolgt die Produktplanung, die unter Berücksichtigung der Marktanforderungen und der Unternehmensziele durch eine systematische Suche und Auswahl zukunftsträchtiger Produktideen das herzustellende Produkt festlegt. Sie schafft damit auch den Gestaltungsrahmen für die Konstruktion des Produkts. Hier werden die Gestaltmerkmale und somit die Eigenschaften eines Produkts definiert und entwickelt. Das Ergebnis des Konstruktionsprozesses ist die Dokumentation der geometrischen, strukturellen und technologischen Produktmerkmale (EVERSHEIM & SCHUH 1999, S. 7 ff.). Daran schließt sich die Produktionsphase an, die Fertigung und Montage zusammenfasst. Hier werden Rohmaterialien und halbfertige Erzeugnisse in fertige Erzeugnisse bzw. Produkte umgewandelt (WESTKÄMPER ET AL. 2006, S. 3). Die Phasen der Planung, Konstruktion und Produktion werden unter dem Begriff der *Produktentstehung* zusammengefasst. Anschließend geht das Produkt in seine Nutzungsphase über,

in welcher es seiner Bestimmung entsprechend zur Anwendung kommt. Zuletzt durchläuft das Produkt die Phase des End of Life. Diese kann sowohl die Entsorgung als auch die Weiter- und Wiederverwendung des Produkts bzw. seiner Bestandteile beinhalten. Wird der Produktlebenszyklus aus einer ressourcenorientierten Perspektive dargestellt, beginnt dieser *ressourcenorientierte Produktlebenszyklus* nicht mit der Planung und Konstruktion des Produkts, sondern mit der Gewinnung und Veredelung der für die Produktion notwendigen Ressourcen.

Während der Produktentstehung besteht eine enge Verzahnung mit den Phasen des *Technologiemanagements*. Für die Fertigungsgestaltung sind insbesondere folgende Teilaufgaben des Technologiemanagements<sup>3</sup> relevant: strategische Planung, operative Planung und Nutzung. Dabei ändert sich das Technologieverständnis von dem generischen Fertigungsverfahren in der strategischen Planung zum betriebsmittelabhängigen Fertigungsprozess in der operativen Planung und Nutzungsphase (FALLBÖHMER 2000, S. 14 f.; TROMMER 2001, S. 30 ff.). Während der strategischen Planung wird das Ziel verfolgt, Potentiale zu schaffen, um die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens auszubauen und Produkt- und Prozessinnovationen zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang wird geprüft, ab wann eine neue Technologie einsatzfähig ist und es wirtschaftlich ist von einem veralteten Fertigungsverfahren auf ein neues zu wechseln (REINHART & SCHINDLER 2010). In der operativen Technologieplanung werden die in der strategischen Technologieplanung gefassten kurz- bis mittelfristigen Ziele umgesetzt. Dabei steht der optimale Einsatz der ausgewählten Technologie im Fokus der Betrachtung (EVERSHEIM & SCHUH 1999, S. 10 ff.). Die Technologienutzung umfasst die technische Umsetzung sowie die Anwendung des Fertigungsprozesses. Das Ausmaß der möglichen Beeinflussung des Ressourcenverbrauchs in den Phasen der Technologieplanung und -nutzung ist in Abbildung 6 dargestellt.

Sowohl während der Technologieplanung als auch während der Produktentstehung finden sich entsprechend vielfältige Ansatzpunkte für die Beeinflussung der Ressourceneffizienz der Fertigung (REBITZER ET AL. 2004). Die Ressourceneffizienz kann einerseits durch die geeignete Planung und Konstruktion der zu fertigenden Produkte und andererseits durch die Auswahl der besten Technologiealternativen und die Bestimmung des umzusetzenden Konzepts erhöht werden. Es finden also insbesondere während der Technologieplanung Entscheidungen statt, bei denen die Ressourceneffizienz entsprechend zu berücksichtigen ist. Diese Einflussmöglichkeiten nehmen zukünftig weiter zu, da die Anzahl der Technologien und somit auch der einsetzbaren Prozessketten steigen werden (ABELE & REINHART 2011, S. 17).

---

<sup>3</sup> Alle, z. T. umfassenden Aufgaben des Technologiemanagements werden im Rahmen dieser Arbeit nicht erläutert. Einen Überblick hierzu bieten z. B. SCHUH & KLAPPERT (2011).

