

Lehrstuhl für
Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik
der Technischen Universität München

**Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende
Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen**

**Dipl.-Ing. (Univ.)
Stefan Müller**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann

Die Dissertation wurde am 24.04.2007 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 10.09.2007 angenommen.

Stefan Müller

**Methodik für die entwicklungs-
und planungsbegleitende Generierung
und Bewertung von Produktionsalternativen**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 209

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2007

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

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2008

ISBN 978-3-8316-0750-1

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utz.de

Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

Gunther Reinhart

Michael Zäh

Vorwort

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

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh und Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, den Leitern dieses Instituts. Sie haben mir die Erstellung dieser Arbeit ermöglicht. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh bedanke ich mich ausdrücklich für die wohlwollende Förderung und die großzügige Unterstützung bei der Umsetzung der Arbeit. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart bedanke ich mich außerdem für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Weiterhin gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann, dem Leiter des Lehrstuhls für Produktentwicklung der Technischen Universität München, mein Dank für die Übernahme des Korreferats und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit.

Darüber hinaus bedanke ich mich recht herzlich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts sowie allen Studenten, die mich bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt haben.

Des Weiteren danke ich der Knorr-Bremse Systeme für Nutzfahrzeuge GmbH sowie insbesondere der MTU Aero Engines GmbH, die mir als Kooperationspartner für die Entwicklung der Methodik zur Verfügung gestanden sind.

Nicht zuletzt gilt mein aufrichtiger Dank meiner Lebensgefährtin, meinen Eltern und meiner Familie, die mir die Möglichkeit, die notwendige Unterstützung und die Geduld entgegengebracht haben, um die Arbeit zu realisieren.

München, im September 2007

Stefan Müller

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-------------|
| Inhaltsverzeichnis..... | I |
| Abbildungsverzeichnis..... | VII |
| Tabellenverzeichnis..... | X |
| Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme | XI |
| Verzeichnis der Firmen und der Hersteller von Softwaresystemen | XVI |
| Verzeichnis der Formelzeichen | XVII |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 1.1 Allgemeines | 1 |
| 1.2 Herausforderungen im Wettbewerbsumfeld | 1 |
| 1.3 Begriffsdefinitionen..... | 7 |
| 1.4 Aufgabenstellung und Zielsetzung | 10 |
| 1.5 Darstellung und Abgrenzung des Betrachtungsraums..... | 11 |
| 1.5.1 Allgemeines | 11 |
| 1.5.2 Produktspektrum | 12 |
| 1.5.3 Produktionsarten und -prinzipien..... | 12 |
| 1.5.4 Modularisierung und Wandlungsfähigkeit von Produktions- systemen..... | 15 |
| 1.5.5 Grundlagen der Produktentwicklung und Produktionsplanung | 17 |
| 1.5.6 Grundlagen des Wissensmanagements | 18 |
| 1.5.7 Aspekte der Rechnerunterstützung | 19 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1.5.8 | Zusammenfassung..... | 21 |
| 1.6 | Vorgehensweise | 22 |
| 2 | Stand der Forschung und Technik..... | 23 |
| 2.1 | Allgemeines..... | 23 |
| 2.2 | Methoden und Ansätze der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung..... | 23 |
| 2.2.1 | Allgemeines..... | 23 |
| 2.2.2 | Produktentwicklung | 23 |
| 2.2.3 | Produktionsplanung..... | 26 |
| 2.2.4 | Parallele bzw. integrierte Produktentwicklung und Produktions- planung..... | 28 |
| 2.2.5 | Ausgewählte Forschungsansätze zur frühen Planung von Produktionsverfahren | 33 |
| 2.2.6 | Zusammenfassung..... | 40 |
| 2.3 | Methoden und Ansätze der Bewertung | 41 |
| 2.3.1 | Allgemeines..... | 41 |
| 2.3.2 | Kosten- und Leistungsrechnung..... | 42 |
| 2.3.2.1 | Allgemeines..... | 42 |
| 2.3.2.2 | Kostenstrukturen | 43 |
| 2.3.2.3 | Zeitbezug der Kostenrechnungssysteme | 44 |
| 2.3.2.4 | Umfangsbezug der Kostenrechnungssysteme | 46 |
| 2.3.2.5 | Zusammenfassung..... | 47 |
| 2.3.3 | Kostenkalkulation..... | 48 |
| 2.3.4 | Prozesskostenrechnung | 50 |
| 2.3.5 | Investitionsrechnung | 54 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.3.6 | Ergänzende Methoden und Ansätze des Kostenmanagements..... | 56 |
| 2.3.7 | Qualitative Bewertung | 57 |
| 2.3.8 | Entwicklungs- und planungsbegleitende Bewertung..... | 59 |
| 2.3.8.1 | Allgemeines | 59 |
| 2.3.8.2 | Grundlegende Methoden..... | 59 |
| 2.3.8.3 | Ausgewählte Forschungsansätze | 61 |
| 2.3.9 | Zusammenfassung | 75 |
| 2.4 | Gesamtfazit | 76 |
| 3 | Anforderungen an die Methodik und Konzeption der Methodik..... | 79 |
| 3.1 | Allgemeines | 79 |
| 3.2 | Anforderungen an die Methodik..... | 79 |
| 3.2.1 | Allgemeines | 79 |
| 3.2.2 | Integrative Anforderungen..... | 80 |
| 3.2.3 | Kontinuitätsanforderungen | 81 |
| 3.2.4 | Anforderungen an die Abbildung und Nutzung von Wissen..... | 82 |
| 3.2.5 | Einführungs- und anwendungsorientierte Anforderungen | 83 |
| 3.3 | Konzeption der Methodik..... | 85 |
| 4 | Einführung der Methodik..... | 87 |
| 4.1 | Allgemeines | 87 |
| 4.2 | Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen..... | 88 |
| 4.2.1 | Allgemeines | 88 |
| 4.2.2 | Modell zur Abbildung von Wissen über Produktionsverfahren | 88 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.2.3 | Modell zur Abbildung von Interdependenzen und Alternativen..... | 94 |
| 4.2.3.1 | Allgemeines..... | 94 |
| 4.2.3.2 | Abbildung von Relationen zwischen Produkt und Produktionsverfahren | 95 |
| 4.2.3.3 | Abbildung von Wechselwirkungen zwischen Produktionsverfahren | 101 |
| 4.2.4 | Ressourcen- und produktionsverfahrensorientiertes Modell zur reifenden Kostenbewertung..... | 106 |
| 4.2.4.1 | Allgemeines..... | 106 |
| 4.2.4.2 | Ermittlung von Verfahrenszeiten auf der Basis von Erfahrungswissen | 109 |
| 4.2.4.3 | Ermittlung von Verfahrenszeiten auf der Basis von historischen Daten | 109 |
| 4.2.4.4 | Ermittlung von Verfahrenszeiten auf der Basis von mathematischen Funktionen..... | 113 |
| 4.2.4.5 | Kombination der Zeitermittlungsvarianten und Verdichtung zur Kostenbewertung..... | 115 |
| 4.2.5 | Modell zur Bewertung qualitativer Aspekte | 118 |
| 4.2.6 | Modell zur Bewertung von Einmalaufwänden..... | 121 |
| 4.3 | Kombination der Partialmodelle | 124 |
| 4.4 | Vorgehensweise zur Anwendung der Methodik | 127 |
| 4.4.1 | Allgemeines..... | 127 |
| 4.4.2 | Schritt 1: integrierte Produktdefinition | 128 |
| 4.4.3 | Schritt 2: Verfahrenskettendefinition..... | 130 |
| 4.4.4 | Schritt 3: Anpassung und Analyse der Verfahrensketten..... | 133 |
| 4.4.5 | Schritt 4: ganzheitliche Bewertung und Auswahl der Verfahrensketten | 136 |
| 4.4.6 | Zusammenfassung..... | 138 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.5 | Umsetzungs- und einführungsorientierte Aspekte..... | 139 |
| 4.5.1 | Allgemeines | 139 |
| 4.5.2 | Allgemeingültige Anforderungen an ein Rechnerwerkzeug | 140 |
| 4.5.2.1 | Generierung und Rückführung von Verfahrensketten..... | 140 |
| 4.5.2.2 | Abbildung und Nutzung von Planungswissen zur Produkt- und Verfahrenskonfiguration..... | 141 |
| 4.5.2.3 | Zeitliche und monetäre Bewertung..... | 142 |
| 4.5.2.4 | Reifende monetäre Bewertung..... | 143 |
| 4.5.2.5 | Qualitative Bewertung | 144 |
| 4.5.2.6 | Vergleich von Verfahrenskettenalternativen | 144 |
| 4.5.2.7 | Einbindung in die Prozess- und Informations- technologielandschaft | 144 |
| 4.5.3 | Vorgehensweise zur Auswahl eines Rechnerwerkzeugs | 145 |
| 4.6 | Zusammenfassung | 149 |
| 5 | Fallbeispiele | 151 |
| 5.1 | Allgemeines | 151 |
| 5.2 | Anwendung der Methodik in der Produktionsplanung..... | 151 |
| 5.2.1 | Ausgangssituation und Rahmenbedingungen | 151 |
| 5.2.2 | Zielsetzung und Vorgehensweise | 152 |
| 5.2.3 | Lösungen und Ergebnisse | 154 |
| 5.3 | Anwendung der Methodik in der Montageplanung..... | 160 |
| 5.3.1 | Ausgangssituation und Rahmenbedingungen | 160 |
| 5.3.2 | Zielsetzung und Vorgehensweise | 161 |
| 5.3.3 | Lösungen und Ergebnisse | 162 |
| 5.4 | Zusammenfassung | 168 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6 | Bewertung von Aufwand und Nutzen..... | 169 |
| 6.1 | Allgemeines..... | 169 |
| 6.2 | Einmalaufwände..... | 170 |
| 6.3 | Kontinuierliche Aufwände..... | 171 |
| 6.4 | Monetärer Nutzen..... | 171 |
| 6.5 | Qualitativer Nutzen..... | 172 |
| 6.6 | Ganzheitliche Bewertung..... | 173 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 175 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 179 |
| 9 | Anhang..... | 207 |
| 9.1 | Generische Produktelemente nach Owodunni | 207 |
| 9.2 | Ablaufdiagramm der Methodik..... | 208 |
| 9.3 | Anforderungs- bzw. Bewertungskatalog zur Auswahl von Rechner- werkzeugen..... | 213 |
| 9.4 | Glossar..... | 216 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|--|----|
| Abbildung 1: | Herausforderungen im Wettbewerbsumfeld und Faktoren für den unternehmerischen Erfolg (in Anlehnung an MILBERG (2004A))..... | 2 |
| Abbildung 2: | Innovationsfelder in der Produktionstechnik (UHLMANN 2004)..... | 5 |
| Abbildung 3: | Zielsetzung der Arbeit | 11 |
| Abbildung 4: | Betrachteter Ausschnitt der Produktionsarten und -prinzipien..... | 13 |
| Abbildung 5: | Organisation von Produktionssystemen (in Anlehnung an WIENDAHL (2005, S. 29 ff.))..... | 14 |
| Abbildung 6: | Relevante Produktentwicklungs- und Produktionsplanungsprozesse in Bezug auf die Arbeit (in Anlehnung an VDI RICHTLINIE 2221 (1993) und REFA (1990))..... | 17 |
| Abbildung 7: | Operative Bausteine des Wissensmanagements | 18 |
| Abbildung 8: | Benutzerschnittstellen, Werkzeuge und Methoden der Virtuellen Produktion (in Anlehnung an ZÄH ET AL. (2005C); REINHART ET AL. (2006B)) | 20 |
| Abbildung 9: | Überblick über die Inhalte und den Aufbau der Arbeit | 22 |
| Abbildung 10: | Konstruktionsphasen (in Anlehnung an VDI RICHTLINIE 2221 (1993) und VDI RICHTLINIE 2222 (1997))..... | 24 |
| Abbildung 11: | Münchener Vorgehensmodell (LINDEMANN 2006, S. 46)..... | 25 |
| Abbildung 12: | Aufgaben der Arbeitsplanung (EVERSHEIM 1997, S. 5 ff.)..... | 27 |
| Abbildung 13: | Systematik zur Planung und Einführung komplexer Produktionssysteme (REFA 1990) | 28 |
| Abbildung 14: | Abbildung flexibler Planungsprozesse in Form von vernetzten generischen Prozessbausteinen (in Anlehnung an GRUNWALD (2002))... | 31 |
| Abbildung 15: | Schematische Darstellung des Axiomatic-Design-Ansatzes | 34 |
| Abbildung 16: | Vorgehensweise des QFD und Aufbau des HoQ..... | 36 |
| Abbildung 17: | In Bezug auf die Arbeit relevante Methoden der monetären Bewertung. | 41 |
| Abbildung 18: | Struktur und Systeme der Kostenrechnung (WARNECKE ET AL. 1996, S. 38)..... | 43 |
| Abbildung 19: | Struktur der wesentlichen konkurrierenden Kalkulationsmethoden (in Anlehnung an EHRENSPIEL ET AL. (2003, S. 434)) | 49 |
| Abbildung 20: | Gegenüberstellung von Activity Based Costing, „deutscher“ Prozesskostenrechnung und Grenzplankostenrechnung (HORVÁTH 2003, S. 552)..... | 51 |
| Abbildung 21: | Einteilung der Verfahren der Investitionsrechnung..... | 54 |
| Abbildung 22: | Klassifikation der monetären Bewertungsmethoden hinsichtlich geplanter Produkte und/oder Produktionssysteme (in Anlehnung an LAYER ET AL. (2002)) | 62 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Abbildung 23: Nach Bauteilarten differenzierte Methoden zur monetären Bewertung von Bauteilen (ROMANOW 1995, S. 80) | 65 |
| Abbildung 24: Beispielhaftes Nomogramm (in Anlehnung an KÜMPER (1996, S. 42)) ... | 68 |
| Abbildung 25: Struktur des Softwaresystems XKIS sowie Schritte der Arbeitsplanung und Kostenkalkulation (REISCHL 2001, S. 52 ff.)..... | 72 |
| Abbildung 26: Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik | 80 |
| Abbildung 27: Konzeption der im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten Methodik | 85 |
| Abbildung 28: Strukturierungsansatz zur Abbildung und Nutzung von Wissen über Produktionsverfahren | 89 |
| Abbildung 29: Referenzinformationsstruktur für die Abbildung von technologischen Informationen (in Anlehnung an KNOCHE (2005, S. 107)) | 90 |
| Abbildung 30: Referenzinformationsstruktur für die Abbildung von beschreibenden Informationen | 92 |
| Abbildung 31: Referenzinformationsstruktur für die Abbildung von betriebsmittelspezifischen Informationen (in Anlehnung an MORYSON (2004, S. 129 ff.))..... | 93 |
| Abbildung 32: Mögliche Auswertungsarten hinsichtlich der hinterlegten Informationen | 94 |
| Abbildung 33: Strukturierungskonvention für Produktklassen..... | 96 |
| Abbildung 34: Strukturierungskonvention für Produktionsverfahren..... | 97 |
| Abbildung 35: Produkt-Primärverfahren-Matrix | 99 |
| Abbildung 36: Abbildung der Relationen zwischen Produktelementen und Primärverfahren..... | 100 |
| Abbildung 37: Abbildung der Relationen zwischen Primärverfahren | 101 |
| Abbildung 38: Visualisierung eines standardisierten Verfahrensmoduls | 102 |
| Abbildung 39: Beispielhafte Repräsentation von Sekundärverfahren in einem Modul.... | 103 |
| Abbildung 40: Baukastensystem zur reifenden Generierung von Produktionsalternativen | 105 |
| Abbildung 41: Teilelemente und Zusammensetzung des erweiterten Maschinenstundensatzes (in Anlehnung an WARNECKE ET AL. (1996, S. 73 ff.) und OLFERT (2005, S. 200 ff.))..... | 107 |
| Abbildung 42: Übersicht über die unterschiedlichen Varianten der Zeit- bzw. Kostenermittlung sowie deren Einordnung in die arbeitsrelevanten Bereiche..... | 108 |
| Abbildung 43: Fünf Fälle der Zeitermittlung über historische Daten | 111 |
| Abbildung 44: Produktelementabhängigkeit bzw. -unabhängigkeit bei der Zeitermittlung | 112 |
| Abbildung 45: Prozesskostenrechnungsorientierter Ansatz zur Ermittlung von Zeiten (simplifiziert)..... | 113 |
| Abbildung 46: Phasen und Methoden der reifenden Zeitermittlung | 116 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 47: Beispielhafte nutzwertanalytische Bewertung eines Fertigungsverfahrens..... | 120 |
| Abbildung 48: Nutzwertanalytische Bewertung alternativer Verfahrensketten | 121 |
| Abbildung 49: Berechnung des aufwandsorientierten Kapitalwerts..... | 123 |
| Abbildung 50: Grafische Gegenüberstellung der Verfahrensketten (exemplarisch) | 126 |
| Abbildung 51: Überblick über die Vorgehensweise zur Anwendung der Methodik..... | 128 |
| Abbildung 52: Beispiel für die Auswahl der erforderlichen Produktelemente..... | 129 |
| Abbildung 53: Kopplungsbedingungen für Verfahren und Verfahrensmodule..... | 131 |
| Abbildung 54: Zusammenfassung der Vorgehensweise zur Anwendung der Methodik.. | 138 |
| Abbildung 55: Anforderungen bezüglich der Generierung und Rückführung von Verfahrensketten..... | 141 |
| Abbildung 56: Umgesetzte Teilbereiche der Methodik im ersten Fallbeispiel | 154 |
| Abbildung 57: Produkt-Primärverfahren-Matrix bezüglich des ersten Fallbeispiels | 154 |
| Abbildung 58: Vorgehensweise zur Generierung einer groben Verfahrenskette | 156 |
| Abbildung 59: Qualitative Darstellung der Bewertung | 159 |
| Abbildung 60: Umgesetzte Teilbereiche der Methodik im zweiten Fallbeispiel..... | 162 |
| Abbildung 61: Kostenmodell für den Verfahrensbaukasten am Beispiel des Schweißens | 164 |
| Abbildung 62: Screenshot des Prototyps VerfahrensDB..... | 167 |
| Abbildung 63: Vergleich von Aufwand und Nutzen der Methodik..... | 174 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------------|--|-----|
| Tabelle 1: | Strukturmaßnahmen (in Anlehnung an EVERSHEIM & TERHAAG (1999))..... | 16 |
| Tabelle 2: | Relevante Strukturmaßnahmen für die Anpassung von Verfahrensketten | 134 |
| Tabelle 3: | Rechnerwerkzeugarten und deren Einsatzrandbedingungen..... | 147 |
| Tabelle 4: | Annahmen und Rahmenbedingungen der Modellrechnung..... | 169 |
| Tabelle 5: | Einmalaufwände zur Umsetzung der Methodik..... | 170 |
| Tabelle 6: | Kontinuierliche Aufwände zur Anwendung der Methodik..... | 171 |
| Tabelle 7: | Monetäre Nutzeneffekte der Anwendung der Methodik..... | 172 |
| Tabelle 8: | Qualitative Bewertung der Anwendung der Methodik | 173 |

Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme

| | |
|-------|--|
| AAV | Aufwand in Bezug auf die Arbeitsvorbereitung |
| ABC | Activity Based Costing (amerikanische Form der Prozesskostenrechnung) |
| AK | aufwandsorientierter Kapitalwert |
| ANZ | Anzahl der Bauteile |
| AREM | Assembly Reliability Evaluation Method (Methode zur Bewertung der Montagegerechtigkeit im Rahmen der Produktentwicklung) |
| ASCET | Assembly-oriented Cost Estimation Tool (montageorientiertes Rechnerwerkzeug zur Kostenbewertung) |
| AV | Arbeitsvorbereitung |
| AW | Angebotswesen |
| AZ | Ausgangszustand |
| AVO | Arbeitsvorgangsfolge |
| BAFF | prototyphaftes Rechnerwerkzeug zur Bewertung alternativer Fertigungsfolgen |
| BDE | Betriebsdatenerfassung |
| BEMI | Betriebsmittel |
| CAD | Computer Aided Design (computergestütztes Konstruieren) |
| CAM | Computer Aided Manufacturing (computergestützte Fertigung) |
| CAO | Computer Aided Office (computergestützte Verwaltung) |
| CAP | Computer Aided Planning (computergestützte Planung) |
| CAPP | Computer Aided Process Planning (computergestützte Prozessplanung) |
| CE | Concurrent Engineering (gleichzeitige bzw. parallelisierte Produktentwicklung und Produktionsplanung) |

Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme

| | |
|-------|--|
| CN | Customer Needs (Kundenanforderungen) |
| CNC | Computer Numerical Control (computergestützte numerische Steuerung) |
| CO | Controlling |
| DAO | Data Access Objects (Datenzugriffsobjekt) |
| DFA | Design for Assembly (Methode und Werkzeug zur montagegerechten Produktentwicklung) |
| DFD/E | Design for Disassembly and Environment (Methode und Werkzeug zur demontage- und recyclinggerechten Produktentwicklung) |
| DFG | Deutsche Forschungsgemeinschaft |
| DFM | Design for Manufacturing (Methode und Werkzeug zur fertigungsgerechten Produktentwicklung) |
| DFMA | Design for Manufacturing and Assembly (Methode und Werkzeug zur fertigungs- und montagegerechten Produktentwicklung) |
| DFS | Design for Service (Methode und Werkzeug zur wartungs- und instandhaltungsgerechten Produktentwicklung) |
| DIN | Deutsches Institut für Normung e. V. |
| DMM | Domain Mapping Matrix |
| DtC | Design to Cost (kostenorientierte Produktentwicklung) |
| DSM | Design Structure Matrix (Matrix zur Abbildung von Informationsflüssen, Abhängigkeiten und/oder Interaktionen) |
| EA | Einmalaufwand |
| ERP | Enterprise Resource Planning (Planung der Unternehmensressourcen) |
| ETH | Eidgenössische Technische Hochschule |
| EWA | erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse |
| EWR | erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung |
| EZ | Eingangszustand |

| | |
|-------------------|--|
| FEKIS | featurebasiertes Kosteninformationssystem |
| FEM | Finite-Elemente-Methode |
| FK | Fertigungskosten |
| FK _{red} | Fertigungskostenreduktion |
| FMEA | Failure Mode and Effects Analysis (Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse) |
| FVK | faserverstärkte Kunststoffe |
| HIPARMS | Highly Productive and Reconfigurable Manufacturing Systems (höchst produktive und rekonfigurierbare Produktionssysteme) |
| HIL | Hardware-in-the-Loop (Simulationsumgebung, welche die reale Steuerungshardware mit einer echtzeitfähigen Simulation und Visualisierung eines Produktionssystems verbindet) |
| HKB | Herstellkostenbestimmung |
| HoQ | House of Quality (Werkzeug zur marktorientierten Entwicklung von Produkten) |
| ID | Identifikationsnummer |
| INNOTECH | regelbasiertes System zur Generierung innovativer Technologieketten |
| iPPE [®] | integriertes Produkt und Prozess Engineering |
| IPPM | integriertes Produktions-Prozessmodell |
| ISPA | International Society of Parametric Analysts (internationale Gesellschaft parameterorientierter Analytiker) |
| IT | Informationstechnologie |
| <i>iwb</i> | Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München |
| JA | Jahresaufwand |
| KICK | konstruktionsintegriertes computergestütztes Kosteninformationssystem |
| KIS | Kosteninformationssystem |

Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme

| | |
|----------------------|--|
| KLR | Kosten- und Leistungsrechnung |
| LICCOS | Life Cycle Costing (Rechnerwerkzeug zur lebenszyklusorientierten Kalkulation) |
| lmi | leistungsmengeninduziert |
| lmn | leistungsmengenneutral |
| MA | Mitarbeiter |
| MDE | Maschinendatenerfassung |
| MKS | Mehrkörpersimulation |
| MM | Mannmonat |
| MMC | Metal Matrix Composite (Metall Matrix Verbundwerkstoff) |
| NC | Numerical Control (numerische Steuerung) |
| NWA | Nutzwertanalyse |
| OFW | unterer Fertigungskostenwert |
| PDM | Produktdatenmanagement |
| PE | Produktentwicklung |
| PICANT | Process Integrated Cost Analysis Tool (Rechnerwerkzeug zur prozess-integrierten Kostenanalyse) |
| PKR | Prozesskostenrechnung |
| PP | Produktionsplanung |
| PPS | Produktionsplanung und -steuerung |
| PRO ³ KOS | prototypbasierte Prozesskostenprognose |
| PrV | Primärverfahren |
| QFD | Quality Function Deployment (Methode zur marktorientierten Entwicklung von Produkten) |
| SBM | Sonderbetriebsmittel |

| | |
|------|--|
| SC | Supply Chain (Lieferkette) |
| SCM | Supply Chain Management (Lieferkettenmanagement) |
| SDM | Simulationsdatenmanagement |
| SE | Simultaneous Engineering (simultane Produktentwicklung und Produktionsplanung) |
| SEA | sonstige Einmalaufwände |
| SFB | Sonderforschungsbereich |
| SoP | Start of Production (Produktionsbeginn) |
| SvZ | Systeme vorbestimmter Zeiten |
| TFB | Transferbereich |
| UFW | unterer Fertigungskostenwert |
| V | Verfahren |
| VBA | Visual Basic for Applications (Skriptsprache, die aus Visual Basic abgeleitet ist) |
| VDI | Verein Deutscher Ingenieure e. V. |
| VK | Verfahrenskette |
| VM | Verfahrensmodul |
| VR | Virtual Reality (virtuelle Realität) |
| WA | wiederkehrende Aufwände |
| XKIS | extendiertes Kosteninformationssystem |
| ZAF | Zeitausgleichsfaktor |

Verzeichnis der Firmen und der Hersteller von Softwaresystemen

**camos Software und
Beratung GmbH**

Anschrift: Hasenbergstr. 31, 70178 Stuttgart

Web-Adresse: <http://www.camos.de>

**Knorr-Bremse Systeme
für Nutzfahrzeuge GmbH**

Anschrift: Moosacherstr. 80, 80809 München

Web-Adresse: <http://www.knorr-bremsesfn.com>

**Microsoft Deutschland
GmbH**

Anschrift: Konrad-Zuse-Str. 1, 85716 Unterschleißheim

Web-Adresse: <http://www.microsoft.com>

**MTU Aero Engines
GmbH**

Anschrift: Dachauerstr. 665, 80995 München

Web-Adresse: <http://www.mtu.de>

PRICE Systems, L.L.C.

Anschrift: 17000 Commerce Parkway, Suite A, Mount
Laurel, NJ 08054 (USA)

Web-Adresse: <http://www.pricystems.com>

**SAP Deutschland AG &
Co. KG**

Anschrift: Neurottstr. 15a, 69190 Walldorf

Web-Adresse: <http://www.sap.com>

Verzeichnis der Formelzeichen

| Zeichen | Einheit | Bedeutung |
|------------------|--------------------------|---|
| A | | Entwurfsmatrix bezüglich CA und FR |
| AAV_j | € | periodenbezogener Arbeitsvorbereitungsaufwand |
| A_j | € | periodenbezogene Auszahlungen |
| AK | € | aufwandsorientierter Kapitalwert |
| B | | Entwurfsmatrix bezüglich FR und DP |
| B_{sn} | | verfahrensbezogener Ungenauigkeitsfaktor eines monetären Bewertungsverfahrens |
| C | | Entwurfsmatrix bezüglich DP und PV |
| CA | | Customer Attributes (Kundenanforderungen) |
| DP | | Design Parameters (Entwurfsparameter) |
| E_j | € | periodenbezogene Einzahlungen |
| FK_{gesamt} | € | kalkulierte Fertigungskosten einer Verfahrenskette |
| FK_n | € | kalkulierte Fertigungskosten eines Verfahrens in einer Kette |
| FR | | Functional Requirements (Funktionsanforderungen) |
| JA_j | € | periodenbezogener Jahresaufwand |
| K | € | Kapitalwert |
| L | m | Vorschubweg |
| $PK_{lmi} (lmn)$ | € | Prozesskosten lmi (lmn) |
| PKS_{lmi} | €/„Bezugsgröße“ | Prozesskostensatz lmi |
| PM | „je nach Bezugsgröße“ | Prozessmenge |

Verzeichnis der Formelzeichen

| | | |
|----------------|-------|---|
| PV | | Process Variables (Prozessvariablen) |
| SEA_j | € | periodenbezogene sonstige Einmalaufwände |
| SBM_j | € | periodenbezogene Sonderbetriebsmittelaufwände |
| US | | Umlagesatz |
| VI | | Vertrauensintervall |
| WA_j | € | periodenbezogene wiederkehrende Aufwände |
| ZAF | | Zeitausgleichsfaktor |
| | | |
| a | m | Aufmaß |
| a_e | m | Zustellung |
| a_p | m | Eingriffsbreite |
| b_w | m | Werkstückbreite |
| i | | Zinsfuß |
| j | a | Jahre bzw. Perioden |
| n | | Anzahl der Verfahren |
| m | | Anzahl der Jahre bzw. Perioden |
| t | h | Prozesszeit |
| t_{max} | h | maximal verfügbare Maschinenzeit |
| t_{Hilf} | h | Hilfszeit |
| $t_{Instandh}$ | h | Instandhaltungszeit |
| t_{Leer} | h | Leerlaufzeit |
| t_{Ruhe} | h | Ruhezeit |
| u | | Anzahl der Jahre im Bewertungszeitraum |
| v_f | m/min | Tischvorschubgeschwindigkeit |

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

„Es sind nicht innovative Produkte oder Technologien allein, die erfolgreich machen. Innovative Geschäftsmodelle oder unternehmerische Prozesse sind ebenso eine ‚winning formula‘, ein Erfolgskonzept“ (GÖSCHEL 2006, S. 137 f.). Vor diesem Hintergrund sind auch im Bereich der Produktentwicklung und Produktionsplanung geeignete Ansätze zu entwerfen, die ein Teilelement eines derartigen Erfolgskonzepts darstellen. In diesem Zusammenhang konzentriert sich die vorliegende Arbeit auf die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen. In Form einer Methodik für die frühzeitige Identifikation von optimalen Produktionsverfahrensketten zur Herstellung von Produkten soll ein adäquater Lösungsansatz für die aktuellen Rahmenbedingungen dargeboten werden.

Eine detaillierte Beschreibung der aktuellen Rahmenbedingungen und welche Herausforderungen für die Unternehmen und die Wissenschaft aus diesen resultieren, wird in Abschnitt 1.2 dargestellt. Zur Formulierung der wesentlichen Grundlagen bietet Abschnitt 1.3 die notwendigen Begriffsdefinitionen. Die Aufgabenstellung und die Zielsetzung der zu erarbeitenden Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen thematisiert Abschnitt 1.4. Zur Fokussierung der Arbeit liefert Abschnitt 1.5 eine Darstellung und Eingrenzung des Betrachtungsraums. Abschließend wird in Abschnitt 1.6 die Vorgehensweise der Arbeit vorgestellt.

1.2 Herausforderungen im Wettbewerbsumfeld

Damit Unternehmen heute und in Zukunft erfolgreich agieren können, müssen sie sich in einem multilateralen globalen Wettbewerb behaupten. Dieser ist mit einem „modernen Fünfkampf“ (MILBERG 2004A) in sich gegenseitig bedingenden „Disziplinen“ vergleichbar. Diese beschreibt MILBERG (2004A) mit den Schlagworten Kundennähe, Schnelligkeit, wirtschaftlicher Erfolg, Innovationskraft und Mitarbeiterorientierung. Die erfolgreiche Ausübung dieser von ihm so bezeichneten Disziplinen soll dazu führen, die aktuellen Herausforderungen im Wettbewerbsumfeld zu meistern sowie unternehmerischen Erfolg zu erzielen (Abbildung 1).

1.2 Herausforderungen im Wettbewerbsumfeld



Abbildung 1: Herausforderungen im Wettbewerbsumfeld und Faktoren für den unternehmerischen Erfolg (in Anlehnung an MILBERG (2004A))

Eine Disziplin für die Unternehmen ist die *Kundennähe*. Ein prägnantes Beispiel aus der Automobilindustrie bieten die Ausführungen von REITHOFER (2003). Er beschreibt aus der Sicht der BMW Group die Bedeutung der Produktion in den jeweiligen Marktregionen. Das Prinzip „Produktion folgt dem Markt“ ermöglicht einerseits, dass maßgeschneiderte Produkte termingerecht in hoher Auslieferungsqualität zur Verfügung gestellt werden können. Andererseits soll durch die Präsenz in den Märkten deren Erschließung ermöglicht werden. So konnte die BMW Group z. B. nach der Inbetriebnahme des Werks in den Vereinigten Staaten von Amerika den Umsatz in zehn Jahren um ca. 500 % steigern. Dieses Beispiel zeigt, dass sich Unternehmen nicht mehr ausschließlich an lokal begrenzten Märkten und an deren Kunden orientieren können. Mehr denn je sind die Unternehmen gezwungen, auf die Anforderungen der Globalisierung zu reagieren. Diese impliziert u. a. neue Wettbewerber in den jeweiligen Regionen, aber gleichzeitig auch die Chance, neue Märkte zu „erobern“. Beispielsweise bietet vor dem Hintergrund der gesättigten Märkte Westeuropas die EU-Erweiterung gen Osten die Möglichkeit, zusätzliche Angebote zu platzieren und die existierende Nachfrage zu befriedigen (SCHUH 2005). Über dieses Beispiel hinausgehend bestimmen weitere Herausforderungen die Kundennähe. Aufgrund der teilweise gesättigten Märkte und der zunehmenden Individualisierungstendenzen in der Gesellschaft (REINHART & ZÄH 2003) ist es erforderlich, geeignete Produkte und Dienstleistungen anzubieten. Folglich sind die Unternehmen vor die neue Herausforderung gestellt, Produkte mit einem

hohen Variantenreichtum (Varianten: vgl. Glossar) und vielfach kurzen Lebenszyklen herzustellen (ZÄH ET AL. 2002).

Eine weitere Disziplin betrifft den Aspekt der *Schnelligkeit*. Dieser lässt sich in verschiedenen Sichtweisen beleuchten. Eine betrifft die schnelle Umsetzung einer Produktidee bis zum fertigen Produkt, beispielsweise durch integrierte Produktentwicklungsmethoden, wie sie von EHRENSPIEL (2003) entwickelt wurden. SPATH (2005) beschreibt, dass die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts u. a. davon abhängt, ob auf die dynamischen und turbulenten Märkte (WESTKÄMPER 2004) schnell reagiert werden kann. In diesem Zusammenhang ist eine effiziente und effektive Gestaltung der Aufbau- und Ablauforganisation eine notwendige Voraussetzung, um unmittelbar auf Kundenanforderungen reagieren zu können. So stellt z. B. NYHUIS (2004) die Herausforderungen hinsichtlich beschleunigter Planungsprozesse und des daraus resultierenden Bedarfs an einer prozessorientierten Sicht des traditionellen Fabrikplanungsablaufs in den Vordergrund. Einen vergleichbaren Ansatz zur bestmöglichen Gestaltung von Unternehmensprozessen fordert PRITSCHOW (2004) in Form von baukastenorientierten Engineering-Prozessen. Nur durch eine optimale Gestaltung der Unternehmensprozesse kann der von WESTKÄMPER (2005) dargestellte Bedarf nach einer schnellen Umsetzung der Produkte in die Serienfertigung erreicht werden.

Die zweite Sichtweise in Bezug auf den Aspekt der Schnelligkeit adressiert die Forderung nach einer schnellen Adaption von Produktionssystemen (System: vgl. Glossar) und Technologien (SPATH 2005). Der marktseitigen Dynamik stehen vielfach eher statische Faktoren wie Maschinen und Anlagen, Aufbau- und Ablauforganisation sowie Personal gegenüber. Demzufolge wird es künftig nicht mehr ausreichend sein, die Auslastung zu maximieren oder die zeitlichen und technischen Verluste zu minimieren. Vielmehr erhält die Anpassung der Unternehmen und deren Strukturen eine wettbewerbsentscheidende Bedeutung (WESTKÄMPER 2004). Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sind beispielsweise flexible sowie adaptive Produktionssysteme zu gestalten (REINHART 1997; REINHART 1999; REINHART 2000; SCHUH 2005).

Die dritte Sichtweise hinsichtlich der Schnelligkeit bezieht sich auf die gesamte Kette der Auftragsabwicklung. Für sämtliche Prozesse von der Angebotsannahme über die Produktion bis hin zur Auslieferung sind möglichst geringe Durchlaufzeiten anzustreben. Beispielsweise können mittels Rapid-Prototyping-Technologien bei geringen Stückzahlen zeitnah Produkte hergestellt werden (ZÄH ET AL. 2003C) oder mittels Hochgeschwindigkeitsverfahren die Produktion beschleunigt werden (UHLMANN 2004). Außerdem ist im Zusammenhang mit der Auftragsabwicklung zu berücksichtigen, dass Unternehmen künftig weniger als eine isolierte Fabrik bzw. als ein autonomes Werk

1.2 Herausforderungen im Wettbewerbsumfeld

agieren, sondern die vernetzte Produktion mit vielschichtigen Interdependenzen eine bedeutende Rolle spielen wird (WESTKÄMPER 2005; SCHUH 2005; REINHART ET AL. 2006A). Insofern bezieht sich in Zukunft die Disziplin Schnelligkeit verstärkt auf Supply Chains (SC) und das damit verbundene Supply Chain Management (SCM).

Der *wirtschaftliche Erfolg* als eine weitere Disziplin repräsentiert eine Grundvoraussetzung für die Zukunftsfähigkeit eines Unternehmens. Auch die deutsche Industrie kann sich dem zunehmenden Wettbewerbs- und Kostendruck nicht entziehen. Das Thema der monetären Konkurrenzfähigkeit bzw. Kostensenkung ist speziell am Standort Deutschland mit seinen relativ hohen Lohnnebenkosten (BREUN & SUSANEK 2006) in den Mittelpunkt der Diskussionen gerückt (ZÄH 2004). Vielfach ist der Kostendruck so hoch, dass konventionelle, inkrementelle Rationalisierungsmaßnahmen nicht mehr ausreichen und stattdessen neue, revolutionäre Trends aufgegriffen werden müssen (ZÄH 2004). Vor dem Hintergrund, dass die Produkt- und Produktionskosten bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung und Produktionsplanung festgelegt werden, ist die Zielgröße Kosten (vgl. Glossar) nicht beliebig kurzfristig beeinflussbar (ZÄH ET AL. 2003B). Außerdem ist der wirtschaftliche Unternehmenserfolg nicht nur von der aktuellen Kostensituation geprägt. Vielmehr hängt er von vielschichtigen und langfristigen Faktoren ab, die beispielsweise WILDEMANN (2004) in einer Umfrage in 200 Industrieunternehmen ermittelt und nach ihrem Beitrag gewichtet hat: Qualität (25 % Beitrag zum Unternehmenserfolg), Preis (30 %), Service (15 %), Produktidentität (10 %) und Logistikleistung (20 %). Die Aufgabe jedes Unternehmens ist es, das optimale Zusammenwirken dieser Faktoren zu ermöglichen. Es sind qualitativ hochwertige Produkte zu konkurrenzfähigen Preisen herzustellen. Dies erfordert effektive sowie effiziente Produktentwicklungs-, Produktionsplanungs- und Produktionsprozesse.

Des Weiteren unterliegen produzierende Unternehmen einem hohen Innovationsdruck. Sie sind permanent gefordert, mittels *Innovationskraft* ihre Marktanteile zu sichern bzw. auszubauen. Gerade in Hochlohnländern ist es entscheidend, Innovationen und Veränderungen zum Bestandteil des Tagesgeschäfts zu erheben (SPATH 2005), da in der Innovationsfähigkeit ein „Schlüssel“ für die Konkurrenzfähigkeit von Unternehmen liegen kann. SPATH (2004) beschreibt die aktuelle Situation in Deutschland mit Schlagworten wie Lethargie, Stagnation und nur durchschnittlicher Innovationskraft im Vergleich zu den anderen großen Industrienationen. Jedoch sieht er im Punkt Innovationskraft auch Chancen, wenn Unternehmen *„mehr Mut zum Neuen, zum Anderen, zum Unbekannten aufbringen, denn nur wer neue Wege geht, hat die Chance, mit weniger Aufwand andere einzuholen oder gar zu überholen. Dieser Mut zu Neuem ist in allen Bereichen von Nöten – nicht nur in der Wirtschaft, auch in der Politik und seitens der gesamten Gesellschaft. Neues entsteht leider nicht von selbst, es muss gesucht werden, es muss erar-*

beitet und vielleicht auch erzwungen werden“. Diese Meinung aus Sicht der Forschung deckt sich auch mit Aussagen der Politik, wenn z. B. SCHIPANSKI (2004) die Konkurrenzfähigkeit der deutschen Volkswirtschaft im internationalen Wettbewerb in innovativen Techniken und Produkten hoher Wertschöpfung begründet sieht. Im Bereich der Produktionstechnik fasst UHLMANN (2004) die Innovationsfelder in den in Abbildung 2 dargestellten Domänen zusammen. Hierbei berücksichtigt er auch das Kernthema dieser Arbeit, integrierte Produkt- und Prozessentwicklung im Bereich der Prozessketten, als ein zentrales Innovationsfeld.

| Fertigungsverfahren | Maschinen | Werkzeuge |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hochgeschwindigkeitsbearbeitung ▪ Hartbearbeitung ▪ Ultrapräzisions- & Mikrobearbeitung ▪ Hybridverfahren ▪ Trockenbearbeitung ▪ Rapid Prototyping/Tooling | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Stabkinematik (Hexapod, Dodekapod) ▪ selbstoptimierende Maschinen ▪ magnetofluidische Positioniersysteme ▪ innovative Maschinenkomponenten ▪ umkonfigurierbare Maschinen | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Innovative Schneidstoffe ▪ Beschichtungstechnologien ▪ Werkzeuge zur integrierten Erkennung von Zustand und Prozesskenngrößen |
| Werkstoffe | Prozessketten | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ hochfeste Werkstoffe (Nickelbasis-, Titanlegierungen) ▪ Leichtbauwerkstoffe (geschäumte Metalle, Magnesium, Aluminium) ▪ Verbundwerkstoffe (FVK, MMC, verstärkte Keramiken) ▪ Sinterwerkstoffe (metallisch, keramisch) | Verkürzung von Prozessketten durch: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verfahrenssubstitution ▪ Near-Net-Shape Technologien ▪ hochintegrierte Produktion ▪ integrierte Produkt- und Prozessentwicklung | |

Abbildung 2: Innovationsfelder in der Produktionstechnik (UHLMANN 2004)

MILBERG (2003) weitet den Bereich der Innovationsfelder bzw. deren Bedeutung aus. Er bezeichnet alles als Innovation, was mehr Kunden und in Konsequenz mehr Arbeitsplätze hervorbringt. Im Vergleich zu UHLMANN (2004) zählt er auch neue Produkte, den Zugang zu neuen Märkten und die Einführung von neuen Organisationsstrukturen zu Innovationen. Ähnlich steckt ZÄH (2003) das Feld der Innovationen ab und definiert sie als Megatrends der Produktionstechnik. Diese stellen Innovationsvisionen und damit Herausforderungen für einen Zeitrahmen bis ins Jahr 2050 dar. Die Innovationsfelder werden in die folgenden sechs Gebiete untergliedert (ZÄH 2003):

- Flexibilisierung der Organisationsformen (z. B. Kompetenznetzwerke mit transparenter Auftragsabwicklung)
- Modularisierung, Dezentralisierung, Standardisierung (z. B. Dezentralisierung der Intelligenz und Aufwärtskompatibilität der Anlagen)

1.2 Herausforderungen im Wettbewerbsumfeld

- Vernetzung (z. B. vernetzte Entwicklungsteams, -werkzeuge und -prozesse)
- Digitalisierung (z. B. virtuelle Prototypen und Hardware-in-the-Loop-Simulation)
- neue Materialien und Prozesse (z. B. höhere Zerspankräfte, höhere Vorschubgeschwindigkeiten, intelligente Materialien und selbstadaptierende Systeme)
- Nachhaltigkeit (z. B. Umweltfreundlichkeit und Abbildung von Wissen (vgl. Glossar) in Bibliotheken)

Teilweise bedingt der Drang nach Innovationen allerdings eine gesteigerte Systemkomplexität, die es zu beherrschen gilt (WESTKÄMPER 2005). Beispielsweise ist die Integration der Domänen Mechanik, Elektronik, Regelungstechnik und Softwaretechnik im Bereich der mechatronischen Produktionsanlagen und -systeme von einer hohen Komplexität geprägt (GAUSEMEIER 2002).

Die fünfte Disziplin *Mitarbeiterorientierung* ist sowohl eine eigenständige als auch komplementäre Disziplin im Vergleich zu den anderen. Im Bestreben ein kontinuierlich erfolgreiches Unternehmen zu gestalten, ist der Mensch mit seinen Möglichkeiten hinsichtlich Individualität, Kreativität und Flexibilität ein entscheidender Schlüsselfaktor. Die Mitarbeiter sind beispielsweise in Form von Teamarbeit, Arbeitszeitmodellen und/oder Methodenunterstützung optimal zu fördern und zu fordern (SPATH 2005). SPATH (2004) propagiert, dass eine optimale bzw. ganzheitliche Arbeitsgestaltung entscheidend davon abhängen wird, wie gut die technisch-organisatorischen Systemelemente mit dem Menschen, als der stets wichtigsten Komponente des Arbeitssystems, zusammenwirken. Auch ZÄH (2004) beschreibt die Herausforderung einer zielgerichteten Unterstützung der Arbeitskräfte im Rahmen der Produktion. So soll der Mitarbeiter künftig bei seinen Routinetätigkeiten, wie dem Bereitstellen der Arbeitsdokumentationen, unterstützt werden. Dadurch wird die Konzentration auf seine primäre Aufgabe, das Ausführen des Produktionsprozesses, gefördert.

Zusammenfassend beschreibt MILBERG (2004B) das Unternehmen der Zukunft als das Triple-A-Unternehmen, das in höchstem Maße agil, antizipativ und adaptiv ist, wobei hier die geforderte Innovationskraft mit einbezogen wird. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit sollen die Innovationskraft im Sinne der frühzeitigen Gestaltung von ganzheitlichen und innovativen Verfahrensketten sowie die Bewertung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit der Verfahrensketten als Kernaspekte herausgegriffen werden. Die Konkurrenzfähigkeit von Unternehmen wird in starkem Maß davon abhängen, ob es gelingt, etablierte Ansätze in der Produktionstechnik mit Innovationen wirtschaftlich zu kombinieren. Es ist ein ausgewogenes Verhältnis zwischen dem Bewähr-

ten und dem Neuen zu finden. So gibt z. B. LEIBINGER (2004) zu bedenken, dass sich die Wirtschaftlichkeit bzw. die Marktposition von Unternehmen möglicherweise verschlechtert, wenn stets die maximale technologische Innovation angestrebt wird. Aus seiner Sicht müssen Ingenieure gleichzeitig über Innovations- und Kostendenken verfügen, um dem weltweiten Wettbewerb genügen zu können. Für LEIBINGER (2004) ist nicht nur das Gestalten einer genaueren, schnelleren oder gesteigerten Produktion eine kreative Fähigkeit, sondern auch die Entwicklung und Planung kostengünstiger Produkte.

1.3 Begriffsdefinitionen

Um für die Zielsetzung einer entwicklungs- und planungsbegleitenden Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen ein einheitliches Verständnis zu schaffen, ist zunächst eine Definition von hierfür relevanten Begriffen erforderlich. Im Rahmen der Arbeit sind nachfolgende Begriffe von essenzieller Bedeutung:

Produktentwicklung

In Anlehnung an EHRENSPIEL (2003, S. 146 ff. & S. 225 ff.) ist die Produktentwicklung ein Teilbereich der Produktentstehung, die den Lebenslauf eines Produkts von der Idee bis zur Auslieferung darstellt. Die Produktentwicklung umfasst Tätigkeiten, die ausgehend von den Anforderungen die geometrisch-stofflichen Merkmale eines technischen Produkts festlegen. Die Beschreibung und die Inhalte sind abhängig von der Art des zu entwickelnden Produkts. Außerdem ist die Zusammensetzung der an der Produktentwicklung beteiligten Unternehmensbereiche stark unternehmensspezifisch geprägt. Des Weiteren gilt es zu unterscheiden, ob es sich bei dem Entwicklungsobjekt um eine Neu-, Varianten- oder Anpassungskonstruktion (PAHL ET AL. 2005, S. 4) handelt. Im deutschsprachigen Raum bilden z. B. die VDI RICHTLINIE 2221 (1993) sowie das Werk von PAHL ET AL. (2005) eine methodische Grundlage für die Produktentwicklung. Die Modelle und Methoden der Produktentwicklung folgen i. d. R. den Hauptschritten „Ziel bzw. Problem klären“, „Lösungsalternativen generieren“ und „Entscheidung herbeiführen“ (LINDEMANN 2006, S. 45).

Produktionssystem

Nach EVERSHEIM (1992) ist unter einem Produktionssystem eine technisch, organisatorisch und teilweise kostenrechnerisch selbstständige Allokation von Potenzial- und Mittelfaktoren zu Produktionszwecken zu verstehen. Es ist, unabhängig von der Systemgröße und den vor- bzw. nachgelagerten Bereichen, durch folgende Elemente bestimmt (REFA 1990):

1.3 Begriffsdefinitionen

- Festlegung der Eingaben (Teile, Werkstoffe, Energie und Informationen (vgl. Glossar))
- Beschreibung der Ausgaben (Produkte, Abfälle, Energie, Informationen)
- Beschreibung der Arbeitsaufgabe (Arbeitsablauf inklusive des Zusammenwirkens zwischen Mensch und Betriebsmittel (vgl. Glossar))

Entsprechend wird die Struktur eines Produktionssystems durch die Anordnung der Arbeitsstationen und deren Verknüpfung im Stoff- und Informationsfluss beschrieben. Die Stationen des Systems können Maschinen, manuelle Arbeitsplätze oder automatisierte Anlagen sein. An diesen werden am Produkt Verfahren wie beispielsweise Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten oder Ändern der Stoffeigenschaften angewandt (MILBERG & REINHART 1996, S. 10-44 ff.).

Produktionsplanung

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit werden unter der Produktionsplanung die Tätigkeiten zur Gestaltung eines Produktionssystems verstanden. Die Begriffe Produktionsplanung und Produktionssystemplanung gelten als Synonyme, weshalb nachfolgend ausschließlich der Begriff Produktionsplanung verwendet wird. Es existieren diverse systematische Vorgehensbeschreibungen wie beispielsweise VDI 2221 (1993) oder REFA (1990). Diese umfassen folgende Subtätigkeiten: Analyse der Ausgangssituation, Konkretisierung der Planungsaufgaben, Grob- und Feinplanung des Produktionssystems, Systemeinführung sowie Systembetrieb.

Produktion

Unter dem Begriff Produktion ist i. A. die Kombination von Produktionsfaktoren zu verstehen (SCHUH 1996, S. 5-32 f.). Demnach beinhaltet die Produktion die Gesamtheit wirtschaftlicher, technologischer und organisatorischer Maßnahmen, die unmittelbar mit der Be- und Verarbeitung von Stoffen zusammenhängen (EVERSHEIM 1992). In dieser Arbeit – und beispielsweise im Unterschied zu WÖHE (2002, S. 329 f.) – umfasst der Begriff Produktion die Teilaspekte Fertigung und Montage (MILBERG & REINHART 1996, S. 10-44 ff.). Eine ähnliche Definition bietet WARNECKE (1995, S. 1 ff.), wonach die Produktion die Bereiche Teilefertigung und Montage beinhaltet. Hierbei umfasst die Teilefertigung die Herstellung von Einzelteilen für den Bereich Montage oder für die direkte Lieferung an den Kunden.

Produktionsverfahren

Ein Produktionsverfahren bezeichnet ein Verfahren zur Herstellung von geometrisch bestimmten festen Körpern. Es sind u. a. Verfahren zum Fügen oder Ändern von Stoff-

eigenschaften eingeschlossen (DIN 8580 2003). Häufig wird analog auch der Begriff der Produktionstechnologien verwendet (z. B. KNOCHÉ (2005)), wobei im Rahmen dieser Arbeit dem ersten Begriff der Vorzug gewährt wird.

Produktionsprozess

Im Vergleich zu Produktionsverfahren weisen Produktionsprozesse einen höheren Detaillierungs- und Konkretisierungsgrad auf. Ein Produktionsprozess ist durch definierte Betriebsmittel sowie konkrete Prozessparameter festgelegt und bezieht sich i. d. R. auf einen spezifischen Produktionsschritt an einem Produkt (vgl. KNOCHÉ (2005, S. 5 ff.)).

Produktionsalternativen

Hinsichtlich des Begriffs Produktionsalternativen (Alternativen: vgl. Glossar) gilt folgende Eigendefinition im Zuge dieser Arbeit: Eine Produktionsalternative entspricht einer Kette von Produktionsverfahren, die eine andere solche Kette gleichwertig ersetzen kann. Eine Produktionsverfahrenskette besteht aus elementaren generischen Verfahrenselementen bzw. Verfahrensschritten, die zur Herstellung eines Produkts erforderlich sind. Insofern bezeichnen Produktionsalternativen Verfahrensketten, bei denen sich mindestens ein generisches Element von der Vergleichsbasis unterscheidet.

Integration

Integration bedeutet im Kontext der Arbeit, dass die Prozesse der Produktentwicklung und Produktionsplanung ablauf- und aufbauorganisatorisch zusammengefasst sind. Folglich wird die funktionale Trennung der beiden Bereiche aufgehoben und der Ansatz geht über die herkömmliche Definition der Integration im Sinne einer „engen Zusammenarbeit“ hinaus (GRUNWALD 2002, S. 12). EVERSHEIM ET AL. (1995) sprechen z. B. von einer integrierten Entwicklung und Planung, wenn die Definition des Produktes und des entsprechenden Produktionssystems weitestgehend zeitparallel und inhaltlich aufeinander abgestimmt erfolgen. Somit arbeiten bei der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung alle am Erstellungsprozess beteiligten Abteilungen und die betroffenen Spezialisten eng und unmittelbar zusammen (EHRLENSPIEL 2003, S. 188).

Generierung

Im Zuge dieser Arbeit ist die Generierung von Produktionsalternativen mit den Begriffen Gestaltung, Definition oder Planung von Produktionsalternativen gleichzusetzen.

Bewertung

Die Bewertung von Produktionsalternativen geht in dieser Arbeit über den Aspekt der rein betriebswirtschaftlichen Betrachtung hinaus. Bezüglich dieser ist die Bewertung

1.4 Aufgabenstellung und Zielsetzung

eine betriebswirtschaftliche Regel, nach der Gegenständen Geldbeträge zugeordnet werden (GUDEMANN 1992). In dieser Arbeit sollen aber sowohl monetäre als auch weitere quantitative (z. B. zeitliche) und qualitative Kriterien (z. B. Risiken) in die Bewertung einbezogen werden.

Obige Begriffe stellen die wesentlichen für diese Arbeit dar. Alle weiteren Begriffe, die hinsichtlich der Arbeit relevant sind, werden im Kontext eingeführt.

1.4 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Im Folgenden wird die Aufgabenstellung und Zielsetzung präzisiert. Die Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen soll geeignete Antworten auf die aktuellen Herausforderungen im Wettbewerbsumfeld (Abschnitt 1.2) bieten. Im Speziellen sollen die Disziplinen „Innovationskraft“, „Schnelligkeit in der Planung“ und „wirtschaftlicher Erfolg“ unterstützt werden (vgl. Abbildung 1).

Entsprechend diesen Rahmenbedingungen ist es das vorrangige Ziel, in Bezug auf die Entwicklung und Planung neuer Produkte bei Serien- und Massenproduzenten eine neue Vorgehensweise zur frühzeitigen Generierung und Identifikation von optimalen Produktionsverfahrensketten zu schaffen. Hierbei konzentriert sich die Methodik vor allem auf Unternehmen, die bisher keine systematische Generierung und explizite Bewertung von Produktionsalternativen vorgenommen haben, sondern diese vielmehr erfahrungsbasiert auf der Basis von Produktkonzepten und -entwürfen projektiert oder existierende Arbeitspläne kopiert und adaptiert haben. Auf dieser Grundlage gilt es, diverse nachfolgend beschriebene Teilziele zu erreichen (Abbildung 3):

Ausgehend von Produktskizzen und unscharfen Produktinformationen sollen Verfahrensketten geplant werden können, die die aktuellen Produktionsmöglichkeiten eines Unternehmens abbilden und zugleich neue, innovative Technologien berücksichtigen. Im Gegensatz zum heute vielfach praktizierten Kopieren und Adaptieren existierender Arbeitspläne sollen grundsätzlich neue, alternative Verfahrensketten erarbeitet werden können. Parallel zur Erarbeitung dieser sollen die zu erwartenden Kosten bewertet werden können, um nicht nur innovative Lösungen zu erarbeiten, sondern gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit sicherzustellen. Außerdem soll die Planung von Verfahrensketten dazu genutzt werden, um aus der Sicht der Produktionsplanung aktiv und optimierend in die Produktentwicklung eingreifen zu können. Dies setzt eine enge Wechselbeziehung der beiden Domänen voraus und soll den üblichen Einfluss der Produktentwicklung auf die Produktionsplanung in der entgegengesetzten Wirkrichtung ergänzen.

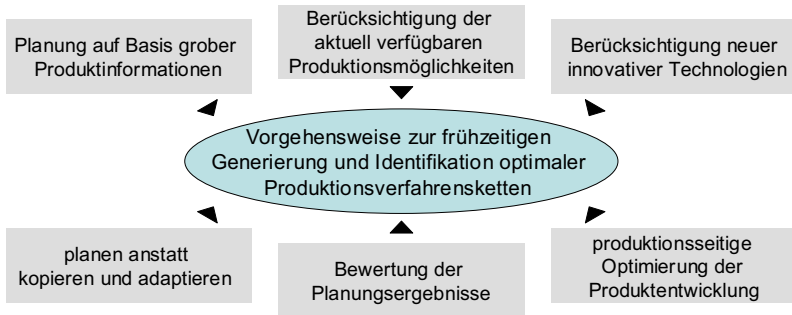


Abbildung 3: Zielsetzung der Arbeit

Im Rahmen dieser Zielsetzung soll bei der Planung von Produktionsverfahrensketten ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den Aspekten Innovation, Innovationsrisiko sowie Wirtschaftlichkeit erreicht werden. Somit soll sowohl der Anspruch der Technologieführerschaft am Standort Deutschland als auch die internationale Konkurrenzfähigkeit gestärkt werden. Operativ sollen durch die zu entwickelnde Methodik Verfahrensketten erarbeitet und identifiziert werden, die eine optimale Grundlage für die detaillierte Produktionsprozessplanung bieten.

Zum Erreichen der Zielsetzung ist eine Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen zu erarbeiten. Vor dem Hintergrund, dass die Zuordnung von Verfahren zu Produktionsaufgaben nicht algorithmierbar bzw. automatisierbar ist (SPUR & STÖFERLE 1994), gewinnt ein systematisches Vorgehen an Bedeutung. Die Notwendigkeit hierzu wird von SPUR (1996) betont, indem er feststellt, dass die Entscheidungsfindung hinsichtlich Produktionsverfahren keine isolierte Handlung darstellt, sondern vielmehr ein kontinuierlicher und äußerst iterativer Prozess in den Unternehmen ist (SPUR 1996).

1.5 Darstellung und Abgrenzung des Betrachtungsraums

1.5.1 Allgemeines

Der Abschnitt 1.5 stellt die Bereiche dar, auf denen die Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen basiert und grenzt die nicht detailliert betrachteten Bereiche ab. Teilweise wird auch auf grundlegende Themengebiete eingegangen, die für das Gesamtverständnis hilfreich sind. Im Speziellen werden die Themenkomplexe Produktspektrum (Abschnitt 1.5.2),

1.5 Darstellung und Abgrenzung des Betrachtungsraums

Produktionsarten und -prinzipien (Abschnitt 1.5.3), Modularisierung und Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen (Abschnitt 1.5.4), Grundlagen der Produktentwicklung und Produktionsplanung (Abschnitt 1.5.5) sowie Grundlagen des Wissensmanagements (Abschnitt 1.5.6) behandelt. Da die Prozesse der Produktentwicklung und Produktionsplanung vielfach durch Informationstechnologie (IT) unterstützt werden, geht Abschnitt 1.5.7 einleitend auf den Aspekten der Rechnerwerkzeuge ein. Es wird ein Überblick darüber gegeben, welche Arten von Rechnerwerkzeugen zum aktuellen Zeitpunkt zur Verfügung stehen und auf welche Art und Weise diese die Tätigkeiten der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen unterstützen können.

1.5.2 Produktspektrum

Die Methodik wird für physische Produkte, d. h. Bauteile oder Baugruppen konzipiert. Hierbei fokussiert die Methodik Bauteile oder Baugruppen, an denen ausgehend von einem Basiszustand zahlreiche Produktionsverfahren ausgeführt werden, um Schritt für Schritt die geforderten Charakteristika zu erreichen. Die Produktionsverfahren umfassen hierbei sowohl Fertigungs- als auch Montageverfahren. Eine systematische Planung von Verfahrensketten kann jedoch nur dann Potenziale bieten, wenn eine hohe Anzahl an alternativen Produktionsverfahren zur Herstellung der Bauteile und Baugruppen existiert. In Konsequenz adressiert die Methodik Produkte, die eine umfassende Planungsphase erfordern, zumal viele Freiheitsgrade in Bezug auf die Planung von Verfahrensketten bestehen.

Beispiele für geeignete Produkte zur Validierung und Anwendung der Methodik bietet Kapitel 5. Zum einen wird die Methodik bezüglich eines Bauteils (Turbinenkomponente) und zum anderen hinsichtlich einer Baugruppe (Scheibenbremse) angewendet.

1.5.3 Produktionsarten und -prinzipien

Die Arbeit bezieht sich auf die Planung von Produkten, die in Serien- und Massenproduktion hergestellt werden. Die Serienproduktion ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Produkt mehrfach nacheinander und in hohen Stückzahlen hergestellt wird. Die Massenproduktion ist im Vergleich dazu durch einen sich permanent wiederholenden Produktionsprozess beschrieben, der einem festgelegten Standardablauf folgt (REICHWALD & DIETEL 1991, S. 438). Im Rahmen der Serien- und Massenproduktion adressiert die Methodik sowohl Fertigungsverfahren – Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaften ändern (DIN 8580 2003) – als auch Montage- und Handhabungsverfahren entsprechend der DIN 8593 (2003) bzw. der VDI RICHTLINIE 2860 (1990). Mittels der Methodik soll vorrangig die am besten geeignete Produktions-

alternative für neue Produkte entwickelt und ausgewählt werden. Es müssen primär die geeigneten Produktionsverfahren identifiziert werden (MILBERG & REINHART 1996, S. 10-1 ff.). Infolge der Fokussierung der Arbeit auf die Serien- und Massenproduktion werden die identifizierten Produktionsverfahren im Rahmen der Prinzipien Werkstatt-, Gruppen- und Fließproduktion (Abbildung 4) umgesetzt (WARNECKE 1996, S. 9-66 ff.; DOLEZALEK & WARNECKE 1981, S. 129 ff.).

| | | Produktionsart | | | | |
|--------------------|----------------------|------------------|------------------|--------------|---------------|------------------|
| | | Einzelproduktion | Serienproduktion | | | Massenproduktion |
| | | | Kleinserien | Mittelserien | Großserien | |
| Stückzahl (ca.) | | 1-10 | 10-100 | 100-1.000 | 1.000-100.000 | > 100.000 |
| Produktionsprinzip | Baustellenproduktion | ● | ◐ | | | |
| | Werkstattproduktion | ● | ● | ◐ | | |
| | Gruppenproduktion | | ● | ● | ◐ | |
| | Fließproduktion | | | | ◐ | ● |

Legende: ● – geeignet ◐ – eingeschränkt geeignet ◻ – betrachteter Ausschnitt

Abbildung 4: Betrachteter Ausschnitt der Produktionsarten und -prinzipien

Um hinsichtlich der für die Arbeit relevanten Produktionsprinzipien ein grundlegendes Verständnis zu schaffen, soll vertiefend zu Abbildung 4 auf die diversen Organisationsprinzipien, -formen und -typen mit dem dazugehörigen Materialfluss eingegangen werden (Abbildung 5). Dadurch wird die Basis geschaffen, geplante Verfahrensketten dahingehend überprüfen zu können, ob sie organisatorisch innerhalb des geplanten bzw. existierenden Produktionssystems realisiert werden können.

Die *Werkstattproduktion* ist im Wesentlichen durch ein Verrichtungsprinzip im Rahmen des zeitlichen Ablaufs der Losfertigung gekennzeichnet. Diese erfordert die Vollendung der Operationen am gesamten Los, bis anschließend die Werkstücke zur nachfolgenden Produktionseinrichtung transportiert werden (CORSTEN 2004 S. 30 f.; ADAM 2001, S. 5 ff.). Die andere Extremausprägung stellt die *Fließproduktion* dar. Die Produktion nach dem Flussprinzip (DOLEZALEK & WARNECKE 1981, S. 138; CORSTEN 2004 S. 31 f.) ist i. d. R. so gestaltet, dass ein optimaler Materialfluss erreicht wird. Jedes Werkstück durchläuft eine vorgegebene Maschinenfolge. Die räumliche Anordnung der Produktionsstellen entspricht der Reihenfolge der zu durchlaufenden Operationen (z. B. Kreis-, Linien- oder U-Form). Die einzelnen Produktionsoperationen sind zeitlich möglichst so aufeinander abgestimmt, dass ihr Zeitbedarf der Taktzeit entspricht. In diesem Produktionsprinzip ist ein hoher Grad der Arbeitsspezialisierung entsprechend den Grundprinzipien des Taylorismus' (vgl. Glossar) üblich. Einen Zwischentyp zwischen Werkstatt-

1.5 Darstellung und Abgrenzung des Betrachtungsraums

und Fließproduktion ist die *Gruppenproduktion* (MILBERG & REINHART 1996, S. 10-12). Diese ist durch die räumliche Zusammenfassung verschiedenartiger Betriebsmittel zu Funktionsgruppen gekennzeichnet, wobei die Gruppen intern zumeist dem Flussprinzip und übergreifend dem Verrichtungsprinzip folgen. Produziert wird i. d. R. in Losen, wobei eine zeitliche Überlappung der Lose möglich ist. Flexible Fördermittel sind eine Voraussetzung für die wirtschaftliche Gruppenfertigung. Des Weiteren ist die *Inselproduktion* als eine Variante der Gruppenproduktion zu nennen (GÜNTHER & TEMPELMEIER 2003, S. 105 ff.). Hierbei werden Produktkomponenten, Werkstücke oder Baugruppen, die ähnliche Produktionsanforderungen und -spezifika aufweisen, in Teile- bzw. Produktionsfamilien zusammengefasst. Innerhalb dieser Familien sind die zur Herstellung benötigten Betriebsmittel und Arbeitsplätze in einer räumlichen und organisatorischen Einheit zusammengefasst und folgen zumeist dem Flussprinzip. Eine andere Variante der Gruppenproduktion sind *flexible Produktionssysteme* (GÜNTHER & TEMPELMEIER 2003, S. 17, 234 ff.). Diese bestehen i. d. R. aus mehreren Computer-Numerical-Control-gesteuerten (CNC-gesteuerten) Maschinen, die durch ein automatisiertes Transportsystem verbunden und mit automatischen Spann- und Beladeeinrichtungen ausgestattet sind. Die diversen automatisierten Maschinen werden zumeist von gemeinsam genutzten Werkstückspeichern beliefert. Die Prozesssteuerung und -überwachung übernimmt ein integriertes IT-System. Flexible Produktionssysteme finden vor allem im Bereich der Klein- bis hin zur Großserienproduktion Anwendung.

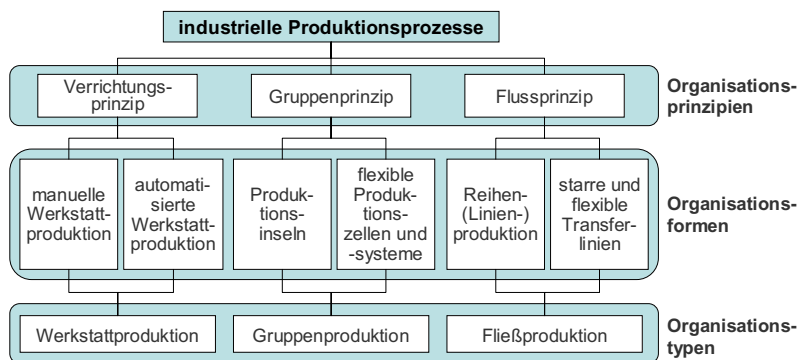


Abbildung 5: Organisation von Produktionssystemen (in Anlehnung an WIENDAHL (2005, S. 29 ff.))

Aufgrund der Fokussierung der Arbeit auf die Generierung von Verfahrensketten stellen Organisationsprinzipien sowie Steuerungs- und Logistikstrategien nur einen Randaspekt dar. Durch die Methodikanwendung werden die grundlegenden produktionstechnischen

„Weichen“ gestellt, auf deren Basis im Anschluss die Organisation, Steuerung und Logistik detailliert werden. Jedoch sind z. B. die Organisationsformen frühzeitig – in Verbindung mit möglichen Steuerungsprinzipien in der Auftragsabwicklung (vgl. GOLDRATT & COX (1987), ADAM (2001), CORSTEN (2004), NEBL (1998) oder WIEN-DAHL (1996)) – in die Überlegungen bei der Planung von Verfahrensketten einzubeziehen. Diese Überlegungen können die Grundlage dafür bilden, beispielsweise ein wertstromorientiertes Produktionssystem (ROTHER 2000) zu gestalten.

1.5.4 Modularisierung und Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen

Im Rahmen dieses Abschnitts soll eine kurze Darstellung der für die Arbeit relevanten Aspekte der Modularisierung und Wandlungsfähigkeit erfolgen. Der Begriff „Modularisierung“ wurde ursprünglich im Rahmen der Produktentwicklung für die Gestaltung modularer Produkte geprägt. SPIES (1997) entwickelte z. B. eine Methode, mit der eine montagegerechte Produktstruktur unter Berücksichtigung der Entwicklungsabläufe erzielt werden kann. Mittels autonomer Produktmodule und deren Kombinierbarkeit ist es möglich, variantenreiche Serienprodukte wirtschaftlich zu produzieren. Weitere Ansätze, die der Modularisierung der Produkte und damit der Festlegung der Montage-reihenfolge bzw. der Produktionslinie dienen, fasst NEUHAUSEN (2001) zusammen. Den Zusammenhang modularer Produkte z. B. mit einer modularen Montage beschreibt WESTKÄMPER (2001). Von ihm wird ein schnelles und kostengünstiges Umrüstkonzept auf der Grundlage einer modularen Systemarchitektur vorgeschlagen, das die Herstellung modularer Produkte erlaubt.

Weitere Ansätze, die sich mit der Gestaltung von modularen Betriebsmitteln auseinandersetzen, zielen auf deren Austauschbarkeit und Standardisierung ab. Es wurden Ansätze zur Gestaltung von standardisierten, generischen und rekonfigurierbaren Bearbeitungsmaschinen und Vorrichtungen erforscht. HEISEL & MICHAELIS (1998) oder auch ONORI ET AL. (1999) beschreiben die modulare Gestaltung von Werkzeugmaschinen und Montagesystemen. Außerdem waren neue Produktionsmodule für einen schnellen Werkzeug- bzw. Palettenwechsel und -transport sowie hochflexible Fertigungssysteme der Gegenstand von Forschungsarbeiten (KOREN ET AL. 1999). Als weiteres Beispiel dient das Projekt „Highly Productive and Reconfigurable Manufacturing Systems“ (HIPARMS) (TÖNSHOFF ET AL. 2001).

Modulare Betriebsmittel stellen insofern eine Grundlage für die Gestaltung wandlungsfähiger Produktionssysteme dar. Die Wandlungsfähigkeit (REINHART 1997; REINHART 1999; REINHART 2000; ZÄH ET AL. 2004) der Produktion bzw. von Produktionssystemen

1.5 Darstellung und Abgrenzung des Betrachtungsraums

setzt sich definitionsgemäß aus den Elementen Flexibilität und Reaktionsfähigkeit zusammen. Der Begriff Flexibilität umfasst hierbei die Beherrschung von Szenarien, die bei der Planung bereits berücksichtigt werden. Die Reaktionsfähigkeit bezieht sich auf lösungsneutrale Anpassungspotenziale eines Unternehmens in einem turbulenten Umfeld, die im Bedarfsfall schnell und kostenarm aktiviert werden können (ZÄH ET AL. 2005A).

Die Aspekte der Modularisierung und Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen bieten im Rahmen der Methodik einen konzeptionellen Ansatz bzw. einen „Enabler“ für die Generierung von alternativen Verfahrensketten. Deshalb gilt es an dieser Stelle, die generischen Strukturmaßnahmen (in Anlehnung an EVERSHEIM & TERHAAG (1999)) zur Anpassung von Produktionsstrukturen und -prozessen einzuführen (Tabelle 1).











| | Strukturmaßnahme | Darstellung | Erläuterung |
|----|--|---|---|
| 1 | Integration/ Modularisierung |  | mehrere Prozesse zusammenfassen bzw. Prozesse in mehrere Teilprozesse trennen |
| 2 | Parallelisierung |  | Prozesse parallelisieren, die ursprünglich in Sequenzen abliefern |
| 3 | Kooperation |  | Prozesse extern verlagern |
| 4 | Verlagerung |  | einen ganzen Prozess oder Teile eines Prozesses in einen anderen Prozessstrang verlegen |
| 5 | Eliminierung |  | einen Prozess ersatzlos streichen |
| 6 | Substitution |  | einen Prozesses durch einen anderen/veränderten Prozess ersetzen |
| 7 | Reihenfolgebildung |  | Sequenzen zweier oder mehrerer Prozesse ändern |
| 8 | Duplizierung |  | gleichartige Prozesse mehrerer Prozessstränge zusammenfassen bzw. einen Prozess auf gleichartige Prozesse in verschiedenen Strängen aufteilen |
| 9 | Veränderung der Ressourcenzuordnung |  | neue Ressourcen zu einem Prozess zuordnen, Ressourcen ersetzen, Ressourcen abziehen |
| 10 | Gestaltung neuer Prozesse |  | einen neuen Prozesses einführen |

Tabelle 1: Strukturmaßnahmen (in Anlehnung an EVERSHEIM & TERHAAG (1999))

Die zehn möglichen generischen Strukturmaßnahmen bieten einen Baukasten zur Optimierung von Strukturen und Prozessen. Somit können die generischen Strukturmaßnahmen als eine Grundlage für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung von Produktionsalternativen aufgegriffen werden.

1.5.5 Grundlagen der Produktentwicklung und Produktionsplanung

Die vorliegende Arbeit soll sich hauptsächlich auf die Planung von Verfahrensketten für neue Produkte beziehen. Vor diesem Hintergrund sind die Planungsarten Neu-, Ähnlichkeits- und Variantenplanung relevant (EVERSHEIM 1996, S. 7-76). Hierbei soll es keine Restriktion darstellen, ob die jeweilige Verfahrenskette mit dem existierenden Maschinenpark eines Unternehmens realisiert werden kann oder ob Investitionen in neue Maschinen zu tätigen sind. Inhaltlich bezieht sich die Methodik, wie in Abbildung 6 dargestellt, auf die entsprechenden Teilbereiche des Produktentwicklungs- und Produktionsplanungsprozesses, die miteinander in Wechselwirkung stehen.

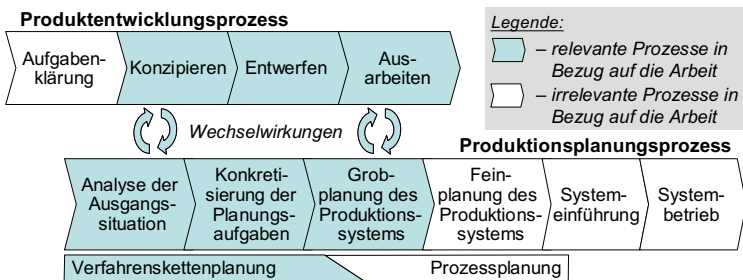


Abbildung 6: Relevante Produktentwicklungs- und Produktionsplanungsprozesse in Bezug auf die Arbeit (in Anlehnung an VDI RICHTLINIE 2221 (1993) und REFA (1990))

In Verbindung mit dem Produktentwicklungsprozess, der im Vergleich zum Produktionsplanungsprozess i. d. R. früher startet und endet, wird hauptsächlich auf die Phasen „Konzipieren“, „Entwerfen“ und „Ausarbeiten“, wie in der VDI RICHTLINIE 2221 (1993) dargestellt, eingegangen. In die erste Phase der Aufgabenklärung greift die Methodik nicht direkt ein, da hier die Produktidee geplant, die Anforderungen ermittelt und die Informationen eingeholt werden, aber noch keine potenziellen Verfahrensketten gebildet werden. Die Relevanz der Methodik ist ab der Phase der Konzeption gegeben, da hier eine integrative Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen Nutzeneffekte, wie z. B. Vorschläge für optimierte Produktgeometrien, erzeugen kann.

Im Zusammenhang mit dem Produktionsplanungsprozess soll die Methodik in den Phasen „Analyse der Ausgangssituation“, „Konkretisierung der Planungsaufgaben“ sowie „Grobplanung des Produktionssystems“ (Planungssystematik nach REFA (1990)) ansetzen. Da sich die zu entwickelnde Methodik auf die frühe Phase der grundlegenden Verfahrenskettenplanung konzentrieren soll, ist die Phase der „Feinplanung des Produk-

1.5 Darstellung und Abgrenzung des Betrachtungsraums

tionssysteme“ nicht mehr von Bedeutung, da hier die Prozesse im Detail geplant werden (Planung von Betriebsmitteln, Werkzeugen, Vorrichtungen und Prozessparametern). Letztendlich werden aus der Phase der Grobplanung die Verfahrensketten an die Prozessplanung übergeben, um sie dort zu detaillieren. Die Phasen Systemeinführung und -betrieb werden nicht explizit inhaltlich in die Methodik eingeschlossen, da diese sich hauptsächlich mit der Auswahl der spezifischen Produktionsmittel beschäftigen.

1.5.6 Grundlagen des Wissensmanagements

Unter dem Begriff Wissensmanagement werden alle Maßnahmen zusammengefasst, die das Ziel haben, Wissen effizienter zu nutzen (KLOCKE ET AL. 2005). Demzufolge schließt das Wissensmanagement organisatorische, personelle und technische Maßnahmen mit ein (PROBST ET AL. 2006). Es umfasst hierbei die von PROBST ET AL. (2006) formulierten sowie von DOMBROWSKI & TIEDEMANN (2004) aufgegriffenen operativen Bausteine, die in Abbildung 7 zu sehen sind.

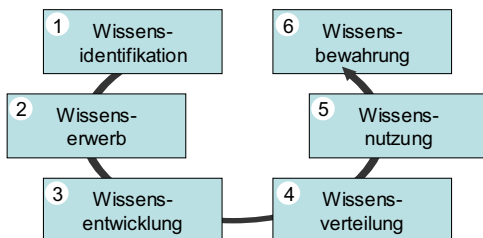


Abbildung 7: Operative Bausteine des Wissensmanagements

Zur Wissensidentifikation werden gezielt unternehmensinterne und -externe Aspekte herangezogen. Es gilt festzustellen, welches Wissen bereits verfügbar ist, und es sind Quellen zu identifizieren, mit denen zielorientiert Wissenslücken geschlossen werden können. Im Bereich des Wissenserwerbs soll externes Wissen beschafft werden, wohingegen die Wissensentwicklung die Erarbeitung von neuem Wissen innerhalb eines Unternehmens bezweckt. Die Wissensverteilung adressiert das Verfügbarmachen von Wissen im Unternehmen. Dadurch sind die Grundlagen geschaffen, um das Wissen im Rahmen von Entscheidungen und Handlungen zu nutzen. Schlussendlich gilt es im Zuge der Wissensbewahrung, Wissensverluste im Unternehmen zu vermeiden.

Dass der Erfahrungsrückfluss und das Wissensmanagement eine entscheidende Bedeutung für Unternehmen besitzen, zeigen sowohl WESTKÄMPER (2006) hinsichtlich des Datenmanagements (Daten: vgl. Glossar) in der Digitalen Fabrik (vgl. Glossar) als auch

KLOCKE ET AL. (2005) bezüglich des technologischen Wissensmanagements. In dieser Arbeit soll das Thema Wissensmanagement als Ansatz aufgegriffen werden. Es sollen Lösungen dargeboten werden, die bei der entwicklungs- und planungsbegleitenden Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen Wissen zur Verfügung stellen und das erarbeitete Planungs- und Bewertungswissen langfristig sichern. Demzufolge werden die operativen Bausteine des Wissensmanagements aus Abbildung 7 in Teilbereichen unterstützt.

