

***Forschungsberichte***

---

***iwb***

***Band 159***

***Stefan Grunwald***

***Methode zur Anwendung der  
flexiblen integrierten Produkt-  
entwicklung und Montageplanung***

---

***herausgegeben von  
Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart***

---

***Herbert Utz Verlag***



# Forschungsberichte iwb

Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen  
und Betriebswissenschaften  
der Technischen Universität München

herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart  
Technische Universität München  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme  
Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist  
bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2001

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2002

ISBN 3-8316-0095-3

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München

Tel.: 089/277791-00 · Fax: 089/277791-01

## Geleitwort des Herausgebers

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 und 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 Produktentwicklung über die Planung von Produktionssystemen hin zu 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*



## **Vorwort**

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

Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, dem Leiter dieses Instituts, gilt mein besonderer Dank für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Dr. techn. h. c. (N) Walter Eversheim, dem Leiter des Laboratoriums für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann danke ich für die Übernahme des Vorsitzes. Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts sowie allen Studenten, die mich bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt haben, recht herzlich.

Nicht zuletzt gilt ein ganz besonderer Dank meinen Eltern Erich und Waldtraut Grunwald, die mir meine Ausbildung ermöglicht haben und meiner Freundin Julia, die mich mit ihrer mentalen Unterstützung und Geduld bei der Erstellung der Arbeit motiviert hat.

München, im November 2001

*Stefan Grunwald*



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Wandel des Unternehmensumfeldes .....	1
1.2	Herausforderungen für Produktionsunternehmen.....	3
1.3	Konsequenzen für Produktentwicklung und Montageplanung.....	5
1.4	Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	7
1.5	Vorgehensweise .....	9
<b>2</b>	<b>Entwicklungsprozesse für Produkte und Montageanlagen</b> .....	<b>11</b>
2.1	Begriffsklärung und Betrachtungsumfang .....	11
2.2	Eigenschaften von Geschäftsprozessen in Produktentwicklung und Montageplanung.....	13
2.2.1	Unsicherheit in Produktentwicklung und Montageplanung.....	13
2.2.2	Komplexität in Produktentwicklung und Montageplanung.....	14
2.2.3	Dynamik in Produktentwicklung und Montageplanung .....	16
2.2.4	Potenziale und Randbedingungen in Produktentwicklung und Montageplanung.....	18
2.3	Defizite und Handlungsfelder.....	19
<b>3</b>	<b>Anforderungen an die Methodik</b> .....	<b>23</b>
3.1	Anforderungen an die Modellierung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse .....	23
3.2	Anforderungen an die Einführung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse .....	23
3.3	Anforderungen an Einsatz und Weiterentwicklung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse .....	24
<b>4</b>	<b>Stand der Forschung und Technik</b> .....	<b>25</b>
4.1	Prozess- und Objektorientierung.....	25

4.2	Produktentwicklungsprozesse .....	29
4.2.1	Methodische Entwicklungsvorgehensweisen .....	29
4.2.2	Entwicklungsmethoden und -werkzeuge.....	30
4.3	Montageplanungsprozesse .....	32
4.3.1	Methodische Montageplanungsvorgehensweisen .....	32
4.3.2	Montageplanungsmethoden und -werkzeuge.....	34
4.4	Parallelisierte und integrierte Produktentwicklungs- und Produktions- planungsprozesse .....	35
4.4.1	Parallelisierte Entwicklung und Planung .....	35
4.4.2	Integrierte Entwicklung und Planung .....	38
4.5	Strukturierung von Produkten, Montagevorgängen und Montageanlagen.....	42
4.6	Modellierung von Entwicklungs- und Planungsprozessen .....	48
4.7	Einführung modellbasierter Entwicklungs- und Planungsprozesse .....	51
4.7.1	Bedeutung der Methodeneinführung .....	52
4.7.2	Vorbereitung und Qualifizierung der vorhandenen Umgebung .....	53
4.7.3	Anpassung von Entwicklungsprozessen an vorhandene Umgebungen .....	57
4.8	Einsatz und Weiterentwicklung modellbasierter Entwicklungs- und Planungsprozesse.....	58
4.8.1	Organisationsmodelle zur Beherrschung komplexer dynamischer Entwicklungs- und Planungsprozesse .....	58
4.8.2	Flexible Konfiguration von Entwicklungs- und Planungsprozessen.....	61
4.8.3	Koordination und Regelung modellbasierter Entwicklungs- und Planungsprozesse.....	63
4.8.4	Erfahrungsrückfluss anhand modellbasierter Entwicklungs- und Planungsprozesse.....	66
4.9	Zusammenfassung und Fazit .....	69

---

<b>5</b>	<b>Modellierung flexibler integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse</b> .....	<b>71</b>
5.1	Einleitung.....	71
5.1.1	Steigerung von Flexibilität und Reaktionsfähigkeit in Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozessen .....	71
5.1.2	Steigerung von Effektivität und Effizienz in Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozessen .....	73
5.1.3	Vorbereitung der Einführung einer flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung.....	74
5.2	Generische integrierte Prozessbausteine.....	75
5.2.1	Aufbau eines Prozessbausteins .....	75
5.2.2	Klassifizierung von Prozessbausteinen .....	78
5.2.3	Detaillierung, Spezialisierung und Variantenbildung von Prozessbausteinen .....	79
5.3	Flexible Prozessnetze.....	81
5.3.1	Vernetzung von Prozessbausteinen .....	82
5.3.2	Strukturierung flexibler Prozessnetze.....	83
5.4	Gestaltungsobjekte Produkt, Montagevorgang und Montageanlage.....	85
5.4.1	Strukturierung der Gestaltungsobjekte .....	85
5.4.2	Abbilden der Gestaltungsobjektzustände .....	87
5.4.3	Bewertung der Abhängigkeiten von Gestaltungsobjektzuständen.....	88
5.5	Werkzeuge und Kompetenzen im flexiblen integrierten Prozess .....	89
5.5.1	Klassifizierung von Entwicklungs- und Planungswerkzeugen.....	90
5.5.2	Klassifizierung von Personalkompetenzen .....	91
5.6	Prozess-, Werkzeug- und Kompetenzbaukästen .....	92
5.6.1	Aufbau eines Prozessbaukastens .....	93

5.6.2	Aufbau eines Werkzeugbaukastens.....	94
5.6.3	Aufbau eines Kompetenzbaukastens.....	95
5.7	Zusammenfassung.....	97
<b>6</b>	<b>Einführung und Anwendung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse .....</b>	<b>99</b>
6.1	Vorgehensmodell zur Einführung und Anwendung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse .....	99
6.2	Makrozyklus der integrierten Produktentwicklung und Montageplanung .....	101
6.2.1	Einleitung.....	101
6.2.2	Vorentwicklung.....	102
6.2.3	Zielfindung.....	102
6.2.4	Konzepterarbeitung .....	103
6.2.5	Moduldefinition.....	104
6.2.6	Modulentwicklung und -detaillierung .....	104
6.2.7	Optimierung .....	105
6.3	Modell zur Einführung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse.....	105
6.3.1	Prinzipien der Einführung .....	105
6.3.2	Analyse der Prozesse und des Entwicklungs- und Planungs- potenzials (E1) .....	107
6.3.3	Ableich von Potenzial, Randbedingungen und Einführungs- maßnahmen (E2).....	107
6.3.4	Aufbau eines Werkzeug- und Kompetenzbaukastens (E3).....	112
6.3.5	Konfiguration eines unternehmensspezifischen Prozessbaukastens (E4) .....	112
6.3.6	Konfiguration produkt- und montagespezifischer Prozessmodelle (E5)..	116
6.4	Modell zum Einsatz und zur Weiterentwicklung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse .....	120

---

6.4.1	Prinzipien und Vorüberlegungen für den Einsatz.....	120
6.4.2	Grobplanung projektspezifischer Entwicklungs- und Planungs- prozesse (A1) .....	123
6.4.3	Situative Feinplanung projektspezifischer Entwicklungs- und Planungsprozesse (A2) .....	125
6.4.4	Durchführung projektspezifischer Entwicklungs- und Planungs- prozesse (A3) .....	126
6.4.5	Koordination und Regelung projektspezifischer Entwicklungs- und Planungsprozesse (A4) .....	129
6.4.6	Erfahrungsaufbau und Weiterentwicklung der Prozessbausteine (A5) ...	134
6.5	Zusammenfassung.....	138
<b>7</b>	<b>Rechnerwerkzeug und Praxisbeispiele.....</b>	<b>139</b>
7.1	Rechnerwerkzeug Process Design Tool (PDT) .....	139
7.2	Verifizierung der Methodik anhand von industriellen Praxisbeispielen .....	142
7.2.1	Fallstudie 1: Einführung und Anwendung eines Referenzentwicklungsprozesses für Fahrzeugdachsysteme .....	142
7.2.2	Fallstudie 2: Einführung und Anwendung flexibler integrierter Prozesse zur Entwicklung und Planung eines Reisebussitzrahmens .....	146
7.2.3	Fallstudie 3: Einführung flexibler Prozesse für integrierte Produkt- und Prozessanalysen bei einem Automobilhersteller .....	148
7.3	Zusammenfassende Bewertung der Praxisbeispiele .....	151
<b>8</b>	<b>Bewertung von Aufwand und Nutzen.....</b>	<b>154</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>157</b>
	<b>Literatur.....</b>	<b>158</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>183</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>187</b>



# 1 Einleitung

## 1.1 Wandel des Unternehmensumfeldes

Die produzierende Industrie unterliegt einem sich stetig verschärfenden, globalen Wettbewerb (UHLMANN 1998, S.14ff). Umfang und Geschwindigkeit der Veränderungen in Markt, Gesellschaft und Technik, haben Dimensionen erreicht, die mit dem traditionellen Denken und konventionellen Methoden nur noch unzureichend bewältigt werden können (EVERSHEIM & SCHUH 1996, S. VI; PFEIFFER & DÖGL 1990, S. 255ff; REINHART 2000, S. 20ff). Ein sichtbares Zeichen für diese Umfeldturbulenz sind die Konjunkturzyklen der Weltwirtschaft, die von ehemals sieben bis zehn Jahren Länge immer kürzer werden und von Sondereinflüssen bestimmt werden (REINHART 1999A, S. 14).

Abbildung 1-1 zeigt die wesentlichen Umfeldfaktoren, die maßgeblichen direkten oder indirekten Einfluss auf das Wirtschaften von Produktionsunternehmen haben.

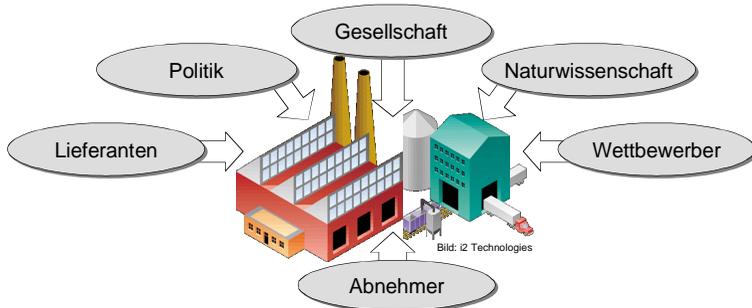


Abbildung 1-1: Umfeldeinflüsse auf das Wirtschaften von Produktionsunternehmen

Produktionsunternehmen müssen sich im Bereich **Gesellschaft** auf demographische Veränderungen, steigende Einkommen und Ausbildungsstände und Wunsch zur Mitbestimmung einstellen (z.B. BLEICHER 1996, S. 15ff; HUNDT 2000, S. 208ff).

Im Bereich **Politik** sind beispielhaft Grenzöffnungen, Änderungen in der Gesetzgebung, der Fiskal-, Währungs- und Kreditpolitik und der Ein- und Ausfuhrbesteuerung in immer kürzeren Zyklen zu nennen (REINHART 2000, S. 20; WIESHEU 2000, S. N6ff).

Die **Naturwissenschaft und Technik** bringt ferner neue Werkstoffe, Methoden, Technologien und Verfahren hervor (z.B. Internet oder Solar-Antriebe), die neue Anwendungsfelder eröffnen (LINDEMANN & REICHWALD 1998, S. 1; MILBERG 2000, S. 313).

**Wettbewerber** induzieren durch ihr teilweise nicht prognostizierbares Verhalten weitere Unsicherheitsfaktoren (z.B. durch Produktoffensiven). Marktanteile verändern sich, neue Märkte entstehen (z.B. Osteuropa, China, Südamerika) und üben zunehmenden internationalen Wettbewerbsdruck aus (SCHULZ-WOLFGGRAMM 2000, S. 43; SPÄTH 2000, S. N21ff, WESTKÄMPER 1999B, S. 131ff).

Die **Lieferanten** (bzw. der Beschaffungsmarkt) erhöhen ebenfalls die Unsicherheit durch ihr nur bedingt kalkulierbares Verhalten. Kapitalmarkt-Analysten beeinflussen indirekt immer mehr das Wirtschaften von Produktionsunternehmen und Shareholder bestehen zunehmend auf die Berücksichtigung ihrer Werte (z.B. HUNDT 2000, S. 205ff).

Und schließlich stellen die **Abnehmer** mit ihrem Verhalten einen weiteren Unsicherheitsfaktor dar. Die Öffnung neuer Märkte bringt neue Mengengerüste mit sich. Ferner hat sich der einstige Verkäufermarkt zu einem Käufermarkt gewandelt. Damit einher gehen steigende Anforderungen an die Produktindividualität und den Service, was sich in zunehmendem "Innovations- und Variantendruck" äußert (MILBERG 2000, S. 321, WESTKÄMPER 1999B, S. 131ff).

All diese Umfeldturbulenzen führen zu abnehmender Nachhaltigkeit des Markterfolgs und damit der Wettbewerbsfähigkeit von Produktionsunternehmen (LULAY 1999, S. 1).

Ein Beispiel dafür ist das SIEMENS Halbleiterwerk in North Tyneside. Die feierliche Eröffnung fand im Mai 1997 statt, die darauffolgende Stilllegung nach nur 16 Monaten Betriebszeit. Die Preise der dort gefertigten Speicherbausteine waren von der Entscheidung zum Bau des Werkes bis zur Schließung um 95% gefallen (lt. Pressemitteilung der SIEMENS AG, 31. Juli 1998).

Ein zweites Beispiel ist die Akquisition von ROVER durch den Automobilhersteller BMW im Jahr 1993. Zunächst von Analysten als überragender strategischer Schachzug bezeichnet, hat diese Übernahme bis zum Wiederverkauf im Frühjahr 2000 die wirtschaftliche Eigenständigkeit von BMW bedroht. Die Entwicklungszeiten bei ROVER waren zu lang und die Fabriken nicht auf dem Stand der Technik, um durch eine Modelloffensive die erhofften Umsatzerlöse zu erwirtschaften. Ferner war eine wichtige Kalkulationsgrundlage durch den Anstieg des Pfund-Kurses zunichte gemacht worden (lt. Pressemitteilungen BMW, März 2000).

Diese zunehmende Dynamik und Unsicherheit bildet in Theorie und Praxis den Gegenstand zahlreicher Diskussionen. Auf der einen Seite sollte jedes Unternehmen zu seiner Umwelt eine "stabile und positive Beziehung" erhalten (MILBERG 2000, S. 325). Auf der anderen Seite bilden sich in jedem Unternehmen Strukturen heraus, die die Tendenz haben, konstant zu bleiben. Verändert sich die Umwelt und will das Unternehmen seine Beziehungen zur Umwelt konstant halten, ergibt sich automatisch der Zwang zur Veränderung. *„Wir haben also die fast paradox anmutende Situation, dass sich Unternehmen permanent ändern müssen, um die Stabilität ihrer Beziehungen zu ihrer (...) Umwelt zu erhalten. Gleichzeitig müssen sie es aber schaffen, bei aller Veränderung ihre identitätsgebenden Strukturen und Werte zu bewahren“* (MILBERG 2000, S. 325).

Information und Kommunikation sind dabei zu Engpässen für schnelles und richtiges Entscheiden geworden (WARNECKE 1998, S. 65). Erst wenn man abschätzen kann, welche Einflussfaktoren für die Entwicklung des Unternehmens relevant sind und wie es auf Veränderungen reagieren kann, wird es gelingen, die Chancen eines turbulenten Umfeldes zu nutzen und dessen Risiken zu beherrschen (MILBERG 2000, S. 324ff).

## 1.2 Herausforderungen für Produktionsunternehmen

In Anbetracht der geschilderten Problematik des turbulenten Umfelds gilt es die Frage zu klären, wie Unternehmen ihre Wettbewerbsfähigkeit erhalten können.

So postulieren viele Autoren aus Wissenschaft und Industrie, dass die Unternehmen eine innere **Wandlungsfähigkeit** entwickeln müssen. Entlang des gesamten Produktlebenszyklus müssen entsprechende technische, organisatorische und personelle Lösungsansätze erarbeitet werden (EVERSHEIM & SCHUH 1996, S. VI; HARTMANN 1997, S. 18ff; KLOCKE 1998, S. 81; REINHART ET AL. 1998, S. 1f; UHLMANN & SCHRÖDER 1998, S. 180ff; WARNECKE ET AL. 1998A, S. 87ff; WESTKÄMPER 1999B, S. 131f; WIENDAHL & HERNÁNDEZ 2000, S. 38ff).

REINHART ET AL. (1999A, S. 31ff) fordern, dass Unternehmen künftig ihre Strukturen und Prozesse qualifizieren müssen, um *flexibel* innerhalb vorgedachter Dimensionen agieren und *reaktionsschnell* jenseits vorgedachter Szenarien reagieren zu können. Nach REINHART (2000, S. 24ff) lässt sich Wandlungsfähigkeit wie folgt definieren:

- *Wandlungsfähigkeit* beschreibt die Fähigkeit von Unternehmen, sich hinsichtlich Anforderungen des Umfelds anzupassen, die nicht unbedingt geplant und vorhersehbar waren. Die Dimensionen, in denen Veränderungen stattfinden, müssen nicht vorher bekannt gewesen sein. Das Potenzial der Wandlungsfähigkeit wird dabei gebildet aus *Flexibilität* und *Reaktionsfähigkeit*.
- *Flexibilität* kann als die Eigenschaft eines Systems betrachtet werden, die sich aus der Fähigkeit ableitet, anpassbar zu sein an wechselnde, jedoch spezifische Anforderungen innerhalb eines gewissen Intervalls.
- *Reaktionsfähigkeit* bezeichnet das Potenzial, auf eingetretene unvorhersehbare Ereignisse erfolgreich zu reagieren und sich diesen neuen Situationen anpassen zu können.

Im Rahmen empirischer Untersuchungen erfolgreicher Unternehmen konnte REINHART (2000, S. 31ff) fünf Fähigkeiten ableiten, die *wandlungsfähige Unternehmen* aufweisen:

- Fähigkeit zur Kooperation
- Fähigkeit zum kreativen Gestalten
- Fähigkeit zur ständigen Veränderung und zum immerwährenden Lernen
- Fähigkeit zur transparenten Gestaltung der Wirkzusammenhänge
- Fähigkeit zum Management von Erfahrungen

Wenn es durch diese Fähigkeiten gelingt, die Wandlungsfähigkeit des Unternehmens zu erzeugen, können aktuelle Markttrends noch spät in Entwicklungsprojekte einbezogen werden, auf Wettbewerberaktionen kann schneller reagiert werden und Innovationen können schneller in Produkte und Prozesse einfließen (MILBERG 1998, S. 11). „Das schnelle Erkennen und Umsetzen der dynamischen und sprunghaften Entwicklungen des Umfeldes muss als Zentrum zukünftiger Strategien gelten.“ (WARNECKE 1997, S. 1ff).

Dies bedeutet jedoch nicht, dass die klassischen Erfolgsfaktoren an Bedeutung verlieren. Die Internationalisierung des Wettbewerbs übt einen zunehmenden *Kostendruck* auf Unternehmen aus. Kontinuierliche Produktivitätsfortschritte werden ebenso wie steigende *Produktqualität* zum „Hygienefaktor“. In den letzten 20 Jahren hat sich die Kostenstruktur bei technischen Lösungen in der Investitionsgüterindustrie beispielsweise erheblich in Richtung Engineering-Aufwände verlagert, von 30% (1980) auf über 50% (2000) (WUCHERER 2000, S. 249). Entscheidend ist damit ein weiterer Faktor für das unternehmerische Handeln: die *Effizienz* bzw. die *Wirtschaftlichkeit*. Denn nicht genutzte Flexibilität verursacht unnötige Fixkosten. Andererseits immer nur zu *reagieren* anstatt *flexibel vorauszuplanen* kann auch nicht wirtschaftlich sein. So gilt es, ein der Situation angemessenes Verhältnis *zwischen Flexibilität und Reaktionsfähigkeit* einzustellen (s. Abbildung 1-2).

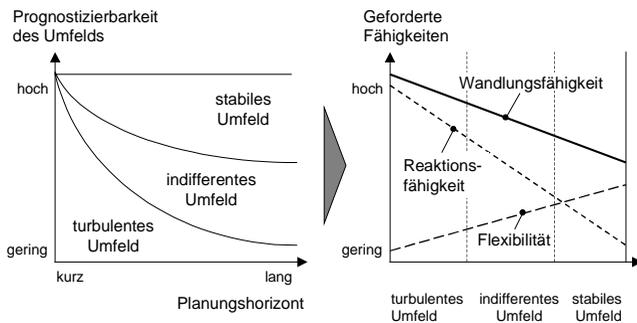


Abbildung 1-2: Zusammenhang zwischen dem Umfeld und der geforderten Flexibilität und Reaktionsfähigkeit (nach REINHART 2000, S. 39)

Eine zentrale Rolle spielt jedoch die *Zeit*, in der neue Produkte auf den Markt kommen („time-to-market“) (MILBERG 1998, S. 10). Nach einer Untersuchung von VESEY (1991, S. 23ff) erzielen High-Tech-Produkte bei einer um sechs Monate verspäteten Markteinführung 33% weniger Gewinn über einen Fünfjahreszeitraum im Vergleich zu einem "rechtzeitig" eingeführten Produkt. Demgegenüber führt eine Überschreitung des Entwicklungsbudgets um 50% nur zu einer um vier Prozent geminderten Gewinnspanne (VESEY 1991, S. 23ff; EISENHARDT & TABRIZI 1995, S. 84ff).

Aus dieser Zeitsensitivität folgt eine dreifache "Zeitfalle": Durch die kurzen Produktlebenszyklen ist der Bedarf zum Zeitpunkt des Markteintritts bereits gemindert. Die Entwicklungskosten müssen auf eine geringere Anzahl verkaufter Produkte umgelegt werden, wodurch der Produktpreis steigt. Zu diesem Zeitpunkt hat ein früher Markteinsteiger aber schon Lerneffekte realisiert, so dass er zu reduzierten Preisen anbieten kann.

Die zunehmende Macht der Kunden zwingt ferner zu neuen Trends, wie beispielsweise einer weitreichenden Individualisierung von Produkten. In Zukunft werden sogar kom-

plexe mechatronische Produkte exakt nach den Wünschen des Kunden gestaltet sein (PILLER 1998, S. 78). Diese Herausforderungen können nur äußerst flexible und reaktionsfähige Unternehmen bewältigen. Nur die Unternehmen können erfolgreich am Markt agieren, die ihre internen und externen Leistungsstrukturen spontan und schnell an neue Anforderungen anpassen (MILBERG 2000, S. 325).

Welche Unternehmensbereiche sind nun besonders gefordert, diesen Herausforderungen und ihren neuen Anforderungen gerecht zu werden?

### 1.3 Konsequenzen für Produktentwicklung und Montageplanung

Wenn es darum geht, schnell neue Anforderungen an ein Produkt und die Produktion umzusetzen, nehmen sowohl *Produktentwicklung* als auch *Produktionsplanung* Schlüsselrollen innerhalb des Produktlebenszyklus ein (vgl. EVERSHEIM ET AL. 1998, S. 429) (s. Abbildung 1-3).

„In einem (...) turbulenten Umfeld agieren die Konstrukteure (und Planer) in frühen Stadien der Entwicklung unter hoher Unsicherheit, was die Festlegung der zielkundenwirksamen Produkteigenschaften angeht“ (WHEELWRIGHT & CLARK 1994, S. 41). „Grundsätzlich gesehen gestaltet der Entwicklungsprozess ja die Zukunft – und diese Zukunft ist oft noch Jahre entfernt“ (WHEELWRIGHT & CLARK 1994, S. 24).

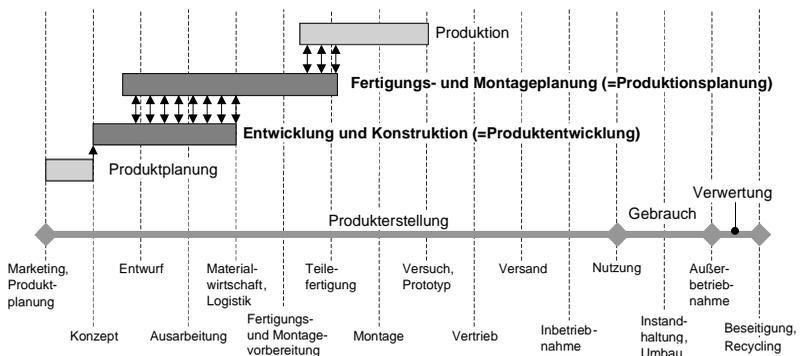


Abbildung 1-3: Einordnung von Entwicklung und Planung in den Produktlebenslauf

Aufgrund dieser Schlüsselrollen soll der Betrachtungsfokus der Arbeit auf den Tätigkeiten der *Produktentwicklung* und *Produktionsplanung* liegen. Die Produktionsplanung soll dabei auf die *Montageplanung* reduziert werden, die sich durch eine besonders hohe Komplexität und einen hohen Abstimmungsbedarf mit der Produktentwicklung auszeichnet. Ferner leistet die Konstruktion den höchsten Beitrag zur Kostenverantwortung und die Montage den höchsten Kostenverursachungsanteil (s. Abbildung 1-4).

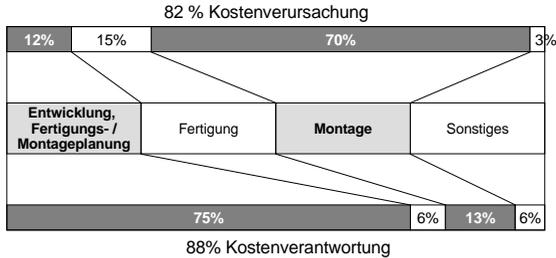


Abbildung 1-4: Stellhebel (in Anlehnung an LOTTER 1992)

*"Pioneers of the automobile industry practiced what is now called Simultaneous Engineering. Men like Henry Ford, Ransom Olds, Karl Benz, and Adam Opel did not limit themselves simply to designing products; they were product and process engineers who designed both cars and the factories that built them"* (EVANS 1990, S. 3f).

Diese beiden Fachdisziplinen sind wesentliche Stellhebel, um schnell marktkonforme Produkte anbieten zu können. Sie müssen daher optimal aufeinander abgestimmt sein (MILBERG 1998, S. 12ff; WEULE 1996). Die Montageplanung muss dabei sowohl mit der Serienmontage als auch mit den Entwicklungsabteilungen eng verzahnt operieren.

Ein Verlagern der Montage in Niedriglohnländer hat daher umfassende negative Auswirkungen. Gründe sind der Einflussverlust auf die Qualität, fehlender Wissenstransfer zur Entwicklung, erhöhter Koordinationsaufwand und verringerte Flexibilität (HUBBERT & REMMEL 1997, S. 32ff; LOTTER 1995; REINHART 1998B; WIENDAHL 1999, S. 1).

Folgendes Beispiel zeigt hingegen die Chancen eines vernetzten Arbeitens von Entwicklung und Planung. Die aktuelle 5er Baureihe von BMW ist die erste Großserienlimousine mit einem Aluminiumleichtbaufahrwerk. Um die gegenüber Stahl um ca. 45% geringere spezifische Dichte für eine Gewichtsreduzierung zu nutzen, mussten Nachteile wie die um 66% geringere Steifigkeit kompensiert werden. Nur durch eine intensive Zusammenarbeit von Produkt- und Verfahrensentwicklung, Montageplanung und Serienmontage konnten solche komplexen LeichtbaufORMen in Verbindung mit neuen Verfahren wie das Innen-Hochdruck-Umformen und Laserschweißen realisiert werden.

Ergebnisse empirischer Untersuchungen (s. Abbildungen 1-5 und 1-6) bestätigen, dass kurze Entwicklungszeiten bei hoher Effizienz erst durch eine frühzeitige Einbindung aller Abteilungen und eine intensive Zusammenarbeit möglich werden. BULLINGER (1990) erkannte, dass eine frühzeitige Zusammenarbeit zwar angestrebt, in der industriellen Praxis aber immer noch zu spät realisiert wird (s. Abbildung 1-7). Die Montageplanung kann so nur noch reagieren auf die Zwischenergebnisse, die die Konstruktion vorgibt (REINHART 1998A, S. 2). Ein gemeinsames Gesamtoptimum kann nicht erreicht werden. Ferner benötigen Unternehmen im zunehmend turbulenten Umfeld methodische Unterstützung, mit der sie ihre Prozesse flexibel gestalten und schnell auf neue Anforderungen reagieren können (LINDEMANN ET AL. 2000, S. 23ff).



Abbildung 1-5: Maßnahmen zur Entwicklungszeitverkürzung (nach BULLINGER 1990)

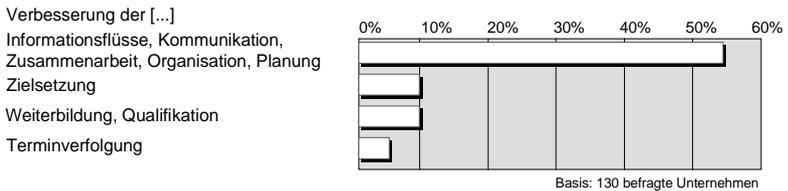


Abbildung 1-6: Maßnahmen zur Steigerung der Entwicklungseffizienz (nach EHRLENSPIEL 1993, S. 389ff)

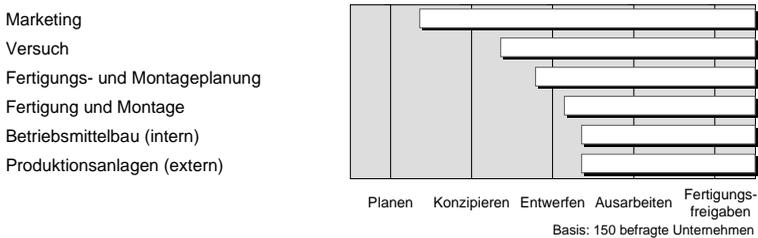


Abbildung 1-7: Zeitpunkt der Einbindung ausgewählter Abteilungen in Entwicklungsprozesse (BULLINGER 1990)

## 1.4 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die geschilderten empirischen Untersuchungen weisen in Verbindung mit Analysen des Berliner Kreises<sup>1)</sup> darauf hin, dass industrielle Entwicklungs- und Planungsprozesse immer noch deutliche Schwachstellen aufweisen (vgl. GRABOWSKI & GEIGER 1997). Die eingesetzten Methoden bieten dem Konstrukteur und Planer zu wenig inhaltliche und

<sup>1)</sup> Der Berliner Kreis ist ein Zusammenschluss von 26 Universitätsprofessoren. Er verfolgt das Ziel, Forschung und Lehre regelmäßig mit den Herausforderungen der Industrie abzustimmen und Unternehmen bei der Produktentwicklung methodisch zu unterstützen.

organisatorische Unterstützung, um mit den zunehmend komplexen, dynamischen und unsicheren Umfeldeinflüssen im Entwicklungs- und Planungsbereich umgehen zu können. Diese wiederum gefährden die Effizienz, sofern keine neue Art der Zusammenarbeit von Entwicklungs- und Planungsteams gefunden wird.

Neue wissenschaftliche Ansätze können jedoch nicht ohne weiteres umgesetzt werden. Durch die Verschiedenheit von Unternehmen und deren Entwicklungs- und Planungsprozesse müssen entsprechende Methoden stets „gelernt, betrieblich angepasst und (...) eingeführt werden“ (HOFMANN & BUNGARD 1995; GOUVINHAS & CORBETT 1999, S. 1167ff; MEERKAMM 1998, S. 3ff; PAHL & BEITZ 1997). ZANKER (1999) UND RITZÉN ET AL. (1999, S. 793ff) sehen die Methodeneinführung als „wichtige zukünftige Aufgabe von Forschung und Wissenschaft“. EVANS (1993) unterstreicht dies mit seiner Aussage: „*The experience of many companies indicates, that the quality of the Concurrent Engineering implementation plan is more important than any other factor*“.

Die Herausforderung besteht in der methodischen Beherrschung komplexer dynamischer Entwicklungs- und Planungsprozesse unter Berücksichtigung unternehmensspezifischer Ressourcen und Randbedingungen. Gesammelte Erfahrungen müssen dabei in die Prozessgestaltung zurückfließen (EVERSHEIM ET AL. 1998, S. 429ff; GRABOWSKI & GEIGER 1997, S. 149; LINDEMANN ET AL. 1999C; MINTZBERG 1991, S. 208; REINHART & GRUNWALD 2000, S. 351ff).

**Das Ziel der vorliegenden Arbeit soll daher sein, eine Methodik und ein Werkzeug zur durchgängigen Einführung, zum Einsatz und zur Weiterentwicklung flexibler integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse zu entwerfen** (s. Abbildung 1-8).

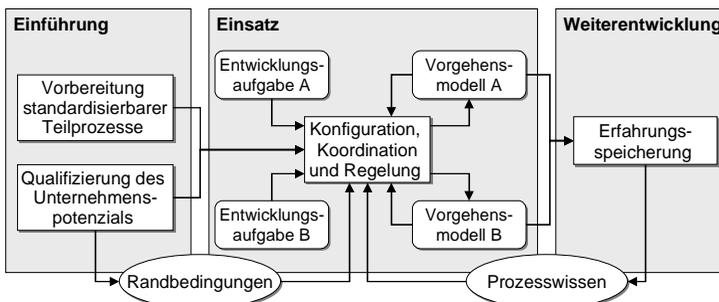


Abbildung 1-8: Einführung, Einsatz und Weiterentwicklung modellbasierter Entwicklungs- und Planungsprozesse

Diese Methodik muss aufwandsarm anwendbar sein aufgrund des häufig vorzufindenden Zeitdrucks in der industriellen Praxis (GAUSEMEIER ET AL. 2000, S. 113). Sie sollte dabei nicht nur Zeit- und Kostenaspekte, sondern auch inhaltliche Informationen berücksichtigen.

sichtigen. Ferner müsste sie vorhandene Integrationspotenziale ausschöpfen, um das eigentliche Kerngeschäft von Produktentwicklung und Montageplanung nicht durch Koordinationsaufwände zu belasten. Darüber hinaus müsste die Methodik gezielt Flexibilität und Reaktionsfähigkeit unterstützen, um der hohen Dynamik von Entwicklungs- und Planungsprozessen gerecht zu werden (EHRENSPIEL 1995, S. 8ff; EVERSHEIM ET AL. 1998, S. 429ff; GAUSEMEIER ET AL. 2000, S. 345; GRÄBLER 1999, S. 3; GRABOWSKI & GEIGER 1997, S. 56/92/150; LINDEMANN ET AL. 1999B, S. 30ff; LINDEMANN ET AL. 2000, S. 23ff; REINHART 1998A, S. 13ff; SCHUMANN 1994, S. 1; WHEELWRIGHT & CLARK 1994, S. 20).

Im Gegensatz zu konventionellen Vorgehensplänen soll unter Berücksichtigung unternehmensspezifisch vorhandener Potenziale, Randbedingungen und Prozesskenntnisse für jede Entwicklungsaufgabe ein spezifisches aber flexibles Vorgehensmodell konfiguriert werden. Damit können Produktionsunternehmen ihre Entwicklungs- und Planungsprozesse einerseits effizient, andererseits auch flexibel und reaktionsfähig gestalten.

## 1.5 Vorgehensweise

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit ist in Abbildung 1-9 dargestellt.

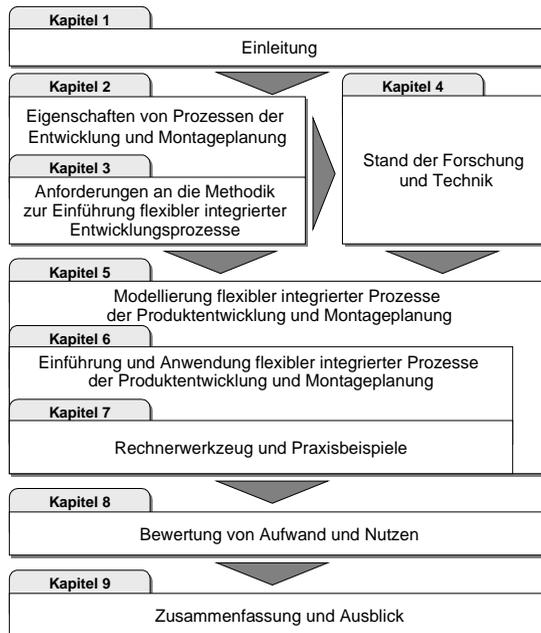


Abbildung 1-9: Überblick über die Inhalte der Arbeit

Ausgangspunkt ist mit Kapitel 1 eine Beschreibung der Umfeldsituation von Produktionsunternehmen. Daraus werden neue Anforderungen an Produktentwicklung und Montageplanung und entsprechende Problembereiche konventioneller Entwicklungs- und Planungsprozesse abgeleitet.

Aufbauend auf der erläuterten Aufgabenstellung und Zielsetzung der Arbeit werden in Kapitel 2 zunächst die wesentlichen Begrifflichkeiten definiert. Anschließend werden die Eigenschaften von Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozessen diskutiert, daraus die derzeit bestehenden Methodendefizite und der Handlungsbedarf abgeleitet.

Kapitel 3 beschreibt die daraus abgeleiteten Anforderungen an die Methodik zur Einführung integrierter flexibler Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse.

In Kapitel 4 wird auf bestehende Lösungen der Forschung eingegangen. Dazu werden die für die Arbeit grundlegende Ansätze aus den Bereichen Produktentwicklungs- und Montageplanungsmethodik, Simultaneous und Concurrent Engineering, Integrierte Produkt- und Prozessentwicklung und montagegerechte Produktgestaltung aufgezeigt. Ferner werden spezifische Ansätze zur Modellierung, Einführung, zum Einsatz und zur Weiterentwicklung von Entwicklungs- und Planungsprozessen beschrieben und diskutiert.

Kapitel 5 stellt mit dem Prozessbaustein und den Prozess-, Werkzeug- und Kompetenzbaukästen das grundlegende neue Modell einer flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung vor.

Kapitel 6 beschreibt die Einführung und Anwendung dieses Modells. Es werden die einzelnen Schritte von der Unternehmensqualifizierung und Konfiguration unternehmens-, produkt- und anlagenspezifischer Prozesse über die Koordination und Regelung bis hin zur Weiterentwicklung der Prozesse detailliert erläutert.

In Kapitel 7 wird zum einen das entwickelte Rechnerwerkzeug *Process Design Tool PDT* zur flexiblen Konfiguration, Koordination und Steuerung integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse vorgestellt. Zum anderen beinhaltet das Kapitel die Verifizierung der Einführungs- und Anwendungsmethodik für flexible integrierte Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse anhand von Fallstudien aus unterschiedlichen industriellen Branchen.

In Kapitel 8 wird schließlich der Nutzen der entwickelten Methodik bewertet. Dazu werden zunächst die Vor- und Nachteile der Methodik gegenübergestellt und anschließend eine qualitative und quantitative Abschätzung vorgenommen.

In Kapitel 9 werden zum Abschluss die Kerninhalte der Arbeit in einer Zusammenfassung dargestellt und ein Ausblick auf weiterführende Forschungsgebiete gegeben.

## 2 Entwicklungsprozesse für Produkte und Montageanlagen

In diesem Kapitel sollen die Grundlagen der Arbeit erörtert werden. Im Hinblick auf die übergreifende Zielsetzung der Arbeit, eine Methodik und ein Werkzeug zur durchgängigen Einführung und zum Einsatz flexibler integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse zu entwerfen, ist zunächst eine Begriffsdefinition notwendig.

Darauf aufbauend werden Eigenschaften aktueller industrieller Entwicklungs- und Planungsprozesse analysiert. Abgeschlossen wird das Kapitel mit einer Zusammenfassung der derzeit bestehenden Defizite bei der Modellierung, Einführung und dem Einsatz flexibler integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse.

### 2.1 Begriffsklärung und Betrachtungsumfang

#### Definition wichtiger Begriffe:

Für eine **flexible integrierte Produktentwicklung und Montageplanung** sollen folgende Definitionen gelten:

Die **Produktentwicklung** umfasst nach BIRKHOFER (2000, S. 7.5) die "ganzheitliche Planung eines vielfältigen Einflüssen unterliegenden Produktlebens". Er spricht dabei von der Prozesskette Produktentwicklung, zu der die Phasen Produktplanung, Aufgabenklärung, Produktkonzeption, Produktentwurf sowie Produktausarbeitung gehören. SCHUMANN (1994, S. 5) definiert Produktentwicklung als den Prozess des „Gestaltens eines bezogen auf die Marktbedürfnisse geeigneten“ Erzeugnisses. Dieser Prozess „beinhaltet die Definition aller Eigenschaften des Produktes, die zur Beurteilung der an das Produkt gestellten Anforderungen (...), notwendig sind. Der Produktentwicklungsprozess benutzt zur Dokumentation des Gestaltungsfortschritts eine modellbasierte Ergebnisrepräsentation in Form eines Produktmodells“.

Die **Montageplanung** hat die Aufgabe, *Montageanlagen* und *Montageabläufe* zu entwerfen, mit denen der „Zusammenbau von Teilen oder Gruppen zu Erzeugnissen oder zu Gruppen höherer Erzeugnisebenen“ (VDI 2815 1978) möglich ist. Der *Montageablauf* wird dabei als Gesamtheit einzelner *Montagevorgänge* zur Erfüllung der Montageaufgabe verstanden. *Montagevorgänge* können Füge- und Handhabungsvorgänge, Hilfs- und Kontrollvorgänge sein (DIN 8593 1985). Die *Montageanlage* ist ein technisches System mit der Aufgabe, Baugruppen oder fertige Erzeugnisse mit bestimmten Eigenschaften zusammensetzen, wobei Einzelteile oder formlose Materialien verwendet werden (in Anlehnung an ANDREASEN ET AL. 1985).

Im Rahmen von Entwicklungs- und Planungsprozessen werden Produkte (Baugruppen, Einzelteile), Montageanlagen (Betriebsmittel) und Montageabläufe (Einzelprozesse) entworfen. Diese Objekte werden als **Gestaltungsobjekte** bezeichnet.

Unter dem Begriff **flexibel** wird in diesem Zusammenhang die Anpassbarkeit von Struktur und Ablauf der Entwicklungs- und Planungstätigkeiten verstanden, die auf dem Vorhandensein vorgegebener Freiheitsgrade beruht. Diese Definition entstand aus einem Abgleich und einer Aggregation ähnlicher Definitionen für den Begriff Flexibilität, die von verschiedenen Autoren gegeben werden. HEINEN (1991, S. 465) unterscheidet z.B. die technologische, zeitliche und kapazitive Anpassung. OST (1993, S. 5 u. 53) differenziert weiter in Einsatzflexibilität (qualitativ), Mengenflexibilität (quantitativ), Störungsflexibilität (Kompensation), Umbauflexibilität (strukturell) und Integrationsflexibilität (Erweiterbarkeit, Offenheit).

Der Begriff **integriert** bedeutet in diesem Kontext, dass sowohl bestimmte aufbauorganisatorische Einheiten als auch zugehörige Prozesse der Produktentwicklung und Montageplanung zusammengefasst sind. *Die funktionale Trennung ist aufgehoben.* Dieser Ansatz geht über herkömmliche Definitionen der Integration im Sinne einer engen Zusammenarbeit hinaus. EVERSHEIM ET AL. (1995B) spricht z.B. von einer *integrierten* Entwicklung und Planung, wenn die „Definition des Produktes und der zugehörigen Produktion weitestgehend zeitparallel und inhaltlich aufeinander abgestimmt erfolgen“. EHRENSPIEL (1995, S. 150) definiert: „Bei der integrierten Produkterstellung arbeiten, im Gegensatz zu der konventionellen Produkterstellung, alle am Erstellungsprozess beteiligten Abteilungen und die betroffenen Spezialisten eng und unmittelbar zusammen.“

In der Arbeit werden weitere Begriffe verwendet, wie die *Modellierung*, *Einführung*, der *Einsatz* und die *Weiterentwicklung* von Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozessen. Diese Begrifflichkeiten sind von elementarer Bedeutung und daher im Folgenden erläutert.

Die **Modellierung** beschreibt den Einsatz eines Modells. Ein Modell ist nach DIN 19226 die Projektion „eines Systems oder Prozesses in ein anderes begriffliches oder gegenständliches System, das aufgrund der Anwendung bekannter Gesetzmäßigkeiten, einer Identifikation oder auch getroffener Annahmen gewonnen wird und das System oder den Prozess bezüglich ausgewählter Fragestellungen hinreichend genau“ widerspiegelt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen insbesondere Modelle des Geschäftsprozesses, der Gestaltungsobjekte und der Ressourcen in Entwicklung und Planung betrachtet werden.

Die **Einführung** beschreibt in diesem Zusammenhang zum einen die einmalige *Anpassung (Konfiguration)* generischer Prozessmodelle an die Potenziale und Randbedingungen des betrachteten Unternehmens und seiner Anwendungsfälle. Zum anderen dient die Einführung auch der *Qualifizierung* des vorhandenen Potenzials hinsichtlich der Anforderungen und Erfolgsfaktoren einer flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung.

**Einsatz und Weiterentwicklung** beschreiben, wie integrierte Entwicklungs- und Planungsprozesse flexibel konfiguriert, reaktionsschnell koordiniert und im Störungsfall zielorientiert geregelt werden können. Ferner ist im Sinne einer kontinuierlichen Verbes-

serung ein Erfahrungsrückfluss enthalten. Prozesse, deren inhaltlicher und organisatorischer Ablauf stets relativ ähnlich ist, können dazu mit Erfahrungen und Verbesserungsvorschlägen angereichert werden.

Die Begriffe **Prozess** und **Geschäftsprozess** haben ebenfalls eine hohe Relevanz für die vorliegende Arbeit und sind daher ausführlich im Abschnitt 4.1 erläutert.

**Definition des Betrachtungsumfangs:**

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Betrachtungsschwerpunkt auf Produkten und Montageanlagen liegen, die durch ihre Komplexität insbesondere in den Prozessen der Entwicklung und Planung einen überdurchschnittlichen Aufwand verursachen. Diese Prozesse sind in ihrer organisatorischen Abwicklung mit einfachen, konventionellen Methoden nicht effizient und flexibel zu beherrschen.

## **2.2 Eigenschaften von Geschäftsprozessen in Produktentwicklung und Montageplanung**

In diesem Abschnitt folgt eine Erläuterung von charakteristischen Eigenschaften der Geschäftsprozesse in Produktentwicklung und Montageplanung. Entwicklungsprojekte gelten als zunehmend unsicher, komplex und dynamisch (CLAUSING 1994; EVERSHEIM & LAUFENBERG 1995, S. 32) und damit schwer beherrschbar. Daher sollen diese Charakteristika im folgenden Abschnitt ausführlich diskutiert werden. Daraus lassen sich schließlich Problemstellung und Handlungsbedarf für die vorliegende Arbeit ableiten.

### **2.2.1 Unsicherheit in Produktentwicklung und Montageplanung**

Das erste charakteristische Merkmal ist die *Unsicherheit*. Die Unsicherheit einiger Umfeldmerkmale spiegelt sich sowohl in Produkten, Montagevorgängen und –anlagen, als auch in den gestaltenden Geschäftsprozessen wider. Beispielhaft sind im Folgenden einige Fragestellungen angeführt, die den geringen Determinierungsgrad und die hohe Entscheidungshäufigkeit im Laufe von Entwicklungsprojekten veranschaulichen.

**Produkt:**

Insbesondere bei einer Neuentwicklung ist der Determinierungsgrad des Produktes zu Projektbeginn sehr gering. Folgende Fragen sind u.a. noch zu beantworten:

- Welchen Anforderungen muss das Produkt gerecht werden?
- Welche Funktionen muss es erfüllen?
- Wie muss die Geometrie aussehen oder welcher Werkstoff sollte gewählt werden?
- Lassen sich mit neuartigen Lösungsprinzipien die geforderten Funktionen erfüllen?

### **Montagevorgang/-anlage:**

Ähnlich unbestimmt ist bei einer Neuplanung die Montageanlage:

- Welchen Anforderungen muss die Anlage gerecht werden (Systemleistung, Varianten, Stückzahlen, ...)?
- Welcher Automatisierungsgrad ist sinnvoll?
- Welche Verfahren und Betriebsmittel sollten eingesetzt werden?

### **Geschäftsprozesse:**

Diese Unsicherheit der Produkte und Anlagen überträgt sich auf die Prozesse der Entwicklung und Planung. Entwicklungsaufgaben besitzen oft keine eindeutigen Lösungen (WEBER 1998, S. 9). Sie sind kreativer Natur und haben damit ein Unsicherheitspotenzial in sich. Konsequenzen von erreichten Zwischenergebnissen, Erkenntnisständen und Entscheidungen werden oft erst deutlich später im Ablauf erkennbar.

Innovationen können zudem nicht zeitgebunden gefordert werden. Der erforderliche Innovationsgrad von Produkt und Montageanlage bedingt häufig das Konzipieren nicht ausgereifter Ideen mit geringer Erfahrungsbasis.

Daraus folgt eine inhaltliche Unsicherheit (DERICHS 1997), der durch iteratives Entwerfen und Analysieren begegnet werden kann. Dies ist aber nur begrenzt unter dem oft hohen Zeitdruck möglich (BIEMANS 1995, S. 137ff). Die erst im Laufe eines Entwicklungsprozesses zunehmende Konkretisierung der Gestaltungsobjekte führt dazu, dass oft mit unvollständigen vorläufigen Informationen gearbeitet werden muss, die eine weitere Dimension der Unsicherheit darstellen.

Diese immanente Unsicherheit der Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse muss bei der zu entwickelnden Methodik berücksichtigt werden.

## **2.2.2 Komplexität in Produktentwicklung und Montageplanung**

Ein weiteres charakteristisches Merkmal ist die *Komplexität* des Umfelds, die sich auf Produkte, Montagevorgänge und -anlagen und damit auf die Entwicklung und Planung überträgt. „Auf die Forderung der Kunden nach technischen Sonderlösungen haben Unternehmen (...) mit einer Steigerung der Produkt-, Ablauf- und Produktionssystemkomplexität reagiert“ (EVERSHEIM ET AL. 1994, S. 74; WHITNEY ET AL. 1998, S. 2). Im Folgenden sind einige Beispiele angeführt.

### **Produkt:**

Nach SCHUH & SPETH (1998, S. 157ff) können die Ursachen für die steigende Komplexität im direkten Umfeld der Produktvariantenvielfalt (Produktprogramm, Produktstruktur, Produktfolge) ausgemacht werden.

Die Sachnummern stiegen in den Unternehmen von 1975 bis 1990 um ca. 400%. Die Produktvielfalt am Beispiel der Fotokameras der Fa. LEICA ist von 1921 mit lediglich

einem Modell auf 3.600 gleichzeitig angebotenen Kameravarianten im Jahr 1992 gestiegen. Der Werkzeugmaschinenhersteller DECKEL MAHO hatte 1975 fünf Typen im Programm, 1980 waren es immerhin 10 und im Jahr 1990 schon 36 (EVERSHEIM ET AL. 1994, S. 21).