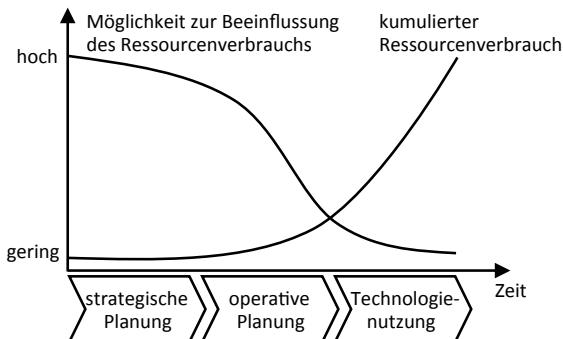


Abbildung 6: Möglichkeiten zur Beeinflussung des Ressourcenverbrauchs (in Anlehnung an SCHREMS ET AL. (2011))

## 1.3 Zielsetzung

### 1.3.1 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methode zur Bewertung der Ressourceneffizienz von Fertigungsprozessketten. Die Methode soll Transparenz hinsichtlich der Effizienz des Ressourcenverbrauchs in der Fertigung erzeugen und damit die Basis für eine effektive Optimierung schaffen. Zu diesem Zweck soll eine Kennzahl hergeleitet werden, die als Maßeinheit für die Ressourceneffizienz eines Fertigungsprozesses bzw. einer Fertigungsprozesskette dient. Die Kennzahl soll analog zu Zielgrößen der Wirtschaftlichkeitsbewertung, wie z. B. dem Kapitalwert, insbesondere in der Planungsphase zur Entscheidungsunterstützung aber auch zur Feststellung des Status quo einer bestehenden Fertigung eingesetzt werden können.

Um die Ressourceneffizienz einer Fertigungsprozesskette ermitteln zu können, wird zunächst ein Vorgehen für die Modellierung der Ressourcenströme definiert. Bei einem erweiterten Ressourcenverständnis ist die Quantifizierung der unmittelbar auftretenden Ressourcenströme alleine jedoch nicht ausreichend. Daher ist es zusätzlich notwendig, die Auswirkungen des jeweiligen Ressourcenstroms auf die natürlichen Ressourcen abzubilden und in die Bewertung einzubeziehen. Auch die Bestimmung der Umweltwirkung bedarf einer methodischen Unterstützung, die zusätzlich die Präferenzen und Schwerpunkte des Fertigungsunternehmens berücksichtigen muss. Die Methode soll damit einen Ansatz zur Bewertung des Ressourcenverbrauchs in der Fertigung liefern und die Grundlage für dessen zielgerichtete Entkopplung vom Wirtschaftswachstum bilden.

### 1.3.2 Eingrenzung des Betrachtungsraums

Anhand des in Abschnitt 1.2 aufgespannten Betrachtungsraums wird die Zielsetzung weiter konkretisiert. Dies dient zum einen der zielgerichteten Untersuchung des Stands der Erkenntnisse in Kapitel 2 und zum anderen der eindeutigen Abgrenzung des Untersuchungsbereichs der vorliegenden Arbeit von weiteren Fragestellungen. Die gewählten Schwerpunkte sind in Abbildung 7 dargestellt.

Merkmal	Merkmalausprägung					Themen-gebiet	
Produktions-faktoren	Repetierfaktoren		Potentialfaktoren		dispositive Faktoren		
Ressourcen-verständnis	im engeren Sinne			im weiteren Sinne			
Produkt-lebenszyklus	Pla-nung	Konst-ruktion	Produktion	Nutzung	End of Life	Lebens-zyklus-phasen	
Betriebsmittel-lebenszyklus	Pla-nung	Konst-ruktion	Produktion	Nutzung	End of Life		
Fertigungsart	Einzelfertigung		Serienfertigung		Massenfertigung		
Technologie-management	strategische Planung		operative Planung		Technologienutzung		

