

STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG

JOCHEN BÖCK

---

# Methode zur Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Fertigungs- und Montagelinien



Universität Stuttgart



Fraunhofer  
IPA

**Herausgeber:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl

Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Jochen Böck

**Methode zur Integration nicht-konventioneller  
Verfahren in flexible Fertigungs- und Montage-  
linien**

**Kontaktadresse:**

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
Telefon 07 11 9 70-00, Telefax 07 11 9 70-13 99  
info@ipa.fraunhofer.de, www.ipa.fraunhofer.de

**STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG****Herausgeber:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl  
Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart  
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart  
Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)  
der Universität Stuttgart

Titelbild: ©Vege/fotolia.com

**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.

ISSN: 2195-2892

ISBN: 978-3-8396-0590-5

**D 93**

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2013

Druck: Mediendienstleistungen des Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart  
Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2013

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB  
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
Telefon 07 11 9 70-25 00  
Telefax 07 11 9 70-25 08  
E-Mail [verlag@fraunhofer.de](mailto:verlag@fraunhofer.de)  
URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

## GELEITWORT DER HERAUSGEBER

Produktionswissenschaftliche Forschungsfragen entstehen in der Regel im Anwendungszusammenhang, die Produktionsforschung ist also weitgehend erfahrungsbasiert. Der wissenschaftliche Anspruch der „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ liegt unter anderem darin, Dissertation für Dissertation ein übergreifendes ganzheitliches Theoriegebäude der Produktion zu erstellen.

Die Herausgeber dieser Dissertations-Reihe leiten gemeinsam das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und jeweils ein Institut der Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik an der Universität Stuttgart.

Die von ihnen betreuten Dissertationen sind der marktorientierten Nachhaltigkeit verpflichtet, ihr Ansatz ist systemisch und interdisziplinär. Die Autoren bearbeiten anspruchsvolle Forschungsfragen im Spannungsfeld zwischen theoretischen Grundlagen und industrieller Anwendung.

Die „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ ersetzt die Reihen „IPA-IAO Forschung und Praxis“ (Hrsg. H.J. Warnecke / H.-J. Bullinger / E. Westkämper / D. Spath) bzw. ISW Forschung und Praxis (Hrsg. G. Stute / G. Pritschow / A. Verl). In den vergangenen Jahrzehnten sind darin über 800 Dissertationen erschienen.

Der Strukturwandel in den Industrien unseres Landes muss auch in der Forschung in einen globalen Zusammenhang gestellt werden. Der reine Fokus auf Erkenntnisgewinn ist zu eindimensional. Die „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ zielen also darauf ab, mittelfristig Lösungen für den Markt anzubieten. Daher konzentrieren sich die Stuttgarter produktionstechnischen Institute auf das Thema ganzheitliche Produktion in den Kernindustrien Deutschlands. Die leitende Forschungsfrage der Arbeiten ist: Wie können wir nachhaltig mit einem hohen Wertschöpfungsanteil in Deutschland für einen globalen Markt produzieren?

Wir wünschen den Autoren, dass ihre „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ in der breiten Fachwelt als substanziell wahrgenommen werden und so die Produktionsforschung weltweit voranbringen.

Alexander Verl

Thomas Bauernhansl

Engelbert Westkämper



# **Methode zur Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Fertigungs- und Montagelinien**

Von der Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik  
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von  
**Dipl.-Ing. Jochen Böck**  
aus Krumbach/Schwaben

Hauptberichter: Univ.-Prof. a.D. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult.  
Engelbert Westkämper  
Mitberichter: Univ.-Prof. a.D. Dr.-Ing. Prof. h.c. mult. Dr. h. c. mult.  
Uwe Heisel

Tag der mündlichen Prüfung: 30. April 2013

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart

2013



# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart und am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Engelbert Westkämper, der durch seine fachlichen Impulse maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat und mir als Visionär und Persönlichkeit stetes Vorbild ist. Zudem möchte ich mich bei ihm für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und die vielseitigen Erfahrungen am Institut danken. Prof. Uwe Heisel danke ich für die Durchsicht der Arbeit und die Übernahme des Mitberichts.

Prof. Andreas Scheibe möchte ich für seine wertvollen Impulse danken. Seine konstruktive Kritik war stets mit aufmunternden Worten verbunden.

Stellvertretend für alle Wegbegleiter möchte ich mich bei Philipp Kroß, Gernot Frank, Holger Haag, Oliver Mannuß, Carolin Schulz, Jörg Siegert und Andreas Meyke bedanken.

Viele studentische Hilfskräfte, Bachelor-, Studien- und Diplomarbeiter haben mich während meiner Zeit am Institut unterstützt; besonders möchte ich mich bei Miriam Blumenschein, Alexander Ketterer und Marcel Kruck bedanken.

Die Veyhl GmbH in Neuweiler ermöglichte die Validierung der von mir erarbeiteten Methode. Ich danke Wolfgang Bruder, der mit großer Begeisterung mein Anliegen unterstützt hat.

Insbesondere haben meine Eltern, Paula und Friedrich Böck, mir diesen Weg ermöglicht. Ich danke Ihnen und meinem Bruder Marc für das grenzenlose Vertrauen, das mir stets den notwendigen Rückhalt gegeben hat. Meine Lebenspartnerin Yvonne hat mich durch die alltäglichen Höhen und Tiefen begleitet. Ich danke ihr für das Verständnis, die Geduld und die Aufmunterungen.

Stuttgart, Februar 2013

Jochen Böck

## Kurzzinhalt

Heutige fertigungstechnische Prozessketten sind mehrstufig und umfassen Bereiche wie Ur- und Umformen, Beschichten, Vor- und Endmontage. Die Integration von Produktionsstufen ist ein Ansatz, um die gegenwärtigen Anforderungen (z.B. sinkende Losgrößen und steigende Variantenvielfalt) einer wettbewerbsfähigen Produktion zu erfüllen. Die Integration nicht-konventioneller Verfahren (z.B. Pulverbeschichtung), die im Wesentlichen aufgrund inkompatibler Prozesszeiten (Taktzeit) sowie der hohen Anforderungen an die Produktionsumgebung getrennt sind, in Produktionslinien wird lediglich vereinzelt umgesetzt. Insbesondere die Vorprägung und der Wissensstand der Planer in historisch gewachsenen Prozessketten sowie die mangelnde Kenntnis relevanter Einflussfaktoren und Wechselwirkungen an den Gestaltungselementen der Prozesskette sind Faktoren, die eine Integration hemmen.

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es, eine Methode zur Unterstützung der Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Fertigungs- und Montagelinien bereitzustellen. Hierzu wurden Modelle zur ganzheitlichen Abbildung der Schnittstellenkriterien erarbeitet. Anschließend wurden die Modelle zu einer vierstufigen Methode integriert, die über zu erfassende, relevante Planungsparameter informiert, die Auf- und Weiterverarbeitung unterstützt sowie Zusammenhänge zur ganzheitlichen Bewertung der Integrationsmaßnahme aufzeigt. Wesentliche Teilschritte sind zum einen die Identifikation einer oder mehrerer Produktfamilien mit hohem Rationalisierungspotenzial durch Prozessstufenintegration mit Hilfe von Integrationsgraden, die auf einem aggregierten vereinfachten Kostenmodell basieren. Zum anderen die Beschreibung der Integrationsaufgabe in Form eines Integrationsanforderungsprofils sowie die mehrstufige Bewertung und Auswahl möglicher Verfahren bzw. Ressourcen mit diversen Hilfsmitteln.

Die Methode wurde bei einem mittelständischen Industrieunternehmen der Möbelindustrie angewendet und auf ihre Durchführbarkeit geprüft. Es konnte am Beispiel der Integration der Pulverbeschichtung in die Montage nachgewiesen werden, dass mit dieser Arbeit ein Beitrag zur Unterstützung von Planern im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren in Produktionslinien geleistet wurde und Einsparpotenziale realisiert werden können.

## Short Summary

Nowadays, most process chains are multistage and comprise production areas like machining, coating and assembly. The integration of production stages is an approach to meet the challenges of a competitive production (e.g. smaller lot sizes, an increasing variety of versions and shorter model life cycles). Non-conventional processes (e.g. powder coating) which are usually located in different production areas, mainly due to incompatible process times and high demands on the necessary production environment. Therefore, the integration into production lines is limited to a few implementations. In particular, reasons like thinking and planning in well-worn tracks according to the experience and wide knowledge of the planner and insufficient knowledge about the determining factors and interdependencies of the design elements of a process chain prevent the integration.

In the presented work a method was developed for assisting the planner in the integration of non-conventional processes into flexible assembly and manufacturing lines. Therefore models have been devised which take into account relevant integration criteria of the process chain. In addition the models have been integrated into a four-step planning method. The main steps are the identification of rationalization potential by using various integration indicators, which are based on a simplified and aggregated cost model, on the one hand. On the other hand, the description of the integration task is achieved through an integration requirement profile and the generation and evaluation of possible technologies, technology chains and resource alternatives is done step by step by using specific tools.

Finally, the method with all steps was implemented in an IT tool and applied in a company from the office furniture industry and its feasibility examined. It has been shown that the presented work makes a contribution to supporting the planner when integrating non-conventional processes into flexible production lines and to supporting companies to achieve and increase sustainable competitiveness.

# Inhaltsverzeichnis

<b>VORWORT</b> .....	<b>III</b>
<b>KURZINHALT</b> .....	<b>IV</b>
<b>SHORT SUMMARY</b> .....	<b>V</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>IX</b>
<b>FORMELZEICHEN UND EINHEITEN</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>XXII</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation .....	1
1.2 Problemstellung .....	5
1.3 Zielsetzung und Aufgabenstellung .....	8
1.4 Aufbau der Arbeit .....	11
<b>2 BESCHREIBUNG UND EINGRENZUNG DES BETRACHTUNGSBEREICHS UND BEGRIFFLICHE GRUNDLAGEN</b> .....	<b>13</b>
2.1 Aufbau produzierender Unternehmen .....	13
2.2 Transformation und Wertschöpfung in produzierenden Unternehmen .....	15
2.3 Systemtheoretische Beschreibung produzierender Unternehmen .....	16
2.4 Arbeitsvorbereitung in produzierenden Unternehmen .....	21
2.4.1 Teilaufgaben der Arbeitssystemplanung .....	23
2.4.2 Teilaufgaben der Arbeitsablaufplanung .....	26
2.4.3 Teilaufgaben der Produktionsplanung und -steuerung .....	29
2.5 Physische Produktion als Subsystem produzierender Unternehmen .....	32
2.5.1 Organisation und Struktur von Produktionsprozessen .....	32
2.5.2 Integration von Produktionsprozessen .....	36
2.5.3 Integrationsschnittstellen von Produktionsprozessen .....	39

2.6	Kostenrechnung in produzierenden Unternehmen .....	42
2.6.1	Struktur und Systeme der Kostenrechnung .....	42
2.6.2	Kostenkalkulation .....	44
2.6.3	Activity Based Costing und Prozesskostenrechnung .....	44
2.6.4	Investitionsrechnung.....	45
2.7	Fazit (Eingrenzung und Beschreibung des Betrachtungsbereichs) und Spezifikation der grundsätzlichen Anforderungen an die Integration nicht-konventioneller Verfahren...	46
<b>3</b>	<b>AUSGEWÄHLTE ANSÄTZE ZUR GESTALTUNG VON PROZESSKETTEN.....</b>	<b>50</b>
3.1	Ausgewählte Ansätze zur Arbeitsplanung.....	50
3.2	Ausgewählte organisatorische Ansätze zur Integration von Prozessstufen.....	56
3.3	Ausgewählte technische Konzepte zur Integration nicht-konventioneller Verfahren in Produktionslinien .....	57
3.4	Fazit (Defizite) der vorgestellten Ansätze .....	59
<b>4</b>	<b>MODELLIERUNG DER INTEGRATIONSKRITERIEN.....</b>	<b>62</b>
4.1	Produkt-, Verfahrens- und Ressourcenmodell.....	62
4.1.1	Produktmodell.....	62
4.1.2	Verfahrensmodell .....	65
4.1.3	Ressourcenmodell.....	68
4.2	Kostenmodell.....	75
4.2.1	Kostenmodell der Ausführungsprozesse .....	76
4.2.2	Kostenmodell der Führungsprozesse.....	82
4.2.3	Kostenmodell zur ganzheitlichen Bewertung von Integrationsmaßnahmen .....	87
<b>5</b>	<b>METHODE ZUR INTEGRATION NICHT-KONVENTIONELLER VERFAHREN .....</b>	<b>89</b>
<b>6</b>	<b>DETAILLIERUNG DER METHODE .....</b>	<b>92</b>
6.1	Schritt 1: Erfassung der Ist-Situation.....	92
6.1.1	Definition der Planungsziele.....	92
6.1.2	Identifikation struktureller Informationen .....	92
6.2	Schritt 2: Erstellung der Neukonfiguration.....	94

6.2.1	Identifikation des Rationalisierungspotenzials .....	94
6.2.2	Ableitung der integrierten Systemkonfiguration .....	100
6.3	Schritt 3: Ermittlung des Integrationsanforderungsprofils .....	103
6.3.1	Bestimmung der produktspezifischen Anforderungen .....	103
6.3.2	Bestimmung der ressourcenspezifischen Anforderungen .....	104
6.4	Schritt 4: Bewertung und Auswahl .....	107
6.4.1	Identifikation möglicher Verfahren .....	109
6.4.2	Verfahrensbewertung und -auswahl .....	109
6.4.1	Ressourcenbewertung und -auswahl.....	116
6.5	Schritt 5: Umsetzung .....	130
<b>7</b>	<b>VALIDIERUNG DER METHODE AM BEISPIEL EINES UNTERNEHMENS DER</b>	
	<b>MÖBELINDUSTRIE .....</b>	<b>131</b>
7.1	Anwendungsfall.....	131
7.1.1	Beschreibung des Unternehmens und Struktur des Wirtschaftszweigs.....	131
7.1.2	Beschreibung der Produkt- und Produktionsstruktur .....	132
7.2	Durchführung.....	133
7.2.1	Zieldefinition und Ermittlung strukturelevanter Informationen.....	133
7.2.2	Identifikation des Rationalisierungspotenzials und Ableitung eines Integrationsszenarios .....	135
7.2.3	Ermittlung produkt- und ressourcenspezifischer Anforderungen.....	137
7.2.4	Bewertung und Auswahl.....	139
7.3	Erkenntnisse.....	145
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>	<b>147</b>
	<b>SUMMARY .....</b>	<b>151</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>154</b>
	<b>ANHANG.....</b>	<b>180</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Erschließbares Leistungspotenzial durch die Zunahme einsetzbarer Fertigungsverfahren und Prozessketten in Erweiterung zu [Abele/Reinhard 2011].....	3
Abbildung 1-2:	Reduktion des Ressourcenbedarfs durch Integration der Prozesskette .....	5
Abbildung 1-3:	Schnittstellenkriterien an den Gestaltungselementen einer Prozesskette.....	7
Abbildung 1-4:	Zielsetzung und Aufgabenstellung.....	9
Abbildung 1-5:	Aufbau der Arbeit.....	12
Abbildung 2-1:	Modell eines Produktionsunternehmens in Erweiterung zu [Wiendahl 2010] ...	14
Abbildung 2-2:	Erzeugung von Werten als Transformationsprozess in Anlehnung an [Westkämper 2006] .....	15
Abbildung 2-3:	Hierarchische Struktur produzierender Unternehmen in Anlehnung an [Westkämper/Zahn 2009, Heinecker 2006] .....	17
Abbildung 2-4:	Struktur produzierender Unternehmen am Beispiel des Stuttgarter Unternehmensmodells nach [Westkämper/Zahn 2009] .....	18
Abbildung 2-5:	Grundmodell der Leistungseinheit in Anlehnung an [Westkämper/Zahn 2009].....	19
Abbildung 2-6:	Elemente eines Arbeitssystems in Anlehnung an [Schlick et al. 2010] .....	20
Abbildung 2-7:	Zeithorizont der Aufgaben der Arbeitsplanung nach [Wiendahl 2010].....	22
Abbildung 2-8:	Maschinenarbeitsfläche und Bestandteile nach [Schmigalla 1995].....	25
Abbildung 2-9:	Zeitlicher Ablauf der Tätigkeiten innerhalb der Arbeitsablaufplanung nach [Eversheim 2002] .....	26
Abbildung 2-10:	Klassische PPS-Aufgabenstruktur nach [Hackstein 1989] .....	30
Abbildung 2-11:	Organisationstypen der Produktion in Erweiterung zu [Günther/Tempelmeier 2005].....	35
Abbildung 2-12:	Ziele und Voraussetzungen der Komplettbearbeitung durch Verfahrensintegration in Erweiterung zu [Schütt 1991] .....	38

Abbildung 2-13:	Vergleich konventionell, entkoppelter zu linienintegriertem Prozessschritt in Anlehnung an [Möbius 2003] .....	39
Abbildung 2-14:	Betriebsexterne und -interne Bereiche des Materialflusses nach [Kettner et al. 1984].....	40
Abbildung 2-15:	Struktur und Systeme der Kostenrechnung nach [Warnecke et al. 1996].....	42
Abbildung 2-16:	Einsatzbereiche des Activity Based Costings und der Prozesskostenrechnung nach [Horváth 2006] .....	45
Abbildung 2-17:	Verfahren der Investitionsrechnung in Anlehnung an [Warnecke et al. 1996a].....	46
Abbildung 2-18:	Relevante charakteristische Eigenschaften und Zusammenhänge fertigungstechnischer Prozessketten im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren.....	47
Abbildung 3-1:	Betrachtungsumfang der Ansätze nach Fallböhrer und Trommer in Anlehnung an [Trommer 2001].....	51
Abbildung 3-2:	Bewertung der vorgestellten Ansätze.....	61
Abbildung 4-1:	Produktmodell .....	65
Abbildung 4-2:	Transformationsprozess durch Anwendung eines Verfahrens.....	66
Abbildung 4-3:	Verfahrensmodell .....	67
Abbildung 4-4:	Arbeitssystemmodell zur Ableitung der Integrationskriterien in Erweiterung zu [Schlick et al. 2010].....	69
Abbildung 4-5:	Zusammenhang des Werkstück- und Werkzeugflusses auf Makro- und Mikroebene.....	69
Abbildung 4-6:	Wechselwirkungen der Emissionen und Immissionen in der Produktionsumwelt.....	71
Abbildung 4-7:	Ressourcenmodell – produktbezogene Eigenschaften .....	72
Abbildung 4-8:	Ressourcenmodell – produktionsumfeldbezogene Eigenschaften .....	74
Abbildung 4-9:	Aufbau des Transportkostenmoduls.....	77
Abbildung 4-10:	Aufbau des Bearbeitungskostenmoduls .....	79
Abbildung 4-11:	Aufbau des Lagerkostenmoduls .....	81
Abbildung 4-12:	Aufbau des Maschinenprogrammierungsmoduls.....	83
Abbildung 4-13:	Aufbau des Fertigungs- und Prüfmittelplanungsmoduls.....	84
Abbildung 4-14:	Aufbau des Werkstattsteuerungsmoduls .....	86

---

Abbildung 4-15:	Kostenmodell – Leistungseinheit .....	87
Abbildung 5-1:	Methode zur Unterstützung der Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Produktionslinien .....	89
Abbildung 6-1:	Beispiel einer Wertstromanalyse [Erlach 2010].....	93
Abbildung 6-2:	Betrachtungsbereich zur Bestimmung des materialfluss- und informationsflussbezogenen Integrationsgrads .....	95
Abbildung 6-3:	Diagramm zur Ableitung einer integrierten Systemkonfiguration.....	100
Abbildung 6-4:	Ermittlung des vor- und nachgelagerten Bauteilzwischenzustands .....	104
Abbildung 6-5:	Matrix zur Grenzwertermittlung .....	105
Abbildung 6-6:	Zusammenfassung der ressourcenspezifischen Anforderungen .....	107
Abbildung 6-7:	Vorgehensweise zur Bewertung und Auswahl.....	108
Abbildung 6-8:	Relevante Kriterien und Abgrenzung der Bewertungsmodule zur Verfahrensbewertung und -auswahl.....	110
Abbildung 6-9:	Ablauf der Verfahrensbewertung und -auswahl.....	111
Abbildung 6-10:	Technikmodul zur Verfahrensbewertung und -auswahl .....	112
Abbildung 6-11:	Ablauf der Ressourcenbewertung und -auswahl.....	117
Abbildung 6-12:	Betrachtete Kriterien und Wechselwirkungen im Rahmen der Ressourcengrobbewertung und -auswahl.....	119
Abbildung 6-13:	Abgleich der geschätzt benötigten mit der verfügbaren Ressourcengrundfläche .....	121
Abbildung 6-14:	Abgleich von Emissionen und Immissionen.....	126
Abbildung 6-15:	Beteiligung des Personals und der Technik an einer Arbeitsaufgabe im Zeitverlauf.....	128
Abbildung 7-1:	Bereichsstruktur und vereinfachter Materialfluss der Produktfamilie „zwei-beinige, höhenverstellbare Bürotische“ .....	133
Abbildung 7-2:	Auswertung der strukturelevanten Informationen .....	134
Abbildung 7-3:	Materialfluss- und informationsflussbezogene Integrationsgrade der betrachteten Produktfamilien .....	136
Abbildung 7-4:	Integrationsszenario – montageintegrierte Beschichtung .....	137
Abbildung 7-5:	Ausschnitt der vor- und nachgelagerten Produkthanforderungen an der Integrationschnittstelle.....	138
Abbildung 7-6:	Ausschnitt der Ressourcenanforderungen an der Integrationschnittstelle.....	139

Abbildung 7-7:	Verfahrensmorphologie – Vorbehandlung, Applikation und Nachbehandlung.....	140
Abbildung 7-8:	Beispiel einer technisch und zeitlich bewerteten Verfahrensfolge .....	141
Abbildung 7-9:	Verfahrensauswahlliste – Vorbehandlung, Applikation und Nachbehandlung	142
Abbildung 7-10:	Schematische Darstellung der betrachteten Ressourcenvarianten .....	143
Abbildung 7-11:	Ressourcengrobauswahlliste .....	144

## Formelzeichen und Einheiten

Größe	Einheit	Bezeichnung
$f_g$	[-]	Multiplikationsfaktor mit Zuschlägen für Bereitstellung, Bedienung, Wartung sowie Ver- und Entsorgung am Arbeitsplatz
$f_{gl}$	[-]	Beteiligungsfaktor (gleichzeitige Beteiligung)
$f_{glr}$	[-]	Beteiligungsfaktor (gleichzeitige Beteiligung am Rüsten)
$f_P$	[-]	Beteiligungsfaktor (ausschließliche Beteiligung des Personals)
$f_{Pr}$	[-]	Beteiligungsfaktor (ausschließliche Beteiligung des Personals am Rüsten) [-]
$f_S$	[-]	Skalierungsfaktor (Bereitstellung, Bedienung, Wartung sowie Ver- und Entsorgung am Arbeitsplatz)
$f_T$	[-]	Beteiligungsfaktor (ausschließliche Beteiligung der Technik)
$f_{Tr}$	[-]	Beteiligungsfaktor (ausschließliche Beteiligung der Technik am Rüsten)
$i$	[Prozent/Zeiteinheit]	kalkulatorischer Zinssatz
$j$	[-]	Anzahl der betrachteten Produktfamilien
$k_{AAP,min}^I$	[1/Zeiteinheit]	Faktor zur Festlegung des minimalen Integrationsgrads der Arbeitsablaufplanung, $\eta_{AAP,i} = 0 \%$
$k_{tech,min}^I$	[1/Zeiteinheit]	Faktor zur Festlegung des minimalen technischen Integrationsgrads, $\eta_{tech,i} = 0 \%$
$k_{WS,min}^I$	[1/Zeiteinheit]	Faktor zur Festlegung des minimalen Integrationsgrads der Werkstattsteuerung, $\eta_{ws,i} = 0 \%$
$l$	[-]	Anzahl der zur Auftragsdurchsetzung benötigten Leistungseinheiten
$m$	[Stück]	Losgröße
$m_i$	[Stück]	Losgröße von Produktfamilie $i$

Größe	Einheit	Bezeichnung
$n_{A,i}$	[1/Zeiteinheit]	Anzahl der Aufträge im Betrachtungszeitraum für Produktfamilie $i$
$n_{AN,i}$	[1/Zeiteinheit]	Anzahl der Neuaufträge im Betrachtungszeitraum für Produktfamilie $i$
$n_{AW,i}$	[1/Zeiteinheit]	Anzahl der Auftragswiederholungen im Betrachtungszeitraum für Produktfamilie $i$
$n_{FMP,i}$	[-]	Anzahl der Fertigungsmittelplanungen pro Auftrag für Produktfamilie $i$
$n_{KAP,i}$	[-]	Anzahl der zu planenden und steuernden Kapazitäten pro Auftrag für Produktfamilie $i$
$n_{MaB,n}$	[-]	Anzahl der Mitarbeiter zur Bearbeitung in Leistungseinheit $n$
$n_{MaFMP,n}$	[-]	Anzahl der Mitarbeiter zur Fertigungsmittelplanung in Leistungseinheit $n$
$n_{MaP,n}$	[-]	Anzahl der Mitarbeiter zur Programmierung in Leistungseinheit $n$
$n_{MaT,n}$	[-]	Anzahl der Mitarbeiter zum Transport in Leistungseinheit $n$
$n_{MaWS,n}$	[-]	Anzahl der Mitarbeiter zur Werkstattsteuerung in Leistungseinheit $n$
$n_{MAP,ni}$	[-]	Anzahl der Maschinenprogramme (NC-RC-MC) pro Auftrag für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$n_{MFV,i}$	[-]	Anzahl der Materialflussverknüpfungen zwischen Arbeitsplätzen bzw. Bereichen für Produktfamilie $i$
$n_{St}$	[Stück/Zeiteinheit]	geplante Stückzahl
$n_{St,i}$	[Stück/Zeiteinheit]	Stückzahl im Betrachtungszeitraum für Produktfamilie $i$
$s_{T,n}$	[Längeneinheit]	Transportentfernung in Leistungseinheit $n$
$t_A$	[Zeiteinheit]	Amortisationszeit
$t_{e,ni}$	[Zeiteinheit]	Zeit je Einheit für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$t_{FMP,ni}$	[Zeiteinheit]	Konstruktionszeit je Fertigungsmittelplanung pro Auftrag für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$t_g$	[Zeiteinheit]	Grundzeit

Größe	Einheit	Bezeichnung
$t_{gPi}$	[Zeiteinheit]	$i$ -ter Grundzeitanteil (Tätigkeit des Personals)
$t_{gTj}$	[Zeiteinheit]	$j$ -ter Grundzeitanteil (Nutzung der Technik)
$t_{MAP,ni}$	[Zeiteinheit]	Programmierzeit je Programm pro Auftrag für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$t_{r,ni}$	[Zeiteinheit]	Rüstzeit für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$t_{irg}$	[Zeiteinheit]	interne Rüstgrundzeit
$t_{T,n}$	[Zeiteinheit/Spiel]	Transportzeit pro Spiel in Leistungseinheit $n$
$t_{VZtheor}$	[Zeiteinheit]	theoretische Verfahrenszeit
$t_{WS,n}$	[Zeiteinheit/Kapazitätseinheit]	Werkstattsteuerungszeit je Kapazitätseinheit je Auftrag in Leistungseinheit $n$
$v_{T,n}$	[Streckeneinheit/Zeiteinheit]	Transportgeschwindigkeit des Transportmittels in Leistungseinheit $n$
$z_{er}$	[Prozent]	Erholungszeitzuschlag
$z_p$	[Prozent]	persönlicher Verteilzeitzuschlag

Größe	Einheit	Bezeichnung
$A_{e,i}$	[Flächeneinheit]	Flächenbedarf je Einheit für Produktfamilie $i$
$A_{g,n}$	[Flächeneinheit]	Gesamtlagerfläche in Leistungseinheit $n$
$A_{MA}$	[Flächeneinheit]	Maschinenarbeitsplatzfläche
$A_{MG}$	[Flächeneinheit]	Maschinengrundfläche
$A_{IB}$	[Flächeneinheit]	verfügbare Fläche (Integrationsbereich)
$A_{RG}$	[Flächeneinheit]	verfügbare Ressourcengrundfläche (Technik)
$\emptyset DLZ_n$	[Zeiteinheit]	durchschnittliche Durchlaufzeit in Leistungseinheit $n$
$K_{AB,n}$	[€/Zeiteinheit]	kalkulatorische Abschreibungen (Bearbeitung) in Leistungseinheit $n$
$K_{AFMP,n}$	[€/Zeiteinheit]	kalkulatorische Abschreibungen (Fertigungsmittelplanung) in Leistungseinheit $n$
$K_{ALa,n}$	[€/Zeiteinheit]	kalkulatorische Abschreibungen (Lager) in Leistungseinheit $n$
$K_{AP,n}$	[€/Zeiteinheit]	kalkulatorische Abschreibungen (Programmierung) in Leistungseinheit $n$
$K_{AT,n}$	[€/Zeiteinheit]	kalkulatorische Abschreibungen (Transport) in Leistungseinheit $n$
$K_{AWS,n}$	[€/Zeiteinheit]	kalkulatorische Abschreibungen (Werkstattsteuerung) in Leistungseinheit $n$
$K_{B,ni}$	[€/Stück]	Bearbeitungskosten pro Stück für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$K_B$	[Stück/Zeiteinheit]	Kundenbedarf pro Zeiteinheit
$K_{EB,n}$	[€/Zeiteinheit]	Energiekosten (Bearbeitung) in Leistungseinheit $n$
$K_{EFMP,n}$	[€/Zeiteinheit]	Energiekosten (Fertigungsmittelplanung) in Leistungseinheit $n$
$K_{EP,n}$	[€/Zeiteinheit]	Energiekosten (Programmierung) in Leistungseinheit $n$
$K_{ET,n}$	[€/Zeiteinheit]	Energiekosten (Transport) in Leistungseinheit $n$
$K_{EWS,n}$	[€/Zeiteinheit]	Energiekosten (Werkstattsteuerung) in Leistungseinheit $n$
$K_{FMP,ni}$	[€/Stück]	Fertigungsmittelplanungskosten pro Stück für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$

Größe	Einheit	Bezeichnung
$K_{IHB,n}$	[€/Zeiteinheit]	Wartungs- und Instandhaltungskosten (Bearbeitung) in Leistungseinheit $n$
$K_{IHFMP,n}$	[€/Zeiteinheit]	Wartungs- und Instandhaltungskosten (Fertigungsmittelplanung) in Leistungseinheit $n$
$K_{IHP,n}$	[€/Zeiteinheit]	Wartungs- und Instandhaltungskosten (Programmierung) in Leistungseinheit $n$
$K_{IHT,n}$	[€/Zeiteinheit]	Wartungs- und Instandhaltungskosten (Transport) in Leistungseinheit $n$
$K_{IHS,n}$	[€/Zeiteinheit]	Wartungs- und Instandhaltungskosten (Werkstattsteuerung) in Leistungseinheit $n$
$K_{INT}$	[€]	Investitionskosten
$K_{KAP,ni}$	[€/Stück]	Kapitalbindungskosten pro Stück für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$K_{La,ni}$	[€/Stück]	Lagerungskosten pro Stück für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$K_{LiFMP,n}$	[€/Stück]	Lizenzkosten (Fertigungsmittelplanung) in Leistungseinheit $n$
$K_{LiP,n}$	[€/Stück]	Lizenzkosten (Programmierung) in Leistungseinheit $n$
$K_{LiWS,n}$	[€/Stück]	Lizenzkosten (Werkstattsteuerung) in Leistungseinheit $n$
$K_{LEn}$	[€/Stück]	Kosten pro Stück für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$K_{MaB,n}$	[€/Zeiteinheit]	Stundenlohn der Mitarbeiter (Bearbeitung) in Leistungseinheit $n$
$K_{MaFMP,n}$	[€/Zeiteinheit]	Stundenlohn der Mitarbeiter (Fertigungsmittelplanung) in Leistungseinheit $n$
$K_{MaP,n}$	[€/Zeiteinheit]	Stundenlohn der Mitarbeiter (Programmierung) in Leistungseinheit $n$
$K_{MaT,n}$	[€/Zeiteinheit]	Stundenlohn der Mitarbeiter (Transport) in Leistungseinheit $n$
$K_{MaWS,n}$	[€/Zeiteinheit]	Stundenlohn der Mitarbeiter (Werkstattsteuerung) in Leistungseinheit $n$
$K_{MAT,i}$	[€/Stück]	Materialkosten für Produktfamilie $i$
$K_{Mh,n}$	[€/Zeiteinheit]	Maschinenstundensatz in Leistungseinheit $n$

Größe	Einheit	Bezeichnung
$K_{P,ni}$	[€/Stück]	Programmierungskosten pro Stück für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$K_{PB,n}$	[€/Zeiteinheit]	Personalressourcenkostensatz (Bearbeitung) in Leistungseinheit $n$
$K_{PFMP,n}$	[€/Zeiteinheit]	Personalressourcenkostensatz (Fertigungsmittelplanung) in Leistungseinheit $n$
$K_{PP,n}$	[€/Zeiteinheit]	Personalressourcenkostensatz (Programmierung) in Leistungseinheit $n$
$K_{PT,n}$	[€/Zeiteinheit]	Personalressourcenkostensatz (Transport) in Leistungseinheit $n$
$K_{PWS,n}$	[€/Zeiteinheit]	Personalressourcenkostensatz (Werkstattsteuerung) in Leistungseinheit $n$
$K_{RB,n}$	[€/Zeiteinheit]	Raumkosten (Bearbeitung) in Leistungseinheit $n$
$K_{RFMP,n}$	[€/Zeiteinheit]	Raumkosten (Fertigungsmittelplanung) in Leistungseinheit $n$
$K_{RLa,n}$	[€/Zeiteinheit]	Raumkosten (Lager) in Leistungseinheit $n$
$K_{RP,n}$	[€/Zeiteinheit]	Raumkosten (Programmierung) in Leistungseinheit $n$
$K_{RT,n}$	[€/Zeiteinheit]	Raumkosten (Transport) in Leistungseinheit $n$
$K_{RWS,n}$	[€/Zeiteinheit]	Raumkosten (Werkstattsteuerung) in Leistungseinheit $n$
$K_{ST,i}$	[€/Stück]	Kosten pro Stück für Produktfamilie $i$
$K_{StIst}$	[€/Stück]	Stückkosten gesamt – Ist
$K_{StPlan}$	[€/Stück]	Stückkosten gesamt – Plan
$K_{T,ni}$	[€/Stück]	Transportkosten pro Stück für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$K_{TB,n}$	[€/Zeiteinheit]	Technikressourcenkostensatz (Bearbeitung) in Leistungseinheit $n$
$K_{TFMP,n}$	[€/Zeiteinheit]	Technikressourcenkostensatz (Fertigungsmittelplanung) in Leistungseinheit $n$
$K_{TLa,n}$	[€/Zeiteinheit]	Technikressourcenkostensatz (Lager) in Leistungseinheit $n$
$K_{TP,n}$	[€/Zeiteinheit]	Technikressourcenkostensatz (Programmierung) in Leistungseinheit $n$

Größe	Einheit	Bezeichnung
$K_{TT,n}$	[€/Zeiteinheit]	Technikressourcenkostensatz (Transport) in Leistungseinheit $n$
$K_{TWS,n}$	[€/Zeiteinheit]	Technikressourcenkostensatz (Werkstattsteuerung) in Leistungseinheit $n$
$K_{WS,ni}$	[€/Stück]	Werkstattsteuerungskosten pro Stück für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$K_{WVB,n}$	[€/Zeiteinheit]	Werkzeug- und Vorrichtungskosten in Leistungseinheit $n$
$K_{ZB,n}$	[€/Zeiteinheit]	kalkulatorische Zinsen (Bearbeitung) in Leistungseinheit $n$
$K_{ZFMP,n}$	[€/Zeiteinheit]	kalkulatorische Zinsen (Fertigungsmittelplanung) in Leistungseinheit $n$
$K_{ZLa,n}$	[€/Zeiteinheit]	kalkulatorische Zinsen (Lager) in Leistungseinheit $n$
$K_{ZP,n}$	[€/Zeiteinheit]	kalkulatorische Zinsen (Programmierung) in Leistungseinheit $n$
$K_{ZT,n}$	[€/Zeiteinheit]	kalkulatorische Zinsen (Transport) in Leistungseinheit $n$
$K_{ZWS,n}$	[€/Zeiteinheit]	kalkulatorische Zinsen (Werkstattsteuerung) in Leistungseinheit $n$
$K_{ZUSB,n}$	[€/Zeiteinheit]	Zusatzkosten in Leistungseinheit $n$
$KT$	[Zeiteinheit/Stück]	Kundentakt
$L_{T,ni}$	[Stück/Zeiteinheit]	Transportleistung des Transportmittels für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$PW_{ni}$	[€]	Produktwert für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$Q$	[Prozent]	Qualitätsgrad
$\varnothing T_{ASTaV}$	[Zeiteinheit/Stück]	durchschnittliche Auftragszeit pro Stück ohne Verluste
$\varnothing T_{ASTaVf}$	[Zeiteinheit/Stück]	durchschnittliche Auftragszeit pro Stück mit Verluste (fein)
$\varnothing T_{ASTaVg}$	[Zeiteinheit/Stück]	durchschnittliche Auftragszeit pro Stück mit Verluste (grob)
$T_{Bv}$	[Zeiteinheit/Zeiteinheit]	verfügbare Betriebszeit pro Zeiteinheit

Größe	Einheit	Bezeichnung
$T_{K,n}$	[Stück]	Transportkapazität des Transportmittels in Leistungseinheit $n$
$\emptyset T_K$	[Stück]	durchschnittliche Transportmenge von Produktfamilie $i$
$\emptyset T_{NLa,ni}$	[Zeiteinheit]	durchschnittliche Nutzungszeit des Lagers für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$ [Zeiteinheit]
$TS_{ni}$	[-]	Transportspiele für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$TZ_{ref}$	[Zeiteinheit]	Referenztaktzeit
$V_P$	[Prozent]	personalbedingte Verfügbarkeit
$V_T$	[Prozent]	technische Verfügbarkeit
$Z_{EI}$	[-]	Zahl der integrierten Elemente (integrierte Grundfunktionen in den Hauptprozess)
$Z_{EN}$	[-]	Zahl der normierten Elemente (Gesamtanzahl der Grundfunktionen)

Größe	Einheit	Bezeichnung
$\alpha_{n i}$	[Prozent]	Auftrittshäufigkeit-Personal für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$
$\eta_{AAP,i}$	[Prozent]	Integrationsgrad der Arbeitsablaufplanung
$\eta_{I,i}$	[Prozent]	informationsflussbezogener Integrationsgrad für Produktfamilie $i$
$\eta_{INT}$	[Prozent]	Integrationsgrad
$\eta_{M,i}$	[Prozent]	materialflussbezogener Integrationsgrad für Produktfamilie $i$
$\eta_{WS,i}$	[Prozent]	Integrationsgrad der Werkstattsteuerung für Produktfamilie $i$

# Abkürzungsverzeichnis

verwendete Abkürzungen	Bezeichnung
AWF	Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung
AG	Arbeitsgang
BM	Betriebsmittel
BZ	Bearbeitungszeit
bzw.	Beziehungsweise
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLZ	Durchlaufzeit
DP	dezentrale Peripherie
EDV	elektronische Datenverarbeitung
EN	Europäische Norm
ggf.	Gegebenenfalls
IP	Internet Protokoll
ISO	International Organization for Standardization – Internationale Organisation für Normung
K.-o.	Knockout
LE	Längeneinheit
MA	Mitarbeiter
MC	Measurement and Control
MTM	Methods Time Measurement Arbeitsablauf-Zeitanalyse
NC	Numerical Control Numerische Steuerung
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RC	Robot Control

<b>verwendete Abkürzungen</b>	<b>Bezeichnung</b>
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung
RS	Recommended Standard
TCP	Transmission Control Protocol – Übertragungssteuerungsprotokoll
u. a.	unter anderem
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
z. B.	zum Beispiel

---



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Anfang des 20. Jahrhunderts formulierte F.W. Taylor die „Grundsätze zur wissenschaftlichen Betriebsführung“, die bis heute die Grundlage zur Optimierung von Prozessen darstellen [Taylor 1919]. Der sogenannte Taylorismus geht davon aus, dass durch eine wissenschaftliche Analyse der Prozesse und durch Planung ein hohes Rationalisierungspotenzial erschlossen werden kann. Die Analyse der Arbeit geschieht auf der Basis elementarer Prozesselemente. Damit verknüpft ist das Ableiten von Arbeitsanweisungen [Westkämper 2006]. Mit dieser Herangehensweise steht die optimale Leistung eines einzelnen Prozesses im Mittelpunkt der Bemühungen und führt in der betrieblichen Praxis zu einer hohen Arbeitsteiligkeit bzw. Funktionsorientierung [Hirschberg 2000, Westkämper 2006a, Bullinger et al. 2009].

Die Rahmenbedingungen produzierender Unternehmen haben sich seit den Anfängen des Taylorismus massiv geändert. Der Umgang mit sinkenden Losgrößen, steigender Variantenvielfalt und kürzeren Modelllaufzeiten, verbunden mit der Zunahme der Komplexität und den steigenden Anforderungen an die Qualität der Produkte, zählen nun zu den Herausforderungen. In Kombination mit turbulenten Märkten müssen sich produzierende Unternehmen permanent an diese veränderten Rahmenbedingungen anpassen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten [ElMaraghy et al. 2009, Jovane et al. 2009, Wiendahl et al. 2007, Weidner/Wulfsberg 2012]. Erforderlich sind höchstleistungsfähige Prozessketten, die u. a. durch hohe Reaktionsfähigkeit, Robustheit oder geringe Komplexität charakterisiert sind und ein Maximum an Wertschöpfung bei minimaler Verschwendung garantieren [Klocke 1998, Westkämper/Gerth 2004, Kleiner 2007, Windt 2007, Ruprecht 2010].

Die veränderten Anforderungen führten zu einem Umdenken in der betrieblichen Organisation. Prozessketten werden heutzutage ganzheitlich betrachtet und es wird versucht, die Effizienz der gesamten Prozesskette durch Optimierung und Synchronisation der Leistung der Einzelprozesse zu steigern [Westkämper 2011, Nyhuis 2008, Bichlmaier 2000].

Produzierende Unternehmen streben – insbesondere im Bereich der Serien- und Massenfertigung – den Übergang von starren funktionalen (Werkstättenprinzip) zu prozessorientierten (Linienprinzip) Produktionsstrukturen durch eine maximale Anpassung an die Bearbeitungsreihenfolge an [Bornhäuser 2009, Behrendt 2009]. Das Grundprinzip der Prozessorientierung beruht auf der Integration von Prozessen [Bornhäuser 2009, Behrendt 2009, Bullinger et al. 2009]. Unter Integration wird allgemein das Zusammenfassen und Verknüpfen (Relationen) von Elementen (Prozessen) zu einem strukturierten System verstanden [Westkämper 2006]. Die Integration von Prozessen führt zu Leistungsverbesserung durch die Verkürzung der Prozesskette bei gleichzeitig verringerter Komplexität [Westkämper 2011, Abele/Reinhard 2011]. Integrierte Lösungen versprechen Rationalisierungspotenzial in den direkten und indirekten Wertschöpfungsbereichen durch eine Verminderung des Ressourcenbedarfs wie Zeit (z. B. Planungs-, Steuerungs-, Warte-, Übergangs- und Handlingszeiten), Material und Ausstattung (z. B. Bestände, Transport- und Handhabungseinrichtungen) und Raum (Fläche) (z. B. Lager-, Transport- und Kommissionierflächen) zu erschließen. Zusammenfassend führen diese Vorteile zur Steigerung der wirtschaftlichen Effizienz der Prozesskette [Böck et al. 2012, Brecher et al. 2011, Tönshoff/Denkema 2004].

Die Prozess- bzw. Verfahrensintegration wird seit Jahrzehnten in der Forschung thematisiert und in produzierenden Unternehmen angewandt [Biermann et al. 2009, Denkema et al. 2009, Frick 2003, Johlen 2003, Schütt 1991]. Hierzu werden sinnvoll kombinierbare Verfahren wie beispielsweise Drehen, Fräsen, Schleifen und Messen, zur Teil- als auch zur Komplettbearbeitung innerhalb einer Maschine zusammengefasst und verknüpft [Klocke 2012, Jalizi et al. 2009, Nyhuis et al. 2008].

Insbesondere die fortschreitende Entwicklung und Verbesserung von Fertigungsverfahren haben die Verfahrensintegration stetig vorangetrieben [Knoche 2005]. Auch in den nächsten Jahren ist aufgrund sukzessiver Weiterentwicklungen und der steigenden Anzahl neuer Verfahren ein Fortschreiten der Verfahrensintegration zu erwarten, die das Erschließen weiterer Leistungspotenziale (z. B. Durchlaufzeitverkürzung und Raumbedarfsreduktion) ermöglichen werden (siehe Abbildung 1-1) [Abele/Reinhard 2011, Metzner 2007]. Technologien stellen folglich einen Schlüsselfaktor zum Aufbau leistungsfähigerer Prozessketten dar.

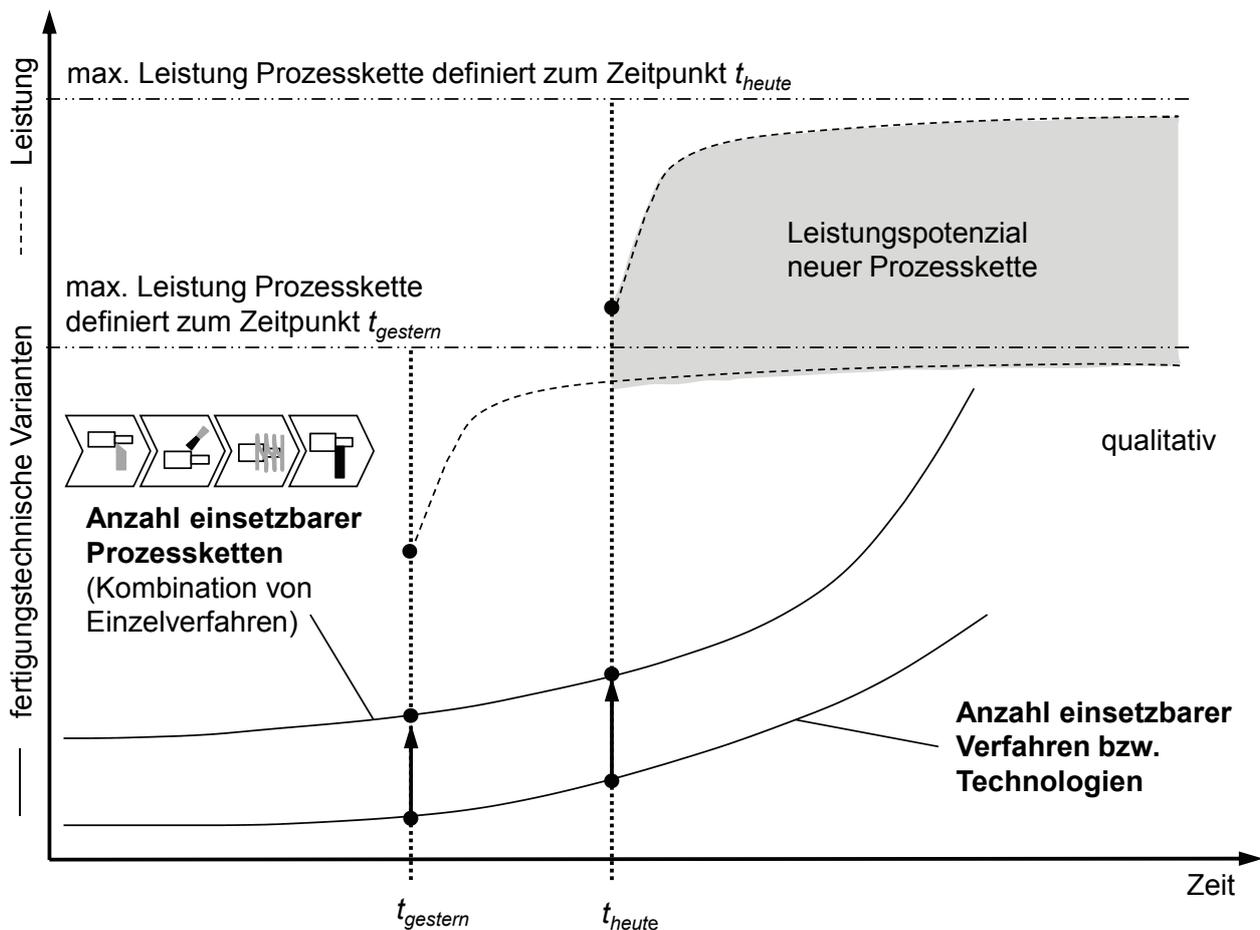


Abbildung 1-1: Erschließbares Leistungspotenzial durch die Zunahme einsetzbarer Fertigungsverfahren und Prozessketten in Erweiterung zu [Abele/Reinhard 2011]

Heutige fertigungstechnische Prozessketten sind mehrstufig und umfassen Bereiche wie Ur- und Umformen, Grobbearbeiten, Wärmebehandeln, Feinbearbeiten, Beschichten, Vor- und Endmontage. Die physisch und organisatorisch getrennten Bereiche (Werkstättenprinzip) unterbrechen die Kontinuität und steigern zugleich die Komplexität der Prozesskette [Böck et al. 2012, Westkämper/Gerth 2004].

Um die klassische Trennung der unterschiedlichen Produktionsbereiche aufzuheben, wird oft die Integration eines formgebenden Fertigungsverfahrens in die Montage versucht und folglich die Trennung von Fertigung und Montage aufgelöst. Es werden meist sogenannte Restfertigungsprozesse, also Prozesse mit geringem Bearbeitungsumfang, integriert. Hierzu wird vorwiegend auf standardisierte und erprobte Maschinen zurückgegriffen, die Ähnlichkeiten bei den Bearbeitungs- und Rüstzeiten sowie in den räumlichen Dimensionen der Maschinen zur Montage aufweisen und folglich die Verlagerung der Ressourcen aufgrund der organisatorischen und technischen Kompati-

bilität ermöglichen [Röhrig 2002, Wiendahl et al. 2004, Lotter/Wiendahl 2006]. Es handelt sich folglich um konventionelle Verfahren, die eingeführt sind und auf mechanischen/abtragenden Wirkprinzipien beruhen.

Nicht-konventionelle Verfahren basieren auf chemischen/physikalischen Prozessen. Insbesondere sind dies generative Verfahren, zu deren Anwendung eine spezifische Anlagentechnik und Infrastruktur notwendig ist (z.B. Beschichtung und Wärmebehandlung).

Aufgrund von verfahrens- und ressourcenspezifischer Restriktionen sind nicht-konventionelle Verfahren nach dem Werkstättenprinzip in Zentralbereiche organisiert und eine Integration in Produktionslinien ist problematisch [Hirschberg 2000, Röhrig 2002]. Wesentliche Gründe für die Entkopplung sind inkompatible Prozesszeiten (Taktzeit) sowie die hohen Anforderungen des entkoppelten Prozesses an die Produktionsumgebung [Janisch 2007, Westkämper/Gerth 2004].

Beispielsweise gehen heutige Anlagenkonzepte zur Pulverbeschichtung von einer zentralen „Universalanlage“ aus, in der das gesamte Teilespektrum (meist nasschemisch) vorbehandelt und pulverbeschichtet wird. Dies erfordert entsprechend groß dimensionierte Pulverbeschichtungskabinen, Vorbehandlungszonen und Konvektionsöfen zur Trocknung der Teile nach der Vorbehandlung sowie zum Aufschmelzen und Vernetzen der Pulverlackschicht [Cudazzo et al. 2010]. Darüber hinaus weisen diese Anlagen Prozess- und Rüstzeiten auf, die im Vergleich zu anderen Produktionsbereichen um ein Vielfaches höher sind. Dies führt sogleich zu anderen Losgrößen, um eine wirtschaftliche Produktion sicherzustellen. Des Weiteren werden der zentralen Beschichtungsanlage in der Regel manuell Werkstücke zu- und danach in die weiteren Bereiche zurückgeführt. Durch die räumliche und organisatorische Trennung sind nicht-wertschöpfende Prozessschritte im Auftragsfluss notwendig.

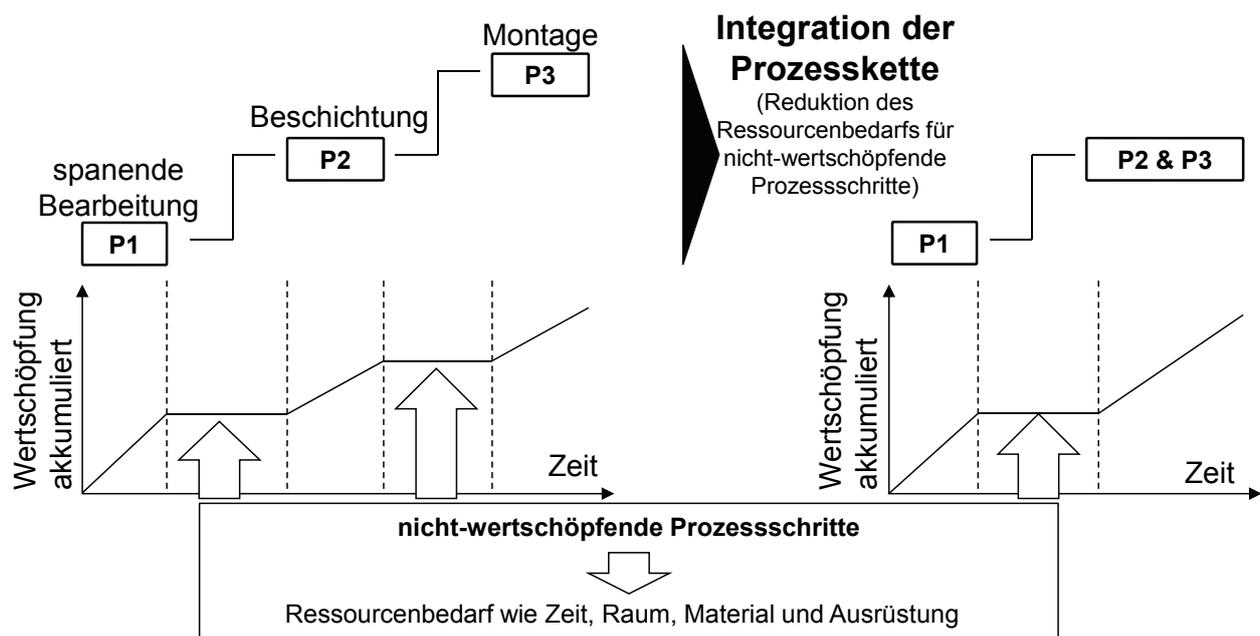


Abbildung 1-2: Reduktion des Ressourcenbedarfs durch Integration der Prozesskette

Es existieren derzeit Ansätze, welche die Integration von nicht-konventionellen Verfahren in Produktionslinien anstreben und eine Reduktion des zusätzlichen Zeit-, Raum-, Material- und Ausrüstungsbedarfs ermöglichen (siehe Abbildung 1-2). So wurden beispielsweise eine fertigungsintegrierte Wärmebehandlungsanlage [Löser 2007], fertigungsintegrierte Galvanikanlagen [Möbius et al. 2003, Metzner 2007] und eine montageintegrierte Pulverbeschichtungsanlage [Böck et al. 2011, Böck et al. 2009] umgesetzt. Dabei wurden Verfahren anderer Leistungsfähigkeit eingesetzt, die den veränderten Rahmenbedingungen gerecht werden, damit der Aufbau vollkommen neuer, leistungsfähigerer Prozessketten gelingt.

## 1.2 Problemstellung

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Trends wächst der Bedarf, Wertschöpfungsstufen zu integrieren und beherrschbare, transparente und steuerbare Systeme zu schaffen [Schuh 2009]. Verfahren wie das Hochleistungsbeschichten stellen die Grundlage dar, heutige Prozessketten integriert zu gestalten und die Leistungsfähigkeit zu steigern [Westkämper/Warnecke 2010, BMBF 2008, Brecher et al. 2008, Weinert 2005, Bandorf et al. 2008]. Daher ist zu hinterfragen, ob die Arbeitsteilung zwischen den Bereichen (z. B. Lackierung und Montage) noch zeitgemäß und notwendig ist [Bauernhansl 2012a].

Es sind bereits Verfahren verfügbar, die den Aufbau von kontinuierlichen Prozessketten und das Erschließen neuer Leistungspotenziale ermöglichen. Entscheidend ist die erfolgreiche Integration der Verfahren [BMBF 2008]. Denn wirkliche Innovationen entstehen vorrangig an den Schnittstellen [Kleiner 2007, Bauernhansl 2012b]. Im Rahmen der Integration von nicht-konventionellen Verfahren in Produktionslinien bedarf es der Kenntnis relevanter Einflussfaktoren und Wechselwirkungen an den Gestaltungselementen der Prozesskette (siehe Abbildung 1-3) [Metzner 2007, Ruprecht 2010, Böck et al. 2012]. An entsprechenden Informationen mangelt es insbesondere in klein- und mittelständischen Unternehmen. Es sind erhebliche Informationsdefizite bezüglich der Integration von Verfahren in bestehende Strukturen vorhanden [Bullinger et al. 2002, Herstatt et al. 2007]. Als Schnittstellenkriterien werden meist verfahrens- und ressourcenspezifische Merkmale (z. B. Flächen- und Raumbedarf und Taktzeit) genannt. Zudem wird besonders auf die schnittstellenübergreifende Betrachtung zwischen den Verfahren bzw. Ressourcen für hohe Qualität und Effizienz der gesamten Prozesskette hingewiesen [Metzner 2007, Schuh/Knoche 2005]. Hieraus ergeben sich insbesondere Anforderungen an die Integrier- und Synchronisationsfähigkeit von neuen Verfahren in eine bestehende Prozesskette [Windt 2007]. Eine ausführliche Spezifikation zu berücksichtigender Einflussfaktoren und Wechselwirkungen erfolgt nicht. Dadurch ist es derzeit nicht möglich, eine zeitliche und technische Bewertung der Integrationsfähigkeit von Verfahren durchzuführen.

Die Integration von Produktionsbereichen impliziert Auswirkungen auf Tätigkeiten in den indirekten Leistungsbereichen eines Produktionssystems, die nicht unmittelbar zur Wertschöpfung beitragen. Hauptaufgabe in diesen Bereichen ist es, die notwendigen auftragsneutralen sowie auftragspezifischen Informationen für eine wirtschaftliche Produktion bereitzustellen. Hierbei sind insbesondere vorbereitende, planende und steuernde Aufgaben zu nennen. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung der Prozesskette müssen diese im Rahmen der Integration berücksichtigt werden, denn die Summe aus direkt und indirekt rationalisierenden Maßnahmen ergibt den gesamten Freisetzungseffekt [May 2011]. In Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wird diese ganzheitliche Betrachtung jedoch meist vernachlässigt [Kratzsch 2000]. Das Rationalisierungspotenzial in direkten und indirekten Leistungsbereichen durch die Integration der Prozesskette kann daher nicht oder nur eingeschränkt bewertet werden.

Ferner wird durch die unzureichende ganzheitliche Betrachtung von Prozessketten das Identifizieren von rationellen, integrierten Lösungen nicht unterstützt. Es werden meist die klassischerweise räumlich und organisatorisch getrennten Bereiche isoliert betrachtet, geplant und optimiert. Diese Vorgehensweise gründet insbesondere auf der Tatsache, dass die Gestaltung von historisch gewach-

senen Prozessketten durch die eigene Vorprägung und den Wissensstand des Planers bestimmt wird [Böck et al. 2012]. In Konsequenz werden mögliche Alternativkonfigurationen frühzeitig verworfen und/oder generell ausgeschlossen. Das Identifizieren neuer, effizienterer Lösungen wird nicht unterstützt [Fallböhrer 2000, Behrendt 2009].

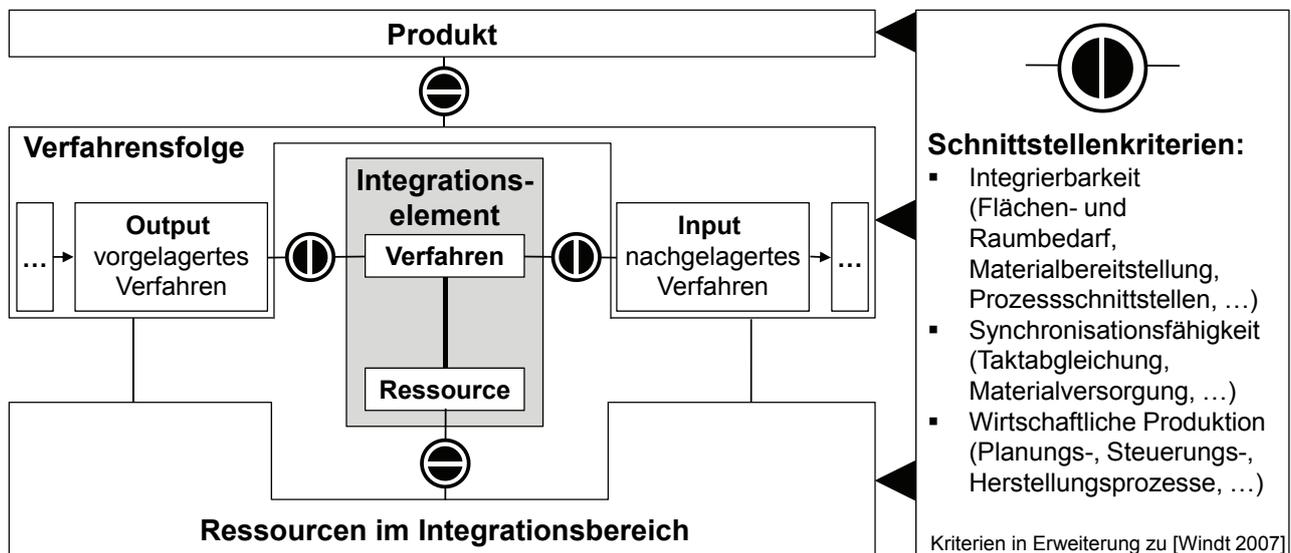


Abbildung 1-3: Schnittstellenkriterien an den Gestaltungselementen einer Prozesskette

Eine umfassende Darstellung und Präzisierung der Schnittstellenkriterien und deren Wechselwirkungen existiert nicht. Dies hindert letztendlich den Planer daran, rationelle Lösungen zu finden und zu verfolgen. Darüber hinaus führt das fehlende Wissen des Planers über zu berücksichtigende Einflussgrößen und Wechselwirkungen zur Nicht-Bewertbarkeit der Integrationsfähigkeit von Verfahren in eine Prozesskette. Zusammenfassend lassen sich die Defizite bezüglich der Integration nicht-konventioneller Verfahren in Montage- und Fertigungslinien folgendermaßen darstellen:

- mangelhafte Kenntnis über relevante Einflussgrößen an den Schnittstellen der Gestaltungselemente einer Prozesskette
- keine Möglichkeit zur systematischen, ganzheitlichen Bewertung der Integrationsfähigkeit von Verfahren in bestehende Prozessketten
- fehlende Möglichkeit zum Erkennen und Bewerten möglicher Rationalisierungspotenziale durch frühzeitiges Verwerfen und/oder generelles Ausschließen rationeller, integrierter Lösungen

Diese Defizite stellen entscheidende Barrieren dar, weshalb meist nur inkrementelle Änderungen von Prozessketten durchgeführt werden und dabei auf standardisierte und erprobte Verfahren, Maschinen und Anlagen zurückgegriffen wird. Die Einführung neuer, leistungsfähigerer Verfahren

erfolgt nur zögerlich [Kleiner 2007]. Dadurch werden erhebliche Leistungssteigerungen der Prozesskette verhindert [Böck et al. 2012].

Hieraus ergibt sich der Bedarf nach einer effektiven und effizienten Integration von nicht-konventionellen Verfahren in Produktionslinien [Kleiner 2007, Ruprecht 2010]. Es sind Werkzeuge, Methoden und Modelle zur Überwindung bestehender Integrationsbarrieren bereitzustellen [Ruprecht 2010, BMBF 2008].

### **1.3 Zielsetzung und Aufgabenstellung**

Aus den dargestellten Defiziten lässt sich die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ableiten. Es soll eine Methode erarbeitet werden, die den Integrationsprozess von nicht-konventionellen Verfahren in flexible Fertigungs- und Montagelinien unterstützt. Gestalter von Prozessketten sollen in die Lage versetzt werden, die Integration effizient und effektiv durchzuführen. Hierzu soll in spezifischen Planungsphasen über zu erfassende, relevante Planungsparameter informiert, die Auf- und Weiterverarbeitung unterstützt sowie Zusammenhänge zur ganzheitlichen Bewertung der Integrationsmaßnahme aufgezeigt werden. Damit soll Transparenz bezüglich des vorliegenden Informationsdefizits über zu berücksichtigende Einflussgrößen geschaffen und die Machbarkeit sowie die Sinnhaftigkeit der Integration von nicht-konventionellen Verfahren in flexible Fertigungs- und Montagelinien gegenüber mehrstufigen Prozessketten nachweisbar gemacht werden. Darüber hinaus soll die Vorprägung des Planers durch Aufzeigen des Rationalisierungspotenzials auf Basis der Kenntnis von Integrationskriterien überwunden werden. Die Validierung der Methode soll am Beispiel der Pulverbeschichtung erfolgen und die einzelnen Planungsschritte sollen in einem Unternehmen der Möbelindustrie angewandt werden.

Aus der dargestellten Zielsetzung ergeben sich im Wesentlichen vier Teilaufgaben (siehe Abbildung 1-4), die nachfolgend erläutert werden:

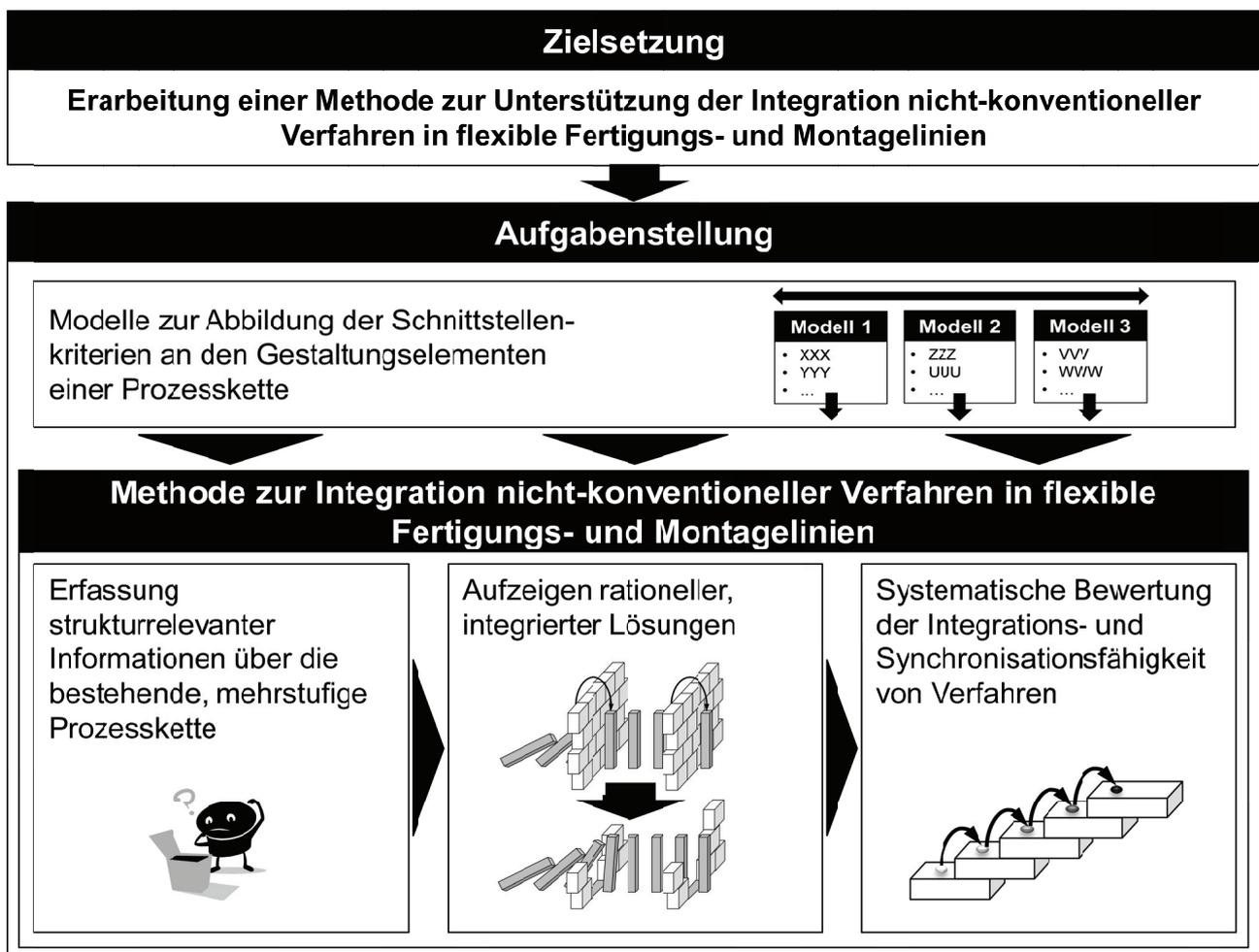


Abbildung 1-4: Zielsetzung und Aufgabenstellung

### Modelle zur Abbildung der Schnittstellenkriterien an den Gestaltungselementen einer Prozesskette

Die Erarbeitung der Modelle zur Abbildung der Schnittstellenkriterien an den Gestaltungselementen einer Prozesskette soll die Basis der Methode bilden, da ihre Kenntnis eine wesentliche Voraussetzung für die Integration von nicht-konventionellen Verfahren in Produktionslinien darstellt. Die Modelle sollen daher zum einen die Restriktionen aus der bestehenden Prozesskettenkonfiguration und zum anderen die Leistungsfähigkeit sowie die Anforderungen von potenziellen Verfahren abbilden können. Es sollen technische, zeitliche und wirtschaftliche Kriterien definiert werden.