Die Komplexität im Automobilbereich ist noch eindrucksvoller. Das Fahrzeug hat sich mittlerweile zum komplexesten Konsumgut entwickelt (ca. 25.000 Einzelteile, ca. 6.000 Funktionen, ca. 700 kundenrelevante Fahrzeugeigenschaften) (KAMPHAUSEN 1998, S. 38; BRAESS 1990, S. 293ff). Aus einem Ausstattungskatalog eines Herstellers kann man bspw. aus neun grundsätzlichen Fahrzeugvarianten wählen (Motor, Getriebe, etc.) mit wiederum unterschiedlichen Ausprägungen. Multipliziert man diese mit den 14 optionalen „Kann“-Varianten in deren Ausprägungen (Nebelscheinwerfer, Schiebedächer, Klimaanlage, etc.) ergeben sich rechnerisch bis zu 9 Milliarden Fahrzeugvariationen (ROSENBERG 1996, S. 2119ff).

### **Montagevorgang/-anlage:**

Die Strategie der Kompensation von Standortnachteilen und Produktivitätssteigerung hat zu einer deutlichen Zunahme des Automatisierungsgrads und damit der Komplexität von Montageanlagen geführt (LINDERMAIER 1998, S. 1; SPUR 1996, S. 121ff).

Eine zusätzliche Anforderung aus dem turbulenten Umfeld ist die Flexibilität der Anlagen hinsichtlich Varianten und Stückzahlschwankungen (REINHART 1997, S. 185). Darüber hinaus gilt es, eine hohe Qualität der Endprodukte und Ausfallsicherheit der Anlagen bei gleichzeitig geringem Betreuungsaufwand zu realisieren (LINDERMAIER 1998, S. 2). Dabei müssen zusätzlich oft bestehende Randbedingungen wie Gebäude, Infrastruktur oder teure vorhandene Betriebsmittel berücksichtigt werden.

Aber auch die Montagevorgänge sind komplexer geworden. Hier gilt es, engste Einbau-räume („Packagedichten“) und viele Bauteil-Schnittstellen zu beherrschen (im Fahrzeug ca. 140.000 direkte Schnittstellen nach KAMPHAUSEN (1998, S. 389)).

### **Geschäftsprozesse:**

Die komplexeren Produkt- und Anlagenmodelle führen zu komplexeren Entwicklungs- und Informationsverarbeitungsprozessen (WHEELWRIGHT & CLARK 1994, S. 388ff; HORNPOSTEL 1995, S. 2ff).

In Entwicklung und Planung für ein neues Verkehrsflugzeug arbeiten bspw. mittlerweile ca. 17.000 Mitarbeiter in einem Verbund aus Hersteller, Systementwicklern, Komponentenlieferanten und Dienstleistern über einen Zeitraum von ca. 4,5 Jahren zusammen (ULRICH & EPPINGER 1995). Diese Größe von Entwicklungsorganisationen bedingt eine relativ hohe funktionsorientierte Arbeitsteiligkeit (Taylorismus). Daraus ergeben sich kleine Aufgabenabschnitte, zunehmende Schnittstellenprobleme und steigender Koordinationsbedarf (WÜTHERICH 1990, S. 178ff). Diese verschärfen sich durch die hohe Aufgabenparallelisierung aufgrund der geforderten Entwicklungszeitverkürzung (SARETZ

1993, S. 27ff). Darüber hinaus werden Entwicklungsmethoden immer komplexer und unterstützen indirekt diese Aufgabenspezialisierung (MILBERG 1991, S. 2B-14ff).

Die organisatorischen Strukturen und Abläufe sind intransparent, obwohl oft hohe inhaltliche Abhängigkeiten bestehen bei gleichzeitig getrennten Verantwortlichkeiten. Die Beschaffung aller relevanten Informationen ist schwierig, Entwickler und Planer erhalten dabei kaum inhaltliche Prozessunterstützung. Beim Zusammenführen von Wissen aus unterschiedlichen Gebieten kommt es unweigerlich zu Konflikten. Beispielsweise entstehen Konflikte zwischen Konstruktion und Produktionsplanung, da die beanspruchungsgerechte Bauteilgestaltung in vielen Fällen einer einfachen Herstellbarkeit widerspricht. Ursachen dieser Konflikte sind oft nicht die inhaltlichen Kontroversen, sondern das Zusammenfallen mit organisatorischen Grenzen und Statusdistanzen aufgrund unterschiedlicher Ausbildung oder politischer Interessen (vgl. DEMES 1997; HILTI 1997).

Diese Komplexität in den Geschäftsprozessen muss bei der Entwicklung der Methodik beachtet und beherrschbar gemacht werden.

### 2.2.3 Dynamik in Produktentwicklung und Montageplanung

Das dritte wesentliche Merkmal ist die *Dynamik* des Umfeldes, die sich wiederum auf die Produkt, Montagevorgänge und -anlagen und damit auf die Entwicklung und Planung überträgt. Im Folgenden sind hierfür Beispiele angeführt.

#### **Produkt:**

Aufgrund turbulenter Märkte ergeben sich in vielen Branchen zum einen stark schwankende Mengenbedarfe. Zum anderen ändern sich oft die Anforderungen an neue Produkte (z.B. zusätzliche Funktionen) noch während laufender Entwicklungsprojekte. Zusätzlich zwingt der Wettbewerb indirekt zur Verkürzung der Produktinnovationszeiten (z.B. von sechs auf drei Jahre in der Automobilindustrie) und es entstehen neuartige Produktkonzepte, die wiederum erst durch neue Technologien realisierbar werden.

#### **Montagevorgang/-anlage:**

Durch die hohe Abhängigkeit der Montageanlagen von Produktgestalt und –werkstoffen ergibt sich von selbst eine hohe Dynamik. Jede Produktänderung kann Konsequenzen für die Montage haben.

Auch bei der Montage spielen wechselnde Anforderungen und Randbedingungen eine große Rolle. Je nach Strategie und Produktspektrum hat die Anlage bestimmte Produktivitäts- oder Flexibilitätsanforderungen oder spezifische logistische Forderungen (z.B. „Just-in-Sequence“) zu erfüllen. Oft ändern sich diese Planungsprämissen (Stückzahlen, Varianten, etc.) mehrmals im Rahmen eines laufenden Projektes.

Darüber hinaus verkürzen sich auch in der Montage die Technologieinnovationszyklen (neue Industrieroboter oder neue Verfahren wie das Laser- oder Ultraschallschweißen).

**Geschäftsprozesse:**

Die Dauer einer Entwicklung birgt die Gefahr, dass sich die Marktbedürfnisse, die in das Pflichtenheft eingegangen sind, bis zum Produktionsanlauf bereits wieder geändert haben. Dieses Risiko ist problematisch, da die Amortisationszeit der Entwicklungs- und Planungsaufwände oft einige Jahre beträgt, wobei sich die Produktlebenszyklen zunehmend verkürzen (VON PIERER 1998; SPATH ET AL. 1998, S. 12ff). „Bezogen auf die Entwicklung äußert sich die Dynamik in Häufigkeit, Verlauf und Ausmaß von (kostenintensiven) Änderungen“ (AUTORENKOLLEKTIV 1996, S. 01ff). Auslöser sind oft unklare oder spät geänderte Anforderungen. Ferner können neue leistungsfähigere Entwicklungstechnologien (z.B. Simulationssysteme wie Virtual Reality) (REINHART ET AL. 1999D, S. 26ff) oder Entwicklungsdienstleister Dynamik erzeugen.

Unternehmensinterne Ursachen für die Dynamik sind oft neue Aufbauorganisationen oder Referenzprozesse, neue nicht-beherrschte Produktkonzepte oder Technologien, unvorhersehbare Zwischenergebnisse oder unerwartete technische Probleme. Weitere Auslöser sind inhaltliche Abhängigkeiten aufgrund der Parallelisierung von Produkt- und Montageentwicklung (ROGGATZ 1998, S. 15), eine sich ständig ändernde Wissensbasis (DERICHS 1997) und die damit verbundenen Entscheidungen. Auch können Personal- und damit Know-How-Fluktuation oder ein unerwarteter Ressourcenausfall für Dynamik sorgen. SARETZ (1993, S. 16) gibt Beispiele für entsprechende Wirkungsketten, die zu unternehmensinterner Dynamik führen (s. Abbildung 2-1).

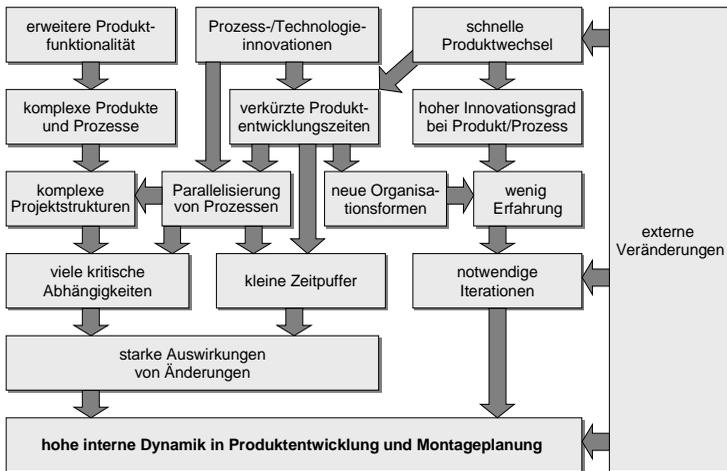


Abbildung 2-1: Entstehen interner Dynamik in Produktentwicklung und Montageplanung (in Anlehnung an SARETZ 1993, S. 16)

Diese Dynamik von Entwicklungs- und Planungsprozessen und der wirtschaftliche Zwang zu kürzeren Innovationszyklen und hochwertigen Produkten und Montageprozessen

sen haben zur Folge, dass herkömmliche, deterministische Methoden der Projektabwicklung häufig nicht mehr ausreichen (STUFFER & KLEEDÖRFER 1997, S. 42ff).

Die zu entwickelnde Methodik muss also auch die Dynamik von Entwicklungs- und Planungsprozessen kontrollier- und beherrschbar machen. Neben der Beherrschung dieser drei wesentlichen Merkmale von Entwicklungs- und Planungsprozessen *Unsicherheit*, *Komplexität* und *Dynamik* muss im Rahmen der Methodikeinführung die *Anpassbarkeit an vorhandene Potenziale und Randbedingungen* unterstützt werden.

### 2.2.4 Potenziale und Randbedingungen in Produktentwicklung und Montageplanung

Ähnlich wie bei der Planung einer Fabrik kann auch die Planung eines Entwicklungsprozesses nicht „auf der grünen Wiese“ erfolgen. Vorhandene unternehmensspezifische Potenziale, Fähigkeiten und Restriktionen sind zu berücksichtigen. Diese Leistungsstrukturen sind wiederum sehr dynamisch und laufend anzupassen, um flexible, reaktionsfähige und zugleich effiziente Entwicklungs- und Planungsprozesse zu gestalten.

Abbildung 2-2 veranschaulicht anhand ausgewählter Entwicklungsprojekte, wie unterschiedlich deren Ausprägungen, selbst auf grober Betrachtungsebene, sein können.

	Schraubendreher	In-Line Skates	Tintenstrahldrucker	Automobil	Verkehrsflugzeug
Projektmerkmale					
Anzahl unterschiedlicher Bauteile	3	35	200	10.000	130.000
Größe internes Entwicklungsteam	3 Pers.	5 Pers.	100 Pers.	850 Pers.	6.800 Pers.
Größe externes Entwicklungsteam	3 Pers.	10 Pers.	100 Pers.	1.400 Pers.	10.000 Pers.
Entwicklungsdauer	1 Jahr	2 Jahre	1,5 Jahre	3,5 Jahre	4,5 Jahre
Produktlebensdauer	40 Jahre	3 Jahre	3 Jahre	6 Jahre	30 Jahre
Entwicklungskosten	150.000 \$	750.000 \$	50 Mio. \$	1 Mrd. \$	3 Mrd. \$
Produktionsinvestition	150.000 \$	1 Mio. \$	25 Mio. \$	600 Mio. \$	3 Mrd. \$
Verkaufspreis	3 \$	200 \$	365 \$	19.000 \$	130 Mio. \$
Stückzahl pro Jahr	100.000	100.000	1,5 Mio.	250.000	50

Abbildung 2-2: Entwicklungsprojekte im Vergleich (nach ULRICH & EPPINGER 1995)

Daher kann es keinen allgemeingültigen Referenzentwicklungsprozess geben. Es muss stets eine Anpassung an die spezifischen Randbedingungen erfolgen. Im Folgenden sind daher drei Klassen von Potenzialen und Randbedingungen definiert, als sinnvolle Abstraktionsebenen für die Gestaltung von Entwicklungs- und Planungsprozessen.

- **Unternehmensspezifische Potenziale und Randbedingungen:** Dies sind die Unternehmensstrategie, die Aufbau- und Ablauforganisation, das vorhandene Personal und Know-how (inkl. Patenten), die beherrschten Entwicklungsmethoden und -werkzeuge, bestehende vertragliche Bindungen und vorhandenes Kapital.
- **Produkt-/Anlagenspezifische Potenziale und Randbedingungen:** Potenzial kann in Form von realen Produkten, Anlagen und deren Komponenten und virtuellen Modellen bestehen. Ferner ist das vorhandene Montagepersonal als Potenzial zu sehen. Als Randbedingungen gelten diesbezüglich feststehende Übernahmekomponenten, produkt-/anlagenbezogene Normen und Gesetze und vorhandene Tarifverträge.
- **Projektspezifische Potenziale und Randbedingungen:** Dies sind der Projektleistungsumfang, der Auftragsstyp, die Projektorganisation, die Projektressourcen an Personal, Entwicklungswerkzeugen, Projektbudget und -laufzeit.

Diese Potenziale können noch weiter aufgelöst werden. Das Personal kann z.B. hinsichtlich Intelligenz und Rationalität, Fakten- und Operationswissen, Kooperations- und Kommunikationsverhalten und Motivation differenziert werden (vgl. DYLLA 1990).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Entwicklungsorganisationen befähigt werden müssen, sowohl die beschriebene Komplexität, Dynamik und Unsicherheit zu beherrschen, als auch ihre spezifischen Potenziale und Randbedingungen zu nutzen.

## 2.3 Defizite und Handlungsfelder

Letztlich haben die in Abschnitt 2 beschriebenen Merkmale zur Folge, dass Entwicklungsorganisationen dem Anspruch genügen müssen, flexibel und reaktionsfähig zu sein bei gleichzeitig effizienter Ressourcennutzung. Anhand von eigenen empirischen Untersuchungen in Industrieunternehmen und Literaturrecherchen wurde deutlich, dass die meisten Unternehmen diesen Anforderungen bisher nur unzureichend gerecht werden. Im Folgenden sind anhand der Gestaltungsgrößen Personal, Organisation und Werkzeuge Indizien geschildert, die offensichtlich Ursachen dafür sind (s. Abbildung 2-3).

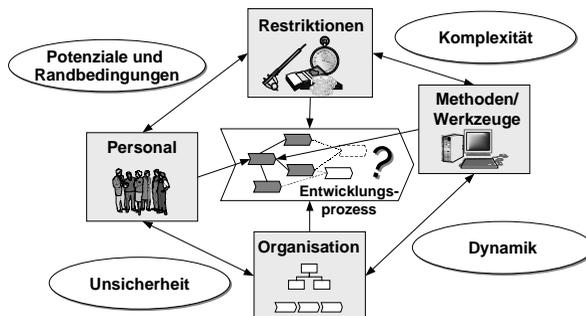


Abbildung 2-3: Determinanten der Entwicklungsprozessgestaltung

**Empirisch beobachtete Defizite im Bereich „Personal“**

Kognitive Fähigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beschränkte Beherrschung der Informationsflut komplexer Prozesse</li> <li>▪ Kaum Kontextwissen über vor- und nachgelagerte Prozesse</li> </ul>
Motivation und Disziplin	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bewusstes Verweigern von Arbeit mit unsicheren Zwischenergebnissen</li> <li>▪ Motivationsverlust bei zu häufigen Änderungen von Prozessen</li> <li>▪ Umgehen systematischer formeller Wege durch informelle Kontakte</li> </ul>
Wissen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diskrepanz zwischen Entwicklungsaufgaben und Bearbeiterqualifikation</li> <li>▪ Wissen als persönliches Eigentum („information hiding“); Abteilungsdenken („not invented here“); redundanter Aufbau von Erfahrungswissen</li> <li>▪ Wiederholfehler durch Mitarbeiterfluktuation und Vergesslichkeit</li> </ul>

**Empirisch beobachtete Defizite im Bereich „Organisation“**

Arbeits- teiligkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hohe Arbeitsteiligkeit bei mangelnder Synchronisation, die für Zeit- und Effektivitätsverluste verantwortlich sind (MILBERG 1991, S. 2b-8)</li> <li>▪ Viele Abstimmungsvorgänge zwischen verschiedenen Aufbauorganisationseinheiten und resultierende Schnittstellenverluste (HORNBOSTEL 1995, S. 9; PFEIFER ET AL. 1998, S. 21 ff); lt. SERVATIUS (1994) treten 63% aller Missverständnisse bei der Abstimmung zwischen Abteilungen auf</li> </ul>
Vorgehens- weisen und Methoden	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vorhandene Vorgehensweisen zu starr und idealisiert</li> <li>▪ Kein integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozess auf detaillierter Ebene</li> <li>▪ Unzureichende Prozessdurchgängigkeit und –standardisierung; damit mangelnde Synergien und Effizienz</li> <li>▪ Keine Unterstützung bei der Anpassung von Referenzabläufen an vorhandene unternehmens- und fallspezifische Randbedingungen</li> </ul>
Informations- und Kommu- nikationsma- nagement	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die „richtige Information ist nicht in der erforderlichen Qualität zur richtigen Zeit am richtigen Ort“ (LULLIES ET AL 1993)</li> <li>▪ Hol- bzw. Bringschuld bzgl. Informationen sind nicht geklärt</li> <li>▪ Benötigte Informationen werden über Dritte bereitgestellt, sie verlieren an Aktualität oder werden falsch interpretiert (HORNBOSTEL 1995, S. 9)</li> <li>▪ Kaum methodische Beherrschung "unscharfer" Zwischenergebnisse</li> </ul>
Koordination und Interakti- on	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mangelnde Interaktion aufgrund mangelnder Kenntnis des Kontextes</li> <li>▪ Unzureichende Weitergabe von „kundengerechten“ Informationen</li> <li>▪ Ungünstige Reihenfolge von Tätigkeiten führt zu unnötigen Änderungen</li> </ul>
Störungsbe- handlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mangelnde Flexibilität und Reaktionsfähigkeit im Entwicklungsprozess</li> <li>▪ Zunehmende Komplexität fordert längere Reaktionszeiten, die aufgrund hoher Dynamik nicht zur Verfügung stehen (BLEICHER 1996, S. 39)</li> <li>▪ Mangelnde Entscheidungsunterstützung während laufender Entwicklungsprojekte bzgl. möglicher Prozessalternativen; Intransparenz bzgl. Auswirkungen von Prozessänderungen</li> <li>▪ Priorisierungsproblematik bei begrenzten Ressourcen im Störungsfall</li> </ul>
Wissensma- nagement	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Redundanter Aufbau von Prozesswissen an verschiedenen Stellen im Unternehmen (durch komplexe Aufbau- und Ablaufstrukturen)</li> </ul>

### Empirisch beobachtete Defizite im Bereich „Werkzeuge“

Entwicklungs- / Planungs- werkzeuge	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kaum integrierte Entwicklungs- und Planungswerkzeuge, die das gemeinsame Vorgehen unterstützen würden</li> </ul>
Prozessmanagementwerkzeuge	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kein Werkzeug vorhanden, mit dem integrierte Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse flexibel und situativ geplant, umgeplant, koordiniert und gesteuert werden können</li> </ul>
Erfahrungsspeicherwerkzeuge	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geeignete Filterwerkzeuge für unternehmensspezifisch langfristig relevantes Prozesswissen fehlen (uneinheitliches Verständnis über den Wissensbegriff, Relevanz ist kontextabhängig)</li> </ul>

### Diese Beobachtungen lassen sich zu drei Handlungsfeldern aggregieren:

#### 1. Modellierung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse

Es existiert kein flexibles integriertes Produktentwicklungs- und Montageplanungs-vorgehen mit hohem Detaillierungsgrad, das eine transparente inhaltliche Unterstützung für Prozessbeteiligte der Produktentwicklung und Montageplanung bietet.

#### 2. Einführung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse

Es fehlen Kriterien und ein Vorgehen, wie das vorhandene Unternehmenspotenzial in Entwicklung und Montageplanung qualifiziert werden kann, um flexibel, reaktionsfähig und effizient zu arbeiten. Ferner mangelt es an Methoden zur systematischen unternehmens-, produkt- und anlagenspezifischen Einführung und projektspezifischen Anpassung flexibler integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse.

#### 3. Einsatz flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse

Es mangelt an Methoden und Werkzeugen zur situativen Planung, Koordination und Regelung flexibler integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse, um sie effizient abzuwickeln und unerwartete Ereignisse schnell zu verarbeiten. Ferner wird keine Weiterentwicklung von Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozessen durch gezielten Erfahrungsrückfluss gefördert.

Für diese Handlungsfelder gilt es, im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine geeignete durchgängige Methodik zu entwickeln.

In Anbetracht der Tatsache, dass für einzelne der geschilderten Probleme bereits wissenschaftliche Methoden entwickelt wurden und dennoch diese Defizite bestehen, scheint insbesondere die Einführung und Anpassung dieser Methoden ein großes Handlungsfeld darzustellen. ZANKER (1999) und RITZÉN ET AL. (1999, S. 793ff) betonen, dass der Einführung von Methoden bisher zu geringes Gewicht beigemessen wurde und sehen das Themengebiet als wichtige zukünftige Aufgabe der Forschung.



### **3 Anforderungen an die Methodik**

Wie bereits in den Kapiteln 1 und 2 beschrieben, muss die grundsätzliche Zielsetzung der Methodik sein, Flexibilität, Reaktionsfähigkeit, Transparenz und Effizienz im Entwicklungs- und Montageplanungsprozess zu fördern. Damit lassen sich die zunehmende Komplexität, Unsicherheit und Dynamik besser beherrschen. Die im Folgenden dargestellten Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik leiten sich aus dieser Zielsetzung in Verbindung mit den vorherrschenden Defiziten ab.

#### **3.1 Modellierung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse**

Ein grundlegendes Element der Methodik muss es sein, Entwicklungs- und Planungsprozesse modellhaft abzubilden. Damit lassen sich deren Wirkzusammenhänge erkennen und transparent darstellen. An das Prozessmodell werden hierzu eine Reihe von Anforderungen gerichtet:

Das Modell soll ein integriertes und detailliertes Produktentwicklungs- und Montageplanungsverfahren abbilden. Entscheidend ist dabei die Realisierung unterschiedlicher Detaillierungsgrade, die situations- und anwenderspezifische Sichtweisen zulassen.

Um das vorhandene Zeitpotenzial eines Entwicklungsprojektes optimal auszuschöpfen, soll eine möglichst große Parallelisierung der integrierten Tätigkeiten modellierbar sein. Dazu müssen sich Teilprozesse inhaltlich entkoppeln und vorläufige „unscharfe“ Zwischenergebnisse verarbeiten lassen. Um die Prozessdurchgängigkeit sicherzustellen, müssen ferner Wirkzusammenhänge zwischen Entwicklungsaufgaben abbildbar sein. Für die Beherrschung inhaltlicher Abhängigkeiten zwischen Produktentwicklung und Montageplanung müssen deren Gestaltungsobjekte, also Produkt, Montagevorgang und Montageanlage, geeignet im Prozessmodell berücksichtigt werden.

Die geforderte Flexibilität bei gleichzeitiger Effizienz bedingt ein skalierbares Verhältnis zwischen Standardisierung und Flexibilisierung der modellierten Prozesse. Schließlich muss das Modell aufwandsarm aktualisier- und anpassbar sein, da die Planbarkeit von Prozessen immer stärker abnimmt.

#### **3.2 Einführung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse**

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Methodik muss sein, im Rahmen einer systematischen Vorgehensweise das Unternehmen auf die Methodik vorzubereiten und die Prozesse an die spezifischen Potenziale und Randbedingungen anzupassen. An die Methodik zur Einführung werden daher folgende Anforderungen gestellt:

Sie muss ein systematisches Anpassen von Prozessmodellen an unternehmens-, produkt-/anlagen- und projektspezifische Ressourcen und Randbedingungen unterstützen.

Diese Randbedingungen – insbesondere das Personal – stellen wesentliche Kreativpotenziale dar, mit denen das turbulente Umfeld beherrschbar wird (s. Kapitel 1). Daher müssen deren vorhandene Fähigkeiten bestmöglich eingesetzt werden und fehlende Kompetenzen schnell in die Prozesse integrierbar sein. Der Qualifizierungs- und Anpassungsprozess müsste zyklisch wiederholbar sein, um den sich ändernden Umfeldbedingungen stets gerecht werden zu können. Ferner soll sie geeignete Qualifizierungsmaßnahmen für das Personal, die Organisation und die Entwicklungswerkzeuge bezüglich der Anforderungen einer flexiblen integrierten Entwicklung und Planung vorschlagen.

### **3.3 Einsatz und Weiterentwicklung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse**

Die Durchgängigkeit der Methodik wird sichergestellt, indem auch der Einsatz unterstützt wird. Dies schließt die Themenfelder Planung, Koordination, Regelung und Weiterentwicklung ein.

In der *Planungsmethodik* müssen die Komplexität, Dynamik und Unsicherheit von Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozessen berücksichtigt werden. Prozesse sollen nachvollziehbar und aufwandsarm geplant und situativ umgeplant werden können. Ihre Ablauffähigkeit muss stets gegeben sein. Ferner müssen sowohl eine zentrale als auch dezentrale Planung durch betroffene Mitarbeiter und wechselnde Detaillierungsgrade der Planung (z.B. für kritische Teilprozesse) vorgesehen sein. Entsprechende Synchronisationsmechanismen müssen im Falle der dezentralen Planung die Verknüpfung von Teilprozessen sicherstellen.

Eine weitere Funktion der Methodik muss die *Koordination und Regelung* integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse sein. Folgende Anforderungen müssen dazu umgesetzt werden:

Ganz wesentlich ist zunächst die Unterstützung der Informations- und Kommunikationslogistik („richtige Information zur richtigen Zeit in der richtigen Qualität am richtigen Ort“). Geeignete Interaktionsregeln müssen definiert werden, die eine verteilte Problemlösung erleichtern.

Aufgrund i.d.R. begrenzter vorhandener Ressourcen muss eine Priorisierung von Entwicklungs- und Planungsprozessen methodisch unterstützt werden. Zur Steigerung von Flexibilität und Reaktionsfähigkeit müssen Planabweichungen frühzeitig erkannt und schnell behoben werden. Hierfür ist eine Entscheidungsunterstützung vorzusehen, die durch eine Auswahlhilfe Prozess- und Ressourcenalternativen anbietet.

Letztes Element der Methodik muss die kontinuierliche *Weiterentwicklung* integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse sein. Bereits durchgeführte Teilprozesse sollen dazu als Fallbeispiele gespeichert werden, auf die jederzeit zurückgegriffen werden kann. Darüber hinaus sollen Erfahrungen, die mit einzelnen Teilprozessen im jeweiligen Kontext gemacht wurden, für eine kontinuierliche Prozessoptimierung zugänglich gemacht werden.

## 4 Stand der Forschung und Technik

Gemäß Kapitel 1.4 ist es Ziel der vorliegenden Arbeit, eine Methodik und ein Werkzeug zur durchgängigen Einführung und zum Einsatz flexibler integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse zu entwerfen.

Nach der Betrachtung vorherrschender Defizite, des Handlungsbedarfs und der abgeleiteten Anforderungen sollen nun die für die Arbeit relevanten existierenden Ansätze aus Forschung und Praxis vorgestellt werden. Dazu sind zunächst mit den Kapiteln 4.1 bis 4.5 wichtige Grundlagen beschrieben. Darauf basierend werden in den Kapiteln 4.6 bis 4.8 spezifische Ansätze zur Modellierung, Einführung und zum Einsatz modellbasierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse diskutiert (s. Abbildung 4-1).

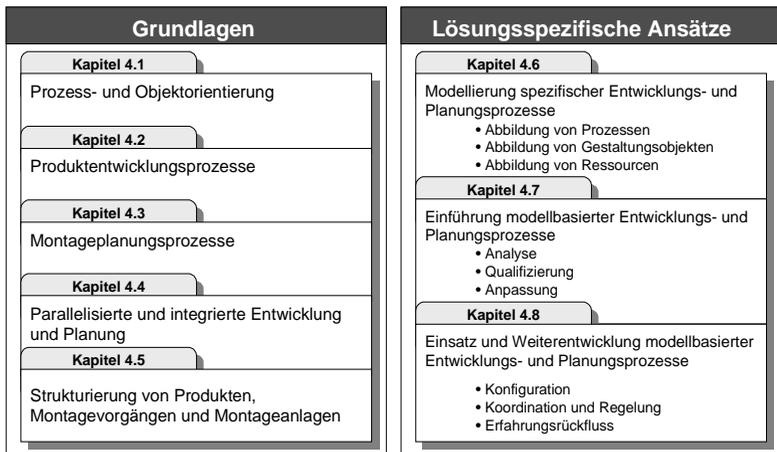


Abbildung 4-1: Relevante Themenfelder im Stand der Forschung und Technik

Abgeschlossen wird das Kapitel mit einer Zusammenfassung bestehender Defizite der Ansätze und einer Einordnung der vorliegenden Arbeit.

### 4.1 Prozess- und Objektorientierung

Zentrales Element der vorliegenden Arbeit ist ein flexibler integrierter *Prozess* der Produktentwicklung und Montageplanung. Aus diesem Grund soll zunächst das Themenfeld der *Prozessorientierung* vorgestellt werden.

Erkenntnisse der Organisationslehre haben dazu geführt, die *Kunden- und Prozessorientierung* als den wesentlichen Erfolgsfaktor von Unternehmen zu etablieren (NIPPA & PICOT 1996). Damit gewann bei der Organisationsgestaltung auch die *Objekt-/ Produktorientierung* an Bedeutung.

### Prozessorientierung

Der Begriff „Prozess“ kommt von dem lateinischen „procedere“ und bedeutet so viel wie „vorwärts schreiten“. Die DIN EN ISO 8402 definiert einen "Prozess" als einen „Satz von in Wechselbeziehungen stehenden Mitteln und Tätigkeiten, die Eingaben in Ergebnisse umgestalten“. Zu den Mitteln zählen „Personal, Einrichtungen und Anlagen, Technologie und Methodologie“. Ähnlich formuliert auch die DIN Norm 19222 einen Prozess als eine „Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System, durch die Materie, Energie oder Information umgeformt, transportiert oder auch gespeichert wird.“ Der Begriff „Geschäftsprozess“ kann als "betrieblicher Ablauf, welcher zur Leistungserstellung und -vermarktung eines Produktes oder einer Dienstleistung vollzogen werden muss," verstanden werden (GAITANIDES ET AL. 1994, S. 166). REINHART (1998C) definiert Geschäftsprozess als "logische Reihenfolge zweckbetonter Handlungen betriebswirtschaftlichen, administrativen oder technischen Inhalts zur Transformation von Material, Energie und/oder Information". Prozesse können durch geeignete Abgrenzung im Sinne der Systemtechnik in Teilprozesse untergliedert werden, an deren Schnittstellen sog. *Kunden-Lieferanten-Beziehungen* entstehen (s. Abbildung 4-2).

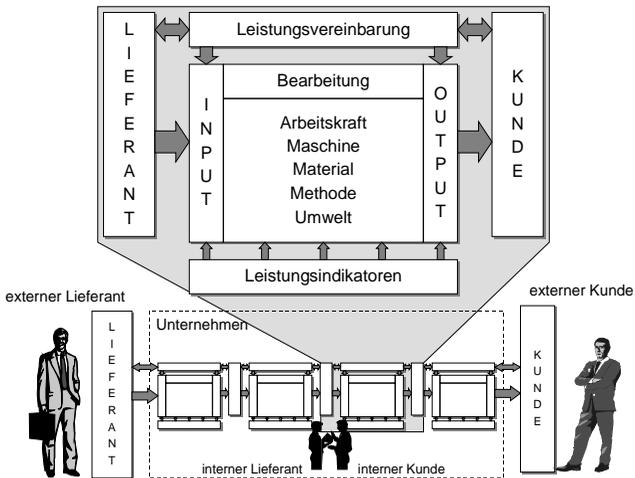


Abbildung 4-2: Grundmodell eines Prozesses zur Verdeutlichung externer und interner Kunden-Lieferanten-Beziehungen in Anlehnung an DIN 19222 (GAITANIDES ET AL. 1994, S. 23; HUMMEL 1997)

GAITANIDES ET AL. (1994) UND HUMMEL (1997) zeigen diese Schnittstellen zwischen einzelnen Teilprozessen auf. Demnach besitzen die Teilprozesse im Unternehmen analog zu den externen auch interne Kunden-Lieferanten-Beziehungen. So übernimmt jeweils der vorhergehende Teilprozess die Rolle des Lieferanten, der eine bestimmte Leistung

erfüllen muss. Der nachfolgende Teilprozess tritt dagegen als Kunde auf, der an die Leistungserbringung bestimmte Qualitätsanforderungen stellt.

HARRINGTON (1991) beschreibt das *Business Process Improvement* als einen tiefgreifenden Wandel im Unternehmen und als Ansatz, um die Konkurrenzfähigkeit eines Unternehmens zu erhalten. Er leitet die Notwendigkeit aus dem geänderten Kundenverhalten ab. Durch erhöhte Prozesstransparenz und klar definierte Abläufe soll die „Stimme des Kunden“ durch die ganze Prozesskette dringen. Die Prozesse sollen sich an den Kundenanforderungen ausrichten und nicht an der Aufbauorganisation der Unternehmen.

GAITANIDES ET AL. (1994) definieren *Prozessorientierung* als „ein Denken in inhaltlich abgeschlossenen Erfüllungsvorgängen, die in einem aus der Erstellung betrieblicher Leistungen hervorgehenden logischen Zusammenhang stehen.“ Sie fordern eine radikale Neuausrichtung des Unternehmens mit der Zielsetzung, reaktionsschnelle, flexible, schlanke, profitable, effiziente und innovative Prozesse zu ermöglichen. Sie heben ebenfalls die Kundenorientierung als Motiv für die Prozessorientierung hervor.

HAMMER & CHAMPY (1994) bezeichnen *Unternehmensprozesse* als ein „Bündel von Aktivitäten, für das ein oder mehrere unterschiedliche Inputs benötigt werden und das für den Kunden ein Ergebnis von Wert erzeugt“. Das grundlegende Paradigma von der Aufteilung der Arbeitsinhalte wird von einer prozessorientierten Denkweise abgelöst. Die damit verbundene radikale Neuausrichtung der Unternehmen führen die Autoren auf die geänderten Randbedingungen, insbesondere auf die Wandlung vom Verkäufer- zum Käufermarkt zurück.

NIPPA & PICOT (1996) beschreiben die *Kundenorientierung* sowie die unternehmensübergreifende *Betrachtung der Prozesse* als wesentlichen Unterschied zwischen den prozessorientierten Organisationsansätzen und der klassischen, aufbauorientierten Organisationslehre. PICOT ET AL. (1996, S. 202) fordern die konsequente Prozessorientierung durch Reduktion organisatorischer Schnittstellen, um Schnittstellenprobleme (Kommunikationsbarrieren, Zielkonflikte, Liegezeiten) zu vermeiden (vgl. auch EVERSHEIM 1995). Daraus ergibt sich folgender Zielkonflikt: Einerseits sollen durch Reduktion organisatorischer Schnittstellen die Reibungsverluste minimiert werden, andererseits bedingt das komplexe dynamische Umfeld von Unternehmen das Ausbilden kleiner, autonomer flexibler Organisationseinheiten. Aufgrund dieser Überlegungen hat sich Anfang der 90er Jahre neben der Prozessorientierung die *Objektorientierung* etabliert.

### **Objektorientierung**

KRALLMANN (1996) beschäftigt sich mit der objektorientierten Modellierung und Analyse von Systemen. Ausgangspunkt der Überlegungen ist die Tatsache, dass mit der funktionsorientierten Arbeitsteilung nach Taylor der Koordinations- und Einarbeitungsaufwand stark zunehmen. „Neben der langen Durchlaufzeit lassen sich die unflexiblen Reaktionsmöglichkeiten (...) sowohl bezogen auf Veränderungen des Unternehmensumfeldes als auch auf die Dynamik der Mengenströme von Objekten, welche die Organisation

durchlaufen, kritisieren. (...) Bei einer objektorientierten Organisationsform werden Aufgaben entlang der zu bearbeitenden Objekte so zusammengeführt, dass Abhängigkeiten der Bearbeitungen minimiert werden“ (KRALLMANN 1996, S. 101). Ein *Objekt* ist dabei ein Informationsträger, der einen zeitlich veränderbaren Zustand besitzt und für den definiert ist, wie er auf bestimmte Eingangsgrößen reagiert. Ein Objekt hat *Attribute*, die den aktuellen Zustand des Objektes beschreiben. Durch den Empfang von Nachrichten können Objekte ihren Zustand ändern. Probleme bereitet i.d.R. die Identifikation *geeigneter* Objekte, Attribute, Klassen und Beziehungen (KRALLMANN 1996, S. 123).

PICOT ET AL. (1996) beschreiben die *Modularisierung* als objektorientiertes Organisationsprinzip, deren Grundidee sich auch in den Konzepten der „Segmente“ oder „Fraktale“ (vgl. WARNECKE 1992, WILDEMANN 1994) widerspiegelt. Sie bedeutet die „Restrukturierung der Unternehmensorganisation auf der Basis integrierter, kundenorientierter Prozesse in relativ kleine, überschaubare Einheiten (Module)“ (PICOT ET AL. 1996, S. 201). Diese Module zeichnen sich durch dezentrale Entscheidungskompetenz und Ergebnisverantwortung aus, wobei die Koordination zwischen den Modulen verstärkt durch nicht-hierarchische Koordinationsformen erfolgt.

Der Zusammenhang zwischen Spezialisierungseffekten und Integrationseffekten ist in Abbildung 4-3 dargestellt. Daraus lässt sich der optimale Arbeitsteilungsgrad ableiten (gestrichelte Linien im Diagramm). Aufgrund der geänderten Rahmenbedingungen und des turbulenten Umfelds seit Mitte der 90er Jahre erhöhten sich nach PICOT ET AL. (1996, S. 213) die Koordinationskosten, im Gegenzug verringerte sich die Kostendegression auf Basis einer Spezialisierung (durchgezogene Linien). Die Folge ist, dass der Grad der Arbeitsteilung tendenziell sinken muss. Diese Problematik der Koordination soll durch die Weiterentwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologien entschärft werden (PICOT ET AL. 1996, S. 206).

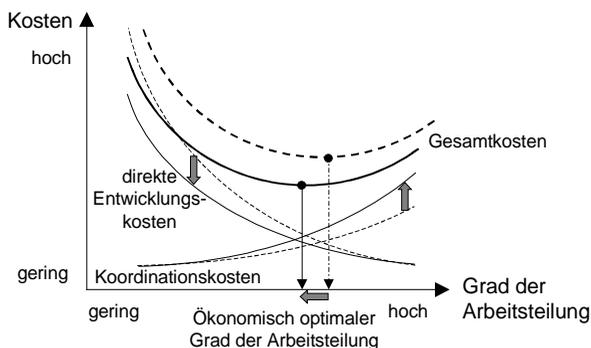


Abbildung 4-3: Kostenoptimaler Grad der Arbeitsteilung (in Anlehnung an PICOT ET AL. 1996, S. 213)

## 4.2 Produktentwicklungsprozesse

### 4.2.1 Methodische Entwicklungsvorgehensweisen

Seit Beginn der konstruktionsmethodischen Forschung war es Ziel, das Konstruieren lehrbar zu machen. Ziel war es, Konstrukteure auszubilden, die ohne lange Einarbeitungszeit selbst komplexe Konstruktionsaufgaben lösen können. Dabei entstanden mehrere Schulen (vgl. EHRENSPIEL 1985, HANSEN 1974, HUBKA 1984, KOLLER 1994, PAHL & BEITZ 1997, RODENACKER 1984, ROTH 1982), die sich 1986 auf ein einheitliches Vorgehen einigen konnten. Dies wurde in den VDI Richtlinie 2221 und 2222 fixiert (VDI RICHTLINIE 2221) (s. Abbildung 4-4 links).

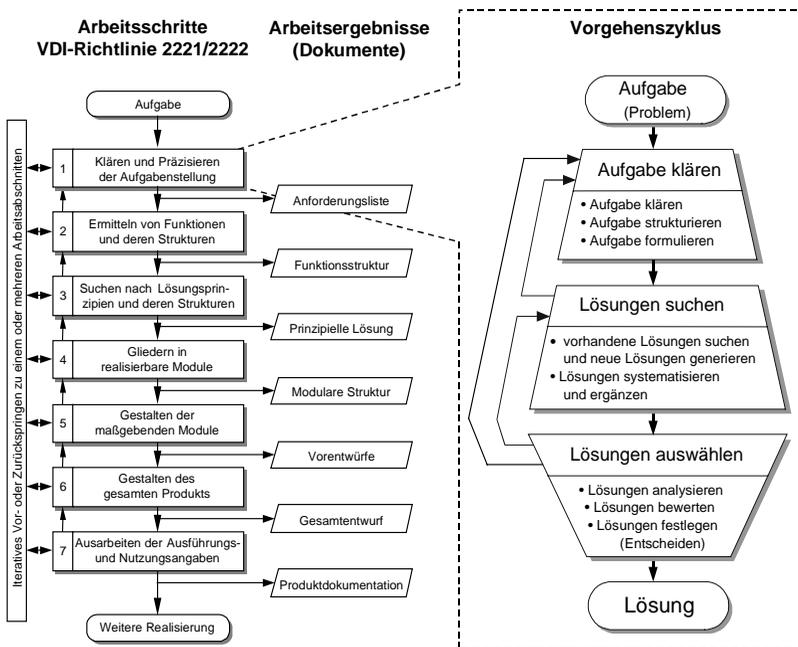


Abbildung 4-4: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI-Richtlinie 2221/2222 und der Vorgehenszyklus nach EHRENSPIEL 1995

Grundlage dieser Richtlinie ist ein Vorgehensplan, der die vier Phasen *Aufgabenklärung*, *Konzipieren*, *Entwerfen* und *Ausarbeiten* enthält. In der ersten Phase werden die Produktidee geplant und über Anforderungen, die an das Produkt gestellt werden, Informationen eingeholt. Beim Konzipieren werden die prinzipielle Funktionsweise, die physikalischen Effekte, sowie die Wirkprinzipien festgelegt. Im Rahmen des Entwerfens wer-

den die Lösungen gestaltet und die Dimensionen und Werkstoffe definiert. Die endgültigen Dimensionen und eine verbindliche Produktdokumentation werden beim Ausarbeiten erarbeitet (PAHL & BEITZ 1997). Auf detaillierter Ebene gibt der Vorgehensplan einzelne Arbeitsschritte, deren Reihenfolge, sowie einzelne Zwischenergebnisse an. Es ist dabei möglich, Rücksprünge durchzuführen oder Arbeitsschritte auszulassen.

Zur weiteren Strukturierung einzelner Arbeitsschritte kann der Vorgehenszyklus nach EHRENSPIEL (1995, S. 79) dienen (s. Abbildung 4-4 rechts). Die Basis dazu bildet der Problemlösungszyklus der Systemtechnik (vgl. DAENZER & HUBER 1994). Er strukturiert das Vorgehen beim Problemlösen in die Arbeitsschritte Aufgabe klären, Lösungen suchen und Lösungen auswählen.

PAHL & BEITZ (1997) weisen darauf hin, dass solche Vorgehenspläne operative Hauptarbeitsschritte enthalten sollen, die als Handlungsanweisung zum Arbeitsfortschritt zweckmäßig erscheinen. Diese Pläne sollen nicht als Vorschrift sondern als Empfehlung verstanden werden. Nach PAHL & BEITZ würde der Nutzen von Vorgehensplänen deutlich zunehmen, wenn diese fallspezifisch angepasst werden könnten.

SUH (1998) veröffentlichte 1990 den Ansatz des *Axiomatic Design*, der ebenfalls eine systematische Entwicklungsvorgehensweise darstellt. Grundlage für diesen Ansatz sind vier prinzipielle Abbildungsschritte, die beim Entwickeln durchlaufen werden. Aus Kundenwünschen (CA) werden Funktionen (FR) abgeleitet, diese in ein geometrisches Modell (DP) überführt, um daraus wiederum Fertigungs- und Montageprozesse (PV) zu erzeugen. Entscheidend sind bei diesem Ansatz zwei sog. *Axiome*. Das „Independence Axiom“ besagt, dass in jedem dieser Abbildungsschritte die Anzahl und gegenseitigen Abhängigkeiten der Betrachtungselemente minimal sein sollen. Das bedeutet beispielsweise, dass die aus den Kundenwünschen abgeleiteten Funktionen in einer minimalen Anzahl und unabhängig sein sollen. Das „Information Axiom“ besagt, dass ein Betrachtungselement (z.B. eine Bauteilgeometrie) den minimalen Informationsgehalt beinhalten soll. Das bedeutet, es sollte möglichst einfach und damit robust gestaltet sein.

#### **Fazit**

Die vorgestellten Ansätze und Vorgehenspläne dienen als Grundlage für eine inhaltliche Hilfestellung bei der Prozessgestaltung. Allerdings sind sie in dieser Form zu abstrakt, zu starr und idealisiert. Mit ihnen können kaum reale Entwicklungsprozesse abgebildet werden. Ferner sind kaum inhaltliche Verknüpfungen der einzelnen Arbeitsschritte beschrieben, insbesondere fehlt eine Vernetzung zu Tätigkeiten der Montageplanung.

### **4.2.2 Entwicklungsmethoden und -werkzeuge**

Entwicklungsmethoden und -werkzeuge haben mittlerweile maßgeblichen Einfluss auf die Flexibilität, Reaktionsfähigkeit und Effizienz des Entwicklungsprozesses gewonnen (vgl. PAHL & BEITZ 1997, S. 689). Daher soll in diesem Abschnitt ein Überblick zum aktuellen Stand der Technik gegeben werden.

Unter *sachgebundenen Entwicklungsmethoden* werden einzelne Techniken und Vorgehensweisen verstanden werden, die einen klaren Fokus haben und systematisch die Lösung eines Teilproblems im Rahmen eines Entwicklungsprozesses unterstützen (in Anlehnung an EHRENSPIEL 1995, S. 284).

Beispiele für Methoden sind:

- *Aufgabe klären*: z.B. Benchmarking, Konkurrenzproduktanalyse oder QFD
- *Lösungen suchen und darstellen*: z.B. Kreativitätstechniken, Variation der Wirkstruktur, Morphologischer Kasten, Modellierung (CAD), TRIZ
- *Lösungen analysieren und auswählen*: ABC-Analyse, Conjoint-Analyse, Nutzwert-Analyse, FMEA (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse), FBA (Fehlerbaumanalyse), FEM-Simulation (Finite Elemente Methode), MKS-Simulation (Mehrkörpersysteme) oder ein Prototypen-Versuch

Unter *sachgebundenen Entwicklungswerkzeugen* werden konkrete Hilfsmittel und Rechnersysteme verstanden, die diese Methoden abbilden.

„Gerade wettbewerbsorientiertes Arbeiten verlangt von einer Unternehmensorganisation eine Prozessorientierung mit einem hohen Grad an Flexibilität und Anpassungsfähigkeit, die wiederum in steigendem Maß durch Informationssysteme bestimmt werden. (...) Die vielfältige Anwendung von IT (...) reicht heute von der Konstruktion der einzelnen Teile und Module mit CAD-Systemen (...) über Berechnung und Simulation von Komponenten mit CAE-Systemen (...) bis zum Aufbau eines kompletten geometrischen Fahrzeugmodells im Rechner mit einem DMU-System (Digital-Mockup)“ (SCHACHER 1999, S. 4) (vgl. auch KRAUSE 1997; S. 17ff; SPUR 1997, S. 74f).

Die zentralen Werkzeuge im modernen Entwicklungsbereich sind 3D-CAD-Systeme. Durch den Einsatz parametrischer Modelle und feature-basierter Modellierungstechniken konnten im Bereich der Geometriemodellierung bereits Aufwandsverminderungen und Flexibilitätserhöhungen erreicht werden (KRESS & LOFERER 1997, S. 46).

Die Erhöhung der Produktivität in der Entwicklung durch den Einsatz von CAD-Systemen wird von KRAUSE ET AL. (1999, S. 70) wie folgt angegeben:

- |   |        |
|---|--------|
| ■ Reduktion der Serienentwicklungszeit für ein Automobil: | 30%    |
| ■ Reduktion der Variantenentwicklungszeit:                | 33-80% |
| ■ Kostenreduktion für die Entwicklung neuer Bauteile:     | 40-50% |
| ■ Kostenreduktion durch Fehlervermeidung:                 | 20-30% |

Entscheidend ist in diesem Zusammenhang auch ein geeignetes Datenmanagement in zunehmend verteilten Entwicklungsumgebungen. Viele Unternehmen möchten eine höhere Produkt- und Prozesssicherheit bereits in frühen Entwicklungsphasen erreichen. Ein solches „Frontloading“ basiert dabei auf jeweils aktuellen Produkt- und Prozessdaten, der sog. „Digitalen Referenz“ (MÜLLER & REINDL 1999, S. 137; REINHART ET AL. 1997A, S. 22ff). Diese enthält *alle produkt- und prozessbeschreibenden Daten während*

*des gesamten Produktentstehungsprozesses in definierter Qualität und der erforderlichen Reife zu vereinbarten Zeitpunkten in allen Varianten, Betriebs- und Prozesszuständen.* Die physikalische Speicherung und Verwaltung der Digitalen Referenz übernehmen moderne PDM-Systeme, die z.T. sogar internetbasierten Zugriff erlauben (REINHART & LOFERER 1996; RIECKMANN & LANGE 1999, S. 96).

### **Fazit**

Entwicklungsmethoden und –werkzeuge spielen eine zunehmende Rolle in modernen Entwicklungsprozessen. Die zu entwickelnde Methodik muss daher eine geeignete Methodeneinbindung in die Prozesse vorsehen.

## **4.3 Montageplanungsprozesse**

### **4.3.1 Methodische Montageplanungsvorgehensweisen**

Nachdem ein Überblick über Aspekte der Produktentwicklung gegeben wurde, erfolgt nun die Darstellung von Montageplanungsansätzen. Die Montageplanung hat die Aufgabe, ausgehend von einem Montageproblem ein System zu entwickeln, mit dem es unter den gegebenen Bedingungen möglich ist, Einzelteile oder Baugruppen zusammenzuführen (SCHÄFER 1992, S.10; KONOLD & REGER 1997, S. 1). Zur Bearbeitung dieser globalen Aufgabe werden in der Literatur vielfältige Vorgehensweisen vorgestellt, die dem Planer Teilaufgaben und deren zeitliche Bearbeitungsreihenfolge vorgeben (z.B. BULLINGER 1986; KONOLD & REGER 1997).

Funktional lassen sich diese Teilaufgaben zusammenfassen in die vier Bereiche:

- Analyse von Produkt und Randbedingungen,
- Grob- und Feinplanung des Montageablaufs,
- Anordnung, Konfiguration, Auswahl und Detaillierung von Betriebsmitteln,
- sowie kontinuierliche Lösungsbewertung und -auswahl.

Ein etwas detaillierteres Vorgehen ist in Abbildung 4-5 dargestellt.