Abbildung 7: Morphologie zur Eingrenzung des Betrachtungsraums

In die Bewertung gehen nur die direkt im Fertigungsprozess verwendeten Ressourcen ein. Daher erfolgt eine Eingrenzung auf die Repetierfaktoren, d. h., es werden nur Ressourcen beachtet, die verbraucht werden. Hierzu gehört auch der Verbrauch nutzbarer Energie<sup>4</sup>. Potentialfaktoren, die genutzt werden, wie menschliche Arbeitsleistung oder technische Anlagen, werden nicht berücksichtigt. Die Abgrenzung begründet sich zum einen in der Definition der natürlichen Ressourcen, zu denen die menschliche Arbeit nicht gezählt wird (vgl. Abschnitt 1.2.2.1). Zum anderen stellt die Definition von Repetierfaktoren die Bedingung der Unmittelbarkeit des Verbrauchs, welche die Berücksichtigung von Anlagen ausschließt<sup>5</sup>. Allgemein wird das zugrunde liegende Verständnis

<sup>4</sup> Im physikalischen Sinne des 1. Hauptsatz der Thermodynamik ist der Verbrauch von Energie nicht möglich. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird unter Energieverbrauch die Wandlung einer für die technische Anwendung leicht nutzbare in eine schwierig nutzbare Energieform verstanden, z. B. elektrische Energie in Wärmeenergie.

<sup>5</sup> Soll der Ressourcenverbrauch zur Erstellung einer Anlage erfasst werden, kann die in der vorliegenden Arbeit vorgestellte Methode zur Erfassung der Ressourcenströme aller durchgeführten Herstellungsprozesse der Anlage herangezogen werden. Damit kann der initiale „Ressourceninvest“ für die Anlage festgestellt und ggf. in eine erweiterte Betrachtung integriert werden.

von Ressourcen weiter gefasst und bezieht somit die Auswirkungen auf die natürlichen Ressourcen mit ein.

Bezogen auf den Lebenszyklus des herzustellenden Produkts beschränkt sich die Quantifizierung der Ressourcenströme auf dessen Produktionsphase. Aus Sicht der in der Produktion verwendeten Betriebsmittel, auf denen die Fertigungsverfahren zur Produktherstellung eingesetzt werden, entspricht dies wiederum der Nutzungsphase in deren Lebenszyklen.

Die in der vorliegenden Arbeit zu entwickelnde Methode soll sich grundsätzlich zur Bewertung der Ressourceneffizienz jeglicher Fertigungsprozessketten eignen. Die Umstände, unter denen ein Einsatz solch einer Methode besonders sinnvoll ist, lassen sich jedoch einschränken. Zum einen im Hinblick auf die Fertigungsart, da durch die Mengeneffekte bei der Serien- und Massenfertigung auch geringe Einsparungen pro Produkt große Auswirkungen haben und somit der Aufwand für die Bewertung gerechtfertigt ist. Zum anderen ist eine Anwendung insbesondere während der operativen Technologieplanung zu empfehlen, da während dieser Phase die alternativen Fertigungsprozessketten i. d. R. bereits feststehen und gleichzeitig die Möglichkeiten zur Beeinflussung des Ressourcenverbrauchs der Fertigung groß sind (vgl. Abbildung 6).

### 1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in sieben Kapitel untergliedert. In diesem Kapitel wurden eine Einführung in das Themengebiet, in das sich die Arbeit einfügt, sowie in die grundsätzliche Zielsetzung und den Betrachtungsraum gegeben. Einen kurzen Überblick über die Struktur und die Inhalte der Arbeit gibt Abbildung 8.

In Kapitel 2 wird der Stand der Erkenntnisse dargestellt. Dazu werden zunächst die methodischen Grundlagen der Ökobilanzierung als Basis einer ressourcenorientierten Bewertung erläutert. Darauf aufbauend werden bestehende Untersuchungen mit Fokus auf den Ressourcenverbrauch von Fertigungsprozessen und existierende Ansätze zur Ökobilanzierung im Fertigungsumfeld beschrieben. Auf Basis einer Analyse dieser bereits durchgeführten Arbeiten wird der Handlungsbedarf aufgezeigt.

Kapitel 3 beschreibt den entwickelten Ansatz zur Bewertung der Ressourceneffizienz. Hierfür werden zunächst die Anforderungen an die Methode definiert. Daraufhin erfolgt eine genauere Betrachtung der in der Fertigung eingesetzten Ressourcen. Basierend auf den allgemeinen Rahmenbedingungen der Ökobilanzierung und den gestellten Anforderungen wird die Methode zur Bewertung der Ressourceneffizienz in der Fertigung mit ihren vier Phasen abgeleitet.