Hierzu müssen die Gestaltungselemente Produkt, Verfahren und Ressource (vgl. Abbildung 1-3) hinsichtlich Integrationskriterien analysiert und die identifizierten Kriterien (z. B. Taktzeiten, verfügbare Fläche und Kosten) in entsprechenden Modellen abgebildet werden. Die Modelle müssen insbesondere Zusammenhänge und Wechselwirkungen innerhalb und zwischen den Gestaltungs-

elementen darstellen können, um die Sinnhaftigkeit und Machbarkeit der Integrationsmaßnahme nachzuweisen.

### **Erfassung struktureller Informationen der bestehenden, mehrstufigen Prozesskette**

Im Rahmen der Erfassung struktureller Informationen der bestehenden, mehrstufigen Prozesskette soll die Planungsgrundlage geschaffen werden. Diese Informationen sollen auf Basis der Integrationskriterien identifiziert werden.

Es gilt daher, eine Vorgehensweise zu erarbeiten, die sämtliche charakterisierende Parameter einer mehrstufigen Prozesskette auf einfache Art und Weise erfasst und darstellt. Besonders zu berücksichtigen sind im direkten Wertschöpfungsbereich die Werkstätten bzw. Produktionsbereiche sowie deren Verknüpfungen untereinander und im indirekten Wertschöpfungsbereich Tätigkeiten, die zur Planung und Steuerung der mehrstufigen Prozesskette notwendig sind, da diese durch die Integration der Prozesskette beeinflusst werden.

### **Aufzeigen rationeller, integrierter Lösungen**

Die Methode zum Aufzeigen rationeller, integrierter Lösungen soll im Rahmen der Neukonfiguration der Prozesskette die Identifikation des Rationalisierungspotenzials durch die Integration von Produktionsbereichen sowie die Ableitung eines möglichen Integrationsszenarios unterstützen. Der Gestalter soll gezielt bei der Identifikation von Effizienzverlusten in direkten und indirekten Bereichen aufgrund der Mehrstufigkeit der Prozesskette unterstützt werden. Die Methode soll auf den Integrationskriterien basieren und insbesondere die Vorprägung des Planers überwinden, indem die räumliche und organisatorische Trennung der Prozessstufen in Frage gestellt wird.

Hierzu muss eine Methode zur Potenzialanalyse erarbeitet werden, welche die Identifikation der Verluste an den Schnittstellen in direkten und indirekten Bereichen erlaubt und eine Bewertung ermöglicht. Ausgehend von wenigen charakterisierenden Parametern einer mehrstufigen Prozesskette muss das Rationalisierungspotenzial identifiziert und ein potenzielles Integrationsszenario abgeleitet werden können.

### **Systematische Bewertung der Integrationsfähigkeit von Verfahren**

Im Rahmen der systematischen Bewertung der Integrationsfähigkeit von Verfahren sollen mögliche Verfahren hinsichtlich ihrer Eignung untersucht werden. Hierzu soll auf Basis der Modelle zur Abbildung der Schnittstellenkriterien eine technische, zeitliche und wirtschaftliche Bewertung einsetzbarer Verfahren erfolgen.

Ein schrittweises Vorgehen an den Gestaltungselementen soll zur Entflechtung und Systematisierung dieses Planungsschritts beitragen. Dies soll dem Gestalter frühzeitig die Bewertung der Machbarkeit und Sinnhaftigkeit der Integration durch den Abgleich von geforderten Mindestkriterien und einsetzbaren Verfahren ermöglichen.

Hierzu bedarf es der Verknüpfung der Modelle und gleichzeitig die Erarbeitung unterschiedlicher Abstraktionsebenen für ein schrittweises Vorgehen. Zudem müssen Vorgehensweisen zur Verarbeitung der Planungsparameter erarbeitet werden, um die Integrationsfähigkeit nachzuweisen. Beispielsweise müssen für die zeitliche Bewertung mathematische Modelle zur Verrechnung zeitlicher Einflussgrößen bereitgestellt werden.

## **1.4 Aufbau der Arbeit**

Zur Bearbeitung der Aufgabenstellung soll ausgehend von bestehenden wissenschaftlichen Ansätzen und praktischen Erfahrungen aus der Industrieanwendung eine allgemeingültige Methode zur Unterstützung der Integration nicht-konventioneller Verfahren in Fertigungs- und Montagelinien erarbeitet werden (siehe Abbildung 1-4).

Im ersten Kapitel ist die Ausgangssituation und Problemstellung, Zielsetzung sowie der Aufbau der Arbeit dargestellt. Das anschließende Kapitel 2 umfasst die Beschreibung und Eingrenzung des Betrachtungsbereichs sowie die begrifflichen Grundlagen. Schwerpunktmäßig werden zunächst Charakteristika produzierender Unternehmen beschrieben und anschließend wird auf die relevanten Teilbereiche sowie deren Wechselwirkungen im Rahmen der Integration von Prozessstufen eingegangen. Auf dieser Basis wird der Betrachtungsbereich zusammenfassend dargestellt und zu berücksichtigende Integrationsaspekte sowie deren Zusammenhänge grundsätzlich spezifiziert. In Kapitel 3 werden basierend auf den grundsätzlichen Anforderungen an die Integration nicht-konventioneller Verfahren in Produktionslinien verfügbare Ansätze ausgewählt, beschrieben, bewertet und die Defizite erläutert. Während in Kapitel 4 die Modelle zur Abbildung der Integrationskriterien erarbeitet werden, erfolgt im Kapitel 5 die Konzeption der Methode. Die Detaillierung der einzelnen Planungsschritte wird in Kapitel 6 durchgeführt.

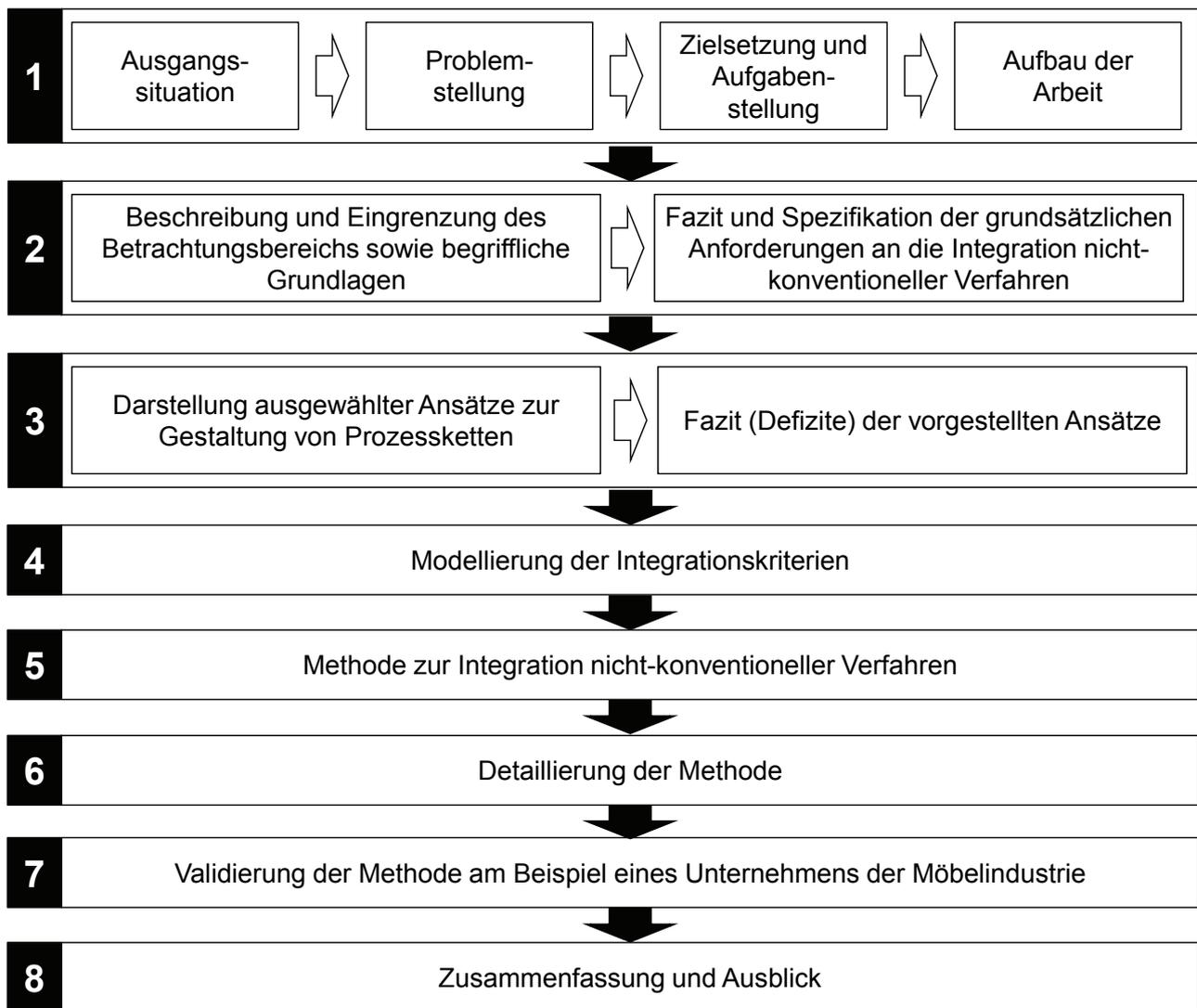


Abbildung 1-5: Aufbau der Arbeit

Das vorletzte Kapitel behandelt die Validierung der Methode am Beispiel der Pulverbeschichtung in einem Unternehmen der Möbelindustrie. Das abschließende Kapitel umfasst die Zusammenfassung und den Ausblick.

## **2 Beschreibung und Eingrenzung des Betrachtungsbereichs und begriffliche Grundlagen**

Im Rahmen dieses Kapitels wird der Betrachtungsbereich der vorliegenden Arbeit beschrieben und eingegrenzt; die begrifflichen Grundlagen werden erläutert. Es erfolgt eine Einführung in den Aufbau produzierender Unternehmen und deren Funktionsbereiche. Darüber hinaus werden die im Rahmen einer Integrationsmaßnahme wesentlich beeinflussten Funktionsbereiche dargestellt. Aus den vorgestellten Funktionsbereichen sowie ihren charakteristischen Eigenschaften und Teilaufgaben sollen die grundsätzlichen Anforderungen an die zu erarbeitende Methode zur Unterstützung der Integration nicht-konventioneller Verfahren in Produktionslinien abgeleitet werden.

### **2.1 Aufbau produzierender Unternehmen**

Die Funktion eines produzierenden Unternehmens kann als Produktion industrieller Erzeugnisse definiert werden, die zum Absatz bestimmt sind [Wiendahl 2010]. Zur Realisierung dieser Aufgaben sind in Produktionsunternehmen eine Vielzahl voneinander abgrenzbare Teilbereiche notwendig. Nachfolgende Abbildung zeigt das Modell eines Produktionsunternehmens mit den verschiedenen Funktionsbereichen.

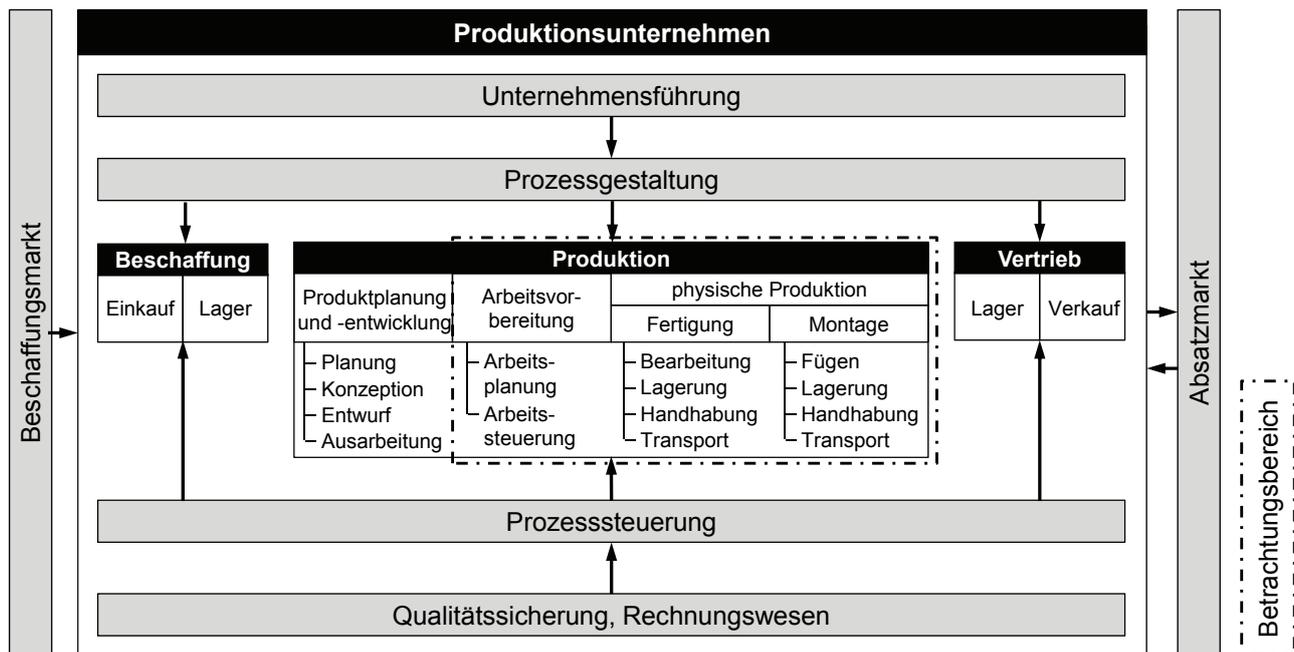


Abbildung 2-1: Modell eines Produktionsunternehmens in Erweiterung zu [Wiendahl 2010]

Wie aus der Abbildung zu entnehmen ist, stellen die drei Teilbereiche Beschaffung, Produktion und Vertrieb zentrale Bestandteile eines Produktionsunternehmens dar. Die Prozessgestaltung umfasst sämtliche Funktionen der Wertschöpfungskette. Im Rahmen der Prozesssteuerung sind hauptsächlich die Termin- und Mengensteuerung im gesamten Unternehmen und das Rechnungswesen sowie die Kontrolle und Überwachung der Produkte im Rahmen des Qualitätsmanagement Gegenstand der Tätigkeiten.

Die Produktion umfasst die Bereiche Produktplanung und -entwicklung, Arbeitsvorbereitung sowie Fertigung und Montage. Die Produktplanung und -entwicklung steht in diesem Verständnis am Anfang der Produktion und ist für die anforderungsgerechte Gestaltung der Produkte hinsichtlich der Kunden- und Marktbedürfnisse zuständig. In diesem Bereich werden durch die Festlegung von Produktmerkmalen wesentliche Entscheidungen (z. B. Herstellkosten) getroffen, die in den nachgelagerten Bereichen nur noch begrenzt beeinflusst werden können. Die im Rahmen der Produktplanung und -entwicklung erarbeiteten Unterlagen (z. B. Stücklisten und Zeichnungen) stellen die Grundlage für die nachgelagerten Bereiche dar. Die Produktplanung und -entwicklung ist somit die zentrale Informationsquelle für die Produktion [Eversheim 1998, Much/Nicolai 1995].

Unter Berücksichtigung der Ausgangssituation und Problemstellung ist die Integration von Verfahren im Wesentlichen in den Bereichen Arbeitsvorbereitung und physische Produktion angesiedelt. Daher werden diese in den nachfolgenden Kapiteln ausführlicher betrachtet. Mögliche Rückwirkungen auf die Produktplanung und -entwicklung werden im Rahmen der Arbeit lediglich tangiert.

## 2.2 Transformation und Wertschöpfung in produzierenden Unternehmen

Die elementare Aufgabe von Produktionsunternehmen ist die Durchführung von Produktionsprozessen zur Veränderung der Form und Beschaffenheit von Arbeitsgegenständen und der Wertsteigerung unter Einsatz vorhandener Produktionsressourcen. In diesem Sinne handelt es sich um einen Transformationsprozess.

Charakterisieren lässt sich dieser Transformationsprozess durch die Elemente Input, Throughput und Output (siehe Abbildung 2-2). Der Input stellt die Produktionsfaktoren dar, die für den eigentlichen Produktionsprozess (Throughput) benötigt werden. Der Output ist das Ausbringungsgut und somit das Produkt [Nyhuis et al. 2008, Corsten/Gössinger 2009, Westkämper 2006].

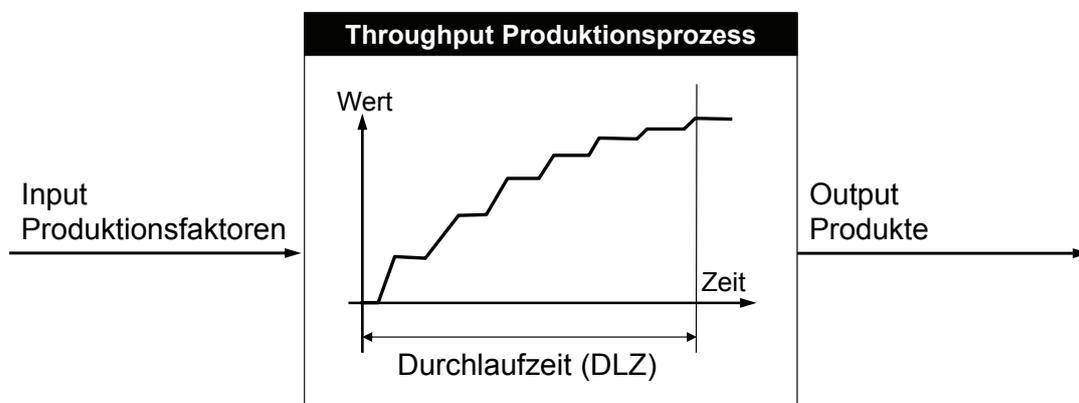


Abbildung 2-2: Erzeugung von Werten als Transformationsprozess in Anlehnung an [Westkämper 2006]

Unter Produktionsfaktoren werden Betriebsmittel, Personal, Rohmaterial, Halbzeuge, Bauteile, Betriebs- und Hilfsstoffe, Energie, Informationen und entsprechenden Räumlichkeiten verstanden. [Schenk/Wirth 2004, Westkämper 2006, Dangelmaier 1999]. Betriebsmittel stellen Anlagen, Geräte und Einrichtungen zur betrieblichen Leistungserstellung dar [Grundig 2009, Dangelmaier 1999, REFA 1991]. Diese werden nach REFA [REFA 1991] weiter in Ver- und Entsorgungsanlagen, Fertigungsmittel, Mess- und Prüfmittel, Fördermittel, Lagermittel, Organisationsmittel und Innenausstattung gegliedert.

Zwischen Input und Output befindet sich der Throughput bzw. der Produktionsprozess. Unter einem Produktionsprozess wird die Kombination von Produktionsfaktoren verstanden mit dem Ziel, aus den eingesetzten Faktoren einen höherwertigen Output zu erzeugen [Corsten/Gössinger 2009]. Im Produktionsprozess wird in Abhängigkeit der Branche auf unterschiedliche Verfahren zurückgegriffen [Steven 2007]. Verfahren, die üblicherweise in der industriellen Produktion in der Teilefertigung

gung und Montage Anwendung finden, können der einschlägigen Literatur entnommen werden [DIN8580, DIN 8593, VDI 2860, VDI 2860, Lotter/Wiendahl 2006].

In der Literatur existiert keine einheitliche Abgrenzung der Begriffe „Verfahren“ und „Prozess“ [Schäfer 2003]. Daher werden diese im Folgenden auf der Basis existierender Definitionen für die Arbeit festgelegt.

Verfahren bzw. Technologien stellen eine abstrakte, ressourcenunabhängige Sichtweise dar. Ihre Kombination führt zur Verfahrens- bzw. Technologiekette, durch die ein Werkstück durch iterative Veränderung vom Rohzustand über mehrere Zwischenzustände in einen festgelegten Endzustand gebracht wird [Eversheim/Schuh 2005, Fallböhrmer 2000, Klocke 1998]. Der Produktionsprozess berücksichtigt Verfahren einschließlich der Ressourcen [Knoche 2005]. Es handelt sich folglich um eine ressourcenabhängige Betrachtung. Analog zur Verfahrenskette wird bei der Kombination einzelner Prozesse von der Prozesskette gesprochen.

Das Ergebnis des Produktionsprozesses sind Produkte, die Unternehmen zur Befriedigung der Marktbedürfnisse dienen. Ein Produkt kann sowohl von materieller als auch immaterieller Natur sein oder ein Gebilde, das materielle und immaterielle Elemente umfasst. Materielle Produkte können weiter in End-, Zwischen- und Abfallprodukte gegliedert werden. Endprodukte können wiederum als Konsumgüter oder Investitionsgüter bezeichnet werden [Corsten/Gössinger 2009]. Während Endprodukte verkaufsfähige Produkte für einen Absatzmarkt darstellen, sind bei Zwischenprodukten weitere Transformationsprozesse notwendig. Abfallprodukte stellen unerwünschte Outputs dar, die es zu vermeiden gilt. Immaterielle Produkte sind Dienstleistungen, Arbeitsleistungen und Informationen. Diese können im Gegensatz zu materiellen Produkten nicht auf Vorrat produziert werden [Steven 2007]. Im Rahmen der Arbeit werden materielle Produkte betrachtet.

### **2.3 Systemtheoretische Beschreibung produzierender Unternehmen**

Produktionsunternehmen stellen komplexe Systeme dar, zu deren Beschreibung sich die Systemtheorie (auch Systemtechnik genannt) bewährt hat [Wiendahl 2010, Westkämper/Zahn 2009].

Die Systemtheorie stellt eine generalisierte, auf unterschiedliche Disziplinen anwendbare Theorie dar. Aufgrund der einheitlichen Methodik und Terminologie können komplexe Strukturen und Ursache-Wirkbeziehungen erfasst, beschrieben und untersucht werden [Bertalanffy 1972].

Die Systemtheorie umfasst die Beziehungen zwischen den Elementen eines Systems, die Beziehungen zwischen Struktur und Funktion von Systemen und die Beziehungen zwischen Teilsystemen

und Gesamtsystem [Ropohl 1979]. Verallgemeinert besteht ein System aus Elementen mit Eigenschaften und Handlungsmöglichkeiten, die über Relationen (Beziehungen) miteinander verbunden sind. Die Verknüpfung der Systemelemente wird als Struktur bezeichnet. Darüber hinaus kann jedes System in Subsysteme niedriger Ordnung gegliedert werden. Jedes Element, Subsystem und Gesamtsystem kann mit einer Systemgrenze abgegrenzt und durch die Betrachtung der Inputs und Outputs die Funktion als Black-Box dargestellt werden. Durch die unterschiedlichen Betrachtungsweisen können Systeme aus funktionaler, struktureller und hierarchischer Sicht beschrieben werden. Außerdem lassen sich geschlossene und offene Systeme unterscheiden. Während geschlossene Systeme keine Wechselwirkung zur Umwelt aufweisen, sind offene Systeme zur Umwelt hin geöffnet [Ropohl 2009]. Nachfolgende Abbildung veranschaulicht die skizzierten Zusammenhänge.

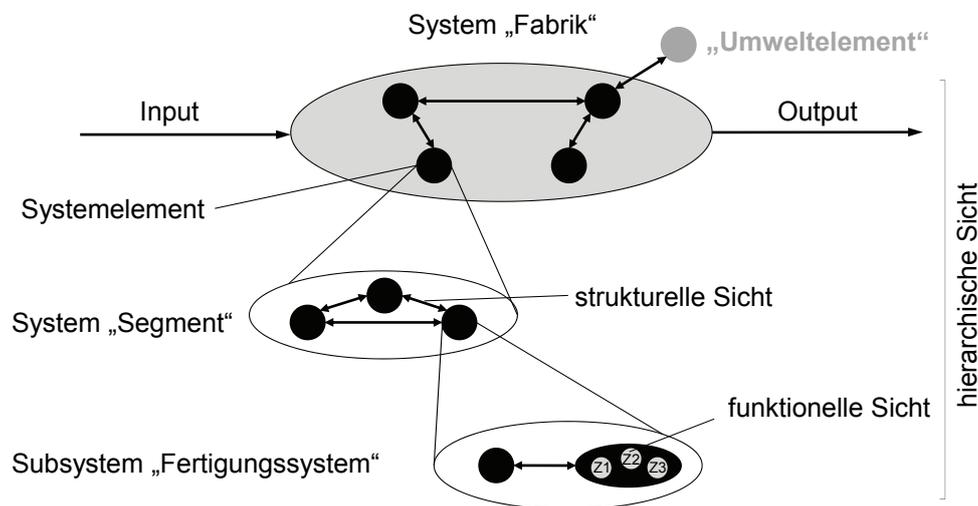


Abbildung 2-3: Hierarchische Struktur produzierender Unternehmen in Anlehnung an [Westkämper/Zahn 2009, Heinecker 2006]

Wird die Systemtechnik auf ein produzierendes Unternehmen angewendet, kann dieses System in verschiedene Subsysteme wie beispielsweise Beschaffung und Produktion unterteilt werden (vgl. Kapitel 2.1). Die Elemente sind über Informations- und Materialflüsse miteinander verknüpft und führen organisatorische und technische Prozesse (Funktionen) mit Hilfe von Technik- und Personalressourcen wie beispielsweise Konstruieren, Bearbeiten und Montieren, zur Produktherstellung aus. Es handelt sich daher um ein soziotechnisches System [Wiendahl 2010, Westkämper/Zahn 2009, Schenk/Wirth 2004]. Der Wirkungsgrad des Gesamtsystems ist von der Anzahl der Teilelemente abhängig [Westkämper 2006].

Zur hierarchischen Strukturierung von produzierenden Unternehmen sind sieben Systemebenen allgemein anerkannt, die in nachfolgender Abbildung am Beispiel des Stuttgarter Unternehmens-

modells dargestellt sind [Westkämper/Zahn 2009, Wiendahl et al. 2007, Nyhuis et al. 2005, Wiendahl 2002a]:

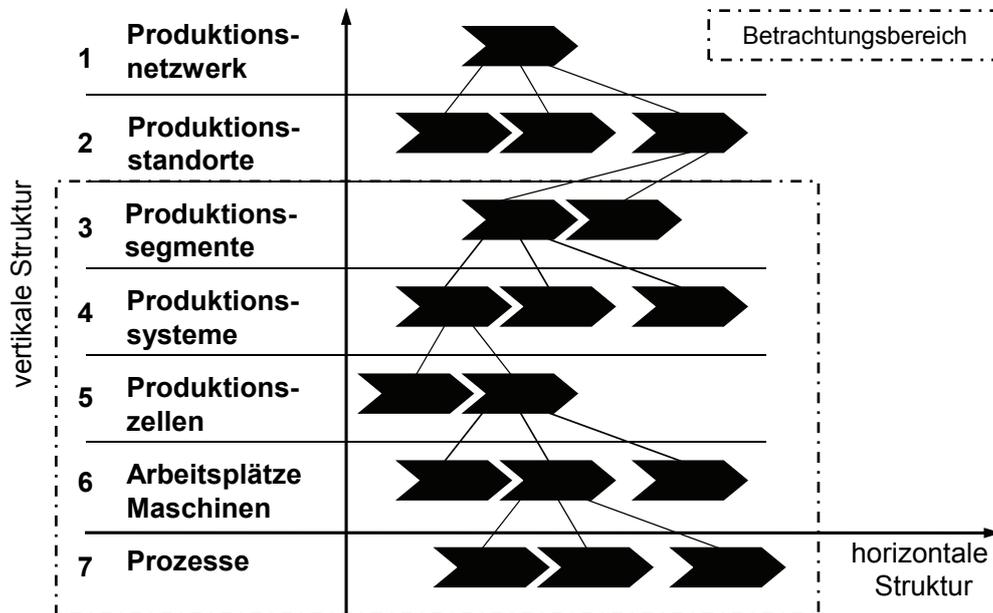


Abbildung 2-4: Struktur produzierender Unternehmen am Beispiel des Stuttgarter Unternehmensmodells nach [Westkämper/Zahn 2009]

Unter dem Produktionsnetzwerk werden sämtliche an der Herstellung eines Produkts beteiligte Werke und Fabriken zusammengefasst. Die Produktionsstandorte stellen lokale Standorte zur Durchführung von Produktionsprozessen dar. Darunter angesiedelt sind Produktionssegmente, die nach Technologien wie mechanische Fertigung, Oberflächenbehandlung, Vor- und Endmontage, nach Produktgruppen wie Universalmaschinen, Standardmaschinen oder nach Funktion für die Produktion wie Herstellung, Werkzeug- und Formenbau, Hilfs- und Versorgungsbetriebe gegliedert sein können [Westkämper 2006].

Im Rahmen der Arbeit wird die Integration von Produktionsbereichen bzw. -segmenten (nach Technologien gegliedert) betrachtet. Diese Integration bewirkt Veränderungen in untergelagerten Systemebenen, die es zu berücksichtigen gilt und deshalb im Folgenden näher beschrieben werden. Das Produktionssystem setzt sich aus dem Fertigungs- und Montagesystem zusammen. Im Fertigungssystem werden Einzelteile mittels Be- und Verarbeitungsmaschinen einschließlich Transport-, Umschlag- und Lagereinrichtungen hergestellt. Das Montagesystem dient zur Herstellung von Baugruppen (Erzeugnisse), die mittels Füge- und Montageeinrichtungen einschließlich Transport-, Umschlag- und Lagereinrichtungen durchgeführt wird [Westkämper 2006, Schenk/Wirth 2004]. Dem Fertigungs- und Montagesystem sind zusätzlich Ver- und Entsorgungssysteme zuzuordnen [West-

kämper 2006]. Aus räumlicher Sicht dient das Gebäude mit seinen geometrischen Merkmalen und Belastungsparametern einschließlich der technischen Gebäude zur Unterbringung des Produktionssystems. Es stellt die Schnittstelle zum Produktionssystem dar [Schenk/Wirth 2004].

Produktionszellen sind lokal zusammengefasste Einheiten von Maschinen und Arbeitsplätzen zur Fertigung oder Montage. Arbeitsplätze und Maschinen sind Verrichtungsstellen für die Durchführung von wertschöpfenden und nicht-wertschöpfenden Prozessen [Westkämper 2006].

Neben der rein hierarchischen Strukturierung bietet das Stuttgarter Unternehmensmodell die Möglichkeit, anhand von selbständigen Leistungseinheiten eine skalierbare generische Beschreibung der Systemelemente hinsichtlich ihrer Funktionen bzw. Prozesse durchzuführen (siehe Abbildung 2-5). Eine Leistungseinheit führt selbst einen Transformationsprozess durch und erbringt einen eigenständigen Beitrag zur Wertschöpfung. Sie stellt eine organisatorische Einheit eines Produktionsunternehmens dar, in der ein oder mehrere Technik- und Personalressourcen abgestimmte Ziele verfolgen. Durch Führungs- und Ausführungsprozesse werden aus Material und Informationen materielle und/oder immaterielle Produkte erzeugt. Eine Leistungseinheit verfügt über Merkmale wie Kooperation, Selbständigkeit und Selbstorganisation. Die Kooperation wird umgesetzt mit Hilfe von definierten Schnittstellen zu anderen Leistungseinheiten und durch die Selbständigkeit können mehrere Leistungseinheiten wiederum zu einer Leistungseinheit höherer Ordnung zusammengefasst werden. Die Selbstorganisation und die daraus resultierenden Handlungsspielräume ergeben sich beispielsweise durch dezentrale Koordinationsmechanismen [Westkämper/Zahn 2009, Westkämper et al. 2000].

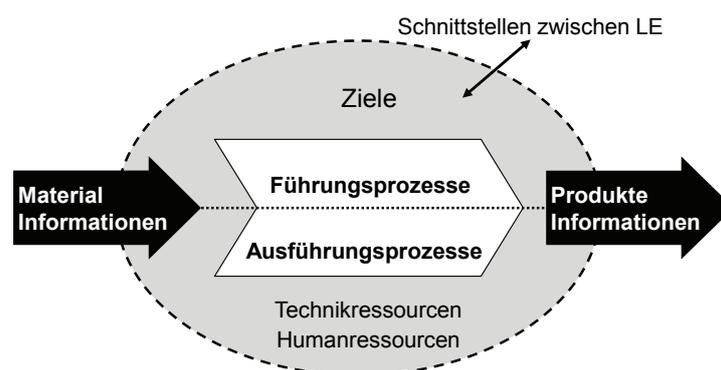


Abbildung 2-5: Grundmodell der Leistungseinheit in Anlehnung an [Westkämper/Zahn 2009]

Eine Leistungseinheit dient zur Durchführung einer Aufgabe und stellt ein Arbeitssystem dar [Wittenstein 2007, Binner 2005]. Nach REFA dienen Arbeitssysteme zur Erfüllung von Arbeitsaufgaben und können allgemein durch die Elemente Arbeitsauftrag, Arbeitsaufgabe, Arbeitsablauf, Arbeits-

gegenstand, Personal, Betriebsmittel, Eingabe, Ausgabe und Umwelteinflüsse charakterisiert werden [Schlick et al. 2010, Binner 2005, Westkämper et al. 2000].

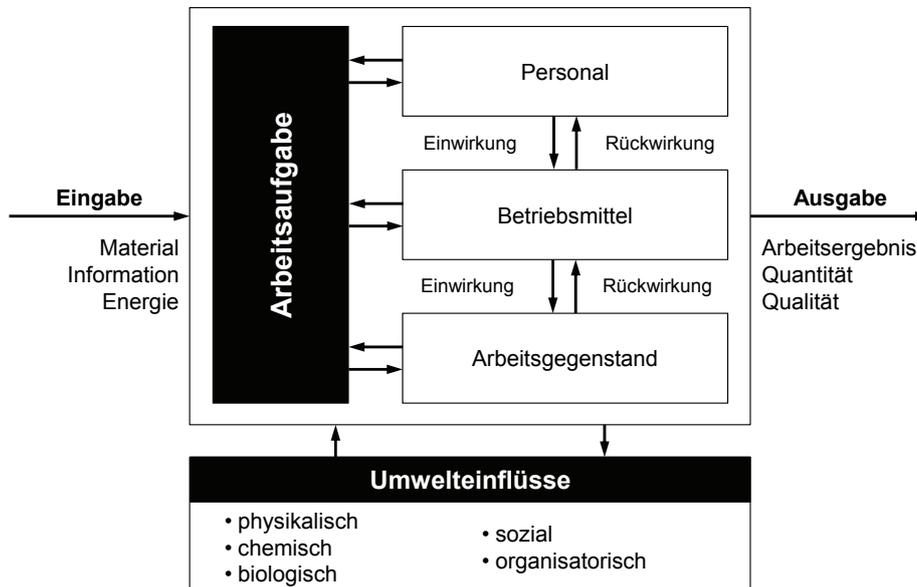


Abbildung 2-6: Elemente eines Arbeitssystems in Anlehnung an [Schlick et al. 2010]

Die Arbeitsaufgabe stellt die Zielsetzung des Arbeitssystems dar. Die Eingabe oder der Input eines Arbeitssystems können u. a. Material, Energie und Informationen sein.

Die Ausgabe bzw. der Output kann aus unterschiedlichen Objekten bestehen. Dies können Arbeitsgegenstände, Informationen, Zwischenergebnisse, freiwerdende Stoffe, Abfälle und Produkte sein.

Die Elemente Personal und Betriebsmittel bilden die Kapazität eines Arbeitssystems und sind entsprechend der Arbeitsaufgabe dafür verantwortlich, dass der Input unter Anwendung von Verfahren oder Methoden in Output transformiert wird. Im Rahmen des Arbeitsablaufs findet ein räumliches und zeitliches Zusammenwirken von Mensch und Betriebsmittel statt. Die Umwelteinflüsse können in physikalische, chemische, biologische, organisatorische und soziale Einflüsse unterteilt werden. Diese können das Verhalten des Systems, insbesondere des Menschen und der Betriebsmittel beeinflussen. Zu den physikalischen, chemischen und biologischen Belastungen, die auch als Umgebungseinflüsse bezeichnet werden, zählen u.a. mechanische Schwingungen, Schall, Gase und Dämpfe [Wiendahl 2010, Binner 2005]. Weitere Einflüsse sowie Minderungsmaßnahmen können aus dem aktuellen Stand der Technik sowie gesetzlichen Vorschriften und/oder Richtlinien entnommen werden [Klindt et al. 2007, Binner 2003, VDI 2058 Blatt 3, ArbStättV 2004].

Leistungseinheiten bieten einen Ordnungsrahmen zur Beschreibung von organisatorischen Einheiten und deren Wechselwirkung untereinander in der Produktion. Aufgrund ihrer Skalierbarkeit und definierten Schnittstellen können Leistungseinheiten zur ganzheitlichen Betrachtung der Prozessket-

te sowie zur Bewertung von Veränderungsmaßnahmen innerhalb einer Prozesskette durch den Austausch von Leistungseinheiten genutzt werden. Die detaillierte Darstellung der Leistungseinheit anhand des skizzierten Arbeitssystems macht Elemente sichtbar, die im Rahmen der Integration von Produktionsbereichen zu berücksichtigen sind. Allerdings ist die Beschreibung der Elemente zu abstrakt, um konkrete Integrationskriterien zu bilden. Um grundsätzliche Integrationskriterien zu definieren, werden im Folgenden die Planungstätigkeiten und -objekte der Arbeitsvorbereitung sowie charakterisierende Eigenschaften der physischen Produktion näher beleuchtet.

### **2.4 Arbeitsvorbereitung in produzierenden Unternehmen**

Für die Arbeitsvorbereitung sind oft auch andere Begriffe gebräuchlich wie Produktionsvorbereitung, Fertigungsplanung, -steuerung oder -vorbereitung [Eversheim 2002, Westkämper 2006, Wiendahl 2010]. Der Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung (AWF) und der Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung (REFA) definieren die Arbeitsvorbereitung als Gesamtheit aller Maßnahmen der methodischen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung mit dem Ziel, ein Optimum aus Aufwand und Arbeitsergebnis zu erzielen [AWF 68]. Die Arbeitsvorbereitung nimmt die Funktion zwischen Konstruktion und physischer Produktion wahr, um notwendige Aufgaben zur Erstellung des Produktes oder der Dienstleistung so zu planen, steuern und überwachen, dass eine wirtschaftlich optimale Produkterstellung im Produktionsprozess möglich wird [Binner 2003, Westkämper 2006].

Die Arbeitsvorbereitung unterteilt sich in die Arbeitsplanung und -steuerung. Die Arbeitsplanung beinhaltet alle einmalig auftretenden Planungsmaßnahmen, die unter ständiger Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit die fertigungstechnische Herstellung eines Produkts sichern. Im Rahmen der Arbeitsplanung wird geklärt, was, wie und womit gefertigt wird. Es handelt sich um eine auftrags- und terminneutrale Planung. Zufällige Engpasssituationen oder die Unterbelastung einer Arbeitsstation werden daher im Gegensatz zur Arbeitssteuerung nicht beachtet. Es wird unter der Annahme unbegrenzter Kapazitäten ein technisch-wirtschaftliches Optimum bestimmt [Westkämper 2006, Wiendahl 2010].

Nach REFA [REFA 1985] lässt sich die Arbeitsplanung in Arbeitsablaufplanung (Prozessgestaltung) und Arbeitssystemplanung (Betriebsmittelgestaltung) weiter aufteilen. Die Arbeitsablaufplanung umfasst die wirtschaftliche Fertigung und Montage von Produkten. Die Arbeitssystemplanung beschäftigt sich mit der wirtschaftlichen Auslegung und Gestaltung von Fertigung und Montage.

Neben dieser Differenzierung lassen sich die Aufgaben hinsichtlich ihrer Fristigkeit unterscheiden. Während die Arbeitsablaufplanung für die kurzfristigen Aufgaben verantwortlich ist, beschäftigt sich die Arbeitssystemplanung mit den längerfristigen Aufgaben. Die mittelfristigen Tätigkeiten können weder der Arbeitsablaufplanung noch der Arbeitssystemplanung eindeutig zugeordnet werden. Kurzfristige Aufgaben der Arbeitsplanung stellen beispielweise die Stücklistenverarbeitung und die Arbeitsplanerstellung dar. Diese Aufgaben zählen zum Tagesgeschäft der Arbeitsplanung. Mittelfristige Aufgaben sind die Planungsvorbereitung, die Kostenplanung und die Qualitätssicherung, während langfristig die Material- und Methodenplanung sowie die technische Investitionsplanung durchgeführt wird [Eversheim 2002, Wiendahl 2010, Westkämper 2006]. Eine Übersicht der Aufgaben sowie ihrer zeitlichen Einordnung findet sich in nachfolgender Abbildung.

Horizont	Aufgabe	Beschreibung
<b>kurzfristig</b>	Stücklistenverarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstellen von Fertigungs- und Montagestücklisten aus Konstruktionsstücklisten</li> <li>• Bestimmung von Arbeitsvorgangsfolge, Betriebseinrichtung und Vorgabezeit</li> <li>• Erstellen von Steuerprogrammen für numerisch gesteuerte Maschinen und Handhabungsgeräte</li> <li>• Konstruktion und Fertigung spezieller Fertigungseinrichtungen und Prüfmittel</li> </ul>
	Arbeitsplanerstellung	
	NC-Programmierung	
	Fertigungsmittelplanung	
<b>mittelfristig</b>	Planungsvorbereitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beratung von Konstruktion und Produktion</li> <li>• Vorkalkulation und Entscheidungsvorbereitung für Eigenfertigung oder Fremdvergabe</li> <li>• Erstellen von Prüfplänen und Beratung bei der Qualitätsplanung, Unterstützung der Zertifizierung</li> </ul>
	Kostenplanung	
	Qualitätssicherung	
<b>langfristig</b>	Materialplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung der am Lager vorzuhaltenden Materialsorten; Lieferantenbewertung und –auswahl</li> <li>• Entwicklung neuer und umweltgerechter Verfahren, Methoden und Hilfsmittel zur Fertigung und Montage</li> <li>• Planung von Fertigungsmitteln, Anlagen und Produktionsbereichen einschließlich der Arbeitsplatzgestaltung</li> </ul>
	Methodenplanung	
	Investitions- und Fabrikplanung	

Abbildung 2-7: Zeithorizont der Aufgaben der Arbeitsplanung nach [Wiendahl 2010]

Für die Arbeitssteuerung wird oft in der Praxis der Begriff „Produktionsplanung und -steuerung (PPS)“ benutzt [Eversheim 2002, Binner 2003]. Nach AWF [AWF68] umfasst die Arbeitssteuerung alle Maßnahmen, die für eine der Arbeitsplanung entsprechenden Auftragsabwicklung erforderlich sind. Im Rahmen der Arbeitssteuerung wird geklärt, wie viel, wann, wo und durch wen hergestellt wird. Unter Verwendung der auftragsneutralen Unterlagen aus der Arbeitsplanung und unter Berücksichtigung der Ressourcenkapazitäten werden in der Arbeitssteuerung konkrete Fertigungsaufträge erstellt [Eversheim 2002, Westkämper 2006, Wiendahl 2010].

## 2.4.1 Teilaufgaben der Arbeitssystemplanung

Wie bereits in Kapitel 2.4 erläutert, beschäftigt sich die Arbeitssystemplanung mit der wirtschaftlichen Auslegung und Gestaltung von Fertigung und Montage. Im Detail umfasst die Arbeitssystemplanung die Betriebsmittel-, Personal-, Flächen-, Medien- und Investitionsplanung [Grundig 2009, Pawellek 2008, Schenk/Wirth 2004, Binner 2003, Dangelmaier 1999, Eversheim 2002, REFA 1990, Wiendahl 1972]. Die einzelnen Planungsaufgaben werden im Folgenden näher erläutert.

### Betriebsmittelplanung

Im Rahmen der Planung eines Arbeitssystems erfolgt im ersten Schritt die Betriebsmittelplanung. Ziel ist es, die Betriebsmittel nach Art und Menge auszuwählen und die Anordnungsstruktur festzulegen. Davon ausgehend leiten sich Personal-, Flächen-, Medien- sowie Investitionsbedarfe ab. Grundlage der Betriebsmittelplanung stellt das Produktionsprogramm dar. Dieses legt den Leistungsumfang des zu planenden Arbeitssystems nach folgenden Aspekten fest [Gundig 2009]:

- sachlich (Produktarten, Sortimente)
- mengenmäßig (Umfang, Stückzahlen je Produktart)
- zeitlich (Produktionszeitraum, Planungsperiode, -jahr, Quartal)
- wertmäßig (Preis, Kosten)

Auf Basis des Produktionsprogramms erfolgt die Analyse der Bearbeitungsaufgabe für das gesamte Teilespektrum. Hierfür wird eine Klassifizierung durchgeführt und ein Teileprofil ermittelt, das alle produktseitigen Anforderungen an das Arbeitssystem beinhaltet [Eversheim 2002, Kettner et al. 1984, Wiendahl 1972]. Aus dem Teileprofil lassen sich die zur Herstellung erforderlichen Bearbeitungsverfahren ermitteln. Unter Berücksichtigung der Maschinenbelegungszeiten ergibt sich aus dem Teileprofil ein entsprechendes Bearbeitungsprofil, das folglich den Stundenbedarf pro Bearbeitungsverfahren innerhalb einer Periode beinhaltet. Mit Hilfe des Teile- und Bearbeitungsprofils werden die wesentlichen Kriterien wie Werkstoff und Hauptgeometrie des Werkstücks (z. B. Abmaße und Gestalt), Anforderungen an die Qualität (z. B. Toleranzen und Oberflächengüte) und die geforderte Mengenleistung für die Auswahl eines Fertigungsverfahrens dargestellt [Kettner et al. 1984, Wiendahl 1972].

Zur Betriebsmittelbedarfsermittlung wird das Bearbeitungsprofil dem Leistungsvermögen der vorhandenen technischen Einrichtungen (Maschinenprofil) gegenübergestellt. Beim Maschinenprofil

wird zwischen qualitativer und quantitativer Kapazität der technischen Einrichtungen unterschieden. Die qualitative Kapazität wird auch als qualitativer Betriebsmittelbedarf oder technische Kapazität bezeichnet und stellt das technische Leistungsvermögen (z. B. geometrisches, physikalisches und genauigkeitsbezogenes Leistungsvermögen) eines Betriebsmittels dar. Die quantitative Kapazität repräsentiert dessen mengenmäßige Leistung [Grundig 2009, Schenk/Wirth 2004, Dangelmaier 1999, Kettner et al. 1984, Wiendahl 1972].

Zur Ermittlung des Betriebsmittelbedarfs sind unterschiedliche Methoden verfügbar [Grundig 2009, Kettner et al. 1984]. Mit deren Hilfe lässt sich eine Bedarfsüberdeckung, -unterdeckung oder ein ausgeglichener Betriebsmittelbestand feststellen und Maßnahmen zur Kapazitätsanpassung ableiten. An die Kapazitätsermittlung schließt die Anordnungs- bzw. Strukturplanung der Betriebsmittel an. Sie ergibt sich im Wesentlichen aus der Struktur des Materialflusses. Sind keine bzw. kaum Rückflüsse im Materialfluss notwendig, kann ein Linienprinzip realisiert werden. Ansonsten ist eine andere Betriebsmittelanordnung zu wählen [Eversheim 2002]. Eine Beschreibung der Charakteristika des Materialflusses erfolgt in Kapitel 2.5.

### **Personalplanung**

Analog zu den Betriebsmitteln wird der Personalbedarf zur Durchführung von Arbeitsaufgaben qualitativ und quantitativ bestimmt. Es wird der Personalbedarf nach Art bzw. Qualifikation, Menge, Zeitpunkt und Dauer des Einsatzes sowie gegebenenfalls des Einsatzortes ermittelt [Pawellek 2008].

Der quantitative Personalbedarf legt die Anzahl des Personals in Verbindung mit den Einsatzorten (Einsatzdauer) fest. Der qualitative Personalbedarf bestimmt die Art des Personals hinsichtlich der inhaltlichen Anforderungen an die Arbeitsaufgabe [Grundig 2009, Kettner et al. 1984].

### **Flächenplanung**

Im Rahmen der Flächenplanung wird der notwendige Flächenbedarf zur Produktion festgelegt. Die Produktionsfläche gliedert sich in die Flächen für Maschinenarbeitsplätze, Produktionssteuerung und Leitung, Transporte, Qualitätssicherung, Zwischenlager sowie Ver- und Entsorgung. Die Maschinenarbeitsplatzfläche setzt sich wiederum aus verschiedenen Flächenbestandteilen zusammen (siehe Abbildung 2-8).

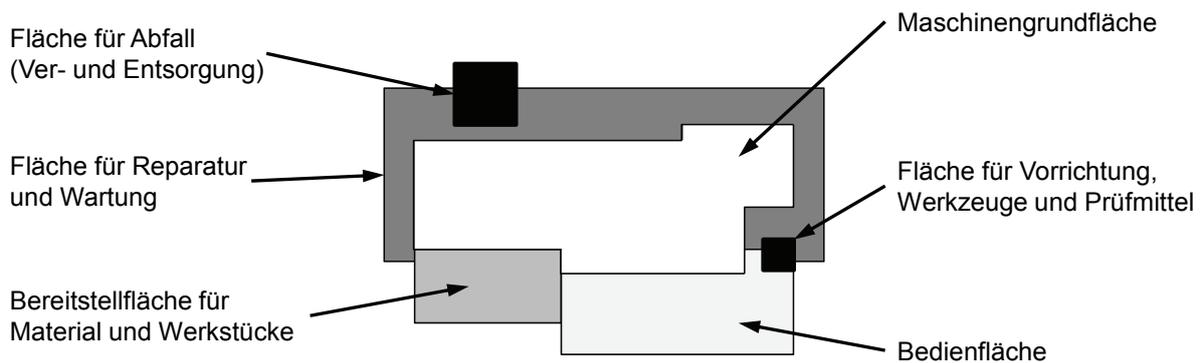


Abbildung 2-8: Maschinenarbeitsfläche und Bestandteile nach [Schmigalla 1995]

Im Rahmen der Flächenbedarfsermittlung kann nach dem Top-down-Prinzip oder Bottom-up-Prinzip vorgegangen werden. Beim Top-down-Prinzip werden ausgehend von Flächenkennzahlen, Richtwerten usw. die erforderlichen Flächenbedarfe aus Bezugsgrößen abgeleitet. Das Bottom-up-Prinzip ermittelt auf Basis des Ausrüstungsbedarfs (Typ, Anzahl) den Flächenbedarf. Zu letzteren existieren unterschiedliche Methoden (z. B. Flächenbedarfsermittlung mittels Zuschlagsfaktoren, Flächenfaktoren und Ersatzflächen,), mit Hilfe derer eine hohe Genauigkeit erreicht werden kann [Grundig 2009]. Somit kann beispielsweise die Bestimmung der Maschinenarbeitsfläche mittels Zuschlagsfaktoren folgendermaßen durchgeführt werden [Schmigalla 1995].

$$A_{MA} = A_{MG} \times f_g \quad \text{Formel 2-}$$

$A_{MA}$  Maschinenarbeitsplatzfläche [Flächeneinheit]

$A_{MG}$  Maschinengrundfläche [Flächeneinheit]

$f_g$  Multiplikationsfaktor mit Zuschlägen für Bereitstellung, Bedienung, Wartung sowie Ver- und Entsorgung am Arbeitsplatz [-]

Eine Zusammenfassung unterschiedlicher Zuschlagsfaktoren kann aus [Schmigalla 1995] entnommen werden.

### Medienplanung

Im Rahmen der Medienplanung werden die erforderlichen Medienarten und -bedarfsgrößen bestimmt. Die Medienbedarfe für Maschinen und Anlagen an Elektroenergie, Druckluft und Hilfsstoffe werden in mehreren Schritten bestimmt. Zunächst erfolgt eine Ermittlung der medienbezogenen Grunddaten nach Verbraucherart, Bedarfsgröße und räumlicher Verbraucheranordnung. Anschließend werden die Grunddaten zu Leistungskenngrößen umgerechnet und Anforderungsübersichten der Verbraucher je Medienart (Leistung, Ort) wie Druckluft und Kühlschmierstoff erstellt. Ab-

schließlich wird das Installationskonzept entworfen [Grundig 2009, Schenk/Wirth 2004, Kettner et al. 1984]. Die Mediensysteme sowie Flächen sind Bestandteile der Infrastruktur der physischen Produktion [Schenk/Wirth 2004].

### Investitionsplanung

Sämtliche Entscheidungen, die in der Arbeitssystemplanung getroffen werden, sind auf ihre wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit zu prüfen. Mit Hilfe der Investitionsrechnung kann die Wirtschaftlichkeit nachgewiesen werden. Die Investitionsrechnung wird in Kapitel 2.6 beschrieben.

### 2.4.2 Teilaufgaben der Arbeitsablaufplanung

Wie bereits in Kapitel 2.4 erläutert, werden kurz- bis mittelfristige Tätigkeiten der Arbeitsplanung der Arbeitsablaufplanung zugeordnet. In Abbildung 2-9 sind die Teilaufgaben der Arbeitsablaufplanung in ihrem Ablauf dargestellt und werden nachfolgend beschrieben.

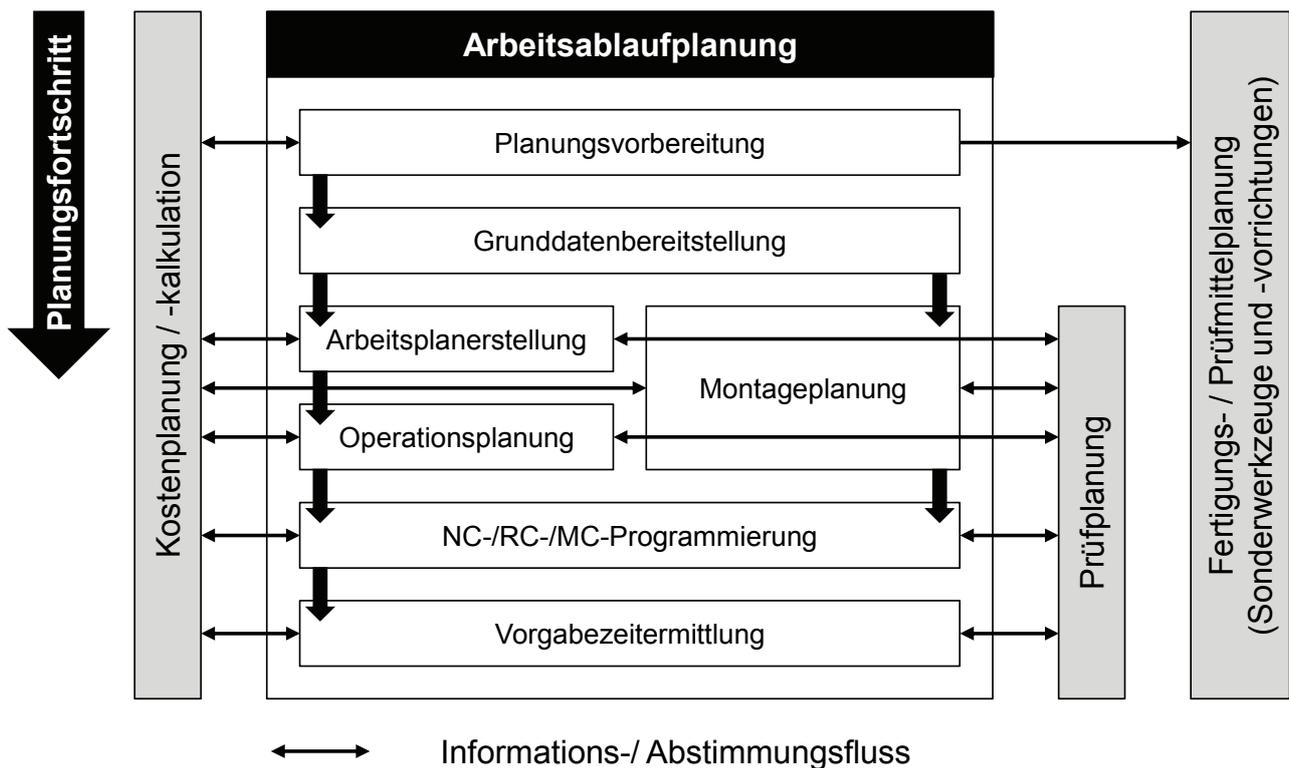


Abbildung 2-9: Zeitlicher Ablauf der Tätigkeiten innerhalb der Arbeitsablaufplanung nach [Eversheim 2002]

Es existieren vier verschiedene Planungsarten der Arbeitsablaufplanung, die sich hinsichtlich des Erstellungsaufwands, Neuheitsgrads und fertigungstechnischer Ähnlichkeit unterscheiden. Es wird

von Neu-, Anpassungs-, Varianten- oder Wiederholplanung gesprochen. Während bei einer Neuplanung der komplette Ablauf der Arbeitsablaufplanung durchlaufen werden muss, kann bei einer Wiederholplanung auf bestehende Planungsdaten zurückgegriffen werden [Westkämper 2006, Binner 2003, Eversheim 2002].

### **Planungsvorbereitung**

Die Planungsvorbereitung stellt den Ausgangspunkt der Arbeitsablaufplanung dar. Die Aufgabe der Planungsvorbereitung ist es, die benötigten Informationen zu bündeln, überprüfen und bereitzustellen. Da innerhalb des aufgezeigten Ablaufs (siehe Abbildung 2-9) die meisten Informationen aus der Konstruktion stammen, kann die Planungsvorbereitung als Koordinationsstelle zwischen Konstruktion und Arbeitsplanung betrachtet werden. Es sollen frühzeitig Konflikte identifiziert und Änderungsmaßnahmen abgeleitet werden [Eversheim 2002]. In den Aufgabenbereich fällt weiter die Suche nach ähnlichen, bereits existierenden Arbeitsplanungsunterlagen [Wiendahl 2010, Westkämper 2006, Binner 2003, Eversheim 2002].

### **Arbeitsplanerstellung**

Die Arbeitsplanerstellung stellt den ersten Schritt zur Umsetzung der vorgegebenen Gestalt- und Technologieanforderungen eines Erzeugnisses für eine zeit- und kostengünstige Produktion dar. Synonym zur Arbeitsplanerstellung können die Begriffe Prozessplanerstellung oder Prozessplanung verwendet werden [Eversheim 2002].

Im Arbeitsplan werden die Bearbeitungsschritte festgelegt, die ein Werkstück zu durchlaufen hat. Im Einzelnen beinhaltet die Arbeitsplanerstellung die Rohmaterialbestimmung, die Arbeitsvorgangsfolgeermittlung (Prozessfolgeermittlung), die Fertigungsmittelauswahl sowie die Ermittlung von Vorgabezeiten. Eine detaillierte Beschreibung der Teilschritte der Arbeitsplanerstellung kann aus [Wiendahl 2010, Westkämper 2006, Binner 2003, Eversheim 2002] entnommen werden.

### **Operationsplanung**

Im Rahmen der Operationsplanung werden die im Arbeitsplan festgelegten Arbeitsvorgänge fein geplant. Durch das Zerlegen der Arbeitsvorgänge in Teilarbeitsvorgänge (Operationen) wird die detaillierte Teilarbeitsvorgangsfolge bestimmt. Die Operationsplanung stellt somit das Bindeglied zwischen Arbeitsplanerstellung und Maschinenprogrammierung dar [Wiendahl 2010, Eversheim 2002].

### **Montageplanung**

Im Anschluss an die Teilefertigungsplanung erfolgt die Montageplanung, die analog zur Fertigungsplanung Informationen in Form von Zeichnungen und Stücklisten aus der Konstruktion erhält und durch die Montagetechnik vorgegebenen Randbedingungen Restriktionen an die Konstruktion gibt [Feldmann 1997]. Der grundlegende Unterschied zur Arbeitsplanung der Teilefertigung besteht in der Beachtung der Produktstruktur und der damit einhergehenden Folgen beim Fügen [Westkämper 2006].

### **Maschinenprogrammierung**

Im Rahmen der Maschinenprogrammierung werden auf Basis der Prozess-, Operations- und Montageplanung NC-, RC- und MC-Programme erstellt. Aufgabe der Maschinenprogrammierung ist es, die vorhandenen Planungsinformationen in eine für Maschinen und Automaten verarbeitbaren Sprache umzusetzen. Dies kann entweder zentral in der Arbeitsplanung oder dezentral an den Maschinen erfolgen [Dangelmaier 1999, Eversheim 1996].

### **Vorgabezeitermittlung**

Die Vorgabezeitermittlung stellt eine grundlegende Aufgabe der Arbeitsplanung dar und ist die Basis für die ökonomische Bewertung von Prozessen sowie für weitere Aufgaben (z. B. Termin- und Kapazitätsplanung, Angebotskalkulation und Entlohnung).

Zeitgrößen (z. B. Vorgabezeit und Ausführungszeit), Zeitanteile (z. B. Grundzeit und Rüstzeit), Zeitverluste (z. B. Verfügbarkeit und Qualitätsgrad) und deren Zusammenhänge sind in [REFA 1997, VDI 3423, VDI 4004 Blatt 4, Erlach 2010, Reichel et al. 2009] definiert.

Zur Zeitermittlung sind analytische und synthetische Verfahren verfügbar. Ein wesentlicher Unterschied der Zeitermittlungsverfahren ist, dass im Gegensatz zur synthetischen Zeitermittlung für die analytische Zeitbestimmung das zu bewertende Arbeitssystem physisch vorhanden sein muss. Synthetische Verfahren sind daher besonders bei der Neugestaltung von Arbeitssystemen vorteilhaft. Eine Beschreibung der Zeitermittlungsverfahren ist in [Westkämper 2006, Binner 2003] zu finden.

### **Prüfplanung**

Die Prüfplanung ist als Schnittstelle der Arbeitsablaufplanung mit dem unternehmensweiten Qualitätsmanagement anzusehen. Die Mess- und Prüfvorgänge, die sämtliche Arbeitsvorgänge in der Fertigung und Montage begleiten, sind analog zur Prozessplanung zu planen und zu steuern [Westkämper 2006, Eversheim 2002].

### **Fertigungs- und Prüfmittelplanung**

Die Fertigungs- und Prüfmittelplanung im Rahmen der Arbeitsablaufplanung erfolgt auftrags- bzw. produktbezogen. Die Fertigungs- und Prüfmittelplanung befasst sich demnach im Wesentlichen mit der Planung von Werkzeugen und Vorrichtungen sowie von Mess- und Prüfmittel. Die Entwicklung unterscheidet sich nicht von der Vorgehensweise sonstiger Erzeugnisentwicklungen [Westkämper 2006, Eversheim 2002].

### **Kostenplanung**

Bei der Kostenplanung im Rahmen der Arbeitsablaufplanung handelt es sich um eine Vor- und Nachkalkulation der Kosten von Produkten und Aufträgen [Binner 2003]. Die Kostenplanung wird in Kapitel 2.6 vertieft.

Im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren in Fertigungs- und Montagelinien ist insbesondere bei den Aufgaben der Arbeitsablaufplanung eine Implikation auf die Maschinenprogrammierung und Fertigungs- und Prüfmittelplanung zu erwarten. Während die weiteren Aufgaben weitestgehend unabhängig von den Maschinen und Anlagen sind, hängen die Aufwendungen für die Maschinenprogrammierung und Fertigungs- und Prüfmittelplanung im Wesentlichen von den eingesetzten Technikressourcen ab.

## **2.4.3 Teilaufgaben der Produktionsplanung und -steuerung**

Während im Rahmen der Arbeitsplanung auftragsneutrale Unterlagen (z.B. Stücklisten und Arbeitspläne) zur Herstellung erstellt werden, besteht die Aufgabe der Produktionsplanung und -steuerung darin, das laufende Produktionsprogramm in regelmäßigen Abständen nach Art und Menge für mehrere Planperioden im Voraus zu planen und unter Beachtung gegebener und zu planender Kapazitäten unter Berücksichtigung unvermeidlicher Störungen (z.B. Personalausfall und Ausschuss) möglichst gut zu realisieren [Wiendahl 2010, Hackstein 1989]. Das zentrale Ziel der Produktionsplanung und -steuerung ist die reibungslose Abwicklung und die Erfüllung von Kundenaufträgen [Wiendahl/Hegenscheidt 2002, Wiendahl 2002b]. In der Literatur ist daher auch der Begriff des Auftragsmanagements geläufig [Westkämper 2006].

Der von Hackstein geprägte Begriff der Produktionsplanung und -steuerung setzt sich aus zwei Teilbereichen zusammen (siehe Abbildung 2-10). Die Produktionsplanung umfasst die Aufgaben

der Produktionsprogramm-, Mengen-, Termin- und Kapazitätsplanung. Die Produktionssteuerung beinhaltet die Auftragsveranlassung sowie -überwachung. Den einzelnen Aufgabenbereichen ist eine einheitliche Datenverwaltung übergeordnet, die im wesentlichen Teilstamm-, Stücklisten-, Arbeitsplan- und Arbeitsplatzdaten für den Abruf aus beiden PPS-Bereichen bereitstellt [Hackstein 1989].

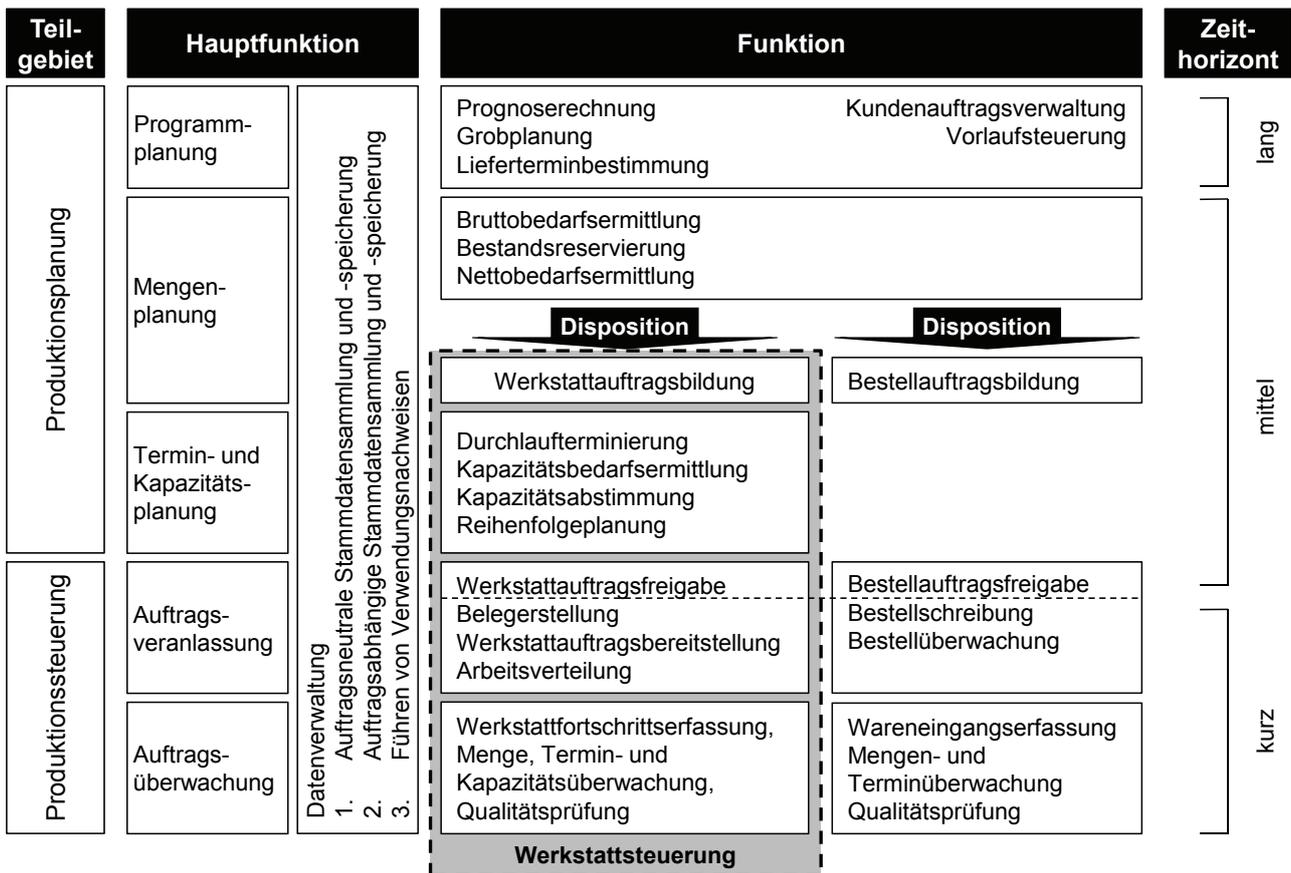


Abbildung 2-10: Klassische PPS-Aufgabenstruktur nach [Hackstein 1989]

Die Produktionsprogrammplanung legt anhand von vorliegenden Kundenaufträgen und/oder dem geltenden Verkaufsprogramm die zeitlichen und mengenmäßigen Werte über die zukünftige Produktion im Produktionsprogramm fest. Dies entspricht dem Primärbedarf an Erzeugnissen. Auf Basis des im Produktionsprogramm festgelegten Primärbedarfs an Erzeugnissen erfolgt die Mengenplanung. Ziel ist es, die art-, mengen- und termingerechte Bedarfsbestimmung an Eigenfertigungs- und Fremtteilen durchzuführen. Eigenfertigungs- bzw. Fremtteile werden über Werkstatt- bzw. Bestellaufträge ausgelöst. Die Termin- und Kapazitätsplanung schließt die Produktionsplanung ab. Basierend auf den Werkstattaufträgen aus der Mengenplanung ist es Aufgabe der Termin- und Kapazitätsplanung, die Machbarkeit der Aufträge sicherzustellen. Hierzu erfolgt die Durchlauf-

terminierung und Kapazitätsplanung. Die Durchlaufterminierung bestimmt je nach Planungsart (Vorwärtsterminierung, Rückwärtsterminierung), durch zeitliche Aneinanderreihung der einzelnen Ablaufschritte, den spätestens möglichen Starttermin bzw. frühestens möglichen Fertigstellungstermin [Hackstein 1989, Wiendahl 2010]. Zur anschließenden Kapazitätsplanung werden häufig technisch gleichartige Maschinen zu Kapazitätseinheiten zusammengefasst und als Zeiteinheit meist ein Arbeitstag angesetzt. Die Planperiode beträgt üblicherweise eine Woche [Nyhuis/Schmidt 2008]. Das Hauptproblem besteht darin, dass zwei oder mehrere Arbeitsvorgänge aufgrund der Durchlaufterminierung zur selben Zeit um Kapazitäten konkurrieren können. Dies führt zu einer Verzerrung der Starttermine in der Fertigung und damit zur Verschiebung in der Durchlaufterminierung [Zäpfel 2001]. Zur Sicherstellung der Machbarkeit sind daher gegebenenfalls Maßnahmen zur Kapazitätsanpassung notwendig. Ergebnis der Termin- und Kapazitätsplanung sind für die Fertigung terminierte Aufträge.