Die Analyse von Produkt und Randbedingungen beinhaltet die Formulierung der Ausgangssituation, der Produktmerkmale, der Produktionsdaten sowie das Ermitteln der Planungsziele (LOTTER 1992, S. 360ff; BULLINGER 1986, S. 59ff).

Zur Grob- und Feinplanung des Montageablaufs zählen der Entwurf des Montagevorranggraphs (z.B. nach AMMER 1985; BRUNNER 1990; KONOLD & REGER 1997, S. 29) und des Funktionsplans auf Basis der Produkttopologie (BULLINGER 1986, S. 271), die Prozessanalyse in unterschiedlichen Detaillierungsgraden (SCHUSTER 1992), der Entwurf von Prinziplösungen für die Teilfunktionen (BULLINGER 1986, S. 271), die Prüfplanung nach KRING (1989) sowie die Kapazitätsteilung und Festlegung der Arbeitsinhalte (GROB & HAFFNER 1982, S. 64; KONOLD & REGER 1997, S. 29ff; MERZ 1987).

Die Anordnung, Konfiguration, Detaillierung und Auswahl von Betriebsmitteln umfasst das Umsetzungskonzept für die Arbeitsinhalte und die Zuordnung von Funktionsträgern (z.B. nach SELIGER 1988, S. 45ff), die zugehörige Strukturbildung und Layoutplanung inklusive der Organisation des Materialflusses (BULLINGER 1986, S. 277ff; ROßGODERER & WOENCKHAUS 1995, S. 800ff) sowie die Auswahl und Konstruktion der technischen Einrichtungen.

Die kontinuierliche Lösungsbewertung und -auswahl kann in allen Planungsphasen erfolgen und umfasst z.B. die unterschiedlichen Verfahren der Investitionsrechnung, Taktzeitabschätzungen oder die Ermittlung der Verfügbarkeit mittels der Ablaufsimulation (SCHMIDT 1992; ABELS 1993; KONOLD & REGER 1997; LINNER ET AL. 1999, S. 189ff).

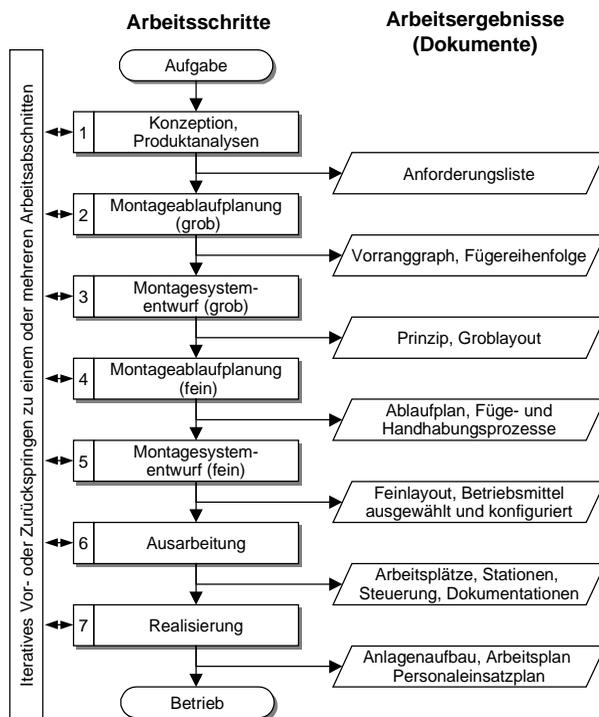


Abbildung 4-5: Prinzipielles Vorgehen bei der Montageplanung (nach BULLINGER 1986; FELDMANN 1996; GROB & HAFFNER 1982; KONOLD & REGER 1997; LOTTER 1992; SCHUSTER 1992)

Eine Reihe von Autoren haben die Verbesserung bestimmter Eigenschaften von Montagesystemen zum Ziel. Eine kleine Auswahl ist im folgenden Abschnitt beschrieben.

LINDERMAIER (1998) stellt z.B. eine Methodik zur *Qualitätsorientierten Entwicklung von Montagesystemen* vor. Ziel ist es, durch den gezielten Einsatz von Qualitätsmanagementmethoden die Produkt- und Systemeigenschaften (Ausbringung, Verfügbarkeit, Betriebsaufwand) automatisierter Montagesysteme zu verbessern. Dazu wurde ein Phasenmodell entwickelt, das von der Modulkonzeption bis zur -optimierung den Lebenszyklus der Montagesysteme durch qualitätssichernde Arbeitsschritte begleitet.

REINHART ET AL. (1999D) stellen einen Ansatz für eine *stückzahlflexible Montage* vor, um turbulente Absatzänderungen sicher zu beherrschen. Dafür wurde eine erweiterte Planungsvorgehensweise entwickelt, die auf den Planungsphasen herkömmlicher Vorgehensweisen aufbaut und diese um Aspekte der Flexibilitätsintegration ergänzt. Sie unterscheiden die Phasen Planungsvorbereitung, Flexibilitätsplanung, Grobplanung, Feinplanung, Realisierung und Betrieb.

SPATH ET AL. (1999) stellen einen Ansatz zur Planung einer *bevorratungsarmen Montage in hybriden Montagesystemen* vor. Charakteristisches Merkmal ist dabei die geeignete Kombination von manueller und automatisierter Montage, um zum einen die erforderliche Flexibilität, zum anderen aber die notwendige Produktivität zu gewährleisten.

#### **Fazit**

Die vorgestellten Ansätze und Vorgehensweisen der Montageplanung dienen, ähnlich denen der Produktentwicklung, als Grundlage für die inhaltliche Hilfestellung bei der Prozessgestaltung. Allerdings sind auch sie zu abstrakt, zu starr und idealisiert. Ferner sind kaum inhaltliche Verknüpfungen der einzelnen Arbeitsschritte beschrieben, insbesondere fehlt eine Vernetzung zu Tätigkeiten der Produktentwicklung.

### **4.3.2 Montageplanungsmethoden und -werkzeuge**

Die in Abschnitt 4.2.2 erläuterten *sachgebundenen Methoden* lassen sich größtenteils auch für die Planung eines Montagesystems einsetzen, wenn dieses als „Produkt“ betrachtet wird. Ergänzend wurden aber auch für die Montageplanung eigene Methoden und Werkzeuge entwickelt. Einige davon sind im Folgenden charakterisiert.

Aufbauend auf einer digitalen Abbildung und Absicherung der Produkte setzen die Werkzeuge des CAPE (Computer Aided Production Engineering) oder DMF (Digital Manufacturing) auf eine digitale Planung und Absicherung von Montage- und Kundendienstprozessen bis hin zur Layoutplanung und logistischen Simulation der gesamten Fabrik mittels der Ablaufsimulation (LINNER ET AL. 1999, S. 189ff).

Darüber hinaus wurden für die Montageplanung eine Reihe von Informationsbereitstellungsmethoden erarbeitet. Zur Bearbeitung der Teilaufgaben in der konventionellen Montageplanung benötigt der Planer eine umfangreiche Menge an Informationen. Diese Informationen beziehen sich auf das Produkt und die zugehörigen Produktionsdaten wie Prozess und Betriebsmittel (BULLINGER 1986, S. 58ff).

SCHOLZ (1989) stellt beispielsweise ein Montagemodell vor, das aus einem Strukturmodell, einem physikalischen, technologischen und geometrischen Modell besteht. Produktbezogene Geometrie- und Topologieinformationen sind die Basis seines Montagevorgangs. Zusätzliche technologische Informationen über Betriebsmittel, Stationen und Puffer fließen im Rahmen des Modells in die Layoutplanung, die Bewegungs- und Ablaufsimulation sowie die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ein.

Diese vorrangig geometrischen und funktionalen Informationen bilden auch in weiteren Arbeiten die Grunddaten der Montageplanung (vgl. DEUTSCHLÄNDER 1989; GANGHOFF 1993; SCHÄFER 1992; SCHMIDT & GANGHOFF 1991; SCHUSTER 1992).

FELDMANN (1996) konzipiert ein Datenschema für die durchgängig rechnergestützte Montageplanung. Dabei wird neben einem Produkt- und Betriebsmittelmodell auch ein Prozessmodell zur Ablaufbeschreibung in Form eines Petri-Netzes definiert. Datentechnisch bestehen die Prozesse aus Stellen und Transitionen und erhalten Attribute, wie die Zeitdauer, die während einer Stelle im Schnitt verstreicht (FELDMANN 1996, S. 96). Die Arbeiten von FELDMANN wurden von CUIPER (2000) weitergeführt und prototypisch im Rechnerwerkzeug CosMonAut umgesetzt.

### **Fazit**

Montageplanungswerkzeuge spielen ebenso wie Werkzeuge der Produktentwicklung eine zunehmende Rolle in modernen Planungsprozessen. Sie helfen, die Prozesse effizienter zu gestalten und zu beschleunigen. Die zu entwickelnde Methodik muss daher eine geeignete Einbindung der Werkzeuge in die Prozesse vorsehen.

## **4.4 Parallelierte und integrierte Produktentwicklungs- und Produktionsplanungsprozesse**

### **4.4.1 Parallelierte Entwicklung und Planung**

Im Folgenden sind Ansätze beschrieben, die alle eine Parallelierung von Entwicklung und Planung zum Ziel haben. Sie sind teilweise sehr ähnlich, jedoch unter verschiedenen Begriffen geführt.

#### **Simultaneous Engineering**

Simultaneous Engineering (SE) galt als der bestimmende Entwicklungsansatz in den 90er Jahren. ALLEN (1990) beschreibt Simultaneous Engineering als „*designing the product and the process to manufacture at the same time*“. Mit dem Ziel der Entwicklungszeitreduzierung gewann die Methode des SE immer größere Bedeutung. Der Beschleunigungseffekt soll vorrangig durch eine parallele und zeitgleiche Abarbeitung von Tätigkeiten zur Produkt- und Produktionsmittelkonzeption erreicht werden (EVERSHEIM ET AL. 1989, S. 2ff). Nach DAENZER & HUBER (1994, S. 69) erfordert dies ein Überdenken der traditionellen Ablauflogik, in der voneinander unabhängige, zeitkritische Teilschritte

identifiziert und parallel durchgeführt werden. Vielmehr ist ein ganzheitlicher Arbeitsansatz anzustreben, in dem die später betroffenen Fachbereiche möglichst frühzeitig in den Entwicklungsprozess eingebunden werden.

SCHUSTER (1992) stellt im Rahmen seiner Arbeiten zum *Planungssystem für die automatisierte Montage* einen kombinierten Vorgehensplan für die Produkt- und Montageanlagenerstellung vor. Dieser sieht vor, folgende Tätigkeiten zu parallelisieren:

- Aufgabenklärung für Produkt und Anforderungsdefinition für die Montage
- Produktstrukturierung, Produktkonzept und Montageprozessplanung
- Produktentwurf/-berechnung und Montagesystemplanung (grob)
- Ausarbeitung/Detailoptimierung des Produkts und Montagesystemplanung (fein)

SARETZ (1993) beschreibt im Kontext von SE eine Methodik zur Parallelisierung von Planungsabläufen, um Entwicklungszeiten zu verkürzen. Er unterscheidet dabei Einzelaufgaben, Sach- bzw. Fachaufgaben und Routineaufgaben, für die ein optimierter parallelisierter Soll-Prozess methodisch erarbeitet wird. Grundlage der Methodik ist der sog. produktneutrale Entwicklungsplan (PNEP). Dieser ermöglicht eine prozessorientierte Modellierung von Planungsabläufen auf Basis einer Erweiterung der Netzplantechnik um die Abbildung von Iterationen und Datenflüssen.

Ein verbreitetes Hilfsmittel zur Strukturierung von Entwicklungs- und Planungsabläufen ist die Design-Structure-Matrix (DSM). Sie wurde von EPPINGER ET AL. (1990) und im Rahmen des SFB 361 „Modelle und Methoden zur integrierten Produkt- und Prozessgestaltung“ weiterentwickelt und auf die Ablaufplanung von Entwicklungsprojekten angepasst (EPPINGER ET AL. 1990; EVERSHEIM 1998; GRÄBLER 1999). In der DSM, einer quadratischen Aktivitäten-Aktivitäten-Matrix, werden Abhängigkeiten von Aktivitäten dargestellt und durch geeignete Umsortierungsalgorithmen die optimale Reihenfolge der Durchführung (sequentiell, parallel und iterativ) ermittelt.

GÖTZE (1995) entwarf ein Modell für den Prozess der simultanen Produktentwicklung. Das Modell hat zum Ziel, die inneren Zusammenhänge der Produktentwicklung im Team zu erklären, Prinzipien für deren effiziente Organisation abzuleiten und Unterstützungsmöglichkeiten durch die technische Informationsverarbeitung aufzuzeigen.

### **Concurrent Engineering**

Der Begriff *Concurrent Engineering* (CE) wurde 1986 durch das American Institute for Defence Analysis (IDA) als Antwort auf die Einführung des Computer Integrated Manufacturing (CIM) in Europa geprägt (PENNEL ET AL. 1989, S. 88ff). 1988 entstand das Concurrent Engineering Research Center (CERN) mit dem Ziel, die Entwicklung von EDV-Systemen zur Unterstützung der Produktentstehung zu initiieren und zu leiten, sowie den Gedanken des CE zu verbreiten.

BULLINGER (1996) beschreibt unter dem Begriff *Concurrent Engineering* die Strategien Parallelisierung, Standardisierung und Integration von Prozessen. Die Parallelisierung

soll eine Zeitverkürzung bewirken, die Standardisierung zielt insbesondere auf gut determinierbare Teilprozesse mit hohem Routineanteil ab. Die Integration bezieht sich hauptsächlich auf die Organisation der Prozessbeteiligten in Teams mit einem abgestimmten einheitlichen Zielsystem.

CLAUSING (1994), WHEELWRIGHT & CLARK (1994, S. 237), ULRICH & EPPINGER (1995, S. 3-4 und S. 14-18) und GÖPFERT (1998, S. 66) haben idealtypische Aufgabeninhalte von Concurrent Engineering als eine parallelierte Marktbearbeitung, Produkt- und Prozessentwicklung beschrieben (s. Abbildung 4-6). Sie zeigen auf, welche Tätigkeiten dieser Disziplinen parallel bearbeitet werden können.

	Konzeptentwicklung	Systementwicklung	Detailentwicklung	Test & Optimierung	Produktion
Marktbearbeitung	Produktanforderungen formulieren, Wettbewerbsanalysen Zielkunden definieren	Planung von Produktsortiment und -varianten	Evaluierung erster Prototypen mit Kunden	Feldtest der Prototypen	Distributionskanäle bedienen, Verkaufsförderung, Zusammenarbeit mit Zielkunden
Produktentwicklung	Alternative Produktkonzepte entwickeln, evaluieren, auswählen, Modellbau/Simulation	Definition der Produktarchitektur, Festlegung der Hauptkomponenten und Schnittstellen	Detailkonstruktion, Definition von Geometrie, Material, Toleranzen, Dokumentation	Herstellung, Evaluierung und Optimierung der Prototypen und Vorserienmodelle	Evaluierung der Erstproduktion durch Kundenfeedback
Prozessentwicklung	Bewerten der Produktkonzepte (v.a. Produktionskosten), Prozesskonzepte entwickeln	Entwicklung des Fertigungs- und Montageprozesses, Kostenplanung	Detaillierte Prozessgestaltung Entwurf und Bau von Produktionswerkzeugen, Herstellung erster Prototypen	Testen der Werkzeuge u. Anlagen, Prototypenbau, Prozesse optimieren, Anlaufvorbereitung	An- und Hochlauf der Produktionsanlagen, Sicherstellen der Zeit-, Qualitäts- und Kostenziele

Abbildung 4-6: Aufgabeninhalte einer parallelen Marktbearbeitung, Produkt- und Prozessentwicklung (vgl. ULRICH & EPPINGER 1995, S. 3-4 und S. 14-18; WHEELWRIGHT & CLARK 1994, S. 237; GÖPFERT 1998, S. 66)

Eine Reihe von Autoren im angelsächsischen Raum sprechen im Zusammenhang mit der Parallelisierung von Entwicklungstätigkeiten von „**Overlapping Activities**“, also dem zeitlichen Überlappen (BARCLAY & POOLTON 1994; CLARK & FUJIMOTO 1991; DICESARE 1993; EPPINGER & WHITNEY 1997; NEVINS & WHITNEY 1989; WARD & LIKER & CRISTIANO & SOBEK 1995).

Ein Ansatz von TERWIESCH & LOCH (1998 / 1999) hat zum Ziel, den optimalen Überlappungsgrad zu bestimmen. Wenn Prozesse parallelisiert werden, ergibt sich das Problem, dass nur vorläufige Ergebnisse aus dem vorgelagerten Prozess vorliegen, wenn mit dem nachfolgenden Prozess begonnen wird (PRASAD 1996). Damit ist das implizite Risiko verbunden, dass mit Änderungen dieser vorläufigen Ergebnisse eine erneute Überarbeitung des nachfolgenden Prozesses verbunden ist. Es hängt daher einerseits von der voraussichtlichen Änderungswahrscheinlichkeit der Vorgängerergebnisse und andererseits von den Auswirkungen einer solchen Veränderung auf den nachgelagerten Prozess

ab, inwieweit eine Parallelisierung sinnvoll ist (vgl. KRISHNAN & EPPINGER & WHITNEY 1997, S. 438-443). Voraussetzung ist auch, dass der vorgelagerte Prozessbearbeiter bereit ist, vorläufige „unreife“ Informationen zur Verfügung zu stellen.

Das **Rapid Product Development (RPD)** wurde von BULLINGER ET AL. (1996) eingeführt. Es umfasst sowohl informationstechnische als auch aufbau- und ablauforganisatorische Aspekte. Eine frühzeitige intensive Kommunikation sowie eine verstärkte Prozessorientierung soll durch Computer Supported Cooperative Work (CSCW) ermöglicht werden. RPD wird als ganzheitlicher Ansatz gesehen, der eine große Anzahl kurzer Iterationsschleifen bedarf, um so eine evolutionäre Entwicklung zu ermöglichen.

### **Fazit**

Die vorgestellten Methoden zur Parallelisierung von Produktentwicklung und Montageplanung dienen als Grundlage für die vorliegende Arbeit. Diese Ansätze führten bereits zu nachhaltigen Verbesserungen industrieller Entwicklungsorganisationen und –prozesse. Nun scheint deren Potenzial weitgehend ausgereizt. Die nach wie vor vorhandene Arbeitsteilung verhindert das Erzielen eines Gesamtoptimums von Produkt, Montagevorgang und Montageanlage (REINHART 1998A).

### **4.4.2 Integrierte Entwicklung und Planung**

Im Folgenden sind Ansätze dargestellt, die über die Parallelisierung hinausgehen und eine organisatorische Integration von Entwicklung und Planung anstreben.

Unternehmen können als komplexe dynamische sozio-technische Systeme gesehen werden, die aus vielen vernetzten und sich dynamisch ändernden Elementen (z.B. Organisationseinheiten oder Mitarbeitern) bestehen. Zudem existieren viele Wechselwirkungen nach außen (zu Kunden, Wettbewerbern und Zulieferern), die sich ihrerseits wieder vernetzt und dynamisch verhalten. Will man dieses Gesamtsystem verbessern, muss es in seiner Gesamtheit betrachtet werden. Deshalb vollzieht sich in Unternehmen ein Wandel von der arbeitsteiligen zur integrierten Betrachtung und Vorgehensweise. ANDREASEN & HAIN (1987) beschreiben die Notwendigkeit der Integration verschiedener Unternehmensbereiche, Zielsysteme, Hierarchieebenen, Projekte und Tätigkeiten.

BARTHELMEB (1987) entwickelte bereits 1987 einen Ansatz des *Montagegerechten Konstruierens durch die Integration von Produkt- und Montageprozessgestaltung*. Ausgangspunkt waren dabei Überlegungen, dass die bis dato entwickelten Richtlinienwerke zum montagegerechten Gestalten nicht praxistauglich waren. Er postuliert, dass bei der Konstruktion meist integrativ auch der Montageprozess und die Montageanlage betrachtet und u.U. mit entworfen werden müssen. Als Ausblick fordert er, dass sich die betrieblichen Organisationsstrukturen entsprechend anpassen müssen.

LINNER (1995) entwickelte ein Konzept für die integrierte Produktentwicklung auf Basis einer Erweiterung des Produktmodells um sog. Freiräume, die eine Unschärfe geometri-

scher Merkmale zulassen. Darauf aufbauend werden aufbau- und ablauforganisatorische Aspekte abgeleitet, die primär den Bereich des Projektmanagements sowie die frühzeitige Einbindung aller an der Produktentwicklung Beteiligten betreffen.

EHRLENSPIEL (1995) unterscheidet die personelle, informatorische und organisatorische Integration. Er begründet den Integrationsbedarf über den Informationsfluss, der notwendig ist, um die richtigen Informationen zur rechten Zeit zur Verfügung zu stellen. Dieser Informationsfluss wird benötigt, da zu Beginn des Entwicklungsprozesses die Produkteigenschaften zwar gut beeinflussbar aber nur schwer erkennbar sind. EHRLENSPIEL schlägt dafür seine Methodik der „Integrierenden Produkterstellung“ vor. Sie ergibt sich aus den Handlungs- und Zielsystemen der Unternehmensbereiche und des Kunden, sowie aus den Sachsystemen Produkt und Produktion. Als Elemente der Methodik sieht er z.B. das sog. TOTE-Schema, das die unbewussten Denkvorgänge regelkreisartig beschreibt, den Vorgehenszyklus als Struktur für das bewusste methodische Vorgehen, sowie die Vorgehenspläne zur Strukturierung größerer Projekte. Die Organisation der Zusammenarbeit ist das letzte wesentliche Element der Methodik.

FELDMANN (1996) und REINHART ET AL. (1997B) schlagen einen Vorgehensplan und ein daraus abgeleitetes Schichtenmodell vor, um die Zusammenarbeit von Konstrukteur und Montageplaner zu definieren (s. Abbildung 4-7).

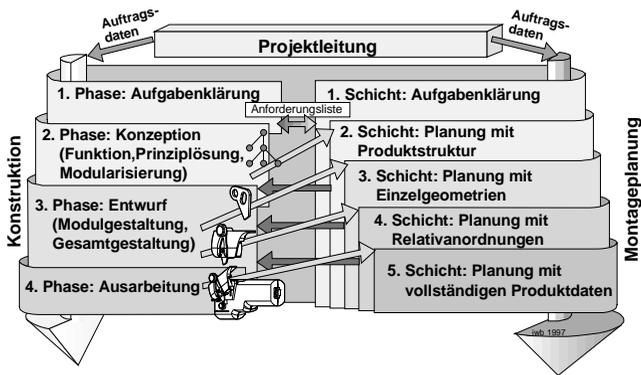


Abbildung 4-7: Verzahnung von Konstruktion und Montageplanung (FELDMANN 1996)

Die Abstimmungen orientieren sich daher an den Arbeitsergebnissen, die in den vier Konstruktionsphasen erarbeitet werden (z.B. Produktstruktur oder Einzelteilgeometrien) und notwendige Eingangsinformationen für die Planungsaufgaben der jeweiligen Schicht darstellen. Daraus ergibt sich ein eindeutiger Startertermin für die Planungsaufgaben. Das Ende einer Aufgabe kann dagegen nicht definiert werden, da jede Planungsaufgabe für unterschiedliche Bauteile, Anlagenvarianten und Detaillierungsgrade mehrfach wiederholt wird (FELDMANN 1996).

BOCHTLER (1996) beschreibt eine modellbasierte *Methodik für eine integrierte Konstruktion und Arbeitsplanung*, ausgehend von dem Konzept einer rollierenden Planung und Ausführung. Die ablaufbestimmenden Elemente in Konstruktion und Arbeitsplanung werden anhand eines Referenzmodells abgebildet. Kernelemente des Referenzmodells sind Informationen, Aktivitäten, integrierende Methoden und technische Systeme. Informationen, Aktivitäten und integrierende Methoden sind dabei in Partialmodellen abgebildet und über Basismatrizen verknüpft. Aufbauend auf dem Referenzmodell und den Basismatrizen entwickelt er matrizenbasierte Planungsmethoden. Erzeugt werden dabei aggregierte Matrizen, anhand derer ablaufbezogene Abstimmungspunkte und integrierende Methoden bestimmt werden können.

LINDEMANN & KLEEDÖRFER (1997) erweitern die Elemente der integrierten Produktentwicklung nach EHRENSPIEL (1995) um das Projekt- und Kostenmanagement sowie rechnergestützte Werkzeuge und weisen auf die besondere Bedeutung des Menschen innerhalb von Organisationen hin (s. Abbildung 4-8).



Abbildung 4-8: *Elemente der Integrierten Produktentwicklung (LINDEMANN & KLEEDÖRFER 1997)*

LINDEMANN ET AL. (1999A) bzw. LINDEMANN ET AL. (1999B) und REINHART (1998A) beschreiben die Integrierte Entwicklung als Methodik, bei der sich die Prozessbeteiligten nicht nur wie beim SE beratend zur Seite stehen. Sie bauen mit ihrer Arbeit auf vorläufigen Zwischenergebnissen anderer auf und erarbeiten das Gesamtergebnis in einem engen Wechselspiel. Dadurch wird eine schrittweise Konkretisierung von Produkt, Produktionsablauf und Produktionsanlage erreicht. Planungsfehler können früher erkannt und die Produkt- und Prozessqualität gesteigert werden. Voraussetzung für einen integrierten

Entwicklungsprozess ist ein Vorgehensmodell zur Gestaltung des Zusammenspiels von Konstrukteuren und Planern (REINHART ET AL. 1997B, S. 4f).

AMBROSY (1997) beschreibt unterstützende Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung. Den Rahmen bildet dabei eine Vorgehensweise zur Prozessverbesserung auf Basis ganzheitlicher Situationsanalysen. Aus Praxisuntersuchungen konnte er Ansatzpunkte zur Optimierung der Zusammenarbeit ableiten. Diese sind die Informationsbeschaffung und –weitergabe, die Erfahrungsdokumentation, die Zieldefinition, die Entscheidungsfindung sowie die Kontrolle. Darauf basierend entwickelte er Methoden, die in einem Interaktiven-Protokoll-und-Analyse-System (IPAS) umgesetzt und in einen integrierten Konstruktionsarbeitsplatz INKA eingebunden wurden.

WEBER (1998) stellt einen Ansatz vor, um Abhängigkeiten im Entwicklungsprozess abzubilden und daraus eine optimale Ablaufreihenfolge der Entwicklungstätigkeiten zu planen. Sein Ansatz verwendet zur inhaltlichen Strukturierung und Darstellung eine Produktarchitektur als Verbindung von Funktions- und Produktstruktur. Ausgehend von der Produktarchitektur können der Kontext zwischen Kundenanforderungen und Produkt sowie die Konsistenz der Schnittstellen zwischen den Produktkomponenten sichergestellt, der Interaktionsbedarf zwischen den Entwicklern bestimmt und die einzelnen Teilaufgaben unter Nutzung der Design-Structure-Matrix koordiniert werden.

EVERSHEIM (1998, S. 364ff) stellt im Rahmen der Arbeitsergebnisse des SFB 361 eine Planungsmethodik für die integrierte Konstruktion und Arbeitsplanung einen vierstufigen Ansatz vor, bei dem ausgehend von einem abstraktem Referenzmodell über eine aktivitäts- und objektorientierte Planung ein Prozessmodell für parallele Abläufe abgeleitet werden kann. Ausgehend von einer Initialplanung beschreibt er eine rollierende Feinplanung zeitgleich zur Durchführung. Somit wird berücksichtigt, dass es sich bei Entwicklungsprozessen um gering determinierbare Abläufe handelt.

DÖLLNER (1997) veröffentlichte einen *Maßnahmenkatalog zur Verkürzung der Produktentwicklungszeit*. Er gibt am Beispiel der Aggregatentwicklung Vorschläge für ablauf- und aufbauorganisatorische Maßnahmen. Als ablauforganisatorische Maßnahmen sieht er z.B. die Betonung der frühen Konzeptphase, verstärkte Berechnungs- und Simulationsaktivitäten oder eine Erhöhung der Meilensteinanzahl für Konzeptbewertungen. Seine aufbauorganisatorischen Maßnahmen sind eine rein temporäre Prozessorganisation, eine räumliche Zusammenführung der Mitarbeiter, die Abgrenzung von Teams an Produktmodulen und die Kompetenzzusammenführung mit den Fertigungsbereichen.

GAUSEMEIER ET AL. (2000) stellen mit dem sog. *Kooperativen Produktengineering* ein Handlungsfeld vor, das insbesondere auf die Bereiche *Kooperative Strategische Geschäftsfeldplanung*, *Produktentwicklung* und *Prozessentwicklung* fokussiert. Ein sehr allgemeiner Referenzprozess wird aufgestellt und die Einbindung von sog. Gestaltungsmitteln empfohlen, um komplexe Aufgabenstellungen effizient bearbeiten zu können. Diese Gestaltungsmittel sind Kooperationen, Kreativität und Erfahrungswissen, Methoden, Qualifizierung und Spezifikationstechniken.

### **Rechnerunterstützung der integrierten Entwicklung**

Wenn Daten aus mehreren Produktlebensphasen verarbeitet, verschiedene physikalische Produkteigenschaften integriert und anwenderspezifisch differenzierte Sichten auf die Daten ermöglicht werden, spricht man von *integrierten Produktmodellen*.

GRABOWSKI ET AL. (1993) stellen ein integriertes Produktmodell vor, das dazu dient, verschiedenen Rechnerwerkzeugen den Zugriff auf eine gemeinsame Datenbasis zu ermöglichen, ohne Schnittstellen zwischen den einzelnen Rechnerwerkzeugen zu benötigen. Integrierte Produkt- und Prozessmodelle enthalten sowohl produkt- als auch prozessspezifische Daten und sollen die Trennung von Produkt- und Prozessmodell aufheben (EVERSHEIM ET AL. 1999; GAUSEMEIER ET AL. 1998A; GRABOWSKI ET AL. 1993). Sie bilden eine wichtige Grundlage für ein rechnergestütztes Datenmanagement im Rahmen einer integrierten Vorgehensweise bei der gemeinsamen Entwicklung von Produkt und Produktion.

### **Fazit**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Strategien *Concurrent* und *Simultaneous Engineering*, die *Integrierte Entwicklung* oder das *Kooperative Produktengineering* rein begrifflich nicht eindeutig trennbar sind. Die *Integrierte Entwicklung* grenzt sich dabei dadurch ab, dass sie den Anspruch hat, eine methodische Unterstützung der Problemlösung zu bieten (EHRLENSPIEL 1995).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll auf den Ansätzen der Integrierten Entwicklung und Planung aufgesetzt werden. Wesentliche Defizite der existierenden Methoden sind ihre Unflexibilität hinsichtlich der Ablaufgestaltung und Anpassung an vorhandene Restriktionen. Sie können somit reale Entwicklungsprozesse nur unzureichend abbilden und unterstützen nicht eine unternehmens- und fallspezifische Anpassung an vorhandene Randbedingungen und Potenziale.

## **4.5 Strukturierung von Produkten, Montagevorgängen und Montageanlagen**

Ein Ziel der Arbeit ist, spezifische Entwicklungs- und Planungsprozesse sehr detailliert abzubilden. In diesem Zusammenhang spielt eine geeignete Strukturierung von Produkten, Montagevorgängen und –anlagen eine wichtige Rolle. Ferner sollen Hinweise gegeben werden, welche Abhängigkeiten zwischen Produkt, Montagevorgang und Montageanlage bestehen und wie diese in einem integrierten Prozess berücksichtigt werden können (s. Abbildung 4-9).

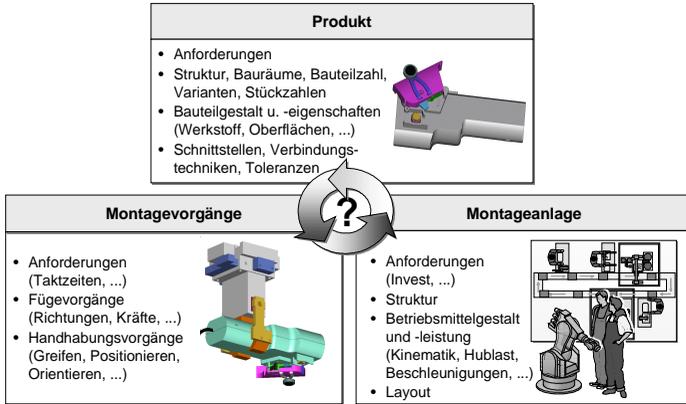


Abbildung 4-9: Determinanten von Produkt, Montagevorgang und Montageanlage

Daher dient dieser Abschnitt einer Analyse hinsichtlich gängiger Methoden zur Strukturierung von Produkten, Montagevorgängen und –anlagen. Zunächst sollen Gestaltungsrichtlinien zur montagegerechten Produktgestaltung dargestellt werden, die implizit die gegenseitigen Abhängigkeiten abbilden.

ANDREASEN ET AL. (1985) unterscheidet bezüglich einer montagegerechten Konstruktion die Gestaltungsbereiche *Produktstruktur* und *Bauteilgestalt*.

### Montagegerechte Bauteilgestaltung

Die Berücksichtigung einer montagegerechten Produktgestaltung begann 1960 mit Einsetzen der Automatisierung von Montageprozessen. Bis etwa Mitte der 80er Jahre beschränkten sich die Hilfsmittel zur montagegerechten Produktgestaltung auf Konstruktionskataloge mit Richtlinien und Lösungsvorschlägen, die durch Checklisten und Punktbewertungssysteme zur Bewertung der Montagegerechtheit von Konstruktionen ergänzt wurden (vgl. DAHL 1990).

Die am Häufigsten vorkommenden Richtlinien bezogen sich auf eine *Reduzierung der Teilezahl*, die – trivialerweise – die effektivste Methode zur Reduzierung des Montageaufwandes ist, auf die *Einhaltung möglichst linearer Fügebewegungen* zur Reduzierung der Betriebsmittelinvestitionen und auf eine *handhabungsgerechte Gestaltung der Teile*, die den Ordnungsvorgang erleichtert. Diese Hilfsmittel dienten hauptsächlich der Gestaltung und Detaillierung der Bauteile (vgl. BARTELMÉB 1987; BÄBLER 1988, BOOTHROYD ET AL. 1994; EHRENSPIEL 1995; LOTTER 1992; PAHL & BEITZ 1997).

BOOTHROYD ET AL. (1994) geben drei elementare Regeln an, die im Rahmen einer konsequenten Teilereduktion die einzigen Randbedingungen sein sollten. Zwei Bauteile können nicht durch eines ersetzt werden, wenn:

- sie größere Relativbewegungen zueinander ausführen,

- sie stark unterschiedliche Materialeigenschaften aufweisen müssen oder
- sonst andere Teile nicht erreichbar und somit nicht montierbar wären.

Man erkannte aber, dass die Weichen für eine montagegerechte Produktgestaltung schon wesentlich früher gestellt werden, nämlich in der Konzeptionsphase durch die Festlegung der Produktstruktur (BARTELMER 1987, S. 8ff).

### Produktstrukturierung

VDI 2221 (1993) definiert den Begriff „Struktur“ als Darstellung von Teilen eines Ganzen und deren Beziehungen zueinander (gegliederter Aufbau, Gefüge, Verknüpfungen, Anordnungen). Prinzipiell lassen sich folgende Strukturierungsprinzipien anwenden:

- Die *geometrische Strukturierung* gliedert ein Produkt in die wesentlichen Bauräume.
- Die *funktionale Strukturierung* gliedert ein Produkt in sog. "Systeme". Das sind funktionale Einheiten, deren Elemente in Relation zueinander stehen, aber nicht unbedingt physisch zusammenhängen (Gehäuse, Antrieb, Elektrik, ...).
- Unter *montageorientierter Produktstrukturierung* wird allgemein das gezielte Gliedern eines Produkts hinsichtlich einer optimalen Montierbarkeit verstanden (EVERSHEIM ET AL. 1993).

ANDREASEN (1985) beschreibt weitere Produktstrukturierungsansätze und deren zugrundeliegende Prinzipien (s. Abbildung 4-10).

Prinzip	Ausprägung
Allgemeine Aufbauprinzipien	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Gesamtchassis</li> <li>● Schachtelbauweise</li> <li>● Verbundbauweise</li> <li>● Basiskomponenten</li> <li>● Baugruppen</li> </ul>
Konstruktionsprinzipien	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Integralbauweise</li> <li>● Differentialbauweise</li> </ul>
Ausgehend vom Produktprogramm	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Optimale Montage (z.B. Ausbringung, ...)</li> <li>● Baukastengerecht (z.B. Wiederverwendung, ...)</li> <li>● Normgerecht</li> </ul>
Ausgehend von sonstigen Randbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Einzelelemente mit best. Toleranzanforderungen</li> <li>● Oberflächenanforderungen</li> <li>● ...</li> </ul>

Abbildung 4-10: Produktstrukturierungsansätze (nach ANDREASEN ET AL. 1985)

GAUSEMEIER ET AL. (1998B) beschreiben ein geschäftsprozessübergreifendes Produktstrukturmanagement. Damit werden bewusst mehrere bereichsspezifische Strukturen (wie z.B. der Konstruktion oder Montage) bei der durchgängigen rechnerunterstützten Entwicklung von variantenreichen Erzeugnissen angeboten.

### Montageorientierte Produktstrukturierung

„Ein Gesamtoptimum von Produkt und Montageprozess kann nur dadurch erreicht werden, dass man das Produkt, den Montageprozess und die Montageanlage als eine Einheit auffasst und synchron entwickelt“ (MILBERG & REITZLE 1994).

Eine montagegerechte Produktstruktur sollte sich weitgehend an der Funktionsstruktur des Produktes orientieren, da eine zu starke Unterteilung den Montage- und Abstimmungsaufwand nur unnötig erhöht. Die Festlegung der Produktstruktur beginnt mit der Ermittlung der Teilfunktionen und deren Funktionsträgern. Als nächstes werden getrennte Lösungen für die unterschiedlichen Funktionseinheiten entwickelt, die zu verschiedenen Gesamtlösungen kombiniert werden. Schließlich lassen sich die Gesamtlösungsvarianten bewerten und die geeignetste auswählen (BARTELMER 1987).

Untersuchungen zeigen, dass sich ein Kostenminimum nur durch eine synchrone Entwicklung der Produktvarianten, der Modularisierung des Produktaufbaus und der Neustrukturierung von Montageumfängen erzielen lässt (DILLING 1992, S. 98). In der Automobilindustrie erkannte man, dass der montagefeindliche Produktaufbau in Form der selbsttragenden Kompaktbauweise zu einem überproportionalen Anstieg der Montagezeiten und –kosten führte. Als Lösung entwickelte man die **Modulbauweise**, bei der insbesondere kundenwunschbedingt stark schwankende Arbeitsinhalte aus dem Hauptband heraus in separate Vormontagen verlagert werden (z.B. Cockpit oder Türen). Eine endgültige Typenspezifizierung findet erst in den letzten Arbeitsgängen statt, was sich positiv auf die Reaktionsfähigkeit auswirkt. Durch die Erhöhung der Gesamtstückzahlen dieser Module lassen sich darüber hinaus Entwicklungsaufwendungen schneller amortisieren (SPIES 1997; WEBER 1999).

GAIROLA (1981) beschreibt ein Verfahren, das es erlaubt, Montagemodule zu definieren und auf ihre Montagegerechtigkeit zu untersuchen. Zunächst wird dabei der Aufbau des Produktes anhand von Zeichnungen analysiert, die bereits verfügbar sein müssen. Darauf aufbauend kann eine Bauelementreihenfolge bestimmt und das Produkt in sinnvolle Montagemodule zerlegt werden. Diese werden dann mittels Kennzahlen bewertet.

UNGEHEUER (1986) setzt auf Vorgehensweise von GAIROLA (1981) auf. Für die Abgrenzung von Modulen schlägt er drei Methoden vor.

- Die deterministische Methode betrachtet als Ausgangspunkt das Gesamtzeugnis. Dies wird in vormontier- und prüfbare Baugruppen unterteilt.
- Die synthetische Methode betrachtet die Einzelteile als Ausgangspunkt. Das Erzeugnis wird Bauteil für Bauteil dem Montageablauf folgend zusammengesetzt.
- Die analytische Methode ist eine Kombination der beiden anderen Methoden. Sie beginnt mit einem deterministischen Schritt, der nur die geeigneten Baugruppen erfasst, darauf folgt ein synthetischer, der den Rest betrachtet.

Für die synthetische Methode wird ein bereits vorhandenes Produkt benötigt, die deterministische ist nur bei Neukonstruktionen anwendbar.

ERIXON ET AL. (1996) stellen das Verfahren *Modular Function Deployment* vor, um anforderungsgerechte Produktmodule abzugrenzen. Diese Anforderungen werden als „module drivers“ bezeichnet, sie können aus den Bereichen Montage, Qualitätssicherung, Beschaffung und Service stammen. Mit Hilfe der *Module-Indication-Matrix* wird der Einfluss jedes *module drivers* auf die einzelnen Teilfunktionen des Produkts ermittelt. Teilfunktionen, die ähnliche Anforderungen erfüllen, sollen demnach zu Modulen zusammengefasst werden.

SPIES (1997) stellt ein umfangreiches *Verfahren zur montagegerechten Produktstrukturierung und -gestaltung am Beispiel der Automobilentwicklung* vor. Er beschreibt die Möglichkeiten, Montageaspekte in der Produktentwicklung entlang der Phasen Konzeptentwicklung, Modularisierung, Baugruppenentwicklung und Detaillierung zu berücksichtigen. In der *Konzeptphase* werden vorhandene bewährte Module in das Produktkonzept integriert, das sich an einer Baukastenstruktur orientiert. Die *Modularisierungsphase* - als Schwerpunkt der Arbeit - beschreibt ein Verfahren zur geeigneten Abgrenzung von Modulen. Es basiert auf einer Bewertungssystematik, die einen potenziellen Modulumfang hinsichtlich lebenszyklusrelevanter Kriterien prüft (z.B. geringe externe Schnittstellenanzahl, separate Vormontierbarkeit, Transportierbarkeit, Aufteilbarkeit in variantenarme und -reiche Module etc.). Als Ergebnis erhält der Anwender eine modulspezifische Kennzahl zum Vergleich von Alternativen. Für die *Baugruppenentwicklung* empfiehlt SPIES das DFMA-Verfahren (Design for Manufacturing and Assembly) (vgl. BOOTHROYD ET AL. 1994). Für die *Detaillierungsphase* kann auf bestehende Konstruktionsleitfäden/-checklisten und eine FMEA zurückgegriffen werden.

Ein Beispiel für eine weitere Strukturierungsvariante ist die **Plattformstrategie**. Plattformentwicklung bedeutet, dass gewisse Umfänge eines Produktes für verschiedene Produkte des Konzerns als Gleichteile übernommen werden. Die Plattformstrategie erfordert nach PIECH (1996) ablauforganisatorische und informationstechnische Maßnahmen, da alle Konzerntöchter dieselben produktdefinierenden Daten nutzen müssen.

### **Strukturierung von Montageprozessen und -vorgängen**

Eine *Montageaufgabe* enthält Vorgänge zum reversiblen oder irreversiblen Zusammen setzen zweier oder mehrerer Einzelteile zu einem Produkt (LINDERMAIER 1998, S. 17). Montageprozesse dienen der funktionalen Beschreibung dieser Operationen an Einzelteilen (z.B. Verschrauben) sowie der Verrichtungen der dazu erforderlichen Funktions-träger (z.B. Greifen). Der Aufbau einer Prozessstruktur in der Montage kann z.T. aus der Produktstruktur einer Baugruppe und der zur Montage erforderlichen Prozesskette abgeleitet werden. Ausgehend von der Anlieferung der Einzelteile bis zur fertigen Baugruppe ergibt sich ein Ablauf, der funktional gegliedert werden kann, wie Abbildung 4-11 zeigt (vgl. BULLINGER 1986, S. 275).

Montage- prozesse	Handhaben		Fügen	Sonder- prozesse	Kontrollieren
	Bereitstellen	Zuführen			
<b>Sub- funktionen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Speichern</li> <li>● Mengen verändern</li> <li>● Bewegen</li> <li>● Sichern</li> <li>● etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bewegen</li> <li>● Sichern</li> <li>● Positionieren</li> <li>● etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ineinander-schieben</li> <li>● Schrauben</li> <li>● Einlegen</li> <li>● Nieten</li> <li>● etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Markieren</li> <li>● Reinigen</li> <li>● Justieren</li> <li>● Erwärmen</li> <li>● etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Messen</li> <li>● Zählen</li> <li>● Merkmale prüfen</li> <li>● etc.</li> </ul>

Abbildung 4-11: Funktionale Gliederung des Montageablaufs

Diese Prozesskette wird in Subfunktionen strukturiert, für die sich schließlich technische Lösungsprinzipien entwickeln und zuordnen lassen (BULLINGER 1986, S. 275). Die VDI-RICHTLINIE 2860 schlägt dazu die hierarchische Gliederung der Grundfunktion Handhaben in Teilfunktionen vor, die wiederum aus zusammengesetzten Funktionen und Elementarprozessen bestehen. Die Fügeprozesse in Montageprozessketten lassen sich mit Hilfe der DIN-Norm 8593 weiter untergliedern.

### Montageanlagen und -komponenten

In der Literatur finden sich zahlreiche Beschreibungsformen von Montageanlagen (vgl. ANDREASEN ET AL. 1985; KONOLD & REGER 1997; SPUR & STÖFERLE 1986; SCHMIDT 1992; LOTTER 1992; HESSE 1993), denen alle eine hierarchische Strukturierung gemeinsam ist. Montageanlagen bzw. -systeme können in Teilsysteme (Zellen: Stationen und Arbeitsplätze) und Komponenten (Betriebsmittel) zerlegt werden.

Sie bestehen zur Durchführung ihrer Aufgabe aus einer Vielzahl unterschiedlicher Zellen und technischer Komponenten wie Magazinen, Handhabungsgeräten oder Ordnungseinrichtungen. Diese lassen sich in Anlehnung an EVERSHEIM (1989, S. 217) in sieben Typen kategorisieren: Basiskomponenten, Steuerungskomponenten, Bereitstellkomponenten, Zuführkomponenten, Fügekomponenten, Sonderkomponenten und Kontrollkomponenten.

Die grundlegende Bauform eines Montagesystems wird durch Basiskomponenten (auch „Materialflussverkettungsmittel“) definiert, die die örtliche und zeitliche Verkettung innerhalb eines Systems realisieren (LINDERMAIER 1998, S. 18). Dies sind z.B. Rundtaktische, Längstaktbänder oder Doppelgurtransfersysteme.

Globale Steuerungsaufgaben, wie die Ablaufsteuerung, die Steuerung der Montageprozesse sowie des Material- und Erzeugnisflusses übernehmen die Steuerungskomponenten. Beispiele dieser Komponenten sind speicherprogrammierbare Steuerungen, Positioniersteuerungen und numerische Steuerungen (SPUR & STÖFERLE 1986).

Des Weiteren bestehen Montagesysteme aus Funktionsträgern, die die Montageprozesse realisieren (z.B. Magazine, Förderer, Rutschen, Schrauber, ...) (vgl. SCHMIDT 1992, S. 23; LINDERMAIER 1998, S. 20).

BULLINGER (1986) und REINHART (1996) nennen zusätzlich organisatorische oder geometrische Strukturierungskriterien:

- *Organisationsformen der Montage*: Baustellenmontage, Einzelplatzmontage, Reihemontage, Fließmontage, Taktstraßenmontage,
- *Anordnungsstrukturen*: Zellen-, Linien-, Ring-, Netz- oder Flächenmontage,
- *Automatisierungsgrad*: manuell, mechanisiert, automatisiert oder hybrid.

### **Fazit**

Die beschriebenen Strukturierungsansätze verdeutlichen die hohen Abhängigkeiten zwischen Produkt, Montagevorgang und Montageanlage. In diesem Zusammenhang scheint insbesondere die modulatororientierte Strukturierung ein vielversprechender Ansatz zu sein, diese Relationen zu beherrschen.

## **4.6 Modellierung von Entwicklungs- und Planungsprozessen**

Ziel der Arbeit ist es, flexible integrierte Entwicklungs- und Planungsprozesse einzuführen und anzuwenden. Aus diesem Grund ist eine geeignete Beschreibung solcher Prozesse zu wählen, um den Umgang mit ihnen zu erleichtern, Wirkzusammenhänge zu erkennen und so eine zielorientierte Einführung und Anwendung der Prozesse zu ermöglichen. Im Folgenden wird daher die Modellierung von Entwicklungsprozessen, Entwicklungsobjekten und -ressourcen näher betrachtet.

HARRINGTON (1991) betont den Nutzen der Prozessdarstellung und der nachfolgenden Analyse. Prozessmodelle helfen, folgende Erkenntnisse zu gewinnen:

- Eigene Position im Gesamtprozess
- Zusammenhänge einzelner Teilprozesse
- Verständnis für andere Bedürfnisse
- Verantwortlichkeit im Prozess
- Zielsetzung im Prozess

In den letzten Jahren sind zahlreiche Modellierungsansätze entstanden, die eine Abbildung von Entwicklungsprozessen erlauben:

Die *Systemtechnik* bietet die Möglichkeit, Sachverhalte auf abstrakter Ebene zu betrachten (vgl. DAENZER & HUBER 1994). Nach MARKO (1995) gilt die Systemtechnik als wichtigste Methode zur Beschreibung komplexer Kausalzusammenhänge. DIN 19226 definiert ein *System* als eine „Anordnung von Elementen, die über Relationen aufeinander einwirken und durch eine Systemgrenze von ihrer Umgebung abgegrenzt werden können“. Nach DAENZER & HUBER (1994) werden die Systeme und Elemente außerhalb der Systemgrenze als Umwelt und Beziehungen eines Systems zu seiner Umwelt als Inputs und Outputs bezeichnet (s. Abbildung 4-12) (ROPOHL 1975, S. 22).



beliebige Sichtweisen auf den standardisierten Modellkern. Wesentliche Bestandteile der IUM sind die generischen Objektklassen Produkt, Ressource, Auftrag, ein generisches Aktivitätenmodell und die Definition von acht miteinander verknüpften Sichten auf das jeweilige abgebildete System.

Die weit verbreitete *Structured Analysis and Design Technique (SADT)* wurde 1977 von Ross (ROSS 1977) als grafisches Beschreibungsmittel für komplexe Systeme unterschiedlicher Art entwickelt. Ausführlich beschrieben wird die Methode von MARCA & MCGOWAN (1988).

*Datenfluss-* oder *DeMarco-Diagramme* wurden 1978 von DeMarco (DEMARCO 1978) entwickelt als ein Hilfsmittel zur strukturierten Analyse von komplexen dynamischen Systemen. Als wichtigste Konstrukte werden Pfeile zur Darstellung von Informationsflüssen und Kreise zur Darstellung von Funktionen eingesetzt. Zudem sind Systemchnittstellen und Datenspeicher abbildbar.

Das *Rahmenwerk CIMOSA* hatte zum Ziel, einen Architekturrahmen zur Beschreibung betriebswirtschaftlicher und technischer Aufgaben und ihrer Schnittstellen zu entwerfen (MERTINS ET AL. 1994). Es beinhaltet drei Architekturebenen (generische Bausteine, Partialmodelle und spezifische Modelle), drei Modellierungsebenen (Anforderungen, Entwurf, Implementierung) und vier Modellsichtweisen (Funktionen, Informationen, Ressourcen und Organisation).

RADTKE (1995) stellt mit dem Ansatz *BAMOF* eine Architektur eines prozess- und integrationsgerechten Produktmodells vor, um parallele vernetzte Entwicklungsprozesse zu beschreiben. Der Ansatz dient zur Sammlung, Strukturierung und Modellierung produktbeschreibender Informationen und zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus: Berücksichtigung der aktivitäts- und prozessspezifischen Informationsbedarfe, Integration der bedarfsbezogenen Informations- und Datenbestände und Unterstützung einer durchgängigen rechnergestützten Informationsbereitstellung.