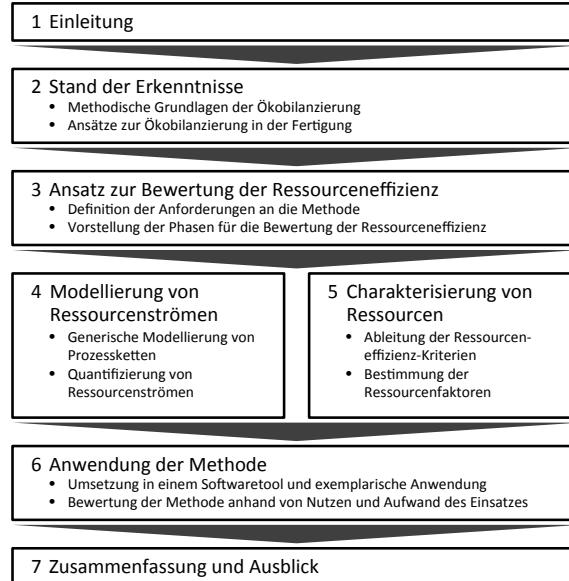


Abbildung 8: Struktur der Arbeit

Eine Detaillierung der Methode erfolgt in Kapitel 4 und Kapitel 5. Kapitel 4 behandelt zum einen die systemtheoretische Modellierung von Fertigungsprozessketten als Hauptbestandteile der Fertigung. Zum anderen wird die Quantifizierung der in einer Prozesskette ein- und ausgehenden Ressourcenströme beschrieben. Kapitel 5 erläutert die Ableitung von charakteristischen Faktoren für jede Ressource und zwar abhängig davon, ob diese in die Prozesskette eingeht oder aus der Prozesskette herauskommt. Diese Faktoren geben die Umweltauswirkungen der einzelnen Ressourcen wieder. Die Basis zur Bestimmung der Ressourcenfaktoren bildet eine Hierarchie von Ressourceneffizienz-Kriterien, welche auch im Rahmen des fünften Kapitels vorgestellt werden.

Die Anwendung der Methode thematisiert Kapitel 6. Dazu wird ein im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickeltes Softwaretool beschrieben, das den Einsatz der Methode in der Praxis unterstützt. Anschließend erfolgt eine Bewertung der Methode, indem diese an den eingangs gestellten Anforderungen gespiegelt wird. Außerdem werden die bei der Anwendung anfallende Aufwand sowie die vielfältigen Vorteile der Ressourceneffizienz-Bewertung aufgezeigt. Schließlich fasst Kapitel 7 die Inhalte der Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche weitere Forschungstätigkeiten im Rahmen der behandelten Fragestellung.

## Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim

Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, [info@utzverlag.de](mailto:info@utzverlag.de), [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)