1.5.7 Aspekte der Rechnerunterstützung

Es existiert eine Vielzahl an Rechnerwerkzeugen zur Unterstützung der Produktentwicklung und Produktionsplanung. In diesen Domänen werden mehr und mehr Werkzeuge der Digitalen Fabrik eingesetzt, wie beispielsweise LINNER (2002) sie beschreibt. Viele Industrieunternehmen streben die so genannte Virtuelle Produktion (vgl. Glossar) an, die als die durchgängige Planung, Evaluierung und Steuerung von Produktionsprozessen und deren Anlagen mit Hilfe digitaler Methoden und Werkzeuge definiert ist (REINHART ET AL. 1999). Das Ziel hierbei ist es, die Vorgehensweisen sowie die Planungsobjekte Produkt und Prozess zu optimieren. Die Digitale Fabrik ist in diesem Kontext das Bindeglied zwischen der realen und der Virtuellen Produktion und beinhaltet die erforderlichen Methoden und Werkzeuge (ZÄH ET AL. 2003A; ZÄH & MÜLLER 2004). Insofern bietet die Digitale Fabrik Potenziale hinsichtlich der schnellen und interdisziplinären Zusammenarbeit bzw. der Integration von Produktentwicklung und Produktionsplanung.

Am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München (*iwb*) wurde die Virtuelle Produktion im Zuge der Forschungstätigkeiten in die Handlungsfelder „Methoden zur Umsetzung und zum Einsatz der Digitalen Fabrik“, „Benutzerschnittstellen“ (vor allem Techniken der Immersion und Interaktion) und „Werkzeuge der Digitalen Fabrik“ untergliedert (ZÄH ET AL. 2005B). Das gesamte Spektrum der aktuellen Methoden, Werkzeuge und Benutzerschnittstellen der Virtuellen Produktion zeigt zusammenfassend Abbildung 8. An dieser Stelle wird nicht auf alle Elemente aus Abbildung 8 eingegangen, sondern auf die einschlägige Literatur verwiesen (LINNER 2002; BÄR 2004; FUSCH 2005; VDI RICHTLINIE 4499 2006).

Digitale Werkzeuge können eine maßgebliche Unterstützung hinsichtlich der Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit bieten. Zum einen können die hinterlegten Informationen und die Funktionalitäten der Rechnerwerkzeuge genutzt werden, um die Entwicklung und Planung der Objekte Produkt, Verfahren, Prozesse, Ressourcen, Organisationsformen oder Steuerungssysteme zu unterstützen. Zum anderen werden vielfach

1.5 Darstellung und Abgrenzung des Betrachtungsraums

Funktionalitäten zur Verfügung gestellt, um die jeweiligen Objekte hinsichtlich der Zeiten, Kosten und qualitativen Kriterien bewerten zu können. Des Weiteren können die digitalen Werkzeuge i. d. R. in den verschiedenen Phasen der Produktentwicklung, Produktionsplanung sowie Produktion kontinuierlich und übergreifend eingesetzt werden (Abbildung 8).

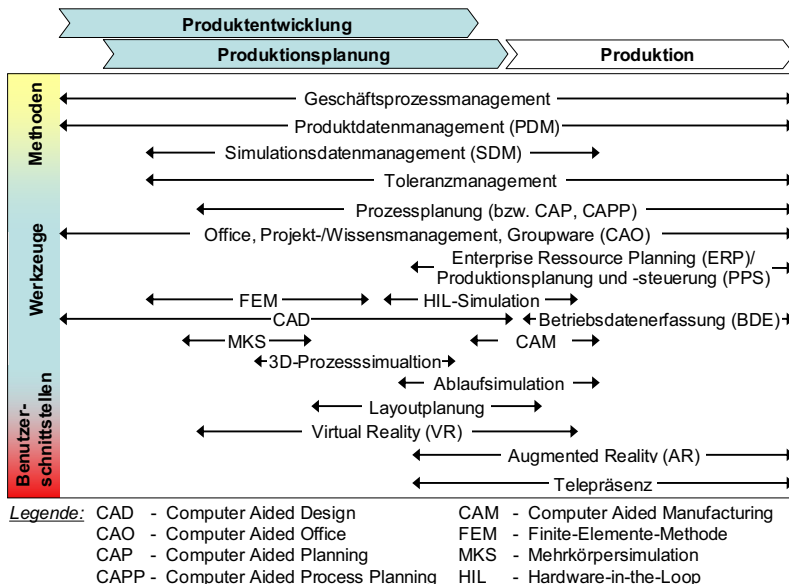


Abbildung 8: Benutzerschnittstellen, Werkzeuge und Methoden der Virtuellen Produktion (in Anlehnung an ZÄH ET AL. (2005C); REINHART ET AL. (2006B))

Die diversen Synthese- und Analyseschritte eines Produktentwicklungs- und Planungsprozesses, die FELDMANN (1997) exemplarisch für die integrierte Montagesystemplanung beschrieben hat, können rechnerisch unterstützt werden. Im Sinne der Aufgabenstellung können Kombinationen unterschiedlicher Rechnerwerkzeuge Möglichkeiten bieten, die Produkt- und Produktionsdaten schrittweise zu erarbeiten und entsprechend zu analysieren. Hierbei sind vor allem Systeme des Produktdatenmanagements (PDM), des Enterprise Resource Planning (ERP), des Computer Aided Planning (CAP) und des Computer Aided Process Planning (CAPP) zu nennen. Die PDM-Systeme dienen in diesem Zusammenhang dem zielgerichteten Umgang mit Produktdaten, wie z. B. der Produktstruktur (SCHÖTTNER 1999). Demgegenüber fokussieren ERP-Systeme die im Unternehmen verfügbaren Ressourcen, um eine optimierte Auftragsabwicklung

sicherzustellen (LUCZAK ET AL. 2004). Da die Generierung und die Bewertung von Produktionsalternativen jedoch nicht nur das Produkt und die verfügbaren Ressourcenaspekte zu berücksichtigen hat, spielen auch CAP- und CAPP-Werkzeug eine bedeutende Rolle. Diese werden im Wesentlichen dazu genutzt, um z. B. im Zuge einer manuellen Konfiguration (vgl. Glossar) oder einer automatisierten wissensbasierten Unterstützung (vgl. Glossar), die Elemente Produkt, Prozess und Ressource zu kombinieren und die Prozessparameter festzulegen.

Das Spektrum an möglichen unterstützenden Rechnerwerkzeugen zur Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen ist somit sehr breit gefasst. Da die Unternehmen durch die spezifischen Anforderungen, Produkte und bereits existierenden Rechnerwerkzeuge gänzlich unterschiedlichen Voraussetzungen unterliegen, kann es keine Zielsetzung der Arbeit sein, einen fixierten Vorschlag der Rechnerunterstützung darzubieten. Einen ähnlichen Sachverhalt präsentieren beispielsweise auch BERLAK (2003) sowie SCHUH & GIERTH (2006) im Bereich der Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung (PPS). Hier werden keine vordefinierten Lösungsvorschläge angeboten, sondern der individuelle Weg eines Unternehmens hin zur PPS-Unterstützung aufgezeigt. In ähnlicher Weise bietet Kapitel 4 einen Leitfaden, durch den eine unternehmensindividuelle Rechnerunterstützung zur Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen abgeleitet werden kann.

1.5.8 Zusammenfassung

Die in dieser Arbeit zu entwickelnde Methodik bezieht sich schwerpunktmäßig auf die Serien- und Massenproduktion von Produkten mit einem hohen technologischen Anspruch sowie einer Vielfalt an Verfahrensalternativen. Hierbei wird vorrangig die Planung innovativer Verfahrensketten für neue Produkte betrachtet, da bewusst eine Abkehr vom reinen Kopieren und Adaptieren bekannter Lösungen erfolgen soll. Entsprechend diesen Randbedingungen soll die Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen sowohl im Produktentwicklungs- als auch im Produktionsplanungsprozess „verankert“ werden. Das Konzept der Integration soll in diesem Zusammenhang einen maßgeblichen Einfluss ausüben, so dass die Tätigkeiten in Verbindung mit der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen auf einer unternehmensbereichsunabhängigen, funktionsintegrierten und prozessorientierten Basis erfolgen. Neben dieser fundamentalen Einordnung wurden die wesentlichen Aspekte zu den Themenbereichen Modularisierung und Wandlungsfähigkeit, Wissensmanagement sowie Rechnerunterstützung erläutert, um zum einen eine breite Grundlage für die Entwicklung der Methodik zu schaffen und zum anderen den Betrachtungsraum der Arbeit abzugrenzen.

1.6 Vorgehensweise

Nach der Einleitung (Kapitel 1) mit der Darstellung der aktuellen Trends und Herausforderungen, der Definition von Begriffen, der Fokussierung bezüglich der Arbeit sowie der Aufgabenstellung und Zielsetzung wird im folgenden Kapitel 2 der Stand der Forschung und Technik erläutert. Die Betrachtung konzentriert sich auf die Bereiche der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung sowie der Bewertungsmethoden. Auf der Basis einer Zusammenfassung und der Ausarbeitung der daraus resultierenden Defizite werden die spezifischen Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik (Kapitel 3) dokumentiert und auf der Grundlage der Zielsetzung präzisiert. Darauf basierend erfolgt die Konzeption der Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen (Abschnitt 3.3). Hier wird das „Gerüst“ der Methodik erarbeitet und dargestellt, um im Folgenden die Methodik detailliert mit allen relevanten Elementen zu beschreiben (Kapitel 4). Kapitel 5 veranschaulicht die exemplarische Anwendung der Methodik mittels zweier Fallbeispiele. Entsprechend den Resultaten aus der exemplarischen Anwendung folgt eine Bewertung von Nutzen und Aufwand (Kapitel 6) hinsichtlich der Einführung und Anwendung der Methodik. Eine Zusammenfassung und ein Ausblick (Kapitel 7) schließen die Arbeit ab. Abbildung 9 präsentiert den Aufbau der Arbeit:

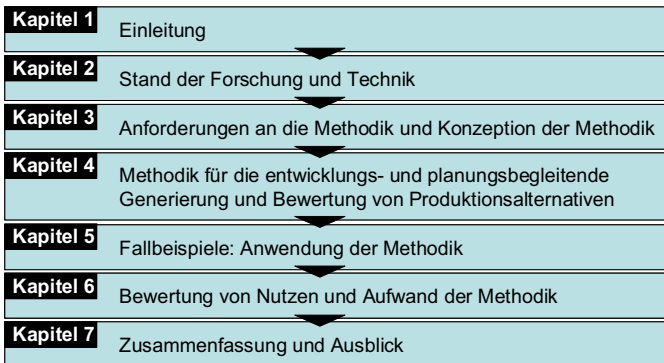


Abbildung 9: Überblick über die Inhalte und den Aufbau der Arbeit

Bei der Entwicklung der Methodik wird ein induktiver Ansatz verfolgt. Das heißt, auf der Basis von Analysen und Beobachtungen aus bestehenden wissenschaftlichen Ansätzen und aktuellen industriellen Vorgehensweisen wird eine allgemeingültige Methodik erarbeitet.

2 Stand der Forschung und Technik

2.1 Allgemeines

Nachdem in Abschnitt 1.5 der Betrachtungsraum abgegrenzt und einige Themenbereiche einführend erläutert wurden, beschreibt dieses Kapitel die vorrangigen Grundlagen für die Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen. Abschnitt 2.2 veranschaulicht den Stand der Forschung und Technik hinsichtlich der Geschäftsprozesse (vgl. Glossar) der konventionellen, d. h. sequenziellen, sowie der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung. Anschließend wird in Abschnitt 2.3 auf die grundlegenden Bewertungsmethoden und die spezifischen wissenschaftlichen Ansätze zur Bewertung von Produktionsalternativen eingegangen. Es werden Vorgehensweisen beschrieben, die eine quantitative (insbesondere monetäre) und qualitative Bewertung von Produktionsalternativen bzw. von alternativen Verfahrensketten anstreben. Das Kapitel wird durch eine Zusammenfassung in Form eines Gesamtfazits (Abschnitt 2.4) abgeschlossen, in dem die Handlungsfelder in Bezug auf die Arbeit erörtert werden.

2.2 Methoden und Ansätze der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung

2.2.1 Allgemeines

In den folgenden Abschnitten werden zuerst die grundlegenden Vorgehensweisen im Rahmen der Produktentwicklung (Abschnitt 2.2.2) und der Produktionsplanung (Abschnitt 2.2.3) dargestellt. Darauf aufbauend bietet Abschnitt 2.2.4 einen Überblick über Ansätze, welche die beiden Domänen integrieren. Anschließend geht Abschnitt 2.2.5 primär auf Forschungsansätze ein, die sich im Schwerpunkt oder in Teilbereichen mit der Planung von Verfahrensketten auseinandersetzen. Eine Zusammenfassung zum Themenbereich der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung bietet Abschnitt 2.2.6.

2.2.2 Produktentwicklung

Die Tätigkeiten im Rahmen der Produktentwicklung bzw. Konstruktion lassen sich grob in die Phasen *Planung*, *Konzeption*, *Entwurf* und *Ausarbeitung* unterteilen (vgl. Abschnitt 1.5.5 bzw. Abbildung 6). Die VDI RICHTLINIE 2221 (1993) und die VDI

2.2 Methoden und Ansätze der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung

RICHTLINIE 2222 (1997) (Abbildung 10) bieten eine strukturierte Vorgehensweise, um „zweckgerichtet Forschungsergebnisse und Erfahrungen auszuwerten und anzuwenden sowie ausgehend von einer Aufgabenstellung die zur Herstellung und Nutzung eines Produkts notwendigen Informationen zu erarbeiten und in eine Festlegung der Produktdokumentation“ münden zu lassen (VDI RICHTLINIE 2221 1993, S. 39 f.). Im Wesentlichen gilt es die in Abbildung 10 ersichtlichen sieben Tätigkeiten auszuführen, um die entsprechenden Ergebnisse bzw. Dokumente zu erarbeiten. Hierbei werden die unterschiedlichen Hierarchieebenen *Produkt*, *Modul* und *Bauteil* nach dem Prinzip top-down betrachtet. Eine Unterstützung bei der Ausführung der jeweiligen Schritte kann beispielsweise der Vorgehenszyklus nach EHRENSPIEL (2003, S. 81 ff.) bieten, der die einzelnen Schritte in die Phasen *Aufgabenklärung*, *Lösungssuche* und *Lösungsauswahl* unterteilt.

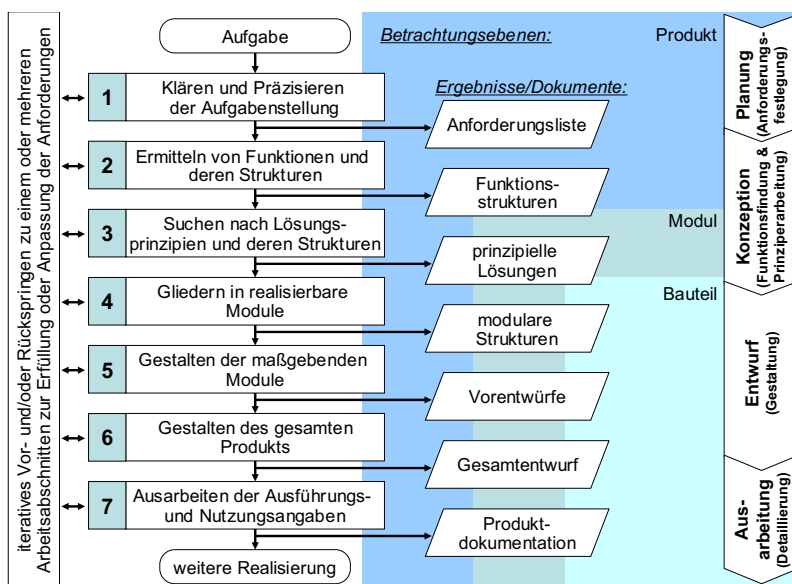


Abbildung 10: Konstruktionsphasen (in Anlehnung an VDI RICHTLINIE 2221 (1993) und VDI RICHTLINIE 2222 (1997))

Eine Vertiefung der Richtlinien bieten z. B PAHL ET AL. (2005), die einen Methodenbaukasten zum Entwickeln und Konstruieren zur Verfügung stellen. Es werden die Grundlagen für das strukturierte Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren dargestellt. Zusätzlich zur Beschreibung der Vorgehensweisen werden auch konkrete Gestaltungsregeln dokumentiert, wie beispielsweise Regeln für die optimale Kraftübertragung

zwischen zwei Bauteilen. Ähnliche Dokumentationen präsentieren HUBKA & EDER (1992) sowie KOLLER (1998). Auf diesen Werken gründen viele wissenschaftliche Arbeiten. Als Beispiele können Methoden für die Definition und die Handhabung kundenseitiger Anforderungen (AHRENS 2000) oder Ansätze zur Restrukturierung in der Entwicklung und Konstruktion (LINDEMANN & STETTER 1997) genannt werden.

Eine detaillierte Vorgehensbeschreibung inklusive einer anwendungsgerechten Methodendarstellung bietet LINDEMANN (2006, S. 45 ff.) in Form des Münchener Vorgehensmodells. Es beinhaltet die Elemente *Ziel planen*, *Ziel analysieren*, *Problem strukturieren*, *Lösungsideen ermitteln*, *Eigenschaften ermitteln*, *Entscheidungen herbeiführen* und *Zielerreichung absichern* (Abbildung 11).

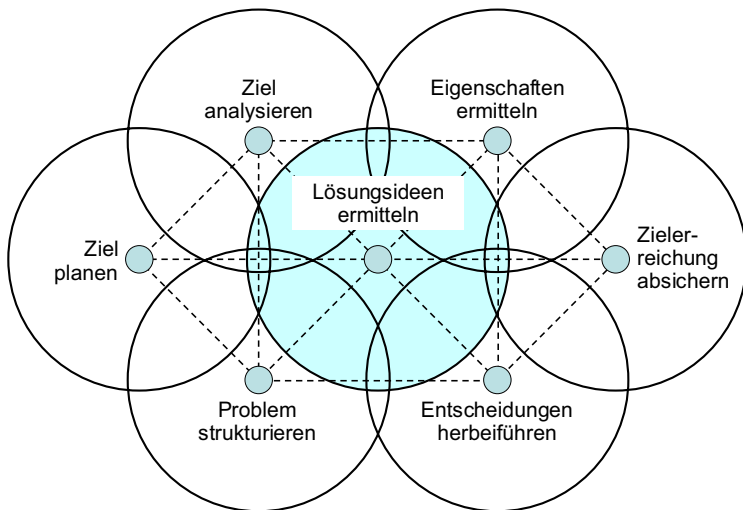


Abbildung 11: Münchener Vorgehensmodell (LINDEMANN 2006, S. 46)

Im Gegensatz zu vielen anderen Ansätzen verdeutlicht das Münchener Vorgehensmodell, dass die Produktentwicklung i. d. R. keiner streng sequenziellen Logik folgt. Vielmehr wird der netzwerkorientierte Charakter des Problemlösungsprozesses, der eine flexible Kombination der Elemente des Vorgehensmodells zulässt, herausgestellt (LINDEMANN 2006, S. 45 ff.).

Weitere Beschreibungen zu Vorgehensweisen und Methoden der Produktentwicklung bieten z. B. GAUSEMEIER ET AL. (2001) oder FRANKE ET AL. (2006). Die Autoren betrachten vertiefend bzw. ergänzend u. a. die folgenden Themenbereiche:

2.2 Methoden und Ansätze der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung

- Entwicklung mechatronischer Produkte
- Entwicklung individualisierter Produkte
- integrierte Produktentwicklung (vgl. Abschnitt 2.2.4)
- Unterstützung durch Rechnerwerkzeuge (z. B. CAD-, FEM -, MKS-, VR- und AR-Systeme)

2.2.3 Produktionsplanung

Die Aufgaben der Produktionsplanung sind eng mit den Ergebnissen der Produktentwicklung verknüpft und repräsentieren die Voraussetzung für die Produktion. Auf der Grundlage der definierten Produkte und deren Charakteristika gilt es, das geeignete Produktionssystem mit den entsprechenden Produktionsverfahren und -prozessen festzulegen. In Verbindung mit dem in der Arbeit verwendeten Begriff der Produktionsplanung wird auch häufig von den Tätigkeiten der Arbeitsvorbereitung gesprochen. Im Zuge der Arbeit gelten die Begriffe *Arbeitsvorbereitung* und *Produktionsplanung* als Synonyme. Eine eindeutige Abgrenzung der Begriffe existiert in der Literatur nicht. Die Arbeitsvorbereitung untergliedert sich in die Bereiche Arbeitsplanung und -steuerung (EVERSHEIM 1997).

Die Arbeitssteuerung beschäftigt sich mit den dispositiven und überwachenden Aspekten der Produktion. Demgegenüber behandelt die Arbeitsplanung alle einmalig auftretenden Tätigkeiten, die unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit die produktions-technische Realisierung eines Produkts betreffen. Die Arbeitsplanung gliedert sich wiederum in die Elemente Arbeitsablauf- und Arbeitssystemplanung (REFA 1991) auf. Die Arbeitsablaufplanung erstreckt sich von der Auswahl von Verfahrensalternativen, was einen Betrachtungspunkt der Arbeit darstellt, über die Planung der Produktionsprozesse bis zur Programmierung von Numerical Control Codes (NC-Codes). Im Zuge der Prozessplanung werden die Reihenfolgen der Prozesse definiert. Die Prozesse werden durch die Zuordnung von Ressourcen, Werkzeugen sowie Spannmitteln und die Untergliederung in Teilprozesse spezifiziert. Die Arbeitssystemplanung beinhaltet hingegen die Produktionsmitteleinsatz-, Produktionsmitteleinsatzinvestitions-, Personal-, Lager- und Transportplanung sowie die Festlegung des Produktionslayouts (MILBERG & REINHART 1996, S. 10-1 ff.). Zusammenfassend hat die Arbeitsplanung die in Abbildung 12 ersichtlichen Aufgaben zu erfüllen.

| kurzfristige Planungsaufgaben | mittelfristige Planungsaufgaben | langfristige Planungsaufgaben |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪Stücklistenverarbeitung: <i>Erstellung von Montage- und Fertigungsstücklisten, ...</i> ▪Arbeitsplanerstellung: <i>Arbeitsvorgangsfolgeermittlung, Vorgabezeitbestimmung, ...</i> ▪NC-Programmierung: <i>Erstellen der Teilprogramme, ...</i> ▪Sonderfertigungshilfsmittelplanung: <i>Entwicklung, Konstruktion von Sonderfertigungsmitteln, ...</i> | <ul style="list-style-type: none"> ▪Planungsvorbereitung <i>Konstruktionsberatung, Suche von Planungsunterlagen, ...</i> ▪Kostenplanung <i>Vorkalkulation, Wirtschaftlichkeitsrechnung, ...</i> ▪Qualitätssicherung <i>Prüfplanung, Qualitätsplanung, ...</i> | <ul style="list-style-type: none"> ▪Materialplanung <i>Lagersortenplanung, Lagerortplanung, ...</i> ▪Investitionsplanung <i>Planung von Fertigungsmitteln, Anlagen, ...</i> ▪Methoden-/Verfahrenplanung <i>Entwickeln von Fertigungsmethoden, Planungsmethoden, ...</i> |

Abbildung 12: Aufgaben der Arbeitsplanung (EVERSHEIM 1997, S. 5 ff.)

Für die Produktionsplanung wurden zahlreiche, inhaltlich ähnliche Vorgehensmodelle (Modell: vgl. Glossar) entwickelt und dokumentiert. Hinsichtlich der Montageplanung sind exemplarisch BULLINGER (1986), SCHUSTER (1992), LOTTER (1992) oder KONOLD & REGER (2003) zu nennen. Alle Ansätze umfassen implizit die vier Teilaufgaben „Analyse von Produkt und Randbedingungen“, „Grob- und Feinplanung des Montageablaufs“, „Anordnung, Konfiguration, Auswahl und Detaillierung von Betriebsmitteln“ sowie eine „kontinuierliche Lösungsbewertung und Auswahl“. Auch im Rahmen der Domäne Fabrikplanung werden, wenn auch in einem globaleren Fabrikkontext, Vorgehensweisen zur Produktionsplanung dargestellt (KETTNER ET AL. 1984; AGGTELEKY 1987; AGGTELEKY 1990A; AGGTELEKY 1990B).

Eine neutrale und ganzheitliche Systematik zur Planung und Einführung komplexer Produktionssysteme beschreibt beispielsweise REFA (1990, S. 88 ff.) (Abbildung 13). Derartige systematische Vorgehensweisen werden vielfach durch ein breites Spektrum an Rechnerwerkzeugen, wie z. B. durch CAP-Systeme, unterstützt (vgl. Abschnitt 1.5.7).

2.2 Methoden und Ansätze der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung

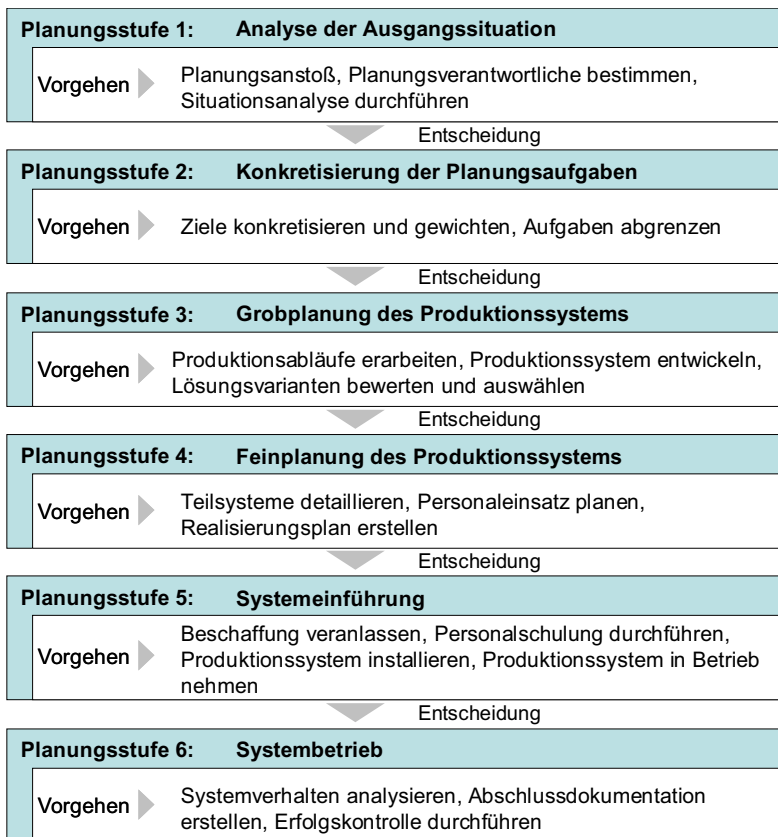


Abbildung 13: Systematik zur Planung und Einführung komplexer Produktionssysteme (REFA 1990)

2.2.4 Parallele bzw. integrierte Produktentwicklung und Produktionsplanung

In den Abschnitten 2.2.2 und 2.2.3 wurden Vorgehensweisen vorgestellt, die sich spezifisch auf die Produktentwicklung und Produktionsplanung konzentrieren. Ansätze, die eine integrierte oder zumindest parallelisierte Vorgehensweise der beiden Domänen beschreiben, werden nachfolgend erläutert.

Der Simultaneous-Engineering-Ansatz (SE-Ansatz) (ALLEN 1990) bestimmt seit den 1990er Jahren eine neue Denkweise. Durch eine parallele Ausführung der Produkt- und

Produktionssystemgestaltung soll eine zeitliche Reduzierung bis zum Start of Production (SoP) erreicht werden. Diese Parallelisierung erfordert einen ganzheitlichen Planungs- und Entwicklungsansatz, der im Vergleich zur bisher unabhängigen Abarbeitung von Teilschritten eine frühzeitige Kommunikation und Zusammenarbeit der involvierten Bereiche erfordert (DAENZER & HUBER 1999, S. 68 ff.).

Den Parallelisierungsansatz von SE erweitert Concurrent Engineering (CE) um die Aspekte der Standardisierung und Integration von Unternehmensprozessen. Dadurch soll eine Zeitreduzierung bewirkt, Routineprozesse gefördert und teamorientierte Zusammenarbeit unterstützt werden (BULLINGER & WARSCHAT 1996). Eine Reihe von Autoren beschreiben CE als eine parallelisierte Marktbearbeitung, Produktentwicklung und Prozessentwicklung bzw. als deren zeitlich sich überlappende Aktivitäten (CLAUSING 1998; GRUNWALD 2002, S. 37; ULRICH & EPPINGER 2004, S. 3-4 und 14-18; EPPINGER ET AL. 1997; BALAMURALIKRISHNA ET AL. 2000; TICHKIEWITZ & BRISSAUD 2000; MEIER & HAHNENKAMP 2003).

Eine Weiterführung dieser Ansätze bietet die integrierte Entwicklung und Planung. Es werden die Ziele einer weiteren Reduzierung der Arbeitsteiligkeit und einer Erreichung eines Gesamtoptimums hinsichtlich Produkt und Produktionssystem verfolgt (REINHART 1998). Einen derartigen Integrationsansatz verfolgte der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Sonderforschungsbereich (SFB) 336 „Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung“ an der Technischen Universität München (LINDEMANN 2000). Er wurde 1989 eingerichtet und 2000 abgeschlossen. Die erarbeiteten Forschungsergebnisse wurden des Weiteren im Rahmen zweier Antragszeiträume des Transferbereichs (TFB) 2 in den Jahren 1996 bis 1997 sowie 2002 bis 2004 in anwendungsnahen Forschungsprojekten in die Industrie transferiert. Der SFB 336 hatte das Ziel, die Montageautomatisierung effizienter zu gestalten. Hierzu wurden vor allem neue methodische Ansätze für die Integration von Konstruktion und Montageplanung erarbeitet, integrierte rechnerunterstützte Hilfsmittel entwickelt sowie Komponenten flexibler Montagesysteme optimiert (LINDEMANN 2000). Aus dem SFB resultiert auch die integrierte Produkterstellungsmethodik (EHRLENSPIEL 2003), die integrierte Denkweisen fördert, geeignete unterstützende Methoden erläutert und die flexible Anwendung der Methoden beschreibt. Ebenso fließen die Grundgedanken des SFB 336 in den von GAUSEMEIER ET AL. (2000) formulierten Ansatz „Kooperatives Produkt-Engineering“ ein, in dem ein integrativ wirkendes Vorgehensmodell in Form von mehreren Referenzmodellen beschrieben wird.

Bereits BARTHELMEß (1987) stellte die Optimierungspotenziale einer integrierten Produkt- und Montageprozessgestaltung dar. Durch eine integrierte Betrachtung von Pro-

2.2 Methoden und Ansätze der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung

dukt, Montageprozess und -anlage sollte eine montagegerechte Konstruktion erreicht werden. Die Parallelisierung der grundlegenden Abläufe des Konstruktions- und Montageplanungsprozesses stand im ersten Berichtszeitraum des SFB 336 von 1989 bis 1991 im Vordergrund. In diesem Zusammenhang wurden ein prototypischer integrierter Konstruktionsarbeitsplatz auf der Basis eines Produktmodells und ein integrierter Montageplanungsarbeitsplatz, der auf einem Montagemodell basiert, erarbeitet. Aus den miteinander gekoppelten Einzelmodellen wurde im zweiten Berichtszeitraum von 1992 bis 1994 vor dem Hintergrund der Datenintegration ein gemeinsames objektorientiertes Datenmodell für das Produkt und die Montage entwickelt. Dieses diente als Integrationsgrundlage der beiden Arbeitsplätze.

In der dritten Phase von 1995 bis 1997 wurde die Integration von Rechnerwerkzeugen vorangetrieben. Es wurde das Ziel verfolgt, dem Konstrukteur bzw. dem Montageplaner die nötigen Methoden und Werkzeuge zur Bearbeitung zusammenhängender Aufgaben an einem Arbeitsplatz zur Verfügung zu stellen. Beispielsweise ergänzt LINNER (1997) den Integrationsansatz, indem er die Produktmodelle um Freiräume erweitert, die eine Abbildung von geometrischen Unschärfen erlauben, sowie darauf aufbauend organisatorische Aspekte ergänzt. Hinsichtlich der Ablauf- und Aufbauorganisation formuliert FELDMANN (1997) ein Vorgehensmodell sowie ein 5-Schichtmodell bezüglich des Zusammenwirkens der Produktentwicklungs- und Produktionsplanungsdomänen. Diese Modelle bilden einen Leitfaden, der festlegt, mit welchen Planungsaufgaben in welcher zeitlichen Phase und mit welchen Produktinformationen begonnen werden kann.

Das Ziel des vierten Berichtszeitraums (1998 bis 2000) war es, auf dem erreichten Stand der Aufgabenintegration die noch bereichsspezifisch getrennten Vorgehensweisen von Konstruktion und Montageplanung im Sinne einer Prozessintegration zu vereinheitlichen und zu modularisieren. Im Zuge der Definition von Prozessbausteinen (Abbildung 14), der Weiterentwicklung der rechnerunterstützten Werkzeuge und einer Methodik zur unternehmens- und projektspezifischen Anpassung der Bausteine wurde eine Lösung geschaffen, um schrittweise die funktionale und organisatorische Trennung der Domänen aufzuheben. Somit geht der Ansatz der Integration weit über die Parallelisierung der Abläufe im Kontext von SE und CE hinaus. Die kontinuierliche Interaktion zwischen Produktentwickler und Montageplaner erlaubt eine gesamtoptimale Gestaltung von Produkt, Produktionsprozessen und Produktionssystem (LINDEMANN ET AL. 2000). Der Prozessbausteinansatz (Abbildung 14) erlaubt die Abbildung der einzelnen Unternehmensprozesse in einem generischen „Baukasten“ (REINHART ET AL. 2000; REINHART & GRUNWALD 2001). Ein Prozessbaustein beschreibt jeweils eine integrierte Tätigkeit, zu deren Ausübung Eingangsinformationen hinsichtlich Produkt, Verfahren und/oder Ressourcen in einem bestimmten Status (i) erforderlich sind, um die Aus-

gangsinformationen mit dem nächsthöheren Status ($i+1$) zu erzeugen, die wiederum Eingangsinformationen für darauf folgende Prozessbausteine bilden. Des Weiteren ist in einem Prozessbaustein festgelegt, welcher Unternehmensbereich für welche Kompetenzen verantwortlich ist, sowie welche Methoden und Werkzeuge einzusetzen sind. Die diesbezüglichen Forschungsarbeiten mündeten in Methoden zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung (GRUNWALD 2002).

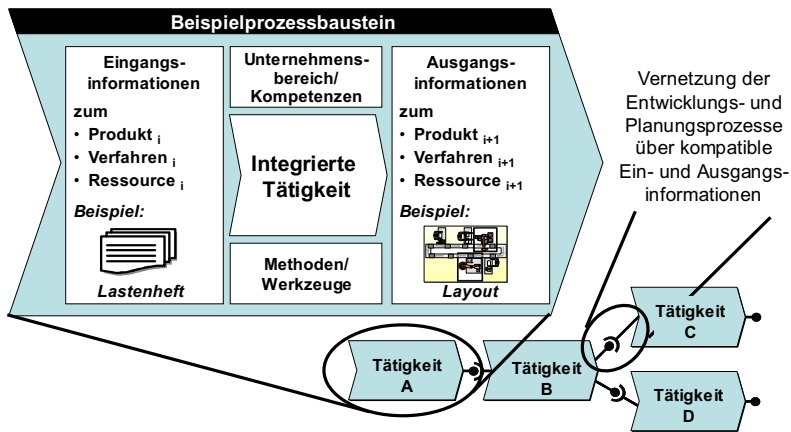


Abbildung 14: Abbildung flexibler Planungsprozesse in Form von vernetzten generischen Prozessbausteinen (in Anlehnung an GRUNWALD (2002))

Die erarbeiteten Methoden wurden intensiv in Richtung einer industriellen Anwendung weiterentwickelt (LINDEMANN ET AL. 1999). Im zweiten Antragszeitraum des TFB wurden die entwickelten Methoden und Werkzeuge zur integrierten Gestaltung montagegerechter Produkte und flexibler Montageanlagen in Industriekooperationen umgesetzt. Der TFB konzentrierte sich im Speziellen auf die folgenden Aufgabenstellungen: Integration der Geschäftsprozesse zwischen Konstruktion und Montageplanung mittels Prozessbausteinen, Implementierung modularer Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse, methodische Unterstützung der Koordination und des Controllings standortverteilter Produktentwicklungsprozesse sowie IT-basiertes Qualitätsmanagement mehrstufiger Entwicklungsprozesse. Außerdem bildete das Teilprojekt „integrierte Planung kostenoptimierter, modularer Montagesysteme“ infolge der modulatorientierten Betrachtung von Montageverfahren und der frühzeitigen Bewertung der Montagekosten eine Grundlage für die vorliegende Arbeit (ZÄH ET AL. 2003B).

Im Gegensatz zum SFB 336 fokussierte der SFB 346 „Rechnerintegrierte Konstruktion und Fertigung von Bauteilen“ informationstechnische Aspekte wie den Aufbau eines

2.2 Methoden und Ansätze der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung

objektorientierten integrierten Produkt- und Produktionsmodells. Des Weiteren wurden Konzepte zu Konstruktions- und Planungsarbeitsräumen vorgestellt. Diese illustrieren eine integrierte, aber dennoch sequenzielle Vorgehensweise von der fertigungsgerechten Konstruktion bis zur anschließenden Technologie- und Arbeitsplanung auf der Grundlage unvollständiger Daten (GRABOWSKI ET AL. 2002). In diesem Zusammenhang beschäftigt sich beispielsweise AGOSTINI (2000) mit der Reihenfolgeplanung von Produktionsprozessen unter Berücksichtigung von Interaktionen (vgl. Abschnitt 2.2.5).

Im Rahmen des SFB 361 „Modelle und Methoden zur integrierten Produkt- und Prozessgestaltung“ (EVERSHEIM & SCHUH 2005) wurden ebenfalls Lösungen vorgestellt, die eine Grundlage für eine technologieorientierte Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen bieten (FALLBÖHMER 2000; SCHUH & KNOCH 2005). Eine detaillierte Darstellung der Lösungen erfolgt in Abschnitt 2.2.5. Weiterhin werden strategische Lösungen und Methoden der Technologieplanung und des Technologiemanagements, wie der Technologiekalender, vorgestellt. Da sich die vorliegende Arbeit aber primär auf die operative Planung von Technologien bzw. Verfahren konzentriert, sei nur auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen (EVERSHEIM ET AL. 1996; WALKER 2003).

Einen weiteren etablierten integrierten Planungsansatz bietet die Methodik Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) nach BOOTHROYD ET AL. (1994). Dieser ist tendenziell produktentwicklungsorientiert, betrachtet jedoch auch Produktionsplanungsaspekte. Die Methodik verfolgt im Wesentlichen drei Ziele:

- Unterstützung der Integration zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung durch einen systematischen Leitfaden für die Vereinfachung der Produktstruktur, Reduktion der Produktionskosten und Quantifizierung der Verbesserungspotenziale im Produktionsprozess
- Unterstützung eines Vergleichs mit Konkurrenzprodukten
- Unterstützung bei der Kostenbewertung

Durch Gestaltungsregeln, Tabellenwerke, Grafen und Formeln auf der Basis von Erfahrungswerten können oben genannte Zielsetzungen unterstützt werden. Dadurch ist es möglich, den quantifizierten Kennwert „Design-Effizienz“ und die zu erwartende Prozesszeit abzuleiten. Auf diese Weise werden Erfahrungswerte genutzt, um z. B. über Formelzusammenhänge auf Zeiten und damit Kosten zu schließen. Der DFMA-Ansatz besitzt somit auch Bewertungsfunktionalitäten, die inhaltlich den Aspekten der entwicklungs- und planungsbegleitenden Bewertung zuzuordnen sind (Abschnitt 2.3.8). Infolge des relativ hohen Zeitaufwands zur Anwendung der Methodik werden primär

Produkte der Serien- und Massenproduktion durch DFMA adressiert, da hier über die hohen Stückzahlen durch Optimierungsmaßnahmen große Einsparpotenziale hinsichtlich der Herstellkosten erzielbar sind. Um den Einsatz der Methoden zu unterstützen, werden diverse Rechnerwerkzeuge angeboten: Design for Manufacturing (DFM), Design for Assembly (DFA), Design for Service (DFS) und Design for Disassembly and Environment (DFD/E). DFM und DFA konzentrieren sich auf Fertigungs- und Montageaspekte. DFS ermöglicht die Modellierung der produktbegleitenden Dienstleistungen für Wartung und Instandhaltung. DFD/E konzentriert sich z. B. auf die Bestimmung des Demontageaufwands sowie die Ermittlung des realisierbaren Erlöses für die demontierten Materialien.

Die Forschungstätigkeiten des SFB 582 „Marktnahe Produktion individualisierter Produkte“ an der Technischen Universität München betrachten die Wechselwirkungen zwischen der Produktentwicklung, der Produktionsplanung und der Produktion im Hinblick auf individualisierte Produkte. Diese sind durch kundenindividuelle Anteile gekennzeichnet und beziehen sich auf Konsum- und Investitionsgüter (LINDEMANN ET AL. 2006). In einem Teilbereich gehen die Arbeiten auf Ansätze zur Planung, Analyse und Optimierung von Produktstrukturen, die einen Lösungsraum zur Ableitung eines individuellen Produkts bieten, ein (LINDEMANN & MAURER 2006). Darauf aufbauend werden die Adaptionprozesse zur kundenindividuellen Anpassung der Produktstrukturen erläutert (LINDEMANN & BAUMBERGER 2006). Des Weiteren werden die Anforderungen der Produktion hinsichtlich einer flexiblen Produktionsstruktur und Logistik betrachtet sowie anforderungsgerechte Methoden für die Fabrik-, Prozess- und Materialflussplanung vorgestellt (GÜNTNER ET AL. 2006; RUDOLF 2007). Darüber hinausgehend wird u. a. ein Ansatz des Kostenmanagements aufgezeigt (vgl. Abschnitt 2.3.8.3).

2.2.5 Ausgewählte Forschungsansätze zur frühen Planung von Produktionsverfahren

Nachdem im vorhergehenden Abschnitt allgemeine Integrationsansätze vorgestellt wurden, wird nachfolgend auf Methoden eingegangen, die sowohl die integrierte Produktionsplanung als auch die Generierung von Verfahrensketten thematisieren.

SUH (1990; 2001) stellt die Methodik Axiomatic Design vor, die auf einer matrizenorientierten Vorgehensweise und Axiomen basiert. Axiomatic Design verbindet die Produktentwicklung mit der Prozessplanung. Es wird das Ziel verfolgt, dass der Produktentwicklungs- und der Produktionsplanungsprozess effizienter ablaufen und auf den Computer übertragen werden können. Hierfür differenziert Axiomatic Design den Kunden-, Funktions-, physischen Produkt- und Produktionsprozessbereich. Die einzel-

2.2 Methoden und Ansätze der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung

nen Bereiche sind durch die Variablen Kundenanforderungen {CA}, Funktionsanforderungen {FR}, Entwurfparameter {DP} und Prozessvariablen {PV} charakterisiert (Abbildung 15). Die Bereichsübergänge werden mathematisch mittels Matrizen beschrieben. Die Matrix [B] bildet z. B. den Übergang von den Funktionsanforderungen {FR} zu den Entwurfparametern {DP} (vgl. Formeln in Abbildung 15 („mapping“)).

Hierbei ist die Ausprägung der Übergangs- bzw. Entwurfsmatrizen [A], [B] und [C] von Bedeutung. Bei einer Diagonalmatrix wird von „uncoupled design“, bei einer Dreiecksmatrix von „decoupled design“, ansonsten von „coupled design“ gesprochen. Bei einer Diagonalmatrix ist der Übergang ein-eindeutig, wohingegen bei den anderen beiden Varianten Abhängigkeiten zwischen den Parametern existieren, was eine Realisierung des Übergangs schwierig macht. Prinzipiell werden die einzelnen Bereiche sequenziell bis zur Definition der Produktionsprozesse durchlaufen. Bei komplexen Anwendungsfällen können die einzelnen Bereiche hierarchisch in Abstraktionsstufen untergliedert werden. Nach der Definition der Variablen in einem Bereich in der höchsten Abstraktionsstufe erfolgt ein Rücksprung in den vorhergehenden Bereich, um die nächsttiefere Stufe zu bearbeiten. Dieser Vorgang wird „zigzagging“ genannt. Des Weiteren basiert Axiomatic Design auf Axiomen und daraus abgeleiteten Sätzen. Das erste Axiom betrifft die Unabhängigkeit. Das Unabhängigkeitsaxiom besagt, dass eine Funktionsanforderung möglichst ohne Beeinträchtigung der übrigen Funktionsanforderungen erfüllt sein muss. Das zweite Axiom ist das so genannte Informationsaxiom. Dieses fordert, dass die Lösung ausgewählt werden muss, bei der die Wahrscheinlichkeit am höchsten ist, alle Funktionsanforderungen zu erfüllen.

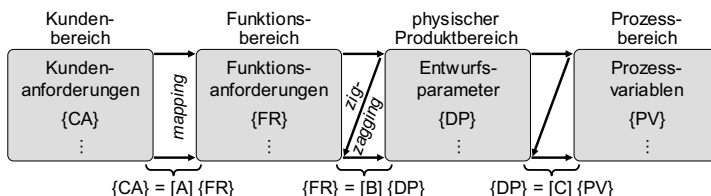


Abbildung 15: Schematische Darstellung des Axiomatic-Design-Ansatzes

WULF (2001) merkt in Bezug auf Axiomatic Design hauptsächlich an, dass eine hohe Komplexität der Aufgabenstellung zu einer hohen Anwendungscomplexität führt. Außerdem wird in Form des mathematischen Lösungsansatzes der Freiheitsgrad in Bezug auf die Lösungsfindung eingeschränkt, da die Anforderungen mit ihren Lösungsmöglichkeiten mathematisch „verdrahtet“ sind. In diesem Zusammenhang liefert Axiomatic Design auch einen Widerspruch zur Aussage von SPUR & STÖFERLE (1994), dass die Generierung von Verfahrensketten nicht algorithmierbar sei.

Die Methode Quality Function Deployment (QFD) (AKAO 2004) stellt einen weiteren systematischen und funktionsorientierten Ansatz zur marktorientierten Neu- und Weiterentwicklung von Produkten im Rahmen der Konzeptphase dar. QFD wurde in den 1960er Jahren von Akao und Mizuno in Japan entwickelt. Das Ziel von QFD ist es, systematisch und in interdisziplinären Teams die Kundenanforderungen in Produkte und Produktionsprozesse zu transformieren. AKAO (1992, S. 12) bezeichnet QFD als „*ein Konzept zur Gestaltung einer Entwurfsqualität, die sich an den Wünschen der Kunden ausrichtet*“. QFD durchläuft i. d. R. die vier Phasen Produkt-, Teile- bzw. Komponenten-, Prozess- und Produktionsplanung (WESTKÄMPER 1996). Eine Matrix, das so genannte House of Quality (HoQ), stellt das zentrale Element von QFD dar. Demzufolge wird nach der vorgegebenen Systematik das HoQ jeweils in den entsprechenden Phasen angewendet (Abbildung 16). Beim Durchlaufen der vier Phasen werden schrittweise die Kundenanforderungen in Designanforderungen bzw. Produktmerkmale, diese in Produktkomponenten, diese wiederum in Prozessabläufe und -parameter und diese schließlich in Arbeits- und Prüfanweisungen überführt (REINHART ET AL. 1996). Das HoQ lässt sich in elf Bereiche (a) bis (k) untergliedern (Abbildung 16).

Im Bereich (a) werden die Anforderungen der jeweiligen Phase (Kundenanforderungen, Produktmerkmale, Komponenteneigenschaften und Prozessanforderungen) dokumentiert. Es ist möglich, die Anforderungen in hierarchischen Baumstrukturen zu beschreiben, um die Transparenz zu erhöhen. Die Rangfolge der Anforderungen wird im Bereich (b) durch eine Bewertung der Wichtigkeit vorgenommen. In (c) wird ein Vergleich der eigenen Position mit der von Konkurrenten in Bezug auf die jeweilige Anforderung vorgenommen, um Verbesserungspotenziale zu ermitteln (Benchmarking). In (d) wird dargestellt, welche Produkt-, Komponenten- und Prozessmerkmale sowie Arbeits- und Prüfanweisungen dazu dienen können, die phasenabhängigen Anforderungen zu erfüllen. Darauf aufbauend werden in (e) die für die Merkmale relevanten Optimierungspotenziale erfasst. Der Zusammenhang zwischen den Anforderungen und den Merkmalen zur Erfüllung wird in der Beziehungsmatrix (Bereich (f)) dokumentiert. Die Quantität des Merkmalseinflusses zur Erfüllung der diversen Anforderungen wird in den Zellen der Matrix beschrieben. Hierbei ist es von Bedeutung, zu überprüfen, ob alle als wichtig eingestuft Anforderungen auch durch Merkmale realisiert werden können. Im Dach (g) des HoQ werden die gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen den Merkmalen überprüft. Sowohl die sich gegenseitig positiv ergänzenden als auch die negativ konkurrierenden Wechselwirkungen sind zu erfassen. Wie leicht ein Merkmal umgesetzt werden kann, wird im Bereich (h) zur Bewertung der technischen Schwierigkeit ermittelt. So sollen frühzeitig technisch schwer realisierbare Lösungen ausgeschlossen werden. Um die Realisierungsmöglichkeit der Merkmale messbar zu machen, werden für diese objektive Zielwerte in (i) festgelegt. Ähnlich zum Bereich (c) wird auch in

2.2 Methoden und Ansätze der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung

(j) ein Vergleich der Produkt- und Prozessmerkmale mit Konkurrenten auf der Grundlage der in (i) festgelegten Zielwerte angestellt. Im Bereich (k) werden die Ergebnisse der vorhergehenden Schritte zusammengefasst. Dazu erfolgt eine Multiplikation und spaltenweise Addition der Gewichtungen aus (b) mit den Bewertungen der Beziehungen in (f). Durch diese Vorgehensweise können kritische Merkmale identifiziert und eine Rangfolge der Lösungen erstellt werden.

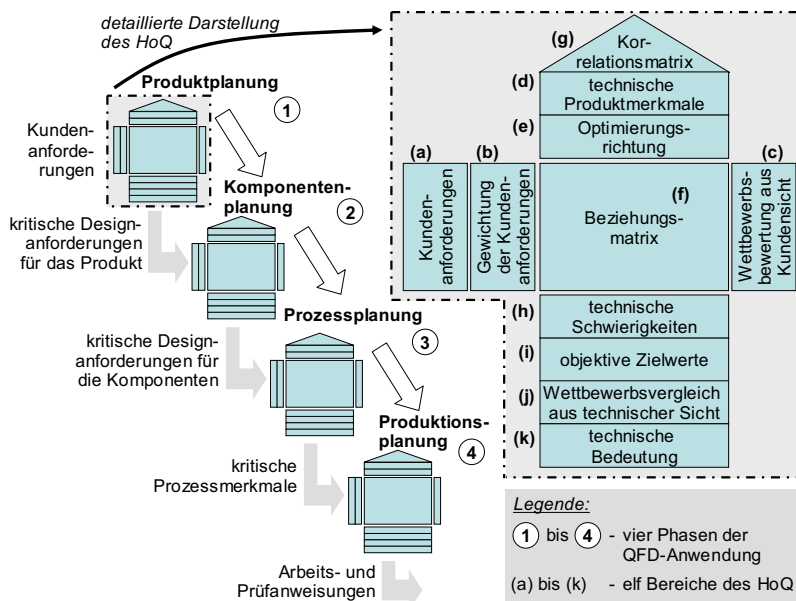


Abbildung 16: Vorgehensweise des QFD und Aufbau des HoQ

Damit repräsentiert QFD ähnlich wie Axiomatic Design einen systematischen sequenziellen Leitfadens von den Produkthanforderungen bis zur Verfahrens- bzw. Prozesskette. QFD kann auf einer qualitativen Ebene beispielsweise das Target Costing unterstützen, jedoch wird eine direkte monetäre Bewertung der Kundenwünsche nicht gefördert (HAUSER & CLAUSING 1988). Des Weiteren ist QFD ein Ansatz, der für jede Aufgabenstellung einen eigenen neuen Vorgehenszyklus in Gang setzt. Komponenten für eine geeignete Abbildung von Planungswissen und damit verbundene Möglichkeiten zur Bewertung fehlen.

Weitere, tendenziell produktionsorientierte und aufeinander aufbauende Ansätze für die integrierte Produktionsplanung werden von KLOCKE ET AL. (2002), FALLBÖHMER (2000)

und TROMMER (2001) präsentiert. Diese basieren auf den in Abschnitt 2.2.4 vorgestellten Arbeiten des SFB 361. Im Speziellen werden die Erarbeitung alternativer Technologieketten in den frühen Phasen der Produktentwicklung sowie die konstruktionsbegleitende Generierung und Bewertung von Fertigungsfolgen thematisiert.

FALLBÖHMER (2000) stellt einen Integrationsansatz zwischen der Produktentwicklung und der operativen Technologieplanung vor. Sein Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Beschreibung der Tätigkeiten und der Informationsflüsse hinsichtlich der groben und der feinen Gestaltung der Produkte sowie der Planung der Technologien. Der Ablauf hierzu lautet folgendermaßen: Festlegung der groben geometrischen Gestalt des Produkts mit den Hauptfunktionsträgern, Bildung von Technologieketten inklusive einer Bewertung ihrer fertigungstechnischen Eignung, Definition des endgültigen Produktentwurfs und darauf basierende Planung der endgültigen alternativen Technologieketten. Als wesentliche Hilfsmittel bei diesem Ansatz dienen ein integriertes Produktmodell, ein Technologiedatenmodell und eine Technologiezuordnungsmatrix. Im integrierten Produktdatenmodell werden die relevanten Produktmerkmale für die Technologiezuordnung (z. B. Maß- und Formtoleranzen) abgelegt. Eine Klassifizierung der Fertigungstechnologien und die Abbildung von deren Leistungsfähigkeit und Randbedingungen (z. B. Ein- und Ausgangszustände) erfolgt mittels des Technologiedatenmodells. Die Aufgabe der Technologiezuordnungsmatrix ist es, eine Zuordnung zwischen Produktmerkmalen und Technologien sowie den Überdeckungsgrad zwischen Produktmerkmalen und Technologieleistungsfähigkeit (Machbarkeit) zu dokumentieren.

Die Generierung möglicher alternativer Technologieketten beruht auf einem regelbasierten Ansatz (vgl. Glossar), der durch den Rechnerwerkzeugprototyp „regelbasiertes System zur Generierung innovativer Technologieketten“ (INNOTECH) gestützt wird. Die Vorgehensweise in diesem Zusammenhang beruht auf der Beschreibung der produktbezogenen und technologischen Voraussetzungen für die Anwendung von bestimmten Fertigungstechnologien. Die Abbildung dieser erlaubt es, die Bauteilgestalt im Fertigungsprozess und ihre Auswirkung auf die dadurch erforderlichen Fertigungsschritte zu modellieren. Auf diese Weise können Zwischenzustände eines Bauteils, welche die Schnittstellen zwischen den einzelnen Verfahren einer Verfahrenskette repräsentieren, im Zuge der Fertigung dargestellt werden. Der temporäre Bauteilzustand, der durch ein Verfahren erzeugt wird, muss mit dem geforderten Eingangszustand des nachfolgenden Verfahrens kompatibel sein. Durch diesen Ansatz können Verfahrensketten rückwärts vom gewünschten Endzustand des Bauteils zum anfänglichen Ausgangszustand entwickelt und grob bewertet werden. Jedoch bietet der Ansatz keine Möglichkeit, Verfahrensmodule (vgl. Abschnitt 4.2.3) mit primären und sekundären Verfahren in der Verfahrenskette differenziert zu betrachten. Der Ansatz konzen-

2.2 Methoden und Ansätze der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung

triert sich hauptsächlich auf Fertigungsverfahren, wodurch Montageaspekte weitgehend nicht betrachtet werden. Des Weiteren sind die monetären Bewertungsmöglichkeiten eingeschränkt (z. B. fehlende investitionsrechnerische Betrachtung) und der rechnerunterstützte Lösungsansatz konzentriert sich nur auf einen spezifischen Software-Prototyp.

TROMMER (2001) baut mit seinem Ansatz weitestgehend auf den von FALLBÖHMER (2000) generierten alternativen Verfahrensketten auf. Es ist das Ziel, diese konstruktionsbegleitend zu konkretisieren und über eine Bewertung die meistgeeignete zu identifizieren. Im Zuge seiner Arbeit sind Fertigungsalternativen Produktionsprozessketten, für die im Planungsprozess die Produktionsmittel und -prozesse festgelegt werden. Im Vergleich zu FALLBÖHMER (2000) wird somit eine detailliertere Stufe der Produktionsplanung adressiert. Zur Anwendung der Methode werden im Wesentlichen die Schritte „Datenmodellaufbau für Produkt- und Produktionsmittel“, „Eignungsanalyse der Produktionsmittel“, „Generierung der Fertigungsfolgen“ und „Bewertung der Fertigungsfolgen“ vorgeschlagen. Ein Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der multikriteriellen Bewertung der Fertigungsalternativen, die durch das prototypische Rechnerwerkzeug zur Bewertung alternativer Fertigungsfolgen (BAFF) unterstützt wird. Die Fertigungsfolgen werden auf unternehmensspezifisch festgelegte Kriterien wie z. B. Kosten oder Zeiten untersucht. Ein spezielles Augenmerk liegt hierbei auf der Bewertung unscharfer Informationen durch Methoden der Fuzzy Logic. Der vorgestellte Ansatz fokussiert zusammenfassend die Prozessplanung, in der die maßgeblichen Verfahren bereits festgelegt sind, und betrachtet damit einen späteren Zeitpunkt der detaillierten Prozessplanung als die vorliegende Arbeit.

Eine Weiterführung der zuvor dargestellten Arbeiten stellen SCHUH & KNOCH (2005) dar. Sie schlagen ein generisches Modell zur Technologiebeschreibung vor, um komplexe Wechselwirkungen zwischen Verfahren zu beschreiben. Auch hier soll die Bildung von Verfahrensketten unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen den Kettengliedern aus einer Vielfalt von einzelnen Verfahren unterstützt werden. Durch das generische Modell werden der Ein- und Ausgangszustand sowie Eigenschaften der Produktionsverfahren beschrieben. Des Weiteren soll Wissen zur Darstellung der Wechselwirkungen und der Restriktionen abgebildet sowie dokumentiert werden. Wie auch bei den Ansätzen von FALLBÖHMER (2000) und TROMMER (2001) wird eine rückwärtsgerichtete Vorgehensweise beim Bilden der Verfahrensketten vorgeschlagen. Es soll über die Prozesseigenschaften und die Produktfeatures (Feature: vgl. Glossar) auf die erforderlichen Verfahren und Ressourcen geschlossen werden. Es ist das Ziel, durch die Bildung von alternativen Verfahrensketten auf die beste Lösung hinsichtlich Kosten und Bauteilqualität zu schließen. Letztendlich ergänzt die Arbeit die Ansätze von FALLBÖHMER (2000) und TROMMER (2001) in Bezug auf die modellhafte Beschrei-

bung von Fertigungstechnologien. Deshalb bietet dieses Modell für die vorliegende Arbeit eine Grundlage hinsichtlich der Abbildung von Verfahrenswissen.

In Bezug auf die Produktionsplanung setzt sich AGOSTINI (2000) mit einem Ansatz für die Reihenfolgeplanung unter Berücksichtigung von Interaktionen auseinander. Hierbei werden Wechselwirkungen zwischen Produktionsverfahren bzw. -prozessen als Interaktionen bezeichnet. Diese werden in einem Modell mit vier hierarchischen Ordnungen bezüglich der Interaktionen strukturiert. Die erste Ordnung betrifft Interaktionen, die durch technologische Basisregeln wie z. B. Zwangsfolgen bedingt sind. Form- und Lagetoleranzen werden in der zweiten Ordnung erfasst, wohingegen maschinenspezifische Einflüsse die dritte Ordnung bestimmen. Die Interaktion vierter Ordnung basiert schlussendlich auf Erfahrungswissen. Aus den unterschiedlichen Interaktionstypen werden Reihenfolgen für Verfahrens- bzw. Prozessketten abgeleitet, die in einer Matrix abgebildet werden. In dieser werden die Produktionsverfahren bzw. -prozesse in Spalten und Zeilen dokumentiert. Über Codes werden die Zwangsreihenfolgen dargestellt. Ein Zelleninhalt „-1“ bedeutet, dass ein Verfahren/Prozess vor einem anderen, „+1“, dass ein Verfahren/Prozess nach einem anderen ausgeführt wird und „0“, dass keine Reihenfolgebeziehung zwischen den Verfahren/Prozessen besteht. Zusammenfassend wird keine klassische Planungsmethode zur schrittweisen Auswahl und Detaillierung von Produktionsverfahren präsentiert, sondern vielmehr eine praktikable Methode vorgeschlagen, um Reihenfolgebeziehungen in Ketten abbilden zu können.

Einen spezifisch auf den Werkzeug- und Formenbau bezogenen Planungsansatz präsentieren DENKENA ET AL. (2005). Im Zuge des SFB 489 „Prozesskette zur Herstellung präzisionsgeschmiedeter Bauteile“ wird die Planung einer ganzheitlich optimalen Prozesskette anstatt einer Kette aus lokal optimierten Einzelprozessen angestrebt. Hierfür wird das Vorgehen in vier aufeinander aufbauende Phasen gegliedert. Die erste betrifft die Prozessanalyse, in der Informationen über Werkstückcharakteristika, Werkzeugmaschinen und Bearbeitungsprozesse ausgewertet werden. In der zweiten Phase werden die Schnittstellen der Prozesskette im Rahmen einer Ablaufsimulation modelliert. In der dritten Phase (Prozesskettenauslegung) werden Bewertungsfunktionen für eine Optimierung genutzt. Dadurch wird die Implementierung der Prozesskette in der vierten Phase vorbereitet. Dieser Ansatz konzentriert sich jedoch auf die technologischen und parameterorientierten Optimierungsaspekte hinsichtlich der spezifischen Prozesskette des Werkzeug- und Formenbaus. Folglich sind die dargebotenen Lösungen nicht als allgemeingültige Ansätze zur Verfahrenskettenbildung zu verstehen.

Im Bereich der Wissenschaft existieren außerdem noch zahlreiche Ansätze, die sich mit der Planung von Produktionsprozessen (z. B. ZAHN (1999), KREPPENHOFER ET AL.

2.2 Methoden und Ansätze der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung

(2001) oder RUDOLF (2007)) beschäftigen. Diese Ansätze sind teilweise feature-, wissens- oder regelbasiert. Die vorliegende Arbeit betrachtet jedoch die früheste Phase der Produktionsplanung, nämlich die Planung von Verfahrensketten. In dieser werden die grundlegenden produktionstechnischen „Weichen“ durch die Verfahrensauswahl gestellt, d. h. ab diesem Zeitpunkt ist der Freiheitsgrad in der Planung eingeschränkt. Die Prozessplanung beschäftigt sich hingegen im Schwerpunkt u. a. mit der Planung von Betriebsmitteln, Werkzeugen, Vorrichtungen und Prozessparametern. Da diese Planungsobjekte jedoch kein primärer Bestandteil der zu entwickelnden Methodik sind, werden Prozessplanungsansätze nicht näher erläutert.

2.2.6 Zusammenfassung

Die vorgestellten Methoden repräsentieren die wesentlichen Planungsansätze, die für die Erarbeitung der Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen relevant sind. Es zeigt sich, dass im Sinne der frühen Planung von Verfahrensketten, wenn CAD-Zeichnungen zu den Produkten noch nicht verfügbar sind, eine relativ geringe Anzahl an Ansätzen existiert (z. B. FALLBÖHMER (2000)). Gerade in dieser Phase der Produktionsplanung ist jedoch eine schnelle, aufwandsarme und umfassende Überprüfung der Alternativen von höchster Bedeutung, denn im Sinne der „10er Regel“ steigen die Änderungskosten im Verlauf der Entwicklungs- und Planungsphasen jeweils um den Faktor zehn (EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 12) und die späteren Produktionskosten werden somit in den frühen Phasen festgelegt (EHRENSPIEL 2003, S. 582). Insofern repräsentieren die vorgestellten Ansätze im Umfeld des SFB 336 (z. B. Prozessbauteintechnik), des SFB 361 (z. B. Vorgehensweise zur Gestaltung von Verfahrensketten bezüglich der Fertigung) und des SFB 582 (z. B. Gestaltung von Produktstrukturen) sowie die Methode QFD (z. B. Beziehungsmatrix) eine Grundlage für die vorliegende Arbeit. Diese gilt es im Sinne der Anforderungen an die Methodik (Abschnitt 3.2) zielgerichtet auszubauen. Auch wenn die Grundlagen zur Verfügung gestellt werden, weisen die erläuterten Ansätze einige Verbesserungspotenziale auf. Beispielsweise werden vielfach neue Technologien nicht in den Planungsprozess einbezogen. Somit werden innovative Verfahrensketten nicht in ausreichendem Maß gefördert. Des Weiteren konzentrieren sich die Arbeiten entweder auf die Fertigung oder auf die Montage, wohingegen eine Verfahrenskettenplanung hinsichtlich der gesamten Produktion nicht uneingeschränkt möglich ist. Außerdem bieten alle Ansätze keine zufrieden stellenden Bewertungsmöglichkeiten für die Verfahrensketten, die den unterschiedlichen Informationsgehalten entsprechend der Planungsphase Rechnung tragen. Deshalb wird im folgenden Abschnitt auf die Grundlagen und die spezifischen Methoden der Bewertung eingegangen.

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

2.3.1 Allgemeines

In Abschnitt 2.3 sollen die Grundzüge diverser Möglichkeiten der monetären und qualitativen Bewertung von Produktionsverhalten dargestellt werden. Insbesondere hat die Bewertung im Zuge der Methodik die Aufgabe, aus den generierten Produktionsalternativen die für das jeweilige Unternehmen beste zu identifizieren. Die Abschnitte 2.3.2 bis 2.3.6 dienen einer Erläuterung der Grundlagen der relevanten Bereiche der Kostenbewertung. Die Kostenbewertungsmethoden liefern die Basis für ein umfassendes Kostenmanagement. Das Ziel des Kostenmanagements ist es, durch konkrete Maßnahmen die Kosten von Produkten, Prozessen und Ressourcen so zu beeinflussen, dass ein angemessener Unternehmenserfolg erzielt und die Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig verbessert wird (FRANZ & KAJÜTER 2002, S. 1 ff.; FRANZ 1992, S. 8; EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 17). Insofern soll das Kostenmanagement im Rahmen dieser Arbeit der frühzeitigen und antizipativen Beeinflussung von Kostenstruktur und -verhalten sowie der Senkung des Kostenniveaus eines Unternehmens dienen. Deshalb wird vorrangig das operative Kostenmanagement adressiert, das in Anlehnung an DELLMANN & FRANZ (1994, S. 17 ff.) die folgenden wesentlichen Aufgaben besitzt:

- Vorgabe, Planung und Auswertung von Kostenimplikationen aus Entscheidungen
- Feststellung, Analyse und Steuerung der Kosten bzw. der Kostendynamik
- Feststellung, Analyse und Veränderung von eigenen Kostenpositionen im internen Soll/Ist-Vergleich

Um die Aufgaben zur Bewertung von Produktionsalternativen erfüllen zu können, orientiert sich die Arbeit an den folgenden Methoden und Instrumenten (Abbildung 17):

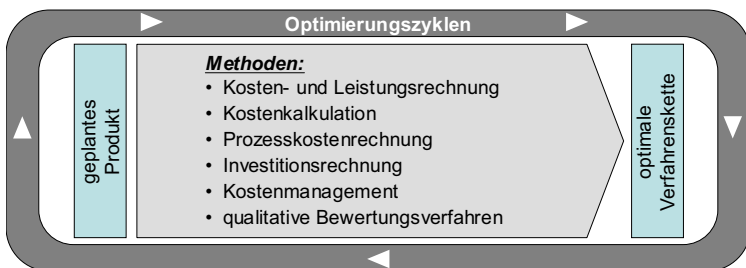


Abbildung 17: In Bezug auf die Arbeit relevante Methoden der monetären Bewertung

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

Die Kosten- und Leistungsrechnung (Abschnitt 2.3.2), die Kostenkalkulation als ein spezielles Teilelement der Kosten- und Leistungsrechnung (Abschnitt 2.3.3), die Prozesskostenrechnung (Abschnitt 2.3.4) und die Investitionsrechnung (Abschnitt 2.3.5) sowie die sonstigen Methoden des Kostenmanagements (Abschnitt 2.3.6) bieten die Grundlage für die monetäre Bewertung von Produktionsalternativen. Abschnitt 2.3.7 trägt der Tatsache, dass nicht alle Kriterien zur Identifikation der besten Produktionsalternative monetär messbar sind, in Form von qualitativen Bewertungsverfahren Rechnung. Auf der Basis der dargestellten Grundlagenmethoden werden anschließend in Abschnitt 2.3.8 spezifische wissenschaftliche Ansätze aus dem Themenfeld der planungs- und entwicklungsbegleitenden Bewertung präsentiert und ein diesbezügliches Fazit gezogen (Abschnitt 2.3.9).

2.3.2 Kosten- und Leistungsrechnung

2.3.2.1 Allgemeines

Die traditionelle Kosten- und Leistungsrechnung (KLR) soll Führungskräfte mit Informationen zur Unterstützung der Entscheidungsfindung versorgen (HORVÁTH 1996, S. 8-8). Im Gegensatz zur Investitionsrechnung (Abschnitt 2.3.5) werden die Informationen aus der KLR in regelmäßigen und i. d. R. gleich langen Zeitabständen dem Management zur Verfügung gestellt. Dagegen werden im Rahmen der Investitionsrechnung Informationen für die direkte Beurteilung von Investitionsprojekten generiert. Die KLR muss vielfältige Tätigkeiten und Entscheidungen unterstützen, wozu beispielsweise folgende Informationen zu erarbeiten sind (HORVÁTH 1996, S. 8-4):

- Anregungsinformationen (Bewusstmachung eines Problems)
- Alternativeninformationen (Suchen grundsätzlicher Lösungen)
- Vorgabeinformationen (Vorgaben für die ausführenden Mitarbeiter)
- Kontrollinformationen (Vergleich von Soll- und Ist-Zustand)
- Zielinformationen (Auswählen der geeigneten Alternative)

Für die vorliegende Arbeit sind vor allem das Generieren von Zielinformationen und die Kontrolle der betrieblichen Wirtschaftlichkeit von Bedeutung. Hierbei sind die drei wesentlichen Arten *zwischenzeitlicher Vergleich*, *zwischenbetrieblicher Vergleich* und *Soll/Ist-Vergleich* zu unterscheiden (HORVÁTH 1996, S. 8-8 f.).

Die KLR besitzt unterschiedliche Ausprägungen, die entsprechend den Schwerpunkten und Zielrichtungen hinsichtlich der verschiedenen Strukturen und Systeme zu unterscheiden sind (Abbildung 18). Diese Unterscheidung wird in den nachfolgenden Abschnitten tiefergehend betrachtet.

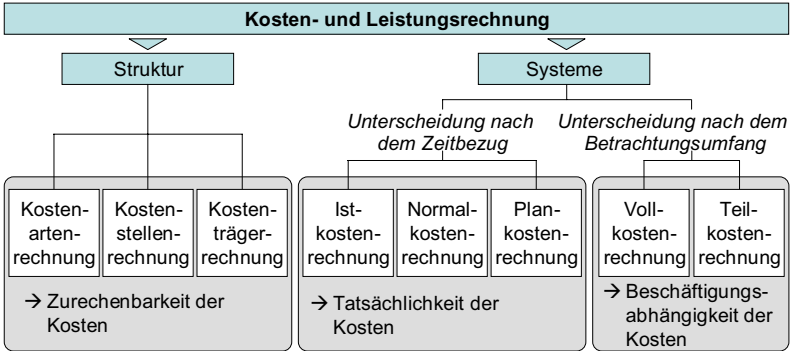


Abbildung 18: Struktur und Systeme der Kostenrechnung (WARNECKE ET AL. 1996, S. 38)

2.3.2.2 Kostenstrukturen

COENENBERG (2003, S. 29 ff.) beschreibt die unterschiedlichen Strukturen bezüglich der KLR. Unter der *Kostenartenrechnung* (Fragestellung: Welche Kosten sind angefallen?) ist die nach Kostenarten (vgl. Glossar) differenzierte Erfassung, Bewertung und Klassifikation der in einer Abrechnungsperiode anfallenden oder angefallenen Kosten zu verstehen. Zumeist werden die Kostenarten nach der Art der verbrauchten Güter und Leistungen (z. B. Material, Personal, Betriebsmittel), nach der Zurechenbarkeit zu einer Bezugsgröße (Einzel-/Gemeinkosten) und/oder nach der Beschäftigungsabhängigkeit (variable/fixe Kosten (vgl. Glossar)) unterschieden. Hierdurch wird die Basis geschaffen, um die einzelnen Kosten den Kostenstellen und -trägern zurechnen zu können.

Die *Kostenstellenrechnung* (Fragestellung: Wo sind die Kosten angefallen?) hat die Aufgabe, die in der Abrechnungsperiode anfallenden oder angefallenen Kosten der einzelnen Kostenarten den Kostenstellen (vgl. Glossar) zuzuweisen. Die Kostenstellen repräsentieren Abrechnungseinheiten, für die Kosten gesondert geplant, erfasst und kontrolliert werden können. Sie werden u. a. nach den betrieblichen Funktionen (z. B. Fertigungs- oder Materialstellen) oder produktionstechnischen Gesichtspunkten (Haupt-, Neben-, Hilfskostenstellen) differenziert. Dadurch wird die Voraussetzung geschaffen, um beispielsweise Gemeinkosten den Kostenträgern (vgl. Glossar) zuzuordnen zu können. Zumeist sind Gemeinkosten Gegenstand der Kostenstellenrechnung, da

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

sich Einzelkosten i. d. R. den Kostenträgern direkt zuordnen lassen. Neben der Bindegliedfunktion zwischen Kostenarten- und Kostenträgerrechnung unterstützt die Kostenstellenrechnung die Wirtschaftlichkeitskontrolle von Verantwortungsbereichen sowie die Bewertung von unfertigen und fertigen Erzeugnissen (COENENBERG 2003, S. 57 ff.).

Mittels der *Kostenträgerrechnung* (Fragestellung: Wer hat die Kosten zu tragen?) werden die Kosten den Kostenträgern wie Produkten, Aufträgen oder Projekten zugerechnet. Für den Fall, dass alle Kosten eines Kostenträgers für eine definierte Abrechnungsperiode erfasst werden, wird von Kostenträgerzeitrechnung gesprochen. Durch die Gegenüberstellung mit erzielten Erlösen kann diese zur Erfolgsrechnung bzw. Betriebsergebnisrechnung erweitert werden. Von Kostenträgerstückrechnung bzw. Kalkulation (vgl. Abschnitt 2.3.3) wird dagegen gesprochen, wenn die Kosten für die Herstellung einer Produkt- bzw. Leistungseinheit die Zielgröße darstellen (COENENBERG 2003, S. 73 ff.).

2.3.2.3 Zeitbezug der Kostenrechnungssysteme

Bezüglich einer Unterscheidung der KLR-Systeme nach dem Zeitbezug existieren drei verschiedene Arten (HUMMEL & MÄNNEL 2004, S. 42). Bei der *Ist-Kostenrechnung* werden die in einer Abrechnungsperiode angefallenen vergangenheitsbezogenen Kosten betrachtet. Die erarbeiteten Informationen werden vorwiegend zur Nachkalkulation genutzt. Mittels der Ist-Kostenrechnung können unternehmerische Entscheidungen nur bedingt vorbereitet werden, da methodisch ermittelte Sollgrößen als Vergleichswerte fehlen (WARNECKE ET AL. 1996, S.107 f.; OLFERT 2005, S. 72).

Die *Normalkostenrechnung* operiert ebenfalls mit Vergangenheitsdaten. Im Zuge dieser werden die Kosten anstatt mit ihrem zeitlich diskreten Wert durch eine Mittelung der Ist-Kosten mehrerer vergangener Perioden bestimmt. Eine Kostenkontrolle wird in Form von Vergleichen zwischen Normal- und Ist-Kosten bzw. Kostenüber- oder -unterdeckung möglich. Vielfach wird die Normalkostenrechnung zur Bildung von Kostensätzen (z. B. Maschinenstundensätzen) oder von Zuschlagssätzen zur Verrechnung der Gemeinkosten auf Kostenträger verwendet (HORVÁTH 1996, S. 8-10 f.; OLFERT 2005, S. 72; KLOOCK ET AL. 2005, S. 197 ff.).

Die *Plankostenrechnung* ist für die vorliegende Arbeit von größerer Relevanz, da diese bei Planungsaufgaben eingesetzt wird und als Prognose bzw. Vorgabe für zukünftige Zeiträume dienen kann. Plankosten basieren auf zukunftsorientierten Planungen und entsprechen der künftigen Entwicklung der Planmengen bei festgelegten Planpreisen. Die Plankosten werden aufgrund von Erfahrungen der Vergangenheit und unter Berück-

sichtigung der zukünftigen inner- und außerbetrieblichen Verhältnisse ermittelt. Im Wesentlichen sind die drei Arten starre und flexible Plankostenrechnung sowie die Grenzplankostenrechnung zu unterscheiden (HORVÁTH 1996, S. 8-11 ff.; OLFERT 2005, S. 241 ff.; WÖHE 2002, S. 1138 ff.; KILGER ET AL. 2002).

Von einer starren Plankostenrechnung wird gesprochen, wenn Beschäftigungsänderungen (Beschäftigung: vgl. Glossar) auf das Verhalten der Kosten keine Auswirkung haben. Eine Unterscheidung hinsichtlich der fixen und der variablen Kosten findet nicht statt. Die Einzelkosten werden aus der Planbeschäftigung abgeleitet und für die einzelnen Kostenstellen werden die Gemeinkosten bei einem vorgegebenen Beschäftigungsgrad ermittelt. Als Basismaß für den Grad der Beschäftigung werden vielfach Absatzprognosen oder die Vollausslastung des Unternehmens herangezogen. Nachteilig bei dieser Methode ist, dass eine starke Abweichung von geplanter und realer Beschäftigung zu verfälschten Ergebnissen führt und dass durch die proportionale Verrechnung der Fixkosten auf die Kostenträger dem Verursachungsprinzip widersprochen wird (COENENBERG 2003, S. 351 ff.). Dieses besagt, dass alle Kosten verursachungsgerecht gemäß ihrer Entstehung und Zuordenbarkeit zum jeweiligen Kostenträger zu berücksichtigen sind (COENENBERG 2003, S. 122).

Deshalb besitzt in der Praxis die flexible Plankostenrechnung eine stärkere Bedeutung als die starre. Bei dieser Methode werden die Fixkosten nicht proportionalisiert. Die Gemeinkosten werden in die fixen und variablen Bestandteile zerlegt. Somit lässt sich der Beschäftigungsgrad bei der Ermittlung der Soll-Kosten berücksichtigen. Aus dem Produkt der variablen Stückkosten bei Planbeschäftigung und der Ist-Beschäftigung ergeben sich die variablen Gesamtkosten. Durch Addition mit den geplanten Fixkosten resultieren daraus die Soll-Kosten. Dadurch wird es möglich, Kostenvorgaben nicht nur für die vorab festgelegte Planbeschäftigung, sondern auch für jeden anderen Beschäftigungsgrad zu ermitteln. Somit können zum Zweck der Kostenkontrolle die Soll- mit den Ist-Kosten verglichen werden (HORVÁTH 1996, S. 8-11 f.; OLFERT 2005, S. 244 ff.; WÖHE 2002, S. 354).

Werden in einem Soll/Ist-Vergleich nur die Grenzkosten (vgl. Abschnitt 2.3.2.4 und Glossar) betrachtet, so wird von der Grenzplankostenrechnung oder Plankostenrechnung auf Teilkostenbasis gesprochen. Bei dieser Methode werden die Fixkosten keiner Kostenstelle zugerechnet. Der Grund hierfür liegt im kürzeren Betrachtungshorizont, da bei kurzfristig orientierten Entscheidungen kein Einfluss auf die Höhe der Fixkosten ausgeübt werden kann. Die Fokussierung auf die variablen Kosten beinhaltet aber die Gefahr, dass die Möglichkeit einer Fixkostendeckung und -senkung durch eine bewusste Steigerung der variablen Kosten nicht betrachtet wird (COENENBERG 2003, S. 356 f.).

2.3.2.4 Umfangsbezug der Kostenrechnungssysteme

Entsprechend dem Umfang der zu verrechnenden Kosten lassen sich die KLR-Systeme in die Voll- und Teilkostenrechnung einteilen. Bei der *Vollkostenrechnung* werden die gesamten Kosten einer Abrechnungsperiode auf die Kostenträger dieser Periode verrechnet. Es werden i. d. R. Einzelkosten und Gemeinkosten unterschieden. Die Einzelkosten werden den Kostenträgern direkt zugeordnet, wohingegen die für mehrere Kostenträger gemeinsam anfallenden Gemeinkosten durch Zuschlagssätze bzw. nach dem Durchschnitts- oder Tragfähigkeitsprinzip über die Kostenstellen verrechnet werden. Die Anwendung von Systemen der Vollkostenrechnung im Rahmen der Plankostenrechnung kann u. U. zu Fehlinterpretationen und -entscheidungen führen. Der Grund hierfür ist die Verteilung der Gemeinkosten auf die Kostenstellen und Kostenträger, die zumeist nicht dem Verursachungsprinzip folgt und teilweise der Willkür unterliegt (HORVÁTH 1996, S. 8-14 f.).