Das *semantische Objektmodell SOM* von FERSTL & SINZ (1994) ist ein durchgängig objektorientierter Ansatz zur Modellierung betrieblicher Informationssysteme. Er baut auf einer Unternehmensarchitektur auf, die aus den Modellebenen Unternehmensplan, Geschäftsprozessmodelle und Anwendungssystemspezifikationen sowie den Beziehungen zwischen diesen Ebenen besteht.

Die *IDEF-Methode* wurde im Rahmen des ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing)-Projektes von der US Air Force speziell für die Modellierung von Produktionsprozessen erarbeitet (MERTINS ET AL. 1994). Grundlage bildet die Methode SADT. IDEF setzt sich aus verschiedenen Einzelmethoden zusammen: Modellierung von Funktionen und ihren Datenflüssen (IDEF-0), Abbildung der Datenstrukturen (IDEF-1), Darstellung des dynamischen Systemverhaltens (IDEF-2), Modellierung von Szenarien (IDEF-3) und objektorientierter Entwurf (IDEF-4).

Das *Geschäftsprozessmodell PEPSY* wurde 1995 von Spur und GOLM (1995) vorgestellt. Es ist in ein Ressourcen-, ein Organisations- und ein Aktivitätenmodell unterteilt. Diese Modelle ermöglichen eine Visualisierung und kennzahlenbasierte Optimierung von Pro-

zessen und insbesondere eine Abbildung von Entscheidungsstrukturen. Bei der Modellgenerierung werden drei Konkretisierungsstufen angeboten: die generische Ebene (z.B. Standardaufgaben), die Spezialisierungsebene (z.B. unternehmensspezifisches Prozessmodell) und die Ausprägungsebene (z.B. projektspezifisches Prozessmodell).

Weiterführendes Ziel der Prozessmodellierungsmethoden ist es, diese Prozesse auch rechnergestützt durchzuführen (GAUSEMEIER ET AL. 1997, S. 347ff). Zu diesem Zweck werden laufend neue Softwarewerkzeuge entwickelt, deren Einsatzbereich von der reinen Abbildung, rechnergestützten Analysen über die Generierung von prozessunterstützender Software (sog. „CASE-Tools“, vgl. BALZERT 1992) bis hin zur automatisierten Durchführung von Geschäftsprozessen in Form von sogenannten „Workflowmanagementsystemen“ reicht (vgl. KOCH 1996).

Zur Vereinfachung der Softwareentwicklung sind eine Reihe objektorientierter Modellierungsmethoden entstanden (wie z.B. UML – Unified Modeling Language, OMT – Object Modeling Technique, OOA / OOD – Object Oriented Analysis / Design). Diese fokussieren jedoch bestimmte Objekte und deren Zustände und nicht – wie in der vorliegenden Arbeit – den Prozess, um Objektzustände zu verändern.

### **Fazit**

Es sind in der Vergangenheit eine Vielzahl von Ansätzen zur Modellierung von Entwicklungsressourcen und -prozessen entstanden. Unter Berücksichtigung der Anforderungen (siehe Kapitel 3) erscheinen die Methoden SADT, IUM und PEPSY als gute Grundlage für die zu entwickelnde Modellierungsmethodik. Diese Ansätze lassen jedoch noch die geforderte Flexibilität im Modellaufbau vermissen.

## **4.7 Einführung modellbasierter Entwicklungs- und Planungsprozesse**

Ziel der Arbeit ist es, flexible integrierte Entwicklungs- und Planungsprozesse einzuführen und anzuwenden. Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Einführung und Anpassung von Methoden, um die Anwendbarkeit in der industriellen Praxis zu gewährleisten.

Dazu soll zunächst die Bedeutung einer methodischen Einführung wissenschaftlicher Ansätze verdeutlicht werden. Im Anschluss werden Ansätze aufgezeigt, wie eine vorhandene Entwicklungs- und Planungsumgebung auf die Methodeneinführung vorbereitet und entsprechend qualifiziert werden kann. Den Abschluss des Kapitels bilden Vorgehensweisen, wie sich spezifische Entwicklungsprozesse an vorhandene Umgebungen anpassen lassen.

### **4.7.1 Bedeutung der Methodeneinführung**

Die Anwendung der Integrierten Produktentwicklung kann im Unternehmen über längere Zeit einen wesentlichen Wettbewerbsfaktor bedeuten, aufgrund ihrer Vielschichtigkeit und Vielfältigkeit ist sie aber nicht ohne weiteres umsetzbar (MEERKAMM 1998). Durch

diese Unterschiedlichkeit müssen entsprechende Methoden stets „gelernt, betrieblich angepasst und in die tägliche Arbeit eingeführt werden“ (HOFMANN & BUNGARD 1995; GOUVINHAS & CORBETT 1999, S. 1167ff; PAHL & BEITZ 1997). „Das ist im Hinblick auf die zunehmende Zahl von Methoden (bisher) sicherlich nur eingeschränkt der Fall“ (EHRENSPIEL 1995, S. 285). Auch ZANKER (1999) betont, dass der Einführung von Methoden bisher zu geringes Gewicht beigemessen wurde und sieht das Thema als „wichtige zukünftige Aufgabe von Forschung und Wissenschaft“. RITZÉN ET AL. (1999, S. 793ff) bestätigen, dass im Entwicklungsbereich Einführungsaktivitäten von neuen Methoden und Prozessen bislang ungenügend untersucht wurden.

VIERTLBÖCK (2000, S. 98) stellt fest, dass in der Praxis jeder Einführungsprozess von den individuellen Ausprägungen zahlreicher Einflussfaktoren abhängig ist. Diese müssen im Rahmen der Einführung berücksichtigt werden. Er veranschaulicht die Vielzahl von Einflussfaktoren anhand folgender Übersicht (s. Abbildung 4-13).

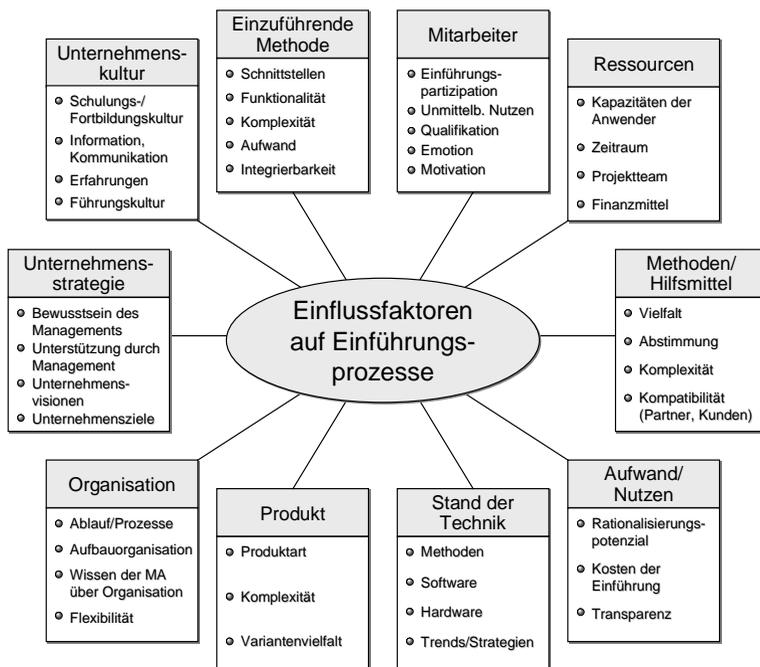


Abbildung 4-13: Einflussfaktoren auf Einführungsprozesse (VIERTLBÖCK 2000, S. 98)

Nach BALSER (1995) und AMBROSY (1997) sollte die Methodeneinführung in einen ganzheitlichen Ansatz eingebunden sein. Sie unterscheiden dabei die Dimensionen *Organisation*, *Qualifikation*, *Software* und *Methoden* und fordern die gleichmäßige Entwicklung dieser vier Faktoren.

Bei der Einführung von Methoden sollen im Folgenden zwei verschiedene Dimensionen betrachtet werden. Zum einen die Anpassung der Methodik an die vorhandene Entwicklungs- und Planungsumgebung im Unternehmen. Zum anderen die Vorbereitung und Qualifizierung der vorhandenen Umgebung hinsichtlich der Anforderungen, die die Methodik stellt (vgl. VIERTLBÖCK 2000, S. 101).

### 4.7.2 Vorbereitung und Qualifizierung der vorhandenen Umgebung

Im Folgenden werden existierende Vorgehensmodelle zur Vorbereitung und Durchführung von Methodeneinführungen vorgestellt.

#### Allgemeine Vorbereitung einer vorhandenen Umgebung

EHRLENSPIEL (1995, S. 270) beschreibt systematisch Einführungsmaßnahmen anhand eines Vorgehensmodells, um das Unternehmen auf die Methodik der Integrierten Produktentwicklung vorzubereiten (s. Abbildung 4-14).

Einführungsmaßnahmen		Anpassung der Methodik IPE	
1	<b>Notwendigkeit aufzeigen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Zielsetzung</li> <li>● ...</li> </ul>	3.1	<b>Analyse der Produkterstellung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Ist-Abläufe, Dokumente, Methoden</li> <li>● Produktprogramm</li> <li>● Schwachstellen</li> <li>● ...</li> </ul>
2	<b>Verantwortliche/Mitarbeiter überzeugen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ...</li> </ul>	3.2	<b>Strukturierung der Auftragsabwicklung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● bestimmende Parameter</li> <li>● Standardabwicklungen</li> <li>● Dokumente, Methoden</li> <li>● ...</li> </ul>
3	<b>Pilotprojekt definieren</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● interdisziplinäres Team gründen</li> <li>● Anforderungen an Pilotprojekt</li> <li>● alternative Projekte</li> <li>● Projekt auswählen</li> <li>● ...</li> </ul>	3.3	<b>Aufbau und Anpassung der Methodik</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Standardvorgehenspläne</li> <li>● Dokumente, Ergebnisse</li> <li>● Teilmethoden</li> <li>● ...</li> </ul>
4	<b>Einführungsmaßnahmen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Machbarkeit</li> <li>● Schulungsmaßnahmen</li> <li>● Organisation</li> <li>● ...</li> </ul>	3.4	<b>Test der Methodik</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ...</li> </ul>
5	<b>Einführung beschließen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Vorgehensplan zur Einführung</li> <li>● ...</li> <li>● Kontrolle Zielerfüllung</li> </ul>		

Abbildung 4-14: Vorgehensplan für Aufbau und Einführung der Methodik der Integrierten Produktentwicklung nach EHRLENSPIEL (1995, S. 270)

EVANS (1993) gibt folgende allgemeine Empfehlungen für die Einführung der Methodik *Concurrent Engineering (CE)*:

- Vor dem Start der Einführungsaktivitäten muss die Überzeugung im Unternehmen hinsichtlich des Nutzens vorhanden sein. Der Return on Invest muss klar herausgearbeitet sein und der Nutzen auch für die Mitarbeiter klar erkennbar sein.
- Die Planung der Einführung mit einer spezifischen Einführungsstrategie bestimmt den Erfolg.
- Die Unterstützung durch externe Berater ist hilfreich. Deren Wissen muss jedoch für die Anforderungen des Unternehmens übersetzt werden. Das Prozesswissen der Mitarbeiter ist unbedingt zu nutzen.
- Die Top-Management-Unterstützung ist eine weitere Erfolgsvoraussetzung. Im Rahmen der Einführung müssen vom Management Fehler toleriert werden.
- Die Mitarbeiter müssen bei der Einführung Gestaltungsspielräume haben, um sich selbst einbringen zu können.
- Bewertungs- und Anreizsysteme sind an die CE-Philosophie zu koppeln.
- Oftmals wird zu viel Zeit verbraucht, um wirklich alle Schwachstellen im Prozess zu identifizieren, statt damit zu beginnen, die dringendsten abzubauen (80/20-Regel)

AHRENS & BEITZ (1997) stellen eine Methode für die Einführung von Simultaneous Engineering vor. Betont wird, dass die Einführung von vielen nicht-technischen Aspekten abhängt. Ein Kriterienmodell dient dazu, abzuschätzen, ob sich die Einführung von Simultaneous Engineering für ein bestimmtes Entwicklungsprojekt lohnt.

LINDEMANN ET AL. (1999A & 1999B) beschreiben einen mehrstufigen Ansatz der Methodeneinführung, bei dem aufbauend auf einem allgemeinen Kriterienmodell im Rahmen einer Vorstudie ein firmenspezifisches Kriterienmodell erstellt wird. Dies dient dazu, den bisherigen Einführungsgrad der integrierten Entwicklung zu beurteilen. So lassen sich das Optimierungspotential erkennen und Maßnahmen zur Verbesserung einleiten. Wichtige Merkmale dieses Vorgehens sind eine frühzeitige Beteiligung der Betroffenen und die schnelle Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen nach der Prozessanalyse, um die Akzeptanz der Methode bei den Beteiligten zu erhöhen.

LINDEMANN & STETTER (1997) fordern ferner eine transparente Vorgehensweise, klare Zielvorgaben für die Mitarbeiter, Anreizsysteme und die Möglichkeit der aktiven Mitgestaltung im Rahmen von Veränderungsprozessen. GIAPOLIS (1999) betont ebenfalls den „Faktor Mensch“ bei der Methodeneinführung. Von vielen Autoren wird ferner auf die Bedeutung der Unterstützung der Methodeneinführung durch das Top-Management hingewiesen (vgl. GOUVINHAS & CORBETT 1999; MADDUX & SOUDER 1993).

RITZÉN ET AL. (1999, S. 797ff) haben im Rahmen einer empirischen Untersuchung Erfolgsfaktoren für drei Phasen der Einführung von Methoden im Bereich der Entwicklung herausgearbeitet und veröffentlicht (Befragung von 42 Mitarbeitern in 6 schwedischen Unternehmen):

- *Planung des Einführungsprozesses:* Verständnis erzeugen auf allen Hierarchieebenen; der Wunsch nach Veränderung sollte von den betroffenen Anwendern kommen; Verständnis der Methode durch das Management, um die notwendigen Ressourcen richtig einschätzen zu können und damit ihre Motivation zu zeigen; Vereinbaren klarer Ziele vermindert den Widerstand gegen die Veränderung und schließlich ist das richtige „timing“ für den Erfolg der Einführung entscheidend.
- *Durchführung des Einführungsprozesses:* ausreichend personelle Ressourcen freistellen; Abfrage von Fortschritten durch das Management; zielgerichtetes Training, idealerweise anhand realer Fälle.
- *Evaluierung des Einführungsprozesses:* Messung der Ergebnisse und des Prozesses; Lernen aus Fehlern; der Evaluierungsvorgang sollte formalisiert und dokumentiert werden.

VIERTLBÖCK (2000) stellt ein Modell zur Unterstützung der strategischen und operativen Planung der Methodeneinführung vor sowie ein Teilmodell, in dem unterstützende Ressourcen für die Methodeneinführung beschrieben sind. Das *strategische Modell* beinhaltet vier Teilprozesse, die im Sinne einer rollierenden Planung durchlaufen werden:

- Kontinuierliche Analyse und Schwachstellenableitung
- Erarbeitung einer Langfriststrategie der Entwicklungsumgebung
- Zentrale Koordination der Methoden- und Hilfsmiteleinführung
- Zentrale Sammlung des Erfahrungswissens

Das *operative Modell* gliedert sich in acht Teilprozesse:

Auf eine Projektvorbereitung und Problemlösung folgt eine Zieldefinition und die Suche nach vorhandenen bzw. neuen Methoden. Nach einer Analyse, Bewertung und Auswahl der gefundenen Methoden werden Einführungsmaßnahmen auf die vorhandene Entwicklungsumgebung abgestimmt. Nach der Verbreitung der Methode folgen schließlich noch eine Zielkontrolle und die kontinuierliche Verbesserung.

Das Teilmodell, in dem unterstützende Ressourcen für die Methodeneinführung beschrieben werden, beinhaltet zum einen Vorschläge für personelle Ressourcenergänzung und die Bereitstellung von Hilfsmitteln wie z.B. Prozessmodellierungswerkzeuge, Methodenbaukästen oder Schulungsunterlagen.

STETTER (2000) stellt einen Ansatz zur *Methodeneinführung in die Integrierte Produktentwicklung* vor. Damit will er grundsätzlich klären, wie zum einen komplexe Entwicklungsmethoden erfolgreich in bestehende Organisationen eingeführt werden können. Zum anderen will er aufzeigen, wie Methoden, Strategien und Hilfsmittel gestaltet sein sollten, um ihre Einführung zu vereinfachen (STETTER 2000, S. 159). Er definiert folgende Faktoren, die bei der Einführung zu berücksichtigen sind: Organisationsstruktur, Prozessstruktur, Teams, individuelle Wünsche, Unternehmensmerkmale (z.B. Kultur, informelle Strukturen), vorhandene Methoden, Hilfsmittel und Strategien, Produkte und die Rechnerumgebung.

Sein Ansatz zur Methodeneinführung basiert auf fünf Ebenen: *Initiierung, Analyse des Entwicklungsprozesses, Auswahl und Anpassung von Methoden, Einführung von Methoden und Evaluierung der Methoden*. Für diese Ebenen stellt er Hilfsmittel vor, die eine systematische Abarbeitung unterstützen. In der Analysephase verwendet er z.B. ein zu bewertendes unternehmensspezifisches Kriterienmodell, um den bisherigen Einführungsgrad der integrierten Entwicklung zu bestimmen. In der Schlussbetrachtung gibt er vier Erfolgsfaktoren der Methodeneinführung an: Eine explizite Identifikation des Verbesserungspotenzials, eine detaillierte Analyse des Produktentwicklungsprozesses, eine Identifikation von Schwachstellen und eine Zerlegung der Prozesse und die Anpassung der Methoden an die vorhandenen unternehmensspezifischen Randbedingungen.

### **Qualifizierung personeller Ressourcen**

Mit der Einführung von Methoden sind i.d.R. neue Anforderungen an die Mitarbeiter verbunden. Deshalb sollen in diesem Abschnitt die Grundlagen zur Qualifizierung von Personen hinsichtlich bestimmter Kompetenzanforderungen dargestellt werden.

In der Literatur wird häufig die geeignete Qualifikation als ein Erfolgsfaktor für die Produktentwicklung genannt (BEITZ & HELBIG 1997; BULLINGER 1992). Nach BULLINGER (1992) beschreibt die *Qualifikation* die „Kenntnisse und Fähigkeiten, die in Ausbildungsprozessen, z.T. auch durch Berufserfahrung erworben und an einem bestimmten Arbeitsplatz benötigt werden. Mit Arbeitsqualifikation ist das „individuelle Arbeitsvermögen gemeint, d.h. die Gesamtheit der Fähigkeiten und Verhaltensmuster, die dem Einzelnen zur Erfüllung der Arbeitsanforderungen (...) wie seiner eigenen Ansprüche und Erwartungen (...) zur Verfügung stehen.“

*Kompetenzen* beschreiben die Befähigung und Bereitschaft zur selbstorganisierten Anwendung und Erweiterung von Wissen und Können im Arbeitsprozess (TIELSCH & HEINTZ 1998, S. 53) und bilden in ihrer Summe die Qualifikation. Neue Kompetenzen zu erwerben bzw. zu vermitteln und vorhandene an veränderte Gegebenheiten anzupassen, ist daher das Ziel von Qualifizierungsmaßnahmen.

In der Literatur wird der Begriff Kompetenz in folgenden semantischen Varianten verwendet (nach GAUSEMEIER ET AL. 2000, S. 68ff):

- *Aufgabenbezogene Befugnisse*, also die Berechtigung bzw. legitime Zuständigkeit für eine Handlung
- *Aufgabenorientierte Fähigkeiten*, also die Qualifikation, das Potenzial bzw. inhaltliche Zuständigkeit für eine Handlung
- *Marktorientierte Fähigkeiten*, z.B. unternehmensspezifische Fertigkeiten, Besonderheiten, traditionelle Stärken sowie exklusives Know-how (SCHNEIDER 1998, S. 52)

Im Sinne einer Personalentwicklung wird die Entwicklung aufgabenorientierter Fähigkeiten und die Übertragung aufgabenbezogener Befugnisse angestrebt. Diese Kompetenz der Mitarbeiter setzt sich im wesentlichen aus den Komponenten *Fach-*, *Methoden-* und *Sozialkompetenz* zusammen (GAUSEMEIER ET AL. 2000, S. 69ff):

- Die *Fachkompetenz* steht für professionelle Zuständigkeit aufgrund eines vorhandenen betriebsnotwendigen Sachverständes in Angelegenheiten des eigenen Aufgaben- und Verantwortungsbereiches.
- Die *Methodenkompetenz* steht für die Fähigkeit, in Abhängigkeit von der Aufgabe Problemlösungswege sowie innovative Methoden und Verfahren, z.B. in Forschung und Entwicklung, zu finden, anzuwenden bzw. an die eigenen Belange anzupassen.
- Die *Sozialkompetenz* umschreibt die Kenntnisse und Fähigkeiten zum Umgang mit anderen Menschen, zur Ausprägung von Überzeugungen und zur Beeinflussung von Verhaltensweisen. Sie basiert neben Bereitschaft und gutem Willen auf Kenntnissen bzgl. Methoden der Moderation oder Konfliktbewältigung.

Die Planung von Qualifizierungsmaßnahmen ist einem permanenten Spannungsfeld von Qualifizierungsanforderung aufgrund technologischen oder arbeitsorganisatorischen Veränderungen und dem Qualifizierungsstand der Mitarbeiter ausgesetzt. Dabei werden eine sog. *aktive* und *reaktive Strategie* als Verknüpfung von Qualifizierung und Aufgabenbewältigung bezeichnet. Aufgrund der dynamischen technologischen und politischen Entwicklungen und den laufenden Veränderungen der eingesetzten Technologien und ihrer Auswirkungen auf die Arbeitswelt und –umwelt, wird die kontinuierliche Qualifikation in der Literatur als ein wesentlicher Wettbewerbsfaktor erachtet.

### **4.7.3 Anpassung von Entwicklungsprozessen an vorhandene Umgebungen**

In diesem Abschnitt werden vorhandene Modelle zur Anpassung neu einzuführender Methoden und spezifischer Entwicklungsprozesse vorgestellt.

STUFFER (1994) und EHRENSPIEL (1999) fordern, dass detaillierte, standardisierte prozedurale Modelle des Entwicklungsprozesses durch adaptierbare Modelle ergänzt werden, die an spezifische Randbedingungen angepasst werden können. EHRENSPIEL (1995) und PAHL & BEITZ (1997) sehen Vorgehenspläne als strategische Handlungsanweisungen für die wesentlichen Arbeitsschritte im Entwicklungsprozess. Sie betonen, dass zum einen einzelne Arbeitsschritte ausgelassen oder wiederholt durchlaufen werden können. Zum anderen bestätigen sie, dass der Nutzen von Vorgehensplänen durch fallspezifische Anpassung erhöht werden könnte. Nach GÜNTHER (1998, S. 22) ist die Fähigkeit der Ableitung von konkreten problemspezifischen und individuellen Vorgehensplänen aus allgemeingültigen Plänen in der Praxis nicht vorhanden.

LAUFENBERG (1995) beschreibt eine *Methodik zur integrierten Projektgestaltung für die situative Umsetzung des Simultaneous Engineering*. Mittels eines Integrationsmodells

können Ist- und Soll-Zustände von SE-Projekten modelliert werden. Das Integrationsmodell basiert auf einem im Team abgestimmten projektneutralen Projektentwicklungsplan, der eine Weiterentwicklung des PNEP von SARETZ (1993) darstellt. Die Arbeit fokussiert auf situativ zu konkretisierende Projektziele und Maßnahmen. Diese können mit Hilfe von Relevanzbäumen generiert, durch einen Cluster-Algorithmus gruppiert und schließlich bewertet werden. Als Grundlage für abzuleitende Maßnahmen wurde ein Katalog mit über 250 Einzelmaßnahmen erarbeitet.

ZANKER (1999) beschreibt die *situative Gestaltung von Methoden*. Er stellt eine Strategie für die Auswahl, Anpassung und Generierung von Entwicklungsmethoden auf. Sein Schwerpunkt liegt auf der Anpassung, die durch eine Zerlegung bestehender Aufgaben und Methoden in darin enthaltene *Grundtätigkeiten* sowie eine Zerlegung der *Randbedingungen* der vorhandenen Entwicklungsumgebung und der anzupassenden Methode in *Methodenmerkmale* besteht. Über einen Vergleich der nicht mehr teilbaren Grundtätigkeiten und Methodenmerkmale lässt sich für eine vorhandene Aufgabe und Umgebung eine geeignete Methode finden (ZANKER 1999, S. 56ff). Die Methodenmerkmale lassen sich dabei ändern, um verschiedenen Randbedingungen gerecht zu werden.

BICHLMAIER (2000, S. 121) fordert, dass „insbesondere die unternehmens-, produkt- und projektspezifische Anpassung integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse hohe Anforderungen an eine methodische Unterstützung stellt. Dazu müssen Einführungsstrategien entwickelt werden, die nicht nur die einmalige Einführung, sondern die ständige Aktualisierung unterstützen.“

### **Fazit**

Die vorgestellten Ansätze zur Einführung von Methoden sind als wichtige Grundlage für die vorliegende Arbeit zu sehen. Zunächst zeigen sie die hohe Bedeutung und bisherige Vernachlässigung der Thematik *Methodeneinführung* auf. Insgesamt sind die beschriebenen Konzepte noch zu allgemein, um die Einführung und Anpassung der konkret zu entwickelnden Methodik hinreichend zu unterstützen.

## **4.8 Einsatz und Weiterentwicklung modellbasierter Entwicklungs- und Planungsprozesse**

### **4.8.1 Organisationsmodelle zur Beherrschung komplexer dynamischer Entwicklungs- und Planungsprozesse**

Wie in der Einleitung erläutert, zeichnen sich moderne Entwicklungsprozesse komplexer Serienprodukte durch ein hohes Maß an Komplexität, Unsicherheit und Dynamik aus. In diesem Abschnitt werden Ansätze und Interpretationen dargelegt, die einen Beitrag leisten, diese Merkmale von Entwicklungsprozessen zu beherrschen.

Eine Möglichkeit, die Komplexität und Dynamik einer gestellten Aufgabe zu bewältigen, besteht im Bereithalten oder Aufbau von Eigenkomplexität und –dynamik. Eigenkomplexität bedeutet eine „Strukturierung der Aufgabe durch Reduktion der Lösungsmöglichkeiten“ (vgl. ASHBY 1961; WEBER 1998, S. 12). In Entwicklung und Planung muss daher ein geeignetes Maß an Eigenkomplexität erzeugt werden, um die Aufgabe inhaltlich lösbar zu machen (ASHBY 1961). BLEICHER (1996, S. 35) fordert für die Organisationsstruktur und Mitarbeiter eines Unternehmens, der Umfelddynamik zu entsprechen, um „die notwendige Flexibilität und Anpassungsfähigkeit bereitzustellen“.

Aus ihrer weltweiten Untersuchung von 72 Entwicklungsprojekten bei 36 größeren Computerherstellern zieht EISENHARDT & TABRIZI (1995) das Fazit, dass die Organisation und Prozessgestaltung und deren Determinierungsgrad auf die Produktarchitektur sowie die projektspezifische Innovationshöhe der Entwicklung abgestimmt sein muss. EISENHARDT & TABRIZI (1995) entwickeln dazu das Modell der *Responsive Interaction*, um der Unsicherheit und Dynamik von Entwicklungsprozessen gerecht zu werden. Ihre Strategie für die Prozessbeherrschung ist es, einen schnellen Lernprozess zu unterstützen und die Zielorientierung und Motivation aufrecht zu erhalten. Ferner geben sie als Taktik an, viele Iterationsschritte und häufiges Testen durchzuführen, Meilensteine sehr dicht zu setzen und erfahrene Projektleiter einzusetzen. Demgegenüber stehen streng deterministische Abläufe bei Routineaufgaben.

*Organische Modelle* (vgl. DRÜKE 1997) lassen sich wie folgt charakterisieren. Sie setzen sich aus teilautonomen gleichberechtigten Einheiten zusammen, die selbst über Ressourcen, Zeiten und Prioritäten bestimmen und diese überwachen. Sie weisen eine große „Durchlässigkeit“ zwischen den Funktionsbereichen und höhere Integration von Planung und Ausführung auf.

PROBST (1987) nennt vier Voraussetzungen selbstorganisierender Systeme:

- *Eigenkomplexität*,
- *Selbstreferenz* (die Reflexion der Systemelemente über innere Zusammenhänge),
- *Redundanz* (das mehrfache Vorhandensein von Funktionen bzw. Fähigkeiten),
- *Autonomie bzw. Abgeschlossenheit* (definierte Handlungsspielräume).

Entwicklungsorganisationen bestehen i.d.R. ebenfalls aus einer Vielzahl beteiligter Organisationseinheiten, deren geeignete Abgrenzung Gegenstand langjähriger Diskussionen ist. Eine Reihe von Autoren bezeichnen dabei die Produktarchitektur als wesentlichen Parameter für die Beeinflussung eines Entwicklungsprojektverlaufs (WEBER 1998, S. 50). Um die Zusammenarbeit in komplexen Entwicklungsprojekten zu erleichtern, wird durch Modularisierung das Produkt so aufgeteilt, dass zwischen diesen Modulen eine überschaubare Anzahl von Wechselwirkungen besteht. Dies führt zu einem geringen Interaktionsbedarf und damit zu einer einfachen Zusammenarbeit (WEBER 1998, S. 50), wenn sich die Organisationseinheiten an Modulen orientieren. Die Grenzen der Modularisierung zeigt Abbildung 4-15 durch die Summierung der Interaktionen, die für die

Festlegung von Produktparametern innerhalb und zwischen Modulen erforderlich sind. Der Konflikt zwischen der Modulkomplexität und der Komplexität der anschließenden Modulintegration zum Gesamtprodukt wird auch als „Schnittstellendilemma“ bezeichnet (GRADY 1994, WEBER 1998, S. 51).

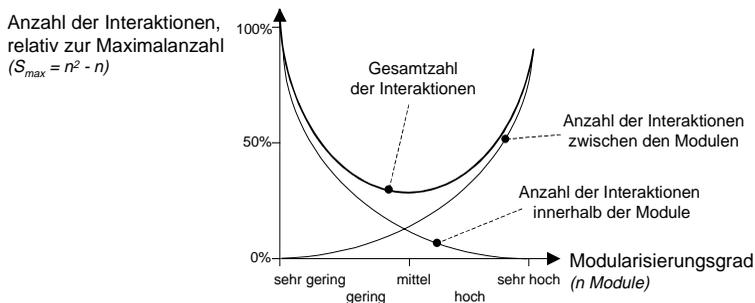


Abbildung 4-15: Interaktionsbedarf bei unterschiedlichen Modularisierungsgraden (in Anlehnung an WEBER 1998, S. 51)

WARNECKE (1992) fasste 1992 eine Vielzahl von Maßnahmen und Ansätzen zur Komplexitätsreduktion und zur Schaffung von Voraussetzungen für die Selbstorganisation im Produktionsbereich unter dem Begriff "Fraktale Fabrik" zusammen. Dabei basiert seine Argumentation weniger auf einer analytischen Untersuchung von Produktionssystemen, sondern eher auf der Verwendung von Prinzipien, die aus anderen Wissenschaftsdisziplinen mittels Analogie auf den Produktionsbereich übertragen werden.

BLEICHER (1996) stellt umfangreiche Überlegungen zur Thematik der Dynamik und Komplexität an und gibt Hinweise auf eine geeignete Gestaltung der Organisation. Er fordert, dass die Umfelddynamik nach *Offenheit und Flexibilität* innerhalb der Organisation und die Komplexität nach einem *ganzheitlichen integrativen Ansätzen* verlangt.

Seit einiger Zeit sind *Wandlungsfähige Organisationskonzepte* in der Diskussion (REINHART 2000; WESTKÄMPER 1998). Sie beruhen auf der Kombination weitgehend vergleichbarer theoretischer Wirkprinzipien. Hier sind vor allem die Selbstorganisation, gruppensdynamische Prozesse, Verantwortungsdelegation, Dezentralisierung und Modularisierung zu nennen (WILDEMAN 1993).

Im Rahmen des SFB 467 „*Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für die variantenreiche Serienproduktion*“ werden wandlungsfähige Strukturen und Prozesse entwickelt, um komplexe dynamische Randbedingungen zu beherrschen (WESTKÄMPER 1996). Das zugrunde liegende organisatorische Gedankenmodell basiert auf Selbstständigkeit, Eigendynamik und Selbstorganisation der Leistungseinheiten (vgl. PICOT ET AL. 1996; DANGELMAIER & GAUSEMEIER 1996; WESTKÄMPER 1998; WIENDAHL ET AL. 1998).

Im Rahmen des BMBF Projektes DYNAPRO (Dynamische Produktions- und Organisationsstrukturen in einem turbulenten Markt) wurden umfangreiche Ansätze entwickelt, wie die Organisation gestaltet werden muss, um der Komplexität und Dynamik gerecht zu werden. Betrachtet werden insbesondere die Handlungsfelder *Humanpotenzial (Veränderungskompetenz)*, *Strukturgestaltung (dynamische Strukturen)* und *Informations- und Kommunikationssysteme* (HARTMANN 1997).

WARNECKE & KNICKEL (1997) stellen eine Methodik zur Reduzierung der Komplexität bei vernetzter Produktentwicklung vor durch gezielte Gestaltung der Kommunikation an Schnittstellen. Sie besteht aus einem Beschreibungs- und Entscheidungsmodell sog. cross-funktionaler Prozesse und einem Vorgehen zur Gestaltung dieser Prozesse. Darauf aufbauend wird ein Konzept zum Einsatz von CSCW (Computer Supported Cooperative Work) in cross-funktionalen Prozessen vorgestellt.

### **Fazit**

Die Problematik der Beherrschung von Komplexität und Dynamik in zunehmend turbulentem Umfeld ist seit einigen Jahren Gegenstand von diversen Forschungsaktivitäten. Die dargestellten Ansätze dienen als gute Grundlage, sie haben jedoch fast ausschließlich die Optimierung der Produktion im Fokus. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll ein Modell zur Beherrschung komplexer dynamischer Entwicklungs- und Planungsprozesse entwickelt werden.

## **4.8.2 Flexible Konfiguration von Entwicklungs- und Planungsprozessen**

In ihrer Gesamtheit sind Entwicklungsprozesse nur auf der abstrakten Ebene der Phasenmodelle im Voraus durchgängig planbar (PAHL & BEITZ 1997). Eine detaillierte Betrachtung muss es aber erlauben, den Prozess zur Laufzeit abhängig von Zwischenergebnissen schnell ändern zu können (GIPOULIS 1996, S. 13ff). Im Folgenden sind daher Ansätze beschrieben, die eine situative Umgestaltung dynamischer Entwicklungsprozesse auch während der Prozessdurchführung erlauben.

SCHUMANN (1994) erläutert die Herausforderung einer *adaptiven Planung dynamischer Entwicklungsprozesse*. Demnach können zwar die Art der im Prozess auftretenden Zwischenergebnisse vorher geplant werden, nicht aber deren Ausprägung. Diese nicht-prognostizierbaren Ausprägungen können jedoch situativ neue Arbeitsschritte erforderlich machen, die zunächst nicht geplant waren. SCHUMANN (1994) hebt daher die Trennung zwischen Prozessplanung und -bearbeitung auf und ermöglicht so eine Informationsrückkopplung in die Prozessgestaltung. Dabei wendet er eine hierarchische Planung an, um den Prozess während der Laufzeit schrittweise detaillieren zu können.

GÖPFERT (1998) stellt im Rahmen seiner Arbeiten zur *Modularen Produktentwicklung* die Idee vor, neben Produkten auch Prozesse zu modularisieren. Er bezeichnet dabei die

Modularisierung als „Gestaltung eines Systems, das aus relativ unabhängigen Subsystemen besteht“ (GÖPFERT 1998, S. 267). Er stellt die These auf, dass durch die Abgeschlossenheit des Aufgabenumfanges in einem Prozessmodul eine organisatorische Einheit relativ autonom dieses Modul bearbeiten kann. Als Gesamtheit ist der aus Modulen aufgebaute Prozess flexibel und anpassungsfähig (GÖPFERT 1998, S. 269).

Die *Prozessmanagementmethode* von KAMPHAUSEN (1999) stellt einen umfassenden Planungs- und Steuerungsansatz für Entwicklungsprozesse dar, in dem auf Prinzipien „überlebensfähiger Systeme aus der Natur“, wie „Prinzip der Mutation und Selektion“, „Prinzip der geringsten Energie“ oder „Prinzip der Symbiose“ zurückgegriffen wird. Ein zentraler Gedanke ist die Differenzierung von Entwicklungsprozessen in *Prozessbausteine* und *-landschaft*. Die Prozesslandschaft beschreibt den Gesamtprozess und dessen Abhängigkeiten. Die Bausteine sind als Standardroutinen für einzelne Mitarbeiter zu verstehen. Auch DOEGE ET AL. (1998, S. 203ff) betonen, dass man zur effizienten Gestaltung flexibler Entwicklungsprozesse vordefinierte "Prozessmodule" einsetzen muss.

BICHLMAIER (2000) stellt *Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen* vor, die auf einem von BICHLMAIER & GRUNWALD (1998) im Rahmen des SFB 336 entwickelten Ansatz beruhen. Dieser basiert auf dem sog. *Integrierten Vorgehensplan* (BICHLMAIER 1997) und in der Weiterentwicklung ebenfalls auf der Idee der Prozessbausteine. Er fokussiert dabei auf die integrierte Betrachtung der Gestaltungsobjekte Produkt, Montagevorgang und Montageanlage und gibt allgemeingültige Beispiele für solche integrierten Prozessbausteine.

Im Rahmen der Entwicklung einer *Universal Design Theory* stellen GRABOWSKI ET AL. (1998) einen Ansatz vor, der ebenfalls die Verwendung von Prozesselementen umfasst. Sie nennen drei grundlegende Axiome zur Beschreibung des Entwicklungsprozesses. Darauf basierend beschreiben die Autoren neue Lösungen im Entwicklungsprozess als Kombination bereits vorhandener Basiselemente wie folgt: Es gibt eine begrenzte Zahl von Abstraktionsebenen zur Beschreibung des Entwicklungsprozesses. Auf diesen Ebenen existiert eine endliche Anzahl von Grundelementen, die den Prozess darstellen. Die Zahl der Übergänge zwischen den Abstraktionsebenen ist ebenfalls endlich.

DEMERS (2000) stellt *Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen* vor, basierend auf dem 3-Ebenen-Modell von GIAPOLIS (1998). In diesem Modell existiert eine Planung auf strategischer Ebene, eine auf operativer Ebene und eine auf der Entwicklungsergebnisebene. Das Besondere ist, dass die operative Planung von Produktentwicklungsprozessen situationsabhängig sowohl aus der Ebene der strategischen Planung als auch aus der Ergebnisebene initiiert werden kann. DEMERS fordert insbesondere die Darstellung von negativen Ergebnissen, die den Entwicklungsprozess beeinflussen und gezielt vermieden werden sollen. Er versucht dies durch Kausalketten zu erreichen, die alle wesentlichen Elemente des "Systems" Produktentwicklung abbilden.

### **Fazit**

Die beschriebenen Ansätze zur flexiblen Konfiguration integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse zeigen die maßgebliche Stoßrichtung für die vorliegende Arbeit auf. Unter Berücksichtigung der Anforderungen (siehe Kapitel 3) sind insbesondere die Ansätze von BICHLMAIER & GRUNWALD (1998) bzw. BICHLMAIER (2000) als Basis für die zu entwickelnde Methodik zu sehen. Den Ansätzen fehlen jedoch Vorgehensweisen, wie die Methodik der Prozessbausteine an vorhandene Randbedingungen angepasst und in Unternehmensorganisationen eingeführt werden kann. Ferner sind die Aspekte der wechselnden Detaillierung und Synchronisation von Prozessen und des Erfahrungsrückflusses nicht systematisch beschrieben.

### **4.8.3 Koordination und Regelung modellbasierter Entwicklungs- und Planungsprozesse**

Mit den Abschnitten 4.8.1 und 4.8.2 wurden Grundlagen für die Gestaltung geeigneter Organisationsmodelle und flexibler Entwicklungsprozesse beschrieben. Darauf aufbauend sollen nun Ansätze betrachtet werden, die eine Koordination und Regelung integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse erlauben.

Die Basis für die Regelung bilden Ansätze aus dem Bereich des *Projektmanagement*. Seine Ursprünge liegen in der amerikanischen Rüst- und Luftfahrtindustrie in den Fünfziger Jahren. Im deutschen Sprachraum wurde das Projektmanagement lange Zeit durch bekannte Planungsmethoden wie CPM, PERT und MPM geprägt. Seit Mitte der Achtziger Jahre ist eine Neuorientierung zu beobachten. Es wird ein „universales Systemdenken und Evolutionsprinzip“ bei gleichzeitiger Abkehr vom „mechanistischen Denken und Maschinenideal der klassischen Organisationslehre“ gefordert (BALCK 1990).

Im interdisziplinären Ansatz des Projektmanagements wurden im Laufe der Entwicklung viele Ansätze aus anderen Bereichen integriert, insbesondere aus der Systemtechnik, der Entscheidungslehre, der Organisationslehre, der Planungstheorie, der Controlling-Theorie, den Informations- und Kommunikationswissenschaften, der Psychologie und Mathematik (LAUFENBERG 1996, S. 50). Die vielfältigen Variationen von Projektmanagementansätzen lassen sich i.d.R. auf die funktionale Gliederung in Projektplanung, Projektkontrolle und Projektsteuerung reduzieren. An dieser Stelle sei auf die Standardwerke zum Thema verwiesen.

Nach EVERSHEIM ET AL. (1995B) haben sich Methoden wie Projektmanagement, Qualitätsmanagement oder Simultaneous Engineering in weiten Teilen der Industrie durchgesetzt. Die Planung und Steuerung der daraus resultierenden, wesentlich komplexeren Entwicklungsprozesse würde dagegen ein zunehmendes Problem darstellen.

STUFFER (1994) befasst sich mit der Entwicklung einer *Managementmethodik zur Planung und Steuerung arbeitsteiliger Entwicklungsprozesse* (vgl. auch STUFFER & KLEEDÖRFER 1997; KLEEDÖRFER 1998). Der Betrachtungsschwerpunkt liegt dabei neben

der Vorgehenssystematik auf der Organisationsentwicklung sowie einer EDV-Unterstützung der Planungs- und Steuerungsaufgaben. Den konzeptionellen Rahmen bildet eine objekt- und ergebnisorientierte Konstruktionsmethodik, die um eine ressourcenorientierte Sichtweise erweitert wird. Es wird unterschieden zwischen einer phasenorientierten Planung, die einer regelmäßigen, projektweiten Synchronisation der Aktivitäten und Ergebnisse dient, sowie einer ergebnisorientierten Planung. Die Projektsteuerung erfolgt anhand der Bewertung eines *Aufgabenerfüllungsgrades* sowie der *Ergebnissicherheit*. Sowohl Planung als auch Steuerung werden dabei dezentral durchgeführt.

DEBUS (1994) stellt einen Ansatz eines *rechnerunterstützten Planungsmanagements für die Fertigungssystemplanung* vor. Das Planungsmanagementsystem PLASMA unterstützt den Planungsleiter bei der Spezifikation, Planung, Steuerung und beim Controlling des Projekts. Auf Basis eines Referenzmodells, bestehend aus Aufgaben-, Ergebnis- und Ressourcenmodell, wird hinterlegtes Faktenwissen durch wissensbasierte Methoden zur Planung genutzt. Die Planung erfolgt wie im klassischen Projektmanagement anhand von Meilensteinen, Zeit- und Kapazitätsbetrachtungen.

SCHMALZL (1996) konzentriert sich in seinen Arbeiten auf die *Konzeption und Entwicklung eines Projektleitsystems für den Integrierten Produkterstellungsprozess*. Hierbei handelt es sich um ein dokumentenbasiertes erweitertes Projektmanagementsystem. Es besteht aus den Ansichten „erweiterter Netzplan“, der sich ähnlich wie ein PETRI-Netz verhält, „Zeitbalken-Diagramm“, „Briefkasten“ zur Ablage erledigter Aufgaben und „Projektstrukturplan“. Gegenüber anderen Arbeiten im Bereich Projektmanagement ist interessant, dass die Planung des Informationsflusses fokussiert wird.

SCHREINER (1996) stellt ein *Konzept zur agentengetriebenen, prozessbegleitenden Unterstützung kooperativer Produktentwicklungen* vor. Hierzu wird der Produktentwicklungsablauf durch ein Netz von Aktivitäten modelliert, die wiederum durch Agenten abgebildet werden. Ein Agent ist die kleinste selbständig agierende Einheit. Jeder Agent kann sowohl Bearbeitungs- als auch Manageragent sein. Die Kooperation ist dabei das räumliche und zeitlich versetzte Agieren von Agenten bei der Problemlösung. Die Koordination erfolgt durch einen Manageragenten und ist eine Regelung, die den Handlungsspielraum der Bearbeitungsagenten bei der Kooperation festlegt.

MURR (1999) stellt eine umfangreiche Methodik zur *adaptiven Planung und Steuerung integrierter, rechnerunterstützter Entwicklungs- und Planungsprozesse* vor. Zentraler Aspekt ist die Überlegung, dass der verstärkte Einsatz von virtuellen Prototypen von Produkt, Produktionsprozess und Produktionsanlage geeignet in den Entwicklungsprozess integriert werden muss. Dieser Entwicklungsprozess wird dabei über Prozessbausteine abgebildet, die variabel miteinander vernetzt werden können und das Produkt, den Produktionsprozess sowie die Produktionsmittel betrachten. Um die geforderte Prozesseffektivität und -effizienz sicherzustellen, wird ein Zielsystem aufgestellt, das sowohl prozessbezogene wie auch ergebnisbezogene Zieldimensionen abbildet. Zur operativen

Planung, zum Monitoring und zur Steuerung von Entwicklungsprojekten werden einzelne Methodenelemente vorgestellt, die auf die Prozessbausteinidee zurückgreifen.

WANG & JIN (1999) beschreiben einen Ansatz, mit dem Abhängigkeiten im Entwicklungsprozess modelliert und durch Koordinationsmechanismen beherrscht werden können. Sie unterscheiden die „Designer Dependency, Task Dependency, Product Dependency and Nature Dependency“ und zeigen gegenseitige Abhängigkeiten auf. Sie definieren den Entwicklungsprozess als „*process of providing design resources to execute design tasks grouped by design entities (units) in one design level and doing design actions to generate design entities (units) in another design level*“. Darauf basierend entwickeln sie ein mathematisches Modell, mit dem sich geeignete Koordinationsstrategien, Organisationseinheiten und Aufgaben unter Berücksichtigung begrenzter Ressourcen ableiten lassen.

Ein umfassender Ansatz zur Verwendung von Prozesselementen für die Planung, Koordination und Steuerung von Entwicklungsvorhaben wird derzeit an der University of Cambridge entwickelt (CLARKSON & HAMILTON 1999). Basierend auf einem zugrundeliegenden Modell mit vier Ebenen (Parameter, Aufgabe, Prozess, Schnittstelle) werden Prozessinformationen soweit zusammengefasst, dass eine Aussage über den Prozessstatus ("signposting") gewonnen wird.

DUFFY & ANDREASEN (1999) stellen einen Ansatz vor, der zum Ziel hat, die dynamischen Aspekte von Entwicklungsprozessen beherrschbar zu machen. Um eine Koordination von Entwicklungsprozessen zu unterstützen, wurde das *Design Co-ordination Framework* entwickelt. Dieses Modell beinhaltet elf Ebenen (z.B. *Model of Product Development, Model of Decomposition, Synthesis Matrix* etc.), die über Beziehungen verbunden werden. Diese Beziehungen gilt es zu definieren, zu koordinieren und regeln. Aktueller Stand der Arbeiten ist, dieses Modell in einer Software abzubilden, um die Koordination im Entwicklungsprozess unterstützen zu können.

Eine Vielzahl von Ansätzen verwendet Interdependenz-Matrizen, um direkte und indirekte Abhängigkeiten abzubilden und daraus Koordinationsregeln abzuleiten (vgl. WEBER 1998; EPPINGER ET AL. 1990; EVERSHEIM 1998).

Auch GRÄBLER (1999) nutzt einen matrizenorientierten Ansatz, um die Abläufe von Konstruktion und Arbeitsplanung zu parallelisieren. Er betont dabei die Notwendigkeit einer schrittweisen Detaillierung der Planung durch häufige Planungszyklen und während der Bearbeitung, um die nicht deterministischen Abläufe in der Produktentwicklung handhabbar zu machen. Ergänzend stellt er eine Workflow-Methodik vor, die den Ablauf in der Produktentwicklung überwacht und so die Ausführung unterstützt. Dabei definiert er feingranulare Informationselemente, um auch den Austausch von Zwischenergebnissen zu ermöglichen. Unterstützt wird diese integrierte Vorgehensweise durch die Nutzung eines gemeinsamen Datenmodells. Matrizenorientierte Ansätze stoßen jedoch schnell auf Grenzen bei der Betrachtung sehr komplexer Systeme, da die Matrizen zu groß und nicht mehr handhabbar werden.

Eine andere Strategie, die deshalb den Selbstorganisationsansatz aufgreift, ist die Koordination mittels verteilter entscheidungsbasierter Agentenansätze (vgl. BIRMINGHAM & D'AMROSIO 1999). Entwickler werden dabei gesehen als „decision makers, who have preferences over various design alternatives in the design space. The design space is defined by a set of design attributes and a set of constraints. The designer sees only the portion of the design space in which he is interested. The designer (...) chooses the best design in the design space (from his perspective). By communicating preferences and constraints among designers, we can coordinate the designers' decision making.“

Entwickler werden in diesen Ansätzen als Agenten („rational decision makers“) modelliert, die Nachrichten austauschen, mit anderen Agenten über ihre Vorlieben und Randbedingungen verhandeln und so den Kontext berücksichtigen. Die Theorie besagt, dass sich mit diesem dezentralen Verhandlungsprozess ein Gesamtoptimum einstellen lässt.

### Fazit

Die Problematik der Koordination und Regelung in zunehmend turbulentem Umfeld ist seit einigen Jahren Gegenstand diverser Forschungsaktivitäten. Einige der dargestellten Ansätze dienen als gute Grundlage, wie z.B. die Arbeiten von MURR (1999). Die entwickelten Konzepte zur Thematik der Regelung gilt es zu übertragen, und insbesondere die Aspekte einer konkreten anwendungsfallspezifischen Regelung zu unterstützen. Dazu sollen die Gesichtspunkte der Reaktionsfähigkeit intensiver betrachtet und Konzepte zur Informationslogistik konkretisiert werden. Darüber hinaus fehlen geeignete Hilfsmittel, um im Störfall schnell Prozess- und Ressourcenalternativen anzubieten.

## 4.8.4 Erfahrungsrückfluss anhand modellbasierter Entwicklungs- und Planungsprozesse

Mit diesem Abschnitt sollen nun Ansätze betrachtet werden, die einen Erfahrungsrückfluss im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung modellbasierter Entwicklungs- und Planungsprozesse erlauben.

Die Theorien und Konzepte zum **Lernenden Unternehmen** reichen bis in die 70er Jahre zurück, wobei in den dazu geführten Diskussionen häufig synonyme Begriffe, wie *Lernende Organisation* oder *Organisationales Lernen* verwandt werden (DEHNBOSTEL 1998). SENGE (1998) gilt als einer der bedeutendsten Vertreter dieses Konzeptes. Ihm zufolge ist die *Lernende Organisation* durch folgende fünf Disziplinen gekennzeichnet:

- Systemdenken
- Individuelle Meisterschaft - Selbstführung und Persönlichkeitsentwicklung
- Mentale Modelle
- Gemeinsame Visionen
- Teamlernen

Disziplin ist in diesem Zusammenhang als grundlegende Theorie und Methodik zu verstehen, die erlernt, beherrscht und angewandt werden muss (SENGE 1998).