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

- 47 **Virtuelle Produktion - Prozeß- und Produktsimulation**  
131 Seiten - ISBN 3-89675-047-X
- 48 **Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen**  
106 Seiten - ISBN 3-89675-048-8
- 49 **Rapid Prototyping - Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung**  
150 Seiten - ISBN 3-89675-049-6
- 50 **Rapid Manufacturing - Methoden für die reaktionsfähige Produktion**  
121 Seiten - ISBN 3-89675-050-X
- 51 **Flexibles Kleben und Dichten - Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle**  
137 Seiten - ISBN 3-89675-051-8
- 52 **Rapid Manufacturing - Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserenien**  
124 Seiten - ISBN 3-89675-052-6
- 53 **Mischverbindungen - Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung**  
107 Seiten - ISBN 3-89675-054-2
- 54 **Virtuelle Produktion - Integrierte Prozess- und Produktsimulation**  
133 Seiten - ISBN 3-89675-054-2
- 55 **e-Business in der Produktion - Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele**  
150 Seiten - ISBN 3-89675-055-0
- 56 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug**  
150 Seiten - ISBN 3-89675-056-9
- 57 **Virtuelle Produktion - Datenintegration und Benutzerschnittstellen**  
150 Seiten - ISBN 3-89675-057-7
- 58 **Rapid Manufacturing - Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien**  
169 Seiten - ISBN 3-89675-058-7
- 59 **Automatisierte Mikromontage - Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik**  
114 Seiten - ISBN 3-89675-059-3
- 60 **Mechatronische 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 Entwicklungsverfahren, 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 - Strukturdynamik von Werkzeugmaschinen**  
161 Seiten - ISBN 3-89675-070-4
- 71 **Klebtechnik - Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten**  
ISBN 3-89675-071-2 - vergriffen
- 72 **Fabrikplanung 2004 Erfolgsfaktor im Wettbewerb - Erfahrungen - Werkzeuge - Visionen**  
ISBN 3-89675-072-0 - vergriffen
- 73 **Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion - Erwartungen - Erfahrungen - Entwicklungen**  
179 Seiten - ISBN 3-89675-073-9
- 74 **Virtuelle Produktionssystemplanung - Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik**  
133 Seiten - ISBN 3-89675-074-7
- 75 **Nicht erschienen - wird nicht erscheinen**
- 76 **Berührungslose Handhabung - Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapsel zur aseptischen Ampulle**  
95 Seiten - ISBN 3-89675-076-3
- 77 **ERP-Systeme - Einführung in die betriebliche Praxis - Erfahrungen, Best Practices, Visionen**  
153 Seiten - ISBN 3-89675-077-7
- 78 **Mechatronik - Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen**  
155 Seiten - ISBN 3-89675-078-X
- 79 **Produktionsmanagement**  
267 Seiten - ISBN 3-89675-079-8
- 80 **Rapid Manufacturing - Fertigungsverfahren für alle Ansprüche**  
154 Seiten - ISBN 3-89675-080-1
- 81 **Rapid Manufacturing - Heutige Trends - Zukünftige Anwendungsfelder**  
172 Seiten - ISBN 3-89675-081-X
- 82 **Produktionsmanagement - Herausforderung Variantenmanagement**  
100 Seiten - ISBN 3-89675-082-8
- 83 **Mechatronik - Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen**  
160 Seiten - ISBN 3-89675-083-6
- 84 **Virtuelle Inbetriebnahme - Von der Kür zur Pflicht?**  
104 Seiten - ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 **3D-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
- 90 **Rapid Manufacturing und Digitale Fabrik - Durch Innovation schnell und flexibel am Markt**  
100 Seiten - ISBN 978-3-89675-090-7
- 91 **Robotik in der Kleinserienproduktion - Die Zukunft der Automatisierungstechnik**  
ISBN 978-3-89675-091-4
- 92 **Rapid Manufacturing - Ressourceneffizienz durch generative Fertigung im Werkzeug- und Formenbau**  
ISBN 978-3-89675-092-1
- 93 **Handhabungstechnik - Innovative Greiftechnik für komplexe Handhabungsaufgaben**  
136 Seiten - ISBN 978-3-89675-093-8
- 94 **iwb Seminarreihe 2009 Themengruppe Werkzeugmaschinen**  
245 Seiten - ISBN 978-3-89675-094-5
- 95 **Zuführtechnik - Herausforderung der automatisierten Montage!**  
111 Seiten - ISBN 978-3-89675-095-2
- 96 **Risikobewertung bei Entscheidungen im Produktionsumfeld - Seminar »Risiko und Chance«**  
151 Seiten - ISBN 978-3-89675-096-9
- 97 **Seminar Rapid Manufacturing 2010 - Innovative Einsatzmöglichkeiten durch neue Werkstoffe bei Schichtbauverfahren**  
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-097-6

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

## Forschungsberichte iwb

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

Band 1–121, herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, sind im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg erschienen

Forschungsberichte iwb ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim  
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, [info@utzverlag.de](mailto:info@utzverlag.de), [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)