Teilkostenrechnungssysteme versuchen diesem Defizit zu begegnen. Es sind zwei verschiedene Grundtypen zu unterscheiden (HORVÁTH 1996, S. 8-16 f.):

- Teilkostenrechnungssysteme, die auf der Betrachtung von variablen Kosten basieren (Deckungsbeitragsrechnung (gleichbedeutend: Grenzkostenrechnung oder Direct Costing) sowie die stufenweise Fixkostendeckungsrechnung bzw. mehrstufige Deckungsbeitragsrechnung) (WÖHE 2002, S. 1131 ff.)
- Teilkostenrechnungssysteme, die auf der Betrachtung von relativen Einzelkosten basieren (WÖHE 2002, S. 1134 ff.)

Im Rahmen der Deckungsbeitragsrechnung werden die Gesamtkosten in die fixen und variablen Kosten aufgespalten. Der Deckungsbeitrag wird in einer Rechenstufe durch die Differenz zwischen den Erlösen und den variablen Kosten je Kostenträger errechnet. Er soll die entsprechenden Fixkosten decken bzw. darüber hinaus einen zusätzlichen Gewinnanteil (Gewinn: vgl. Glossar) enthalten. Jedoch werden bei dieser Methode die Fixkosten nicht weiter differenziert betrachtet. Die Verbindung zwischen den Fixkosten und den einzelnen Teilen des Leistungsprogramms im Unternehmen wird nicht hergestellt (SCHWEITZER & KÜPPER 2003, S. 411 ff.; WÖHE 2002, S. 1132). Beispielsweise ist keine verursachungsgerechte Zuordnung von fixen Betriebsmittelkosten zu den diversen Kostenträgern vorgesehen. Damit ist die Deckungsbeitragsrechnung eher für Entscheidungen mit kurzfristigem „Horizont“ geeignet.

Das Defizit der nicht spezifischen Betrachtung der Fixkostenblöcke versucht die mehrstufige Deckungsbeitragsrechnung bzw. stufenweise Fixkostendeckungsrechnung aufzuheben (KILGER ET AL. 2002, S. 50 ff.). Die Fixkostenblöcke werden in mehrere Fix-

kostenschichten aufgespalten, wobei diese in einer hierarchischen Relation zueinander stehen. Nach HORVÁTH (1996, S. 8-14 ff.) werden beispielsweise die Erzeugnis-, Erzeugnisgruppen-, Bereichs- und Unternehmungsfixkosten den Deckungsbeiträgen zugerechnet, wodurch diese Methode für mittelfristige Planungen geeignet ist.

Die Zuordnung von Kostenblöcken, wie Lohn- oder Abschreibungskosten, ist bei allen Teilkostenrechnungssystemen auf der Grundlage von variablen Kosten problematisch. Vielfach ist im zeitlichen Verlauf keine eindeutige Zuordnung zu den variablen oder fixen Kosten möglich und es erfolgt eine willkürliche Zurechnung auf die Kostenträger. Dieses Defizit versucht die relative Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung zu eliminieren (RIEBEL 1994). Diese Methode basiert auf Bezugsgrößen, die es erlauben, alle Kosten als Einzelkosten darzustellen. Ob ein Kostenelement Einzel- oder Gemeinkostencharakter besitzt, hängt vom jeweiligen Bezugsobjekt ab. Insofern wird auf die nächsthöhere Bezugsebenenhierarchie ausgewichen, wenn die jeweiligen Kosten einer Bezugsebene nicht direkt zugewiesen werden können. Somit können z. B. die Gemeinkosten einer Produkteinheit als die Einzelkosten einer Produktgruppe dargestellt werden (HORVÁTH 1996, S. 8-18; WÖHE 2002, S. 1134).

2.3.2.5 Zusammenfassung

Die dargestellten Strukturen und Systeme der KLR bieten eine fundierte Basis zur monetären Bewertung von Sachverhalten in Unternehmen. Für die Methodik zur entwicklungs- und planungsbegleitenden Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen ist im Bereich der Kostenstrukturen vor allem die Kostenträgerrechnung von Relevanz, da die zu erwartenden Kosten auf die geplanten Produkte direkt bezogen werden sollen. Hinsichtlich des Zeitbezugs sind primär die Methoden der Plankostenrechnung von Bedeutung. Sekundär spielt auch die Normalkostenrechnung eine Rolle, da diese die Möglichkeit bietet, Stundensätze für eine Ermittlung von geplanten Kosten zu errechnen. Für die Identifikation der geeigneten Verfahrenskette ist es zusätzlich erforderlich, einen adäquaten umfangsbezogenen Ansatz auszuwählen. Für eine Bewertung einer Produktionsalternative sind diejenigen Kostenelemente einzubeziehen, die durch eine Entscheidung für oder gegen eine Verfahrenskette beeinflussbar sind. Es müssen die jeweiligen Einzelkosten betrachtet werden, wohingegen für die diversen Gemeinkosten Abgrenzungen zu tätigen und pragmatische Wege für eine korrekte Entscheidungsfindung zu definieren sind. Die Systeme der KLR sind jedoch infolge ihres allgemeinen Ansatzes nicht geeignet, die Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen direkt zu unterstützen. Beispielsweise benötigt die integrierte Entwicklung und Beurteilung von neuen Technologien sowie produktbezogenen und produktionstechnischen Innovationen spezifische Ansätze, die eine Bewertung in frühen Phasen

mit wenigen Eingangsinformationen zulassen. Außerdem müssen Wechselwirkungen zwischen der Produktentwicklung und der Verfahrenskettendefinition berücksichtigt werden können (veränderte Produktgeometrie versus veränderte Verfahrenskette).

2.3.3 Kostenkalkulation

Die Kalkulationsverfahren (COENENBERG 2003; SIEGWARTH ET AL. 1994; BRONNER 1998) – auch Verfahren der Kostenträgerstück- bzw. Kostenträgerzeitrechnung (Abschnitt 2.3.2.2) genannt – basieren auf der KLR und dienen der Ableitung von Produktpreisen, soweit keine Marktpreise vorgegeben sind. Außerdem werden sie zur Bestimmung von unternehmensspezifischen Mindestpreisen, die am Markt erzielt werden müssen, um wirtschaftlich erfolgreich zu agieren, genutzt. Des Weiteren unterstützt die Kostenkalkulation diverse Kontroll- und Vergleichsfunktionen wie Make-or-buy-Analysen. Im Bereich der Serien- und Massenfertigung werden vorrangig die nachfolgend beschriebenen Methoden verwendet (HORVÁTH 1996, S. 8-20 ff.).

Bei der Methode *Divisionskalkulation* werden die in einer Periode angefallenen Kosten durch die Anzahl der Produkteinheiten dividiert. Eine Trennung in Einzel- und Gemeinkosten findet hierbei nicht statt. Eine Voraussetzung für den Einsatz dieser Methode ist ein einheitliches Produktspektrum bzw. die Unterteilbarkeit in abgegrenzte einheitliche Produktspektren (z. B. Schraubenproduktion).

Eine ähnliche Methode repräsentiert die *Äquivalenzziffernkalkulation*. Über Äquivalenzziffern, welche die unterschiedliche Kostenbelastung bzw. den unterschiedlichen Zeitaufwand durch die verschiedenen Produkte ausdrücken, werden die Kosten den Produkten, vergleichbar mit der Divisionskalkulation, über die Stückzahl zugeordnet. Die Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Methode ist eine Sortenfertigung bzw. die Herstellung ähnlicher Varianten eines Grundprodukts.

Die Methode *Zuschlagskalkulation* wird hauptsächlich in Unternehmen mit heterogenen Produktspektren angewendet. Hierbei werden Einzel- und Gemeinkosten getrennt berücksichtigt. Die Zurechnung der Einzelkosten erfolgt direkt zum Kostenträger, wohingegen die Gemeinkosten über die Kostenstellen und die hierfür errechneten Zuschlagsätze den Kostenträgern zugeordnet werden. Es wird nach der summarischen und der differenzierenden Zuschlagskalkulation unterschieden. Bei der summarischen Zuschlagskalkulation wird eine Bezugsgröße (zumeist Fertigungslohn, Fertigungsmaterial oder deren Kombination) als Basis für den Gemeinkostenzuschlag herangezogen. Demgegenüber werden bei der differenzierenden Zuschlagskalkulation die Gemeinkosten gemäß ihrer Einflussgrößen in mehrere Arten aufgeteilt. Aufgrund der schwierigen

verursachungsgerechten Zuordenbarkeit der Gemeinkosten zu den Kostenträgern sowie der vielfach relativ hohen Gemeinkostenumfänge können u. U. erhebliche Kalkulationsfehler entstehen (COENENBERG 2003, S. 77 ff.).

Eine proportionale Verrechnung zu den an den Kostenstellen erbrachten Leistungen strebt die *Bezugsgrößenkalkulation* an. Die Bezugsgrößen können Mengen- oder Zeitgrößen sein. Ein Beispiel für einen Zeitbezug bietet die Maschinenstundensatzrechnung. Bei dieser werden die Fertigungsgemeinkosten nicht über die Fertigungslöhne, sondern über die Maschinenstunden verrechnet. Im Maschinenstundensatz sind nach WARNECKE ET AL. (1996, S. 73 f.) die kalkulatorischen Zinsen, kalkulatorischen Abschreibungen, Energiekosten, Raumkosten und Instandhaltungskosten zusammengefasst. Ähnlich der Maschinenstundensatzrechnung beinhaltet die Platzkostenrechnung auf den Arbeitsplatz bezogene Fertigungskosten in Relation zu den Arbeits- bzw. Maschinenstunden. Im Vergleich zur Maschinenstundensatzrechnung werden weitere Kosten wie die Lohn-, Lohnneben- oder Restfertigungsgemeinkosten einbezogen. Bei diesen Methoden bewirken die Potenziale der verursachungsgerechten Kalkulation hohe Berechnungsaufwände, da alle relevanten Maschinen bzw. Arbeitsplätze zu betrachten sind. Abbildung 19 zeigt ein Kalkulationsschema und eine Gegenüberstellung der *differenzierenden Zuschlagskalkulation*, der *Maschinenstundensatzrechnung* und der *Platzkostenrechnung*.

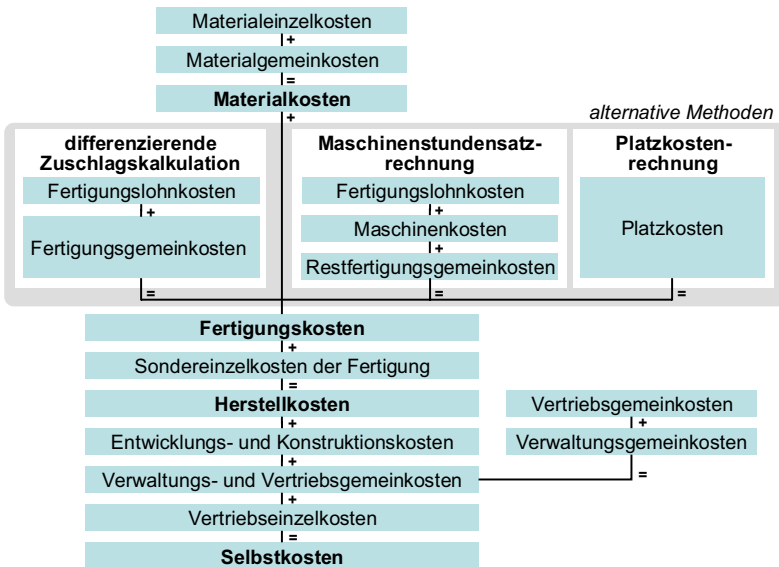


Abbildung 19: Struktur der wesentlichen konkurrierenden Kalkulationsmethoden (in Anlehnung an EHRENSPIEL ET AL. (2003, S. 434))

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

Die illustrierten Methoden stellen eine Grundlage für die entwicklungs- und planungs- begleitende Bewertung von Produktionsalternativen dar. Vor allem die Maschinenstundensatz- und Platzkostenrechnung repräsentieren gängige Methoden, um Kosten zu bewerten. Die Methoden der Kostenkalkulation sind jedoch primär Berechnungsschemata, die eine umfassende entwicklungs- und planungsbegleitende Bewertung von Verfahrensketten nicht zulassen. Es werden keine Lösungen geboten, wie von Produktkonzepten auf zu erwartende Kosten geschlossen werden kann.

2.3.4 Prozesskostenrechnung

Die Prozesskostenrechnung bezweckt eine verursachungsgerechte Kostenkalkulation bzw. Zuordnung der Gemeinkosten zu den Kostenträgern. Einen der Entwicklungstreiber für die Prozesskostenrechnung sehen MILLER & VOLLMANN (1985) im drastischen Anstieg der Gemeinkosten, der z. B. durch zunehmende Automatisierung verursacht wurde. So stieg etwa das Verhältnis der Gemein- zu den Einzelkosten von 60 % in den 1950er Jahren auf 75 % Mitte der 1980er Jahre. REMER (2005, S. 9 ff.) stützt diese Aussage, indem er prognostiziert, dass künftig maximal noch 20 % aller Industriebeschäftigten an Fabrikarbeitsplätzen zu finden sein werden. Damit wird die relativ wachsende Anzahl an indirekten Mitarbeitern, z. B. aus Gründen steigender Komplexität der Produktionsabläufe, verdeutlicht. Ein zweiter Entwicklungstreiber für die Prozesskostenrechnung beruht auf den Mängeln der Verfahren der KLR (Abschnitte 2.3.2 und 2.3.3). Im Rahmen der Vollkostenrechnung können die in den indirekten Bereichen entstehenden Kosten vielfach nicht verursachungsgerecht zugeordnet werden. Beispielsweise bleibt bei variantenreichen Produkten und bei nicht variantenspezifisch differenzierten Material-, Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkostenzuschlägen die reale Leistungsanspruchnahme unberücksichtigt. Folglich ist es möglich, dass relativ teure Produkte zu günstig oder relativ günstige Produkte zu teuer kalkuliert werden (REMER 2005, S. 9 ff.; SCHUH & SCHWENK 2001, S. 17 ff.).

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurde die Prozesskostenrechnung in den achtziger Jahren in den USA (MILLER & VOLLMANN 1985; COOPER & KAPLAN 1988; COOPER 1990) entwickelt. Die amerikanische Version der Prozesskostenrechnung wurde unter dem Namen Activity Based Costing (ABC) bekannt. In einer weiterentwickelten und modifizierten Form hat die Prozesskostenrechnung (PKR) auch in die deutsche Kostenrechnung Einzug gehalten (HORVÁTH & MAYER 1989; HORVÁTH & MAYER 1993; HORVÁTH 1996; HORVÁTH 2003; MINGEN & ÜRMERSBACH 2006). Abbildung 20 zeigt die unterschiedlichen Einsatzbereiche der amerikanischen sowie der deutschen Prozesskostenrechnung und setzt diese in Relation zur Grenzplankostenrechnung.

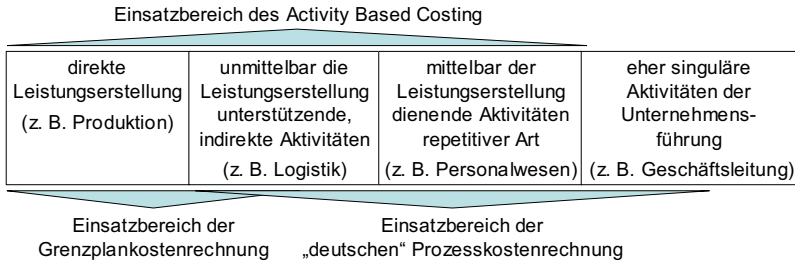


Abbildung 20: Gegenüberstellung von Activity Based Costing, „deutscher“ Prozesskostenrechnung und Grenzplankostenrechnung (HORVÁTH 2003, S. 552)

Es ist ersichtlich, dass ABC sowohl in direkten als auch indirekten Leistungsbereichen genutzt wird. Demgegenüber liegt der Schwerpunkt der PKR hauptsächlich auf der Kostenrechnung in den indirekten Leistungsbereichen. Zur Verdeutlichung werden nachfolgend beide Ansätze vorgestellt.

Activity Based Costing (ABC)

Beim ABC (MILLER & VOLLMANN 1985; COOPER & KAPLAN 1988; COOPER 1990) setzen sich die Produktkosten aus der Summe aller Aktivitäten zusammen, die bis zur Auslieferung erforderlich sind. Die Kosten werden auf der Basis des „Aktivitätenverbrauchs“ verrechnet, wobei sich die Methode auf alle nicht als Einzelkosten verrechenbaren Kostenelemente konzentriert. Im Vergleich zu den Verfahren der KLR werden beim ABC die Kosten der einzelnen Kostenstellen nicht auf die Bearbeitungsschritte, sondern die angefallenen Kosten werden direkt und damit weitestgehend verursachungsgerecht auf die Kostenträger bezogen. Das ABC wird sowohl im Sinne von Kosteninformationen für das strategische Management zur Beurteilung des aktuellen Fertigungsprogramms als auch beispielsweise zur Festlegung von Verkaufspreisen eingesetzt (MONDEN 1999). Folgende Schritte sind beim ABC zu durchlaufen:

Tätigkeitsidentifikation und Aktivitätendefinition: Zur Initialisierung einer ABC-Anwendung sind alle relevanten Tätigkeiten zu identifizieren und zu Aktivitäten zu aggregieren, die dann über Kostentreiber den Produkten zugerechnet werden können. Ähnlich der mehrstufigen Fixkostendeckungsrechnung ordnen SCHWEITZER & KÜPPER (2003, S. 358 ff.) die Aktivitäten z. B. in die Stück-, Los-, Produktgruppen- und Unternehmensebenen ein, in denen sie beeinflussbar sind. Des Weiteren werden die Aktivitäten bzw. die Kosten nach wertschöpfenden und nicht-wertschöpfenden unterschieden. Den Aktivitäten kann somit der Ressourcenverbrauch zugeordnet werden.

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

Kostenermittlung der einzelnen Aktivitäten: Zur Durchführung der definierten Aktivitäten sind Ressourcen – wie beispielsweise Energie, Raum, Abschreibung, Instandhaltung und Lohn bezüglich Fertigungsprozessen – erforderlich, die wiederum Kosten verursachen. Zumeist ist keine direkte Zuordnung einer Ressource zu exakt einer Aktivität möglich. Deshalb werden die Ressourcenkosten über so genannte Ressourcentreiber als Maß der Inanspruchnahme auf die Aktivitäten verrechnet. Die Ressourcenkosten einer Aktivität bilden die einzelnen Kostenelemente und werden in Kostenpools gesammelt, welche die Gesamtkosten für die Ausführung der Aktivität enthalten.

Bezugsgrößenbestimmung und Verrechnung auf Objekte: Über Aktivitätentreiber als Bezugsgröße erfolgt die Zuordnung der Aktivitätskosten zu den Produkten. Mittels dieser werden die Kostenpools auf die Kostenobjekte (Produkte) verrechnet. Der Verrechnungssatz ergibt sich aus dem Quotienten von Kostenpool zu Menge der Aktivitäten. So werden z. B. die Aktivitätskosten in der Fertigung mittels des Aktivitätentreibers Maschinenstunden sowie die jeweilige Inanspruchnahme der Maschine dem Produkt verursachungsgerecht zugeordnet.

Prozesskostenrechnung (PKR)

Die PKR nach Horváth (HORVÁTH & MAYER 1989; HORVÁTH & MAYER 1993; HORVÁTH 1996; HORVÁTH 2003) konzentriert sich auf die indirekten Leistungsbereiche (Abbildung 20). Im Vergleich zum ABC unterscheidet die PKR Haupt- und Teilprozesse. Hauptprozesse betreffen Aktivitäten über Kostenstellen hinweg, wohingegen Teilprozesse einer Kostenstelle zugeordnet sind und zu Hauptprozessen aggregiert werden. Die PKR umfasst die folgenden maßgeblichen Elemente:

Hauptprozessdefinition: Entsprechend der betrachteten Unternehmens-, Produkt- und Absatzstruktur bzw. der Zielsetzungen gilt es, für den jeweiligen Bereich Hauptprozesse zu definieren, für die wesentliche Kostentreiber identifiziert werden können. Hauptprozesse stellen eine wertschöpfungsrelevante Kernfunktion dar und sind von anderen Prozessen durch unterschiedliche Kostentreiber und Prozessergebnisse abgrenzbar.

Teilprozessermittlung: Über Tätigkeitsanalysen ist das jeweilige Arbeitsvolumen eines Bereichs art- und mengenmäßig – z. B. über EDV-Daten, Interviews oder Multimomentaufnahmen – zu erfassen. Die analysierten Tätigkeiten sind anschließend kostenstellenbezogen zu Teilprozessen zusammenzufassen. Wichtige Kriterien für die Formulierung von Teilprozessen sind die Messbarkeit der Teilprozesse, deren Eigenständigkeit bzw. Abgeschlossenheit sowie deren Münden in ein Arbeitsergebnis. Des Weiteren unterscheidet die PKR, ob sich das zu erbringende Leistungsvolumen mengenvariabel bzw. leistungsmengeninduziert (über Messgrößen quantifizierbare Teilprozesse) oder

mengenfix bzw. leistungsmengenneutral (z. B. nicht zuordenbare Managementaufgaben) verhält. Für eine mengenmäßige Quantifizierung müssen den Teilprozessen Prozessmengen – die zu einer Prozessgröße gehörende messbare Leistung – zugeordnet werden. Durch die Gegenüberstellung der Prozesskosten und -mengen können Prozesskostensätze gebildet werden. Die leistungsmengeninduzierten (lmi) und -neutralen (lmn) Prozesskosten werden gemäß Formeln (1) und (2) berücksichtigt. Der lmi Prozesskostensatz (PKS_{lmi}) ergibt sich aus dem Quotienten der lmi Prozesskosten (PK_{lmi}) und der Prozessmenge (PM). Die lmn Prozesse werden über den Umlagesatz (US) berücksichtigt. In Konsequenz ergibt sich der Gesamtprozesskostensatz aus einer Addition des lmi Prozesskostensatzes und des Umlagesatzes:

$$PKS_{lmi} = \frac{PK_{lmi}}{PM} \quad (1) \quad US = \frac{PK_{lmn}}{PK_{lmi}} \cdot 100 \quad (2)$$

Teilprozessaggregation und Bestimmung der Hauptprozessmengen: Die lmi Teilprozesse aus den Kostenstellen des Untersuchungsbereichs sind zu kostenstellenübergreifenden Hauptprozessen zu verdichten. Dadurch wird die Ermittlung von Prozesskostensätzen für die Hauptprozesse ermöglicht. Nach HORVÁTH & MAYER (1993) existieren folgende Optionen für die Verdichtung: Mehrere Teilprozesse einer oder unterschiedlicher Kostenstellen bilden einen Hauptprozess, ein Teilprozess einer Kostenstelle geht in mehrere Hauptprozesse ein oder ein Teilprozess einer Kostenstelle ist deckungsgleich mit einem Hauptprozess. Nach einer darauf folgenden Bestimmung geeigneter Bezugs- bzw. Prozessgrößen müssen für die untersuchten Prozesse die Prozessmengen, wie z. B. die Anzahl der Materialbestellungen, festgelegt werden. Über geplante Prozessmengen können für jeden Prozess die zugehörigen Kosten kalkuliert werden (COENENBERG 2003, S. 216 f.). Hierbei ergibt die Summe der Teilprozesskosten die Hauptprozesskosten. Über die Relation zwischen diesen und der Hauptprozessmenge lassen sich analog zur Formel (1) die Hauptprozesskostensätze ermitteln. Der Hauptprozesskostensatz gibt die über den Kostentreiber gemessenen Kosten pro Durchführung des Hauptprozesses wieder.

Fazit

Zusammenfassend konzentrieren sich die Methoden ABC und PKR primär auf die Gemeinkostenbereiche, da die verursachungsgerechte Zurechnung der direkten Fertigungskosten durch die diversen Methoden der Plankostenrechnung hinreichend präzise realisiert wird (COENENBERG 2003, S. 350 ff.). Die Methoden der Prozesskostenrechnung sind für die vorliegende Arbeit von Relevanz, da durch die frühe Festlegung von Verfahrens- und Prozessketten implizit Tätigkeiten in den indirekten Leistungsbereichen (vgl. Glossar), wie z. B. der Arbeitsvorbereitung, determiniert werden. Folglich

kann die Methode der PKR genutzt werden, um die Kosten in den involvierten indirekten Bereichen zu bewerten.

2.3.5 Investitionsrechnung

In den Abschnitten 2.3.2, 2.3.3 und 2.3.4 wurden die Methoden der KLR, der Kalkulation und der Prozesskostenrechnung dargestellt. Mittels dieser Methoden können Kostensituationen in Unternehmen prognostiziert, kontrolliert und gesteuert werden. Vor allem die Methoden der Plankostenrechnung bilden die Grundlage für eine entwicklungs- und planungsbegleitende monetäre Bewertung von Produktionsalternativen. Es können Entscheidungshilfen hinsichtlich der Produkt- und der Produktionsgestaltung abgeleitet werden. Da es jedoch, wie in Kapitel 1 dargestellt, künftig eine Herausforderung sein wird, Innovationen zielgerichtet in bestehende Produktionssysteme zu integrieren, müssen i. d. R. Investitionen getätigt werden. Im Rahmen der Bewertung von Produktionsalternativen sind verschiedene Lösungsmöglichkeiten zu vergleichen, die ein unterschiedliches Investitionsvolumen notwendig machen. Diesbezüglich kann die Investitionsrechnung eine Entscheidungsunterstützung bieten. Nach WEBER (1996, S. 18-69 ff.) hat die Investitionsrechnung die Aufgabe, die Planung, Steuerung und Kontrolle von Investitionen mit Informationen über die absolute und relative Vorteilhaftigkeit von Investitionsprojekten zu versorgen. Da die Investitionsrechnung im Rahmen der frühen Produktentwicklung und Produktionsplanung nur ein Teilelement bei der Entscheidungsfindung darstellt, wird im Zuge dieses Abschnitts einführend auf die Methoden eingegangen. Abbildung 21 zeigt die wichtigsten Verfahren der Investitionsrechnung:

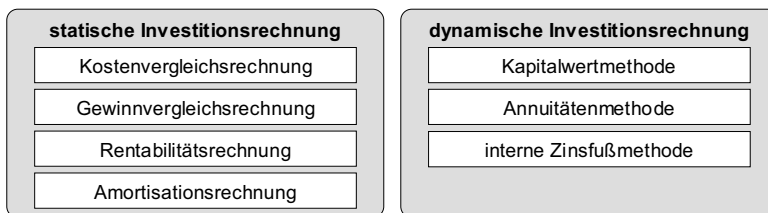


Abbildung 21: Einteilung der Verfahren der Investitionsrechnung

Bei den Verfahren der statischen Investitionsrechnung (WEBER1996, S. 18-69 ff.; HOFFMEISTER 2000, S. 36 ff.) wird die Verteilung der Auszahlungen und Einzahlungen (vgl. Glossar) in Bezug auf eine Investition nicht über einen definierten Zeitraum berücksichtigt. Zumeist werden Durchschnittswerte, die bekannt sind oder die auf der Basis von Kalkulationen auf die Zukunft projiziert werden, in die Rechnung einbezogen. Bei der Kostenvergleichsrechnung werden z. B. die Betriebs- und Kapitalkosten von alternati-

ven Produktionssystemen für eine Periode bei gegebener Kapazität gegenübergestellt. Das Verfahren der Gewinnvergleichsrechnung erweitert die Kostenvergleichsrechnung um die Berücksichtigung von Erträgen. Sie zielt auf die Bestimmung und den Vergleich von Gewinnen der Investitionsalternativen ab. Im Zuge der Rentabilitätsrechnung wird diejenige Investition ermittelt, welche die höchste Rentabilität (vgl. Glossar) bezogen auf eine Periode aufweist. Der Zeitraum, in dem das eingesetzte Kapital über die Erlöse in das Unternehmen zurückfließt, wird mittels der Amortisationsrechnung identifiziert. Die Amortisationszeit ist die Relation zwischen Kapitaleinsatz und dem durchschnittlichen jährlichen Mittelrückfluss. Tendenziell sind bei alternativen Investitionen diejenigen zu bevorzugen, die eine geringe Amortisationszeit aufweisen.

Die Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung (WEBER 1996, S. 18-69 ff.; HOFFMEISTER 2000, S. 84 ff.) berücksichtigen die Wertigkeit der Aus- und Einzahlungen einer Investition durch eine Diskontierung (Abzinsung) in Bezug auf die jeweiligen Zahlungszeitpunkte. Auf diese Weise sind Zahlungsströme in frühen Perioden von höherer Auswirkung als diejenigen in späteren Perioden. Bei der Kapitalwertmethode (WÖHE 2002, S. 619 ff.) werden alle Einzahlungen (E_j) und Auszahlungen (A_j), die im Zusammenhang mit einer Investition entstehen, auf einen Bezugszeitpunkt (zumeist den Investitionsbeginn; $t=0$) ab- oder aufgezinst (vgl. Formel (3)):

$$K = \sum_{j=0}^m (E_j - A_j) \cdot (1+i)^j \quad (3)$$

Es wird ein Kalkulationszinsfuß (i) angenommen, der die gewünschte Verzinsung der Investition repräsentiert. Durch Abzinsung der Differenz zwischen Aus- und Einzahlung ($E_j - A_j$) mit dem Kalkulationszinsfuß (i) ergeben sich die Barwerte. Diese drücken den Wert der Rückflüsse zum Bezugszeitpunkt aus und geben damit in der Summe den Gegenwartswert einer Investition an. Die Addition aller Barwerte ergibt den Kapitalwert (K) gemäß Formel (3). Ein Kapitalwert größer Null bedeutet, dass die Investition über die Verzinsung des definierten Zinsfußes hinaus einen zusätzlichen Überschuss erzeugt. Sind Alternativen zu vergleichen, so ist eine identische Nutzungsdauer (j) vorauszusetzen.

Die interne Zinsfußmethode ist eine Erweiterung der Kapitalwertmethode. Hierbei ist der interne Zinsfuß derjenige Zins (i), bei dem der Kapitalwert (K) gerade Null ist (vgl. Formel (3)). Somit wird die Rendite der Investition über den Vergleich des internen Zinsfußes und der kalkulatorischen Zinsen bewertbar (WEBER 1996, S. 18-69 ff.). Auf die Annuitätenmethode geht die Arbeit nicht näher ein, da sie nur eine finanzmathematische Variation der Kapitalwertmethode repräsentiert (HOFFMEISTER 2000, S. 124).

2.3.6 Ergänzende Methoden und Ansätze des Kostenmanagements

Zur Komplettierung der vorgestellten grundlegenden Methoden, die eine monetäre Bewertung von Produktionsalternativen zulassen, soll auf die Methode Target Costing eingegangen werden. Diese Methode wurde in Japan entwickelt und von Wissenschaftlern wie TANAKA (1989) verbreitet. Target ist Costing nach SEIDENSCHWARZ (1993, S. 5 ff.) ein Instrument des Kostenmanagements. Es folgt der Zielsetzung, das Unternehmen auf den Markt auszurichten, zielorientierte Forschung und Entwicklung zu betreiben, das Kostenmanagement bereits in frühen Entwicklungsphasen zu etablieren sowie eine permanente Überprüfung der Kostenziele zu fördern. Dadurch wird im Vergleich zu den Kalkulationsmethoden (Kernfrage: Was wird das Produkt kosten?) die Frage „Was darf das Produkt kosten?“ thematisiert. Die Methode wird im Rahmen der Produktentwicklung und in der Planung der Produktionsprozesse zur Reduzierung der Kosten existierender Produkte sowie zur Effizienzsteigerung in den indirekten Leistungsbereichen eingesetzt. Target Costing ist ein umfassender Planungs- und Steuerungsansatz, der den gesamten Entwicklungs- und Planungsprozess umrahmt und den Informationsfluss von den Kundenwünschen bis zu den Kostenzielen in der Produktionsphase steuert (BULLINGER 1996, S. 6-62 ff.). Target Costing umfasst hierbei folgende fünf Schritte (SEIDENSCHWARZ 1993, S. 115 ff.):

- 1) Ermittlung des Absatzpreises
- 2) Ermittlung der marktseitig zulässigen Kosten (Allowable Costs) durch Abziehen einer Gewinnspanne vom Absatzpreis
- 3) Gegenüberstellung der zulässigen Kosten und der aktuellen Standardkosten sowie Ableitung des Kostenreduktionsbedarfs
- 4) Identifikation von geeigneten Kostenreduktionsmaßnahmen zur Zielerreichung mittels einer Zielkostenspaltung bezüglich Funktionen und Komponenten
- 5) Ableitung von Kostenreduktionsmaßnahmen für zu teure Komponenten mit Hilfe von Zielkostenkontrolldiagrammen

Darauf aufbauend erläutern SPATH ET AL. (2000), dass im Rahmen eines umfassenden Target Costings eine vielschichtige methodische Unterstützung erforderlich ist. Diese muss beim Planen der Produktstrategie (Unterstützung z. B. durch Marktforschung) einsetzen und bei der Planung der Produktion (Unterstützung z. B. durch eine Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)) enden. Diese Darstellung zeigt, dass sich Planungs- und Kostenbeeinflussungsaspekte gegenseitig bedingen und nicht getrennt voneinander betrachtet werden können. Des Weiteren ist das Kostenmanagement nicht

ausschließlich auf die Entwicklungs- und Planungsobjekte innerhalb eines Unternehmens beschränkt, sondern kann sich auf Unternehmensnetzwerke beziehen (WEBER 2004).

Eine ähnliche Methode in Bezug auf das Kostenmanagement in der Produktentwicklung und Produktionsplanung stellt Design to Cost (DtC) von MICHAELS & WOOD (1989) dar. Der Ausgangspunkt ist ein zur Verfügung stehendes Budget, von dem auf das Produkt geschlossen wird. Die Produkt- und Produktionskosten werden nicht auf der Grundlage der Produkteigenschaften ermittelt, sondern es wird vom verfügbaren Budget auf ein geeignetes Produkt- und Produktionskonzept geschlossen. Eine weitere Kostenmanagementmethode ist die Wertanalyse (COENENBERG 2003, S. 468 f.). Diese dient vor allem der Erstellung marktgerechter Konzepte und der damit verbundenen Kostenreduzierung. Im Wesentlichen wird ein Objekt (z. B. Produkt oder Produktionssystem) hinsichtlich der Funktionen, Teilfunktionen und Funktionskosten analysiert. Anschließend wird bezüglich dieser Kriterien der Soll-Zustand definiert, um geeignete Lösungs-ideen identifizieren zu können. Darauf folgend sind die optimalen Lösungen auszuwählen und umzusetzen.

Durch die unterstützenden Eigenschaften für ein entwicklungs- und planungsbegleitendes Vorgehen kann vor allem die Methode Target Costing der in dieser Arbeit zu entwickelnden Methodik einen sinnvollen Kostenmanagementrahmen geben.

2.3.7 Qualitative Bewertung

Mit Hilfe qualitativer Bewertungsmethoden wird zumeist versucht, tendenzielle Kosteneffekte sowie qualitative Effekte darzustellen („besser/schlechter-Aussagen“). Beispielsweise fassen EHRENSPIEL ET AL. (2003) Gestaltungsregeln für verschiedene Produktionsprozesse wie spanende Fertigungsverfahren, Schweißen oder manuelles Montieren zusammen. Diese Gestaltungsregeln basieren auf diversen wissenschaftlichen Arbeiten wie z. B. von PAHL ET AL. (2005), ANDREASEN ET AL. (1985) oder BARTHELMÉ (1987), die sich auf die Erarbeitung von Wissen hinsichtlich einer fertigungs- und montagegerechten Konstruktion beziehen. Es werden hauptsächlich der Produktentwicklung Hinweise für eine kostengünstige Gestaltung der Produkte gegeben, was die Betrachtung der erforderlichen Produktionsverfahren mit einschließt. Dadurch werden die erstellten Konzepte qualitativ bewertbar. Jedoch wird auf diese Weise keine quantifizierte Darstellung der zu erwartenden Kosten möglich. Einen hierzu bzw. der DFMA Methode ähnlichen montagespezifischen Ansatz stellen SUZUKI ET AL. (2003) in Form der Assembly Reliability Evaluation Method (AREM) vor, mit dessen Hilfe die Qualität der Konstruktion bewertet werden kann.

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

Als weitere qualitative Bewertungsmethoden sind beispielsweise neutrale oder unternehmensspezifische Checklisten oder die Methode Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA) zu nennen. Die FMEA ist eine teamorientierte Fehleranalysemethode, welche die Ableitung von Handlungsbedarfen und Verbesserungspotenzialen erlaubt (PFEIFER 1996). Da hier allerdings keine direkte Bewertung von verschiedenen Produktionsalternativen, sondern die gezielte Betrachtung von möglichen Fehlereinflüssen erfolgt, soll an dieser Stelle nicht näher auf das Verfahren eingegangen werden.

Ähnlich zu den Methoden *Wertprofile* und *Wertigkeitsbestimmung* (GERHARD 1998), nutzt die Methode *Nutzwertanalyse* (ZANGEMEISTER 2000) qualitative Kriterien zur Bewertung von Lösungsalternativen. Die Nutzwertanalyse ist eine Methode zur systematischen Vorbereitung von Entscheidungen. Im Wesentlichen wird eine Menge von Lösungsalternativen untersucht, um die Alternativen hinsichtlich vorgegebener Ziele in eine Rangordnung zu bringen. Zur Bestimmung dieser Rangordnung ist für jede Prinziplösung ein Nutzwert auf der Basis von subjektiven und objektiven Kriterien zu bestimmen. Im Rahmen des dimensionslosen Nutzwerts können sowohl wertmäßig erfassbare als auch nicht erfassbare Kriterien berücksichtigt werden (GERHARD 1998; WARNECKE 1996, S. 9-27 f.). Zur Ausführung einer Nutzwertanalyse sind die folgenden Schritte erforderlich:

- Aufstellung eines Zielsystems: Zusammenstellung der Zielkriterien für die Beurteilung der Lösungsalternativen
- Gewichtung von Zielkriterien: Festlegen der Bedeutung der Zielkriterien bezüglich des Gesamtnutzens
- Ermittlung von Zielwerten: Bewertung der Lösungsalternativen, inwieweit die einzelnen Zielkriterien erfüllt werden (Erfüllungsgrad)
- Bestimmung von Nutzwerten: Berechnung der Teilnutzwerte aller Lösungsalternativen; die Summe der Teilnutzwerte ergibt die Nutzwerte der Lösungsalternativen (Wertsynthese)
- Erstellung einer Rangordnung für die Lösungsalternativen anhand der ermittelten Nutzwerte

Alle qualitativen Bewertungsmethoden haben gemein, dass keine direkten monetären Aussagen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit ableitbar sind und damit keine objektive Entscheidungsunterstützung geboten wird. Deshalb werden diese häufig in Verbindung mit monetären Bewertungsmethoden eingesetzt.

2.3.8 Entwicklungs- und planungsbegleitende Bewertung

2.3.8.1 Allgemeines

Nachdem in den vorhergehenden Abschnitten 2.3.2 bis 2.3.7 die grundlegenden Methoden und Ansätze für eine monetäre und qualitative Bewertung dargestellt wurden, bietet Abschnitt 2.3.8 eine Zusammenfassung der wesentlichen Methoden für eine entwicklungs- und planungsbegleitende Bewertung von Planungsobjekten. Die zu bewertenden Planungsobjekte bei der Anwendung dieser Bewertungsmethoden sind geplante Produktions Sachverhalte wie z. B. Produktionsalternativen oder auch das fertige Produkt. Für den Fall, dass Produkte das bewertete Objekt darstellen, werden i. d. R. implizit auch die Produktionsverfahren und -prozesse bewertet. Die vorgestellten Methoden streben primär eine quantitative bzw. monetäre Bewertung an, sind jedoch teilweise mit qualitativen Bewertungsmethoden kombiniert. Über die Methoden hinausgehend werden diverse (Rechner-)Werkzeuge vorgestellt, die eine kommerzielle oder prototypische Umsetzung des Ansatzes zulassen.

Hinsichtlich der entwicklungs- und planungsbegleitenden Bewertung werden zum einen grundlegende methodische sowie in der Literatur diskutierte Ansätze (Abschnitt 2.3.8.2) und zum anderen ausgewählte, wissenschaftlich orientierte Ansätze (Abschnitt 2.3.8.3) dargestellt.

2.3.8.2 Grundlegende Methoden

In Anlehnung an EHRENSPIEL ET AL. (2003, S. 447 ff.), die VDI RICHTLINIE 2234 (1990) und die VDI RICHTLINIE 2235 (1987) werden nachfolgend die wichtigsten Standardmethoden der entwicklungs- und planungsbegleitenden Bewertung vorgestellt. Primär bezieht sich die Methodenanwendung auf die Bewertung des gesamten Produkts und nicht explizit auf die Produktionsprozesse. Jedoch sind die Methoden oftmals adaptierbar, so dass sie teilweise in Bezug auf Produktionsaspekte angewendet werden können, wie Abschnitt 2.3.8.3 verdeutlicht.

Die *Kostenschätzung* stellt i. d. R. das schnellste aber ungenaueste Verfahren dar. Um belastbare Ergebnisse mit diesem Verfahren zu erzielen, sind Erfahrungen bezüglich des Produkts und der Produktion sowie ein systematisches Vorgehen erforderlich. Nach EHRENSPIEL ET AL. (2003, S. 452 f.) sind die systematischen Vorgehensweisen „unterteilendes Schätzen“, „Schätzung durch mehrere Personen“, „Kombination von Kostenschätzung und genauer Kostenermittlung“ oder „vergleichendes Schätzen“ anzuwenden.

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

Bei der *Kurzkalkulation* (EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 453 ff.) – synonym zu Schnell-, Ähnlichkeits- oder Äquivalenzziffernkalkulation – wird Bezug auf die relevanten und bekannten Einflussgrößen, wie z. B. Durchmesser bei Drehteilen, genommen. Es existieren drei Möglichkeiten der Kurzkalkulation: Die erste betrifft die Vergleichskalkulation konstruktiver Varianten. Hierzu werden verschiedene Varianten konventionell kalkuliert (KLR), deren Einflussgrößen variiert und in Diagrammen die Auswirkungen der Einflussgrößen dargestellt. Die zweite und dritte Möglichkeit betreffen die Analyse von Unterlagen der Vorkalkulation bzw. die statistische Auswertung von Zeiten und Kosten in existierenden Arbeitsplänen. Durch die Analyse von Formeln und Einflussgrößen der Arbeitsvorbereitung bzw. von Arbeitsplänen werden verursachungsgerechte Kurzkalkulationsformeln gebildet. Diese beiden Möglichkeiten der Kurzkalkulation können auch den nachfolgend dargestellten Methoden der Kostenbestimmung über eine oder mehrere Einflussgrößen zugerechnet werden. Des Weiteren können Relativkostenkataloge, wie in der VDI RICHTLINIE 2235 (1987) oder von MÄNNEL (1997) illustriert, zu den Kurzkalkulationsverfahren gezählt werden. Bei diesen erfolgt eine Abbildung der Kostenrelation zwischen einer Ausgangs- und einer Vergleichsvariante.

Die *Such- und Ähnlichkeitskalkulation* (EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 456) vergleicht die Kosten eines geplanten mit denen eines existierenden Produkts auf der Basis von definierten Merkmalen. Zumeist werden infolge der umfangreichen Datenbestände Rechnerwerkzeuge zum Verwalten, Suchen und Finden der benötigten Informationen eingesetzt (EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 456). Existieren mehrere ähnliche Referenzen, so kann mittels Interpolation und daraus resultierender Kostenfunktionen das Produkt bewertet werden (HILLEBRAND 1991). Zu dieser Art der Kalkulation kann auch das Kostenschätzen von Veränderungen gezählt werden (LOWKA 1997).

Bestimmt *eine Einflussgröße* die Kosten maßgeblich und sind die Vergleichsprodukte und Produktionssysteme ähnlich, so können die Kosten auf deren Grundlage ermittelt werden. Nach EHRENSPIEL ET AL. (2003, S. 456 ff.) existieren hierfür die drei Verfahren Gewichtskostenkalkulation, z. B. mittels Gewicht-Kosten-Diagrammen (VDI RICHTLINIE 2235 1987), Materialkostenmethode (VDI RICHTLINIE 2225 1997; VDI RICHTLINIE 2235 1987) und Kurzkalkulation über leistungsbestimmende Größen, wie beispielsweise die Leistungsaufnahme.

Vielfach können jedoch Produkte und Produktionsaspekte nur über *mehrere Einflussgrößen* sinnvoll monetär bewertet werden. Fertigungszeiten und damit -kosten werden oft durch Einflussgrößen wie Geometriedaten, Toleranzen oder Werkstoffe bestimmt. Als Beispiel können Richtpreisformeln für Gussstücke bzw. Gussprozesse mit Einflussfaktoren wie Losgröße, Werkstoffvolumen, Gestrecktheit, Dünnwandigkeit, Verpa-

ckungssperrigkeit, Zahl der Kerne oder Zugfestigkeit dienen (LOWKA 1997). Die Kurzkalkulation über mehrere Einflussgrößen wird hierbei mit folgenden unterschiedlichen Ansätzen realisiert:

- additive, multiplikative oder gemischte Regressionsanalyse (z. B. PICKEL 1989; ROMANOW 1995)
- Optimierungsverfahren (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 464 ff.)
- neuronale Netze (z. B. BECKER & PRISCHMANN 1994; BODE 1998)
- Fuzzy Logic (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 468; ENDEBROCK 2000)

Eine weitere Möglichkeit bietet die *Kalkulation mit Hilfe von Kostenwachstumsgesetzen*. Gemäß EHRENSPIEL ET AL. (2003, S. 468 ff.) oder der VDI RICHTLINIE 2235 (1987) wird bei diesen die geometrische, stoffliche, konstruktive oder fertigungstechnische Ähnlichkeit von Produkten genutzt, um über diese das Kostenverhalten abzubilden. Mittels summarischer Kostenwachstumsgesetze werden die Kosten, ohne auf die einzelnen Fertigungsoperationen einzugehen, dargestellt. Ihre Genauigkeit ist laut EHRENSPIEL ET AL. (2003, S. 468 ff.) begrenzt, reicht aber zumeist zum Erkennen von Kostenabhängigkeiten aus. Dahingegen erfassen differenzierte Kostenwachstumsgesetze die Fertigungszeiten der bei einem Bauteil angewandten Fertigungsverfahren. Im Vergleich zu den summarischen Verfahren wird eine erhöhte Genauigkeit erreicht. Allerdings ist auch der Ermittlungs- und Bearbeitungsaufwand größer.

2.3.8.3 Ausgewählte Forschungsansätze

Zusätzlich zu den in Abschnitt 2.3.8.2 vorgestellten grundlegenden Methoden der entwicklungs- und planungsbegleitenden Bewertung existieren diverse wissenschaftliche Ansätze, die diese ergänzen bzw. vertiefen. Diese Ansätze werden nachfolgend – in Anlehnung an die von LAYER ET AL. (2002) vorgestellte Möglichkeit der Klassifikation der Ansätze – dargestellt (Abbildung 22).

Die von LAYER ET AL. (2002) beschriebenen *statistischen Methoden* der Kostenermittlung sind mit denen der Kostenbestimmung über eine oder mehrere Einflussgrößen (Abschnitt 2.3.8.2) gleichzusetzen. Es werden historische bzw. empirisch ermittelte Daten genutzt, um in der Entwicklungs- und Planungsphase eine kausale Verbindung zwischen den Produkteigenschaften und den Kosten mittels parametrischer Funktionen oder neuronaler Netze herzustellen.

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

Eine quantitativ monetäre Bewertung auf der Grundlage von *Analogiemethoden* nutzt geometrische oder funktionale Ähnlichkeiten, um auf die Kosten zu schließen. Die Grundlage für den Schluss auf die Kosten bilden oftmals Nachkalkulationen bekannter Produktspektren. Nach LAYER ET AL. (2002) ist eine Anwendung dieser Methoden in frühen Produktentwicklungsphasen schwierig bzw. ungenau, da bei einer ähnlichkeitsbasierten Kostenbewertung konkrete Charakteristika des geplanten Produkts verfügbar sein müssen.

Generativ-analytische Methoden stützen sich auf die detaillierte Betrachtung der Elemente des Produktionsprozesses, was bei den anderen beiden Methodenarten nicht der Fall ist. Auf Basis der Verfahrensketten bzw. des Prozessplans für ein Produkt wird eine Kostenbewertung ausgeführt. Durch Auswertungen können die Kostentreiber ermittelt werden. Diese sind in der Folge zu analysieren und es soll darauf aufbauend auf eine kostenoptimale Gestaltung der Verfahrensketten bzw. der Prozesse geschlossen werden. Da bei den generativ-analytischen Methoden Verfahren und Prozesse ein expliziter Betrachtungsgegenstand sind, können im Gegensatz zu den Analogiemethoden neue Technologien oder Betriebsmittel einbezogen sowie produktionsseitige Reaktionen auf veränderte Geometrien untersucht werden. Der Nachteil bei diesen Verfahren liegt im zunächst hohen Bedarf an Informationen und Daten (LAYER ET AL. 2002).

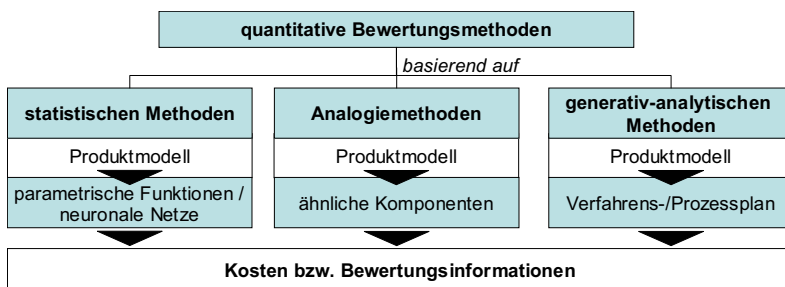


Abbildung 22: Klassifikation der monetären Bewertungsmethoden hinsichtlich geplanter Produkte und/oder Produktionssysteme (in Anlehnung an LAYER ET AL. (2002))

Um einen Überblick über die existierenden Ansätze zu bieten, werden nachfolgend zu den drei Varianten der Bewertung ausgewählte wissenschaftliche Lösungen vorgestellt. Soweit keine eindeutige Zuordnung der Ansätze möglich ist, da z. B. unterschiedliche Bewertungsmethoden kombiniert angewendet werden, werden diese entweder ihrem Schwerpunkt entsprechend zugeordnet oder in der Kategorie „sonstige Verfahren“ vorgestellt.

Statistische Methoden

Die Arbeit von PICKEL (1989) ist beispielsweise den statistischen Methoden zuzuordnen, da die einzelnen Produktionsschritte nicht explizit betrachtet, sondern vielmehr produktorientierte Eingangsgrößen für eine konstruktionsbegleitende Kostenbewertung genutzt werden. PICKEL (1989) beschreibt, wie die Kostenfunktionen mittels Regressionsanalysen und Optimierungsverfahren gebildet und die Kostenbewertungszwecke genutzt werden können. Ein auf Entscheidungstabellen basierendes Informationssystem unterstützt die Generierung der Kostenfunktionen. Außerdem wird ein flexibles Kostenmodell als Grundlage vorgestellt, das sich dem Informationsgehalt in der jeweiligen Produktentwicklungsphase anpasst.

Auch GRÖNER (1991) bietet einen Ansatz zur Modellierung und Anwendung von Kostenfunktionen. Hierfür werden Produkte in Familien mit einer ähnlichen Kostenstruktur gruppiert. Für diese Produktfamilien werden z. B. mittels Regressionsanalysen Kostenfunktionen ermittelt. Durch entsprechende Produktparameter des geplanten Produkts und die Kostenfunktionen bezüglich der Produktfamilie können die Kosten determiniert werden.

Ein umfassendes Handbuch zur parametrischen Kostenschätzung bietet die International Society of Parametric Analysts (ISPA 2003). Es wird auf die Themenkomplexe Datenaufnahme/-analyse, die Erarbeitung von Kostenfunktionen sowie diverse individuelle Lösungen für die parametrische Kostenschätzung eingegangen. Außerdem werden kommerzielle Softwarewerkzeuge für die parametrische Kostenschätzung, wie beispielsweise PRICE von der Firma Price Systems[®], vorgestellt.

NEFF ET AL. (2000) beschreiben den Ansatz „Front Load Costing“. Dieser dient der Entscheidungsunterstützung bei technisch wirtschaftlichen Problemstellungen in der frühen Phase der Produktentwicklung. Das hauptsächliche Ziel ist es, mittels Zufallsvariablen und deren Verteilungsfunktionen Informationsunsicherheiten und Unschärfen für alternative Produktkonzepte bewertbar zu machen. Die Produktparameter sowie technische und wirtschaftliche Unsicherheiten sind die Eingangsvariablen für das zugrunde liegende parametrische Modell. Statistisch ermittelte parametrische Kostenfunktionen für die diversen Kostenarten bilden unabhängig von den detailliert betrachteten Unsicherheiten die Grundlage für die Kostenbewertung. Der Fokus liegt auf der Bewertung von Informationsunsicherheiten und auf der Bereitstellung unterschiedlicher monetärer Bewertungsmethoden für die diversen Informationsstatus.

Auf die Möglichkeit der Nutzung von neuronalen Netzen zur produktorientierten Kostenbewertung gehen z. B. BECKER & PRISCHMANN (1994), EHRENSPIEL ET AL. (2003,

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

S. 466 ff.), ENDEBROCK (2000) und BODE (1998) ein. Neuronale Netze bilden den menschlichen Denkprozess vereinfacht nach und zeichnen sich durch ihre Lernfähigkeit aus. Zwischen so genannten Ein- und Ausgangsneuronen ist eine unbestimmte Anzahl an Zwischenschichten mit Neuronen (Verarbeitungseinheiten) möglich. Hierbei gewichten Neuronen die ihnen übermittelten Informationen und leiten sie an die Neuronen der angrenzenden Schicht weiter. Schlussendlich stellen die Neuronen der Ausgangsschicht die gewünschten Informationen zur Verfügung. Zum Lernen bzw. Trainieren des neuronalen Netzes werden historische Daten wie Informationen über Produkte, Baugruppen oder Einzelteile sowie deren Nachkalkulationen genutzt. Hierbei wird zuerst ein Eingangsmuster verwendet, um ein Ausgangsmuster zu berechnen. Anschließend erfolgt ein Vergleich des Resultats mit dem gewünschten vorgegebenen Ausgangsmuster. In Konsequenz werden die Gewichtungen der Neuronen so verändert, dass sich die Divergenz der Ausgangsmuster verringert. Als Eingangsvariablen für die neuronalen Netze zur produktorientierten Kostenbewertung dienen kostenbeeinflussende Produktcharakteristika. Einen Prototyp zur Kostenbewertung mittels neuronaler Netze stellen BECKER & PRISCHMANN (1994) vor. Dieser ist in zwei Modulen strukturiert. Das eine Modul ist durch ein neuronales Netz geprägt, das im Zuge des Konstruktionsprozesses noch unbekannte Produktmerkmale als Ergebnis liefert. Das zweite Modul betrifft die Kalkulation. Dieses Modul besteht aus neuronalen Netzen, die für die verschiedenen Komponenten die Kosten aus den Produktmerkmalen bestimmen und somit durch die Addition dieser die Gesamtkosten des Produkts berechnen können.

Neuronale Netze können zur Kostenbewertung angewendet werden, wenn sie ausreichend trainiert sind und die Anzahl der kostenbeeinflussenden Parameter nicht zu hoch ist. Den Vorteilen der neuronalen Netze, wie Lernfähigkeit und Genauigkeit, stehen Nachteile gegenüber. Zum einen ist die Generalisierbarkeit neuronaler Netze im Vergleich zu mathematischen Kostenfunktionen mangelhaft, da sie für den Wertebereich der Trainingsdatensätze optimiert sind. Zum anderen sind die Ergebnisse der neuronalen Netze nur unzureichend interpretierbar, da die Zusammenhänge zwischen Eingangs- und Ausgangsneuronen im Gegensatz z. B. zur Regressionsanalyse meistens nicht erkennbar sind. Außerdem können neue innovative Technologien nicht in die Bewertung mit einbezogen werden, da diese nicht trainierbar sind (BODE 1998).

Analogiemethoden

Einen auf Analogiemethoden basierenden Ansatz präsentiert z. B. KÖNIG (1995). Er gründet auf der Annahme, dass die geometrische und funktionale Ähnlichkeit in ähnlichen Kosten mündet. Der Kostenbewertungsprozess ist in die Bereiche „Bestimmung der relevanten kostentreibenden Produktcharakteristika“, „Suche nach ähnlichen Pro-

dukten inklusive der entsprechenden Nachkalkulationsdaten“ sowie „Kostenbewertung des geplanten Produkts“ auf der Grundlage der Ähnlichkeitsdaten gegliedert. Der Ansatz erfordert eine detaillierte Produktbeschreibung und kann deshalb erst in späteren Produktentwicklungsphasen eingesetzt werden.

Einen weiteren ähnlichkeitsbasierten Ansatz für das Spritzgießen als Fertigungsverfahren stellt GRUNDMANN (1994) vor. Die Ähnlichkeit von Spritzgussteilen wird über fünf Charakteristika bestimmt. Darauf aufbauend werden die Kosten für ähnliche Teile über die Informationen in existierenden Stücklisten und Arbeitsplänen ermittelt.

ROMANOW (1995) erarbeitete einen Ansatz zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation von Werkzeugmaschinen. Dieser stützt sich auf die in der Werkzeugmaschinenindustrie übliche Variantenkonstruktion. Es werden ähnliche, bestehende Lösungen gesucht, kostenintensive Teile sowie Komponenten werden identifiziert und gemäß den Pflichtenheftanforderungen angepasst. Über die verfügbaren und erarbeiteten Werkzeugmaschinenstruktur-, CAD-, Lieferanten-, Unternehmens- und PPS-Daten werden die Kosten für die geplante Werkzeugmaschine entsprechend den in Abbildung 23 veranschaulichten Methoden kalkuliert. Die jeweiligen Methoden werden basierend auf dem verfügbaren Informationsgehalt eingesetzt.

| Varianten-/Gleichteile | Neuteile | mechanische Baugruppen |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wiederholteile ▪ Ähnlichkeitsgesetze | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kostenfunktionen ▪ fertigungsorientierte Kalkulation ▪ Lieferantenangebote ▪ Katalogpreise | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wiederholteile ▪ Ähnlichkeitsgesetze ▪ Kostenfunktionen ▪ fertigungsorientierte Kalkulation ▪ Lieferantenangebote ▪ Katalogpreise |
| elektrische Baugruppen | Kaufteile | Eigenfertigungsteile |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wiederholteile ▪ Ähnlichkeitsgesetze ▪ Lieferantenangebote ▪ Katalogpreise | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lieferantenangebote ▪ Katalogpreise | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kostenfunktion ▪ fertigungsorientierte Kalkulation |

Abbildung 23: Nach Bauteilarten differenzierte Methoden zur monetären Bewertung von Bauteilen (ROMANOW 1995, S. 80)

Für die Bewertung der Material- und Fertigungskosten von Eigenfertigungsteilen werden auf Regressionsanalysen basierende parametrische Kostenfunktionen angewendet. Maßgebliche Eingangsgrößen sind hierbei die zu bearbeitende Fläche und die Oberflächenrauigkeit. Der Kalkulationsansatz wurde informationstechnisch in Verbindung mit einem CAD-System in Form des Prototyps „kalwic“ realisiert. Einen auf der Arbeit von

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

ROMANOW (1995) aufbauenden Ansatz stellt SPRENZEL (2000) vor. Es werden die für Werkzeugmaschinen erforderlichen Komponenten entsprechend ihres Kostenbeitrags mittels einer ABC-Analyse klassifiziert (Achtung: ABC hier nicht im Sinne von Activity Based Costing, sondern einer Paretoanalyse; vgl. WARNECKE (1996, S. 9-20)). Gemäß den unterschiedlichen Entwicklungsphasen und den verfügbaren Informationen werden die Kosten mittels regressionsanalysenbasierter parametrischer Kostenfunktionen, mittels analytisch hergeleiteter Kostenfunktionen oder durch im Rahmen von NC-Simulationen ermittelte Fertigungszeiten bewertet. Die zur Umsetzung entwickelten Rechnerwerkzeuge zur Kostenbewertung sind für die Datenverwaltung über eine „Object Link Embedding“-Schnittstelle an ein PDM-System gekoppelt.

Auch FRECH (1998) und LIEBERS (1998) beschreiben Ansätze, die entsprechend dem zeitlichen Fortschritt der Produktentwicklung auf unterschiedliche Kostenbewertungsmethoden zugreifen. Mittels des prototypischen Rechnerwerkzeugs „Assembly-oriented Cost Estimation Tool“ (ASCET) stellt FRECH (1998) dem Anwender ein Werkzeug zur Verfügung, das eine Wirtschaftlichkeitsbewertung mit unterschiedlichen Methoden zulässt. Es werden die Material-, Fertigungs- und Montagekosten in den drei Phasen *Konzeption*, *Entwurf* und *Ausarbeitung* in unterschiedlicher Art und Weise berücksichtigt. Hinsichtlich der Materialkosten wird in der Konzeptphase das zu erwartende Materialvolumen mit dem Werkstoffkostensatz multipliziert. Diese Volumeninformationen gilt es in den Folgephasen zu detaillieren und zu aktualisieren. Die Fertigungskosten werden in der Konzeptionsphase auf der Basis von Ähnlichkeitsteilen, in der Entwurfsphase mittels statistischer Regressionsanalyse und in der Ausarbeitungsphase mittels CAD-Daten konkretisiert. Im Bereich der Montagekosten wird ebenfalls auf ähnliche Teile in der Konzeptphase zurückgegriffen. In der Entwurfsphase nutzt ASCET die Systeme vorbestimmter Zeiten (SvZ), um die Kosteninformationen in der Ausarbeitungsphase über Vorgangsdefinitionen zu Features zu konkretisieren. Die Durchgängigkeit der Methoden über die einzelnen Phasen hinweg ist durch die unterschiedlichen Ansätze und erforderlichen Eingangsinformationen nicht gegeben. In einer vergleichbaren Art und Weise kombiniert LIEBERS (1998) Analogiemethoden in der frühen Phase mit gemischten Methoden in der Fortfolge der Produktentwicklung.

Ein Verfahren zur ähnlichkeitbasierten Prozessplanung und Kostenkalkulation von Schmiedeteilen stellen DOEGE ET AL. (2003) vor. Der Ansatz forciert eine ähnlichkeitbasierte, konstruktionsbegleitende Kostenkalkulation mit Hilfe eines Datenbanksystems, das einen abteilungsübergreifenden Zugriff auf vergleichbare, bereits abgespeicherte Produktdaten erlaubt. Die Organisation der Daten zur Repräsentation der Ähnlichkeit erfolgt über einen Klassifizierungscode. Dieser enthält sowohl geometrische als auch schmiedeprozessspezifische Einflussgrößen. Dadurch wird die Kalkulation von Verfah-

rensvarianten während der Phase der Konstruktion ermöglicht. Beispielsweise wird mittels einer regressionsbasierten Funktion das Kostenminimum hinsichtlich Umform- und Nachbearbeitungskosten in Abhängigkeit vom Bearbeitungsaufmaß dargestellt. Für die Bestimmung des Kostenminimums ist jedoch ein relativ detailliertes Prozesswissen erforderlich, so dass weniger die Verfahrensauswahl als vielmehr die Prozessplanung unterstützt wird.

Generativ-analytische Methoden

Die Methode zur Herstellkostenbestimmung von technischen Strukturen (HKB) ist eine Entwicklung der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich. Sie basiert auf dem Kostenmodell nach FERREIRINHA (1985) (vgl. HORVÁTH ET AL. 1996) und wird in Form einer informationstechnischen Umsetzung auch kommerziell vertrieben. HKB eignet sich vornehmlich zur Unterstützung des Konstrukteurs in den späten Phasen des Konstruktionsprozesses, da ein relativ hoher Detaillierungsgrad der Informationen erforderlich ist. Es können Herstellkosten von Kostenträgern auf der Grundlage einer Zuschlagskalkulation sowie die Planung der Bearbeitungsfolge vorgenommen werden. Bei der Kalkulation werden die Materialpreise über das Volumen der zu fertigenden Teile und die Fertigungskosten über die geplanten Fertigungszeiten berechnet. Für die Durchführung der Kostenkalkulation wird das Werkstück benutzerdefiniert in Formelemente, die um Informationen wie Gestalt, Abmessungen, Toleranzen und/oder Fertigungsverfahren angereichert werden können, untergliedert. Im Anschluss an die Aufteilung werden den Formelementen Merkmale wie Gestalt, Abmessung, Oberflächengüte oder Fertigungsverfahren zugewiesen. Unter Nutzung einer unternehmensspezifisch erarbeiteten Wissensbasis können Haupt- und Nebenzeiten zur Herstellung der Formelemente abgeleitet werden. WARTZACK & MEERKAMM (2000) haben durch ihre Ansätze zur Speicherung von nicht-geometrischen Zusatzdaten zu den Bauteilen die Methoden und das kommerzielle Rechnerwerkzeug erweitert, um die Rationalisierung des Produktentwicklungsprozesses durch einen höheren Informationsgehalt der Produktbeschreibung zu erreichen.

Der Ansatz von ESAWI & ASHBY (1998) (Cost-based Ranking for Manufacturing Process Selection) basiert auf einem Ressourcenverbrauchsmodell und ist in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses anwendbar. Die Auswahl der Fertigungsprozesse umfasst zwei Schritte. Der erste beinhaltet die Vorauswahl der relevanten Prozesse und deren Überprüfung in Bezug auf die technologische Machbarkeit zur Realisierung der Konstruktion. Im zweiten Schritt werden die möglichen Prozesse hinsichtlich ökonomischer Kriterien in eine Rangfolge gebracht. Die Erstellung der Rangreihe benötigt die Methoden der Kostenschätzung auf der Basis eines ressourcenorientierten Kos-

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

tenmodells. Hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs werden ähnlich der Maschinenstundensatzrechnung die Bezugsgrößen Material, Kapital, Energie, Zeit und Raum betrachtet. Der Vorteil bei diesem Ansatz liegt darin, dass von einem maximalen Lösungsraum ausgegangen wird, der schrittweise eingegrenzt wird. Die Möglichkeiten der Kostenbewertung sind jedoch durch die Konzentration auf eine Methode relativ eingeschränkt.

Auch KÜMPER (1996) bzw. EVERSHEIM & KÜMPER (1997) stellen einen Ansatz zur verursachungsgerechten Vorkalkulation mittels eines ressourcenverbrauchsorientierten Kostenmodells vor. Anhand von Kostenbewertungen werden in der Produktentwicklung objektive Vergleiche unterschiedlicher Produktgestaltungen dargestellt und somit ungeeignete Varianten eliminiert. Die Produkte werden anhand des Verbrauchs der Ressourcen Kapital, Betriebsmittel, Personal, Gebäude, Information und Material unterschieden. Folglich werden nicht nur direkte Kosten für die jeweiligen Produktionsprozesse, sondern ähnlich zur Prozesskostenrechnung auch indirekte Kosten, wie z. B. Planungstätigkeiten in der Arbeitsvorbereitung, betrachtet. Mit Hilfe einer Regressionsanalyse wird der Zusammenhang zwischen dem Ressourcenverbrauch und den varianten- und produktbeschreibenden Parametern, wie beispielsweise der Stückzahl pro Variante, ermittelt. Durch die daraus resultierende Verbrauchsfunktion kann die Inanspruchnahme der Produktionsfaktoren (Ressourcenverzehr) anhand der Parametermengen wiedergegeben und in so genannten Nomogrammen (Abbildung 24) dargestellt werden. Analog können die jeweiligen Kosten über die Kostenfunktion bestimmt werden. Die Herstellkosten lassen sich aus der Summe der gesamten Ressourcenverbräuche bzw. der Kosten der einzelnen Prozesse darstellen. Entsprechend dem Informationsgehalt in der jeweiligen Planungsphase wird zur Ermittlung der Treiber des Ressourcenverbrauchs vorgeschlagen, auf Erfahrungen oder statistische Auswertungen aus alten Aufträgen zurückzugreifen.

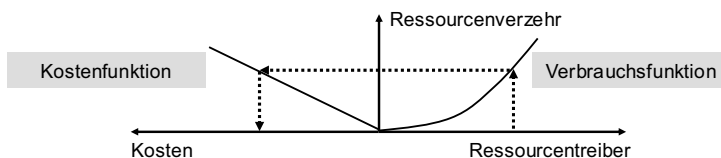


Abbildung 24: Beispielhaftes Nomogramm (in Anlehnung an KÜMPER (1996, S. 42))

Der Prototyp „Konstruktionsintegriertes computergestütztes Kosteninformationssystem“ (KICK) verfolgt das Ziel einer prozesskostenorientierten Ermittlung der Kosten von Produkten (MÖLLER ET AL. 1998). Es werden nicht nur Produktionsaspekte beleuchtet, sondern auch indirekte Leistungsbereiche des Unternehmens. Der erste Schritt des

Ansatzes baut auf einer Objekt- bzw. Produktstruktur auf, wobei für den Betrachtungsschwerpunkt Stanz-, Biege- und Spritzgussteile Standardstrukturen bereitgestellt werden. Darauf folgend werden der Objektstruktur Sachmerkmale wie Geometrie, Material, Maschine oder Werkzeug manuell zugeordnet. Über Regelwerke werden der Objektstruktur Standardvorgangsstrukturen – inklusive deren Ressourcen – für alle Prozesse innerhalb des Lebenszyklus zugewiesen. In einem Kalkulationsmodul werden die leistungsmengeninduzierten Prozesskostensätze mit den Objekten verknüpft und die Kosten bestimmt. Die Optimierungspotenziale sind bei diesem Ansatz vor allem im Bereich der Flexibilisierung des Regelwerks zu suchen, um eine starre, regelbasierte Zuordnung der Vorgänge zu vermeiden.

SCHOLL (1997) entwickelte die Methode sowie das Rechnerwerkzeug „Prototypbasierte Prozesskostenprognose“ (PRO³KOS). Der Ansatz gliedert sich in zwei Module. Das erste konzentriert sich auf die Bestimmung der Einzelkosten der direkten Leistungsbereiche (Material- und Fertigungskosten) durch Kostentableaus (vgl. Glossar). Diese bilden produktspezifische Informationen über die Auswirkungen unterschiedlicher Produktionsverfahren, Konstruktionsalternativen oder Ressourcenverwendungen auf die direkten Produktionskosten ab. Die Ausprägungen der Produktionsverfahren und der Ressourcenverwendung werden durch die Maßgröße Kostentreiber repräsentiert. Die Kostentreiber führen wiederum zu einer unterschiedlichen Ressourcennutzung und damit zur Variation der Kosten. Um den Aufwand zur Erstellung und Pflege der Kostentableaus zu minimieren, wird vorgeschlagen, die Kostentableaus in Bezug auf Teilefamilien zu nutzen. Im zweiten Modul werden die Kosten der indirekten Bereiche mit Hilfe der Prozesskostenrechnung ermittelt und den Produkten verursachungsgerecht zugeordnet. Die Kombination der beiden Module erlaubt die Ermittlung der Selbstkosten, nachdem die Einzelteile eines Prototyps den Teilefamilien zugeordnet worden sind. Der Ansatz ist an Prototypen des Produkts gebunden und kann deshalb erst relativ spät im Produktentwicklungs- und Produktionsplanungsprozess eingesetzt werden.

EITRICH (1996) und TRENDER (2000) entwickelten in ihren Arbeiten ebenfalls einen ressourcenverbrauchsorientierten Prozesskostenansatz. EITRICH (1996) beschreibt ein prozesskostenorientiertes Kostenmodell, das aus einem Prozess- und Produktmodell besteht und eine entwicklungsbegleitende Vorkalkulation erlauben soll. Es werden Prozesse in den direkten und indirekten Leistungsbereichen in unterschiedlichen Abstraktionsebenen adressiert. Die Kosten der Prozesse können über Ressourcenverbrauchsgrößen, Prozesskostensätze bzw. Ressourcenverbrauchsfunktionen ermittelt werden. Hierzu werden die Ressourcenverbrauchsfunktionen entsprechend den verfügbaren Erfahrungen oder mittels Regressionsanalysen aufgestellt. Die Prozesse eines Unternehmens werden in allen relevanten Hierarchie- bzw. Abstraktionsstufen über

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

Und-Oder-Graphen dargestellt. Die Abbildung der Produkte im Rahmen des Produktentwicklungsprozesses wird in montageorientierten, hierarchischen Strukturen vorgeschlagen. Darauf aufbauend wird die Vorgehensweise für eine methodische Produkt-Prozess-Zuordnung beschrieben. Diese beinhaltet eine teilweise regelbasierte Ableitung der Produktionsprozesse. Dadurch wird es möglich, über alle Prozesse hinweg die Kosten zu ermitteln. Der dargestellte Ansatz wurde in Form des Rechnerwerkzeugs „Process Integrated Cost Analysis Tool“ (PICANT) prototypisch umgesetzt. TRENDER (2000) erweitert diese Arbeit vor allem in Richtung der Betrachtung der gesamten Produktlebenszykluskosten auf der Grundlage der ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung. Im Vergleich zur Arbeit von EITRICH (1996) bezieht er nicht nur die Prozesse der Herstellung, sondern auch die Prozesse im Zuge des Gebrauchs und Nachgebrauchs sowie deren Wechselwirkungen mit ein. Weiterhin werden erweiternde Ansätze zur Ausübung eines Zielkostenmanagements beschrieben sowie deren Umsetzung in Form des Rechnerwerkzeugs „Life Cycle Costing“ (LICCOS) erläutert. Der Umsetzungsaufwand der Arbeiten von EITRICH (1996) und TRENDER (2000) ist als relativ hoch einzustufen, da hierfür die Umstellung eines Unternehmens auf die prozesskostenorientierte Kalkulation erforderlich ist.

Im Zuge der Forschungsarbeiten des SFB 582 (vgl. Abschnitt 2.2.4) wurde durch LINDEMANN & GAHR (2006) ein weiterer Kostenmanagement- bzw. Kostenbewertungsansatz vorgestellt, der von GAHR (2006) detailliert beschrieben wird. Dieser verfolgt vor allem ein geeignetes Zielkostenmanagement und eine verursachungsgerechte Kostenkalkulation in Bezug auf individualisierte Produkte. Hierzu wird ein Zweiphasenmodell des Zielkostenmanagements erläutert. Dieses berücksichtigt zum einen die strategischen Aspekte im Zusammenhang mit der Strukturplanung individualisierter Produkte und zum anderen die operativen Gesichtspunkte der kundenindividuellen Adaptionprozesse zur Ableitung eines spezifischen Produkts. Um die Adaptionprozesse für individualisierte Produkte verursachungsgerecht und mit einem vertretbaren Aufwand in das Kostenmanagement einbeziehen zu können, wird der Ansatz der Pfadkostenrechnung angewendet. Hierfür werden so genannte Individualisierungspfade definiert und genutzt, die das standardisierte Vorgehen zur Realisierung eines Kundenwunsches und damit vordefinierte Prozessketten bezüglich eines Adaptionvorgangs repräsentieren. Die Individualisierungspfade stellen die Grundlage dar, um die Kosten der jeweiligen Aktivitäten mittels des Konzepts der Prozesskostenrechnung (vgl. Abschnitt 2.3.4) bzw. des ressourcenverbrauchsorientierten Kostenmodells nach KÜMPER (1996) auf die Produkte umzulegen. Durch standardisierte, an den jeweiligen Anwendungsfall angepasste oder neu definierte Individualisierungspfade können so die direkten und indirekten Leistungsbereiche zur Erstellung individualisierter Produkte berücksichtigt werden. Zusammenfassend fokussiert der Ansatz primär die Aktivitäten zur Adaption bzw. Umset-

zung kundenindividueller Produkte. Die Generierung und Auswahl der optimalen Produktionsalternativen stellt hierbei keinen Betrachtungsschwerpunkt dar. Außerdem bezieht sich der Ansatz auf das Kostenmanagement individualisierter Produkte und nicht auf Serienprodukte, wie die vorliegende Arbeit. Dennoch bietet der Ansatz hinsichtlich der zu entwickelnden Methodik Potenziale, die vorrangig in der kostenseitigen Betrachtung von standardisierten Prozessketten bzw. -modulen zu finden sind.

Einen weiteren Ansatz zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation entwickelte REISCHL (2001). Die Ergebnisse seiner Arbeit sind in dem Prototyp „extendedes Kosteninformationssystem“ (XKIS) abgebildet, das in seiner letzten Ausbaustufe in ein 3D-CAD-System eingebunden ist, um featurebasiert verwaltete Informationen nutzen zu können. Mittels einer automatischen Feature-Erkennung im Prototyp XKIS können z. B. Feature-, Flächen- und Kanteninformationen sowie deren Beziehungen untereinander für die Kostenkalkulation verwendet werden. XKIS besteht aus den Hauptmodulen „featurebasiertes Wiederholteilsuchsystem“, „Geometrieerfassung von Bauteilen und -gruppen“ sowie „konstruktionsbegleitende Kalkulation“. Das Modul „konstruktionsbegleitende Kalkulation“ stützt sich hierbei auf eine Produktdatenbank, eine Firmendatenbank und eine Regelbasis. Die zur Kalkulation und zur Wiederholteilsuche erforderlichen Produktionsinformationen sind in der Produktdatenbank featurebasiert hinterlegt. Dies bedeutet, dass die Abbildung aller technologischen und geometrischen Informationen, die ein Produkt hinsichtlich seiner Herstellbarkeit beschreiben, gegeben ist. Des Weiteren werden diese Informationen nach einer Bottom-up-Strukturierungssystematik vom Elementarfeature über das Einzelteilfeature bis zum Baugruppenfeature abgelegt. Je nach Zurechenbarkeit werden die Informationen den unterschiedlichen Ebenen zugeordnet. In der Firmendatenbank werden die Informationen über die zur Verfügung stehenden Produktionsprozesse und Betriebsmittel bereitgestellt. Die Regelbasis in Form von definierten Regeln und Entscheidungstabellen unterstützt die Nutzung der Daten zur Arbeitsplanung (z. B. zur Bestimmung von Fertigungsfolgen an bestimmten Produktelementen). Der Aufbau des Systems XKIS und die grundlegenden sequenziellen Tätigkeitsschritte sind in Abbildung 25 dargestellt.

Zusammenfassend wird es durch XKIS möglich, ähnlichkeits- bzw. featurebasiert Grobarbeitspläne abzuleiten. Darauf folgend werden die produktionsprozessseitigen Abhängigkeiten zwischen den Features abgebildet und die einzelnen Produktionsprozesse detailliert. In Konsequenz werden die Maschinen festgelegt und die einzelnen Zeiten bestimmt. Anschließend werden auf der Basis der Zeitdaten die Fertigungskosten mittels einer Zuschlagskalkulation berechnet. Falls keine Zeitdaten verfügbar sind, wird auf Kurzkalkulationsformeln verwiesen, die z. B. mit neuronalen Netzen erstellt werden. Somit kann der Konstrukteur die Herstellkosten in Bezug auf Features, Einzelteile

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

oder Baugruppen auswerten. Der von REISCHL (2001) beschriebenen Ausbaustufe von XKIS sind diverse Evolutionsstufen in Form des Kosteninformationssystems (KIS), des featurebasierten Kosteninformationssystems (FEKIS) und XKIS vorhergegangen (SCHAAL 1992; WOLFRAM 1994; STEINER 1996; REISCHL 2001). Alle Ansätze basieren auf CAD-Daten bzw. -Systemen und können demzufolge erst in der Konstruktionsphase eingesetzt werden. Beispielsweise ist es nicht möglich, auf der Grundlage von Skizzen Verfahrensketten zu definieren und zu bewerten.

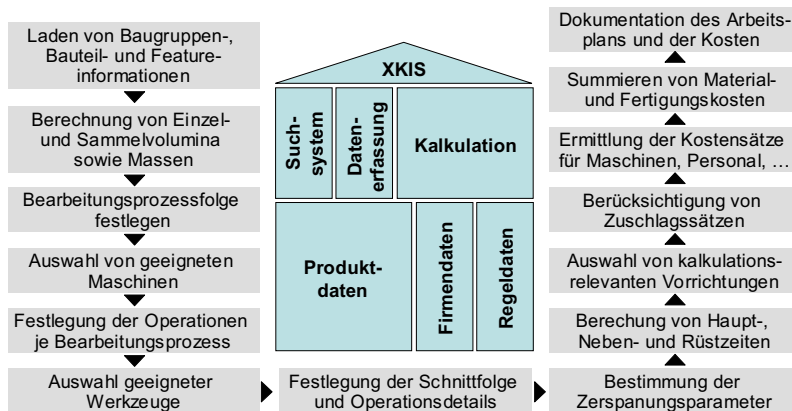


Abbildung 25: Struktur des Softwaresystems XKIS sowie Schritte der Arbeitsplanung und Kostenkalkulation (REISCHL 2001, S. 52 ff.)