Der Ausgangsgedanke des *Lernenden Unternehmens* ist, dass Handlungserfahrungen sich zu Systemstrukturen transformieren lassen (FAULSTICH 1998), also sich das Unternehmen auf Basis individuell gesammelten Erfahrungswissens an veränderte Umweltbedingungen anpasst. Die Betonung des Systemdenkens ist das charakteristische Merkmal der *Lernenden Organisation* (DEHNBOSTEL 1998). Neben dem Systemdenken ist die „individuelle Meisterschaft“ die Grundlage für das *Lernende Unternehmen*. Erst das Streben des Individuums, die eigenen Ziele zu verwirklichen, ermöglicht es dem Unternehmen zu lernen.

*„Das individuelle Lernen ist keine Garantie dafür, dass die Organisation etwas lernt, aber ohne individuelles Lernen gibt es keine lernende Organisation“* (SENGE 1998). Demnach ist es erforderlich, eine Unternehmenskultur zu entwickeln, die das individuelle Lernen und insbesondere das Teamlernen zum Nutzen des Unternehmens fördert.

### **Erfahrungsrückfluss in Entwicklungsprozesse**

*„Im neuen industriellen Wettbewerb hängt sowohl das wirtschaftliche Überleben als auch die Spitzenstellung davon ab, wie gut es gelingt, das Leistungsniveau in der Produktentwicklung nachhaltig zu verbessern. (...) Die Fähigkeit, in der Entwicklung auf lange Sicht und permanent für nachhaltige Verbesserungen zu sorgen, beruht (...) auf dem Vermögen, aus Erfahrungen zu lernen“* (WHEELWRIGHT & CLARK 1994, S. 386).

SUHM (1993) beschreibt den Entwicklungsprozess als eine Folge von Arbeitsschritten, bei dem eine Lösung stufenweise entwickelt wird. Dabei werden ausgehend von aktuellen Voraussetzungen Teillösungen für Teilprobleme gesucht und in die aktuelle Lösungsumgebung eingebunden. Die Voraussetzungen setzen sich aus der Lösungsbeschreibung und den für diesen Entwicklungsprozess relevanten Anforderungen zusammen. Als Unterstützung dieses Problemlösungsprozesses stellt er sog. Lösungsmuster vor. Diese repräsentieren in elementare Einheiten strukturiertes Konstruktionswissen.

Um ihre Anwendbarkeit zu fördern, sind diese Lösungsmuster wie folgt strukturiert:

- Voraussetzungen, die sich auf die Soll-Eigenschaften eines technischen Objektes beziehen.
- Lösungen als Beschreibung der Ist-Eigenschaften, welche die Voraussetzungen unter Berücksichtigung der Umgebung erfüllen.
- Die Umgebung, in welche die Lösung eingebettet werden soll.

Im Rahmen ihrer *Universal Design Theory* stellen GRABOWSKI ET AL. (1998) einen Ansatz vor, der ebenfalls die Wiederverwendung vorhandener Prozesselemente umfasst. Die Autoren nennen drei grundlegende Axiome zur Entwicklungsprozessbeschreibung:

- Es existiert eine begrenzte Anzahl von Abstraktionsebenen zur Beschreibung des Entwicklungsprozesses.

- In diesen Ebenen existiert eine endliche Anzahl von Grundelementen.
- Die Zahl der Übergänge zwischen den Abstraktionsebenen ist ebenfalls endlich.

Ausgehend von diesen Axiomen beschreiben die Autoren neue Lösungen als Kombination bereits vorhandener Basiselemente. Sie bauen dabei auf den von SUHM (1993) vorgestellten Lösungsmustern auf und stellen Objektmuster als anwendungsneutrale Beschreibung einer technischen Lösung vor, die an bestimmte Randbedingungen anpassbar ist. Ergänzend dazu führen sie Prozessmuster als anwendungsneutrale und anpassbare Beschreibung von Vorgängen ein. Lösungsmuster wiederum definieren sie als Generalisierung von Prozess- und Objektmustern, die einen Zusammenhang des Gestaltungsobjektes, seiner Elemente und seines Entstehungsprozesses darstellen.

WHITNEY ET AL. (1999) stellen einen Ansatz und Fallbeispiele zum „Knowledge-Based Engineering“ (KBE) vor, die auf eine Design-Structure-Matrix zurückgreifen, um bekannte Abhängigkeiten dauerhaft zu speichern. Sie weisen darauf hin, dass wissensbasierte Systeme seit Beginn der 80er Jahre bekannt sind, sich aber aufgrund eines ungünstigen Nutzen-/Aufwand-Verhältnisses kaum durchgesetzt haben. Ferner kritisieren sie, dass das hinterlegte Abhängigkeitswissen nur begrenzte Gültigkeit hat aufgrund der dynamischen Veränderungen von Produkten, Organisationsstrukturen etc. Sie halten KBE jedoch für geeignet zur relativ schnellen Lösung schwieriger technischer Probleme.

#### **Fazit**

Die Thematik des Erfahrungsrückflusses ist ein Forschungsgebiet, das insbesondere in den letzten Jahren stärkere Beachtung gewonnen hat. Die stattfindende enorme Informations- und Wissensvermehrung wird zunehmend dezentral getragen (z.B. durch das Internet). Daher wird es immer wichtiger, übergreifend relevantes Wissen zu bestimmten Themen zu bündeln. Hierfür erscheint es sinnvoll, konkretes Prozesswissen in wiederverwendbarer Form zentral abzuspeichern und dezentral verfügbar zu machen. Dazu sind neue Ansätze zu entwickeln, da die beschriebenen diesen Anforderungen nicht hinreichend gerecht werden.

## 4.9 Zusammenfassung und Fazit

Als abschließendes Fazit der Analyse zum Stand der Forschung und Technik lässt sich festhalten, dass einige Konzepte als gute Grundlage dienen. Dennoch besteht der Bedarf an einer weiteren Verbesserung bzw. Neuentwicklung von Methoden zur Modellierung, Einführung, Anwendung und Weiterentwicklung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse. Im Einzelnen bestehen folgende Defizite:

- **Modellierung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse:**

Standardabläufe können inhaltliche Hilfestellung bei der Prozessgestaltung nur auf recht abstrakter Ebene geben, um allgemein gültig zu sein. Detailliertere Ablaufpläne müssten bei der Abarbeitung oft an Zwischenergebnisse angepasst werden, so dass hier das Vorgehen nicht durchgängig vorausplanbar ist. BICHLMAIER & GRUNWALD (1998), FELDMANN (1996), REINHART ET AL. (1999b), MURR (1999) und BICHLMAIER (2000) stellen entsprechende methodische Grundlagen bereit. Sie beschreiben ein Vorgehen, das sich flexibel aus einzelnen wiederverwendbaren Prozessbausteinen zusammensetzen lässt. Geeignete Abbildungsmethoden basieren auf den Ansätzen SADT, IUM und PEPSY, die jedoch noch die geforderte Flexibilität im Modellaufbau vermissen lassen.

- **Einführung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse:**

Die vorgestellten Ansätze zur Methodeneinführung sind als Grundlage für die vorliegende Arbeit zu sehen. Zunächst zeigen sie die hohe Bedeutung und bisherige Vernachlässigung der Einführungsthematik auf. Es existiert jedoch kein methodisches Vorgehen zur unternehmens-, produkt- und projektspezifischen Anpassung integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse. Eine methodische Berücksichtigung vorhandener Kompetenzen und Methoden bei der Planung und Durchführung von Entwicklungsaufgaben ist ebenfalls nicht beschrieben. Allgemeine Hinweise zur Thematik der Methodeneinführung können den Arbeiten von EVANS (1993), STETTER (2000) und VIERTLBÖCK (2000) entnommen werden.

- **Einsatz und Weiterentwicklung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse:**

Prozessmodellierungswerkzeuge können Prozesse übersichtlich strukturieren und darstellen. Sie geben aber keine Hilfestellung, wie ein Prozessnetz aufgebaut werden kann, das auf einer inhaltlich logischen Verknüpfung von Aktivitäten basiert. Eine teilautomatisierte Prozessplanung zur Minimierung des Aufwands wird von BICHLMAIER & GRUNWALD (1998) und LINDEMANN ET AL. (2000) vorgeschlagen und dient als Grundlage zur Weiterentwicklung der Methodik. Existierende Ansätze des Projektmanagements bieten keine inhaltliche Unterstützung, welche Maßnahmen in welcher Situation zu ergreifen sind. Ein Abgleich zwischen dem Informationsbedarf und der –verfügbarkeit wird nicht unterstützt. Die „richtige Information ist somit nicht zur richtigen Zeit in der richtigen Qualität am richtigen Ort“.

Des Weiteren fehlen Mechanismen zur Priorisierung von Entwicklungs- und Planungstätigkeiten. Es mangelt an Methoden zur schnellen Umplanung bei Störungen, zur Entscheidungsunterstützung bzgl. Prozessalternativen und neuer Teilprozesse. Auch hier dienen die Ansätze von BICHLMAIER & GRUNWALD (1998), MURR (1999) und BICHLMAIER (2000) als Grundlage für eine Weiterentwicklung. Es mangelt an praktikablen Methoden zur Speicherung generischer und instantiiertierter Teilprozesse. Dies hat zur Folge, dass der Rückfluss und die Wiederverwendung von Prozesswissen für eine kontinuierliche Prozessoptimierung nicht unterstützt wird.

Abbildung 4-16 gibt einen Überblick, in wie weit die wichtigsten untersuchten Ansätze die in Kapitel 3 definierten Anforderungen bereits erfüllen.

Stand der Forschung	integriertes detailliertes Produktentwicklungs- und Montageplanungsvorgehen	Flexibilität, Parallelisierbarkeit und situative Umkonfigurierbarkeit des Prozessmodells	Integriertes Aktivitäts- und Objektmodell	Abbildung der Informationslogik, Plausibilitätsprüfungen bzgl. Prozessablaufängigkeit	Integrierte Betrachtung der Gestaltungsobjekte Produkt, Montagevorgang und Anlage	Verarbeitung von unscharfen unsicheren Zwischenergebnissen (Lösungsmintervallen)	Durchgängigkeit: Planung, Analyse, Koordination, Regelung und Weiterentwicklung	Anpassen an unternehmens-, produkt-/anlagen- und projektspezifische Randbedingungen	Berücksichtigung vorhandener Ressourcen bei der Prozessgestaltung und -durchführung	Teilautomatisierte Prozessplanung, Entscheidungsunterstützung bei Prozessalternativen	Synchronisieren von Teilprozessen der Entwicklung und Planung	Zentrale und dezentrale Steuerbarkeit	Priorisierung von Entwicklungsprozessen, Definition von „Prozesstreibern“	Abgleich zwischen Planung und realen Prozess	frühzeitiges Erkennen von Planabweichungen	Speicherung/Wiederverwendung durchgeführter Prozesse für kontinuierliche Prozessoptimierung
Literatur	Legende: ○ = kein Beitrag ◐ = bedingt erfüllt ● = weitgehend erfüllt															
Bichlmaier (2000)	●	●	◐	◐	●	◐	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Bochtler (1996)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ehrlenspiel (1995)	◐	○	◐	◐	○	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Eversheim (1998)	●	○	●	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Feldmann (1996)	●	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Goldstein (1999)	○	○	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Göpfert (1998)	○	●	◐	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Grabowski et al. (1998)	○	○	◐	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Gräßler (1999)	○	●	◐	◐	○	◐	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Kamphausen (1999)	◐	●	○	○	◐	◐	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Laufenberg (1996)	○	○	◐	◐	○	◐	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Linner (1995)	◐	○	◐	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Murr (1999)	◐	●	●	●	○	◐	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Saretz (1993)	○	○	◐	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Schmalzl (1996)	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Schreiner (1996)	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Schumann (1994)	○	●	◐	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Stetter (2000)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Stuffer & Kleedörfer (1997)	○	○	◐	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Suhm (1993)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Viertböck (2000)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Warnecke & Knickel (1997)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Weber (1998)	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Zanker (1999)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Abbildung 4-16: Überblick zur Anforderungserfüllung existierender Ansätze

## **5 Modellierung flexibler integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse**

### **5.1 Einleitung**

Die Betrachtung des Standes der Forschung und Technik hat deutlich gemacht, dass noch erheblicher Handlungsbedarf bei der Unterstützung flexibler integrierter Prozesse der Produktentwicklung und Montageplanung besteht.

In Kapitel 5 wird aus diesem Grund ein Ansatz vorgestellt, mit dem sich integrierte Entwicklungs- und Planungsprozesse flexibel und dennoch effizient gestalten lassen<sup>2)</sup>. Ein weiterer Betrachtungsschwerpunkt ist die Abbildung unternehmensspezifischer Potenziale und Randbedingungen, im Hinblick auf eine Unterstützung der Einführung und Anwendung dieser Methodik.

#### **5.1.1 Steigerung von Flexibilität und Reaktionsfähigkeit in Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozessen**

Entwicklungs- und Planungsprozesse werden vor dem Hintergrund des zunehmenden Kosten- und Zeitdrucks ständig hinterfragt und neu definiert. Auf einer abstrakten Ebene ist dies möglich, auf der konkreten operativen Ebene nur bedingt. Entwicklungstätigkeiten sind überwiegend kreativer Natur, deren Ergebnisse nicht immer vorhersehbar und eindeutig bewertbar sind. Die zunehmende Komplexität und Dynamik verlangt jedoch auch vom Entwickler und Planer auf der operativen Ebene ein Kennen und Verstehen der Wechselwirkungen seiner Tätigkeiten mit anderen Teilprozessen.

Nun stellt sich die Frage, wie ein Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozess einerseits detailliert abgebildet werden, andererseits durch eine geeignete Flexibilität der geringen Planbarkeit gerecht werden kann?

Dazu sind zunächst die spezifischen Eigenheiten von Entwicklungsprozessen und ableitbare Anforderungen zu untersuchen, die sie von anderen Unternehmensprozessen unterscheiden:

- Abbilden vieler Arbeitsschritte und dynamischer Beziehungen
- Abbilden des Auslegungs-, Versuchs- u. Irrtumsprinzips (Iterationen, Rekursionen)
- Abbilden der Selbstähnlichkeit (Wechsel der Abstraktionsebene)
- Abbilden geringer Abgrenzbarkeit (Abgeschlossenheit) der Entwicklungstätigkeit
- Abbilden von geringem Determinierungsgrad der Abläufe (situative Anpassbarkeit)

---

<sup>2)</sup> Dieser Ansatz entstand im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 336 (Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung) an der TU München, gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG, Bonn.

Die Grundidee ist, zu kurzen, relativ einfachen Entwicklungs- und Planungsschritten überzugehen, um das Problem der Ergebnisveralterung zu umgehen. Darüber hinaus müssen im Ablauf Erweiterungs- und Reduktionsmöglichkeiten eingeplant werden (vgl. DAENZER 1997, S. 91). REINHART ET AL. (1997A) und BICHLMAIER & GRUNWALD (1998) stellen diesbezüglich einen Ansatz vor, der es erlaubt, den Entwicklungsprozess zu modularisieren. Er lässt sich aus einzelnen Elementen, den sog. *Prozessbausteinen* zusammensetzen, die eine *inhaltliche Hilfestellung* für die Planung und Durchführung der enthaltenen Tätigkeiten geben (s. Abbildung 5-1).

Damit diese Bausteine zu einem durchgängigen Prozessnetz zusammengesetzt werden können, muss der Ansatz die detaillierte Beschreibung der *Schnittstellen* zwischen den Prozessbausteinen unterstützen. Dies ist die Voraussetzung für eine konsistente *Konfigurierbarkeit der Prozessbausteine*. Die vorliegende Arbeit geht davon aus, dass sich diese Schnittstellen zwischen z.T. parallel stattfindenden Prozessbausteinen nicht wie bei konventionellen Ansätzen über starre Ereignisse (z.B. Meilensteine), sondern über die Beschreibung des aktuellen Zustands der zugehörigen Gestaltungsobjekte beschreiben lassen. Die Abbildung dieser logischen Abhängigkeiten soll eine schnelle Änderung oder Detaillierung bestehender Prozessnetze ermöglichen. Die modulare Gestaltung erlaubt dabei, vorhandene Prozessfreiräume zu erkennen und zu nutzen.

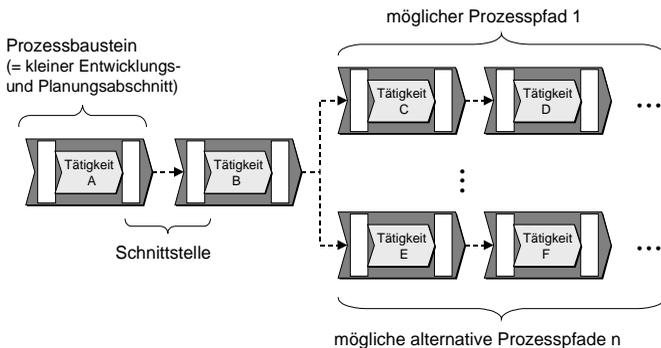


Abbildung 5-1: Prinzip der Flexibilisierung von Entwicklungs- und Planungsprozessen

Durch diese eindeutige Abgrenzbarkeit einzelner Entwicklungs- und Planungsschritte lässt sich eine Bibliothek aus vordefinierten Prozessbausteinen anlegen, die sich für eine Planung und Umplanung neuer und bestehender Prozesse heranziehen lassen. Eine Definition alternativer Prozessbausteine erweitert dabei die Handlungsalternativen im Prozess. "Durch die *Austauschbarkeit* von Prozessen erhält die modulare Produktentwicklungsorganisation die (...) notwendige Flexibilität, sich an dynamisch veränderliche Entwicklungsaufgaben anzupassen" (ORTON & WEICK 1990, S. 214f).

Solche modularen Prozesse bieten eine Vielzahl weiterer Vorteile, wie in Abbildung 5-2 dargestellt (in Anlehnung an GÖPFERT 1998, S. 157).

Effekte	Vorteile
Abgrenzbarkeit	Relative autonome Bearbeitung von Teilprozessen
Standardisierbarkeit	Schaffung wiederverwendbarer generischer Standardprozesse
Wiederverwendung	Rückgriff auf vorhandene Prozesse und Erfahrungen
Kombinierbarkeit	Schnelle flexible Konfiguration von Gesamtprozessen
Erweiterbarkeit	Situative bedarfsspezifische Erweiterung der Prozesse
Kontrollierbarkeit	Einfache Erfolgskontrolle durch zurechenbare Leistung
Hierarchisierung	Ausgliederung oder Detaillierung kritischer Teilprozesse
Prozessstabilität	Veränderungen bleiben auf einzelne Teilprozesse beschränkt

Abbildung 5-2: Vorteile einer Prozessmodularisierung

### 5.1.2 Steigerung von Effektivität und Effizienz in Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozessen

Um die Wirtschaftlichkeit und Zielorientierung in Entwicklungsprozessen zu steigern, wird das in Abschnitt 5.1.1 beschriebene Modell erweitert.

Da Produkt, Montagevorgang und Montageanlage oft in hohem Maße voneinander abhängen, wird die einseitige Entwicklung nur eines dieser Gestaltungsobjekte zu keiner optimalen Gesamtlösung führen. Deshalb werden in Prozessbausteinen *integrierte Arbeitsinhalte* vorgeschlagen, die im Sinne einer Integration von Konstruktion und Montageplanung ein gemeinsames Ziel haben. Diese bereichsübergreifenden Zwischenergebnisse werden entweder gemeinsam vom Entwickler und Montageplaner erarbeitet oder sogar von einer einzelnen Person „integrativ“ erzeugt. Damit lassen sich Kommunikationsbarrieren und Schnittstellen abbauen und die Effizienz steigern. Die erzeugten Zwischenergebnisse beziehen sich auf die Gestaltungsobjekte *Produkt*, *Montagevorgang* und *Montageanlage* bzw. deren Komponenten zugleich und fassen die Arbeitsinhalte bezüglich dieser drei Gestaltungsobjekte zu integrierten Einheiten zusammen. Zusätzlich wird eine Aufgaben- und Verantwortungsintegration bzgl. der Prozessbausteinergebnisse eingeführt. Damit werden durchgängige Informationsverarbeitungsprozesse gefördert. Die Mitarbeiter, die mit der Abwicklung eines integrierten Prozessbausteins betraut sind, gehören zur selben aufbauorganisatorischen Einheit.

Die Idee der Prozessbausteine beinhaltet aufgrund deren Wiederverwendbarkeit große Chancen hinsichtlich einer Effizienzsteigerung im Entwicklungsprozess. Dazu werden die Struktur der Bausteine aber auch ihr inhaltlicher Ablauf standardisiert. Vorteile der Standardisierung sind die Objektivierung und Stabilisierung von Entscheidungsprozessen, eine Entlastung durch Routine und die Möglichkeit der Leistungssteigerung durch Lerneffekte. Aufgrund der Integration und Standardisierung kommt es zu qualitativ besseren Zwischenergebnissen, die zu einer Verkürzung von Abstimmungs- und Änderungsschleifen führen. Es können gegebene Freiräume aber auch Restriktionen der *Kombination* aus *Produkt*, *Vorgang* und *Anlage* frühzeitig erkannt, analysiert und genutzt werden.

GÖPFERT (1998) weist nach, dass sich durch eine Integration sowohl die vorhandene Komplexität im Ablauf reduzieren als auch die Dynamik beherrschen lässt. Notwendige Informationsflüsse zwischen den Bausteinen werden bereits in der Planungsphase vorge-dacht und erhöhen somit die Ablaufsicherheit des Prozesses.

Ferner dient der Ansatz dazu, den Entwicklungsaufwand durch eine geeignete Priorisierung zielorientiert auf die kritischen Bereiche im Prozess zu fokussieren. Dort sollen mögliche Entwicklungsrichtungen aufgezeigt werden, um insgesamt einen effektiven Entwicklungsprozess zu erreichen.

### **5.1.3 Vorbereitung der Einführung einer flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung**

Ein wesentlicher Schwerpunkt innerhalb des Konzeptes ist die Einführung der Methodik in Unternehmen mit spezifischen personellen, organisatorischen und technischen Potenzialen und Randbedingungen. In diesem Abschnitt soll die prinzipielle Vorgehensweise der Einführung aufgezeigt werden (vgl. REINHART & GRUNWALD 2000). Die Einführung gliedert sich zunächst in eine *Qualifizierungs-* und eine *Anpassungsphase*.

Im Rahmen der Qualifizierung werden die vorhandenen Ressourcen und Randbedingungen auf das integrierte Arbeiten auf Basis von Prozessbausteinen vorbereitet. Dabei werden im Rahmen der Einführung die individuellen Ausprägungen berücksichtigt.

Im Rahmen der Anpassung wird ein Prozessmodell erzeugt als Planungs-, Durchführungs- und Dokumentationsgrundlage. Dieses Prozessmodell basiert - wie bereits erwähnt - auf generischen Prozessbausteinen, aus denen sich systematisch unternehmens-, produkt-/montage- und projektspezifische Prozessbausteine ableiten lassen.

Dazu werden die Inhalte der Prozessbausteine zunehmend konkretisiert und neben Angaben über die betrachteten Produkte, Montagevorgänge und Montageanlagen die erforderlichen Kompetenzen und Werkzeuge zur Bearbeitung hinterlegt. Diese Bausteine werden schließlich in sog. Prozessbaukästen strukturiert abgelegt. Mit Hilfe eines Rechnerwerkzeuges kann dann auf diese Prozessbaukästen und -bausteine zurückgegriffen werden. Das Werkzeug erlaubt es, teilautomatisiert und flexibel integrierte Entwicklungs- und Planungsprozesse zu konfigurieren, während eines laufenden Entwicklungsprojektes dynamisch zu erweitern und gezielt zu steuern.

Durch die Integration von Konstruktion und Montageplanung ist eine wesentliche organisatorische Schnittstelle abgeschafft. Um jedoch große Entwicklungsorganisationen lenkbar zu halten, muss eine Ersatzstruktur gebildet werden. Dazu sind sog. integrierte PVA-Module zu bilden (**P**rodukt, **V**organg, **A**nlage), an denen sich die neue Organisationsstruktur ausrichtet. Ein PVA-Modul ist ein Teil des Produktes, des zugehörigen Montagevorgangs und der zugehörigen Anlage. Geeignete Strukturierungsalgorithmen bilden diese zusammengehörigen Einheiten und daraus das äquivalente Organisationsmodell. Für diese Module lassen sich dann relativ autonome Teilprozesse konfigurieren.

## 5.2 Generische integrierte Prozessbausteine

Aufbauend auf den Überlegungen aus Kapitel 5.1 soll im Folgenden der generische integrierte Prozessbaustein hinsichtlich Aufbau und Inhalt als Grundelement des Prozessmodells vorgestellt werden. Die dabei verwendete Formalisierung unterstützt die Transparenz und Übertragbarkeit der Inhalte. Des Weiteren soll eine Klassifizierung von Prozessbausteinen vorgenommen und zum Abschluss die Detaillierung, Spezialisierung und Variantenbildung von Prozessbausteinen erläutert werden.

### 5.2.1 Aufbau eines Prozessbausteins

Ein Prozessbaustein besteht aus einem definierten Arbeitsinhalt integrierter Tätigkeiten, die dazu dienen, ein bestimmtes Zwischenergebnis zu erreichen. Das Zwischenergebnis bezieht sich auf mindestens eines der drei Gestaltungsobjekte Produkt, Montagevorgang und Montageanlage. Prozessbausteine sind charakterisiert durch einen bestimmten Typ, durch Eingangs- und Ausgangsinformationen (-dokumente), erforderliche Ressourcen und Kompetenzen zur Bearbeitung, einsetzbare Methoden und Werkzeuge, Planzeit, Plankosten und vorhandene Prozessenerfahrungen. Abbildung 5-3 zeigt ein detailliertes Beispiel für einen Prozessbaustein.

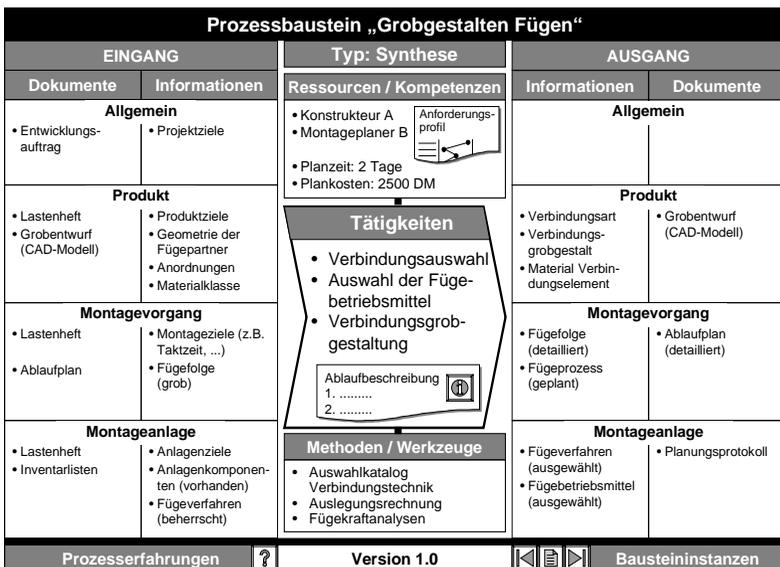


Abbildung 5-3: Beispiel für einen integrierten Prozessbaustein nach BICHLMAIER & GRUNWALD (1998)

### **Informationen zu Arbeitsinhalten**

Die Trennung der bereichsspezifischen Vorgehensweisen von Konstruktion und Montageplanung wird aufgegeben, indem direkt abhängige Tätigkeiten und Gestaltungsobjekte in einem Prozessbaustein zusammengefasst werden. Damit lassen sich gegenseitige Abhängigkeiten besser beherrschen. Diese Abhängigkeiten kommen zustande, da Ergebnisse, die im Rahmen einer Entwicklungs- oder Planungstätigkeit erarbeitet werden, oft Ergebnisse anderer Tätigkeiten beeinflussen.

Es gibt prinzipiell zwei Arten, um dieses Abstimmungsproblem zu lösen: die *Schnittstelle zwischen beiden Tätigkeiten eliminieren* oder den *Informationsfluss über diese Schnittstelle intensivieren*.

Im Sinne der *Schnittstelleneliminierung* werden künftig bestimmte Tätigkeiten, die bislang von getrennten Produktentwicklern und Montageplanern durchgeführt wurden, nur noch durch eine Person durchgeführt. Dies ist z.B. für einfache Montierbarkeitsuntersuchungen angedacht, die künftig auch der Konstrukteur durchführen kann.

Die *Intensivierung des Informationsflusses* wird durch eine Zusammenlegung der Problemlösungskompetenzen erreicht. Entwickler und Planer erarbeiten das Ergebnis eines Prozessbausteins gemeinsam und haben somit das gleiche Ziel. Der Baustein wird erst beendet, wenn beide das Ergebnis freigeben.

Der im Baustein abgebildete Prozessabschnitt soll so klein sein, dass er ein logisch abgeschlossenes Arbeitspaket darstellt, welches von einer Organisationseinheit autonom bearbeitet werden kann, ohne dass diese während der Bearbeitung auf zusätzliche Informationen von anderen Organisationseinheiten angewiesen ist. Sie haben somit einen *abgegrenzten Gültigkeitsbereich* und tragen den Charakter relativ abgeschlossener "Dienstleistungen" (vgl. GÖPFERT 1998, S. 151ff).

Die *Standardisierung von Prozessbausteinen* mit hoher Wiederholhäufigkeit bietet die Möglichkeit, deren Abarbeitung zu routinisieren und so Spielraum für die Lösung unvorhersehbarer Probleme zu schaffen. Dadurch entstehen Synergien zwischen unterschiedlichen Entwicklungsprojekten durch übergreifenden Erfahrungsaustausch.

### **Informationen über Typ und Schnittstellen zur Prozessvernetzung**

Prozessbausteine stellen lediglich kleine Prozessabschnitte dar. Daher müssen sie vernetzbar sein, um in der Gesamtheit einen vollständigen Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozess zu beschreiben. Der Einsatzbereich eines Prozessbausteins wird durch seine *Eingangs- und Ausgangsinformationen* und seinen *Typ* charakterisiert.

*Vier Typen* von Bausteinen lassen sich unterscheiden: *Synthese-, Analyse-, Bewertungs- und Auswahlbausteine*. Der Typ dient der Vorgehensstrukturierung beim Problemlösen.

Darüber hinaus sind im Prozessbaustein *Eingangsinformationen* abgebildet, die mindestens vorliegen müssen, um die Arbeitsinhalte durchführen zu können. Diese Eingangsinformationen beziehen sich auf bestimmte *Gestaltungsobjekte oder einzelne Ob-*

*jektbereiche*, die in einem bestimmten Zustand bzw. in einer bestimmten Reife vorliegen müssen. Die Methodik unterscheidet dabei drei verschiedene Dimensionen der Reife: den *Konkretisierungsgrad*, den *Absicherungsgrad* und die *Verbindlichkeit*.

Die Angabe dieser Eingangsinformationen unterstützt die spätere Einbindung des Prozessbausteins in den Gesamtprozess. Damit lässt sich auch der frühestmögliche Zeitpunkt der Bearbeitung nachfolgender Bausteine planen. Neben den *Eingangsinformationen* sind im Baustein noch die zugehörigen *Eingangsdokumente* mit ihrem Format (z.B. CAD-File) anzugeben, in dem die Informationen abgelegt sein müssen.

Analog dazu werden im Prozessbaustein *Ausgangsinformationen und -dokumente*, bezogen auf die drei Gestaltungsobjekte abgebildet, die durch die Arbeitsinhalte zusätzlich erzeugt werden. Erst wenn das gemeinsame Ergebnis bezüglich aller Gestaltungsobjekte erreicht und freigegeben ist, gilt der Prozessbaustein als abgeschlossen.

### **Informationen zu einsetzbaren Methoden und Werkzeugen**

Es werden *einsetzbare Methoden und Werkzeuge* im Baustein angegeben, die die Bearbeitung unterstützen. Oft hat eine Methode ein eigenes Profil an Eingangs- und Ausgangsinformationen, was bei der Definition der Prozessbausteine berücksichtigt werden muss. Im Baustein sind bewusst mehrere sinnvolle Methoden angegeben, um im Anwendungsfall Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung zu haben.

### **Informationen zu Entwicklungs-/Planungsressourcen und -kompetenzen**

Im Prozessbaustein werden die *Entwicklungs-/Planungsressourcen und -kompetenzen* angegeben, die zur Bearbeitung mit der gewählten Methode erforderlich sind. Ressourcen können dabei sachliche Ressourcen (Rechner, Prüfstände, etc.) und Personalressourcen (Entwickler, Planer, Simulationsexperten, etc.) sein. Die erforderlichen Kompetenzen (Fähigkeiten) werden in Form eines Anforderungsprofils abgebildet, dem die durchführende Organisationseinheit oder Person gerecht werden muss. Ferner lassen sich *Planzeit* und *-kosten* im Prozessbaustein angeben, um verbrauchte und noch verfügbare Projektressourcen stets schnell ermitteln zu können. Zur Auswahl alternativer Bausteine (ähnlich eines Relativkostenkatalogs) können Planzeit und Plankosten ein wichtiges Entscheidungskriterium sein.

### **Informationen über Prozessserfahrungen**

Prozessbausteine sind von ihrer Grundidee her wiederverwendbar und daher als Ort der Erfahrungsdokumentation gut geeignet. Deshalb kann im Baustein Prozesswissen hinterlegt und bei Folgeprojekten abgefragt werden. Prozessserfahrungen lassen sich dabei in generische und spezifische Erfahrungen strukturieren.

*Generische Erfahrungen* führen zu einer Optimierung der generischen Prozessbausteine. Diese können formuliert werden durch einen:

- Abgleich geplanter Ressourcen mit tatsächlich gebrauchten Ressourcen,
- Abgleich geplanter Methoden mit tatsächlich eingesetzten Methoden,

- Abgleich geplanter Eingangs-/Ausgangsinformationen mit tatsächlich verwendeten Informationen,
- Abgleich der geplanten Bearbeitung der Arbeitsinhalte mit realer Vorgehensweise.

*Spezifische Erfahrungen* geben Hinweise auf bewährte Instanziierungen von Bausteinen. Ein Prozessbaustein bietet in sich viele Variationsmöglichkeiten (Bezug zu bestimmten Gestaltungsobjekten, Einsatz bestimmter Methoden und Werkzeuge, Durchführung von spezifischen Personen, etc.). Solche in konkreten Projekten erfolgreiche Instanziierungen werden gespeichert, um im Bedarfsfall schnell eine bewährte Konfiguration eines Bausteins zur Verfügung stellen zu können. Dafür werden im Prozessbaustein *Bezugsinformationen zu anderen Bausteinen* hinterlegt, die beispielsweise auf Konkretisierungen oder Varianten (bzw. Versionen) eines Bausteins verweisen.

### 5.2.2 Klassifizierung von Prozessbausteinen

Zur Klassifizierung von Prozessbausteinen lassen sich zwei Ansatzpunkte heranziehen. Zum einen die elementaren Tätigkeiten gemäß des Problemlösungszyklus' der Systemtechnik, zum anderen der Betrachtungsschwerpunkt des Bausteins (s. Abbildung 5-4).

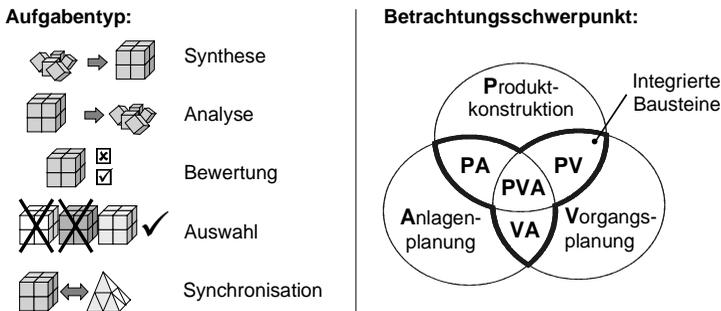


Abbildung 5-4: Klassifizierung eines Prozessbausteins

#### Klassifizierung nach dem Aufgabentyp

Entwicklungs- und Planungsprozesse sind charakterisiert durch einen ständigen Wechsel zwischen Syntheseschritten zur Festlegung von Beschaffenheitsmerkmalen und Analyseschritten zur Absicherung von Funktions- und Relationsmerkmalen (vgl. EHRENSPIEL 1995). Im Laufe des Prozesses werden Beschaffenheitsmerkmale wie Formen oder Werkstoffe durch *Synthesebausteine* zunehmend konkretisiert. Daraus ergeben sich Funktions- und Relationsmerkmale (wie Betriebsdauer oder Herstellungskosten), die vom Produkt und der Montageanlage erfüllt werden müssen. Dementsprechend sind *Bewertungsbausteine* dann in den Prozess einzubauen, wenn Syntheseschritte den Absicherungsbedarf vergrößert haben, oder wenn *Analysebausteine* neue Erkenntnisse über eine

Lösung schaffen. Die *Bewertungsbausteine* sind dabei im Gegensatz zu Analyse- und Syntheseschritten eher als kurze Arbeitsschritte gedacht, die der Neuorientierung im Prozess dienen. *Auswahlbausteine* dienen schließlich als Entscheidungspunkt, an dem Lösungen (z.B. Varianten) freigegeben bzw. verworfen werden. *Synchronisationsbausteine* haben übergreifenden Bewertungscharakter und die Aufgabe, den Gesamtprozess zu strukturieren und Teilergebnisse zusammenzuführen.

### **Klassifizierung nach dem Betrachtungsschwerpunkt**

Es gibt prinzipiell sieben verschiedene Bezugs- oder Betrachtungsschwerpunkte eines Prozessbausteins. Das bedeutet, ein Baustein kann Ergebnisse zu bestimmten Entwicklungs-/Planungsobjekten oder einer Kombinationen davon, erzeugen. Damit wird implizit auch der Integrationsgrad der Ergebniserarbeitung abgebildet. Nicht bei jeder Tätigkeit ist es sinnvoll, stets Produkt, Montagevorgang und Montageanlage zusammen zu betrachten und weiter zu entwickeln. Es gibt nach wie vor Prozessbausteine, die von einem Spezialisten für Produkt oder Montage alleine bearbeitet werden. Andererseits gibt es Bausteine, bei denen eine gemeinsame Erarbeitung von Produkt und Montage sinnvoll ist. Aus diesem Grund unterscheidet die Methodik die in Abbildung 5-4 dargestellten Betrachtungsschwerpunkte.

### **5.2.3 Detaillierung, Spezialisierung und Variantenbildung von Prozessbausteinen**

Im diesem Abschnitt ist beschrieben, wie sich Prozessbausteine detaillieren bzw. abstrahieren lassen. Damit kann eine dem Denk- und Handlungsstil der beteiligten Entwickler angemessene Modellsichtweise angeboten werden. Je konkreter ein Prozessbaustein formuliert ist, desto enger ist sein Gültigkeitsbereich und größer seine Hilfestellung. Dadurch nimmt jedoch seine Übertragbarkeit auf ähnliche Aufgabenstellungen ab.

#### **Hierarchisierung von Prozessbausteinen**

Die Hierarchisierung von Prozessbausteinen hat den Zweck, Prozessbausteine in untergeordnete Bausteine mit eindeutigen Abbildungsregeln aufzulösen. Die Selbstständigkeit von Prozessbausteinen ermöglicht diese hierarchische Abbildung prinzipiell. Dabei sind zwei Fälle einer Hierarchisierung denkbar:

- *Auflösen der Gestaltungsobjekte*: Die Eingangs- und Ausgangsinformationen eines instanziierten Prozessbausteins beziehen sich auf ein bestimmtes Gestaltungsobjekt, z.B. auf das Gesamtprodukt. Eine Form der Hierarchisierung ist, die Objektinformationen aufzulösen und den Prozessbaustein nur auf eine bestimmte Baugruppe zu beziehen. Die Tätigkeiten im Baustein würden unverändert bleiben. Voraussetzung dafür ist eine eindeutige Strukturierung der Gestaltungsobjekte.
- *Auflösen der Tätigkeiten*: Die Tätigkeitsbeschreibung eines Prozessbausteins lässt sich in unterschiedliche Betrachtungsebenen auflösen. Für die Unternehmensleitung

sind untergeordnete Tätigkeiten eines Prototypenversuchs beispielsweise unwichtig, für sie zählt lediglich das Ergebnis. Der Versuchsleiter wird hingegen den Versuch in einzelne Unterschritte gliedern, wie z.B. die Vorbereitung, den Aufbau, die Durchführung und die Auswertung und diese Schritte als eigene Bausteine beschreiben. Problematisch ist, dass Bausteintätigkeiten nicht eindeutig zerlegbar sind.

Der Wechsel von einer detaillierten in eine abstraktere Hierarchieebene wirft folgendes semantisches Problem auf. Untergeordnete Bausteine enthalten meist detailliertere Eingangsinformationen, die auf einer übergeordneten Ebene unbedeutend bzw. zu detailliert wären. Zusätzlich müsste man sich entscheiden, ob die Tätigkeiten, die zugeordneten Entwicklungsobjekte oder beides verdichtet werden sollen. Der Praxiseinsatz hat gezeigt, dass strenge Regeln einer eindeutigen Überführung untergeordneter in übergeordnete Bausteine nicht definierbar sind. Daher soll im Folgenden nicht der Begriff der *Hierarchisierung* sondern der *Detaillierung* von Prozessbausteinen verwendet werden.

### **Detaillierung und Aggregation von Prozessbausteinen**

Es kann u.U. sinnvoll sein, bereits sehr früh einen Teilbereich eines Produkts oder einer Anlage konkreter zu entwickeln, z.B. um eine kritische Eigenschaft schnell abzusichern oder um Angebote für eine spätere Herstellung einholen zu können, während andere Bereiche auf einem abstrakteren Niveau verbleiben. Diese *bereichsspezifische Detaillierung* lässt sich mit Prozessbausteinen gut abbilden.

Ein weiterer Aspekt ist die *zeitlich-situative Detaillierung*. Bei der Durchführung des Prozessbausteins wird z.B. erkannt, dass die Bearbeitung so aufwendig wird, dass eine Detaillierung sinnvoll ist. So können Prozessbausteine auch nachträglich noch detailliert werden. Auch wenn die Kapazitätsgrenze der zugewiesenen organisatorischen Einheit erreicht ist, sollten Prozessbausteine in kleinere Arbeitspakete aufgelöst werden.

Im Gegensatz dazu können Bausteine, die keine komplexen Tätigkeiten beinhalten und nicht in einen intensiven Informationsaustausch eingebunden sind, lediglich als Black-Box dargestellt werden und vereinfachen somit die Prozessplanung. Diese Option ist bewusst zu nutzen, ganz im Sinne eines bekannten Zitats von Antoine de Saint-Exupéry: „*Vollkommenheit entsteht offensichtlich nicht dann, wenn man nichts mehr hinzuzufügen hat, sondern wenn man nichts mehr wegnehmen kann.*“

Die Bereitschaft, Prozessbausteine tatsächlich gemäß den Vorgaben auszuführen, hängt in hohem Maße davon ab, ob sie für den Anwender verständlich formuliert sind. Aus diesem Grund ist ein *anwendergerechter Detaillierungsgrad* vorzusehen, der je nach Erfahrung, Denk- und Handlungsstil unterschiedlich sein wird.

Die *Aggregation* von Prozessbausteinen dient dazu, mehrere Bausteine zu einem übergeordneten Baustein zusammenzufassen, um z.B. für einen Gesamtprojektleiter das für ihn Unwesentliche auszublenden und einen schnellen Überblick zu vermitteln.

### Spezialisierung und Generalisierung von Prozessbausteinen

Eine weitere Gestaltungsmöglichkeit ist die *Spezialisierung* (oder *Konkretisierung*) von Prozessbausteinen. Dabei werden die Inhalte *konkreter* beschrieben, es entstehen sog. *Bausteininstanzen*.

Zunehmende Spezialisierung schärft die angebotene Vorgehensweise, die Abarbeitung wird insbesondere für unerfahrene Entwickler oder Planer erleichtert. Von einer Spezialisierung wird auch gesprochen, wenn generische Prozessbausteine an unternehmens-, produkt-/montage- und projektspezifische Randbedingungen angepasst werden.

Der Gegensatz zur Spezialisierung von Prozessbausteinen ist die *Generalisierung* (oder *Abstraktion*). Dabei werden die Informationsinhalte eines Bausteins *verallgemeinert*, es entstehen *Bausteinklassen*. Die Generalisierung instanzierter Bausteine ist wichtig, um die Übertragbarkeit auf andere Aufgabenstellungen zu erreichen.

### Variantenbildung von Prozessbausteinen

Ein wesentlicher Aspekt der Methodik ist das Schaffen von *Redundanzen in den Handlungsmöglichkeiten* (sog. "Flexibilitätspotenzial"). Das bedeutet, der Gestaltungsspielraum wird gezielt erhöht durch das Angebot von Alternativen in Tätigkeiten, Sach- und Personalressourcen und Methoden. Dies ist wichtig, da sich der Verlauf eines Entwicklungsprozesses und damit ein konkreter Bedarf kaum exakt vorhersagen lässt. Es wird lediglich eine prinzipielle Verfügbarkeit von Ressourcen zum Zeitpunkt der geplanten Durchführung der Tätigkeit angenommen, die sich als falsch erweisen kann. Um die spätere Auswahl zwischen konkurrierenden Bausteinen zu erleichtern, sind deshalb bestimmte Vergleichskriterien zu definieren (z.B. Kosten, Dauer und Ergebnisgüte).

Eine Variantenbildung ist sinnvoll, wenn bei der Planung oder Durchführung Vorgehensalternativen erkennbar sind, zwischen denen situationsabhängig erst später entschieden werden soll. Je nach Reife des Produkt-/Anlagenmodells können ebenfalls unterschiedliche Tätigkeiten und Methoden sinnvoll sein (z.B. zur Montageprozessabsicherung). In einem frühen Stadium wird man die Simulation wählen, später eher den Versuch. Spezifische Hinweise gibt der Konfigurationsansatz in Abschnitt 6.3.

Mit dem Abschnitt 5.2 wurde die Grundidee des Prozessbausteins ausführlich dargestellt. Der nun folgende Abschnitt zeigt auf, wie sich die Bausteine zu einem durchgängigen Prozessnetz verbinden lassen.

## 5.3 Flexible Prozessnetze

Wird aus mehreren Prozessbausteinen ein neuer Prozess zusammengesetzt, entsteht ein Prozessnetz. Da die Prozessbausteine nicht in einen festen Kontext eingebunden sind, muss ihre Auswahl und Einbindung in das Prozessnetz methodisch unterstützt werden. Im Folgenden ist detailliert beschrieben, auf welchen Regeln diese Vernetzung beruht.

### 5.3.1 Vernetzung von Prozessbausteinen

Die Unterstützung dieser Vernetzung von Prozessbausteinen hat folgende Ziele:

- Vernetzungsregeln sollen Vorschläge und Restriktionen für Prozessreihenfolgen und -alternativen geben, um die Prozessplanung zu vereinfachen.
- Die Methode soll eine Hilfestellung durch Einschränkung der Lösungsvielfalt bei der Kombination von Bausteinen bieten.
- Eine teilautomatisierte Prozessplanung und -steuerung soll möglich sein (zur Informationsbeschaffung/-verteilung)
- Ein Abgleich zwischen Informationsbedarf und –angebot soll unterstützt werden und Konsistenzprüfungen hinsichtlich der Ablauffähigkeit von Prozessen ermöglichen („Das Wichtigste an einer Kette ist das Glied, das fehlt.“)

Um den Prozess zielgerichtet voranzutreiben, ist stets zu hinterfragen, mit welchen Bausteinen das nächste Zwischenziel zu erreichen ist. Das kann im Sinne einer Vorwärtsplanung durch eine inhaltliche Bewertung der bisher erreichten Ergebnisse erfolgen. Oder im Sinne einer Rückwärtsplanung werden zunächst die letzten Prozessbausteine direkt mit dem Ziel vernetzt und dann sukzessive „nach vorne“ ergänzt, bis alle fehlenden Eingangsinformation von Bausteinen erzeugt wurden.

#### Vernetzung durch Strukturierung nach dem Vorgehenszyklus

In Kapitel 4.2 wurde der Vorgehenszyklus als Grundstruktur des Problemlösens im Entwicklungs- und Planungsprozess vorgestellt. Er besteht aus einer Abfolge von Analyse-, Synthese-, Bewertungs- und Auswahlritten und dient der Vorgehensstrukturierung. Da er Rücksprünge zulässt, sind mehrere Abfolgen der Einzelschritte denkbar. In folgender Abbildung sind sinnvolle Reihenfolgen dieser Entwicklungsschritte beschrieben, die als generische Prozessmuster beim Aufbau von Prozessnetzen dienen können (s. Abbildung 5-5) (vgl. BICHLMAIER & GRUNWALD 1998; LINDEMANN ET AL. 1999C).

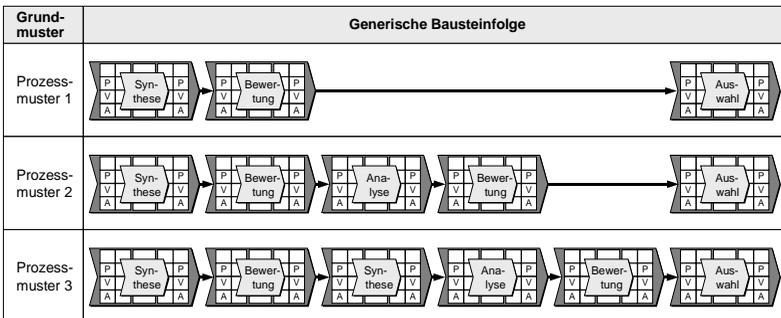


Abbildung 5-5: Grundmuster methodischer Entwicklungs- und Planungsprozesse

Jeder Vorgehenszyklus entspricht einem Prozessabschnitt, in dem ein bestimmtes Teilproblem gelöst wird. Im Entwicklungs- und Planungsprozess kann dies bedeuten, einen bestimmten Objektbereich (z.B. eine bestimmte Zelle der Anlage) weiter zu detaillieren, dann mit einem Bewertungsschritt einen Abgleich mit den geforderten Zielen durchzuführen und anschließend eine Lösung zur weiteren Bearbeitung auszuwählen. Dieses *Prozessmuster 1* tritt ein, wenn der Bewertungsschritt einfach durchzuführen ist und leicht zu erkennen ist, ob die vorliegende Lösung die geforderten Ziele bereits erfüllt. Bei *Prozessmuster 2* ist die Lösung zwar schon ausreichend detailliert, die Zielerfüllung bestimmter Eigenschaften aber nicht ohne weiteres zu erkennen. Dann muss ein eigener Analyseschritt folgen, der die kritischen Eigenschaften überprüft, um eine anschließende Bewertung durchführen zu können. Bei *Prozessmuster 3* ist der Konkretisierungsgrad der Lösung noch nicht weit genug fortgeschritten, um eine Aussage über eine bestimmte Zielerreichung treffen zu können. Dann besteht die Möglichkeit, die Lösung zu konkretisieren bevor sich eine Analyse und ein Bewertungsschritt anschließen können.

### **Vernetzung durch Betrachtung der Prozessbausteinschnittstellen**

Neben den Vernetzungsregeln auf Basis des Vorgehenszyklus' ist ein Abgleich der Eingangs- und Ausgangsinformationen der zweite bestimmende Ansatz. Die Prozessbausteine geben die Eingangsinformationen vor, die für die Bearbeitung des Bausteins erforderlich sind. Idealerweise werden diese Informationen bereits von anderen Prozessbausteinen als Ausgangsgrößen angeboten und die Bausteine können vernetzt werden.