- 122 *Burghard Schneider*: Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabilisierter Bauteile  
183 Seiten - ISBN 978-3-89675-559-9
- 123 *Bernd Goldstein*: Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung  
170 Seiten - ISBN 978-3-89675-546-9
- 124 *Helmut E. Mößner*: Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionsysteme  
164 Seiten - ISBN 978-3-89675-585-8
- 125 *Ralf-Gunter Gräser*: Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern  
167 Seiten - ISBN 978-3-89675-603-9
- 126 *Hans-Jürgen Trossin*: Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik  
162 Seiten - ISBN 978-3-89675-614-5
- 127 *Doris Kugelman*: Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern  
168 Seiten - ISBN 978-3-89675-615-2
- 128 *Rolf Diesch*: Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen  
160 Seiten - ISBN 978-3-89675-618-3
- 129 *Werner E. Lulay*: Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur 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 Partnerverbünden  
152 Seiten - ISBN 978-3-89675-645-9
- 133 *Knut Heitmann*: Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle  
146 Seiten - ISBN 978-3-89675-675-6
- 134 *Stefan Blessing*: Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen  
160 Seiten - ISBN 978-3-89675-690-9
- 135 *Can Aboy*: Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industrierakemik  
159 Seiten - ISBN 978-3-89675-697-8
- 136 *Stefan Brandner*: Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken  
172 Seiten - ISBN 978-3-89675-715-9
- 137 *Arnd G. Hirschberg*: Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung  
165 Seiten - ISBN 978-3-89675-729-6
- 138 *Alexandra Reek*: Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen  
193 Seiten - ISBN 978-3-89675-730-2
- 139 *Khalid-Alexander Sabah*: Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen  
148 Seiten - ISBN 978-3-89675-739-5
- 140 *Klaus U. Schilfenbacher*: 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-Laserstrahlweißprozesses von Magnesiumumdruckguss  
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 *Jörm Böhl*: Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung  
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0020-5
- 151 *Robert Bügel*: 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 Rudorfer*: Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke  
207 Seiten - ISBN 978-3-8316-0037-3
- 155 *Hans Meier*: Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe  
166 Seiten - ISBN 978-3-8316-0044-1
- 156 *Gerhard Nowak*: Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0055-7
- 157 *Martin Werner*: Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen  
191 Seiten - ISBN 978-3-8316-0058-8
- 158 *Bernhard Lenz*: Finite-Elemente-Modellierung des 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 Fährer*: 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 Roßgodeyer*: System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen  
175 Seiten - ISBN 978-3-8316-0154-7
- 169 *Robert Klingel*: Anziehverfahren 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 nachgegebiger 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 telepräzenter Montagesysteme  
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-0215-5
- 176 *Wolfgang Broser*: Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke  
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-0217-9
- 177 *Frank Breitinger*: Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen  
156 Seiten - ISBN 978-3-8316-0227-8
- 178 *Johann von Pieverling*: Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturnfertigungsverfahren für das Rapid Tooling  
163 Seiten - ISBN 978-3-8316-0230-8
- 179 *Thomas Baudisch*: Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine  
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0249-0
- 180 *Heinrich Schieferstein*: Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems  
132 Seiten - ISBN 978-3-8316-0251-3
- 181 *Joachim Berlak*: Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungsystmen  
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-0258-2
- 182 *Christian Meierhofer*: Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung  
181 Seiten - ISBN 978-3-8316-0292-6
- 183 *Volker Weber*: Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzorientierten 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 978-3-8316-0336-2
- 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*: Qualitätsteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme  
182 Seiten - ISBN 978-3-8316-0471-5
- 190 *Christian Patron*: Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung  
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0474-6
- 191 *Robert Cisek*: Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionsystemen  
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0475-3
- 192 *Florian Auer*: Methode zur Simulation des Laserstrahl schweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen  
160 Seiten - ISBN 978-3-8316-0485-2
- 193 *Carsten Selke*: Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung  
137 Seiten - ISBN 978-3-8316-0495-1
- 194 *Markus Seefried*: Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern  
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-0503-3
- 195 *Wolfgang Wagner*: Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostenenkung bei marktnaher Produktion  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0586-6
- 196 *Christopher Ulrich*: Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0590-3
- 197 *Johann Härtl*: Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern  
148 Seiten - ISBN 978-3-8316-0611-5
- 198 *Bernd Hartmann*: Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0615-3
- 199 *Michael Schilp*: Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage  
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0631-1
- 200 *Florian Manfred Grätz*: Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0643-6
- 201 *Dieter Eireneir*: Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding  
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-0650-4
- 202 *Gerhard Volkwein*: Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 *Sven 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 Ehrensträßer*: Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage  
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0743-3
- 207 *Rainer Schack*: Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik  
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 *Wolfgang Sudhoff*: Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion  
300 Seiten - ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 *Stefan Müller*: Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen  
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 *Ulrich Kohler*: Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme  
246 Seiten - ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 *Klaus Schlichenrieder*: Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile  
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 *Niklas Möller*: Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionsysteme  
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 *Daniel Siedl*: Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrbewegungen  
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 *Dirk Ansorge*: Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiraumern  
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 *Georg Wünsch*: Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme  
238 Seiten - ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 *Thomas Oertli*: Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben  
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 *Bernd Petzold*: Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräzise Mikromontage  
234 Seiten - ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 *Loucas Papadakis*: Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains  
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 *Mathias Mörtl*: Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung  
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 *Sebastian Weig*: Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten  
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-0823-2
- 221 *Tobias Hornfeck*: Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie  
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0826-3
- 222 *Hans Egermeier*: Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen  
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 *Matthäus Sigl*: Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlsintern  
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0841-6
- 224 *Mark Harfenssteller*: Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets  
198 Seiten - ISBN 978-3-8316-0849-2
- 225 *Jochen Werner*: Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie  
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 *Florian Hagemann*: Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen  
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-0861-4