Nach der Produktionsplanung folgt die Produktionssteuerung, die sich in die Teilbereiche Auftragsveranlassung und -überwachung gliedert. Die Auftragsveranlassung stellt vor dem tatsächlichen Start der Produktion sicher, dass die verplanten Ressourcen (z. B. Personal, Material und Maschinen) verfügbar sind. Die Auftragsüberwachung prüft im Wesentlichen den Auftragsfortschritt auf Basis eines Soll- und Istvergleichs von Terminen, Mengen sowie Qualität und leitet gegebenenfalls Anpassungsmaßnahmen ab [Wiendahl 2010, Westkämper 2006, Hackstein 1989].

Zur Produktionssteuerung lassen sich zwei Prinzipien unterscheiden, die Push- und die Pull-Steuerung: Beim Push-Prinzip unterliegt die Auftragsfreigabe einer zentralen Planungsstelle. Diese steuert die unterschiedlichen Kapazitätseinheiten (Wertschöpfungsstufen) an und das Erzeugnis durchläuft diese entsprechend der zentralen Vorgabe [Thonemann 2010, Westkämper 2006]. Es handelt sich dementsprechend um einen hierarchischen Aufbau, in dem die jeweils übergeordneten Hierarchieebenen mit verdichteten Informationen versorgt werden, während die untergeordneten koordiniert und gesteuert werden [Mertens/Neubauer 1994]. Während das Push-Prinzip auf einen theoretischen Nachfragewert zurückgreift, nutzt das Pull-Prinzip die tatsächliche Nachfrage als Ausgangswert [Thonemann 2010]. Wird ein Produkt nachgefragt, erfolgt die Ansteuerung lediglich der letzten Produktionsstufe und der Auftrag wird zur jeweiligen Vorstufe durch die Produktion gezogen [Westkämper 2006]. Demnach kann beim Pull-Prinzip im Gegensatz zum Push-Prinzip von einem selbststeuernden Prinzip zwischen den Kapazitätseinheiten zur Auftragsdurchführung gesprochen werden, da keine übergeordnete Planung und Steuerung erforderlich ist.

Die Termin- und Kapazitätsplanung, Auftragsveranlassung und -überwachung wird auch als Werkstattsteuerung zusammengefasst. Die Planungszielgrößen der Werkstattsteuerung sind hohe Auslastung, geringe Bestände, kurze Durchlaufzeiten und hohe Termintreue [Hackstein 1989, Adam 1998]. Die Werkstattsteuerungsprobleme bzw. -aufwendungen nehmen mit der Anzahl an Produktionsstufen und der Verschiedenartigkeit der Aufträge zu [Adam 1998].

Im Kontext der Arbeit ist durch die Integration von räumlich und organisatorisch getrennten Verfahren insbesondere eine Rationalisierung in den Planungstätigkeiten der Werkstattsteuerung zu erwarten. Dies begründet sich dadurch, dass ein wesentlicher Teil der Aufwendungen in der Werkstattsteuerung durch die Struktur der Produktion (z. B. Fließfertigung und Werkstattfertigung) und der Auftragszusammensetzung beeinflusst wird [Wiendahl 2010, Adam 1998]. Die Organisation und Struktur der Produktion wird im nachfolgenden Kapitel erläutert.

## **2.5 Physische Produktion als Subsystem produzierender Unternehmen**

Nach den Ausführungen zur Arbeitsvorbereitung in produzierenden Unternehmen werden in diesem Kapitel charakteristische Eigenschaften der physischen Produktion beschrieben.

### **2.5.1 Organisation und Struktur von Produktionsprozessen**

Die Organisation der Produktionsprozesse wird grundsätzlich durch zwei Charakteristika geprägt. Zum einen durch die Fertigungsart und zum anderen durch das Fertigungsprinzip [Westkämper 2006]. Die Fertigungsart wird in der Literatur auch als Produktionsart und -typ bezeichnet und anhand der Ausbringungsmenge beschrieben [Binner 2003]. Die Unterscheidung erfolgt auf Basis der Losgröße und Wiederholhäufigkeit der Erzeugnisse [Lödding 2005, Dolezalek/Warnecke 1981]. Die Fertigungsart übt einen entscheidenden Einfluss auf den Aufbau des Produktionsprozesses aus und bestimmt die Gestaltung des Produktionsablaufes, den Vorbereitungsaufwand der Produktion und die Flexibilität sowie den Automatisierungsgrad der Betriebsmittel [Dangelmaier 2003].

Allgemein wird zwischen Einzel- (Einzel- bzw. Einmalfertigung) und Mehrfachfertigung (Varianten-, der Serien- und der Massenfertigung) unterschieden [Wiendahl 2010, Westkämper 2006, Lödding 2005]. Charakteristische Merkmale der unterschiedlichen Fertigungsarten sind in [Wiendahl 2010, Westkämper 2006, Lödding 2005, Wenzel 2001] dargestellt.

Das Fertigungs- bzw. Produktionsprinzip charakterisiert die räumliche Anordnung der Arbeitssysteme. Grundsätzlich kann die Anordnung der Arbeitssysteme in zwei Kategorien unterteilt werden. Es ist zwischen dem Verrichtungs- bzw. Funktionsprinzip und dem Erzeugnis- bzw. Objektprinzip zu unterscheiden. Bei einer Anordnung nach dem Verrichtungsprinzip werden die Arbeitssysteme, die gleichartige Funktionen (Operationen, Arbeitsgänge) ausführen, räumlich in einer Werkstatt zusammengefasst [Dyckhoff/Spengler 2010, Günther/Tempelmeier 2005]. Bei der sogenannten Werkstattfertigung durchlaufen die Erzeugnisse zur Bearbeitung gemäß der im Arbeitsplan vorgegebenen Verfahrensfolge nacheinander die verschiedenen Werkstätten wie beispielsweise Dreherei und Fräseerei. Ein Vorteil dieses Fertigungsprinzips ist, dass in der jeweiligen Werkstätte die optimal passende Maschine ausgewählt werden kann und ein interner Kapazitätsabgleich möglich ist. Dieses Prinzip ist aufgrund der Flexibilität insbesondere vorteilhaft, wenn in geringer Auftragsstückzahl häufig unterschiedliche Werkstücke herzustellen sind, bei denen sich die Verfahrenskombinationen und -reihenfolgen nicht wiederholen. Wesentliche Nachteile der Werkstattfertigung liegen in der Materialflussstruktur und der Ablaufplanung zur Vermeidung unnötiger Liege- und Transportzeitanteile [Dyckhoff/Spengler 2010, Günther/Tempelmeier 2005, Domschke et. al. 1997, Eversheim 1989]. Üblicherweise werden in den Werkstätten universelle Betriebsmittel eingesetzt [Binner 2003].

Werden die Arbeitssysteme nach dem Objektprinzip aufgebaut, steht das Erzeugnis im Zentrum der Betrachtung [Dyckhoff/Spengler 2010]. Für die Anordnung nach dem Objektprinzip werden die Arbeitssysteme gemäß der zeitlichen Abfolge (Abfolge gemäß Arbeitsplan) von Arbeitsgängen räumlich strukturiert [Domschke et. al. 1997, Much/Nicolai 1995].

Ist der Materialfluss nach dem Objektprinzip nicht einheitlich, können Arbeitssysteme, die zur Herstellung ähnlicher Produkte benötigt werden, in Zentren (Zentrenproduktion) gruppiert werden. Bei dieser Anordnung wird die Flexibilität ähnlich der Werkstattfertigung größtenteils aufrechterhalten, dabei aber die Produktivität durch kürzere Transportwege gesteigert. Je nach Automatisierungsgrad werden Produktionsinseln oder flexible Fertigungssysteme eingesetzt [Dyckhoff/Spengler 2010, Günther/Tempelmeier 2005].

Liegt ein einheitlicher Materialfluss vor, wird von einer Fließproduktion oder Linienproduktion gesprochen [Kletti/Schumacher 2011, Henn/Kühnle 1999]. Bei der Linienproduktion ist der Materialfluss fest vorgegeben und die Werkstücke werden synchron oder asynchron von einem Arbeitssystem an das nächste weitergegeben. Die Arbeitssysteme sind zu diesem Zweck linear nach der

Verfahrensfolge gemäß Arbeitsplan angeordnet [Günther/Tempelmeier 2005, Wenzel 2001, Domschke et. al. 1997].

Bestehen zwischen den einzelnen Arbeitsstationen nahezu unbegrenzte Pufferkapazitäten (kein Auftreten von Verkettungsverluste) zum Ausgleich unterschiedlicher Bearbeitungszeiten, liegt eine Reihenproduktion vor, bei der der Materialfluss weitgehend identisch ist [Lotter/Wiendahl 2006]. Einzelne Arbeitsstationen können übersprungen werden während Rückflüsse nicht möglich sind [Dyckhoff/Spengler 2010, Günther/Tempelmeier 2005].

Sind die Pufferkapazitäten begrenzt, existiert eine stärkere zeitliche Bindung zwischen den Arbeitsstationen und es handelt sich um eine Transferstraße oder Fließlinienproduktion. Die zeitliche Bindung entsteht durch die Vorgabe der zur Verfügung stehenden Arbeitszeit je Arbeitssystem in Form sogenannter Taktzeiten [Dyckhoff/Spengler 2010, Günther/Tempelmeier 2005]. Die Taktzeit entspricht der Zeit, in der jeweils eine Mengeneinheit fertiggestellt wird, damit das Fließsystem die Soll-Mengenleistung erbringt [REFA 1985]. Liegt eine Verkettung zu einem automatisierten Gesamtsystem vor, wird von einer Transferstraße gesprochen. Bei einer Transferstraße sind die Erzeugnisse über das Transportsystem fest verbunden und können nur simultan weiterbewegt werden (synchroner Materialfluss – starre Verkettung). Da die Stationen ohne Puffer direkt aneinander gekoppelt sind, führt der Ausfall einer Arbeitsstation zum Stillstand des ganzen Systems. Eine Fließproduktionslinie liegt vor, wenn die Koppelung durch selbständige Fördereinrichtungen erfolgt, wobei die einzelnen Werkstücke auch unabhängig voneinander bewegt werden können (asynchroner Materialfluss – elastische Verkettung) [Kletti/Schumacher 2011, Dyckhoff/Spengler 2010, Lotter/Wiendahl 2006, Günther/Tempelmeier 2005]. Die Fähigkeit, Stillstände in elastischen Systemen teilweise zu kompensieren ist abhängig von den installierten Puffern, der Taktzeit, den Abständen und den Zeitdauern der Störungen sowie der Stationsanzahl [Hegenscheidt 2003].

Zur Bestimmung der systembedingten Ausbringungsverluste aufgrund der Verkettung können bestehende Methoden und Berechnungsvorschriften in Abhängigkeit der Verkettungsart beispielsweise nach Lotter/Wiendahl [Lotter/Wiendahl 2006] herangezogen werden.

Wesentlich ist bei allen Formen des einheitlichen Materialflusses, dass die Kapazitäten der einzelnen Arbeitssysteme eng aufeinander abgestimmt sein müssen, um Materialanstauungen und nicht ausgeglichene Auslastungen zu vermeiden [Günther/Tempelmeier 2005].

Vorteile des einheitlichen Materialflusses liegen in der Vorhersagbarkeit und Transparenz des Produktionsablaufs sowie in der Planung und Steuerung des Produktionsablaufs. Zudem werden eine relativ kurze Durchlaufzeit und ein höherer Flussgrad erreicht. Nachteile sind die geringe Flexibili-

tät und die Anfälligkeit auf Störungen je nach Verkettungsprinzip [Wenzl 2001, Domschke et. al. 1997, VDI 3423, Lotter/Wiendahl 2006].

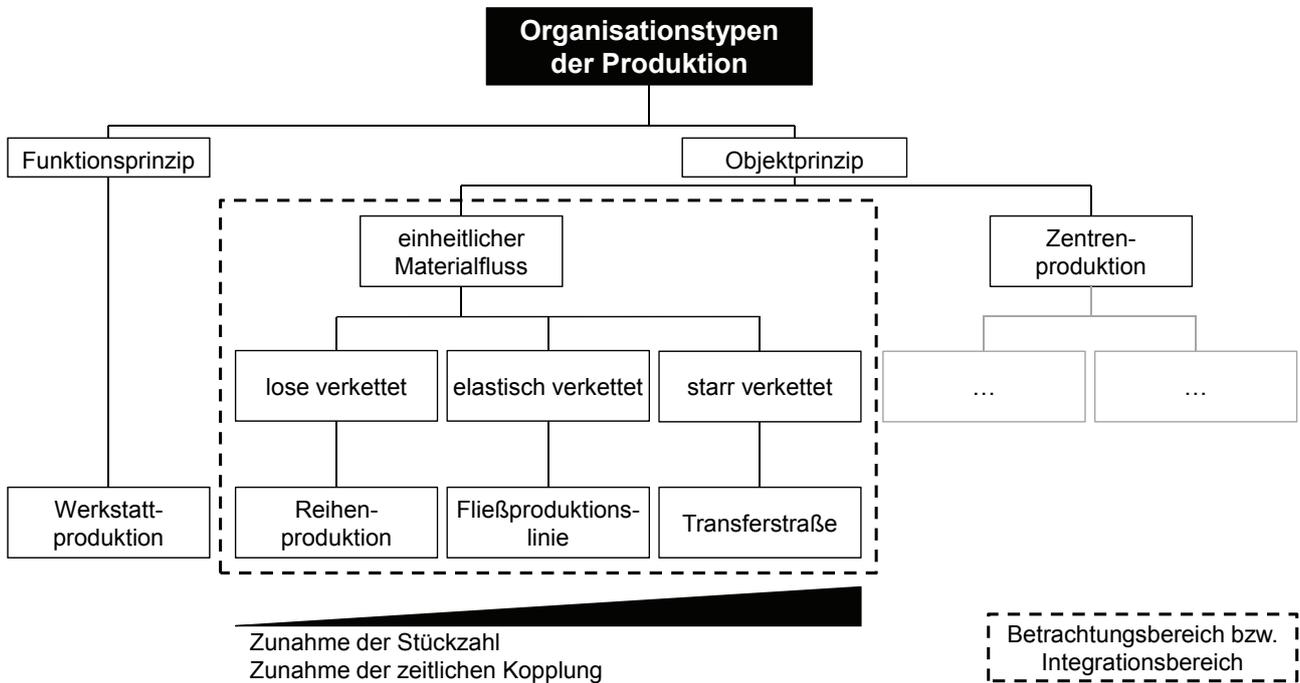


Abbildung 2-11: Organisationstypen der Produktion in Erweiterung zu [Günther/Tempelmeier 2005]

Neben der Unterscheidung hinsichtlich der Organisation kann die Struktur von Produktionsprozessen verschiedenartige Ausprägungen aufweisen. Wesentliche Unterscheidungskriterien stellen die Stufigkeit und die Vergenz dar [Dyckhoff/Spengler 2010].

Die Stufigkeit stellt ein Maß für die Komplexität des Produktionsprozesses dar [Steven 2007]. Unterschieden wird zwischen einstufiger und mehrstufiger Produktion. Innerhalb der einstufigen Produktion wird ein Produkt in einem oder mehreren unmittelbar aufeinander folgenden Arbeitsgängen durch ein Arbeitssystem hergestellt [Domschke et al. 1997]. Bei einer mehrstufigen Produktion durchläuft ein Produkt mehrere Arbeitssysteme mit eventuellen Unterbrechungen oder (Zwischen-) Lagerungen. Die unterschiedlichen Produktionsstufen sind organisatorisch und räumlich voneinander getrennt [Westkämper/Gerth 2004]. Sie stellen letztendlich Werkstätten dar, denen wiederum unterschiedliche Produktionsprinzipien zuzuordnen sind.

Die Vergenz beschreibt den Materialfluss zwischen den Arbeitssystemen. Es wird zwischen durchgängigen, konvergierenden, divergierenden und umgruppierenden Strukturen unterschieden [Dyckhoff/Spengler 2010].

Im Rahmen der Arbeit werden Unternehmen betrachtet, deren Produktionsbereiche nach Technologien (Verrichtungsprinzip, Werkstätten) angeordnet sind. Zwischen den Bereichen liegt ein gerichteter Materialfluss ohne Rückflüsse vor. Zudem werden Unternehmen fokussiert, die nach der Fertigungsart Mehrfachfertigung arbeiten.

Es wird die Integration von Prozessstufen betrachtet. Der Fokus liegt auf klassischerweise organisatorisch und räumlich getrennten Bereichen (z. B. Beschichtung und Wärmebehandlung).

### 2.5.2 Integration von Produktionsprozessen

Im Rahmen der Planung von Produktionssystemen ist die Vermeidung von unnötigen Prozessschritten zwischen verschiedenen Maschinen und Anlagen sowie Produktionsbereichen die vordringlichste Aufgabe einer zukunftsorientierten Produktion. Neben unterschiedlichen Ansätzen zur Optimierung von Prozessketten, die beispielsweise in Müller [Müller 2008] zusammengefasst sind, stellt die Prozess- bzw. Verfahrensintegration ein Mittel zur Steigerung der Produktivität von Produktionssystemen dar.

Grundsätzlich lassen sich verschiedene Arten von Integration differenzieren. Es kann u. a. zwischen einer horizontalen und vertikalen Integration unterschieden werden. Bei der horizontalen Integration werden Funktionen oder Elemente eines Flusssystems, also innerhalb einer Hierarchieebene, zu einem neuen Element verschmolzen. Grundlage für die vertikale Integration sind benachbarte Hierarchieebenen. Es findet eine Verschmelzung verschiedener Flusssysteme (z. B. Überlagerung von Werkstück- und Werkzeugfluss) statt.

Allgemein lässt sich der Integrationsgrad durch das Verhältnis der Anzahl der aus dem peripheren Prozess (z. B. Lager-, Transportprozesse, Qualitätssicherung und Produktionsprozesssteuerung) in den Hauptprozess integrierten Grundfunktionen zur Gesamtanzahl der Funktionen bewerten. Demzufolge beschreibt der Integrationsgrad die Arbeitsteilung zwischen den peripheren Prozessen und den Hauptprozessen. Er berechnet sich nach Schenk/Wirth [Schenk/Wirth 2004] wie folgt:

$$\eta_{INT} = \frac{Z_{EI}}{Z_{EN}} \times 100 \% \quad \text{Formel 2-2}$$

$Z_{EI}$  Zahl der integrierten Elemente (integrierte Grundfunktionen in den Hauptprozess) [-]

$Z_{EN}$  Zahl der normierten Elemente (Gesamtanzahl der Grundfunktionen) [-]

Darüber hinaus kann ein technischer und organisatorischer Integrationsgrad unterschieden werden. Der technische Integrationsgrad berücksichtigt die Zusammenfassung aller möglichen Transport-,

Kontroll-, Handhabungs- und Speichervorgänge in der physischen Produktion. Die organisatorische Integration zielt darauf ab, den technischen Maßnahmen ein Organisationskonzept aufzuerlegen [Dangelmaier 2001].

Integrationsansätze stellen u. a. die Integration von Verfahren und Integration von Prozessstufen dar [Schenk/Wirth 2004]. Diese sind im Folgenden näher erläutert.

### **Integration von Verfahren**

Die Integration von Verfahren stellt die Konzentration mehrerer technologieübergreifender Verfahren in einer Maschine innerhalb eines Produktionsbereiches dar. Hierbei werden sinnvoll kombinierbare Verfahren wie beispielsweise Drehen, Fräsen, Schleifen und Messen sowohl zur Teil- als auch zur Komplettbearbeitung innerhalb einer Maschine integriert [Jalizi et al. 2009, Nyhuis et al. 2008]. Aufgrund der räumlichen Konzentration mehrerer Bearbeitungsverfahren innerhalb eines Systems werden differenzierte Optimierungsgrundlagen geschaffen. Dies resultiert zum einen aus der Teil- bzw. Komplettbearbeitung des Werkstücks und zum anderen aus der Reduzierung der Prozessschritte. So wird beispielsweise aufgrund der verringerten Stationsanzahl die Durchlaufzeit verkürzt. Des Weiteren werden nicht-wertschöpfende Prozessschritte wie Transportprozesse vermieden und die Arbeitssteuerung entlastet. Darüber hinaus können weitere positive Effekte erzielt werden, da beispielsweise aufgrund der Komplettbearbeitung Umspannfehler vermieden und die Fertigungsgenauigkeit erhöht werden kann.

Nachteile verfahrensintegrierter Maschinen gegenüber herkömmlichen Einzweckmaschinen (z. B. Drehmaschine oder Fräsmaschine) sind die meist höheren Investitionssummen und die häufig weniger starke Auslastung einzelner Fertigungsverfahren. Zudem kann nicht für jedes Produkt gewährleistet werden, dass die Bearbeitungsanforderungen des Werkstücks innerhalb einer Bearbeitungsstation realisiert werden können [Nau et al. 2011, Schütt 1991, Jalizi et al. 2009]. In nachfolgender Abbildung werden Ziele und Voraussetzungen der Komplettbearbeitung durch Verfahrensintegration zusammenfassend dargestellt.

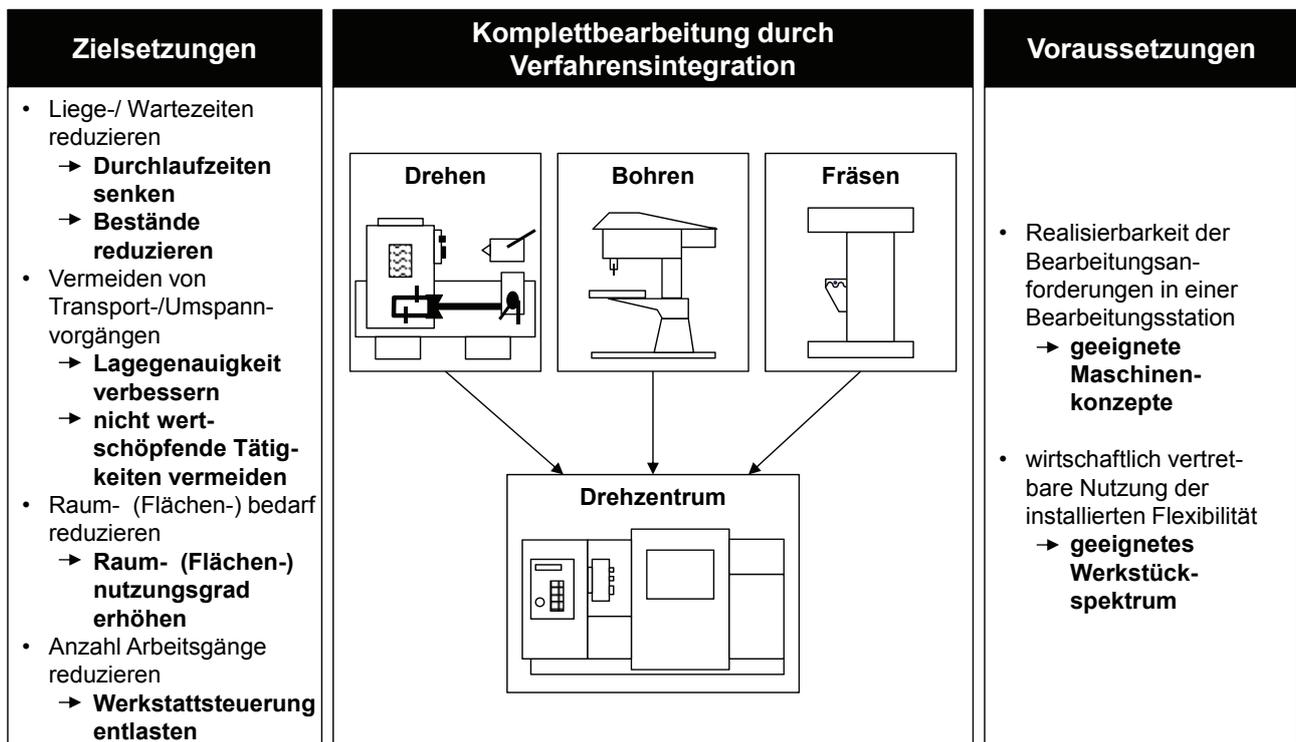


Abbildung 2-12: Ziele und Voraussetzungen der Komplettbearbeitung durch Verfahrenintegration in Erweiterung zu [Schütt 1991]

### Integration von Prozessstufen

Die Integration von Produktionsstufen beinhaltet das Zusammenlegen von einzelnen Produktionssegmenten bzw. -bereichen. In diesem Zusammenhang kann auch von einer bereichsübergreifenden Integration gesprochen werden. Durch die Integration werden die Reibungsverluste zwischen den Bereichen minimiert, die durch die unterbrochene Prozesskette entstehen [Urlberger 2005, Westkämper/Gerth 2004]. Reibungsverluste zwischen verschiedenen Bereichen sind darauf zurückzuführen, dass die Bereiche organisatorisch als auch physisch getrennt sind.

Bei der Integration von Prozessstufen sind ähnliche Vorteile anzuführen wie bei der Integration von Verfahren. Rationalisierungspotenzial im Rahmen der Integration von organisatorisch und räumlich getrennten Prozessen zu linienintegrierten Prozessen kann durch die Reduzierung des Ausrüstungs-, Raum- (Flächen-), Zeitbedarfs usw. im direkt wertschöpfenden Bereich erschlossen werden (siehe Abbildung 2-13).

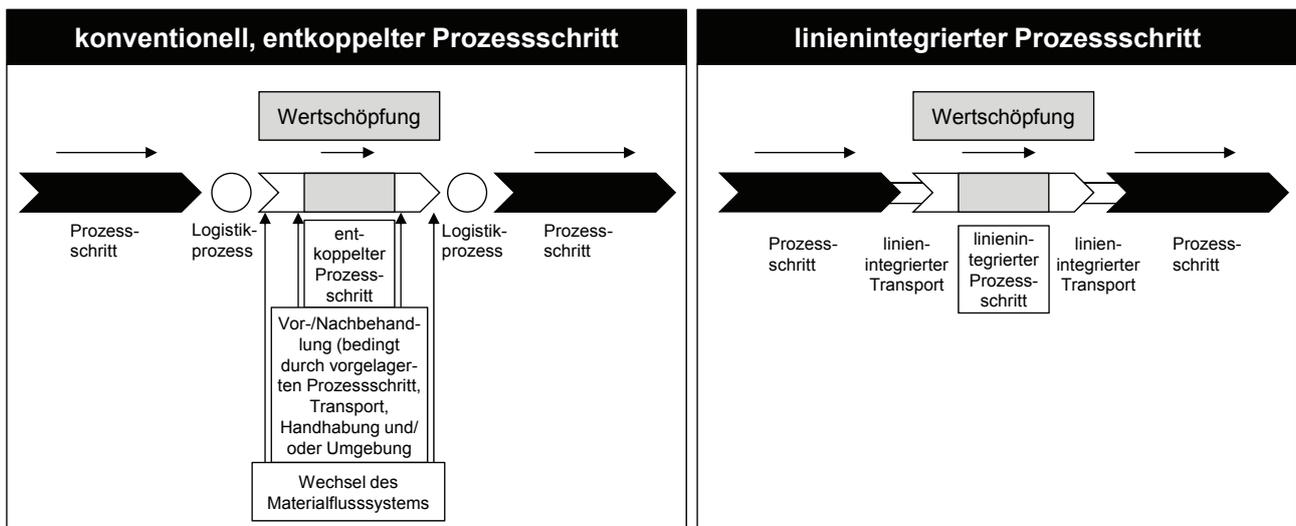


Abbildung 2-13: Vergleich konventionell, entkoppelter zu linienintegriertem Prozessschritt in  
Anlehnung an [Möbius 2003]

Die Integration von Prozessstufen erfordert eine fertigungstechnische Ausrichtung, die u. a. über folgende Eigenschaften charakterisiert werden kann [Bolch/Holeczek 2002, Möbius et al. 2003, Holeczek 2004, Janisch 2007]:

- adaptierte, kompakte Prozesszellen
- verkürzte Prozesszeiten
- one-piece-flow
- kontinuierliche Anlagen
- Integration des Transports innerhalb und außerhalb des Prozesses
- minimierte Prozessschnittstellen

### 2.5.3 Integrationsschnittstellen von Produktionsprozessen

Die Integration von einzelnen Produktionsprozessen ist lediglich möglich, wenn die Schnittstellen kompatibel sind, die den prozessübergreifenden Austausch von Material, Betriebsmittel (Vorrichtungen und Werkzeuge), Energie, Medien sowie Informationen gewährleisten [Westkämper 2006, Schenk/Wirth 2004]. Daher werden im Folgenden die spezifischen Eigenschaften der Integrationschnittstellen von Produktionsprozessen beschrieben, die es im Rahmen der Integration von Verfahren in Produktionslinien zu berücksichtigen gilt.

**Materialfluss**

Unter dem Materialfluss ist die Verkettung aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von Gütern innerhalb festgelegter Bereiche zu verstehen [VDI 2689]. Die dem Materialflusssystem zugeordneten Funktionen Bearbeiten, Prüfen, Lagern und Transportieren bewirken eine zeit- und räumliche Transformation der Güter ebenso wie Änderungen hinsichtlich der Menge und Zusammensetzung [Arnold et al. 2008, Jünemann/Schmidt 2000].

Die weitreichende Definition umfasst sowohl den außer- als auch den innerbetrieblichen Materialfluss. Daher wird der Materialfluss aufgrund der vielfältigen und komplexen strukturellen Beziehungen üblicherweise in fünf Materialflussbereiche (siehe Abbildung 2-14) gegliedert [Kettner et al. 1984].

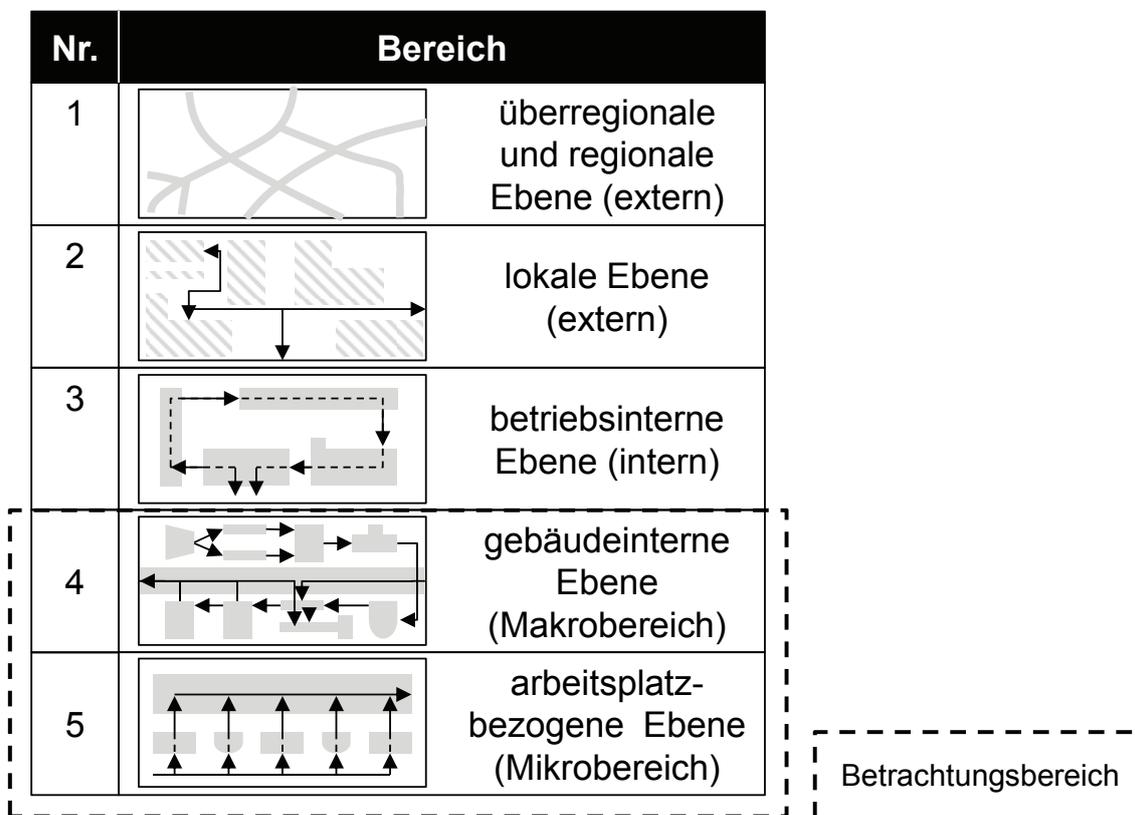


Abbildung 2-14: Betriebsexterne und -interne Bereiche des Materialflusses nach [Kettner et al. 1984]

Bei dem arbeitsplatzbezogenen Materialfluss im Mikrobereich handelt es sich um die Handhabung der Werkstücke im Direktbereich der Arbeitsplätze [Hesse 2010, Kettner et al. 1984]. Grundsätzlich können die Materialflussfunktionen auf Arbeitplatzebene durch den Menschen ausgeführt werden. Im Falle eines Bearbeitungssystems werden diese beispielsweise durch die Bearbeitungseinheit, die Positioniereinheit, die Spannvorrichtung und Bestückungseinheit ausgeführt [Heisel/Wurst 2006].

Der Materialfluss in einem Produktionsbereich (Makrobereich) stellt einen Teil des innerbetrieblichen Transports dar [Hesse 2010, Kettner et al. 1984]. Zur Durchführung des Materialflusses innerhalb sowie zwischen den Produktionsbereichen werden Transportsysteme eingesetzt. Das Transportsystem lässt sich in die Komponenten Transporteinheit (z. B. Kiste, Palette und Werkstückträger) und Transportmittel (z. B. Lifte, Förderbänder und Stapler) untergliedern [Heinrich 2009, Nebl 2007, Gudehus 2005].

Im Rahmen der Arbeit sind insbesondere die Schnittstellen zwischen dem Makro- und Mikrobereich des Materialflusses relevant, um die Kompatibilität der Arbeitssysteme sicherzustellen.

### **Betriebsmittelfluss**

Unter dem Betriebsmittelfluss sind alle Abläufe zur termingerechten Versorgung der Arbeitssysteme mit Werkzeugen und Vorrichtungen zu verstehen. Es kann zwischen der Werkzeugdisposition und der Steuerung des Werkzeug- bzw. Vorrichtungseinsatzes unterschieden werden. Die Werkzeugdisposition führt den Werkzeugbestand im Lager und sorgt im Rahmen der Beschaffungsplanung für eine rechtzeitige Beschaffung von Ersatz- oder Neuwerkzeugen bzw. Vorrichtungen. Die Beschaffung kann intern über den Werkzeug- und Vorrichtungsbau oder über einen externen Lieferanten erfolgen. Die Steuerung des Werkzeug- bzw. Vorrichtungseinsatzes dient zur innerbetrieblichen Versorgung von Vorrichtungen und Werkzeugen und umfasst die Aufgaben Aufbereitung, Lagerung und Bereitstellung [Eversheim 1989]. Zur Bereitstellung der Werkzeuge und Vorrichtungen sind analog zum Materialfluss entsprechende Systeme einzusetzen.

### **Energie- und Medienfluss**

Der Energie- und Medienfluss dient der Ver- und Entsorgung der Produktion mit notwendigen Energien und Medien wie Druckluft, elektrische Energie und Emissionen. Der Energie- und Medienfluss kann durch die Größen Art, Bedarf und Installationsumfänge (Installationsnetze) charakterisiert werden [Grundig 2009, Kettner et al. 1984].

### **Informationsfluss**

Der Informationsfluss hat die Aufgabe, die richtigen Informationen zum richtigen Zeitpunkt an der richtigen Stelle bereitzustellen. Die Bereitstellung kann in Papierform oder auf elektronischem Wege erfolgen. Das Informationssystem ist hierarchisch entsprechend dem organisatorischen Aufbau der Produktion aufgebaut, um den jeweiligen Aufgaben in der entsprechenden Hierarchieebene gerecht zu werden [Wellenreuther/Zastrow 2011, Eversheim 1989].

Im Allgemeinen werden die drei Hierarchieebenen Unternehmensleit-, Betriebsleit- und Steuerungsebene unterschieden [Wellenreuther/Zastrow 2011, VDI 5600]. Darüber hinaus kann eine weitere Detaillierung der Hierarchieebenen vorgenommen werden [Früh et al. 2009, Pritschow 2006]. Um innerhalb und zwischen den Ebenen zu kommunizieren, sind exakt vorgeschriebene Übertragungsregeln unumgänglich. Diesbezüglich sind sowohl die mechanischen (Stecker), die elektrischen (Hardware) wie auch die logischen Anschlussbedingungen zu beachten [Pritschow 2006]. Demnach besteht im Allgemeinen ein Informationssystem zum einen aus einer Hardware- und zum anderen aus einer Softwarekomponente [Pritschow 2006, Wellenreuther/Zastrow 2011].

## 2.6 Kostenrechnung in produzierenden Unternehmen

Im Folgenden werden verschiedene Verfahren der Kostenrechnung dargestellt, die im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung die Bewertung der direkten und indirekten Leistungsbereiche ermöglichen.

### 2.6.1 Struktur und Systeme der Kostenrechnung

Die Methoden und Systeme der Kosten- und Leistungsrechnung ermöglichen es, Produktionsprozesse in ökonomische Größen und entscheidungsrelevante Informationen umzuwandeln. Sie werden von der Unternehmensführung zur Steuerung der Wirtschaftlichkeit verwendet [Ebert 2004]. Die Kosten- und Leistungsrechnung kann hinsichtlich der einzelnen Strukturen und Systeme gegliedert werden (siehe Abbildung 2-15).

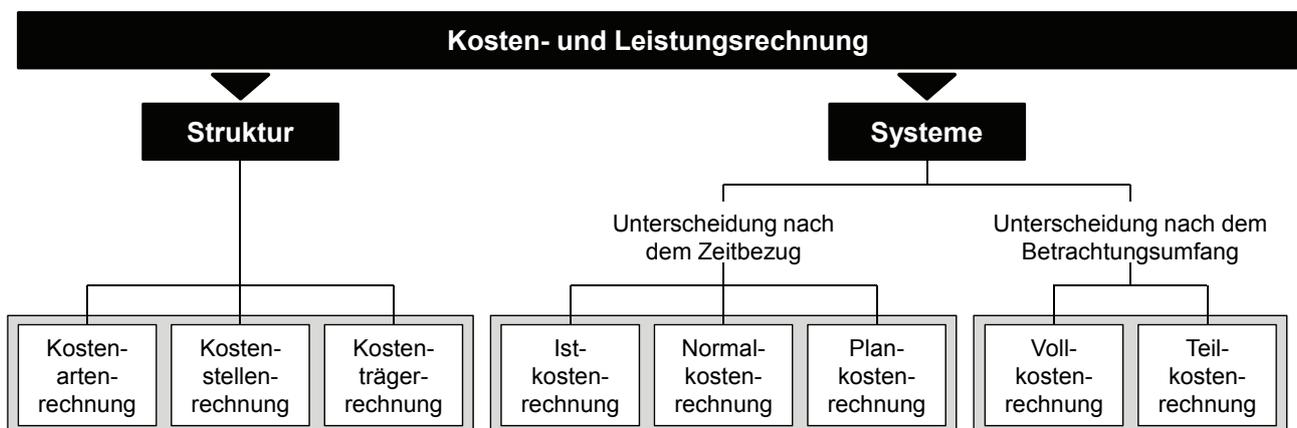


Abbildung 2-15: Struktur und Systeme der Kostenrechnung nach [Warnecke et al. 1996]

### **Kostenarten-, Kostenstellen- und Kostenträgerrechnung**

Die Kostenrechnung ist in die drei Bereiche Kostenarten-, Kostenstellen- und Kostenträgerrechnung zu unterteilen [Coenenberg et al. 2007]. Die Kostenartenrechnung stellt den Ausgangspunkt der Kosten- und Leistungsrechnung dar und hat die Aufgabe, alle im Laufe der Abrechnungsperiode angefallenen Kostenarten zu erfassen und zu gliedern [Haberstock 2002]. Der Bereich der Kostenstellenrechnung stellt das Bindeglied zwischen Kostenarten- und Kostenträgerrechnung dar [Coenenberg et al. 2007]. Die Kostenstellenrechnung ermittelt, an welchen Orten im Unternehmen Gemeinkosten angefallen sind und rechnet diesen den Kostenstellen zu. Voraussetzung ist hierfür eine geeignete Segmentierung des Unternehmens [Joos-Sachse 2006, Coenenberg et al. 2007, Schweizer/Küpper 2008].

Im Rahmen der Kostenträgerrechnung werden die Einzelkosten aus der Kostenartenrechnung und die Gemeinkosten aus der Kostenstellenrechnung zusammengeführt. Ein Kostenträger beschreibt eine Leistung des Unternehmens, die im Zuge der Erzeugung Kosten verursacht hat [Jung 2007]. Es wird zwischen Kostenträgerstückrechnung und -trägerzeitrechnung unterschieden [Wöhe/Döring 2010]. Die Kostenträgerstückrechnung erfasst die Herstell- bzw. Selbstkosten für eine Produkteinheit [Coenenberg et al. 2007]. Das Ziel der Kostenträgerstückrechnung bzw. Kalkulation ist die Ermittlung der Kosten eines Einzelstückes, eines Auftrages oder einer Erzeugnisgruppe [Westkämper 2006]. Im Rahmen der Kostenträgerzeitrechnung werden die in einer Periode angefallenen Kosten und Erlöse erfasst. Meist erfolgt dies auf monatlicher Basis und dient zur laufenden Kontrolle der Wirtschaftlichkeit des Unternehmens [Coenenberg et al. 2007].

### **Ist-Kosten-, Normalkosten- und Plankostenrechnung**

Die Ist-Kosten-, Normalkosten- und Plankostenrechnung werden in der Kosten- und Leistungsrechnung hinsichtlich des Zeitbezugs unterschieden. Die Ist-Kostenrechnung bezieht sich auf angefallene Kosten in der Vergangenheit. Die Normalkostenrechnung umfasst lediglich Durchschnittswerte der Ist-Kosten mehrerer, vergangener und aufeinander folgender Abrechnungsperioden [Stelling 2005, Westkämper 2006]. Die Plankostenrechnung ist zukunftsgerichtet, daher werden die Kosten nicht ausschließlich aus Vergangenheitswerten abgeleitet, sondern aus der betrieblichen Planung [Westkämper 2006].

### **Voll- und Teilkostenrechnung**

Voll- und Teilkostenrechnung unterscheiden sich hinsichtlich des Umfangs der Verrechnung auf einen Kostenträger. Bei der Vollkostenrechnung werden alle Kosten betrachtet, die einem Kostenträger zugeordnet werden können. Demgegenüber berücksichtigt die Teilkostenrechnung nur bestimmte Kostenanteile [Westkämper 2006]. Bei der Teilkostenrechnung werden für die Weiterverrechnung der Kosten diejenigen weggelassen, die für den verfolgten Rechnungszweck nicht relevant sind [Stelling 2005].

### **2.6.2 Kostenkalkulation**

Das Ziel der Kostenkalkulation bzw. Kostenträgerstückrechnung ist die Ermittlung der Kosten eines Einzelstückes, eines Auftrages oder einer Erzeugnisgruppe (vgl. Kapitel 2.6.1). Es existieren zahlreiche Methoden der Kalkulation von Einzelkosten im Rahmen der Kostenträgerrechnung [Westkämper 2006]. Im Wesentlichen sind die Verfahren Divisionskalkulation und Zuschlagskalkulation zu unterscheiden [Ehrlenspiel et al. 2007]. Erläuterungen zu den einzelnen Verfahren sind der einschlägigen Literatur wie [Steger 2010, Ehrlenspiel et al. 2007, Conenberg et al. 2007, Westkämper 2006, Haberstock 2002, Warnecke et al. 1996] zu entnehmen.

### **2.6.3 Activity Based Costing und Prozesskostenrechnung**

Ziel des Activity Based Costings und der Prozesskostenrechnung ist es, die Kostentransparenz in Bereichen wie Entwicklung und Konstruktion, Arbeitsplanung, Produktionsplanung und -steuerung zu erhöhen. Durch deren Anwendung wird versucht, die in den indirekten Bereichen anfallenden Planungs-, Steuerungs-, Überwachungs- und Koordinationsaufgaben kostenträgerbezogen zu erfassen und zuzurechnen. Die Prozesskostenrechnung stellt kein neues Kostenrechnungssystem dar, sondern bedient sich der traditionellen Kostenarten- und Kostenstellenrechnung und ergänzt die Kostenrechnung um eine verursachungsgerechtere Gemeinkostenverteilung [Ehrlenspiel et al. 2007].

Um dieses Ziel zu erreichen wurde in den USA das Activity Based Costing von Cooper und Kaplan [Cooper/Kaplan 1988] entwickelt, das insbesondere administrative und prozessbegleitende Leistungen in den Vordergrund stellt, die von der Produktion benötigt werden. In Deutschland erfolgte die Einführung eines ähnlichen Systems in Form der Prozesskostenrechnung von Horváth und Mayer

[Horváth/Mayer 1989]. In nachfolgender Abbildung werden Einsatzbereiche des Activity Based Costings und der Prozesskostenrechnung unterschieden.

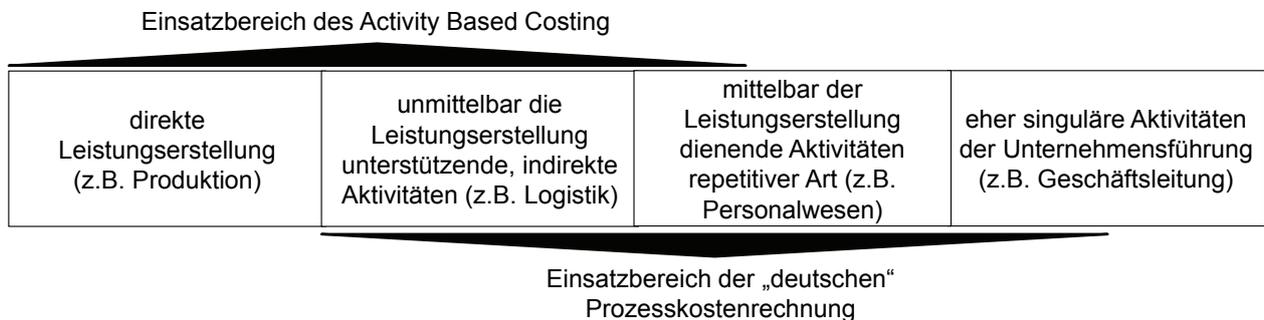


Abbildung 2-16: Einsatzbereiche des Activity Based Costings und der Prozesskostenrechnung nach [Horváth 2006]

Der grundsätzliche Ablauf des Activity Based Costings und der Prozesskostenrechnung kann aus der einschlägigen Literatur wie [Müller 2008, Barth/Barth 2008] entnommen werden. Darüber hinaus existieren weitere Ansätze von verschiedenen Autoren wie funktional differenzierte Kostenkalkulation, Time Driven Activity Based Costing und Transaction Accounting [Ehrlenspiel et al. 2007, Kaplan/Anderson 2007].

## 2.6.4 Investitionsrechnung

Im Kontext der Produktion lassen sich Investitionen in Erweiterungs-, Rationalisierungs- und Ersatzinvestitionen untergliedern. Diese bezeichnen jeweils die Anschaffung von Maschinen und Anlagen zur Erfüllung des Produktionsprozesses, zu dessen wirtschaftlicher Verbesserung, zur Kapazitätserweiterung oder zur Aufrechterhaltung der bestehenden Produktion.

Es existieren verschiedene Verfahren der Investitionsrechnung, die sich hinsichtlich der Randbedingungen, Durchführbarkeit und Genauigkeit unterscheiden [Warnecke et al. 1996a]. Abbildung 2-17 zeigt eine Übersicht gängiger statischer und dynamischer Investitionsrechnungsverfahren. Auf eine nähere Beschreibung der Verfahrensalternativen wird verzichtet. Eine solche kann beispielsweise aus [Warnecke et al. 1996a, Müller 2008] entnommen werden.

<b>statische Investitionsrechnung</b>	<b>dynamische Investitionsrechnung</b>
Kostenvergleichsrechnung	Kapitalwertmethode
Gewinnvergleichsrechnung	Annuitätenmethode
Rentabilitätsrechnung	Interne Zinsfußmethode
statische Amortisationsrechnung	dynamische Amortisationsrechnung

Abbildung 2-17: Verfahren der Investitionsrechnung in Anlehnung an [Warnecke et al. 1996a]

## **2.7 Fazit (Eingrenzung und Beschreibung des Betrachtungsbereichs) und Spezifikation der grundsätzlichen Anforderungen an die Integration nicht-konventioneller Verfahren**

Die Ausführungen in den Unterkapiteln 2.1-2.6 verdeutlichen, dass Wechselwirkungen zwischen und innerhalb den unterschiedlichen Bereichen eines produzierenden Unternehmens bestehen. Daher werden im Folgenden relevante charakteristische Eigenschaften und Zusammenhänge fertigungstechnischer Prozessketten zusammenfassend beschrieben und grundsätzliche Anforderungen spezifiziert, die es im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Fertigungs- und Montagelinien zu berücksichtigen gilt (siehe Abbildung 2-18).

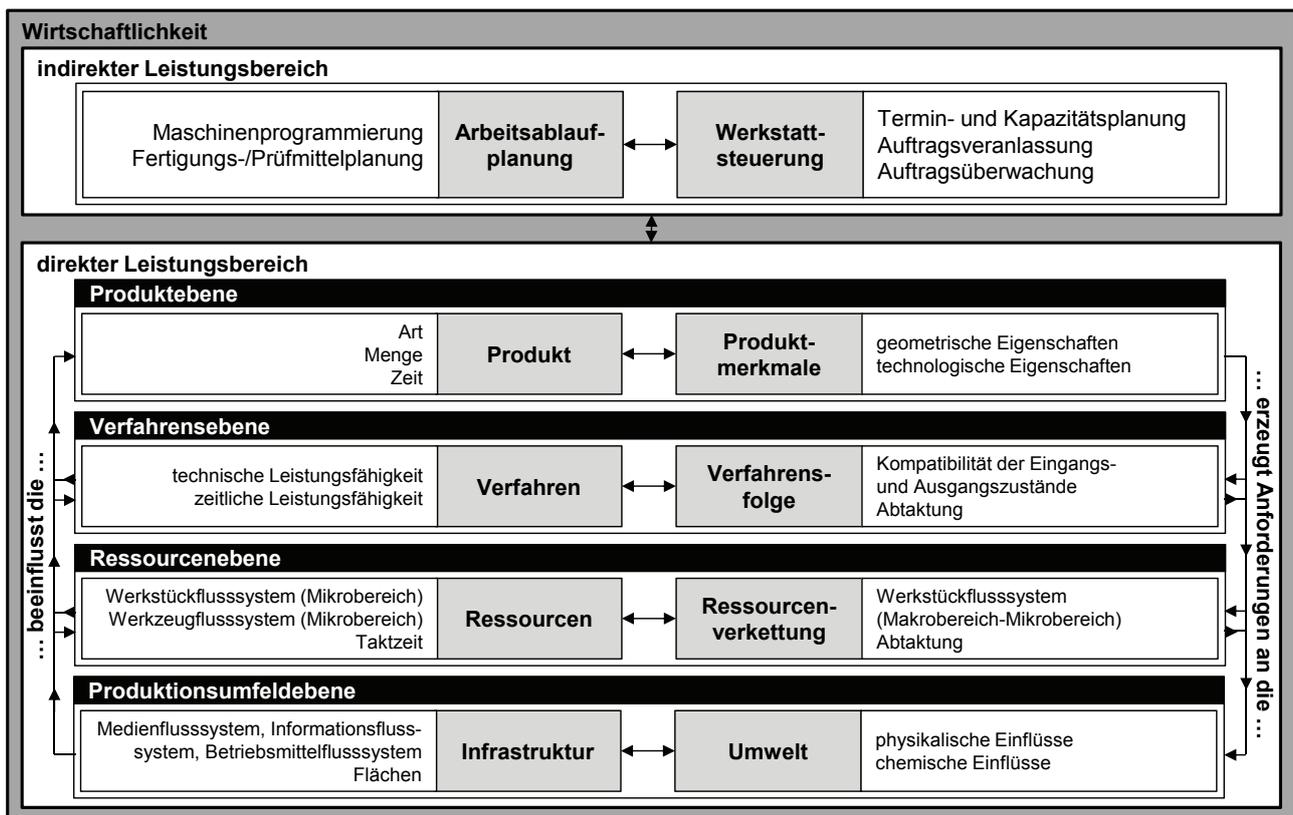


Abbildung 2-18: Relevante charakteristische Eigenschaften und Zusammenhänge fertigungstechnischer Prozessketten im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren

Um eine ganzheitliche Bewertung der Prozesskettenintegration zu ermöglichen, ist es nicht ausreichend lediglich die physische Produktion zu betrachten. Durch eine Integrationsmaßnahme der Prozesskette verändern sich die Strukturen in der physischen Produktion und die benötigten Ressourcen (vgl. Kapitel 2.5.2). Dies kann in den Bereichen Arbeitsablaufplanung und Werkstattsteuerung zu unterschiedlichen Aufwänden im Betrieb führen, beispielsweise aufgrund eines veränderten Automatisierungsgrads oder einer verminderten Anzahl an Produktionskapazitäten. Demzufolge sind zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Integrationsmaßnahme neben den Prozessen der direkten Bereiche auch diejenigen der indirekten Bereiche (Arbeitsablaufplanung und Werkstattsteuerung) zu berücksichtigen, um die Potenziale von integrierten Strukturen ganzheitlich bewerten zu können. In der Arbeitsablaufplanung ist die Maschinenprogrammierung und Fertigungs- und Prüfmittelplanung zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 2.4.2). Im Bereich der Werkstattsteuerung sind die Aufgaben Termin- und Kapazitätsplanung, Auftragsveranlassung und -überwachung relevant (vgl. Kapitel 2.4.3). Die weiteren Tätigkeiten der Arbeitsablaufplanung und Werkstattsteuerung (z. B. Arbeits-

planerstellung und Produktionsprogrammplanung) weisen keinen direkten Auftragsbezug auf und verändern sich nicht bzw. nur in geringem Umfang im Rahmen der Integration von Prozessstufen.

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist eine prozessorientierte Kostenrechnung für die aufgeführten Tätigkeiten bzw. Prozesse anzuwenden. Dies stellt eine verursachungsgerechte Kostenzuordnung sicher (vgl. Kapitel 2.6).

In Bezug auf die frühzeitige Identifikation des Rationalisierungspotenzials durch die Integration von Prozessstufen ist eine Analyse der bestehenden Prozesskettenkonfiguration basierend auf monetären Gesetzmäßigkeiten vorzustellen, welche Aufschluss über das Rationalisierungspotenzial gibt. Analog zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit sind die Tätigkeiten im direkten und indirekten Bereich zur Auftragsdurchsetzung zu berücksichtigen.

Neben dem wirtschaftlichen Betrachtungsumfang sind im Bereich der physischen Produktion technische und zeitliche Integrationskriterien sowie deren Wechselwirkungen einzubeziehen. Die zu betrachtenden Einflussgrößen in der physischen Produktion können anhand der Planungsaspekte, der Arbeitssystemplanung und -ablaufplanung sowie den charakteristischen Eigenschaften der physischen Produktion abgeleitet werden. Demzufolge sind Eigenschaften auf Produkt-, Verfahrens-, Ressourcen- und Produktionsumfeldebene sowie ebenenübergreifende Wechselwirkungen zu beachten. Diese werden nachfolgend näher erläutert.

### **Produktebene**

Die Konfiguration einer Prozesskette hängt maßgeblich von den geforderten Produktmerkmalen ab. Aus den Produktmerkmalen nach Art, Menge und Zeit, ergeben sich Anforderungen an die gesamte Prozesskette (vgl. Kapitel 2.4.1). Die Art der Produkte kann weiter über geometrische und technologische Produktmerkmale beschrieben werden. Diese Eigenschaften sind auf Produktebene zu berücksichtigen.

### **Verfahrensebene**

Die Herstellung von Produktmerkmalen erfordert Verfahren, die definierte Änderung der Bauteilzustände vornehmen. Diese Verfahren können nur in begrenztem Maße aufgrund ihrer technischen und zeitlichen Leistungsfähigkeit den Produkthanforderungen entsprechen und es entstehen produktseitige Verluste, beispielsweise in Form von Lage- und Formabweichungen. Die innerhalb einer Verfahrensfolge erzeugten Bauteilzustände (Bauteilzwischenzustände) stellen Eingangsgrößen für den nachfolgenden Schritt dar. Erfolgt eine Änderung eines Verfahrens, kann sich diese auf vor- und nachgelagerte auswirken. Hieraus ergeben sich Zwangsreihenfolgen, um die Kompatibilität der

Eingangs- und Ausgangszustände sicherzustellen. Darüber hinaus sind in linienorganisierten Strukturen ähnliche Taktzeiten zu realisieren (vgl. Kapitel 2.2, 2.5.1 und 2.5.3).

### **Ressourcenebene**

Zur physischen Ausführung von Verfahren werden Ressourcen (Technik- und Personalressource) benötigt, die im Wesentlichen durch die Produkt- und Verfahrensanforderungen bestimmt werden. Die Ressourcen beeinflussen die Leistungsfähigkeit der Verfahren wie erreichbare Genauigkeiten und Bearbeitungsgeschwindigkeiten. Daher haben die Ressourcen eine Rückwirkung über die Verfahren auf das Produkt. Insbesondere sind hier das Werkstück- und Werkzeugflusssystem auf Mikroebene zu betrachten, da diese zur Handhabung und Bearbeitung über das Verfahren in direkter Wechselbeziehung mit dem Werkstück stehen und gleichzeitig die Taktzeit bestimmen.

Soll ein kontinuierlicher Materialfluss realisiert werden, wie es in einer Produktionslinie der Fall ist, muss die Vernetzbarkeit der Ressourcen in einer Linie sichergestellt sein. Hieraus ergeben sich Anforderungen an die Makro-Mikroübergänge bzw. Mikro-Makroübergänge innerhalb des Materialflusses sowie an die Taktzeiten (Abtaktung) der verketteten Ressourcen (vgl. Kapitel 2.5.1 und 2.5.3). Im Rahmen von Integrationsmaßnahmen ist diese Kompatibilität sicherzustellen.

### **Produktionsumfeldebene**

Des Weiteren existieren zwischen den Ressourcen und dem Produktionsumfeld Wechselwirkungen. Zu berücksichtigen sind zum einen die Kompatibilität der Ressourcen zu der bestehenden Infrastruktur in Form des installierten Informations-, Medienfluss- und Betriebsmittelflusssystem sowie zu den Flächen. Als Beispiel für den Medienfluss können Kühlschmiermittel und Schutzgase zur Prozessdurchführung genannt werden. Zudem sind die Wechselwirkungen aufgrund der Ausbreitung von physikalischen und chemischen Störfaktoren (z. B. Lärm, Gase und Stäube) von Relevanz. Die genannten produktionsumfeldbezogenen Eigenschaften können wiederum die Leistungsfähigkeit von Ressourcen beeinflussen und haben über die Ressourcen und Verfahren eine Rückwirkung auf das herzustellende Produkt (vgl. Kapitel 2.3, 2.4.1 und 2.5.3).

Die Ausführungen zeigen, dass die verschiedenen Gestaltungselemente in der physischen Produktion in unmittelbarer bzw. mittelbarer Wechselwirkung zu dem herzustellenden Produkt stehen. Daher sind die Schnittstellenanforderungen zu detaillieren und systematisieren sowie Wechselwirkungen darzustellen. Durch die genaue Kenntnis kann die Basis für eine systematische Bewertung der Integrationsfähigkeit von Verfahren innerhalb einer Gesamtmethode geschaffen werden.

## **3 Ausgewählte Ansätze zur Gestaltung von Prozessketten**

Auf Basis der grundsätzlichen Integrationsanforderungen (vgl. Kapitel 2.7) werden im Folgenden Ansätze erläutert, die Teilaspekte der spezifizierten Anforderungen berücksichtigen. Es werden Ansätze zur Arbeitsplanung, organisatorische Ansätze zur Integration von Prozessstufen und technische Konzepte zur Integration nicht-konventioneller Verfahren in Produktionslinien beschrieben. Abschließend werden die Ansätze mit Hilfe der in Kapitel 2.7 spezifizierten Anforderungen bewertet und ihre Defizite aufgezeigt.

### **3.1 Ausgewählte Ansätze zur Arbeitsplanung**

#### **Planungsansatz nach Fallböhrer**

Fallböhrer [Fallböhrer 2000] erarbeitet einen Ansatz zur möglichst frühzeitigen Integration der Produktentwicklung und Technologieplanung. Dies geschieht, indem Aufgaben der Produktentwicklung (Auslegung und Gestaltung von Produkten) mit der operativen Technologieplanung kombiniert und verknüpft werden. Hierdurch sollen möglichst frühzeitig Abhängigkeiten zwischen Produkt und Technologie dargestellt und alternative Technologieketten gebildet werden, die bei der Produktherstellung zum Einsatz kommen könnten.

Die Vorgehensweise gliedert sich insgesamt in sechs Teilschritte. Im ersten Schritt werden im Rahmen der Technologievorauswahl die Produkt- und Technologiemerkmale verglichen und darauf folgend die technische Machbarkeit geprüft. Anschließend erfolgt eine Stärken- und Schwächen-Analyse der prinzipiell geeigneten Verfahren und es werden gegebenenfalls Änderungsmaßnahmen abgeleitet. In den nachfolgenden Schritten werden die Verfahrensfolgen unter Berücksichtigung der Bauteilzwischenzustände gebildet. Hierzu werden Eingangs- und Ausgangszustände der Technologien generiert und auf Kompatibilität geprüft. Werden Inkompatibilitäten identifiziert, können Maßnahmen abgeleitet werden.

Zur Unterstützung der Planung bildet Fallböhrer Informationen über Produkt und Technologie in entsprechenden Modellen ab. Diese Modelle beinhalten produktseitig Eigenschaften wie Stückzahl,

Gewicht, Abmessungen, Werkstoff und Formelemente. Zur Beschreibung der Eigenschaften einer Technologie werden Kriterien wie Kapazität, Masserestriktionen, Werkstoffeignung und erzeugbare Formelemente angegeben. Zum Abgleich der produkt- und technologiespezifischen Eigenschaften wird eine Technologiezuordnungsmatrix verwendet.

### Planungsansatz nach Trommer

Der Ansatz von Trommer [Trommer 2001] knüpft logisch an die Arbeit von Fallböhrer an. Trommer stellt nicht nur mögliche Technologieketten in den Mittelpunkt der Betrachtung, sondern betrachtet auch den nächsten Planungsschritt, indem von Fertigungsfolgen gesprochen und dadurch ein Ressourcenbezug hergestellt wird (siehe Abbildung 3-1). Wie auch Fallböhrer versucht Trommer möglichst frühzeitig, nämlich bereits in der Grobgestaltung der Produkte, die Produktentwicklung und Prozesskettengestaltung zu integrieren.

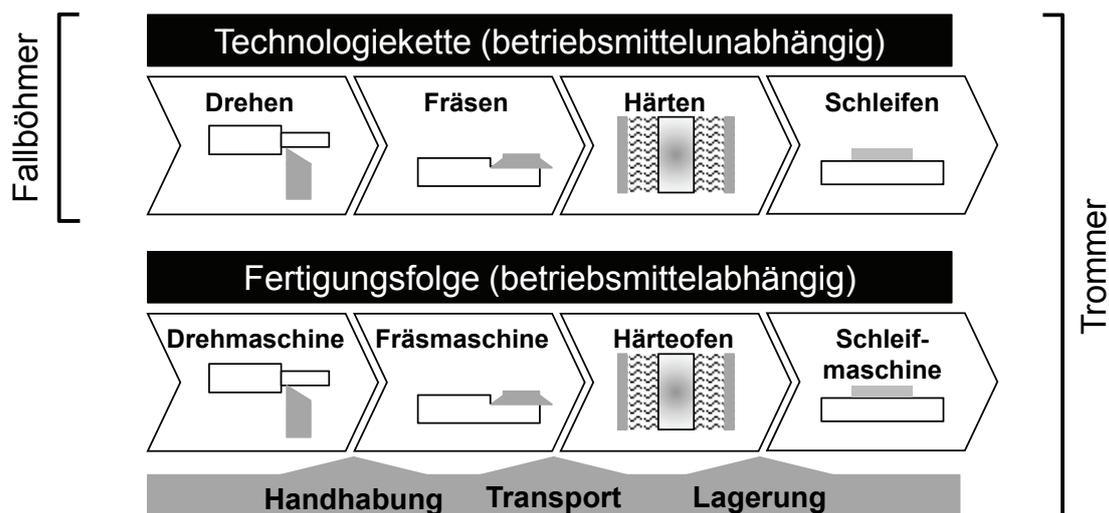


Abbildung 3-1: Betrachtungsumfang der Ansätze nach Fallböhrer und Trommer in Anlehnung an [Trommer 2001]

In der mehrstufigen Methodik werden zunächst produkt- und prozessbeschreibende Daten geordnet und erfasst. Anschließend erfolgt eine Eignungsanalyse der Produktionsmittel durch den Abgleich der Produktmerkmale mit den Fähigkeiten der Produktionsmittel. Dadurch kann bereits zu einem frühen Zeitpunkt eine erste Abschätzung erfolgen, ob die möglichen Prozesse die Anforderungen erfüllen. Der nächste Schritt beinhaltet die Generierung alternativer Fertigungsfolgen. Dabei werden die geeigneten Fertigungsprozesse, unter Berücksichtigung technischer Restriktionen, verknüpft und deren Kombinierbarkeit überprüft. Anschließend werden die ausgewählten Produktionsmittel mittels Handhabungs- und Transportschritten miteinander verbunden. Im letzten Schritt erfolgt die

Bewertung der generierten Fertigungsfolgen anhand technischer und wirtschaftlicher Kriterien. Im Vergleich zu Fallböhmer erfolgt bei Trommer insbesondere eine kritischere Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Fertigungsfolgen.

Zur Unterstützung der Planung greift die Methodik auf die gleichen Produktdaten zurück wie sie zur Bildung der Technologiekette nach Fallböhmer [Fallböhmer 2000] verwendet werden. Darüber hinaus werden Modelle zur Beschreibung der Produktionsmittel bereitgestellt. Diese beinhalten geometrische und technologische Leistungsfähigkeiten der Produktionsmittel (z. B. maximalen Bauteilabmessungen und bearbeitbare Werkstoffe). Des Weiteren sind funktionale Informationen wie maximale Vorschubgeschwindigkeit, durchschnittliche Kühlschmierstoffmenge und wirtschaftlich-organisatorische Informationen wie Kosten, Personalbedarf und vergleichbare Eigenschaften enthalten.

### **Planungsansatz nach Moryson**

Ziel der Arbeit von Moryson [Moryson 2004] ist die Erarbeitung eines Ansatzes zur Auswahl und Bewertung von Herstellprozessen sowie zur Prozesskettenerstellung. Hierzu wird eine dreistufige Vorgehensweise für die rechnergestützte Prozessauswahl und Prozesskettenerstellung erarbeitet.

In der ersten Phase erfolgt eine Erweiterung der Produktstruktur, die dabei um Informationen wie Bearbeitungsumfang und Zugänglichkeit angereichert wird. Anschließend erfolgen in der zweiten Phase die Charakterisierung der Verfahren und ihrer Betriebsmittel. Dies dient als Basis für den Abgleich der produktseitigen Anforderungen mit den Prozess- und Betriebsmitteleigenschaften im Rahmen der Prozessauswahl und der Prozesskettenerstellung. Abschließend erfolgt in der dritten Phase die Bewertung von Prozessen und Prozessketten. Hierzu werden unterschiedliche Bewertungskriterien (z. B. Zugänglichkeit) herangezogen.

### **Planungsansatz nach Tönshoff**

Tönshoff [Tönshoff et al. 2001] stellt eine Vorgehensweise zur Erarbeitung eines Ansatzes zur Positionierung technologischer Schnittstellen durch eine Verfahrensbewertung und -auswahl mit Hilfe von Verfahrenskatalogen dar. Ziel dieses Ansatzes ist es, die konventionelle Prozesskette Umformen, spanende Weichbearbeitung, Vergüten und spanende Hartbearbeitung durch eine verkürzte Prozesskette, bestehend aus Präzisionsumformen mit integrierter Wärmebehandlung und abschließender Hartfeinbearbeitung, zu substituieren.