Das Rechnerwerkzeug INFOGUSS (HAASIS 1995) repräsentiert einen weiteren feature- und regelbasierten Ansatz zur Ableitung von Grobarbeitsplänen bzw. Prozessplänen für Gussgehäuse. Die Kosten für die Modellbildung und den Gussprozess werden durch parametrische Kostenfunktionen ermittelt, die mit Hilfe einer Regressionsrechnung erzeugt werden. Um die Kostenfunktionen für die Verfahren der mechanischen Bearbeitung anwenden zu können, werden ausgehend von Features und definierten Regeln Prozesspläne erzeugt. Der Ansatz ist ausschließlich auf die Gehäuseproduktion bezogen. Des Weiteren führt die Ableitung von Prozessen über Features und Regeln nur zu einer singulären Lösung. Es wird kein Lösungsraum aufgespannt, innerhalb dessen die geeignete Alternative zu identifizieren und zu konkretisieren ist.

Der Ansatz von KIRITSIS & XIROUCHAKIS (2000) und die Rechnerumsetzung DEVIPLAN verfolgen das Ziel, Arbeitspläne automatisch mittels Petrinetzen für Drehteile und prismatische Teile zu generieren. Hierfür muss zuerst das Produkt tabellarisch und parametrisch beschrieben werden. Es gilt, manuell Fertigungsfeatures mit den Informa-

tionen zum Featuretyp, zu den Abmessungen, zu den Toleranzen und zu den Oberflächeneigenschaften z. B. aus Zeichnungen zu extrahieren. Anschließend findet ein Abgleich zwischen den identifizierten Fertigungsfeatures mit Referenzfeatures aus einer Bibliothek statt. Durch das Hinzufügen von Fertigungsinformationen, wie der Anzahl der Fertigungsoperationen, sowie die Zuordnung von Maschinen und Werkzeugen auf der Grundlage einer weiteren Bibliothek können schlussendlich die Arbeitspläne abgeleitet werden. Basierend auf diesen können über unternehmensspezifisch hinterlegte Stundensätze die Fertigungskosten ermittelt werden. Der Ansatz wurde speziell für Drehteile und prismatische Teile realisiert. Für ein breiteres Anwendungsspektrum muss er erst qualifiziert werden (z. B. durch erweiterte Bibliotheken).

Sonstige Methoden

Im Bereich der sonstigen Methoden werden Ansätze dargestellt, die zwar andere Teilbereiche der Produktionstechnik, wie z. B. die Fabrikplanung, fokussieren, aber trotzdem mögliche Grundlagen für die Bewertung von Produktionsalternativen bzw. Verfahrensketten bieten.

Beispielsweise hat der Arbeitskreis „Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung“ (EWR) des VDI-Fachausschusses „Fabrikplanung“ einen Ansatz präsentiert, der eine Wirtschaftlichkeitsbewertung von Varianten bzw. Ergebnissen der Fabrikplanung zulässt (KOLAKOWSKI ET AL. 2005). Hierfür stellt ein kapitalwertbasiertes Modell (siehe Abschnitt 2.3.5) die Grundlage dar. Zusätzlich zu den monetär quantifizierbaren Faktoren werden auch qualitative (d. h. nicht direkt monetär bewertbare) Faktoren in die Betrachtung einbezogen, um damit eine ganzheitliche Analyse zu ermöglichen. Zur Berechnung des Kapitalwerts wird hinsichtlich der relevanten Auszahlungen (für den Fabrikbetrieb, die Planungsleistungen, die Realisierung und das Anlagevermögen) sowie der Einzahlungen (aus dem Fabrikbetrieb) unterschieden. Für die qualitative Bewertung werden die Kriterien Wandlungsfähigkeit, Transparenz, Mitarbeiter, Produktqualität, Nachhaltigkeit, Einhaltung von Standards, Raum, Kommunikation, Organisation, Zeit und Kooperationsfähigkeit aufgestellt. Der Ansatz von KOLAKOWSKI ET AL. (2005) ist speziell hinsichtlich fabrikplanungsrelevanter Themen entwickelt worden. Eine detaillierte Lösung zur Bewertung und systematischen Gestaltung von einzelnen Produktionsalternativen wird jedoch nicht zur Verfügung gestellt. Vergleichbare, aber anwendungsneutrale Ansätze der erweiterten Wirtschaftlichkeitsanalyse (EWA) schildert ZANGEMEISTER (2000). Es werden diverse mehrstufige Verfahren zur kombinierten Bewertung von monetären und qualitativen Kriterien aufgezeigt.

WITTE ET AL. (2005) stellen ein Rechnerwerkzeug „D³“ vor, mit dessen Hilfe eine wirtschaftliche Bewertung von Produktionssystemen und deren Alternativen ermöglicht

2.3 Methoden und Ansätze der Bewertung

werden soll. Anhand des Rechnerwerkzeugs können verschiedene Wirtschaftlichkeitskennwerte wie Gesamtkosten, Stückkosten, Gewinn, Amortisationszeit, Rentabilität, Kapitalwert oder interner Zinsfuß berechnet werden. Diese Kennwerte können für verschiedene Betriebsmittel-, Produkt- und Arbeitssystem szenarien dargestellt werden. Der Ansatz von „D³“ zielt auf die Optimierung des Gesamtsystems Fabrik und soll die langfristige Wirtschaftlichkeit anstatt vieler diskreter Anpassungen an einzelne Anforderungen ermöglichen. Es wird vermittelt, dass ein frühzeitiger Vergleich von unterschiedlichen Lösungsalternativen eine hohe Bedeutung besitzt, um die entscheidenden „Weichen“ in der Planung zu stellen. Integrative Aspekte zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung sowie die konkrete Ermittlung von Verfahrensketten und deren zeit- und kostentechnische Ausprägung werden nicht behandelt.

Weiterhin wird die Kostenbewertung auf der Grundlage von Analysen mittels Ablaufsimulationssystemen in diversen Arbeiten dargestellt. So beschreibt beispielsweise LORENZEN (1996) die simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen. Auch WUNDERLICH (2002) und BAIER (2002) behandeln Ansätze, bei denen das Rechnerwerkzeug „Ablaufsimulation“ zur Unterstützung der Kostensimulation bzw. -analyse eingesetzt wird. Im Sinne der vorliegenden Arbeit können diese Ansätze allerdings keine Unterstützung bieten, da der Aspekt der Integration zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung keine Beachtung findet.

Aufeinander aufbauende Ansätze mit einer generischen Kostenschätzungsarchitektur stellen LIEBERS (1998) und TEN BRINKE (2002) vor. TEN BRINKE (2002) präsentiert in seiner Arbeit die sechs separaten Methoden- bzw. Rechnerwerkzeugmodule „Kostenmodelle“, „Kostenbestimmung“, „Kostenreports“, „Risikoanalyse“, „Datenanalyse“ und „Datenabgleich“. Auf der Grundlage der Kostenmodelle werden Lösungen angeboten, die eine Entscheidungsunterstützung hinsichtlich unterschiedlicher Ingenieuraufgaben, wie z. B. der Verfahrensauswahl, erlauben. Dadurch wird die Grundlage geschaffen, in verschiedenen zeitlichen Phasen und für die diversen Problemstellungen Kostenbewertungen anzustellen. Es wird aufgezeigt, dass verschiedene Kostenbewertungsansätze und -modelle genutzt werden können, um eine reife Bewertung zu erreichen.

Die reife Bewertung entspricht in der vorliegenden Arbeit einem entwicklungs- und planungsbegleitenden sowie kontinuierlichen Kostenbewertungsprozess, in dem die schrittweise detaillierteren Eingangsinformationen für eine Steigerung der Aussagegenauigkeit der Bewertung genutzt werden. In diesem Zusammenhang wird in der Literatur, wie z. B. bei LINDEMANN & GAHR (2006), teilweise auch von der Kostenverfolgung gesprochen. In dieser Arbeit wird jedoch vorrangig der Begriff der reifenden Kostenbewertung benutzt.

2.3.9 Zusammenfassung

Im Bereich der Kosten- und Leistungsrechnung (Abschnitt 2.3.2) werden die wesentlichen betriebswirtschaftlichen Grundlagen für eine entwicklungs- und planungsbegleitende monetäre Bewertung gelegt. Jedoch wird keine Möglichkeit geboten, produkt- oder produktionsseitige Informationen, wie z. B. Produktgeometrien, in Kostenprognosen zu transformieren. Vielmehr werden Methoden dargeboten, nach deren Berechnungsschemata Plankostenaussagen in Bezug auf die Kostenarten, -stellen und -träger generiert sowie die Voll- und Teilkosten ermittelt werden können. Die Methoden der Prozesskostenrechnung (Abschnitt 2.3.4) bieten hauptsächlich Lösungsansätze für eine verursachungsgerechte Zurechnung der Gemeinkosten zu den Kostenträgern. Somit können beispielsweise durch Planungsabteilungen verursachte Kosten spezifisch auf die geplanten Produkte umgelegt werden. Einen weiteren Baustein, speziell für die Bewertung von Investitionsentscheidungen, repräsentiert die Investitionsrechnung (Abschnitt 2.3.5). Dadurch, dass die Aus- und Einzahlungen über einen definierten Zeitraum ganzheitlich betrachtet werden, kann eine Aussage über die langfristige Vorteilhaftigkeit einer Entscheidung getroffen werden. Den projekthaften Charakter von Entwicklungs- und Planungstätigkeiten sowie das Einhalten geplanter Zielkosten beleuchten die Methoden des Kostenmanagements (Abschnitt 2.3.6). All diese grundlegenden Methoden bilden auch für diese Arbeit die Basis, wobei die verwendeten relevanten Teilelemente im Rahmen der Darstellung der entwickelten Methodik (Kapitel 4) benannt werden. Da nicht alle Fragestellungen ausschließlich mittels monetärer Kennwerte betrachtet werden können, gilt es zusätzlich, qualitative Bewertungsmethoden zu berücksichtigen, die in Abschnitt 2.3.7 vorgestellt wurden.

WELP ET AL. (1998) beschreiben im Zusammenhang mit einer durchgeführten Umfrage, dass die Grundlagenmethoden der KLR eine hohe industrielle Durchdringung aufweisen. Nur 46 % der befragten produzierenden Unternehmen gaben jedoch an, eine entwicklungs- und planungsbegleitende Bewertung oft bzw. regelmäßig vorzunehmen. Die Ansätze hierzu basieren ebenfalls auf den grundlegenden Methoden, allerdings thematisieren diese die Transformation von Produktentwicklungs- und geplanten Produktionsdaten in Kosteninformationen. Teilweise werden die relevanten Produktionsprozesse nicht explizit betrachtet, sondern vielmehr die gesamten zu erwartenden Produktkosten „abgeschätzt“ (z. B. NEFF ET AL. (2000)). Diese Ansätze sind im Rahmen der Arbeit nicht relevant, da keine direkte Beeinflussung der geplanten Verfahrensketten durch Entscheidungen in der Entwicklung und Planung erzielt werden kann. Diejenigen Ansätze, die die Produktionsverfahren bzw. -prozesse in die Betrachtung mit einbeziehen (generativ-analytische Ansätze), bilden adäquate Grundlagen für die vorliegende Arbeit. Da im Zuge der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen die Produkti-

2.4 Gesamtfazit

onsverfahren das Entscheidungsobjekt repräsentieren, ist eine explizite Betrachtung der Verfahren unabdingbar. Es sollten jedoch auch die statistischen und analogiebasierten Ansätze im Rahmen der Arbeit Beachtung finden, da im Bereich der Serien- und Massenproduktion vielfach auch auf „Best Practices“ aus der Vergangenheit (statistisch) und teilweise ähnliche Produkte zurückgegriffen werden kann.

In Bezug auf die rechnerunterstützte Umsetzung der Bewertungsmethoden haben alle Ansätze aus Abschnitt 2.3.8 die Tatsache gemein, dass sie in Form von Prototypen spezifisch realisiert wurden. Insofern ist es ein wesentlicher Mangel, dass die Umsetzung nicht problemlos unternehmensneutral erfolgen kann. Dieser Umstand basiert im Wesentlichen darauf, dass die Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen primär eine methodische Aufgabe ist, die sekundär durch für das jeweilige Unternehmen geeignete Rechnerwerkzeuge zu realisieren ist. Für dieses Defizit hat die vorliegende Arbeit geeignete Antworten zu finden.

2.4 Gesamtfazit

Kapitel 2 lieferte einen Überblick über den Stand der Technik in den Bereichen der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung sowie bezüglich deren monetärer und qualitativer Bewertung. Die Darstellung der Vorgehensweisen der Produktentwicklung und Produktionsplanung (Abschnitt 2.2) bildet für diese Arbeit eine wichtige Grundlage, da die zu entwickelnde Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen in die entsprechenden Unternehmensprozesse voll integrierbar sein muss. Hierzu adressiert Abschnitt 2.2.5 speziell die Ansätze für die Planung von Verfahren bzw. Verfahrensketten in frühen Planungsphasen, wenn keinerlei Detaildaten, wie etwa CAD-Daten, zu Produktkonzepten verfügbar sind. Die Planung von gesamten Verfahrensketten wurde als ein entscheidender Grundgedanke herausgestellt, da es z. B. nach Ansicht von DENKENA ET AL. (2005) nicht mehr ausreichend ist, lokal optimierte Einzelverfahren aneinanderzureihen. Vielmehr ist es die Aufgabe, das Gesamtoptimum für die Verfahrens- und Prozessketten zu finden. Im Zuge der Erarbeitung von Verfahrensketten gilt es, im Vergleich zu den vorgestellten Ansätzen, das bewusste Vorausdenken von alternativen Ketten zu fördern, da somit Verfahrensinnovationen stärker mit einbezogen werden. Je frühzeitiger Verfahrensinnovationen, die monetäre Vorteile mit sich bringen, in die Planung eingebunden werden, umso eher kann ein Wettbewerbsvorteil erreicht werden.

Das Thema „Bewertung von Produktionsalternativen“ weist einen primär monetären Charakter auf, da Entscheidungen vielfach auf einer monetären Grundlage getroffen

werden. Deshalb bot Abschnitt 2.3 eine detaillierte Darstellung der grundlegenden Kosten-/Leistungsrechnungs-, Investitionsrechnungs- sowie Kostenmanagementmethoden. Da jedoch nicht nur monetäre Kriterien bei der Auswahl einer geeigneten Produktionsverfahrenskette eine Rolle spielen, wurden auch qualitative Bewertungsverfahren vorgestellt (Abschnitt 2.3.7). Vertieft wurden diese Themengebiete durch die Erläuterung diverser Ansätze der entwicklungs- und planungsbegleitenden Produkt- und Produktionssystembewertung (Abschnitt 2.3.8).

Letztendlich kann beim gemeinsamen Betrachten der Themenbereiche festgestellt werden, dass die Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen vielschichtige Aufgaben beinhaltet, die nicht voneinander getrennt werden sollten bzw. können. Den Ausgangspunkt stellt immer die Formulierung alternativer Verfahrensketten dar, die es schrittweise zu detaillieren gilt. Über alle Planungsphasen hinweg sind diese zu bewerten, um die nicht-relevanten Lösungen frühzeitig auszuschließen und die relevanten sukzessive zu detaillieren. Speziell die Frage, wann eine Verfahrenskette zu bewerten ist und wie diese Bewertung in die Unternehmensprozesse integriert ist, stellt ein wichtiges Kriterium dar, um die optimale Verfahrenskette zu identifizieren. Wie dieses Kapitel dargestellt hat, existieren viele Partiallösungen zur entwicklungs- und planungsbegleitenden Produktionsplanung und Bewertung von Produktionssystemen. Teilweise besitzen die Bewertungsmethoden eine einheitliche kostenrechnerische Grundlage, wie z. B. den Ressourcenverbrauchsansatz, die Prozesskostenrechnung oder den Maschinenstundensatz. Folglich sind die jeweiligen Ansätze hinsichtlich der betriebswirtschaftlichen Seite geeignet, verschiedene Schwerpunkte wie indirekte oder direkte Leistungsbereiche (vgl. Glossar) bzw. unterschiedliche Einsatzzeitpunkte infolge der benötigten Eingangsinformationen zu bedienen. Für die in Abschnitt 2.3.8 vorgestellten Methoden wurden auch Rechnerwerkzeuge zu deren Umsetzung und Unterstützung entwickelt. Diese vielfach in den 1990er Jahren entwickelten Ansätze stellen zumeist prototypische Rechnerwerkzeuge dar, die teilweise geeignete Lösungen zur generativ-analytischen Verfahrensplanung und -bewertung repräsentieren. Zumeist sind sie aber infolge ihrer rechnerwerkzeugseitigen Speziallösungen nicht an unterschiedliche Unternehmenscharakteristika anpassbar, weshalb sie kaum Durchdringung in der Industrie erreicht haben. Ein Standard hinsichtlich Rechnerwerkzeugen zur entwicklungs- und planungsbegleitenden Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen hat sich noch nicht herauskristallisiert. Es ist auch fraglich, ob sich in Bezug auf die Rechnerwerkzeuge ein Standard bilden kann, da die Bewertungsaufgaben stark von den unternehmensspezifischen Anforderungen abhängen. Die grundsätzliche Struktur und abstrakte Vorgehensweise der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen kann unternehmensneutral dargestellt werden. Die konkrete Umsetzung in Form der Rechnerunterstützung hat jedoch einen unternehmensspezifischen Charakter,

da hier unterschiedliche Voraussetzungen und Rahmenbedingungen existieren. Insofern ist es eine Herausforderung für die vorliegende Arbeit, einen generischen Baukasten für die Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen aufzubauen, der an die entsprechenden Unternehmensspezifika angepasst werden kann. Dies impliziert eine unternehmensspezifische Unterstützung durch Rechnerwerkzeuge, die je nach Rahmenbedingungen und Bedarf einen beliebig hohen Automatisierungsgrad hinsichtlich Planung und Bewertung ermöglicht.

Weiterhin ist festzustellen, dass eine Vielzahl an Ansätzen zur automatisierten Bewertung von Produktkonzepten und zur darauf folgenden vollautomatisierten Ableitung von Verfahren und Verfahrensketten sich bisher im industriellen Umfeld nicht umfassend etablieren konnte. Ein Grund hierfür ist, dass eine automatisierte und starre Verbindung von Produktgestalt und Verfahren eine Integration von neuen Technologien und Innovationen erschweren würde. Außerdem basiert eine Bewertung von Verfahrensketten in der frühen Planungsphase vielfach auf Skizzen und unscharfen Informationen, die noch weit vom Informationsgehalt von z. B. 3D-Geometrien und Features entfernt sind. Insofern wurden im Stand der Technik und auch im Bereich der weiteren Betrachtung featurebasierte Ansätze nicht detailliert mit einbezogen. Deshalb propagiert diese Arbeit den Einsatz von Rechnerwerkzeugen im Sinne der Unterstützung der Kreativität der am Entwicklungs- und Planungsprozess beteiligten Personen. Auf diese Weise sind die Tätigkeiten zur Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen zielgerichtet zu unterstützen, jedoch ist im Wesentlichen die Kreativität des Menschen das zu fördernde Kriterium. Vielfach fehlt es den in Abschnitt 2.3.8 vorgestellten Ansätzen an der pragmatischen Umsetzbarkeit, was sich wiederum in der vielfach mangelnden Durchdringung in der Industrie widerspiegelt. Darum ist die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen ein primär methodisches Thema, das die Aspekte der integrierten Produktentwicklung und Produktionsplanung mit der reifenden multikriteriellen Bewertung zusammenführen soll. Diese Zusammenführung soll in der vorliegenden Arbeit ausreichend gelöst werden.

3 Anforderungen an die Methodik und Konzeption der Methodik

3.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden in Abschnitt 3.2 die konkreten Anforderungen an die Methodik illustriert. Ausgehend von der Zielsetzung der Arbeit (Abschnitt 1.4) und den existierenden Ansätzen hinsichtlich der integrierten Planung und der Bewertung (Kapitel 2) werden die für die Methodikentwicklung relevanten Kriterien zusammengefasst.

Darauf aufbauend beinhaltet Abschnitt 3.3 die Konzeption der Methodik. Hierbei werden die wesentlichen erforderlichen Elemente, wie z. B. Modelle oder Vorgehensbeschreibungen, erläutert, um die in Abschnitt 3.2 postulierten Anforderungen erreichen zu können.

3.2 Anforderungen an die Methodik

3.2.1 Allgemeines

Wie in Abschnitt 1.4 dargestellt wurde, ist es das vorrangige Ziel dieser Arbeit, für die Entwicklung und Planung neuer Produkte bei Serien- und Massenproduzenten eine Methodik zur frühzeitigen Generierung und Identifikation optimaler Produktionsverfahrensketten zur Verfügung zu stellen. Die mit dieser primären Zielsetzung einhergehenden Teilziele (Abbildung 3) korrelieren mit den Anforderungen, die an die Methodik zu stellen sind. Um die Anforderungen zu komplettieren, sind die Erkenntnisse aus der Analyse des Standes der Forschung und Technik in der Anforderungsdefinition zu berücksichtigen.

Abbildung 26 zeigt einen Überblick über die einzelnen Anforderungen der vier wesentlichen Anforderungskategorien im Hinblick auf die vorliegende Arbeit. Im Rahmen der Erarbeitung der Methodik müssen die Anforderungen bezüglich der Integration (Abschnitt 3.2.2), der Kontinuität (Abschnitt 3.2.3), der Abbildung und Nutzung von Wissen (Abschnitt 3.2.4) sowie der Einführung und Anwendung (Abschnitt 3.2.5) erfüllt werden.

3.2 Anforderungen an die Methodik

| integrative Anforderungen | Kontinuitätsanforderungen |
|--|--|
| integrierte Bildung und Auswahl von Verfahrensketten | frühzeitige Bewertung bereits in der Konzeptphase |
| Unterstützung der Kostensensibilität in der PE | kontinuierliche Verfahrenskonkretisierung |
| gesteigerte Einflussmöglichkeit der PP auf die PE | kontinuierliche Bewertung |
| Anforderungen an die Abbildung und Nutzung von Wissen | einführungs- und anwendungsorientierte Anforderungen |
| dynamischer Wissensaufbau inkl. Speicherung | Leitfaden zur Einführung der Methodik |
| Verfügbarmachen von mitarbeitergebundenem Kosten- und Verfahrenswissen | Leitfaden zur Anwendung der Methodik |

Legende: PE – Produktentwicklung; PP – Produktionsplanung

Abbildung 26: Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik

3.2.2 Integrative Anforderungen

Eine wesentliche, übergeordnete Anforderung an die Methodik ist es, die Integration zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung bezüglich der Gestaltung optimaler Produkte und Verfahrensketten zu steigern. Dies ist eine Grundvoraussetzung, um wirtschaftliche Produktionssysteme definieren zu können. Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Erfahrungen in der produzierenden Industrie bescheinigen deutliche Fortschritte hinsichtlich der Integrationsaspekte. Die Produktionsplanung ist jedoch vielfach immer noch primär produktgetrieben. In Konsequenz legt die Produktentwicklung zumeist die Randbedingung für die Produktionsplanung fest und die Produktionsplanung hat relativ geringe Einflussmöglichkeiten hinsichtlich der Produktgestaltung. Im Folgenden sind die einzelnen Partialanforderungen der Methodik in Bezug auf die Integration dargestellt:

Eine Anforderung ist es, die *Bildung von Verfahrensketten und deren Auswahl in integrierten Teams* voranzutreiben. Nur dadurch, dass die Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen in sehr enger Verzahnung von Produktentwicklung und Produktionsplanung erfolgt, können die spezifisch optimalen Verfahren für geplante Produkte erarbeitet werden.

Eine *Unterstützung der Kostensensibilität in der Produktentwicklung* ist ebenfalls als Anforderung zu nennen. Vielfach kann in der Industrie, trotz aller Bestrebungen hinsichtlich einer gesteigerten Integration der Unternehmensbereiche, die Tendenz erkannt

werden, dass die Produktentwicklungsbereiche primär produktfunktionalitätsorientiert agieren. Eine Berücksichtigung produktionstechnischer Aspekte und der damit verbundenen Kosten findet oftmals nicht ausreichend oder zu spät statt. Daher soll in dieser Arbeit ein verstärktes Maß an Kostensensibilität bezüglich produktionstechnischer Konsequenzen durch Entscheidungen in der Produktentwicklung gefördert werden.

Demzufolge spiegeln sich auch Erwartungen an die Methodik hinsichtlich einer *gesteigerten Einflussmöglichkeit der Produktionsplanung auf die Produktentwicklung* wider. Die Produktionsplanung soll aktiv auf die Entwicklung des Produktes einwirken können. Beispielsweise sollen seitens der Produktionsplanung konkrete konstruktionsbezogene Vorschläge eingebracht werden können, die eine Hilfestellung bieten, um produktionstechnisch kritische Punkte zu eliminieren bzw. die Produktionskosten zu reduzieren. Im Rahmen der produkt- und produktionsbezogenen Entscheidungsfindung sollen hierbei sowohl monetäre als auch qualitative Argumente einbezogen werden.

3.2.3 Kontinuitätsanforderungen

Die Methodik soll die Anforderungen hinsichtlich eines kontinuierlichen Planungs- und Bewertungsprozesses in Bezug auf Produktionsalternativen unterstützen. Hierbei steht die Genauigkeit bei der Bewertung von Verfahrensketten in Relation zur Güte der verfügbaren Informationen und zu dem Aufwand, der im Rahmen der Bewertung betrieben wird. Die in diesem Zusammenhang relevanten einzelnen Anforderungen werden nachfolgend beschrieben.

Ein wichtiger Aspekt ist es, eine möglichst *frühzeitige Bewertung der Kosten in Bezug auf die Verfahrensketten bereits in der Konzeptphase* der Produktentwicklung zu ermöglichen. Es ist hinlänglich bekannt, dass Kosten bereits in frühen Entwicklungs- und Planungsphasen festgelegt werden (bis zu ca. 70 %), sich aber erst in späten Phasen auswirken. Demgegenüber entstehen nur ca. 5 % der Kosten in der frühen Produktentwicklung (EHRENSPIEL 2003, S. 582). Infolge dieser Kostenverursachungs- und Kostenentstehungsdivergenz ist es eine Anforderung an die Methodik, die Bewertung der Produktionsalternativen bereits im Konzeptstadium der Produktentwicklung und Produktionsplanung zu ermöglichen, um rechtzeitig Einfluss auf die kostenrelevanten Parameter zu nehmen. In frühen Entwicklungs- und Planungsphasen, in denen nur unscharfe Informationen über das Produkt (z. B. Skizzen) und das Produktionssystem (z. B. aktuell existierende Verfahren) verfügbar sind sowie noch viele unterschiedliche Alternativen zu bewerten sind, darf deren Bewertung keinen hohen Aufwand verursachen. Außerdem soll in den frühen Phasen mit relativ geringem Zeitaufwand ein maximaler Umfang an sinnvollen Alternativen in Betracht gezogen werden können, um die

3.2 Anforderungen an die Methodik

wirtschaftlichen Alternativen vorzuselektieren. Im Zuge des geforderten geringen Bewertungsaufwands muss hier mit einer relativ geringen Bewertungsgenauigkeit gerechnet werden, was infolge der unscharfen Eingangsinformationen akzeptabel ist. Im Rahmen der Bewertung von Produktionsalternativen müssen sowohl monetäre als auch weitere quantitative (z. B. Prozesssicherheitskennwerte) und qualitative Aspekte (z. B. Innovationsgrad von neuen Technologien und damit verbundene Alleinstellungsmerkmale) berücksichtigt werden.

Da über eine frühe Bewertung der Planungsergebnisse eine grobe Vorauswahl erreicht wird, soll entlang der Planungsphase bzw. der Anwendung der Methodik eine *kontinuierliche Verfahrenskonkretisierung* unterstützt werden. Im Verlauf der Produktentwicklungs- und Planungsphasen nimmt die Konkretisierung der verfügbaren Informationen zu. Die Schritt für Schritt konkreteren Informationen sollen genutzt werden, um den Detaillierungsgrad der Verfahrensausprägungen zu steigern und Grobarbeitspläne zu erzeugen. Nach einer Identifikation der maßgeblichen Verfahren in frühen Phasen gilt es, die Basis für die Detaillierung zu betriebsmittelspezifischen Produktionsprozessen bzw. Produktionsprozessketten zu schaffen.

Analog zur kontinuierlichen Verfahrenskonkretisierung hat die Methodik parallel eine *kontinuierliche Bewertung* der Lösungsalternativen zu unterstützen, da die Bewertung von Produktionsalternativen keinen diskreten Vorgang darstellt. Die in frühen Phasen initiierte Erstbewertung soll über alle weiteren Phasen hinweg weitergeführt bzw. detailliert werden, um eine reife Bewertung zu ermöglichen. In frühen Phasen sollen mit einem relativ geringen Zeitaufwand und auf der Grundlage der wenigen verfügbaren Informationen erste Aussagen hinsichtlich der Entscheidung erzeugt werden. Im Verlauf der Entwicklungs- und Planungstätigkeiten soll der gesteigerte Grad der verfügbaren Informationen bezüglich Produkt und Produktionsalternativen permanent mit in die Bewertung eingebracht werden, um deren Aussagegehalt und Genauigkeit zu steigern. Diese kontinuierliche Vorgehensweise soll die Identifikation der wirtschaftlich optimalen Produktionsalternative ermöglichen. Somit soll der maximale Lösungsraum schrittweise auf das sinnvolle und relevante Maß reduziert werden.

3.2.4 Anforderungen an die Abbildung und Nutzung von Wissen

Eine wichtige Anforderung an die Methodik ist es, dass im Rahmen der Bewertung vor allem neue Technologien und deren Integration in das Produktionssystem gefördert werden. Beispielsweise SPECHT ET AL. (2003) beschreiben, dass neue Technologien die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen beeinflussen. Die Methodik soll geeignete Werkzeuge für ein effizientes und effektives Verfahrenswissensmanagement zur Verfü-

gung stellen, das Hinweise impliziert, welche Produktionsverfahren unter welchen Randbedingungen sinnvoll eingesetzt werden können. Um ein optimales Management von Wissen zu allen wesentlichen Verfahren zu ermöglichen und dieses für die Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen qualifizieren zu können, sind die folgenden zwei Anforderungen von Relevanz. Generell sollen hierfür sowohl rechnerunabhängige als auch rechnerunterstützte Möglichkeiten in die Betrachtung mit einbezogen werden.

Um eine standardisierte und mitarbeiterunabhängige Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen zu ermöglichen, ist das *Verfügbarmachen von mitarbeitergebundenem Verfahrens- und Kostenwissen* ein Anforderungskriterium. Die Methodik muss ein Rahmenkonzept bieten, das es erlaubt, Produktionswissen zu erfassen, zu verwalten und zu verteilen. Folglich müssen Wissen bzw. monetäre, qualitative und beschreibende Informationen gezielt abgelegt und wieder verfügbar gemacht werden. Dadurch soll auch Wissen hinsichtlich „Best Practice“-Lösungen für neue Planungstätigkeiten dargeboten werden.

Da das beschriebene Wissen nicht zu einem diskreten Zeitpunkt erfasst werden kann und anschließend unendlich lange gültig ist, muss zusätzlich ein *dynamischer Wissensaufbau inklusive Speicherung* durch die Methodik unterstützt werden. Hierdurch sollen auch die Potenziale neuer Technologien gefördert werden, da Informationen zu diesen kontinuierlich zu recherchieren und in die Wissensbasis einzupflegen sind. Es sind Vorgehensweisen zu definieren, die auch künftige bzw. sich in der Entwicklung befindliche Technologien in die Planung der Verfahrensketten einbeziehen.

3.2.5 Einführungs- und anwendungsorientierte Anforderungen

Diese Arbeit soll im Vergleich zu den bisherigen Ansätzen nicht nur einen Leitfaden bieten, wie die Methodik einzusetzen ist, sondern auch eine Systematik beinhalten, wie diese eingeführt werden kann. Die Methodik soll unternehmensneutral gestaltet sein, um sie in allen Unternehmen der Serien- und Massenproduktion einsetzen zu können. Deshalb werden die folgenden einführungs- und anwendungsorientierten Anforderungen an die Methodik gestellt. In Anlehnung an GRUNWALD (2002) sind Prozessbausteine für die entwicklungs- und planungsbegeleitende Bewertung von Produktionsalternativen sowie ein Leitfaden zur Einführung zu definieren. Die Prozessbausteine sollen als Modellierungsmethode für Geschäftsprozesse angewendet werden, da sie als eine unternehmensneutrale Darstellungsform von Vorgehensweisen qualifiziert und validiert sind (vgl. Abschnitt 2.2.4).

3.2 Anforderungen an die Methodik

Durch einen systematischen *Leitfaden zur Einführung der Methodik* ist ein möglichst geringer Implementierungsaufwand zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang sollen Hinweise zur Verfügung gestellt werden, welche Voraussetzungen im Unternehmen – z. B. das Vorhandensein von Informationen – gegeben sein müssen, um die Einführung der Methodik initiieren zu können. In diesem Zusammenhang sollen auch Vorgehensweisen aufgezeigt werden, wie und in welcher Form die erforderlichen Informationen zu generieren bzw. aufzubereiten sind. Des Weiteren ist auf den Aspekt der Softwareunterstützung der Methodik einzugehen. In diesem Zusammenhang soll kein exemplarisches Rechnerwerkzeug programmiert werden, sondern vielmehr ein Leitfaden dargeboten werden, der eine unternehmensspezifische Umsetzung der Methodik in Form eines Softwaresystems erlaubt. Vor dem Hintergrund, dass die Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen ein unternehmensspezifisches und methodisches Thema ist, ist dieser Aspekt von essenzieller Bedeutung.

Um die Methodik kontinuierlich und reproduzierbar im Unternehmen anwenden zu können, muss dem Nutzer ein *Leitfaden zur Anwendung der Methodik* an die Hand gegeben werden. Es ist ein methodisches Vorgehen von der Definition der Produktgestalt über die Planung der Verfahrensketten bis hin zur systematischen Bewertung dieser zu erarbeiten. In diesem Zusammenhang sind die aufbau- und ablauforganisatorischen Rahmenbedingungen für eine systematische Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen in Form von Prozessbausteinen festzulegen. Hierbei müssen funktionale, aufbauorganisatorische und ablauforganisatorische Kriterien berücksichtigt werden, um die Anwendung der Methodik vollständig zu dokumentieren. Weiterhin ist darauf zu achten, den Leitfaden zur Anwendung der Methodik produkt- und unternehmensneutral zu gestalten, damit im Rahmen von unternehmensspezifischen Anpassungen ein breites Spektrum an Unternehmen abgedeckt werden kann. Außerdem soll durch die effiziente prozessorientierte Definition und Ausgestaltung der Methodik in Form des Leitfadens der zeitliche Aufwand zur Identifikation optimaler Verfahrensketten reduziert werden. Im Vergleich zu den bisher vielfach üblichen informellen Tätigkeiten zur Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen (z. B. unorganisierte Besprechungen ohne quantifizierte Resultate) soll insgesamt eine Zeiteinsparung in der Produktentwicklung und Produktionsplanung bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Qualität der Ergebnisse erreicht werden. Durch diese Maßnahmen soll die Grundlage für ein günstiges Nutzen/Aufwand-Verhältnis bei der Anwendung der Methodik erreicht werden.

3.3 Konzeption der Methodik

In diesem Abschnitt soll der Aufbau der in Kapitel 4 dargestellten Methodik entwickelt werden. Diese wird so konzipiert, dass die postulierten Anforderungen (Abschnitt 3.2) sowie die in Abschnitt 1.4 formulierte Zielsetzung erreicht werden können. Abbildung 27 zeigt die diversen erforderlichen Teilelemente der Methodik.

Im Zentrum der Betrachtung stehen die einzelnen Modelle, die zur entwicklungs- und planungsbegleitenden Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen notwendig sind. Hierzu zählt das Modell zur Abbildung von Wissen über Produktionsverfahren. Dieses Modell soll einen Rahmen bieten, um das gezielte Ablegen und Wiederfinden von monetären, quantitativen, qualitativen und beschreibenden Informationen zu den Verfahren zu ermöglichen. Eine Ergänzung hierzu repräsentiert das Modell zur Berücksichtigung der Interdependenzen und Alternativen. Hierbei bezieht sich der Begriff der Interdependenzen auf die Beziehungen zwischen Produktelementen und Produktionsverfahren sowie zwischen den Produktionsverfahren selbst. Außerdem sollen Verfahrensalternativen zur Herstellung bestimmter Produktelemente in diesem Modell abgebildet werden können, um so die gesamte mögliche Bandbreite an Verfahren und eventuelle Verfahrensinnovationen einbinden zu können.

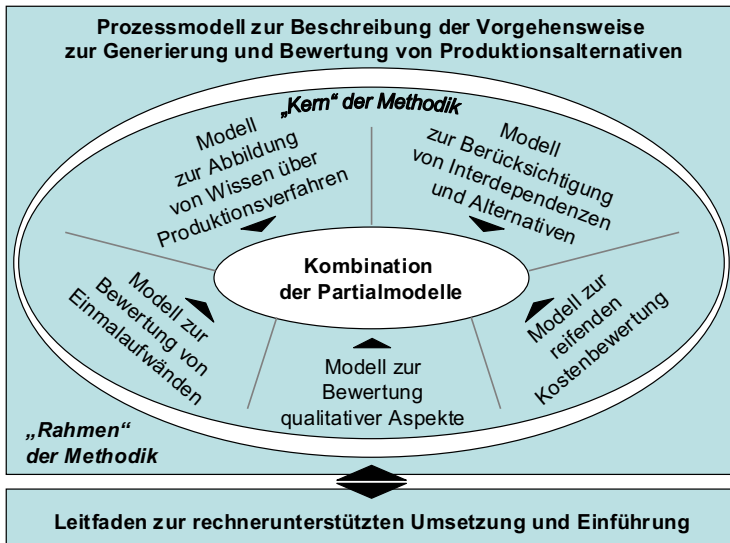


Abbildung 27: Konzeption der im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten Methodik

3.3 Konzeption der Methodik

Des Weiteren sind alle monetären, bei der Produktionsplanung entscheidungsrelevanten Aspekte in Form des Modells zur reifenden Kostenbewertung zu berücksichtigen. Dadurch sollen die Fertigungskosten verursachungsgerecht festgestellt werden können. Da nicht alle Kriterien bei der Planung von Verfahrensketten monetär bewertet werden können und möglicherweise qualitative Kriterien die Entscheidung hinsichtlich einer Verfahrenskette beeinflussen können, gilt es, ein Modell für die Berücksichtigung qualitativer Aspekte zu entwickeln und in die Methodik zu integrieren.

Vor allem bezüglich konkurrierender Verfahrensketten, die stark unterschiedliche Ausprägungen im Bereich der Einmalkosten, wie z. B. Maschineninvestitionen oder Planungsaufwände, verursachen, müssen Bewertungsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt werden, um die Einmalkosteneinflüsse zu berücksichtigen. Hierzu soll das Modell zur Bewertung von Einmalaufwänden dienen.

Letztendlich ist es die Hauptaufgabe der Arbeit, diese verschiedenen Teilmodelle zu einer ganzheitlichen Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen zu kombinieren. Das Resultat muss ein durchgängiges Prozessmodell sein, das über den gesamten Verlauf der Entwicklungs- und Planungsphasen verwendet werden kann. Auf diese Weise mündet die Kombination der Partialmodelle in einer prozessorientierten, ablauf- und aufbauorganisatorischen Beschreibung der Vorgehensweise in Bezug auf die Methodik.

Außerdem wird die Definition der Methodik um umsetzungs- und einführungsorientierte Aspekte ergänzt. Hierzu soll in Form eines Leitfadens ein Vorgehensmodell zur rechnerunterstützten Einführung und Umsetzung zur Verfügung gestellt werden. Dieser soll beispielsweise beschreiben, durch welche Art von Rechnerwerkzeugen bei welchen unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen eine sinnvolle Unterstützung geboten wird.

4 Einführung der Methodik

4.1 Allgemeines

In diesem Kapitel sollen schrittweise die erforderlichen Teilelemente und deren Zusammenwirken für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen dargestellt werden. Die zu entwickelnde Methodik konzentriert sich auf Produktionssysteme im Rahmen der Serien- und Massenproduktion, wobei der Aspekt der Neuplanung von Verfahrensketten in Wechselwirkung mit der Produktentwicklung im Zentrum der Betrachtung steht. Die Vorteile der Prinzipien *Ähnlichkeits-* und *Variantenplanung* sollen so weit wie möglich genutzt werden, da auch die Erfahrungen aus so genannten „Best Practices“ genutzt werden sollen. Die Verfahrenskettenplanung in Bezug auf neue Produkte soll an ähnliche, existierende Teile angelehnt werden können, um verfügbares Produktionswissen sinnvoll nutzen zu können. Hierzu ist es von essenzieller Bedeutung, das Produktspektrum eines Serien- und Massenproduzenten geeignet zu klassifizieren bzw. zu strukturieren. Damit kann das existierende Verfahrenswissen bei der Planung neuer Verfahrensketten für neue Produkte verfügbar gemacht werden. Des Weiteren ist es ein Partialziel der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen, auf der Grundlage von quantitativen bzw. monetären sowie qualitativen Kriterien die optimalen Verfahrensketten zu identifizieren. Im Speziellen sollen Verfahrensinnovationen und die damit verbundenen Potenziale im Rahmen der Produktion in die kontinuierliche Bewertung einbezogen werden.

In diesem Zusammenhang werden in Abschnitt 4.2 die erforderlichen Partialmodelle der Generierung und Bewertung eingeführt. Die Verbindung dieser Partialmodelle und deren Zusammenwirken wird in Abschnitt 4.3 dargestellt. Die ganzheitliche Vorgehensweise mit ihren ablauf- und aufbauorganisatorischen Aspekten wird in Abschnitt 4.4 veranschaulicht. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 4.5 umsetzungs- und einführungsorientierte Aspekte – insbesondere die Unterstützung durch Rechnerwerkzeuge – adressiert. Das Resultat ist ein Leitfaden zur systematischen Einführung und Umsetzung der rechnerunterstützten Methodik, bevor Abschnitt 4.6 eine Zusammenfassung des Kapitels bietet.

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

4.2.1 Allgemeines

Die Abschnitte 4.2.2 bis 4.2.6 beschreiben die einzelnen für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung erforderlichen Partialmodelle. Im Einzelnen werden das Modell zur Abbildung von Wissen über Produktionsverfahren (Abschnitt 4.2.2), das Modell zur Berücksichtigung von Interdependenzen, das ressourcen- und produktionsverfahrenorientierte Modell zur reifenden Kostenbewertung (Abschnitt 4.2.4), das Modell zur Bewertung qualitativer Aspekte (Abschnitt 4.2.5) und das Modell zur Bewertung von Einmalaufwänden (Abschnitt 4.2.6) eingeführt. Darauf aufbauend wird in Abschnitt 4.3 dargestellt, wie diese im Sinne der ganzheitlichen Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen verbunden werden.

4.2.2 Modell zur Abbildung von Wissen über Produktionsverfahren

Die Hauptaufgabe des Modells zur Abbildung von Wissen über Produktionsverfahren ist es, für die Produktentwicklung und Produktionsplanung relevantes Wissen verfügbar zu machen (Abschnitt 1.5.6). Wissen gilt mittlerweile als ein Produktionsfaktor und eine erfolgsentscheidende Einflussgröße für die Zukunft von Industrieunternehmen (EVERSHEIM 2001; BULLINGER ET AL. 2006). Dies bedeutet, dass die Voraussetzungen für einen effektiven und effizienten Umgang mit Wissen – z. B. nach HANEL (2001) oder PROBST ET AL. (2006) – geschaffen werden müssen, um relevante Informationen definiert erzeugen, speichern, verteilen und anwenden zu können. Hierfür soll ein Modell in Form eines Baukastensystems für Wissen aufgebaut werden. Durch das hinterlegte Wissen soll die Bewertung, Auswahl und Konkretisierung von Produktionsverfahren sowie die Detaillierung und Optimierung von Produkten maßgeblich unterstützt werden. Insbesondere ist es essenziell, das bei den Mitarbeitern in der Produktentwicklung und der Produktionsplanung verfügbare Wissen transparent darzustellen und in der Struktur des Modells zu bündeln, um es für künftige Entwicklungs- und Planungsaufgaben nutzbar zu machen. Informationstechnisch kann dieses Modell z. B. in einer Datenbank abgelegt werden. Eine prototyphafte Umsetzung wird in Abschnitt 5.3 beschrieben.

Der Ansatz zur Abbildung von Produktionsverfahren basiert darauf, dass jedes Produktionssystem elementare Produktionsverfahren umfasst, die mit konkreten Betriebsmitteln ausgeführt werden. Der Grundgedanke besteht darin, diese elementaren Produktionsverfahren mit entwicklungs- und planungsrelevanten Informationen zu verknüpfen.

Hierzu ist es in einem ersten Schritt erforderlich, eine Struktur zu definieren, die ein gezieltes und reproduzierbares Ablegen und Wiederfinden von Informationen erlaubt. Normen wie die DIN 8580 (2003) (Fertigungsverfahren), die DIN 8593 (Fügen) oder die VDI RICHTLINIE 2860 (1990) (Montage und Handhaben) bzw. deren zugrunde liegenden Strukturbäume können für diesen Zweck genutzt werden (Abbildung 28), da sie in vielen Unternehmen bekannt und akzeptiert sind. Die abgebildeten Hierarchien erlauben es, die elementaren Produktionsverfahren in den untersten Ebenen – z. B. unter thermischem Abtragen mit elektrischen Funken (Abbildung 28) – einzugliedern und an dieser Stelle eine Anbindung von Entwicklungs- und Planungswissen zu tätigen. Die damit verbundenen Informationen gilt es, im spezifizierten Strukturmodell bzw. in potenziellen Datenbanken gezielt abzulagen.

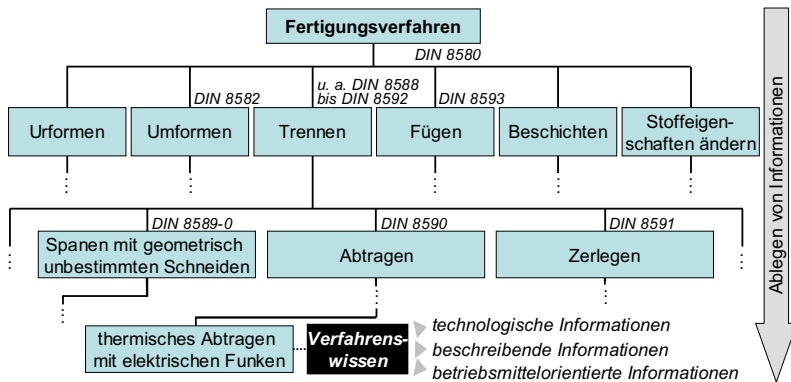


Abbildung 28: Strukturierungsansatz zur Abbildung und Nutzung von Wissen über Produktionsverfahren

Bei einer firmenspezifischen Umsetzung der Methodik sind diese Strukturbäume in Anlehnung an die DIN-Normen und/oder VDI-Richtlinien zumeist an die Rahmenbedingungen des Unternehmens anzupassen. Nur so kann sichergestellt werden, dass der Strukturierungsansatz die betriebliche Realität abbildet und damit die Identifikation der Mitarbeiter mit diesem gewährleistet ist. Des Weiteren können die elementaren Produktionsverfahren auf der Basis dieser Strukturierung mit den relevanten Informationen für die Produktentwicklung und Produktionsplanung verknüpft werden.

Zur Strukturierung der Informationen zu Produktionsverfahren bei Planungsaufgaben werden folgende drei Grundarten gebildet (vgl. Abbildung 28):

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

- technologische Informationen, wie z. B. zulässige Geometrien für den Eingangszustand bzw. erzielbare Ausgangsgeometrien des Verfahrens
- beschreibende Informationen, wie z. B. die textuelle Beschreibungen zur Ausführung des Verfahrens
- verfahrensrelevante, betriebsmittelorientierte Informationen, wie z. B. Leistungskennwerte

Durch diese Grundarten der relevanten Informationen lässt sich eine Referenzinformationsstruktur zu den diversen Produktionsverfahren ableiten. Abbildung 29 zeigt eine Referenzinformationsstruktur für technologische Informationen, welche die verfahrens- bzw. technologielevanten Parameter und Charakteristika repräsentiert. Die Referenzinformationsstruktur in Form des Entity-Relationship-Diagramms ist an das generische Modell von KNOCHEN (2005) zur Beschreibung von Fertigungstechnologien angelehnt.

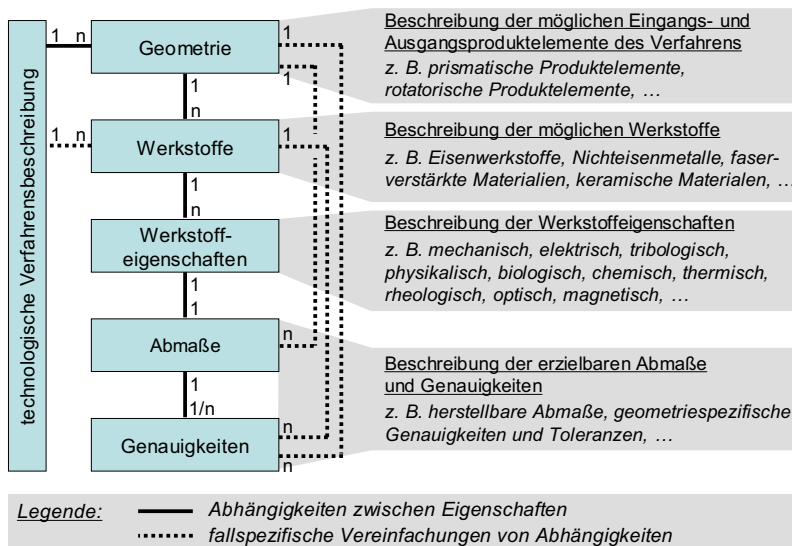


Abbildung 29: Referenzinformationsstruktur für die Abbildung von technologischen Informationen (in Anlehnung an KNOCHEN (2005, S. 107))

Abbildung 29 veranschaulicht die wesentlichen Informationen zur technologieorientierten Verfahrensbeschreibung. Es ist ersichtlich, dass die verschiedenen beschriebenen Elemente untereinander Abhängigkeiten aufweisen und damit nicht getrennt voneinander betrachtet werden können. Ein Beschreibungselement sind die Geometrien eines

bzw. mehrerer Werkstücke (Fertigung bzw. Montage), die als Eingangsgröße verarbeitet und als Ausgangsgröße erzeugt werden können. Der Unterschied zwischen den Ein- und Ausgangsgrößen beschreibt die Zustandsänderung eines Bauteils oder einer Baugruppe, die ein Verfahren bewirkt (vgl. integriertes Produktions-Prozessmodell (IPPM) von AURICH ET AL. (2005)). Eine geeignete Beschreibungsmöglichkeit hinsichtlich Geometrien in Form einer generischen Beschreibung von Produktelementen bieten z. B. OWODUNNI ET AL. (2002). Des Weiteren wird die Anwendung eines Verfahrens maßgeblich durch die Werkstoffe und deren Eigenschaften bestimmt, wobei bezüglich der Werkstoffeigenschaften ebenfalls zwischen Eingangs- und Ausgangszustand im Rahmen der Verfahrensanwendung zu unterscheiden ist (z. B. Gefügeänderung bei der Wärmebehandlung). Um Verfahren zielgerichtet auswählen zu können, sind außerdem Informationen zu den maximal bearbeitbaren Abmaßen und zu den herstellbaren Genauigkeiten/Toleranzen erforderlich. Diese Informationen sind vollständig neutral für die jeweiligen Verfahren zu erfassen und abzubilden. Neutral bedeutet in diesem Fall die Unabhängigkeit von spezifischen Betriebsmitteln und Produktausprägungen.

Damit die geeigneten Verfahrensalternativen zielgerichtet ausgewählt werden können, ist zusätzlich zu den technologischen Informationen eine Abbildung weiterer beschreibender, teilweise nicht quantifizierbarer Informationen erforderlich. Es werden vorrangig textuelle Beschreibungen zu den Produktionsverfahren erfasst, da diese Informationen vielfach nicht parameterorientiert darstellbar sind. Hierfür bietet Abbildung 30 eine Referenzinformationsstruktur. Bei der Anwendung in der betrieblichen Praxis ist diese Informationsstruktur gemäß den unternehmensspezifischen Randbedingungen und Bedürfnissen anzupassen.

Die diversen Informationsarten in Abbildung 30 werden nicht im Einzelnen erläutert, da sie exemplarischen Charakter haben. Generell wird durch diese das Ziel verfolgt, die Verfahren umfassend zu beschreiben. Folglich wird nicht auf die betriebsmittelspezifischen Ausprägungen der Verfahren eingegangen, sondern deren betriebsmittelneutrale Eigenschaften werden dargestellt. Auch die zeitlichen und monetären Aspekte haben auf dieser Betrachtungsebene einen allgemeinen, betriebsmittelneutralen Charakter. Dieser neutrale Charakter hat sowohl für die Aspekte der technologischen (Abbildung 29) als auch für die ergänzenden Verfahrensbeschreibungen (Abbildung 30) Gültigkeit. Die neutrale Beschreibung ist essenziell, da in der frühen Entwicklungsphase eine Planung auf der Grundlage von detaillierten Betriebsmitteln nicht zielführend ist und vielmehr allgemeine Verfahrenscharakteristika für deren Auswahl entscheidend sind. Soweit die Verfahren bzw. deren beschreibende Informationsarten – z. B. in Bezug auf die Genauigkeiten oder die Verfahrensausschlusskriterien – keine diskreten Ausprägungen besitzen, sind Intervalle oder Bereiche anzugeben. Dies gilt besonders für die Informa-

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

tionen zu zeitlichen und monetären Aspekten, da diese i. d. R. von der Auswahl der Betriebsmittel abhängen. Dennoch soll an dieser Stelle die gesamte Bandbreite hinsichtlich der einzelnen Verfahrensaspekte dargestellt werden.



Abbildung 30: Referenzinformationsstruktur für die Abbildung von beschreibenden Informationen

Die bisher beschriebenen Referenzinformationsstrukturen bzw. deren Ausführungen sind den Elementen der untersten Ebene der Verfahrensstruktur (Abbildung 28) hinterlegt. Im Zuge der frühen Entwicklungs- und Planungsphasen sind dadurch entscheidungsrelevante Informationen verfügbar. Da die Arbeit jedoch auch den Anspruch der Förderung der Kontinuität im Bereich der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen verfolgt, gilt es, Informationen zu den möglichen verfahrensausführenden Betriebsmitteln innerhalb der Informationsstrukturen zu integrieren. In der frühen Entwicklungs- und Planungsphase ist es erforderlich, auf die technologischen und beschreibenden Verfahrensinformationen zugreifen zu können. Im Verlauf der Entwicklung und Planung ist es zunehmend von Relevanz, die allgemeinen Verfahren mit konkreten Betriebsmitteln zu spezifizieren. Dieser Vorgang stellt auch den Übergang von

der Planung von Verfahren zur Planung von Prozessen dar. Dieser Bereich ist kein Kernbereich der vorliegenden Arbeit, jedoch soll die Hinterlegung von betriebsmittel-spezifischen Informationen die Schnittstelle zur Prozessplanung bilden. Bei eventuellen Abweichungen werden die betriebsmittelspezifischen Informationen zu den verfahren-spezifischen Informationen ergänzt. Dies kann etwa erforderlich sein, wenn mit einem Verfahren beispielsweise Bauteile mit engeren Toleranzen hergestellt werden können, als dies ein spezielles Betriebsmittel zu leisten im Stande ist. Diese bereits dargestellten Informationen sind um weitere betriebsmittelrelevante Informationen (vgl. MORYSON (2004)), wie in Abbildung 31 ersichtlich, zu erweitern.



Abbildung 31: Referenzinformationsstruktur für die Abbildung von betriebsmittelspezifischen Informationen (in Anlehnung an MORYSON (2004, S. 129 ff.))

Zusammenfassend sind somit die Strukturen und Rahmenbedingungen für die Tätigkeiten der entwicklungs- und planungsbegleitenden Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen geschaffen. Das Modell zur Abbildung von Wissen über Produktionsverfahren ist lösungsneutral. In welcher Art und Weise diese unterschiedlichen Arten und Kategorien der Strukturen umgesetzt werden, wird hiermit nicht festgelegt. Beispielsweise kann eine Umsetzung in Form von spezifisch gestalteten Datenbanken in Kombination mit einem Dokumentenmanagementsystem erfolgen.

Von entscheidender Bedeutung sind jedoch die Nutzungs- bzw. Auswertungsmöglichkeiten der hinterlegten Informationen. Um das kontinuierliche Reifen des Planungsprozesses zu unterstützen, sollen unterschiedliche Auswertungsmöglichkeiten der Wissensbasis gegeben sein. Diese werden in Verbindung mit Abbildung 32 veranschaulicht. In Bezug auf die Auswertung fällt dem Strukturierungsgedanken eine entscheidende Bedeutung zu. Sind beispielsweise infolge einer frühen Phase nur vage Planungsinformationen verfügbar, so ist es erforderlich, die relevanten Verfahren top-down innerhalb der

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

Strukturierung der Produktionsverfahren zu spezifizieren bzw. auszuwählen. In diesem Zusammenhang muss die Möglichkeit bestehen, aggregierte Informationen aus dem Wissensbestand auszulesen. In späteren Planungsphasen, wenn der Übergang von der betriebsmittelneutralen zur -spezifischen Planung erfolgt, muss differenziert werden, ob bereits spezifische Betriebsmittel oder infolge früher Planungsphasen nur Betriebsmittelgruppen adressiert werden können. Für den Fall, dass nur Betriebsmittelgruppen identifiziert werden können, muss ein Zugriff auf eine Summe von Elementen (Betriebsmitteln) und z. B. die resultierenden Mittel-, Minimal- oder Maximalwerte der hinterlegten Kennzahlen ermöglicht werden. Die Möglichkeit der Nutzung dieser Informationen (z. B. durchschnittliche Verfahrenszeiten) bezieht sich nur auf die numerischen Informationen der verschiedenen Informationsarten. Der Aspekt der Nutzung von Zeitdaten wird in Abschnitt 4.2.4 vertieft.

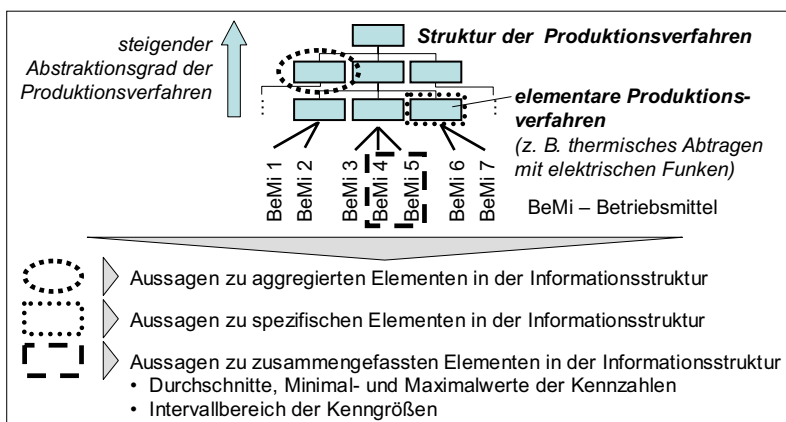


Abbildung 32: Mögliche Auswertungsarten hinsichtlich der hinterlegten Informationen

Das Modell für die Abbildung von Wissen zu den Produktionsverfahren soll entscheidungsrelevantes Wissen repräsentieren. Auf diese Weise soll die Vergleichbarkeit von Verfahren sichergestellt werden.

4.2.3 Modell zur Abbildung von Interdependenzen und Alternativen

4.2.3.1 Allgemeines

In den nachfolgenden beiden Abschnitten werden die zwei verschiedenen Hauptkategorien an Wechselwirkungen dargestellt. Zum einen behandelt Abschnitt 4.2.3.2 eine

Abbildungsmöglichkeit zwischen Produkt- und Verfahrenswechselwirkungen. Zum anderen werden in Abschnitt 4.2.3.3 Möglichkeiten dargestellt, wie die unterschiedlichen Produktionsverfahren in einem Unternehmen in Beziehung zueinander gesetzt und für eine kontinuierlich reifende Bewertung genutzt werden können. Außerdem sollen durch das Modell zur Repräsentation der Interdependenzen auch die Verfahrensalternativen zur Herstellung eines Produkts bzw. einzelner Elemente dargestellt werden. Diese Aspekte sind wesentliche Bestandteile bzw. notwendige Voraussetzungen, um eine entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen zu ermöglichen.

4.2.3.2 Abbildung von Relationen zwischen Produkt und Produktionsverfahren

Um im Zuge der Produktentwicklung und Produktionsplanung eine reaktionsschnelle Generierung und damit unverzügliche Bewertung von Produktionsalternativen zu ermöglichen, ist es unumgänglich, die Relationen zwischen Produkten und Verfahren darzustellen. Durch diesen Ansatz soll das diesbezügliche Wissen eines Unternehmens erfasst und gespeichert werden. Außerdem soll dokumentiert werden, mittels welcher Produktionsverfahren Produkte realisiert werden können. Eine entscheidende Komponente ist hierbei die Berücksichtigung neuer Technologien, um innovative Verfahrensketten planen zu können. Deshalb ist es von großer Bedeutung, dass die nachfolgend dargestellte Wissensrepräsentation keinen langfristig statischen Zustand darstellt, sondern permanent hinsichtlich der Entwicklung neuer Technologien zu aktualisieren ist.

Zum Zweck einer sinnvollen Zuordnung von Produkten und Verfahren muss das Produktspektrum in einem Unternehmen strukturiert und dokumentiert werden. Hierfür sind bei einem Serienhersteller Produktklassen zu definieren. Eine Produktklasse ist in dieser Arbeit so definiert, dass sie Produkte beinhaltet, die

- einen gleichen/ähnlichen Funktionszweck erfüllen (z. B. Abbremsen von Nutzfahrzeugen),
- einer gleichen/ähnlichen Beanspruchung unterliegen (z B. bestimmtes Tonnagenintervall von Nutzfahrzeugen) sowie
- eine geometrische und wirkprinziporientierte Ähnlichkeit (z. B. mechanisches Sattelbremsenkonzept)

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

aufweisen. Damit lehnt sich die Vorgehensweise zur Klassifizierung des Produktspektrums an die Arbeiten von OPITZ (1966) oder die Beschreibungen von GÖTTKER (1990) an. Für eine nähere Betrachtung sei auf diese Arbeiten verwiesen.

Um eine sinnvolle Zuordnung der Verfahren zu ermöglichen, sind die Produktklassen und die ihnen zugrunde liegenden Produkte entsprechend ihrer Maximalausprägung nach Produktfunktionen, -elementen und -subelementen zu strukturieren und zu beschreiben (Abbildung 33). Die Und- bzw. Oder-Verknüpfungen zwischen den jeweiligen Funktionen und Elementen sind hierbei zu berücksichtigen. Ebenso ist die Tiefe der hierarchischen Strukturierung gemäß der darzustellenden Produktklasse zu wählen. Je nach Art der IT-Unterstützung im Unternehmen bzw. dem Grad der Standardisierung kann die Struktur der Produktklassen z. B. aus PDM-Systemen abgeleitet werden.

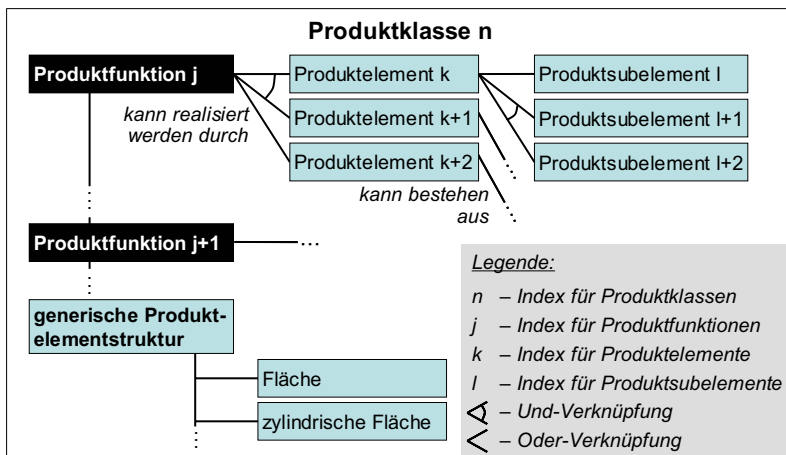


Abbildung 33: Strukturierungskonvention für Produktklassen

Mittels der Produktfunktionen sollen alle maximal möglichen Funktionen des Produkts beschrieben werden, welche die Produktklasse zu erfüllen hat (z. B. Radialkraft übertragen). Diesen Produktfunktionen sind Produktelemente (z. B. Flansche) und Subelemente (z. B. Bohrung) (vgl. OWODUNNI ET AL. 2002), die jeweils die Produktfunktionen realisieren, hierarchisch zuzuordnen. Um auch alternative Lösungskonzepte hierbei berücksichtigen zu können, müssen alle relevanten Lösungs- bzw. Strukturierungsalternativen gemäß Abbildung 33 modelliert werden. Hierdurch wird eine Abbildung von Wissen bezüglich produktelementorientierter Lösungsvarianten ermöglicht. Diese Klassifikations- und Strukturierungsmethode stellt eine Erweiterung der QFD-Methode (HAUSER & CLAUSING 1988; AKAO 1992) dar, da die funktionalitäts- und produktorien-

tierten Strukturen nicht nur für ein spezielles, zu planendes Produkt aufgebaut werden, sondern für eine allgemeine Produktklasse. Die Abbildung von Maximalausprägungen zur Darstellung von Alternativen repräsentiert eine Analogie zu Maximalstücklisten (vgl. Glossar) im Bereich der Variantenplanung (vgl. SCHÖTTNER 2001). Weitere Möglichkeiten der Repräsentation und Analyse von Produktstrukturen erläutern LINDEMANN & MAURER (2006) in Form von grafentheoretischen und matrixorientierten Ansätzen. Durch diese können vor allem die Wechselwirkungen zwischen den Produktelementen detailliert veranschaulicht werden. Da sich die vorliegende Arbeit auf die Relationen zwischen Produkt und Produktionsverfahren sowie die Wechselwirkungen zwischen Produktionsverfahren konzentriert, wird zur Beschreibung der Produktklasse auf die vorgestellte hierarchische Strukturierungssystematik zurückgegriffen.

Da die im Unternehmen bekannten Produkte bzw. Produktklassen nicht alle zukünftigen Produktgestaltungen beinhalten können, ist es erforderlich, zusätzlich eine generische Produktelementstruktur in die Abbildung der Produktklassen aufzunehmen. Insofern ist es möglich, diese generischen Produktelemente – wie beispielsweise in Abbildung 33 ersichtlich – in Relation zu den Fertigungsverfahren zu setzen (Abbildung 34). Damit ist die Grundlage geschaffen, um Verfahrensketten für neue Ausprägungen von Produkten (im Vergleich zur Abbildung in der Produktklasse) zu generieren. Die Struktur der generischen Produktelemente ist an OWODUNNI ET AL. (2002) angelehnt (vgl. Anhang).

Ähnlich der Strukturierung der Produkte sind die im Unternehmen praktizierten Produktionsverfahren bzw. -prozesse hierarchisch zu untergliedern. Diese Strukturierung basiert auf dem Ansatz im Bereich der Wissensabbildung und -nutzung in Abschnitt 4.2.2 (Abbildung 28). Bei der Strukturierung der Produktionsverfahren sollen explizit auch für das jeweilige Unternehmen relevante, neue bzw. sich in der Entwicklung befindende Technologien berücksichtigt werden.

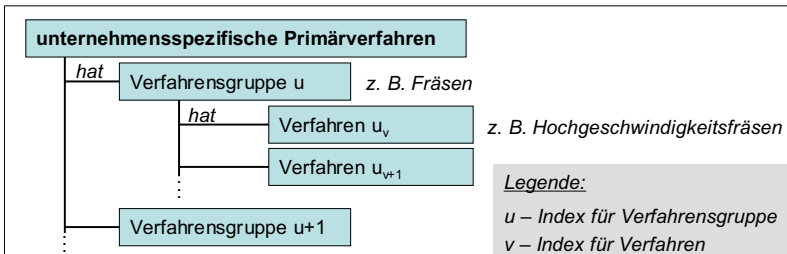


Abbildung 34: Strukturierungskonvention für Produktionsverfahren

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

Um eine effiziente und zielorientierte Planung von Produktionsverfahrensketten zu ermöglichen, sind ausschließlich die primären Produktionsverfahren entsprechend diesem Ansatz zu strukturieren. Primäre Produktionsverfahren sind hierbei Verfahren, die zu einer maßgeblichen Wertschöpfung im Unternehmen beitragen. Der Begriff der maßgeblichen Wertschöpfung ist hierbei kaum abgrenzbar. Eine unternehmensinterne Festlegung der primären Verfahren ist unabdingbar. Die restlichen im Unternehmen eingesetzten Produktionsverfahren sind in Konsequenz den sekundären Verfahren zuzuordnen. Im Rahmen dieser Arbeit sind sekundäre Verfahren diejenigen, welche die Bauteile für das Primärverfahren vorbereiten (z. B. Reinigen) oder die Bauteile nach dem Primärverfahren nachbereiten (z. B. Messen am Koordinatenmessgerät) (Abschnitt 4.2.3.3). Das Ergebnis dieses Ansatzes ist eine hierarchische Struktur der unternehmensinternen praktizierten und künftig geplanten bzw. denkbaren primären Produktionsverfahren wie beispielsweise in Abbildung 34 ersichtlich.

Für eine reaktionsschnelle entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen ist es erforderlich, das im jeweiligen Unternehmen existierende Wissen bezüglich Produkten, Verfahren und deren Relationen zur Verfügung zu stellen. Wesentliche Kombinationen von Produkten und Produktionsverfahren müssen in den frühen Entwicklungs- und Planungsphasen in einer anschaulichen Art und Weise als Hilfsmittel angeboten werden. Gleichzeitig ist es von Wichtigkeit, dass nicht nur die zum aktuellen Zeitpunkt existierenden produktionstechnischen Möglichkeiten zur Realisierung eines Produktelements repräsentiert werden. Vielmehr sollen alle möglichen Alternativen abgebildet werden. Die Dokumentation und Pflege dieser Produkt-Verfahren-Kombinationen muss von dafür verantwortlichen Stellen vorgenommen werden. In deren Verantwortungsbereich liegt es, zusätzlich auch neue Verfahren bzw. Technologien als künftige Alternativen zu integrieren. In Konsequenz müssen auch die strategischen Komponenten der Technologieplanung bzw. des Technologiemanagements – wie beispielsweise von SCHUH (2004) gefordert – in der Abbildung der Relationen Beachtung finden.

Die Darstellung der Relationen – inklusive aller möglichen Alternativen – zwischen Produkten und Produktionsverfahren erfolgt in einer Produkt-Primärverfahren-Matrix (Abbildung 35). Matrizen bieten eine einfache Möglichkeit, Relationen zwischen Planungsobjekten darzustellen. Zur Abbildung der jeweiligen Relationen und Wechselwirkungen lehnt sich die vorliegende Arbeit an die Methoden QFD (HAUSER & CLAUSING 1988; AKAO 1992), Design Structure Matrix (DSM) (STEWART 1981; KUSIAK 1999; BROWNING 2001) und Domain Mapping Matrix (DMM) (DANILOVIC & SANDKULL 2005) an.

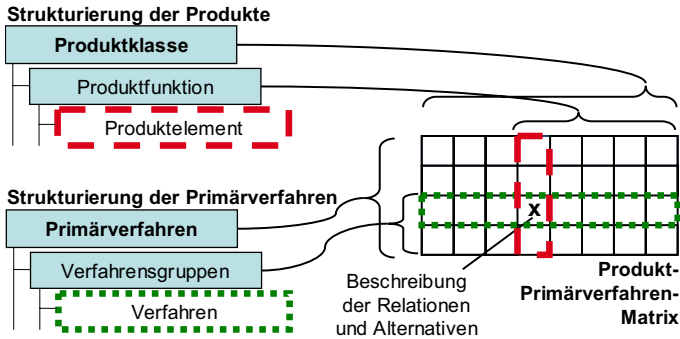


Abbildung 35: Produkt-Primärverfahren-Matrix

Hinsichtlich der Beschreibung der Relation zwischen Produkt und Primärverfahren sind die in Abbildung 36 ersichtlichen Ausprägungen zu nennen. Durch einen Eintrag von drei Kennziffern können die Relationen zwischen den Produktelementen und den Verfahren eindeutig definiert werden. Die erste Kennzahl (Variable „a“ in Abbildung 36) gibt die Art der Relation zwischen einem Produktelement und einem Verfahren wieder. Dadurch wird beschrieben, ob ein Verfahren zur Herstellung eines Produktes zwingend oder nur unter bestimmten Randbedingungen, wie z. B. einer vorhergehenden Beschichtung oder Restriktionen hinsichtlich Werkstoffen, angewendet werden kann. Außerdem kann dokumentiert werden, ob die Anwendung optional ist oder die Verbindung zwischen Verfahren und Produktelement auf keinen Fall realisiert werden darf.

Die zweite Kennzahl (Variable „b“ in Abbildung 36) beschreibt die Alternativen zur Herstellung eines Produktelements. Die Zellen der Produkt-Primärverfahren-Matrix mit identischer Variablenausprägung von „b“ stellen gegenseitige Alternativen dar. Sind beispielsweise zur Herstellung eines Produktelements „Flansch“ die Verfahrensalternativen Schleifen und Fräsen existierende Möglichkeiten, so sind an der jeweiligen Position der Variablen „b“ die gleichen Zahlen einzutragen. Entsprechend dem Aufkommen an Verfahrensalternativen je Produktklasse werden die Alternativen für spezielle Produktelemente nacheinander nummeriert.

Die übergreifenden Verfahren beschreibt die dritte Kennzahl (Variable „c“ in Abbildung 36). Unter übergreifenden Verfahren sind diejenigen zu verstehen, mittels derer mehrere Produktelemente entweder gleichzeitig bearbeitet werden oder zwei bzw. mehrere Produktelemente für die Ausführung eines Verfahrens erforderlich sind. Ein Beispiel hierfür ist eine Welle-Nabe-Verbindung, bei der die beiden Produktelemente „zylindrische Bohrung“ und „zylindrische Außenfläche“ durch das Montageverfahren

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

Einpressen in Relation zueinander gesetzt werden. Hierbei wird deutlich, dass sich die Produkt-Primärverfahren-Matrix sowie deren Produktstrukturierung vorrangig auf einzelne Bauteile oder elementare Baugruppen der Serienproduktion konzentriert, da sonst der Abbildungsaufwand innerhalb der Matrizen überproportional ansteigen würde.

Entsprechend dieser Codierung durch die drei Kennzahlen ist die Möglichkeit geschaffen, sowohl die Relationen zwischen Produkt bzw. Produktelementen und Primärverfahren als auch die zum aktuellen Zeitpunkt bekannten Alternativen abzubilden. In der Produkt-Primärverfahren-Matrix werden für die jeweilige Produktklasse alle existierenden produktionstechnischen Möglichkeiten bzw. das unternehmensspezifische produktionstechnische Wissen hinterlegt. Demzufolge stellt die Produkt-Primärverfahren-Matrix eine ideale Kommunikationsbasis zur Ableitung von neuen Produkten und Verfahrensketten auf der Grundlage einer Produktklasse dar, da auf das Wissen in einer kompakten Form zurückgegriffen werden kann. Damit die Offenheit und Dynamik hinsichtlich neuer Produktionsverfahren nicht gehemmt wird, ist eine aktive Recherche und Integration neuer Verfahren in die Matrix unerlässlich. Die hierfür erforderlichen Abläufe sind in Abschnitt 4.4 beschrieben.

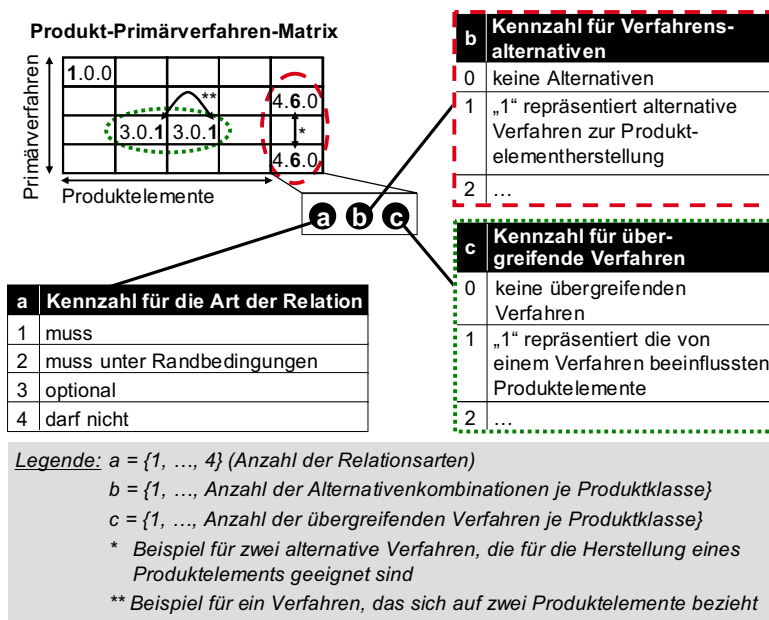


Abbildung 36: Abbildung der Relationen zwischen Produktelementen und Primärverfahren

4.2.3.3 Abbildung von Wechselwirkungen zwischen Produktionsverfahren

Die vorgestellte Produkt-Primärverfahren-Matrix unterstützt die schnelle Auswahl von alternativen Produktionsverfahren. Durch diese können in der frühen Phase der Planung neuer Bauteile oder Baugruppen die primären, also die maßgeblich wertschöpfenden Verfahren ausgewählt werden. Auf diese Weise werden erste Lösungsräume generiert, die ein ungeordnetes „Grobgerüst“ an Produktionsverfahren umfassen und die gesamten Produktionsalternativen enthalten. Entsprechend den Prinzipien der Kombinatorik (vgl. Glossar) können die diversen alternativen Produktionsverfahren miteinander verknüpft werden und münden in eine Gesamtheit alternativer Verfahrensketten.

Da die Gesamtheit der kombinatorischen Lösung zumeist nicht produktionstechnisch realisierbar ist (z. B. aufgrund sich gegenseitig ausschließender Verfahren), ist durch die Methodik eine kontinuierliche Detaillierung der Ergebnisse der Produktionsplanung zu ermöglichen. Damit im weiteren Verlauf der Planung bzw. Bewertung nur die produktionstechnisch sinnvollen Alternativen betrachtet werden, sind die Primärverfahren eingehend hinsichtlich ihrer Wechselwirkungen zu untersuchen. Um im Hinblick auf die Sequenzierung der Primärverfahren Wissen speichern zu können, wird eine Abbildung in Form einer Primärverfahren-Primärverfahren-Matrix in Anlehnung an AGOSTINI (2000) bzw. an die in Abschnitt 4.2.3.2 eingeführte Methode DSM vorgeschlagen (Abbildung 37). Die Primärverfahren-Primärverfahren-Matrix ermöglicht es, die Sequenzbeziehungen zwischen Primärverfahren zu beschreiben. Es wird dokumentiert, ob ein Ausgangsverfahren ein neutrales Verhalten gegenüber einem Relationsverfahren besitzt – das Verfahren kann dann flexibel in den Verfahrensketten eingesetzt werden – oder ob es dieses als Vorgänger bzw. Nachfolger erfordert. Zusätzlich zu den in Abbildung 37 vorgestellten Zelleninhalten sollen beschreibende Informationen zu den Rahmenbedingungen der Relationen abgelegt werden können. In der Matrix sind die technologischen Basisregeln abzubilden, um bei der Planung spezifischer Produkte eine Hilfestellung in Bezug auf die Reihenfolgebeziehungen der Primärverfahren anzubieten.

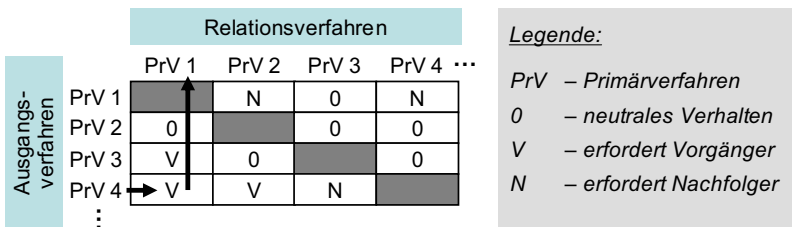


Abbildung 37: Abbildung der Relationen zwischen Primärverfahren

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

Durch die Abbildung der Relationen kann das grundlegende Wissen zur Bildung von Sequenzen innerhalb der Verfahrensketten dokumentiert werden. Wie dieses grundlegende Wissen rechnerunterstützt für eine (teil-)automatisierte Reihenfolgebildung und -optimierung genutzt werden kann, beschreibt AGOSTINI (2000). Beispielsweise besteht die Möglichkeit, genetische Algorithmen oder neuronale Netze einzusetzen (vgl. z. B. SCHÖNEBURG ET. AL. 1994), wobei auf diesen Themenbereich an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll. Vielmehr ist die unternehmensspezifisch gewünschte Automatisierung der Sequenzbildung an die Identifikation geeigneter Rechnerwerkzeuge zur Umsetzung der Methodik gebunden (Abschnitt 4.5).