Der Praxiseinsatz hat gezeigt, dass die Eingangs- und Ausgangsinformationen eine erste Orientierung über vernetzbare Bausteine geben. Sie dienen auch als Diskussionsgrundlage für eine zusätzlich erforderliche bilaterale Abstimmung der Bausteinbearbeiter, wenn Eingangs- und Ausgangsgrößen nicht vollständig identisch sind. Dann lassen sich im Rahmen dieser Gespräche Konkretisierungsgrade, Absicherungsgrade und Verbindlichkeiten der auszutauschenden Daten vereinbaren. Außerdem sind die im Prozessbaustein angegebenen Eingangs- und Ausgangsinformationen zunächst abstrakt formuliert, um allgemeingültig zu sein. Deshalb muss bei einer Einplanung eines Prozessbausteins in ein bestehendes Prozessnetz der Informationsbedarf konkretisiert werden.

### **5.3.2 Strukturierung flexibler Prozessnetze**

Im Rahmen der Planung entsteht aus einzelnen Prozessbausteinen, die auf Basis der Vernetzungsregeln verknüpft werden, ein *dynamisches Prozessnetz*. Dynamisch bedeutet in diesem Zusammenhang, dass es jederzeit in seiner Struktur geändert werden kann. Durch die Vernetzungsregeln bleibt dennoch die Durchgängigkeit des Prozesses erhalten, auch wenn er umgeplant wird. Eine grundlegende Frage ist, wie sich ein komplexes Prozessnetz strukturieren lässt. Diesbezüglich sind im Folgenden entsprechende Vorüberlegungen erläutert.

### **Prinzip der Zielorientierung als Ausgangspunkt**

Entwicklungsprojekte haben ein bestimmtes Ziel, auf das es hinarbeiten gilt. Daher muss auch ein Prozessnetz zielgerichtet konfiguriert werden. Diese Zielorientierung wird mit dem Bausteinansatz aufgegriffen, aus ihr leitet sich der rote Faden im Entwicklungs- und Planungsprozess ab.

Die strategischen Projektziele werden zu Projektbeginn in operative Ziele überführt, die wiederum zur Komplexitätsbewältigung auf einzelne Produkt-, Montagevorgangs- oder -anlagenkomponenten heruntergebrochen werden. Die einzelnen Teilziele für die Komponenten beschreiben ein Teilergebnis, das ein entsprechend vorgeschalteter Teilprozess generiert. Schließlich müssen diese Teilergebnisse wieder zusammengeführt werden und dabei das anfangs definierte Gesamtziel ergeben. Daher ist es sinnvoll, die einzelnen Teilprozesse entsprechend der Strukturierung der Gestaltungsobjekte auszubilden. Wie eine geeignete Strukturierung dieser Gestaltungsobjekte aussehen kann, wird in Abschnitt 5.4 behandelt.

### **Ausbilden von Teilprozessnetzen**

Die wesentliche Anforderung an Teilprozessnetze ist aus Sicht der Komplexitätsreduktion, dass sie so autonom wie möglich bearbeitet werden können und sich daher auf einen abgeschlossenen Entwicklungs- und Planungsumfang beziehen sollen.

Die einzelnen Teilprozesse lassen sich als freigeschnittene Einheiten vorstellen (Analogie zum Kräftegleichgewicht der Mechanik). Jede Einheit kann für sich entwickelt werden. Wichtig ist lediglich, dass die Randbedingungen an den Schnittstellen definiert sind, um eine sog. *Horizontale Integration*, also die Vernetzung der Teilmodelle auf der selben Detaillierungsebene vornehmen zu können.

Voraussetzung ist, dass sich diese instanziierten Teilprozessnetze jeweils auf gut abgrenzbare Objektbereiche von Produkt, Montagevorgang und Montageanlage beziehen. Diese wurden bereits in Abschnitt 5.1.3 als **PVA-Module** definiert. Da man a priori die Schnittstellen für jedes PVA-Modul oft nicht ausreichend exakt beschreiben kann und diese meist parallel entwickelt werden, ist es sinnvoll, die Stimmigkeit der Einzelergebnisse in bestimmten Abständen zu prüfen. Dies wird auch in der industriellen Praxis als besonders wichtig eingeschätzt (vgl. MÜLLER & REINDL 1999, S. 137). Dafür sorgen sog. *Synchronisationsbausteine*.

### **Synchronisation von Teilprozessnetzen**

Synchronisationsbausteine haben den Charakter von übergreifenden Bewertungsbausteinen, die den Gesamtablauf strukturieren und synchronisieren. Deren Inhalt ist, eine übergreifende Kommunikation der Entwicklungs- und Planungsteams zur Abstimmung und frühzeitigen Konfliktbeseitigung einzurichten. Sie haben damit eine Art Schrittmacherfunktion zur Sicherung eines synchronen Arbeitsfortschrittes durch Korrekturmaßnahmen und Unterstützung der Integration von Teilergebnissen (s. Abbildung 5-6).

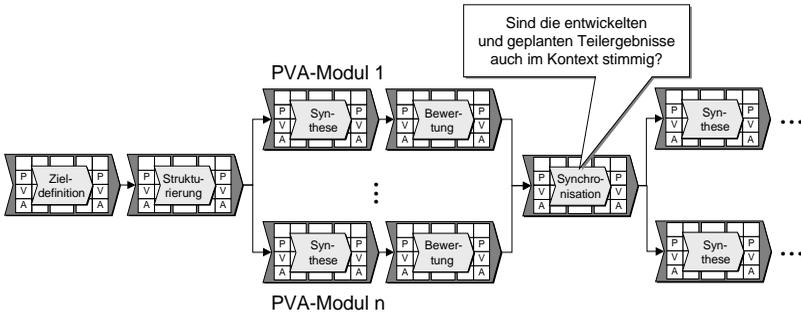


Abbildung 5-6: Abgleich paralleler Teilprozesse durch Synchronisationsbausteine

Wie bereits erwähnt, bedarf es bei einem flexibel konfigurierbaren integrierten Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozess einer geeigneten Strukturierung der Gestaltungsobjekte Produkt, Montagevorgang und Montageanlage. Zum einen soll sie als Basis für die Aufbauorganisationsstruktur, zum anderen für die Strukturierung des Gesamtprozesses in Teilprozesse herangezogen werden. Die Autonomie von Teilprozessen ist dabei eine Voraussetzung, um neben einer ablauforientierten Parallelisierung durch Prozessbausteine eine objektorientierte Parallelisierung von Entwicklungsschritten zu realisieren (vgl. BOCHTLER 1996, S. 66ff). Aus diesem Grund wird im Folgenden die Abbildung und Strukturierung von Gestaltungsobjekten erläutert.

## 5.4 Gestaltungsobjekte Produkt, Montagevorgang und Montageanlage

In diesem Abschnitt werden zunächst Anforderungen an eine geeignete integrierte Strukturierung definiert, darauf aufbauend eine Struktur entwickelt und Abbildungsvorschriften für Objektzustände bestimmt. Schließlich werden noch klassische Interdependenzen zwischen Objektzuständen aufgezeigt.

### 5.4.1 Strukturierung der Gestaltungsobjekte

Um eine intensive Zusammenarbeit von Produktentwicklern und Montageplanern zu erreichen, muss neben der Aufgabenintegration eine *integrierte Strukturierung* der Objekte Produkt, Montagevorgang und Montageanlage angestrebt werden.

Die Strukturierung eines Produktes in zwei geometrische Produktbaugruppen sollte gleichzeitig zwei Funktionsträger und zugleich zwei Vormontageeinheiten abbilden, die mit einer bestimmten Anlagenkomponente montiert werden. Diese Kombination wird als sog. *PVA-Modul* bezeichnet, das integriert erarbeitet wird.

Auch wenn dies in der Anwendung nicht immer vollständig möglich ist, bietet dennoch

eine weitgehende Strukturierung dieser Art eine gute Grundlage für die Strukturierung integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse und Organisationsstrukturen.

Wie bereits in Kapitel 4.5 beschrieben, unterscheidet man eine geometrische und funktionale Strukturierung. Die *funktionale Struktur* gliedert das Produkt in einzelne Funktionsgruppen, die jeweils eigenständig eine wesentliche Produktfunktion erfüllen. Die *geometrische Strukturierung* gliedert das Produkt in geometrische Bauräume, z.B. Seitenteil, Unterteil, Oberteil.

Als Richtlinie für die Strukturierung einzelner autonomer Prozessnetze sind beide Strukturierungsvarianten nur bedingt geeignet. Die funktionale Struktur entspricht i.d.R. nicht der Montagereihenfolge. Bei der geometrischen Struktur ist problematisch, dass aufgrund von Hinterschnidungen einzelner Bauteile die Montierbarkeit nicht immer bauraumorientiert gewährleistet ist. Darüber hinaus lassen sich die einzelnen Produktfunktionen nicht in den Strukturelementen abbilden.

### **Modulorientierte Produkt-, Montagevorgangs- und Anlagenstrukturierung**

Daher soll für die Abgrenzung des PVA-Moduls die bereits bekannte modulorientierte Strukturierung gewählt werden. Ein *Modul* ist ein geometrisch abgeschlossenes System, das einzeln vormontiert und funktional prüfbar ist. Das Gesamtprodukt setzt sich aus einzelnen Modulen zusammen. Damit erfüllt die modularisierte Struktur alle wesentlichen Anforderungen an eine Organisation der Entwicklung auf Basis der Prozessbausteine. Es fehlt lediglich noch die Verknüpfung zum Anlagenmodell.

GÖPFERT (1998), SPIES (1997) und WEBER (1998) beschreiben Gestaltungshinweise und konkrete Maßnahmen zur Bildung und Bewertung von Modulstrukturen.

- Das Modul muss einfach in seine Modulumgebung zu montieren sein.
- Die Anforderungen an ein Modul müssen an der übergeordneten Gesamtproduktstrategie und den Gesamtprodukteigenschaften ausgerichtet sein.
- Je vernetzter ein Modul ist, desto mehr Anforderungen darf es an seine geometrischen „Nachbarn“ stellen, um die Komplexität zu beherrschen.
- Zwischen den Modulen sollten die Schnittstellen so gering wie möglich sein. Zugelassen sind funktionsbedingte Schnittstellen (verschiedene Werkstoffe, Relativbewegung, Zugänglichkeit zu anderen Modulen) und Schnittstellen aufgrund verteilter Funktionen (Elektrik, Ölversorgung, etc.).
- Das Modulsystem soll eine späte Variantenbildung im Produktionsablauf ermöglichen. Die Modulvarianten sollten über standardisierte Schnittstellen verfügen (z.B. Aufnahmen für Montagevorrichtungen).

Um konkrete Module abzuleiten, sei an dieser Stelle auf die Arbeiten von GÖPFERT (1998, S. 60ff), SPIES (1997, S. 79ff) und WEBER (1998, S. 99ff) verwiesen. Für die vorliegende Arbeit wird dieser Modularisierungsansatz lediglich um zugehörige Monta-

geanlagenkomponenten erweitert. Eine praktikable Strukturierung von Produkt, Montagevorgängen und Anlagen ist in Abbildung 5-7 dargestellt.

Ebene	Produktstrukturierung	Anlagenstrukturierung	Vorgangsstrukturierung
1	Gesamtprodukt	Anlage (System), beinhaltet Zellen, über Transport- und Fügebetriebsmittel verbunden	Montage (Handhaben, Fügen) der Module zum Gesamtprodukt
2	Module	Zelle (Station/Arbeitsplatz), beinhalten Handhabungs- und Fügebetriebsmittel	Montage (Handhaben, Fügen) der Bauteile zum Modul
3	Bauteile	Betriebsmittel für die Bauteilhandhabung	Handhaben der Bauteile

PVA-Modul

Abbildung 5-7: Strukturierung von Produkt, Montagevorgängen und Anlagen

Die wesentlichen Vorteile dieser Modulstruktur sind neben einer analog zu gestaltenden Organisations- und Prozessstruktur auch die gute Abgrenzbarkeit, Standardisierbarkeit, Wiederverwendbarkeit und Kombinierbarkeit der Module. Damit lassen sich auch integrierte Entwicklungs- und Planungsprozesse stärker parallelisieren und standardisieren. Der Entwicklungsaufwand sinkt bei reduzierter Entwicklungszeit. Seitens der Entwicklungsobjekte lassen sich eine Reduktion von Teilevielfalt, eine einfache Herstellung von Produktvarianten und Produktfamilien und eine geringere Fehlerrate durch Skalen-/Lerneffekte und Vorabprüfbarkeit erzielen (vgl. GÖPFERT 1998, S. 121).

### 5.4.2 Abbilden der Gestaltungsobjektzustände

Ein wesentliches Ziel der Methodik ist es, bewusst einen hohen Parallelisierungsgrad der Prozessbausteine zu ermöglichen, um Zeiteinsparpotenziale zu nutzen. Für jeden Baustein wird daher lediglich das Mindestmaß an Eingangsinformationen definiert. Für eine erste Montierbarkeitsuntersuchung müssen bspw. nicht immer vollständig ausdetaillierte Produkt- und Betriebsmittelgeometrien vorliegen. Daher ist es sinnvoll, auch Zwischenzustände der Entwicklungs- und Planungsobjekte zu beschreiben.

#### Einführung von Reifestufen

Durch die frühzeitige Weitergabe von Zwischenergebnissen können durch Entwickler oder Planer das Prinzip, die Dimensionen und sich daraus ergebende Konsequenzen frühzeitig abgeschätzt und berücksichtigt werden. Diese Zwischenzustände, die Produkt-, Vorgangs- und Anlagenmodelle annehmen können, sind in der vorliegenden Arbeit mit diskreten *Reifestufen* zu beschreiben. Dies erleichtert die Kommunikation im Prozess. Diese Reifestufen und deren Informationsgehalt müssen mit einer eindeutigen Semantik beschrieben werden, um ein einheitliches Verständnis und die Vernetzbarkeit der Prozessbausteine zu gewährleisten. Im Folgenden ist ein Vorschlag dargestellt, wie diese

Semantik gewählt werden kann (vgl. Abbildung 5-8). Die Skalierung der Reifestufen kann unternehmensspezifisch definiert werden.

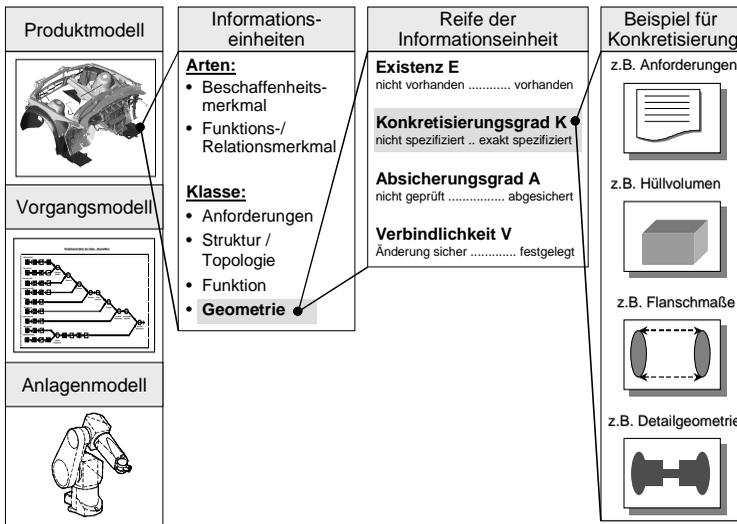


Abbildung 5-8: Informationseinheiten und deren Reifestufen

Das Produkt-, Vorgangs- und Anlagenmodell beinhaltet bestimmte Informationseinheiten, die nach Art und Klasse charakterisiert werden sollen. Ein Klasselement (wie die Geometrie) kann mit den vier Attributen Existenz, Konkretisierungsgrad, Absicherungsgrad und Verbindlichkeit näher beschrieben werden.

### 5.4.3 Bewertung der Abhängigkeiten von Gestaltungsobjektzuständen

Eine wesentliche Erkenntnis der Arbeit war, dass zwischen Konkretisierungsgrad, Absicherungsgrad und Verbindlichkeit direkte und indirekte Beziehungen bestehen.

Je höher der *Konkretisierungsgrad* ist, desto höher kann der *Absicherungsgrad* und dessen *Aussagesicherheit* werden. Bestimmte Eigenschaften lassen sich erst bei hohem Konkretisierungsgrad hinreichend exakt bewerten. Diese Zusammenhänge sollen beispielhaft in Abbildung 5-9 verdeutlicht werden.

Die *Verbindlichkeit eines Zustandes* bezieht sich immer auf einen bestimmten Konkretisierungsgrad. Ist z.B. ein Anlagenlayout *verbindlich*, wird es nicht mehr geändert. Dies bedeutet aber nicht, dass auf eine feineren Betrachtungsebene (z.B. bei den Betriebsmitteln) keine Änderungen mehr vorgenommen werden dürfen.

Konkretisierungs- grad Produkt Absicherung Montagevorgang	Produkt- struktur festgelegt	Produktgrob- geometrien (Module) definiert	Bauteilgrob- geometrien modelliert	Bauteil- geometrien detailliert
<b>Fügereihenfolge</b>	Alle Module in geplanter Struktur prinzipiell ffügbar	Alle wichtigen Bauteile in geplantem Modul prinzipiell ffügbar	Fügereihenfolge für die wesent- lichen Bauteile absicherbar	Fügereihenfolge für alle Bauteile absicherbar
<b>Fügeprozesse</b>	-	Fügeverfahren für Module wählbar	Fügeprozess prinzipiell absicherbar	Fügeprozess exakt absicherbar
<b>Teilhandhabung</b>	-	Prinzipielle Handhabbarkeit der Module absicherbar	Prinzipielle Handhabbarkeit der Bauteile absicherbar	Handhabbarkeit der Bauteile absicherbar
<b>Montagezeiten</b>	-	Modulmontage- zeit grob abschätzbar	Modulmontage- zeit berechenbar	Modulmontage- zeit absicherbar
<b>Nebenfunktionen (Prüfen etc.)</b>	-	Prüfmerkmale der Module bestimmbar	Abschätzung der Prüfbarkeit	Prüfbarkeit hins. Prüfmerkmale absicherbar
<b>Verpackung</b>	-	Verpackungs- konzept für Modul erkennbar	Verpackungs- konzept für alle Bauteile erkennbar	Verpackungs- konzept für alle Bauteile abgesichert
<b>Prozesssicherheit</b>	-	-	mögliche Montagefehler prinzipiell erkennbar	Montagefehler für alle wichtigen Bauteile ausschließbar

Abbildung 5-9: Interdependenzen zwischen Konkretisierung und Absicherung

Beim Aufbau von Prozessnetzen sind diese Abhängigkeiten zu berücksichtigen. Die Aussagequalität der Absicherung kann erst mit zunehmendem Konkretisierungsgrad steigen. Daher sind die zu prüfenden Kriterien mehrfach im Prozessverlauf mit Prozessbausteinen zu bewerten, insbesondere wenn die Kriterienerfüllung unsicher ist.

Neben Gestaltungsobjekten sind Bearbeitungskompetenzen und unterstützende Werkzeuge in Bausteinen anzugeben. Diese sind im folgenden Abschnitt näher erläutert.

## 5.5 Werkzeuge und Kompetenzen im flexiblen integrierten Prozess

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für Flexibilität und Reaktionsfähigkeit im Entwicklungs- und Planungsbereich ist zum einen das Kennen der eigenen Fähigkeiten, deren Grenzen und Erweiterungsmöglichkeiten und zum anderen das Methodenwissen zur Unterstützung systematischer Problemlösungen (BRENDL 1985; REINHART 2000, S. 30ff). Die Durchführung von Entwicklungs- und Planungstätigkeiten bedingt entsprechend qualifizierte Personen, die es geeignet in den Prozess einzubinden gilt. Diesbezüglich ist zu klären, welche Eigenschaften und Fähigkeiten die Personen besitzen und wie sie in Prozessbausteinen abzubilden sind. Darüber hinaus kommen in modernen Prozessen sach-

gebundene Entwicklungsmethoden zum Einsatz, deren geeignete Abbildung und Einbindung ebenfalls zu definieren ist.

### 5.5.1 Klassifizierung von Entwicklungs- und Planungswerkzeugen

Ein wesentliches *Potenzialelement* neben den Personalressourcen und Kompetenzen sind die einsetzbaren *Methoden und Werkzeuge*. Sie dienen dazu, die Durchführung der im Prozessbaustein beschriebenen Tätigkeiten zu unterstützen. Analog zur Typisierung von Prozessbausteinen sollen auch die Methoden strukturiert werden nach Synthese, Analyse, Bewertung und Auswahl von Produkt-, Vorgangs- und Anlagenmodellen.

EHRENSPIEL (1995, S. 661) nennt hierfür Beispiele:

- *Synthese-Methoden*: Anforderungsliste, CAD, CAPE, Kreativitätstechniken, Physikalische Effekte, Checklisten, Kataloge, Auslegungsrechnung
- *Analyse-Methoden*: ABC-Analyse, Portfolio, Morphologischer Kasten, Simulation (3D-Simulation, Ablaufsimulation, Virtual Reality), Analyserechnung (FEM, MKS)
- *Bewertungs-Methoden*: Einfachbewertung, Intensivbewertung, paarweiser Vergleich, Nutzwertanalyse, einfache Punktbewertung, Design Review
- *Auswahl-Methoden*: Entscheidungsbäume oder Meilensteine

#### Integrierende Methoden

Problematisch bei vielen Methoden ist, dass sie oft die Aufgabenspezialisierung unterstützen (MILBERG 1991, S. 2B-8). Die im vorliegenden Konzept angestrebte Integration von Aufgaben und damit das gegenseitige Lernen und Synergien durch gemeinsame Methodennutzung werden nur unzureichend realisiert. Aber gerade eine Methode, d.h. ein systematisches Vorgehen mit definierten Schritten und einem gemeinsamen Ziel würde die Zusammenarbeit von Konstrukteur und Montageplaner intensivieren. Beispiele für Methoden mit integrierendem Charakter sind: DFA, FMEA, QFD, Brainstorming oder Target Costing.

#### Komplexität von Methoden

Moderne Entwicklungs- und Planungsumgebungen greifen diese Chance auf und bieten integrierte Absicherungsprozesse und –aussagen, wobei für *unterschiedliche Konkretisierungsgrade unterschiedlich komplexe Methoden* einsetzbar sind:

- *Einfache Visualisierungs-Methoden*: Darstellung von 3D-Modellen (Positionierung, Drehen, Zoomen).
- *Einfache Analyse-Methoden*: Untersuchung von 3D-Modellen als statische Analyse von Kollisionen, Kontakt und Abständen bei Produkt und Betriebsmittel zur Geometrieabsicherung und Bauraumüberprüfung.

- *Mittelkomplexe Analyse-Methoden:* Untersuchung von 3D-Modellen als dynamische Analyse von Kollisionen, Kontakt und Abständen bei Produktbaugruppen und Montagevorgängen zur Absicherung einer kollisionsfreien Montagereihenfolge und Erzeugung der Montagepfadhüllvolumina.
- *Hochkomplexe Analyse-Methoden:* Untersuchung von 3D-Modellen als dynamische Analyse von Kollisionen, Kontakt und Abständen bei Produktbauteilen, Montagevorgängen in der Montageanlage einschließlich Betriebsmittel- und Werkersimulation zur Absicherung hochkomplexer Bewegungen, Erreichbarkeit, Taktzeit, Werkersichtfeld und Ergonomie.

**Betrachtungsgegenstand von Methoden**

Eine weitere Kategorisierung von Entwicklungs- und Planungsmethoden hinsichtlich ihres hierarchischen Betrachtungsgegenstands ist in Abbildung 5-10 dargestellt.

	Produktmodell	Montageprozessmodell	Anlagenmodell
Anlagenebene	Produkt: CAD, DMU	Zeitlicher Ablauf: Ablaufsimulation	Anlage: Virtual Reality, Ablaufsimulation, CAD
Zellenebene	Baugruppe: CAD, MKS	Bewegungsablauf: 3D-Simulation	Zelle: Virtual Reality, 3D-Simulation, CAD
Komponentenebene	Einzelteil: CAD, FEM	Elementarprozess: 3D-Simulation und FEM	Komponente: 3D-Simulation und FEM, CAD

Abbildung 5-10: Kategorisierung von Entwicklungsmethoden hinsichtlich Bezug

Damit lassen sich für den Betrachtungsgegenstand und die Betrachtungsebene geeignete Methoden auswählen.

**5.5.2 Klassifizierung von Personalkompetenzen**

Neben den Prozessen sollen auch die Fähigkeiten von Personalressourcen im Entwicklungs- und Planungsbereich modelliert und strukturiert abgespeichert werden, um deren zunehmenden Bedeutung Rechnung zu tragen. Für jeden Prozessbaustein wird daher formuliert, welche Kompetenz, d.h. welche Fähigkeiten und Befugnisse erforderlich sind, um ihn durchzuführen. Für die Bausteinbearbeitung spielt es dabei keine Rolle, ob es sich um eine Person, ein Team, einen Unternehmensbereich oder gar ein anderes Unternehmen handelt. Allein die Komplexität und die erforderliche Kompetenz bestimmen, wer die Aufgabe im Prozessbaustein am besten lösen kann.

Unter Personalressourcen sind im Folgenden *Teams* und *Einzelpersonen* zu verstehen. Die Teams sind ferner weiter in *Modulteams* und das *Integrationsteam* gegliedert. Modulteams verantworten die integrierte Entwicklung und Montageplanung eines PVA-Moduls. Das Integrationsteam ist dafür verantwortlich, dass sich die PVA-Module optimal zum Gesamtprodukt und zur Gesamtanlage fügen.

Eine Personalressource lässt sich wie folgt charakterisieren (vgl. Abbildung 5-11).

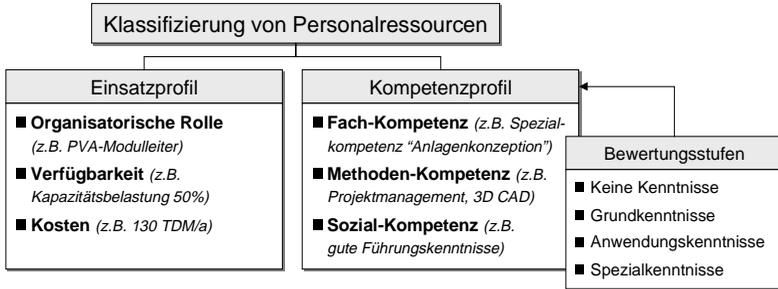


Abbildung 5-11: Klassifizierungsschema für Personalressourcen

Damit ist die Grundlage geschaffen, um zum einen eine objektiv optimale Personalbesetzung von Prozessbausteinen zu finden. Zum anderen können bei auftretenden technischen oder personellen Schwierigkeiten schnell geeigneter Ersatz gefunden oder eine *task force* aus geeigneten Kompetenzträgern gebildet werden.

## 5.6 Prozess-, Werkzeug- und Kompetenzbaukästen

Ein wesentliches Ziel der Methodik ist die Konfigurierbarkeit. Die erlaubt es, integrierte Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse, Entwicklungskompetenzen und -methoden modellhaft abzubilden, bei Bedarf schnell zu einem konsistenten Gesamtmodell zu kombinieren oder dieses Gesamtmodell situativ zu ändern. Um dies zu realisieren, sind drei Arten von sog. *Baukästen* aufzubauen. Diese enthalten Prozessbausteine, im Unternehmen vorhandene Werkzeuge und vorhandene Kompetenzträger (vgl. Abbildung 5-12).

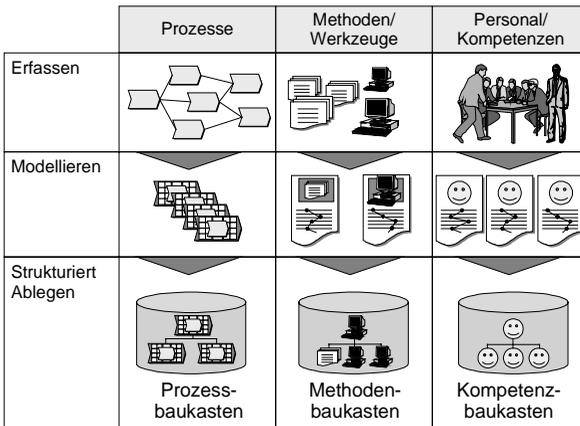


Abbildung 5-12: Aufbau von Prozess-, Methoden- und Kompetenzbaukästen

### 5.6.1 Aufbau eines Prozessbaukastens

Im Folgenden ist beschrieben, welche Funktion ein Prozessbaukasten hat, wie er strukturiert ist und wie die Anwendung des Baukastens erfolgt.

#### Funktion des Prozessbaukastens

Der Prozessbaukasten enthält als Informationsspeicher die erarbeiteten Prozessbausteine mit einer Beschreibung der Tätigkeiten sowie der Ein- und Ausgangsinformationen. Folgende Funktionen soll der Prozessbaukasten unterstützen:

- *Ablage der Prozessbausteine*: Er stellt die Datenbank dar, in der die Prozessbausteine mit allen zugeordneten Informationen abgelegt werden.
- *Auswahl der Prozessbausteine*: Ordnungskriterien sind den Prozessbausteinen zugeordnet, die einen gezielten Zugriff über vorhandene Filter ermöglichen.
- *Erweiterung der Prozessbausteinbasis*: Der Prozessbaukasten ermöglicht die Ablage von neuen Prozessbausteinen und von Varianten bestehender Prozessbausteine.

#### Struktur des Prozessbaukastens

Folgende Ordnungskriterien der Prozessbausteine sind im Baukasten vorgesehen:

- Einteilung in *Synthese-, Analyse-, Bewertungs- und Auswahlbausteine* nach dem Vorgehenszyklus (Aufgabentyp)
- Einteilung in die sieben *verschiedenen Betrachtungsschwerpunkte* (z.B. nur Produkt, Produkt und Montagevorgang, etc.)
- *Bezugsinformationen* zu anderen Bausteinen (Konkretisierungen, Varianten, Teilprozesse)

Diese Ordnungskriterien lassen sich für die Strukturierung des Prozessbaukastens heranziehen (s. Abbildung 5-13).

#### Die Anwendung des Prozessbaukastens

Der Prozessbaukasten hat im Wesentlichen drei Einsatzbereiche:

- Für die *Konfiguration* unternehmens-, produkt-/montage- und projektspezifischer Entwicklungsprozesse, da hier systematisch anwendungsneutrale Prozessbausteine instanziiert werden.
- Für die *Störungsbehandlung*, wenn kurzfristig nach bestimmten Bausteinalternativen gesucht werden muss. Der Baukasten kann durch Filtermechanismen auf Informationsdefizite im Prozess hinweisen und geeignete Prozessbausteine vorschlagen.
- Für die *Weiterentwicklung*, um einerseits einen Bedarf an neuen Prozessbausteinen und Werkzeugen aufzudecken und andererseits neue oder instanziierte Prozessbausteine in den Baukasten im Sinne des Erfahrungsrückflusses zurück zu führen.

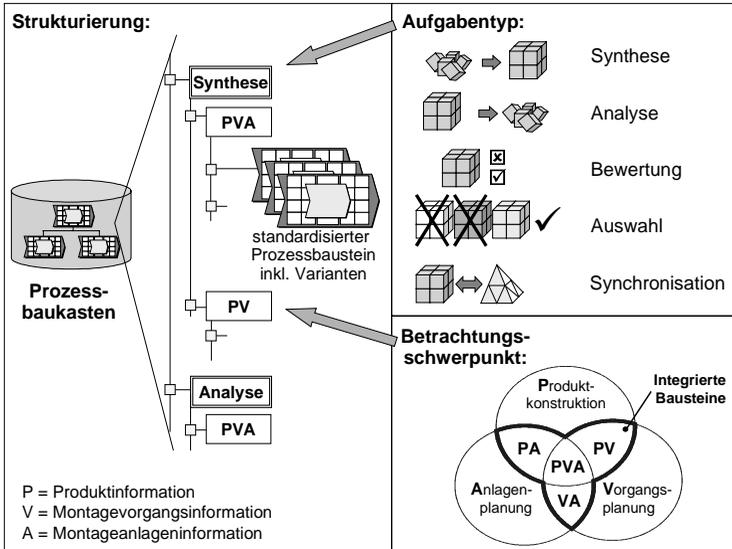


Abbildung 5-13: Strukturierung des Prozessbaukastens

Neben dem Prozessbaukasten spielt der Werkzeugbaukasten bei der Konfiguration von Prozessen und unterstützenden Werkzeugen eine wichtige Rolle. Er ist im folgenden Abschnitt beschrieben.

## 5.6.2 Aufbau eines Werkzeugbaukastens

Analog zur Beschreibung des Prozessbaukastens werden für den Werkzeugbaukasten ebenfalls Funktion, Struktur und Anwendung erläutert.

### Funktion des Werkzeugbaukastens

Der Werkzeugbaukasten enthält als Informationsspeicher die im Unternehmen vorhandenen Methoden und Werkzeuge mit einer Klassifizierung und detaillierten Beschreibung sowie deren Ein- und Ausgangsinformationen. Folgende Funktionen soll der Werkzeugbaukasten unterstützen:

- *Ablage der Methoden und Werkzeuge:* Der Werkzeugbaukasten bildet den Informationsspeicher, in dem die Methoden und Werkzeuge charakterisiert sind.
- *Auswahl der Methoden und Werkzeuge:* Ordnungskriterien sind dem Werkzeugbaukasten zugeordnet, die einen gezielten Zugriff auf geeignete Methoden und Werkzeuge ermöglichen. Dieser Baukasten stellt ebenfalls Auswahlfilter bereit.
- *Erweiterung der Methoden-/Werkzeugbasis:* Der Werkzeugbaukasten ermöglicht die Ablage von neuen, vorhandenen und redundanten Methoden und Werkzeugen.

### Struktur des Methodenbaukastens

Folgende *Klassifizierungsmerkmale* lassen sich für den Werkzeugbaukasten verwenden (vgl. Abbildung 5-14). Sie dienen auch als Strukturierungskriterien:

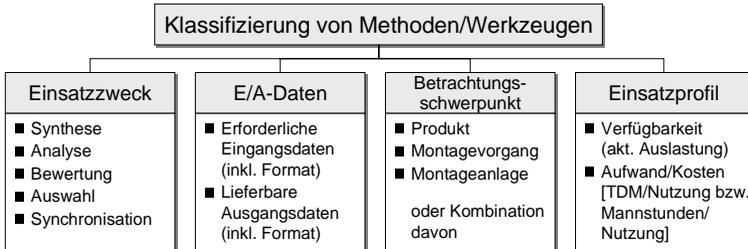


Abbildung 5-14: Klassifizierungsschema für Methoden/Werkzeuge

### Anwendung des Werkzeugbaukastens

Der Methodenbaukasten hat im Wesentlichen vier Einsatzbereiche:

- Bei der *Konfiguration* unternehmens-, produkt-/montage- und projektspezifischer Prozesse, indem vorhandene Werkzeuge den Prozessbausteinen zugewiesen werden.
- Für die *Störungsbehandlung*, wenn kurzfristig nach geeigneten Methoden und Werkzeugen gesucht werden muss.
- Bei der *Weiterentwicklung*, um den Bedarf an neuen Methoden/Werkzeugen aufzudecken und diese im Methodenbaukasten abzulegen.

Neben den Prozess- und Werkzeugbaukästen dient schließlich ein Kompetenzbaukasten zur Vervollständigung der Prozesskonfiguration, indem er geeignete Bearbeiter für Prozessbausteine vorschlägt. Er ist im folgenden Abschnitt dargestellt.

### 5.6.3 Aufbau eines Kompetenzbaukastens

Es folgt eine Beschreibung der Funktion, Struktur und Anwendung des Baukastens.

#### Funktionen des Kompetenzbaukastens

Der Ressourcen- und Kompetenzbaukasten enthält als Informationsspeicher die im Unternehmen vorhandenen Personalressourcen und zugehörigen Kompetenzen in einer geeigneten Klassifizierung. Folgende Funktionen soll der Baukasten unterstützen:

- *Ablage der Kompetenzen*: Abbildung von Personalressourcen mit Fähigkeiten.
- *Auswahl der Kompetenzen*: Ordnungskriterien und Filter unterstützen den gezielten Zugriff auf geeignete Ressourcen und Kompetenzen.
- *Erweiterung der Kompetenzbasis*: Der Kompetenzbaukasten ermöglicht die Ablage von neuen Personalressourcen und Redundanzen bestehender Kompetenzen.

Dafür gilt es, alle im Unternehmen vorhandenen Kompetenzen zu erfassen und hinsichtlich relevanter Kriterien zu bewerten. Ein Vorschlag für eine Bewertungs-Checkliste ist als sog. Kompetenzprofil in Abbildung 5-16 dargestellt. Das besondere an diesem Kompetenzprofil ist die detaillierte integrierte Bewertung von Konstruktions- und Montageplanungsfähigkeiten, Methoden- und Sozialkompetenzen.

### Struktur des Ressourcen- und Kompetenzbaukastens

In Abbildung 5-15 ist eine sinnvolle Strukturierung vorgeschlagen. Die Hierarchisierung bzw. Detaillierung ist unternehmensspezifisch anzupassen.



Abbildung 5-15: Klassifizierungsschema für Kompetenzen

### Anwendung des Ressourcen- und Kompetenzbaukastens

Der Ressourcen- und Kompetenzbaukasten hat im Wesentlichen vier Einsatzbereiche:

- Bei der *Konfiguration* von Entwicklungsprozessen, da hier konkrete vorhandene Personalressourcen und Kompetenzen den Prozessbausteinen zuzuweisen sind.
- Bei der *Durchführung*, um die aktuelle Kapazitätsbelastung des eingesetzten Entwicklungs- und Planungspersonals jederzeit aufzeigen zu können.
- Bei der *Störungsbehandlung*, lassen sich kurzfristig ganz spezifische Kompetenzalternativen suchen und durch den Baukasten geeignete Experten finden.
- Bei der *Qualifizierung*, um einen Qualifizierungsbedarf aufzudecken und abgewinkelte Qualifizierungsmaßnahmen im Kompetenzbaukastens abzubilden.

Exemplarisch ist in Abbildung 5-16 dargestellt, wie ein geeigneter Kompetenzträger für einen Prozessbaustein gewählt wird, indem die Kompetenzprofile abgeglichen werden.

Dazu wird für jeden Kompetenzträger und jeden Prozessbaustein ein Kompetenzprofil aufgebaut. Im Sinne einer Nutzwertanalyse lassen sich dann die einzelnen Kriterien gewichten, k.o.-Kriterien definieren und für das Sollprofil gewichtete Punktesummen bilden. Durch einen Vergleich dieses Sollprofils mit den im Kompetenzbaukasten abgelegten Kompetenzprofilen lassen sich schnell und aufwandsarm die am besten geeigneten Bearbeiter für einen Prozessbaustein finden.

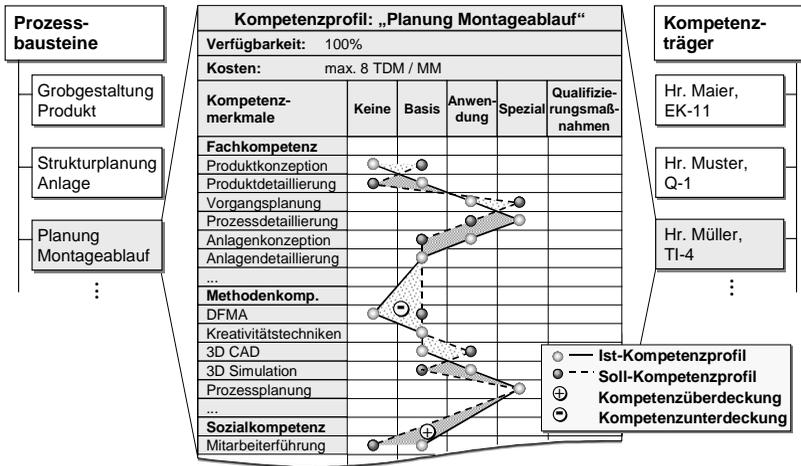


Abbildung 5-16: Auswahlvorgang von Kompetenz und Kompetenzträger

## 5.7 Zusammenfassung

Das vorliegende Konzept in Kapitel 5 propagiert den Aufbau flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse auf Basis von sog. Prozessbausteinen. Diese Prozessbausteine repräsentieren kleine Abschnitte aus dem Produktentwicklungs- und Montageplanungsvorgehen. Sie sind in einem Baukasten strukturiert abgelegt und können für die flexible Planung konsistenter Gesamtprozessnetze herangezogen werden. Die dazu notwendige Vernetzbarkeit der Bausteine wird durch eine spezifische Beschreibung ihrer Schnittstellen ermöglicht. Ferner werden durch die Integration zusammengehöriger Tätigkeiten unterschiedlicher Fachdisziplinen in diesen Prozessbausteinen eine gemeinsame Vorgehensweise unterstützt und sowohl Prozesseffektivität wie auch Prozesseffizienz gefördert.

Die Integration verschiedener Disziplinen bedingt das Aufzeigen neuer organisatorischer Schnittstellen, um ein Unternehmen führ- und lenkbar zu halten. "Ein vollständiger Verzicht auf Arbeitsteilung bleibt ein theoretisches Idealmodell, das komplexe Unternehmensorganisationen nie erreichen können" (GAISER 1993, S. 38). Aus diesem Grund werden sog. PVA-Module eingeführt, die eine integrierte Strukturierung der Gestaltungsobjekte Produkt, Montagevorgang und Montageanlage darstellen. Auf Basis dieser PVA-Module werden ein neues Organisationsmodell entwickelt und der Gesamtprozess in sinnvoll abgrenzbare Teilprozesse zerlegt.

Um die Anwendbarkeit des Konzeptes zu steigern, sind sowohl im Unternehmen vorhandene Entwicklungswerkzeuge als auch Mitarbeiter und ihre Kompetenzen in weiteren

Baukästen abzubilden. Auf sie kann im Bedarfsfall bei der Prozesskonfiguration und Suche nach Alternativen schnell zugegriffen werden.

Nach diesen theoretischen Grundlagen ist im folgenden Kapitel dargestellt, wie die Methodik systematisch in ein Unternehmen mit seinem spezifischen Potenzial und seinen Randbedingungen einzuführen und anzuwenden ist.

## 6 Einführung und Anwendung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse

In diesem Kapitel wird ein Vorgehensmodell entwickelt, das zur Einführung und Anwendung des in Kapitel 5 vorgestellten Modells dient. Es orientiert sich an den Forderungen, die in Kapitel 3 aufgestellt wurden und schließt die Lücken, die durch den aktuellen Stand der Technik (s. Kapitel 4) noch nicht abgedeckt sind. Ausgehend von einer übergreifenden Beschreibung des Vorgehensmodells (s. Abschnitt 6.1) erfolgt eine Beschreibung der Makrostruktur integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse (s. Abschnitt 6.2). Der Abschnitt 6.3 widmet sich ausführlich dem Modell der Einführung und der Abschnitt 6.4 einem Modell zum Einsatz und zur Weiterentwicklung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse. Abschließend werden die Kernaussagen in Kapitel 6.5 zusammengefasst.

### 6.1 Vorgehensmodell zur Einführung und Anwendung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde folgendes Vorgehensmodell mit zehn Einzelschritten für die Methodikeinführung und -anwendung entwickelt (s. Abbildung 6-1).

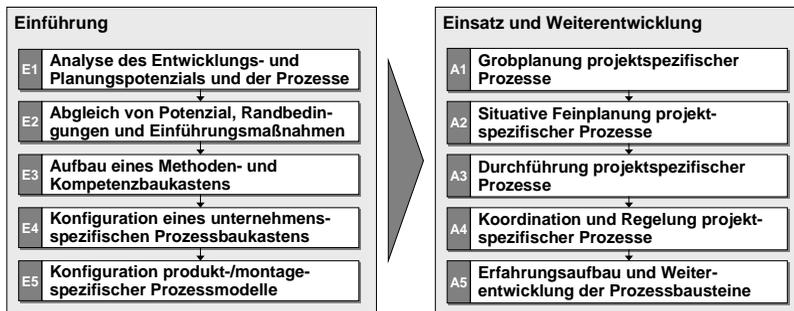


Abbildung 6-1: Vorgehensmodell zur Einführung und Anwendung

Das Modell ist als Hilfsmittel zu verstehen, um systematisch ein Unternehmen vorzubereiten, die Methodik an vorhandene Randbedingungen anzupassen, einzuführen und konkrete Entwicklungs- und Planungsprojekte zu unterstützen.

Teilprozess E1 dient der **Analyse der Prozesse und des vorhandenen Entwicklungs- und Planungspotenzials**. Nach Sensibilisierung der Mitarbeiter und Aufbau eines Projektteams werden die im Produktentwicklungs- und Montageplanungsbereich vorhande-

nen Personalkapazitäten und –kompetenzen, Organisationsstrukturen, Standardprozesse, Methoden und Werkzeuge erfasst.

In Teilprozess E2 erfolgt ein **Ableich von Potenzial, Randbedingungen und Einführungsmaßnahmen**. Das erfasste Potenzial wird mit den Erfolgsfaktoren einer flexiblen integrierten Entwicklung und Planung abgeglichen. Hierzu wird festgelegt, an welcher Stelle und mit welchen Maßnahmen das Potenzial auf die Methodik vorbereitet werden muss und wo sich die Methodik an die vorhandenen Randbedingungen anpassen lässt.

Teilprozess E3 enthält den **Aufbau von Methoden- und Kompetenzbaukästen**. Diese bilden das unternehmensspezifische Produktentwicklungs- und Montageplanungspotenzial detailliert ab und dienen zur Unterstützung einer flexiblen Planung und Durchführung integrierter Prozesse. Dafür werden geeignete Baukastenstrukturen vorgeschlagen, die erfassten Potenziale modelliert und in den Baukästen abgelegt.

Teilprozess E4 behandelt die **Konfiguration eines unternehmensspezifischen Prozessbaukastens**. Mit Hilfe eines Konfigurationszyklus‘ wird aus einem neutralen Prozessbaukasten mit allgemeingültigen Prozessbausteinen ein unternehmensspezifischer Baukasten abgeleitet. Dabei können entweder die neutralen Prozessbausteine an unternehmensspezifische Randbedingungen angepasst, oder, basierend auf den im Unternehmen etablierten Arbeitsschritten, eigene Prozessbausteine entworfen werden.

Teilprozess E5 widmet sich der **Konfiguration produkt- und montagespezifischer Prozessmodelle**. Aus dem unternehmensspezifischen Prozessbaukasten werden produkt- und montagespezifische Baukästen, Prozessbausteine und Teilprozessmodelle abgeleitet. Diese sind an produkt- und montagespezifische Restriktionen angepasst und um sinnvoll einsetzbare Methoden, Werkzeuge und Personalressourcen ergänzt. Die Baukästen dienen als Hilfestellung, um schnell und aufwandsarm projektspezifische Prozessmodelle und Projektpläne abzuleiten. Ferner dienen sie dem Aufnehmen und zur Verfügung Stellen von projektübergreifenden Erfahrungen.

In Teilprozess A1 erfolgt die **Grobplanung projektspezifischer Prozesse**. Es werden aus den produkt- und montagespezifischen Baukästen, Prozessbausteinen und Teilprozessmodellen projektspezifische Prozessmodelle und Projektpläne abgeleitet. Diese sind die Grundlage für eine projektbegleitende flexible Feinplanung, Koordination und reaktionsschnelle Regelung integrierter Prozesse. Projekterfahrungen sind zu abstrahieren und in die produkt- und montagespezifischen Baukästen zurückzuschreiben.

Teilprozess A2 dient der **situativen Prozessfeinplanung projektspezifischer Prozesse**. In der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung sind hohe Abstimmungs- und Änderungshäufigkeiten zu erwarten. Es ist deshalb nicht sinnvoll, die Abläufe detailliert weit im Voraus zu planen. Aufgabe der situativen dezentralen Prozessfeinplanung ist es daher, die aktuelle Phase bis zum nächsten Meilenstein soweit zu detaillieren, dass alle kritischen Schnittstellen und Informationsflüsse auf operativer Ebene sichtbar werden und die Prozessbeteiligten diese Schnittstellen kennen.

Teilprozess A3 bildet die **Durchführung projektspezifischer Prozesse** ab. Dabei werden zunächst ausführbare Prozessbausteine vorausgewählt. Mit Hilfe eines Prozesstreiberportfolios werden dann Bausteinprioritäten vergeben und die entsprechenden Bausteine mit der höchsten Priorität gestartet.

Teilprozess A4 unterstützt die **Koordination und Regelung projektspezifischer Prozesse**. Basierend auf einer kontinuierlichen Prozessanalyse kommen bei Planabweichungen entweder andere gespeicherte Prozessbausteine zum Einsatz, die alternative Prozesspfade beschreiben und zielführend sind, oder es werden im Sinne der Reaktionsfähigkeit bei unvorhersehbaren Situationen neue Prozessbausteine gebildet und in das bestehende Prozessnetz integriert. Als dritte Alternative steht eine dynamische Ressourcenallokation zur Verfügung, also eine zeitlich veränderliche Priorisierung kritischer Ressourcen für Prozessbausteine.

Teilprozess A5 dient der **Prozesserfahrungsspeicherung**. Mit zunehmender Prozessorientierung und abnehmender funktionaler Wissensbündelung im Entwicklungs- und Planungsbereich ist die Gefahr gegeben, dass Erfahrungen zu ähnlichen Themen nicht mehr projektübergreifend ausgetauscht werden. Ziel ist es daher, Erfahrungen, die mit bestimmten Prozessabschnitten gemacht wurden, in die Bausteine zurückzuschreiben. Die Bausteine werden wieder im Prozessbaukasten abgelegt, auf den projektübergreifend alle Entwicklungs- und Planungsteams zugreifen. So können auch während laufender Entwicklungs- und Planungsprojekte diese Erfahrung sofort anderen Projekten zugänglich gemacht werden.

Im Folgenden ist ein Makrozyklus beschrieben, wie eine integrierte Vorgehensweise von Produktentwicklung und Montageplanung aussehen kann. Dies dient dazu, ein grundlegendes Verständnis für die Stoßrichtung der entwickelten Methodik zu erzeugen.

## 6.2 Makrozyklus der integrierten Produktentwicklung und Montageplanung

### 6.2.1 Einleitung

Zur gedanklichen Einordnung sind die propagierten gemeinsamen Entwicklungs- und Planungsschritte anhand gängiger Entwicklungsphasen aufgezeigt (Vorentwicklung, Zielfindung, Konzepterarbeitung, Moduldefinition, -entwicklung und -detaillierung und Optimierung). Abbildung 6-2 zeigt eine vereinfachte Darstellung der vier wichtigsten Teilzyklen.