Kernelement des Ansatzes nach Tönshoff stellt die Erarbeitung eines Verfahrenskatalogs dar, in dem alle prozessrelevanten Parameter aufgeführt sind und verfahrensübergreifende Schnittstellen

berücksichtigt werden sollen. Prozessrelevante Parameter sind Formen und Größen, die sich prinzipiell herstellen lassen und geometrische Werkstückausprägungen, die besondere Schwierigkeiten bei der Bearbeitung bereiten. Zudem sind auch Randzonenbeeinflussungen und die erreichbaren Toleranzen, Oberflächengüten und wirtschaftlichen Kriterien wie Bearbeitungszeiten, Bearbeitungskosten oder Werkzeugstandzeiten zu beachten. Durch diese Modelle wird eine Prozessbewertung und -auswahl von verfügbaren Verfahren ermöglicht. Es erfolgt zunächst eine Grobauswahl mit Hilfe von K.-o.-Kriterien. Basierend auf dieser Grobauswahl ist schließlich eine Verfahrensbewertung nach verschiedenen Gesichtspunkten wie Zeit, Kosten und Emission möglich.

### **Planungsansatz nach Brandes**

Die Ausarbeitung des Ansatzes nach Tönshoff [Tönshoff et al. 2001] erfolgt durch Brandes [Brandes 2008, Denkena et al. 2005]. Er verfolgt das Ziel, ein Vorgehen zur ganzheitlichen, prozessübergreifenden Auslegung fertigungstechnischer Prozessketten am Beispiel der Herstellung von Zahnrädern zu erarbeiten.

Das Planungsvorgehen umfasst die Phasen der Prozessanalyse, Schnittstellenmodellierung, Prozesskettenauslegung und Implementierung. In der ersten Phase werden Informationen über Werkstückcharakteristika, Werkzeugmaschinen und Bearbeitungsprozesse gesammelt und ausgewertet. Zusätzlich findet eine Analyse bezüglich technologischer Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Fertigungsschritten statt. Anschließend erfolgt die Modellierung der Prozesse und Schnittstellen anhand technologischer und wirtschaftlicher Größen. In der Phase der Prozesskettenauslegung wird die Prozesskette unter Berücksichtigung der verschiedenen Zielgrößen optimiert. Abschließend wird das Konzept implementiert und folglich in den betrieblichen Abläufen umgesetzt.

Brandes erarbeitet dynamische Prozessmodelle, die prozessübergreifende Effekte berücksichtigen wie beispielsweise die Wirkung von Masseschwankungen im Rohteil auf nachfolgende Bearbeitungsschritte. Darüber hinaus werden eine Methode und Werkzeuge zur Positionierung und Auslegung technologischer Schnittstellen entwickelt.

### **Planungsansatz nach Schuh & Knoche**

Schuh und Knoche [Schuh/Knoche 2005, Knoche 2005] stellen ein Modell zur generischen Beschreibung von Fertigungstechnologien vor. Dieses basiert auf der Beschreibung von Fertigungstechnologien hinsichtlich der Veränderungen, die diese am Werkstück erzielen können. Im Detail werden der Eingangszustand vor Anwendung der Technologie eines Werkstücks und der Ausgangszustand danach über Eigenschaften wie Geometrie, Werkstoffe, Abmaße und Genauigkeiten

beschrieben. Darüber hinaus können weitere Informationen (z. B. Zeiten und Kosten) zum Transformationsprozess hinterlegt werden. Werkstücke werden analog zur Technologie über Eigenschaften wie Werkstoff, Geometrie, Genauigkeit beschrieben. Durch die Darstellung der Leistungsfähigkeit einzelner Technologien soll je nach Aufgabenstellung die objektiv optimale Fertigungstechnologie ermittelt werden können.

Die Planung der Technologieketten erfolgt vom geforderten Endzustand aus. Durch Prüfen der Kompatibilität des geforderten Endzustands mit den möglichen Ausgangszuständen von Technologien, ergeben sich die einsetzbaren Alternativen für den letzten Bearbeitungsschritt. Jede Technologie erfordert wiederum einen bestimmten Eingangszustand. So werden schrittweise immer weiterführende Technologieketten erstellt. Abgebrochen wird diese Vorgehensweise, sobald ein zulässiger Rohteilzustand erreicht oder eine Technologiekette aus anderen Gründen nicht sinnvoll ist. Im Rahmen der Technologiekettenbildung wird auch explizit darauf hingewiesen, dass nicht nur zwischen benachbarten Technologien, sondern über mehrere Stufen hinweg Abhängigkeiten auftreten können.

### **Planungsansatz nach Behrendt**

Behrendt [Behrendt 2009] entwickelt ein Modell zur Fertigungssystemplanung in der spanenden Fertigung. Ziel dieses Modells ist es, den Fertigungsplaner insbesondere bei der Auswahl des richtigen Maschinenkonzepts zu unterstützen. Der Fokus liegt auf Maschinen für die Herstellung von kubischen Bauteilen mit den Verfahren Bohren und Fräsen.

Das Modell von Behrendt enthält im Wesentlichen drei Phasen. In der ersten Phase wird ausgehend von einem zu fertigenden Werkstück und dessen technischen Elementen ein technischer Lösungsraum des Fertigungsprozesses entwickelt. Dieser Lösungsraum enthält mögliche Verfahrensvarianten, die zur Herstellung eingesetzt werden können. In der zweiten Phase wird ein Lösungsraum der Maschinen- und Automatisierungskonzepte entwickelt. In diesem Lösungsraum werden Konfigurationen der Maschinen und Automatisierungseinrichtungen erstellt, die u. a. Einrichtungen zum Werkstücktransport und -wechsel beinhalten. In der dritten Phase wird das Fertigungssystem gemäß dem Produktlebenszyklus kapazitiv dimensioniert. Dabei werden die Haupt- und Nebenzeiten sowie Verluste durch die Verkettung von Maschinen der Konzepte berechnet und bewertet. Abschließend erfolgt die Gesamtbewertung des Systems.

Zur Unterstützung der Planung bedient sich Behrendt der morphologischen Analyse. Darüber hinaus werden dem Planer verschiedene mathematische Modelle zur Verfügung gestellt, die eine Ab-

schätzung der Haupt- und Nebenzeiten für die verschiedenen Konzeptvarianten zulassen. Zudem wird ein Modell zur monetären Bewertung des Systems dargestellt.

### **Planungsansatz nach Müller**

Müller [Müller 2008] erarbeitet eine Vorgehensweise zur frühzeitigen Generierung und Identifikation von optimalen Produktionsverfahrensketten. Im Fokus seiner Arbeit liegt die Integration der Produktentwicklungsprozesse Konzipieren, Entwerfen, Ausarbeiten mit den ersten drei Phasen der REFA Planungssystematik „Analyse der Ausgangssituation“, „Konkretisierung der Planungsaufgaben“ und „Grobplanung des Produktionssystems“ [REFA 1990]. Die Phase der „Feinplanung des Produktionssystems“, die die Planung der Betriebsmittel, Werkzeuge und Vorrichtungen beinhaltet, wird nicht berücksichtigt.

Zur Unterstützung seiner Vorgehensweise erarbeitet Müller Modelle zur Abbildung von Informationen über Produktionsverfahren und zur Berücksichtigung von Interdependenzen zwischen Produktelementen und Produktionsverfahren sowie zwischen den Produktionsverfahren selbst. Darüber hinaus definiert er Modelle zur qualitativen und monetären Bewertung alternativer Verfahrensketten. Diese Modelle bilden letztendlich die Grundlage der Gesamtmethodik und stellen die Bewertung und Auswahl der technologisch am besten geeigneten und wirtschaftlich sinnvollsten Lösung sicher.

### **Planungsansatz nach Kohler**

Kohler [Kohler 2007] erarbeitet eine Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme. Mit dieser Methodik soll dem Planer ein geeignetes Werkzeug zur Verfügung gestellt werden, um kurzfristig alternative Produktionskonzepte zu gestalten und abgesicherte Aussagen über die technischen und wirtschaftlichen Aspekte zu treffen.

Zur Umsetzung der Methodik definiert Kohler unterschiedliche Planungs- und Bewertungsmodule und fügt diese zu einer Gesamtvorgehensweise zusammen. Einen Schwerpunkt bildet die wirtschaftliche Bewertung von produktionstechnischen Systemen. In der Arbeit werden eine Vielzahl an mathematischen Modellen zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit vorgestellt.

## **3.2 Ausgewählte organisatorische Ansätze zur Integration von Prozessstufen**

### **Integrationsansatz nach Röhrig**

Einen organisatorischen Ansatz zur Integration von klassischerweise bereichsgetrenten Verfahren liefert Röhrig [Röhrig 2002]. Sein Ansatz sieht eine Variantenbeherrschung mit hochflexiblen Produktionsendstufen durch eine Aufhebung der konventionellen Trennung in Fertigung und Montage vor. Die Variantenbildung findet am Ende der Fertigungskette statt und erfordert somit eine Unterteilung in eine variantenneutrale Produktionsvorstufe und eine variantenbildende Produktionsendstufe. Dies erreicht er durch die Integration der variantenbildenden Fertigungsprozesse in die Montage. Zur Realisierung des Ansatzes analysiert Röhrig Kriterien der Produkt-, Produktionsstruktur-, Produktionsprozess- und Produktionslogistikgestaltung. Er entwickelt Kriterien und Methoden zur Identifikation und Bewertung der variantenbestimmenden Produktmerkmale und der zur Erzeugung notwendigen Fertigungsprozesse. Zudem stellt er dar, dass die Umsetzung dieses generischen Ansatzes in hohem Maße von den spezifischen Prozessen, deren Technologie und der zur Umsetzung und Anwendung notwendigen Ressourcen abhängt.

### **Integrationsansatz nach Nyhuis und Zoleko**

Einen weiteren organisatorischen Ansatz zeigt Nyhuis und Zoleko [Nyhuis/Zoleko 2007]. In den Ausführungen wird die Umsetzung des Integrationsansatzes nach Röhrig [Röhrig 2002] am Beispiel eines durchgeführten Industrieprojekts und deren Erfahrungen dargestellt. Über den grundsätzlichen Planungsansatz hinaus werden als besonders erfolgsrelevant die folgenden Faktoren angeführt: die systematische Erfassung von Restriktionen, die Materialflussanalyse sowie die Einbindung der Mitarbeiter in den Planungsprozess.

### **Integrationsansatz nach Lotter**

Lotter [Lotter/Wiendahl 2006] beschreibt allgemein unterschiedliche Ansätze zur Integration der Teilefertigung in die Montage. Neben dem Ansatz der Produktionsendstufe nach Röhrig [Röhrig 2002] stellt er zwei weitere Ansätze vor. Zum einen eine integrierte Teileherstellung in Montageanlagen und zum anderen Verbundproduktionssysteme. Im Rahmen der integrierten Teileherstellung in Montageanlagen werden einfache Betriebsmittel an Montageanlagen taktsynchron angekoppelt. Bei Verbundproduktionssystemen wird entweder als Grundaufbau eine Fertigungseinrichtung eingesetzt und die Montageprozesse werden in diese Fertigungseinrichtung integriert oder es erfolgt

umgekehrt. Lotter veranschaulicht die drei vorgestellten Integrationsansätze mit Praxisbeispielen und geht auf spezifische Anforderungen ein.

### **3.3 Ausgewählte technische Konzepte zur Integration nicht-konventioneller Verfahren in Produktionslinien**

Im Folgenden wird auf ausgewählte technische Konzepte zur Integration nicht-konventioneller Verfahren in Produktionslinien und im Wesentlichen auf erfolgskritische Integrationskriterien eingegangen.

#### **Integrationsansatz nach Wüning**

Bereits 1990 stellte Wüning [Wüning 1990] die Integration eines Wärmebehandlungsprozesses in einer Fertigungslinie vor. Als wesentliches Integrationskriterium führt er die Taktzeit (Behandlungsdauer pro Teil) an. Sofern diese Voraussetzung nicht gegeben ist, muss der Prozess entkoppelt werden. Zur Integration wird ein zu dieser Zeit neuartiger Ofen genutzt, der insbesondere die Taktzeitforderung erfüllt und die Integration von Härteverfahren in eine Fertigungslinie ermöglicht, die konventionell in Chargen innerhalb der Zentralthärtereie behandelt werden.

#### **Integrationsansatz nach Löser**

Auch Löser [Löser 2007] beschreibt eine fertigungsintegrierte Wärmebehandlungsanlage. Als Kriterien für die Durchführbarkeit geht Löser in seinen Ausführungen auf die Modularität der Anlage und damit deren Anpassungsfähigkeit ein. Dadurch kann die Verfügbarkeit und der Nutzungsgrad erheblich erhöht werden, da sich Störungen nicht zwangsläufig auf die gesamte Anlage auswirken. Ein ebenfalls wichtiger Aspekt ist die Ausführung als Kaltwandofen. Dadurch wird die Wärmestrahlung in die Umgebung verhindert und ein Betreiben der Anlage in der Umgebung anderer Maschinen und dazugehöriger Arbeitsplätze möglich.

#### **Integrationsansatz nach Möbius**

Möbius [Möbius et al. 2003] schildert verschiedene Beispiele von Galvanikanlagen, die in eine Produktionslinie integrierbar sind. Die Integrationsfähigkeit wird nach Möbius im Wesentlichen durch drei elementare Eigenschaften der Anlagen beeinflusst. Zum einen sind es modulare Anlagen, die charakterisiert sind durch eine angepasste Zellengeometrie, einem Baukastensystem aus Standardkomponenten und bauteilspezifischen Komponenten, sowie flexibel sind. Zum anderen erachtet

er einen optimal kontrollierbaren Prozess mit hoher Geschwindigkeit, hoher Verfügbarkeit, guter Reproduzierbarkeit, guter Selektivität und Maßgenauigkeit als wesentlich für die Integration. Des Weiteren ist eine emissionsarme Produktion notwendig, die beispielsweise über gekapselte Prozesse erreicht wird, die in eine beliebige Produktionsumgebung integriert werden können. Insgesamt hängt nach Möbius die erfolgreiche Integration von Galvanoprozessen von der ganzheitlichen Betrachtung der Prozessketten ab. Demnach ist eine interdisziplinäre Herangehensweise unverzichtbar, um die verschiedenen Arten von Schnittstellen zu betrachten.

### **Integrationsansatz nach Metzner**

Ähnlich wie Möbius [Möbius et al. 2003] stellt Metzner [Metzner 2007, Metzner 2006] einen Ansatz zur Integration eines galvanischen Beschichtungsprozesses in eine Produktionslinie dar. Wesentlich für die Integration ist auch für Metzner die Taktzeit. Der Beschichtungsprozess kann nur in die Linie integriert werden, wenn die Taktzeit für den Beschichtungsvorgang mit den Taktzeiten der anderen Prozesse in der Linie kompatibel sind. Andernfalls muss der galvanische Prozess entkoppelt werden. Zudem weist er insbesondere auf die Schnittstellen zwischen den vorgelagerten und nachgelagerten Prozessen hin, da die einzelnen Prozesswelten (Wechsel von mechanisch zu chemischen Verfahren) verschiedene Empfindlichkeiten (z. B. Verzunderungen und Stäube) haben. Außerdem werden die Abmessungen der Maschinen und Emissionsfreiheit sowie die physikalischen und chemischen Verfahrensparameter als Integrationskriterien genannt.

Nach Metzner ist der technologische Aspekt für die Integration elementar. Letztere ist nur mit innovativen und angepassten Sonderanlagen möglich, die den veränderten Rahmenbedingungen gerecht werden.

### **Integrationsansatz nach Mollath**

Einen weiteren Ansatz zur Integration der Oberflächentechnik in die Fertigung liefert Mollath [Mollath 1994, Mollath 1999, Weber et al. 2000]. Er fordert kompakte, mobile Anlagen, die keine umfangreiche bauliche Voraussetzung wie Flüssigbecken, Belüftungseinrichtungen und Fundamente erfordern. Weiter muss die Anlage den aktuellen Umweltschutz und Arbeitssicherheitsrichtlinien entsprechen. Voraussetzungen sind hierfür ein abwasser- und emissionsfreier Betrieb sowie eine gekapselte Bauform. Zudem muss die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit gegeben sein. Hierbei sind sämtliche Potenziale zu berücksichtigen, die zu Einsparungen führen. Darüber hinaus stellt er die Relevanz der ökologischen Wirkungen in der Nutzungs- und Entsorgungsphase dar. Als sogenannte Integrationsmethoden nennt er die Veränderung der Bearbeitungsreihenfolge sowie den Einsatz von

kühl- und schmiermittelfreies Spanen und Kaltumformen. Dadurch kann eine Beschichtung ohne Vorreinigung durchgeführt werden und im beschichteten Zustand umgeformt werden. Zudem schlägt er für die Planung des Baus von Beschichtungsreaktoren sowie der Versorgungseinheiten die Verwendung eines morphologischen Kastens vor. Mollath sieht darin den Vorteil, dass auch ungewöhnliche Lösungen betrachtet werden können und die zweckdienlichste Lösung unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen ermittelt wird.

### **Integrationsansatz nach Janisch**

Janisch [Janisch 2007] erarbeitet aufbauend auf dem Ansatz von Mollath [Mollath 1994, Mollath 1999, Weber et al. 2000] eine Vorgehensweise zur Bewertung der Integrationsfähigkeit von Hochgeschwindigkeitsverzinkungsprozessen geometrisch komplexer Bauteile in Produktionslinien. Ziel ist es, eine Kostenreduktion durch die Integration zu bewirken. Im Wesentlichen soll diese durch die Beschleunigung der einzelnen Schritte der Oberflächenbehandlung erreicht werden, um deren Prozesszeiten dem Fertigungstakt der mechanischen Fertigung anzugleichen.

Im Rahmen der Arbeit wird ein Entscheidungsprozess vorgestellt, der ausgehend von einem Anforderungsprofil (z. B. geforderte Schichtdicke, maximal zulässigen Stückpreis und geforderte Taktzeit) unter Berücksichtigung verschiedenartiger Einflussgrößen die Auswahl des Beschichtungsverfahrens unterstützt. Wesentliche Elemente des Entscheidungsprozesses sind die Elektrolytcharakterisierung und die numerische Simulation der Potenzialfelder sowie der Strömungsbedingungen. Der Ansatz stellt folglich ein systematisches Vorgehen zur Verfahrensauswahl dar.

## **3.4 Fazit (Defizite) der vorgestellten Ansätze**

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 2.7 dargestellten Anforderungen an die Integration nichtkonventioneller Verfahren in Produktionslinien decken die beschriebenen Ansätze lediglich Teilaspekte ab. Kein Ansatz liefert eine ganzheitliche Sichtweise in Bezug auf den festgelegten technischen, zeitlichen und wirtschaftlichen Betrachtungsumfang.

Die Ansätze zur Arbeitsplanung weisen eine verstärkte Betrachtung der Produkt- und Verfahrensmerkmale auf. Daher werden zumeist die Wechselwirkungen zwischen Produkt und Verfahren sowie der Verfahren innerhalb der Verfahrensfolge betrachtet. Zur Berücksichtigung der Produkt- und Verfahrensmerkmale sowie deren Wechselwirkungen werden mit Hilfe von Modellen Merkmale spezifiziert, die einen Abgleich ermöglichen. Dies ist beispielsweise bei Fallböhrer [Fallböhrer

2000] der Fall, der hierzu einen grundlegenden Ansatz liefert und gleichzeitig die Basis nachfolgender Ansätze bildet.

Des Weiteren werden in den Ansätzen zur Arbeitsplanung oftmals Fertigungsalternativen berücksichtigt und eine iterative Planungskonkretisierung angestrebt. Zudem fließen in unterschiedlichem Detaillierungsgrad monetäre Aspekte zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Prozessketten ein. Insbesondere sind hier die Ansätze nach Müller [Müller 2008] und Kohler [Kohler 2007] anzuführen.

Ressourcenspezifische Eigenschaften, Infrastruktur und Umwelt bleiben in den Ansätzen zur Arbeitsplanung nahezu ohne Betrachtung. Im Hinblick auf den Nachweis der Integrationsfähigkeit von Verfahren stellt dies jedoch ein entscheidendes Defizit dar. Eine durchgängige Bewertung ist dadurch nur begrenzt möglich. Zudem bieten die Ansätze zur Arbeitsplanung keine Möglichkeit, rationelle, integrierte Lösungen aufzuzeigen. Es fehlt an geeigneten Hilfsmitteln.

Die integrationsbezogenen Ansätze – insbesondere die technischen Konzepte – weisen im Gegensatz zu den Ansätzen zur Arbeitsplanung neben anderen Kriterien eine verstärkte Berücksichtigung der ressourcenspezifischen Eigenschaften, Infrastruktur und Umwelt auf. Diese werden als entscheidende Kriterien angeführt, um eine Integration von Verfahren problemlos durchzuführen. Darüber hinaus wird als wesentlicher Erfolgsfaktor die Taktzeit genannt.

Die integrationsbezogenen Ansätze liefern daher integrationsrelevante Schnittstellenkriterien an den Gestaltungselemente der Prozesskette. Allerdings werden die Kriterien nicht spezifiziert und systematisiert. Dies verhindert die Bewertbarkeit der Integrationsfähigkeit von möglichen Verfahren, da Wechselwirkungen zwischen den Gestaltungselementen nur begrenzt berücksichtigt werden können. Zudem mangelt es an der Darstellung einer systematischen Vorgehensweise zur Integration. Bei den organisatorisch geprägten Ansätzen nach Röhrig [Röhrig 2002] und Nyhuis/Zoleko [Nyhuis/Zoleko 2007] wird eine Vorgehensweise vorgeschlagen. Diese konzentriert sich allerdings auf Verfahren und Ressourcen, die grundsätzlich Ähnlichkeiten wie Bearbeitungs- und Rüstzeiten sowie räumliche Dimensionen der Maschinen zum Integrationsbereich aufweisen. Die Produkt- und Verfahrensebene wird nur rudimentär betrachtet. Bei den technischen Konzepten stellt ausschließlich Janisch [Janisch 2007] eine Vorgehensweise zur Prozessauswahl dar, die allerdings nicht den gesamten Betrachtungsumfang mit einschließt. Zudem werden lediglich die Vorteile von Integrationsmaßnahmen dargestellt. Rationelle, integrierte Lösungen werden dem Planer nicht systematisch aufgezeigt. Zusammenfassend fehlt es den integrationsbezogenen Ansätzen an einer Systematisie-

rung der Integrationskriterien, an der Darstellung einer durchgängigen Methode sowie an geeigneten Hilfsmitteln und Hinweisen zur Unterstützung der Planung in den spezifischen Planungsphasen.

	Ansätze zur Arbeitsplanung										Organisatorische Ansätze zur Integration von Prozessstufen			Technische Konzepte zur Integration nicht-konventioneller Verfahren in Produktionslinien					
	Falbhöher	Trommer	Moryson	Tönshoff	Brandes	Schuh/Knoche	Behrendt	Müller	Kohler	Röhrig	Nyhuis/Zoleko	Lotter	Wünning	Löser	Möbius	Metzner	Mollath	Janisch	
<input checked="" type="radio"/> betrachtet <input type="radio"/> teilweise betrachtet <input type="radio"/> nicht betrachtet																			
<b>technischer Betrachtungsumfang</b>																			
<b>Verfahren - Verfahrensfolge</b>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>						
Kompatibilität Produktein- und Produktausgangszustand	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>						
<b>Ressource - Ressourcenverwertung</b>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						
Werkstückflusssystem (Makroebene-Mikroebene)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						
<b>Infrastruktur - Ressource</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>											
Medien-, Informations-, Betriebsmittelflusssystem, Flächen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>											
<b>Umwelt - Ressource</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>											
physikalische und chemische Einflüsse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>											
<b>zeitlicher Betrachtungsumfang</b>																			
<b>Verfahren - Verfahrensfolge</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>											
Taktzeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>											
<b>Ressource - Ressourcenverwertung</b>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>						
Taktzeit	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>						
<b>wirtschaftlicher Betrachtungsumfang</b>																			
<b>direkte Kosten</b>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>							
Bearbeitungs-, Transport- und Lagerkosten	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>							
<b>indirekte Kosten</b>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>							
Arbeitsablaufplanung, Werkstattsteuerung	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>							
<b>allgemeine Eigenschaften</b>																			
<b>systemische Vorgehensweise</b>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>											
<b>iterative Planungskonkretisierung</b>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
<b>Fertigungsalternativen</b>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>Aufzeigen rationeller, integrierter Lösungen</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>											

Abbildung 3-2: Bewertung der vorgestellten Ansätze

Die Ergebnisse der analysierten Ansätze hinsichtlich des festgelegten technischen, zeitlichen und wirtschaftlichen Betrachtungsumfangs sowie der allgemeinen Eigenschaften veranschaulicht Abbildung 3-2. Die Auswertung stellt die derzeitigen Defizite bezüglich der Integration nicht-konventioneller Verfahren dar. Zusammenfassend fehlt eine Methode, die den spezifizierten Anforderungen an die Integration nicht-konventioneller Verfahren in Produktionslinien nachkommt und allgemeine Eigenschaften, wie eine systematische Vorgehensweise und iterative Planungskonkretisierung aufweist. Insbesondere ist die Berücksichtigung von integrationsrelevanten, ressourcenbezogenen Eigenschaften nicht ausreichend. Grundsätzlich mangelt es an einer Methode zum systematischen Aufzeigen rationeller, integrierter Lösungen.

## **4 Modellierung der Integrationskriterien**

Auf Basis der beschriebenen Erkenntnisse sollen im Folgenden die Integrationskriterien im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Fertigungs- und Montagelinien in Modellen abgebildet werden. Die Modelle sollen die Basis zur Erarbeitung der Methode bilden. Der Aufbau der Modelle gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil erfolgt die Modellbildung der technischen und zeitlichen Schnittstellenanforderungen an den Gestaltungselementen Produkt, Verfahren und Ressource. Der zweite Teil umfasst die Modellierung der Kostentreiber (Kostenmodell) mehrstufiger Prozessketten zur ganzheitlichen wirtschaftlichen Bewertung der Integrationsmaßnahme.

### **4.1 Produkt-, Verfahrens- und Ressourcenmodell**

Nachfolgend werden die Modelle zur Abbildung der Schnittstellenanforderungen mit dem Anspruch definiert, relevante Integrationskriterien abzubilden. Entsprechend der Vorgehensweise in der Arbeitsplanung werden für die Gestaltungselemente einer Prozesskette Modelle zur Charakterisierung von Produkt, Verfahren und Ressource aufgebaut. Die Modelle sollen technische und zeitliche Integrationskriterien umfassen. Die wirtschaftlichen Integrationskriterien sollen im Kostenmodell berücksichtigt werden.

#### **4.1.1 Produktmodell**

Ausgangspunkt der Planung von Prozessketten ist die Betrachtung des zu erzeugenden Produkts. Die Produktbeschreibung bildet folglich die Basis für die Integrationsplanung und muss daher in einer systematischen Struktur erfolgen.

Für das Produktmodell wird auf typischerweise verwendete Produktmerkmale in bestehenden Ansätzen (vgl. [Fallböhrer 2000, Schuh/Knoche 2005]) zurückgegriffen, die zum späteren Vergleich mit den Leistungseigenschaften der Verfahren relevant sind. Wesentliche Produkteigenschaften sind demnach: Geometrieabmessung, Formelemente, Stückzahlen, Oberflächeneigenschaften, Toleran-

zen, Formelemente, Werkstoff, Werkstoffeigenschaften und Bauteilgewicht. Bei den aufgelisteten Eigenschaften ist zu beachten, dass es sich oft um Oberbegriffe handelt. So können beispielsweise die Toleranzen weiter in Maß-, Form-, Winkel-, Rauigkeits- und Lagetoleranzen unterteilt werden. Die genannten Produktmerkmale werden im Produktmodell in geometrische Eigenschaften wie Grundform, Gesamtabmessungen, Formelemente und technologische Eigenschaften wie Werkstoff, Werkstoffeigenschaften, Gewicht gegliedert und dienen dem späteren Nachweis der technischen Machbarkeit, um die Qualitätsanforderungen sicherzustellen. Zur Klärung der zeitlichen Machbarkeit möglicher Verfahren werden die organisatorischen Produkteigenschaften eingeführt. Als solche werden im Modell der Kundenbedarf, die Betriebszeit und die durchschnittliche Losgröße aufgenommen. Der Kundenbedarf und die Betriebszeit haben einen entscheidenden Einfluss auf die Verfahrensauswahl, da sie eine zeitliche Leistungsanforderung an die Verfahren stellen. Die durchschnittliche Losgröße stellt Anforderungen an das Verfahren hinsichtlich der Rüstfähigkeit.

Darüber hinaus wird im Produktmodell zwischen primären und sekundären Eigenschaften unterschieden. Unter primären Eigenschaften sind die bereits genannten geometrischen und technologischen Merkmale zu verstehen. Die organisatorischen Eigenschaften stellen eine separate Kategorie dar. Sekundäre Eigenschaften entstehen innerhalb der Prozesskette durch die eingesetzten Prozesse und die Wechselwirkungen des Produkts mit der Umgebung und stellen eine wesentliche Integrationsanforderung dar (vgl. [Metzner 2007, Metzner 2006]). Sie treten im Rahmen der Produkterzeugung als Nebeneffekte auf und werden unter Berücksichtigung der Einflüsse auf ein Arbeitssystem (vgl. Kapitel 2.3) in die Unterkategorien physikalische und chemische Kontamination und thermischer Zustand aufgenommen.

Physikalische Kontaminationen des Bauteils können beispielsweise Verschmutzungen auf der Bauteiloberfläche darstellen. Sie können prinzipiell aus zwei Quellen resultieren. Zum einen kann das Bauteil durch eine belastete Umgebung während Transport- oder Lagervorgängen verunreinigt werden. Für den Grad der Verschmutzung des Bauteils spielen Faktoren wie Lagerdauer und -ort eine Rolle. Zum anderen können die Verschmutzungen eine Folge der vorhergehenden Bearbeitungsprozesse selbst sein. Sie können beispielsweise durch Fräsen oder Drehen eines Bauteils auftreten. Zur Durchführung der Prozesse werden oftmals Kühlschmierstoffe in Form von Emulsionen verwendet. Diese Stoffe führen zu Kontaminationen des Bauteils und können beispielsweise bei der Integration von Beschichtungsverfahren eine vorgelagerte Reinigung erfordern, um die Qualitätsanforderungen zu erreichen.

Ergänzend zur Verunreinigung der Oberfläche sind auch chemische Reaktionen zu den sekundären Eigenschaften zu zählen. Zum einen kann es zu Reaktionen des Bauteils bzw. Bauteiloberfläche mit den eingesetzten Stoffen an den vorhergehenden Bearbeitungsprozessen kommen. Zum anderen kann eine Reaktion des Bauteils mit seiner Umgebung stattfinden. Eine häufige chemische Kontamination stellt folglich die Oxidation dar. Hierbei reagiert ein metallischer Werkstoff nach einem Prozessschritt mit der Umgebung und führt zu unbeabsichtigt veränderten Produkteigenschaften.

Neben den physikalischen und chemischen Kontaminationen kann ein Bauteil über die Prozesskette unterschiedliche thermische Zustände einnehmen. Die Temperatur des Bauteils kann sowohl durch umgebungsbezogene Faktoren wie Lagerung im Freien als auch durch die Bearbeitungsprozesse beeinflusst werden. Hierbei sind Prozesse mit einer definierten Prozesstemperatur zu nennen wie Schmieden oder Einbrennen von Pulverlack als auch Prozesse, bei denen Wärme als Nebenerscheinung auftritt wie Fräsen und Drehen. Die Berücksichtigung des Bauteiltemperaturzustands wird umso deutlicher, wenn beispielsweise ein thermisches Verfahren in eine manuelle Montagelinie integriert werden soll.

Die Ausführungen stellen die Notwendigkeit zur Berücksichtigung der sekundären Eigenschaften im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren dar. Deren Relevanz ist allerdings im Hinblick auf die spezifischen Verfahrensanforderungen zu prüfen.

Bei den in Abbildung 4-1 zusammengefassten Produkteigenschaften handelt es sich lediglich um Oberbegriffe. Die Abbildung stellt einen Überblick integrationsrelevanter Kriterien auf Produktebene dar. Die Produkteigenschaften erheben daher nicht den Anspruch, sämtliche mögliche zu berücksichtigende Produkteigenschaften zu repräsentieren. Die Oberbegriffe können planungsfall- bzw. verfahrensspezifisch detailliert werden.



Abbildung 4-1: Produktmodell

### 4.1.2 Verfahrensmodell

In diesem Abschnitt werden die zu berücksichtigenden Verfahrenseigenschaften erläutert und in einem Verfahrensmodell zusammengeführt. Letzteres soll zusammen mit dem Produktmodell die Basis für die spätere Bewertung und Auswahl eines möglichen Verfahrens bilden. Es werden daher im Verfahrensmodell Kriterien zur Beschreibung der Leistungsmerkmale eines Verfahrens erläutert. Wie bereits im Produktmodell dargestellt, kann ein Produkt über verschiedene Merkmale (z. B. Geometrie und Technologie) beschrieben werden. Zur Erzeugung der geforderten Produktmerkmale werden Verfahren eingesetzt, die in einem sogenannten Transformationsprozess Änderungen von einem bestimmten Eingangszustand zu einem Ausgangszustand innerhalb eines Zeitraums durchführen. Demnach werden die Veränderungen der Produktmerkmale im Transformationsprozess durch eine zeitliche und technische Komponente charakterisiert (siehe Abbildung 4-2).

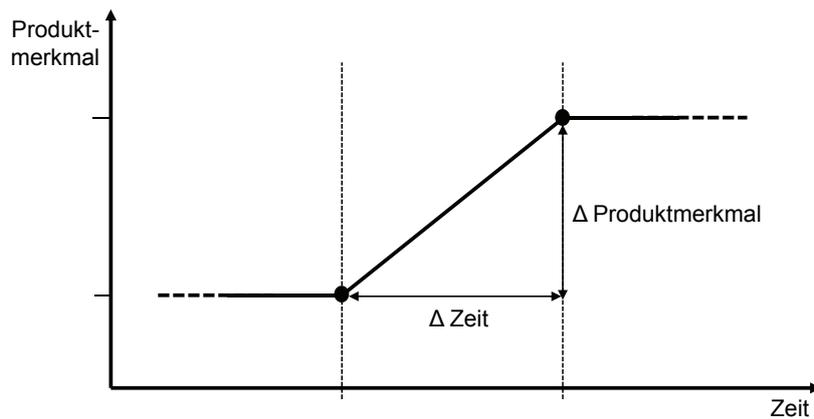


Abbildung 4-2: Transformationsprozess durch Anwendung eines Verfahrens

Damit im Rahmen der Auswahl und Bewertung möglicher Verfahren die Machbarkeit der Integration nachgewiesen werden kann, werden im Verfahrensmodell Kompatibilitätsrestriktionen berücksichtigt. Diese ergeben sich aus dem Ausgangszustand des vorgelagerten Verfahrens und dem Eingangszustand des nachgelagerten Verfahrens an der Integrationschnittstelle.

Zur Beschreibung der Ein- und Ausgangszustände wird auf die im Produktmodell verwendeten Kriterien zurückgegriffen. Mit Hilfe des Verfahrens muss es möglich sein, die an der Integrationschnittstelle vorliegenden und geforderten Bauteilzustände zu realisieren. Daher wird analog zum Produktmodell zwischen primären und sekundären Eigenschaften im Verfahrensmodell unterschieden.

Darüber hinaus werden im Verfahrensmodell organisatorische Eigenschaften aufgenommen. Diese berücksichtigen insbesondere die zeitliche Leistungsfähigkeit eines Verfahrens, da die realisierbare Taktzeit im Rahmen der Integration von Verfahren in eine Produktionslinie eine wesentliche Kenngröße darstellt (vgl. Kapitel 3.3). Im Verfahrensmodell wird daher die theoretische Stückleistung je Zeiteinheit aufgenommen. Es handelt sich hierbei um eine Beschreibung des Verfahrens ohne Berücksichtigung ressourcenspezifischer Eigenschaften (z. B. Verluste durch Handhabung und Verfügbarkeit). Um die Fähigkeit von Verfahren zur Verarbeitung unterschiedlicher Werkstücke zu beschreiben, wird als qualitative Größe die Umrüstkfähigkeit aufgenommen (siehe Abbildung 4-3).

Neben den genannten Kriterien wird zudem die Möglichkeit vorgesehen, technische Verfahrenseigenschaften wie verfahrensspezifische Parameter und Hilfsprozesse zu erfassen (vgl. Kapitel 3.3). Dadurch können Verfahren genauer spezifiziert und mögliche Auswirkungen auf die Ressourcengestaltung wie beispielsweise zusätzliche Einrichtungen zur Absaugung frühzeitig abgeschätzt wer-

den. Zudem können die zugrunde gelegten Rahmenbedingungen zu Angaben von Leistungsfähigkeiten dokumentiert werden.

Wirtschaftlichkeitskriterien bleiben auf der Verfahrensebene ohne Berücksichtigung, da auf dieser Ebene noch keinerlei Informationen zur ressourcenspezifischen Ausprägung vorhanden sind.

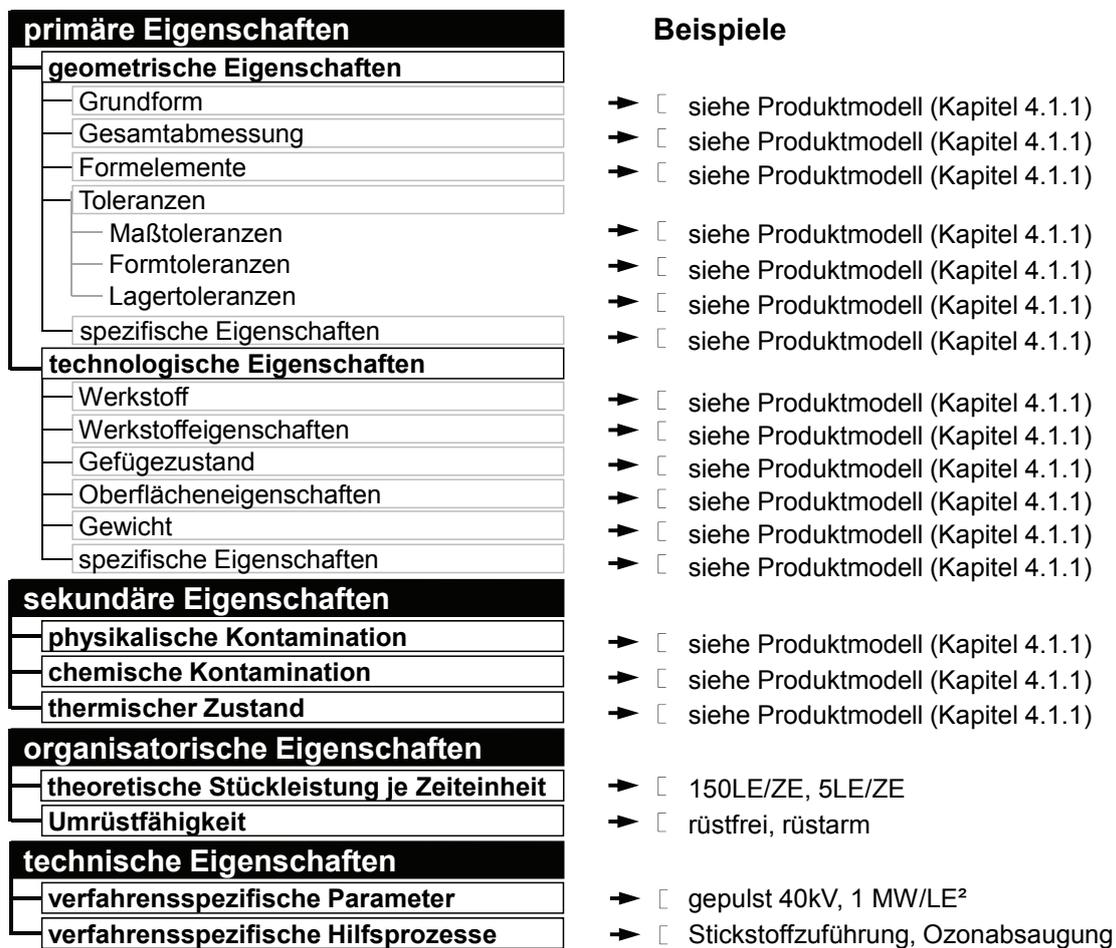


Abbildung 4-3: Verfahrensmodell

Das Verfahrensmodell ermöglicht die Abbildung der theoretischen Leistungsfähigkeit eines Verfahrens hinsichtlich technischer und zeitlicher Kriterien. Aufgrund des Ausschlusses der benötigten Ausführungsressource werden Verfahren unter Idealbedingungen beschrieben und die maximale Leistungsfähigkeit unterstellt.

Das Verfahrensmodell stellt die Basis für die Bewertung der Kompatibilität der Bauteilzwischenstände dar. Wie das Produktmodell gibt das Modell einen Überblick der zu berücksichtigenden Kriterien und erhebt daher nicht den Anspruch, sämtliche mögliche zu berücksichtigende Verfahrenseigenschaften zu repräsentieren. Die Oberbegriffe können planungsfall- bzw. verfahrensspezifisch detailliert werden.

### 4.1.3 Ressourcenmodell

Neben dem ressourcenunabhängigen Verfahrensmodell sollen im Folgenden zu berücksichtigende Kriterien auf Ressourcenebene beschrieben werden. Das Ressourcenmodell soll die Basis für die spätere Bewertung und Auswahl der Produktionsressourcen bilden.

Zum Aufbau des Ressourcenmodells werden die in Kapitel 2.7 beschriebenen Wechselwirkungen an den Gestaltungselementen einer Prozesskette herangezogen. Es müssen daher Wirkungen der Ressource auf das Produkt über das Verfahren und auf das Produktionsumfeld betrachtet werden. Im Ressourcenmodell wird daher eine Differenzierung in produktbezogene und produktionsumfeldbezogene Eigenschaften vorgenommen.

Die produktbezogenen Eigenschaften stellen Merkmale der Ressource dar, die direkt von einer Produktionsressource über das Verfahren Einfluss auf das Produkt haben. Durch die Beschreibung der produktbezogenen Eigenschaften wird die spätere Bewertung und Auswahl der Produktionsressource hinsichtlich der zeitlichen und technischen Anforderungen des Produkts sichergestellt.

Die produktbezogenen Eigenschaften werden in folgende Gruppen gegliedert:

- Werkstück- und Werkzeugfluss (Mikrobereich)
- Taktzeit
- Immissionen

Die in der Gruppe Werkstück- und Werkzeugfluss (Mikrobereich) zu betrachtenden Kriterien lassen sich anhand des skizzierten Arbeitssystems ableiten (siehe Abbildung 4-4). Das Arbeitssystem, bestehend aus verschiedenen Systemelementen (z. B. Betriebsmittel und Mensch), weist interne und externe Wechselwirkungen auf, z. B. zwischen dem Betriebsmittel und dem Werkstück, zwischen dem Menschen und dem Werkstück oder zwischen dem Werkstückflusssystem auf Mikro- und Makroebene (vgl. Kapitel 2.5.2). Die Eigenschaften der Systemelemente wirken einzeln oder in Kombination auf das Werkstück ein. Aus diesem Grund wird die Gruppe „Werkstück- und Werkzeugfluss (Mikrobereich)“ im Ressourcenmodell unter produktbezogenen Eigenschaften eingeführt.

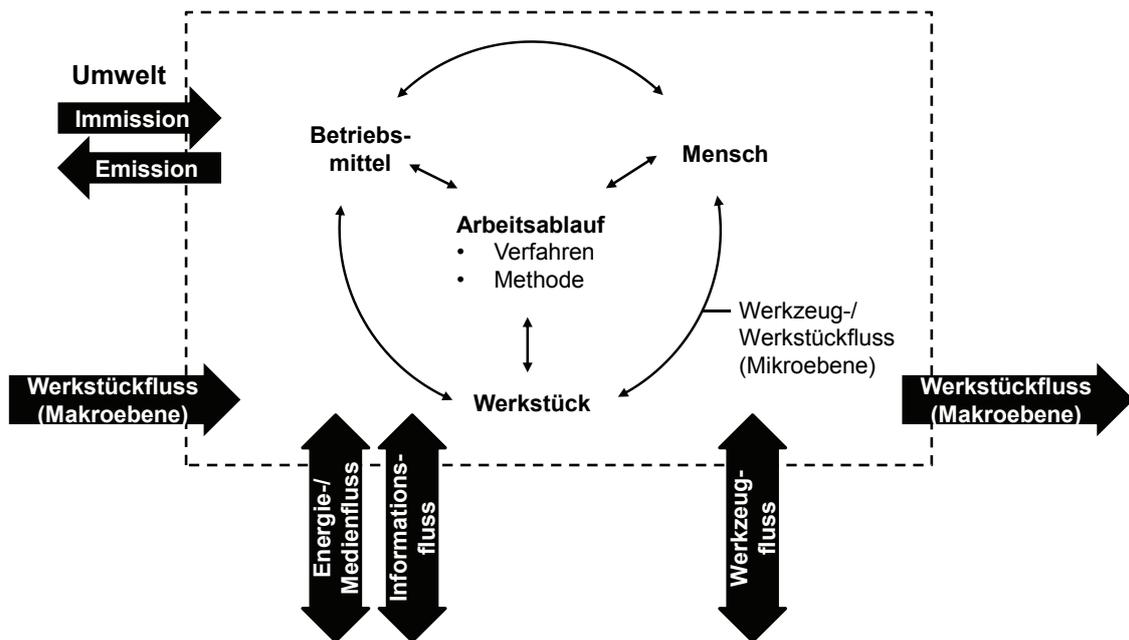


Abbildung 4-4: Arbeitssystemmodell zur Ableitung der Integrationskriterien in Erweiterung zu [Schlick et al. 2010]

Zur genaueren Beschreibung des Werkstück- und Werkzeugflusses werden weitere Kriterien definiert und die Elemente im Mikrobereich einer Ressource betrachtet, die zum Rüsten und zum Ausführen eines Auftrags notwendig sind (siehe Abbildung 4-5). Um eine möglichst allgemeingültige Beschreibung dieser Elemente zu erzielen, wird der Werkstück- und Werkzeugfluss im Mikrobereich in Werkstückfluss- bzw. Werkzeugflusssystem und weiter in Werkstück- bzw. Werkzeugflusselemente differenziert. Zudem wird die Möglichkeit eingeräumt, das Werkstück- bzw. Werkzeugflusssystem hinsichtlich des Automatisierungsgrads zu beschreiben.

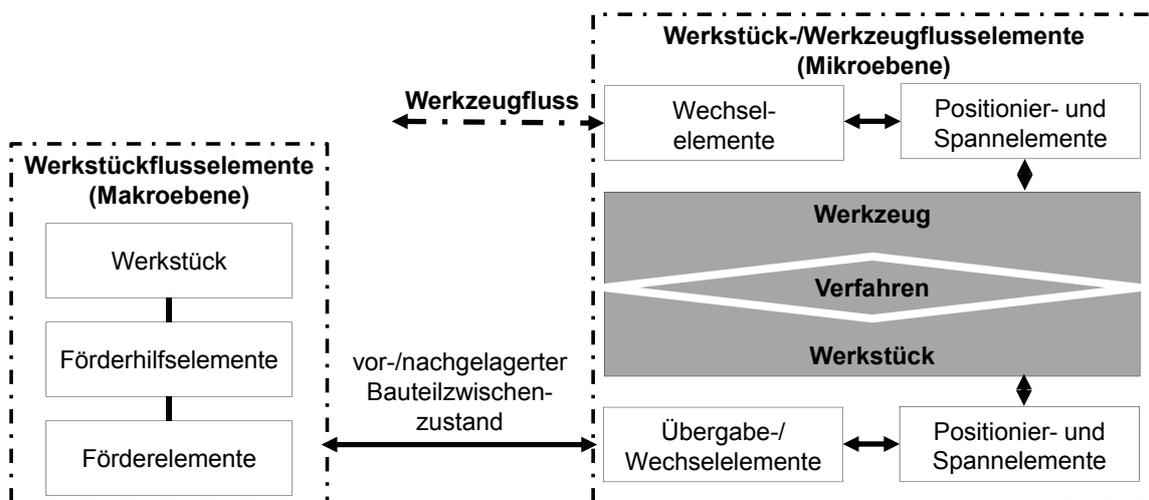


Abbildung 4-5: Zusammenhang des Werkstück- und Werkzeugflusses auf Makro- und Mikroebene

Unter Werkstückflusselemente sind Funktionsträger einer Ressource zur Gewährleistung des Werkstückflusses zu verstehen. Sie werden weiter in Übergabe- und Wechselemente sowie Positionier- und Spannelemente unterteilt und unterscheiden sich je nach Automatisierungsgrad. Typische Werkstückflusselemente stellen Werker, Roboter oder Greifer dar (vgl. Kapitel 2.5.3).

Analog zu den Werkstückflusselementen sind Werkzeugflusselemente zu verstehen. Sie werden weiter in Positionier- und Spannelemente und in Wechselemente und hinsichtlich des Automatisierungsgrads differenziert. Übliche Ressourcen eines Werkzeugflusssystems sind beispielsweise Roboter, Werker oder Werkzeugwechseinrichtungen (vgl. Kapitel 2.5.3).

Je nach Umsetzung können die Aufgaben- bzw. Funktionsträger wie Technik- oder Personalressourcen im Ressourcenmodell beschrieben werden. Letztendlich handelt es sich um eine allgemeingültige Beschreibung des Werkzeug- und Werkstückflusssystems bzw. der Systemelemente des Werkstück- und Werkzeugflusses.

Neben den Eigenschaften des Werkstück- und Werkzeugflusses stellt die Taktzeit im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Produktionslinien ein integrationsrelevantes Kriterium dar (vgl. Kapitel 3.3). Im Verfahrensmodell wird bereits die theoretische Stückleistung je Zeiteinheit unter Idealbedingungen berücksichtigt. Für die spätere Bewertung und Auswahl erfolgt im Ressourcenmodell eine genauere Betrachtung, da wesentliche Einflussgrößen auf die Taktzeit wie das Werkstückfluss- und Werkzeugflusssystem auf Mikroebene bekannt sind. Daher werden im Ressourcenmodell sämtliche Zeitgrößen aufgenommen, die durch die Ressourcengestaltung beeinflusst werden. Im Detail sind dies die Zeitbestandteile der Auftragszeit (z. B. Grundzeit und sachliche Verteilzeit).

Um eine differenziertere Betrachtung der sachlichen Verteilzeit zu ermöglichen, wird diese durch die technische Verfügbarkeit nach VDI 3423 [VDI 3423] und den Qualitätsgrad ersetzt. Der Qualitätsgrad wird in Anlehnung an [Erlach 2010, Reichel et al. 2009] unter folgender Definition aufgenommen:

$$Q = \frac{\text{Anzahl produzierter Teile} - \text{Anzahl Nacharbeitsteile} - \text{Anzahl Ausschussteile}}{\text{Anzahl produzierter Teile}} \quad \text{Formel 4-1}$$

Systembedingte Verluste werden im Ressourcenmodell nicht berücksichtigt, da sie durch Wechselwirkungen innerhalb des Arbeitssystems entstehen.

Zusammenfassend werden im Ressourcenmodell die Zeitgrößen Grundzeit, Rüstgrundzeit, persönlicher Verteilzeitzuschlag, Erholungszeitzuschlag, technische Verfügbarkeit und Qualitätsgrad aufgenommen. Durch die Aufnahme der genannten Kenngrößen in das Ressourcenmodell ist es dem

Planer möglich, entsprechend der Ressourcenkonfiguration (Mensch, Technik), eine Übersicht der zu berücksichtigenden Einflussgrößen zu erhalten.

Darüber hinaus entstehen nicht nur produktrelevante Wechselwirkungen innerhalb der Ressource, sondern auch solche zwischen Produktionsumfeld und Ressource, die letztendlich über die Verfahren auf das Produkt wirken. Es ist daher eine explizite Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Produktionsumfeld und Ressource notwendig, um die Verträglichkeit mit den bestehenden Verfahren bzw. Ressourcen nachzuweisen (vgl. Kapitel 3.1 und 3.3).

Wesentliche Einflussgrößen aus dem Produktionsumfeld stellen die Emissionen und Immissionen dar. Wie bei den technischen Konzepten zur Integration nicht-konventioneller Verfahren (vgl. Kapitel 3.3) sind Emissionen im Rahmen der Integration besonders zu berücksichtigen. Sie werden durch Transmission über die Produktionsumwelt übertragen und wirken als Immissionen auf die einzelnen Ressourcen (siehe Abbildung 4-6). Immissionen können daher negative Auswirkungen auf die Verfahren und folglich die Produktqualität haben.

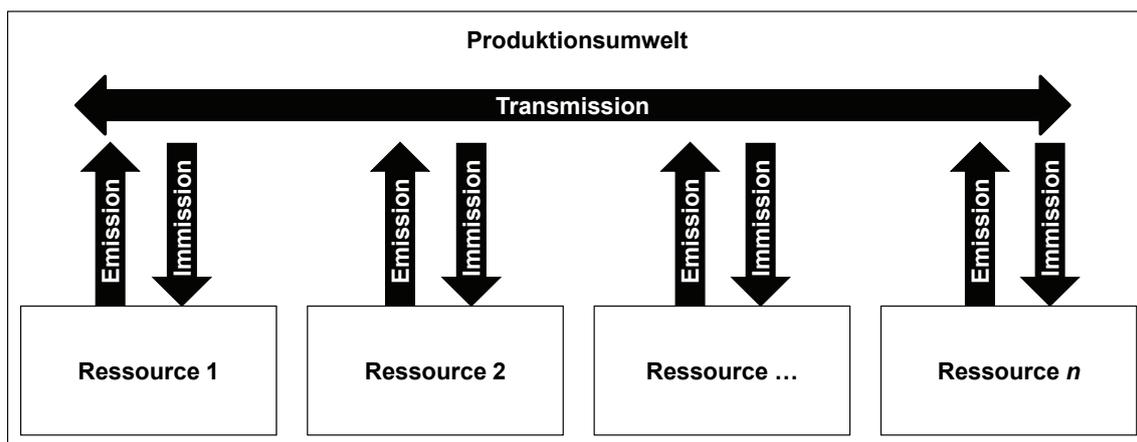


Abbildung 4-6: Wechselwirkungen der Emissionen und Immissionen in der Produktionsumwelt  
 Da Immissionen direkt über die Ressource auf das Produkt wirken, werden sie im Ressourcenmodell der Gruppe produktbezogenen Eigenschaften zugeordnet. Dadurch können zum einen die bestehenden Ressourcen und zum anderen ein mögliches Verfahren bzw. eine mögliche Ressource hinsichtlich der zulässigen Immissionen charakterisiert werden. Die Emissionen werden nicht in diese Gruppe aufgenommen, da sie von der Ressource nach außen in die Produktionsumwelt wirken. Emissionen werden den produktionsumfeldbezogenen Eigenschaften zugeordnet. Die produktbezogenen Eigenschaften sind in der Zusammenfassung nachfolgend abgebildet.

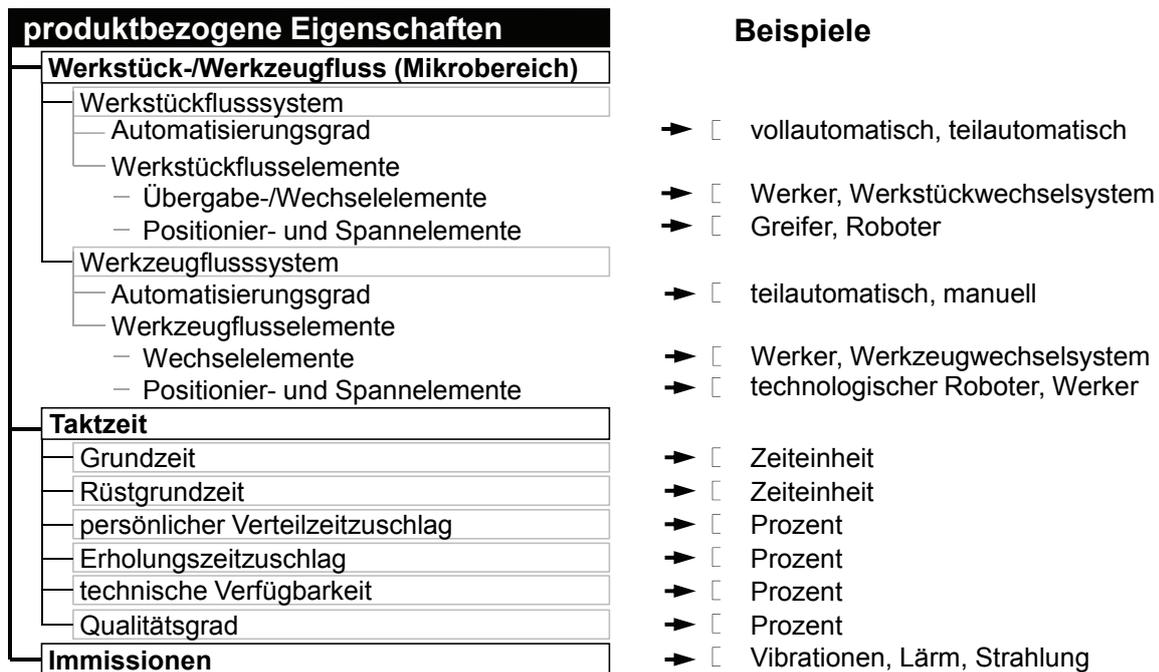


Abbildung 4-7: Ressourcenmodell – produktbezogene Eigenschaften

Neben den produktbezogenen Ressourceneigenschaften existieren solche produktionsumfeldbezogener Art, die im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Fertigungs- und Montagelinien zu berücksichtigen sind (vgl. Kapitel 3.3). Die produktionsumfeldbezogenen Eigenschaften werden in folgende Gruppen gegliedert:

- statische Eigenschaften
- Informationsfluss
- Energie- und Medienfluss
- Werkstückfluss (Makrobereich)
- Emissionen

Die statischen Eigenschaften resultieren aus der physikalischen Ausprägung der Ressource. Wie in Kapitel 3.3 dargelegt, stellen insbesondere die räumlichen Restriktionen wesentliche Anforderungen an die Integration nicht-konventioneller Verfahren. Um die räumliche Integrationsfähigkeit zu berücksichtigen, wird im Ressourcenmodell der Ressourcenraum aufgenommen. Dieser wird weiter über die Ressourcenrundfläche, Fläche für Vorrichtung, Werkzeuge und Prüfmittel, Bedienfläche, Fläche für Reparatur und Wartung, Bereitstellfläche für Material und Werkstücke, Fläche für Abfall (Ver- und Entsorgung) sowie die Höhe spezifiziert (vgl. Kapitel 2.4.1).

Darüber hinaus wirkt die Gewichtskraft auf eine Ressource. Hieraus ergibt sich eine bestimmte Bodenbelastung und in Folge eine Anforderungen an die Bodenstatik im Integrationsbereich. Daher wird im Ressourcenmodell die Bodenbelastung als weiteres Kriterium verwendet.

Ausgehend von dem Arbeitssystemmodell (siehe Abbildung 4-4) muss des Weiteren die Schnittstelle zum Informationssystem betrachtet werden. Das Informationssystem besteht zum einen aus einer Hardware- und zum anderen aus einer Softwarekomponente (vgl. Kapitel 2.5.3). Zur generischen Beschreibung des Informationssystems werden daher im Ressourcenmodell die Kriterien Informationsübertragungselemente und Anschlusswerte eingeführt. Informationsübertragungselemente sind die hardwaretechnischen Übertragungsmedien (z. B. Ethernet und RS232) für den Transport von Informationen. Die Anschlusswerte umfassen die softwaretechnische Ausführung zur Kommunikation. Hierunter wird das genutzte Übertragungsprotokoll (z. B. TCP/IP und Profibus DP) verstanden.

Als weitere produktionsumfeldbezogenen Kriterien ist nach dem Arbeitssystemmodell der Energie- und Medienfluss zu berücksichtigen. Hierfür werden analog zur Beschreibung des Informationssystems im Ressourcenmodell Energieübertragungselemente bzw. Medienübertragungselemente und Anschlusswerte für den Energie- und Medienfluss aufgenommen. Die Übertragungselemente dienen zur Charakterisierung der hardwaretechnischen Ausführung (z. B. 32 A-Stecker und Hartingstecker). Die Anschlusswerte dienen der Beschreibung des Bedarfs je Energie- bzw. Medienart.

Analog zur Beschreibung des Werkstückflusssystems im Mikrobereich bei den produktbezogenen Eigenschaften wird der Werkstückfluss im Makrobereich „Werkstückfluss (Makrobereich)“ bei den produktionsumfeldbezogenen Eigenschaften eingegliedert. Die Werkstückflusselemente im Makrobereich werden weiter in Förderhilfselemente (z. B. Werkstückträger und Kiste) und Förderelemente (z. B. Rollenbahn und fahrerloses Transportsystem) unterteilt (siehe Abbildung 4-5). Dadurch kann die Werkstückzuführung und -abführung beschrieben und die Kompatibilität des Werkzeugflusses zwischen Makro- und Mikroebene bewertet werden.

Wie bereits bei den produktbezogenen Eigenschaften erläutert, stellen Emissionen und Immissionen zu berücksichtigende Kriterien bei der Integration nicht-konventioneller Verfahren dar. Immissionen wirken auf das herzustellende Produkt, während Emissionen von einer Ressource verursacht und an die Produktionsumgebung abgegeben werden. Demzufolge werden die Emissionen im Ressourcenmodell bei den produktionsumfeldbezogenen Eigenschaften aufgeführt.

Die nachfolgende Abbildung enthält die beschriebenen produktionsumfeldbezogenen Eigenschaften des Ressourcenmodells in der Zusammenfassung.

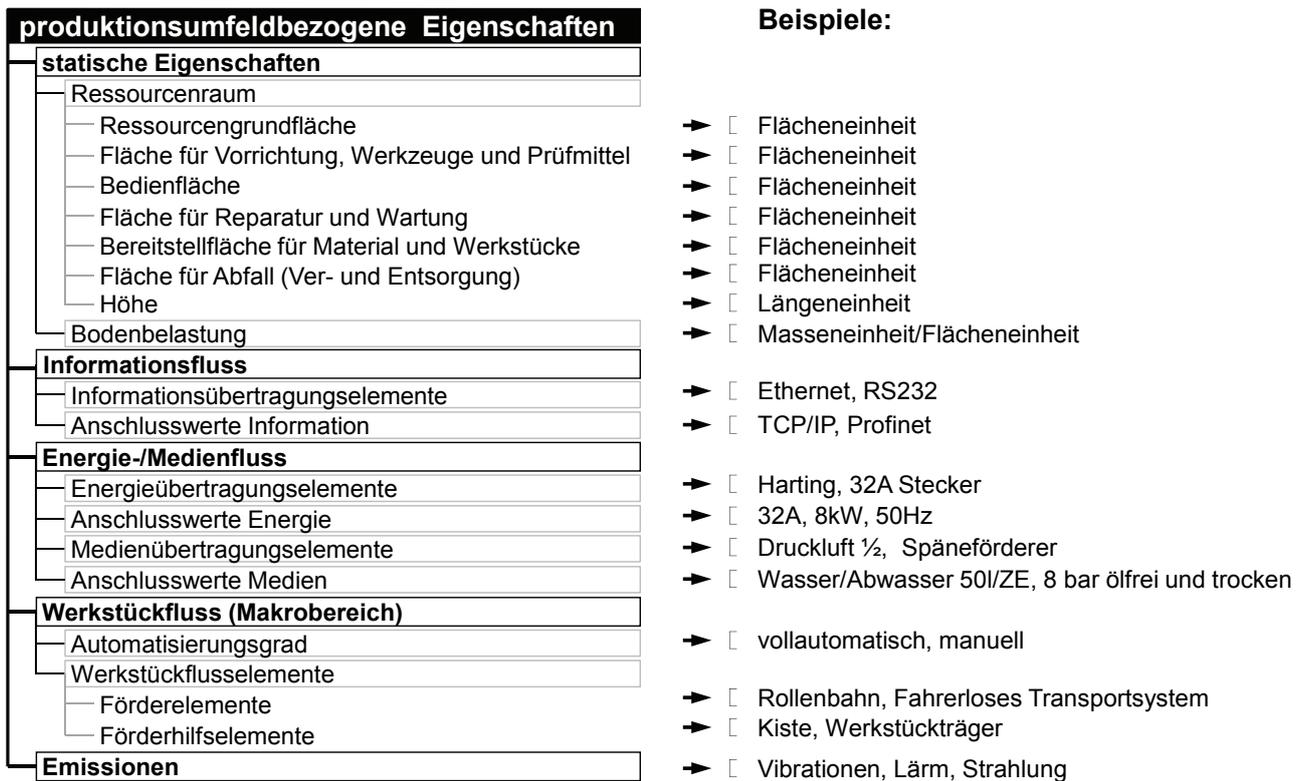


Abbildung 4-8: Ressourcenmodell – produktionsumfeldbezogene Eigenschaften

Die Eigenschaften erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Sie sollen lediglich, wie bereits beim Produkt- und Verfahrensmodell ausgedrückt, eine generische Beschreibung von Ressourcen darstellen und dem Planer von Prozessketten einen strukturierten Überblick hinsichtlich zu berücksichtigender Einflussgrößen geben. Fallspezifisch kann es daher erforderlich sein, die genannten Kriterien zu detaillieren.

Mit dem Ressourcenmodell kann zum einen die bestehende Struktur und zum anderen eine mögliche Ressource im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren beschrieben werden. Aufgrund der Kenntnis über zu berücksichtigende Einflussgrößen bzw. relevante Restriktionen wird Transparenz im Planungsprozess geschaffen. Zugleich wird der Planer durch die Berücksichtigung der Wirkungen unterschiedlicher Einflussgrößen im Rahmen des Aufbaus des Modells in die Lage versetzt, Wechselwirkungen zwischen der bestehenden Struktur und einer möglichen Ressource zu erkennen. Dies bildet sogleich die Grundlage für die Bewertung und Auswahl möglicher Ressourcen.

## 4.2 Kostenmodell

Im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren werden bestehende Produktionsstrukturen rekonfiguriert. Dieses Vorgehen impliziert Veränderungen an unterschiedlichen Systemelementen einer Prozesskette. Zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit der Integration ist es daher notwendig, die Veränderungsmaßnahmen monetär zu bewerten.

Im Folgenden soll ein Kostenmodell zur Stückkostenberechnung aufgebaut werden. Ziel dieses Modells ist die Berechnung der Stückkosten mehrstufiger Prozessketten zur ganzheitlichen Bewertung von Integrationsmaßnahmen. Hierzu ist ein individuell an die zu betrachtende Prozesskette adaptierbares Kostenmodell erforderlich.

Um dies zu erreichen, wird aufgrund des generischen und skalierbaren Charakters als Grundmodell zur Kostenbewertung die Leistungseinheit nach dem Stuttgarter Unternehmensmodell herangezogen. Eine Leistungseinheit stellt eine Kostenstelle dar, die unter Verwendung unterschiedlicher Eingangsgrößen (z. B. ein oder mehreren Technik- und Personalressourcen) einen Transformationsprozess in einer Prozesskette durchführt. Zur Transformation werden innerhalb der Leistungseinheit Führungs- und Ausführungsprozesse ausgeführt (vgl. Kapitel 2.3).

Die Ausführungsprozesse sollen im Kostenmodell sämtliche Prozesse darstellen, die zwischen und innerhalb von Arbeitssystemen und eines Arbeitssystems ablaufen. Hierzu werden in Anlehnung an Kohler [vgl. Kohler 2007] Bearbeitungs- einschließlich Rüst- und Lagerungs- sowie Transportprozesse betrachtet. Mit Hilfe dieser Prozesse kann der Auftragsdurchlauf in einem Arbeitssystem sowie mehrerer, verknüpfter Arbeitssysteme allgemeingültig beschrieben werden und eine Integrationsmaßnahme auf Basis der veränderten Prozessstruktur in der physischen Produktion bewertet werden. Zudem sind den Ausführungsprozessen die Kapitalbindungskosten zuzuordnen, die über die Zeitdauer der Einzelprozesse innerhalb der Leistungseinheit bestimmt werden. Die Materialkosten für Rohmaterial werden übergeordnet für die gesamte Prozesskette erfasst.

Um eine ganzheitliche Bewertung der Integrationsmaßnahme zu ermöglichen und deren Wirkung auf die indirekten Bereiche zu beurteilen, werden neben den Ausführungsprozessen die Führungsprozesse einbezogen, die planende und steuernde Tätigkeiten darstellen. Hierunter fallen folglich Tätigkeiten der Arbeitsablaufplanung und Werkstattsteuerung. Im Rahmen der Arbeitsablaufplanung werden im Wesentlichen die Aufgaben Stücklistenverarbeitung, Arbeitsplanerstellung, Maschinenprogrammierung und Fertigungsmittelplanung durchgeführt. Da eine Integrationsmaßnahme keine bzw. nur eine geringe Implikation auf die Stücklistenverarbeitung und Arbeitsplanerstellung

hat, bleiben diese im Kostenmodell unberücksichtigt. Hingegen wird die Maschinenprogrammierung und Fertigungsmittelplanung aufgenommen, die in Abhängigkeit der Ausführung der physischen Ressourcen (z. B. Automatisierungsgrad und Universalität der Betriebsmittel) unterschiedliche Aufwendungen erfordern. Die Werkstattsteuerung umfasst die Aufgaben der Termin- und Kapazitätsplanung, Auftragsveranlassung und Auftragsüberwachung. In Abhängigkeit der Struktur der Produktion (z. B. Fließfertigung und Werkstattfertigung) und der Auftragszusammensetzung sind unterschiedliche Aufwände für die Werksstattsteuerung notwendig. Folglich werden diese im Rahmen der monetären Bewertung der Integrationsmaßnahme berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.4.2, 2.4.3 und 2.7).