Die Sequenzierung von Verfahren bezieht sich jedoch nicht ausschließlich auf Primärverfahren. Damit primäre Produktionsverfahren ausgeführt werden können, müssen diese vielfach durch diverse vorbereitende Vorgänger- und nachbereitende Nachfolgerverfahren unterstützt werden. Diese Vorgänger- und Nachfolgerverfahren komplettieren die Primärverfahren zu standardisierten Verfahrensmodulen. Ein standardisiertes Verfahrensmodul wird maßgeblich durch das entsprechende Primärverfahren beschrieben. In Relation zum Primärverfahren werden die Vorgänger- und Nachfolgerverfahren in dem Verfahrensmodul angegeben und die Positionen der jeweiligen Verfahren in Bezug auf das Primärverfahren dokumentiert (Abbildung 38).

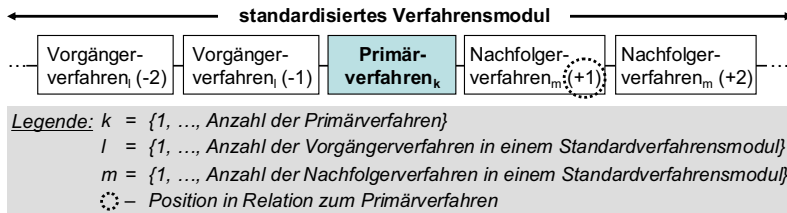


Abbildung 38: Visualisierung eines standardisierten Verfahrensmoduls

Die Verfahrenskette des Beschichtens ist ein Beispiel für ein standardisiertes Verfahrensmodul. Werden verschiedene Produktelemente oder Baugruppen beschichtet, so sind z. B. vorbereitend die Verfahren Reinigen bzw. Entfetten als erstes Vorgängerverfahren (Position -2) und ein eventuelles Abdecken nicht zu beschichtender Bereiche (Position -1) auszuführen. Nach diesen zwei Vorbereitungsverfahren kann das Beschichten als Primärverfahren ausgeführt werden. Im Anschluss an dieses sind exemplarisch als erstes Nachfolgerverfahren das Entfernen der Abdeckungen (Position +1), das Reinigen der Bauteile (Position +2) und eine metallografische Prüfung der Beschichtung (Position +3) zu tätigen.

Diese standardisierten Verfahrensmodule stellen Maximalausprägungen in Bezug auf die Anzahl der Verfahren in einem Modul dar. Es ist keineswegs in jedem Anwendungsfall erforderlich, diese Maximalausprägung in einem Arbeitsplan (vgl. Glossar) umzusetzen. Es können auch Teilumfänge der Verfahrensmodule ausreichend sein, um den Anforderungen des spezifischen Produkts zu genügen bzw. das gewünschte Ausgangsergebnis des Verfahrensmoduls zu erzeugen. Deshalb muss im Zuge der Darstellung standardisierter Verfahrensmodule die Möglichkeit gegeben sein, die Wechselwirkungen und die Arten der Relationen zwischen den Primär- und Sekundärverfahren innerhalb der Module angeben zu können.

In Ergänzung zu Abbildung 38 wird ein sekundäres Verfahren innerhalb eines Verfahrensmoduls durch die in Abbildung 39 ersichtlichen Attribute beschrieben.

| | | | |
|--|--|--|----|
| Name des Verfahrens: Kohlenwasserstoff-Reinigen | | | |
| ID: 1234 | Relation: - muss <input type="checkbox"/> - muss unter Randbedingungen <input checked="" type="checkbox"/> - optional <input type="checkbox"/> | Position relativ zum Primärverfahren Fräsen (erste Position nach dem Fräsen) | +1 |
| Beschreibung: Das Verfahren ist z. B. ein Muss-Verfahren, wenn ölhaltige Kühl- und Schmiermittel beim Primärverfahren Fräsen eingesetzt werden. | | | |

Abbildung 39: Beispielhafte Repräsentation von Sekundärverfahren in einem Modul

Der *Name des Verfahrens* ist ein, wenn auch triviales, Beschreibungselement für das Verfahren im Modul. Analog zu den Konventionen der beschreibenden Informationsstruktur von Verfahren (Abbildung 30) und der Strukturierung von unternehmensspezifischen Verfahren (Abbildung 34) ist jedes Verfahren in einem Standardmodul durch eine Identifikationsnummer (*ID*) beschrieben bzw. kann durch diese eindeutig bestimmt werden. Durch diese Zuordnung können die einzelnen Verfahren informationstechnisch verwaltet und z. B. Planungsfunktionalitäten, wie die Bestimmung gemittelter Zeiten aus einem Datenbestand, realisiert werden.

Analog zur Beschreibung der Relationen zwischen Produkt und Verfahren (Abschnitt 4.2.3.2) werden die *Relationen* bzw. die Relationsarten zwischen den diversen Verfahren im Modul dokumentiert. Folgende Relationen sind möglich:

- muss: Das Verfahren ist ein verbindliches Element in der Kette.
- muss unter Randbedingungen: Das Verfahren ist ein verbindliches Element im Modul, wenn im Rahmen der spezifischen Planung die entsprechenden Randbedingungen gegeben sind.

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

- optional: Es besteht die Möglichkeit, dass ein Verfahren in der Kette angewendet wird. In diesem Fall sind die Sachverhalte qualitativ oder über Regeln zu beschreiben, wann ein Verfahren innerhalb einer Verfahrenskette anzuwenden ist.

Wie bereits in Abbildung 38 dargestellt wurde, ist die *Position* des jeweiligen Verfahrens im Modul *relativ zum Primärverfahren* zu beschreiben. Die Position als eigenes Informationsfeld ist erforderlich, um die Sequenzen innerhalb der Verfahrensmodule abbilden zu können.

Im Bereich der *Beschreibung* sollen alle modulspezifischen Informationen in Bezug auf das jeweilige Verfahren dargestellt werden. Im Speziellen sind Sachverhalte zu dokumentieren, welche die Rahmenbedingungen für die Notwendigkeit eines optionalen Verfahrens im Verfahrensmodule wiedergeben. Hier ist beispielsweise abzubilden, aufgrund welcher Ereignisse bzw. Produkt- oder Verfahrenszustände das jeweilige (z. B. optionale) Verfahren im Modul erforderlich ist. Insofern ist der Bereich der Beschreibung als modulspezifische Ergänzung der technologischen (Abbildung 29, S. 90) und beschreibenden Informationen (Abbildung 30, S. 92) zu den sekundären Verfahren zu sehen. Infolge einer ausführlichen Beschreibung der Verfahren wird sichergestellt, dass alle relevanten vor- und nachbereitenden Verfahren in Bezug auf ein Primärverfahren unter Berücksichtigung individueller Rahmenbedingungen in die Planung eingehen.

Zusammenfassend liefern die Verfahrensmodule die Basiselemente für die Gestaltung einer gesamten Verfahrenskette sowie die Voraussetzungen für eine reife Produktionsplanung. Auf der Grundlage der vom Planungsobjekt unabhängigen Verfahrensmodule können unter Berücksichtigung des hinterlegten Wissens, der Bedingungen, der Restriktionen, der Regeln sowie der konkreten Anforderungen des zu beplanenden Produkts spezifische Verfahrensketten gestaltet werden. Hierzu stellt die Sammlung der diversen Verfahrensmodule mit ihren Subelementen einen Baukasten dar (Abbildung 40). Der modulare Ansatz des Baukastens bietet Potenziale hinsichtlich einer reifenden Planung. In den frühen Phasen der Produktentwicklung und Produktionsplanung können die zur Verfügung stehenden, unsicheren Informationen genutzt werden, um durch die Auswahl der Primärverfahren und der damit verbundenen Sekundärverfahren erste Planungsaussagen zu treffen. Damit dieser Ansatz den unscharfen Eingangsinformationen in frühen Planungsphasen gerecht wird, kann ein geplantes Produktionssystem mit Hilfe des Baukastens durch Verfahrensmodule abgebildet und konfiguriert werden. Auf dieser Grundlage können die auf Primärverfahren basierenden Module mit Unterstützung der Matrix zur Abbildung der Relationen zwischen Primärverfahren (Abbildung 37) in eine sinnvolle Reihenfolge gebracht sowie alternative Verfahrensketten definiert

werden. Anschließend besteht die Aufgabe darin, die relevanten Verfahrenskettenalternativen schrittweise zu detaillieren (vgl. Vorgehensbeschreibungen in Abschnitt 4.4).

Bei der Konfiguration des Produktionssystems sind die in den Referenzinformationsstrukturen hinterlegten Informationen zu nutzen. Hierbei soll, entsprechend dem Grundgedanken der Integration, die Auswahl der Verfahren in enger Zusammenarbeit zwischen der Produktionsplanung und der Produktentwicklung vorgenommen werden. Der Verfahrensbaukasten ist sowohl von der Produktionsplanung als auch von der Produktentwicklung als Informationsquelle und -speicher zu verwenden. Dadurch soll zum einen ein kostenoptimales Produktionssystem gestaltet werden können. Zum anderen sollen Informationen geliefert werden, die eine kostenoptimale, konstruktive Festlegung der Produkte fördern. Folglich werden die Bauteile frühzeitig auf der Basis der Baukasteninformationen so gestaltet, dass im Rahmen der Überprüfung aller alternativen Verfahrensketten das Kostenminimum erreicht werden kann.

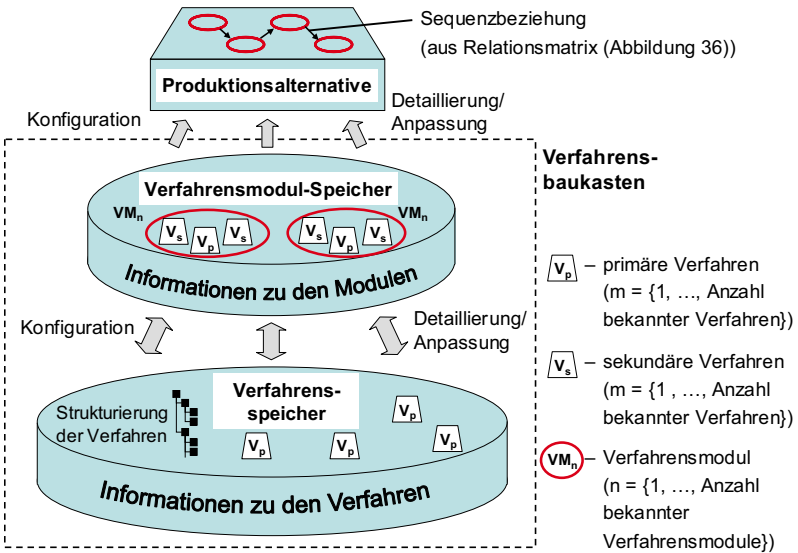


Abbildung 40: Baukastensystem zur reifenden Generierung von Produktionsalternativen

4.2.4 Ressourcen- und produktionsverfahrensorientiertes Modell zur reifenden Kostenbewertung

4.2.4.1 Allgemeines

In Abschnitt 4.2.4 soll ein monetäres Bewertungsmodell vorgestellt werden, das eine reife Bewertung der Fertigungskosten ermöglicht. Es sollen die Grundlagen geschaffen werden, um gemäß der Vorgehensbeschreibung (Abschnitt 4.4) erzeugte Produktionsalternativen bewerten zu können. Bei der Auswahl der am besten geeigneten Verfahrenskette ist die Bewertung der Fertigungskosten ein bedeutender Schritt. Die Fertigungskosten umfassen in dieser Arbeit sowohl die Kosten zur Fertigung als auch zur Montage. Hierfür bilden die Methoden der Kosten- und Leistungsrechnung eine wichtige Grundlage. Insbesondere werden die Maschinenstundensatzrechnung (WARNECKE ET AL. 1996), das verursachungsgerechte Kostenmodell von KÜMPER (1996) sowie die statistischen, analogiebasierten und generativ-analytischen Ansätze aus Abschnitt 2.3.8 aufgegriffen. Die unterschiedlichen Ansätze werden teilweise miteinander kombiniert, um entsprechend der zeitlichen Entwicklungs- und Planungsphase sowie der damit verbundenen Verfügbarkeit von Planungsinformationen eine kontinuierlich reife Kostenbewertung realisieren zu können. Die unterschiedlichen Verfahren werden gezielt ausgewählt, damit sowohl bereits existierende als auch neue, im jeweiligen Unternehmen noch nicht etablierte Produktionsverfahren hinsichtlich der Fertigungskosten bewertet werden können.

Das in dieser Arbeit beschriebene monetäre Bewertungsmodell basiert auf der Ermittlung der zu erwartenden Zeiten (maschinell/manuell) für die Ausführung der Verfahren und deren Multiplikation mit den jeweiligen Stundensätzen (maschinell/manuell). Aus diesem Grund ist die monetäre Bewertung maßgeblich durch die Ermittlung der Planzeiten bestimmt, da durch eine Multiplikation der Zeiten mit den jeweiligen Stundensätzen die geplanten Kosten errechnet werden können. Im Vergleich zur Ermittlung der Verfahrenszeiten ist es eine triviale Aufgabe, die Stundensätze für Verfahren bzw. Verfahrensgruppen zu berechnen. Die Werkerstundensätze sind zumeist in einem Unternehmen dokumentiert und können demzufolge für die Bewertung manueller Anteile herangezogen werden. Für die maschinellen Anteile bei Verfahren wird auf die Maschinenstundensatzrechnung zurückgegriffen. Diese ist ein geeignetes Werkzeug, um Produktionsressourcen verursachungsgerecht im Umfeld einer hoch automatisierten Produktion zu berücksichtigen. Im Gegensatz zu beispielsweise WARNECKE ET AL. (1996) zeigt Abbildung 41 eine erweiterte Form der Maschinenstundensatzrechnung, die auch Zusatzkosten, wie Kühlschmiermittel oder sonstige Verbrauchsstoffe, berücksichtigt.



Abbildung 41: Teilelemente und Zusammensetzung des erweiterten Maschinenstundensatzes (in Anlehnung an WARNECKE ET AL. (1996, S. 73 ff.) und OLFERT (2005, S. 200 ff.))

Bei einer Kostenbewertung mittels des Maschinenstundensatzes muss die Auslastung des Systems bestimmt werden. Für den Fall nicht voll ausgelasteter Verfahrensketten bzw. Kettenelemente besteht die Möglichkeit, die Summanden kalkulatorische Abschreibung, kalkulatorische Zinsen, Instandhaltungskosten und Raumkosten mit einem Zeitausgleichsfaktor (ZAF) zu multiplizieren (vgl. WARNECKE ET AL. (1996, S. 71)). Dessen Zusammensetzung wird in Formel (4) beschrieben. Der Zeitausgleichsfaktor berücksichtigt, dass die maximal verfügbare Maschinenzeit (t_{max}) infolge von Leerlauf (t_{Leer}), Hilfs- (t_{Hilf}), Instandhaltungs- ($t_{Instandh}$) und Ruhezeiten (t_{Ruhe}) nicht vollständig genutzt werden kann, was letztendlich eine Erhöhung des Maschinenstundensatzes bewirkt.

$$ZAF = \frac{t_{max}}{t_{max} - t_{Leer} - t_{Hilf} - t_{Instandh} - t_{Ruhe}} \quad (4)$$

Die Bestimmung von Zeiten für die Ausführung von Verfahren ist komplexer als die Ermittlung der Personal- und Maschinenstundensätze. Je nach Entwicklungs- und Planungsphase ist es vor allem aufgrund unterschiedlichster Detaillierungsgrade der Eingangsinformationen nicht trivial, Planzeiten zu bestimmen. Vor diesem Hintergrund wird auf die in Abbildung 42 ersichtlichen Varianten der Zeitermittlung zurückgegriffen.

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

fen. Des Weiteren verdeutlicht Abbildung 42, auf welche Weise die ermittelten Zeiten in die Kostenbewertung einfließen. Über die drei Varianten „Verfahrenszeiten auf der Basis von Erfahrungswissen“ (Abschnitt 4.2.4.2), „Verfahrenszeiten auf der Basis von historischen Daten“ (Abschnitt 4.2.4.3) und „Verfahrenszeiten auf der Basis von mathematischen Funktionen“ (Abschnitt 4.2.4.4) können die Verfahrenszeiten entsprechend den verfügbaren Informationen in der jeweiligen zeitlichen Phase ermittelt werden. Dies gilt für manuelle sowie maschinelle Zeiten und bezieht sich sowohl auf die Primär- als auch auf die Sekundärverfahren. Über die Bewertung der einzelnen Verfahren können somit Zeit- und Kostenaussagen zu gesamten Verfahrensketten erarbeitet werden. Die jeweiligen Rüstzeiten oder andere Zeitkategorien (z. B. Neben- und Verteilzeiten) können ebenfalls durch die obigen drei Varianten generiert werden. Die Ermittlung dieser Zeitkategorien wird jedoch in dieser Arbeit nicht näher thematisiert, da diese in den frühen Phasen der Verfahrenskettenauswahl nur eine untergeordnete Rolle spielen. Zusammenfassend soll die Kombination der unterschiedlichen Varianten zur Zeit- und damit Kostenermittlung gezielt dazu genutzt werden, eine reife Bewertung der Fertigungskosten zu ermöglichen (Abschnitt 4.4).

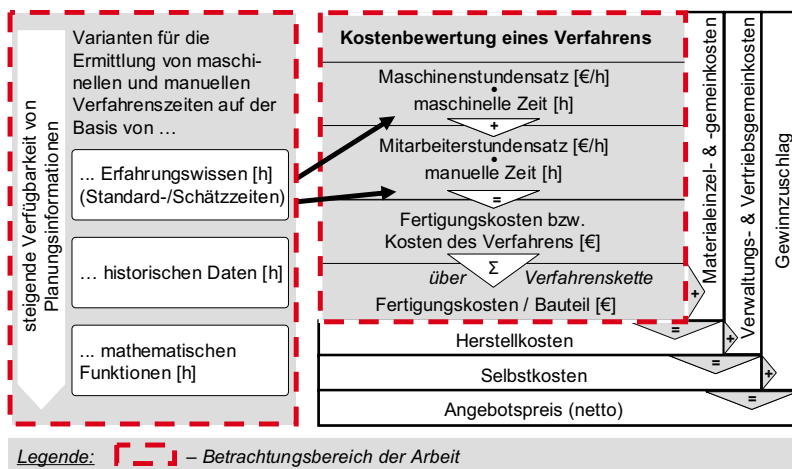


Abbildung 42: Übersicht über die unterschiedlichen Varianten der Zeit- bzw. Kostenermittlung sowie deren Einordnung in die arbeitsrelevanten Bereiche

4.2.4.2 Ermittlung von Verfahrenszeiten auf der Basis von Erfahrungswissen

Zu dieser ersten Variante der Ermittlung von Zeiten zählen im Wesentlichen die Verwendung von Standardzeiten und Schätzungen durch Experten. Standardzeiten werden i. d. R. durch einmalige statistische Auswertungen erarbeitet. Verfahrensspezifische Standardzeiten bieten zumeist nur grobe Anhaltswerte, da Anwendungsfallspezifika nur rudimentär berücksichtigt werden. Für die Methode der Schätzung stehen die von EHRLENSPIEL ET AL. (2003, S. 453 ff.) dargestellten Werkzeuge und Hilfsmittel zur Verfügung (vgl. Abschnitt 2.3.8.2). Mittels dieser können die zu erwartenden Zeiten durch die Erfahrungen der schätzenden Personen und/oder systematisches Vorgehen (z. B. vergleichendes Schätzen) ermittelt werden. Hierfür sollen die zu den einzelnen Verfahren gespeicherten technologischen und beschreibenden Informationen (Abbildung 29 und Abbildung 30) genutzt werden. Die Verwendung von Schätzzeiten hat vor allem dann Vorteile bzw. Potenziale, wenn neue, im Unternehmen nicht bekannte Verfahren im Rahmen einer geplanten Produktion zu bewerten sind. Um eine entsprechende Grundlage für eine Zeitschätzung zur Verfügung zu haben, ist es hilfreich, relevante Anlagenhersteller zu konsultieren, erfahrene Personen innerhalb eines Unternehmens einzubinden und Informationen über die Verfahren zu recherchieren.

Auf der einen Seite kann diese Methode relativ ungenau sein, da die Ergebnisse von subjektiven Einschätzungen und verfügbaren Informationen abhängig sind. Fehlerhafte Verfahrenszeiten können die Folge daraus sein. Auf der anderen Seite ist die Schätzmethode sehr schnell in Bezug auf die Anwendbarkeit und die Generierung von Schätzwerten. Insofern stellt sie eine gute Möglichkeit dar, nicht etablierte Verfahren schnell und früh in die Entscheidungsfindung bezüglich Verfahrensketten einzubinden. In späten Entwicklungs- und Planungsphasen sind jedoch die Basisdaten der Schätzung zu validieren und/oder durch die weiteren Varianten der Zeitermittlung zu stützen bzw. zu ersetzen.

4.2.4.3 Ermittlung von Verfahrenszeiten auf der Basis von historischen Daten

Bei der zweiten Variante der Zeitermittlung werden Zeiten aus historischen Daten ermittelt. Hierunter wird die Möglichkeit verstanden, existierende Arbeitspläne und deren Zeitinformatoren zu nutzen, um auf künftige Planzeiten bei einer Neuplanung einer Verfahrenskette zu schließen. Bei dieser Variante werden die methodischen Ansätze der Such- und Ähnlichkeitskalkulation (EHRLENSPIEL ET AL. 2003, S. 456) mit

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

denen der Analogieverfahren kombiniert (Abschnitt 2.3.8.2). Es gilt, den zumeist in Enterprise-Ressource-Planning-Systemen (ERP-Systemen) bzw. in existierenden Arbeitsplänen gespeicherten Datenbestand zu nutzen. Um bei dieser Zeitermittlungsvariante auf repräsentative Zeitwerte schließen zu können, müssen jedoch wichtige Randbedingungen berücksichtigt sein und Voraussetzungen erarbeitet werden:

- Die Ausprägung des geplanten Produkts und dessen Anforderungen müssen im existierenden Produktspektrum bzw. in die Produktklassen (Abschnitt 4.2.3) eingliederbar sein. Folglich ist die Ähnlichkeit mit bestehenden Produktklassen eine Grundvoraussetzung, um auf der Grundlage bestehender Daten Planzeiten ermitteln zu können. Des Weiteren sollen die geplanten Stückzahlen mit denen ähnlicher Produkte im Produktspektrum übereinstimmen, um ein vergleichbares Auslastungsszenario abzubilden.
- Die Struktur der Verfahren (Abschnitt 4.2.2, Abschnitt 4.2.3 bzw. Abbildung 34) – hierzu zählen sowohl Primär- als auch Sekundärverfahren – ist derart aufzubauen, dass aussagekräftige Zeiten aus dem Datenbestand generiert werden können. Hierzu kommt der Strukturierung der Verfahren eine entscheidende Bedeutung zu. Die Primär- und Sekundärverfahren sind so granular zu unterteilen bzw. zu differenzieren, dass diese im Rahmen der Zeitbestimmung über existierende Daten stabile, wenig streuende Planzeiten in Bezug auf die Verfahrensausführung liefern. Wendet ein Unternehmen z. B. unterschiedliche Nachbereitungsverfahren, wie Reinigen des Bauteils nach einer Fräsbearbeitung oder Reinigen von Spritzern nach dem Schweißen, an, so müssen diese Reinigungsverfahren hinsichtlich ihres zeitlichen Streuverhaltens analysiert werden. Wenn die Streuung der Zeiten größer als ein unternehmensspezifisch definierter Grenzwert ist, sind in diesem Beispiel die einzelnen Reinigungsverfahren in Form von spezifischen Elementen in den Verfahrensmodulen abzubilden. Durch die Streuungsanalyse der Zeiten und eine darauf basierende Strukturierung bzw. Untergliederung der Verfahren werden die Voraussetzungen für eine generische Planung mittels Standardverfahrensmodulen und historischen Daten sichergestellt.
- Das Produktspektrum eines Unternehmens muss entsprechend Abschnitt 4.2.3.2 in Produktklassen eingeteilt werden, da die Anwendung eines Verfahrens für unterschiedliche Produktklassen zu gänzlich unterschiedlichen Zeiten führen kann. Es ist sicherzustellen, dass die Zeiten zur Ausführung eines Verfahrens mit dem gesamten Produktspektrum, Teilen des Produktspektrums, Produktklassen oder Teilelementen der Produktklassen (Produktgruppen oder einzelne Produkte) in

Beziehung gebracht werden können. Es existieren fünf Fälle zur Zeitermittlung über historische Daten, wobei Abbildung 43 den Bezug zwischen dem Primär- und Sekundärverfahren sowie dem existierenden Produktspektrum darstellt. Zum einen existiert beispielsweise die Option, dass ein Verfahren über alle Produktklassen hinweg ein zeitlich annähernd konstantes Verhalten aufweist. Demzufolge kann die Zeitermittlung über historische Daten produktklassenübergreifend erfolgen, wodurch eine umfassende Datenbasis genutzt werden kann (a in Abbildung 43). Zum anderen besteht die Möglichkeit, dass zu einem Verfahren, z. B. aufgrund einer starken Werkstoffabhängigkeit, nur aussagekräftige Zeiten aus historischen Daten generiert werden können, wenn der Bezug zu einem konkreten Produkt hergestellt wird (e in Abbildung 43). In Form der in Abbildung 43 aufgezeigten Optionen a bis e der Zeitermittlung kann der Umfang des verfahrensspezifischen Zugriffs auf den Datenbestand definiert werden.

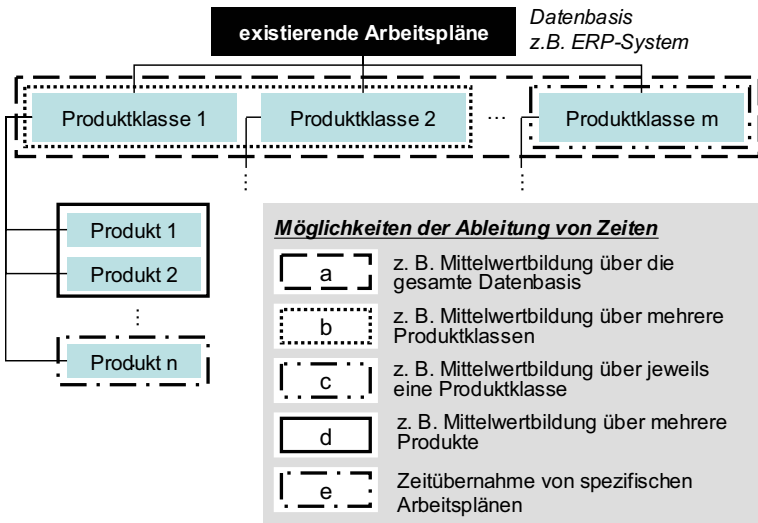


Abbildung 43: Fünf Fälle der Zeitermittlung über historische Daten

- Zusätzlich zur Zuordnung der Verfahrenszeiten zu den Teilelementen des Produktspektrums muss die Möglichkeit existieren, die Verfahren mit spezifischen Produktelementen in Beziehung bringen zu können. Dies ist teilweise erforderlich, da die Zeiten für die Anwendung eines Verfahrens vom Produktelement abhängen können. Beispielsweise wird die erforderliche Zeit für eine Fräsbearbeitung maßgeblich von der Geometrie des Produktelements bestimmt (Variante

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

1 in Abbildung 44). Teilweise sind die Zeiten jedoch weitestgehend unabhängig von Geometrien, wenn es sich beispielsweise um ein Beschichtungsverfahren in gasförmigen Medien handelt (Variante 2 in Abbildung 44). In diesem Fall kann das Verfahren unabhängig von den zu beschichtenden Geometrien sein und wird rein durch die Parameter (z. B. Ofentemperatur) bestimmt. In Konsequenz ist für diesen Schritt eine geeignete Klassifizierung der Produkte und eine Strukturierung der Produktklassen die Voraussetzung (Abschnitt 4.2.3.2).

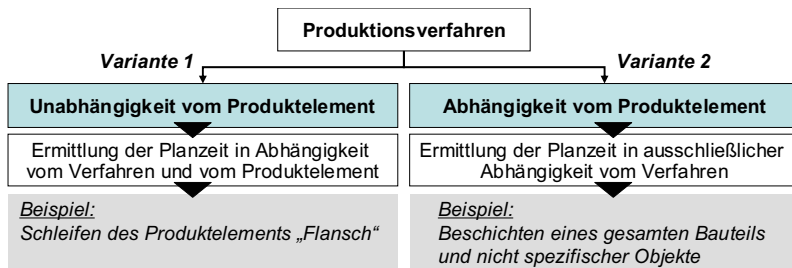


Abbildung 44: Produktelementabhängigkeit bzw. -unabhängigkeit bei der Zeitermittlung

Zusammenfassend müssen die nachfolgend dargestellten Voraussetzungen gegeben sein, um Zeiten auf der Basis von historischen Daten sinnvoll bestimmen zu können:

- Vergleichbarkeit zwischen dem geplanten Produkt und Teilelementen des existierenden Produktspektrums
- Strukturierung der Verfahren hinsichtlich des zeitlichen Streuverhaltens der Verfahren
- Zuordnung der Verfahren zu Teilelementen des Produktspektrums auf der Basis des zeitlichen Streuverhaltens der Verfahren (vgl. Abbildung 43)
- Zuordnung der Verfahren zu spezifischen Produktelementen auf der Basis des zeitlichen Streuverhaltens der Verfahren (vgl. Abbildung 44)

Entsprechend dieser Konventionen hinsichtlich der Planzeitermittlung aus historischen Daten müssen die Voraussetzungen geschaffen werden, um obige Aspekte abbilden zu können. Damit die für den jeweiligen Fall relevanten Zeitinformationen adressiert werden können, ist es notwendig, die Verfahren-Produktelement- sowie die Verfahren-Produktspektrum-Zuordnungen in den existierenden Arbeitsplänen abzubilden. Für die Umsetzung der Methodik bzw. diese Art der Zeitermittlung bedeutet dies, dass in den

existierenden Arbeitsplänen die Beziehungen zwischen den Arbeitsvorgangfolgen (AVO) (vgl. Glossar), den Verfahren, den zugrunde liegenden Produktklassen sowie den bearbeiteten Produktelementen hinterlegt werden müssen.

4.2.4.4 Ermittlung von Verfahrenszeiten auf der Basis von mathematischen Funktionen

Die dritte in dieser Arbeit beschriebene Form zur Ermittlung von Zeiten für die Verfahrensausführung erfolgt mittels mathematischer Funktionen. Es gilt, mathematische Funktionen zu nutzen bzw. aufzubauen, um in frühen Planungsphasen Verfahren bewerten zu können.

Da es vor allem in frühen Phasen im Bereich der Entwicklung neuer Produkte schwierig ist, die diversen Zeiten ohne die explizite Nutzung von Simulationswerkzeugen zu bestimmen, kann der Zeitverbrauch in einer einfachen Form über einen Ressourcenverbrauchssatz (z. B. materialbezogene statistisch ermittelte Konstanten) errechnet werden. Es können beispielsweise durch die Bestimmung der Prozessmenge (z. B. die geplante Schweißlänge) die verfahrens- bzw. maschinenabhängigen Zeiten für ein Produktionsverfahren bewertet werden (Abbildung 45). Der hier dargestellte Transformationsvorgang zur Ermittlung der Zeiten resultiert aus einer Anlehnung an das Activity Based Costing (COOPER & KAPLAN 1988). Einen ähnlichen Ansatz stellt auch KÜMPER (1996) vor, indem er den Ressourcenverbrauch über ein Ressourcenmodell (auch Nomogramm genannt) darstellt.

| | | |
|--|---|---------------|
| <u>allgemein:</u> | <u>Beispiel:</u> | |
| a Ressourcenverbrauchssatz | spezifisches Verhältnis Schweißdauer/Nahtlänge | ▶ 0,2 s/mm |
| b • Prozessmenge | geplante Nahtlänge | ▶ 450 mm |
| c = maschinenunabhängige oder -abhängige Verfahrenszeiten (a • b) | Verfahrenszeiten pro Bauteil | ▶ 90 s |

Abbildung 45: Prozesskostenrechnungsorientierter Ansatz zur Ermittlung von Zeiten (simplifiziert)

Die Zeitermittlung über einen Ressourcenverbrauchssatz und spezifische Prozessmengen schafft zusätzlich die Möglichkeit, dass Produktentwickler auf der Basis früher Konstruktionsfestlegungen produktionsseitige Zeiten und damit Kosten abschätzen können. Durch die an die Produktausprägungen angelehnte Zeitermittlung ist kein direktes Verfahrenswissen erforderlich. Die Zeitermittlung über mathematische Funkti-

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

onen muss jedoch nicht notwendigerweise auf der Prozessmenge als der einzigen Variablen gründen. Abbildung 45 zeigt jedoch eine sehr einfache Form einer mathematischen Formel zur Berechnung von Zeiten. Generell können durch die mathematischen Funktionen beliebig viele Zeiteinflussgrößen abgebildet werden (vgl. Abschnitt 2.3.8.2).

Unabhängig von der Anzahl und Komplexität der Einflussgrößen zur Zeitbestimmung existieren zwei Möglichkeiten zur Ermittlung der relevanten mathematischen Funktionen. Eine Möglichkeit besteht darin, in der Fachliteratur verfügbare Zeitfunktionen zu nutzen. In der Literatur sind beispielsweise diverse Zeitermittlungsformeln verfügbar, die auf mehreren, zumeist am Prozess orientierten Eingangsvariablen basieren. So ist beispielsweise die Zeit für das Längs-Umfangs-Planschleifen durch die Formel (5) berechenbar (SPUR 1996, S. 11-12):

$$t = \frac{L \cdot b_w \cdot a}{v_f \cdot a_p \cdot a_e} \quad (5)$$

Nach diesem Beispiel kann die Zeit für die Ausführung des Verfahrens bzw. eines spezifischen Prozesses über die Parameter Vorschubweg (L), Werkstückbreite (b_w), Aufmaß (a), Tischvorschubgeschwindigkeit (v_f), Eingriffbreite (a_p) und Zustellung (a_e) berechnet werden. Es sind jedoch exakte Eingangsinformationen zu Verfahrens- bzw. Prozessparametern erforderlich, um fundiert Zeiten berechnen zu können. Folglich können diese am Prozess orientierten Formeln zumeist nur in den späteren Phasen der detaillierten Prozessplanung Anwendung finden.

Die andere Möglichkeit ist, über existierende Produktionsdaten eines Unternehmens oder über Daten von Anlagenherstellern auf Zeitfunktionen zu schließen. Sind in der Literatur keine geeigneten Formeln zu finden oder sind die erforderlichen Eingangsinformationen zur Berechnung von Zeiten nicht verfügbar, so müssen unternehmens- oder verfahrensspezifische Formeln erarbeitet werden. Hierfür müssen die relevanten Einflussgrößen für die zu untersuchenden Verfahren bestimmt werden. Die Methode der Regressionsrechnung kann dazu genutzt werden, um Funktionen zur Berechnung der Zeiten zu erzeugen. Diese Funktionen ermöglichen es, die Zielgröße Zeit über verschiedene verfahrensspezifische und voneinander unabhängige Einflussgrößen X_j ($j = \{0, \dots, \text{„Anzahl der relevanten Einflussgrößen“}\}$) zu ermitteln. Im Wesentlichen werden Regressionsfunktionen durch die Schritte Datenerhebung, Bestimmung von zeittreibenden Parametern sowie Formulierung eines Einflussmodells und eine anschließende Regressionsrechnung erzeugt. Da die Regressionsrechnung eine etablierte Methode im Bereich der Mathematik ist und auch in diversen produktionstechnischen Arbeiten zur Ermittlung von Zeiten und Kosten erläutert und eingesetzt wurde (z. B. ROMANOW (1995);

SPRENZEL (2000); vgl. S. 64 f. in Abschnitt 2.3.8.3), wird an dieser Stelle auf eine weitergehende Darstellung verzichtet. Die jeweiligen mathematischen Funktionen bzw. die erforderlichen Daten für die Zeitberechnung sind im Bereich der beschreibenden Abbildung des Verfahrenswissens abzulegen (Abschnitt 4.2.2). Dadurch werden sie für eine monetäre Bewertung im Zuge der Verfahrenskettengenerierung verfügbar gemacht.

4.2.4.5 Kombination der Zeitermittlungsvarianten und Verdichtung zur Kostenbewertung

Die drei vorgestellten Varianten der Zeitermittlung stellen im Rahmen dieser Arbeit keine konkurrierenden Methoden dar. Vielmehr ergänzen sie sich gegenseitig, um das Ziel einer entwicklungs- und planungsbegleitenden Bewertung von Produktionsalternativen erreichen zu können. Nur wenn eine Bewertung von Zeiten entsprechend dem verfügbaren Bestand an Informationen möglich ist, können diese kontinuierlich in detailliertere bzw. reifere Aussagen transformiert werden. Zur Unterstützung des zielgerichteten Einsatzes der Zeitermittlungsmethoden in den jeweiligen Entwicklungs- und Planungsphasen ist ein Leitfaden erforderlich, der nachfolgend dargestellt wird.

Im Rahmen des Leitfadens müssen sowohl im Unternehmen etablierte Verfahren als auch neue Technologien berücksichtigt werden. Im Unterschied zu bekannten Verfahren kann bezüglich neuer, noch nicht etablierter Technologien nicht auf Daten innerhalb eines Unternehmens zugegriffen werden. Deshalb müssen hier speziell die Methoden der Zeitermittlung über Schätzen bzw. über mathematische Funktionen eingebunden werden. Die reife Bewertung in Bezug auf die Planung etablierter Verfahren und die Integration neuer Technologien im Gesamtkontext der entwicklungs- und planungsbegleitenden Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen visualisiert Abbildung 46.

Die im Unternehmen bereits etablierten Verfahren sollen zuerst über die Datenbestände (z. B. im ERP-System) nach der in Abschnitt 4.2.4.3 beschriebenen Methode hinsichtlich der Zeiten bewertet werden (Phase 1). Im Anschluss daran und mit den ersten Informationen über detaillierte Parameter sollen Zeitfunktionen genutzt werden, um realitätsnähere Zeiten ermitteln zu können (Phase 2). Da in frühen Phasen zwar das Verfahren ausgewählt werden kann, aber zumeist noch keine spezifischen Betriebsmittel zugeordnet werden können, wird dieser Schritt in Phase 3 vollzogen. In Bezug auf die jeweiligen Stundensätze ist zu unterscheiden, ob gemittelte Standardstundensätze oder betriebsmittel-/mitarbeiterspezifische Stundensätze für eine Bewertung herangezogen werden. Diese unterschiedlichen Möglichkeiten der Ausprägungen bzw. Verwendung von Stundensätzen bieten wiederum Potenziale hinsichtlich einer reifenden Be-

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

wertung. Beispielsweise können bei einer Bewertung in sehr frühen Produktentwicklungs- und Produktionsplanungsphasen gemittelte Stundensätze verwendet werden. Diese sind durch die jeweiligen betriebsmittel- oder mitarbeiterspezifischen Stundensätze zu ersetzen, sobald die erforderlichen Informationen über das Produkt bzw. die konkreten Betriebsmittel erarbeitet worden sind. In der vierten Phase gilt es, die im Zuge der bilateralen Optimierung von Produkt und Verfahrensketten aktualisierten Eingangsparameter für die Anwendung der Zeitfunktionen zu nutzen. Letztendlich wird durch diese Vorgehensweise von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, unscharfe Daten Schritt für Schritt mit detaillierten und spezifischen Daten zu ersetzen.

Da hinsichtlich neuer Technologien bzw. Verfahren zumeist keine historischen Daten in einem Unternehmen existieren, müssen in diesem Fall in Phase 1 Methoden der Schätzung angewendet werden. Während der Konkretisierung der Verfahrensidee und der damit verbundenen Kooperation mit potenziellen Anlagen- bzw. Maschinenherstellern wird in den Phasen 2 bis 4 auf mathematische Funktionen zurückgegriffen (vgl. etablierte Verfahren). Der Unterschied zu den im Unternehmen praktizierten Verfahren liegt hauptsächlich darin, dass in frühen Entwicklungs- und Planungsphasen i. d. R. auf Funktionen mit wenigen Parametern (Ressourcenverbrauchs- und Prozessmengenansatz) zurückgegriffen werden muss und erst in den späteren Phasen eventuell detaillierte regressionsbasierte Funktionen genutzt werden können.

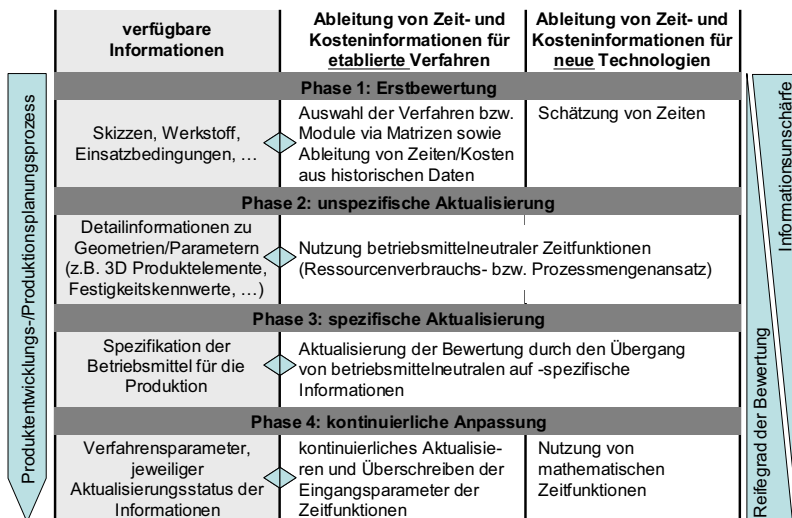


Abbildung 46: Phasen und Methoden der reifenden Zeitermittlung

Damit über dieses Konzept der kontinuierlich reifenden Zeitermittlung auf Fertigungskosten geschlossen werden kann, müssen die nach den beschriebenen Varianten ermittelten manuellen und maschinellen Zeiten in Kostenaussagen umgewandelt werden. Dadurch, dass im Rahmen der dargestellten Varianten sämtliche verfahrensrelevanten Zeiten ermittelbar sind, kann durch die Anwendung von bzw. durch die Multiplikation mit Maschinen- und Personalstundensätzen nach WARNECKE ET AL. (1996, S. 73 ff.) auf Fertigungskosten geschlossen werden. Genauso ist es möglich, mittels Gemeinkostenzuschlägen bzw. -faktoren oder der Methode der Prozesskostenrechnung die indirekten Leistungsbereiche in die monetäre Bewertung mit einzubeziehen (COOPER & KAPLAN 1988; HORVÁTH & MAYER 1989). Dadurch können die geplanten Herstell- und Selbstkosten errechnet werden, die wiederum die Basis für interne und externe Angebote liefern.

Die in Abbildung 46 dargestellte Vorgehensweise ist hauptsächlich an den maschinellen Anteilen der Verfahren orientiert, weil die vorliegende Arbeit primär die Serienfertigung adressiert. Sind Verfahren durch hohe manuelle Anteile geprägt, so kann für die Ermittlung der manuellen Zeitanteile prinzipiell eine identische Vorgehensweise praktiziert werden. Werden die Verfahren nur durch einzelne Mitarbeiter unterstützt, so kann auch auf Schätzungen bzw. im Rahmen der Wissensabbildung auf hinterlegte Informationen zurückgegriffen werden (Abschnitt 4.2.2). In diesem Fall empfiehlt es sich, die personellen Anteile in Form eines erfahrungsbasierten Personalfaktors zu berücksichtigen, der die Relation zwischen manuellen und maschinellen Anteilen angibt. Soweit aufgrund des spezifischen Verfahrens oder der Unbekanntheit des Verfahrens im Unternehmen weitergehende Informationen unabdingbar sind, kann an dieser Stelle beispielsweise auf Simulationsanalysen oder die Systeme vorbestimmter Zeiten (SvZ) zurückgegriffen werden. Rüstprozesse stellen im Rahmen dieser Arbeit keinen Betrachtungsfokus dar, da die Definition von Werkzeugen i. d. R. erst in der Prozessplanung stattfindet. Soweit notwendig, können aber auch hierfür die dargestellten Varianten der Zeitermittlung angepasst bzw. Simulationssysteme oder SvZ eingesetzt werden.

Da bei der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen nicht einzelne Verfahren, sondern gesamte Verfahrensketten das Zielobjekt sind, gilt es anzumerken, dass sich die Ermittlung der Zeiten und damit der Kosten auf die Gesamtketten bezieht. Folglich werden die Zeiten nach den vorgestellten und flexibel miteinander kombinierbaren drei Varianten für jedes Primär- und Sekundärverfahren bestimmt. Da die Nutzung der Varianten der Zeitermittlung für alle alternativen Verfahrensketten und die dadurch große Anzahl an zu bewertenden Verfahren hohe zeitliche Aufwände in der Produktionsplanung erwarten lässt, müssen geeignete Möglichkeiten der Rechnerunterstützung gefunden werden. Ein Leitfadensystem für eine unternehmensspezifische und zielori-

enterte Rechnerunterstützung wird in Abschnitt 4.5 dargestellt. Hierbei wird berücksichtigt, dass für die dauerhafte Umsetzung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit keine pauschale Lösung existiert, sondern vielmehr ein Auswahlprozess für eine unternehmensspezifische Lösungsfindung zu initiieren ist.

4.2.5 Modell zur Bewertung qualitativer Aspekte

Im Zuge einer entwicklungs- und planungsbegleitenden Betrachtung von Produktionsalternativen ist eine rein monetäre Bewertung hinsichtlich der Fertigungs- oder Herstellkosten nicht ausreichend. Vielmehr spielen auch so genannte weiche Faktoren, die sich nicht unmittelbar in Geldeinheiten messen lassen, eine wichtige Rolle. So stellt beispielsweise ZANGEMEISTER (2000) diverse mehrstufige Verfahren zur kombinierten Bewertung von monetären und qualitativen Kriterien dar. Ähnlich präsentieren GHANDFOROUSH ET AL. (1985) einen Ansatz zur multikriteriellen Bewertung. Es wird der Tatsache Rechnung getragen, dass nicht alle entscheidungsrelevanten Kriterien zum Entscheidungszeitpunkt quantitativ monetär beurteilbar sind. Vielmehr existieren auch qualitative Kriterien, die sich im Laufe des Lebenszyklus eines Produktionssystems letztendlich monetär auswirken, sich aber im Rahmen der Entwicklungs- und Planungsphase nicht in Geldeinheiten darstellen lassen. Um in diesem Zusammenhang eine ganzheitliche Entscheidung hinsichtlich Verfahrensketten treffen zu können, müssen demzufolge auch qualitative Entscheidungskriterien in den Planungs- und Auswahlprozess einbezogen werden.

ZANGEMEISTER (2000, S. 94) beschreibt u. a. folgende Kriterien für die qualitative Bewertung von Produktionssystemen: Leistungsfähigkeit, Arbeitsbelastung, Arbeitssicherheit, Arbeitsqualität. Um darauf basierend die erforderlichen Kriterien für die vorliegende Arbeit zu identifizieren, wurden Interviews bei den Industriepartnern, die in die Methodikentwicklung involviert waren (vgl. Fallbeispiele in Kapitel 5), durchgeführt. Dadurch konnten die folgenden relevanten und teilweise angepassten qualitativen Bewertungskriterien identifiziert werden:

- *Prozesssicherheit*

Die Prozesssicherheit ist ein quantitativer Aspekt, der in Unternehmen vielfach durch Maschinen- oder Betriebsdatenerfassungssystemen (MDE, BDE) dokumentiert wird. Es lassen sich jedoch durch diese Daten innerhalb der Entwicklungs- und Planungsphase kaum monetäre Aussagen über ein geplantes Produktionssystem ableiten. Die Prozesssicherheit bestimmt allerdings u. a. die Leistungsfähigkeit eines Verfahrens und ist mit ihren Subelementen Störungs-

häufigkeit, -vielfalt und -auswirkungen ein entscheidungsrelevantes Kriterium bezüglich einer Produktionsalternative.

- *Wandlungsfähigkeit*

Mittels dieses Kriteriums ist zu bewerten, ob ein Verfahren bzw. eine Verfahrenskette an künftige planbare und nicht planbare Anforderungen anpassungsfähig ist (vgl. Abschnitt 1.5.4). Hierzu sind z. B. produkt-, werkstoff- und mengenflexible Verfahren erforderlich. Dieser Aspekt kann vor allem für Unternehmen entscheidend sein, die starken Auftragsschwankungen und einem wechselnden Produktspektrum unterliegen.

- *Arbeitssicherheit und Ergonomie*

Für die diversen Verfahren ist zu bewerten, inwieweit Unterschiede hinsichtlich der Arbeitssicherheit und der ergonomischen Aspekte zum Ausführen des Verfahrens existieren.

- *Grad der Standardisierung*

Die erarbeitete Methodik soll durch den modularen Ansatz die Etablierung von standardisierten Verfahren und Verfahrensmodule in Unternehmen fördern. Insofern ist es bei der Generierung und Bewertung von Verfahrensketten ein bedeutender Aspekt, in welcher Form die technischen Lösungen eine Steigerung des Standardisierungsgrads unterstützen. Durch die Forcierung von Standards ist es einfacher, Verfahrenswissen vielen Mitarbeitern zugänglich zu machen und damit tendenziell unabhängiger von Verfahrensexperten zu werden.

- *Technisches Risiko*

Durch die Bewertung des technischen Risikos soll ein Bewertungskriterium geschaffen werden, das die Wahrscheinlichkeit angibt, ob eine viel versprechende neue Technologie wegen technischer Schwierigkeiten nicht in einer Verfahrenskette und damit nicht in einem Unternehmen etabliert werden kann. Deshalb bezieht sich die Bewertung des technischen Risikos primär auf neue Technologien, die im Unternehmen noch nicht angewendet werden.

Je nach Bedarf können diese qualitativen Bewertungskriterien um neue ergänzt und angepasst werden. Die Bewertung in der Entwicklungs- und Planungsphase erfolgt in Anlehnung an die in Abbildung 47 ersichtliche Methode der Nutzwertanalyse (AGGTELEKY 1990B, S. 63). Diese birgt den Vorteil, dass sie relativ einfach an die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen angepasst werden kann.

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

| | | Fertigungsverfahren (z. B. Erodieren) | |
|-----------------------------------|--------------|---------------------------------------|-------------|
| qualitative Kriterien: | Gewichtung: | Bewertung: | Teilnutzen: |
| Prozesssicherheit | 25 % | 8 | 2,00 |
| Wandlungsfähigkeit | 30 % | 4 | 1,20 |
| Arbeitssicherheit und Ergonomie | 18 % | 5 | 0,90 |
| Grad der Standardisierung | 15 % | 9 | 1,35 |
| technisches Risiko | 12 % | 9 | 1,08 |
| Summe der Teilgewichtungen | 100 % | Nutzwert | 6,53 |

Abbildung 47: Beispielhafte nutzwertanalytische Bewertung eines Fertigungsverfahrens

Gemäß den unternehmensinternen Rahmenbedingungen und Zielsetzungen gilt es, in einem einmaligen und für alle Verfahren gültigen Vorgang die Gewichtung der qualitativen Kriterien vorzunehmen. Entsprechend der Bedeutung ist jedes Kriterium prozentual zu gewichten – es können auch Hilfsmethoden wie der paarweise Vergleich (WARNECKE 1996, S. 4-48) angewendet werden –, so dass die Summe der Gewichtungen 100 % entspricht.

Bei der qualitativen Bewertung sind dann die einzelnen Kriterien für ein bestimmtes Verfahren hinsichtlich ihres Erfüllungsgrads zu beurteilen. Hierfür steht exemplarisch eine Skala von „0“ bis „10“ zur Verfügung. Bei dieser Skalierung bedeutet eine Bewertung mit „0“ einen sehr schlechten und eine Bewertung mit „10“ einen sehr guten Erfüllungsgrad. Durch die Multiplikation der Bewertungs- mit der Gewichtungszahl können die einzelnen Teilnutzen errechnet und durch die Addition der Teilnutzen die Kennzahl Nutzwert generiert werden. Je weiter sich der Nutzwert dem Maximum „10“ annähert, desto besser ist das Verfahren hinsichtlich der qualitativen Kriterien geeignet.

Da im Rahmen einer entwicklungs- und planungsbegleitenden Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen mehrere alternative Verfahrensketten erarbeitet werden, ist zur Reduzierung des Aufwands eine Einschränkung der nutzwertanalytischen Bewertung auf die relevanten Elemente erforderlich. Wie in Abbildung 48 illustriert, sollen nur diejenigen Verfahren einer nutzwertanalytischen Bewertung unterzogen werden, welche den Unterschied in den Verfahrensketten ausmachen (= Unterschiedbildner). Durch diese Konzentration auf die den Unterschied bildenden Verfahren ist sichergestellt, dass sich der Aufwand einer Bewertung ausschließlich auf die relevanten Verfahren beschränkt. Bestehen die Unterschiedbildner in den diversen alternativen Verfahrensketten aus einer ungleichen Anzahl an Verfahren, so ist jeweils ein Mittelwert zu berechnen, um die Bewertung auf eine einheitliche Vergleichsbasis zu beziehen.

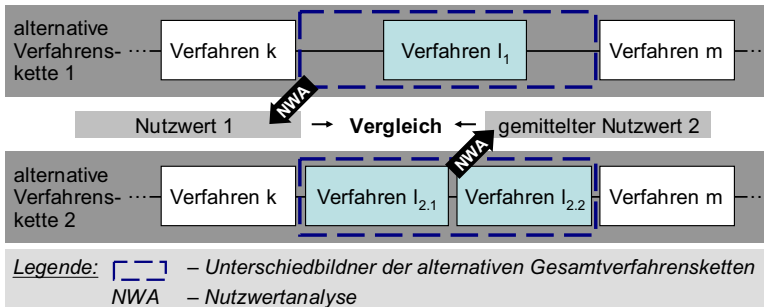


Abbildung 48: Nutzwertanalytische Bewertung alternativer Verfahrensketten

Die Ausführung einer nutzwertanalytischen Bewertung im jeweiligen Unternehmen soll idealerweise innerhalb eines multidisziplinären Teams, das sich aus den involvierten Verfahrensexperten bzw. bei neuen Technologien auch aus externen Vertretern zusammensetzt, erfolgen. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Bewertung einen repräsentativen, neutralen und weitestgehend objektivierten Nutzwert zum Ergebnis hat. Der relativ hohe Zeitaufwand für eine nutzwertanalytische Bewertung macht es erforderlich, dass die technologisch nicht machbaren und die wirtschaftlich nicht sinnvollen Verfahrensketten bereits ausgeschlossen worden sind (vgl. Beschreibung der Vorgehensweise in Abschnitt 4.4).

4.2.6 Modell zur Bewertung von Einmalaufwänden

Eine reife Bewertung der Fertigungskosten wurde in Abschnitt 4.2.4 erläutert. Eventuell erforderliche Investitionen in Betriebsmittel werden im Rahmen der Maschinenstundensatzrechnung (Abbildung 41, S. 107) berücksichtigt. Jedoch ist es in der Praxis durchaus möglich, dass sich zwei Verfahrensketten bezüglich der erforderlichen Einmalaufwände zur Umsetzung der Verfahrensketten deutlich unterscheiden, obwohl diese ähnliche Ergebnisse hinsichtlich der Fertigungskosten und der qualitativen Kriterien aufweisen. Einmalaufwände, betriebswirtschaftlich als Auszahlungen definiert (WÖHE 2002, S. 828 ff.), wie beispielsweise

- Sonderbetriebsmittel (z. B. Vorrichtungen),
- einmaliger Planungsaufwand (z. B. Versuche in der Arbeitsvorbereitung (AV) und der NC-Programmierung) oder
- Aufwand für die serienreife Entwicklung von neuen Technologien,

4.2 Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen

werden i. d. R. in der Maschinenstundensatzrechnung nicht berücksichtigt. Da diese Einmalaufwände eine bedeutende Entscheidungsgrundlage darstellen können, ist es erforderlich, adäquate investitionsrechnerische Methoden zu nutzen. Um durch die Diskontierung die Temporalität der Auszahlungen berücksichtigen zu können (Abschnitt 2.3.5), wird die Anwendung einer dynamischen Investitionsrechnung in Form der Kapitalwertmethode vorgeschlagen. Da es sich bei der Bestimmung von Einmalaufwänden vielfach um Tätigkeiten in den indirekten Leistungsbereichen handelt, sei zu deren Bestimmung auf die Methoden der Prozesskostenrechnung verwiesen (Abschnitt 2.3.4).

Im Zuge der Methodik soll eine Möglichkeit dargeboten werden, Einmalaufwände in Bezug auf verschiedene Produktionsalternativen in die Bewertung einzubeziehen, wenn diese eine stark unterschiedliche Auszahlungscharakteristik aufweisen. Da im Rahmen der Arbeit die Konvention gilt, dass mit jeder alternativen Verfahrenskette ein identisches Produkt hergestellt wird, ist die Ertragsseite bei der investitionsrechnerischen Bewertung nicht relevant. Deshalb wird diese angepasst, indem nur die negativen Zahlungsströme (Auszahlungen) Berücksichtigung finden. Die Auszahlungen gehen insofern in die nachfolgend dargestellte Berechnung mit positivem Vorzeichen ein. Entsprechend dieser Annahmen und Rahmenbedingungen wird das Ergebnis dieser adaptierten investitionsrechnerischen Bewertung aufwandsorientierter Kapitalwert (AK) genannt (Formel (6)). Die Berechnung ist an WÖHE (2002, S. 619 ff.) angelehnt und basiert auf den relevanten Zahlungsreihen über dem Entscheidungszeitraum (Abbildung 49). Mittels der Zahlungsreihen und Formel (6) kann der aufwandsorientierte Kapitalwert errechnet und für eine Entscheidungsfindung bezüglich der Produktionsalternativen herangezogen werden. Demzufolge ist diejenige Produktionsalternative die langfristig kostengünstigste, die den kleinsten AK aufweist. Um gleichzeitig die wiederkehrenden Aufwände und die Einmalaufwände für die verschiedenen Produktionsalternativen berücksichtigen zu können, werden beide Aspekte in die Berechnung des aufwandsorientierten Kapitalwerts einbezogen.

Die wiederkehrenden Aufwände (WA) errechnen sich durch die Multiplikation der Anzahl der Bauteile (ANZ) in der jeweiligen Periode bzw. im jeweiligen Jahr (j) mit den Fertigungskosten (FK) über den Entscheidungszeitraum hinweg. Die Fertigungskosten beziehen sich hierbei auf die gesamte Verfahrenskette der jeweiligen Produktionsalternative, die – wie in Abschnitt 4.2.4 erläutert – reifend für die einzelnen Verfahren ermittelt werden können. Über die entsprechenden Perioden bzw. Jahre hinweg ist es möglich, die zeitliche Variabilität der Fertigungskosten, wie beispielsweise durch die Erschließung von Rationalisierungspotenzialen, zu berücksichtigen.

| Zahlungsreihe im Entscheidungszeitraum | | | | | | |
|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----|------------------------------------|
| Perioden (Jahr (j)) | 0 | 1 | 2 | 3 | ... | u |
| Anzahl geplanter Bauteile (ANZ _j) | ANZ ₀ | ANZ ₁ | ANZ ₂ | ANZ ₃ | ... | ANZ _u |
| wiederkehrende Aufwände (WA) [€] in Abhängigkeit von den Fertigungskosten (FK) | | | | | | |
| WA _j | ANZ ₀ • FK _j | ANZ ₁ • FK _j | ANZ ₂ • FK _j | ANZ ₃ • FK _j | ... | ANZ _u • FK _j |
| Einmalaufwände (EA) [€] | | | | | | |
| Sonderbetriebsmittel (SBM _j) | SBM ₀ | SBM ₁ | SBM ₂ | SBM ₃ | ... | SBM _u |
| einmalige AV-Aufwände (AAV _j) | AAV ₀ | AAV ₁ | AAV ₂ | AAV ₃ | ... | AAV _u |
| sonstige einmalige Aufwände (SEA _j) | SEA ₀ | SEA ₁ | SEA ₂ | SEA ₃ | ... | SEA _u |
| Summe der Aufwände für das jeweilige Jahr (JA) [€] | | | | | | |
| JA _j | JA ₀ | JA ₁ | JA ₂ | JA ₃ | ... | JA _u |

Abbildung 49: Berechnung des aufwandsorientierten Kapitalwerts

Des Weiteren gehen die diversen Einmalaufwände (EA) als Summanden in die Aufwände für das jeweilige Jahr (JA) ein (Formel (7)). Diese setzen sich aus Sonderbetriebsmitteln (SBM), einmaligen Aufwänden der Arbeitsvorbereitung (AAV) und sonstigen Einmalaufwänden (SEA) zusammen. Typischerweise sind die Einmalaufwände für die ersten Jahre der Zahlungsreihe anzusetzen, da die zugrunde liegenden Tätigkeiten und Objekte als Voraussetzung für eine Serienproduktion erforderlich sind:

$$JA_j = WA_j + SBM_j + AAV_j + SEA_j \quad (6)$$

$$AK = \sum_{j=0}^u JA_j \cdot (1+i)^{-j} \quad (7) \quad i - \text{interner Kalkulationszinsfuß}$$

Die bekannten Einmalaufwände für die jeweiligen Verfahren sind der Verfahrenswissensbasis zu hinterlegen. Das heißt, die betriebsmittelneutralen und -spezifischen Einmalaufwände zu den Verfahren sollen innerhalb der Verfahrensstruktur (Abschnitt 4.2.2) im Bereich des beschreibenden Wissens dokumentiert werden. Dadurch wird zum einen ein unternehmensinternes Controlling und Monitoring der Einmalaufwände forciert und zum anderen eine Bewertung der Einmalaufwände mit einem möglichst geringen Aufwand unterstützt. Für neue, im Unternehmen noch nicht etablierte Verfahren sind diese Informationen durch Recherche und in Zusammenarbeit mit z. B. Anlagenlieferanten zu ermitteln.

4.3 Kombination der Partialmodelle

Das Modell zur Abbildung von Wissen (Abschnitt 4.2.2) und das Modell zur Abbildung von Interdependenzen und Alternativen (Abschnitt 4.2.3) ermöglichen den strukturierten Umgang mit Planungswissen und bieten Methoden sowie Hilfsmittel zur standardisierten entwicklungsbegleitenden Planung von Verfahrensketten. Die Partialmodelle der Methodik stellen mit der Strukturierung der Produktklassen, der Strukturierung der Verfahren, der Produkt-Primärverfahren-Matrix sowie den standardisierten Verfahrensmodulen eine Grundlage für die Planungstätigkeiten dar. Alle Elemente sind Bestandteile eines Planungsbaukastensystems, um transparent, standardisiert und weitestgehend personenunabhängig alle alternativen Verfahrensketten für ein spezifisch zu planendes Produkt aufstellen zu können. Durch die Vielzahl der so generierten Verfahrensketten ist es erforderlich, die für den Entwicklungs- bzw. Planungsfall am besten geeignete Verfahrenskette zu identifizieren. Hierfür ist eine ganzheitliche Bewertung von Produktionsalternativen notwendig. Deshalb konzentriert sich dieser Abschnitt auf die Zusammenführung der vorgestellten Partialmodelle der Bewertung:

- Ressourcen- und produktionsverfahrensorientiertes Modell zur reifenden Kostenbewertung (Abschnitt 4.2.4)
- Modell zur Bewertung qualitativer Aspekte (Abschnitt 4.2.5)
- Modell zur Bewertung von Einmalaufwänden (Abschnitt 4.2.6)

Diese Partialmodelle müssen zusammengeführt werden, um eine weitestgehend objektive Entscheidung hinsichtlich der Verfahrensketten abzuleiten. Hierfür wird das nachfolgend beschriebene Vorgehen vorgeschlagen.

Bezüglich der Kombination der Partialmodelle ist es eine Anforderung, die reifend bewerteten Fertigungskosten mit den qualitativen Bewertungsergebnissen zusammenzuführen. Hierfür wird die Möglichkeit gewählt, die Bewertungen der beiden Partialmodelle in einer Grafik zu koppeln (Abbildung 50). Die Fertigungskosten beziehen sich hier auf die gesamte Verfahrenskette einer Produktionsalternative. Folglich sind alle erforderlichen Primär- und Sekundärverfahren mit den entsprechenden monetären Bewertungsmöglichkeiten aus Abschnitt 4.2.4 eingeschlossen. Der Nutzwert bezieht sich auf die unterschiedbildenden Verfahrenskettenelemente. Die jeweils identischen Elemente der Verfahrensketten gehen im Sinne eines für alle Ketten identischen Basisniveaus nicht explizit in den Entscheidungsprozess mit ein.

Wie in Abbildung 50 erkennbar, geht auch der Reifegrad der Verfahrenskettenkonfiguration bzw. der Reifegrad der Bewertung der Fertigungskosten in Form des Vertrauens-

intervalls in die grafische Darstellung mit ein. Die Quantität und die Qualität der Eingangsinformationen für die Bewertung sowie der Bekanntheitsgrad der Verfahren (existierendes Verfahren versus neue Technologie) verursachen individuell ausgeprägte Bewertungsunschärfen, die durch das Vertrauensintervall abgebildet werden. Die Größe des Vertrauensintervalls (VI) lässt sich durch die Fromel (8) berechnen. Der Faktor B_{xn} (z. B. 10 %) repräsentiert hierbei eine aus dem eingesetzten Bewertungsverfahren resultierende, klassifizierte Unschärfe der Kalkulation. Wie in Abbildung 46 dargestellt, existieren entsprechend den diversen zeitlichen Phasen bzw. den Eingangsinformationen unterschiedliche monetäre Bewertungsmöglichkeiten. Für diese sollen, auf der Basis von Empirie oder Expertenbefragungen, standardisierte Unschärfebereiche in Form von B_{xn} definiert werden. Beispielsweise wird eine Schätzung bezüglich einer neuen Technologie einer größeren Unschärfe unterliegen als eine Berechnung, die auf vielschichtigen Eingangsparametern zu einem im Unternehmen bereits genutzten Verfahren basiert. Der Index n benennt die verschiedenen Verfahren innerhalb einer Kette ($n = \{1, \dots, \text{Anzahl der Verfahren in einer Kette}\}$). Zur Berechnung des Vertrauensintervalls wird das Teilvertrauensintervall zu jedem Verfahren n durch die Multiplikation von B_{xn} mit dem jeweiligen Fertigungskostenanteil des Verfahrens n bestimmt. Der Fertigungskostenanteil entspricht der Relation der Fertigungskosten des Verfahrens n (FK_n) zu den Fertigungskosten der gesamten Verfahrenskette (FK_{gesamt}). Durch die Summierung aller Teilvertrauensintervalle kann das gesamte Vertrauensintervall für die Verfahrenskette errechnet und grafisch dargestellt werden (Abbildung 50):

$$VI = \sum_n (B_{xn} \cdot \frac{FK_n}{FK_{\text{gesamt}}}) \quad (8)$$

Durch die Darstellung des Vertrauensintervalls wird es möglich, Fehlentscheidungen zu vermeiden, da z. B. visualisierbar ist, dass eine scheinbar teurere Verfahrenskette sich im Verlauf der Planung zur kostengünstigeren entwickeln könnte.

Um eine differenzierte Aussage hinsichtlich der langfristigen Vorteilhaftigkeit für alternative Verfahrensketten zu erhalten, ist eine kombinierte Betrachtung in Verbindung mit dem aufwandsorientierten Kapitalwert anzustreben. Hierfür wird die Möglichkeit der Darstellung innerhalb der in Abbildung 50 visualisierten Grafik gewählt. Der aufwandsorientierte Kapitalwert (AK) stellt neben den Fertigungskosten, dessen Vertrauensintervall und dem Nutzwert die vierte Betrachtungsdimension dar. Für eine geeignete Skalierung zum Antragen des AK wird waagrecht zum untersten Fertigungskostenwert (UFW) der AK-Wert zu dieser Verfahrenskette eingezeichnet. Ebenso wird der höchste AK-Wert waagrecht zum obersten Fertigungskostenwert (OFW) der alternativen Verfahrensketten definiert. Zwischen, über und unter diesen Werten wird eine

4.3 Kombination der Partialmodelle

lineare Skalierung der AK-Achse vorgenommen. Die beschriebene Konvention für die grafische Auswertung hat den Zweck, die Vergleichbarkeit der Verfahrensketten sicherzustellen. So wird transparent, ob eine Verfahrenskette langfristig monetäre Vor- oder Nachteile in Relation zu den Fertigungskosten birgt. Durch diese Art der grafischen Auswertung kann jedoch keine automatisierte Entscheidung abgeleitet werden. Da die Fertigungskosten in Form des Vertrauensintervalls mit Unsicherheiten belegt sind, gilt es beispielsweise Sensitivitätsanalysen durchzuführen, welche Verfahrenskette die geeignetste Lösung im Spannungsfeld zwischen monetären und qualitativen Aspekten darstellt. Auf dieser Grundlage ist es die Aufgabe des Unternehmens, die grafischen Ergebnisse für den individuellen Fall zu erörtern und zu interpretieren.

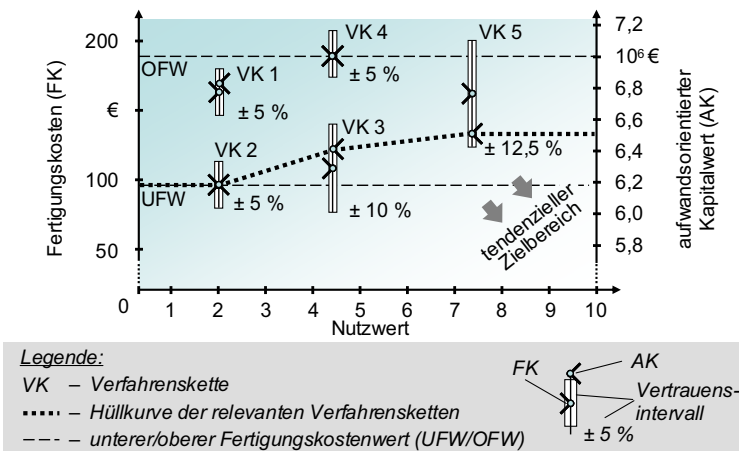


Abbildung 50: Grafische Gegenüberstellung der Verfahrensketten (exemplarisch)

Eine Auswahl der näher zu betrachtenden Verfahrensketten sollte erst dann erfolgen, wenn ein ausreichender Reifegrad in der Planung erarbeitet worden ist. Da eine weitere Betrachtung und Detaillierung von Verfahrensketten einen hohen personellen Aufwand bedeuten, ist hierbei stets Nutzen/Aufwand-orientiert vorzugehen. Die Verfahrensketten sind nur dann zu detaillieren, wenn sie entweder günstige Fertigungskosten, einen niedrigen AK oder einen hohen qualitativen Nutzen in Form des Nutzwerts versprechen. Deshalb sind tendenziell diejenigen Verfahrensketten näher zu betrachten, die im Spannungsfeld zwischen kostengünstigen monetären Kennwerten und geringem Nutzwert sowie etwas erhöhten monetären Kennwerten und hohem Nutzwert liegen. Es sind die Verfahrensketten auszuwählen, die in Abbildung 50 mit steigendem Nutzwert (von links nach rechts) den geringsten Anstieg des AK zur Folge haben (monoton steigende Hüllkurve der relevanten Verfahrensketten). Auf der Grundlage der zur Verfügung

gestellten Visualisierungshilfen (vgl. Abbildung 50) müssen die involvierten Mitarbeiter die Ergebnisse interpretieren, den Lösungsraum Schritt für Schritt eingrenzen und die am besten geeignete Verfahrenskette im Verlauf der Planungsphasen auswählen. Inwieweit ein hoher Nutzwert, der sich langfristig auch in monetären Vorteilen auswirken kann, höhere aktuelle Fertigungskosten bzw. einen erhöhten AK rechtfertigt, kann nicht pauschal beantwortet werden. Vielmehr ist dieser Sachverhalt für jeden spezifischen Anwendungsfall zu klären. Die hier dargestellte Vorgehensweise zur Vorauswahl der Verfahrensalternativen soll jedoch eine Orientierung dazu bieten.

Im fiktiven Beispiel aus Abbildung 50 wird verdeutlicht, dass die Verfahrenskette zwei (VK2) trotz geringstem AK möglicherweise keine Umsetzungsalternative darstellt, da der Nutzwert (z. B. infolge hoher Planungsrisiken) relativ gering ist. VK5 weist deutlich höhere Fertigungskosten auf als VK3. Langfristig verursacht VK5 jedoch kaum höhere Aufwände als VK3, was in Form des AK abgebildet wird. In Bezug auf die nutzwertanalytische Bewertung ist VK5 im Vergleich zu VK3 als deutlich vorteilhafter einzustufen. Diese Aussagen spiegeln sich in Form der kombinierten Darstellung wider, so dass in diesem fiktiven Beispiel eine tendenzielle Aussage abgeleitet werden kann. Darum bietet VK5 zum visualisierten Bewertungszeitpunkt die wahrscheinlich bessere Alternative, da sie bei langfristig vergleichbaren Kosten qualitative Potenziale bietet, die langfristig auch in einer monetären Vorteilhaftigkeit resultieren können (Annäherung an den tendenziellen Zielbereich). Im Verlauf der Planungsphasen gilt es, korrelierend mit den verfügbaren Informationen und den damit einhergehenden möglichen Bewertungsverfahren das Vertrauensintervall zu verkleinern. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die letztendlich beste Verfahrensalternative ausgewählt wird.

4.4 Vorgehensweise zur Anwendung der Methodik

4.4.1 Allgemeines

Nachdem in Abschnitt 4.2 und 4.3 alle Partialmodelle der Methodik und deren Kombination vorgestellt wurden, erläutert dieser Abschnitt die Vorgehensweise zur entwicklungs- und planungsbegleitenden Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen. Die Ausführung der vorbereitenden Tätigkeiten (z. B. Definition von Produktklassen, Strukturierung der Produkte, Strukturierung der Verfahren, Definition einer Produkt-Primärverfahren-Matrix) sind Voraussetzungen für die Anwendung der Methodik. Zur Beschreibung der hoch iterativen Vorgehensweise wurde ein vierstufiges Modell (Abbildung 51) entwickelt.



Abbildung 51: Überblick über die Vorgehensweise zur Anwendung der Methodik

In Abschnitt 4.4.2 wird der erste Schritt der Methodikanwendung dargestellt. In diesem erfolgt die in Bezug auf die Produktentwicklung und Produktionsplanung integrierte Definition der Produktelemente. Es werden die notwendigen Produktausprägungen mit Hilfe der Produktklassen und Produktstrukturen ausgewählt. Darauf aufbauend werden im zweiten Schritt die groben Verfahrensketten mittels Primärverfahren und Verfahrensmodulen gestaltet (Abschnitt 4.4.3). Die Anpassung der groben Verfahrensketten soll in einer Annäherung an den Zielzustand der Verfahrensketten resultieren. Des Weiteren werden Analyse- und Iterationstätigkeiten initialisiert, um alle relevanten Verfahrenskettenalternativen zu identifizieren. Es gilt nicht nur eine mögliche Verfahrenskette aufzubauen, sondern vielmehr soll sichergestellt werden, dass alle sinnvollen und möglichen Verfahrensketten in die Überlegungen mit einbezogen werden (Abschnitt 4.4.4). Im anschließenden Abschnitt 4.4.5 wird erläutert, wie im vierten Schritt aus dem Spektrum der erarbeiteten alternativen Verfahrensketten die am besten geeignete ausgewählt wird.

Nachfolgend werden die jeweiligen Schritte erläutert. Die Vorgehensweise wird in Anlehnung an GRUNWALD (2002) (vgl. Abbildung 14) mit den Beschreibungselementen *Eingangsinformationen*, *Tätigkeitsbeschreibung*, beteiligte *Unternehmensbereiche*, eingesetzte *Methoden/Werkzeuge* und resultierende *Ausgangsinformationen* dargestellt. Durch diese Art der Repräsentation werden sowohl ablauf- als auch aufbauorganisatorische Aspekte beschrieben. Des Weiteren ist im Anhang der Arbeit ein detailliertes Ablaufdiagramm bezüglich der Vorgehensweise mit den möglichen Iterationsschleifen abgebildet.

4.4.2 Schritt 1: integrierte Produktdefinition

Im Zuge der integrierten Produktdefinition gilt es, das Produkt unter Zuhilfenahme des Klassifikationsansatzes soweit zu definieren, dass mit den zu diesem Zeitpunkt wenigen verfügbaren Informationen die Planung der Verfahren einsetzen kann. Hierfür ist die

Eingliederbarkeit des geplanten Produkts in das bestehende Produktspektrum bzw. in die Produktklassen eine notwendige Voraussetzung. Dadurch kann das produkt- und verfahrensorientiert abgebildete Wissen genutzt werden. Um die Methodik sinnvoll anwenden zu können, sind die Produkte bis in die Bauteil- bzw. die elementare Baugruppenebene zu untergliedern. Dies ist erforderlich, da nur so mittels der Produkt-Primärverfahren-Matrix eine pragmatische, bidirektionale Zuordnung zwischen Produkt und Verfahren erfolgen kann.

Eingangsinformationen

Als Eingangsinformationen stehen in diesem ersten Schritt i. d. R. nur wenige detaillierte Informationen, wie grobe Geometrien (2D-Zeichnungen), Einsatzbedingungen, Werkstoffe oder Lösungsprinzipien für die Bauteile und die elementaren Baugruppen, zur Verfügung. Um das geplante Produkt in das jeweilige unternehmensspezifische Produktspektrum einordnen zu können, müssen derartige Informationen und Beschreibungselemente für die Produktklassen vorliegen.

Tätigkeiten

Auf der Grundlage der Eingangsinformationen muss zuerst eine Einordnung in die bestehenden Produktklassen vorgenommen werden. Hierfür sind vor allem Ähnlichkeitsaspekte hinsichtlich des Funktionszwecks, der Beanspruchung, der Geometrien oder der Wirkprinzipien zu nutzen. Diese können durch die verfügbaren produktseitigen Eingangsinformationen erschlossen werden. Die ausgewählte Produktklasse beschreibt das zugrunde liegende Produkt mit einer Maximalausprägung nach Produktfunktionen, Produktelementen und Subelementen. Für das spezifische Produkt und gemäß den existierenden Eingangsinformationen sollen die für das Bauteil erforderlichen Produktfunktionen ausgewählt werden. Entsprechend der hierarchischen Strukturierung der Produktklassen (Abbildung 33) sind den Funktionen die möglichen und teilweise auch alternativen Produktelemente und Subelemente zuzuordnen. Ein Beispiel für eine funktionale Zuordnung bei Turbinenschaufeln in Luftfahrtantrieben ist die Realisierung der erforderlichen Kühlung im Betrieb durch Kühlbohrungen (Abbildung 52). Aus den alternativen Möglichkeiten zur Realisierung der Funktionen über die entsprechenden Produktelemente sind die geeigneten Lösungen auszuwählen.

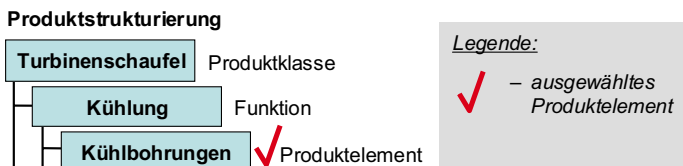


Abbildung 52: Beispiel für die Auswahl der erforderlichen Produktelemente

Die Struktur der Produktklasse kann dazu genutzt werden, um neue produktentwicklungsseitige Realisierungsmöglichkeiten aufzunehmen. So kann jederzeit das aktuelle Spektrum für die Ausgestaltung der Produkte abgebildet werden.

Unternehmensbereich(e)

Bei diesem Schritt ist der Produktentwicklungsbereich federführend. Es ist die Kernaufgabe und -kompetenz der Produktentwicklung, das Produkt zu definieren. Allerdings ist an dieser Stelle auch eine Partizipation der Produktionsplanung wünschenswert. Durch diese soll schon in der frühen Phase produktionsseitig optimierender Einfluss genommen werden. Insofern spielt der Integrationsansatz zwischen der Produktentwicklung und Produktionsplanung bereits im ersten Schritt eine tragende Rolle. Gleichzeitig kann dieser Schritt genutzt werden, um für das konkrete Entwicklungs- bzw. Planungsprojekt die Bildung eines integrierten Teams vorzunehmen.