- 227 *Haitham Rashidy*: Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry  
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0862-1
- 228 *Wolfgang Vogl*: Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern  
248 Seiten · ISBN 978-3-8316-0874-4
- 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 Aluminum and Zinc-Coated Steels  
314 Seiten · ISBN 978-3-8316-0876-8
- 231 *Patrick Neise*: Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models  
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0878-2
- 232 *Christian Habicht*: Einsatz und Auslegung zeitfensterbasierter Planungssysteme in überbetrieblichen Wertschöpfungsketten  
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 *Michael Spitzweg*: 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*: Bahnanpassalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen  
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0948-2
- 235 *Georg Völlner*: Röhreleinschweißen mit Schwerlast-Industrierobotern  
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-0955-0
- 236 *Nils Müller*: Modell für die Beherrschung und Reduktion von Nachfrageschwankungen  
286 Seiten · ISBN 978-3-8316-0992-5
- 237 *Franz Decker*: Unternehmensspezifische Strukturierung der Produktion als permanente Aufgabe  
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0996-3
- 238 *Christian Lau*: Methodik für eine selbstoptimierende Produktionssteuerung  
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-4012-6
- 239 *Christoph Rimpau*: Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte  
268 Seiten · ISBN 978-3-8316-4015-7
- 240 *Michael Loy*: Modularer Vibrationswendelförderer zur flexiblen Teilezuführung  
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-4027-0
- 241 *Andreas 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 Pasch*: Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage  
261 Seiten · ISBN 978-3-8316-4033-1
- 244 *Johannes Schip*: Adaptive Montagesysteme für hybride Mikrosysteme unter Einsatz von Telepräzisen  
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-4063-8
- 245 *Stefan Lutzmann*: Beitrag zur Prozessbeherrschung des Elektronenstrahlenschmelzens  
242 Seiten · ISBN 978-3-8316-4070-6
- 246 *Gregor Branner*: Modellierung transienter Effekte in der Struktursimulation von Schichtbauverfahren  
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-4071-3
- 247 *Josef Ludwig Zimmermann*: Eine Methodik zur Gestaltung berührungsloser 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 Presswerkzeugen 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 Röhreleinschweißen  
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 multidimensionalen 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 Radi*: Workspace scaling and haptic feedback for industrial telepresence and teleaction systems with heavy-duty teleoperators  
172 Seiten · ISBN 978-3-8316-4195-6
- 262 *Marcus Ruhstorfer*: Röhreleinschweißen von Rohren  
206 Seiten · ISBN 978-3-8316-4197-0
- 263 *Rüdiger Daub*: Erhöhung der Nahttiefe beim Laserstrahl-Wärmeleitungsschweißen von Stählen  
182 Seiten · ISBN 978-3-8316-4199-4
- 264 *Michael Ott*: Multimaterialverarbeitung bei der additiven strahl- und pulverbasierten 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 pulverbasierte 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 Schwunggrad-Reibschweißen durch modellbasierte Regelungsverfahren  
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4245-8
- 272 *William Brice Tekouo Moutchivo*: A New Programming Approach for Robot-based Flexible Inspection systems  
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4247-2
- 273 *Matthias Waibel*: Aktive Zusatzsysteme zur Schwingungsreduktion an Werkzeugmaschinen  
158 Seiten · ISBN 978-3-8316-4250-2
- 274 *Christian Escher*: 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