Um eine monetäre prozessorientierte Kostenbewertung auf Basis der identifizierten Ausführungs- und Führungsprozesse zu ermöglichen, sollen in den folgenden Kapiteln die Kostentreiber sowie deren Verknüpfung in einzelnen Stückkostenberechnungsmodulen beschrieben werden.

### **4.2.1 Kostenmodell der Ausführungsprozesse**

Ziel des Kostenmodells der Ausführungsprozesse ist die Bestimmung der Stückkosten in der physischen Produktion. Hierzu werden die relevanten Kostenparameter der identifizierten Prozesse der physischen Produktion sowie deren mathematischen Zusammenhänge dargelegt. Zur Abbildung der Prozesskosten für Bearbeitungs- einschließlich Rüst- und Lagerungs- sowie Transportprozesse innerhalb einer Leistungseinheit wird im Folgenden ein Transport-, Bearbeitungs- und Lagermodul verwendet.

#### **Transportkostenmodul**

Das Transportkostenmodul soll die Berechnung der Kosten ermöglichen, die durch den Transport von Produkten von einer zur nächsten Leistungseinheit entstehen. Sie sollen pro Stück anhand unterschiedlicher Input-Informationen errechnet werden.

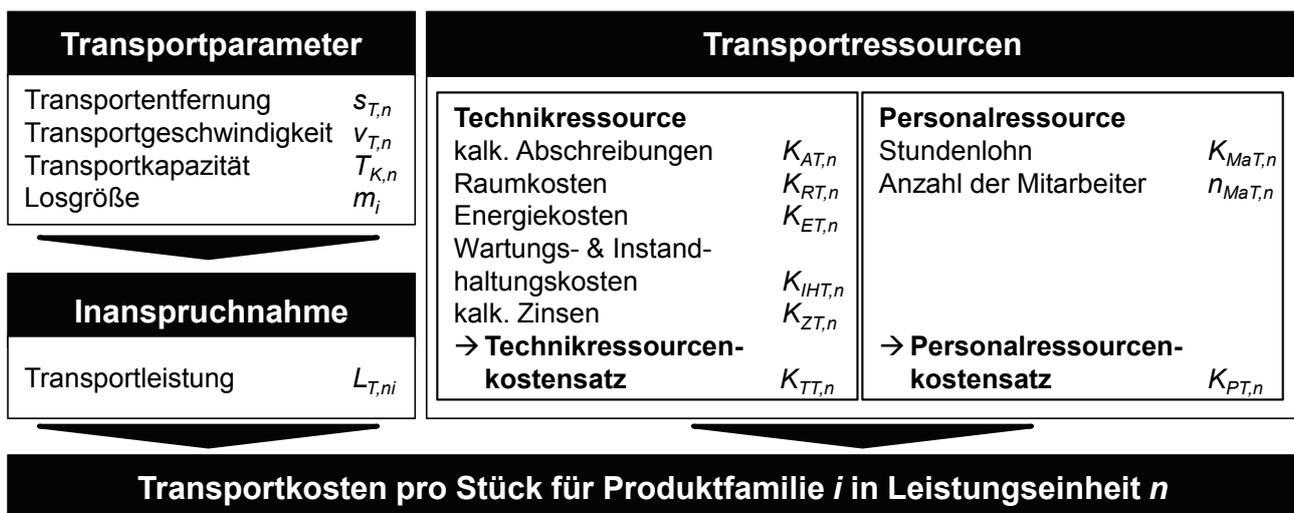


Abbildung 4-9: Aufbau des Transportkostenmoduls

Abbildung 4-9 zeigt den Aufbau des Transportkostenmoduls. Es gliedert sich in einen Input- und Outputbereich. Der Inputbereich dient zur Charakterisierung der spezifischen Transportparameter und der verwendeten Transportressourcen. Im Outputbereich werden in Abhängigkeit des Automatisierungsgrad des Transports die Transportkosten pro Stück berechnet.

Der Inputbereich umfasst sämtliche Informationen, die in das Transportkostenmodul einfließen müssen, um eine monetäre Bewertung des Transportprozesses durchzuführen. Der Informationsbedarf zur monetären Bewertung des Transportprozesses setzt sich aus den eingesetzten Personalressourcen, den verwendeten Technikressourcen sowie den spezifischen Transportparametern wie Transportgeschwindigkeit, Transportentfernung zwischen Quelle und Senke, Transportkapazität sowie Losgröße zusammen. Hieraus werden je nach Konfiguration (in Abhängigkeit des Automatisierungsgrads) des Transportprozesses die Inputs entsprechend verknüpft und die Transportkosten pro Stück berechnet.

Zur Durchführung des Transportprozesses werden Personal- und Technikressourcen eingesetzt. Der Personalressourcenkostensatz setzt sich aus der benötigten Anzahl an Mitarbeiter und dem Stundenlohn je Mitarbeiter zusammen.

$$K_{PT,n} = n_{MaT,n} \times K_{MaT,n} \quad \text{Formel 4-2}$$

$K_{PT,n}$  Personalressourcenkostensatz (Transport) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]

$n_{MaT,n}$  Anzahl der Mitarbeiter zum Transport in Leistungseinheit  $n$  [-]

$K_{MaT,n}$  Stundenlohn der Mitarbeiter (Transport) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]

Die Kosten der Technikressource des Transportprozesses werden über den Maschinenstundesatz nach Warnecke [vgl. Warnecke et al. 1996] abgebildet, der sich aus kalkulatorischen Abschreibungen, Energiekosten, Wartungs- und Instandhaltungskosten, kalkulatorische Zinsen sowie den Raumkosten bezogen auf die Nutzungszeit zusammensetzt.

$$K_{TT,n} = K_{AT,n} + K_{RT,n} + K_{ET,n} + K_{IHT,n} + K_{ZT,n} \quad \text{Formel 4-3}$$

$K_{TT,n}$  Technikressourcenkostensatz (Transport) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]

$K_{AT,n}$  kalkulatorische Abschreibungen (Transport) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]

$K_{RT,n}$  Raumkosten (Transport) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]

$K_{ET,n}$  Energiekosten (Transport) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]

$K_{IHT,n}$  Wartungs- und Instandhaltungskosten (Transport) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]

$K_{ZT,n}$  kalkulatorische Zinsen (Transport) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]

Die Transportparameter stellen die Inanspruchnahme der Transportressource dar. Um die Inanspruchnahme zu bestimmen, werden anhand der Transportkapazität und zu transportierenden Losgröße die Anzahl der notwendigen Transportspiele berechnet.

$$TS_{ni} = \left\lceil \frac{m_i}{T_{K,n}} \right\rceil \quad \text{Formel 4-4}$$

$TS_{ni}$  Transportspiele für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [-]

$T_{K,n}$  Transportkapazität des Transportmittels in Leistungseinheit  $n$  [Stück]

$m_i$  Losgröße von Produktfamilie  $i$  [Stück]

Anhand der Transportgeschwindigkeit und -entfernung zwischen Quelle und Senke kann die Zeitdauer für den Hin- und Rückweg berechnet werden.

$$t_{T,n} = \frac{S_{T,n}}{v_{T,n}} \quad \text{Formel 4-5}$$

$t_{T,n}$  Transportzeit pro Spiel in Leistungseinheit  $n$  [Zeiteinheit/Spiel]

$v_{T,n}$  Transportgeschwindigkeit des Transportmittels in Leistungseinheit  $n$  [Streckeneinheit/Zeiteinheit]

$S_{T,n}$  Transportentfernung in Leistungseinheit  $n$  [Streckeneinheit]

Um sowohl stetige als auch unstetige Transportmittel über gleichartige Berechnungsvorschriften abzubilden, erfolgt die Berechnung der Transportzeit über die Förderleistung des Transportsystems.

Hierzu wird die zu transportierende Losgröße durch die Transportzeit und die Anzahl der Transportspiele dividiert.

$$L_{T,ni} = \frac{m_i}{t_{T,n} \times TS_{ni}} \quad \text{Formel 4-6}$$

$L_{T,ni}$  Transportleistung des Transportmittels für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [Stück/Zeiteinheit]

In Abhängigkeit der Konfiguration (Automatisierungsgrad) des Transportprozesses kann nun die Berechnung der Transportkosten pro Stück für manuelle, mechanisierte und automatisierte Transportprozesse folgendermaßen durchgeführt werden:

$$K_{T,ni} = \frac{K_{PT,n} + K_{TT,n}}{L_{T,ni}} \quad \text{Formel 4-7}$$

$K_{T,ni}$  Transportkosten pro Stück für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [€/Stück]

### Bearbeitungskostenmodul

Ziel des Bearbeitungsmoduls ist die Berechnung der Bearbeitungskosten pro Stück, die aufgrund der Prozesse Bearbeiten und Rüsten entstehen.

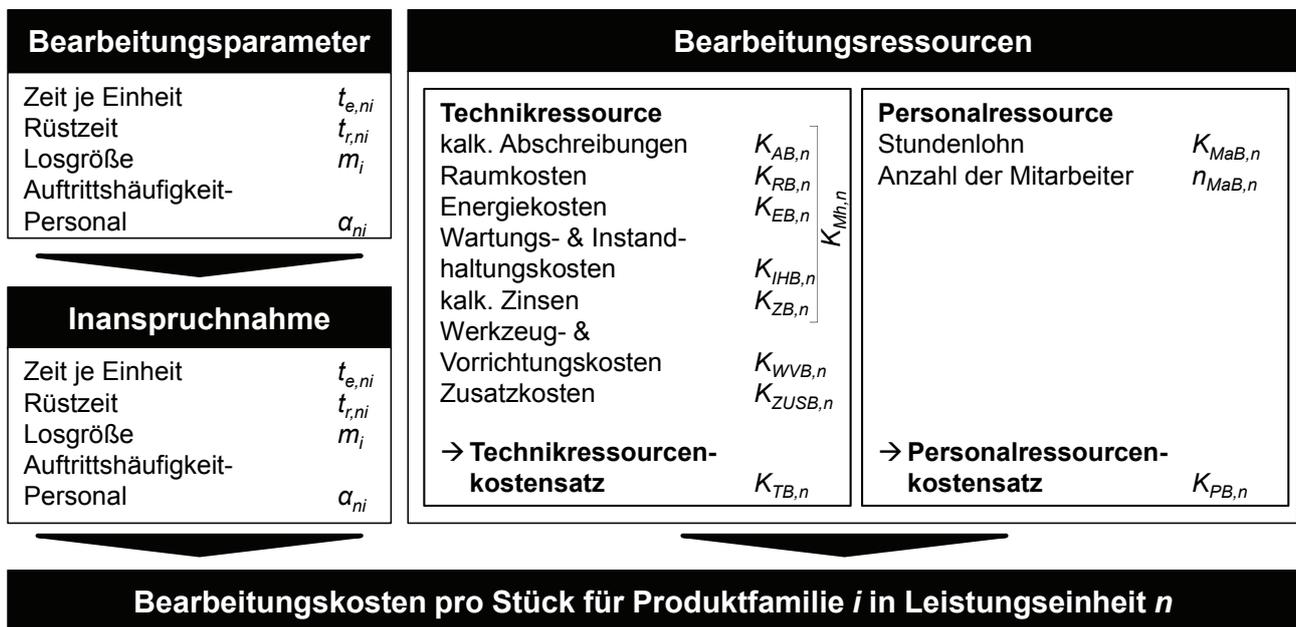


Abbildung 4-10: Aufbau des Bearbeitungskostenmoduls

Analog zum Transportmodul werden im Bearbeitungsmodul zur Durchführung der Prozesse Personal- und Technikressourcen eingesetzt. Die Inanspruchnahme dieser Ressourcen erfolgt über die spezifischen Bearbeitungsparameter wie Zeit je Einheit, Rüstzeit (interne und externe Rüstzeit), Losgröße und Auftrittshäufigkeit des Personals.

Der Personalkostensatz setzt sich aus der Anzahl der Mitarbeiter sowie deren Qualifikation (Stundenlohn) zusammen. Für den Technikressourcenkostensatz wird der erweiterte Maschinenstundensatz nach Müller [vgl. Müller 2008] verwendet. Bei diesem Ansatz werden neben der traditionellen Maschinenstundensatzrechnung zudem Vorrichtungs- und Werkzeug- (Fertigungs- und Prüfmittel) sowie Zusatzkosten wie für Betriebs- und Hilfsstoffe berücksichtigt. Rüstvorgänge werden pauschal auf den Personal- und Technikressourcenkostensatz verrechnet. Vorbereitende Rüsttätigkeiten während des Betriebs können bei Bedarf separat erfasst werden.

In Abhängigkeit der Konfiguration (Automatisierungsgrad) des Bearbeitungsprozesses kann nun die Berechnung der Bearbeitungskosten pro Stück für manuelle, mechanisierte und automatisierte Bearbeitungsprozesse mit Hilfe des Personal- und Technikressourcenkostensatzes und unter Verwendung der spezifischen Bearbeitungsparameter erfolgen.

$$K_{B,ni} = (K_{PB,n} \times \alpha_{ni} + K_{TB,n}) \times \left( t_{e,ni} + \frac{t_{r,ni}}{m_i} \right) \quad \text{Formel 4-8}$$

$K_{B,ni}$	Bearbeitungskosten pro Stück für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$ [€/Stück]
$K_{PB,n}$	Personalressourcenkostensatz (Bearbeitung) in Leistungseinheit $n$ [€/Zeiteinheit]
$K_{TB,n}$	Technikressourcenkostensatz (Bearbeitung) in Leistungseinheit $n$ [€/Zeiteinheit]
$t_{r,ni}$	Rüstzeit für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$ [Zeiteinheit]
$t_{e,ni}$	Zeit je Einheit für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$ [Zeiteinheit]
$m_i$	Losgröße von Produktfamilie $i$ [Stück]
$\alpha_{ni}$	Auftrittshäufigkeit-Personal für Produktfamilie $i$ in Leistungseinheit $n$ [Prozent]

### Lagermodul

Das Lagermodul soll die Kosten für die Lagerung eines Produkts innerhalb einer Leistungseinheit bestimmen. Ein- und Auslagerungsprozesse sollen im Lagermodell nicht angerechnet werden, da diese über das Transportmodul berücksichtigt werden. Demnach sollen lediglich die Kosten pro Stück für den Lagerprozess abgebildet werden.

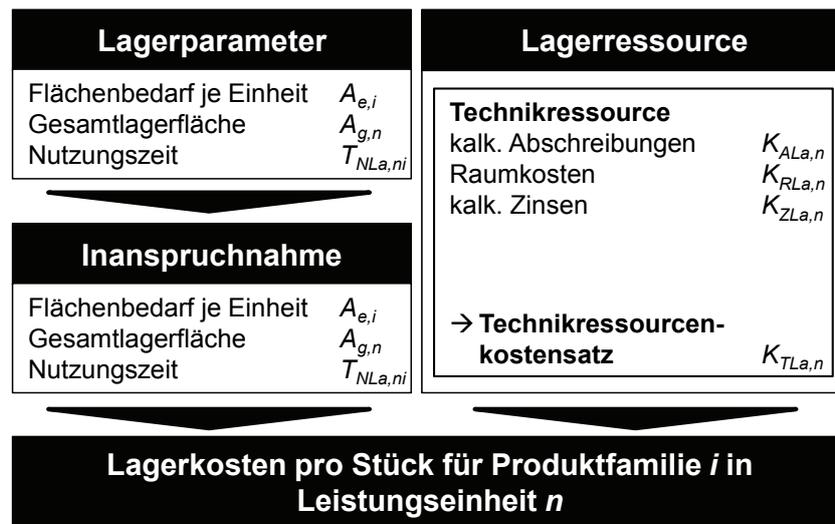


Abbildung 4-11: Aufbau des Lagerkostenmoduls

Im Gegensatz zu den bereits vorgestellten Modulen ist an dieser Stelle eine Verrechnung der Kosten über zeitliche Nutzung nicht zweckmäßig, da die Inanspruchnahme eines Lagers im Wesentlichen über die notwendige Fläche zur Lagerung bestimmt wird. In Anlehnung an Kohler [vgl. Kohler 2007] wird die Inanspruchnahme des Lagers einer Leistungseinheit über den Flächenbedarf je Einheit, die Gesamtlagerfläche und die Nutzungszeit bestimmt. Zudem wird lediglich eine Technikressource im Modell aufgenommen, da Aus- und Einlagerungsprozesse über das Transportmodul berücksichtigt werden. Anhand dieser Parameter können die Lagerkosten pro Stück wie folgt berechnet werden:

$$K_{La,ni} = \frac{K_{TLa,n} \times \varnothing T_{NLa,ni}}{A_{g,n}} \times A_{e,i} \quad \text{Formel 4-9}$$

$K_{La,ni}$  Lagerungskosten pro Stück für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [€/Stück]

$K_{TLa,n}$  Technikressourcenkostensatz (Lager) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]

$\varnothing T_{NLa,ni}$  durchschnittliche Nutzungszeit des Lagers für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [Zeiteinheit]

$A_{g,n}$  Gesamtlagerfläche in Leistungseinheit  $n$  [Flächeneinheit]

$A_{e,i}$  Flächenbedarf je Einheit für Produktfamilie  $i$  [Flächeneinheit]

### Kapitalbindungsmodul

Mit Hilfe des Kapitalbindungsmoduls sollen die entstehenden Kosten für das gebundene Kapital aufgrund des Bestands in der physischen Produktion erfasst werden können. Hierzu werden als Eingangsgrößen zur Berechnung der Kapitalbindungskosten pro Stück der Produktwert, die durch-

schnittliche Durchlaufzeit einer Leistungseinheit und der kalkulatorische Zinssatz pro Zinsperiode herangezogen. Anhand dieser Größen lassen sich die Kapitalbindungskosten pro Stück innerhalb einer Leistungseinheit wie folgt bestimmen:

$$K_{KAP,ni} = PW_{ni} \times \frac{i}{100\%} \times \emptyset DLZ_n \quad \text{Formel 4-10}$$

$K_{KAP,ni}$  Kapitalbindungskosten pro Stück für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [€/Stück]

$PW_{ni}$  Produktwert für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [€]

$i$  kalkulatorischer Zinssatz [Prozent /Zeiteinheit]

$\emptyset DLZ_n$  durchschnittliche Durchlaufzeit in Leistungseinheit  $n$  [Zeiteinheit]

Über das Bearbeitungs-, Transport- und Lagermodul lässt sich die Prozesskette Bearbeiten einschließlich Rüsten, Transportieren und Lagern innerhalb und zwischen einer Leistungseinheit verursachungsgerecht bewerten. Durch die Veränderbarkeit der Bezugsgrößen (Inanspruchnahme und zum Einsatz kommenden Ressourcen) und Adaptierbarkeit der Modelle an eine veränderte Prozesskette aufgrund des modularen Aufbaus ist folglich eine effiziente und ganzheitliche Bewertung von Integrationsmaßnahmen in der physischen Produktion gegeben.

### 4.2.2 Kostenmodell der Führungsprozesse

Ziel des Kostenmodells der Führungsprozesse ist eine monetäre Bewertung der Prozesse der Arbeitsablaufplanung und Werkstattsteuerung, die im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren relevant sind. Daher werden im Folgenden die Prozesse der indirekten Leistungsbereiche in einem Maschinenprogrammierungs-, Fertigungs- und Prüfmittelplanungs- und Werkstattsteuerungsmodul zur ganzheitlichen Bewertung modelliert.

#### **Maschinenprogrammierungsmodul**

Das Maschinenprogrammierungsmodul soll die Bestimmung der anfallenden Kosten zur Maschinenprogrammierung innerhalb einer Leistungseinheit und die Umrechnung auf die resultierenden Stückkosten ermöglichen.

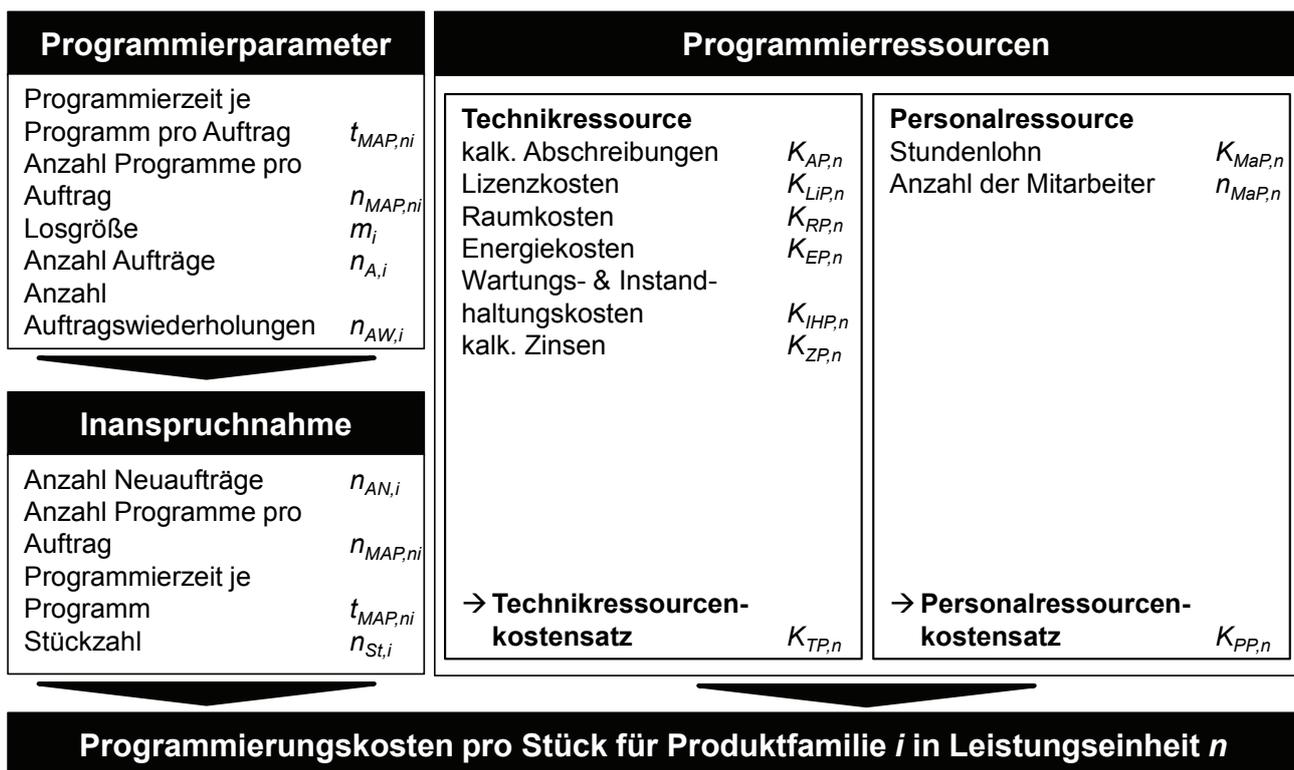


Abbildung 4-12: Aufbau des Maschinenprogrammierungsmoduls

Das Maschinenprogrammierungsmodul ist analog zu den Kostenmodellen der Ausführungsprozesse in einen Input- und Outputbereich gegliedert (siehe Abbildung 4-12). In Abhängigkeit des Programmierverfahrens (manuell oder maschinell) sind unterschiedliche Programmierressourcen zur Programmerstellung notwendig. Die Personalressourcen werden über den Stundenlohn und die Anzahl der Mitarbeiter beschrieben. Die Technikressourcen werden über den klassischen Maschinenstundensatz mit Erweiterung um die Lizenzkosten für entsprechende Programmiersoftware abgebildet. Die Inanspruchnahme der Programmierressourcen erfolgt über die Programmierparameter Programmierzzeit je Programm, Anzahl Programme pro Auftrag, Losgröße, Anzahl Aufträge und Anzahl Auftragswiederholungen. Die Anzahl der Neuaufträge ergeben sich aus der Subtraktion der Anzahl der Auftragswiederholungen von der Anzahl der Aufträge. Hierdurch werden die einmaligen Programmierungsaufwendungen pro Auftrag berücksichtigt. Zudem wird lediglich eine Unterscheidung zwischen Neu- und Wiederholungsauftrag getroffen. Es werden folglich keine Anpassungsprogrammieraufwendungen berücksichtigt. Die Stückzahl ergibt sich aus der Anzahl der Aufträge und der Losgröße. Auf dieser Basis lassen sich nun die Maschinenprogrammierungskosten pro Stück einer Leistungseinheit wie folgt berechnen:

$$K_{P,ni} = \frac{(K_{PP,n} + K_{TP,n}) \times t_{MAP,ni} \times n_{MAP,ni} \times n_{AN,i}}{n_{St,i}} \quad \text{Formel 4-11}$$

- $K_{P,ni}$  Programmierungskosten pro Stück für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [€/Stück]
- $K_{PP,n}$  Personalressourcenkostensatz (Programmierung) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]
- $K_{TP,n}$  Technikressourcenkostensatz (Programmierung) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]
- $t_{MAP,ni}$  Programmierzeit je Programm pro Auftrag für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [Zeiteinheit]
- $n_{MAP,ni}$  Anzahl der Maschinenprogramme (NC-RC-MC) pro Auftrag für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [-]
- $n_{AN,i}$  Anzahl der Neuaufträge im Betrachtungszeitraum für Produktfamilie  $i$  [1/Zeiteinheit]
- $n_{St,i}$  Stückzahl im Betrachtungszeitraum für Produktfamilie  $i$  [Stück/Zeiteinheit]

### Fertigungsmittelplanungsmodul

Mit dem Fertigungsplanungsmodul wird verfolgt, die Kosten für die Planung von Vorrichtungen und Werkzeugen zu berechnen und auf die Kosten pro Stück innerhalb einer Leistungseinheit zu verrechnen.

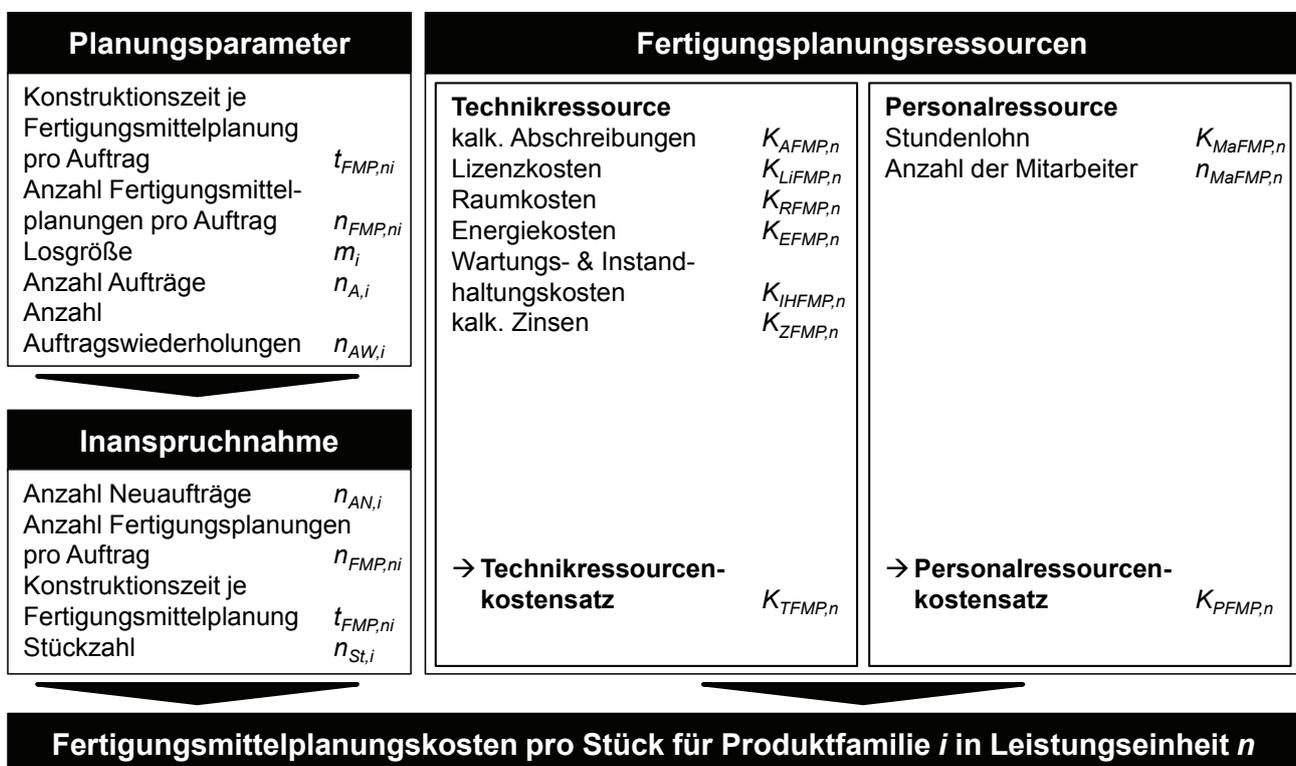


Abbildung 4-13: Aufbau des Fertigungs- und Prüfmittelplanungsmoduls

Es wird ein analoges Modell zur Maschinenprogrammierung verwendet, das sich lediglich in den Planungsparametern und folglich auch in der Inanspruchnahme der Fertigungsmittelplanungsressourcen unterscheidet (siehe Abbildung 4-13). Die Berechnung der Anzahl der Neuaufträge und der Stückzahl erfolgt analog zum Maschinenprogrammierungsmodul. Demnach werden auch bei diesem Modell lediglich Neuplanungen und keine Anpassungsplanungen berücksichtigt. Als weitere Größen zur Charakterisierung der Inanspruchnahme wird die Anzahl der Fertigungsmittelplanung pro Auftrag und die Konstruktionszeit je Fertigungs-/Prüfmittelplanung pro Auftrag herangezogen. Anhand dieser Eingangsgrößen lassen sich die Fertigungsmittelplanungskosten pro Stück einer Leistungseinheit wie folgt berechnen:

$$K_{FMP,ni} = \frac{(K_{PFMP,n} + K_{TFMP,n}) \times t_{FMP,ni} \times n_{FMP,ni} \times n_{AN,i}}{n_{St,i}} \quad \text{Formel 4-12}$$

- $K_{FMP,ni}$  Fertigungsmittelplanungskosten pro Stück für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [€/Stück]
- $K_{PFMP,n}$  Personalressourcenkostensatz (Fertigungsmittelplanung) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]
- $K_{TFMP,n}$  Technikressourcenkostensatz (Fertigungsmittelplanung) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]
- $t_{FMP,ni}$  Konstruktionszeit je Fertigungsmittelplanung pro Auftrag für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [Zeiteinheit]
- $n_{FMP,ni}$  Anzahl Fertigungsmittelplanungen pro Auftrag für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [-]
- $n_{AN,i}$  Anzahl der Neuaufträge im Betrachtungszeitraum für Produktfamilie  $i$  [1/Zeiteinheit]
- $n_{St,i}$  Stückzahl im Betrachtungszeitraum für Produktfamilie  $i$  [Stück/Zeiteinheit]

### Werkstattsteuerungsmodul

Das Werkstattsteuerungsmodul soll die anfallenden Kosten zur Planung und Steuerung einer Leistungseinheit berechnen und auf die Kosten pro Stück innerhalb einer Leistungseinheit umrechnen.

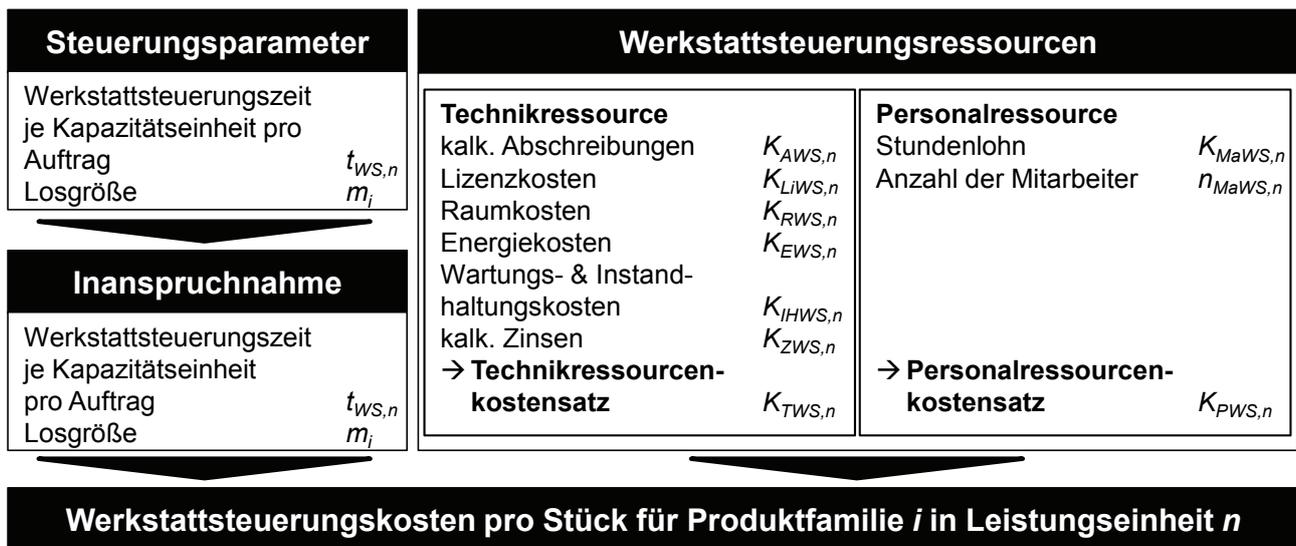


Abbildung 4-14: Aufbau des Werkstattsteuerungsmoduls

Das Werkstattsteuerungsmodul setzt sich aus dem Inputbereich mit Werkstattsteuerungsressourcen und Steuerungsparameter und dem Outputbereich mit den Werkstattsteuerungskosten zusammen. Zur Abbildung der Ressourcen der Werkstattsteuerung werden die Kostenparameter analog zur Arbeitsablaufplanung verwendet. Als Steuerungsparameter werden die Werkstattsteuerungszeit je Kapazitätseinheit pro Auftrag und die Losgröße herangezogen, die gleichzeitig die Inanspruchnahme der benötigten Ressourcen zur Werkstattsteuerung darstellen. Die Werkstattsteuerungszeit je Kapazitätseinheit pro Auftrag entspricht der Zeit, die für die Tätigkeiten der Termin- und Kapazitätsplanung, Auftragsveranlassung und -überwachung pro Auftrag für eine Kapazitätseinheit benötigt wird.

Anhand dieser Eingangsgrößen lassen sich die Werkstattsteuerungskosten pro Stück einer Leistungseinheit wie folgt berechnen:

$$K_{WS,ni} = \frac{(K_{PWS,n} + K_{TWS,n}) \times t_{WS,n}}{m_i} \quad \text{Formel 4-13}$$

$K_{WS,ni}$  Werkstattsteuerungskosten pro Stück für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [€/Stück]

$K_{PWS,n}$  Personalressourcenkostensatz (Werkstattsteuerung) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]

$K_{TWS,n}$  Technikressourcenkostensatz (Werkstattsteuerung) in Leistungseinheit  $n$  [€/Zeiteinheit]

$t_{WS,n}$  Werkstattsteuerungszeit je Kapazitätseinheit pro Auftrag in Leistungseinheit  $n$  [Zeit-

einheit]

$m_i$  Losgröße von Produktfamilie  $i$  [Stück]

Die erarbeiteten Kostenmodelle erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Vielmehr stellen sie ein Instrument zur Darstellung von wesentlichen Kostenauswirkungen in den direkten und indirekten Leistungsbereichen aufgrund der Veränderung in der Produktionstechnik und -organisation dar. Mit Hilfe der Modelle ist folglich eine ganzheitliche monetäre Bewertung von Integrationsmaßnahmen möglich.

### 4.2.3 Kostenmodell zur ganzheitlichen Bewertung von Integrationsmaßnahmen

Im Folgenden wird das Kostenmodell zur ganzheitlichen Bewertung von Integrationsmaßnahmen beschrieben. Es setzt sich aus den in den vorherigen Kapiteln definierten Kostenmodulen der Führungs- und Ausführungsprozesse zusammen (siehe Abbildung 4-15).

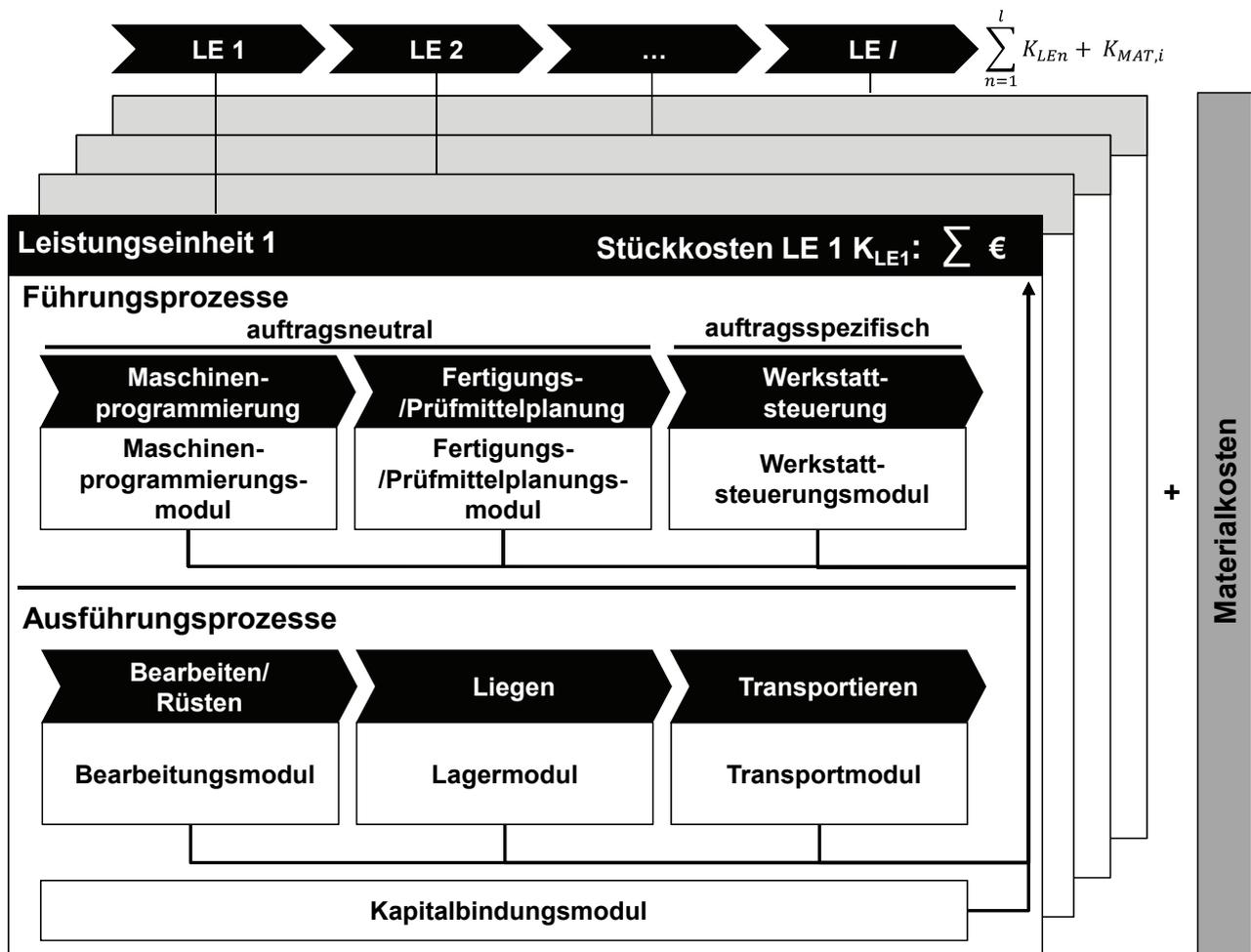


Abbildung 4-15: Kostenmodell – Leistungseinheit

Mit Hilfe der Kostenmodule ist es möglich, eine Leistungseinheit bzw. ein Arbeitssystem hinsichtlich der Stückkosten zu bewerten. Im Rahmen der Anwendung können eine oder mehrere Leistungseinheiten (z. B. Produktionssegmente und Arbeitsplätze) abgebildet und eine ganzheitliche Stückkostenberechnung durchgeführt werden. Die Stückkosten lassen sich dementsprechend wie folgt bestimmen:

$$K_{ST,i} = \sum_{n=1}^l K_{LE,n} + K_{MAT,i} \quad \text{Formel 4-14}$$

- $K_{ST,i}$  Kosten pro Stück für Produktfamilie  $i$  [€/Stück]
- $K_{LE,n}$  Kosten pro Stück für Produktfamilie  $i$  in Leistungseinheit  $n$  [€/Stück]
- $K_{MAT,i}$  Materialkosten für Produktfamilie  $i$  [€/Stück]
- $l$  Anzahl der zur Auftragsdurchsetzung benötigten Leistungseinheiten [-]

Zusammenfassend kann der Planer mit Hilfe des generischen Kostenmodells verschiedenartige Integrationsszenarien durch die Kenntnis relevanter Kostenfaktoren effizient bewerten und wird bei der Auswahl einer zielführenden Variante unterstützt.

## 5 Methode zur Integration nicht-konventioneller Verfahren

Auf Basis der modellierten Integrationskriterien wird im Folgenden die Methode zur Unterstützung der Integration nicht-konventioneller Verfahren in Produktionslinien konzipiert. Ziel der Methode ist es, den Planer bei der Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Fertigungs- und Montagelinien durchgängig zu unterstützen, indem bestehende mehrstufige Prozessketten hinsichtlich ihrer räumlichen und organisatorischen Trennung hinterfragt, über zu berücksichtigende Restriktionen informiert und Zusammenhänge zur Bewertung und Auswahl dargestellt werden. Dadurch sollen die bestehenden Defizite bezüglich der Integration nicht-konventioneller Verfahren (vgl. Kapitel 3.4) behoben und eine effiziente und effektive Integration ermöglicht werden.

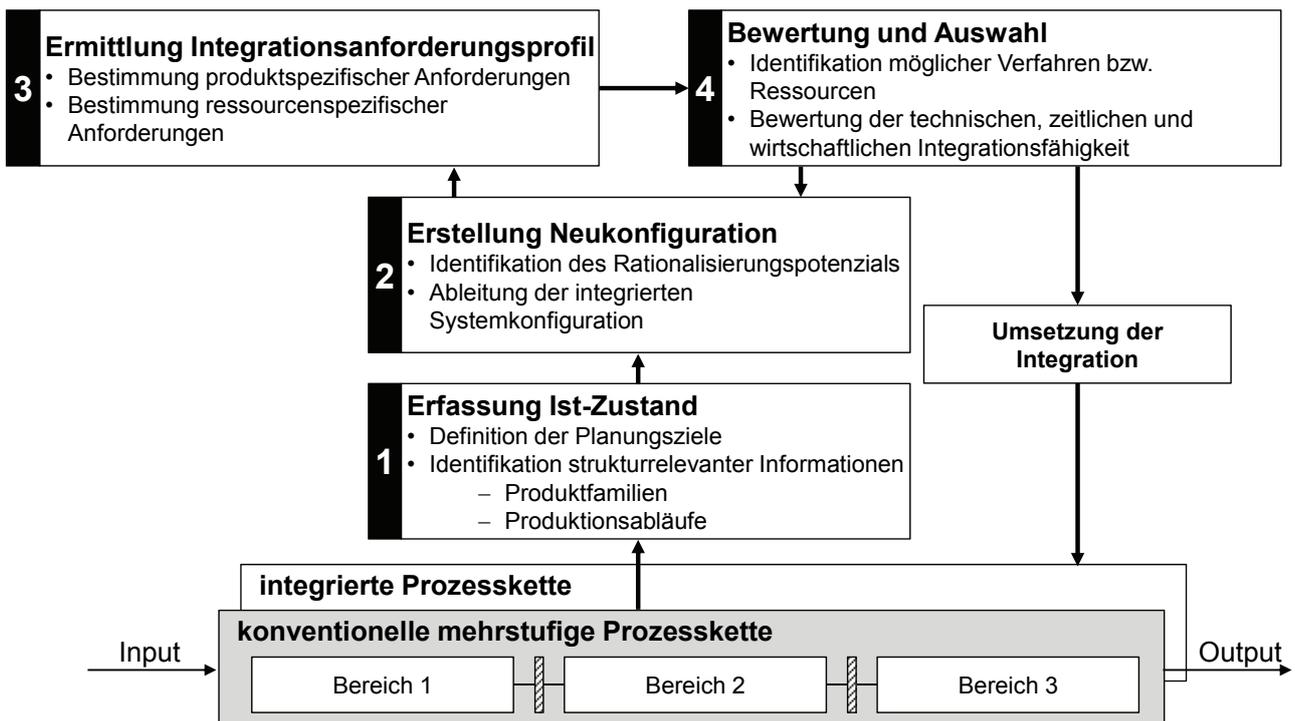


Abbildung 5-1: Methode zur Unterstützung der Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Produktionslinien

Die Methode gliedert sich insgesamt in vier Teilschritte (siehe Abbildung 5-1). Im Rahmen der Erfassung des Ist-Zustands wird die Planungsgrundlage unter Berücksichtigung von Anforderungen geschaffen, die sich aus der Integration von Prozessstufen ergeben. Zu diesem Zweck werden zu-

nächst die Planungsziele definiert und strukturelevante Informationen über die mehrstufige Prozesskette erfasst.

Die Erstellung der Neukonfiguration umfasst die Identifikation des Rationalisierungspotenzials der Produktfamilien sowie die Ableitung einer integrierten Systemkonfiguration. Das Rationalisierungspotenzial einer Produktfamilie durch die Prozessstufenintegration geschieht auf Basis der nicht-wertschöpfenden Prozesse (zusätzlicher Ressourcenbedarf) in den direkten und indirekten Produktionsbereichen zur Auftragsdurchführung in mehrstufigen Prozessketten. Hierzu wird eine Analyse basierend auf den Gesetzmäßigkeiten der erarbeiteten Kostenmodelle (vgl. Kapitel 4.2) herangezogen, um eine frühzeitige Beurteilung der bestehenden Prozesskettenkonfiguration auf Grundlage weniger Informationen zu ermöglichen. Die vorangestellte Analyse des Rationalisierungspotenzials soll insbesondere zur Überwindung der Vorprägung des Planers beitragen, indem integrationsbezogene Zusammenhänge und Aufwände innerhalb der bestehenden Prozesskette visualisiert werden. Bei der Ableitung einer integrierten Systemkonfiguration werden auf Basis der Analyse unterschiedliche Integrationsszenarien bewertet und ein erfolgsversprechendes Szenario unter Beachtung der Planungsziele definiert.

Im Rahmen der Erfassung des Integrationsanforderungsprofils werden Anforderungen aus der bestehenden Struktur an der Integrationsschnittstelle aufgenommen, da die systematische Erfassung von Restriktionen für eine erfolgreiche Planung besonders relevant ist (vgl. [Nyhuis/Zoleko 2007]). Es werden technische und zeitliche Integrationsanforderungen erhoben. Wirtschaftlichkeitsaspekte werden im nächsten Planungsschritt betrachtet. Zur Erfassung der technischen und zeitlichen Integrationsanforderungen werden folgende Gestaltungselemente der Prozesskette an der Integrations-schnittstelle einbezogen:

- Produkteigenschaften bewirkt durch vorgelagerte Verfahren
- Produkteigenschaften gefordert von nachgelagerten Verfahren
- Ressourceneigenschaften im Integrationsbereich

Zur Aufnahme der Eigenschaften werden die in Kapitel 4.1 beschriebenen Produkt- und Ressourcenmodelle verwendet.

Die Bewertung und Auswahl umfasst den Nachweis zur Integrationsfähigkeit von möglichen Verfahren bzw. Ressourcen. Auf Basis der identifizierten Integrationsanforderung aus dem vorherigen Planungsschritt erfolgt eine technische, zeitliche und wirtschaftliche Bewertung. Zunächst werden hierfür mögliche Verfahren identifiziert. Anschließend werden sie mit Hilfe der Modelle für Verfahren und Ressourcen (vgl. Kapitel 4.1.2 und 4.1.3) charakterisiert und anhand von Bewertungs-

modulen zeitlich, technisch und wirtschaftlich schrittweise hinsichtlich ihrer Integrationsfähigkeit bewertet. Die Bewertungsmodule unterscheiden sich entsprechend der jeweiligen Planungsphase in ihrem Betrachtungsumfang, verdeutlichen Zusammenhänge und stellen bei Bedarf spezifische Hilfsmittel zur Verarbeitung von Informationen im Rahmen der Auswahl und Bewertung bereit.

Ist der Nachweis der Integrationsfähigkeit positiv, kann mit der Umsetzung begonnen werden. Sollte eine Integration unter technischen, zeitlichen und/oder wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht möglich sein, können Maßnahmen in einem iterativen Ablauf zwischen Schritt zwei bis vier untersucht und abgeleitet werden.

## **6 Detaillierung der Methode**

Basierend auf der Konzeption der Methode und der erarbeiteten Integrationskriterien werden im Folgenden die einzelnen Teilschritte detailliert, um die Integration nicht-konventioneller Verfahren systematisch zu unterstützen.

### **6.1 Schritt 1: Erfassung der Ist-Situation**

Um eine Planungsbasis zu schaffen, bedarf es der Erfassung der Ist-Situation. Unter diesem Gesichtspunkt werden im Folgenden Planungsziele sowie strukturelevante Informationen bezüglich der Produkt- und Produktionsstruktur erläutert.

#### **6.1.1 Definition der Planungsziele**

Im Rahmen der Definition der Planungsziele soll die Zielsetzung der geplanten Rekonfiguration der Prozesskette festgelegt werden. Die durch die Integration nicht-konventioneller Verfahren in Produktionslinien erreichbaren Ziele stellen insbesondere kürzere Durchlaufzeiten, erhöhte Reaktionsfähigkeit, niedrigere Bestände, weniger Raumbedarf (Flächenbedarf), weniger Ausrüstungen, Verkürzung der Qualitätsregelkreise und weniger Aufwendungen in der Produktionsplanung und -steuerung dar. Als übergeordnetes Ziel kann beispielsweise die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit bzw. die Reduzierung der Kosten pro Stück verstanden werden. Die Ziele sind je nach Planungsfall individuell festzulegen.

#### **6.1.2 Identifikation strukturelevanter Informationen**

Die Identifikation strukturelevanter Informationen soll die ganzheitliche Erfassung der Ist-Situation des Produktionsablaufs für unterschiedliche Produktfamilien ermöglichen. Es soll die Grundlage für die Identifikation des Rationalisierungspotenzials einer Produktfamilie durch Integra-

tion der Prozesskette und der Ableitung einer potenziellen integrierten Systemkonfiguration geschaffen werden.

Eine Methode, die diesen Anforderungen entspricht und oftmals in der unternehmerischen Praxis etabliert ist, stellt die Wertstromanalyse dar. Es wird das Ziel verfolgt, den Ist-Zustand der gesamten Produktion mit Material- und Informationsflüssen übersichtlich und umfassend darzustellen sowie Verbesserungspotenziale aufzuzeigen. Für die Ist-Analyse werden die Produktionsprozesse, Material- und auch Informationsflüsse einer bestimmten Produktfamilie berücksichtigt und durch einfache Symbole visualisiert [Erlach 2010, Rother/Shook 2004].

Mit Hilfe der Wertstromanalyse werden die unterschiedlichen Produktionsbereiche über organisatorische Kenngrößen (z. B. Prozesszeiten, Rüstzeiten und Losgrößen) sowie deren gegenseitigen Abhängigkeiten (z. B. Prozessfolge und Transporte) beschrieben. Darüber hinaus werden sämtliche Aktivitäten für die Produktionsplanung und -steuerung erfasst.

Das zentrale Ergebnis der Wertstromanalyse ist eine mit standardisierten Symbolen erstellte Wertstromzeichnung (siehe Abbildung 6-1).

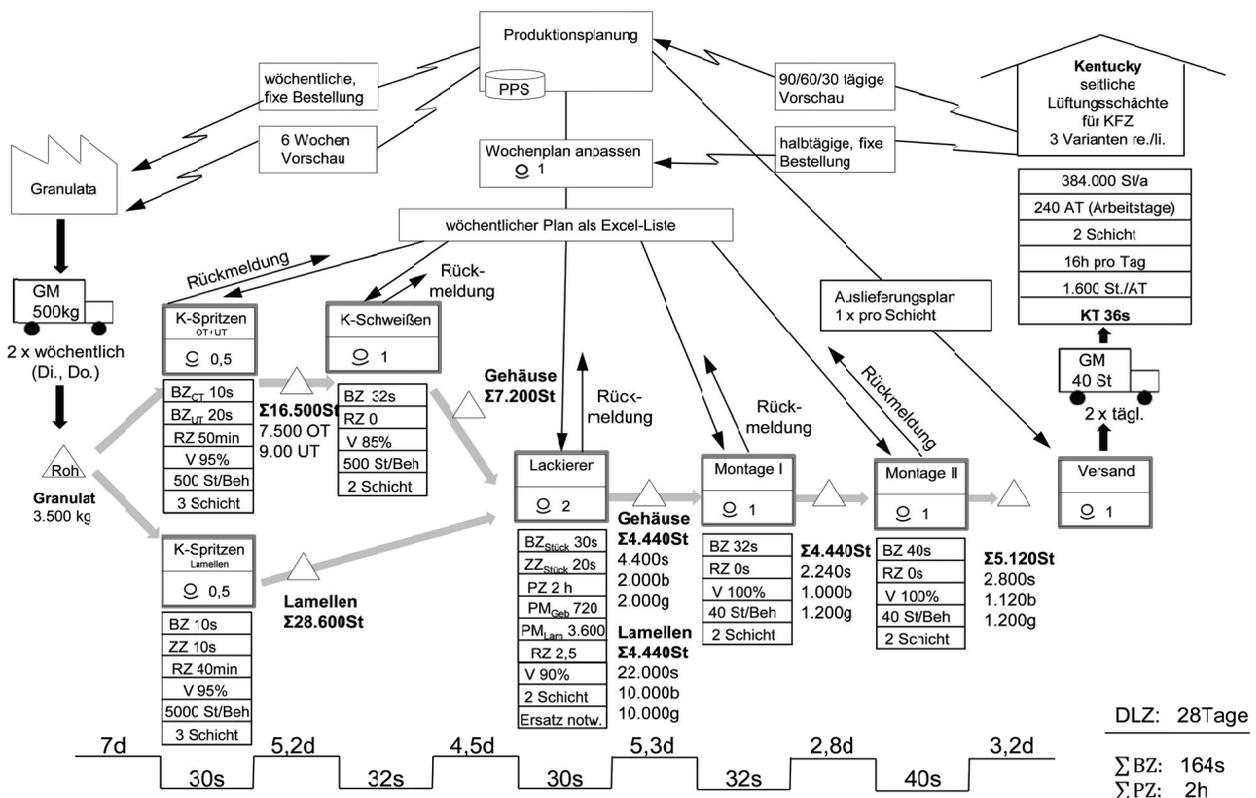


Abbildung 6-1: Beispiel einer Wertstromanalyse [Erlach 2010]

Für die Identifikation des Rationalisierungspotenzials sind die organisatorischen Kenngrößen des Produktionsablaufs einer Produktfamilie lediglich rudimentär zu erfassen. Es sind beispielsweise

Prozesse und deren Materialflussverknüpfungen zu skizzieren. Darüber hinaus sind weitere Informationen zur Prozesskette insbesondere im indirekten Bereich zu erheben. Der notwendige Informationsbedarf ist in Kapitel 6.2.1 erläutert.

## **6.2 Schritt 2: Erstellung der Neukonfiguration**

Im Folgenden wird die Erstellung der Neukonfiguration beschrieben, die bei der Identifikation einer oder mehrerer Produktfamilien mit hohem Rationalisierungspotenzial durch Prozessstufenintegration und der Ableitung eines potenziellen Integrations szenarios unterstützen soll. Insbesondere soll die Vorprägung des Planers überwunden werden, indem bestehende mehrstufige Prozessketten gezielt in Frage gestellt werden.

### **6.2.1 Identifikation des Rationalisierungspotenzials**

Im Rahmen der Identifikation des Rationalisierungspotenzials sollen dem Planer auf Basis des im ersten Schritt rudimentär erfassten Ist-Zustands Verschwendungen innerhalb der fertigungstechnischen Prozesskette in einer aggregierten Form aufgezeigt werden. Es sollen konventionelle mehrstufige Prozessketten hinsichtlich ihrer räumlichen und organisatorischen Trennung hinterfragt werden.

Um eine qualitative Identifikation des eigentlichen Rationalisierungspotenzials durch die Integration von getrennten Bereichen zu ermöglichen und eine ganzheitliche Abbildung der Auswirkungen von Integrationsmaßnahmen zu erreichen (vgl. Kapitel 2.7 und 3.4), wird der materialfluss- (physische Produktion) und informationsflussbezogene (Arbeitsablaufplanung, Werkstattsteuerung) Integrationsgrad eingeführt. Die Integrationsgrade basieren auf kostenbezogenen Zusammenhängen in fertigungstechnischen Prozessketten (vgl. Kapitel 4.2) sowie der Voraussetzung, dass jegliche Art von Verschwendung im Produktionsprozess vermieden werden soll und beziehen sich auf sämtliche Prozesse, die im Betrachtungsbereich in Abbildung 6-2 dargestellt sind. Informations- und Materialflüsse, die den Betrachtungsbereich durchdringen, werden nicht betrachtet. Zudem werden keine möglichen Parallelisierungen von Prozessen und nur gerichtete Materialflüsse ohne Rückflüsse berücksichtigt.

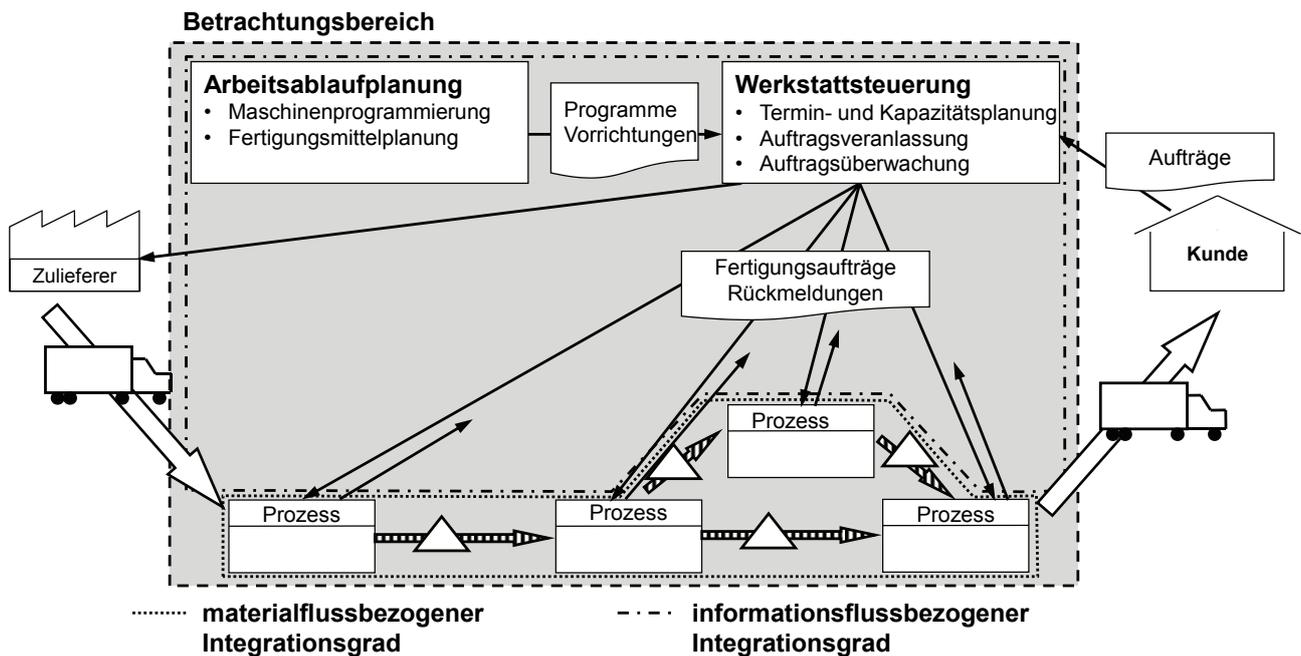


Abbildung 6-2: Betrachtungsbereich zur Bestimmung des materialfluss- und informationsflussbezogenen Integrationsgrads

Wie in Abbildung 6-2 ersichtlich, sind verschiedenartige Aufwendungen in den direkten und indirekten Wertschöpfungsbereichen zur Auftragsdurchführung notwendig. Nicht wertschöpfende Aufwendungen (bzw. Verschwendungen) aus der Sicht des Kunden in den indirekten Bereichen (z.B. Maschinenprogrammierungs- und Werkstattsteuerungsaufwendungen) werden im Folgenden als informationsflussbezogene Aufwendungen und in den direkten Bereichen (z.B. Raum- und Transportaufwendungen) als materialflussbezogene Aufwendungen bezeichnet.

Der informationsflussbezogene Integrationsgrad dient der qualitativen Identifikation des Rationalisierungspotenzials hinsichtlich informationsflussbezogener Aufwendungen im Produktionsprozess und umfasst den Integrationsgrad der Werkstattsteuerung und der Arbeitsablaufplanung.

Da die Aufwendungen der Werkstattsteuerung im Wesentlichen von der Anzahl zu steuernder Produktionsstufen und der Verschiedenartigkeit der Aufträge abhängig sind (vgl. Kapitel 2.4.3 und 4.2.2), wird der Integrationsgrad der Werkstattsteuerung wie folgt definiert:

$$\eta_{ws,i} = 1 - \frac{n_{KAP,i} \times n_{A,i}}{k_{WS,min}^I} \quad \text{Formel 6-1}$$

- $\eta_{ws,i}$  Integrationsgrad der Werkstattsteuerung für Produktfamilie  $i$  [Prozent]
- $n_{KAP,i}$  Anzahl der zu planenden und steuernden Kapazitäten pro Auftrag für Produktfamilie  $i$  [-]

- $n_{A,i}$  Anzahl der Aufträge im Betrachtungszeitraum für Produktfamilie  $i$  [1/Zeiteinheit]  
 $k_{WS,min}^I$  Faktor zur Festlegung des minimalen Integrationsgrads der Werkstattsteuerung,  
 $\eta_{ws,i} = 0 \%$  [1/Zeiteinheit]

Formel 6-2 setzt voraus, dass die Werkstattsteuerungszeit je Kapazitätseinheit pro Auftrag, der Personal- und Technikressourcenkostensatz der Werkstattsteuerung für unterschiedliche Produktfamilien gleich bzw. vergleichbar sind.

Die Anzahl der zu planenden und steuernden Kapazitätseinheiten ist wesentlicher Treiber für die Aufwendungen im Bereich der Werkstattsteuerung (Termin- und Kapazitätsplanung, Auftragsveranlassung und Auftragsüberwachung). Die erforderlichen Tätigkeiten haben einen direkten Auftragsbezug und weisen in Abhängigkeit der Prozesskettenkonfiguration (z. B. Push und Pull) unterschiedliche Umfänge auf. Daher werden über die Anzahl der zu planenden und steuernden Kapazitätseinheiten, diejenigen Kapazitäten erfasst, die einer übergeordneten Fremdorganisation (nicht selbstorganisierend) bedürfen. Je geringer dieser Wert ist, desto mehr selbstorganisierender Prinzipien sind implementiert oder weniger zu planende und steuernde Kapazitätseinheiten sind vorhanden. Zudem sind die Aufwendungen pro Auftrag in der Werkstattsteuerung geringer. Der Idealzustand ist folglich erreicht, wenn keine zu planenden und steuernden Kapazitätseinheiten vorhanden sind.

Bei der Werkstattsteuerung handelt es sich um wiederkehrende Aufwendungen pro Auftrag (Planungs- und Steuerungsaufwendungen fallen bei jedem Auftrag erneut an). Daher wird die Häufigkeit der Durchführung von Werkstattsteuerungstätigkeiten in Form der Anzahl der Aufträge im Betrachtungszeitraum für eine Produktfamilie berücksichtigt, wodurch die Bewertung der Aufwandsintensität möglich wird.

Mit Hilfe des Integrationsgrads soll lediglich eine qualitative Abschätzung der Aufwendungen zur Auftragsdurchsetzung unterschiedlicher Produktfamilien vorgenommen werden. Um dies zu erreichen wird der Faktor zur Festlegung des Integrationsgrads 0% der Werkstattsteuerung eingeführt. Zur Bestimmung des Faktors kann folgende Gleichung herangezogen werden:

$$k_{WS,min}^I = \max_{1 \leq i \leq j} (n_{KAP,i}) \times \max_{1 \leq i \leq j} (n_{A,i}) \quad \text{Formel 6-3}$$

- $j$  Anzahl der betrachteten Produktfamilien [-]

Mit Hilfe des Integrationsgrads der Werkstattsteuerung können verschiedene Produktfamilien hinsichtlich des Planungs- und Steuerungsaufwand qualitativ verglichen und diejenige Produktfamilie identifiziert werden, welche den Großteil der Aufwendungen hervorruft.

Während der Integrationsgrad der Werkstattsteuerung Wiederholcharakter aufweist, umfasst der im Folgenden beschriebene Integrationsgrad der Arbeitsablaufplanung einmalige Vorbereitungsaufwendungen, die lediglich bei erstmaliger Ausführung eines Auftrags anfallen:

$$\eta_{AAP,i} = 1 - \frac{(n_{MAP,i} + n_{FMP,i}) \times (n_{A,i} - n_{AW,i})}{k_{AAP,min}^I} \quad \text{Formel 6-4}$$

- $\eta_{AAP,i}$  Integrationsgrad der Arbeitsablaufplanung für Produktfamilie  $i$  [Prozent]
- $n_{MAP,i}$  Anzahl der Maschinenprogramme (NC-RC-MC) pro Auftrag für Produktfamilie  $i$  [-]
- $n_{FMP,i}$  Anzahl der Fertigungsmittelplanungen pro Auftrag für Produktfamilie  $i$  [-]
- $n_{A,i}$  Anzahl der Aufträge im Betrachtungszeitraum für Produktfamilie  $i$  [1/Zeiteinheit]
- $n_{AW,i}$  Anzahl der Auftragswiederholungen im Betrachtungszeitraum für Produktfamilie  $i$  [1/Zeiteinheit]
- $k_{AAP,min}^I$  Faktor zur Festlegung des minimalen Integrationsgrad der Arbeitsablaufplanung,  $\eta_{AAP,i} = 0$  % für Produktfamilie  $i$  [1/Zeiteinheit]

In Formel 6-4 werden die Planungsaufgaben der Arbeitsablaufplanung berücksichtigt, die im Wesentlichen durch das technische System in der physischen Produktion geprägt werden und dadurch auch bei der technischen Integration berücksichtigt werden müssen (vgl. Kapitel 2.7 und 4.2). Als Prämisse wird definiert, dass Zeit- und Kostenaufwendungen für unterschiedliche Produktfamilien bezogen auf die Maschinenprogrammierung und Fertigungsmittelplanung gleich bzw. vergleichbar sind.

Die Anzahl der Maschinenprogramme sowie der Fertigungsmittelplanung pro Auftrag werden für eine Produktfamilie in einem ausgeglichenen Aufwandsverhältnis einbezogen. Mehr- oder Minderaufwendungen für die Maschinenprogrammierung im Vergleich zur Fertigungsmittelplanung können bei Bedarf individuell über Gewichtungen ergänzt werden. Die Arbeitsplanerstellung und die Stücklistenverarbeitung finden keine Beachtung, da diese Aufgaben nicht direkt von der technischen Konfiguration der Prozesskette (z. B. Automatisierungsgrad und Universalität der Betriebsmittel bzw. Vorrichtungen) abhängig sind (vgl. Kapitel 2.4.2).

Die Intensität der Aufwendungen für die Maschinenprogrammierung und Fertigungsmittelplanung werden über die Differenz aus der Anzahl der Aufträge und der Auftragswiederholungen im Betrachtungszeitraum berücksichtigt. Entsprechen die Auftragswiederholungen der Anzahl der Aufträge (Fertigungsaufträge und Fertigungsfreigabeeinheiten), ergibt sich ein Integrationsgrad der Arbeitsablaufplanung von 100 %. Handelt es sich ausschließlich um Neuaufträge, werden die An-

zahl der Maschinenprogramme und durchzuführenden Fertigungsmittelplanungen – sofern diese zur Auftragsdurchführung benötigt werden – nicht durch die Auftragswiederholungen kompensiert.

Analog zum Integrationsgrad der Werkstattsteuerung wird ein Faktor zur Festlegung des Integrationsgrad 0% in der Arbeitsablaufplanung eingeführt. Um den Faktor für die Tätigkeiten der Arbeitsablaufplanung zu bestimmen, kann folgende Gleichung herangezogen werden:

$$k_{AAP,min}^I = \max_{1 \leq i \leq j} (n_{MAP,i} + n_{FMP,i}) \times \max_{1 \leq i \leq j} (n_{A,i} - n_{AW,i}) \quad \text{Formel 6-5}$$

Anhand der definierten Integrationsgrade für die Werkstattsteuerung und Arbeitsablaufplanung kann der informationsflussbezogene Integrationsgrad zur qualitativen Abschätzung der Aufwendung einer Produktfamilie im Vergleich zu anderen im indirekten Bereich bestimmt werden. In der nachfolgenden Formel ist der mathematische Zusammenhang zur Berechnung aufgezeigt:

$$\eta_{I,i} = \eta_{WS,i} \times \eta_{AAP,i} \quad \text{Formel 6-6}$$

$\eta_{I,i}$  informationsflussbezogener Integrationsgrad für Produktfamilie  $i$  [Prozent]

Zu beachten ist, dass es sich um eine aggregierte Sicht zweier qualitativer Größen handelt. Daher empfiehlt es sich, den Integrationsgrad der Werkstattsteuerung und Arbeitsablaufplanungen stets einzeln zu betrachten.