Methoden/Werkzeuge

Die Tätigkeiten im Rahmen des ersten Schritts sind maßgeblich durch die ausführenden Mitarbeiter und die jeweils eingesetzten Rechnerwerkzeuge bestimmt. Sie werden durch die aufgebauten Produktklassen und die darauf basierenden Produktstrukturen unterstützt. Um die produktionsseitigen Integrationsmechanismen zu stärken, ist ein Einsatz der Produkt-Primärverfahren-Matrix sinnvoll. Dadurch können die produktionstechnischen Konsequenzen aus der Definition der Produktelemente abgeleitet werden.

Ausgangsinformationen

Mittels der dargestellten Vorgehensweise werden die erforderlichen Produktelemente durch die Mitarbeiter der Produktentwicklung und Produktionsplanung definiert. Diese Ausgangsinformationen des ersten Schritts bilden wiederum die erforderlichen Eingangsinformationen für die darauf folgenden Schritte.

4.4.3 Schritt 2: Verfahrenskettendefinition

In diesem Schritt ist es das Ziel, die alternativen groben Verfahrensketten zur Herstellung der Produktelemente zu definieren. Es soll der Übergang von der Produktentwicklung zur Produktionsplanung vollzogen werden.

Eingangsinformationen

Die definierten Produktelemente und deren Alternativen des ersten Schritts sind notwendige Eingangsinformationen für die Verfahrenskettendefinition. Um alle in der Produkt-Primärverfahren-Matrix abgebildeten und die produktrelevanten Restriktionen berücksichtigen zu können, sind außerdem die aus Schritt 1 verfügbaren Informationen über das Produkt notwendig.

Tätigkeiten

Im Rahmen der Verfahrenskettendefinition müssen den ausgewählten Produktelementen zuerst die Primärverfahren mit Hilfe der Produkt-Primärverfahren-Matrix zugeordnet werden. Die Konfigurationsgrundlage sind die Primärverfahren, die zu den Produktelementen des Produkts in Relation gesetzt werden (Abschnitt 4.2.3). Beispielsweise kann ein Produktelement „Verbindung zweier Produktelemente“ mit einem Verfahrensmodul „Schweißen“ verknüpft werden. Zur Konfigurationsunterstützung dienen die hinterlegten Informationen zu den Verfahren (vgl. Abschnitt 4.2.2).

Die jeweiligen Primärverfahren implizieren zusätzlich weitere elementare sekundäre Verfahren, wie in den entsprechenden Verfahrensstrukturen und dem modularen Baukastensystem dargestellt (Abschnitt 4.2.3). Insofern werden die Primärverfahren durch die zugrunde liegenden Verfahrensmodule komplettiert. Nach der Auswahl der Primärverfahren und der damit verbundenen Verfahrensmodule gilt es, diese in eine sinnvolle, d. h. technisch machbare Sequenz zu bringen. Hierfür wird im Rahmen dieser Arbeit auf die Ansätze von FALLBÖHMER (2000), TROMMER (2001) und KNOCHEN (2005) verwiesen. Die einzelnen Verfahrensmodule sind in eine Reihenfolge zu bringen, so dass jedes einzelne Verfahren bzw. Verfahrensmodul eine geeignete Kopplungsbedingung als Eingangs- und Ausgangszustand beinhaltet (Abbildung 53). Ein Verfahren bzw. ein Verfahrensmodul muss das Bauteil oder die Baugruppe in einen Ausgangszustand (AZ) versetzen, der gleichzeitig als Eingangszustand (EZ) für das darauf folgende Verfahren bzw. Verfahrensmodul geeignet ist. Beispielsweise sollen alle mechanischen Verfahren vor einem möglichen Spannungsarmglühen abgeschlossen sein. Zur Unterstützung für diese Aufgabe dient die in Abschnitt 4.2.3.3 vorgestellte Matrix zur Abbildung der Relationen zwischen Primärverfahren (Abbildung 37). Innerhalb eines Verfahrensmoduls sind geeignete Ausprägungen der Kopplungsbedingungen infolge der Abbildung von validierten standardisierten Modulen sichergestellt.

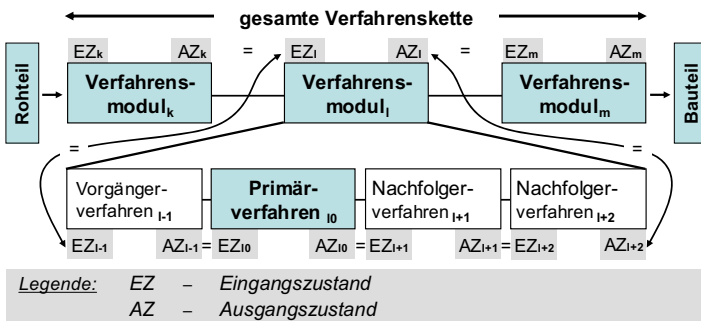


Abbildung 53: Kopplungsbedingungen für Verfahren und Verfahrensmodule

4.4 Vorgehensweise zur Anwendung der Methodik

Die möglichen Ein- und Ausgangszustände sollen durch die Abbildung und Nutzung von Wissen bezüglich der diversen Verfahren gemäß Abschnitt 4.2.2 für den Planungsprozess verfügbar gemacht werden. Eine Kopplung der Ein- und Ausgangszustände und damit der Verfahren kann sowohl manuell vorgenommen werden, als auch durch geeignete Rechnerwerkzeuge, wie wissens- oder regelbasierte Planungssysteme, unterstützt werden (vgl. Abschnitt 4.5). Das Ergebnis dieses Schritts ist eine grobe Verfahrenskette, welche die Abfolge der notwendigen Primärverfahren inklusive aller Vor- und Nachfolgerssekundärverfahren impliziert.

Können einzelne Produktelemente mit verschiedenen Primärverfahren erzeugt werden, so ist es in einem mehrfachen iterativen Durchlaufen dieses Schritts möglich, unterschiedliche Varianten an Verfahrensketten auszuwählen und damit entsprechende Produktionsalternativen zu erzeugen. Es sollen alle kombinatorisch möglichen Verfahrenskombinationen erarbeitet werden. Aus dieser maximalen bzw. sinnvollen Ansammlung an Kombinationen muss nachfolgend die beste im Zuge der Bewertung ausgewählt werden (Abschnitt 4.4.4).

Unternehmensbereich(e)

Im zweiten Schritt besitzen die Produktionsplanungsbereiche eine federführende Rolle. Dennoch ist es von Bedeutung, dass das gesamte integrierte Entwicklungs- und Planungsteam aus Schritt 1 an der Verfahrenskettendefinition beteiligt ist, um bidirektionale Optimierungsschritte zwischen den beteiligten Unternehmensbereichen zu fördern.

Methoden/Werkzeuge

Das zentrale Unterstützungselement bei der Verfahrenskettendefinition ist die Produkt-Primärverfahren-Matrix (Abschnitt 4.2.3). Zum Ausbau der Primärverfahren zu kompletten Verfahrensketten sind die Dokumentationen bezüglich der Verfahrensmodule zu nutzen. Außerdem sind die aufgebauten Wissensbasen für die Produktionsverfahren (Abschnitt 4.2.2) sowie die Matrix zur Abbildung der Relationen zwischen den Primärverfahren zu verwenden, um die Sequenzierung der Verfahrensmodule über die Kopplungsbedingungen der Ein- und Ausgangszustände zu vollziehen.

Soweit möglich, sind die Wissensbasen und die Umsetzung der Kopplungsbedingungen durch Rechnerwerkzeuge zu unterstützen. Da der Nutzen und der Aufwand hinsichtlich des Einsatzes von Rechnerwerkzeugen vom individuellen Unternehmen abhängen, sei hier auf Abschnitt 4.5 verwiesen.

Ausgangsinformationen

Infolge der möglichen Iterationsschleifen bzw. der nicht eindeutigen Produkt-Primärverfahren-Zuordnungen resultieren aus den beschriebenen Tätigkeiten in diesem

Schritt alternative Verfahrensketten für ein zu planendes Bauteil oder eine Baugruppe. Diese Verfahrensketten berücksichtigen bereits die wesentlichen Interdependenzen zwischen den Verfahren, wie in Abschnitt 4.2.3 beschrieben wurde.

4.4.4 Schritt 3: Anpassung und Analyse der Verfahrensketten

Im dritten Schritt wird hauptsächlich eine Anpassung der bisher generierten Verfahrensketten angestrebt. Dies ist erforderlich, weil die in Schritt 2 generierten Verfahrensketten noch nicht um Redundanzen bereinigt und Optimierungspotenziale noch nicht realisiert wurden. Folglich weisen die Verfahrensketten noch einen verbesserungsfähigen Status auf. Beispielsweise kann es der Fall sein, dass Sekundärverfahren wie Spannungsarmglühen, Reinigen oder Rissprüfen bei unterschiedlichen mechanischen Primärverfahren bzw. Verfahrensmodulen enthalten sind. Jedoch ist es zumeist das Ziel, dass diese nachbereitenden Verfahren nur einmal in der Verfahrenskette ausgeführt werden. Insofern müssen in diesem Schritt die Verfahrensketten detailliert und um Redundanzen eliminiert werden. Außerdem ist es im Bereich *Analyse* eine Aufgabe, zu überprüfen, ob alle relevanten Produktionsalternativen generiert worden sind.

Eingangsinformationen

Als Eingangsinformation dienen die im vorigen Schritt erzeugten groben Verfahrensketten. Sämtliche Informationen über die Verfahren und Verfahrensmodule (Abschnitte 4.2.2 bis 4.2.4) werden außerdem als Eingangsinformationen genutzt, um Anpassungs- und Analyseschritte tätigen zu können. Des Weiteren sind unternehmensspezifische Regelwerke bezüglich Verfahren und deren Interdependenzen anzuwenden (Wissensbeschreibung, Produkt-Primärverfahren-Matrix und Modulbeschreibungen mit Regeln). Ein Beispiel für eine Regel, die darin unterstützt, Redundanzen zu eliminieren, ist folgende: „maßliche Prüfung immer nach der letzten mechanischen Bearbeitung in der Verfahrenskette“. Durch diese Regel können z. B. alle maßlichen Prüfungen in der Verfahrenskette durch die an die letzte mechanische Bearbeitung gebundene maßliche Prüfung realisiert werden.

Tätigkeiten

Damit die zu diesem Zeitpunkt verfügbaren Verfahrensketten angepasst werden können, sind die Informationen zu den Verfahrenswechselwirkungen zu nutzen, die den Verfahrensmodulen hinterlegt sind. Die Informationen zu den Wechselwirkungen sind entweder auf der Grundlage des mitarbeiterbasierten Planungswissens zu interpretieren oder es besteht die Option, hierfür rechnerunterstützte wissens- bzw. regelbasierten Systeme anzuwenden.

4.4 Vorgehensweise zur Anwendung der Methodik

Zur Anpassung der Verfahrenskette sollen die von EVERSHEIM & TERHAAG (1999) vorgeschlagenen Strukturmaßnahmen (vgl. Tabelle 1) bzw. Teilelemente davon angewendet werden, um die Basisverfahrensketten aus Schritt 2 zu optimieren. Die hier relevanten Strukturmaßnahmen präsentiert Tabelle 2. Mittels der Strukturmaßnahmen wird die Möglichkeit geschaffen, Verfahren ersatzlos zu streichen (Eliminierung), Verfahren durch ein anderes/verändertes Verfahren zu ersetzen (Substitution), Sequenzen zweier oder mehrerer Verfahren zu ändern (Reihenfolgebildung) und/oder neue Technologien einzuführen bzw. zu integrieren (Gestaltung neuer Verfahren). Durch diese für die Methodik relevanten Strukturmaßnahmen sind die Grundelemente für eine Optimierung der Verfahrensketten bzw. die Generierung alternativer Verfahrensketten geschaffen. Hierbei gilt es zu beachten, dass die Anpassung der Verfahrensketten keinen diskreten Prozess darstellt. Vielmehr ist diese ein kontinuierlicher Prozess, der in die integrierte Produktentwicklung und Produktionsplanung eingebettet ist. Insofern ist der kontinuierliche hinzugewinn von Produkt- und Planungswissen zu nutzen, um die diversen alternativen Verfahrensketten anzupassen.





| Strukturmaßnahme | Darstellung |
|----------------------------|---|
| Eliminierung |  |
| Substitution |  |
| Reihenfolgebildung |  |
| Gestaltung neuer Verfahren |  |

Tabelle 2: Relevante Strukturmaßnahmen für die Anpassung von Verfahrensketten

Hinsichtlich des Aspekts der Analyse sind alle Kriterien zu überprüfen, die entweder den Ausschluss generierter Verfahrensketten bewirken können oder die Generierung alternativer Verfahrensketten initiieren. Ein Ausschluss einer Verfahrenskette ist z. B. dann vorzunehmen, wenn während der Generierung der Verfahrenskette die Verfahrenswchselwirkungen in nicht ausreichendem Maße berücksichtigt werden können bzw. miteinander kollidieren. Das ist beispielsweise dann der Fall, wenn im Rahmen der Strukturmaßnahmen keine Verfahrenssequenz gebildet werden kann, in der die Ein- und Ausgangszustände über die gesamte Kette hinweg miteinander harmonieren.

Ergibt die Analyse der bisher generierten Verfahrensketten keine Kollisionen in Bezug auf die Wechselwirkungen innerhalb der Kette, so ist in einem letzten Schritt eine checklistenartige Überprüfung der Vollständigkeit der Alternativengenerierung anzustoßen. Die bereits existierenden Verfahrensketten sind unter Zuhilfenahme des hinterlegten Verfahrenswissens dahingehend zu überprüfen, ob

- andere Produktelemente zur Realisierung der Verfahren möglich und/oder sinnvoll sind,
- andere Primärverfahren und damit Verfahrensmodule zur Herstellung der Produktelemente genutzt werden können und/oder
- andere Sequenzen innerhalb der generierten Verfahrensketten gebildet werden können.

Für den Fall, dass im Rahmen dieses checklistenartigen Vorgehens die Bildung weiterer Verfahrenskettenalternativen initiiert werden kann, hat an dieser Stelle ein Rücksprung zu Schritt 1 oder 2 zu erfolgen.

Unternehmensbereich(e)

Die Anpassung der diversen Verfahrensketten ist von den Mitarbeitern der Produktionsplanung vorzunehmen. Die Ausführung dieser Tätigkeit in integrierten Teams ist nicht zielführend, da die Kompetenz hinsichtlich der Verfahren und deren Verkettung vorrangig in produktionsorientierten Unternehmensbereichen angesiedelt ist.

Die beschriebenen Analyseschritte, die bei Bedarf Iterationsschleifen der Vorgehensweise initiieren können, sollen dahingegen in projektbegleitenden integrierten Teams ausgeführt werden. In einer interdisziplinären Zusammensetzung ist die Wahrscheinlichkeit am höchsten, dass alle Möglichkeiten und Fragen bearbeitet und damit kreative Lösungen generiert werden. Die Tätigkeit der Analyse besitzt hohe Bedeutung, da somit ein bewusstes „Ausbrechen“ aus einem bereits bekannten Lösungsraum bezüglich der Verfahrensketten unterstützt wird. Auf diese Weise kann das Entwickeln kreativer Lösungen und die Integration neuer Technologien gefördert werden.

Methoden/Werkzeuge

In diesem Schritt basieren die Tätigkeiten der Mitarbeiter auf den Grundlagen der Abschnitte 4.2.2 bis 4.2.4. Zur Anwendung der Strukturmaßnahmen ist ein detailliertes Verfahrenswissen unabdingbar. Insofern können die Tätigkeiten der Anpassung und der Analyse z. B. durch Regelwerke, die Verfahrenswechselwirkungen und Ausschlusskriterien berücksichtigen, oder durch wissens- bzw. regelbasierte Rechnerwerkzeuge, die eine Bestimmung der Verfahrensreihenfolgen (teil-)automatisiert zulassen, unterstützt werden. Eine methodische und werkzeugseitige Unterstützung und deren Ausprägung hängen jedoch von dem Bedarf des jeweiligen Unternehmens ab.

Ausgangsinformationen

Am Ende dieses Schrittes ist sichergestellt, dass alle relevanten alternativen Verfahrensketten generiert worden sind. Die Verfahren innerhalb der Ketten sind grob sequen-

ziert und hinsichtlich der erläuterten Strukturmaßnahmen optimiert. Das Ende von Schritt 3 stellt einen Meilenstein dar, an dem die maximale Anzahl an Alternativen erarbeitet worden ist. Anschließend muss aus diesen Alternativen die für den individuellen Fall optimale ausgewählt werden.

4.4.5 Schritt 4: ganzheitliche Bewertung und Auswahl der Verfahrensketten

Schritt 4 basiert auf den Partialmodellen zur Kostenbewertung (Abschnitt 4.2.4), zur Bewertung qualitativer Aspekte (Abschnitt 4.2.5), zur Bewertung von Einmalaufwänden (Abschnitt 4.2.6) und deren Kombination für eine ganzheitliche Bewertung (Abschnitt 4.3). Nur durch diese Elemente der Methodik ist es möglich, die am besten geeignete Verfahrenskette für das zu planende Produkt auszuwählen. Die Bewertung der verschiedenen Verfahrensketten ist ein kontinuierlich reifender Unternehmensprozess, der mit steigendem Genauigkeitsgrad der Eingangsinformationen in einen gesteigerten Reifegrad der Bewertungsergebnisse mündet. Im Zuge der Bewertung sollen möglichst frühzeitig irrelevante Verfahrensketten ausgeschlossen werden, um diese nicht unnötig zu detaillieren und damit vermeidbare Aufwände zu tätigen.

Eingangsinformationen

In Bezug auf die Eingangsinformationen sind die aus den vorhergehenden Schritten erarbeiteten und laufend aktualisierten Produktparameter (z. B. Geometrien, Toleranzen, Werkstoffe) zu übernehmen. Für eine Bewertung der Fertigungskosten sind alle Informationen bereitzustellen, die für das Verfahren erforderlich sind, um die Zeiten zur Ausführung nach den in Abschnitt 4.2.4 diskutierten Varianten ermitteln zu können. Insofern werden im Verlauf der Planung die Verfahrensparameter bzw. – nach einer Festlegung der Betriebsmittel im Laufe der Planungsphasen – die Prozessparameter benötigt. Damit auf der Grundlage der Zeiten die Fertigungskosten ermittelt werden können, müssen die verfahrens-, betriebsmittel- und mitarbeiterspezifischen Stundensätze verfügbar sein. Hierfür kann beispielsweise das ERP-System des jeweiligen Unternehmens genutzt werden. Differenzierte Aussagen können getroffen werden, wenn Eingangsinformationen wie Auslastungsfaktoren (vgl. ZAF in Abschnitt 4.2.4.1) bezüglich des geplanten Produktionssystems vorliegen.

Zur Bewertung der Einmalkosten sind die im Rahmen des Bewertungsmodells (Abschnitt 4.2.6) vorgestellten Eingangsinformationen wie die Zahlungsreihe, der Zinsfuß oder die diversen Kategorien an Einmalkosten für die jeweiligen Verfahren bereitzustellen. Für eine qualitative Bewertung der Verfahrensketten bzw. ihrer Unterschiedsbildner sind Erfahrungen und Wissen zu den qualitativen Aspekten der Verfahren notwendig.

Tätigkeiten

Die in diesem Schritt erforderlichen Tätigkeiten innerhalb eines Unternehmens sind durch die Beschreibungen in den Abschnitten 4.2.4 bis 4.3 bereits detailliert dargestellt worden und werden deshalb an dieser Stelle nur zusammengefasst. Hinsichtlich der monetären Bewertung der Verfahrensketten ist ein ganzheitlicher Ansatz in Form von Kalkulationen und längerfristigen Bewertungen anzustellen. Hierfür sind sowohl die Fertigungskosten – über die geschätzten, standardisierten, historisch ermittelten und berechneten Zeiten sowie die Maschinenstundensätze – als auch die langfristigen aufwandsorientierten Kapitalströme im Rahmen der Kapitalwertmethode heranzuziehen. Je nach Verfügbarkeit der Eingangsinformationen und gemäß der zeitlichen Phase sind die geeigneten Kalkulationsmethoden aus Abbildung 46 zu wählen.

Da jedoch bei der Auswahl von Verfahrensketten nicht nur monetäre Aspekte eine Rolle spielen, müssen auch qualitative Aspekte in eine ganzheitliche Bewertung mit einbezogen werden. Mittels der Methode der Nutzwertanalyse sind für die individuellen Unterschiedsbildner der Verfahrensketten die qualitativen Ausprägungen zu bewerten. Letztendlich sind die monetären und die qualitativen Kennwerte (grafisch) zusammenzuführen, um die für das Unternehmen am besten geeignete Verfahrenskette auszuwählen (Abschnitt 4.3).

Unternehmensbereich(e)

Die Bewertung und Auswahl der Verfahrensketten erfolgt federführend seitens der Produktionsplanung. Die Bewertungsergebnisse sind dahingegen im integrierten Team zu diskutieren. Ebenso ist eine enge Kooperation mit dem Angebotswesen und dem Controlling im Unternehmen anzustreben. Hierdurch können die zu erwartenden Kosten umgehend bei der Preisfindung des Produkts sowie in der Unternehmensstrategie berücksichtigt werden.

Methoden/Werkzeuge

Eine wesentliche Unterstützung bei der Bewertung bieten die vorgestellten Methoden der Zeitermittlung (Schätzung, Standardzeiten, Nutzung historischer Daten und Zeitfunktionen). Des Weiteren basiert die Bewertung der Fertigungskosten auf der Methode der Maschinenstundensatzrechnung. Zur Bewertung der Einmalkosten wird auf die erläuterte Methode der aufwandsorientierten Berechnung des Kapitalwerts sowie die Prozesskostenrechnung zurückgegriffen. Die Methode der Nutzwertanalyse dient der Bewertung der qualitativen Aspekte, bevor mittels grafischer Auswertungswerkzeuge eine Gesamtaussage bzw. eine Verfahrenskettenauswahl vorbereitet wird. Hierzu dient das Fertigungskosten-Nutzwert-Kapitalwert-Diagramm aus Abbildung 50 (S. 126).

Ausgangsinformationen

Das Ergebnis des vierten Schrittes ist eine ausgewählte optimale Verfahrenskette, die in kontinuierlichen Einzelschritten identifiziert wurde. Diese Verfahrenskette kann anschließend der Arbeits- bzw. Prozessplanung zur Detaillierung zugeführt werden. Des Weiteren können die im Zuge der Bewertung erarbeiteten Ergebnisse, wie die Fertigungskosten, für die Erstellung von Angeboten oder die Durchführung eines Target Costings genutzt werden.

4.4.6 Zusammenfassung

In den vorhergehenden Abschnitten wurden die Abläufe zur entwicklungs- und planungsbegleitenden Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen sowie die organisatorische Einbindung in die Unternehmensprozesse erläutert. Abbildung 54 zeigt die Zusammenfassung der wesentlichen Elemente der Vorgehensweise der Methodik.

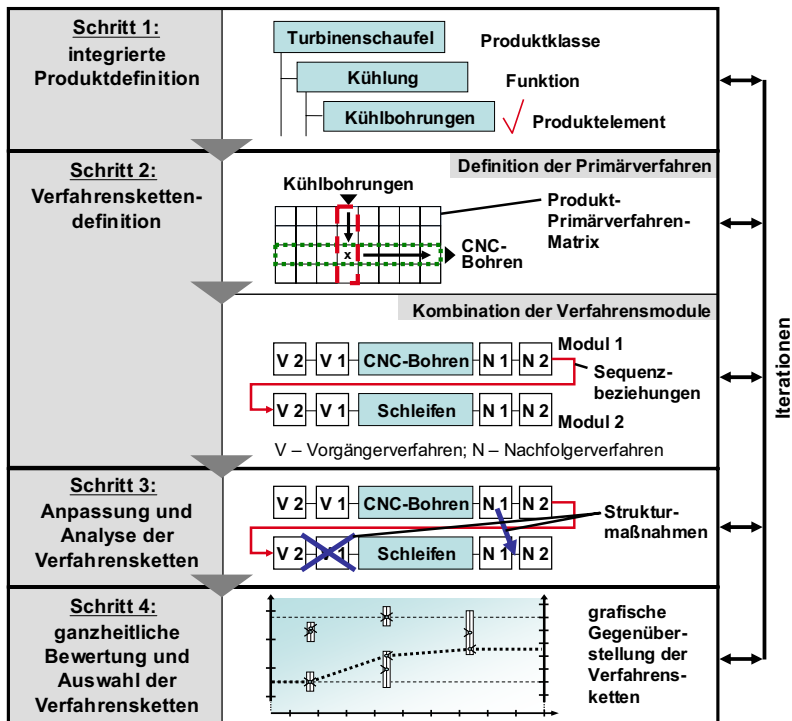


Abbildung 54: Zusammenfassung der Vorgehensweise zur Anwendung der Methodik

Die einzelnen Tätigkeiten *integrierte Produktdefinition*, *Definition der Primärverfahren*, *Kombination der Verfahrensmodule* sowie *Anpassung und Analyse* zeigen den Weg von der Auswahl relevanter Produktelemente bis zur Bildung von gesamten Verfahrensketten. Dieser Zyklus der vier Tätigkeiten wird im Rahmen der Vorgehensweise iterativ immer wieder durchlaufen, bis alle relevanten Verfahrensketten gefunden sind. Schlussendlich kann über die Tätigkeiten der *Bewertung und Auswahl* die für das Unternehmen am besten geeignete Verfahrenskette identifiziert werden. Durch die dargestellte iterative Vorgehensweise sind die Voraussetzungen gegeben, um kontinuierlich neue Informationen in die Verfahrenskettenentwicklung einfließen zu lassen. Insofern können viel versprechende Alternativen weiterverfolgt und detailliert sowie irrelevante frühzeitig aus dem betrachteten Spektrum eliminiert werden. Des Weiteren fördert diese Vorgehensweise die Abkehr vom „Kopieren und Adaptieren bekannter Arbeitspläne“ hin zum generischen Erarbeiten von Verfahrensketten. Hierdurch ist auch die Möglichkeit gegeben, in frühen Phasen neue Technologien in die Überlegungen einzubeziehen. Deshalb repräsentiert die Methodik auch ein geeignetes Werkzeug, um ein sinnvolles Kostenmanagement, z. B. in Form von Target Costing, betreiben zu können.

4.5 Umsetzungs- und einführungsorientierte Aspekte

4.5.1 Allgemeines

Die Vorgehensweise zur Anwendung der Methodik wurde zwar erläutert, jedoch ist auf mögliche unterstützende Rechnerwerkzeuge im Zuge dieser Beschreibung noch nicht näher eingegangen worden. Die Auswahl der Rechnerwerkzeuge muss unternehmensindividuell erfolgen, da eine exakte Spezifikation von Anforderungen an Rechnerwerkzeuge nur im Rahmen einer individuellen Umsetzung erfolgen kann. Hierfür bietet dieser Abschnitt einen Leitfaden. Dieser führt zu einer zielgerichteten werkzeugseitigen Unterstützung der Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen. Generell kann die Methodik zwar unabhängig von speziellen Rechnerwerkzeugen für die Produktionsplanung eingeführt werden, da eine Umsetzung, z. B. mittels Office-Werkzeugen, grundsätzlich möglich ist. Produziert ein Unternehmen jedoch komplexe Produkte, stellt es ein breites Produktspektrum her und/oder hat es bereits ein teilweise durchgängiges System an Rechnerwerkzeugen im Bereich der Produktionsplanung etabliert, so bieten spezifische kommerzielle Rechnerwerkzeuge im Umfeld der Produktionsplanung Potenziale. Vor allem hinsichtlich des Umgangs mit Datenbeständen, der Datenpflege, der Reproduzier-

barkeit und der Transparenz treten die Vorteile durch kommerzielle oder individuell programmierte Rechnerwerkzeuge in Erscheinung.

Nachfolgend werden die Maximalanforderungen an ein Rechnerwerkzeug dargestellt (Abschnitt 4.5.2). Insofern ist bei einer firmenspezifischen Umsetzung zumeist nur eine Teilmenge der Anforderungen zu erfüllen. Des Weiteren wird im Sinne der vorliegenden Aufgabenstellung in Abschnitt 4.5.3 eine Vorgehensweise vorgeschlagen, wie für ein Unternehmen ein geeignetes Rechnerwerkzeug bestimmt werden kann.

4.5.2 Allgemeingültige Anforderungen an ein Rechnerwerkzeug

4.5.2.1 Generierung und Rückführung von Verfahrensketten

Eine Anforderung im Zuge der rechnerunterstützten Umsetzung der Methodik ist es, aus einem existierenden Datenbestand – z. B. Arbeitspläne im ERP-System – die erforderlichen Informationen für die Planung eines neuen Bauteils zur Verfügung zu stellen. Hierfür ist es erforderlich, dass die Daten entsprechend den jeweiligen Planungsanforderungen spezifisch aus dem Datenbestand ausgelesen werden können. Beispielsweise sollen die gegenwärtigen Planungsinformationen zu Verfahren und deren Parameter gezielt für die Bestimmung von Mittelwertzeiten für die Verfahren nutzbar sein (Abschnitt 4.2.4.3). Außerdem sollen auch neue Technologien je nach Bedarf, Verfügbarkeit und Relevanz in die Generierung von Verfahrensketten einbezogen werden können. Es muss möglich sein, neue Technologien innerhalb des Rechnerwerkzeugs einzupflegen und zu verwalten sowie Möglichkeiten der Zeit- bzw. Kostenbestimmung zu implementieren. Durch diesen Ansatz sind eine Verfahrenskettengenerierung auf der Basis historischer Daten und die Integrationsmöglichkeit neuer Technologien sichergestellt.

Zusätzlich müssen die generierten Verfahrensketten der detaillierten Arbeits- bzw. Prozessplanung übergeben und die dort erarbeiteten Arbeitspläne in die Datenbasis zurückgeführt werden können. Durch diese Rückführung der Planungsergebnisse soll zugleich sichergestellt werden, dass mit der jeweils aktuellen Datenbasis gearbeitet wird und somit die Nachhaltigkeit der Datenhaltung garantiert ist.

Zusammenfassend sind die Anforderungen hinsichtlich der Generierung und Rückführung von Verfahrensketten und der damit verbundenen durchgängigen Datennutzung in Abbildung 55 dargestellt.

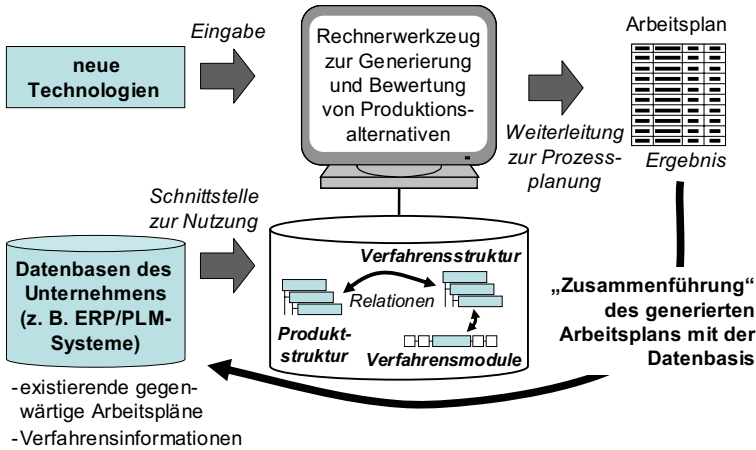


Abbildung 55: Anforderungen bezüglich der Generierung und Rückführung von Verfahrensketten

4.5.2.2 Abbildung und Nutzung von Planungswissen zur Produkt- und Verfahrenskonfiguration

Im Zuge der Verfahrenskettendefinition ist es ein wichtiges Teilelement, dass zu den diversen Produktelementen die relevanten und alternativen Verfahren bzw. Kerntechnologien verknüpft werden können (Abschnitt 4.2.3.2). Es soll möglich sein, Produkte nach ihren erforderlichen Funktionen und nach ihren funktionsrealisierenden Produktelementen im Rechnerwerkzeug strukturieren zu können. Den entsprechenden Produktelementen sollen die grundsätzlich möglichen bzw. alternativen Primärverfahren sowie die zugehörigen Verfahrensmodule zugeordnet werden können. Beim Speichern von Verfahrensmodulen zu Primärverfahren ist die Abbildung von Wissen bezüglich der Elemente der Verfahrensmodule wünschenswert. Ein Beispiel hierfür sind die Relationen zwischen Vorgänger- bzw. Nachfolgerverfahren zum Primärverfahren. Im Speziellen sollen die in Abschnitt 4.2.3.3 dargestellten Sachverhalte abbildbar sein. Da Verfahrensmodule einen Maximalumfang bezüglich einer Verfahrenskette repräsentieren, müssen im Planungsprozess Redundanzen eliminierbar und nur die relevanten Vorgänger- und Nachfolgerverfahren auswählbar sein. Für diese Anpassungen (Abschnitt 4.4.4) soll das Rechnerwerkzeug eine Unterstützung bieten bzw. das hierfür erforderliche Wissen bereitstellen. In diesem Zusammenhang wird darunter ein Rechnerwerkzeug verstanden, das die (teil-)automatisierte Nutzung und/oder Interpretation von Wissen bei der Verfahrensplanung erlaubt. Im Bereich der Prozessplanung existieren hierzu

4.5 Umsetzungs- und einführungsorientierte Aspekte

diverse Lösungsansätze, wie sie beispielsweise RUDOLF (2007) unter Zuhilfenahme des kommerziellen Rechnerwerkzeugs Camos[®] beschreibt. In Bezug auf die Konfigurationsstättigkeiten und die Abbildung von Relationen ist es hilfreich, wenn das Rechnerwerkzeug beispielsweise die im Folgenden dargestellten Funktionalitäten aufweist. In Form von wissensbasierten Systemen können z. B. Funktionalitäten zur

- Abbildung von Bedingungen/Regeln hinsichtlich der Verbindung von Produkt-element und Primärverfahren,
- Abbildung von Bedingungen/Regeln hinsichtlich der Sequenzierung von Primärverfahren,
- Unterstützung der Bestimmung der spezifischen Ausprägungen eines Verfahrensmoduls im Rahmen der Planung sowie zur
- Unterstützung bei der Generierung bzw. Anpassung von Verfahrensketten (automatisierte Positionierung von sekundären Produktionsverfahren)

zur Verfügung gestellt werden. Im Sinne eines dynamisch erweiterbaren Systems ist es von Bedeutung, dass das Rechnerwerkzeug geeignete Funktionalitäten (z. B. intuitive Benutzeroberflächen) bietet, um neue Produktklassen hinzuzufügen sowie die Produktstrukturen erweitern und die Verfahrensstruktur ergänzen zu können.

Wissensbasierte Funktionalitäten sind jedoch nicht als zwingende Muss-Kriterien für jedes Unternehmen zu sehen, da Regeln z. B. nicht immer allgemeingültig für eine Produktklasse formuliert werden können und damit einer bauteilspezifischen Betrachtung unterliegen. Bei einem derartigen Fall kann es aber dennoch sinnvoll sein, durch die Abbildung von Relationen und Regeln eine Art Assistenzsystem für die Planung zu schaffen. Dieses soll tendenzielle Aussagen, wie z. B. den Vorschlag eines bestimmten Verfahrens, zur Verfügung stellen. Dadurch kann der Planer von Verfahrensketten in Richtung Standardisierung und Wissensmanagement unterstützt werden, ohne bevorzundet zu werden.

4.5.2.3 Zeitliche und monetäre Bewertung

Mittels eines Rechnerwerkzeugs sollen i. d. R. die in Abschnitt 4.2.4 detailliert vorgestellten Verfahren der Zeitermittlung (durch Schätzung, aus historischen Daten und über mathematische Funktionen) realisiert werden können. Hierbei sollen vorrangig alle maschinellen und manuellen Zeitanteile über die diversen Ermittlungsvarianten abbildbar sein. Gemäß der Entwicklungs- und Planungsphase sowie aufgrund der Ausprägungen der Verfahren (z. B. zeitliches Streuungsverhalten der Verfahren) sollen die jewei-

ligen Varianten der Zeitermittlung eingesetzt werden können. Auf diese Weise ist ein spezifischer Zugriff auf die historischen Daten bzw. die Berechnungsfunktionen zu ermöglichen (Abschnitt 4.5.2.1).

Des Weiteren ist es eine Anforderung, die ermittelten Soll-Zeiten für die diversen Verfahren mittels Stundensätzen in Fertigungs- bzw. Herstellkosten transformieren zu können (Abschnitt 4.2.4). Der exakte Algorithmus zur Berechnung dieser monetären Kennwerte ist hierbei von jedem Unternehmen individuell zu bestimmen, wobei auf die Grundlagen der Kosten- und Leistungsrechnung zurückzugreifen ist (Abschnitt 2.3.2). Außerdem sollte das Rechnerwerkzeug Offenheit hinsichtlich der Abbildung von Bewertungsfunktionalitäten bieten, um z. B. die Bewertung des aufwandsorientierten Kapitalwerts gemäß den unternehmensspezifischen Anforderungen realisieren zu können. Die Grundlage hierfür bilden, wie beschrieben, investitionsrechnerische Methoden (Abschnitt 4.2.6).

4.5.2.4 Reifende monetäre Bewertung

Eine weitere wichtige Anforderung an ein Rechnerwerkzeug ist der Aspekt einer reifenden Bewertung der Kosten. Unter dieser wird die Möglichkeit verstanden, dass mittels des Rechnerwerkzeugs kontinuierlich in den Produktentwicklungs- und Produktionsplanungsphasen belastbare Herstellkosteninformationen abgeleitet werden können, um Produkt- bzw. Verfahrensentscheidungen treffen zu können (Abschnitt 4.2.4.5 bzw. Abbildung 46, S. 116). Das Rechnerwerkzeug muss also geeignete Benutzeroberflächen und Möglichkeiten der Datenverwaltung bieten, damit in den einzelnen zeitlichen Phasen unterschiedliche Varianten zur Bestimmung von Zeiten und Kosten angewendet bzw. gegenseitig ersetzt werden können. Beispielsweise sind im Rahmen von Aktualisierungen die unspezifischen Informationen durch betriebsmittelspezifische zu ersetzen.

Da im Sinne der reifenden Bewertung verschiedenste Verfahrenskettenalternativen generiert werden und diese sich im Verlauf der Zeit verändern, ist es eine wichtige Anforderung an ein Rechnerwerkzeug, die Planungshistorie speichern zu können. Die verschiedenen Planungsstatus sollen verwaltbar sein, damit die Ursache-Wirkungsketten der Produktentwicklung und Produktionsplanung retrospektiv analysierbar sind. Hierdurch werden die Grundlagen für Transparenz und einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess im Rahmen der Entwicklung und Planung geschaffen.

4.5.2.5 Qualitative Bewertung

Den unternehmensindividuellen Bedürfnissen folgend, soll das Rechnerwerkzeug die Möglichkeit bieten, qualitative Kriterien mit in die ganzheitliche Bewertung einzubeziehen. Bei der Auswahl von Verfahrensketten sind nicht nur monetäre Kriterien (Abschnitt 4.2.5) von Bedeutung, sondern auch qualitative Aspekte sollen zu diesen in Relation gesetzt werden können. Hierbei gilt es, die Methode der Nutzwertanalyse innerhalb des Rechnerwerkzeugs zu implementieren, um einzelne Verfahrenskettenfragmente, durch die sich die Verfahrenskettenalternativen unterscheiden, mittels qualitativer Kriterien, wie Prozesssicherheit oder technisches Risiko, zu bewerten. Das auszuwählende Rechnerwerkzeug muss die mit der qualitativen Bewertung verbundenen Daten verwalten können sowie die entsprechenden Benutzeroberflächen zur Verfügung stellen. Außerdem soll für eine Anpassbarkeit an die Anforderungen des Unternehmens eine freie Definier- und Skalierbarkeit der Kriterien ermöglicht werden.

4.5.2.6 Vergleich von Verfahrenskettenalternativen

Weiterhin müssen in Bezug auf die rechnertechnische Umsetzung der Methodik Möglichkeiten dargeboten werden, um die erarbeiteten Lösungsalternativen, d. h. Verfahrensketten, transparent vergleichen zu können. Es soll eine intuitive Benutzeroberfläche zur Verfügung gestellt werden, mittels derer verschiedene Alternativen erzeugt, gespeichert, dargestellt, ausgewertet und verglichen werden können. Alle erläuterten quantitativen und qualitativen Kriterien sollen in die Bewertung der Alternativen einbezogen werden, um eine schnelle und fundierte Entscheidung zu unterstützen (vgl. Abschnitt 4.3). Die Benutzerfreundlichkeit sowie transparente und umfassende Auswertungsmöglichkeiten hinsichtlich der Alternativenvielfalt sind maßgebliche Kriterien.

Da für eine ganzheitliche Entscheidung sowohl die monetären als auch qualitativen Kriterien eine Rolle spielen, sollte das Rechnerwerkzeug eine Möglichkeit bieten, die monetären Kriterien (Fertigungs- bzw. Herstellkosten und aufwandsorientierter Kapitalwert) und den Nutzwert in Form einer grafischen Auswertung zusammenzuführen. Hierfür sollen die Erläuterungen in Abschnitt 4.3 sowie die Visualisierungsbeispiele aus Abbildung 50 eine Grundlage bieten.

4.5.2.7 Einbindung in die Prozess- und Informationstechnologielandschaft

Die Anbindungsmöglichkeit des Rechnerwerkzeugs an jeweilige unternehmensinterne Systeme, in denen Produkt- und Prozessinformationen verwaltet werden (z. B. CAP(P)-

ERP- oder PLM-Systeme), ist eine bedeutende Anforderung. Nur so können teilautomatisiert bzw. aufwandsarm die hinterlegten Daten, wie Zeiten und Kosten, für die jeweilige Planungsaufgabe abteilungsübergreifend genutzt werden.

Für eine kontinuierliche Detaillierung und Optimierung der Zeit- und Kostendaten stellt es eine Option dar, das Rechnerwerkzeug an eventuell im Unternehmen verfügbare Zeitwirtschafts- oder Prozessplanungswerkzeuge (CAP(P)) zu koppeln. Letztendlich ist es hierbei das Ziel, Zeiten und Produktionsparameter aus der realen Produktion in die Arbeitspläne zu überführen. Durch den damit möglichen Abgleich zwischen Plandaten und realen Daten ist sichergestellt, dass bei weiteren Neuplanungen mit einer optimalen Datenbasis gearbeitet wird. Für eine teilautomatisierte Überführung der Produktstrukturierung kann eine Anbindung des Rechnerwerkzeugs an Standard-CAD-Systeme und/oder PDM-Systeme hilfreich sein, wenn die in diesen Systemen abgebildeten Strukturen den geforderten ähnlich sind (vgl. Abschnitt 4.2.3.2).

Zusammenfassend ist es in Bezug auf die Schnittstellen zu weiteren Rechnerwerkzeugen von Bedeutung, dass ein sinnvolles Maß an Datendurchgängigkeit sichergestellt werden kann. Mittels einer geeigneten Definition der potenziellen Schnittstellen und der damit verbundenen Durchgängigkeit der Daten ist es zum einen möglich, eine redundante Datenhaltung zu vermeiden und zum anderen Automatismen in Bezug auf die Datennutzung und -pflege zu etablieren. Eine genaue Spezifikation der Schnittstellenanforderungen muss jedoch im individuellen Fall erfolgen, da die IT-Infrastrukturen in Unternehmen i. d. R. unterschiedliche Charakteristika aufweisen.

4.5.3 Vorgehensweise zur Auswahl eines Rechnerwerkzeugs

Eine Voraussetzung zur Auswahl eines Rechnerwerkzeugs ist es, dass eine monetäre Potenzialabschätzung hinsichtlich der rechnerunterstützten Umsetzung durchgeführt wird. Für die monetäre Potenzialabschätzung empfiehlt es sich, etablierte Vorgehensweisen, wie die von ZÄH ET AL. (2005B) beschriebene, anzuwenden. Auf diese Weise kann eine Bewertung der Nutzen- (z. B. Zeiteinsparungen im Rahmen der Planung) und der Aufwandsaspekte (z. B. Lizenz-, Installations-, Wartungs- und Pflegekosten) erfolgen und ein Budget für die Auswahl und Umsetzung eines Rechnerwerkzeugs definiert werden.

Im Folgenden wird ein Vorgehen vorgestellt, wie ein unternehmensspezifisch geeignetes Rechnerwerkzeug zur Umsetzung der Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen systematisch identifiziert werden kann. Diese Vorgehensweise wurde auf der Basis von existie-

renden Ansätzen (BERLAK 2003; SCHUH & GIERTH 2006; ZÄH ET AL. 2005B), der Erkenntnisse aus der Methodikentwicklung und den exemplarischen Anwendungen (Kapitel 5) erarbeitet. Das Vorgehen gliedert sich in die nachfolgend dargestellten Phasen *Initialtest*, *Lastenheftdefinition*, *Vorauswahl*, *Fallbeispiel*, *Bewertung/Auswahl*, *Testeinsatz* und *Einführung*.

Initialtest

Eine kostengünstige Möglichkeit, die individuellen Erfordernisse eines Unternehmens an die Umsetzung der Methodik sowie ein entsprechendes Rechnerwerkzeug ermitteln zu können, besteht darin, eine exemplarische Anwendung der vorgestellten Methodik mit konventionellen Werkzeugen, wie z. B. Office-Werkzeugen, auszuführen. Es gilt, die Klassen, Strukturen und Wechselwirkungen hinsichtlich der Produkte, Produktelemente sowie Verfahren zu definieren und aufzunehmen. Zum einen können hiermit die Anforderungen an ein potenzielles Rechnerwerkzeug herausgearbeitet werden und zum anderen ist der Aufbau der Teilmodelle eine notwendige Voraussetzung zur Umsetzung der Methodik. Somit repräsentiert der *Initialtest* eine Vorarbeit für die Phasen *Testeinsatz* und *Einführung*.

Lastenheftdefinition

Auf der Grundlage der Partialmodelle (Abschnitt 4.2), deren Zusammenspiel (Abschnitt 4.3), der Methodikbeschreibung (Abschnitt 4.4), der dargestellten grundsätzlichen Anforderungen (Abschnitt 4.5.2) und der Erfahrungen aus dem Initialtest können die spezifischen Anforderungen an ein Rechnerwerkzeug in Form eines Lastenhefts dokumentiert werden. In diesem sind auch spezielle Anforderungen seitens der IT-Abteilungen des jeweiligen Unternehmens festzuhalten.

Vorauswahl

Vielfach ist ein breites Spektrum an Rechnerwerkzeugen geeignet, um die Methodik in einem Unternehmen umzusetzen. Tabelle 3 zeigt die grundlegenden zwei Arten an Rechnerwerkzeugen, die zur Umsetzung der Methodik von Relevanz sind, und bei welchen Randbedingungen diese üblicherweise eingesetzt werden. Entsprechend diesen Einsatzrandbedingungen und den unternehmensspezifischen Charakteristika, wie z. B. dem Umfang des Teilespektrums, der Komplexität der Produkte, der Anzahl der Neu- bzw. Variantenprodukte pro Jahr, der generellen Planungshäufigkeit oder dem Aufwand der Angebotserstellung, können die relevanten Gattungen an Rechnerwerkzeugen grob ausgewählt werden.

| Rechnerwerkzeugarten | Einsatzrandbedingungen |
|--|--|
| datenbankorientierte Rechnerwerkzeuge zur Produktionsplanung (z. B. CAP-Werkzeuge der Digitalen Fabrik, PLM-Werkzeuge) | Die Parameter, Beziehungen und Regeln zwischen den Entwicklungs- und Planungsobjekten sind komplex und nicht allgemeingültig dokumentierbar. Folglich werden die Parameter, Beziehungen und Regeln in der Datenbank des Rechnerwerkzeugs abgelegt und sind im Rahmen der Entwicklung und Planung durch die Mitarbeiter zu interpretieren sowie für eine manuelle Generierung von Verfahrensketten zu nutzen. |
| wissensbasierte Rechnerwerkzeuge zur Produktionsplanung | Im Unternehmen existieren allgemeingültige und leicht dokumentierbare Parameter sowie Relationen und Regeln zwischen den Entwicklungs- und Planungsobjekten. Diese können für eine (teil-)automatisierte Generierung von Verfahrensketten oder eine Überprüfung manuell generierter Verfahrensketten genutzt werden. |

Tabelle 3: Rechnerwerkzeugarten und deren Einsatzrandbedingungen

Zusätzlich zur Bestimmung der relevanten Rechnerwerkzeugart muss entschieden werden, ob ein individuell programmiertes Rechnerwerkzeug oder ob ein kommerzielles Standardrechnerwerkzeug (eventuell mit Anpassungen) besser zur Umsetzung geeignet ist. Individuell programmierte Rechnerwerkzeuge haben vor allem dann Vorteile, wenn die Anforderungen sehr spezifisch sind und im Rahmen kommerzieller Lösungen nicht oder nur mit hohen Anpassungsaufwänden abgedeckt werden können. Dagegen besitzen kommerzielle Rechnerwerkzeuge in den Bereichen standardisierter Vorgehensweisen und Schnittstellen sowie der Betreuung und Pflege des Softwaresystems Vorteile. Gemäß den Rahmenbedingungen des Unternehmens ist diesbezüglich eine Entscheidung zu treffen und es sind geeignete Programmiersprachen oder am Softwaremarkt verfügbare Produkte zu recherchieren

Fallbeispiel

Nach der Dokumentation der Anforderungen in Form des Lastenhefts und der Reduzierung der möglichen Rechnerwerkzeuge im Zuge der Vorauswahl ist ein Fallbeispiel vorzubereiten. Durch die Definition eines Fallbeispiels soll es den potenziellen Softwareentwicklern bzw. -herstellern ermöglicht werden, die Potenziale einer firmenspezifischen rechnertechnischen Umsetzung zu demonstrieren. Dies hat zum einen den Vorteil, dass die Rechnerwerkzeuge zielorientiert hinsichtlich der Anforderungen präsentiert werden können. Zum anderen ist es möglich, firmenintern die künftigen Anwender zu sensibilisieren und in die Umsetzung der Methodik einzubeziehen.

Bewertung/Auswahl

Im Rahmen der Präsentationen der Rechnerwerkzeuge gilt es, die diversen Lösungen bezüglich des Erfüllungsgrads der Anforderungen zu bewerten. Hierfür ist es sinnvoll,

innerhalb des Unternehmens ein Bewertungsgremium festzulegen, das sowohl aus Entscheidungsträgern als auch aus Nutzern des Rechnerwerkzeugs besteht. Für die Bewertung ist ein Katalog zu definieren, der die in Abschnitt 4.5.2 dargestellten generellen und die unternehmensspezifischen Anforderungen beinhaltet. Entsprechend der Zielsetzung des Unternehmens sind die diversen Anforderungskriterien in Muss- und Kann-Kriterien (vgl. DAENZER & HUBER 1999, S. 51) einzuteilen. Muss-Kriterien führen bei einer Nichterfüllung durch das Rechnerwerkzeug zu dessen Ausschluss. Kann-Kriterien können zusätzlich durch das Bewertungsgremium entsprechend ihrer Bedeutung gewichtet werden.

Im Zuge der Vorstellung der diversen Rechnerwerkzeuge sind die Anforderungskriterien hinsichtlich deren Erfüllung (Muss-Kriterien) bzw. dem Erfüllungsgrad (Kann-Kriterien: 0 – Kriterium nicht erfüllt – bis 10 – Kriterium optimal erfüllt) zu bewerten. Somit ist es möglich, zu überprüfen, ob alle Muss-Kriterien berücksichtigt sind. Wie gut die Kann-Kriterien erfüllt sind, kann mittels einer nutzwertanalytischen Bewertung quantifiziert werden. Durch den resultierenden Nutzwert wird ein Maß des qualitativen Nutzens des Rechnerwerkzeugs wiedergegeben. Eine Vorlage für einen derartigen Bewertungskatalog, der an die individuellen Anforderungen angepasst werden kann, ist im Anhang zu finden (Abschnitt 9.3). Zusätzlich zur Anforderungserfüllung sind auf der Basis von Informationen von den Softwareentwicklern bzw. -herstellern die detaillierten Aufwände für eine Umsetzung des Rechnerwerkzeugs abzuschätzen. Hierbei sind sowohl einmalige als auch laufende Aufwände in der Betriebsphase in Betracht zu ziehen. Beispielsweise sind zu den Einmalaufwänden einmalige Lizenzkosten, Customizing-Kosten, Installationskosten und Kosten für die Hardware zu zählen. Beispiele für laufende Kosten sind Wartungskosten und Umlagen für die IT-Infrastruktur. Diese Aufwände sind über eine Wirtschaftlichkeitsrechnung den zu erwartenden Nutzeneffekten gegenüber zu stellen.

Durch die Bewertung der qualitativen Aspekte mittels des Bewertungskatalogs und durch die Wirtschaftlichkeitsabschätzung kann das am besten geeignete Rechnerwerkzeug ausgewählt werden. Das Lastenheft und der Bewertungskatalog stellen gleichzeitig die Grundlage für die Pflichtenhefterstellung durch den Softwarepartner dar.

Testeinsatz und Validierung

Das ausgewählte Rechnerwerkzeug wird anschließend in einem Testeinsatz hinsichtlich der erwarteten Nutzenaspekte und Kosten überprüft, d. h. es findet eine auf dem Testeinsatz basierende erneute Bewertung statt. Dadurch besteht die Möglichkeit, mit einem begrenzten finanziellen Risiko die Anforderungserfüllung innerhalb des Unternehmens zu überprüfen sowie eventuell erforderliche Korrekturmaßnahmen einzuleiten. Außer-

dem können in dieser Phase die künftigen Nutzer des Rechnerwerkzeugs mit diesem vertraut gemacht und erstmalig geschult werden.

Einführung

Nach einem erfolgreichen Testeinsatz des Rechnerwerkzeugs ist dieses Schritt für Schritt in den relevanten Bereichen der Produktionsplanung und möglicherweise der Produktentwicklung einzuführen. Die jeweiligen Hardware- und Softwarevoraussetzungen sind zu schaffen, die individuellen Anpassungen sind vorzunehmen und die das Rechnerwerkzeug anwendenden Mitarbeiter sind entsprechend zu schulen.

4.6 Zusammenfassung

Kapitel 4 bietet einen ganzheitlichen Ansatz für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen. In Abschnitt 4.2 wurden die Partialmodelle der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen mit den Aspekten der Abbildung und Nutzung von Wissen, des Umgangs mit Interdependenzen, der Kosten- und Aufwandsbewertung sowie der qualitativen Bewertung dargestellt. Im Anschluss daran wurde auf die Kombination der Partialmodelle eingegangen (Abschnitt 4.3). Um die Partialmodelle reproduzierbar anwenden zu können, liefert Abschnitt 4.4 die Beschreibung der Vorgehensweise zur Anwendung der Methodik. Hierfür wurden zur Integration in die Geschäftsprozesse entsprechende Prozessbausteine in einer neutralen Art und Weise beschrieben, so dass ein Einsatz in verschiedensten Unternehmen der Serienproduktion ermöglicht wird.

Da für den langfristigen Einsatz der Methodik für viele Unternehmen eine rechnerwerkzeugseitige Unterstützung sinnvoll ist, beschreibt Abschnitt 4.5 diesbezügliche wichtige Aspekte für deren Umsetzung und Einführung. Es wurde darauf eingegangen, dass eine für alle Unternehmen allgemeingültige Softwarelösung nicht existiert, da sich die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen unterscheiden. Vielmehr ist ein unternehmensindividueller Softwareentwicklungs- bzw. -auswahlprozess durchzuführen. Hierzu wurde ein Leitfaden zur Auswahl eines geeigneten Rechnerwerkzeugs aufgezeigt.

5 Fallbeispiele

5.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden zwei exemplarische Anwendungen der entwickelten Methodik dargestellt. Diese haben zum einen im Rahmen der vorliegenden Arbeit der Validierung der Methodik gedient und zum anderen sind die Erkenntnisse aus den Fallbeispielen in die Weiterentwicklung der Methodik eingeflossen (induktiver Ansatz). Insofern waren die Methodenentwicklung und die exemplarischen Anwendungen durch ein iteratives Zusammenwirken charakterisiert.

Das Fallbeispiel in Abschnitt 5.2 beschreibt die Umsetzung und Anwendung aller in Kapitel 4 vorgestellten Elemente der Methodik. Im Gegensatz hierzu konzentriert sich das Fallbeispiel in Abschnitt 5.3 im Wesentlichen auf die folgenden Elemente der Methodik: das Modell zur Abbildung von Wissen über Produktionsverfahren, das Modell zur reifenden Kostenbewertung sowie die Entwicklung eines prototypischen Rechnerwerkzeugs. Infolge der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen (z. B. zur Verfügung stehende Kapazitäten) und Bedarfe (z. B. Bedarf hinsichtlich eines Verfahrensbaukastens, der eine reifende Kostenbewertung erlaubt) ist eine skalierte Anwendung der Methodik erforderlich gewesen. Dadurch sollte auch gezeigt werden, dass die Methodik an die individuellen Anforderungen und die zur Verfügung stehenden Investitionsmittel angepasst werden kann. Abschließend bietet Abschnitt 5.4 eine Zusammenfassung und ein Fazit zu den beiden Fallbeispielen.

5.2 Anwendung der Methodik in der Produktionsplanung

5.2.1 Ausgangssituation und Rahmenbedingungen

Das Unternehmen des ersten Fallbeispiels stellt Komponenten für Luftfahrtantriebe her. Im Rahmen des Fallbeispiels werden Turbinenschaufeln betrachtet, bei denen die Halbzuge aus hoch-warmfesten Gusslegierungen bestehen. Diese durchlaufen Wertschöpfungs-schritte wie diverse mechanische, Wärmebehandlungs-, Beschichtungs- und Fügeverfahren. Von den Turbinenschaufeln werden unterschiedliche Varianten (mehr als 100) hergestellt, wobei diese Varianten jeweils der Mittel- (ca. 100 bis 1.000 Stück pro Jahr) bis Großserienproduktion (ca. 1.000 bis 100.000 Stück pro Jahr) zuzuordnen sind. Die diversen Turbinenschaufeln lassen sich in diesem Fall in vier Produktklassen einteilen. Die Betriebsmittel zur Herstellung unterliegen unterschiedlichen Fertigungsprinzi-

5.2 Anwendung der Methodik in der Produktionsplanung

pien. Je nach Fertigungsverfahren folgen die Bereiche den Prinzipien Werkstatt-, Gruppen- oder Fließfertigung. Die Wärmebehandlungsöfen sind z. B. durch das Prinzip der Werkstattfertigung gekennzeichnet, da die Bauteile bei Ofenprozessen in großen Losgrößen abgearbeitet werden. Demgegenüber sind die mechanischen Fertigungsverfahren zumeist in einer Linie, ähnlich einer Fließfertigung, angeordnet.

Für die Anwendung der Methodik sind die Unternehmensbereiche Produktentwicklung und Produktionsplanung relevant gewesen. Die Produktentwicklung gliedert sich in die Vorentwicklung, welche die grundlegenden Konzepte entwickelt und festlegt, sowie die Konstruktion, welche die Bauteile Schritt für Schritt detailliert und die Merkmale definiert. Die Produktionsplanung ist ebenfalls in zwei Bereiche unterteilt. Zu Beginn der Produktionsplanung werden die groben Arbeitspläne definiert und die Fertigungskosten abgeschätzt. Das Ergebnis sind grobe Arbeitspläne, die im Wesentlichen durch das Suchen ähnlicher Bauteile, das Kopieren der entsprechenden Arbeitspläne und das auf Mitarbeiterwissen basierte Anpassen an die Anforderungen der zu entwickelnden/produzierenden Produkte entstehen. Die Kostenschätzungen durch die Mitarbeiter stellen die Grundlage für die Angebote an Kunden dar. Bei einem erfolgreichen Angebotsprozess werden die groben Arbeitspläne in die Detailplanung übergeben, bei der detaillierte Arbeitspläne inklusive der Prozessparameter erarbeitet werden.

5.2.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Bedingt durch das ähnlichkeitbasierte Kopieren und Adaptieren von Grobarbeitsplänen sind vor allem Potenziale hinsichtlich einer systematischen Vorgehensweise zum Generieren von alternativen Verfahrensketten und dem bewussten Vorausdenken aller existierenden Möglichkeiten zu finden gewesen. Die hieraus resultierende Innovationsdynamik sollte die Technologieführerschaft des Unternehmens bezüglich der praktizierten Verfahrensketten langfristig unterstützen.

Im Zuge der Umsetzung der systematischen, standardisierten und transparenten Vorgehensweise der Methodik sollte außerdem veranschaulicht werden, inwieweit die Integration zwischen den Produktentwicklungs- und Produktionsplanungsbereichen gestärkt werden kann. Zu diesem Zweck sollte das existierende Produktionswissen für die Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen verfügbar gemacht werden. Beispielsweise galt es, standardisierte Verfahrensmodule abzubilden. Letztendlich sollten im Fallbeispiel die Potenziale einer methodischen, modulatorientierten Vorgehensweise im Vergleich zu einer am Mitarbeiterwissen orientierten Verfahrenskettengestaltung gezeigt werden. Des Weiteren war es die Intention, die kontinuierliche und integrierte Vorgehensweise für eine systematische und reife Kostenbewertung zu nutzen. Zu-

sätzlich zu den methodischen Elementen des Fallbeispiels sollte auch eine potenzielle Unterstützung durch Rechnerwerkzeuge untersucht werden. Im Speziellen waren gezielt geeignete Rechnerwerkzeuge zu identifizieren und zu validieren.

Für das Erreichen dieser Zielsetzung sollten die erforderlichen Partialmodelle der Methodik aufgebaut werden. Für das spezifische Unternehmen waren produktseitig die existierenden Produktklassen und deren Strukturen mit ihren Funktionen, Produktelementen und Subelementen zu analysieren und zu definieren. Produktionsseitig musste eine Struktur hinsichtlich der Verfahren des Unternehmens aufgebaut werden. Auf dieser Grundlage waren die maßgeblichen Verfahren zu identifizieren und für diese die entsprechenden Verfahrensmodule zu benennen. Darauf folgend sollte mittels der in Abschnitt 4.2.3 vorgestellten Teilelemente der Methodik für die verschiedenen Produktklassen eine Produkt-Primärverfahren-Matrix mit den diversen Relationen zwischen Produktelementen und Verfahren gestaltet werden.

In einem nächsten Schritt sollten die im Rahmen der Methodikanwendung aufgebauten Strukturen und Wissensbasen anhand eines ausgewählten Entwicklungs- und Planungsfallbeispiels validiert werden. Dazu wurde ein Referenzbauteil – in diesem Fall eine Baugruppe einer Turbinenschaufel – definiert. Für dieses sollte mittels der Methodik in Zusammenarbeit mit Angestellten des Unternehmens und auf der Grundlage rudimentärer Informationen aus der frühen Planungsphase eine grobe Verfahrenskette generiert werden. Als Eingangsinformationen standen Skizzen zu den zwei Bauteilen der Baugruppe, Beschreibungen zu einzelnen Produktelementen (z. B. Lochreihen für die Zuführung von Kühlluft), Hinweise für erforderliche Beschichtungen und die Festlegung des hoch-warmfesten Gusswerkstoffs zur Verfügung. Die auf dieser Grundlage methodisch generierte Verfahrenskette sollte mit dem tatsächlichen Arbeitsplan, der kurz vor der Serienreife stand, verglichen werden. Des Weiteren waren mittels einer prototyphaften Arbeitsplandatenbasis die zu erwartenden Fertigungskosten auf der Grundlage historischer Daten sowie mittels mathematischer Funktionen zu bewerten. Außerdem sollten beispielhaft Produktionsalternativen generiert werden, von denen durch eine monetäre und qualitative Bewertung die optimale Verfahrenskettenalternative zu bestimmen war.

Abschließend sollten nach einem erfolgreichen Test der Methodik die vordefinierten Anforderungen an potenzielle Rechnerwerkzeuge genutzt werden, um die unternehmensspezifischen Anforderungen an ein Rechnerwerkzeug zur Umsetzung der Methodik zu definieren und so eine rechnerunterstützte Umsetzung der Methodik anzubahnen. Abbildung 56 zeigt zusammenfassend die im Fallbeispiel abgebildeten und angewendeten Teilbereiche der Methodik aus Kapitel 4.

5.2 Anwendung der Methodik in der Produktionsplanung

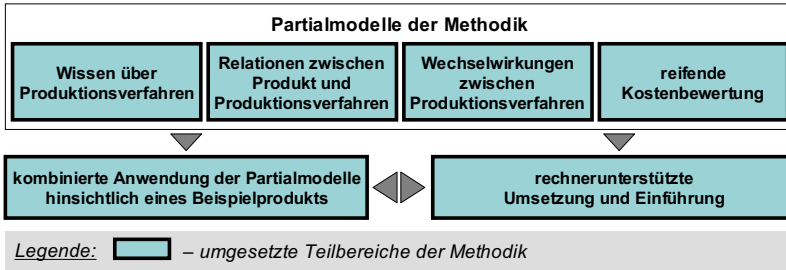


Abbildung 56: Umgesetzte Teilbereiche der Methodik im ersten Fallbeispiel

5.2.3 Lösungen und Ergebnisse

Zur Umsetzung der Methodik galt es, das wesentliche *Wissen über Produktionsverfahren* aufzunehmen und zu dokumentieren. In Kooperation mit den Produktionsplanungsabteilungen des Unternehmens wurden auf der Grundlage von Arbeitsplananalysen die Primärverfahren des Unternehmens – z. B. Schleifen – identifiziert und in einer hierarchischen Struktur angelegt (vgl. Abschnitt 4.2.2). Im Unternehmen existierten zum Betrachtungszeitpunkt 24 unterschiedliche Primärverfahren. Diesen wurden die wesentlichen entwicklungs- und planungsrelevanten Informationen hinterlegt.

Des Weiteren wurde durch Interviews mit Mitarbeitern der Produktentwicklung das betrachtete Spektrum an Turbinenschaufeln auf der Basis des Einsatzbereichs in vier Klassen unterteilt (Differenzierung nach Hochdruck- und Niederdruckbereich sowie nach statischem und rotatorischem Einsatz im Triebwerk). Die vier Produktklassen wurden anschließend hinsichtlich Funktionen und Produktelementen differenziert und dokumentiert. Dadurch wurde es möglich, die Produkt- und Verfahrensstrukturen in einer Produkt-Primärverfahren-Matrix abzubilden (Abbildung 57) und damit die *Relationen zwischen Produkt und Produktionsverfahren* darzustellen.

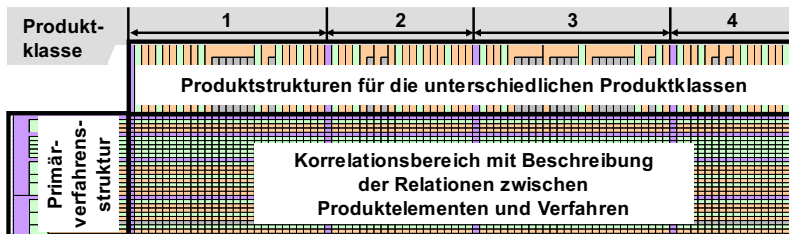


Abbildung 57: Produkt-Primärverfahren-Matrix bezüglich des ersten Fallbeispiels

Durch die Analyse von existierenden Arbeitsplänen und die Validierung durch die Produktionsplaner wurde im Korrelationsbereich eine Zuordnung zwischen Produkt-elementen und Primärverfahren vorgenommen. Im Zuge dieser wurde der Maximalumfang an Zuordnungsmöglichkeiten innerhalb der Matrix abgebildet. Beispielsweise können Kühlluftbohrungen sowohl durch thermische als auch durch elektrochemische Verfahren hergestellt werden.

Um in der methodikunterstützten Planung alle Vor- und Nachbereitungsverfahren zu den Primärverfahren berücksichtigen zu können, galt es, im nächsten Schritt die *Wechselwirkungen zwischen Produktionsverfahren*, d. h. Verfahrensmodule, abzubilden. Auch hier wurden existierende Arbeitspläne analysiert und die daraus resultierenden Verfahrensmodule mit den involvierten Produktionsplanern in mehrfachen Iterations-schleifen abgestimmt. Aus dieser Tätigkeit resultierten zu den 24 Primärverfahren die korrelierenden Verfahrensmodule. Zusätzlich wurden acht Module für neue Technologien definiert, die sich in der Entwicklung befinden. Diese Module wurden sowohl in die Produkt-Primärverfahren-Matrix als auch in einen Katalog für Verfahrensmodule aufgenommen. Damit die Wechselwirkungen zwischen den Primärverfahren dargestellt werden konnten, wurde außerdem eine Relationsmatrix der Primärverfahren (vgl. Abbildung 37) mittels einer Analyse der erforderlichen/möglichen Eingangszustände sowie der resultierenden Ausgangszustände erstellt.

Für eine wie in Abschnitt 4.2.4 beschriebene *reifende Kostenbewertung* auf der Basis historischer Daten wurden zu den Verfahren Arbeitspläne, differenziert nach den Produktklassen, analysiert. Für jede Produktklasse wurden aus dem Datenbestand acht charakteristische Arbeitspläne ausgewählt. Die Daten der Arbeitspläne, wie z. B. die Zeiten und die Stundensätze, wurden mit der Verfahrensstruktur in der Matrix über eine eindeutige Verfahrens-ID verbunden. Folglich konnte bei der Planung gezielt auf die historischen Daten zu den Verfahren zurückgegriffen werden. Des Weiteren wurden für ausgewählte Verfahren mathematische Funktionen aufgestellt, um die Verfahrenszeiten alternativ berechnen zu können. Beispielsweise wurde eine Formel für ein thermisches Bohrverfahren empirisch bestimmt, welche die Berechnung der Zeiten über die Anzahl der Bohrungen und die Art der Bohrung (zylindrisch oder konisch) erlaubt.

Nach diesen Vorarbeiten konnte die *kombinierte Anwendung der Partialmodelle hinsichtlich eines Beispielprodukts* (Turbinenschaufel) erfolgen. Die entsprechende Vorgehensweise in Zusammenarbeit mit der Produktionsplanung und Produktentwicklung des Unternehmens wird in Abbildung 58 illustriert.

5.2 Anwendung der Methodik in der Produktionsplanung

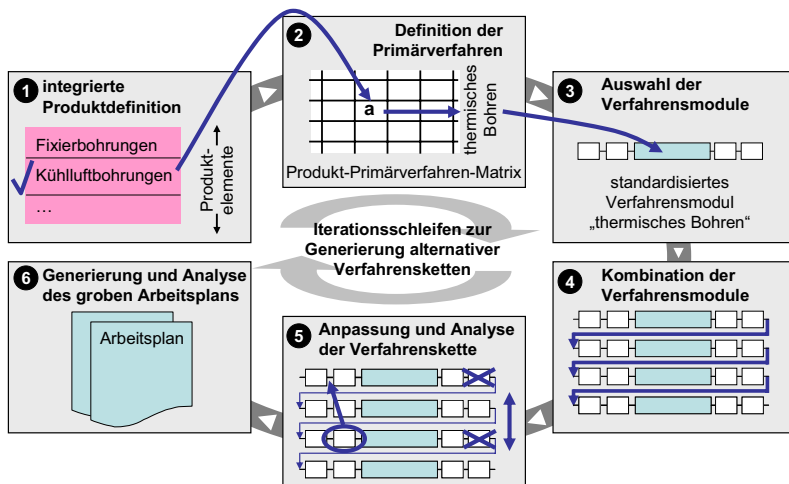


Abbildung 58: Vorgehensweise zur Generierung einer groben Verfahrenskette

Zu Beginn der Anwendung wurde für die zu planende Baugruppe die geeignete Bauteilklasse ausgewählt. Infolge der Beschreibung der Einsatzbereiche (z. B. Betriebstemperatur der Turbine) konnte die Baugruppe eindeutig einer Klasse zugeordnet werden. Im nächsten Schritt wurden innerhalb der Produktstruktur nach dem Top-down-Prinzip die relevanten Funktionen ausgewählt und zu diesen die erforderlichen bzw. möglichen Produktelemente definiert. Anschließend wurden mittels der Produkt-Primärverfahren-Matrix die notwendigen Primärverfahren bestimmt und, soweit vorhanden, alternative Verfahren determiniert (vgl. Abschnitt 4.4.2).

Zur Validierung der modulatorientierten Vorgehensweise der Methodik galt es, die Verfahrenskette, die dem konventionell erarbeiteten, existierenden Arbeitsplan am ähnlichsten ist, mit selbigem zu vergleichen. Insofern wurden die Module der Primärverfahren entsprechend ihren Ein- und Ausgangszuständen (Abschnitt 4.4.3, Abbildung 53) unter Verwendung der Relationsmatrix der Primärverfahren (Abbildung 37, S. 101) in eine Sequenz gebracht. Da diese Sequenz durch den Maximalumfang an sekundären Verfahren innerhalb der Module geprägt war und dadurch Redundanzen und nicht optimale Lösungen in der Verfahrenskette zu finden waren, fand im Anschluss an die Sequenzierung eine Anpassung der Verfahrenskette statt. Beispielsweise enthielten alle Module mit dem Primärverfahren Trennen das Rissprüfungen als Sekundärverfahren. Eine Rissprüfung hat den Zweck, Risse aufgrund der vorhergehenden Bearbeitung zu detektieren. Da eine mehrfache Rissprüfung in der Verfahrenskette nicht erforderlich ist,

mussten Redundanzen eliminiert und das Verfahren an der richtigen Position der Verfahrenskette eingereiht werden (Abschnitt 4.4.4 bzw. Tabelle 2, S. 134). Unterstützt wurde diese Tätigkeit durch die Abbildung von Regeln innerhalb des Katalogs der Verfahrensmodule (Beispielregel: Rissprüfen nach dem letzten Trennverfahren in der Verfahrenskette) sowie durch das Wissen der beteiligten Planer. Basierend auf diesen Detaillierungs- und Anpassungsvorgängen wurde die Verfahrenskette fixiert. Den Verfahren der Kette waren mittels der beschriebenen aufbereiteten Arbeitsplan-Datenbasis die gemittelten Zeiten aus den historischen Daten zuzuordnen. Durch diesen Schritt wurden letztendlich Verfahrensketten inklusive maschineller und manueller Zeiten für ein spezifisches zu planendes Produkt erstellt.

Bei der Gegenüberstellung des konventionell erarbeiteten, existierenden Arbeitsplans mit der ähnlichsten, methodikunterstützt generierten Verfahrenskette waren

- 100 % der Primärverfahren (17 von 17) und
- 89 % der Vorgänger- bzw. Nachfolgerverfahren (39 von 44) identisch.

Folglich konnte auf der Grundlage der Methodik eine Verfahrenskette erarbeitet werden, die den Ergebnissen der konventionellen Produktionsplanung nahe kommt. Damit ist die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der Methodik bewiesen. Die Unterschiede der Verfahrenskette zum konventionellen Arbeitsplan im Bereich der Sekundärverfahren resultierten zum einen aus individuellen Vorgehensweisen der Produktionsplaner bzw. dem Mangel an Standardisierung in der bisherigen Vorgehensweise. Zum anderen basierten die Unterschiede auf uneinheitlichen Benennungen der Verfahren hinsichtlich des gesamten Bauteilspektrums und daraus resultierenden Unschärfen im Arbeitsplan.

Des Weiteren wurden im Rahmen des Vergleichs der generierten Verfahrenskette mit dem existierenden Arbeitsplan die Potenziale hinsichtlich der Zeit- und Kostenbewertung evaluiert. Wie bereits dargestellt, wurde die aufgebaute Datenbasis aus Referenzarbeitsplänen genutzt, um Zeiten und über gemittelte Verfahrensstundensätze die Fertigungskosten zu ermitteln. Durch einen ersten Vergleich der Kostendaten auf der Basis dieser historischen Daten konnte eine Kostenbewertungsdifferenz von weniger als 20 % erreicht werden. Diese Tatsache ist als positiv zu bewerten, da durch den relativ geringen Umfang der Datenbasis mit Ungenauigkeiten zu rechnen war. Des Weiteren stellt diese Kostenbewertung eine erste Aussage bezüglich der Kosten dar, die nur grobe Anhaltswerte bieten soll, um die relevanten Produktionsalternativen bestimmen zu können. Im weiteren Verlauf des Fallbeispiels wurden die Prinzipien der reifenden Kostenbewertung (Abschnitt 4.2.4.5, Abbildung 46) angewendet und Schritt für Schritt ausgewählte exemplarische mathematische Funktionen – z. B. für das thermische Boh-

5.2 Anwendung der Methodik in der Produktionsplanung

ren – genutzt, um die Zeit- und Kostenwerte zu aktualisieren und der Realität anzunähern. Durch diese Vorgehensweise wurde die Abweichung gegenüber den realen Kosten auf knapp 4 % reduziert. Im Rahmen einer Ursachenanalyse für die Abweichungen konnte gezeigt werden, dass die maßgeblichen kostenverursachenden Verfahren nur geringe prozentuale Abweichungen im Vergleich zum existierenden Arbeitsplan aufwiesen. Diejenigen Verfahren, die nur einen kleinen Beitrag zu den Gesamtkosten leisten (z. B. diverse Vorbereitungsverfahren), beinhalten jedoch teilweise erhebliche Differenzen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in den Arbeitsplänen der Datenbasis unterschiedliche Vorbereitungsverfahren für Primärverfahren, wie z. B. Schweißen, Beschichten oder Strahlen, pauschal mit „Vorbereiten“ benannt wurden. Folglich konnten im Fallbeispiel diese unterschiedlichen Verfahren nicht individuell berücksichtigt werden, was zu deutlichen Kennwertabweichungen im Vergleich zum existierenden Arbeitsplan geführt hat. Insofern konnte durch diese Analyse ein künftiges Handlungsfeld zur Optimierung der Datenbasis bzw. zur Standardisierung der Benennungen für eine eindeutige Zuordnungsmöglichkeit abgeleitet werden. Des Weiteren konnte belegt werden, dass eine differenzierte Ableitung von Zeiten aus dem historischen Datenbestand eine exakte Zuordnung des jeweils zugrunde liegenden Datenbestands gemäß Abbildung 44 (S. 112) erfordert (Differenzierung der Zeitermittlung in Abhängigkeit vom Verfahren, der Produktklasse, den Bauteilen der Produktklasse und den Produktelementen). Durch die methodische „Reproduktion“ eines existierenden Arbeitsplans konnte jedenfalls die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der Methodik inklusive der Potenziale hinsichtlich einer reifenden Kostenbewertung unter Beweis gestellt werden.

Ein weiteres Element, das im Fallbeispiel demonstriert werden sollte, war die systematische Generierung und Auswahl von alternativen Verfahrensketten. Für dieses Fallbeispiel wurden Alternativen für das Anbringen von Kühlluftbohrungen (thermisches versus elektrochemisches Belochen) und für das Herstellen von Dichtschlitzen (Erodieren versus der neuen, noch nicht etablierten Technologie des thermischen Abtragens) überprüft. Diese Alternativen wurden aus der exemplarisch aufgebauten Produkt-Primärverfahren-Matrix abgeleitet. Entsprechend der Kombinatorik existieren für diesen Anwendungsfall vier alternative Verfahrensketten. Auf der Grundlage der bereits dargestellten „ersten“ Verfahrenskette ist es mittels der standardisierten Verfahrensmodule schnell und einfach möglich, die alternativen Verfahrensketten zu generieren. Im Wesentlichen gilt es, die alternativen Verfahrensmodule in die sequenzierte Kette aus Modulen zu integrieren (Abbildung 58). Nach dem Ersetzen der relevanten Module müssen die Schritte Detaillierung/Anpassung bzw. Generierung/Analyse von Arbeitsplänen neu ausgeführt werden, um die beste alternative Verfahrenskette auswählen zu können. Die unterschiedlichen alternativen Verfahrensketten konnten gemäß der in Abschnitt 4.4.5 vorgestellten Vorgehensweise hinsichtlich der Fertigungskosten, des

aufwandsorientierten Kapitalwerts und der qualitativen Aspekte verglichen werden. Aus Gründen der Vertraulichkeit können die Originalergebnisse nicht veröffentlicht werden, was für die Verständlichkeit auch nicht erforderlich ist, jedoch veranschaulicht Abbildung 59 (vgl. allgemein: Abbildung 50, S. 126) die Ergebnisse in ihrer Tendenz.