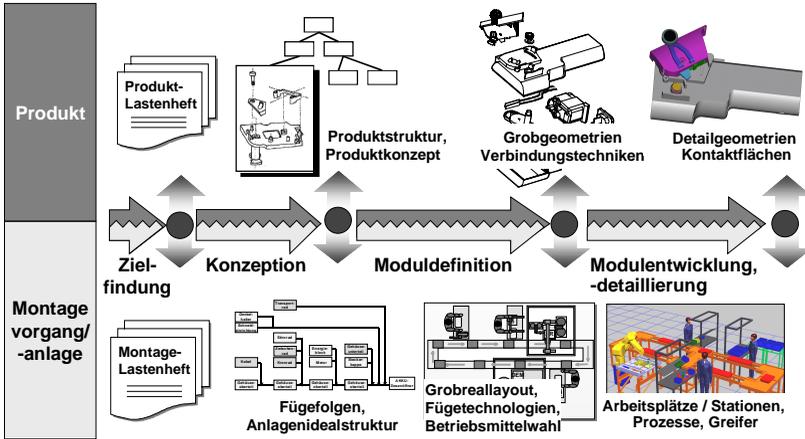


Abbildung 6-2: Vereinfachte Darstellung der integrierten Arbeitsinhalte

## 6.2.2 Vorentwicklung

Die Vorentwicklungsphase ist oft projektungebunden. Das bedeutet, dort werden neue Ideen, Funktionsprinzipien und Konzepte entwickelt als Grundlage für eine langfristige Produkt- und Montagestrategie. Beispielsweise werden innovative funktional gut abgegrenzte Module entworfen bis hin zu produktübergreifenden Plattformstrategien, Anlagen, Handhabungseinrichtungen und Werkstückträgern. Mit Hilfe eines übergreifenden Referenzpunktesystems werden dafür standardisierte Modulschnittstellen und standardisierte Werkstückaufnahmen bei Produkt und Anlage vereinbart.

Ziel dieser Vorgehensweise ist es, die Entwicklungszeit ab dem Start eines konkreten Serienprojektes deutlich zu verringern, um reaktionsschnell Marktbedürfnisse in neue Produkte einfließen lassen zu können. Insbesondere kritische Komponenten werden vorentwickelt, bei denen aufgrund des Innovationsgrades technische Schwierigkeiten auftreten könnten, die wiederum das gesamte Entwicklungsprojekt gefährden würden.

## 6.2.3 Zielfindung

Die *Zielfindungsphase* ist sowohl in der Konstruktion als auch in der Montageplanung durch Informationsbeschaffung und -aufbereitung gekennzeichnet. Kundenwünsche und unternehmensspezifische Produkt- und Montageziele müssen gesammelt, konkretisiert und plausibilisiert werden. Hier unterscheidet die vorliegende Arbeit in *spezifische Ziele* und *integrierte Ziele* (vgl. Abbildung 6-3). Spezifische Ziele können aufgrund ihrer beschränkten Konsequenzen weitgehend von einem Bereich (z.B. Montageplanung) eigenständig definiert werden. Integrierte Ziele haben großen Einfluss, sowohl auf die Konstruktion als auch auf die Montageplanung und müssen deshalb in einem intensiven gemeinsamen Prozess ermittelt werden.

Zielstrukturierung			
integriert	spezifisch		
	produkt-spezifisch	montagevorgangs-spezifisch	montageanlagen-spezifisch
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktstruktur</li> <li>• Produktgeometrie</li> <li>• Bauteiloberflächen</li> <li>• Toleranzen</li> <li>• Formstabilität</li> <li>• Varianten, Stückzahlen</li> <li>• Produktkosten</li> <li>• Gewicht, Werkstoffe</li> <li>• Übernahmebaugruppen</li> <li>• Technologie</li> <li>• Automatisierungsgrad</li> <li>• Teilezahl</li> <li>• Zugänglichkeit</li> <li>• Fügekräfte</li> <li>• Prüfmerkmale</li> <li>• Abdichtung</li> <li>• etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktionen (ohne Prüfmerkmale)</li> <li>• Funktionsgeräusche</li> <li>• Festigkeit</li> <li>• Leistung</li> <li>• Ergonomie (ohne Oberfläche)</li> <li>• Lebensdauer</li> <li>• Korrosionsschutz</li> <li>• Recyclingfähigkeit</li> <li>• Farben</li> <li>• etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taktzeit</li> <li>• max./min. Arbeitsinhalte</li> <li>• Art-/ Mengenteilung</li> <li>• Bilden von Vormontagen</li> <li>• Eigen-/ Fremdmontage</li> <li>• etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitarbeiterzahl</li> <li>• (Um)rüstaufwand</li> <li>• Wegereduktion</li> <li>• Flächenbedarf</li> <li>• Investitionskosten</li> <li>• Flexibilität</li> <li>• Standort</li> <li>• Emissionswerte</li> <li>• Energieverbrauch</li> <li>• Ausbringung</li> <li>• Arbeitsorganisation</li> <li>• etc.</li> </ul>

Abbildung 6-3: Zielstrukturierung

Das Zielsystem bildet eine wichtige Voraussetzung für die spätere Zusammenarbeit. Aus ihm lassen sich Detailziele ableiten, die das Vorgehen innerhalb des Prozesses steuern und Zielkonflikte erkennen. Diese treten auf, wenn sich mindestens zwei verschiedene Ziele auf eine bestimmte Ausprägung eines Gestaltungsobjektes beziehen. Da die drei Gestaltungsobjekte Produkt, Montagevorgang und -anlage eng voneinander abhängen, sind bei den *Integrierten Zielen* viele Zielkonflikte zu erwarten. Beispielsweise können bisher genutzte Fügeverfahren mit einer zukünftig eingesetzten Montageanlage nicht mehr realisierbar sein oder Bauteilabmessungen und damit Fügebewegungen zu groß werden. Diese Konflikte sind frühzeitig aufzudecken und zu bewältigen.

### 6.2.4 Konzepterarbeitung

Die Suche nach *Konzepten* oder sog. Prinziplösungen für Produkt, Vorgang und Anlage birgt weiteres Abstimmungspotenzial. Dabei werden beim Produkt nicht nur die prinzipielle Funktionsweise sondern auch die grobe geometrische Baustruktur festgelegt.

Diese ist für das Erzielen einer montagegerechten Struktur das erste wichtige Element (SPIES 1997, S. 33). Ganz grundsätzliche geometrische Baustrukturen sind z.B. die Chassis-, Verbund- oder Sandwichbauweise, das Baukasten- oder Basiskomponentenprinzip. Nach Wahl der Bauweise erfolgt eine grobe Strukturierung des Produktes in sinnvolle Module und wesentliche Bauteile. Die Baustruktur steht dabei in direktem Zusammenhang mit dem Montagevorgang, weshalb gemeinsam mit der Produktstrukturierung eine Planung der Modul-Fügereihenfolge erfolgen sollte. Diese beeinflusst wiederum den prinzipiellen Aufbau der Montageanlage (Prinziplösung und Grob-Ideallayout), der auf Basis der Fügereihenfolge entworfen wird. Konstrukteur und Montageplaner diskutieren und definieren demnach in einem gemeinsamen Problemlösungsprozess die prinzipielle Strukturierung von Produkt, Fügereihenfolge und Montageanlage.

### 6.2.5 Moduldefinition

Im Rahmen der *Moduldefinition* wird die Produktstruktur weiter detailliert. Im Sinne einer Kapazitätsteilung werden konkrete PVA-Module vereinbart (Einheit aus Produkt, Vorgang, Anlage) und in vorhandene, anzupassende und neu zu entwickelnde gegliedert. Dabei ist die Überlegung entscheidend, welche Produktmodule für den Kunden nicht sichtbar sind. Diese können von Vorgängerprodukten übernommen werden, ohne dass das neue Produkt seine Identität einbüßt. Die Projektorganisation wird erweitert, für die vereinbarten PVA-Module werden Modulteams definiert, die für die Produktentwicklung, Montagevorgangs- und Anlagenplanung integrativ verantwortlich sind. Gemeinsam werden aus den bestehenden Zielen die Modulziele abgeleitet.

Es wird modulübergreifend festgelegt, wie der konkrete Montageablauf (Füge- und Handhabungsprozesse, Referenzpunkte an Produkt und Anlage) und das Grob-Reallayout der Anlage gestaltet werden soll (Zellen bilden, Verkettungsmittel festlegen). Ferner sind die Modulstruktur, die wichtigsten Bauteile und die prinzipielle Fügereihenfolge innerhalb der Module zu definieren. Außerdem können hier bereits grundlegende stoffliche Eigenschaften wie die Biegeschlaffheit oder Steifigkeit von bestimmten Bauteilen festgelegt werden, die für die Montage von großer Bedeutung sind. Zusätzlich können auf Grund von Kriterien wie Lösbarkeit, übertragbare Lasten oder Genauigkeit schon prinzipielle Aussagen über mögliche Verbindungsverfahren getroffen werden.

### 6.2.6 Modulentwicklung und -detaillierung

Produktseitig werden in der *Modulentwicklungsphase* erste Dimensionen sowie Form und Werkstoff der einzelnen Bauteile definiert. Gemeinsam von Konstrukteur und Planer werden Verbindungselemente und Fügetechnologien ausgewählt. Für Montageoperationen, die automatisiert durchgeführt werden sollen, lässt sich der Montagevorgang bereits in die Grundoperationen (wie z.B. Speichern, Vereinzeln, Bewegen oder Fügen) einteilen. Hierfür können dann geeignete Füge- und Handhabungsbetriebsmittel ausgewählt, modulspezifische Fügebetriebsmittel grob gestaltet und die Realisierbarkeit überprüft werden. Dementsprechend ist es sinnvoll, das Entwerfen bezüglich dieser Aspekte nicht aufzuteilen und das Produkt und die Betriebsmittel der Montageanlage gemeinsam zu gestalten. Dabei muss die Einbindung sowohl der Produktbereiche als auch der einzelnen Betriebsmittel in den Gesamtkontext von Produkt und Anlage beachtet werden.

Bei der *Moduldetaillierung* können dann, aufbauend auf den Ergebnissen des Grobgestaltens, Maße und Oberflächeneigenschaften festgelegt werden. Dabei sind auf Grund der vorausgegangenen Abstimmung eher kleine Korrekturen zu erwarten. Die bauteilspezifischen Handhabungseinrichtungen werden gemeinsam mit der Produktoberflächendetaillierung (Greifflächen, Aufnahmebohrungen für Vorrichtungen, Fasen, etc.) gestaltet. Da die gleichen räumlichen Abhängigkeiten wie beim Grobentwerfen gelten, können die selben Objektbereiche weiter gemeinsam detailliert werden. Anlagenseitig wird bei der Detaillierung ein Feinlayout entworfen (Arbeitsplätze/Automatikstationen).

Im Rahmen regelmäßiger Synchronisationsprozesse werden die Module untereinander abgestimmt, so dass ein stimmiges Gesamtpaket aus Produkt, Vorgang und Anlage hinsichtlich funktionaler, geometrischer und produktionstechnischer Aspekte entsteht. Ferner erfolgt eine frühestmögliche Absicherung der Module und Komponenten auf Basis von Berechnungsmodellen und Simulationen.

### 6.2.7 Optimierung

In der Optimierungs- und Reifephase findet ein Prototypenaufbau, die Dauererprobung von Produkt und Montageanlage und eine fortlaufende Umsetzung der Erprobungsergebnisse in Produkt-, Handhabungs- und Fügeoptimierungen statt. Weiterhin werden die Produkt-, Vorgangs- und Anlageneigenschaften gemäß Zielkatalog bestätigt. Die Serienproduktionsanlagen werden installiert, Vorserienprototypen erstellt und erprobt.

Diese spezifischen und integrierten Arbeitsinhalte wurden in ca. 110 Prozessbausteinen detailliert abgebildet (s. Anhang). Sie unterstützen Entwickler und Planer bei der zielorientierten Planung und Durchführung komplexer dynamischer Prozesse der Produktentwicklung und Montageplanung.

## 6.3 Modell zur Einführung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse

Das im Folgenden ausführlich erläuterte Vorgehensmodell ist als Hilfsmittel zu verstehen, um systematisch ein Unternehmen auf die flexible integrierte Produktentwicklung und Montageplanung vorzubereiten und die entwickelte Methodik an unternehmens- und fallspezifische Randbedingungen anzupassen.

### 6.3.1 Prinzipien der Einführung

Beim Einführen einer neuen Methodik sind eine Reihe von **Prinzipien und Erfolgsfaktoren** zu berücksichtigen. Die wesentlichen Faktoren für Einführungsprozesse wurden von VIERTLBÖCK (2000, S. 94) im Rahmen von Literaturrecherchen und empirischen Untersuchungen zusammengestellt. Im Folgenden sind diese Faktoren angeführt und hinsichtlich ihrer *Bedeutung* für die *Einführung der Prozessbausteinmethodik* diskutiert:

- **Sensibilisierung der Mitarbeiter für die Problemstellung:** Die Mitarbeiter sollten idealerweise selbst erkennen, dass ihre bisherige Arbeitsorganisation nicht effizient war, z.B. durch Verzögerungen in Projekten aufgrund fehlender Informationen oder ungenügender Abstimmung mit anderen Fachdisziplinen.
- **Analyse für den Aufbau eines umfangreichen Problembewusstseins:** Im Rahmen des Teilprozesses E1 werden das vorhandene Potenzial und die etablierten Prozesse untersucht. Ein Problembewusstsein wird dabei durch das Abfragen der Probleme im Tagesgeschäft erzielt.

- **Einbindung der Mitarbeiter und Methodikverständnis:** Im Rahmen von Einführungsworkshops muss die Methodik der Prozessbausteine sowohl jedem Entwickler und Planer erläutert werden, die später die eigentlichen operativen Prozesse durchführen, als auch den künftigen Projektleitern.
- **Nutzung externer Moderatoren und Berater:** Ein externer Berater wird für die Einführung der Prozessbausteinmethodik empfohlen. Er führt Schulungen zur Methodik durch, konfiguriert exemplarisch reale Projekte zusammen mit den Prozessverantwortlichen und unterstützt diese während des Entwicklungsprojektes bei der Anwendung und Pflege der Bausteine.
- **Übergeordnete Gesamtoptimierung:** Die Modularität des Prozessbausteinansatzes mit der präzisen Definition von Prozessschnittstellen würde es erlauben, dass nur bestimmte Entwicklungsbereiche die Methodik anwenden. Das richtige Potenzial kann die Methodik aber nur dann entfalten, wenn sie flächendeckend in Entwicklung und Planung angewandt wird.
- **Kleine Veränderungsschritte und schnelle Erfolge:** Es ist denkbar, dass zunächst z.B. lediglich die wichtigsten Prozesse erfasst und mit Prozessbausteinen modelliert werden oder dass lediglich die Projektplanung unterstützt wird.
- **Vorgesetzte schalten sich aktiv in Veränderungsmaßnahmen ein und unterstützen diese:** Dieser Faktor wird als essentielle Voraussetzung für die Einführung der Prozessbausteinmethodik gesehen.
- **Der Erfolg der Einführung wird anhand von im Vorfeld definierten Zielen gemessen:** Für die Gesamtmethodik wurden Ziele definiert (s. Kapitel 1.4), die während der Einführung transparent gemacht werden. Im Rahmen der Anpassung sind darüber hinaus spezifische Ziele für unternehmens-, produkt- und projektspezifische Prozesse zu bestimmen. Nach Abschluss eines Projektes wird der Methodikerfolg anhand dieser vereinbarten Ziele gemessen.
- **Test der Veränderungsmaßnahmen in Pilotprojekten:** Die Prozessbausteinmethodik sollte im Rahmen eines Pilotprojektes getestet werden. Vorteilhaft ist es, wenn dieses einen innovativen Charakter hat und mehrere Personen beteiligt sind, die zum Großteil noch nicht zusammen gearbeitet haben. Dann werden die Vorteile der Methodik besonders schnell deutlich. Voraussetzungen sind die Aufgeschlossenheit der Mitarbeiter des Pilotbereiches sowie die Übertragbarkeit der Ergebnisse.
- **Zeit für Veränderungen und nicht zu viele Einführungsprozesse in zu kurzer Zeit:** Unternehmensspezifisch ist zu klären, wie viel Zeit eine professionelle Einführung der Methodik kosten darf. Schätzung auf Basis der Fallstudien zur Folge, muss man mit einer Einführungsphase von 1-3 Monaten rechnen.
- **Freiräume für die Mitarbeiter während des Einführungsprozesses gewähren:** Ideal ist es, die Methodik im Rahmen eines konkreten Projektes anzuwenden und damit den Beteiligten sofort den Nutzen aufzuzeigen. Dabei sollten diese Mitarbeiter - sofern möglich - von anderen Tätigkeiten entlastet werden.

### 6.3.2 Analyse der Prozesse und des Entwicklungs- und Planungspotenzials (E1)

Ziel einer Analyse der vorhandenen Umgebung und Prozesse ist es, unternehmensspezifische Randbedingungen und Potenziale wie

- Personalkapazitäten und –kompetenzen,
- Organisationsstrukturen, Standardprozesse und
- Produktentwicklungs- und Montageplanungswerkzeuge

zu erfassen und zu charakterisieren.

Als Analysemethode werden die Beobachtung über einen gewissen Zeitraum, Fragebögen, Workshops und Interviews empfohlen. Damit lassen sich die u.g. Parameter der Restriktionen und Gestaltungsfaktoren erfassen und dokumentieren. Davor ist zu klären, welche bereits erhobenen Daten nutzbar sind (mittels Dokumentenanalyse) und welche Daten in welcher Detaillierung (Quantität und Qualität) neu aufzunehmen sind.

- *Personalressourcen*: Organisatorische Rollen, Verfügbarkeiten, Kosten, Fach-Kompetenzen, Methoden-Kompetenzen, Sozial-Kompetenzen
- *Organisation*: Organisationsstruktur, Standardabläufe, Standarddokumente, Informationsflüsse (formell und informell), Kommunikationsverhalten
- *Methoden und Werkzeuge*: Einsatzzwecke, erforderliche Eingangsdaten und lieferbare Ausgangsdaten, Verfügbarkeit, Aufwände/Kosten, Gestaltungsobjektbezug
- *Sonstige Restriktionen*: Unternehmensstrategien und –ziele, finanzielle Mittel, Zeit

### 6.3.3 Abgleich von Potenzial, Randbedingungen und Einführungsmaßnahmen (E2)

Im Rahmen der Einführung neuer Methoden stellt sich die grundsätzliche Frage, wie weitreichend die Veränderungen sein sollen. Prinzipiell kann man von drei unterschiedlichen Zielrichtungen ausgehen (s. Abbildung 6-4).

Es kann sich um eine Anpassung des Entwicklungs- und Planungspotenzials an die einzuführende Methode handeln, welche unverändert bleibt (Fall 3). Der anderen Extremfall stellt die vollständige Anpassung der Methode an das vorhandene Potenzial dar (Fall 1). Beide Fälle erscheinen bei komplexeren Einführungsmaßnahmen wenig sinnvoll und kaum praxisnah. Daher wird empfohlen, sowohl das Entwicklungs- und Planungspotenzial als auch die Methodik anzupassen (Fall 2).

Einflussgrößen auf die Entscheidung hinsichtlich einer Gewichtung der beiden Extremfälle können z.B. folgende Faktoren sein: die Unternehmensgröße, das Verhältnis zwischen Innovationsprojekten und Standardprojekten, die Projektgrößen und -komplexität, die Komplexität von Produkten, Montagevorgängen und -anlagen, die Marktdynamik, der resultierende Zeit- und Kostendruck oder die geforderte Flexibilität.

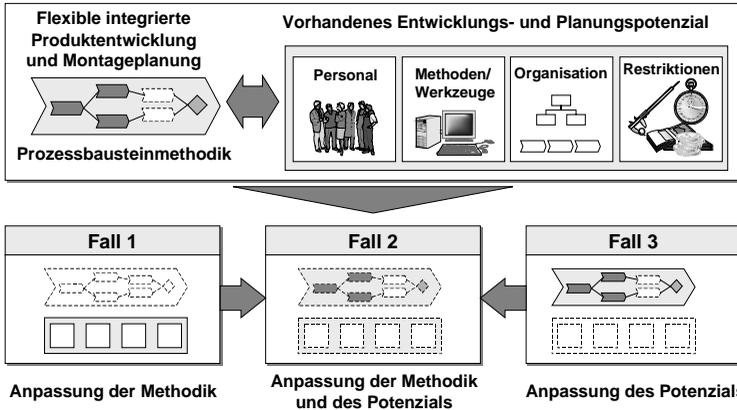


Abbildung 6-4: Grundsätzliche Anpassungsmöglichkeiten bei der Methodeneinführung

Durch die Qualifizierung sollen günstige Rahmenbedingungen für eine flexible integrierte Entwicklung und Planung geschaffen werden. Im Folgenden wird eine generische Vorgehensweise aufgezeigt, wie Unternehmenspotenzial und Erfolgsfaktoren einer flexiblen integrierten Entwicklung und Planung abgeglichen werden können.

1. Aus den Erfolgsfaktoren und den unternehmensspezifischen Zielen wird ein unternehmensspezifisches Ziel-Potenzialprofil für das Personal, die einzusetzenden Methoden und die Organisation abgeleitet.
2. Aus der Analyse von Potenzial, Randbedingungen und Prozessen ergibt sich das Ist-Potenzialprofil der vorhandenen Entwicklungs- und Planungsumgebung.
3. Anhand eines Vergleichs werden Defizite erkannt und bewertet.
4. Für die Defizite werden konkrete Änderungsmaßnahmen erarbeitet (z.B. eine neue Produkt- und Anlagenstrukturierung oder eine Anpassung der Aufbauorganisation)
5. Die Änderungsmaßnahmen werden schließlich gemäß einer Priorisierung umgesetzt.

### Vorbereitung des Gestaltungsfaktors Personal

Durch die Qualifizierung des Personals sollen zum einen günstige Rahmenbedingungen für die flexible integrierte Entwicklung und Planung geschaffen werden. Zum anderen sollen die Mitarbeiter auf den konkreten Einsatz der Prozessbausteinmethodik vorbereitet werden. Eine detaillierte Zuordnung der Personalressourcen wird erst bei der Anpassung der Prozessbausteine erfolgen. Das vorhandene Personal mit seinen Kompetenzen wird insbesondere hinsichtlich der Schlüsselfähigkeiten *Integration* und *Flexibilität/Reaktionsfähigkeit* beurteilt. Je nach unternehmensspezifischer Priorisierung der Erfolgsfaktoren ist eine *entsprechende Kompetenzverteilung* der Mitarbeiter anzustreben. Besonders wichtige *Schlüsselkompetenzen* sollen durchaus redundant vorliegen. Die ge-

wünschte personelle Integration und Flexibilisierung kann durch folgende Faktoren erreicht werden (s. Abbildung 6-5):

Förderung der personellen Integration	Förderung der personellen Flexibilität und Reaktionsfähigkeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>● gemeinsame bereichsübergreifende Problemlösungssitzungen</li> <li>● Wertschätzung der Arbeit anderer Disziplinen</li> <li>● gemeinsame Bewertungsmethoden</li> <li>● Kenntnisse der Methoden DFMA, Produkt- und Prozess-FMEA</li> <li>● Förderung der Team- und Kommunikationsfähigkeit</li> <li>● Anreize zur Wissensweitergabe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Kenntnisse von Kreativitätstechniken</li> <li>● Kompetenz in CAD-/DMU-/CAPE-Anwendungen</li> <li>● Arbeiten mit unreifen Zwischenergebnissen, frühzeitiges Abschätzen von Konsequenzen</li> <li>● Grenzen der eigenen Fähigkeiten eingestehen</li> <li>● situative Einbindung externer Kompetenzen ("Springerpersonal")</li> <li>● schnelles Einarbeiten in neue Situationen</li> <li>● Willen zur ständigen Verbesserung entwickeln</li> </ul>

Abbildung 6-5: Qualifizierung des Personals

Ferner ist wichtig, ein geeignetes Verhältnis zwischen der *Flexibilität* und *Reaktionsfähigkeit* herzustellen. *Flexibilität* bedeutet, für bestimmte vorgeplante Situationen entsprechend qualifiziertes Personal vorzuhalten. Durch ein geeignetes Organisationsmodell können die Voraussetzungen zur *Reaktionsfähigkeit* geschaffen werden, um selten benötigte Kompetenzen temporär durch *Dienstleister* einzubinden.

Die Mitarbeiter sollen zunächst im Rahmen von Schulungsworkshops mit der Methodik vertraut werden, die Vorteile für ihr Tagesgeschäft erkennen und lernen, die Methodik anzuwenden. Die primäre Zielgruppe für den Einsatz der Methodik sind insbesondere junge unerfahrene Entwickler und Planer oder neu gebildete Teams, die in dieser Konstellation noch nicht zusammengearbeitet haben.

### Vorbereitung des Gestaltungsfaktors Methoden/Werkzeuge

Durch das Vorbereiten der vorhandenen Entwicklungs- und Planungsmethoden und –werkzeuge sollen günstige Rahmenbedingungen für die flexible integrierte Entwicklung und Planung geschaffen werden. Ferner soll die Infrastruktur auf den Einsatz der Prozessbausteinmethodik vorbereitet werden.

Zunächst wird anhand von Dokumentenanalysen und Interviews geklärt, welche Methoden und Werkzeuge derzeit für welche Zwecke eingesetzt werden. Ferner wird die Infrastruktur, also die Zugänglichkeit und Vernetzung der Werkzeuge aufgenommen. Insbesondere werden deren Beiträge zur *Integration und Flexibilität/Reaktionsfähigkeit* bewertet. Bei Defiziten werden entsprechend der im Folgenden vorgestellten Gestaltungshinweise Schwerpunkte in der Qualifizierung gesetzt (s. Abbildung 6-6). Grundvoraussetzung für eine zielgerichtete Veränderung der Methodenlandschaft ist die Transparenz der aktuellen Umgebung.

Förderung der technischen Integration	Förderung der technischen Flexibilität und Reaktionsfähigkeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Einsatz integrierender Methoden (DFMA, Produkt- und Prozess-FMEA, Target-Costing)</li> <li>● Einsatz einer zentralen Datenbasis (Redundanzfreiheit, Konsistenzsicherung, Kompatibilität)</li> <li>● Interpretierbarkeit der Daten durch jeden potenziellen Anwender</li> <li>● Einführung eines integrierten Produkt-, Prozess- und Betriebsmittelmodells</li> <li>● standardisierte Werkzeug-/Methodenschnittstellen (STEP, EDI)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Einsatz von 3D-CAD und parametrisierten Modellen</li> <li>● Virtuelle Geometrie- und Prozessabsicherung (Digital Mock Up, 3D-Simulation, Virtual Reality)</li> <li>● Rapid Prototyping, Rapid Tooling</li> <li>● zentrale konsistente Datenbasis durch PDM-System (mit Ähnlichsuche, Beispielkatalogen)</li> <li>● standardisierte offene Schnittstellen</li> <li>● Dokumentationssysteme (Erfahrungswissen abgeschlossener Projekte)</li> <li>● Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien</li> </ul>

Abbildung 6-6: *Qualifizierung von Methoden und Werkzeugen*

Ausführliche Ansätze zur Einführung und Anpassung von sachgebundenen Entwicklungsmethoden und –werkzeugen beschreiben ZANKER (1999), STETTER (2000) und VIERTLÖCK (2000).

**Vorbereitung des Gestaltungsfaktors Organisation**

Stoßrichtung der Prozessintegration ist die Antizipation und Beherrschung der Abhängigkeiten zwischen dem Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozess und damit eine Neugestaltung der Ablauforganisation. Dies zieht Konsequenzen für die Aufbauorganisation nach sich, die Schnittstellen zwischen Organisationseinheiten definiert. Schnittstellen sind ab einer bestimmten Unternehmensgröße unvermeidbar. Entscheidend sind eine sinnvolle Schnittstellenanordnung und definierte Informationsflüsse.

Abbildung 6-7 gibt diesbezüglich Hinweise auf Maßnahmen zur Steigerung der organisatorischen *Integration* und *Flexibilität/Reaktionsfähigkeit*.

Förderung der organisatorischen Integration	Förderung der organisatorischen Flexibilität und Reaktionsfähigkeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>● integrierte Aufbauorganisation durch Auflösen der Schnittstelle zwischen Konstruktion und Montageplanung</li> <li>● integrierte Entscheidungs- u. Sachkompetenz</li> <li>● räumliche Konzentration und Anordnung der Entwickler und Planer in Form ihrer Zuständigkeitsbereiche (z.B. PVA-Module)</li> <li>● integrierte Ziele, Methoden, Vorgehensweisen</li> <li>● gemeinsame Problemlösungsprozesse</li> <li>● übergreifende standardisierte Begriffe</li> <li>● (finanzielle) Anreize für integriertes Vorgehen</li> <li>● Stabilität integrierter und etablierter Teams von Konstrukteur und Montageplaner auch nach Projektabschluss (Reduktion einer erneuten Teambildungsanlaufphase)</li> <li>● gemeinsame Serienverantwortung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aufbauorganisation basierend auf PVA-Modulen</li> <li>● Transparenz der Kunden-/Lieferantenbeziehungen, Förderung informeller bereichsübergreifender Kommunikation</li> <li>● Beschleunigung der Lösungsfindung durch integrierte Entscheidungs- und Sachkompetenz</li> <li>● Möglichkeit zur kurzfristigen Einbindung von Dienstleistern</li> <li>● effiziente kurze Standardprozesse für Routineaufgaben entlasten im turbulenten Umfeld</li> <li>● Verarbeitung vorläufiger unreifer Informationen</li> <li>● Frühwarnung bei Planabweichungen, Möglichkeit zur schnellen Fokussierung auf kritische Themen</li> <li>● finanzielle Anreize für Veränderungen und Verbesserungen</li> </ul>

Abbildung 6-7: *Qualifizierung der Organisation*

Die vorliegende Arbeit unterscheidet zweckmäßig in eine **Makroorganisation** und eine **Mikroorganisation**. Die Makroorganisation bestimmt die *übergreifende Aufbauorganisation* im Entwicklungs- und Planungsbereich. Die Mikroorganisation beschreibt die Definition der verantwortlichen Organisationseinheit *für einen Prozessbaustein*.

Die **Definition einer geeigneten Makroorganisation** hängt von vielen Randbedingungen ab, wie z.B. der Marktdynamik und –komplexität, der Technologiedynamik und -komplexität, der Unternehmensgröße oder den Projekteigenschaften. Als Grundlage für die Empfehlung einer geeigneten Makroorganisation wurden umfangreiche Analysen und Literaturrecherchen angestellt und die bekannten Organisationsmodelle bewertet. Fazit war, dass für die Entwicklung komplexer Serienprodukte im dynamischen, komplexen und unsicheren Umfeld eine *objektorientierte Organisation* zu empfehlen ist, die auf *integrierten Produkt-, Vorgangs- und Anlagenmodulen (PVA-Modulen)* basiert:

- **PVA-Modul-Teams:** Das PVA-Modul hat die gesamthafte Verantwortung für einen integrierten Teilumfang von Produkt, Montagevorgang und Anlage bezüglich der Zielerreichung. Es hat klare Ziele und Handlungsfreiräume, die mit der Projektleitung und unterstützenden Dienstleistern vereinbart werden, und bestimmt selbst seine Mikroorganisation.
- **PVA-Integrationsteams:** Das PVA-Integrationsteam steuert die Eigenschaften des Gesamtprodukts, des Gesamtmontageablaufs und der Gesamtmontageanlage, die modulübergreifend wirksam werden. Es trifft dazu mit den entsprechenden Modulen Vereinbarungen zu technischen Umfängen, die über die Modulziele hinausgehen, und steuert bei Konfliktsituationen die Entscheidungsfindung.

Für die **Mikroorganisation** wurden in Anlehnung an PICOT ET AL. (1996) folgende zwei Modelle entwickelt, die für die Durchführung und Verantwortung eines einzelnen Prozessbausteins zuständig sind (s. Abbildung 6-8). Die Wahl des Modells wird in Abhängigkeit der Komplexität, des Strukturierungsgrades, des Neigkeitswertes und der Variabilität der Aufgabe getroffen.

Autarkiemodell	Kooperationsmodell
<ul style="list-style-type: none"> <li>● autarke Bearbeitung einer zusammenhängenden Aufgabe in einem Prozessbaustein durch eine einzelne Person</li> <li>● Verlagerung von Entscheidungskompetenz zum Bearbeiter</li> <li>● effiziente Aufgabenbearbeitung durch Vermeidung von Prozessschnittstellen</li> </ul> <p>▷ bei relativ standardisierten, wenig bis mittel komplexen Aufgaben</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bearbeitung einer umfassenden Aufgabe eines Prozessbausteins durch ein interdisziplinäres Team</li> <li>● Verlagerung von Ergebnis- und Kostenverantwortung sowie Entscheidungskompetenz in das Team</li> <li>● Nutzung des kreativen Potenzials des Teams zur Bearbeitung innovativer Entwicklungsaufgaben</li> </ul> <p>▷ bei wenig strukturierten, komplexen Aufgaben mit hohem Neigkeitswert und großer Variabilität</p>

Abbildung 6-8: Zwei Modelle der Mikro-Aufbauorganisation

### **6.3.4 Aufbau eines Werkzeug- und Kompetenzbaukastens (E3)**

Der dritte Schritt im Rahmen der Einführungsvorgehensweise ist der Aufbau eines Werkzeug- und Kompetenzbaukastens.

Der **Werkzeugbaukasten** enthält als Informationsspeicher die im Unternehmen vorhandenen sachgebundenen Methoden und Werkzeuge mit einer Klassifizierung und detaillierten Beschreibung sowie Ein- und Ausgangsinformationen. Anhand der in Kapitel 5.5.1 dargestellten Charakteristik werden die im Unternehmen etablierten Werkzeuge und Werkzeugmerkmale aufgenommen und in dieser Datenbank abgebildet. Ein Beispiel für eine rechnergestützte internetbasierte Methoden- und Werkzeugdatenbank wurde im Rahmen des SFB 336 erarbeitet (vgl. LINDEMANN 2000, S. 29).

Der **Ressourcen- und Kompetenzbaukasten** enthält die im Unternehmen vorhandenen Personalressourcen und Kompetenzen in einer geeigneten Klassifizierung und Charakterisierung. Es gilt, alle im Unternehmen vorhandenen Personalressourcen zu erfassen und strukturiert in einer Datenbank abzubilden. Ein Vorschlag zur Strukturierung ist Kapitel 5.5.2 zu entnehmen. Zur Erfassung der Personalkompetenzen können folgende Methoden der Informationsbeschaffung eingesetzt werden: Abfrage von Personaldatenbanken (Lebensläufe, Anforderungsprofile, durchgeführte Qualifizierungsmaßnahmen), Fragebögen oder Interviews mit Mitarbeitern bzw. Vorgesetzten und Selbsteinschätzungen.

### **6.3.5 Konfiguration eines unternehmensspezifischen Prozessbaukastens (E4)**

Der vierte Schritt im Rahmen der Einführungsvorgehensweise ist umfangreicher und beinhaltet die Konfiguration eines unternehmensspezifischen Prozessbaukastens.

Der allgemeingültige Prozessbaukasten mit den generischen Prozessbausteinen, die im Rahmen des SFB 336 entwickelt wurden, spannt einen großen Raum theoretisch möglicher Prozessabläufe auf. Damit bieten die Bausteine aber zu wenig konkrete Hilfestellung für unternehmensspezifische Entwicklungs- und Planungsprojekte.

Um die Unterstützung zu maximieren, sind die Prozessbausteine zunächst an die Branche und spezifische Situation des betrachteten Unternehmens anzupassen. Dabei sind prozessspezifische Randbedingungen zu berücksichtigen und vorhandene Personalkompetenzen und Werkzeuge den Bausteinen zuzuweisen. Dieser Anpassungsvorgang wird als "unternehmensspezifische Konfiguration" bezeichnet.

Einerseits sollten durch vordefinierte Abläufe Entwicklungs- und Planungsprozesse besser beherrscht werden, andererseits soll aber der Raum für die kreative Entfaltung von Ideen nicht zu sehr eingeschränkt werden. Für die Bildung von Prozessbausteinen mit geeignetem Standardisierungsgrad ist ein unternehmensspezifisches Optimum zu ermitteln.

Als Grundlage für die Anpassung wurde eine Analyse und Bewertung durchgeführt, welche Unternehmensspezifika Einfluss auf welche Prozessbausteininhalte haben und bei der Konfiguration beachtet werden müssen (s. Abbildung 6-9).

... Einfluss auf: <b>Diese Unternehmensspezifika haben ...</b>	<b>Unternehmensspezifische Prozessbausteininhalte</b>						
	Baustein-tätigkeiten	Eingangs-/Ausgangs-information	Eingangs-/Ausgangs-Dokumente	Erforderl. Personal-Kompetenz	Methode/Werkzeug	E-Zeit/E-Kosten	Prozess-wissen
<b>Organisation</b>							
Branche/Produktkomplexität	●	◐	◐	●	◐	●	○
Unternehmensgröße	○	○	○	○	◐	○	◐
Unternehmensstrategie	◐	○	◐	◐	●	●	○
Unternehmensziele	◐	○	○	◐	◐	●	◐
Unternehmenskultur	○	○	○	◐	◐	◐	●
Produktions-/Auftragstyp	◐	◐	○	◐	○	●	○
Vorh. Organisationsstruktur	◐	○	○	●	◐	◐	◐
Fertigungstiefe	●	◐	●	●	◐	◐	●
Dienstleister-Beziehungen	◐	◐	●	●	◐	◐	●
Vorh. Prozessstandards	●	●	◐	◐	●	●	●
Begriffsterminologie	●	●	●	◐	●	○	○
Vorhandenes Budget	○	○	◐	●	●	●	○
<b>Technik</b>							
Vorh. Dokumentenstandards	◐	◐	●	○	●	○	◐
Vorh. Versuchsanlagen	◐	◐	●	●	●	●	◐
Vorh. Rechnerwerkzeuge	◐	◐	●	●	●	●	◐
<b>Mensch</b>							
Vorh. Personalkapazität	●	○	○	●	●	◐	◐
Vorh. Kompetenzen	●	◐	◐	●	●	◐	●

Legende: ○ = kein Einfluss   ◐ = indirekter Einfluss   ● = direkter Einfluss

Abbildung 6-9: Einflussfaktoren auf die unternehmensspezifische Konfiguration

Je nach Wichtigkeit und Höhe des Einflusses sind die jeweiligen Spezifika bei der Anpassung zu berücksichtigen.

Aufbauend auf dieser Analyse wurde ein Vorgehensmodell zum Aufbau eines unternehmensspezifischen Baukastens entwickelt (s. Abbildung 6-10). Die Vorgehenschritte sind zyklisch angeordnet, um zu verdeutlichen, dass bei Änderungen der Randbedingungen einzelne Schritte erneut durchlaufen werden müssen.

Bei der Konfiguration kann prinzipiell aus zwei Optionen gewählt werden:

- *Option A* beschreibt ein Vorgehen zur Anpassung vorhandener Prozessbausteine des neutralen Prozessbaukastens an unternehmensspezifische Randbedingungen.
- *Option B* beschreibt einen Ablauf, wie - basierend auf den im Unternehmen etablierten Arbeitsschritten - eigene integrierte Prozessbausteine gebildet werden.

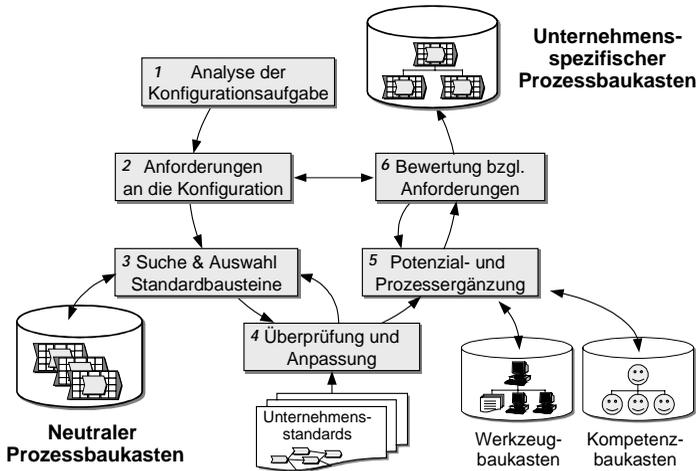


Abbildung 6-10: Modell zur Konfiguration eines unternehmensspezifischen Prozessbaukastens

### Konfigurationszyklus Option A: Anpassung auf Basis des neutralen Baukastens

**1. Analyse der Konfigurationsaufgabe:** Im Rahmen einer Informationserhebung werden relevante Faktoren, wie die langfristige Unternehmensstrategie und daraus abgeleitete Ziele für den Entwicklungsbereich (z.B.  $\emptyset$  Entwicklungsdauer und -kosten, Prozessflexibilität und -reaktionsfähigkeit, etc.) identifiziert. Die Ziele dienen als Leitgrößen für den Prozess und die Prozessergebnisse. Ferner sind die Produktkategorie (Einzel-, Serien-, Massenerzeugnis), die Prozesskategorie (Gross- oder Kleinserienmontage, auftragsgebunden oder auftragsneutral) und die gewünschten Modellsichten für Management und Prozessdurchführende zu ermitteln. Die üblicherweise kritischen Prozesse, die bestehenden Prozess- und Dokumentenstandards und Defizite aus Sicht der bisherigen Prozessverantwortlichen sind zu analysieren. Den Abschluss der Analysephase bildet die Formulierung der Schwachstellen in der aktuellen Prozesslandschaft.

**2. Anforderungen an die Konfiguration:** In diesem Schritt sind Ziele und Zielgrößen für die übergeordnete Prozesslandschaft und unternehmensspezifischen Prozessbausteine zu definieren und mit der langfristigen Prozessstrategie abzustimmen. Ferner sind die grundsätzliche Prozessstruktur und zu modellierende Prozessausschnitte einschließlich sinnvollem Detaillierungsgrad festzulegen. Daraus leitet sich wiederum der Umfang und die Konkretisierung der Prozessunterstützung ab.

**3. Suche und Auswahl von Standardbausteinen:** Der neutrale Referenzbaukasten des SFB 336 wird als Basis genommen, die gespeicherten Bausteine werden analysiert und hinsichtlich der Relevanz für das Unternehmen bewertet. Schließlich werden einzuführende Bausteine ausgewählt und irrelevante gelöscht.

**4. Überprüfung und Anpassung:** Die verbleibenden Bausteine werden bezüglich ihrer Arbeitsinhalte entsprechend der Unternehmensterminologie und -methoden näher spezifiziert. Es wird geprüft, ob der empfohlene Integrationsgrad der Arbeitsinhalte sinnvoll darstellbar ist. Ferner werden die angegebenen Eingangs- und Ausgangsinformationen - sofern erforderlich - modifiziert. Wichtig ist, dabei auf eine einheitliche Semantik zu achten und Standardkategorien für den *Konkretisierungsgrad*, den *Absicherungsgrad* und die *Verbindlichkeit* von Gestaltungsobjekten zu definieren. Bewährte vorhandene Prozessstandards, wie z.B. Freigaben, sollten mit den Bausteinen abgebildet werden. Etablierte Dokumentenstandards sind in der Beschreibung der Eingangs- und Ausgangsdokumente zu berücksichtigen. Die Aufgabenbeschreibung in den Bausteinen sollte schließlich bis zu einem Detaillierungsgrad ausgeführt werden, dass die durchführende Organisationseinheit ihn eigenständig bearbeiten kann.

**5. Potenzial- und Prozessergänzung:** Fehlende Prozessbausteine sind zu ergänzen und Anforderungsprofile an deren Bearbeitungskompetenz zu erstellen. Diese Profile werden mit den im Werkzeug- und Kompetenzbaukasten vorhandenen abgeglichen und unterstützen die Auswahl einer geeigneten Bausteinbesetzung. Dabei ist es einerseits möglich, Bausteine zugunsten der vorhandenen Potenziale zu modifizieren, wenn bspw. ein als optimal erscheinendes Werkzeug nicht vorhanden ist. Andererseits ist es möglich, das vorhandene Potenzial an Werkzeugen und Personal entsprechend zu qualifizieren, um die Arbeitsinhalte ideal durchführen zu können. In manchen Fällen erfordern bestimmte Entwicklungswerkzeuge spezifische Eingangsdatenformate und liefern spezifische Ausgangsformate. Daher sind abschließend die im Baustein eingetragenen Datenformate dahingehend abzugleichen.

**6. Bewertung hinsichtlich der Anforderungen:** Im Bewertungsschritt wird schließlich geprüft, ob der entwickelte unternehmensspezifische Prozessbaukasten die definierten Anforderungen erfüllt. Falls nicht, ist der Zyklus erneut zu durchlaufen.

#### **Konfigurationszyklus Option B: Neues Generieren aller Prozessbausteine**

Eine weitere grundsätzliche Möglichkeit, einen unternehmensspezifischen Prozessbaukasten aufzubauen, ist, die Bausteine speziell für das Unternehmen auf Basis der etablierten Prozesse neu zu entwickeln. Dies kann sinnvoll sein, wenn sich die Tätigkeiten im spezifischen Unternehmen zu stark von den allgemeingültigen unterscheiden oder die Akzeptanz der Methodik durch vorgegebene Bausteine gefährdet wäre.

Die Grundidee der Prozessbausteine, durch Modularisierung der Entwicklungs- und Montageplanungsabläufe eine Neukombination für verschiedene Anwendungsfälle zu erreichen, wird auch mit dieser Option verfolgt. Entwicklungs- und Planungstätigkeiten des Unternehmens werden identifiziert, die einen weitgehend abgeschlossenen Prozessabschnitt repräsentieren (z.B. eine Layoutplanung). Die Schnittstellen der entstehenden Abschnitte werden durch erforderliche und resultierende Ein- und Ausgangsinformationen spezifiziert, um eine durchgängige Vernetzbarkeit zu ermöglichen. Von den Prozessabschnitten werden diejenigen ausgewählt, die sich durch starke wechselseitige Ab-

hängigkeiten zwischen Produkt, Montagevorgang und Anlage auszeichnen. Durch eine Integration in Form eines Prozessbaustein werden solche bisher getrennten Aktivitäten nun als ein gemeinsames Aufgabepaket zusammengefasst.

Das **Ergebnis der Konfiguration** ist ein unternehmensspezifischer Prozessbaukasten, der vorkonfigurierte Prozessbausteine enthält, die an Unternehmensrandbedingungen angepasst sind und das Unternehmenspotenzial beinhalten. Dieser Baukasten dient als Hilfestellung, um bei Bedarf schnell und aufwandsarm produkt-/montage- und projekt-spezifische Prozessmodelle abzuleiten.

### 6.3.6 Konfiguration produkt- und montagespezifischer Prozessmodelle (E5)

Der fünfte Schritt im Rahmen der Einführungsvorgehensweise widmet sich der Konfiguration "produkt- und montagespezifischer Prozessbaukästen und -modelle". Dies ist erforderlich, da unternehmensspezifische Prozessbaukästen bei einem diversifizierten Produkt- und Anlagenspektrum immer noch einen zu großen Raum möglicher Prozessabläufe aufspannen. Grundlage hierfür war erneut eine Analyse hinsichtlich relevanter produkt- und montagespezifischer Einflussfaktoren (s. Abbildung 6-11).

... Einfluss auf: Diese Produkt-/Montage-spezifika haben ...	Produkt- und Anlagenspezifische Prozessbausteininhalte						
	Baustein-tätigkeiten	Eingangs-/Ausgangs-information	Eingangs-/Ausgangs-Dokumente	Erforderl. Personal-Kompetenz	Methode/Werkzeug	E-Zeit/E-Kosten	vorh. Prozess-wissen
<b>Entwicklungs-/Planungsart</b>							
Innovationsgrad P, V, A	●	●	◐	●	●	●	●
Komplexität P, V, A	◐	◐	◐	●	●	●	◐
Entwicklungstiefe P, V, A	●	●	●	●	◐	●	◐
Kundenbezug der Entwicklung	◐	◐	○	○	◐	◐	○
<b>Entwicklungs-/Planungsinhalte</b>							
Geforderte Ziele P, V, A	●	●	●	●	●	●	●
Geford. Funktionen P, V, A	●	●	●	●	●	●	●
Struktur P, V, A	●	●	●	◐	◐	◐	◐
Gestalt P, V, A	●	●	●	●	●	●	●
Varianten P, V, A	◐	◐	●	◐	◐	●	●
Abzusichernde Eigenschaften	●	●	●	●	●	●	●
<b>Randbedingungen</b>							
Gesetze, Normen, Patente	◐	●	◐	◐	◐	●	◐
Vorhand. Montagepersonal	○	◐	○	◐	○	○	◐
Vorhand. Montageorganisation	○	◐	○	○	○	○	○
Vorhandene P, V, A	○	◐	●	○	◐	●	●
Wiederverwendung P, V, A	●	●	●	◐	●	●	●
Vorh. Erfahrung P, V, A	◐	●	●	●	◐	●	●

Legende: P = Produkt, V = Montagevorgang, A = Montageanlage  
 ○ = kein Einfluss    ◐ = indirekter Einfluss    ● = direkter Einfluss

Abbildung 6-11: Einflüsse auf die produkt-/montagespezifische Konfiguration

Ziel ist es somit, wiederverwendbare vorinstanziierte Prozessbausteine und Teilprozessketten zu erzeugen, aus denen sich schnell produkt- und montagespezifische Projektpläne ableiten lassen. Dazu wurde ein weiteres zyklisches Vorgehensmodell entwickelt, mit dessen Hilfe sich ein produkt- und montagespezifischer Baukasten ableiten lässt (s. Abbildung 6-12).

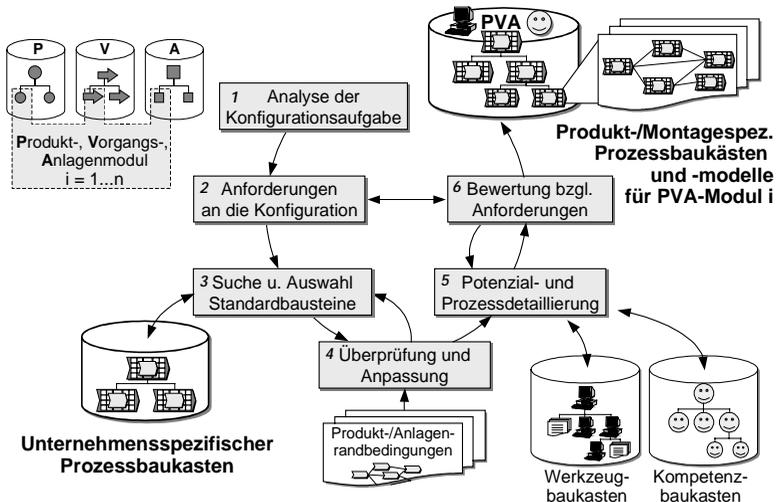


Abbildung 6-12: Configuration produkt- und montagespezifischer Prozessbaukästen und -modelle

Zunächst sind die zu betrachtenden Produkt-, Vorgangs- und Anlagenmodule zu definieren, für die ein repräsentativer Prozessbaukasten erstellt werden soll. Es können übergreifende Baukästen für Produktgruppen bis hin zu Baukästen für einzelne Module erzeugt werden. Eine wesentliche Anregung dieser Arbeit ist es, dafür sog. *integrierte PVA-Module* heranzuziehen. Deren optimierte Produkt-, Vorgangs- und Anlagenstruktur lässt sich gut auf die Strukturierung komplexer Entwicklungs- und Planungsabläufe mit einem hohen Parallelisierungsgrad übertragen.

**1. Analyse der Konfigurationsaufgabe:** Zunächst werden relevante Faktoren wie *produktspezifische Randbedingungen* in Form von Produktprogramm und übergeordneten Produktzielen erhoben. Die wichtigsten Standardbaugruppen, zugehörige Standardabläufe, die baugruppenbezogenen wahrscheinlichsten Prozessszenarien (Neu-, Anpassungs-, Variantenentwicklung, Übernahme) und die bisherige Verteilung von Eigen- und Fremdleistung ist zu ermitteln. Aus der Analyse von *anlagenspezifischen Randbedingungen* folgt das Anlagenspektrum, die wesentlichen Anlagenziele und die grobe Anlagenstruktur. Eine Analyse von *vorgangsspezifischen Randbedingungen* erfasst Montagevorgangsziele und die übliche Auftragsauslösungsart: Montage auf Bestellung (Einzel-

/Rahmenauftrag), kundenunabhängige Vormontage mit kundenbezogener Endmontage oder rein kundenunabhängige Montage. Analog zur unternehmensspezifischen Konfiguration werden gewünschte Prozessszenarien und Modellsichten, ferner kritische Prozesse, bestehende Prozess-/Dokumentenstandards und Defizite dieser Standards ermittelt. Abschluss der Analysephase bildet die Formulierung von Schwachstellen der bisherigen Entwicklung und Planung dieser Produkt-, Vorgangs- und Anlagengruppen.