Mit Hilfe des informationsflussbezogenen Integrationsgrad kann in Abhängigkeit der Prozesskettenkonfiguration (z. B. Auftragszusammensetzung und notwendige Maschinenprogramme zur Auftragsdurchsetzung) der aktuelle Integrationsgrad der indirekten Bereiche bestimmt und die Wirkung der Integration der Prozesskette beurteilt werden. Zudem können Produktfamilien hinsichtlich des größten Rationalisierungspotenzials identifiziert werden. Je geringer der informationsflussbezogene Integrationsgrad ist, desto höher ist das Rationalisierungspotenzial einer Produktfamilie.

Um die materialflussbezogenen Verschwendungen im Produktionsprozess qualitativ zu bewerten, wird der materialflussbezogene Integrationsgrad eingeführt. Dieser basiert auf den Aufwendungen (bzw. Verschwendungen) für den Transport zwischen den Arbeitsplätzen bzw. den verschiedenen Bereichen innerhalb der Produktion und deren Intensität. Der materialflussbezogene Integrationsgrad wird wie folgt definiert:

$$\eta_{M,i} = 1 - \frac{n_{MFV,i} \times n_{A,i} \times \left[ \frac{m_i}{\varnothing T_{K_i}} \right]}{k_{tech,min}^I} \quad \text{Formel 6-7}$$

$\eta_{M,i}$  materialflussbezogener Integrationsgrad für Produktfamilie  $i$  [Prozent]

$n_{MFV,i}$	Anzahl der Materialflussverknüpfungen zwischen Arbeitsplätzen bzw. Bereichen für Produktfamilie $i$ [-]
$n_{A,i}$	Anzahl der Aufträge im Betrachtungszeitraum für Produktfamilie $i$ [1/Zeiteinheit]
$m_i$	Losgröße von Produktfamilie $i$ [Stück]
$\varnothing T_K$	durchschnittliche Transportmenge von Produktfamilie $i$ [Stück]
$k_{tech,min}^I$	Faktor zur Festlegung des minimalen materialflussbezogenen Integrationsgrads, $\eta_{tech,i} = 0\%$ [1/Zeiteinheit]

Die Anzahl der Materialflussverknüpfungen beschreibt die Menge der notwendigen innerbetrieblichen Transporte zur Verknüpfung der Arbeitsplätze bzw. -bereiche. Über die Anzahl der Aufträge (Produktionsaufträge), der Losgröße und der Transportmenge wird die Intensität der Materialflussaufwendung berücksichtigt. Sollte ein Produktionsauftrag (Losgröße) mehrere Transportspiele zwischen den Arbeitsplätzen bzw. -bereichen erfordern, werden die Mehraufwendungen für den Transport pro Auftrag über die Multiplikation mit den Transportspielen (Quotient aus Losgröße zu Transportkapazität) berücksichtigt. Es wird angenommen, dass Zeit- und Kostenaufwendungen für unterschiedliche Produktfamilien hinsichtlich des Transports gleich bzw. vergleichbar sind.

Als Bezugsgröße wird der Faktor  $k_{tech,min}^I$  eingeführt. Dieser definiert analog zu den bereits vorgestellten Integrationsgraden den Integrationsgrad 0% und kann wie folgt festgelegt werden:

$$k_{tech,min}^I = \max_{1 \leq i \leq j} (n_{MFV,i}) \times \max_{1 \leq i \leq j} (n_{A,i}) \times \max_{1 \leq i \leq j} \left[ \frac{m_i}{\varnothing T_{K,i}} \right] \quad \text{Formel 6-8}$$

Der definierte materialflussbezogene Integrationsgrad wird maximal (100%), wenn keinerlei Transporte zur Herstellung eines Produkts notwendig sind. Bei diesem Grenzfall sind die materialflussbezogenen Aufwendungen im Produktionsprozess annähernd eliminiert, da charakteristische Eigenschaften der physischen Produktion wie Raumbedarf, Bestände, technische Einrichtungen und Zeiten minimiert sind. Außerdem sind bei einer geringen Anzahl an Aufträgen verglichen zu den anderen Produktfamilien und gleichzeitig nur einem Transportspiel die Materialflussaufwendungen der betrachteten Produktfamilie zu vernachlässigen. Entsprechend zum informationsflussbezogenen Integrationsgrad ist das Rationalisierungspotenzial höher, je geringer der materialflussbezogene Integrationsgrad ist.

Anhand des informationsfluss- und materialflussbezogenen Integrationsgrads lassen sich Verschwendungen innerhalb der fertigungstechnischen Prozesskette auf einer aggregierten Ebene quali-

tativ bestimmen. Mehr- oder Minderaufwendungen für einzelne Eingangsvariablen der Integrationsgrade können bei Bedarf individuell über Gewichtungsfaktoren berücksichtigt werden.

Aufgrund der Berücksichtigung von Verschwendungen im Produktionsprozess und der aggregierten Sichtweise auf die gesamte Prozesskette wird Rationalisierungspotenzial hinsichtlich der Integration der Prozesskette aufgezeigt. Es wird die Basis für die Auswahl einer potenziellen Produktfamilie bezüglich der Prozessstufenintegration im Rahmen der Ableitung einer integrierten Systemkonfiguration geschaffen.

### 6.2.2 Ableitung der integrierten Systemkonfiguration

Bei der Ableitung der integrierten Systemkonfiguration sollen bestehende Denkmuster bezüglich des Aufbaus und der Optimierung heutiger fertigungstechnischer Prozessketten überwunden werden. Daher sollen auch momentan unwahrscheinliche und nie in Erscheinung getretene Lösungen dargestellt werden können. Die Bewertung der Machbarkeit und Sinnhaftigkeit einer potenziellen technischen Integrationsmaßnahme erfolgt im nächsten Planungsschritt.

Im Folgenden wird ein Diagramm zur Visualisierung des informationsfluss- und materialflussbezogenen Integrationsgrads vorgestellt (siehe Abbildung 6-3). Mit Hilfe dieses Diagramms lässt sich die aktuelle Prozesskettenkonfiguration bezüglich implementierter Integrationsmaßnahmen einstufen und frühzeitig beurteilen, welche Integrationsmaßnahme zu einer Leistungssteigerung der Prozesskette führt.

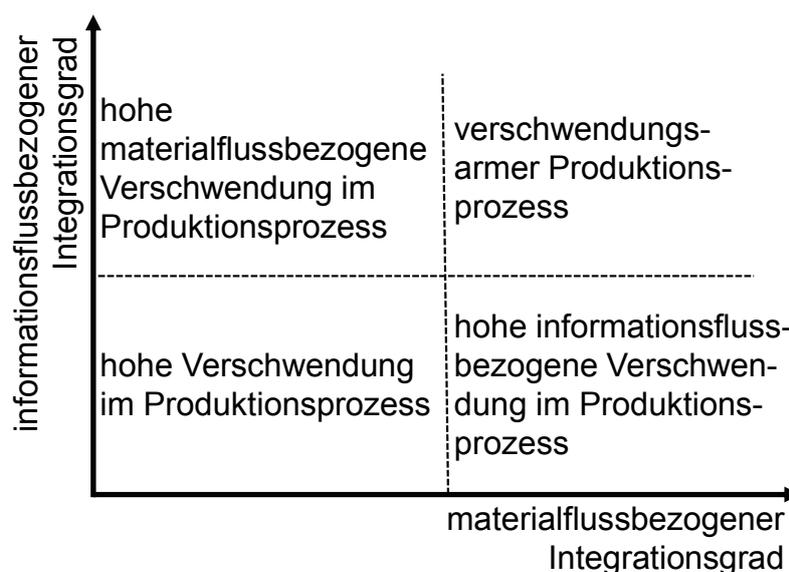


Abbildung 6-3: Diagramm zur Ableitung einer integrierten Systemkonfiguration

Im gezeigten Diagramm können unterschiedliche Ist-Zustände der Prozesskettenkonfiguration existieren. Liegt ein niedriger informationsfluss- und materialflussbezogener Integrationsgrad vor, handelt es sich um einen Produktionsablauf mit hoher Verschwendung. Im Falle eines hohen informationsfluss- bzw. materialflussbezogenen Integrationsgrads bei gleichzeitig niedrigem materialfluss- bzw. informationsflussbezogenen Integrationsgrad, sind hohe materialfluss- bzw. informationsflussbezogene Verschwendungen im Produktionsablauf die Folge. Liegen beide Integrationsgrade bei nahezu 100 %, kann von einem verschwendungsarmen Produktionsprozess gesprochen werden. Die Bereichsgrenze der vier Quadranten kann über den Schwerpunkt der Integrationsgrade ermittelt werden.

Ausgehend von der Ist-Situation lassen sich mit Hilfe des Diagramms verschiedene Maßnahmen zur Effizienzsteigerung bzw. zur Eliminierung von Verschwendung im Produktionsprozess ableiten. Zum einen können selbstorganisierende Prinzipien wie Kanban eingeführt werden und der informationsflussbezogene Integrationsgrad gesteigert werden. Dadurch reduziert sich die Anzahl der zu planenden und steuernden Kapazitäten und die Komplexität sowie die Aufwendungen in der Werkstattsteuerung sinken. Dieser Ansatz wird oftmals in der betrieblichen Praxis verfolgt und implementiert. Darüber hinaus können Produktionsaufträge zusammengefasst werden. Zu beachten ist, dass hierdurch beispielweise Durchlaufzeiten vergrößert werden.

Zur Erhöhung des materialflussbezogenen Integrationsgrads ist die Zusammenführung von Prozessschritten notwendig. Hierunter ist die räumliche und organisatorische Zusammenführung (Übergang zum Linienprinzip) von ursprünglich getrennten Bereichen bzw. Arbeitsplätzen zu verstehen. Eine technische Integrationsmaßnahme kann fallabhängig positive und negative Auswirkungen auf den informationsflussbezogenen Integrationsgrad haben, die im Folgenden näher erläutert werden.

Eine technische Integrationsmaßnahme impliziert stets eine Minimierung der Verschwendung (z. B. Bestände, Raum und Transport) im direkt wertschöpfenden Bereich. Sofern es sich bei der Auftragszusammensetzung überwiegend um Wiederholaufträge handelt, entstehen keinerlei negative Auswirkungen auf den Integrationsgrad der Arbeitsablaufplanung (vgl. Formel 6-4). In diesem Fall ist die Zusammenführung von Prozessen als potenzielles Integrationsszenario anzusehen, da der materialflussbezogene Integrationsgrad verbessert wird. In Abhängigkeit des umgesetzten Steuerungsprinzips der Prozesskette (z. B. Push und Pull) kann durch eine technische Integrationsmaßnahme zusätzliches Rationalisierungspotenzial im Bereich der Werkstattsteuerung durch die Reduzierung der zu planenden und steuernden Kapazitäten erhoben werden.

Sollte es sich um eine geringe Anzahl an Auftragswiederholungen handeln, kann eine technische Integration unter Umständen nicht zielführend sein, da diese zu zusätzlichen Aufwendungen (Maschinenprogrammierung und Fertigungsmittelplanung) in der Arbeitsablaufplanung führen kann. Sind diese nicht zu erwarten oder gegebenenfalls durch intelligente Maschinen- bzw. Anlagenkonzepte (z. B. Produktneutrale oder variable Vorrichtungen oder automatische Programmgenerierung) zu kompensieren, ist die technische Integration auch bei dieser Konstellation als erfolgversprechend zu erachten. Analog zur Werkstattsteuerung können Produktionsaufträge zur Erhöhung des materialflussbezogenen Integrationsgrads zusammengefasst werden. Auch hier sind weitere Zielgrößen wie Durchlaufzeiten und Bestände zu beachten.

Mit Hilfe der vorgestellten Integrationsgrade lässt sich in vermeintlich optimal konfigurierten Prozessketten aufgrund des Wissens und der Vorprägung des Planers Integrationspotenzial identifizieren. Der Planer wird dazu angeregt, über vollkommen neue Verfahren und Ressourcen nachzudenken, die eine Integration ermöglichen und dem Ideal eines verschwendungsarmen Produktionsprozesses nachkommen. Auch in Prozessketten mit niedrigem materialfluss- und informationsflussbezogenen Integrationsgrad (z. B. mehrstufige Produktion, Push-Prinzip und hohe Anzahl an Aufträgen) kann der Planer die technische Integration vorantreiben und dadurch gleichzeitig den materialflussbezogenen Integrationsgrad verbessern, da insbesondere bei dieser Konstellation oftmals selbstorganisierende Prinzipien wie Kanban aufgrund der Variantenvielfalt scheitern. Demnach ist auch in diesem Fall ein verschwendungsarmer Produktionsprozess ausschließlich durch die technische Integration der Prozesse zu erreichen. Zudem lässt sich das Diagramm als Benchmark heranziehen, um kontinuierlich die Integration der Prozesskette voranzutreiben.

Zusammenfassend wird dem Planer Rationalisierungspotenzial unterschiedlicher Produktfamilien aufgezeigt. Außerdem wird er beim Überwinden bestehender Bereichsgrenzen unterstützt und kontinuierlich aufgefordert, die Integration voranzutreiben. Dadurch kann eine potenzielle integrierte Systemkonfiguration unter Berücksichtigung der Planungsziele abgeleitet werden.

Sofern sich die technische Integrationsmaßnahme nicht durch alleinige Verlagerung der Produktionsressource umsetzen lässt, wie es bei nicht-konventionellen Verfahren der Fall ist, müssen zum Nachweis der tatsächlichen Realisierbarkeit aus wirtschaftlicher, technischer und zeitlicher Sicht die folgenden Planungsschritte durchlaufen werden.

### **6.3 Schritt 3: Ermittlung des Integrationsanforderungsprofils**

Das Ziel der Ermittlung des Integrationsanforderungsprofils ist die explizite Beschreibung der hervorgehenden Restriktionen aus der aktuellen Produktionsstruktur. Das Integrationsanforderungsprofil soll für die anschließende Bewertung und Auswahl möglicher Verfahren bzw. Ressourcen genutzt werden.

Im Folgenden werden die zu erfassenden Eigenschaften an der Integrationsschnittstelle dargestellt. Diese umfassen produkt- und ressourcenspezifische Anforderungen. Des Weiteren wird auf zu berücksichtigende Einflussgrößen und Möglichkeiten zur Erfassung eingegangen.

#### **6.3.1 Bestimmung der produktspezifischen Anforderungen**

In diesem Planungsschritt soll an der Integrationsschnittstelle der vorliegende Bauteil- und der zu erzielende Bauteilzwischenzustand charakterisiert werden, da die systematische Erfassung von Restriktionen als besonders erfolgsrelevant gilt (vgl. [Nyhuis/Zoleko 2007]). Die Bauteilzwischenzustände stellen Anforderungen an ein mögliches Verfahren bzw. einer Ressource und bilden die Basis für die anschließende Bewertung und Auswahl. Zur Erfassung der produktspezifischen Eigenschaften wird auf das in Kapitel 4.1.1 beschriebene Produktmodell zurückgegriffen.

Für den Bauteileingangszustand und -ausgangszustand gilt es die primären Produkteigenschaften (z. B. geometrische Eigenschaften), die sekundären (z. B. physikalische Kontaminationen) und die organisatorischen Eigenschaften (z. B. Kundenbedarf) zu erfassen. Die organisatorischen Eigenschaften sind lediglich für den Bauteilzwischenzustand im Integrationsbereich aufzunehmen, da die organisatorischen Größen in diesem Bereich die Anforderungen an die zeitliche Leistungsfähigkeit definieren (siehe Abbildung 6-4).

Für die Erfassung der Bauteilzwischenzustände empfiehlt es sich, diese unter Berücksichtigung von möglichen Verfahrensanforderungen durchzuführen. Dadurch werden lediglich die kritischen Produkteigenschaften berücksichtigt und die unnötige Aufnahme nicht relevanter Produkteigenschaften vermieden. Als Datengrundlage können Stücklisten und technische Zeichnungen herangezogen werden.

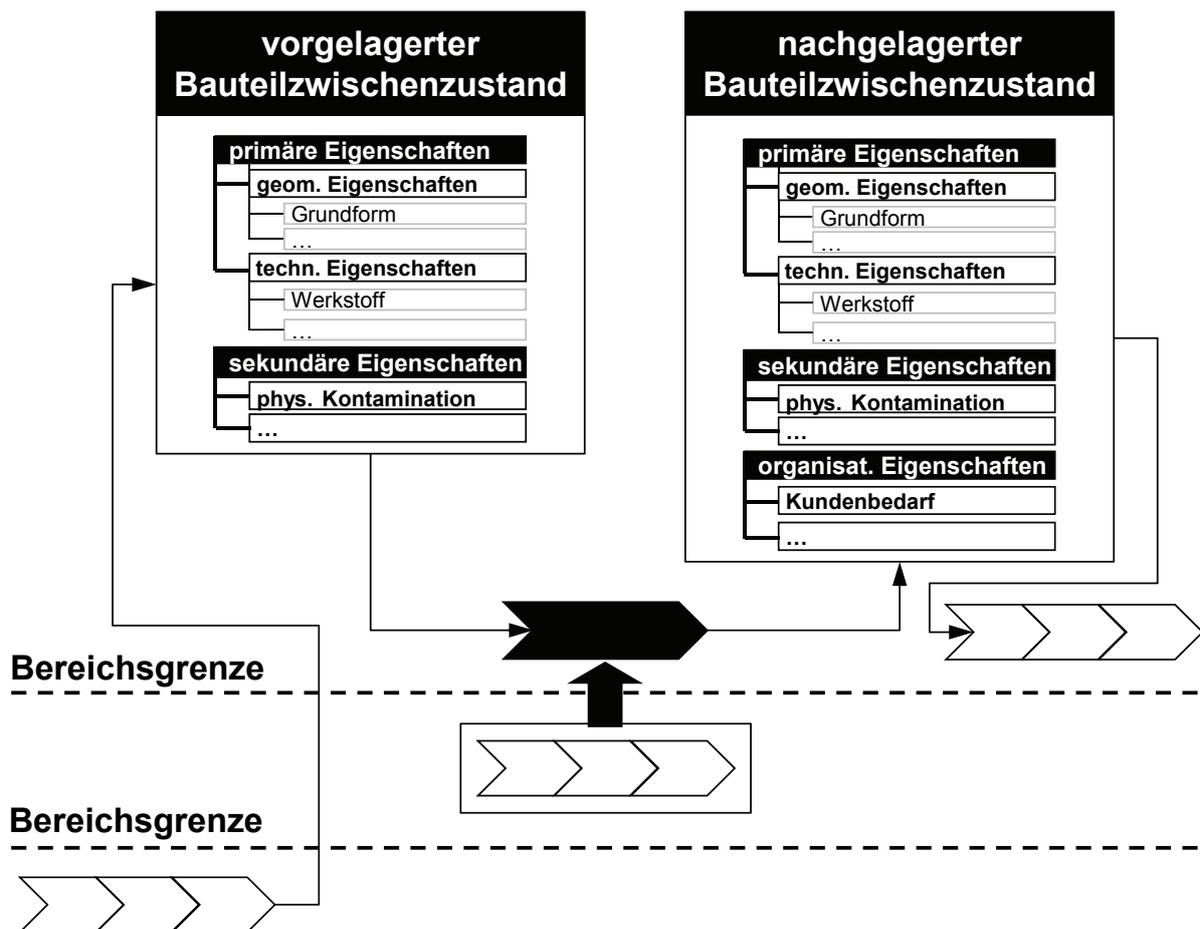


Abbildung 6-4: Ermittlung des vor- und nachgelagerten Bauteilzwischenzustands

Des Weiteren muss beachtet werden, dass innerhalb einer Produktfamilie unterschiedliche Varianten hergestellt werden. Um die produktspezifischen Anforderungen zu erfassen, muss daher ein Repräsentativwerkstück definiert werden, das aus fertigungstechnischer Sicht sämtliche relevante Produkteigenschaften berücksichtigen soll.

### 6.3.2 Bestimmung der ressourcenspezifischen Anforderungen

Analog zum vorherigen Teilschritt zur Bestimmung der produktspezifischen Anforderungen werden in diesem Schritt die ressourcenspezifischen Anforderungen ermittelt. Sie bilden die Grundlage für die spätere Bewertung der Integrationsfähigkeit einer möglichen Ressource. Zur Erfassung der Eigenschaften wird das in Kapitel 4.1.3 beschriebene Ressourcenmodell in gekürzter Form verwendet. Es umfasst produktbezogene und produktionsumfeldbezogene Eigenschaften. Die produktbezogenen Eigenschaften beinhalten den Werkstück- und Werkzeugfluss (Mikrobereich), die Taktzeit und die Immissionen. Da die Kriterien Werkstück- und Werkzeugfluss sowie Taktzeit lediglich auf

Mikroebene einer Produktionsressource anzuwenden sind (vgl. Kapitel 4.1.3), werden diese bei der Erfassung der produktbezogenen Ressourceneigenschaften nicht berücksichtigt. Die Immissionen hingegen sind im Rahmen der Charakterisierung des Integrationsbereichs von Bedeutung. Der Immissionswert gibt Aufschluss, in welchem Maße die Ressourcen im Integrationsbereich in der Lage sind, freigesetzte Emissionen aufzunehmen, ohne dass eine Beeinträchtigung der Prozesse erfolgt. Daher sind die zulässigen Immissionen im Integrationsbereich zu erfassen und die Grenzwerte der unterschiedlichen Immissionsarten zu ermitteln. Eine Übersicht möglicher Arten kann aus dem aktuellen Stand der Technik sowie gesetzlichen Vorschriften und/oder Richtlinien entnommen (vgl. Kapitel 2.3) werden. In den Richtlinien sind Emissionen wie Lärm, Dämpfe, Stäube und Strahlung aufgeführt. Um den Erhebungsaufwand möglichst gering zu halten, ist es auch hier empfehlenswert, die relevanten Immissionsarten unter Berücksichtigung eines möglichen Verfahrens auszuwählen. Sollte sich im Rahmen der nachfolgenden Bewertung und Auswahl herausstellen, dass weitere Immissionen von Relevanz sind, kann die Erhebung auch ergänzend erfolgen. Zur Darstellung und insbesondere zur Ermittlung der zulässigen Grenzwerte der Immissionen eignet sich eine Matrixdarstellung, bei der jeder Ressource die entsprechende Immissionsgrenze pro Art zugeordnet ist (siehe Abbildung 6-5). Der Minimalwert einer Immissionsart kann als Anhaltspunkt für den Integrationsbereich genommen werden. Anzumerken ist an dieser Stelle, dass nur eine Detailanalyse unter Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Wirkung der Immissionen die genauen Informationen über die zulässigen Werte liefert. Um den Erhebungsaufwand möglichst gering zu halten, wird hierauf in einem ersten Schritt verzichtet.

Mit Hilfe der Grenzwertermittlung können Restriktionen dargestellt werden, die sich aus den bestehenden Produktionsressourcen im Integrationsbereich ergeben. Diese können beispielsweise Grenzwerte für Stäube darstellen, die sich aus der Anwesenheit von Mitarbeitern oder durch die Verschmutzungsgefahr von optischen Mess- und Sicherheitssysteme ergeben.

	<b>Ressource 1</b>	...	<b>Ressource n-1</b>	<b>Ressource n</b>	<b>Grenzwert</b>
<b>Lärm</b>	X <sub>1</sub>	...	X <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	Min (X <sub>1</sub> , ..., X <sub>n</sub> )
<b>Staub</b>	Y <sub>1</sub>	...	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Min (Y <sub>1</sub> , ..., Y <sub>n</sub> )
...	...	...	...	...	...
<b>Strahlung</b>	Z <sub>1</sub>	...	Z <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub>	Min (Z <sub>1</sub> , ..., Z <sub>n</sub> )

Abbildung 6-5: Matrix zur Grenzwertermittlung

Neben den produktbezogenen Eigenschaften sind in diesem Planungsschritt die produktionsumfeldbezogenen Eigenschaften aufzunehmen. Diese umfassen die statischen Eigenschaften, den Informa-

tionsfluss, den Energie- und Medienfluss, den Werkstückfluss (Makrobereich) sowie die Emissionen.

Die statischen Eigenschaften des Integrationsbereichs stellen eine wesentliche Anforderung an die Integrationsfähigkeit einer möglichen Ressource. Demnach ist die Erfassung des verfügbaren Raums (lichte Breite, Tiefe und Höhe) und der zulässigen Bodenbelastung im Integrationsbereich für eine mögliche Ressource erforderlich.

Darüber hinaus sind die bestehenden Flusssysteme im Rahmen der Charakterisierung der bestehenden Produktionsstruktur entsprechend der produktionsumfeldbezogenen Ressourceneigenschaften zu dokumentieren. Hierunter fallen das Informations-, Energie- und Medienflusssystem mit den installierten Übertragungselementen sowie Anschlusswerten.

Analog zu den genannten Flusssystemen bedarf es der Charakterisierung des Werkstückflusssystems auf Makrobereichsebene. Diesem kommt eine erhöhte Bedeutung bei der späteren Bewertung und Auswahl zu, da die Werkstückzuführung und -abführung beschrieben und folglich die produktbezogene Schnittstelle auf eine mögliche Ressource dargestellt wird. Zur Beschreibung wird der Automatisierungsgrad und die Werkstückflusselemente genutzt.

Des Weiteren sind die freigesetzten Emissionen durch die bestehende Struktur zu ermitteln. Zunächst ist dabei zu prüfen, welche Emissionen im Integrationsbereich freigesetzt werden. Analog zu den produktbezogenen Immissionen kann auch bei den Emissionen auf den aktuellen Stand der Technik sowie gesetzlichen Vorschriften und/oder Richtlinien zurückgegriffen werden, um einen Überblick möglicher zu berücksichtigender Emissionen zu erhalten. Des Weiteren sind bei der Emissionserfassung Gesamtwerte jeder Größe zu bilden. Dies kann beispielsweise über Messungen und Berechnungen erfolgen.

Nachfolgende Abbildung zeigt die zu erfassenden ressourcenspezifischen Anforderungen in der Zusammenfassung.

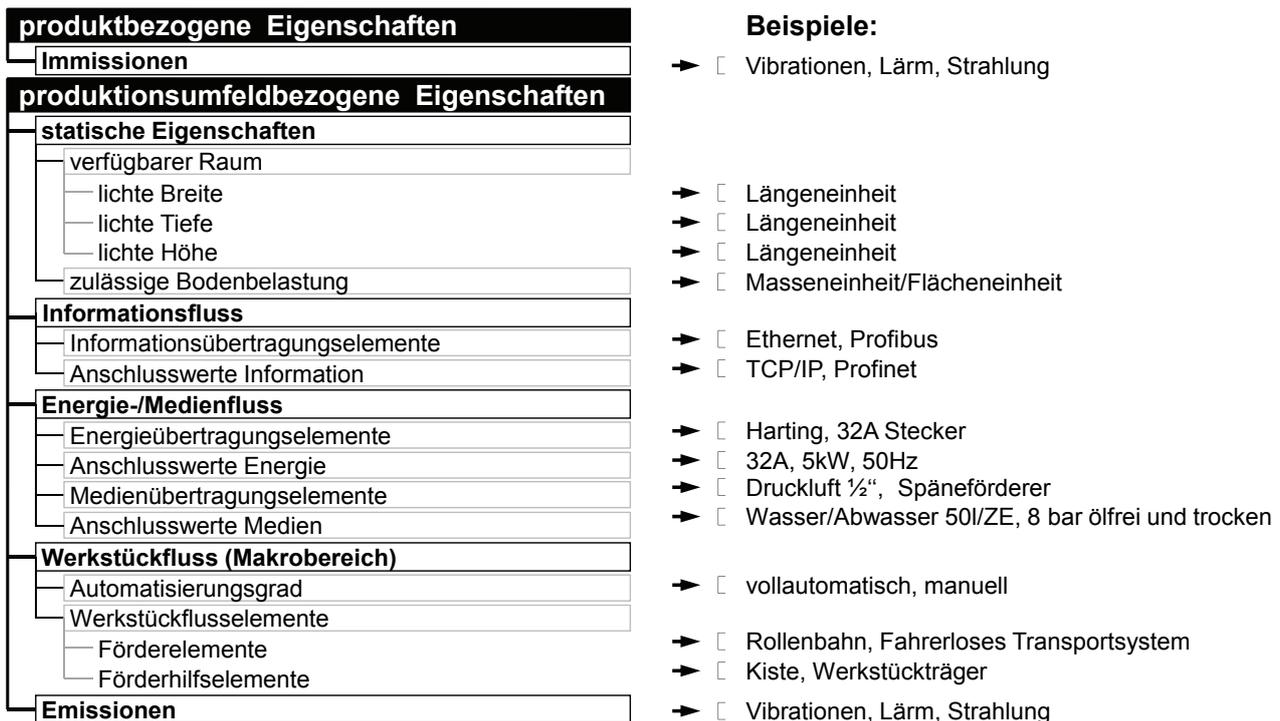


Abbildung 6-6: Zusammenfassung der ressourcenspezifischen Anforderungen

Anhand der beschriebenen Eigenschaften wird es dem Planer möglich eine systematische Erfassung von Restriktionen durchzuführen und die Integrationsaufgabe durch das erstellte Integrationsanforderungsprofil explizit zu beschreiben.

## 6.4 Schritt 4: Bewertung und Auswahl

Im Rahmen der Bewertung und Auswahl möglicher Verfahren bzw. Ressourcen soll dem Planer anhand der Restriktionen im Integrationsbereich die Machbarkeit und Sinnhaftigkeit der Integrationsmaßnahme aufgezeigt werden. Hierfür sollen dem Planer Wechselwirkungen zwischen den Gestaltungselementen der Prozesskette veranschaulicht und eine systematische Bewertung und Auswahl ermöglicht werden.

Die im Folgenden vorgestellte Vorgehensweise zur Bewertung und Auswahl geht schrittweise an den Gestaltungselementen der Prozesskette entlang (siehe Abbildung 6-7). Dies führt zur Entflechtung und sogleich zur Komplexitätsreduktion des Planungsvorgehens. Die Vorgehensweise impliziert demnach, dass ausgehend von einer hohen Anzahl und niedrigem Detaillierungsgrad, die Lösungsvarianten schrittweise reduziert und detailliert werden.

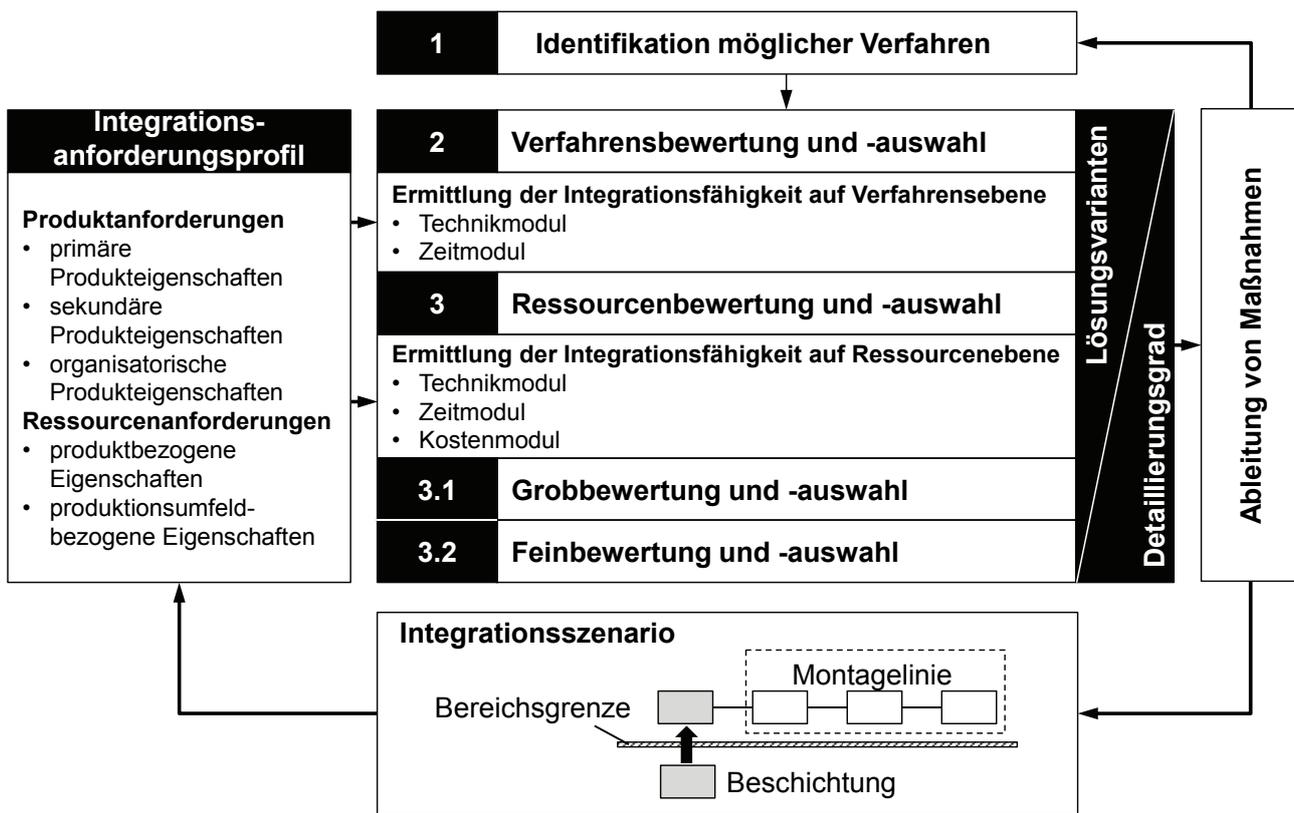


Abbildung 6-7: Vorgehensweise zur Bewertung und Auswahl

Die Vorgehensweise zur Bewertung und Auswahl gliedert sich in drei Stufen. Grundlage stellt das im vorherigen Planungsschritt erfasste produkt- und ressourcenbezogene Anforderungsprofil dar. Im Teilschritt eins werden zunächst mögliche Verfahren unter Berücksichtigung des Integrationsanforderungsprofils identifiziert. Im Teilschritt zwei erfolgt eine Bewertung und Auswahl möglicher Verfahren, die in der Lage sind, die geforderten Produkteigenschaften zu erzeugen. Hierfür erfolgt ein Abgleich der vor- und nachgelagerten Bauteilzwischenzustände mit den Leistungseigenschaften eines oder mehrerer Verfahren. Berücksichtigt werden primäre, sekundäre und organisatorische Eigenschaften auf Produkt- und Verfahrenseite. Zur Bewertung und Auswahl wird ein Technik- und Zeitmodul verwendet. Das Technikmodul unterstützt beim Nachweis, ob die Verfahren geeignet sind, die geforderten Produkteigenschaften zu erzeugen. Das Zeitmodul erlaubt eine erste Aussage, inwieweit ein mögliches Verfahren in der Lage ist, die geforderte Taktzeit im Integrationsbereich zu erzielen. Anhand dieser Abgleiche wird der Forderung der Berücksichtigung der Kompatibilität sowie der Taktzeitfähigkeit der Verfahren nachgekommen (vgl. Kapitel 2.7 und 3.3).

Während im Teilschritt zwei eine ressourcenunabhängige Betrachtung angewandt wird, erfolgt im dritten Teilschritt der Ressourcenbezug. Dieser gliedert sich in die Unterteilschritte Grobbewertung und -auswahl sowie Feinbewertung und -auswahl. Die weitere Aufteilung ermöglicht auf Basis von

Vorauswahlkriterien in der Grobbewertung und -auswahl die Komplexität im Planungsvorgehen zu reduzieren und folglich die Effizienz zu erhöhen.

Zur eigentlichen Bewertung und Auswahl wird ein Technik-, Zeit- und Kostenmodul verwendet. Das Technikmodul dient zur Beurteilung der Komptabilität einer möglichen Ressource mit den produkt- und ressourcenbezogenen Anforderungen. Das Zeitmodul umfasst die Möglichkeit zum Nachweis der Integrationsfähigkeit in den zeitlichen Ablauf im Integrationsbereich. Um die Wirtschaftlichkeit der veränderten Systemkonfiguration nachzuweisen, wird das Kostenmodul verwendet. Die Module erstrecken sich über die gesamte Ressourcenbewertung und -auswahl und unterscheiden sich im Detaillierungsgrad für die entsprechende Planungsphase.

Auf Basis der Ergebnisse der Technik-, Zeit- und Kostenmodule sieht die Vorgehensweise das Ableiten von Maßnahmen vor, um die Integrationsfähigkeit zu ermöglichen. Dies geschieht über die Rückkopplung der Bewertungsmodule an die möglichen Verfahren und das Integrationsszenario.

Die rudimentär beschriebenen Planungsschritte werden im Folgenden hinsichtlich des Vorgehens, Umfangs und den verwendeten Bewertungswerkzeugen detailliert erläutert.

### **6.4.1 Identifikation möglicher Verfahren**

Im Rahmen der Identifikation möglicher Verfahren sollen geeignete Verfahren aufgefunden werden, die entsprechend des Integrationsanforderungsprofils integriert werden können. Hierzu ist es notwendig, über die bereits im Unternehmen vorhandenen Verfahren hinaus neue und effizientere in die Planung einzubeziehen. Messen, Fachliteratur sowie der Austausch mit unternehmensinternen und -externen Experten sind geeignete Informationsquellen.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass voraussichtlich auf dem Markt keine Umsetzung für das Integrationsproblem verfügbar ist. Wesentlich ist daher, nicht durch frühzeitiges Ausschließen einzelner Verfahren innovative Lösungswege von Anfang an und unberechtigt zu verwerfen. Demzufolge sollten sämtliche Verfahren erfasst werden, die potenziell in Frage kommen und möglicherweise die benötigte Effektivität aufweisen.

### **6.4.2 Verfahrensbewertung und -auswahl**

Die Verfahrensbewertung und -auswahl soll dem Planer die Möglichkeit geben, möglichst frühzeitig und folglich auf Grundlage weniger Informationen eine Bewertung der Integrationsfähigkeit

durchzuführen. Hierzu ist es notwendig, dem Planer relevante Kriterien sowie deren Wechselwirkungen zum Abgleich der Produkteigenschaften mit den Verfahrenseigenschaften bereitzustellen. Um dies zu erreichen, erfolgt im Rahmen der Bewertung und Auswahl eine ressourcenunabhängige Betrachtung. In Konsequenz wird die maximale Leistungsfähigkeit der Verfahren unter Idealbedingungen angenommen und sämtliche ressourcenbezogene Eigenschaften werden ausgeklammert. Die relevanten Integrationskriterien sowie die Abgrenzung des Technik- und Zeitmoduls zur Bewertung und Auswahl werden in nachfolgender Abbildung veranschaulicht.

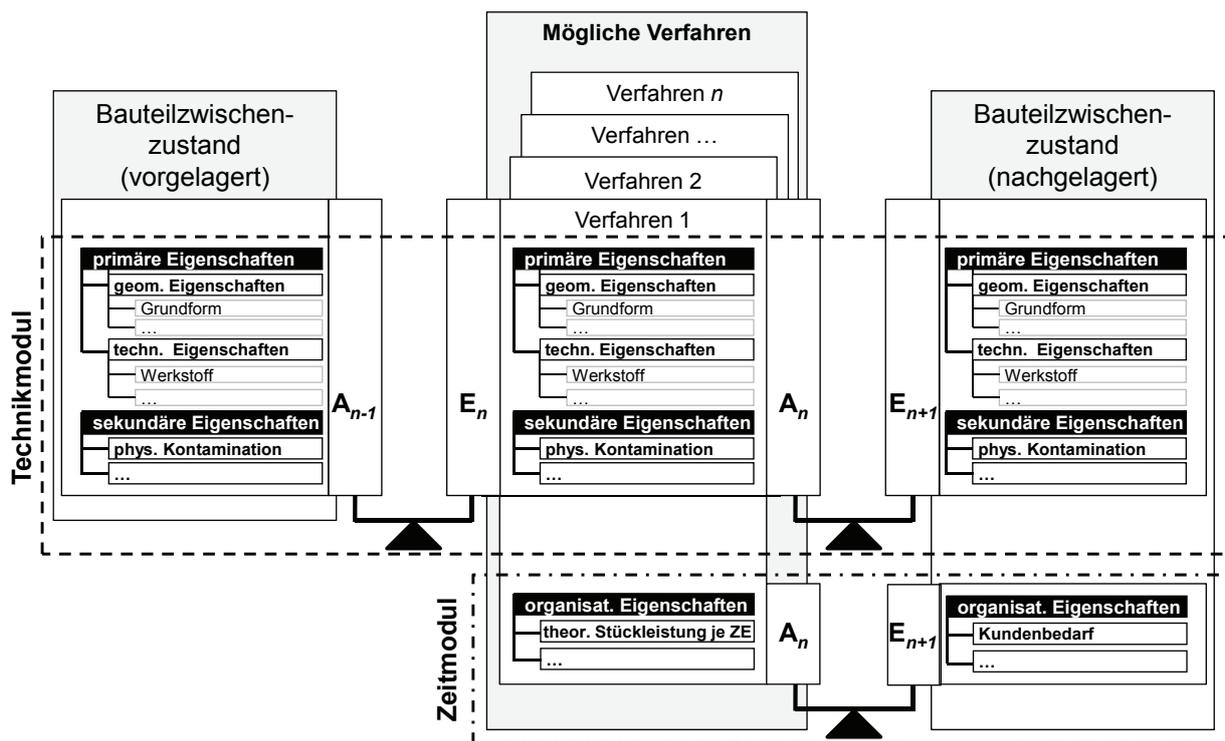


Abbildung 6-8: Relevante Kriterien und Abgrenzung der Bewertungsmodule zur Verfahrensbewertung und -auswahl

Sofern eine Verfahrensfolge notwendig ist, sind die potenziellen Verfahren zu Gruppen zusammenzufassen und in einer Verfahrensmorphologie darzustellen. Vor der Anwendung der eigentlichen Bewertungsmodule bedarf es der Charakterisierung der möglichen Verfahren. Hierzu ist das in Kapitel 4.1.2 erarbeitete Verfahrensmodell zu verwenden und das sogenannte Verfahrenspotenzial zu dokumentieren. Entsprechend dem Modell werden die verarbeitbaren und erzielbaren primären und sekundären Eigenschaften erfasst. Des Weiteren werden die organisatorischen Eigenschaften des Verfahrens festgehalten. Geeignete Informationsquellen sind Fachliteratur, Versuche sowie unternehmensinterne und -externe Experten. Abschließend ist die Bewertung und Auswahl mit Hilfe des Technik- und Zeitmoduls durchzuführen und die Ergebnisse in der Auswahlliste zu dokumentieren.

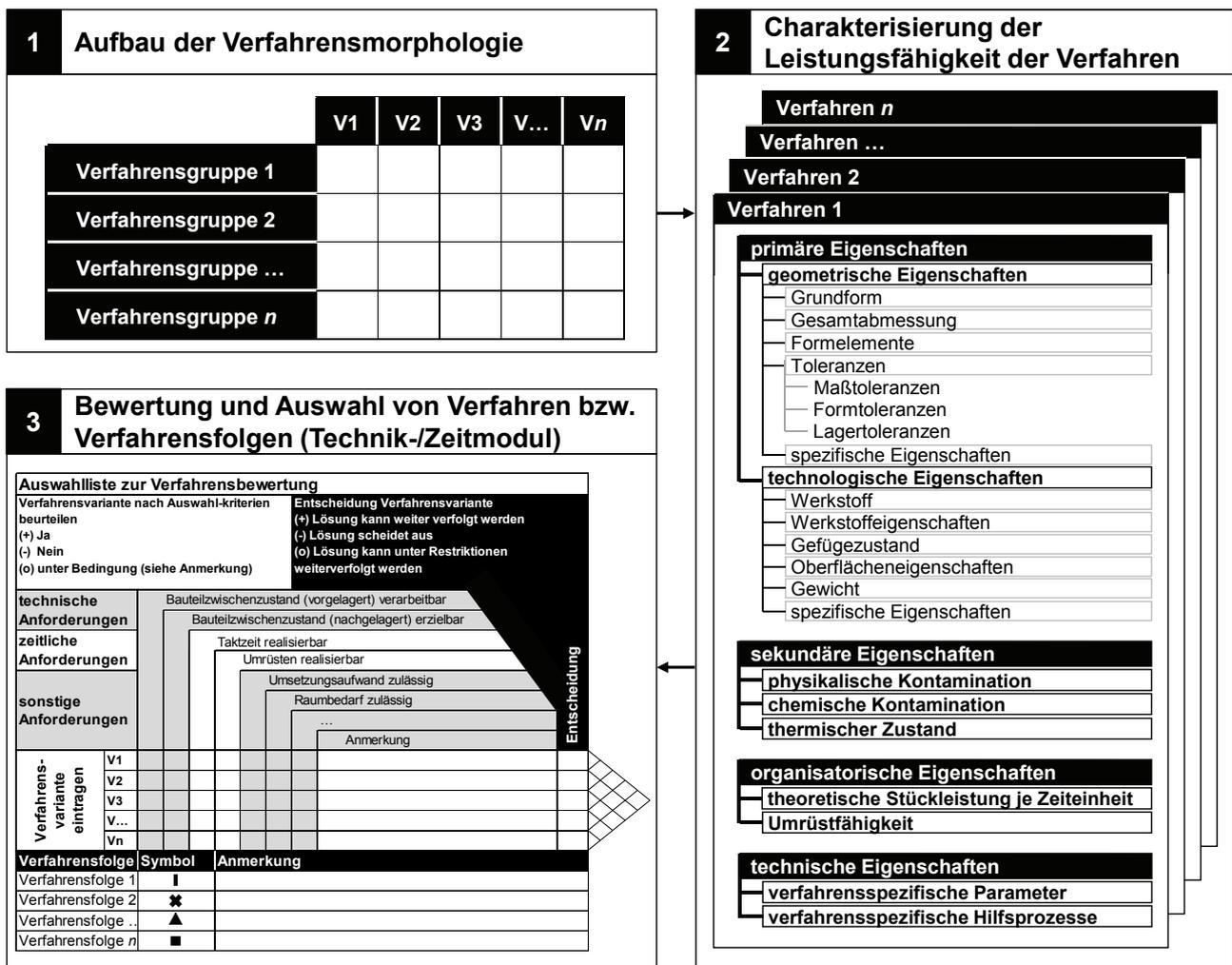


Abbildung 6-9: Ablauf der Verfahrensbewertung und -auswahl

Die Auswahlliste dient als Werkzeug zur Selektion geeigneter Verfahren und zur Bildung möglicher Verfahrensfolgen (siehe Abbildung 6-9). Die Selektion der Verfahren erfolgt über die Abfrage, ob das Verfahren in der Lage ist, den vorgelagerten bzw. nachgelagerten Bauteilzwischenzustand zu verarbeiten bzw. zu erzielen sowie die Transformation in der geforderten Taktzeit zu realisieren. Diese Eigenschaften stellen K.-o.-Kriterien dar. Ist ein Verfahren unter bestimmten Randbedingungen einsetzbar, kann dies im Bereich der Anmerkungen hinterlegt werden. Die Möglichkeit zur Bildung von Verfahrensfolgen geschieht über den Korrelationsbereich. In diesem Bereich können mögliche Verfahrensfolgen über eine entsprechende Symbolik vom Planer dargestellt werden. Auch hier ist wiederum die Möglichkeit gegeben, Anmerkungen zu der gewählten Verfahrensfolge zu machen.

Sofern zu diesem Zeitpunkt weitere integrationsrelevante Kriterien wie Umsetzungsaufwand, Raumbedarf, Emissionen, Prozesssicherheit und technisches Risiko vorhanden sind, können auch

diese aufgenommen werden. Zur Abschätzung kann auf die technischen Verfahrenseigenschaften wie verfahrensspezifische Hilfsprozesse zurückgegriffen werden.

Im Folgenden werden die im Detail zu berücksichtigenden Eigenschaften des Technik- und Zeitmoduls skizziert.

### Technikmodul

Mit Hilfe des Technikmoduls soll die Effektivität eines Verfahrens oder einer Verfahrensfolge zur Verarbeitung und Herstellung der vorliegenden Bauteilwischenzustände bewertet und gegebenenfalls Maßnahmen abgeleitet werden, um die Integrationsfähigkeit zu ermöglichen.

Für den Abgleich der Bauteilwischenzustände mit der Leistungsfähigkeit der Verfahren existieren bereits Ansätze (vgl. [Fallböhrer 2000, Knoche 2005]). Bezüglich der Integration nicht-konventioneller Verfahren in Fertigungs- und Montagelinien ist kein gesonderter Ablauf notwendig, da auch hier die Komptabilität geprüft werden muss. Demnach wird zur Bewertung auf diese zurückgegriffen und im Hinblick auf das definierte Produkt- und Verfahrensmodell adaptiert.

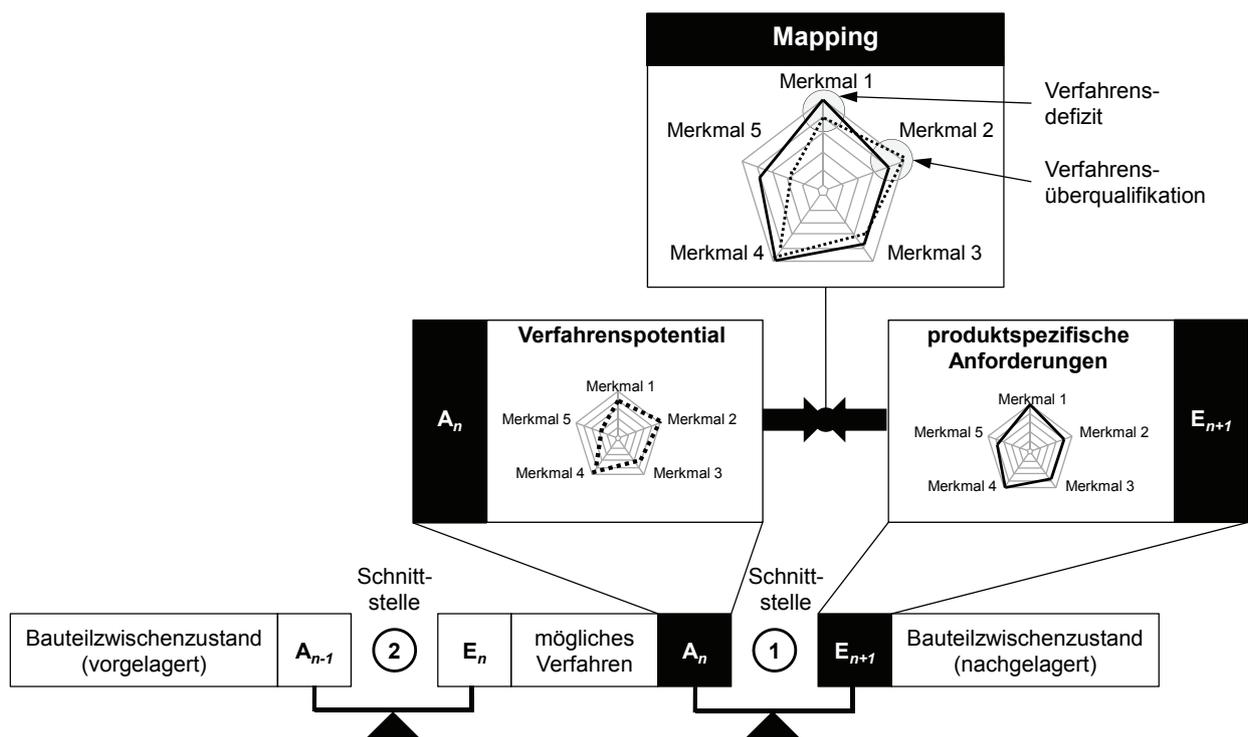


Abbildung 6-10: Technikmodul zur Verfahrensbewertung und -auswahl

Wie in Abbildung 6-10 veranschaulicht, erfolgt eine Betrachtung des vorgelagerten und des nachgelagerten Bauteilwischenzustands. Zur eigentlichen Bewertung wird an den Schnittstellen 1 und 2 die Komptabilität der Verfahrenseigenschaften mit den Bauteilwischenzuständen geprüft. Hierzu sind folgende Abgleiche der Produkt- und Verfahrenseigenschaften durchzuführen:

- Schnittstelle 1:  
Abgleich der primären und sekundären Produkteigenschaften (produktspezifische Anforderungen), gefordert durch die vorgelagerte Prozesskette mit dem erzielbaren Ausgangszustand hinsichtlich primären und sekundären Eigenschaften des möglichen Verfahrens (Verfahrenspotenzial).
- Schnittstelle 2:  
Abgleich der primären und sekundären Produkteigenschaften (produktspezifische Anforderungen), vorgegeben durch die vorgelagerte Prozesskette mit dem verarbeitbaren Eingangszustand hinsichtlich der primären und sekundären Eigenschaften des möglichen Verfahrens (Verfahrenspotenzial).

Es ist empfehlenswert, zunächst lediglich den gewünschten Zielzustand zu betrachten. Dadurch wird eine effiziente Verfahrensvorauswahl ermöglicht, da weniger Einflussgrößen im Bewertungsablauf berücksichtigt werden müssen.

Inwiefern ein Verfahren in der Lage ist, verschiedene Produkteigenschaften zu verarbeiten und zu erzeugen, kann durch die Darstellung und das Mapping (Überlagerung) der Eigenschaften in Spinnennetzdiagrammen veranschaulicht werden. Entsprechen die produktspezifischen Anforderungen den Verfahrenseigenschaften, eignet sich das Verfahren prinzipiell zur Integration. Sind Abweichungen vorhanden, können zwei Fälle unterschieden werden (vgl. [Fallbömer 2000]): zum einen die Verfahrenüberqualifikation und zum anderen das Verfahrensdefizit.

Eine Verfahrenüberqualifikation liegt vor, wenn das Verfahren ein größeres Potenzial in Bezug auf die Erzeugung der geforderten Produkteigenschaften aufweist. Weist ein Verfahren eine Überqualifikation auf, ist dieses grundsätzlich integrierbar. Dennoch ist eine Überqualifikation kritisch zu hinterfragen. Zum einen kann eine Überqualifikation erwünscht sein, da dadurch beispielsweise eine erhöhte Prozesssicherheit erreicht werden kann. Zum anderen kann eine Überqualifikation eines Verfahrens zu einer unwirtschaftlichen Herstellung führen, da vergleichbare Verfahren kostengünstiger sind. Daher wird im Rahmen der Bewertung und Auswahl unter Berücksichtigung der Ressourceneigenschaften die wirtschaftliche Effizienz bewertet.

Liegt ein Verfahrensdefizit vor, ist ein Verfahren nicht in der Lage, alle geforderten Produktmerkmale zu erzeugen. Daher muss entweder das Verfahren verworfen oder es müssen für die kritischen Produkteigenschaften Maßnahmen abgeleitet werden, um die Integrationsfähigkeit zu ermöglichen. Eine mögliche Maßnahme ist die Modifikation des Produkts. Das herzustellende Produkt beeinflusst im Wesentlichen die Gestalt der Prozesskette. Daher resultiert als Handlungsoption, eine Ver-

änderung der kritischen Produkteigenschaften durchzuführen. Dies muss in Abstimmung mit der Entwicklung und Konstruktion sowie unter Berücksichtigung der Einflüsse auf vor- oder nachgelagerten Verfahren geschehen.

Des Weiteren kann es erstrebenswert sein, ein Verfahren weiter bzw. neu zu entwickeln. Durch die genaue Kenntnis der Defizite bezüglich der Anwendung, kann eine Entwicklung zielorientiert erfolgen.

Die Integration zusätzlicher vor- und/oder nachgelagerter Verfahren stellt eine weitere Möglichkeit dar, um die Integrationsfähigkeit zu erreichen. Dies ist beispielsweise bei der Integration von Beschichtungsverfahren der Fall, da Vorreinigungsverfahren zur Beseitigung von Verschmutzung als auch Nachbehandlungsverfahren zum Vernetzen der Lackschicht benötigt werden. Lediglich die Kombination unterschiedlicher Verfahren führt zu einer Integrationsfähigkeit. Sollte eine Integration weiterer Verfahren notwendig sein, müssen diese zunächst identifiziert, anschließend mit Hilfe des Verfahrensmodells charakterisiert und abschließend bewertet werden.

Als weitere Maßnahme sind Veränderungen an den bestehenden vor- und/oder der nachgelagerten Verfahren möglich. Ziel dieser Maßnahme ist, das Verfahrensdefizit durch die Veränderung der vorliegenden Bauteilzwischenzustände im Integrationsbereich zu eliminieren. Beispielsweise können auf der Bauteiloberfläche befindliche Kühlschmierstoffemulsionen zu hohen Anforderungen an ein Vorreinigungsverfahren im Rahmen der Integration eines Beschichtungsverfahrens führen. Um die Anforderungen zu reduzieren, könnten beispielsweise Trockenbearbeitungsverfahren eingesetzt werden.

Darüber hinaus ist eine Veränderung der Verfahrensfolge der gesamten Prozesskette denkbar. Dadurch verändert sich das Integrationsanforderungsprofil, die Folge kann ein positiver Effekt hinsichtlich der Verfahrensauswahl sein.

Auch eine Kombination der aufgezeigten Maßnahmen ist möglich. Grundsätzlich sollte jedoch stets das Aufwand- und Nutzenverhältnis abgewogen werden. Dies kann beispielsweise im Rahmen der Verfahrensbewertung über zusätzliche Bewertungskriterien (z. B. Umsetzungsaufwand) in der Auswahlliste erfolgen.

### **Zeitmodul**

Das Zeitmodul auf Verfahrensebene soll dem Planer eine Abschätzung der möglichen Verfahren hinsichtlich der Integrationsfähigkeit in den zeitlichen Ablauf im Integrationsbereich erlauben und gegebenenfalls bei der Maßnahmendefinition zur Steigerung der Integrationsfähigkeit unterstützen.

Da die Integration von Verfahren in Produktionslinien betrachtet wird, die üblicherweise getaktet sind, wird als Vergleichswert zur Beurteilung der zeitlichen Integrationsfähigkeit die Referenztaktzeit eingeführt. Diese stellt die geforderte Taktzeit des vorhandenen Systems dar. Sofern die Referenztaktzeit nicht bekannt ist, kann alternativ der Kundentakt nach Formel 6-9 verwendet werden, der sich aus den organisatorischen Produkteigenschaften im Integrationsbereich berechnet.

$$KT = \frac{T_{Bv}}{K_B} \quad \text{Formel 6-9}$$

- $KT$       Kundentakt [Zeiteinheit/Stück]
- $T_{Bv}$      verfügbare Betriebszeit [Zeiteinheit/Zeiteinheit]
- $K_B$       Kundenbedarf pro Zeiteinheit [Stück/Zeiteinheit]

Zur Bewertung der Integrationsfähigkeit in den zeitlichen Ablauf wird die theoretische Verfahrenszeit mit der Referenztaktzeit abgeglichen. Formel 6-10 zeigt diesen Zusammenhang.

$$TZ_{ref} > t_{vztheor} \quad \text{Formel 6-10}$$

- $TZ_{ref}$     Referenztaktzeit [Zeiteinheit]
- $t_{vztheor}$    theoretische Verfahrenszeit [Zeiteinheit]

Unter der theoretischen Verfahrenszeit wird die benötigte Bearbeitungsdauer unter Idealbedingungen verstanden. Es werden keine ressourcenspezifischen Eigenschaften wie Handhabungs- und Rüstzeiten berücksichtigt und eine Fertigung der Losgröße eins angenommen, da ein durchgängiger Materialfluss erreicht werden soll.

Zur Bestimmung der theoretischen Verfahrenszeit wird die theoretische Stückleistung je Zeiteinheit aus dem Verfahrensmodell herangezogen. Mit Hilfe von mathematischen Zusammenhängen kann die theoretische Verfahrenszeit in Abhängigkeit des zu erzeugenden Produktmerkmals (z. B. Schichtdicke) und der theoretischen Stückleistung je Zeiteinheit (z. B. Abscheidungsrate und Beschichtungsgeschwindigkeit) berechnet werden.

Sollten die mathematischen Beziehungen nicht ausreichend bekannt sein, kann die theoretische Verfahrenszeit durch einen Vergleich beispielsweise aus Erfahrungswerten mit der Anwendung des Verfahrens unter Laborbedingungen ermittelt werden. Ist weder die Verwendung von mathematischen Beziehungen noch ein Vergleich möglich, muss die theoretische Verfahrenszeit geschätzt werden.

Die theoretische Verfahrenszeit sollte stets deutlich kleiner sein als die Referenztaktzeit. Ist die theoretische Verfahrenszeit gleich oder sogar größer als die Referenztaktzeit, kann davon ausgegangen werden, dass das untersuchte Verfahren die geforderte Produktionsmenge nicht erreicht.

Obwohl die theoretische Verfahrenszeit den Verfahren eingeprägt ist, existieren Möglichkeiten wie eine zeitliche Integrationsfähigkeit erreicht werden kann, sofern die theoretische Verfahrenszeit die Referenztaktzeit übersteigt. Eine Möglichkeit ist die Parallelisierung der Verfahren, die einer Steigerung der Verfahrenskapazität entspricht. Bei diesem Ansatz ist zu berücksichtigen, dass möglicherweise negative Auswirkungen auf die Ressource resultieren, indem beispielsweise ein größerer Raumbedarf durch zusätzliche Prozesseinheiten entsteht. Eine weitere Möglichkeit stellt die Aufteilung der theoretischen Verfahrenszeit auf mehrere Takte dar. Hierdurch wird die Durchlaufzeit verlängert, die es in Folge fallspezifisch zu prüfen gilt. Darüber hinaus sind, wie bereits beim Technikmodul zur Verfahrensbewertung dargestellt, in bestimmten Fällen Änderungen am Produkt, sofern eine zeitliche Abhängigkeit zwischen Produktmerkmal und Verfahren besteht, und die Weiter- bzw. Neuentwicklung eines Verfahrens denkbar.

### **6.4.1 Ressourcenbewertung und -auswahl**

Nachdem die ressourcenunabhängigen Planungsschritte abgeschlossen sind und ein mögliches Verfahren bzw. eine Verfahrensfolge auf Basis des Technik- und Zeitmoduls auf Verfahrensebene ausgewählt ist, erfolgt nun die Bewertung und Auswahl einer möglichen Ressource. Mit Hilfe der Ressourcenbewertung und -auswahl soll der Planer über integrationsrelevante Schnittstellenkriterien einer möglichen Ressource informiert werden. Um eine Reduzierung der Planungskomplexität aufgrund der Vielzahl zu berücksichtigender Integrationskriterien zu erreichen und eine möglichst frühzeitige Bewertung auf Grundlage weniger Informationen gewährleisten zu können, soll die Bewertung und Auswahl in zwei Teilschritten erfolgen.

Es wird eine Grobbewertung und -auswahl auf Basis von Vorauswahlkriterien sowie eine Feinbewertung und -auswahl der möglichen Produktionsressourcen genutzt. Zur eigentlichen Bewertung wird analog zur Verfahrensauswahl und -bewertung ein Technik- und Zeitmodul herangezogen. Darüber hinaus wird die Wirtschaftlichkeit über ein Kostenmodul bewertet. Die Module erstrecken sich über die gesamte Bewertung und Auswahl und unterscheiden sich lediglich im Detaillierungsgrad in der jeweiligen Planungsphase. In nachfolgender Abbildung wird der gesamte Ablauf der Ressourcenbewertung und -auswahl veranschaulicht.

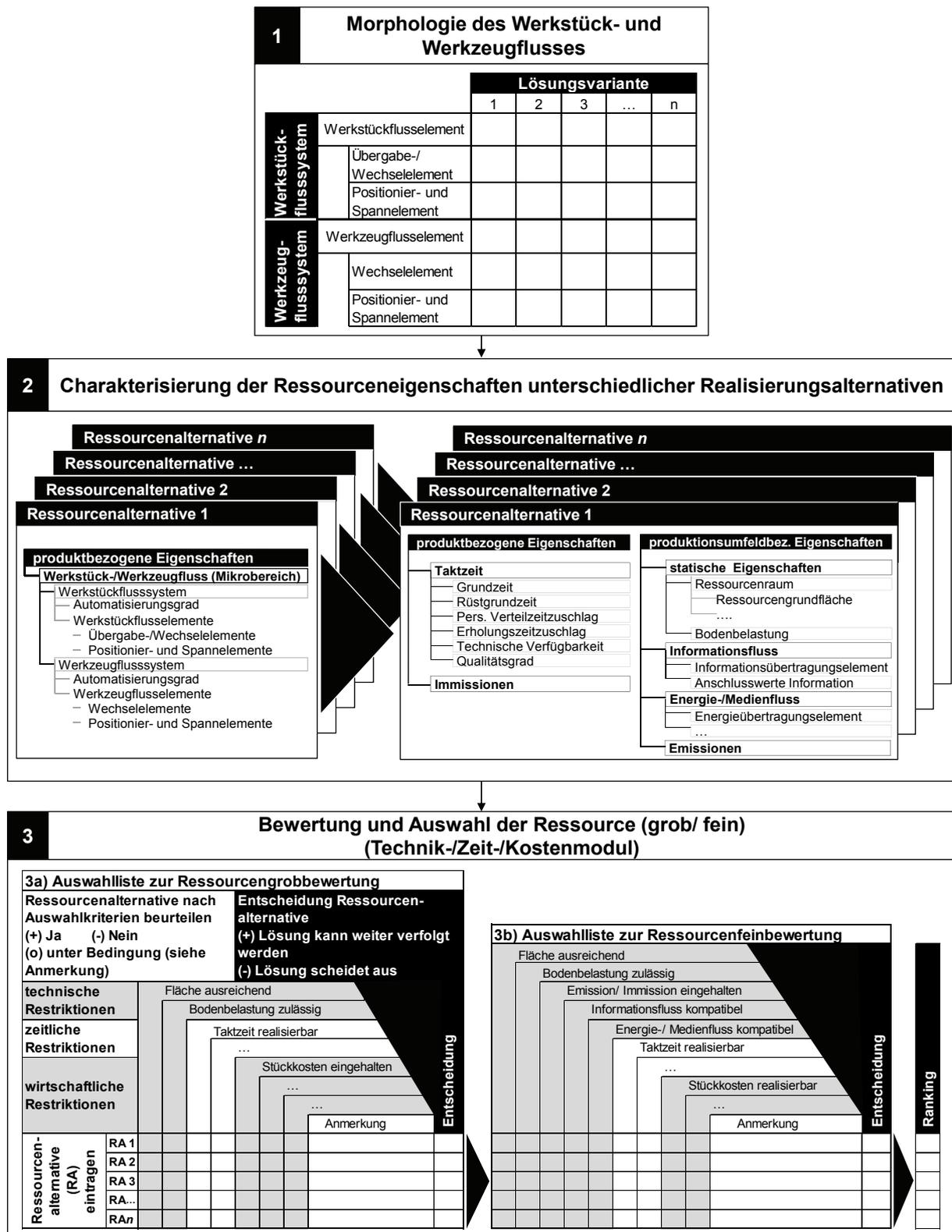


Abbildung 6-11: Ablauf der Ressourcenbewertung und -auswahl

Zur übersichtlichen Gestaltung des Bewertungsablaufes gilt es im ersten Schritt, unterschiedliche Lösungsvarianten der Ressourcenelemente (z. B. Wechsel- und Positionierelement) mit verschiede-

nen Automatisierungsgraden (z.B. Roboter, Werker) je Element in einem morphologischen Kasten zu erfassen. Im zweiten Schritt werden auf Basis des morphologischen Kastens unterschiedliche Ressourcenalternativen definiert. Bevor die eigentlichen Bewertungsmodule angewandt werden können, sind die aus der Gestaltungsvariante resultierenden charakteristischen Ressourceneigenschaften wie technische Verfügbarkeit und Ressourcenrundfläche entsprechend dem Informationsbedarf im jeweiligen Bewertungsmodul zu bestimmen. Abschließend werden die Ergebnisse in den entsprechenden Auswahllisten dokumentiert.

### **Ressourcengrobbewertung und -auswahl**

Ziel der Ressourcengrobbewertung und -auswahl ist es, dem Planer anhand von Vorauswahlkriterien, die möglichst einfach zu ermitteln sind und gleichzeitig integrationsentscheidende Kriterien darstellen, eine Bewertung der Integrationsfähigkeit durchzuführen.

Hierzu werden jeweils ein Technik-, Zeit- und Kostenmodul verwendet, die den Nachweis über die Integrationsfähigkeit im Rahmen der Grobbewertung unterstützen. Eingangsinformationen der Bewertungsmodule bilden die produkt- und ressourcenspezifischen Eigenschaften sowie die im vorherigen Planungsschritt identifizierten Verfahren bzw. Verfahrensfolgen. Ausgehend von diesen Informationen wird anhand der im Folgenden vorgestellten Module eine schrittweise Bewertung und Auswahl einer möglichen Ressource vorgenommen.

In Abbildung 6-12 wird deutlich, dass ressourceninterne und -externe Wechselwirkungen existieren, die im Rahmen der Bewertung berücksichtigt werden müssen. Zudem sind aufgrund der ressourceninternen Wechselwirkungen das Technik- und Zeitmodul nicht isoliert voneinander zu betrachten. Die Auswahl des Werkstückfluss- und Werkzeugflusssysteme im Mikrobereich hat direkten Einfluss auf die Taktzeit. Das Kostenmodul ist übergeordnet anzusehen, da nicht nur die einzelne Ressource, sondern die gesamte Prozesskette bewertet wird.