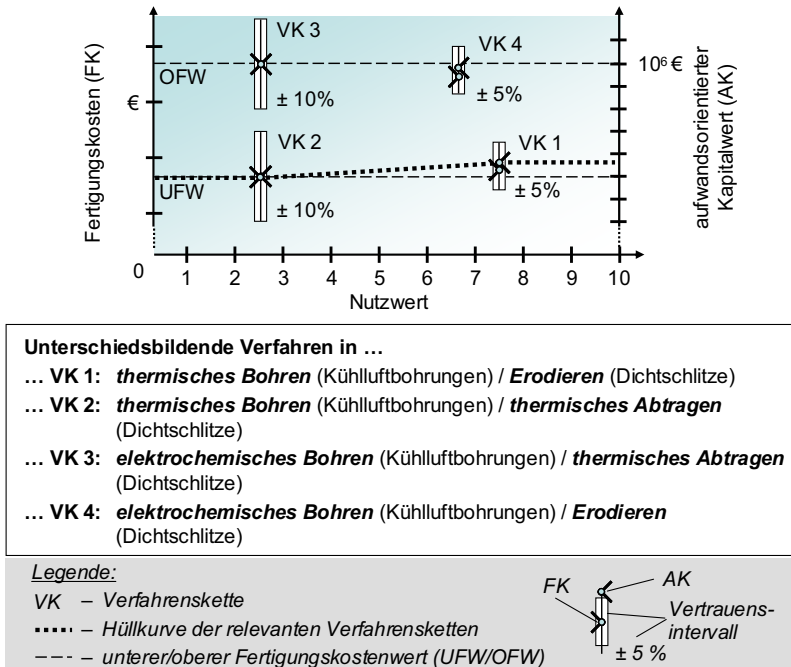


Abbildung 59: Qualitative Darstellung der Bewertung

Aus der grafischen Bewertung der Alternativen kann abgeleitet werden, dass nur die Verfahrensketten (VK) 1 und 2 realistische Alternativen darstellten, da bei den VK 3 und 4 die Fertigungskosten vergleichsweise hoch waren, ohne einen qualitativen Nutzen zu bringen. Letztendlich ließ sich im Rahmen des exemplarischen Fallbeispiels die Aussage ableiten, dass trotz der geringfügig höheren Fertigungskosten und dem höheren aufwandsorientierten Kapitalwert VK 1 zu favorisieren war. Diese Aussage stützte sich hauptsächlich auf den höheren Nutzwert. Dieser beruhte auf dem geringeren Umsetzungsrisiko, da das thermische Abtragen von Dichtschlitzen im Unternehmen nicht etabliert war und die Funktionsfähigkeit des Verfahrens als kritisch zu beurteilen war.

5.3 Anwendung der Methodik in der Montageplanung

Ergänzend zur Ausführung der Methodik wurde auch die Möglichkeit der organisatorischen Einbindung erarbeitet und validiert. Durch die Anpassung des im Anhang dargestellten Referenzablaufdiagramms und die Definition von Schnittstellen zu den existierenden Geschäftsprozessen wurde für das Unternehmen der weitere Weg zur Umsetzung der Methodik eingeschlagen.

Da das Fallbeispiel die Potenziale der Methodik darstellen konnte, wurde im Unternehmen in der darauf folgenden Phase der Aspekt einer *rechnerunterstützten Umsetzung und Einführung* der Methodik geprüft. Durch die Identifikation eines geeigneten Rechnerwerkzeugs sollten vor allem die Handhabbarkeit und der Datenpflegeaufwand im Vergleich zur prototyphaften Umsetzung des Fallbeispiels verbessert werden. Hierfür wurde der dargestellte Anforderungskatalog (Abschnitt 4.5 und Anhang) als Grundlage verwendet. Gemäß der Erfahrung aus dem Fallbeispiel und den kommunizierten Anforderungen aus dem Produktionsplanungsbereich wurden die Muss-Kriterien und die Gewichtung der Kann-Kriterien hinsichtlich potenzieller Rechnerwerkzeuge definiert. Aufgrund der Unternehmensrandbedingungen (z. B. komplexe Produktionsverfahren), der Produktspektren (z. B. Serienprodukte) und der Zielsetzung des Unternehmens (z. B. Technologieführerschaft) wurden sowohl datenbankorientierte als auch wissensbasierte Rechnerwerkzeuge als Möglichkeiten identifiziert (vgl. Tabelle 3). Bezüglich dieser Rechnerwerkzeugarten wurde eine Marktrecherche durchgeführt. Parallel wurden in Anlehnung an die vorliegende Arbeit ein qualitatives Lastenheft definiert, erste beispielhafte Tests ausgeführt und Präsentationen von Rechnerwerkzeugen initiiert. Diese Tätigkeiten führten zur Auswahl des Rechnerwerkzeugs „integriertes Produkt und Prozess Engineering“ (iPPE[®]) der Firma SAP[®]. Dieses Rechnerwerkzeug wurde ausgewählt, da es eine Abbildung der Strukturen und Wechselwirkungen sowie eine Nutzung historischer Daten mit den Standardfunktionalitäten erlaubt. Des Weiteren kann es relativ aufwandsarm im Unternehmen integriert werden, da bereits Produkte der Firma SAP[®] eingesetzt werden und somit die Systembetreuung sowie die Gestaltung von standardisierten Schnittstellen sichergestellt sind.

5.3 Anwendung der Methodik in der Montageplanung

5.3.1 Ausgangssituation und Rahmenbedingungen

Der Industriepartner, auf den sich das zweite Fallbeispiel bezieht, produziert Bremssysteme für den Nutzfahrzeugbereich. Das Fallbeispiel repräsentiert ein Teilprojekt des Transferbereichs T2 im Rahmen des von der DFG geförderten Sonderforschungsbereichs 336. Als Referenzprodukt diente eine zu entwickelnde neue Generation einer

Scheibenbremse, die ein Großserienprodukt darstellt. Die Abarbeitung der Projekthinhalte erfolgte in enger Kooperation mit den Unternehmensbereichen Produktentwicklung und Produktionsplanung. Die Produktionsplanung entspricht in diesem Fall der Montagesystemplanung, da im betrachteten Unternehmen hauptsächlich eine montageorientierte Wertschöpfung stattfindet. Im Bereich der Montageverfahren setzt der Industriepartner automatisierte sowie hybride Technologien und Betriebsmittel ein, die gemäß dem Prinzip einer kontinuierlichen Fließfertigung angeordnet sind. Das daraus resultierende Montagesystem ist in diverse modulare Teilsysteme (z. B. Schraub-, Laserschweißmodul etc.) untergliedert, die sich aus der modularen Produktstruktur der Scheibenbremse ableiten.

Eine Situationsanalyse bezüglich der Generierung von Verfahrensketten und der Kostenbewertung von Produkt- und Montagekonzepten hat die im Folgenden erläuterten Ergebnisse dargebracht. In frühen Phasen der Produktentwicklung und Produktionsplanung werden Vorgängerprodukte und damit verbundene Montageverfahren herangezogen, um neue Verfahrensketten abzuleiten und die Kosten für neue Lösungsalternativen zu schätzen. Die Kosten für neue Produktkonzepte, für die keine ähnlichen Bauteile im Unternehmen vorhanden sind, wurden mit Hilfe möglicher Zulieferer bewertet. Hierzu wurden Informationen bzw. Angebote eingeholt und damit die Montagekosten bestimmt. In der Montagesystemplanung war das Kostenwissen erfahrungsbasiert, d. h. mitarbeitergebunden verfügbar. Die beschriebenen erfahrungsbasierten Vorgehensweisen zur Kostenbewertung von Montageverfahren gründeten auf den konventionellen Methoden der Kosten- und Leistungsrechnung, wie z. B. der Vollkostenrechnung. Unterstützende Hilfsmittel zur Nutzung von verfügbarem Kostenwissen und zur montagegerechten Gestaltung von Produkten waren nicht vorhanden. Beim Projektpartner existierte insgesamt nur ansatzweise eine Integration der Produktentwicklung und Montageplanung, wobei die Geschäftsprozesse in Bezug auf Generierungs- und Bewertungstätigkeiten nicht umfassend standardisiert waren.

5.3.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Im Zuge dieses Fallbeispiels galt es, für die existierende Ausgangssituation nur Teilbereiche der gesamten Methodik im Unternehmen umzusetzen (vgl. Abbildung 60). Da die Abbildung der Produktstrukturen und Wechselwirkungen mit den Montageverfahren erst in einer späteren Evolutionsstufe realisiert werden sollte, ist es hier die Aufgabe gewesen, die unternehmensinternen Montageverfahren systematisch zu erfassen und in einem Verfahrensbaukasten für die Planung verfügbar zu machen. In diesem Zusammenhang sollten die Primärverfahren gegliedert sowie die zugehörigen Verfahrensmodule abgebildet werden. Zusätzlich zu dieser Art der Dokumentation des Verfahrens-

5.3 Anwendung der Methodik in der Montageplanung

wissens sollten den Verfahren hilfreiche Informationen für die Produktentwicklung und Produktionsplanung sowie Kosteninformationen hinterlegt werden. Durch die aufgebauten Strukturen und die hinterlegbaren Informationen sollte eine Basis für die kostenoptimale Entwicklung von Produkten und Planung von Produktionssystemen geschaffen werden.

Da auf die Strukturierung der Produkte bzw. Produktelemente sowie die Abbildung der Relationen zwischen Produkt und Produktionsverfahren zu verzichten war, konnte bei diesem Fallbeispiel die Möglichkeit der Nutzung historischer Daten zur Kostenermittlung nicht realisiert werden. Vielmehr erfolgte zur reifenden Bestimmung der Kosten von Verfahrensketten eine Konzentration auf die Alternative, mathematische Funktionen zu nutzen. Diese sollten, orientiert an der Prozesskostenrechnung, der Maschinenstundensatzrechnung und dem ressourcenorientierten Kostenmodell nach KÜMPER (1996), Informationen zu den zu erwartenden Kosten liefern. Neben dem Aufbau der beschriebenen Partialmodelle war es die Aufgabe, diese hinsichtlich eines Beispielprodukts anzuwenden. Auf dieser Grundlage war die unternehmensneutrale Vorgehensweise (Abschnitt 4.4) in ein unternehmensspezifisches Vorgehensmodell zur Generierung von Produktionsalternativen und zur Kostenbewertung zu transformieren, das in den integrierten Entwicklungs- und Planungsprozess des Unternehmens eingefügt werden sollte. Des Weiteren war zur Methodikumsetzung eine geeignete Rechnerunterstützung zu analysieren. Zusammenfassend zeigt Abbildung 60 die im Fallbeispiel abgebildeten und angewendeten Teilbereiche der Methodik.

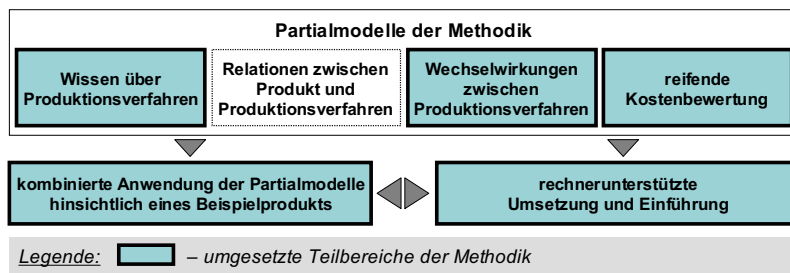


Abbildung 60: Umgesetzte Teilbereiche der Methodik im zweiten Fallbeispiel

5.3.3 Lösungen und Ergebnisse

Dieser Abschnitt beschreibt zuerst den Aufbau der erforderlichen Strukturen, mit denen das *Wissen über Produktionsverfahren* gezielt abgebildet werden konnte. Zu einer geeigneten Unterstützung der Bewertung, Auswahl sowie Konkretisierung von Produkt

und Montageverfahren war ein Verfahrensbaukasten hinsichtlich der Montageverfahren des Unternehmens zu entwickeln. In diesem Baukasten sollte das bei den Mitarbeitern der Montagesystemplanung verfügbare Wissen transparent und definiert abgelegt werden, um es für künftige Planungsaufgaben nutzbar zu machen.

Auch bei diesem Fallbeispiel bestand der Grundgedanke darin, primäre Montageverfahren mit planungsrelevanten Informationen zu verknüpfen. In Anlehnung an Abschnitt 4.2.2 wurden drei wesentliche Arten von Informationen zu Verfahren bei Montageplanungsaufgaben ermittelt: technologische Informationen (wie z. B. die Vorschubgeschwindigkeiten beim Schweißen), beschreibende Informationen (wie z. B. das Wirkprinzip oder die maximalen Bauteilabmessungen) sowie monetäre Informationen. Um diese Informationen im Baukasten gezielt ablegen zu können, ist eine Spezifikation bzw. Strukturierung der Montageverfahren notwendig. Hierzu wurden die DIN 8593 (2003) und die VDI RICHTLINIE 2860 (1990) herangezogen (vgl. Abschnitt 4.2.2). Die Kombination aus beiden ergibt einen Montagestrukturbaum, der die existierenden primären Montageverfahren hierarchisch gegliedert darstellt. Die elementaren primären Montageverfahren konnten auf der Basis dieser Strukturierung mit den technologischen, beschreibenden und monetären Informationen verknüpft werden. Damit wurden sie für künftige Entwicklungs- und Planungsaufgaben nutzbar gemacht. Die hinterlegten Technologie-, Beschreibungs- und Kosteninformationen konnten damit von der Montagesystemplanung und der Produktentwicklung für eine kostenoptimale Gestaltung von Produkt und Montagesystem verwendet werden.

Um auch in diesem Fallbeispiel die Prinzipien der reifenden Planung und Bewertung realisieren zu können, wurde das Arbeiten mit Verfahrenmodulen aufgegriffen, um die *Wechselwirkungen zwischen Produktionsverfahren* (Primär-/Sekundärverfahren) abbilden zu können. Zum Beispiel hat ein Schweißmodul aus dem Primärverfahren Laserschweißen (Fügen zweier Bauteile) und den Sekundärverfahren geordnetes Speichern (Bauteile in Magazinen), Positionieren (durch Roboter) und Weitergeben (mittels Roboter) bestanden. Diesen Aspekten der Modularisierung ist in Form des Baukastens Rechnung getragen worden. Es wurden die Voraussetzungen geschaffen, um in frühen Planungsphasen anhand des Baukastens eine Montageverfahrenskette, bestehend aus Verfahrenmodulen, generieren zu können (vgl. Abbildung 40). Die Grundlage sind die Primärverfahren der Montagemodule, die manuell den geplanten Produktelementen zugeordnet werden können. Beispielsweise kann ein Produktelement Schweißnaht mit einem Schweißmodul verknüpft werden, welches das Primärverfahren Schweißen beinhaltet. Des Weiteren wurde der Baukasten so gestaltet, dass ganze Montagemodule oder ausgewählte Verfahren manuell substituiert, eliminiert oder hinzugefügt werden konnten. Auf der Grundlage der hinterlegten und/oder hinzugewonnenen Informationen war

5.3 Anwendung der Methodik in der Montageplanung

es damit möglich, Produktvarianten und alternative Montagevorgangfolgen im Rahmen der Scheibenbremsenentwicklung zu generieren.

In Bezug auf die *reifende Kostenbewertung* wurde, wie bereits beschrieben, bei diesem Fallbeispiel ausschließlich auf die Möglichkeit der Nutzung von mathematischen Funktionen zurückgegriffen. Bei den maschinell unterstützten Montageverfahren wurden Kosten auf der Basis eines erweiterten Maschinenstundensatzes (vgl. Abschnitt 4.2.4.1) berechnet. Über den erweiterten Maschinenstundensatz und die zu erwartenden Zeiten zur Ausführung des jeweiligen Verfahrens konnten die Kosten kalkuliert werden. Da es vor allem in den frühen Phasen im Bereich der Entwicklung neuer Produkte schwierig war, die Montagezeiten ohne die explizite Nutzung von Simulationswerkzeugen zu bestimmen, wurde der Verbrauch der maschinenabhängigen Ressourcen in Anlehnung an Abbildung 45 über einen Ressourcenverbrauchssatz ermittelt (Abbildung 61). Durch diesen wird der Maschinenstundensatz mit der Einheit [€/h] in die Form [€/Ressourcentreibergröße] transformiert. Ein Beispiel für eine Ressourcentreibergröße (maßgebliche Kosten verursachende Maßgröße) ist die in Millimeter angegebene Länge einer Schweißnaht beim Fügen durch Schweißen. Werden die aus Vorgängerprodukten bekannten (Kosten-)Informationen bezüglich des Ressourcenverbrauchssatzes gespeichert, so bietet dieser einen Anhaltspunkt bei der Planung neuer Produkte und Montagesysteme. Durch die Bestimmung der Prozessmenge (z. B. die geplante Schweißnahtlänge) können die maschinenabhängigen Kosten für die Verfahrenskette bewertet werden.

| | | |
|--|---|----------------------------|
| <u>allgemein:</u> | <u>Beispiel:</u> | |
| a erweiterter Maschinenstundensatz | Maschinenstundensatz Schweißanlage | ▶ 20,50 €/h |
| b • Ressourcenverbrauchssatz | spezifisches Verhältnis Schweißdauer/Nahtlänge | ▶ $28 \cdot 10^{-6}$ h/mm |
| c = Kosten/Ressourcentreibergröße (a • b) | spezifisches Verhältnis Kosten/Nahtlänge | ▶ $574 \cdot 10^{-6}$ €/mm |
| d • Prozessmenge | geplante Nahtlänge | ▶ 450 mm |
| e = maschinenabhängige Verfahrenskosten (c • d) | maschinenabhängige Verfahrenskosten | ▶ 0,26 € |
| f + verfahrensbedingte Montagelohnkosten | Kosten manueller Arbeiten (Schweißprozess) | ▶ 0,17 € |
| g = Kosten für ein Verfahren (e + f) | gesamte Verfahrenskosten | ▶ 0,43 € |

Abbildung 61: Kostenmodell für den Verfahrensbaukasten am Beispiel des Schweißens

Die verfahrensabhängigen Kosten sind durch die verfahrensbedingten Montagelohnkosten zu ergänzen (Abbildung 61), um den nicht vollautomatisierten maschinellen Montageverfahren Rechnung zu tragen. Die manuellen Verfahrenskosten werden zu den maschinenabhängigen Verfahrenskosten addiert, so dass in Summe die Kosten eines ele-

mentaren Montageverfahrens in der Verfahrensstruktur abgelegt und für Kostenbewertungen benutzt werden können. Das dargestellte Modell und der Baukasten stellen die Verfügbarkeit der Kosteninformationen zu Montageverfahren sicher. Somit können hinsichtlich der Montagesysteme, der Montagemodule innerhalb von Montagesystemen und der Verfahren innerhalb von Montagemodulen die jeweiligen Kosten abgeleitet werden. Eine Betrachtung des aufwandsorientierten Kapitalwerts und der qualitativen Aspekte fand in diesem Fallbeispiel nicht statt, weil das Unternehmen bezüglich der Montagesystemgestaltung primär fertigungskostenorientiert agierte.

Mit der *kombinierten Anwendung der Partialmodelle hinsichtlich eines Beispielprodukts* wurde durch den Verfahrensbaukasten eine modulare Kostenbewertung geplanter Montagesysteme ermöglicht. Hierbei errechneten sich die Kosten eines Montagesystems aus den Kosten der Montagemodule und die Montagemodulkosten aus der Summe der Kosten der Verfahren innerhalb eines Moduls. In frühen Phasen der Produktentwicklung (z. B. unscharfe Produktkonzepte) konnte im Bereich der Montagesystemplanung eine Kostenbewertung der Montage auf Modulebene durchgeführt werden. Somit basierte die Kostenbewertung auf Informationen zu betriebsintern bereits vorhandenen oder betriebsextern (z. B. bei Anlagenbauern) recherchierten Montagemodulen. Des Weiteren war kein hoher Detaillierungsgrad des Produktkonzepts erforderlich, da die benötigten Montagemodule auf der Grundlage der relevanten Primärverfahren und damit der korrelierenden Produktelemente (z. B. Schweißnaht) ausgewählt worden sind. Bei einer am Primärverfahren orientierten Auswahl der Montagemodule wurde implizit eine Konfiguration von Sekundärverfahren mitbestimmt. Insofern war es möglich, ein Produkt- und ein Produktionskonzept gemeinsam hinsichtlich der Fertigungs- und Zielkosten zu bewerten. Diese frühzeitige und bilaterale Bewertung des Produkts sowie des Montagesystems hinsichtlich der Zielgröße Kosten erlaubte eine Realisierung von Optimierungspotenzialen bzw. eine Freigabe oder eine Ablehnung aus Kostensicht für eine weitere Detaillierung.

Im Verlauf der Produktdetaillierung wurden zusätzliche Informationen (z. B. zu Gestaltvarianten, Vorgangfolgen etc.) erzeugt, die zur Detaillierung des Montagesystems benötigt worden sind. Im Rahmen der modularen Kostenbewertung bestand die Möglichkeit, die Verfahrensparameter innerhalb der Montagemodule anzupassen (vgl. Abschnitt 4.4.4) sowie die Verfahren zu eliminieren und/oder anhand des Verfahrensbaukastens zu substituieren bzw. zu addieren. Damit wurde implizit der Planungsstand aus Kostensicht aktualisiert und es konnten Rückschlüsse auf die Verfahrensauswahl getroffen werden. Parallel zur Detaillierung der Montagemodule und des Montagesystems wurde somit der Genauigkeitsgrad der Kosteninformationen bezüglich des geplanten Montagesystems gesteigert. Korrelierend mit dem Aufwand wurde die Aussagegenau-

5.3 Anwendung der Methodik in der Montageplanung

igkeit der Kostenbewertung gesteigert. Die kontinuierliche Detaillierung der Kostenbewertung im Planungsverlauf ist ein essenzieller Unterschied im Vergleich zu den bisher üblichen, diskreten Kostenbewertungsprozessen im Unternehmen.

In einem nächsten Schritt galt es, die Potenziale hinsichtlich einer *rechnerunterstützten Umsetzung und Einführung* der Methodik zu analysieren. Im Rahmen des Fallbeispiels wird nur die erste Stufe der Methodikumsetzung beschrieben (vgl. 5.3.1), weil erst in weiteren Entwicklungsstufen die Produktstrukturen und Wechselwirkungen zwischen Produkten sowie Verfahren abgebildet werden sollten. Deshalb wurde die Vorgehensweise zur Auswahl eines Rechnerwerkzeugs (Abschnitt 4.5.3) nur verkürzt angewendet, da ein kommerzielles Rechnerwerkzeug mit den entsprechenden Anforderungen (Abschnitt 4.5.2) erst nach einer Abbildung aller Partialmodelle ausgewählt werden kann. Insofern erfolgte zur Unterstützung der erarbeiteten Methodikinhalt die Entwicklung eines Rechnerwerkzeugprototyps. Dieser sollte die Funktionalitäten des Verfahrensbaukastens inklusive der Kostenbewertung umsetzen. Um den entwickelten Prototyp beim Industriepartner im Rahmen der existierenden IT-Infrastruktur einsetzen zu können, wurde Microsoft Access[®] als Entwicklungsplattform ausgewählt. Zusätzlich ist dieses Werkzeug – infolge der hohen Marktdurchdringung und Kompatibilitätsstandards – auf nahezu allen gängigen Arbeitsplatzsystemen verwendbar.

Die entwickelte Applikation besitzt den Namen „VerfahrensDB“ (Verfahrensdatenbank) und ist als *Front-end-Back-end-Lösung* konzipiert worden. Auf diese Weise ist die Datenbank netzwerkfähig und von der Produktentwicklung und Montagesystemplanung an verteilten Orten verwendbar. Das *Back-end* in Form einer Microsoft Access[®]-Datenbank wurde auf einem Server im Netzwerk installiert. Das *Front-end*, d. h. eine eigenständige Benutzerschnittstelle, können die Benutzer mit einem Setup-Programm auf dem Rechner installieren. Im Rahmen der VerfahrensDB wird die in Microsoft Access[®] integrierte Benutzerverwaltung für die Zugriffskontrolle verwendet, um die Eingabe von Informationen mit einem Zeitstempel und den Benutzerinformationen zu dokumentieren. Zur Erweiterung des Funktionsumfangs gemäß den definierten Anforderungen wurde die objektorientierte und in Microsoft Office[®] integrierte Programmiersprache Visual Basic for Applications (VBA) genutzt. Die Datenabfrage erfolgt über Data Access Objects (DAO), womit für eine eventuelle Umrüstung des *Back-ends* auf eine andere Datenbankarchitektur, wie z. B. Oracle[®], vorgesorgt ist. Es wurde darauf geachtet, die modulare Vorgehensweise in der Montagesystemplanung und Kostenbewertung zu realisieren, d. h. Planungsprojekte (Montagesysteme) setzen sich aus Montagemodulen und diese wiederum aus Verfahren zusammen. Die Objekte Projekt, Montagemodul und Verfahren werden im Rahmen des Prototyps durch entsprechende Datentabellen beschrieben. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, globale Einstellungen

(z. B. Zinssatz) bezüglich der gesamten Datenbank oder lokale Einstellungen (z. B. Taktzeitverluste, resultierend aus dem Montagevorranggraf) zu Teilbereichen vorzunehmen. In Abbildung 62 ist die Benutzeroberfläche des Prototyps VerfahrensDB ausschnittsweise mit fiktiven Werten ersichtlich.

Strukturbaum der Verfahren

- N Zusammensetzen
- N Füllen
 - N Anpressen/Einpressen
 - N Fügen durch Umformen
 - N Fügen durch Umformen
 - N Fügen durch Schweißen
 - N Pressverbindungen
 - N Schmelzverbindungen
 - N durch Flüss.
 - N durch Gas
 - N durch elek.
 - N durch Stral.
 - N durch elek.

Bereich zur Berechnung der Fertigungskosten

| Raumkosten | Werkzeugkosten | En/ Zusatzmittelkosten | Lohnkosten | Sonstige Parameter |
|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Zusammenfassung | kalkulatorische Abschreibungen | kalk. Zinsen | Instandhaltungskosten | |
| maschinenabhängige Kosten | | maschinenumabhängige Kosten | | |
| Kalkulatorische Abschreibung: | 2,0559 € / h | Lohnkosten: | 0,2778 € / Prozess | |
| kalkulatorische Zinsen: | 0,2056 € / h | Instandhaltungskosten: | | |
| Instandhaltungskosten: | 0,2056 € / h | Raumkosten: | 0,0051 € / h | |
| Raumkosten: | 0,0051 € / h | Werkzeugkosten: | 0,0329 € / h | |
| Energiekosten: | 2,58 € / h | Zusatzkosten: | 0,6 € / h | |
| Zusatzkosten: | 0,6 € / h | Klassifizierung: | ungenau | |
| Ressverbrauchssatz: | 0,0028 h / mm | erw. Maschinenstundensatz: | 5,6851 € / h | |
| Prozessmenge: | 30 mm | Ressourcenverbrauchsgröße: | 1,591839E-02 €/mm | |
| | | Stück: | 2 | |
| Kosten des Verfahrens | 2,8247 | pro Los | | |
| Kosten des Verfahrens | 1,4124 | pro Stück | | |

Abbildung 62: Screenshot des Prototyps VerfahrensDB

Zusätzlich zu den bisher beschriebenen Möglichkeiten bietet der Prototyp eine Export- bzw. Auswertungsfunktion. Die Kosteninformationen zu Projekten, Montagemodulen und/oder Verfahren innerhalb der VerfahrensDB können in Microsoft Excel[®] exportiert werden, um automatisierte Berichte zu kostentreibenden Verfahren zu generieren. Das prototypische Rechnerwerkzeug wurde exemplarisch mit Informationen gefüllt, so dass ein Testeinsatz möglich war. In einem abschließenden Schritt wurden das Rechnerwerkzeug bzw. der zugrunde liegende Baukasten ablauf- und aufbauorganisatorisch in die Unternehmensprozesse eingebunden. Hierzu wurden die in Abschnitt 4.4 dargestellten Vorgehensweisen für das Fallbeispiel spezifisch angepasst.

Am offensichtlichsten kann der Erfolg der Umsetzung der Methodik daran abgelesen werden, dass bei einer Befragung von Mitarbeitern der Unternehmensbereiche Montagesystemplanung, Produktentwicklung und Controlling die Nutzen/Aufwand-Relation bezüglich einer künftigen Realisierung der gesamten Methodikinhalte als äußerst günstig beurteilt wurde.

5.4 Zusammenfassung

Im Rahmen des ersten Fallbeispiels (Abschnitt 5.2) konnte die ganze Bandbreite der Methodik aufgezeigt werden. Es wurden sämtliche Teilelemente der Methodik bezüglich ihrer Funktionsfähigkeit und Anwendbarkeit erfolgreich validiert. Des Weiteren wurde mittels der Vorgehensbeschreibungen zur Identifikation und Auswahl geeigneter Rechnerwerkzeuge (Abschnitt 4.5) eine kommerzielle Umsetzung der Methodik eingeleitet.

Demgegenüber zeigte das zweite Fallbeispiel (Abschnitt 5.3) die Potenziale der Methodik hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit und Skalierbarkeit an spezifische Anforderungen eines Unternehmens. Zusätzlich wurde speziell für dieses Fallbeispiel und das entsprechende Industrieunternehmen ein Rechnerwerkzeug entwickelt, um die Methodik in der beschriebenen Umsetzungsstufe rechnerunterstützt einführen zu können.

6 Bewertung von Aufwand und Nutzen

6.1 Allgemeines

Die Fallstudien in Kapitel 5 zeigen die industrielle Relevanz einer Einführung und Anwendung der Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen. Basierend auf den Erfahrungen der Fallbeispiele wird in diesem Kapitel die Nutzen/Aufwand-Relation in Bezug auf die Methodik dargestellt. Hierbei wird sowohl auf einmalige Aufwände für die Einführung (Abschnitt 6.2) als auch auf laufende Aufwände (Abschnitt 6.3) für die Nutzung der Methodik eingegangen. Diesen werden die monetären (Abschnitt 6.4) und die qualitativen Nutzeneffekte (Abschnitt 6.5) gegenübergestellt, um eine ganzheitliche Aussage in Bezug auf die Einführung und die Nutzung der Methodik (Abschnitt 6.6) zu erhalten.

Eine absolut objektive quantitative Bewertung hinsichtlich der Aufwände, Nutzeneffekte und qualitativen Aspekte wäre jedoch nur durchführbar, wenn zum Vergleich ein identisches Entwicklungs- und Planungsprojekt ohne die Unterstützung der Methodik ausführbar wäre. Doch dies ist nicht realistisch und wirtschaftlich untragbar. Deshalb beziehen sich die folgenden Abschnitte auf eine Gegenüberstellung im Rahmen einer Modellrechnung für ein fiktives, aber durchaus charakteristisches Unternehmen. Da es sich ausschließlich um eine Modellrechnung handelt, wird an dieser Stelle auf eine dynamische Investitionsrechnung verzichtet. Vielmehr sollen die wesentlichen Aspekte in Form einer statischen Betrachtung dargelegt werden. Für diese firmenunspecifische Modellrechnung gelten die in Tabelle 4 visualisierten Annahmen und Rahmenbedingungen, die teilweise auf Erfahrungen aus Industrieprojekten beruhen.

| Beschreibung der Annahmen/Rahmenbedingungen | Ausprägung |
|---|--------------|
| Stundensatz unternehmensinterner Mitarbeiter | 80,- € |
| Stundensatz externer Berater | 160,- € |
| Arbeitsstunden eines Mitarbeiters pro Monat | 160 h |
| Anzahl der involvierten Produktentwickler und Produktionsplaner | 40 |
| Zeitanteil zur Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen in Relation zur Arbeitszeit der Produktentwickler und Produktionsplaner | 50% |
| Zeitanteil der Rechnerwerkzeugnutzung der Produktentwickler und Produktionsplaner im Zuge der Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen | 50% |
| jährliche Fertigungskosten bezogen auf das gesamte Produktspektrum des Unternehmens | 20.000.000 € |

Tabelle 4: Annahmen und Rahmenbedingungen der Modellrechnung

6.2 Einmalaufwände

Die nachfolgend aufgeführten Zahlenwerte im Bereich der Aufwands- und Nutzenaspekte sind fiktiv. Sie basieren jedoch auf Interviews in der Industrie und bei Softwareanbietern, so dass sie durchaus repräsentativ für typische Unternehmen sind.

6.2 Einmalaufwände

Für die Umsetzung und Einführung der Methodik sind einmalige und initiierte Aufwände zu tätigen. Diese werden in Tabelle 5 aufgeführt.

| Aufwandsart | Beschreibung | Aufwand |
|--|--|------------------|
| interner und externer Aufwand zur firmenspezifischen Anpassung der Methodik | 2 MA à 3 MM | 76.800 € |
| Aufbereitung der Unternehmensdaten und Generierung von mathematischen Zeitfunktionen | 2 MA à 2 MM | 51.200 € |
| Analyse der Anforderungen hinsichtlich der Rechnerunterstützung und systematische Bestimmung eines geeigneten Rechnerwerkzeugs | 2 MA à 2 MM | 51.200 € |
| Lizenzkosten | 40 Softwarelizenzen à 3.750 € | 150.000 € |
| Implementierungs- bzw. Installationsaufwand | 1 MA à 1 MM und 1 MA à 1 MM (extern) | 38.400 € |
| Schulungsaufwand | 10 MA à 0,5 MM und Schulungspauschale (20.000 €) | 84.000 € |
| gesamte Einmalaufwände | | 451.600 € |

Legende: MA – Mitarbeiter; MM – Mannmonat

Tabelle 5: Einmalaufwände zur Umsetzung der Methodik

Zur Anwendung der in dieser Arbeit unspezifisch formulierten Methodik ist diese an die spezifischen Anforderungen des Unternehmens anzupassen. Es müssen beispielsweise die Ausprägungen der Methodik festgelegt und Schnittstellen zu den existierenden Geschäftsprozessen generiert werden. Hierfür wird abgeschätzt, dass zwei Mitarbeiter (MA) zu je drei Mannmonaten (MM) beschäftigt sind. Weiterhin sind die unternehmensinternen Daten für die Methodik aufzubereiten und mathematische Funktionen für die Bestimmung von Zeitfunktionen müssen erarbeitet werden. Die übrigen Einmalaufwände beziehen sich auf rechnerwerkzeugbedingte Aufwände, die auf der Analyse der Anforderungen, der systematischen Auswahl, der Beschaffung von Lizenzen, der Installation und der Schulung bezüglich des Rechnerwerkzeugs basieren.

6.3 Kontinuierliche Aufwände

Zusätzlich zu den einmaligen Aufwänden sind zur rechnerunterstützten Ausübung der Methodik weitere, kontinuierlich anfallende Aufwände zu berücksichtigen. Diese beziehen sich jeweils auf Jahreszyklen und sind in Tabelle 6 dargestellt.

| Aufwandsart | Beschreibung | Aufwand |
|--|-----------------------------------|------------------|
| Optimierung der Methodik sowie Aufwand für die Datengenerierung und -pflege | 1 MA zu 50 % | 76.800 € |
| Wartungskosten der Rechnerwerkzeuge (20 % der Lizenzkosten entspricht einem üblichen Wartungskostenfaktor) | 40 Lizenzen à 20 % • Lizenzkosten | 30.000 € |
| Betriebskosten der Rechnerwerkzeuge | 40 Lizenzen à 500 € | 20.000 € |
| gemittelte jährliche Hardwarekosten | 40 Rechner à 1.000 € in 4 Jahren | 10.000 € |
| gesamte kontinuierliche Aufwände pro Jahr | | 136.800 € |

Legende: MA – Mitarbeiter

Tabelle 6: Kontinuierliche Aufwände zur Anwendung der Methodik

Für die Anwendung der Methodik sind laufende Aufwände einzuplanen, um sowohl die Methodik kontinuierlich zu optimieren als auch die erforderlichen Daten (z. B. für die Ermittlung von Zeiten aus historischen Daten) zu pflegen. Die weiteren, in Tabelle 6 genannten Aufwandskriterien beziehen sich auf einen potenziellen Einsatz eines Rechnerwerkzeugs. Hierbei ist mit kontinuierlichen Aufwänden für die Wartung (z. B. Aktualisierung von Lizenzen), für den Betrieb (z. B. anteilige Kosten für die Einbindung in die existierende IT-Infrastruktur) und für die Hardware, die für das Betreiben der Softwarelizenzen erforderlich ist, zu rechnen.

6.4 Monetärer Nutzen

Die Nutzeneffekte beziehen sich ebenfalls auf jährliche Zeiträume. Ein wesentlicher quantitativer Nutzeneffekt ist in der Steigerung der Planungseffizienz anzunehmen. Durch die modulatorientierte und standardisierte Vorgehensweise in der Planung ist im Vergleich zu einer ähnlichkeitbasierten Vorgehensweise in der Produktionsplanung durch Kopieren ein geringfügig erhöhter zeitlicher Aufwand zu erwarten, da Arbeitspläne aktiv durch die Mitarbeiter konfiguriert werden müssen. Jedoch können durch die Anwendung der Methodik deutliche Zeiteinsparungen in den darauf folgenden Planungsphasen erwartet werden, da durch die gezielte Abbildung von Wissen und die teilautomatisierte Bewertung von Zeiten und Kosten die Planungseffizienz um minimal

6.5 Qualitativer Nutzen

5 % gesteigert werden kann. Diese These wird durch die Erfahrungen innerhalb der Fallbeispiele und Interviews in Unternehmen gestützt.

Ein weiterer zu erwartender monetärer Nutzen ergibt sich aus der Reduktion der Fertigungskosten durch die Möglichkeit der Planung wirtschaftlicherer Verfahrensketten infolge der Methodik. Dadurch, dass systematisch alle möglichen und relevanten Produktionsalternativen in die Überlegungen mit einbezogen werden, können auf der Basis der Erfahrungen aus der Methodikumsatzung in den Fallbeispielen Einsparpotenziale erwartet werden. Dieser Aspekt wird durch die gesteigerten Integrationsgrade zwischen der Produktentwicklung und der Produktionsplanung verstärkt. Folglich erscheint eine Reduktion der Fertigungskosten um 1 % für die Optimierung des Gesamtsystems als konservative Schätzung (Tabelle 7).

| Nutzenart | Beschreibung | Nutzen |
|--|---------------------|------------------|
| Steigerung der Planungseffizienz um 5 % von 40 MA, die zur Hälfte ihrer Arbeitszeit die Methodik nutzen | 40 MA zu 50 % • 5 % | 153.600 € |
| Reduktion der Fertigungskosten um 1 % aufgrund der generierten besseren Verfahrensketten (bezogen auf das gesamte Produktspektrum) | 20.000.000 € • 1 % | 200.000 € |
| gesamte Nutzeneffekte pro Jahr | | 353.600 € |

Legende: MA – Mitarbeiter

Tabelle 7: Monetäre Nutzeneffekte der Anwendung der Methodik

Weitere Potenziale können u. U. bei Unternehmen realisiert werden, die neben dem eigenen Produktspektrum Fremdbauteile zur Auslastung der Kapazitäten fertigen. Hierbei ist die Erstellung von Angeboten oftmals sehr aufwändig, da bereits nahezu komplette Arbeitspläne für eine Abgabe von Angeboten erstellt werden müssen. In diesem Zusammenhang ermöglicht die Methodik mit ihren Modellen eine reife Bewertung von Verfahrensketten, was wiederum eine Optimierung von Kosten und Zeiten zur Erstellung von Angeboten zulässt.

6.5 Qualitativer Nutzen

Die Nutzeneffekte der Methodik sind jedoch nicht ausschließlich im monetären Bereich zu finden. Auch qualitative Nutzeneffekte, die sich kurzfristig nicht direkt monetär messen lassen, sich aber mittel- bis langfristig auch in monetären Vorteilen auswirken, können durch den Einsatz der Methodik verwirklicht werden. Diese Verbesserungspotenziale werden im Rahmen einer nutzwertanalytischen Darstellung in Tabelle 8 präsen-

tiert und spiegeln sich in einem Nutzwert von 7,2 im Vergleich zu einer herkömmlichen Vorgehensweise (Nutzwert 2,4) wider (Berechnung des Nutzwerts: vgl. Abschnitt 2.3.7 bzw. ZANGEMEISTER (2000)). Diese nutzwertanalytische Bewertung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner aus Abschnitt 5.2. Im Vergleich zur ähnlichteilbasierten und stark von Mitarbeiterwissen geprägten Vorgehensweise bietet die Methodik ein deutlich gesteigertes Potenzial in Richtung Standardisierung und Transparenz hinsichtlich der Produktionsplanung und Kostenbewertung. Ähnliche Vorteile der Methodik werden auch in den Punkten

- intensiviertes Wissensmanagement durch die Abbildung des Verfahrenswissens,
- Unterstützung der Reaktionsschnelligkeit in der Produktentwicklung und Produktionsplanung durch die Verfügbarkeit strukturierter Verfahren und Verfahrensmodule sowie
- Förderung der Einbindung neuer Technologien durch deren systematische Integration in den Planungsprozess

erwartet.

| Kategorie | Gewichtung | konventionelle Vorgehensweise | | Vorgehensweise gemäß der Methodik | |
|--|------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| | | Erfüllungsgrad (0-10) | Teilnutzwert | Erfüllungsgrad (0-10) | Teilnutzwert |
| Standardisierung und Transparenz in der Produktionsplanung und Kostenbewertung | 0,2 | 3 | 0,6 | 7 | 1,4 |
| Verfahrenswissensmanagement | 0,3 | 2 | 0,6 | 8 | 2,4 |
| Unterstützung eines reaktionsschnellen Produktentwicklungs- und Produktionsplanungsprozesses | 0,2 | 3 | 0,6 | 8 | 1,6 |
| Förderung neuer Technologien innerhalb des Planungsprozesses | 0,3 | 2 | 0,6 | 6 | 1,8 |
| Nutzwert | 1 | 2,4 | | 7,2 | |

Tabelle 8: Qualitative Bewertung der Anwendung der Methodik

6.6 Ganzheitliche Bewertung

Für eine Umsetzung der Methodik ist neben den qualitativen Aspekten letztendlich die Relation zwischen monetärem Aufwand und Nutzen entscheidend. Hierfür werden in

6.6 Ganzheitliche Bewertung

Abbildung 63 die Aufwände im Vergleich zu den monetären Nutzeneffekten im Verlauf der Jahre dargestellt. Die Einmalaufwände entstehen im ersten Jahr der Modellrechnung. Darauf folgend werden die um die kontinuierlichen Aufwände ergänzten kumulierten Aufwände angetragen. Diesen werden die kumulierten monetären Nutzeneffekte gegenübergestellt, wobei hier im ersten Jahr der Umsetzung noch keine Nutzeneffekte prognostiziert werden. Vielmehr wird angenommen, dass die Methodik erst im Jahr nach der Umsetzung Wirkung hinsichtlich des Nutzens zeigt. Im Hinblick auf die eingeführten Annahmen übersteigen die kumulierten Nutzeneffekte die Aufwände (Break-even-Punkt) nach ca. vier Jahren. Werden im Sinne einer Sensitivitätsanalyse beispielsweise die Parameter Lizenzkosten – zwischen 5.000 € und 30.000 € – bzw. Fertigungskostenreduktion (FK_{red}) – zwischen 0,5 % und 1,5 % – variiert (vgl. Aufwands- bzw. Nutzenkorridor in Abbildung 63), so ist das Resultat ein „Break-even-Bereich“. Dieser beginnt bei ca. zwei Jahren und endet bei ca. zehn Jahren. Entsprechend dieser Parametervariationen zeigt sich, dass bei einer Umsetzung der Methodik zusätzlich zu den qualitativen Nutzeneffekten ein monetärer Nutzen zu erwarten ist, der im Verlauf der Zeit den Aufwand übersteigt. Je nach der individuellen Ausprägung der Rahmenbedingungen wird der Break-even-Punkt früher oder später erreicht.

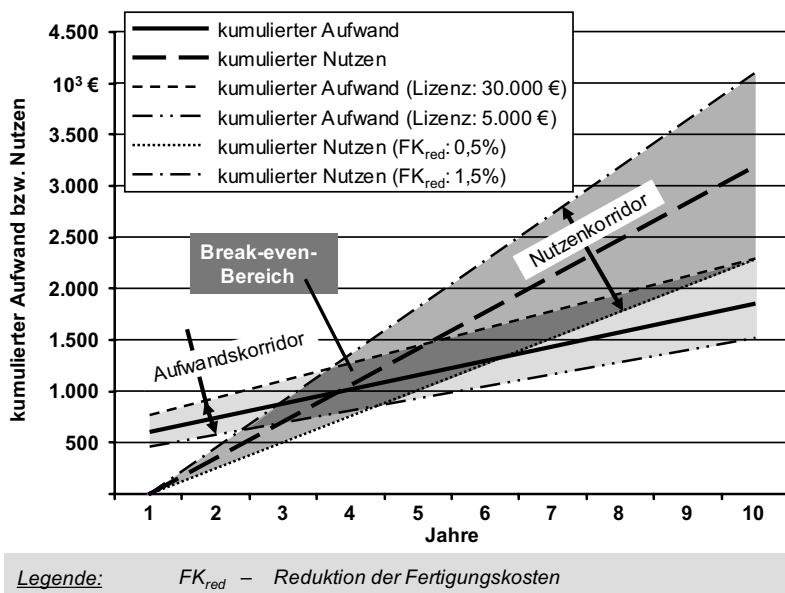


Abbildung 63: Vergleich von Aufwand und Nutzen der Methodik

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Zuge der Arbeit wurde ein Ansatz aufgezeigt, der im Bereich der entwicklungs- und planungsbegleitenden Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen ein Teilelement für das von GÖSCHEL (2006) geforderte innovationsorientierte Erfolgskonzept sein kann. Zur schrittweisen Erarbeitung der vorliegenden Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen wurden dazu in Kapitel 1 die allgemeinen Herausforderungen im Wettbewerbsumfeld erläutert, der inhaltliche Betrachtungsumfang abgegrenzt und die relevanten Begriffe definiert. Es wurde gezeigt, dass der Produktionsstandort Deutschland in einem Umfeld von Globalisierung sowie Kosten- und Zeitdruck stark von Innovationen abhängt. Die beschriebene Methodik soll unter diesen Rahmenbedingungen einen Beitrag leisten, im Zuge einer entwicklungs- und planungsbegleitenden Vorgehensweise hoch innovative Produktionsverfahrensketten generieren und zugleich die kostengünstigsten mittels einer geeigneten Bewertung auswählen zu können.

Auf der Basis dieser Ausgangssituation und der globalen Zielsetzung, eine Vorgehensweise zur frühzeitigen Generierung und Identifikation optimaler Produktionsverfahrensketten zu entwickeln, wurde in Kapitel 2 der Stand der Forschung und Technik dargestellt. Im Speziellen wurde auf die relevanten Themenbereiche der integrierten Produktionsplanung und der Bewertung eingegangen. Auf diesen Grundlagen konnten die Anforderungen an die Methodik konkretisiert und diese schließlich konzipiert werden (Kapitel 3). Darauf aufbauend erfolgte die Darstellung der Methodik mit den einzelnen Partialmodellen, die Kombination der Partialmodelle, die Beschreibung der Vorgehensweise zur Anwendung sowie die Erläuterung eines Leitfadens für die rechnerunterstützte Umsetzung (Kapitel 4).

In Bezug auf die integrativen Anforderungen (vgl. Abschnitt 3.2.2) bietet die Methodik diverse Ansätze. Beispielsweise wird die integrierte Bildung und Auswahl von Verfahrensketten durch die Produkt-Primärverfahren-Matrix gefördert. Durch diese sind umgehend Aussagen zu aktuell existierenden Produktionsverfahren bzw. zu potenziellen neuen Technologien möglich, sobald die Produktelemente definiert werden. Genauso sind Informationen verfügbar, mit welchen Verfahren welche Produktelemente hergestellt werden können. Durch die Modelle der Methodik und die entsprechenden Vorgehensbeschreibungen zur Generierung und Bewertung von Verfahrensketten werden sowohl die Kostensensibilität in der Produktentwicklung als auch die Einflussmöglichkeit der Produktionsplanung auf die Produktentwicklung gesteigert.

Um letztendlich die am besten geeigneten Verfahrensketten identifizieren zu können, stellt der Bewertungsansatz der Methodik ein Schlüsselement dar. Nur durch eine adäquate Bewertung kann angesichts der Vielzahl der generierten Verfahrensketten entschieden werden, welche die technologisch am besten geeignete und wirtschaftlich sinnvollste ist. Die entwickelte Produkt-Primärverfahren-Matrix in Verbindung mit den Verfahrensmustern und dem Kostenmodell mit den verschiedenen, einander ergänzenden Bewertungsvarianten schafft die Voraussetzung dafür, die Kontinuitätsanforderungen an die Methodik (Abschnitt 3.2.3) zu realisieren. Im Speziellen wird eine sehr frühzeitige Bewertung im Konzeptstadium ermöglicht, die, der schrittweisen bzw. kontinuierlichen Verfahrenskonkretisierung folgend, aktualisiert werden kann.

Die integrativen und kontinuierkeitsfördernden Funktionalitäten der Methodik basieren in einem hohen Umfang auf der Abbildung des Planungswissens in Form der in Abschnitt 4.2.2 und 4.2.3 vorgestellten strukturierungs- und wissensmanagementorientierten Lösungsvorschläge. Insofern wurden Wege aufgezeigt, wie das i. d. R. mitarbeitergebundene Wissen transparent zur Verfügung gestellt und somit unternehmensweit Verfahrenswissen aufgebaut werden kann (vgl. Anforderungen an die Abbildung und Nutzung von Wissen in Abschnitt 3.2.4).

Da die Methodik aus diversen Teilmodellen besteht, galt es des Weiteren Lösungen darzubieten, die eine Einführung der Methodik erleichtern sowie den Umgang mit den Teilmodellen organisieren (vgl. die einführungs- und anwendungsorientierten Anforderungen in Abschnitt 3.2.5). Vor diesem Hintergrund wurde zum einen die Vorgehensweise in Bezug auf die Methodik durch Prozessbausteine beschrieben. Zum anderen wurde ein Leitfaden erarbeitet, um zielgerichtet unternehmensspezifisch geeignete Rechnerwerkzeuge zur Methodenumsetzung identifizieren zu können.

Auf der Basis von Kapitel 4 wurden in Kapitel 5 die Umsetzbarkeit der Methodik und deren Skalierbarkeit in Form der beiden Fallbeispiele erläutert. Weiterhin wurde im Zuge einer Modellrechnung in Kapitel 6 eine Nutzen/Aufwand-Bewertung hinsichtlich des Einsatzes der Methodik angestellt. Aus dieser lässt sich ableiten, dass die Methodikanwendung bei geeigneten Rahmenbedingungen mittelfristig ein wirtschaftliches Nutzen/Aufwand-Verhältnis erwarten lässt.

Die vorliegende Arbeit bietet zwar ein umfassendes Grundlagenwerk zur entwicklungs- und planungsbegleitenden Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen, jedoch sind in diesem Themenumfeld weitere Evolutionsschritte zu erwarten. Diese werden sich vor allem auf die Bereiche der Rechnerwerkzeugunterstützung, der Bildung von optimal aufeinander abgestimmten Verfahrensketten, der Verfahrenskettenplanung

in Produktionsnetzwerken sowie der verstärkten Berücksichtigung von mechatronischen Produkten und Produktionsverfahren konzentrieren.

Insbesondere hinsichtlich der Unterstützung durch Rechnerwerkzeuge sind interessante Entwicklungen zu erwarten. Seitens der Softwarehersteller gilt es, in Zukunft Rechnerwerkzeuge bereitzustellen, die an die jeweiligen unternehmensspezifischen Anforderungen anpassungsfähig sind. Hier ist vor allem an Werkzeuge zu denken, die geeignete Datenbanken aufweisen sowie eine Hinterlegung und Automatisierung von wissens- bzw. regelbasierten Sachverhalten zulassen. Besonders Rechnerwerkzeuge aus dem Umfeld der wissensbasierten Systeme bieten in diesem Zusammenhang adäquate Ansätze. Beispielsweise stellt RUDOLF (2007) einen wissensbasierten Ansatz für die variantenreiche Montageplanung vor, der einen hohen Grad an Automatisierung in der Planung zulässt. Auf der Grundlage des „Gerüsts“ der vorliegenden Arbeit sind in Bezug auf die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen Forschungsaktivitäten zu forcieren, um auch hier den Grad an sinnvoller Planungsautomatisierung zu steigern. Die unternehmensindividuell sinnvolle Unterstützung durch Rechnerwerkzeuge muss künftig zwei Seiten gerecht werden: Einerseits soll die Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen so weit wie möglich in einer transparenten Art und Weise automatisiert unterstützt werden. Andererseits soll der Produktionsplaner keinesfalls seiner Kreativität und seiner autonomen Entscheidung beraubt werden.

Zusätzlich zur Rechnerunterstützung wird es ein künftiger Trend sein, verstärkt die Bildung von optimal aufeinander abgestimmten Verfahrensketten im Sinne des Prinzips „Lean Production“ zu fördern. Auf diese Weise werden mehr und mehr Verfahrensketten schon in den frühesten Planungsphasen konzipiert werden, die ein wertstromoptimiertes Produktionssystem, wie es z. B. ROTHER (2000) postuliert, ermöglichen. Die Planung von optimalen Verfahrensketten wird sich jedoch nicht ausschließlich auf unternehmensinterne Verfahren konzentrieren. Da sich die Produktion in Zukunft noch mehr auf komplexe Produktionsnetze verteilen wird, müssen die Verfahrensketten unternehmensübergreifend generiert und bewertet werden. Folglich müssen die Methodik und die entsprechende Rechnerwerkzeugunterstützung für den unternehmensübergreifenden Einsatz qualifiziert werden.

Des Weiteren wird es erforderlich sein, die Methodik in Bezug auf mechatronische Produkte und Produktionsverfahren auszuweiten. In der vorgestellten Form hat die Methodik ihren Schwerpunkt im Bereich der konventionellen Produkte (z. B. Turbinenschaufeln) und Produktionsverfahren (z. B. mechanische Fertigung und Montage). Es steigt aber die Bedeutung der Mechatronik sowohl in Bezug auf die Produkte als auch

in der Produktionstechnik. Folglich müssen künftig z. B. auch Software- und Elektronikaspekte bei der Generierung und Bewertung von Verfahrensketten stärkere Beachtung finden, was exemplarisch eine mechatronikorientierte Anpassung der Produkt-Primärverfahren-Matrix erfordert.

Zusammenfassend gilt es festzuhalten, dass die Methodik einen innovativen Unternehmensprozess darstellt, der die Entwicklung und Planung zukunftsfähiger Produkte und Produktionsverfahrensketten ermöglicht. Wie jedoch schon REINHART (2000) mit seinem Motto „nur der Wandel bleibt“ formulierte, gilt es, die vorliegende Methodik gemäß den künftigen Anforderungen weiterzuentwickeln.

8 Literaturverzeichnis

ADAM 2001

Adam, D.: Produktions-Management. 9. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2001.

AGGTELEKY 1987

Aggteleky, B.: Fabrikplanung – Werksentwicklung und Rationalisierung. 2. Aufl. München: Hanser 1987. (Bd. 1)

AGGTELEKY 1990A

Aggteleky, B.: Fabrikplanung – Werksentwicklung und Rationalisierung. 2. Aufl. München: Hanser 1990. (Bd. 2)

AGGTELEKY 1990B

Aggteleky, B.: Fabrikplanung – Werksentwicklung und Rationalisierung. München: Hanser 1990. (Bd. 3)

AGOSTINI 2000

Agostini, A.: Reihenfolgeplanung unter Berücksichtigung von Interaktionen. Karlsruhe: Grässer 2000. (wbk Forschungsberichte Nr. 106)

AHRENS 2000

Ahrens, G.: Das Erfassen und Handhaben von Produkthanforderungen – Methodische Voraussetzungen und Anwendung in der Praxis. Berlin: TU Berlin 2000. (Zugl. Dissertation TU Berlin)

AKAO 1992

Akao, Y.; Liesegang, G. (Hrsg.): QFD – Quality Function Deployment: wie die Japaner Kundenwünsche in Qualität umsetzen. Landsberg a. Lech: Moderne Industrie 1992.

AKAO 2004

Akao, Y.: Quality Function Deployment. 2. Aufl. Cambridge: Productivity Press 2004.

ALLEN 1990

Allen, C. W.: Simultaneous Engineering. Integrating Manufacturing and Design. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers 1990.

ANDREASEN ET AL. 1985

Andreasen, M.; Kähler, S.; Lund, T.: Montagegerechtes Konstruieren. Berlin: Springer 1985.

8 Literaturverzeichnis

AURICH ET AL. 2005

Aurich, J.; Wagenknecht, C.; Fuchs, C.: Systematische Prozessgestaltung – Entwicklungsstand und Anwendungsbereiche des Integrierten Produktionsprozessmodells. *Industrie Management* 21 (2005) 4, S. 23–27.

BALAMURALIKRISHNA ET AL. 2000

Balamuralikrishna, R.; Athinarayanan, R.; Song, X.: The Relevance of Concurrent Engineering in Industrial Technology Programs. *Journal of Industrial Technology* 16 (2000) 3, S. 1–5.

BÄR 2004

Bär, T.: Durchgängige Prozesskette vom digitalen Produkt bis zur realen Fabrik? In: 1. Internationaler Fachkongress Digitale Fabrik in der Automobilindustrie, Ludwigsburg 2004.

BAIER 2002

Baier, J.: Ein Beitrag zur simulationsgestützten Kostenanalyse auf Prozesskostenbasis in der Nutzfahrzeugproduktion. Aachen: Shaker 2002. (Universität Kassel – Berichte aus dem Maschinenbau Nr. 34)

BARTHELMEß 1987

Barthelmeß, P.: Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozessgestaltung. Berlin: Springer 1987. (*iwb* Forschungsberichte Nr. 9)

BECKER & PRISCHMANN 1994

Becker, J.; Prischmann, M.: Konstruktionsbegleitende Kalkulation mit neuronalen Netzen. *knp – Kostenrechnungspraxis* 38 (1994) 3, S. 167–171.

BERLAK 2003

Berlak, J.: Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen. München: Utz 2003. (*iwb* Forschungsberichte Nr. 181)

BODE 1998

Bode, J.: Decision Support with Neural Networks in the Management of Research and Development – Concepts and Applications to Cost Estimation. *Information & Management* 34 (1998) 1, S. 33–40.

BOOTHROYD ET AL. 1994

Boothroyd, G.; Dewhurst, P.; Knight, W.: *Product Design for Manufacture and Assembly*. New York: Dekker 1994.

BREUN & SUSANEK 2006

Breun, F.; Susanek, A.: Produktionsstandort Deutschland: Stärken und Herausforderungen. In: Hoffmann H.; Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Tagungs-

band zum Münchener Kolloquium 2006: Zukunft voraus – denken für den Standort Deutschland, München. München: Utz 2006, S. 23–38.

TEN BRINKE 2002

ten Brinke, E.: Costing Support and Cost Control in Manufacturing – a Cost Estimation Tool Applied in the Sheet Metal Domain. Enschede: Print Partners Ipskamp 2000.

BRONNER 1998

Bronner, A.: Angebots- und Projektkalkulation. 2. Aufl. Berlin: Springer 1998.

BROWNING 2001

Browning, T. R.: Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems – A Review and New Directions. IEEE Transactions on Engineering and Management 48 (2001) 3, S. 292–306.

BULLINGER 1986

Bullinger, H.-J.: Systematische Montageplanung: Handbuch für die Praxis. München: Hanser 1986.

BULLINGER 1996

Bullinger, H.-J.: Forschungs- und Entwicklungsmanagement. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Betriebshütte – Produktion und Management. 7. Aufl. Berlin: Springer 1996.

BULLINGER & WARSCHAT 1996

Bullinger, H.-J.; Warschat, J. (Hrsg.): Concurrent Simultaneous Engineering Systems. Berlin: Springer 1996.

BULLINGER ET AL. 2006

Bullinger, H.-J.; Stender, S.; Modrich, K.-U.: Innovationen für eine Produktion 2020 in Deutschland. Industrie Management 22 (2006) 1, S. 39–43.

CLAUSING 1998

Clausing, D.: Total Quality Development. A Step-by-Step Guide to World-Class Concurrent Engineering. 4. Aufl. New York: ASME Press 1998.

COENENBERG 2003

Coenenberg, A. G.: Kostenrechnung und Kostenanalyse. 5. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2003.

COOPER & KAPLAN 1988

Cooper, R.; Kaplan, R. S.: Measure Costs Right: Make the Right Decisions. Harvard Business Review 66 (1988) 5, S. 94–101.

8 Literaturverzeichnis

COOPER 1990

Cooper, R.: Activity Based Costing. krp – Kostenrechnungspraxis 34 (1990) 9, S. 210–220.

CORSTEN 2004

Corsten, H.: Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. 10. Aufl. München: Oldenbourg 2004.

DAENZER & HUBER 1999

Daenzer, W.; Huber, F.: Systems Engineering – Methodik und Praxis. 10. Aufl. Zürich: Industrielle Organisation 1999.

DANILOVIC & SANDKULL 2005

Danilovic, M.; Sandkull B.: The Use of Dependence Structure Matrix and Domain Mapping Matrix in Managing Uncertainty in Multiple Project Situations. Amsterdam: Elsevier 2005.

DELLMANN & FRANZ 1994

Dellmann, K.; Franz, K.-P.: Von der Kostenrechnung zum Kostenmanagement. In: Dellmann, K.; Franz, K.-P. (Hrsg.): Neuere Entwicklungen im Kostenmanagement. Bern: Haupt 1994, S. 15–30.

DENKENA ET AL. 2005

Denkena, B.; Rudzio, H.; Liedtke, C.; Brandes, A.: Planung fertigungstechnischer Prozessketten. wt Werkstattstechnik 95 (2005) 11/12, S. 866–871.

DIN 8580 2003

DIN 8580: Fertigungsverfahren. Berlin: Beuth 2003.

DIN 8593 2003

DIN 8593: Fügen. Berlin: Beuth 2003.

DOEGE ET AL. 2003

Doege, E.; Wienströer, M.; Krüger-Kronstätt, C.; Matthieu, H.: Ähnlichteilbasierte Schmiedeprozessplanung zur konstruktionsbegleitenden Kostenkalkulation. wt Werkstattstechnik 93 (2003) 6, S. 498–502.

DOLEZALEK & WARNECKE 1981

Dolezalek, C. M.; Warnecke, H. J.: Planung von Fabrikanlagen. 2. Aufl. Berlin: Springer 1981.

DOMBROWSKI & TIEDEMANN 2004

Dombrowski, U.; Tiedemann, H.: Wissensmanagement in der Fabrikplanung – Vom innovativen zum standardisierten Fabrikplanungswissen. wt Werkstattstechnik 94 (2004) 4, S. 137–140.

EHRENSPIEL 2003

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 2. Aufl. München: Hanser 2003.

EHRENSPIEL ET AL. 2003

Ehrlenspiel, K.; Kiewert A.; Lindemann U.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. 4. Aufl. Berlin: Springer 2003.

EITRICH 1996

Eitrich, O.: Prozessorientiertes Kostenmodell für die entwicklungsbegleitende Vorkalkulation. Karlsruhe: Grässer 1996. (wbk Forschungsberichte Nr. 67)

ENDEBROCK 2000

Endebrock, K.: Ein Kosteninformationsmodell für die frühzeitige Kostenbeurteilung in der Produktentwicklung. Aachen: Shaker 2000. (Zugl. Dissertation Ruhr-Universität Bochum)

EPPINGER ET. AL. 1997

Eppinger, S. D.; Whitney, D. E.; Krishnan, V.: A Model-based Framework to Overlap Product Development Activities. *Management Science* 43 (1997) 4, S. 437–451.

ESAWI & ASHBY 1998

Esawi, A. M. K.; Ashby, M. F.: Cost-Based Ranking for Manufacturing Process Selection. In: Batoz, J.-L.; Chedmail, P.; Cognet, G.; Fortin, C. (Hrsg.): *Proceedings of the 2nd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering (IDMME '98)*, 27–29 May 1998, Compiègne/France. Dordrecht: Kluwer Academic 1998, S. 1001–1008.

EVERSHEIM 1992

Eversheim, W.: Flexible Produktionssysteme. In: Frese, E. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Organisation*. 3. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1992.

EVERSHEIM 1996

Eversheim, W.: Produktentstehung. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): *Betriebshütte – Produktion und Management*. 7. Aufl. Berlin: Springer 1996.

EVERSHEIM 1997

Eversheim, W.: *Organisation in der Produktionstechnik – Arbeitsvorbereitung*. Berlin: Springer 1997. (Bd. 3)

EVERSHEIM 2001

Eversheim, W.: Wettbewerbsvorsprung durch Wissensvorsprung. *wt Werkstattstechnik* 91 (2001) 3, S. 106.

8 Literaturverzeichnis

EVERSHEIM & KÜMPER 1997

Eversheim, W.; Kümpfer, R.: Prozeß- und ressourcenorientierte Vorkalkulation in den Phasen der Produktentstehung. In: Männel, W. (Hrsg.): Frühzeitiges Kostenmanagement: Kalkulationsmethoden und DV-Unterstützung. Wiesbaden: Gabler 1997, S. 91–107.

EVERSHEIM & SCHUH 2005

Eversheim, W.; Schuh, G.: Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. Berlin: Springer 2005.

EVERSHEIM & TERHAAG 1999

Eversheim, W.; Terhaag, O.: Prozessanalyse und -optimierung. In: Schuh, G. (Hrsg.): Changemangement: Von der Strategie zur Umsetzung. 2. Aufl. Aachen: Shaker 1999, S. 108–126.

EVERSHEIM ET AL. 1995

Eversheim, W.; Bochtler, W.; Laufenberg, L.: Simultaneous Engineering – von der Strategie zur Realisierung, Erfahrungen aus der Industrie für die Industrie. Berlin: Springer, 1995.

EVERSHEIM ET AL. 1996

Eversheim, W.; Böhlke, U. H.; Martini, C. J.; Schmitz, W. J.: Innovativer mit dem Technologiekalender. Harvard Business Manager 18 (1996) 1, S. 105–114.

FALLBÖHMER 2000

Fallböhmer, M.: Generieren alternativer Technologieketten in frühen Phasen der Produktentwicklung. Aachen: Shaker 2000. (Berichte aus der Produktionstechnik; Bd. 2000, 23)

FELDMANN 1997

Feldmann, C.: Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung. Berlin: Springer 1997. (*iwv* Forschungsberichte Nr. 104)

FERREIRINHA 1985

Ferreirinha, P.: Herstellkostenberechnung von Maschinenteilen in der Entwurfsphase mit dem HKB Programm. In: Hubka, V. (Hrsg.): Proceedings of ICED 85. Zürich: Edition Heurista 1985, S. 461–467. (Bd. 1)

FRANKE ET AL. 2006

Franke, H.-J.; Gausemeier, J.; Krause, F.-L.: Innovationspotenziale in der Produktentwicklung. München: Hanser 2006.

FRANZ 1992

Franz, K.-P.: Moderne Methoden der Kostenbeeinflussung. In: Männel, W. (Hrsg.): Handbuch Kostenrechnung. Wiesbaden: Gabler 1992.

FRANZ & KAJÜTER 2002

Franz, K.-P.; Kajüter, P.: Proaktives Kostenmanagement. In: Franz, K.-P.; Kajüter, P. (Hrsg.): Kostenmanagement: Wertsteigerung durch systematische Kostenrechnung. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2002, S. 3–32.

FRECH 1998

Frech, J.: Ein Verfahren zur integrierten, prozessbegleitenden Vorkalkulation für die kostengerechte Konstruktion. Berlin: Springer 1998. (Zugl. Dissertation Universität Stuttgart, Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung)

FUSCH 2005

Fusch, T.: Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie. München: Utz 2005. (*iwb* Forschungsberichte Nr. 188)

GAHR 2006

Gahr, A.: Pfadkostenrechnung individualisierter Produkte. München: Dr. Hut 2006. (Zugl. Dissertation TU München)

GAUSEMEIER 2002

Gausemeier, J.: From Mechatronics to Self-Optimization. In: 20th CAD-FEM Users' Meeting, Friedrichshafen. Friedrichshafen: CAD-FEM 2002, S. 1–13. (Bd. 3)

GAUSEMEIER ET AL. 2000

Gausemeier, J.; Lindemann, U.; Reinhart, G.; Wiendahl, H.-P.: Kooperatives Produktengineering – ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens. Paderborn: Heinz Nixdorf Institut 2000. (HNI-Verlagsschriftenreihe Bd. 79)

GAUSEMEIER ET AL. 2001

Gausemeier, J.; Ebbesmeyer, P.; Kallmeyer, F.: Produktinnovation – Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. München: Hanser 2001.

GERHARD 1998

Gerhard, E.: Entwickeln und Konstruieren mit System: Ein Handbuch für Praxis und Lehre. 3. Aufl. Renningen-Malmsheim: Expert 1998.

8 Literaturverzeichnis

GHANDFOROUSH ET AL. 1985

Ghandforoush, P.; Huang, P. Y.; Taylor, B. W.: A Multi-Criteria Decision Model for the Selection of a Computerized Manufacturing Control System. International Journal of Production Research 23 (1985) 1, S. 117–128.

GÖSCHEL 2006

Göschel, B.: Innovationen – Der Treibstoff für die automobilen Zukunft. In: Hoffmann H.; Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Tagungsband zum Münchener Kolloquium 2006: Zukunft voraus – denken für den Standort Deutschland, München. München: Utz 2006, S. 137–142.

GÖTTKER 1990

Göttker, A.: Teilefamilienbildung: Vergleich rechnergestützter Verfahren. Köln: TÜV Rheinland 1990. (Schriftenreihe Technische Betriebsführung)

GOLDRATT & COX 1987

Goldratt, E. M.; Cox, J.: Das Ziel. Höchstleistung in der Fertigung. Hamburg: McGraw-Hill 1987.

GRABOWSKI ET AL. 2002

Grabowski, H.; Spath, D.; Agostini, A.; Michelis, A.: Integrierte Produktentwicklung auf Basis von Konstruktions- und Planungsarbeitsräumen. In: Grabowski, H. (Hrsg.): Rechnerunterstützte Produktentwicklung und -herstellung: auf Basis eines integrierten Produkt- und Produktionsmodells. Ausgewählte Beiträge des Sonderforschungsbereichs 346 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Aachen: Shaker 2002, S. 307–316. (Berichte aus der Konstruktionstechnik)

GRÖNER 1991

Gröner, L.: Entwicklungsbegleitende Vorkalkulation. Berlin: Springer 1991. (Zugl. Dissertation Universität Saarbrücken)

GRUNDMANN 1994

Grundmann, M.: Entwicklung eines Kalkulationsinstrumentariums für Spritzgießbetriebe auf der Basis von Ähnlichkeitsbetrachtungen. Aachen: Mainz 1994.

GRUNWALD 2002

Grunwald, S.: Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung. München: Utz 2002. (*iwb* Forschungsberichte Nr. 159)

GUDEMANN 1992

Gudemann, W.-E.: Bertelsmann Universallexikon. Gütersloh: Bertelsmann 1992.

GÜNTHER & TEMPELMEIER 2003

Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik. 5. Aufl. Berlin: Springer 2003.

GÜNTHNER ET AL. 2006

Günthner, W. A.; Wilke, M.; Zäh, M. F.; Aull, F.; Rudolf, H.: Produktion individualisierter Produkte. In: Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin: Springer 2006, S. 63–87.

HAASIS 1995

Haasis, S.: Wissens- und featurebasierte Unterstützung der Konstruktion von Stirnradgetrieben unter besonderer Berücksichtigung des Gußgehäuses. Düsseldorf: VDI-Verlag 1995. (Zugl. Dissertation TU Chemnitz-Zwickau)

HANEL 2001

Hanel, G.: Prozessorientiertes Wissensmanagement zur Verbesserung der Prozess- und Produktqualität. Düsseldorf: VDI 2002. (Fortschrittsberichte VDI, Reihe 16, Bd. 148)

HAUSER & CLAUSING 1988

Hauser, J. R.; Clausing, D.: The House of Quality. Harvard Business Review 66 (1988) 3, S. 63–73.

HEISEL & MICHAELIS 1998

Heisel, U.; Michaelis, M.: Rekonfigurierbare Werkzeugmaschine. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 93 (1998) 10, S. 506–507.

HILLEBRAND 1991

Hillebrand, A.: Ein Kosteninformationssystem für die Neukonstruktion mit der Möglichkeit zum Anschluß an ein CAD-System. München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Bd. 4)

HOFFMEISTER 2000

Hoffmeister, W.: Investitionsrechnung und Nutzwertanalyse. Stuttgart: Kohlhammer 2000.

HORVÁTH 1996

Horváth, P.: Produktcontrolling. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Betriebshütte – Produktion und Management. 7. Aufl. Berlin: Springer 1996.

8 Literaturverzeichnis

HORVÁTH 2003

Horváth, P.: Controlling. 9. Aufl. München: Vahlen 2003.

HORVÁTH & MAYER 1989

Horváth, P.; Mayer, R.: Prozesskostenrechnung – Der neue Weg zu mehr Kostentransparenz und wirkungsvolleren Unternehmensstrategien. Controlling (1989) 4, S. 214–219.

HORVÁTH & MAYER 1993

Horváth, P.; Mayer, R.: Prozesskostenrechnung – Konzeption und Entwicklung. Kostenrechnungspraxis (Sonderheft Prozesskostenrechnung) 37 (1993) 2, S. 15–28.

HORVÁTH ET AL. 1996

Horváth, P.; Gleich, R.; Scholl, K.: Vergleichende Betrachtung der bekanntesten Kalkulationsmethoden für das kostengünstige Konstruieren. krp – Kostenrechnungspraxis 40 (1996) 1, S. 53–62.

HUBKA & EDER 1992

Hubka, V.; Eder, E.: Einführung in die Konstruktionswissenschaft. Berlin: Springer 1992.

HUMMEL & MÄNNEL 2004

Hummel, S.; Männel, W.: Kostenrechnung 1 – Grundlagen, Aufbau und Anwendung. 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2004.

ISPA 2003

ISPA – International Society of Parametric Analysts: Parametric Estimating Handbook. 2003. <http://www.ispa-cost.org/PEIWeb/Third_edition/newbook.htm> (05.07.2006)

KETTNER ET AL. 1984

Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, W.: Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. München: Hanser 1984.

KILGER ET AL. 2002

Kilger, W.; Pampel, J.; Vikas, K.: Flexible Plankostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung. 11. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2002.

KIRITSIS & XIROUCHAKIS 2000

Kiritzis, D.; Xirouchakis, P.: DEVIPLAN: A Bid Preparation System for Mechanical SME. ASME Design Technical Conferences (Hrsg.). Proceedings of DETC 2000, 10th–13th September 2000, Baltimore/Maryland/USA. Baltimore: 2000.

KLOCKE ET AL. 2002

Klocke F.; Caesar C.; Flegel, H.; Friedrich, D.; Grams, J.; Hahn, P. O.; Klocke, F.; Lung, D.; Nöken, S.; Pähler, D.; Schmidt, W.; Trommer, G.; Weinert, K.; Willms, H.; Zeller, R.: Gestalten und Optimieren von Prozessketten – Umsetzung von Fertigungsalternativen heute und morgen. In: Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik. Aachen: Shaker 2002, S. 191–215.

KLOCKE ET AL. 2005

Klocke, D.; Friedrich, D.; Wegner, H.: Technologisches Wissensmanagement – Technologisches Wissensmanagement am Beispiel des spitzenlosen Einschleifens. wt Werkstattstechnik 95 (2005) 6, S. 465–468.

KLOOCK ET AL. 2005

Kloock, J.; Sieben, G.; Schildbach, T.; Homburg, C.: Kosten- und Leistungsrechnung. 9. Aufl. Stuttgart: Lucius & Lucius 2005.

KNOCHE 2005

Knoche, K.: Generisches Modell zur Beschreibung von Fertigungstechnologien. Aachen: Shaker 2005. (Berichte aus der Produktionstechnik, Bd. 2005, 5)

KÖNIG 1995

König, T.: Konstruktionsbegleitende Kalkulation auf der Basis von Ähnlichkeitsvergleichen. Bergisch Gladbach: Eul 1995. (Zugl. Dissertation Universität Münster)

KOLAKOWSKI ET AL. 2005

Kolakowski, M.; Reh, D.; Sallaba, G.: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung (EWR). wt Werkstattstechnik 95 (2005) 4, S. 210–215.

KOLLER 1998

Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau: Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen. 4. Aufl. Berlin: Springer 1998.

KONOLD & REGER 2003

Konold, P.; Reger, H.: Praxis der Montagetechnik – Produktdesign, Planung, Systemgestaltung. 2. Aufl. Braunschweig: Vieweg 2003.

KOREN ET AL. 1999

Koren, Y.; Heisel, U.; Jovane, F.; Moviwaki, T.; Pritschow, G.; Ulsoy, G.; van Brussel, H.: Reconfigurable Manufacturing Systems. Annals of the CIRP 48 (1999) 2, S. 527–540.

8 Literaturverzeichnis

KREPPENHOFER ET AL. 2001

Kreppenhof, D.; Lang, E.; Tassi, E.: Wissensbasierte Technologieplanung durch automatische Objekt- und Merkmalkennung. *wt Werkstattstechnik* 91 (2001) 3, S. 127–131.

KÜMPER 1996

Kümper, R.: Ein Kostenmodell zur verursachungsgerechten Vorkalkulation. Aachen: Shaker 1996. (Berichte aus der Produktionstechnik Bd. 96, 18)

KUSIAK 1999

Kusiak, A.: *Engineering Design – Products, Processes and Systems*. San Diego: Academic Press 1999.

LAYER ET AL. 2002

Layer, A.; ten Brinke, E.; van Houten, F.; Kaals, H.; Haasis, S.: Recent and Future Trends in Cost Estimation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 15 (2002) 6, S. 499–510.

LEIBINGER 2004

Leibinger, B.: Der Vorsprung wird kleiner. In: *acatech – Konvent für Technikwissenschaften der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V.* (Hrsg.): *Symposium: Innovationsfähigkeit – Bildung, Forschung, Innovation: Wie können wir besser werden?*, 11. Mai 2004. München: 2004, S. 30–33. <http://www.acatech.de/uk/pdf/acatech_Tagungsband_Mai04.pdf> (02.12.2006)

LIEBERS 1998

Liebers, A.: *An Architecture for Cost Control in Manufacturing – the Use of Cost Information in Order-Related Decisions*. Enschede: Thesis Enschede 1998. (Zugl. Dissertation Universität Enschede)

LINDEMANN 2000

Lindemann, U. (Hrsg.): *SFB 336 – Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung. Arbeits- und Ergebnisberichte 1998/1999/2000*. München: TU München 2000.

LINDEMANN 2006

Lindemann, U.: *Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. 2. Aufl. Berlin: Springer 2006.

LINDEMANN & BAUMBERGER 2006

Lindemann, U.; Baumberger, G. C.: *Adaptionsprozesse für individualisierte Produkte*. In: Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): *Individuali-*

sierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin: Springer 2006, S. 129–150.

LINDEMANN & GAHR 2006

Lindemann, U.; Gahr, A.: Kostenmanagement individualisierter Produkte. In: Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin: Springer 2006, S. 179–198.

LINDEMANN & MAURER 2006

Lindemann, U.; Maurer, M.: Entwicklung und Strukturplanung individualisierter Produkte. In: Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin: Springer 2006, S. 41–62.

LINDEMANN & STETTER 1997

Lindemann, U.; Stetter, R.: Restrukturierungsprozesse in Entwicklung und Konstruktion. Beteiligte und Betroffene. In: Unternehmenserfolg durch Restrukturierung von Entwicklungs- und Konstruktionsprozessen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1997, S. 175–193. (VDI-Berichte 1338)

LINDEMANN ET AL. 1999

Lindemann, U.; Bichlmaier, C.; Stetter, R.; Viertböck, M.: Enhancing the Transfer of Integrated Product Development in Industry. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Hrsg.): Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design. München: TU München 1999, S. 373–376. (Bd. 1)

LINDEMANN ET AL. 2000

Lindemann, U.; Glander, M.; Grunwald, S.; Reicheneder, J.; Stetter, R.; Zanner, S.: Flexible Integration von Produktentwicklung und Montageplanung. *Industrie Management* 16 (2000) 1, S. 23–27.

LINDEMANN ET AL. 2006

Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F.: Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin: Springer 2006.

LINNER 1997

Linner, S.: Konzept einer integrierten Produktentwicklung. Berlin: Springer 1997. (*iwb* Forschungsberichte Nr. 88)

8 Literaturverzeichnis

LINNER 2002

Linner, S.: Manufacturing Process Management – Mit der digitalen Fabrik in die Zukunft. In: Zäh, M. F.; Reinhart, G. (Hrsg.): Fabrikplanung 2002 – Visionen, Umsetzung, Werkzeuge. München: Utz 2002, S. 4-1–4-14. (*iwb* Seminarberichte 63)

LORENZEN 1996

Lorenzen, J.: Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen. Berlin: Springer 1996. (*iwb* Forschungsberichte Nr. 107)

LOTTER 1992

Lotter, B.: Wirtschaftliche Montage – Ein Handbuch für Elektrogerätebau und Feinwerktechnik. 2. Aufl. Berlin: Springer 1992.

LOWKA 1997

Lowka, D.: Methoden zum Abschätzen von Herstellkostenanteilen. In: Männel, W. (Hrsg.): Frühzeitiges Kostenmanagement: Kalkulationsmethoden und DV-Unterstützung. Wiesbaden: Gabler 1997, S. 133–144.

LUCZAK ET AL. 2000

Luczak, H.; Lassen, S.; Treutlein, P.: Abbildung von Informationen zur Auftragsabwicklung in ERP/PPS-Systemen – Welche Anforderungen erfüllt das Marktangebot?. REFA-Nachrichten (2004) 4, S. 33–41.