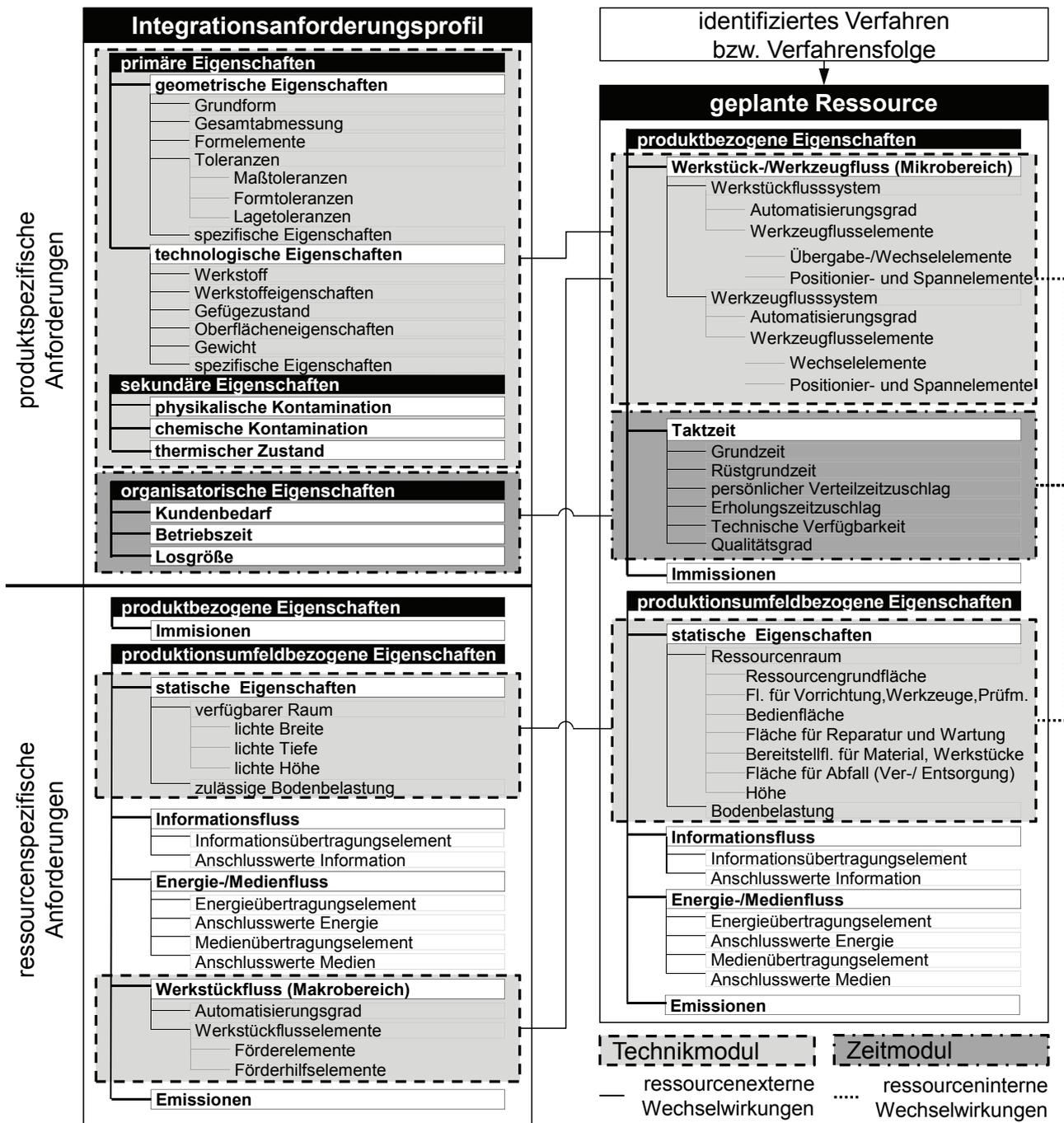


Abbildung 6-12: Betrachtete Kriterien und Wechselwirkungen im Rahmen der Ressourcengrobbewertung und -auswahl

Die Ergebnisse sind in der Auswahlliste zur Ressourcengrobbewertung zu dokumentieren (siehe Abbildung 6-11). Die Auswahlliste umfasst technische, zeitliche und wirtschaftliche Restriktionen, die innerhalb der Bewertungsmodule beurteilt werden. Des Weiteren kann die Auswahlliste um weitere Kriterien in Abhängigkeit des Planungsfalls ergänzt werden.

Im Folgenden werden das Technik-, Zeit- und Kostenmodul zur Ressourcengrobbewertung und -auswahl beschrieben.

### **Technikmodul (grob)**

Das Technikmodul auf Ressourcenebene soll dem Planer eine Handlungsweise bereitstellen, die über zu berücksichtigende Integrationskriterien und deren Wechselwirkungen informiert. Die Handlungsweise soll im Rahmen der Grobbewertung und -auswahl auf Basis von Schätzwerten und Zuschlagsfaktoren eine möglichst effiziente Bewertung der Integrationsfähigkeit ermöglichen.

Wie in Abbildung 6-12 veranschaulicht, existieren ressourceninterne und -externe Wechselwirkungen. Zunächst sind Lösungsmöglichkeiten zur Realisierung des Werkstück- und Werkzeugflusssysteme einer Ressource zu entwerfen, da beide Systeme im Wesentlichen von den primären und sekundären Produkteigenschaften, vom Werkstückflusssystem auf Makroebene und vom identifizierten Verfahren beeinflusst werden. Dieser Vorgang erfolgt mit Hilfe der Morphologie des Werkzeug- und Werkstückflusses. Anschließend sind für das geplante Werkstück- und Werkzeugflusssystem auf Mikroebene der resultierende Flächen- und Höhenbedarf sowie die resultierende Bodenbelastung grob abzuschätzen.

Die im Integrationsanforderungsprofil ermittelte verfügbare Fläche (Raum) kann nicht direkt als Rahmenbedingung für die Konzeption des Werkstück- und Werkzeugflusssysteme einer Ressource verwendet werden. An dieser Stelle bedarf es der Skalierung der ermittelten Fläche auf die verfügbare Ressourcengrundfläche für die geplante Ressource (vgl. Kapitel 2.4.1). Als Skalierungsfaktoren können die in der Literatur vorhandenen Zuschlagsfaktoren für Bereitstellung, Bedienung, Wartung sowie Ver- und Entsorgung am Arbeitsplatz verwendet werden (vgl. Kapitel 2.4.1). Es wird eine rückwärts gerichtete Flächenermittlung verwendet. Hieraus ergibt sich folgender mathematischer Zusammenhang für die Flächenermittlung der technischen Ressource.

$$A_{RG} = \frac{A_{IB}}{f_S} \quad \text{Formel 6-11}$$

$A_{RG}$  verfügbare Ressourcengrundfläche (Technik)

$A_{IB}$  verfügbare Fläche (Integrationsbereich)

$f_S$  Skalierungsfaktor (Bereitstellung, Bedienung, Wartung sowie Ver- und Entsorgung am Arbeitsplatz)

Auf Basis der ermittelten statischen Eigenschaften einer möglichen Ressource kann ein Abgleich mit den ressourcenspezifischen Anforderungen aus dem Integrationsanforderungsprofil erfolgen. Abbildung 6-13 veranschaulicht den Flächenabgleich.

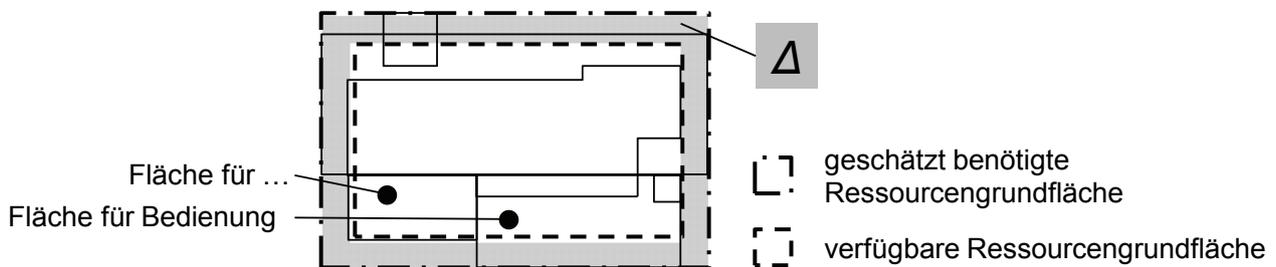


Abbildung 6-13: Abgleich der geschätzt benötigten mit der verfügbaren Ressourcengrundfläche  
 Übersteigen die Anforderungen der Ressource die Gegebenheiten, können entweder Änderungen am Integrationsanforderungsprofil oder an der Gestaltung der neuen Ressource vorgenommen werden.

### Zeitmodul (grob)

Das Zeitmodul auf Ressourcenebene zur Grobbewertung und -auswahl soll den Planer im Rahmen des Nachweises der zeitlichen Integrationsfähigkeit unter Berücksichtigung des gewählten Werkstück- und Werkzeugflusssystem im Mikrobereich unterstützen.

Analog zur Bewertung der zeitlichen Integrationsfähigkeit auf Verfahrensebene wird als Vergleichswert die ermittelte Referenztaktzeit verwendet. Zur Bewertung wird zunächst von einem Idealzustand (verlustfrei) ausgegangen und ausschließlich die geplanten Zeitanteile berücksichtigt. Anschließend werden Verlustgrößen wie Verfügbarkeit und Qualitätsgrad einbezogen.

Für die verlustfreie Bewertung der zeitlichen Integrationsfähigkeit werden die interne Rüstgrundzeit (Zeitanteile des Rüstens, die lediglich bei stillstehender Ressource durchgeführt werden können), die Grundzeit und die Auftragsmenge herangezogen. Hieraus kann die durchschnittliche Auftragszeit pro Stück ohne Verluste wie folgt berechnet werden:

$$\emptyset T_{Astov} = \frac{t_{irg}}{m} + t_g \quad \text{Formel 6-12}$$

$\emptyset T_{Astov}$  durchschnittliche Auftragszeit pro Stück ohne Verluste [Zeiteinheit/Stück]

$t_{irg}$  interne Rüstgrundzeit [Zeiteinheit]

$t_g$  Grundzeit [Zeiteinheit]

$m$  Losgröße [Stück]

Handelt es sich um ein starr verkettetes Fließsystem, ist die Losgröße eins anzunehmen. Notwendige Rüstprozesse müssen in der Taktzeit oder während eines Rüstvorgangs der gesamten Produktionslinie durchgeführt werden.

Im Falle einer losen oder elastischen Verkettung wird die Losgröße aus den produktspezifischen Anforderungen des Integrationsanforderungsprofils im Integrationsbereich entnommen. Zur Ermittlung der Zeitgrößen kann auf bestehende Zeitermittlungsverfahren zurückgegriffen werden. Da es sich um eine Neugestaltung handelt, sind synthetische Zeitermittlungsverfahren zu bevorzugen.

Ist die errechnete durchschnittliche Auftragszeit pro Stück ohne Verluste größer als die Referenztaktzeit, können auf Ressourcenebene verschiedene Maßnahmen ergriffen werden, um die Integrationsfähigkeit zu ermöglichen. Die Reduzierung der Grundzeit durch schnellere Antriebe oder die Änderung des Prozessablaufs sind Handlungsalternativen. Ebenfalls können Rüstzeiten entfallen, wenn Rüstvorgänge parallel zur produktiven Nutzung der Ressource erfolgen. Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Rüstzeiten stellt die Erhöhung der Losgröße dar. Diese ist lediglich bei elastisch oder lose verketteten Systemen realisierbar und ist nur in enger Abstimmung mit dem Kundenbedarf und der Konfiguration der gesamten Prozesskette durchzuführen.

Falls die durchschnittliche Auftragszeit pro Stück kleiner als die Referenztaktzeit ist, wird mit der Berücksichtigung der Verluste fortgefahren. Wie bereits im Ressourcenmodell (vgl. Kapitel 4.1.3) gezeigt, können bei Tätigkeiten des Personals und der Nutzung von technischen Einrichtungen Verluste auftreten. Diese werden über die Faktoren technische Verfügbarkeit, persönlicher Verteil- und Erholungszeitzuschlag sowie Qualitätsgrad berücksichtigt. Zur Bestimmung des persönlichen Verteil- und Erholungszeitzuschlags können in Unternehmen vorhandene Richtwerte verwendet werden. Sollten keine Vorschlagswerte vorliegen, ist auf übliche Zuschlagswerte zurückzugreifen, die im Bereich zwischen 10 % und 30 % liegen.

Mit den Verteilzeitzuschlägen wird der Zeitanteil angegeben, in welchem Personal neben der Grundzeit nicht verfügbar ist. Als Zeitbasis wird die Grundzeit verwendet. Im Gegensatz dazu wird bei der Verfügbarkeit angegeben, wie hoch der Anteil der verfügbaren Zeit an dem Betrachtungszeitraum ist. Demnach stellt der Betrachtungszeitraum die Zeitbasis der Verfügbarkeit dar. Um eine einheitliche Bewertungsbasis zu schaffen, ist der persönliche Verteil- und Erholungszeitzuschlag in die personalbedingte Verfügbarkeit umzurechnen, sofern dieser für die Arbeitsaufgabe relevant ist. Der Betrachtungszeitraum ergibt sich aus der Summe der Grundzeit und den Verlustzeiten (persönliche Verteil- und Erholungszeit). Die persönliche Verteilzeit wird aus dem Produkt der Grundzeit und dem persönlichen Verteilzeitzuschlag bestimmt. Die Erholungszeit wird aus dem Produkt der

Grundzeit und dem Erholungszeitzuschlag berechnet. Für die personalbedingte Verfügbarkeit ergibt sich demnach folgender Zusammenhang:

$$V_P = \frac{1}{1 + \frac{z_p + z_{er}}{100 \%}} \times 100 \% \quad \text{Formel 6-13}$$

- $V_P$       personalbedingte Verfügbarkeit [Prozent]
- $z_p$       persönlicher Verteilzeitzuschlag [Prozent]
- $z_{er}$       Erholungszeitzuschlag [Prozent]

Die technische Verfügbarkeit der Maschine bzw. Anlage kann zu diesem Zeitpunkt der Bewertung noch nicht genau bestimmt werden, da es sich um eine Neukonzeption handelt und keinerlei Betriebsdaten vorhanden sind. Folglich ist es empfehlenswert, auf Verfügbarkeitsdaten der Komponentenhersteller zurückzugreifen oder Schätzwerte zu verwenden.

Im Rahmen der Grobbewertung und -auswahl wird die Vereinfachung getroffen, dass stets Personal und Technik zur Bearbeitung und zum Rüsten notwendig sind. Eine Erfüllung der Arbeitsaufgabe kann ausschließlich erfolgen, wenn sowohl Personal als auch Technik verfügbar ist. Zudem wird angenommen, dass die technische Verfügbarkeit nicht auf Blockier- und Wartezeiten wirkt.

Zur Berücksichtigung der Qualitätsverluste, welche beispielsweise auf Basis von Schätzwerten oder Erfahrungswissen aus Versuchen ermittelt werden können, wird der Qualitätsgrad (vgl. Kapitel 4.1.3) verwendet. Als durchschnittliche Auftragszeit pro Stück mit Verlusten im Rahmen der Grobbewertung ergibt sich demnach folgende Formel:

$$\emptyset T_{AstmVg} = \frac{\frac{t_{irg}}{m} + t_g}{V_P \times V_T \times Q} \quad \text{Formel 6-14}$$

- $\emptyset T_{AstmVg}$     durchschnittliche Auftragszeit pro Stück mit Verluste (grob) [Zeiteinheit/Stück]
- $t_{irg}$           interne Rüstgrundzeit [Zeiteinheit]
- $t_g$             Grundzeit [Zeiteinheit]
- $m$             Losgröße [Stück]
- $V_T$           technische Verfügbarkeit [Prozent]
- $Q$             Qualitätsgrad [Prozent]

Zur Grobbewertung und -auswahl sind abschließend die Referenztaktzeit und errechnete durchschnittliche Auftragszeit pro Stück einschließlich der Verluste durch Personal, Technik und Qualität zu vergleichen. Ist die abschließend ermittelte durchschnittliche Auftragszeit pro Stück größer als die Referenztaktzeit, bedeutet dies nicht unmittelbar, dass die geplante Ressource nicht in der Lage

ist, die Referenztaktzeit zu realisieren. Denn die Verluste werden pauschal auf den gesamten Arbeitsablauf bezogen. Im Rahmen der Feinbewertung und -auswahl findet eine differenziertere Betrachtung statt.

### **Kostenmodul (grob)**

Das Kostenmodul auf Ressourcenebene zur Grobbewertung und -auswahl soll dem Planer ausgehend von dem gewählten Werkstück- und Werkzeugflusssystem im Mikrobereich und unter Berücksichtigung der neuen Prozesskettenkonfiguration den Nachweis der Wirtschaftlichkeit ermöglichen. Es soll auf der Basis eines Stückkostenvergleichs der bestehenden und der zukünftigen Prozesskette geschehen.

Es wird das in Kapitel 4.2 erarbeitete Kostenmodell zur Stückkostenkalkulation herangezogen. Mit Hilfe dieses Modells lässt sich die bestehende Prozesskette hinsichtlich der Ist-Stückkosten bewerten und gleichzeitig die Plan-Stückkosten ermitteln. Zur Bestimmung der notwendigen Eingangsgrößen zur Kalkulation der Plan-Stückkosten können in einem ersten Schritt Annäherungswerte herangezogen werden, die später im Rahmen der Feinbewertung detailliert werden. Es kann auf vorhandene Unternehmensdaten zurückgegriffen und Durchschnittswerte gebildet werden. Zudem kann der Erhebungsaufwand reduziert werden, indem der Bewertungsumfang auf die von der Veränderung betroffenen Bereiche begrenzt wird.

Mit Hilfe der ermittelten Werte für Ist- und Plan-Stückkosten kann ein Stückkostenvergleich durchgeführt und folglich das Stückkostendelta bzw. Rationalisierungspotenzial durch die Integrationsmaßnahme ermittelt werden. Ergibt sich hieraus ein positives Stückkostendelta hinsichtlich des Soll-Zustand, ist die geplante Integrationsmaßnahme aufgrund von Kostenvorteilen durchzuführen. Sind keinerlei Einsparungen durch die Integration zu erwarten, kann eine Integration unter Berücksichtigung weiterer Kriterien durchgeführt werden. Ergibt sich ein negatives Stückkostendelta hinsichtlich des Soll-Zustands, ist aus Kostensicht von der Integrationsmaßnahme abzusehen.

Des Weiteren kann auf Basis des Stückkostendeltas die Amortisationszeit der Integrationsmaßnahme ermittelt werden. Hierzu wird der Kapitaleinsatz zu den Rückflüssen pro Jahr ins Verhältnis gesetzt. Die Größe des Rückflusses setzt sich aus dem Stückkostendelta der Ist- und Plan-Prozesskette multipliziert mit der geplanten Stückzahl zusammen. Hieraus ergibt sich der Betrag, der durch die Umsetzung der Integrationsmaßnahme eingespart und als Rückfluss der Investition betrachtet werden kann. Dementsprechend folgt für die Amortisationszeit der Investition:

$$t_A = \frac{K_{INT}}{(K_{StIst} - K_{StPlan}) \times n_{St}} \quad \text{Formel 6-15}$$

$t_A$	Amortisationszeit [Zeiteinheit]
$K_{INT}$	Investitionskosten [€]
$K_{StIst}$	Stückkosten gesamt – Ist [€/Stück]
$K_{StPlan}$	Stückkosten gesamt – Plan [€/Stück]
$n_{St}$	geplante Stückzahl [Stück/Zeiteinheit]

### Ressourcenfeinbewertung und -auswahl

Ziel der Ressourcenfeinbewertung und -auswahl ist es, den Planer im Rahmen der abschließenden Bewertung und Auswahl einer möglichen Ressource hinsichtlich der Integrationsfähigkeit zu unterstützen. Es sollen die bereits im Rahmen der Ressourcengrobbewertung und -auswahl genutzten Kriterien detailliert und die zunächst unberücksichtigten Kriterien wie Emissionen und Immissionen sowie Energie- und Informationsfluss herangezogen werden.

Die Bewertung geschieht analog zur Grobplanung mit Hilfe von jeweils einem Technik-, Zeit- und Kostenmodul, deren Ergebnisse in der Auswahlliste zur Ressourcenfeinbewertung zu dokumentieren sind. Abschließend wird eine Rangfolge festgelegt, welche eine Abstufung der am geeignetsten Ressourcenalternative liefert (siehe Abbildung 6-11). Die einzelnen Module werden im Folgenden beschrieben.

#### Technikmodul (fein)

Das Technikmodul soll bei der Detaillierung der verwendeten Kriterien in der vorgelagerten Grobbewertungsphase unterstützen und den Betrachtungsumfang um die Aspekte der Emissionen und Immissionen sowie des Energie-, Medien- und Informationsflusses erweitern.

Zum Abgleich der Emissionen mit den Immissionen werden die im Integrationsanforderungsprofil erhobenen Daten verwendet. Zur eigentlichen Bewertung müssen zwei Fälle unterschieden werden:

- Auswirkungen der Emissionen der neuen Produktionsressource auf das Produktionsumfeld
- Auswirkungen der Emissionen des Produktionsumfelds auf die neue Produktionsressource

Anhand dieser zwei Fälle lassen sich zwei Bedingungen hinsichtlich der Bewertung der Integrationsfähigkeit bezüglich Emissionen und Immissionen aufstellen:

- Die freigesetzten Emissionen der neuen Produktionsressource dürfen die zulässigen Immissionen der Produktionsumgebung nicht überschreiten.

- Die freigesetzten Emissionen des Produktionsumfelds dürfen die zulässigen Immissionen der neuen Produktionsressource nicht überschreiten.

Die Bedingungen erfordern zwei unterschiedliche Betrachtungsweisen. Zum einen sind die freigesetzten Emissionen der neuen Produktionsressource den zulässigen Immissionen der Produktionsumgebung und zum anderen sind freigesetzte Emissionen des Produktionsumfelds den zulässigen Immissionen der neuen Produktionsressource gegenüberzustellen. Im Rahmen der Bewertung ist des Weiteren zu berücksichtigen, dass freigesetzte Emissionen durch Überlagerung zu einer Verstärkung führen können. Die geschilderten Zusammenhänge sind in Abbildung 6-14 dargestellt.

Sollte ein Defizit (z. B. zu hoher Schadstoffausstoß, zu hohe Lärmbelastung und zu starke Schwingungen) identifiziert werden, können technische, organisatorische und persönliche Maßnahmen zur Verminderung der Emissionen erarbeitet werden. Diese sind entsprechend der angegebenen Reihenfolge auf Anwendbarkeit zu prüfen.

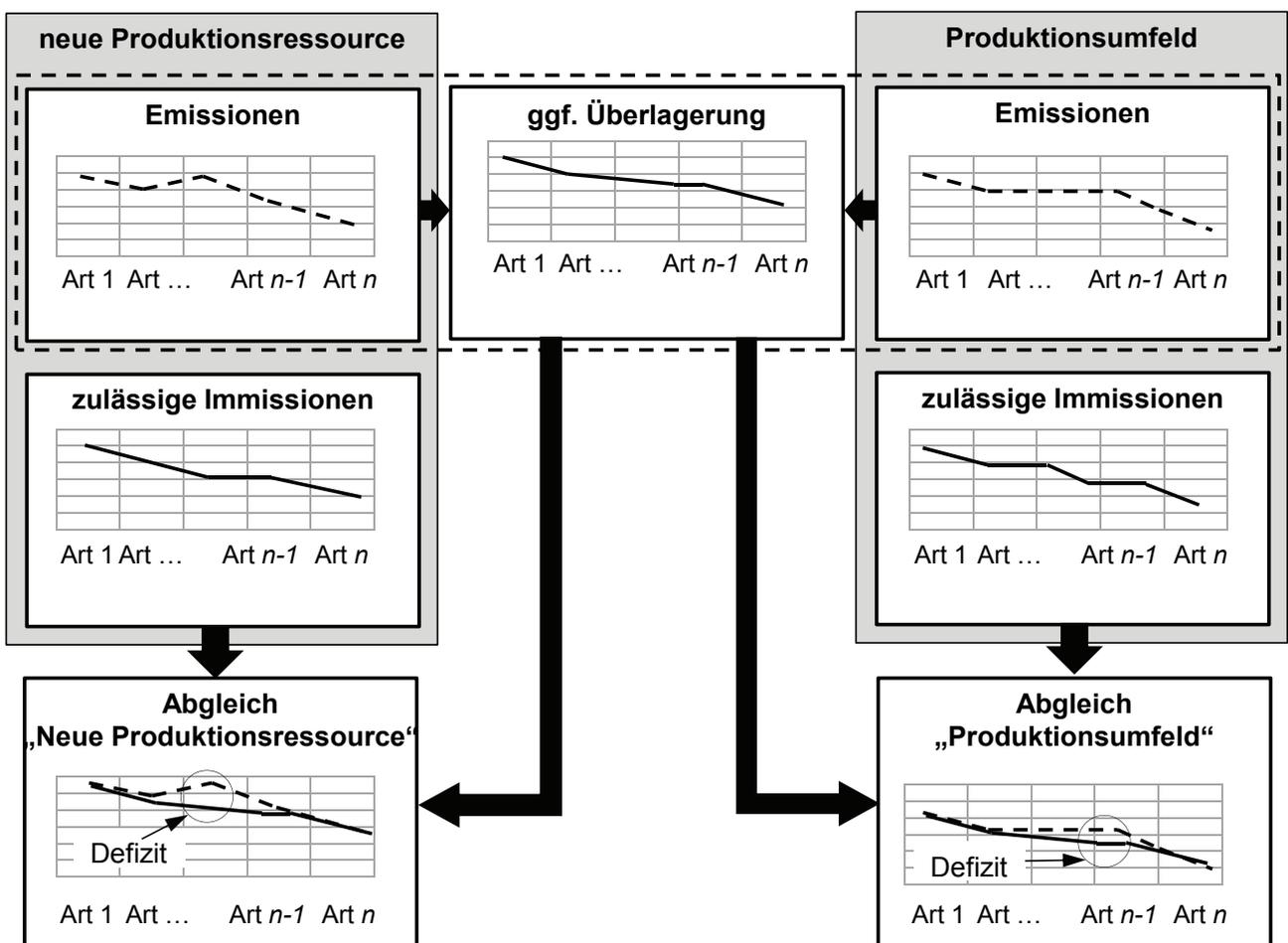


Abbildung 6-14: Abgleich von Emissionen und Immissionen

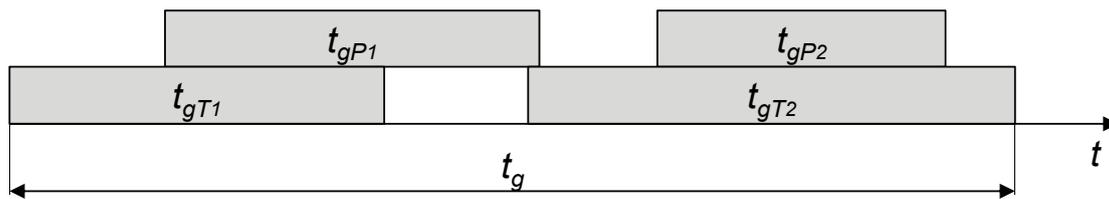
Neben dem Abgleich der Emissionen und Immissionen ist die Kompatibilität des Energie-, Medien- und Informationsflusses zu prüfen. Zur Ermittlung des erforderlichen Energie- und Medienbedarfs kann auf vorhandene Vorgehensweisen zurückgegriffen werden (vgl. Kapitel 2.4.1). Hierdurch kann der benötigte Energiebedarf sowie Medienversorgungs- und -entsorgungsbedarf nach Art und Menge bestimmt und mit dem vorhandenen Energie- und Mediensystem abgeglichen werden. Analog ist das benötigte Informationssystem der neuen Produktionsressource mit dem vorhandenen auf Kompatibilität zu prüfen.

Neben den beschriebenen Planungsaufgaben werden in diesem Planungsschritt die bereits bei der Grobbewertung und -auswahl betrachteten Kriterien detailliert. Diesbezüglich ist das Werkstück- und Werkzeugflusssystem weiter auszuarbeiten und die erforderlichen Flächenbedarfe sind auf Basis der weiteren Informationen bezüglich des Energie-, Medien- und Informationsflusses zu bestimmen.

### **Zeitmodul (fein)**

Das Zeitmodul zur Feinbewertung und -auswahl soll der abschließenden Beurteilung der zeitlichen Integrationsfähigkeit in den bestehenden Produktionsablauf dienen. Hierzu sollen die im Rahmen der Grobplanung ermittelten Zeitwerte bei Bedarf detailliert und die systembedingte Verluste (Verkettungsverluste) durch die Wechselwirkung mit vor- und/oder nachgelagerten Produktionseinheiten analysiert werden.

Zunächst sind die im Rahmen der Grobplanung ermittelte Grundzeit und Grundrüstzeit bezüglich der Tätigkeiten des Personals und der Nutzung der Technik zu unterscheiden. Dies ermöglicht im weiteren Verlauf eine stärker differenzierte Bewertung, da Verluste direkt den Zeitanteilen des Personals bzw. der Technik zugeschlagen werden können. Der Arbeitsablaufs kann in drei Phasen gegliedert werden. Es können ausschließlich Tätigkeiten durch Personal oder Technik ausgeführt oder Personal und Technik gleichzeitig eingesetzt werden. Hierfür werden Faktoren für die ausschließliche Beteiligung des Personals und der Technik sowie die gleichzeitige Beteiligung des Personals und der Technik eingeführt. Aus den Zeitanteilen der Tätigkeiten des Personals sowie der Nutzung der Technik in Bezug auf die Grundzeit bzw. Rüstgrundzeit können die Beteiligungsfaktoren bestimmt werden. Abbildung 6-15 zeigt den Anteil des Personals und der Technik an der Durchführung einer Arbeitsaufgabe beispielhaft im Zeitstrahl.



$t_{gPi}$ :  $i$ -ter Grundzeitanteil (Tätigkeit des Personals)

$t_{gTj}$ :  $j$ -ter Grundzeitanteil (Nutzung der Technik)

Abbildung 6-15: Beteiligung des Personals und der Technik an einer Arbeitsaufgabe im Zeitverlauf

Zur Ermittlung der Anteile der Tätigkeiten des Personals und/oder der Nutzung der Technik, werden die Zeiteile des Personals und der Technik addiert. Um den Zeiteil für die gleichzeitige Tätigkeit des Personals und Nutzung der Technik zu bestimmen, wird zuerst die Summe aus allen Grundzeitanteilen der Tätigkeit des Personals und der Nutzung der Technik gebildet. Nach Subtraktion der Grundzeit ergibt sich die Dauer der gleichzeitigen Tätigkeit des Personals und Nutzung der Technik. Wird dieser Grundzeitanteil durch die Grundzeit dividiert, ergibt sich der Beteiligungsfaktor für den gleichzeitigen Einsatz von Personal und Technik.

$$f_{gl} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{gPi} + \sum_{j=1}^m t_{gTj}}{t_g} - 1 \quad \text{Formel 6-16}$$

$f_{gl}$  Beteiligungsfaktor (gleichzeitige Beteiligung) [-]

$t_{gPi}$   $i$ -ter Grundzeitanteil (Tätigkeit des Personals) [Zeiteinheit]

$t_{gTj}$   $j$ -ter Grundzeitanteil  $j$  (Nutzung der Technik) [Zeiteinheit]

$t_g$  Grundzeit [Zeiteinheit]

Die Faktoren für die ausschließliche Beteiligung des Personals und der Technik werden über nachfolgende Gleichungen bestimmt:

$$f_P = \frac{\sum_{i=1}^n t_{gPi}}{t_g} - f_{gl} \quad \text{Formel 6-17}$$

$f_P$  Beteiligungsfaktor (ausschließliche Beteiligung des Personals) [-]

$$f_T = \frac{\sum_{j=1}^m t_{gTj}}{t_g} - f_{gl} \quad \text{Formel 6-18}$$

$f_T$  Beteiligungsfaktor (ausschließliche Beteiligung der Technik) [-]

Aus der Grundzeit, den Faktoren für die Beteiligung des Personals, der Technik und der gleichzeitigen Beteiligung von Personal und Technik sowie den Verfügbarkeitswerten kann die verlustbehaftete Bearbeitungszeit berechnet werden. Für die Rüstzeit kann unter Verwendung der Rüstgrundzeit die Berechnung entsprechend erfolgen. Hierfür werden analog zu den Beteiligungsfaktoren die Faktoren für die ausschließliche Beteiligung des Personals am Rüsten, die ausschließliche Beteiligung der Technik am Rüsten und die gleichzeitige Beteiligung des Personals und der Technik am Rüsten bestimmt.

Qualitätsverluste werden auf die Gesamtdauer bezogen. Sollten diese nur während der Grundzeit auftreten können, ist der Bezug auf die Rüstzeit nicht notwendig. Als durchschnittliche Auftragszeit pro Stück einschließlich Auftragsmenge, Verfügbarkeiten und Qualitätsgrad für den Vergleich mit der Referenztaktzeit ergibt sich:

$$\Phi T_{AstmVf} = \frac{t_{rg} \times \left( \frac{f_{Pr}}{V_P} + \frac{f_{Tr}}{V_T} + \frac{f_{glr}}{V_P \times V_T} \right) + t_g \times \left( \frac{f_P}{V_P} + \frac{f_T}{V_T} + \frac{f_{gl}}{V_P \times V_T} \right)}{Q} \quad \text{Formel 6-19}$$

$\Phi T_{AstmVf}$  durchschnittliche Auftragszeit pro Stück mit Verluste (fein) [Zeiteinheit/Stück]

$f_{Pr}$  Beteiligungsfaktor (ausschließliche Beteiligung des Personals am Rüsten) [-]

$f_{Tr}$  Beteiligungsfaktor (ausschließliche Beteiligung der Technik am Rüsten) [-]

$f_{glr}$  Beteiligungsfaktor (gleichzeitige Beteiligung am Rüsten) [-]

Mit Hilfe von Formel 6-19 kann die Integrationsfähigkeit einer Ressource in den zeitlichen Produktionsablauf unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung der Zeitelemente durch den Abgleich mit der Referenztaktzeit nachgewiesen werden. Darüber hinaus sind die sogenannten Folgeausfallzeiten entsprechend dem Verkettungsprinzip zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 2.5.1). Hierzu können Überschlagsrechnungen, analytische Berechnungsmodelle und zeitdiskrete Ablaufsimulationen herangezogen werden.

Anhand des beschriebenen Bewertungsablaufs lassen sich Problembereiche hinsichtlich der zeitlichen Integrationsfähigkeit identifizieren und Maßnahmen durch die Kenntnis der Einflussfaktoren ableiten.

### **Kostenmodul (fein)**

Im Kostenmodul zur Ressourcenfeinbewertung und -auswahl werden die in der vorgelagerten Grobbewertungsphase verwendeten Kriterien detailliert und die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit geprüft. Hierzu ist das Modell zur monetären Bewertung hinsichtlich der Eingangsgrößen weiter auszuführen und eine Feinbewertung der Kosten vorzunehmen.

## **6.5 Schritt 5: Umsetzung**

Sofern die Integrationsmaßnahme unter Berücksichtigung der technischen, zeitlichen und wirtschaftlichen Integrationskriterien als sinnvoll und machbar erachtet wird, ist in diesem Schritt die Detailplanung und Durchführung der Umsetzung zu vollziehen.

## **7 Validierung der Methode am Beispiel eines Unternehmens der Möbelindustrie**

Die erarbeitete Methode zur Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Montage- und Fertigungslinien wurde bei einem Unternehmen der Möbelindustrie angewandt. Die Validierung der einzelnen Planungsschritte erfolgte auf der Grundlage von Realdaten des Unternehmens sowie Expertenabschätzungen. Im Folgenden werden der Anwendungsfall sowie die Durchführung beschrieben. Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse aus der Validierung der Methode dargestellt.

### **7.1 Anwendungsfall**

#### **7.1.1 Beschreibung des Unternehmens und Struktur des Wirtschaftszweigs**

Das mittelständische Industrieunternehmen hat sich auf die Entwicklung und Herstellung von Komponenten, Baugruppen und komplexen Systemen für Büroeinrichtungen spezialisiert. Im Geschäftsjahr 2011 wurde mit ca. 320 Mitarbeitern ein Umsatz von ca. 36 Millionen Euro erwirtschaftet. Dies entspricht einem Umsatzwachstum von 35 Prozent im Vergleich zum Vorjahr [Hoppstedt 2012].

In der Büromöbelindustrie agieren 152 Unternehmen, wobei die Branche hauptsächlich durch klein- und mittelständische Unternehmen (14 kleine – 9,2%, 127 mittelgroße – 83,6%) geprägt ist [Günterberg 2012]. Die fünf umsatzstärksten Büromöbelhersteller erwirtschafteten im Jahr 2011 einen Umsatz von 681 Millionen Euro (ca. 30% des gesamten Branchenvolumens). Das betrachtete Unternehmen befindet sich derzeit unter den Top 15 der größten Hersteller [Hoppstedt 2012].

Die Hersteller werden zukünftig mit großen Herausforderungen konfrontiert sein. Büromöbel gelten in vielen Unternehmen als flexible Investitionsgüter, da sie in wirtschaftlich problematischen Zeiten kurzfristig umsetzbares Einsparpotenzial bieten [IBH Retail Consultants 2011]. Darüber hinaus sind als Herausforderungen ein steigender Kostendruck, die Erhöhung der Komplexität und Variantenvielfalt der Produkte bei gleichzeitiger Verkürzung der Lieferzeiten durch verstärkte Kundenorien-

tionierung sowie eine sich abzeichnende Teilung des Marktes in Low- und High-End-Produkte zu nennen [Concentro Management 2010, Verband Büro-, Sitz- und Objektmöbel e. V. 2011; Verband Büro-, Sitz- und Objektmöbel e. V. 2012]. Dementsprechend sind optimierte Unternehmensprozesse neben einer klar definierten Marktpositionierung wichtige Aspekte, die den zukünftigen Erfolg eines in dieser Branche agierenden Unternehmens mitbestimmen. Die Integration nicht-konventioneller Verfahren in bestehende Fertigungs- und Montagelinien ist daher ein Ansatz, den kommenden Herausforderungen entgegenzutreten und die Wettbewerbsfähigkeit in diesem Marktumfeld sicherzustellen.

### **7.1.2 Beschreibung der Produkt- und Produktionsstruktur**

Eine umfassende Kundenorientierung in Kombination mit hohen Qualitätsstandards ist der Anspruch des betrachteten Industrieunternehmens. Es soll eine feste Kundenbindung durch eine hohe Kundenzufriedenheit und die Durchsetzung höherer Preise auf dem Markt erreicht werden. In Konsequenz ergibt sich eine große Variantenvielfalt und eine hohe Funktionalität der Produkte, bei gleichzeitiger Berücksichtigung von individuellen Kundenwünschen. Neben einigen kleineren Gruppen setzt sich das Produktprogramm im Wesentlichen aus sechs Produktfamilien zusammen:

- zweibeinige, höhenverstellbare Bürotische
- Stellwände und Wandsysteme
- einsäulige Tischkonzepte (ohne Tellerfuß)
- einsäulige Tischkonzepte (mit Tellerfuß)
- Bürotische mit Vierfußgestellen
- Klapptische mit Rollen

Bedingt durch die Bestrebungen nach einer hohen Kundenorientierung in Kombination mit hohen Qualitätsstandards ist im Laufe der Historie des Industrieunternehmens eine strukturell komplexe Produktionsstruktur gewachsen.

Der gesamte Produktionsprozess lässt sich in verschiedene Bereiche unterteilen, die je nach Produktfamilie unterschiedlich durchlaufen werden. Abbildung 7-1 skizziert den Materialfluss am Beispiel der Produktfamilie „zweibeinige, höhenverstellbare Bürotische“. Die einzelnen Produktionsbereiche sind im Wesentlichen nach Technologien angeordnet und räumlich in einer Werkstatt (Bereich) zusammengefasst. Innerhalb der Bereiche sind teilweise die Arbeitssysteme nach dem Ob-

jektprinzip angeordnet. Insgesamt werden auf rund 17.000 m<sup>2</sup> Produktionsfläche jährlich 7000 Tonnen vorgefertigtes Rohmaterial verarbeitet.

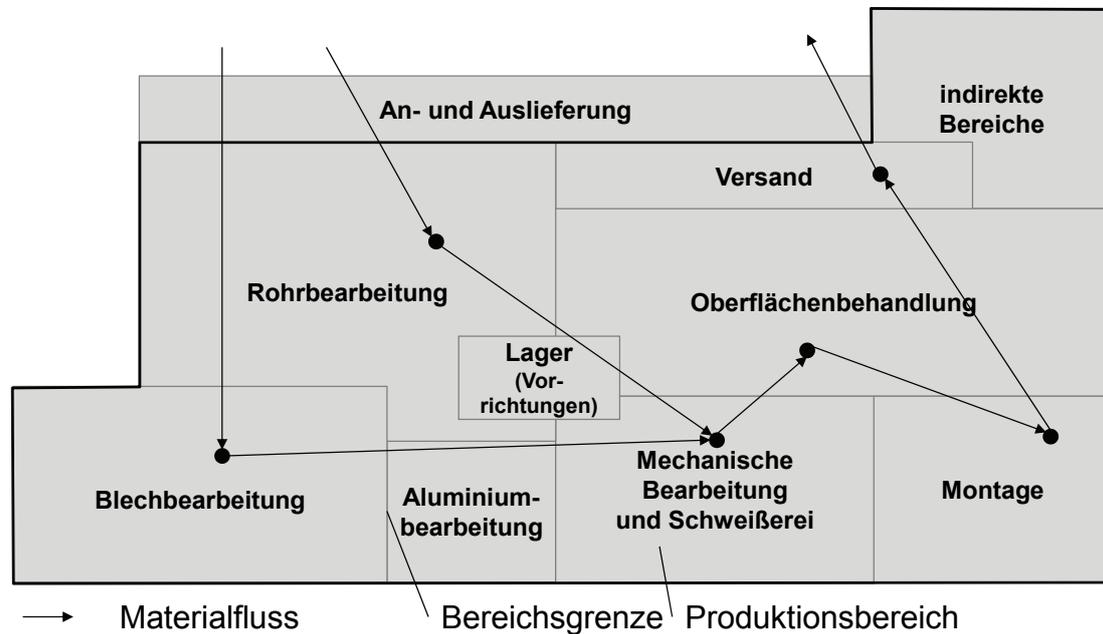


Abbildung 7-1: Bereichsstruktur und vereinfachter Materialfluss der Produktfamilie „zwei-beinige, höhenverstellbare Bürotische“

## 7.2 Durchführung

Im Folgenden wird die Anwendung der Methode am betrachteten Unternehmen beschrieben. Die unterschiedlichen Planungsschritte wurden entsprechend der erarbeiteten Methode zur Integration nicht-konventioneller Verfahren in Fertigungs- und Montagelinien durchlaufen. Um eine konsistente Datenerfassung und -auswertung und eine effiziente Durchführung zu gewährleisten, wurde die Methode in Microsoft Excel 2010 implementiert. Ein Ausschnitt des Excel-Tools mit den verwendeten Formblättern kann dem Anhang entnommen werden.

### 7.2.1 Zieldefinition und Ermittlung struktureller Informationen

Bedingt durch die Entwicklungen des Umfelds (Kostendruck, Lieferzeitenverkürzung) und dem eigenen Anspruch einer hohen Kundenorientierung in Kombination mit hohen Qualitätsstandards, ist es das Ziel des betrachteten Industrieunternehmens, die Durchlaufzeiten zu verkürzen, die Reaktionsfähigkeit zu erhöhen sowie die Stückkosten zu reduzieren.

Um die Planungsbasis zu schaffen, wurden strukturelevante Informationen (z. B. Produktfamilien, Produktionsabläufe, Auftragsinformationen anhand der Fertigungshistorie und Anzahl der Maschinenprogramme) erfasst. Als wesentliches Hilfsmittel wurde Microsoft Excel zur Auswertung des Produktionsprogramms einschließlich der Betriebsdaten verwendet. Die Auswertung der strukturelevanten Informationen ergab die Gesamtanzahl der Aufträge einzelner Produktfamilien und Planungshäufigkeiten von Fertigungsmitteln. Für die Anzahl der Kapazitäts- und Fertigungsmittelplanungen pro Auftrag, der Maschinenprogramme pro Auftrag sowie der Materialflussverknüpfungen wurden Durchschnittswerte gebildet, da sich einzelne Produktfamilien aus mehreren Produktvarianten zusammensetzen, welche je nach Variante unterschiedliche Produktionsbereiche durchlaufen und einen unterschiedlichen Ressourcenbedarf aufweisen. Nachfolgende Abbildung zeigt die Auswertung der strukturelevanten Informationen.

Produktfamilie	Klapptisch mit Rollen					
	Bürotische mit Vierfußgestell					
	einsäulige Tischkonzepte (mit Tellerfuß)					
	einsäulige Tischkonzepte (ohne Tellerfuß)					
	Stellwände und Wandsysteme					
	zweibeinige, höhenverstellbare Bürotische					
Gesamtanzahl Aufträge	4847	3305	943	965	600	534
Auftragswiederholungen	3023	1599	634	493	180	309
Auftragswiederholungen in %	62,4	48,4	67,2	51,1	30	57,9
Kapazitätsplanungen pro Auftrag (Ø)	5,2	2,9	5,5	4,1	4,3	6,3
Fertigungsmittelplanungen pro Auftrag (Ø)	1,1	1,1	1,8	1,3	1,6	2,7
Maschinenprogramme pro Auftrag (Ø)	2,3	0,8	2,8	2,0	2,2	3,1
Anzahl Materialflussverknüpfungen (Ø)	4,4	2,5	4,6	3,4	3,6	5,4

Abbildung 7-2: Auswertung der strukturelevanten Informationen

## 7.2.2 Identifikation des Rationalisierungspotenzials und Ableitung eines Integrations Szenarios

Auf der Grundlage der erfassten Planungsinformationen wurde der materialfluss- und informationsflussbezogene Integrationsgrad je Produktfamilie gebildet. Die berechneten Integrationsgrade (siehe Abbildung 7-3) zeigten, dass die Produktfamilie „zweibeinige, höhenverstellbare Bürotische“ den geringsten Integrationsgrad aufweist. Der materialfluss- bzw. informationsflussbezogene Integrationsgrad lag bei 19 % bzw. 7 %. Der niedrige informationsflussbezogene Integrationsgrad war insbesondere auf den niedrigen Integrationsgrad der Werkstattsteuerung zurückzuführen. Die anderen Produktfamilien (ausschließlich die Produktfamilie „Stellwände und Wandsysteme“) wiesen einen materialflussbezogenen Integrationsgrad zwischen 84 % und 92 % und einen informationsflussbezogenen Integrationsgrad zwischen 72 % und 78 % auf.

Das Ergebnis dieser Analyse war, dass die Integration der Prozesskette der Produktfamilie „zweibeinige, höhenverstellbare Bürotische“ das größte Rationalisierungspotenzial aufweist und hinsichtlich verschiedener Integrationsmaßnahmen zu betrachten war.

Mit Hilfe der qualitativen Integrationsgrade wurden für die gewählte Prozesskette verschiedene Integrations Szenarien erarbeitet. Unter Berücksichtigung der sich aus den organisatorischen und technischen Integrationsmaßnahmen ergebenden Wechselwirkungen wurde als Szenario die technische Integration der Prozesskette zu einer montageintegrierten Beschichtung gewählt. Die erwogene Integrationsmaßnahme wies ein Verbesserungspotenzial in der Werkstattsteuerung und in der physischen Produktion von ca. 50 % auf. Die Veränderung in der Arbeitsablaufplanung wurde zunächst nur am Rande betrachtet, da sie von der späteren Ressourcengestaltung abhängig ist. Für den bestmöglichen Fall hatte sich eine Verbesserung um ca. 42 % ergeben.

Ein weiterer Grund zur Integration der Beschichtung und Montage resultierte aus der Berücksichtigung der Durchlaufzeiten in den einzelnen Bereichen. Hierbei wurde vor allem das Potenzial einer montageintegrierten Beschichtung deutlich. Bei der Realisierung dieses Szenarios konnte eine Durchlaufzeitverkürzung von ungefähr 20 % prognostiziert werden.

Im Falle einer Umsetzung würden sich außerdem verkürzte Qualitätsregelkreise ergeben, da mangelhafte Beschichtungen in der Montage entdeckt und direkt an die Beschichtung weitergegeben werden könnten.

Zusammenfassend ergab sich für das definierte Integrations Szenario die bestmögliche Erfüllung der definierten Planungsziele.

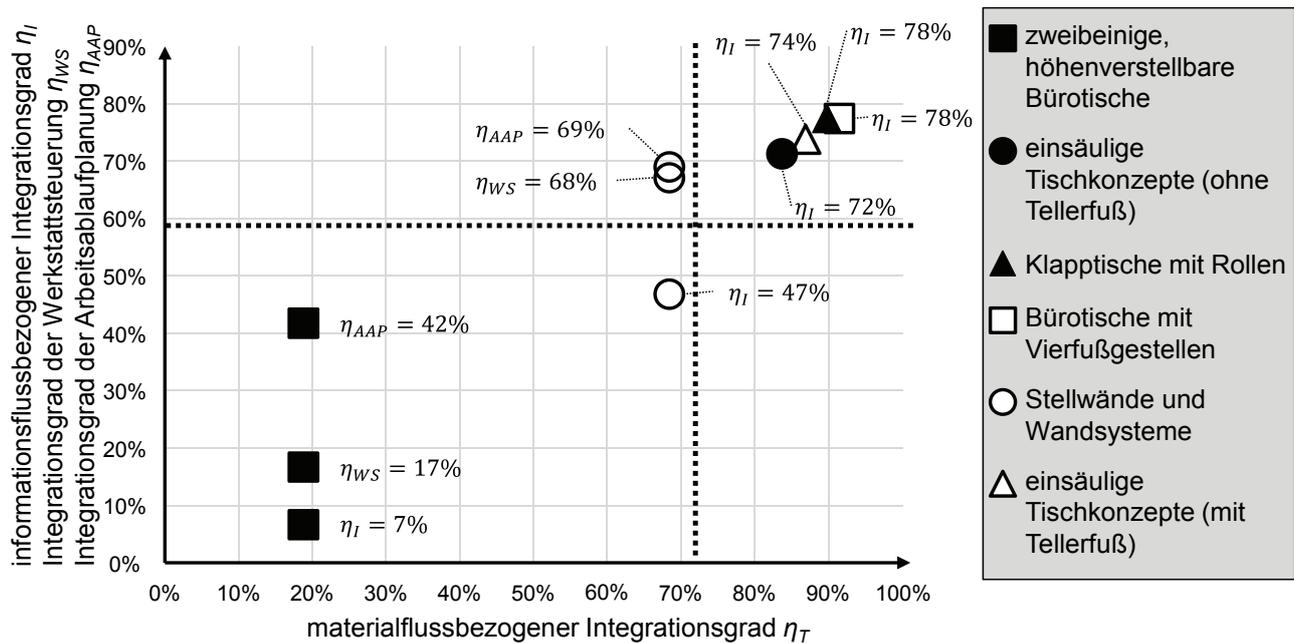


Abbildung 7-3: Materialfluss- und informationsflussbezogene Integrationsgrade der betrachteten Produktfamilien

Das definierte Integrationsszenario mit bestehender Montagelinie und vorgelagerter Beschichtung veranschaulicht Abbildung 7-4. Dem montageintegrierten Beschichtungsbereich sollen zukünftig die Bauteile aus dem vorgelagerten Fertigungsbereich bereitgestellt und in einer zur Montage vorgelagerten linienintegrierten Beschichtung lackiert werden. Ein Logistiker stellt nach der Beschichtung ein Tischset zusammen und führt dieses der Vormontage des Motors und der Spindel zu. Die Motoren, Spindeln, Säulen und auftragsbezogene Einzelteile wie Bedienelemente, Steuerungen und länderspezifische Kabel werden am entsprechenden Arbeitsplatz seitlich bereitgestellt. In der Endmontage werden durch zwei weitere Montagearbeiter die beiden Tischsäulen zusammengesetzt und in einem abschließenden Arbeitsschritt durch einen Werkarbeiter geprüft und verpackt.

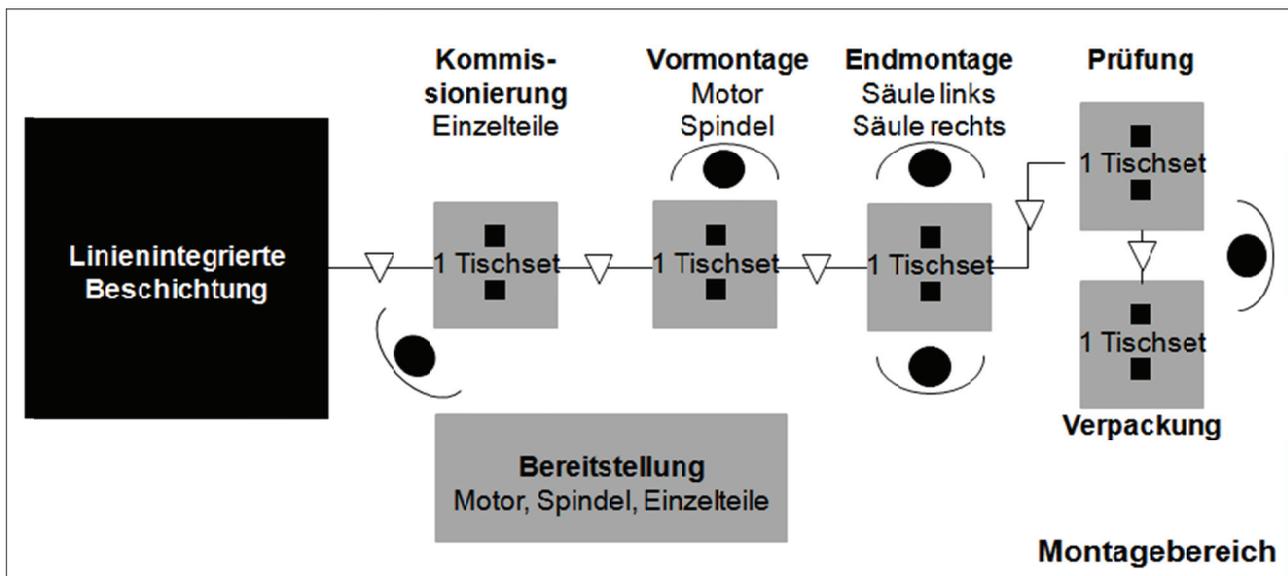


Abbildung 7-4: Integrationszenario – montageintegrierte Beschichtung

### 7.2.3 Ermittlung produkt- und ressourcenspezifischer Anforderungen

Das Integrationsanforderungsprofil wurde mittels der erstellten Produkt- und Ressourcenmodelle erfasst. Da innerhalb der Produktfamilie „zweibeinige, höhenverstellbare Bürotische“ mehrere Varianten hergestellt werden, erfolgte die Erfassung der produktspezifischen Anforderungen anhand eines Repräsentativwerkstücks, das sämtliche relevanten Produkteigenschaften der gesamten Produktfamilie berücksichtigt. Als Grundlage dienten technische Zeichnungen und Stücklisten sowie Informationen aus der Produktion und Beschaffung. Die Ermittlung der organisatorischen Eigenschaften erfolgte anhand der Auftragshistorie. Zur Bestimmung der sekundären Eigenschaften wurden an den einzelnen Prozessen beispielsweise Öle und Verzunderungen durch vorgelagerte Prozessschritte sowie die maximale Bauteiltemperatur für die nachgelagerten Prozessschritte erfasst und im Produkthanforderungsprofil dokumentiert. Abbildung 7-5 zeigt einen Ausschnitt der vor- und nachgelagerten Produkthanforderungen an der Integrationsschnittstelle.

AUFNAHMEBOGEN PRODUKTANFORDERUNGEN – VORGELAGERT		AUFNAHMEBOGEN PRODUKTANFORDERUNGEN – NACHGELAGERT	
Produktfamilie: zweibeinige, höhenverstellbare Bürotische		Produktfamilie: zweibeinige, höhenverstellbare Bürotische	
<b>primäre Eigenschaften</b>		<b>primäre Eigenschaften</b>	
geometrische Eigenschaften	Außensäule	geometrische Eigenschaften	Außensäule
Grundform	quaderförmig	Grundform	quaderförmig
Gesamtabmessung	110x 70 x 549 mm	Gesamtabmessung	110x 70 x 549 mm
Formelemente	4 Gewindebohrungen...	Formelemente	4 Gewindebohrungen...
<b>technologische Eigenschaften</b>		<b>technologische Eigenschaften</b>	
Werkstoff	Vierkanrohr: E235 + CR1 S2, Gewindeinsatz	Oberflächeneigenschaften	Sichtflächen beschichtet mit Normallack, 60 -120 µm Schicht- dicke
Werkstoffeigenschaften	elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit		
Gefügezustand	kalt gewalzt ...		
<b>sekundäre Eigenschaften</b>		<b>sekundäre Eigenschaften</b>	
<b>Kontamination/ Zustand</b>		<b>Kontamination/ Zustand</b>	
physikalische Kontamination	Lieferzustand: silikatrofreie Emulsionen Prozess Laser: Laserstaubanhaftungen	physikalische Kontamination	keine physikalische Kontaminat.
chemische Kontamination	Umgebungseinflüsse: nicht bekannt, Prozess Laser: Verzunderungen an Laserschnittkanten	chemische Kontamination	keine chemische Kontamination
thermischer Zustand	Raumtemperatur (20° C)	thermischer Zustand	maximale Temperatur: 40-50°C
<b>organisatorische Eigenschaften</b>		<b>organisatorische Eigenschaften</b>	
<b>Organisation</b>		<b>Organisation</b>	
Kundenbedarf		Kundenbedarf	80658 Stk./a
Betriebszeit		Betriebszeit	4016 h
durchschnittliche Losgröße		durchschnittliche Losgröße	34

Abbildung 7-5: Ausschnitt der vor- und nachgelagerten Produktanforderungen an der Integrationschnittstelle

Zur Charakterisierung der Integrationsanforderungen des Montagebereichs an eine mögliche Resource, wurden Informationen zu Emissionen und zulässigen Immissionen, der verfügbaren Fläche sowie zum Energie-, Informations-, Werkstückfluss- und Mediensystem erhoben und dokumentiert. Ein Auszug des Aufnahmebogens für das Anforderungsprofils zeigt Abbildung 7-6.

AUFNAHMEBOGEN		RESSOURCENANFORDERUNGEN	
<b>produktbezogene Eigenschaften</b>			
zulässige Immissionen	IST-Zustand		
Lärm	aufgrund von durchführbaren Lärmschutzmaßnahmen (Ohrenschützer, Schallisolierung) praktisch keine Obergrenzen: Berücksichtigung der gesetzlichen Vorschriften		
<b>produktionsumfeldbezogene Eigenschaften</b>			
statische Eigenschaften	IST-Zustand		
lichte Breite	12m (vorgelagert zur Montage)		
<b>Werkstückfluss (Makrobereich) IST-Zustand</b>			
Automatisierungsgrad	manuelle Materialbereitstellung		
Fördererlemente	Kommisionierwagen, Kapazität 10 Stück vereinzelt, Beförderung erfolgt durch Werker		
Förderhilfselemente	keine		
<b>Emissionen</b>			
Lärm	keine nennenswerte Lärmemissionen im Montagebereich		

Abbildung 7-6: Ausschnitt der Ressourcenanforderungen an der Integrationsschnittstelle

### 7.2.4 Bewertung und Auswahl

Anhand des erfassten Integrationsanforderungsprofils erfolgte die Identifikation und Bewertung verschiedener Verfahren zur Vor- und Nachbehandlung sowie zur Beschichtung der Bauteile in Expertenrunden (Abteilung Beschichtungssystem- und Lackiertechnik, Fraunhofer IPA). Ausgehend von den identifizierten Verfahren bzw. der identifizierten Verfahrensfolge wurden Ressourcenalternativen entsprechend der vorgeschlagenen Vorgehensweise erarbeitet und hinsichtlich der Integrationsfähigkeit in den Montagebereich bewertet. Die zugrunde gelegten Verfahrens- und Ressourcenalternativen und die erzielten Ergebnisse im Rahmen der Bewertung und Auswahl werden nachfolgend beschrieben.

#### Verfahrensbewertung und -auswahl

Zur Auswahl möglicher Verfahren wurde zunächst eine Verfahrensmorphologie erstellt (siehe Abbildung 7-7). Die Festlegung der Verfahren erfolgte im Rahmen von Expertenworkshops unter Berücksichtigung des Integrationsanforderungsprofils.

Es wurden drei Verfahrensgruppen gebildet und je Verfahrensgruppe potenzielle Verfahren identifiziert. Details zu den einzelnen Verfahren können aus der einschlägigen Literatur wie z. B. Pietschmann [Pietschmann 2010] entnommen werden.

<b>Verfahrensgruppe</b>	<b>Verfahren 1</b>	<b>Verfahren 2</b>	<b>Verfahren 3</b>
<b>Vorbehandlung</b>	CO <sub>2</sub> Schneestrahlen	Strahlspanen mit Korund	Trockendampfverfahren
<b>Applikation</b>	Pulverbeschichtung mit elektrostatischem Fluidbett	Elektrostatisches Pulversprühen	Wirbelsintern
<b>Nachbehandlung</b>	Induktionsverfahren mit anschließender Kühlstrecke	Konvektionsverfahren mit anschließender Kühlstrecke	Infrarotverfahren mit anschließender Kühlstrecke

Abbildung 7-7: Verfahrensmorphologie – Vorbehandlung, Applikation und Nachbehandlung

Anschließend wurden die identifizierten Verfahren mit Hilfe des erarbeiteten Verfahrensmodells charakterisiert und einer Bewertung je Produkteigenschaft in einer Skala von eins bis fünf hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit unterzogen. Auf gleiche Weise erfolgte die Bewertung der erhobenen vor- und nachgelagerten Produkthanforderungen. Hierdurch konnten zum einen grundsätzlich Verfahren ausgeschlossen und mögliche Verfahrensfolgen gebildet werden.

Exemplarisch zeigt Abbildung 7-8 die Bewertung einer möglichen Verfahrensfolge. Die Verfahrensfolge zeigt keinerlei Verfahrensdefizite hinsichtlich ihrer technischen Eignung. Darüber hinaus verfügt jedes Einzelverfahren bis auf das Infraroteinbrennen mit anschließender Kühlstrecke über die benötigte zeitliche Leistungsfähigkeit. Da das Einbrennen mit anschließendem Kühlen mit keinem der vorhandenen Verfahren in Taktzeit realisierbar war, wurde dieser Verfahrensschritt auf zwei Takte aufgeteilt.

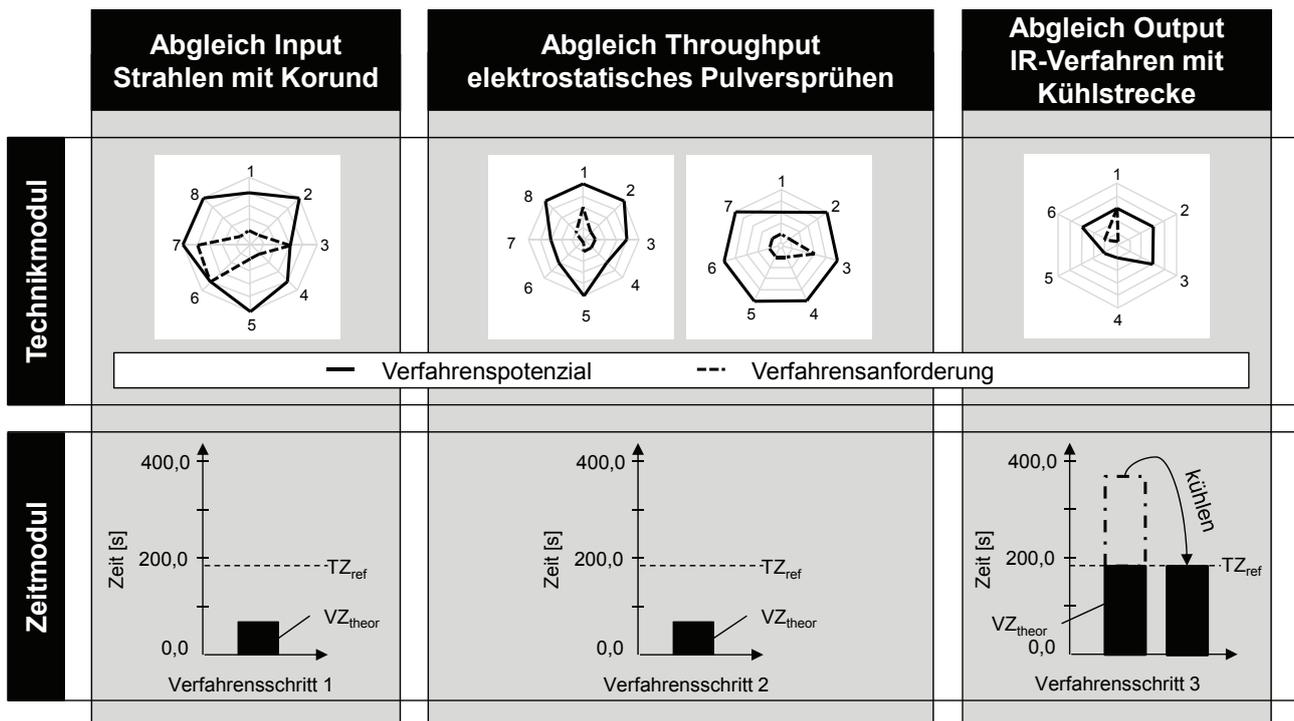


Abbildung 7-8: Beispiel einer technisch und zeitlich bewerteten Verfahrensfolge

Anhand der festgelegten charakterisierenden Verfahrensparametern und den aufgenommenen Produktanforderungen sowie unter Berücksichtigung der Entscheidungsgrößen wie voraussichtlicher Umsetzungsaufwand, Raumbedarf, Emissionen und Flexibilität sind drei Verfahrensfolgen identifiziert worden. Als zielführende Variante wurde unter Berücksichtigung der Bewertungsergebnisse die Verfahrensfolge Strahlspanen mit Korund, elektrostatisches Pulversprühen und Infraroteinbrennen mit anschließender Kühlstrecke festgelegt. Nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Ergebnisse der Verfahrensbewertung in der Zusammenfassung.

Verfahrensvariante nach Auswahlkriterien beurteilen		Entscheidung Verfahrensvariante							Entscheidung	
(+) Ja (-) Nein (o) unter Bedingung (siehe Anmerkung)		(+) Lösung kann weiter verfolgt werden (-) Lösung scheidet aus (o) Lösung kann unter Restriktionen weiterverfolgt werden							Verfahrenskombination ○ Verfahren kompatibel + Verfahren nicht kompatibel	
Technische Anforderungen	Zeitliche Anforderungen	Sonstige Anforderungen	Bauteilwischenzustand (vorgelagert) verarbeitbar							Entscheidung
			Bauteilwischenzustand (nachgelagert) erzielbar							
			Taktzeit realisierbar							
			Umrüsten realisierbar							
			Umsetzungsaufwand zulässig							
			Raumbedarf realisierbar							
			Emissionen zulässig							
			Flexibilität ausreichend							
			Anmerkung							
Vorbehandlung	CO2-Schneestrahlen	-	+	+	o	+	+	+	Umsetzungsaufwand ist im Einzelfall zu prüfen. Verfahren ist kostenintensiv.	-
	Strahlspanen mit Korund	+	+	+	+	+	+	+		+
	Trockendampf	-	+	+	+	+	+	+		-
Applikation	elektrostatisches Fluidbett		+	+	+	+	+	o	eingeschränkte Flexibilität bezüglich zukünftiger Werkstückgeometrien.	o
	elektrostatisches Pulversprüh.		+	+	+	+	+	+		+
	Wirbelsintern		+	o	+	+	+	o	Hohe Rüstaufwendungen nötig. Eingeschränkte Flexibilität bezüglich zukünftiger Werkstückgeometrien.	o
Nachbehandlung	Induktionsverfahren	+	+	+	+	+	+	o	Notwendigkeit besonderer Werkstückgeometrien. Realisierung der Kühlstrecke in einem zusätzlichen Takt.	o
	Konvektionsverfahren	+	-	+	+	o	+	+	Umsetzungsaufwand ist im Einzelfall zu prüfen. Verfahren erfordert großen Raumbedarf.	-
	Infrarotverfahren	+	+	+	+	+	+	o	Eingeschränkte Flexibilität bezüglich zukünftiger Werkstückgeometrien. Realisierung der Kühlstrecke in einem zusätzlichen Takt.	o
Verfahrensfolgen		Symbol	Anmerkung							
Verfahrensfolge 1		✘	bevorzugte Verfahrensfolge							
Verfahrensfolge 2		▲	mögliche Verfahrensfolge mit Einschränkungen							

Abbildung 7-9: Verfahrensauswahlliste – Vorbehandlung, Applikation und Nachbehandlung

### Ressourcenbewertung und -auswahl

Auf Basis der ausgewählten Verfahrensfolge wurden unterschiedliche Ressourcenalternativen anhand einer erstellten Ressourcenmorphologie im Rahmen von Expertenworkshops erarbeitet. Die drei betrachteten Alternativen werden in Abbildung 7-10 veranschaulicht und unterscheiden sich hinsichtlich des Automatisierungsgrads. Als Randbedingung wurde angenommen, dass der Nachbehandlungsprozess insbesondere aufgrund der Temperaturen von ca. 200°C automatisiert ausgeführt werden muss. Aus diesem Grund ist bei allen Alternativen ein Infrarot-Durchlaufofen mit anschließender Kühlstrecke vorgesehen. Während bei Alternative eins mit niedrigem Automatisierungsgrad sämtliche Prozessschritte ausschließlich des Einbrennprozesses manuell durchgeführt

werden, erfolgt bei Alternative zwei der Transport automatisiert und der Reinigungs- und Beschichtungsprozess manuell. Bei Alternative drei werden sämtliche Prozesse automatisiert durchgeführt.

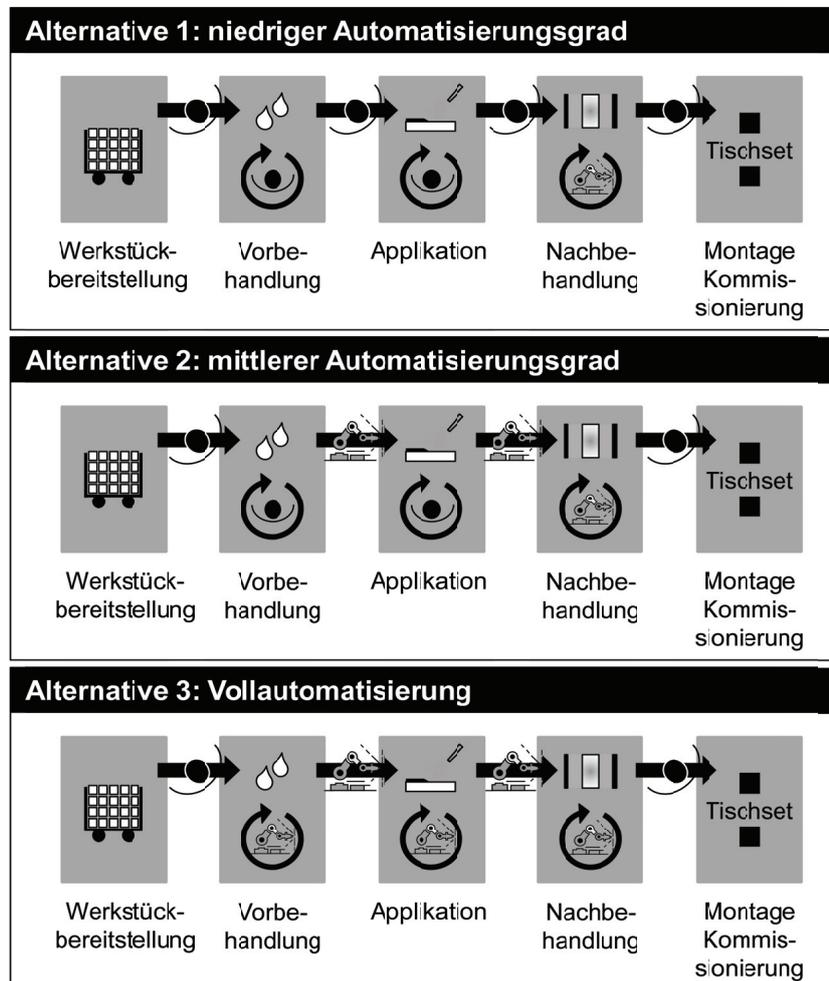


Abbildung 7-10: Schematische Darstellung der betrachteten Ressourcenvarianten

Auf Grundlage der festgelegten Ressourcenalternativen wurde anschließend die Bewertung anhand von zeitlichen, technischen und wirtschaftlichen Kriterien vorgenommen. Hierzu wurden zunächst für jede Gestaltungsalternative entsprechend der Vorgehensweise Informationen wie Raumbedarfe, Rüstzeiten Verfügbarkeiten und Investitionen im Rahmen von Expertenbefragungen und beispielsweise auf Basis von MTM-Analysen zur Bestimmung der Zeitbedarfe erhoben.

Im Rahmen der Grobbewertung wurden die einzelnen Alternativen hinsichtlich der festgelegten Integrationskriterien Zeit, Fläche und Kosten bewertet. Da es sich bei der Grobbewertung um eine Vorauswahl anhand von Schätzwerten handelt, wurden Toleranzbereiche je Kriterium gebildet, so dass geringfügige Überschreitungen von Restriktionen nicht zwangsläufig zum Ausschluss einer Resource führten. Es ergaben sich für die manuelle Alternative ein eineinhalbfacher Flächenbedarf zur

verfügbaren Fläche und eine Überschreitung der Referenztaktzeit. Daher musste diese Variante von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden. Die Ressourcenalternative mit mittlerem Automatisierungsgrad benötigte nach der ersten Abschätzung eine größere Fläche als zur Verfügung stand. Dies lag jedoch innerhalb des festgelegten Toleranzbereichs. Die vollautomatisierte Alternative lag unterhalb des verfügbaren Flächenbedarfs. Die zeitliche Bewertung für beiden Alternativen ergab, dass aufgrund der berechneten Taktzeit der Nachbehandlungsstufe von ca. 174 Sekunden eine Produktion ohne Verkettungsverluste erforderlich ist. Folglich mussten staufähige Förderer eingeplant werden, um die Rüstprozesse des vorgelagerten Beschichtungsprozesses auszugleichen. Aus Kostensicht wiesen die beiden Alternativen ein Einsparpotenzial von 8 % bis 10 % hinsichtlich der Stückkosten und eine Amortisationszeit von unter einem Jahr auf. Nachfolgend sind die beschriebenen Ergebnisse in der Auswahlliste zur Ressourcengrobbewertung abgebildet.

Ressourcenalternative nach Auswahlkriterien beurteilen		Entscheidung Verfahrensvariante					Anmerkung	Entscheidung
(+) Ja (-) Nein (o) unter Bedingung (siehe Anmerkung)		(+) Lösung kann weiter verfolgt werden (-) Lösung scheidet aus (o) Lösung kann unter Restriktionen weiterverfolgt werden						
Technische Anforderungen		Fläche ausreichend						
Zeitliche Anforderungen		Bodenbelastung zulässig				Taktzeit realisierbar		
Wirtschaftliche Anforderungen		Stückkosten eingehalten			Amortisationszeit vertretbar			
Ressourcen- alternative (RA)	niedriger Automatisierungsgrad	-	+	O	+	+		-
	mittlerer Automatisierungsgrad	O	+	+	+	+	Flächenbedarf liegt noch im festgelegten Toleranzbereich. Feinbewertung notwendig. staufähige Förderer erforderlich – Verkettungsverluste beachten	O
	Vollautomatisierung	+	+	+	+	+	staufähige Förderer erforderlich – Verkettungsverluste beachten	+

Abbildung 7-11: Ressourcengrobauswahlliste

In der anschließenden Feinbewertung erfolgte die Betrachtung der weiteren Auswahlkriterien wie Emissionen, Energiefluss-, Medien- und Informationssystem. Aufgrund der geringen Anforderungen der Produktionsumgebung sowie der Ressourcenalternativen bezüglich der erweiterten Kriterien, konnten keine Integrationshemmnisse festgestellt werden. Neben den weiteren Auswahlkriterien wurden die bereits im Rahmen der Grobbewertung und -auswahl herangezogenen Integrationsaspekte verfeinert. Insbesondere wurden die Flächenbedarfe auf Basis der einzelnen Flächenbestandteile und die errechneten Taktzeiten mit Hilfe der Beteiligungsfaktoren für ausschließliche

Tätigkeiten des Personals oder der Technik und gleichzeitige Tätigkeiten von Personal und Technik verfeinert. Da die monetäre Bewertung bereits in der Grobbewertungsphase aufgrund der geringen Anzahl an Ressourcenalternativen im Detail vorgenommen werden konnte, musste keine weitere Betrachtung der monetären Aspekte erfolgen. Im abschließenden Ranking der Alternativen wurden auf Basis der vorliegenden Bewertungsergebnisse die vollautomatisierte als priorisierte Alternative festgelegt.

### 7.3 Erkenntnisse

Die Methode zur Unterstützung der Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Produktionslinien wurde bei einem Unternehmen aus der Büromöbelbranche beispielhaft angewandt. Anhand dieses Beispiels sollte der grundlegende Ablauf der Methode hinsichtlich der Unterstützung des Planers überprüft werden.

Es wurde deutlich, dass die vorgeschlagene Methode die Integration von nicht-konventionellen Verfahren durchgängig unterstützt. Zum einen sind die erarbeiteten Integrationsgrade behilflich bei der Identifikation von Rationalisierungspotenzialen und stellen ein geeignetes Hilfsmittel dar, konventionelle mehrstufige Prozessketten zu hinterfragen und erfolgsversprechende Integrationsszenarien abzuleiten. Zum anderen geben die Modelle zur Abbildung der Integrationsanforderungen Aufschluss über zu berücksichtigende Kriterien und tragen zur systematischen Bewertung und Auswahl im Rahmen der Integrationsplanung bei. Außerdem kann von einer analogen Anwendung im Falle einer Neuplanung ausgegangen werden.

Des Weiteren zeigte sich im Rahmen der Anwendung der Methode, dass das Ergebnis von belastbaren Eingangsinformationen abhängt. Als wesentliche Voraussetzung können daher für eine sachgemäße Anwendung möglichst vollständige und aktuelle Informationen genannt werden. Demzufolge ist eine interdisziplinäre Herangehensweise in Form von Expertenworkshops unterschiedlicher Fachgebiete unabdingbar. Zur Einhaltung der definierten Methode ist ein methodenvertrauter Spezialist erforderlich. Darüber hinaus werden Verfahrensexperten und mögliche Anlagenhersteller zur Erhebung der notwendigen Planungsinformationen insbesondere für die Phase der Bewertung und Auswahl benötigt. Nach Anwendung der Methode ist es sinnvoll, Unternehmensvertretern die Modelle der Integrationsgrade zur kontinuierlichen Überprüfung von Rationalisierungsmaßnahmen detailliert zu erläutern und für eine eigenständige Anwendung zur Verfügung zu stellen.

Darüber hinaus konnte nachgewiesen werden, dass durch die Integration nicht-konventioneller Verfahren in Produktionslinien eine Stückkostenreduktion erreicht werden kann. Des Weiteren ergaben sich durch die ununterbrochene Produktion Vorteile im Materialfluss wie z. B. eine kurze Durchlaufzeit. Im betrachteten Beispiel konnte eine Stückkostenreduktion von 10% und eine Durchlaufzeitreduzierung von 20% erreicht werden.

Zusammenfassend zeigte sich, dass durch die konsequente Anwendung der Methode die Integration der Prozesskette erreicht und Einsparpotenziale realisiert werden können. Dies führt zu einer nachhaltigen Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, da vor allem durch die Anwendung der Methode Prozessketten hinsichtlich ihrer räumlichen und organisatorischen Trennung überdacht und neuartige, integrierte Lösungen geschaffen werden. Eine kontinuierliche Anwendung der Methode ist daher empfehlenswert. Wesentlich für die Anwendung ist eine interdisziplinäre Herangehensweise mit Fachleuten, die von einem methodenvertrauten Spezialisten begleitet wird. Dies stellt eine sachgemäße Anwendung sicher und gewährleistet möglichst vollständige und aktuelle Planungsinformationen.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Gegenwärtig sind Prozessketten meist mehrstufig und umfassen Bereiche wie spanende Bearbeitung, Beschichtung und Montage. Die räumliche und organisatorische Trennung dieser Bereiche führt zur Unterbrechung des Produktionsflusses und bedingt nicht-wertschöpfende Prozessschritte, die Ressourcen wie Zeit, Ausrüstung und Raum erfordern.

In der industriellen Produktion werden heutzutage höchstleistungsfähige Prozessketten gefordert, die u. a. eine geringe Komplexität und hohe Reaktionsfähigkeit sowie Robustheit aufweisen, um den Rahmenbedingungen wie sinkende Losgrößen, steigende Variantenvielfalt und kürzere Modelllaufzeiten gerecht zu werden. Die Integration von Produktionsstufen ist ein Ansatz, um die heutigen Anforderungen einer wettbewerbsfähigen Produktion zu erfüllen. Um die klassische Trennung der Produktionsbereiche aufzuheben, werden heute standardisierte und erprobte Maschinen verwendet, die Ähnlichkeiten zum Integrationsbereich aufweisen, etwa bei Bearbeitungs- und Rüstzeiten sowie bei den Dimensionen der Maschinen. Eine Verlagerung der Ressourcen ist daher möglich. Hingegen wird die Integration von nicht-konventionellen Verfahren (z. B. Pulverbeschichtung), die im Wesentlichen aufgrund inkompatibler Prozesszeiten (Taktzeit) sowie der hohen Anforderungen an die Produktionsumgebung getrennt sind, in Produktionslinien lediglich vereinzelt umgesetzt. Insbesondere die Vorprägung und der Wissensstand der Planer in historisch gewachsenen Prozessketten sowie die mangelnde Kenntnis relevanter Einflussfaktoren und Wechselwirkungen an den Gestaltungselementen der Prozesskette sind Faktoren, die eine Integration hemmen.

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Methode zur Unterstützung des Planers im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Montage- und Fertigungslinien erarbeitet. Auf Basis der Beschreibung des Betrachtungsbereiches wurden die grundsätzlichen Anforderungen an eine durchgängige Methode zur Integration nicht-konventioneller Verfahren spezifiziert. Die anschließende Analyse bestehender Ansätze zur Gestaltung von Prozessketten verdeutlichte, dass insbesondere das Aufzeigen rationeller Lösungen durch die Integration der Prozesskette, die ganzheitliche Abbildung integrationsrelevanter Schnittstellenkriterien an den Prozesskettenelementen Produkt, Verfahren, Produktionsressource und -umgebung sowie die ebenfalls ganzheitliche Bewertung

einer Integrationsmaßnahme nicht unterstützt werden. Basierend auf diesen Ergebnissen, wurden Modelle erarbeitet, welche die integrationsrelevanten Schnittstellenkriterien an den genannten Prozesskettenelementen berücksichtigen. Anschließend wurden die Modelle zu einer vierstufigen Methode integriert und spezifische Hilfsmittel zur Bewertung und Auswahl erarbeitet.

Um den Planer bereits vorab über mögliche Integrationsziele zu informieren und bei der Zieldefinition zu unterstützen, wurden Integrationsziele zusammenfassend beschrieben. Darüber hinaus wurden zur Produkt- und Produktionsanalyse strukturelevante Informationen aus Sicht der Produktfamilien und Produktionsabläufe zusammenfassend dargestellt, die im Rahmen der Integration von Produktionsstufen zu berücksichtigen sind. Die erforderliche Datenerhebung beruht grundsätzlich auf der Wertstromanalyse. Um eine ganzheitliche Bewertung der Integrationsmaßnahme zu ermöglichen und den Erhebungsaufwand in Grenzen zu halten, wurde die Wertstromanalyse um integrationsrelevante Prozesse der indirekten Bereiche erweitert und im ursprünglichen Betrachtungsumfang im Detaillierungsgrad reduziert. Dieser Betrachtungsumfang ist für die anschließende Analyse hinsichtlich des Rationalisierungspotenzials durch die Integration von Produktionsstufen ausreichend.

Zur Analyse des Rationalisierungspotenzials wurden Integrationsgrade definiert, welche nicht-wertschöpfende Prozessschritte zur Auftragsdurchsetzung sowie ihre Aufttrittshäufigkeit in direkten und indirekten Bereichen und deren Ressourcenbedarf berücksichtigen. So wird der Planer über Aufwendungen (bzw. Verschwendungen) zur Herstellung unterschiedlicher Produktfamilien informiert und es wird ihm in Folge Rationalisierungspotenzial aufgezeigt. Darüber hinaus wurde ein Diagramm zur Ableitung einer integrierten Systemkonfiguration erarbeitet. Der Planer wird in die Lage versetzt, unterschiedliche Stoßrichtungen bezüglich verschiedener Integrationsmaßnahmen zu beurteilen und festzulegen sowie kontinuierlich dazu angestoßen, über integrierte Lösung nachzudenken und eben solche voranzutreiben.

Zur Charakterisierung der relevanten Integrationsschnittstellen einer Prozesskette wurden ein Produkt-, Verfahrens-, Ressourcen- sowie ein übergeordnetes Kostenmodell erarbeitet.

Je nach Betrachtungsperspektive wurden die Modelle so konzipiert, dass zum einen die Beschreibung der Integrationsaufgabe und zum anderen eine systematische Bewertung der Integrationsfähigkeit durchgeführt werden kann. Für die Beschreibung der Integrationsaufgabe wurde das sogenannte Integrationsanforderungsprofil definiert, welches die Charakterisierung des notwendigen Transformationsprozesses (Produktanforderungen) sowie der Anforderungen aus der bestehenden physischen Produktion (Ressourcenanforderungen) erlaubt.

Ausgehend von dem Integrationsanforderungsprofil wurde eine Systematik zur Generierung und stufenweisen Bewertung möglicher Verfahren bzw. Verfahrensfolgen sowie Ressourcenalternativen erarbeitet. Die Generierung von Alternativen auf Verfahrens- und Ressourcenebene basiert auf einem morphologischen Kasten. Zur Entflechtung der Bewertung wurden unterschiedliche Bewertungsstufen eingeführt. Um die grundsätzliche Integrationsfähigkeit von Verfahren nachzuweisen, erfolgt im ersten Schritt eine ressourcenunabhängige Betrachtung. Die Betrachtungstiefe wird anschließend über die Ressourcengrobbewertung bis hin zur Ressourcenfeinbewertung erhöht. Zur Unterstützung der Bewertung wurden integrationsrelevante Zusammenhänge innerhalb und zwischen den Modellen dargestellt sowie an kritischen Integrationspunkten, die eine Berücksichtigung verschiedenster Integrationskriterien erfordern, spezifische Bewertungsmodelle erarbeitet. So wurde für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit ein Kostenmodell aufgebaut, welches nicht nur integrationsbezogene Veränderungen in der physischen Produktion betrachtet, sondern auch die Wirkungen auf die Tätigkeiten der indirekten Bereiche. Darüber hinaus wurden zur Bewertung der zeitlichen Integrationsfähigkeit in eine Produktionslinie mathematische Modelle ausgearbeitet, welche in Abhängigkeit der Ressourcenkonfiguration eine Bestimmung der resultierenden Taktzeit und eine Bewertung ermöglichen. Auch die Bewertung der räumlichen Integrationsfähigkeit basiert auf einem mathematischen Modell. Für die übersichtliche Dokumentation der Bewertungsergebnisse wurden Auswahllisten erstellt.

Abschließend wurde die Methode mit den einzelnen Schritten in einem EDV-Tool implementiert und am Beispiel eines Unternehmens aus der Büromöbelindustrie angewendet sowie auf ihre Durchführbarkeit geprüft. Es konnte nachgewiesen werden, dass mit dieser Arbeit ein Beitrag zur Unterstützung von Planern im Rahmen der Integration nicht-konventioneller Verfahren in Produktionslinien geleistet wurde und Unternehmen durch die Anwendung der Methode ihre Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig steigern können.

Die erarbeitete Methode stellt einen systematischen Ansatz zur durchgängigen Unterstützung der Integration von nicht-konventionellen Verfahren in Fertigungs- und Montagelinien dar. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht die Unterstützung des Planers bei der Erfassung, Auf- und Weiterverarbeitung relevanter Integrationskriterien und der ganzheitlichen Bewertung einer Integrationsmaßnahme sowie die Überwindung der Vorprägung des Planers durch das Aufzeigen rationeller, integrierter Lösungen. Unter diesem Blickwinkel bestehen verschiedene Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschungsarbeiten.

Die erarbeitete Methode erfordert Interdisziplinarität in Form von Expertenworkshops unterschiedlicher Fachgebiete. Diesbezüglich stellt die Integration der Methode mit einer Vorgehensweise zum durchgängigen Engineering von Maschinen und Anlagen eine erfolgversprechende Erweiterung dar. In vereinheitlichten Modellen könnten Planungsinformationen gemeinsam genutzt und eine optimale Abstimmung der Produkt- und Produktionsstruktur sowie eine effiziente Planung erreicht werden.

Des Weiteren ist eine Erweiterung der definierten Integrationsgrade denkbar. Aspekte wie erreichbare Rationalisierungspotenziale durch den Einsatz hybrider Fertigungsverfahren und erforderliche produktspezifische Aufwendungen (z. B. Bauteilgewicht und Abmessungen) zur Auftragsdurchführung würden Ergänzungen darstellen und in Folge eine multikriterielle Bewertung erlauben. Dadurch könnte ein Instrument für eine ganzheitliche Bewertung und Bestimmung des optimalen Integrationsgrads von produktionstechnischen Strukturen geschaffen werden.

Darüber hinaus ist die Neu- und Weiterentwicklung von Technologien eine elementare Aufgabe zukünftiger Forschungsarbeiten. Technologien stellen die Basis zum Aufbau höchstleistungsfähiger Prozessketten dar.

## Summary

### **Methodology for the integration of non-conventional processes in flexible manufacturing and assembly lines**

Nowadays, most process chains are multistage and comprise production areas like machining, coating and assembly. These spatially and organizationally separated production areas (job shop production) interrupt the continuity of the process chain and lead to non-value adding processes resulting in demands for more resources like time, equipment and space.

In industrial production high performance process chains are needed which are characterized by low complexity, high responsiveness, and robustness to meet requirements such as smaller lot sizes, an increasing variety of versions, and shorter model life cycles. The integration of production stages is an approach to meet the challenges of a competitive production. In order to dissolve the traditional boundaries between production areas, often standardized and approved machines are being used which have similarities in process and set-up times and in the dimensions of the existing resources. Consequently no considerable compatibility problems can be expected.

In terms of non-conventional processes (e.g. powder coating) which are located in different production areas mainly due to incompatible process times and high demands of the necessary production environment, the integration into production lines is limited to a few implementations. In particular, reasons like thinking and planning in well-worn tracks according to the experience and wide knowledge of the planner and insufficient knowledge about the determining factors and interdependencies of the design elements of a process chain prevent the integration.

In the presented work an approach was developed for assisting the planner in the integration of non-conventional processes into flexible assembly and manufacturing lines. Based on the description of the field of observation, basic requirements have been specified. The analysis of existing approaches for the design of process chains has shown that neither the illustration of rational solutions by integrating process chain, nor the holistic description of the relevant integration criteria of the design elements of a process chain (product, technology and resource), nor the holistic evaluation of

an integration measure are supported. Based on these results, models have been devised which take into account relevant integration criteria of the process chain. In addition the models have been integrated into a four-step planning methodology and specific tools for the evaluation and selection have been developed.

In order to inform the planners in advance of possible integration goals and to support them in defining goals, possible integration goals have been described. For the product and production analysis structure relevant information from the viewpoint of product lines and production processes have been defined, that need to be considered when integrating production stages. The data collection is principally based on the value stream analysis. In order to achieve a holistic view on the evaluation of integration measures and to minimize the data collection effort, the value stream analysis has been expanded for integration relevant processes in the indirect value chain and the level of detail has been reduced.

For the analysis of the rationalization potential various integration indicators have been defined. They consider both non value adding processes for order execution and the frequencies of such processes in the direct and in the indirect process chain. Doing this, the planner is informed about efforts for the production of different product lines and consequently it will show him rationalization potential. Based on this a diagram for the derivation of an integration scenario has been developed. So the planner is in a position to evaluate and set different activities in terms of integration measures and is continuously invited to think about and to foster integrated solutions.

For characterizing relevant integration criteria of the design elements of a process chain a product, technology, resource and cost model has been defined.

Depending on the viewpoint, the models have been designed to enable both a description of the integration task and a systematic evaluation of the capability of integrating processes into the process chain. The description of the integration task is achieved with an integration requirement profile that allows the characterization of the necessary transformation process (product requirements – upstream and downstream) and the resource requirements resulting from the integration segment.

Starting from the integration requirement profile, a method has been developed for generating and evaluation of possible technologies, technology chains and resource alternatives step by step. The generation of alternatives on the technology and resource level is achieved with a morphological box. For reducing complexity different evaluation levels have been introduced. In order to check the basic integration capability of technologies, a viewpoint is taken that is independent of resources. The scope from the rough to detailed evaluation is increased. To support the evaluation, determin-

ing factors and interdependencies of the design elements of a process chain within and between models are shown. For critical integration points, which require the consideration of different integration criteria, specific evaluation tools have been designed. For the economic evaluation a cost model has been set up that not only considers the integration related changes in the physical production, but also the effects on processes in the indirect value chain. Moreover, for integration capability in terms of time, mathematic models have been defined which allow determining the cycle time on the basis of the resource configuration. The integration capability in terms of space is also based on a mathematic model. For clearly arranged documentation of the results selection lists have been created.

In conclusion, the methodology with all steps has been implemented in an IT tool and applied in a company from the office furniture industry and its feasibility has been examined. It has been shown that the presented work makes a contribution to supporting the planner when integrating non-conventional processes into production lines and to supporting companies to achieve and increase sustainable competitiveness.

# Literaturverzeichnis

- Abele/Reinhart 2011      Reinhart, G.; Abele, E.:  
Zukunft der Produktion: Herausforderungen, Forschungsfelder,  
Chancen.  
München, Wien: Hanser, 2011
- Adam 1998                Adam, Dietrich:  
Produktions-Management.  
9. Aufl., Wiesbaden: Gabler, 1998
- ArbStättV 2004         Arbeitsstättenverordnung:  
Arbeitsstättenverordnung vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179),  
die zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 19. Juli 2010  
(BGBl. I S. 960) geändert worden ist.  
<http://www.juris.de/purl/gesetze/ArbSt%C3%A4ttV> (13.04.12)
- Arnold et al. 2008     Arnold, D. (Hrsg.); Isermann, H. (Hrsg.) ; Kuhn, A. (Hrsg.); Tem-  
pelmeier, H. (Hrsg.) ; Furmans, K. (Hrsg.):  
Handbuch Logistik.  
3. Aufl., Berlin u. a.: Springer, 2008.
- AWF 68                  AWF - Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung (Hrsg.) e.V. und  
REFA - Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und  
Unternehmensentwicklung (Hrsg.):  
Handbuch der Arbeitsvorbereitung, Teil: Arbeitsplanung.  
Berlin, Köln, Frankfurt: 1968
- Bandorf et al. 2008    Bandorf, R.; Diehl, W.; Heckmann, U.; Holeczek, H.; Klotzbach,  
U.; Kondruweit-Reinema, S.; Leson, A.; Metzner, M.; Pflug, A.;

- Zimmer, O.:  
Thesen und Trends – Mit funktionalen Oberflächen in die Zukunft.  
Propositions and Trends – With Functional Surfaces into the Future.  
In: Vakuuum in Forschung und Praxis 20 (2008), Nr. 5, S.14–20  
Weinheim: Wiley-VCH, 2008
- Barth/Barth 2008      Barth, T.; Barth, D.:  
Controlling.  
2. Aufl., München: Oldenbourg, 2008
- Bauernhansl 2012a      Bauernhansl, T.:  
Kern des Übels sind Band und Takt. (2012)  
<http://www.atzonline.de/Aktuell/Interviews/35/247/Kern-des-Uebels-sind-Band-und-Takt-.html> (04.04.12)
- Bauernhansl 2012b      Bauernhansl, T.:  
Innovationen entstehen heute an den Schnittstellen. (2012)  
[http://www.automationspraxis.de/home/-/article/33568397/37165893/%E2%80%9EInnovationen-entstehen-heute-an-den-Schnittstellen%E2%80%9C/art\\_co\\_INSTANCE\\_0000/maximized/](http://www.automationspraxis.de/home/-/article/33568397/37165893/%E2%80%9EInnovationen-entstehen-heute-an-den-Schnittstellen%E2%80%9C/art_co_INSTANCE_0000/maximized/)  
(27.07.12)
- Behrendt 2009      Behrendt, A.:  
Entwicklung eines Modells zur Fertigungssystemplanung in der spanenden Fertigung.  
(Schriftenreihe des PTW: "Innovation Fertigungstechnik")  
Aachen: Shaker, 2009  
Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2009
- Bertalanffy 1972      von Bertalanffy, L.:  
Vorläufer und Begründer der Systemtheorie.  
In: Kurzrock, R. (Hrsg.): Systemtheorie.

- Berlin: Colloquium Verlag, 1972, S. 17-28
- Bichlmaier 2000      Bichlmaier, C.:  
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen.  
München: Utz, 2000  
(Produktentwicklung; 39)  
München, Techn. Univ., Diss. 2000
- Biermann et al. 2009      Biermann, D.; Weinert, K.; Marschalkowski, K.:  
Langhubhonen in der Kombinationsbearbeitung: Werkzeug- und Prozessentwicklung für das Bohrungshonen.  
In: ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 104 (2009), Nr. 9, S. 755-760
- Binner 2005      Binner, H. F.:  
Handbuch der prozessorientierten Arbeitsorganisation : Methoden und Werkzeuge zur Umsetzung.  
2. Aufl., München, Wien: Hanser, 2005  
(REFA Fachbuchreihe Unternehmensentwicklung)
- Binner 2003      Binner, H. F.:  
Prozessorientierte Arbeitsvorbereitung.  
2. Aufl., München, Wien: Hanser, 2003
- BMBF 2008      Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF; Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST; Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:  
Produktionstechnik zur Erzeugung funktionaler Oberflächen, Status und Perspektiven.  
Braunschweig, 2008
- Böck et al. 2012      Böck, J.; Siegert, J.; Bauernhansl, T.; Westkämper, E.:  
Interface requirements and planning framework for the integration

- of non-conventional processes in production lines.  
In: Dornfeld, D. A.(Hrsg.); Linke, B. S.(Hrsg.):  
Leveraging Technology for a Sustainable World:  
Conference on Life Cycle Engineering: 19. CIRP, 23.-25. Mai  
2012, Berkeley, USA.  
Heidelberg u. a.: Springer, 2012, S.369-373
- Böck et al. 2011      Böck, J.; Siegert, J.; Westkämper, E.:  
Integration of transformable compact coating centers in assembly  
lines.  
In: Spath, D. (Hrsg.); Ilg, R. (Hrsg.); Krause, T. (Hrsg.):  
Fraunhofer- Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO:  
Innovation in Product and Production: 21st International Con-  
ference on Production Research, 31. Juli bis 4. August 2011,  
Stuttgart.
- Böck et al. 2009      Böck, J.; Westkämper, E.; Cudazzo, M.; Kluge, S.; Riffelma-  
cher, P.:  
Mit Pulver mobil beschichten: Wandlungsfähige und ressourceneff-  
fiziente Produktionssysteme.  
In: Intelligenter produzieren. (2009), Nr. 2, S. 8-10
- Bolch/Holeczek 2002      Bolch, T.; Holeczek, H.:  
Ganzheitliche Betrachtungen zur Umstellung von Produktionspro-  
zessen: Beispiele.  
In: VDI: Oberflächentechnik meets Produktionstechnik: Kostenre-  
duktion durch Innovation - Ganzheitliche Betrachtung von Be-  
schichtungsverfahren: 3.Dezember 2002, Düsseldorf. Düsseldorf,  
2002, S. 1.
- Bornhäuser 2009      Bornhäuser, M.:  
Reifegradbasierte Werkstattsteuerung.  
Heimsheim: Jost-Jetter, 2009

(IPA-IAO Forschung und Praxis; 485)

Stuttgart, Univ., Diss., 2009

Brandes 2008

Brandes, A.:

Positionierung technologischer Schnittstellen - Beitrag zur ganzheitlichen Auslegung fertigungstechnischer Prozessketten.

Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum, 2008

(Berichte aus dem IFW; 6)

Hannover, Univ., Diss., 2008

Brecher et al. 2011

Brecher, C.; Kozilski, S.; Karmann, O.:

Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer, Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik: Aachener Perspektiven 2011.

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT; RWTH Aachen Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre: Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium (AWK), 26. bis 27. Mai 2011, Aachen.

Aachen: Shaker, 2011

Brecher et al. 2008

Brecher, C. (Hrsg.); Klocke, F. (Hrsg.); Schmitt, R. (Hrsg.); Schuh, G. (Hrsg.):

Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik: Aachener Perspektiven – 2008.

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT; RWTH Aachen Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre: Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium (AWK), 5. bis 6. Juni 2008, Aachen.

Aachen: Apprimus Verlag, 2008

Bullinger et al. 2009

Bullinger, H.-J. (Hrsg.); Spath, D. (Hrsg.); Warnecke, H.-J. (Hrsg.); Westkämper, E. (Hrsg.):

Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung.

3. Aufl., Berlin u. a.: Springer, 2009
- Bullinger et al. 2002 Bullinger, H.-J.; Schuster, E.; Güntzel, K.:  
Collaborative-Business, Teil 1: Der neue Trend für produzierende  
Unternehmen.  
In: Industrielle Informationstechnik (2002), Nr. 1/2, S. 28-30
- Coenenberg et al. 2007 Coenenberg, A. G.; Fischer, T. M.; Günther, T.:  
Kostenrechnung und Kostenanalyse.  
6. Aufl., Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2007
- Concentro Management  
2010 Concentro Management:  
Büromöbelbranche: Positive Entwicklung bedeutet noch kein Ende  
der Krise (2010).  
[http://www.concentro.de/files/pm\\_whitepaper-brombel\\_final.pdf](http://www.concentro.de/files/pm_whitepaper-brombel_final.pdf),  
S 1, (09.10.12)
- Cooper/Kaplan 1988 Cooper R., Kaplan R.S.:  
Measure Costs Right – Make the Right Decisions.  
In: Harvard Business Review 66 (1988), Nr. 5, S.96-103
- Corsten/Gössinger 2009 Corsten, H.; Gössinger, R.:  
Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produkti-  
onsmanagement.  
12. Aufl., München: Oldenbourg, 2009
- Cudazzo et al. 2010 Cudazzo, M.; Strohbeck, U.; Siegert J.; Böck, J.:  
Oberflächen innovativ vorbehandeln und beschichten: Extra  
schnell pulverbeschichten.  
In: Ondratschek, D.: besser lackieren! Jahrbuch 2011.  
Hannover: Vincentz, 2010, S. 238-246
- Dangelmaier 2003 Dangelmaier, W.:  
Produktion und Information: System und Modell.  
Berlin u. a.: Springer, 2003

- Dangelmaier 2001      Dangelmaier, W.:  
Fertigungsplanung: Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung.  
2. Aufl., Berlin u. a.: Springer, 2001
- Dangelmaier 1999      Dangelmaier, W.:  
Fertigungsplanung: Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung.  
Berlin, Heidelberg: Springer, 1999
- Denkena et. al. 2009      Denkena, B.; Hahmann, D.; Meyer, R.:  
Wie die Zukunft bei Schleif- und Hartdrehprozessen aussieht.  
In: WB Werkstatt und Betrieb (2009), Nr. 1/2, S. 46-51
- Denkena et al. 2005      Denkena, B.; Rudzio, H.; Liedtke, C.; Brandes, A.:  
Planung fertigungstechnischer Prozessketten, Entwicklung von  
Methoden zur ganzheitlichen Prozesskettenplanung am PZH der  
Universität Hannover.  
In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005), Nr. 11/12, S. 866-871
- DIN 8580                  DIN 8580 2003-09:  
Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung
- DIN 8593-0                DIN 8593 Teil 0 2003-09:  
Fertigungsverfahren Fügen: Allgemeines - Einordnung, Unterteilung,  
Begriffe
- Dolezalek/Warnecke  
1981                      Dolezalek, C. M.; Warnecke, H.-J.:  
Planung von Fabrikanlagen.  
2. Aufl., Berlin, u. a.: Springer, 1981
- Domschke et. al. 1997      Domschke, W.; Scholl, A.; Voß, S.:  
Produktionsplanung – Ablauforganisatorische, Aspekte.  
2. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer 1997
- Dyckhoff/Spengler 2010      Dyckhoff, H. (Hrsg.); Spengler, S. (Hrsg.):

- Produktionswirtschaft: Eine Einführung.  
3. Aufl., Berlin u. a.: Springer, 2010
- Ebert 2004                      Ebert G.:  
Kosten- und Leistungsrechnung: Mit einem ausführlichen Fallbeispiel.  
Wiesbaden: Gabler, 2004
- Ehrlenspiel et al. 2007      Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.:  
Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung.  
(Verein Deutscher Ingenieure)  
6. Aufl., Berlin u. a.: Springer, 2007
- ElMaraghy et al. 2009      ElMaraghy, H.; Azab, A.; Schuh, G.; Pulz, C.:  
Managing variations in products, processes and manufacturing systems.  
In: CIRP Annals - Manufacturing Technology 58 (2009), Nr. 1, S. 441-446
- Erlach 2010                    Erlach, K.:  
Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik.  
2. Aufl., Berlin u. a.: Springer, 2010
- Eversheim/Schuh 2005      Eversheim, W.; Schuh, G.:  
Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung.  
Berlin: Springer, 2005
- Eversheim 2002              Eversheim, W.:  
Organisation in der Produktionstechnik - Band 3: Arbeitsvorbereitung.  
4. Aufl., Berlin u. a.: Springer, 2002
- Eversheim 1998              Eversheim, W.:  
Organisation in der Produktionstechnik - Band 2 : Konstruktion.

3. Aufl., Berlin u. a.: Springer, 1998
- Eversheim 1996      Eversheim, W.:  
Organisation in der Produktionstechnik - Band 1: Grundlagen.  
3. Aufl., Düsseldorf: VDI Verlag, 1996
- Eversheim 1989      Eversheim, W.:  
Organisation in der Produktionstechnik - Band 4 : Fertigung und  
Montage.  
(Studium und Praxis)  
2. Aufl., Düsseldorf : VDI Verlag, 1989
- Fallböhrer 2000      Fallböhrer, M.:  
Generieren alternativer Technologieketten in frühen Phasen der  
Produktentwicklung.  
Aachen: Shaker, 2000  
(Berichte aus der Produktionstechnik; 23/2000)  
Aachen, RWTH, Diss., 2000
- Feldmann 1997      Feldmann, C.:  
Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montagepla-  
nung.  
Berlin u. a.: Springer, 1997  
(Forschungsberichte iwv; 104)  
München, Techn. Univ., Diss., 1996
- Frick 2003      Frick, W. R.:  
Maschinen und Anlagen: Triebwerksteile rationell drehen und  
schleifen.  
In: WB Werkstatt und Betrieb (2003), Nr. 5, S. 26-29
- Früh et al. 2009      Früh, K. F. (Hrsg.); Maier, U. (Hrsg.); Schaudel, D. (Hrsg.):  
Handbuch der Prozessautomatisierung: Prozessleittechnik für ver-  
fahrenstechnische Anlagen.  
4. Aufl., München: Oldenbourg, 2009
- Grundig 2009      Grundig, C.-G.:

- Fabrikplanung : Planungssystematik - Methoden - Anwendungen.  
3. Aufl., München, Wien: Hanser, 2009
- Gudehus 2005                    Gudehus T.:  
Logistik – Grundlagen, Strategien, Anwendungen.  
3. Aufl., Berlin: Springer, 2005
- Günterberg 2012                Günterberg , B.:  
Unternehmensgrößenstatistik – Unternehmen, Umsatz und sozial-  
versicherungspflichtig Beschäftigte 2004 bis 2009 in Deutschland,  
Ergebnisse des Unternehmensregisters (URS 95).  
In: Institut für Mittelstandsforschung Bonn (Hrsg.):  
Daten und Fakten.  
Bonn: IfM Bonn, 2012.
- Günther/Tempelmeier  
2005                                Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.:  
Produktion und Logistik.  
6. Aufl., Berlin u. a.: Springer, 2005
- Haberstock 2002                Haberstock L.:  
Kostenrechnung I.  
Berlin: Erich Schmid, 2002
- Hackstein 1989                 Hackstein, R.:  
Produktionsplanung und -steuerung (PPS): ein Handbuch für die  
Betriebspraxis.  
2. Aufl., Düsseldorf: VDI Verlag, 1989
- Hegenscheidt 2003             Hegenscheidt, M.:  
Kennliniengestützte Leistungsprognose verketteter Produktions-  
systeme.  
Düsseldorf : VDI Verlag, 2003  
(Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 2; 646)  
Hannover, Univ., Diss., 2003
- Heinecker 2006                 Heinecker, M.:  
Methodik zur Bewertung und Gestaltung wandelbarer  
Materialflusssysteme.  
München: Utz, 2006

- Heinrich 2009                    Heinrich, M.:  
Transport- und Lagerlogistik : Planung, Struktur, Steuerung und  
Kosten von Systemen der Intralogistik.  
7. Aufl., Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2009
- Heisel/Wurst 2006                Heisel, U.; Wurst K.-H.:  
Wandelbare, zielvariable Bearbeitungssysteme.  
In: Westkämper, E. (Hrsg.) et al: Wandlungsfähige Unternehmens-  
strukturen für die variantenreiche Serienproduktion - Abschlussbe-  
richt 1997-2005: Sonderforschungsbereich467.  
Stuttgart, 2006
- Henn/Kühnle 1999                Henn, G.; Kühnle, H.:  
Strukturplanung.  
In: Eversheim, W.(Hrsg.); Schuh, G.(Hrsg.); Akademischer Verein  
Hütte:  
Produktion und Management.  
7. Aufl., Berlin u. a.: Springer, 1999, Kap. 9.4
- Herstatt et al. 2007                Herstatt, C.; Buse, S.; Tiwari, R.; Umland, M.:  
Innovationshemmnisse in kleinen und mittelgroßen Unternehmen,  
Konzeption der empirischen Untersuchung (2007).  
[http://www.global-  
innovation.net/publications/PDF/RIS\\_Befragung\\_Konzeption.pdf](http://www.global-innovation.net/publications/PDF/RIS_Befragung_Konzeption.pdf)  
(27.07.12)
- Hesse 2010                        Hesse, S.:  
Grundlagen der Handhabungstechnik.  
2. Aufl., München: Hanser, 2010
- Hirschberg 2000                    Hirschberg, A. G.:  
Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Ferti-  
gung.  
München: Utz, 2000  
(Forschungsberichte iwib; 137)  
München, Techn. Univ., Diss. 2000
- Holeczek 2004                    Holeczek, H.:  
Fertigungsintegrierte Galvanotechnik - der Weg in die industrielle

- Produktionstechnologie.  
In: Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik:  
Oberflächentage 2004: Mehrländertagung Deutschland, Polen,  
Slowakei, Tschechien, Ungarn mit 42. Jahrestagung der DGO: 22.  
bis 24. September 2003, Dresden. Dresden: DGO, 2004, S. 269-  
279.
- Hoppenstedt 2012 Hoppenstedt:  
Firmendatenbank für Hochschulen.  
<http://www.hoppenstedt-hochschuldatenbank.de> (09.10.2012)
- Horváth 2006 Horváth, P.:  
Controlling.  
10. Aufl., München: Vahlen, 2006
- Horváth/Mayer 1989 Horváth, P.; Mayer, R.:  
Prozeßkostenrechnung: der neue Weg zu mehr Kostentransparenz  
und wirkungsvolleren Unternehmensstrategien.  
In: Controlling 1 (1989), S. 214-219
- IBH Retail Consultants IBH Retail Consultants:  
2011 Branchenfokus Büromöbel (2011).  
<http://www.markt-studie.de/168/d/2011/04/12/ibh-bueromoebel-stoppen-umsatzeinbruch-und-konsolidieren-sich-auf-niedrigem-niveau/> (27.07.12)
- Jalizi et al. 2009 Jalizi, B.; Korff, D.; Rost, R.:  
Mehrtechnologiemaschinen versus Mehrmaschinenkonzepte: Al-  
leskönner oder Teamplayer?  
In: WB Werkstatt und Betrieb (2009), Nr. 10, S. 12-17
- Janisch 2007 Janisch, C.:  
Hochgeschwindigkeitsverzinkung (HGV) geometrisch komplexer  
Bauteile.

- Heimsheim : Jost-Jetter, 2007  
(IPA-IAO Forschung und Praxis; 465)  
Stuttgart, Univ., Diss. 2007
- Johlen 2003                      Johlen, G.:  
Prozessoptimierung für die Hartfeinbearbeitung durch Kombination von Hartdrehen und Schleifen.  
Essen: Vulkan-Verlag, 2003  
(Schriftenreihe des ISF; 22)  
Dortmund, Univ., Diss. 2003
- Joos-Sachse 2006                Joos-Sachse, T.:  
Controlling, Kostenrechnung und Kostenmanagement – Grundlagen, Instrumente, Neue Ansätze.  
Wiesbaden: Gabler, 2006
- Jovane et al. 2009                Jovane, F.; Westkämper, E.; Williams, D.:  
The ManuFuture Road: Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing.  
Berlin u. a.: Springer, 2009
- Jünemann/Schmidt 2000        Jünemann, R.; Schmidt, T.:  
Materialflusssysteme: Systemtechnische, Grundlagen.  
2. Aufl., Berlin u. a.: Springer 2000
- Jung 2007                         Jung, H.:  
Controlling.  
München: Oldenbourg, 2007
- Kaplan/Anderson 2007         Kaplan, R., S.; Anderson, S., R.:  
Time-Driven Activity-Based Costing: A Simpler and More Powerful Path to Higher Profits.  
Harvard Business Scholl Publishing Corporation, 2007
- Kettner et al. 1984                Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R.:

- Leitfaden der systematischen Fabrikplanung.  
München, Wien: Hanser, 1984
- Kleiner 2007 Kleiner, M.:  
Untersuchung zur Aktualisierung der Forschungsfelder für das  
Rahmenkonzept "Forschung für die Produktion von morgen"  
(2007)  
<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb07/541739344.pdf>  
(18.05.2012)
- Kletti/Schumacher Kletti, J. ; Schumacher, J.:  
Die perfekte Produktion: Manufacturing Excellence durch Short  
Interval Technology (SIT).  
Berlin u. a.: Springer, 2011
- Klindt et al. 2007 Klindt, T.; Kraus, T., von Locquenghien, D.; Ostermann, H.-J.;  
Deutsches Institut für Normung (Hrsg.):  
Die neue EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG.  
2. Aufl., Berlin: Beuth, 2007
- Klocke 2012 Klocke, F.:  
Präzisionsbearbeitung als Schlüsseltechnologie der Zukunft.  
In: wt Werkstattstechnik online 102 (2012) Nr. 6, S. 346
- Klocke 1998 Klocke, F.:  
Produktion 2000 plus - Visionen und Forschungsfelder für die  
Produktion in Deutschland: Untersuchungsbericht zur Definition  
neuer Forschungsfelder für die Produktion nach dem Jahr 1999.  
Aachen: Freundeskreis des Laboratoriums für Werkzeugmaschi-  
nen und Betriebslehre der RWTH Aachen, 1998
- Knoche 2005 Knoche, K.:  
Generisches Modell zur Beschreibung von Fertigungstechnolo-  
gien.

- Aachen: Shaker, 2005  
(Berichte aus der Produktionstechnik; 5/2005)  
Aachen, RWTH, Diss., 2004
- Kohler 2007 Kohler, U.:  
Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung  
produktionstechnischer Systeme.  
München, TU, Diss., 2007
- Kratzsch 2000 Kratzsch, S.:  
Prozess- und Arbeitsorganisation in Fließmontagesystemen.  
Essen: Vulkan-Verlag, 2000  
(Schriftenreihe des IWF)  
Braunschweig, Carolo-Wilhelmina Univ., Diss., 2000)
- Lödding 2005 Lödding, H.:  
Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung,  
Konfiguration.  
Berlin u. a.: Springer, 2005
- Löser 2007 Löser, K.:  
Erfahrungen mit fertigungsintegrierten Wärmebehandlungsanlagen  
in der Antriebstechnik.  
In: Stahl (2007), Nr. 2, S. 36-38
- Lotter/Wiendahl 2006 Lotter, B. (Hrsg.); Wiendahl, H.-P. (Hrsg.):  
Montage in der industriellen Produktion: Ein Handbuch für die  
Praxis.  
Berlin u. a.: Springer, 2006
- May 2011 May H.(Hrsg.):  
Handbuch zur ökonomischen Bildung.  
9. Aufl., München: Oldenburg, 2011
- Mertens/Neubauer 1994 Mertins, K.; Neubauer, G.:

- Steuerung.  
In: Spur, G. (Hrsg.): Handbuch der Fertigungstechnik, Band 6:  
Fabrikbetrieb.  
München, Wien: Hanser, 1994, Kapitel 4
- Metzner 2007 Metzner, M.:  
Galvanotechnik für die industrielle Fertigung.  
In: Oberflächen - Polysurfaces 48 (2007), Nr. 1, S. 6-9
- Metzner 2006 Metzner, M.:  
Integration von Beschichtungsprozessen in Fertigungssysteme.  
In: Heisel, U.(Hrsg.) u. a.: FtK - Fertigungstechnisches Kolloquium, 20.-21. September 2006, Stuttgart.  
Stuttgart: 2006, S. 371-382
- Möbius et al. 2003 Möbius, A.; Holeczek, H.; Gottwald, B.; Sommadossi, S.-A.:  
Integration der Schichttechnik in Fertigungsabläufe.  
In: Gesellschaft für Fertigungstechnik u. a.: Stuttgarter Impulse:  
Zukunft Gestalten-Zeichen setzen, 13. bis 15. Oktober 2003, Stuttgart.  
Stuttgart: 2003, S. 308–338.
- Mollath 1999 Mollath, G.:  
Kriterien für fertigungsflussintegrierte Oberflächentechnik.  
In: Galvanotechnik 90 (1999), Nr.11, S. 2982 – 2996  
Bad Saulgau: Leuze, 1999
- Mollath 1994 Mollath, G.:  
Ökonomische und Ökologische Vorteile durch Integration der  
Oberflächentechnik in die Fertigung.  
In: 16. Ulmer Gespräche. Umweltgerechte Galvano- und Oberflächentechnik: Ökologische und ökonomische Aspekte neuer Verfahrenstechniken und Systemlösungen, Neu-Ulm (Donau), 5. und 6. Mai 1994.  
Bad Saulgau: Leuze, 1994

- Moryson 2004 Moryson, R.-D.:  
Die systematische, rechnerunterstützte Prozessauswahl und -kettenerstellung in der Grobplanungsphase der Produktionsplanung.  
Zürich, Techn. Hochschule, Diss., 2004
- Much/Nicolai 1995 Much, D.; Nicolai, H.:  
PPS-Lexikon.  
Berlin: Cornelsen, 1995
- Müller 2008 Müller, S.:  
Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen.  
München: UTZ, 2008  
München, Techn. Univ., 2007
- Nau et al. 2011 Nau, B.; Roderburg, A.; Klocke, F.:  
Ramp-up of hybrid manufacturing technologies.  
In: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology (2011), Nr.4, S. 313–316
- Nebl 2007 Nebl, T.:  
Produktionswirtschaft.  
München: Oldenbourg, 2007
- Nyhuis 2008 Nyhuis, P. (Hrsg.):  
Beiträge zu einer Theorie der Logistik.  
Berlin u. a.: Springer, 2008
- Nyhuis et al. 2008 Nyhuis, P.; Reinhart, G.; Abele, E.:  
Wandlungsfähige Produktionssysteme: Heute die Industrie von morgen gestalten.  
Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum, 2008
- Nyhuis/Schmidt 2008 Nyhuis P.; Schmidt, M.:  
Produktionsplanung und Steuerung.  
In Arnold, D. (Hrsg.); Isermann, H. (Hrsg.); Kuhn, A. (Hrsg.); Tempelmeier, H. (Hrsg.); Furmans, K. (Hrsg.):  
Handbuch Logistik.

3. Aufl., Berlin u. a.: Springer, 2008, S.323-342
- Nyhuis/Zoleko 2007 Nyhuis, P.; Zoleko, F.:  
Variantenbeherrschung in einer mobilen Montage, Ergebnis einer  
Integrativen Montageplanung.  
In: wt Werkstattstechnik online 97 (2007), Nr.4, S. 244-248
- Nyhuis et al. 2005 Nyhuis, P.; Kolakowski, M.; Heger, C. L.:  
Evaluation of Factory Transformability.  
In: 3rd International CIRP Conference on Reconfigurable Manu-  
facturing, 11. und 12. Mai 2005, Ann Arbor, USA.
- Pawellek 2008 Pawellek, G.:  
Ganzheitliche Fabrikplanung: Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-  
Unterstützung.  
Berlin u. a.: Springer, 2008  
ISBN 978-3-540-78402-9
- Pietschmann 2010 Pietschmann, J.:  
Industrielle Pulverbeschichtung: Grundlagen, Anwendungen, Ver-  
fahren.  
3. Aufl., Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2010  
(JOT Fachbuch).
- Pritschow 2006 Pritschow, G.:  
Einführung in die Steuerungstechnik.  
München, Wien: Hanser, 2006
- REFA 1997 REFA Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und  
Unternehmensentwicklung:  
Methodenlehre der Betriebsorganisation: Datenermittlung.  
München: Hanser, 1997
- REFA 1991 REFA Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und  
Unternehmensentwicklung:  
Methodenlehre der Planung und Steuerung – Teil 2.  
München: Hanser, 1991
- REFA 1990 REFA Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und  
Unternehmensentwicklung:

- Methodenlehre der Betriebsorganisation.  
2. Aufl., München: Hanser, 1990
- REFA 1985 REFA Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung:  
Methodenlehre der Planung und Steuerung.  
4. Aufl., München: Hanser, 1985
- Reichel et al. 2009 Reichel, J.; Müller, G.; Mandelartz, J. (Hrsg.):  
Betriebliche Instandhaltung.  
Berlin u. a.: Springer, 2009
- Röhrig 2002 Röhrig, M.:  
Variantenbeherrschung mit hochflexiblen Produktionsendstufen.  
Düsseldorf : VDI Verlag, 2002  
(Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 2; 622)  
Hannover, Univ., Diss., 2002
- Ropohl 2009 Ropohl, G.:  
Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik.  
3. Aufl., Karlsruhe: Universitätsverlag, 2009
- Ropohl 1979 Ropohl, G.:  
Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie.  
München, Wien: Hanser, 1979
- Rother/Shook 2004 Rother, M.; Shook, J.; Lean Management Institut:  
Sehen lernen (Deutsche Ausgabe Version 1.1): Mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen.  
Aachen, 2004. (Workbooks für Lean Management).
- Ruprecht 2010 Ruprecht, R.:  
Produktion in Deutschland hat Zukunft, Ergebnisse aus dem BMBF Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“, 10. Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung 9. und 10. März 2010, Karlsruhe.
- Schäfer 2003 Schäfer, L.:  
Analyse und Gestaltung fertigungstechnischer Prozessketten -

- Konzept zur datenbasierten Ermittlung qualitätswirksamer Einfluss-Ursache-Wirkzusammenhänge und zur Ableitung von Maßnahmen zur Prozesssicherung.  
(FBK Produktionstechnische Berichte; 45)  
Kaiserslautern, Univ., Diss., 2003
- Schenk/Wirth 2004      Schenk, M.; Wirth, S.:  
Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik.  
Berlin u. a.: Springer, 2004
- Schlick et al. 2010      Schlick, C.; Bruder R.; Luczak, H.:  
Arbeitswissenschaft.  
3. Aufl., Heidelberg u. a.: Springer, 2010
- Schmigalla 1995      Schmigalla, H.:  
Fabrikplanung - Begriffe und Zusammenhänge.  
München u. a.: Hanser, 1995
- Schütt 1991      Schütt, J. M.:  
Verfahrensintegration im Rahmen der technischen Investitionsplanung: ein Beitrag zur Beurteilung der Verfahrensintegration am Beispiel der spanenden Fertigung.  
Aachen, RWTH, Diss., 1991
- Schuh 2009      Schuh, G.:  
Neue Herausforderungen in der Produktionstechnik: Fabrikplanung im Umfeld der Krise.  
In: wt Werkstattstechnik online (2009), Nr. 4, S. 192
- Schuh/Knoche 2005      Schuh, G.; Knoche, K.:  
Systematisch zur besseren Technologiekette. Auswahl und Kombination von Fertigungstechnologien für definierte Produktionsaufgaben.  
In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005), Nr.4, S. 259–263.
- Schweitzer/Küpper 2008      Schweitzer, M.; Küpper, H. U.:  
Systeme der Kosten- und Erlösrechnung.  
München: Vahlen, 2008

- Steger 2010                      Steger, J.:  
Kosten- und Leistungsrechnung - Einführung in das betriebliche Rechnungswesen, Grundlagen der Vollkosten-, Teilkosten-, Plankosten- und Prozesskostenrechnung.  
München: Oldenbourg, 2010
- Stelling 2005                     Stelling, J. N.:  
Kostenmanagement und Controlling.  
München: Oldenbourg, 2005
- Steven 2007                      Steven, M.:  
Handbuch Produktion: Theorie – Management – Logistik – Controlling.  
Stuttgart: Kohlhammer, 2007
- Taylor 1919                      Taylor, F. W.:  
The principles of scientific management.  
New York, London: Harper & Brothers, 1919
- Thonemann 2010                Thonemann, U.:  
Operations Management: Konzepte, Methoden und Anwendungen.  
München: Pearson Studium, 2010
- Tönshoff/Denkena 2004        Tönshoff, H. K.; Denkena, B.:  
Spanen: Grundlagen.  
2. Aufl., Berlin u. a.: Springer, 2004
- Tönshoff et al. 2001            Tönshoff, H. K.; Friemuth, T.; Siebert, K.; Brandes, A.:  
Positionierung technologischer Schnittstellen, Verfahrensbewertung und -auswahl mit Hilfe von Verfahrenskatalogen.  
In: wt Werkstattstechnik online 91 (2001), Nr. 6, S. 338-341
- Trommer 2001                   Trommer, G.:  
Methodik zur konstruktionsbegleitenden Generierung und Bewertung alternativer Fertigungsfolgen.  
Aachen: Shaker, 2001  
(Berichte aus der Produktionstechnik; 15/2001)  
Aachen, RWTH, Diss., 2001
- Urlberger 2005                 Urlberger, H:

- Umsetzung fertigungsintegrierter Beschichtungstechnik  
und Perspektive Betreibermodell.  
In: Galvanotechnik 96 (2005), Nr. 1, S102-110  
Bad Saulgau: Leuze, 2005
- VDI 2058-3 VDI 2058 Teil 3 1999-02:  
Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung  
unterschiedlicher Tätigkeiten
- VDI 2689 VDI 2689 2010-05:  
Leitfaden für Materialflussuntersuchungen
- VDI 2860 VDI 2860 1990-05:  
Montage und Handhabungstechnik - Handhabungsfunktionen,  
Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole
- VDI 3423 VDI 3423 2011-08:  
Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen - Begriffe, Zeiterfas-  
sung und Berechnung
- VDI 4004- 4 VDI 4004 Teil 4 1986-07:  
Zuverlässigkeitskenngrößen - Verfügbarkeitskenngrößen
- VDI 5600-1 VDI 5600 Teil 1 2007-12:  
Fertigungsmanagementsysteme
- Verband Büro-, Sitz- und Objektmöbel e. V.  
2011 Verband Büro-, Sitz- und Objektmöbel e. V.:  
In vielen Büros herrscht dringender Modernisierungsbedarf (2011)  
<http://www.buero-forum.de/de/navigation-left/presse-portal/pressemitteilungen/ergonomie-und-gesundheit/in-vielen-bueros-herrscht-dringender-modernisierungsbedarf> (27.05.2012)
- Verband Büro-, Sitz- und Objektmöbel e. V.  
2012 Verband Büro-, Sitz- und Objektmöbel e. V.:  
Umsätze mit Büromöbeln stark gestiegen (2012)  
<http://www.buero-forum.de/de/navigation-left/presse-portal/pressemitteilungen/wirtschaftsmeldungen/17-februar-2012-1>  
(09.10.2012)
- Warnecke et al. 1996 Warnecke H. J.; Bullinger H.-J.; Hichert R.; Voegelé A.:  
Kostenrechnung für Ingenieure.

5. Aufl., München, Wien: Hanser, 1996
- Warnecke et al. 1996a      Warnecke H. J.; Bullinger H.-J.; Hichert R.; Voegele A.:  
Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure.  
3. Aufl., München, Wien: Hanser, 1996
- Weber et al. 2000      Weber, J.; Mollath, G.; Müller, R.; De Vogelaere, M.; Michelsen-  
Mohammadein, U.:  
Verbundvorhaben Fertigungsintegrierte Oberflächenbehandlung.  
In: Galvanotechnik 91 (2000),Nr.11, S. 3071 – 3086  
Bad Saulgau: Leuze, 2000
- Weidner/Wulfsberg  
2012      Weidner, R.; Wulfsberg, J.:  
Planung und Beurteilung von Montagesystemen, Stochastisches  
Simulationsmodell zur Entscheidungsunterstützung.  
In: wt Werkstattstechnik online 102 (2012), Nr. 4, S. 234-239
- Weinert 2005      Weinert, K. (Hrsg.):  
Spanende Fertigung: Prozesse - Innovationen – Werkstoffe.  
4. Aufl., Essen: Vulkan-Verlag, 2005
- Wellenreuther/Zastrow  
2011      Wellenreuther, G.; Zastrow, D.:  
Automatisieren mit SPS Theorie und Praxis: Theorie und Praxis.  
3. Aufl., Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2011
- Wenzel 2001      Wenzel, R. (Hrsg.):  
Industriebetriebslehre – Das Management des Produktionsbetriebs.  
München, Wien: Fachbuchverl. Leipzig im Carl-Hanser-Verl.,  
2001
- Westkämper 2011      Westkämper, E.:  
Strategien für die Produktion in wachsenden Schwellenländern.  
In: Westkämper, E.; Verband Deutscher Maschinen- und Anlagen-  
bau: 3. VDMA Kongress Intelligenter Produzieren: Produktions-  
strategien für globale Märkte: 09. und 10. Mai 2011, Würzburg.  
Frankfurt/M.: 2011
- Westkämper/Warnecke  
2010      Westkämper, E.; Warnecke, H.-J.; Dinkelmann, M.; Haag, H.:  
Einführung in die Fertigungstechnik.

8. Aufl., Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2010.
- Westkämper/Zahn 2009 Westkämper, E.(Hrsg.); Zahn, E.(Hrsg.):  
Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.  
Berlin, Heidelberg: Springer, 2009
- Westkämper 2006 Westkämper, E.; Decker, M.; Jendoubi, L.:  
Einführung in die Organisation der Produktion.  
Berlin u. a.: Springer, 2006.
- Westkämper 2006a Westkämper, E.:  
Thesen zur Forschung für die Produktion - New Taylor.  
In: Geißinger, J. (Hrsg.) Westkämper, E.: Forschung stärken - Produktion sichern: Festschrift zum 60. Geburtstag von Professor Engelbert Westkämper.  
Berlin: Springer, 2006, S. 169-190
- Westkämper/Gerth 2004 Westkämper, E.; Gerth, C.:  
Integration von Feinbearbeitung und Beschichtung.  
In: Tawakoli, T. (Hrsg.): Moderne Schleiftechnologie und Feinstbearbeitung: Neue Entwicklungen und Trends aus Forschung und Praxis. 5. Seminar "Moderne Schleiftechnologie", 13. Mai 2004, Stuttgart.  
Villingen-Schwenningen: 2004, S. 1.1-1.10
- Westkämper et al. 2000 Westkämper, E.; Zahn, E.; Balve, P.; Tilebein, M.:  
Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen: Ein Bezugsrahmen für die Unternehmensentwicklung im turbulenten Umfeld.  
In: wt Werkstattstechnik online 90 (2000), Nr. 1/2, S. 22-26.
- Wiendahl 2010 Wiendahl, H.-P.:  
Betriebsorganisation für Ingenieure.  
7. Aufl., München: Hanser, 2010
- Wiendahl et al. 2007 Wiendahl, H.-P.; ElMaraghy, H.A.; Nyhuis, P.; Zah, M.F.; Wiendahl H.-H., Duffie, N.; Brieke, M.:

- Changeable Manufacturing - Classification, Design and Operation.  
In: CIRP Annals - Manufacturing Technology 56 (2007), Nr. 2, S.  
783-809
- Wiendahl et al. 2004      Wiendahl, H.-P. (Hrsg.); Gerst, D. (Hrsg.); Keunecke, L. (Hrsg.):  
Variantenbeherrschung in der Montage : Konzept und Praxis der  
flexiblen Produktionsendstufe.  
Berlin u. a.: Springer, 2004.
- Wiendahl/Hegenscheidt      Wiendahl, H.-P.; Hegenscheidt, M.:  
2002      Grundlagen der Produktion.  
In: Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.:  
Handbuch Logistik.  
Berlin u. a.: Springer, 2002, Kap. B 3.1
- Wiendahl 2002a      Wiendahl, H.-P.:  
Wandlungsfähigkeit: Schlüsselbegriff der zukunftsfähigen Fabrik.  
In: wt Werkstattstechnik online 92 (2002), Nr. 4, S. 122-127
- Wiendahl 2002b      Wiendahl, H.-H.:  
Situative Konfiguration des Auftragsmanagements im turbulenten  
Umfeld.  
Heimsheim: Jost-Jetter, 2002  
(IPA-IAO Forschung und Praxis; 358)  
Stuttgart, Univ., Diss., 2002
- Wiendahl 1972      Wiendahl, H.-P.:  
Technische Investitionsplanung.  
Aachen, RWTH, Habilitation, 1972
- Windt 2007      Windt, K.:  
Produktionstechnik 2020 - Zukunftsweisende Technologien, intel-  
ligente Produkte und innovative Prozesse.  
In: Flach, U. (Hrsg.): Unsere Zukunft - 2020.  
Wiesbaden: Universum Verlag, 2007, S. 68–105
- Wittenstein 2007      Wittenstein, A.-K.:  
Bedarfssynchrone Leistungsverfügbarkeit in der kundenspezifi-  
schen Produktentwicklung.

Heimsheim: Jost-Jetter, 2007  
(IPA-IAO Forschung und Praxis; 463)  
Stuttgart, Univ., Diss. 2007

Wöhe/Döring 2010      Wöhe, G.; Döring, U.:  
Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre.  
(Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften)  
24. Aufl., München: Vahlen, 2010.

Wünning 1990      Wünning, J.:  
Die Wärmebehandlung in der Fertigungslinie mit einem neuartigen  
Rollenherdofen.  
In: Härterei-Technische Mitteilungen 45 (1990), Nr. 6

Zäpfel 2001      Zäpfel, G.:  
Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement.  
(Internationale Standardlehrbücher der Wirtschafts- und Sozial-  
wissenschaften)  
2. Aufl., München: Oldenbourg, 2001

# Anhang

## Anhang: Eingabemaske zur Ressourcengrobbewertung und -auswahl

RESSOURCENEIGENSCHAFTEN GROBBEWERTUNG UND -AUSWAHL				Universität <b>if</b> Stuttgart Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb						
<b>TECHNIKMODUL</b>										
BEZEICHNUNG	BESCHREIBUNG	V1	V 2	V 3	BEMERKUNGEN					
$f_s$	Skalierungsfaktor (Bereitstellung, Bedienung, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Legende:</b> V: Variante VB: Vorbehandlung A: Applikation NB: Nachbehandlung LE: Leistungseinheit					
$A_R$	Ressourcenfläche [m <sup>2</sup> ]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
$F_B$	Bodenbelastung [kg/m <sup>2</sup> ]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
$A_{RG,T}$	Ressourcengrundfläche (Technik) [m <sup>2</sup> ]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
$A_{VF}$	Verfügbare Fläche (Integrationsbereich) [m <sup>2</sup> ]	<input type="checkbox"/>								
<b>ZEITMODUL</b>										
BEZEICHNUNG	BESCHREIBUNG	VARIANTE 1			VARIANTE 2			VARIANTE 3		
		VB	A	NB	VB	A	N	VB	A	NB
$z_p$	Persönlicher Verteilzeitzuschlag [%]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$z_{er}$	Erholungszeitzuschlag [%]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$V_t$	Technische Verfügbarkeit [%]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$Q$	Qualitätsgrad [%]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$t_{rg}$	Rüstgrundzeit [s]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$t_g$	Grundzeit [s]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$V_p$	Personalbedingte Verfügbarkeit [%]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$m$	Auftragsmenge (Losgröße) [Stk.]	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
$TZ$	Taktzeit [s]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

KOSTENMODUL										
BEZEICHNUNG	BESCHREIBUNG	LE 1	LE 2	LE 3	LE 4	LE 5	LE 6	LE 7	LE 8	LE 9
$K_T$	Transportkosten pro Stück [€/Stk.]	<input type="checkbox"/>								
$K_B$	Bearbeitungskosten pro Stück [€/Stk.]	<input type="checkbox"/>								
$K_L$	Lagerungskosten pro Stück [€/Stk.]	<input type="checkbox"/>								
$K_{KAP}$	Kapitalbindungskosten pro Stück [€/Stück]	<input type="checkbox"/>								
$K_P$	Programmierungskosten pro Stück [€/Stück]	<input type="checkbox"/>								
$K_F$	Fertigungs- und Prüfmittelplanungskosten pro Stück [€/Stk.]	<input type="checkbox"/>								
$K_F$	Werkstattsteuerungskosten pro Stück [€/Stk.]	<input type="checkbox"/>								
$K_{spez}$	Unternehmensspezifischer Stückkostensatz	<input type="checkbox"/>								
$K_{INT}$	Investitionskosten der neuen Ressource [€]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
$K_{INT}$	Materialkosten pro Stück [€/Stk.]									
$t_{A,max}$	Maximale Amortisationszeit [Tage]									
LEISTUNGSEINHEITEN										
BEZEICHNUNG	BESCHREIBUNG	BEZ.	BESCHREIBUNG							
LE 1		LE 6								
LE 2		LE 7								
LE 3		LE 8								
LE 4		LE 9								
LE 5										

Fertigungstechnische Prozessketten sind meist mehrstufig und umfassen Bereiche wie Ur- und Umformen, Beschichten und Montage. Die Integration von Produktionsstufen ist ein Ansatz, um die gegenwärtigen Anforderungen einer wettbewerbsfähigen Produktion zu erfüllen. Die Integration nicht-konventioneller Verfahren (z. B. Pulverbeschichtung), die im Wesentlichen aufgrund inkompatibler Prozesszeiten sowie der Anforderungen an die Produktionsumgebung getrennt sind, in Produktionslinien wird lediglich vereinzelt umgesetzt.

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es, eine Methode zur Unterstützung der Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Fertigungs- und Montagelinien bereitzustellen. Es wurden Modelle zur ganzheitlichen Abbildung der Schnittstellenkriterien erarbeitet. Anschließend wurden die Modelle zu einer vierstufigen Methode integriert, die über zu erfassende, relevante Planungsparameter informiert, die Auf- und Weiterverarbeitung unterstützt sowie Zusammenhänge zur ganzheitlichen Bewertung aufzeigt. Die Methode wurde in der Möbelindustrie validiert. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Methode durchgängig unterstützt und Einsparpotenziale realisiert werden können.

ISBN 978-3-8396-0590-5



FRAUNHOFER VERLAG