MÄNNEL 1997

Männel, W.: Einsatz von Relativkosten-Katalogen für das konstruktionsbegleitende Kostenmanagement. In: Männel, W. (Hrsg.): Frühzeitiges Kostenmanagement: Kalkulationsmethoden und DV-Unterstützung. Wiesbaden: Gabler 1997, S. 161–177.

MEIER & HANENKAMP 2003

Meier, H.; Hanenkamp, N.: Modellierung und Planung komplexer Produktionssysteme. Industrie Management 19 (2003) 5, S. 50–53.

MENGEN & URMERSBACH 2006

Mengen, A.; Urmersbach, K.: Prozesskostenrechnung im Industrieunternehmen. ZfCM – Controlling & Management 50 (2006) 5, S. 218–226.

MICHAELS & WOOD 1989

Michaels, J. V.; Wood, W. P.: Design to Cost. Orlando: Wiley 1989.

MILBERG 2003

Milberg, J.: Grenzen überwinden – Wachstum durch Innovation. In: Zäh, M. F.; Hoffmann H.; Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Tagungsband zum

Münchener Kolloquium 2003: Grenzen überwinden – Wachstum der neuen Art, München. München: Utz 2003, S. 305–320.

MILBERG 2004A

Milberg, J.: Wie können wir besser werden?. In: acatech – Konvent für Technikwissenschaften der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V. (Hrsg.): Symposium: Innovationsfähigkeit – Bildung, Forschung, Innovation: Wie können wir besser werden?, 11. Mai 2004. München: 2004, S. 12–17. <http://www.acatech.de/uk/pdf/acatech_Tagungsband_Mai04.pdf> (02.12.2006)

MILBERG 2004B

Milberg, J.: Die agile Produktion. In: Klocke, F.; Pritschow, G. (Hrsg.): Autonome Produktion. Berlin: Springer 2004, S. 549.

MILBERG & REINHART 1996

Milberg, J.; Reinhart, G.: Produktionssystemplanung. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Betriebshütte – Produktion und Management. 7. Aufl. Berlin: Springer 1996.

MILLER & VOLLMANN 1985

Miller, J. G.; Vollmann, T. E.: The Hidden Factory. Harvard Business Review 63 (1985) 5, S. 142–150.

MÖLLER ET AL. 1998

Möller, G.; Gleich, R.; Schindera, F.: Konstruktionsbegleitende Kalkulation mit Prozesskosten – Umsetzung am Beispiel des Kunden-Service-Prozesses der ZF Friedrichshafen AG. FB IE Zeitschrift für Unternehmensentwicklung und Industrial Engineering (1998) 2, S. 71–78.

MONDEN 1999

Monden, Y.: Wege zur Kostensenkung: Target Costing und Kaizen Costing. München: Vahlen 1999.

MORYSON 2004

Moryson, R.: Die systematische, rechnerunterstützte Prozessauswahl und -kettenerstellung in der Grobplanungsphase der Produktionsplanung. Düsseldorf: VDI 2004. (Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 388)

NEBL 1998

Nebel, T.: Einführung in die Produktionswirtschaft. 3. Aufl. München: Oldenbourg 1998.

8 Literaturverzeichnis

NEFF ET AL. 2000

Neff, T.; Kokes, M.; Mathes, H. D.; Hertel, G.; Virt, W.: Front Load Costing – Produktkostenmanagement auf Basis unvollkommener Information. *Kostenrechnungspraxis* 44 (2000) 1, S. 15–24.

NEUHAUSEN 2001

Neuhausen, J.: Gestaltung modularer Produktionssysteme für Unternehmen der Serienproduktion. Aachen: 2001. <http://darwin.bth.rwth-aachen.de/opus3/volltexte/2002/308/pdf/Neuhausen_Joern.pdf> (09.08.2007)

NYHUIS 2004

Nyhuis, P.: Fabrikplanung – operatives Geschäft oder Wissenschaft?. *wt Werkstattstechnik* 94 (2004) 4, S. 94.

OLFERT 2005

Olfert, K.: *Kostenrechnung*. 14. Aufl. Ludwigshafen: Kiehl 2005.

ONORI ET AL. 1999

Onori, M.; Alsterman, H.; Bergdahl, A.; Johansson, R.: Hyper Flexible Automatic Assembly, Needs and Possibilities with Standard Assembly Solutions. In: *Proceedings of the 31st International Symposium on Robotics, Montreal/Rhode Island*. Rhode Island: 1999.

OPITZ 1966

Opitz, H.: *Werkstückbeschreibendes Klassifizierungssystem*. Essen: Girardet 1966.

OSE ET AL. 1973

Ose, G.; Schiemann, G.; Baumann, H.; Stopp, F.; Körner, W.; Lochmann, G.: *Ausgewählte Kapitel der Mathematik für Ingenieure und Ökonomen*. 6. Aufl. Frankfurt a. Main: Deutscher 1973.

OWODUNNI ET AL. 2002

Owodunni, O.; Mladenov, D.; Hinduja, S.: Extendible Classification of Design and Manufacturing Features. *Annals of the CIRP* 51 (2002) 1, S. 103–106.

PAHL ET AL. 2005

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhausen, J.; Grote, K.-H.: *Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung – Methoden und Anwendung*. 6. Aufl. Berlin: Springer 2005.

PFEIFER 1996

Pfeifer, T.: *Praxishandbuch Qualitätsmanagement*. 2. Aufl. München: Hanser 1996.

PICKEL 1989

Pickel, H.: Kostenmodelle als Hilfsmittel zum kostengünstigen Konstruieren. München: Hanser 1989.

PRITSCHOW 2004

Pritschow, G.: Konfigurierbare Systeme zur flexiblen Anpassung der Produktion. *wt Werkstattstechnik* 94 (2004) 5, S. 171.

PROBST ET AL. 2006

Probst, G.; Raub, S.; Romhardt, K.: Wissen managen: wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen. 5. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2006.

REFA 1990

REFA: Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme. 2. Aufl. München: Hanser 1990.

REFA 1991

REFA: Methodenlehre der Betriebsorganisation, Planung und Steuerung. München: Hanser 1991.

REICHWALD & DIETEL 1991

Reichwald, R.; Dietel, B.: Produktionswirtschaft. In: Heinen, E. (Hrsg.): Industriebetriebslehre – Entscheidungen im Industriebetrieb. 9. Aufl. Wiesbaden: Gabler 1991.

REINHART 1997

Reinhart, G.: Innovative Prozesse und Systeme – Der Weg zu Flexibilität und Wandlungsfähigkeit. In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Mit Schwung zum Aufschwung: Information, Inspiration, Innovation. Landsberg a. Lech: Moderne Industrie 1997, S. 173–192.

REINHART 1998

Reinhart, G.: Simultan ist gut – Gemeinsam ist besser: Kooperative Produkt- und Anlagenentwicklung. In: Tagungsband des 14. Deutschen Montagekongresses, 18./19. März 1998, München. Landsberg a. Lech: Moderne Industrie 1998, S. 1–18.

REINHART 1999

Reinhart, G.: Vom Wandel der Zeit – Wandel als Chance für unsere Unternehmen im globalen Wettbewerb. *ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 94 (1999) 1-2, S. 14.

8 Literaturverzeichnis

REINHART 2000

Reinhart, G.: Im Denken und Handeln wandeln. In: Reinhart, G.; Hoffmann, H. (Hrsg.): Münchener Kolloquium. ... nur der Wandel bleibt, 16./17. März 2000, München. München: Utz 2000, S. 17–40.

REINHART & GRUNWALD 2001

Reinhart, G.; Grunwald, S.: Changeability through Flexible and Integrated Product Design and Assembly Planning. In: Proceedings of the 4th International Symposium on Assembly and Task Planning, 28.–30. Mai 2001, Fukuoka/Japan. Fukuoka 2001.

REINHART & ZÄH 2003

Reinhart, G.; Zäh, M. F.: Vorwort. In: Reinhart, G.; Zäh M. F. (Hrsg.): Marktchance Individualisierung. Berlin: Springer 2003.

REINHART ET AL. 1996

Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement. Berlin: Springer 1996.

REINHART ET AL. 1999

Reinhart, G.; Grunwald, S.; Rick, F.: Virtuelle Produktion – Technologie für die Zukunft. VDI-Z Special C-Techniken 141 (1999) 5, S. 26–29.

REINHART ET AL. 2000

Reinhart, G.; Glander, M.; Grunwald, S.; Reicheneder, J.; Stetter, R.; Zanner, S.: Flexible Produktentwicklung und Montageplanung mit integrierten Prozessbausteinen. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 95 (2000) 1/2, S. 19–22.

REINHART ET AL. 2006A

Reinhart, G.; von Bredow, M.; Neise, P.; Sudhoff, W.: Produzieren in globalen Netzwerken. In: Hoffmann H.; Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Tagungsband zum Münchener Kolloquium 2006: Zukunft voraus – denken für den Standort Deutschland, München. München: Utz 2005, S. 25–37.

REINHART ET AL. 2006B

Reinhart, G.; Schack, R.; Müller, S.: Digitale Fabrik – Mit Durchhaltevermögen zum Erfolg. WB – Werkstatt + Betrieb 139 (2006) 9, S. 128–133.

REISCHL 2001

Reischl, C.: Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase. München: Dr. Hut 2001. (Zugl. Dissertation TU München)

REITHOFER 2003

Reithofer, N.: Faszination Produktion – Produktionsstrategie eines Premiumanbieters: Globalisierung/Agilität/Effizienz. In: Zäh, M. F.; Hoffmann H.; Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Tagungsband zum Münchener Kolloquium 2003: Grenzen überwinden – Wachstum der neuen Art, München. München: Utz 2003, S. 79–94.

REMER 2005

Remer, D.: Einführen der Prozesskostenrechnung. 2. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschl 2005.

RIEBEL 1994

Riebel, P.: Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung – Grundfragen einer markt- und entscheidungsorientierten Unternehmensrechnung. 7. Aufl. Wiesbaden: Gabler 1994.

ROMANOW 1995

Romanow, P.: Konstruktionsbegleitende Kalkulation von Werkzeugmaschinen. Berlin: Springer 1995. (*iwb* Forschungsberichte Nr. 81)

ROTHER 2000

Rother, M.: Sehen lernen – mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen. Stuttgart: LOG_X 2000.

RUDOLF 2007

Rudolf, H.: Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie. München: Utz 2007. (*iwb* Forschungsberichte Nr. 204)

RUMP 1999

Rump, F. J.: Geschäftsprozessmanagement auf Basis ereignisgesteuerter Prozessketten. Stuttgart: Teubner 1999.

SCHAAL 1992

Schaal, S.: Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD am Beispiel der konstruktionsbegleitenden Kalkulation. München: Hanser 1992. (Konstruktions-technik München, Bd.8)

SCHIPANSKI 2004

Schipanski, D.: Nur Qualität schafft Akzeptanz. In: acatech – Konvent für Technikwissenschaften der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V. (Hrsg.): Symposium: Innovationsfähigkeit – Bildung, Forschung, Innovation: Wie können wir besser werden?, 11. Mai 2004. Mün-

8 Literaturverzeichnis

chen: 2004, S. 24–29. <http://www.acatech.de/uk/pdf/acatech_Tagungsband_Mai04.pdf> (02.12.2006)

SCHÖNEBURG ET. AL. 1994

Schöneburg, E.; Heinzmann, F.; Feddersen, S.: Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien. Eine Einführung in Theorie und Praxis der simulierten Evolution. Bonn: Addison-Wesley 1994.

SCHÖTTNER 1999

Schöttner, J.: Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie. München: Hanser 1999.

SCHÖTTNER 2001

Schöttner, J.: PDM-gestützte Variantentechnik. Industrie Management 17 (2001) 1, S. 86–89.

SCHOLL 1997

Scholl, K.: Konstruktionsbegleitende Kalkulation. Computergestützte Anwendung von Prozesskostenrechnung und Kostentableaus. München: Vahlen 1998. (Zugl. Dissertation Universität Stuttgart)

SCHUH 1996

Schuh, G.: Strategisches Produktionsmanagement. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Betriebshütte – Produktion und Management. 7. Aufl. Berlin: Springer 1996.

SCHUH 2004

Schuh, G.: Trends im Technologiemanagement. Aachen: Fraunhofer IPT 2004.

SCHUH 2005

Schuh, G.: Fabrikplanung in Zeiten der Globalisierung. wt Werkstattstechnik 95 (2005) 4, S. 174.

SCHUH & KNOCHE 2005

Schuh, G.; Knoche, K.: Systematisch zur besseren Technologiekette. wt Werkstattstechnik 95 (2005) 4, S. 259–263.

SCHUH & GIERTH 2006

Schuh, G.; Gierth, A.: Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung. In: Schuh, G. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung – Grundlagen, Gestaltung, Konzepte. Berlin: Springer 2006.

SCHUH & SCHWENK 2001

Schuh, G.; Schwenk, U.: Produktkomplexität managen: München Hanser 2001.

SCHUSTER 1992

Schuster, G.: Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage. Berlin: Springer 1992. (*iwb* Forschungsberichte Nr. 55)

SCHWEITZER & KÜPPER 2003

Schweitzer, M.; Küpper, H.-U.: Systeme der Kosten- und Erlösrechnung. 8. Aufl. München: Vahlen 2003.

SEIDENSCHWARZ 1993

Seidenschwarz, W.: Target Costing: marktorientiertes Zielkostenmanagement. München: Vahlen 1993.

SPATH 2004

Spath, D.: „Innovationsmotor“ wieder in Gang bringen. *wt Werkstatttechnik* 94 (2004) 1/2, S. 1.

SPATH 2005

Spath, D.: Technologiemanagement – Unternehmenserfolg heute und morgen. *wt Werkstatttechnik* 95 (2005) 1/2, S. 1–2.

SPATH ET AL. 2000

Spath, D.; Barho, T.; Baumgartner, P.; Scharer, M.: Studie zur Methodenunterstützung im Target Costing. *krp – Kostenrechnungspraxis* 44 (2000) 6, S. 351–356.

SPECHT ET AL. 2003

Specht, D.; Mieke, C.; Behrens, S.: Methoden der Technologiefrühaufklärung. *Industrie Management* 19 (2003) 1, S. 71–74.

SPIES 1997

Spies, J.: Montagegerechte Produktgestaltung am Beispiel des komplexen Großserienproduktes Automobil. Zürich: ETH Zürich 1997. (Zugl. Dissertation ETH Zürich)

SPRENZEL 2000

Sprengel, A.: Integrierte Kalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung. München: Utz 2000. (*iwb* Forschungsberichte Nr. 141)

SPUR 1996

Spur, G.: Produktionstechnologie. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): *Betriebshütte – Produktion und Management*. 7. Aufl. Berlin: Springer 1996.

SPUR & STÖFERLE 1994

Spur, G.; Stöferle, T.: *Handbuch der Fertigungstechnik*. München: Hanser 1994.

8 Literaturverzeichnis

SIEGWARTH ET AL. 1998

Siegwarth, H.; Bartel, H.; Schultheiss, L.: Kalkulation. Köln: Wirtschaftsverlag Bachem 1998.

STEINER 1996

Steiner, J. M.: Rechnergestütztes Kostensenken im praktischen Einsatz. Aachen: Shaker 1996. (Zugl. Dissertation TU München)

STEWART 1981

Steward, D. V.: Systems Analysis and Management: Structure, Strategy and Design. New York: Petrocelli 1981.

SUH 1990

Suh, N. P.: The Principles of Design. Oxford: Oxford University Press 1990.

SUH 2001

Suh, N. P.: Axiomatic Design: Advances and Applications. Oxford: Oxford University Press 2001.

SUZUKI ET AL. 2003

Suzuki, T.; Ohashi, T.; Asano, M.: Assembly Reliability Evaluation Method. Annals of the CIRP 52 (2003) 1, S. 9–12.

TANAKA 1989

Tanaka, M.: Cost Planning and Control Systems in the Design Phase of a New Product. In: Monden, Y.; Sakurai, M. (Hrsg.): Japanese Management Accounting: A World Class Approach to Profit Management. Cambridge/Massachusetts/USA. Cambridge: 1989, S. 49–71.

TICHKIEWITCH & BRISSAUD 2000

Tichkiewitch, S.; Brissaud, D.: Co-Ordination between Product and Process Definitions in a Concurrent Engineering Environment. Annals of the CIRP 49 (2002) 1, S. 75–78.

TÖNSHOFF ET AL. 2001

Tönshoff, H. K.; Schülle, A.; Drahom, G.: Highly Flexible and Reconfigurable Manufacturing Systems due to a Modular Design. In: CIRP 1st International Conference on Reconfigurable Manufacturing, Michigan/USA. Michigan: University of Michigan 2001.

TRENDER 2000

Trender, L.: Entwicklungsintegrierte Kalkulation von Produktlebenszykluskosten auf Basis der ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung. Karlsruhe: Grässer 1996. (wbk Forschungsberichte Nr. 67)

TROMMER 2001

Trommer, G.: Methodik zur konstruktionsbegleitenden Generierung und Bewertung alternativer Fertigungsfolgen. Aachen: Shaker 2001. (Berichte aus der Produktionstechnik, Bd. 2001, 15)

ULBRICH 1996

Ulbrich, A.: Featureintegrierte Fertigungsplanung. Potsdam: Unze 1996.

ULRICH & EPPINGER 2004

Ulrich, K. T.; Eppinger, S. D.: Product Design and Development. 3. Aufl. New York: McGraw-Hill 2004.

UHLMANN 2004

Uhlmann, E.: Perspektiven produktionstechnischer Forschung. XI. Produktionstechnisches Kolloquium, 28. September 2004, Berlin. Berlin: 2004. <http://www.ipk.fraunhofer.de/pressemedien/aktuelles/ptk_nachlese1/rede_uhlmann.pdf> (07.06.2005)

VDI RICHTLINIE 2221 1993

VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Berlin: Beuth 1993.

VDI RICHTLINIE 2222 1997

VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2222 Blatt 1: Konstruktionsmethodik – Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Berlin: Beuth 1997.

VDI RICHTLINIE 2225 1997

VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2225 Blatt 1: Konstruktionsmethodik. Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Vereinfachte Kostenermittlung. Düsseldorf: VDI 1997.

VDI RICHTLINIE 2234 1990

VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2234: Wirtschaftliche Grundlagen für den Konstrukteur. Düsseldorf: VDI 1990.

VDI RICHTLINIE 2235 1987

VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2235: Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren. Methoden und Hilfen. Düsseldorf: VDI 1987.

VDI RICHTLINIE 2860 1990

VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2860: Montage und Handhabungstechnik. Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen – Begriffe, Definitionen Symbole. Berlin: Beuth 1990.

8 Literaturverzeichnis

VDI RICHTLINIE 3633 1996

VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie 3633: Montage Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Begriffsdefinitionen. Berlin: Beuth 1996.

VDI RICHTLINIE 4499 2006

VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie 4499 Blatt 1: Digitale Fabrik – Grundlagen. Düsseldorf: VDI 2006.

VOSSEN & BECKER 1996

Vossen, G.; Becker, J.: Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management: Eine Einführung. In: Becker, J.; Vossen, G. (Hrsg.): Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management: Modelle, Methoden, Werkzeuge. Bonn: International Thomson Publishing 1996, S. 17–26.

WALKER 2003

Walker, R.: Informationssystem für das Technologiemanagement. Aachen: Shaker 2003. (Berichte aus der Produktionstechnik, Bd. 2003, 3)

WARNECKE 1995

Warnecke, H.-J.: Der Produktionsbetrieb 2: Produktion, Produktionssicherung. 3. Aufl. Berlin: Springer 1993. (Bd. 2)

WARNECKE 1996

Warnecke, H. J.: Fabrikplanung. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Betriebshütte – Produktion und Management. 7. Aufl. Berlin: Springer 1996.

WARNECKE ET AL. 1996

Warnecke, H. J.; Bullinger, H.-J.; Hichert, R.; Voegelé, A.: Kostenrechnung für Ingenieure. 5. Aufl. München: Hanser 1996.

WARTZACK & MEERKAMM 2000

Wartzack, S.; Meerkamm, H.: Durchgängige Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung aufgrund des Einsatzes semantisch hochwertiger Features. Konstruktion (2000) 3, S. 24–26.

WEBER 1996

Weber, J.: Logistik- und Produktionscontrolling. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Betriebshütte – Produktion und Management. 7. Aufl. Berlin: Springer 1996.

WEBER 2004

Weber, V.: Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken. München: Utz 2004. (*iwb* Forschungsberichte Nr. 183)

WELP ET AL. 1998

Welp, E. G.; Endebroch, K.; Albrecht, K.: Entwicklungs- und konstruktionsbegleitende Kostenbeurteilung – Ergebnisse einer Befragung von Konstruktionsleitern. *knp – Kostenrechnungspraxis* 42 (1998) 5, S. 257–265.

WESTKÄMPER 1996

Westkämper, E.: Qualitätsmanagement in der Produktion. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): *Betriebshütte – Produktion und Management*. 7. Aufl. Berlin: Springer 1996.

WESTKÄMPER 2001

Westkämper, E.: Modulare Produkte – Modulare Montage. *wt Werkstattstechnik* 91 (2001) 8, S. 479–482.

WESTKÄMPER 2004

Westkämper, E.: Schneller und häufiger planen. *wt Werkstattstechnik* 94 (2004) 3, S. 42.

WESTKÄMPER 2005

Westkämper, E.: Auf dem Weg zur intelligenten Produktion. *wt Werkstattstechnik* 95 (2005) 3, S. 80.

WESTKÄMPER 2006

Westkämper, E.: Digitale Produktion – Herausforderung und Nutzen. In: Spath, D.; Westkämper, E.; Schraft, R. D.; Westkämper, E.; Gadow, R.; Graf, T.; Verl, A.; Liewald, M.; Heisel, U. (Hrsg.): *Tagungsband zum FTK 2006: Stuttgarter Impulse – Fertigungstechnik für die Zukunft FTK, 20./21. September, Stuttgart*. Stuttgart: Gesellschaft für Fertigungstechnik 2006, S. 469–490.

WIENDAHL 1996

Wiendahl, H.-P.: Produktionsplanung und -steuerung. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): *Betriebshütte – Produktion und Management*. 7. Aufl. Berlin: Springer 1996.

WIENDAHL 2005

Wiendahl, H.-P.: *Betriebsorganisation für Ingenieure*. 5. Aufl. München: Hanser 2005.

WILDEMANN 2004

Wildemann, H.: Der Wertbeitrag der Logistik. *Logistik-Management* 6 (2004) 3, S. 67–75.

8 Literaturverzeichnis

WITTE ET AL. 2005

Witte, K.-W.; Vielhaber, W.; Ammon, C.: Planung und Gestaltung wandlungsfähiger und wirtschaftlicher Fabriken. *wt Werkstattstechnik* 95 (2005) 4, S. 227–231.

WÖHE 2002

Wöhe, G.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 21. Aufl. München: Vahlen 2002.

WOLFRAM 1994

Wolfram, M.: Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren. München: Hanser 1994. (Zugl. Dissertation TU München)

WULF 2001

Wulf, J.: Elementarmethoden zur Lösungssuche. München: Dr. Hut 2001. (Zugl. Dissertation TU München)

WUNDERLICH 2002

Wunderlich, J.: Kostensimulation – Simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsregelung komplexer Produktionssysteme. Bamberg: Meisenbach 2002. (Fertigungstechnik – Erlangen Nr. 136)

ZÄH 2003

Zäh, M. F.: Megatrends in der Produktionstechnik – Herausforderungen für Gesellschaft, Wissenschaft und Ausbildung. In: Zäh, M. F.; Hoffmann H.; Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Tagungsband zum Münchener Kolloquium 2003: Grenzen überwinden – Wachstum der neuen Art, München. München: Herbert Utz 2003, S. 267–297.

ZÄH 2004

Zäh, M. F.: Fundamentale Kostensenkung in der Montage. *wt Werkstattstechnik* 94 (2004) 9, S. 383.

ZÄH & MÜLLER 2004

Zäh, M. F.; Müller, S.: Referenzmodelle für die Virtuelle Produktion. *Industrie Management* 20 (2004) 1, S. 52–55.

ZÄH ET AL. 2002

Zäh, M. F.; Lindemann, U.; Gahr, A.; Pulm, U.; Ulrich, C.; Wagner, W.: Massenproduktion mit Losgröße 1. *ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 97 (2002) 5, S. 269–272.

ZÄH ET AL. 2003A

Zäh, M. F.; Fusch, T.; Patron, C.: Die Digitale Fabrik – Definition und Handlungsfelder. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 98 (2003) 3, S. 75–77.

ZÄH ET AL. 2003B

Zäh, M. F.; Lindemann, U.; Stricker, H.; Müller, S.: Kostenoptimale Technologieauswahl in der Montageplanung. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 98 (2003) 9, S. 431–435.

ZÄH ET AL. 2003C

Zäh, M. F.; Meindl, M.; Müller, A.; Seefried, M.; Sigl, M.: Rapid Manufacturing – Strategie für die wirtschaftliche Kleinserienherstellung. In: Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Marktchance Individualisierung. Berlin: Springer 2003, S. 234–250.

ZÄH ET AL. 2004

Zäh, M. F.; Müller, N.; Prasch, M.; Sudhoff, W.: Methodik zur Erhöhung der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 99 (2004) 4, S. 173–177.

ZÄH ET AL. 2005A

Zäh, M. F.; Möller, N.; Neise, P.; Sudhoff, W.: Wandlungsfähigkeit in Forschung und Industrie. In: Zäh, M. F. (Hrsg.): Produktionsmanagement und Logistik. München: Utz 2005, S. 5-1–5-21. (*iwb* Seminarberichte 79)

ZÄH ET AL. 2005B

Zäh, M. F.; Schack, R.; Carnevale, M.; Müller, S.: Ansatz zur Projektierung der Digitalen Fabrik. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 100 (2005) 5, S. 286–290.

ZÄH ET AL. 2005C

Zäh, M. F.; Schack, R.; Munzert, U.: Digitale Fabrik im Gesamtkontext. In: 2. internationaler Fachkongress Digitale Fabrik, Ludwigsburg 2005.

ZAHN 1999

Zahn, G.: Wissensbasiertes Datenmodell zur Integration von Konstruktion, Arbeitsplanerstellung und Spannplanung. Düsseldorf: VDI-Verlag 1999. (Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 20, Rechnerunterstützte Verfahren; 294)

































ZANGEMEISTER 2000

Zangemeister, C.: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse (EWA). Dortmund: Wirtschaftsverlag NW 2000.

9 Anhang

9.1 Generische Produktelemente nach Owodunni

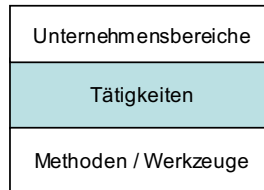
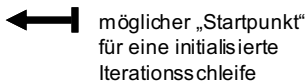
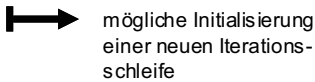
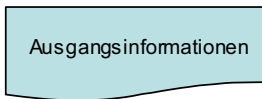
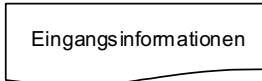
Taxonomie prismatischer und rotationssymmetrischer Produktelemente nach OWODUNNI ET AL. (2002):

| name of product element | subtractive | | additive | |
|---------------------------------|---|---|---|---|
| | prismatic | rotational | prismatic | rotational |
| free space | no representation | | | |
| surface/surface |  |  |  |  |
| step/step |  |  |  |  |
| notch/corner |  | not feasible |  | not feasible |
| bottomless slot / infinite wall |  |  |  |  |
| through slot / rib |  |  |  |  |
| blind slot / wedge |  | not feasible |  | not feasible |
| hole/bridge |  |  |  |  |
| pocket/protrusion |  |  |  |  |
| enclosure / free primitive |  |  |  |  |

Eine weitere Grundlage für die Beschreibung von Produktelementen bietet OPITZ (1966) mit seinem werkstückbeschreibenden Klassifizierungssystem, wobei an dieser Stelle nur darauf verwiesen sei.

9.2 Ablaufdiagramm der Methodik

Legende



PE - Produktentwicklung

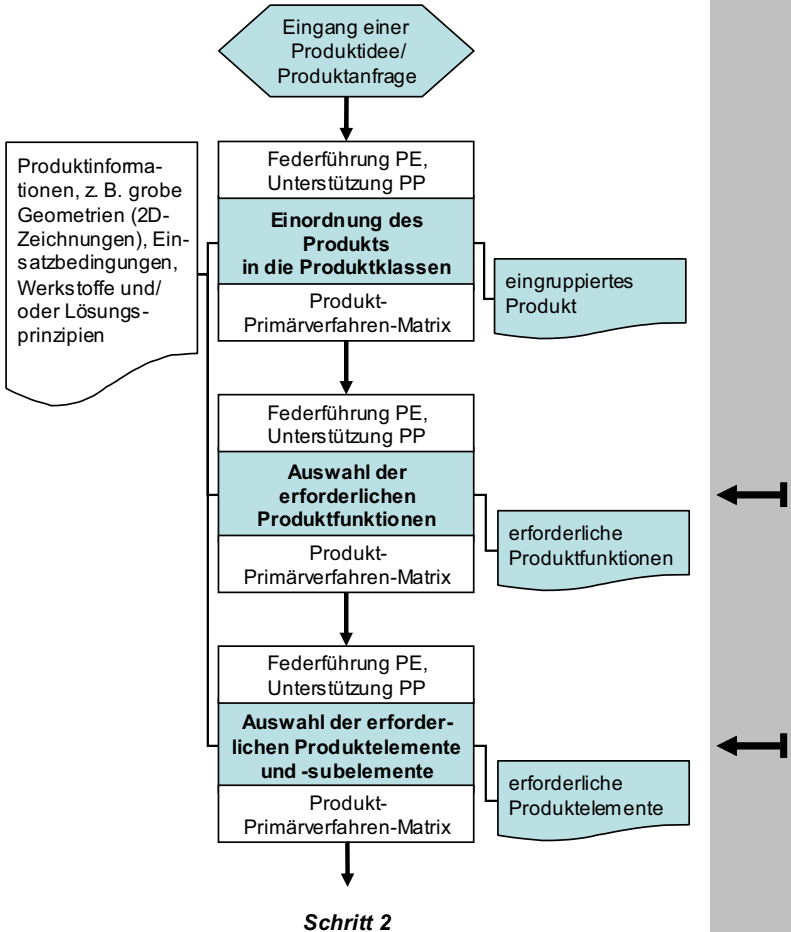
PP - Produktionsplanung

CO - Controlling

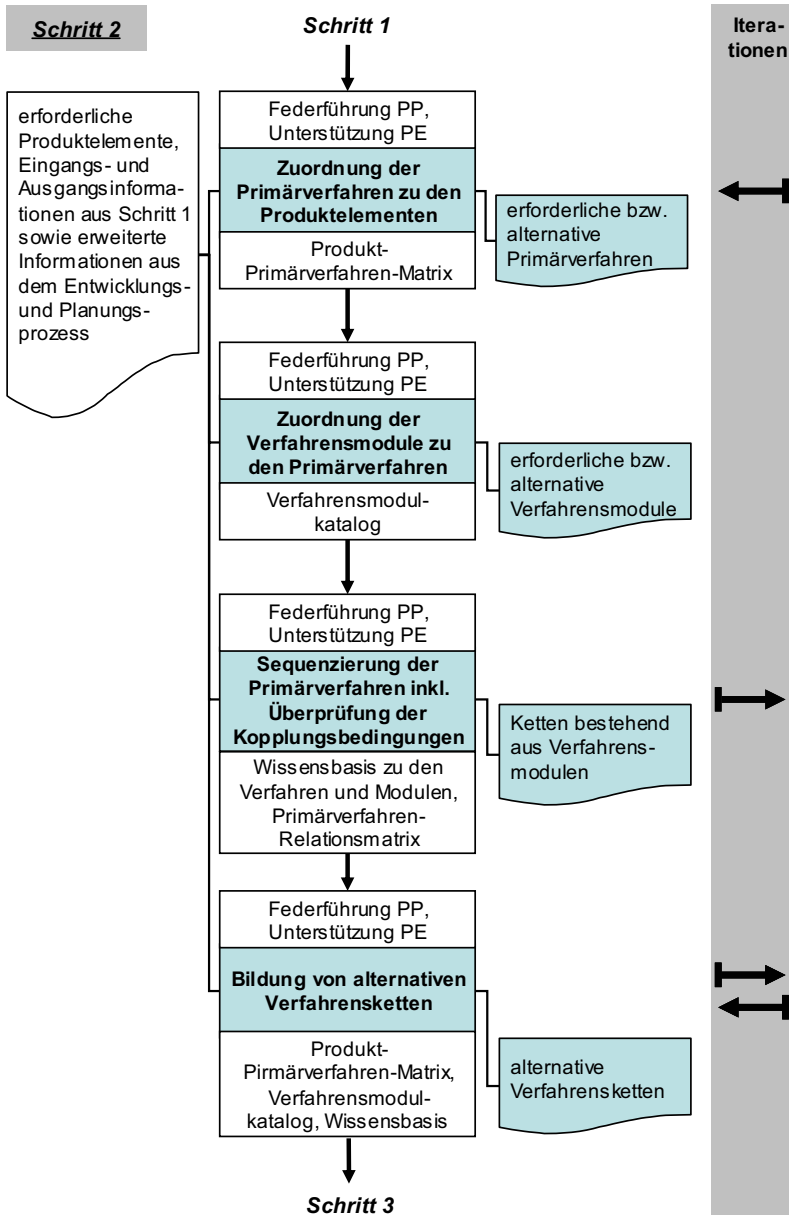
AW - Angebotswesen

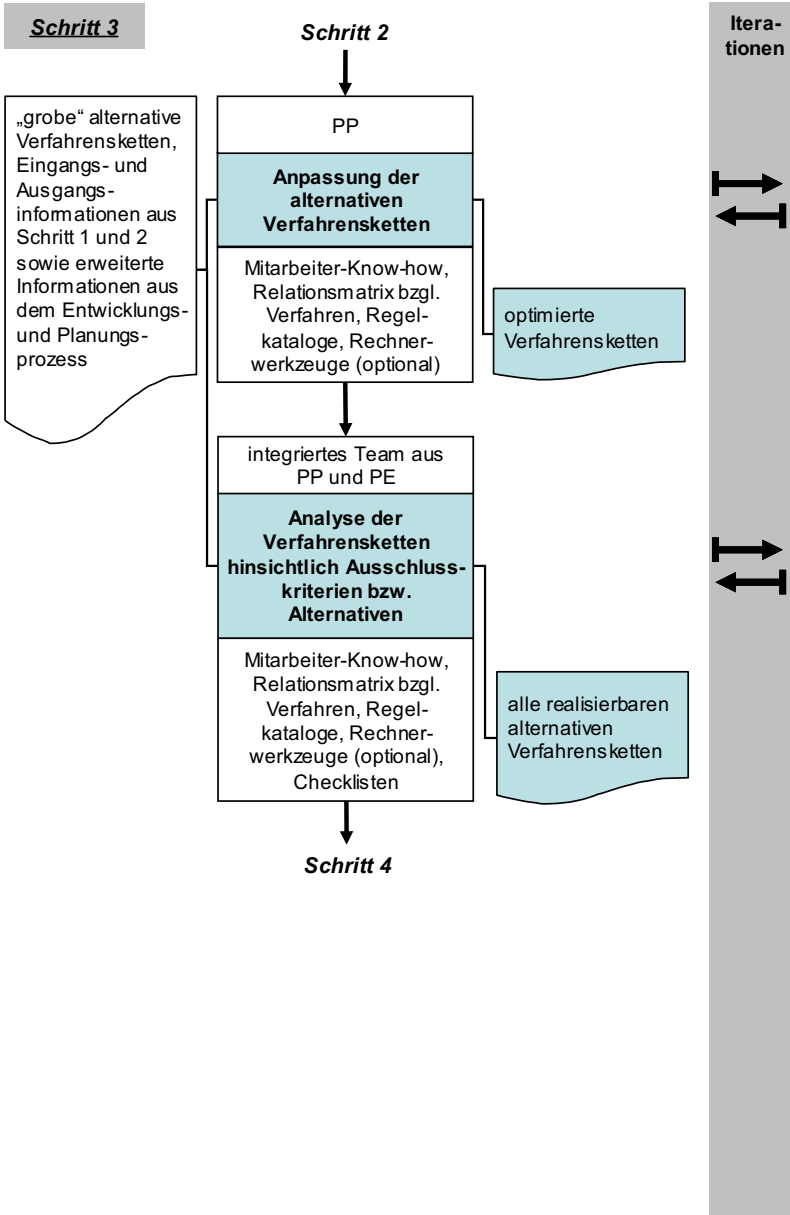
Anmerkung: „Initialisierung einer neuen Iterationsschleife“ bedeutet, dass ausgehend von der entsprechenden Tätigkeit ein Rücksprung zu anderen Tätigkeiten erfolgen kann. Ein möglicher Rücksprung beginnt bei einem „Startpunkt für eine initialisierte Iterationsschleife“.

Schritt 1

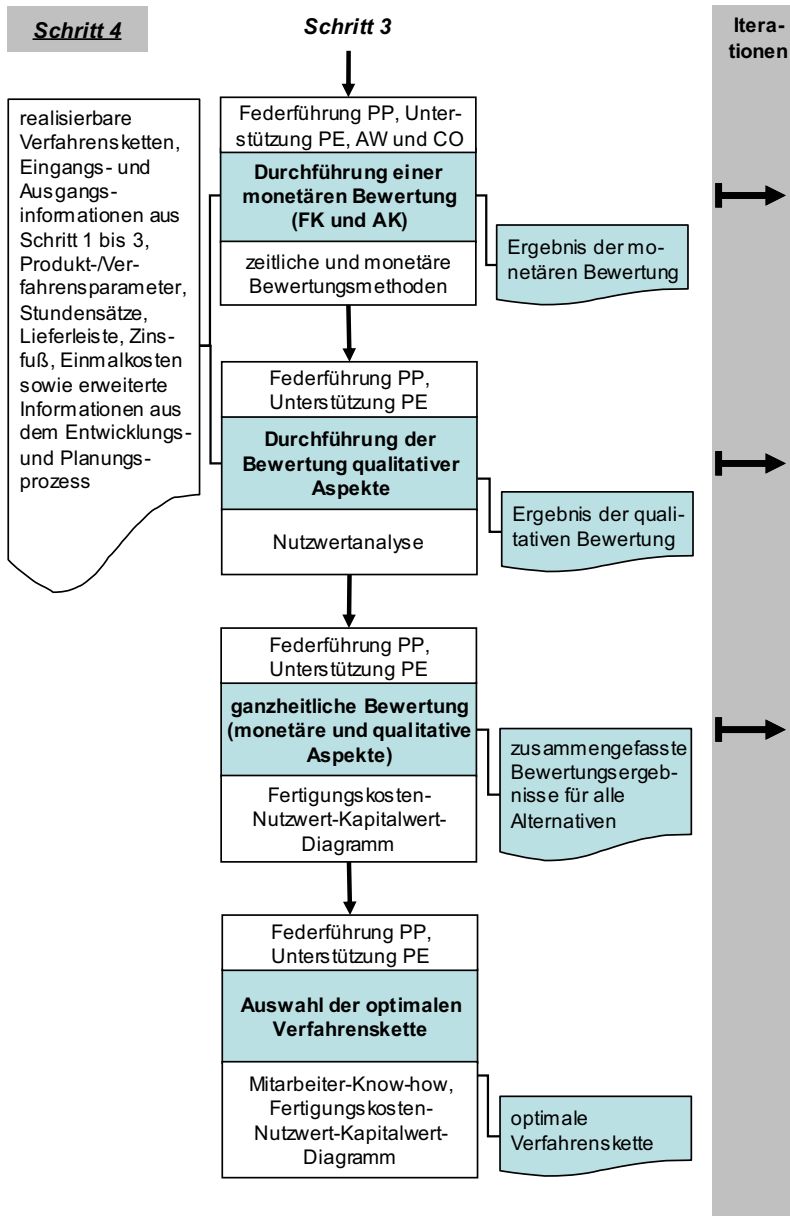


9.2 Ablaufdiagramm der Methodik





9.2 Ablaufdiagramm der Methodik



9.3 Anforderungs- bzw. Bewertungskatalog zur Auswahl von Rechnerwerkzeugen

Das dargestellte Formular symbolisiert eine Vorlage für die systematische Bewertung von Softwaresystemen zur unternehmensspezifischen Umsetzung der Methodik. Die jeweiligen Kriterien können nach Muss- und Kann-Kriterien unterschieden werden, wobei sie entsprechend den jeweiligen Anforderungen anpassungsfähig sind.

| | | | Art der Anforderung (Beispiele) | Gewichtung | Teilnutzen | Nutzwert |
|--|---|---|---------------------------------|------------|------------|----------|
| 1) Generierung und Rückführung von Verfahrensketten | | | | | | |
| | a | Integration/Schnittstellen zum ERP-System und folglich Zugriffsmöglichkeit auf die historischen Daten zur Generierung neuer Verfahrensketten/Arbeitspläne | Muss | | | |
| | b | Möglichkeit der Generierung von Verfahrensketten unabhängig von historischen Daten (neue Technologien!) | Muss | | | |
| | c | Möglichkeit der Generierung von Verfahrensketten im ERP-System-Format und Möglichkeit des direkten Einstellens von neuen Arbeitsplänen im ERP-System | Kann | | | |
| 2) Produkte und Verfahren | | | | | | |
| | a | Möglichkeit der Abbildung der Produktstrukturen in Hierarchieebenen (Produktklasse, -funktion, -element, -subelement, ...) | Muss | | | |
| | b | Möglichkeit der Abbildung der Verfahrensstruktur (Primärverfahren) in Hierarchieebenen | Muss | | | |
| | c | Möglichkeit der Abbildung der Relationen zwischen Produktelementen und Primärverfahren (muss, optional, ...) | Muss | | | |
| | d | Verfügbarkeit eines wissens-/regelbasierten Assistenzsystems zur Auswahl der Primärverfahren bzw. der Verfahrensmodule | Kann | | | |
| | e | Möglichkeit des Wissensmanagements hinsichtlich verfahrensbeschreibenden Daten (z.B. Verfahrensgrenzen, Potenziale) | Kann | | | |
| | f | benutzerfreundliche Oberfläche zur Auswahl der erforderlichen Primärverfahren für eine Neuplanung | Kann | | | |
| | g | benutzerfreundliche Möglichkeit der Erweiterung um zusätzliche Produktklassen und Verfahren | Kann | | | |
| 3) Verfahrensmodule | | | | | | |
| | a | Möglichkeit der Abbildung von Verfahrensmodulen für Primärverfahren (z. B. Vorgänger-, Nachfolgenerfahren, ...) | Muss | | | |
| | b | Möglichkeit der Abbildung von alternativen Verfahren in den Verfahrensmodulen | Muss | | | |
| | c | Möglichkeit der Klassifikation der Relation eines Vorgänger- oder Nachfolgenerfahrens zum Primärverfahren (muss, optional, ...) | Kann | | | |

9.3 Anforderungs- bzw. Bewertungskatalog zur Auswahl von Rechnerwerkzeugen

| | | | | | | |
|--|---|---|------|--|--|--|
| | d | Möglichkeit des Wissensmanagements und Beschreibungsmöglichkeit hinsichtlich der Rahmenbedingungen zu Vorgänger- und Nachfolgerverfahren | Kann | | | |
| | e | Verfügbarkeit eines wissens-/regelbasierten Assistenzsystems zur Auswahl der erforderlichen Elemente der Verfahrensmodule | Kann | | | |
| | f | benutzerfreundliche Möglichkeit des Verwaltens von Verfahrensmodulen sowie der Substitution, Elimination und des Hinzufügens von Verfahrenselementen | Kann | | | |
| 4) Generierung von Verfahrensketten (Neuplanung) | | | | | | |
| | a | Darbietung einer Arbeitsoberfläche zum Generieren spezifischer Verfahrensketten | Muss | | | |
| | b | Möglichkeit der Generierung und Speicherung von alternativen Verfahrensketten | Kann | | | |
| | c | Möglichkeit der Darstellung und Speicherung der Planungshistorie | Kann | | | |
| | d | Generierungsunterstützung durch Hinterlegung und Nutzung von z. B. Regeln (wissens-/regelbasiertes System) | Kann | | | |
| | e | generelle Benutzerfreundlichkeit hinsichtlich der Generierung von Verfahrensketten | Kann | | | |
| 5) Arten der Ermittlung von Verfahrensdaten (z.B. Zeiten) | | | | | | |
| | a | Möglichkeit der differenzierten Generierung von Verfahrensdaten (Zeiten, Stundensätze) über historische Daten im ERP-System | Muss | | | |
| | b | Möglichkeit der Nutzung von Standardzeiten für spezifische Verfahren | Muss | | | |
| | c | Möglichkeit der Hinterlegung und Nutzung von mathematischen Formeln zur Berechnung von Verfahrenszeiten | Muss | | | |
| | d | Möglichkeit der Generierung von verfahrensspezifischen Zeitfunktionen via Regressionsrechnung | Kann | | | |
| | e | Nachvollziehbarkeit der Datenherkunft (Art der Datenermittlung bzw. manuelle Änderungen) | Kann | | | |
| | f | generelle Benutzerfreundlichkeit hinsichtlich der Auswahl und Nutzung der verschiedenen Datenermittlungsarten (ERP-System-Werte Standardwerte, Funktionen) | Kann | | | |
| 6) Alternativenvergleich/-visualisierung | | | | | | |
| | a | Darbietung einer Oberfläche zur Darstellung, zum Vergleich der Verfahrenskettenalternativen und zur ganzheitlichen Bewertung (unter Berücksichtigung der Fertigungskosten des aufwandsorientierten Kapitalwerts und des Ergebnisses der nutzwertanalytischen Bewertung) | Muss | | | |
| | b | Darstellungsmöglichkeit interner und externer Verfahrenskettenelemente | Kann | | | |
| | c | Darstellungsmöglichkeit der unterschiedbildenden Verfahrenskettenelemente | Kann | | | |
| | d | generelle Benutzerfreundlichkeit hinsichtlich des Alternativenvergleichs und der -visualisierung | Kann | | | |
| 7) Fertigungskostenkalkulation | | | | | | |
| | a | Möglichkeit der Fertigungskostenkalkulation | Muss | | | |
| | b | generelle Benutzerfreundlichkeit hinsichtlich der Fertigungskostenkalkulation | Kann | | | |

| | | | | | |
|--|--|------|--|--|--|
| 8) investitionsrechnerische Bewertung | | | | | |
| a | Möglichkeit der Berechnung des aufwandsorientierten Kapitalwerts über die Lebensdauer eines Produktprogramms | Kann | | | |
| 9) qualitative Bewertung | | | | | |
| a | Möglichkeit eines nutzwertanalytischen Vergleichs von Verfahrenskettenalternativen (unterschiedbildende Verfahren) | Kann | | | |
| 10) reife Generierung und Bewertung | | | | | |
| a | Möglichkeit der Erstellung eines Angebots auf der Basis der historischen Daten, des hinterlegten Wissens und der Inputparameter | Muss | | | |
| b | Möglichkeit der Detaillierung der Verfahrenskette und des Angebots mittels einer Aktualisierung der Inputparameter und des Überschreibens durch verfahrensspezifische Zeitfunktionen | Muss | | | |
| c | Möglichkeit der Detaillierung der Verfahrenskette und des Angebots mittels "Überschreiben" der allgemeinen Stundensätze mit betriebsmittelspezifischen Stundensätzen | Muss | | | |
| d | Möglichkeit einer kontinuierlichen Aktualisierung (Überschreiben) der Inputparameter | Muss | | | |
| e | Nachvollziehbarkeit der Datenherkunft im Rahmen der reifenden Bewertung | Muss | | | |
| f | Möglichkeit des Wissensmanagements hinsichtlich Verfahrenszeiten | Kann | | | |
| g | Möglichkeit der Berechnung betriebsmittelspezifischer Stundensätze und deren Nutzung für eine Bottom-up-Verfahrensketten- und Angebotsaktualisierung | Kann | | | |
| h | generelle Benutzerfreundlichkeit hinsichtlich der reifenden Bewertung | Kann | | | |
| 11) Sonstiges | | | | | |
| a | Datendurchgängigkeit zwischen den involvierten Rechnerwerkzeugen inklusive einem gezielten Überschreiben der "alten" Daten im Sinne einer reifenden Bewertung | Muss | | | |

| | |
|--|--|
| Anmerkungen | |
| <p>Gewichtung der Kann-Kriterien</p> <p>Die Gewichtung der Kann-Kriterien muss 100 % ergeben.</p> <p>Muss-Kriterien</p> <p>Muss-Kriterien müssen erfüllt sein, damit ein Rechnerwerkzeug im Entscheidungsprozess berücksichtigt werden kann.</p> | <p>Zielerfüllung</p> <p>0 sehr negativ</p> <p>. .</p> <p>. .</p> <p>10 sehr positiv</p> |
| <p>Hinweis:</p> <p>Auch folgende "weiche" Aspekte sind im Rahmen der Vorstellung zu bewerten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transparenz - genereller Eindruck - Editierbarkeit - ... | |

9.4 Glossar

| Begriff | Bedeutung |
|----------------------------------|--|
| Alternativen | Alternativen entstehen während der Lösungsfindung und dienen dazu, durch den Vergleich einer Vielzahl von Möglichkeiten die jeweils optimale Lösung zu ermitteln. Ebenso wie die Varianten bestehen auch sie zeitlich nebeneinander, sind jedoch im Gegensatz zu diesen zeitlich begrenzt, da mit der Auswahl der bestmöglichen Lösung alle anderen verworfen werden (RUDOLF 2007, S. 14). |
| Arbeitsplan | Arbeitspläne dienen als Information zur schrittweisen Durchführung eines Produktionsauftrages (EVERSHEIM 1996, S. 7-74). |
| Arbeitsvorgangsfolge | Eine Arbeitsvorgangsfolge ist die Reihenfolge der Bearbeitungsschritte, durch die ein Körper oder Stoff über schrittweises Verändern der Form bzw. von Stoffeigenschaften vom Rohzustand in den Fertigungszustand überführt wird (EVERSHEIM 1996, S. 7-77). |
| Auszahlungen | Als Auszahlungen bezeichnet man den Abfluss liquider Mittel, wobei unter den liquiden Mitteln die Summe an Bargeld und jederzeit verfügbaren Sichtguthaben zu verstehen ist (WÖHE 2002, S. 828 f.). |
| Beschäftigung | Unter Beschäftigung versteht man die Produktmenge, die von einem Betrieb in einer bestimmten Periode gefertigt wird (WÖHE 2002, S. 372). |
| Betriebsmittel | Betriebsmittel sind definiert als die Gesamtheit der Anlagen, Geräte und Einrichtungen, die zur betrieblichen Leistungserstellung dienen. Sie werden in folgende acht Gruppen unterteilt: Ver- und Entsorgungsanlagen, Fertigungsmittel, Mess- und Prüfmittel, Lagermittel, Mittel der Organisation, Innenausstattung, sonstige Hilfsmittel (EVERSHEIM 1996). |
| Daten | Daten sind eine sinnvoll kombinierte Folge von Zeichen (HANEL 2001, S. 10). |
| Digitale Fabrik | Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u. a. der Simulation und 3D-Visualisierung –, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden (VDI Richtlinie 4499 2006). |
| direkte Leistungsbereiche | Der direkte Leistungsbereich umfasst die Leistungserstellung, d. h. die Produktion in einem Betrieb (WÖHE 2002, S. 329). |
| Einzahlungen | Als Einzahlungen bezeichnet man den Zufluss liquider Mittel (Summe an Bargeld und jederzeit verfügbaren Sichtguthaben) (WÖHE 2002, S. 828 f.). |
| Features | Features sind parametrisierte Objekte, welche die Produktionsmerkmale durch nicht-geometrische Informationen beschreiben; sie weisen jedoch immer einen Gestaltbezug auf. Ein Feature wird durch die Gestalt sowie die produkt-, qualitäts- und prozessorientierte Semantik festgelegt (ULBRICH 1996). |

| | |
|------------------------------------|--|
| fixe Kosten | Fixe Kosten fallen unabhängig von der Beschäftigung in konstanter Höhe an (HORVÁTH 1996). |
| Geschäftsprozess | Bezüglich des Begriffes Geschäftsprozess existiert keine absolut einheitliche Definition. Beschrieben werden kann dieser aber folgendermaßen: Ein Geschäftsprozess ist ein Bündel von Aktivitäten, für das ein oder mehrere unterschiedliche Inputs benötigt werden und das für den Kunden ein Ergebnis von Wert erzeugt (VOSSEN & BECKER 1996). Ähnlich beschreibt RUMP (1999) Geschäftsprozesse als eine zeitlich und sachlogisch abhängige Menge von Unternehmensaktivitäten, die ein bestimmtes, unternehmensrelevantes Ziel verfolgen und zur Bearbeitung auf Unternehmensressourcen zurückgreifen. |
| Gewinn | Gewinn ist die betraglich positive Differenz aus Erlös und Kosten (WÖHE 2002, S. 357). |
| Grenzkosten | Bei den Grenzkosten handelt es sich um die Kosten, die die zusätzliche Produktion einer infinitesimal kleinen Menge an Produkten verursacht (WÖHE 2002, S. 374 f.). |
| indirekte Leistungsbereiche | Zu den indirekten Leistungsbereichen in einem Unternehmen werden Forschung und Entwicklung, Konstruktion, Instandhaltung, Qualitätssicherung, Fertigungsvorbereitung, Auftragsabwicklung, Beschaffung, Logistik sowie Vertrieb gerechnet (SCHWEITZER & KÜPPER 2003, S. 345). |
| Information | Informationen sind Daten in einem Problemzusammenhang (HANEL 2001, S. 10). |
| Kombinatorik | Die Kombinatorik beschäftigt sich mit Gesetzen der Zusammenstellungen und möglichen Anordnungen von endlich vielen, gegebenen Elementen einer Menge (OSE ET AL. 1973). |
| Konfiguration | Die Konfiguration umfasst im Kontext der Arbeit die Zusammensetzung einer Produktionsverfahrenskette, die aus vorgegebenen elementaren Grundbausteinen (Primär- und Sekundärverfahren) gestaltet ist. Im Zuge der Aktivitäten zur Konfiguration wird aus allen möglichen Produktionsverfahren bzw. Technologien unter Berücksichtigung der Eigenschaften und Abhängigkeiten der elementaren Grundbausteine eine spezifische Verfahrenskette gebildet. |
| Kosten | Kosten sind der in Geld bewertete Verzehr an Gütern (Materialverbrauch, Abschreibungen usw.) und Dienstleistungen (Löhne, Sozialkosten usw.) zur Erstellung und zum Absatz der betrieblichen Erzeugnisse und zur Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft (VDI RICHTLINIE 2234 1990). |
| Kostenarten | Die Kostenartenrechnung dient der systematischen Erfassung aller Kosten, die bei der Erstellung und Verwendung der Kostenträger (Leistungen) entstehen. Ihre Fragestellung lautet: Welche Kosten sind angefallen? So sind beispielsweise Löhne und Gehälter die Kostenarten für die Arbeitsleistungen. (WÖHE 2002, S. 1087 f.) |

9.4 Glossar

| | |
|------------------------------|--|
| Kostenstellen | Die Kostenstellen bezeichnen die Betriebsbereiche, in denen die Kosten anfallen. Die Kostenstellenrechnung gibt Aufschluss darüber, wo die Kosten angefallen sind. Sie erfasst die Kosten am Ort ihrer Entstehung (WÖHE 2002, S. 1100 f.). |
| Kostentableau | Kostentableaus, auch Cost Tables genannt, sind Kostendatenbanken, in denen die Auswirkungen von Konstruktionsalternativen auf die Produktkosten hinterlegt sind. Sie stammen ursprünglich aus Japan, wo sie für die frühzeitige Abschätzung der Produkteinzelkosten verwendet werden (SCHOLL 1997). |
| Kostenträger | Die Kostenträgerrechnung stellt die Frage: Wofür sind Kosten entstanden? Sie hat die Aufgabe, die Herstell- und Selbstkosten, die bei der Erstellung von absatzfähigen oder innerbetrieblichen Leistungen entstanden sind, auf die Leistungseinheiten zu verrechnen (WÖHE 2002, S. 1115 f.). |
| Maximalstückliste | Eine Maximalstückliste ist eine Stückliste, die alternative oder optionale Baukomponenten enthält (SCHÖTTNER 1999, S. 232). |
| Modell | Unter Modellen versteht man Systeme, die reale Systeme abbilden. Im Sinne von Simulation wird ein Modell auch als eine vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder real existierenden Originalsystems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System beschrieben (VDI RICHTLINIE 3633 1996). |
| regelbasiertes System | Regelbasierte Systeme waren die erste Generation wissensbasierter Systeme, die Ende der siebziger Jahre in den USA entwickelt wurden. Sie funktionieren nach einem fest definierten Schema: Wenn eine Bedingung erfüllt ist, wird eine Regel aktiv und veranlasst die Ausführung einer Aktion. (RUDOLF 2007, S. 40) |
| Rentabilität | Rentabilität ist das Verhältnis von erzieltm Gewinn (bzw. Kostenersparnis) zum Kapital des Betriebs (WÖHE 2002, S. 47). |
| System | Ein System besteht aus Elementen (Teilen/Komponenten). Elemente können ihrerseits wieder als Systeme betrachtet werden. Die Elemente sind untereinander durch Beziehungen verbunden. Hinsichtlich der Beziehungen kann es sich beispielsweise um Materialflussbeziehungen, Informationsflussbeziehungen, Lagebeziehungen, Wirkzusammenhänge etc. handeln. (DAENZER & HUBER 1999, S. 5) |
| Taylorismus | Der Taylorismus ist die Lehre – entwickelt von Frederick W. Taylor (1856–1915) – der wissenschaftlichen Betriebsführung, die auf genauen Zeit- und Arbeitsstudien beruht, in denen für jede menschliche Tätigkeit die „allein richtige“ Bewegungsfolge ermittelt werden sollte. Diese Lehre befruchtete die gesamte Rationalisierungsbewegung (GUEDEMANN 1992). |
| variable Kosten | Variable Kosten sind Kosten, die von der Beschäftigung abhängig sind (HORVÁTH 1996, S. 8-15). |

| | |
|--------------------------------|---|
| Varianten | Produktionswirtschaftlich sind Varianten Produkte eines Produktionsprogramms einer Unternehmung, die sich in mindestens einem Merkmal voneinander unterscheiden ... Im Rahmen einer synthetischen Produktion werden Varianten durch die Veränderung des Materials, der Geometrie (Form- und Maßvarianten), der Farbe oder der Funktion von Einzelteilen eines Produktes und/oder durch die unterschiedliche Kombination von Einzelteilen gebildet (CORSTEN 2004, S. 430). |
| Virtuelle Produktion | Die Virtuelle Produktion bezeichnet die durchgängige Planung, Validierung und Steuerung von Produktionsprozessen und –anlagen mit Hilfe digitaler Modelle (REINHART ET AL. 1999). |
| Wissen | Wissen sind Informationen, die in Verbindung mit persönlichen Erfahrungen stehen (HANEL 2001, S. 10). |
| wissensbasiertes System | Ein wissensbasiertes System ist als ein Softwaresystem definiert, bei dem das Fachwissen über das Anwendungsgebiet explizit und unabhängig vom allgemeinen Problemlösungswissen dargestellt wird (RUDOLF 2007, S. 38). |



iwb Forschungsberichte Band 1–121

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121 erschienen im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg und sind im Erscheinungsjahr und den folgenden drei Kalenderjahren erhältlich im Buchhandel oder durch Lange & Springer, Otto-Suhr-Allee 26–28, 10585 Berlin

- 1 *Streifinger, E.*
Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 *Fuchsberger, A.*
Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 *Maier, C.*
Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 *Summer, H.*
Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 *Simon, W.*
Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 *Büchs, S.*
Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, J.*
Schneiderodierte Oberflächen
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*
Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmeß, P.*
Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 *Reithofer, N.*
Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 *Diess, H.*
Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 *Reinhart, G.*
Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 *Bürstner, H.*
Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 *Grohe, A.*
Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Riese, K.*
Klipsmontage mit Industrierobotern
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 *Lutz, P.*
Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 *Klippel, C.*
Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 *Rascher, R.*
Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 *Heusler, H.-J.*
Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 *Kirchknopf, P.*
Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 *Sauerer, Ch.*
Beitrag für ein Zerspanprozeßmodell Metallbandsägen
1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
- 22 *Karstedt, K.*
Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigungsautomatisierung
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
- 23 *Peiker, St.*
Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
- 24 *Schugmann, R.*
Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 *Wirba, P.*
Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 *Eibelshäuser, P.*
Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung
1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7
- 27 *Prasch, J.*
Computerunterstützte Planung von chirurgischen Eingriffen in der Orthopädie
1990 · 113 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-52543-2

- 28 *Teich, K.*
Prozeßkommunikation und Rechnerverbund in der Produktion
1990 · 52 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-52764-8
- 29 *Pfrang, W.*
Rechnergestützte und graphische Planung manueller und teilautomatisierter Arbeitsplätze
1990 · 59 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-52829-6
- 30 *Tauber, A.*
Modellbildung kinematischer Strukturen als Komponente der Montageplanung
1990 · 93 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-52911-X
- 31 *Jäger, A.*
Systematische Planung komplexer Produktionssysteme
1991 · 75 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-53021-5
- 32 *Hartberger, H.*
Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme
1991 · 58 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-53326-5
- 33 *Tuczek, H.*
Inspektion von Karosseriepreßteilen auf Risse und Einschränkungen mittels Methoden der Bildverarbeitung
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*
Planungsstrategien zur störungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*
3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54076-8
- 36 *Naber, H.*
Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente
1991 · 85 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-54216-7
- 37 *Kupec, Th.*
Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen
1991 · 68 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-54260-4
- 38 *Maulhardt, U.*
Dynamisches Verhalten von Kreissägen
1991 · 109 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-54365-1
- 39 *Götz, R.*
Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile
1991 · 86 Abb. · 201 Seiten · ISBN 3-540-54401-1
- 40 *Koepfer, Th.*
3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung - ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung
1991 · 74 Abb. · 126 Seiten · ISBN 3-540-54436-4
- 41 *Schmidt, M.*
Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme
1992 · 108 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55025-9
- 42 *Burger, C.*
Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen
1992 · 94 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-55187-5
- 43 *Hoßmann, J.*
Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen
1992 · 73 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-5520-0
- 44 *Petry, M.*
Systematik zur Entwicklung eines modularen Programmabaukastens für robotergeführte Klebprozesse
1992 · 106 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-55374-6
- 45 *Schönecker, W.*
Integrierte Diagnose in Produktionszellen
1992 · 87 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-55375-4
- 46 *Bick, W.*
Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades
1992 · 70 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-55377-0
- 47 *Gebauer, L.*
Prozeßuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schräfer, N.*
Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *Wisbacher, J.*
Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen
1992 · 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9
- 50 *Garnich, F.*
Laserbearbeitung mit Robotern
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7
- 51 *Eubert, P.*
Digitale Zustandsregelung elektrischer Vorschubantriebe
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2
- 52 *Glaas, W.*
Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0
- 53 *Helm, H.J.*
Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose
1992 · 60 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-55750-4
- 54 *Lang, Ch.*
Wissensbasierte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung
1992 · 75 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55751-2
- 55 *Schuster, G.*
Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage
1992 · 67 Abb. · 135 Seiten · ISBN 3-540-55830-6
- 56 *Bomm, H.*
Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme
1992 · 87 Abb. · 195 Seiten · ISBN 3-540-55964-7
- 57 *Wendt, A.*
Qualitätssicherung in flexibel automatisierten Montagesystemen
1992 · 74 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-56044-0
- 58 *Hansmaier, H.*
Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung
1993 · 67 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-56053-2
- 59 *Dilling, U.*
Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftssimulationen
1993 · 72 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56307-5

- 60 *Strohmayr, R.*
**Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von
Zubringeinrichtungen**
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56652-X
- 61 *Glas, J.*
**Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer
Zellenrechnersoftware**
1993 · 80 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-56889-5
- 62 *Stetter, R.*
**Rechnergestützte Simulationswerkzeuge zur
Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes**
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dindorfer, A.*
Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*
**Simulation des Schwingungsverhaltens spanender
Werkzeugmaschinen**
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*
**Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-
Layoutoptimierung**
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummelsteiner, G.*
**3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur
Planung manueller Montagesysteme**
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelmann, F.*
**Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen
Automatisierung von Produktionssystemen**
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*
**Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-
Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik**
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*
Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*
**Automatische Inbetriebnahme
geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler**
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*
**Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von
Produktionssystemen**
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*
**Rechnergestütztes Projektinformations- und
Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld**
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*
**Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur
Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge**
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*
**Verfahren zur simulationsgestützten
Produktionsregelung in der Einzel- und
Kleinserienproduktion**
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindl, M.*
Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5
- 76 *Zipper, B.*
**Das integrierte Betriebsmittelwesen · Baustein einer
flexiblen Fertigung**
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3
- 77 *Rath, P.*
**Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in
der Arbeitsvorbereitung**
1995 · 51 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58223-1
- 78 *Engel, A.*
**Strömungstechnische Optimierung von
Produktionssystemen durch Simulation**
1994 · 69 Abb. · 160 Seiten · ISBN 3-540-58258-4
- 79 *Zäh, M. F.*
Dynamisches Prozeßmodell Kreissägen
1995 · 95 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-58624-5
- 80 *Zwanzer, N.*
**Technologisches Prozeßmodell für die
Kugelschleifbearbeitung**
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58634-2
- 81 *Romanov, P.*
**Konstruktionsbegleitende Kalkulation von
Werkzeugmaschinen**
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3
- 82 *Kahlenberg, R.*
**Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen
Fertigungszellen**
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1
- 83 *Huber, A.*
**Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der
Hartbearbeitung**
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*
**Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in
flexiblen Produktionszellen**
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*
**Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung
und logistisches Störungsmanagement**
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-Groha, V.*
**Systematische Planung anwendungsspezifischer
Materialflußsteuerungen**
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rockland, M.*
**Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in
Montageanlagen**
1995 · 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6
- 88 *Limmer, St.*
Konzept einer integrierten Produktentwicklung
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*
**Integrierte Planung von Informationssystemen für
rechnergestützte Produktionssysteme**
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deuschle, U.*
**Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in
mittelständischen Unternehmen**
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*
Recyclingintegrierte Produktentwicklung
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*
Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte
 1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*
Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen - Gestellstrukturen
 1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*
Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren
 1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*
Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme
 1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*
Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen
 1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*
Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme
 1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*
Autonome Fertigungszellen - Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung
 1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *Moctezuma de la Barrera, J.L.*
Ein durchgängiges System zur computer- und rechnergestützten Chirurgie
 1996 · 99 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-61145-2
- 100 *Geuer, A.*
Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung
 1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8
- 101 *Ebner, C.*
Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten
 1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0
- 102 *Pischelsrieder, K.*
Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion
 1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Köhler, R.*
Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinprodukten
 1997 · 62 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-62024-9
- 104 *Feldmann, Ch.*
Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung
 1997 · 71 Abb. · 163 Seiten · ISBN 3-540-62059-1
- 105 *Lehmann, H.*
Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystem
 1997 · 96 Abb. · 191 Seiten · ISBN 3-540-62202-0
- 106 *Wagner, M.*
Steuerungintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe
 1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62656-5
- 107 *Lorenzen, J.*
Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen
 1997 · 63 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-62794-4
- 108 *Krämer, U.*
Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche und Standardisierung
 1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3
- 109 *Pfersdorf, I.*
Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service
 1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3
- 110 *Kuba, R.*
Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion
 1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0
- 111 *Kaiser, J.*
Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozeß mit Produktmodellen
 1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3
- 112 *Geyer, M.*
Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung
 1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5
- 113 *Martin, C.*
Produktionsregelung - ein modularer, modellbasierter Ansatz
 1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6
- 114 *Löffler, Th.*
Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse
 1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X
- 115 *Lindermeier, R.*
Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen
 1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8
- 116 *Koehler, J.*
Prozeßorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung
 1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*
Leitfaden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen
 1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1
- 118 *Debuschewitz, M.*
Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung
 1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3
- 119 *Bauer, L.*
Strategien zur rechnergestützten Offline-Programmierung von 3D-Laseranlagen
 1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1
- 120 *Pfob, E.*
Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
 1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*
Erfahrungsgleitete Planung von Laseranlagen
 1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

Seminarberichte iwb

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

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**
86 Seiten · ISBN 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-77-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ins Ziel**
130 Seiten · ISBN 3-931327-78-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**
120 Seiten · ISBN 3-931327-79-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 15 **Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung**
80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**
80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**
165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**
85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen - Plug & Play - Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**
105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**
95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**
95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**
195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**
152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag**
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar**
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätssteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibel und schneller mit modernen Kooperationen**
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobauteilen**
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1

- 47 **Virtuelle Produktion · Prozeß- und Produktsimulation**
131 Seiten · ISBN 3-89675-047-X
- 48 **Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen**
106 Seiten · ISBN 3-89675-048-8
- 49 **Rapid Prototyping · Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung**
150 Seiten · ISBN 3-89675-049-6
- 50 **Rapid Manufacturing · Methoden für die reaktionsfähige Produktion**
121 Seiten · ISBN 3-89675-050-X
- 51 **Flexibles Kleben und Dichten · Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle**
137 Seiten · ISBN 3-89675-051-8
- 52 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien**
124 Seiten · ISBN 3-89675-052-6
- 53 **Mischverbindungen · Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung**
107 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 54 **Virtuelle Produktion · Integrierte Prozess- und Produktsimulation**
133 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 55 **e-Business in der Produktion · Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele**
150 Seiten · ISBN 3-89675-055-0
- 56 **Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug**
150 Seiten · ISBN 3-89675-056-9
- 57 **Virtuelle Produktion – Datenintegration und Benutzerschnittstellen**
150 Seiten · ISBN 3-89675-057-7
- 58 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien**
169 Seiten · ISBN 3-89675-058-7
- 59 **Automatisierte Mikromontage · Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik**
114 Seiten · ISBN 3-89675-059-3
- 60 **Mechatronische Produktionssysteme · Genauigkeit gezielt entwickeln**
131 Seiten · ISBN 3-89675-060-7
- 61 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 62 **Rapid Technologien · Anspruch – Realität – Technologien**
100 Seiten · ISBN 3-89675-062-3
- 63 **Fabrikplanung 2002 · Visionen – Umsetzung – Werkzeuge**
124 Seiten · ISBN 3-89675-063-1
- 64 **Mischverbindungen · Einsatz und Innovationspotenzial**
143 Seiten · ISBN 3-89675-064-X
- 65 **Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum · Erfahrungen Werkzeuge Visionen**
136 Seiten · ISBN 3-89675-065-8
- 66 **Mit Rapid Technologien zum Aufschwung · Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder**
185 Seiten · ISBN 3-89675-066-6
- 67 **Mechatronische Produktionssysteme · Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder**
148 Seiten · ISBN 3-89675-067-4
- 68 **Virtuelle Produktion · Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik**
139 Seiten · ISBN 3-89675-068-2
- 69 **Kooperationsmanagement in der Produktion · Visionen und Methoden zur Kooperation – Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation – Kooperation entlang der Wertschöpfungskette**
134 Seiten · ISBN 3-89675-069-0
- 70 **Mechatronik · Strukturndynamik von Werkzeugmaschinen**
161 Seiten · ISBN 3-89675-070-4
- 71 **Klebtechnik · Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten**
ISBN 3-89675-071-2 · vergriffen
- 72 **Fabrikplanung 2004 · Erfolgsfaktor im Wettbewerb · Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen**
ISBN 3-89675-072-0 · vergriffen
- 73 **Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion · Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen**
179 Seiten · ISBN 3-89675-073-9
- 74 **Virtuelle Produktionssystemplanung · Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik**
133 Seiten · ISBN 3-89675-074-7
- 75 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 76 **Berührungslose Handhabung · Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapselfur zur aseptischen Ampulle**
95 Seiten · ISBN 3-89675-076-3
- 77 **ERP-Systeme · Einführung in die betriebliche Praxis · Erfahrungen, Best Practices, Visionen**
153 Seiten · ISBN 3-89675-077-7
- 78 **Mechatronik · Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen**
155 Seiten · ISBN 3-89675-078-X
- 79 **Produktionsmanagement**
267 Seiten · ISBN 3-89675-079-8
- 80 **Rapid Manufacturing · Fertigungsverfahren für alle Ansprüche**
154 Seiten · ISBN 3-89675-080-1
- 81 **Rapid Manufacturing · Heutige Trends – Zukünftige Anwendungsfelder**
172 Seiten · ISBN 3-89675-081-X
- 82 **Produktionsmanagement · Herausforderung Variantenmanagement**
100 Seiten · ISBN 3-89675-082-8
- 83 **Mechatronik · Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen**
160 Seiten · ISBN 3-89675-083-6
- 84 **Virtuelle Inbetriebnahme · Von der Kür zur Pflicht?**
104 Seiten · ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 **3D-Erfahrungsforum · Innovation im Werkzeug- und Formenbau**
375 Seiten · ISBN 978-3-89675-085-3
- 86 **Rapid Manufacturing · Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung**
162 Seiten · ISBN 978-3-89675-086-0
- 87 **Produktionsmanagement · Schlank im Mittelstand**
102 Seiten · ISBN 978-3-89675-087-7
- 88 **Mechatronik · Vorsprung durch Simulation**
134 Seiten · ISBN 978-3-89675-088-4
- 89 **RFID in der Produktion · Wertschöpfung effizient gestalten**
122 Seiten · ISBN 978-3-89675-089-1

Forschungsberichte iw b

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

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

- 122 Schneider, Burghard
Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
1999 · 183 Seiten · 98 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-559-5
- 123 Goldstein, Bernd
Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
1999 · 170 Seiten · 65 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-546-3
- 124 Mößner, Helmut E.
Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme
1999 · 164 Seiten · 67 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-585-4
- 125 Gräser, Ralf-Gunter
Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
1999 · 167 Seiten · 63 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-603-6
- 126 Trossin, Hans-Jürgen
Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
1999 · 162 Seiten · 75 Abb. · 11 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-614-1
- 127 Kugelmann, Doris
Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
1999 · 168 Seiten · 68 Abb. · 2 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-615-X
- 128 Diesch, Rolf
Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
1999 · 160 Seiten · 69 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-618-4
- 129 Lulay, Werner E.
Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen
1999 · 182 Seiten · 51 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-620-6
- 130 Murr, Otto
Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
1999 · 178 Seiten · 85 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-636-2
- 131 Macht, Michael
Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
1999 · 170 Seiten · 87 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-638-9
- 132 Mehler, Bruno H.
Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnernverbänden
1999 · 152 Seiten · 44 Abb. · 27 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-645-1
- 133 Heitmann, Knut
Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle
1999 · 146 Seiten · 60 Abb. · 13 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-675-3
- 134 Blessing, Stefan
Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
1999 · 160 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-690-7
- 135 Abay, Can
Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik
2000 · 159 Seiten · 46 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-697-4

- 136 Brandner, Stefan
Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
 2000 · 172 Seiten · 61 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-715-6
- 137 Hirschberg, Arnd G.
Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
 2000 · 165 Seiten · 49 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-729-6
- 138 Reek, Alexandra
Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen
 2000 · 193 Seiten · 103 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-730-X
- 139 Sabbah, Khalid-Alexander
Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
 2000 · 148 Seiten · 75 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-739-3
- 140 Schliffenbacher, Klaus U.
Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
 2000 · 187 Seiten · 70 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-754-7
- 141 Sprengel, Andreas
Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
 2000 · 144 Seiten · 55 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-757-1
- 142 Gallasch, Andreas
Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
 2000 · 150 Seiten · 69 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-781-4
- 143 Cuiper, Ralf
Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
 2000 · 168 Seiten · 75 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-783-0
- 144 Schneider, Christian
Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion
 2000 · 180 Seiten · 66 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-789-X
- 145 Jonas, Christian
Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen
 2000 · 183 Seiten · 82 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-870-5
- 146 Willnecker, Ulrich
Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen
 2001 · 175 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-891-8
- 147 Lehner, Christof
Beschreibung des Nd:Yag-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss
 2001 · 205 Seiten · 94 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0004-X
- 148 Rick, Frank
Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen
 2001 · 145 Seiten · 57 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0008-2
- 149 Hohn, Michael
Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme
 2001 · 171 Seiten · 74 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0012-0
- 150 Böhl, Jörn
Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung
 2001 · 179 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0020-1
- 151 Bürgel, Robert
Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben
 2001 · 185 Seiten · 60 Abb. · 10 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0021-X
- 152 Stephan Dürrschmidt
Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion
 2001 · 914 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0023-6
- 153 Bernhard Eich
Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung
 2001 · 132 Seiten · 48 Abb. · 6 Tabellen · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0028-7

- 154 Wolfgang Rudorfer
Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke
 2001 · 207 Seiten · 89 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0037-6
- 155 Hans Meier
Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe
 2001 · 162 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0044-9
- 156 Gerhard Nowak
Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen
 2001 · 203 Seiten · 95 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0055-4
- 157 Martin Werner
Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen
 2001 · 191 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0058-9
- 158 Bernhard Lenz
Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
 2001 · 150 Seiten · 47 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0094-5
- 159 Stefan Grunwald
Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
 2002 · 206 Seiten · 80 Abb. · 25 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0095-3
- 160 Josef Gartner
Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
 2002 · 165 Seiten · 74 Abb. · 21 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0096-1
- 161 Wolfgang Zeller
Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
 2002 · 192 Seiten · 54 Abb. · 15 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0100-3
- 162 Michael Loferer
Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
 2002 · 178 Seiten · 80 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0118-6
- 163 Jörg Fahrer
Ganzeitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
 2002 · 176 Seiten · 69 Abb. · 13 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0124-0
- 164 Jürgen Höppner
Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
 2002 · 132 Seiten · 24 Abb. · 3 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0125-9
- 165 Hubert Götte
Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
 2002 · 258 Seiten · 123 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0126-7
- 166 Martin Weißberger
Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
 2002 · 210 Seiten · 86 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0138-0
- 167 Dirk Jacob
Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
 2002 · 200 Seiten · 82 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0142-9
- 168 Ulrich Roßgoderer
System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
 2002 · 175 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0154-2
- 169 Robert Klingel
Anziehverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
 2002 · 164 Seiten · 89 Abb. · 27 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0174-7
- 170 Paul Jens Peter Ross
Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
 2002 · 144 Seiten · 38 Abb. · 38 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0191-7
- 171 Stefan von Praun
Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
 2002 · 250 Seiten · 62 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0202-6

- 172 Florian von der Hagen
Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
 2002 · 220 Seiten · 104 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0208-5
- 173 Oliver Kramer
Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
 2002 · 212 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0211-5
- 174 Winfried Dohmen
Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
 2002 · 200 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0214-X
- 175 Oliver Anton
Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsenster Montagesysteme
 2002 · 158 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0215-8
- 176 Welf Broser
Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
 2002 · 224 Seiten · 122 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0217-4
- 177 Frank Breitinge
Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
 2003 · 156 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0227-1
- 178 Johann von Pieverling
Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
 2003 · 163 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0230-1
- 179 Thomas Baudisch
Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
 2003 · 190 Seiten · 67 Abb. · 8 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0249-2
- 180 Heinrich Schieferstein
Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems
 2003 · 132 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0251-4
- 181 Joachim Berlak
Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen
 2003 · 244 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0258-1
- 182 Christian Meierlohr
Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
 2003 · 181 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0292-1
- 183 Volker Weber
Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken
 2004 · 210 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0330-8
- 184 Thomas Bongardt
Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
 2004 · 170 Seiten · 40 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0332-4
- 185 Tim Angerer
Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
 2004 · 180 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0336-7
- 186 Alexander Krüger
Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
 2004 · 197 Seiten · 83 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0371-5
- 187 Matthias Meindl
Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
 2005 · 222 Seiten · 97 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0465-7
- 188 Thomas Fusch
Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
 2005 · 190 Seiten · 99 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0467-3

- 189 Thomas Mosandl
Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
 2005 · 182 Seiten · 58 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0471-1
- 190 Christian Patron
Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
 2005 · 150 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0474-6
- 191 Robert Cisek
Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen
 2005 · 200 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0475-4
- 192 Florian Auer
Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
 2005 · 160 Seiten · 65 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0485-1
- 193 Carsten Selke
Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
 2005 · 137 Seiten · 53 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0495-9
- 194 Markus Seefried
Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern
 2005 · 216 Seiten · 82 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0503-3
- 195 Wolfgang Wagner
Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion
 2006 · 208 Seiten · 43 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0586-6
- 196 Christopher Ulrich
Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
 2006 · 178 Seiten · 74 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0590-4
- 197 Johann Härtl
Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
 2006 · 140 Seiten · 55 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0611-0
- 198 Bernd Hartmann
Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
 2006 · 208 Seiten · 105 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0615-3
- 199 Michael Schilp
Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
 2006 · 130 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0631-5
- 200 Florian Manfred Grätz
Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
 2006 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0643-9
- 201 Dieter Eireiner
Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
 2006 · 214 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0650-1
- 202 Gerhard Volkwein
Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
 2007 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 Sven Roeren
Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
 2007 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 Henning Rudolf
Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
 2007 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 Stella Clarke-Griebsch
Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
 2007 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 Michael Ehrenstraßer
Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage
 2008 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0743-3

- 207 Rainer Schack
Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
2008 · 248 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 Wolfgang Sudhoff
Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
2008 · 276 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 Stefan Müller
Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
2008 · 240 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 Ulrich Kohler
Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0753-2