**2. Anforderungen an die Konfiguration:** Ziele und Zielgrößen für die produkt-/ montagespezifischen Prozessmodelle sind unter Abstimmung mit der langfristigen Prozessstrategie zu formulieren und der zu modellierende Prozessausschnitt zu bestimmen.

**3. Suche und Auswahl von Standardbausteinen:** Der unternehmensspezifische Baukasten wird als Basis herangezogen. Die gespeicherten Bausteine werden hinsichtlich Relevanz für das betrachtete PVA-Modul geprüft und gegebenenfalls gelöscht. Für die wesentlichen Szenarien möglicher Innovationsgrade des Moduls und seiner Zusammensetzung werden bauteilbezogene entsprechende "Anpassungselemente", "Prozessrandbedingungen" und "Prozessstreiber" definiert. Damit können aus den vorgesehenen Bausteinalternativen die geeignetsten ausgewählt und Teilprozessmodelle geplant werden. Im Prozessbaukasten des SFB 336 wurden bereits Bausteine für unterschiedliche Prozessstreiber und -randbedingungen vorkonfiguriert. Diesbezüglich werden prinzipiell 12 verschiedene Situationen von Freiheitsgraden unterschieden, wobei die wichtigsten als Bausteinalternativen abgebildet sind (vgl. Abbildung 6-13 und Abbildung 6-14).

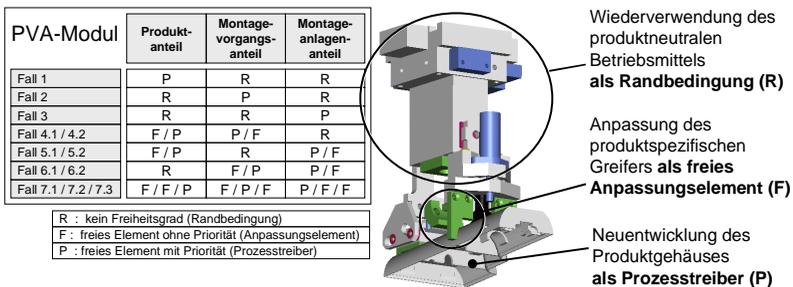


Abbildung 6-13: Exemplarische Definition von Randbedingungen, Anpassungselementen und Prozessstreibern

Abbildung 6-14 zeigt exemplarisch vereinfachte Prozessbausteine des Grobgestaltens, die bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen jeweils zum Einsatz kommen können.

**4. Überprüfung und Anpassung:** Den bislang produkt- und montagenutral formulierten Arbeitsinhalten und Eingangs-/Ausgangsinformationen der verbleibenden Bausteine werden PVA-Module und Submodule zugewiesen. Es wird geprüft, ob die angegebenen erforderlichen Eingangsinformationen ausreichend sind und welche spezifischen Ausgangszustände durch den Prozessbaustein generiert werden können. Vorhandene Pro-

zessstandards (z.B. spezielle Prüfverfahren für Sicherheitsbaugruppen), die sich etabliert und bewährt haben, sind mit den Bausteinen zu modellieren. Vorhandene ebenfalls bewährte Dokumentenstandards, sind in der Beschreibung der Eingangs- und Ausgangsdokumente zu berücksichtigen. Die Aufgabenbeschreibung der wichtigsten Bausteine sollte überprüft und bis zum gewünschten Detaillierungsgrad erweitert werden.

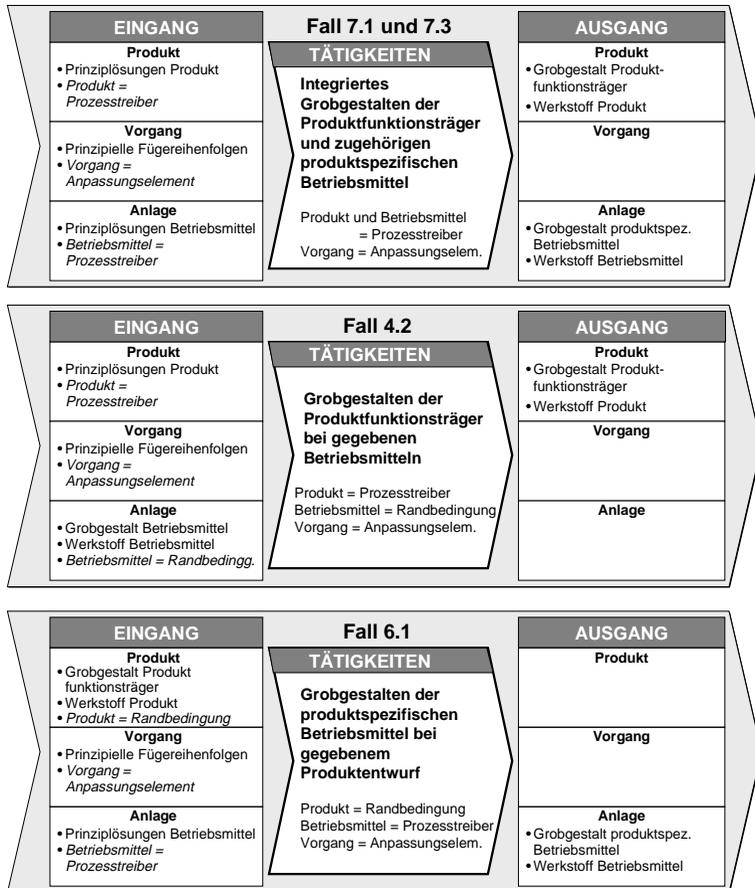


Abbildung 6-14: Drei vereinfachte Beispiele für Prozessbausteine der Grobgestaltung in Abhängigkeit vom verfügbaren Freiheitsgrad

**5. Potenzial- und Prozessergänzung:** Für die verschiedenen produktabhängigen Strategien und Ziele (z.B. Qualität, Varianten) und montagebezogenen Ziele (z.B. manuell oder automatisiert) können entsprechende Prozessmodelle vorgeplant werden. Für fehlende Arbeitsinhalte (z.B. besondere abzusichernde Eigenschaften, wie das Erfüllen spe-

zifischer Gesetzesvorschriften) werden neue Prozessbausteine und Teilprozessnetze modelliert. Dabei ist zu prüfen, ob die Vernetzbarkeit der Bausteine gewährleistet ist, indem ein Prozessfilter Eingangsinformationsobjekte sucht, deren Erzeugung durch keinen anderen Baustein vorgesehen ist. Ferner lässt sich prüfen, ob innerhalb des Modells Informationsobjekte erzeugt werden, auf die nie zugegriffen wird. Für alle Prozessbausteine muss schließlich ein Anforderungsprofil an die Bearbeitungskompetenz hinsichtlich Produkt-, Vorgangs- und Anlagenkenntnissen spezifiziert werden. Gemäß dieses Profils werden vorhandene Werkzeuge und Organisationseinheiten zugewiesen. Auch hier ist es möglich, Bausteine und Anforderungsprofile zugunsten vorhandener Werkzeuge und Bearbeiter zu korrigieren oder das vorhandene Potenzial zu qualifizieren. Über Synchronisationsbausteine werden schließlich die Teilprozessmodelle verbunden.

### **6. Bewertung hinsichtlich der Anforderungen**

Ein abschließender Bewertungsschritt stellt sicher, dass der definierte produkt-/ montagespezifische Prozessbaukasten alle Anforderungen erfüllt. Falls nicht, sind der Zyklus noch einmal abzarbeiten und die Defizite zu beheben.

Das **Ergebnis der Konfiguration** ist ein produkt- und montagespezifischer Prozessbaukasten, der vorkonfigurierte Prozessbausteine und Teilprozessmodelle für das Produkt- und Anlagenspektrum enthält. Diese sind an die spezifischen Restriktionen und Vorgaben angepasst und um einsetzbare Methoden, Werkzeuge und Personalressourcen ergänzt. Der Baukasten dient als Hilfestellung, um schnell und aufwandsarm projektspezifische Prozessmodelle abzuleiten und Erfahrungen, die in Projekten gesammelt wurden, aufzunehmen und projektübergreifend zur Verfügung zu stellen.

Nach Abschluss der produkt- und montagespezifischen Konfiguration sind die Vorbereitungen abgeschlossen und die Methodik kann eingesetzt werden.

## **6.4 Modell zum Einsatz und zur Weiterentwicklung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse**

Im Folgenden ist ausführlich ein Vorgehensmodell beschrieben, dessen Einzelschritte den Einsatz und die Weiterentwicklung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse auf Basis der Prozessbausteine abbilden.

### **6.4.1 Prinzipien und Vorüberlegungen für den Einsatz**

Für den Einsatz der Prozessbausteinmethodik sind eine Reihe von Prinzipien zu berücksichtigen und Vorüberlegungen anzustellen. Dieser Abschnitt enthält daher die Themen der situativen Planung, Koordination und Regelung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse. Es sollen diesbezüglich ausschließlich Ergänzungen zur klassischen Projektmanagementmethodik aufgezeigt werden, da diese bereits eine gute Grundlage für die Koordination und Regelung von Entwicklungsprojekten gibt. An die-

ser Stelle sei auf die Arbeiten von GRÄBLER (1999), LAUFENBERG (1996), MURR (1999) und die gängige Projektmanagementliteratur verwiesen.

Im Rahmen der Analyse der Ausgangssituation (s. Kapitel 2) wurde insbesondere die Dynamik als wesentliche Eigenschaft moderner Entwicklungs- und Planungsprozesse erkannt. Die wesentlichen Ursachen für diese Dynamik sind oft komplexe Produkte und Prozesse, die komplexe Projektstrukturen mit vielen kritischen Abhängigkeiten zur Folge haben. Änderungen haben dadurch starke Auswirkungen auf die Informationsverarbeitung in laufenden Entwicklungs- und Planungsprozessen. Zudem führt die geforderte Zeitverkürzung zu einem hohen Parallelisierungsgrad, der bei kleinen Zeitpuffern und auftretenden Störungen schnell weitreichende Folgen nach sich ziehen kann. Daher sind zunächst die Dynamik und ihre Konsequenzen für die Methodik zu analysieren.

### **Dynamik des Informationsbedarfs und -angebotes**

Die essentiellen Umsatzprodukte in Entwicklungs- und Planungsprozessen sind Informationen über Produkt, Montagevorgang und Montageanlage. Die originäre Funktion eines Entwicklungs- und Planungsprojektes ist die laufende Erweiterung, Bewertung und Absicherung dieser z.T. hochgradig vernetzten Daten bzw. von Ausschnitten daraus. Dadurch erhält das Projekt eine hohe inhaltliche Dynamik. Mitunter kommt es vor, dass sich erst nach dem Start einer Entwicklungstätigkeit erkennen lässt, ob die vorhandenen Informationen ausreichen, um die Arbeitsinhalte sinnvoll durchführen zu können. Weitere Einflüsse sind die mangelnde Objektivierbarkeit und damit der individuelle Interpretationsspielraum von Daten. Jedes Individuum interpretiert Daten in anderer Weise (abhängig von Sichtweise, Hintergrundwissen etc.).

**Konsequenz:** Daher muss es neben einer Grobplanung der Prozesse eine rollierende und situative Feinplanung geben, auf Basis der jeweiligen Situation. Diese Feinplanung hat dezentral zu erfolgen, da nur die Bearbeiter über ausreichend lokales Detailwissen verfügen. Dabei kommt dem "Hol-Prinzip" von Informationen eine besondere Bedeutung zu, da die kreativen Prozessanteile mit ihren nicht vorhersehbaren Informationsbedarfen dem Bring-Prinzip wichtige Grundlagen entziehen (vgl. RADTKE 1995, S. 56ff). Bei kritischen Schnittstellen sind bilaterale Leistungsvereinbarungen bezüglich zu transferierenden Informationen hilfreich, wobei ein persönliches Kennen zur Weitergabe impliziter vorläufiger Informationen motiviert (vgl. HORNBOSTEL 1995, S. 11).

### **Dynamik der Konkretisierung, Absicherung und Verbindlichkeit von Produkt, Montagevorgang und Montageanlage**

Objektdaten werden im Laufe des Entwicklungs- und Planungsprozesses zunehmend konkreter. Daten, die noch nicht vollständig konkretisiert sind, werden als "unreife Daten" bezeichnet. Es sind Fragen zu klären, wie man situativ mit Informationen bzgl. unreifer Daten umgehen soll, die zur Bearbeitung eines Prozessbausteins notwendig sind, aber noch nicht vollständig vorliegen. Ferner kann in der Planungsphase eines Projektes oft noch nicht abgeschätzt werden, wann welche Zwischenergebnisse erreicht werden und ob die Erfüllung der geforderten Eigenschaften mit den bis zu diesem Zeitpunkt

erarbeiteten Gestaltungsobjekten sicher beurteilbar ist. Zur Bewertung der aktuellen Verbindlichkeit von Entwicklungs- und Planungsobjekten wird in der industriellen Praxis mit Freigabestufen gearbeitet, die eine Änderungswahrscheinlichkeit abbilden. Freigaben sind oft sehr dynamisch, was weitreichende Konsequenzen für den Prozess haben kann. Viele Entwickler und Planer sind ferner nicht gewohnt, ständig den Fortschritt anderer Bauteile zu beobachten und zu bewerten.

**Konsequenz:** Daher muss neben der Planung auch die Koordination und Regelung der Prozesse auf den Konkretisierungsgrad, den Absicherungsgrad und die Verbindlichkeit der Informationen zurückgreifen und diese stets transparent halten. Die Verfügbarkeit von neuen Ausgangsdaten/-informationen bzw. neuen Anforderungen einschließlich einer Klassifizierung der Verbindlichkeit muss unverzüglich gewährleistet sein (im Sinne von "kurzen Regelkreisen" bzw. „just-in-time“ Entwicklung). Prozessbeteiligte müssen umgehend informiert werden, wenn Änderungen bestimmter Objekte oder Ziele stattfinden oder stattgefunden haben, um die Reaktionsfähigkeit zu erhalten.

#### **Dynamik der verfügbaren Personalressourcen und -kompetenzen**

Die zeitliche Verfügbarkeit bestimmter Personalressourcen und -kompetenzen entsprechend der Planung ist nicht immer gewährleistet, z.B. aufgrund der langen Dauer von Entwicklungsprojekten. Ferner kommt es zu Krankheit, Versetzung, Kündigung, Urlaub, Beförderung oder falscher Kompetenzeinschätzung.

**Konsequenz:** Diese Situationen müssen durch adäquaten Ersatz spontan kompensiert werden können. Es muss eine dynamische Ressourcenallokation, insbesondere eine Priorisierung kritischer Ressourcen, unterstützt werden.

#### **Dynamik der verfügbaren Methoden und Werkzeuge**

Die Verfügbarkeit von Entwicklungs- und Planungswerkzeugen von Labors bis zu CA-Workstations kann nicht immer gewährleistet werden. Durch Verzögerungen, Projektpriorisierungen, falsche Einschätzung der Leistungsfähigkeit oder einen Ausfall ergeben sich oft unvorhergesehene Situationen, die geregelt werden müssen. Ferner kommen ständig neue Methoden und Werkzeuge und auf den Markt, deren Einbindung in laufende Projekte erwogen werden muss.

**Konsequenz:** Auch die Dynamik der verfügbaren Methoden und Werkzeuge muss beherrscht werden durch einfaches Integrieren in laufende Prozesse.

Gesamtfazit ist, dass die Durchführung von Prozessbausteinen und Informationsflüsse zwischen Bausteinen nicht dem Zufall zu überlassen sind, wenn die Entwicklung flexibel, reaktionsschnell und effizient ablaufen soll. Vielmehr müssen sie gezielt koordiniert, überwacht und aktiv gesteuert werden.

*„The key action that effects the effectiveness and effectivity of collaborative design is coordination. Coordination is needed to manage dependencies (...) and to facilitate progress of each individual“ (WANG & JIN 1999).*

## 6.4.2 Grobplanung projektspezifischer Entwicklungs- und Planungsprozesse (A1)

Dieser Abschnitt zeigt, wie eine systematische Grobplanung projektspezifischer Entwicklungs- und Planungsprozesse durchgeführt werden kann.

Ziel ist es, aufwandsarm und schnell konkrete integrierte Projektpläne abzuleiten. Der produkt- und montagespezifische Prozessbaukasten bietet dabei die Planungsgrundlage. Dafür wurden zunächst Projekteinflüsse auf Prozessbausteinhalt analysiert, die bei der Grobplanung besonders zu berücksichtigen sind (s. Abbildung 6-15).

Diese Projektspezifika haben ...	... Einfluss auf:						
	Projektspezifische Prozessbausteinhalt						
	Baustein-tätigkeiten	Eingangs-/Ausgangs-information	Eingangs-/Ausgangs-Dokumente	Erforderl. Personal-Kompetenz	Methode/Werkzeug	E-Zeit/E-Kosten	Prozess-wissen
<b>Projektstrategie</b>							
Methodenstrategie	○	◐	●	●	●	◐	◐
Entscheidungsstruktur	○	◐	◐	◐	○	○	○
Ablauflexibilität	◐	◐	○	◐	◐	◐	●
<b>Projektziele</b>							
Prozessstreiber	◐	●	◐	○	○	●	◐
Projekt-Meilensteine	◐	◐	●	○	○	●	◐
Leistungsumfang	●	◐	●	○	○	●	○
Leistungsflexibilität	◐	●	●	●	○	◐	◐
<b>Projektstruktur</b>							
Projekt-Aufbauorganisation	○	○	○	●	○	○	◐
Projektdokumentation	◐	◐	●	◐	◐	○	●
<b>Projektressourcen</b>							
Projektbudget	◐	○	○	◐	●	●	◐
Projektlaufzeit	◐	○	○	◐	◐	●	◐
Verfügbare Projektkompetenz	◐	○	○	●	●	◐	●
Verfügb. Personalkapazität	◐	○	○	●	◐	●	○
Verfügb. Methoden/Werkzeuge	◐	◐	◐	◐	●	●	○
Ressourcenflexibilität	○	○	○	●	●	◐	◐

Legende: ○ = kein Einfluss ◐ = indirekter Einfluss ● = direkter Einfluss

Abbildung 6-15: Einflussfaktoren auf die projektspezifische Konfiguration

In Abbildung 6-16 ist ein Vorgehenszyklus dargestellt, mit dessen Hilfe aus produkt-/montagespezifischen Baukästen spezifische Projektpläne ableitbar sind.

**1. Analyse der Konfigurationsaufgabe:** Im Rahmen der Analyse projektspezifischer Randbedingungen werden der gewünschte Leistungsumfang, inhaltliche Prozessstreiber und Projektrestriktionen ermittelt. Daraus sind erforderliche Personalkompetenzen, -ressourcen, Methoden und Werkzeuge abzuleiten.

**2. Anforderungen an die Konfiguration:** Es müssen Ziele und Zielgrößen (Ergebnis, Kosten, Budget, zeitliche Position der Meilensteine) für das projektspezifische Prozessmodell in Abstimmung mit der langfristigen Projektstrategie definiert werden.

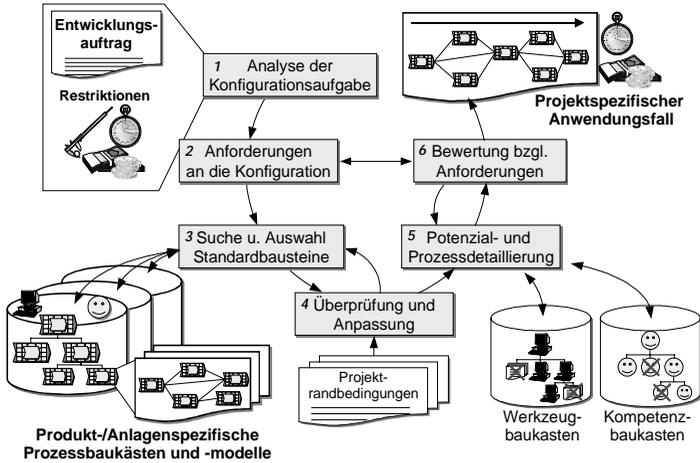


Abbildung 6-16: Modell zur Konfiguration projektspezifischer Prozessmodelle

Der zu modellierende Prozessausschnitt und Detaillierungsgrad werden definiert. Die Bestimmung von *Projektkonfigurationstreibern* gibt die Grobplanung des Entwicklungsprozesses die maßgeblichen Rahmenbedingungen vor. Dies können z.B. eine besondere Qualität der Entwicklungsobjekte (→ Vorsehen vieler Absicherungsbausteine), das Einhalten einer bestimmten Entwicklungszeit, ein spezifisches Entwicklungsbudget oder das Garantieren einer gewissen Entwicklungsflexibilität sein.

**3. Suche und Auswahl von Standardbausteinen:** Die produkt- und montagespezifischen Baukästen werden als Basis genommen, die gespeicherten alternativen Bausteine und Prozessmodelle analysiert, hinsichtlich Relevanz für das Projekt bewertet und geeignete ausgewählt. Die Unterschiede in Dauer, Kosten und Ergebnisqualität sind dabei die relevanten Auswahlkriterien, welcher Baustein bzw. welches vordefinierte Teilprozessmodell im Projekt eingesetzt wird.

**4. Überprüfung und Anpassung:** Den bislang projektneutral formulierten Bausteininhalten (Arbeitsinhalte, Ein-/Ausgangsinformationen) werden konkrete Projektinformationen zugewiesen.

**5. Potenzial- und Prozessergänzung:** Die Grundstruktur des Prozesses wird mittels Meilensteinen fixiert und mit den ausgewählten projektspezifischen Bausteinen ein integrierter Entwicklungs- und Planungsprozess modelliert. Für fehlende Arbeitsinhalte werden neue Bausteine erzeugt und abhängige Teilprozesse über Synchronisationsbausteine verknüpft. Kritische Prozessabschnitte werden detaillierter geplant, um im Einsatz schneller Abweichungen feststellen zu können. Für die Erhöhung der Planungssicherheit wird eine kombinierte Vorwärts- und Rückwärtsplanung empfohlen. Der Prozess lässt sich ausgehend vom Entwicklungsauftrag vorwärts oder vom erhofften Entwicklungser-

gebnis rückwärts konfigurieren. Ferner werden aus den optionalen Angaben hinsichtlich möglicher Prozessbausteinbearbeiter und einsetzbarer Werkzeuge geeignete ausgewählt. Es ist dabei denkbar, in Abhängigkeit der Situation bei der Projektdurchführung das Anforderungsprofil des Bausteins wieder zu verändern, um den Lösungsprozess dynamisch an konkrete Problemstellungen anzupassen.

Die Projektorganisation wird festgelegt, Entscheidungsstrukturen und –prozesse werden vereinbart. Den Prozessbausteinen werden Plan-Dauern und Plan-Kosten zugewiesen, in Abhängigkeit von der Wertschöpfung, die sie zum Projekt beitragen. Schließlich wird die Form der Projektdokumentation festgelegt. Dabei ist darauf zu achten, dass Prozess-erfahrungen in die Bausteine zurückfließen sollen, also geeignet erfasst, abstrahiert und dokumentiert werden müssen.

**6. Bewertung hinsichtlich der Anforderungen:** Im abschließenden Bewertungsschritt wird überprüft, ob das projektspezifische Prozessmodell alle Anforderungen erfüllt. Hierbei ist auch die Verständlichkeit der Prozessbausteine zu achten. Gegebenenfalls sind der Zyklus noch einmal abzarbeiten und entsprechende Defizite zu beheben.

Das **Ergebnis dieser Grobplanung** ist ein projektspezifisches Prozessmodell einschließlich der verantwortlichen Personen und einzusetzenden Werkzeuge. Dieses Modell ist die Grundlage für eine projektbegleitende situative Feinplanung, Koordination und Regelung. Erfahrungen, die in diesem Projekt gesammelt werden, sind zu abstrahieren und fließen in die produkt- und montagespezifischen Baukästen zurück.

### **6.4.3 Situative Feinplanung projektspezifischer Entwicklungs- und Planungsprozesse (A2)**

Unter Planung kann die "Erarbeitung von Vorstellungen und Daten verstanden werden, die auf bestehenden Tatsachen und gewünschten zukünftigen Entwicklungen beruhen" (SARETZ 1993, S. 13). In der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung sind hohe Änderungshäufigkeiten zu erwarten (vgl. BULLINGER ET AL. 1995, S. 40). Es kann deshalb nicht sinnvoll sein, die Abläufe detailliert weit im Voraus zu planen.

Die angestrebte hohe Effizienz bei gleichzeitig hoher Flexibilität und Reaktionsfähigkeit kann aber nur mit einer Durchgängigkeit der Prozesse und Methoden erreicht werden. Aufgabe der situativen Prozessfeinplanung ist es daher, die aktuelle Entwicklungs- und Planungsphase nur bis zum nächsten Meilenstein soweit zu detaillieren, dass alle kritischen Schnittstellen und Informationsflüsse sichtbar werden, die Prozessbeteiligten diese kennen und der Informationsfluss zwischen den Bearbeitern und den eingesetzten Rechnersystemen vorgedacht und transparent wird.

Dazu werden situativ zweckmäßige Bausteine aus dem Baukasten durch die Methodik gemäß den in Kapitel 5.3.1 definierten Vernetzungsregeln vorgeschlagen, die unter Berücksichtigung der aktuellen Situation den Prozess wie erforderlich ergänzen. Diese

Kombination aus Selbstorganisation und Entscheidungsunterstützung fördert die zunehmend geforderte Reaktionsfähigkeit.

Die modellgestützte Feinplanung der erforderlichen Aktivitäten sollte dezentral von den beteiligten Entwicklungs- und Planungsteams selbst geschehen auf Basis vorgegebener Ziele und Termine. Die operativ tätigen Projektteams verfügen über ausreichend lokales Detailwissen für eine realistische Feinplanung und Kenntnisse über Randbedingungen und Schnittstellen zu angrenzenden Aufgabenpaketen (vgl. MURR 1999, S. 90ff). Je nach Erfahrung, Denk- und Handlungsstil der jeweiligen Entwickler wird der Detaillierungsgrad dabei variieren. Der Ansatz lässt es zu, über eine gezielte Verteilung der Kompetenzen in den frei konfigurierbaren Prozessbausteinen den Grad der Autonomie, Dezentralität und Prozessdetaillierung zu skalieren. Die Trennlinie zwischen zentraler Grobplanung und dezentraler Feinplanung kann auf Basis der detaillierbaren Prozessstruktur individuell festgelegt werden.

Voraussetzung ist, dass alle Projektbeteiligten mit einem einheitlichen Planungsvorgehen vertraut sind und Zugriff auf die gleiche Planungsbasis haben. Die Feinplanung wird solange detailliert und bewertet, bis die Beteiligten mit der Ausprägung ihrer Planung zufrieden sind. Insbesondere kritische oder innovative Teilprozesse sollten genauer geplant werden, um das Risiko eines ungünstigen Prozessverlaufs zu mindern.

Diese sukzessive Vorgehensweise ermöglicht zudem folgende Prozessanalysen:

- Machbarkeitsprüfung: Sind die Prozessziele erreichbar?
- Plausibilitätsprüfung: Existiert ein einheitliches Verständnis über die Prozesse?
- Konsistenzprüfung: Können alle Eingangsdaten zur Durchführung der Bausteine rechtzeitig und in der gewünschten Qualität zur Verfügung gestellt werden?

Die beschriebene situative Feinplanung muss dazu im engen Wechsel mit der Durchführung erfolgen, um stets die aktuelle Situation zu erfassen und im Modell abzubilden.

#### **6.4.4 Durchführung projektspezifischer Entwicklungs- und Planungsprozesse (A3)**

Neben der Prozessplanung bedarf auch die Prozessdurchführung einer geeigneten methodischen Unterstützung, um auch hier Flexibilität und Reaktionsfähigkeit bei gleichzeitiger Effizienz sicherzustellen. Aus diesem Grund sind im Folgenden Methoden zur Priorisierung und zur Aktivierung von Prozessbausteinen erläutert.

##### **Priorisierung von Prozessbausteinen**

Ausgangspunkt für die Priorisierung ist die Überlegung, was die eigentlich wertschöpfenden Tätigkeiten im *integrierten Entwicklungs- und Planungsprozess* sind. Demnach sollte die Steigerung des Konkretisierungsgrads, des Absicherungsgrads und der Verbindlichkeit der Entwicklungs- und Planungsobjekte als maßgeblicher Treiber der Prozesse herangezogen werden. Die Bedeutung und Abhängigkeiten dieser drei Kompo-

nenten werden für eine methodische Priorisierung herangezogen. Diese ist erforderlich aufgrund des oft vorherrschenden Mangels an Sach- und Personalressourcen. Auf Basis dieser Überlegungen wurde ein sog. *Prozesstreiberportfolio* entwickelt (s. Abbildung 6-17).

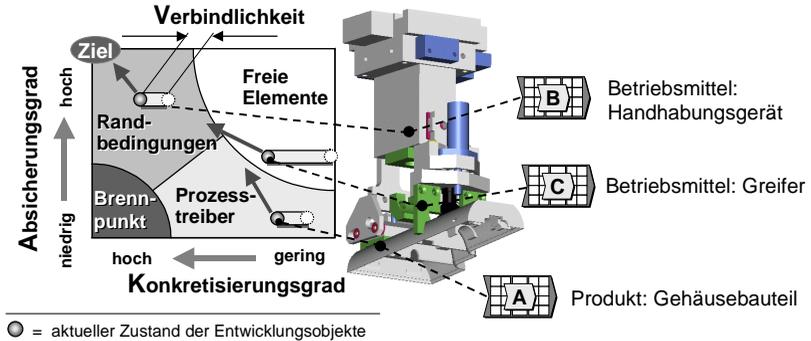


Abbildung 6-17: Prozesstreiberportfolio mit Objektbeispielen

„Freie Elemente“ sind durch einen geringen Konkretisierungsgrad und einen hohen Absicherungsgrad gekennzeichnet. Beispiele sind neu zu entwerfende Baugruppen, die erfahrungsgemäß wenig kritische Eigenschaften besitzen.

„Randbedingungen“ zeichnen sich durch einen hohen Konkretisierungsgrad und einen hohen Absicherungsgrad aus. Das bedeutet, sie sind weitgehend fertig entwickelt bzw. geplant und müssen lediglich als feste Randbedingung berücksichtigt werden, treiben den Prozess aber nicht maßgeblich. Sie zeichnen sich durch einen hohen Absicherungsgrad aus (z.B. ein bereits für eine ähnliche Aufgabe eingesetztes Handhabungssystem).

„Prozesstreiber“ haben einen geringen Konkretisierungsgrad bei einem geringen Absicherungsgrad. Das bedeutet, dass hier sowohl Entwicklungs- oder Planungsarbeit als auch Eigenschaftsabsicherung notwendig sind. Entsprechende Objekte werden als Prozesstreiber bezeichnet, da hier relativ hoher Handlungsbedarf besteht.

„Brennpunkte“ haben einen hohen Konkretisierungsgrad bei einem geringen Absicherungsgrad. Daher sind sie mit der höchsten Priorität zu bearbeiten. Man kann kaum noch Änderungen vornehmen, ist sich aber nicht sicher, ob die Anforderungen erfüllbar sind.

Dieses Prozesstreiberportfolio ist zu Projektbeginn aufzustellen und kontinuierlich zu pflegen. Dann bietet es eine gute Unterstützung bei der Priorisierung von Objekten und zugehörigen Prozessbausteinen.

### Aktivierung eines geplanten Bausteins

Ist die Planungsphase abgeschlossen und der reale Prozess gestartet, müssen Aktivierungsregeln dafür sorgen, dass die Prozessbausteine termingerecht angestoßen werden.

Die klassischen Workflow-Ansätze basieren auf der Steuerung von Abläufen anhand von Dokumenten (GRÄBLER 1999, S. 88). Das kann für den Entwicklungs- und Planungsbereich nicht sinnvoll sein, denn ein Dokument ist zum einen lediglich der Träger von Daten oder Informationen, zum anderen beinhaltet es oft viele Informationen, die für spezifische Entwicklungsaufgaben überflüssig sind. Die Aktivierungsbedingungen müssen daher auf konkret benötigten Informationseinheiten basieren.

Zur Freigabe eines Bausteins werden folgende Kriterien definiert:

- 1. Freigabebedingung:** Mit dem zur Freigabe anstehenden Prozessbaustein werden die Gesamtprojektziele beachtet und vorangetrieben (Zeit, Budget, Ergebnis).
- 2. Freigabebedingung:** Der Baustein unterstützt die Steigerung der Eigenschaftsabsicherung, der Verbindlichkeit und/oder die Konkretisierung von Produkt, Montagevorgang und/oder Anlage (s. Abbildung 6-18).
- 3. Freigabebedingung:** Bei der Auswahl zu aktivierender Bausteine werden die Prozessstreiber gemäß dem *Prozessstreiberportfolio* berücksichtigt (s. Abbildung 6-17).
- 4. Freigabebedingung:** Die minimal erforderlichen Eingangsinformationen sind erarbeitet und zugänglich. Um diese Bedingung einfach bewerten zu können, werden unternehmensspezifische diskrete Stufen zur Beschreibung der Reife von Gestaltungsobjekten eingeführt (s. Abbildung 6-18).

**5. Freigabebedingung:** Unvollständige Eingangsinformationen können hinreichend plausibel prognostiziert werden. Hier muss der Bearbeiter selbst entscheiden, ob er aufgrund seiner Erfahrung bereits mit den Arbeitsinhalten beginnen kann. Oft ist es unerlässlich, sich mit dem Lieferant der fehlenden Information abzustimmen. Die Kunden-Lieferanten-Beziehungen sind dabei durch die Vernetzung der Bausteine stets transparent und nachvollziehbar.

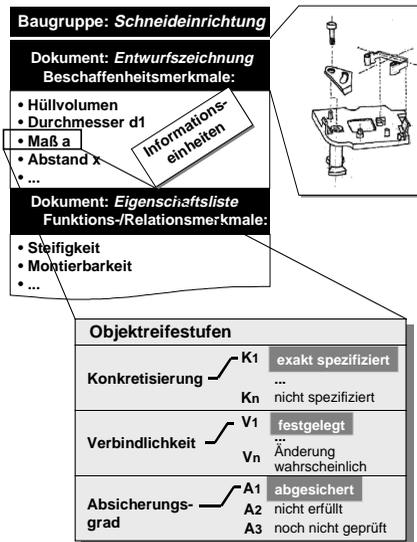


Abbildung 6-18: Konkretisierungs-, Verbindlichkeits- und Absicherungsgrade

### 6.4.5 Koordination und Regelung projektspezifischer Entwicklungs- und Planungsprozesse (A4)

In diesem Abschnitt wird nun erörtert, wie die Koordination und Regelung projektspezifischer Entwicklungs- und Planungsprozesse systematisch durchgeführt wird. Dazu ist zunächst eine Prozessanalyse und -bewertung zu definieren, die Planabweichungen aufzeigt. Im nächsten Schritt werden Reaktionsmechanismen vorgestellt, mit deren Hilfe auf Störungen adäquat reagiert werden kann.

#### Prozessanalyse und -bewertung

Das Prinzip der Regelung bildet Steuerinformationen und Störgrößen aus der Umwelt ab, die das System veranlassen, sich nach der Zielvorgabe einzelner Entscheider oder bestimmter Ereignisse zu entwickeln. Regelinstrumente sind dabei eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass die Prozesse möglichst analog zu ihrer organisatorischen Planung durchgeführt werden (MURR 1999, S. 107). An dieser Stelle sei auf die zahlreichen Arbeiten über Kennzahlensysteme für Entwicklung und Planung verwiesen, die ausgewählte Kenngrößen erfassen und auswerten, um den Projektfortschritt abzubilden und frühzeitig Warnsignale aufzuzeigen.

Die übergreifende Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist die Steigerung von Flexibilität, Reaktionsfähigkeit und Effizienz von Entwicklungs- und Planungsprozessen. Daher sollen folgende Prozessmerkmale überwacht werden (s. Abbildung 6-19):

Prozessmerkmal	Bestimmende Faktoren
<i>Wertschöpfung</i>	Konkretisierungsgrad x Absicherungsgrad x Verbindlichkeit [%]
<i>Integrationsgrad</i>	Anteil gemeinsamer Ziele, Tätigkeiten, Ergebnisse und Entscheidungen [%]
<i>Flexibilität</i>	Vorausgeplante Alternativen bzgl. Prozessketten/-bausteinen, Gestaltungsobjekten, deren Priorität und Ressourcenzuordnung (Personal, Methoden und Werkzeuge) [Anzahl]
<i>Reaktionsfähigkeit</i>	Neue Lösungen bzgl. Prozessketten/-bausteinen, Gestaltungsobjekten und Ressourcen (Personal, Methoden und Werkzeuge) [Erfolg/Aufwand]

Abbildung 6-19: Zu bewertende Prozessmerkmale

Durch die standardisierte Beschreibung der Eingangs- und Ausgangszustände der Prozessbausteine lässt sich insbesondere die *Wertschöpfung* als maßgebliches Prozessmerkmal einfach erfassen, auswerten und vorhandene Defizite frühzeitig signalisieren.

#### Modell der Reaktion auf Störungen

Analog zur Planung soll auch bei der Prozessregelung ein dezentraler Ansatz verfolgt werden, um Störgrößen schnell zu kompensieren. Im Rahmen einer sog. Kaskadenregelung wurden dazu vier Regelungsebenen eingeführt (s. Abbildung 6-20).

In der *Bausteinebene* ist der Bearbeiter für das Ergebnis und die Beseitigung von Störungen verantwortlich. Dies fördert die Akzeptanz und das Nutzen lokaler Erfahrung.

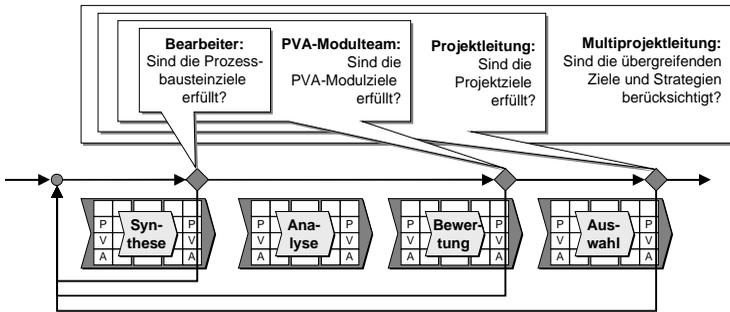


Abbildung 6-20: Kaskadenregelung

Kann der Bearbeiter das Problem nicht alleine lösen, wird es an die nächst höhere *Prozessebene* (je PVA-Modul) weitergeleitet. Hier ist das PVA-Modulteam verantwortlich für die technologische und wirtschaftliche Eigenschaftserfüllung.

Kann dort das Problem nicht gelöst werden, wird die *Projektleitung* hinzugezogen.

Eine *Multiprojektmanagementebene* ist schließlich für das projektübergreifende Lernen bzgl. Prozessen, Methoden, Störungen und Störungsbehandlung verantwortlich.

Nach Erkennen einer Planabweichung können folgende Wege eingeschlagen werden:

- Die vorhandenen Bausteine werden so an die neuen Randbedingungen angepasst, dass eine erneute Planung und Bewertung des Prozesses die termin- und kostengerechte Einhaltung der Projektziele bestätigen kann (Änderung der Priorisierung und Ressourcenzuordnung).
- Ist die o.g. Entscheidung nicht zielführend, können über Filtermechanismen der flexiblen Störungsbehandlung alternative Bausteine im Prozess- und Kompetenzbaukasten gesucht werden (Änderung des Ablaufs).
- Eine reaktionsfähige Störungsbehandlung kann schließlich neue Prozessbausteine generieren und/oder auf Kapazität und Kompetenz von Dienstleistern zurückgreifen.

### Einsatz vorhandener alternativer Prozessbausteine

Wir betrachten zunächst als Ausgangssituation eine aufgetretene Planabweichung, die zwar nicht erwartet wurde, die jedoch denkbar war. REINHART (2000) nennt diese „Turbulenz der Klasse I: Sie entsteht, weil relevante und bekannte Dimensionen (...) sich verändern (...) entgegen den Prognosen, die nach bestem Gewissen erstellt wurden.“ (REINHART 2000, S. 22).

Durch die Austauschbarkeit und Bereitstellung vorgedachter Prozessbausteine erhält der integrierte Entwicklungs- und Planungsprozess die notwendige Flexibilität, sich an dynamisch veränderliche Aufgaben anzupassen. Die Prozessbausteine repräsentieren ein sog. **Flexibilitätpotenzial**.

Dabei werden im Rahmen der Bausteinmethodik *drei Flexibilitätsarten* unterschieden:

- *Potenzialflexibilität* bedeutet, situativ alternative Methoden/Werkzeuge und Kompetenzen/Personen zur Reaktion auf Störungen einsetzen zu können.
- *Prozessflexibilität* bedeutet hingegen, dass alternative vorkonfigurierte Prozessbausteine zur Reaktion auf Störungen vorhanden sind.
- *Organisationsflexibilität* beschreibt die Fähigkeit, situativ die Aufbauorganisation zu ändern, z.B. für eine Umverteilung von Aufgaben.

Wichtig ist an der Stelle darauf hinzuweisen, dass die Gestaltungsbereiche Potenzial, Prozess und Organisation eine ähnliche Flexibilität aufweisen sollen, damit keine „Flexibilitätsbarrieren“ entstehen. Ferner ist zu beachten, nicht ein maximales Maß an Flexibilität bereitzustellen, um den Aufwand für das Erzeugen von Struktur- oder Ablaufalternativen zu begrenzen. Vielmehr müssen diejenigen Szenarien durch ein Flexibilitätspotenzial abgesichert sein, die sich durch eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit und weitreichende Konsequenzen auszeichnen. Im Folgenden sind Ansätze aufgezeigt, wie sich die Flexibilität im integrierten Prozess weiter steigern lässt.

#### ■ **Potenzialflexibilität**

*Personalqualifikation:* Nach BLEICHER (1996, S. 280) wird Personalflexibilität erreicht durch transparente Qualifikationsprofile und ein breites Einsatzspektrum je Mitarbeiter, ferner durch Erfahrung und Intuition. Flexible Arbeitszeitmodelle und ein Zugriff auf Dienstleister tragen ebenfalls zur Flexibilitätssteigerung bei. Eine 100% Mitarbeiterauslastung durch ein Projekt ist hingegen zu vermeiden.

*Personalkapazität:* „Allzu oft wird der Fehler begangen, die Entwicklungsressourcen voll auf den bekanntesten Projektbedarf zu verteilen, so dass für Eventualitäten kein oder fast kein Polster bleibt. Tritt dann (...) ein nicht vorhersehbares Problem auf und verzögert sich das Projekt, reißen die Manager das eine Loch auf, um das andere zu stopfen“ (WHEELWRIGHT & CLARK 1994, S. 53).

*Personalverhalten:* In Anlehnung an BLEICHER (1996, S. 365) sind folgende Faktoren entscheidend: kurze geistige Rüstzeiten; Akzeptanz kurzfristiger Einsätze; hohe Partizipation; Kooperationswille durch Identifikation mit der Sache, Loyalität und kooperative Mitarbeiterführung.

*Werkzeugeneinsatz:* Die Flexibilität des Werkzeugeneinsatzes wird durch standardisierte transparente Schnittstellen oder eine Multifunktionalität unterstützt.

#### ■ **Prozess- und Organisationsflexibilität**

*Strukturflexibilität:* Diese kann u.a. durch das Schaffen definierter Schnittstellen der Organisationseinheiten gesteigert werden. Ferner erhöht das Anbieten von Baustein-klassen die Wahlmöglichkeiten und vereinfacht Filtermechanismen zur Bausteinauswahl. Eine strukturelle „Ähnlichkeit“ und Standardisierung von Entwicklungs- und Planungsprojekten unterstützt z.B. das kurzfristige Einbinden neuer Mitarbeiter.

*Ablaufflexibilität:* Vielfältige Größen können sich auf den Ablauf auswirken. Für eine planerische Antizipation dieser Einflussparameter sollen bewusst verschiedene Szenarien erzeugt werden (z.B. geschätzte Dauern, Engpässe, etc.). Daher werden präventiv alternative Prozesspfade gesucht, die zum selben Ergebnis führen. Dabei wird eine Variation möglicher Störgrößen und Auswirkungen einschließlich der Planung von Gegenmaßnahmen durchgeführt (z.B. für Ressourcenausfälle). Der Zeitraum zwischen Erkennen eines Problems und Wirkung der Gegenmaßnahme muss als minimaler Planungszeitraum gelten.

Es können nicht alle prinzipiell möglichen Entwicklungs- und Planungsprozesse vorge-dacht werden, da sie kreativer Natur und sehr entscheidungsintensiv sind. Die vorkonfigurierten Prozess- und Potenzialbausteine haben demnach einen beschränkten Gültigkeitsbereich. Sie können keine Reaktionsfähigkeit auf unvorhersehbare Probleme bieten.

### **Lösung unvorhersehbarer Problemsituationen**

Eine reaktionsfähige Störungsbehandlung muss Prozessinnovationen erzeugen können, d.h. problemorientiert neue Prozessbausteine generieren, um auf nicht vorhersehbare Ereignisse zu reagieren. Solche Ereignisse können z.B. Anforderungsänderungen aus geänderten Kundenwünschen oder nicht-funktionsfähige Produkt-/Anlagenkonzepte sein. REINHART (2000) nennt diese „Turbulenz der Klasse II: Sie entsteht, weil völlig neue, bisher nicht bekannte oder als relevante und bekannte Dimensionen (...) sich verändern (...), die vorher nicht erwartet werden konnten“ (REINHART 2000, S. 23).

Es geht also darum, ein sog. **Reaktionsfähigkeitspotenzial** zu entwickeln, welches die Voraussetzungen schafft, auf unvorhersehbare Probleme reagieren zu können. Ein Reaktionsfähigkeitspotenzial für Entwicklungs- und Planungsprozesse kann aus mehreren Facetten bestehen. Im Allgemeinen sind dies spezifische *Fähigkeiten* im Bereich Personal und Methoden, mitunter gestützt durch neue Strukturen und Abläufe. Diese Fähigkeiten müssen kurzfristig rekrutiert werden können, z.B. in Form von Task Forces, Competence Centers, Dienstleistern oder Kompetenz-Netzwerken (REINHART & GRUNWALD 1999). Ferner müssen diese Kompetenzen durch *Kooperationsfähigkeit* und eine geeignete *Informationsinfrastruktur* unbürokratisch eingebunden werden.

Die *Transparenz* des Entwicklungsprozessmodells ermöglicht dies. Ferner erlaubt eine *Entscheidungsunterstützung* das Entwerfen und Integrieren neuer Prozess- und Potenzialbausteine, um durch einen „geführten Kreativitätsprozess“ schnell eine effektive Problemlösung zu erzielen. Neben den Methoden fördert die *Kreativität* des Personals das Entwerfen neuer Lösungen. Ein *Erfahrungsspeicher* sichert schließlich neu gewonnenes Wissen und stellt die Übertragbarkeit auf zukünftige Aufgabenstellungen sicher.

Im Folgenden sind exemplarisch Ansatzpunkte aufgezeigt, wie sich die geforderte Reaktionsfähigkeit im Entwicklungs- und Planungsprozess basierend auf dem Prozessbausteinansatz steigern lässt. Dabei werden fünf Kernfähigkeiten zu Grunde gelegt, die REINHART (2000, S. 30ff) im Rahmen einer empirischen Untersuchung ermittelt hat.

- **Kooperationsfähigkeit:** Ein wesentlicher Bestandteil der Methodik ist das Verschmelzen zusammengehöriger interdisziplinärer Aufgaben. Bei neuen Anforderungen lässt sich so in einem kurzen intensiven Problemlösungsprozess schnell eine Lösung erzeugen, die für alle Seiten zielführend ist. Eine einheitliche Semantik von Prozessbausteinschnittstellen führt dabei zu geringen Rüstzeiten und fördert eine schnelle Zusammenarbeit, auch mit Dienstleistern.
- **Kreativität durch Interdisziplinarität:** Kreativität ist eine Kernfähigkeit, die reaktionsfähige Unternehmen auszeichnet. Im Rahmen der Prozessbausteinmethodik kann diesbezüglich die intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit zu neuen Sichtweisen und Lösungen führen. Ferner lässt sich durch Personalentwicklung oder Zusammenarbeit mit Dienstleistern die lokale Problemlösungskapazität situativ erhöhen. Unterstützend können Kreativitätstechniken und rechnerbasierte Ideenfindungswerkzeuge den Kreativitätsprozess anregen und systematisieren.
- **Ständige Veränderung und immerwährendes Lernen:** Die ständige Veränderung wird durch die Modularität von Prozessen, Produkten, Vorgängen und Anlagen maximal gefördert. Ein immerwährendes Lernen lässt sich durch die Aufnahme und Wiederverwendung von Erfahrungswissen in Prozessbausteinen erzielen. Die standardisierte Prozess- und Potenzialabbildung erleichtert dabei Vergleiche zur Anregung einer ständigen Verbesserung.
- **Die transparente Gestaltung der Wirkzusammenhänge** ist ein weiterer essentieller Faktor, der mit der Prozessbausteinmethodik umgesetzt wurde. Das flexible integrierte Prozessmodell bietet die erforderliche Transparenz und dient als Experimentierplattform, um neue Prozesspfade oder Potenzialeinsätze zu planen und deren Konsequenzen abzuschätzen. Dies führt zu einer Objektivierung von Entscheidungssituationen und beschleunigt die Entscheidungsfindung bei Prozessalternativen.
- **Management von Erfahrungen:** Das Integrieren von Konstruktion und Montageplanung intensiviert den Erfahrungsaufbau durch gemeinsame Problemlösungsprozesse. Die Prozess-, Kompetenz- und Werkzeugbaukästen sind wesentliche Elemente, diese Erfahrungen abzulegen und vorhandene zu nutzen. Die Motivation dafür lässt sich durch Anreizsysteme erhöhen, die in Abhängigkeit der Nutzungshäufigkeit des angebotenen Wissens Prämien vergeben.

### Problemlösungszyklus

Die genannten Ansätze steigern das *Reaktionsfähigkeitspotential*, bieten jedoch noch kein systematisches Vorgehen bei unvorhergesehenen Problemsituation. Dafür sei an dieser Stelle auf den Problemlösungszyklus der Systemtechnik verwiesen (s. Abbildung 6-21).

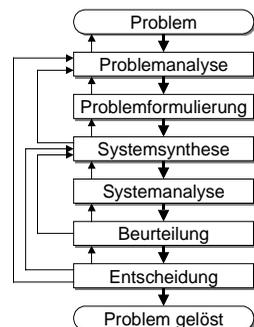


Abbildung 6-21: Problemlösungszyklus der Systemtechnik (DAENZER & HUBER 1994)

### 6.4.6 Erfahrungsaufbau und Weiterentwicklung der Prozessbausteine (A5)

In diesem Abschnitt wird erörtert, wie als letzter Schritt des Vorgehensmodells ein Erfahrungsaufbau und die Weiterentwicklung der Prozessbausteine durchgeführt wird.

Mit zunehmender Prozessorientierung und abnehmender funktionaler Wissensbündelung im Entwicklungs- und Planungsbereich ist die Gefahr gegeben, dass Erfahrungen zu ähnlichen Themen nicht mehr projektübergreifend ausgetauscht werden. Die Folge ist, dass oft das „Rad mehrmals erfunden“ wird. Eine Lernkurve (vgl. Abbildung 6-22) kann sich nicht aufbauen. Damit sind kaum Effizienzsteigerungen zu erwarten und die geforderte Reaktionsfähigkeit wird nicht erreicht.

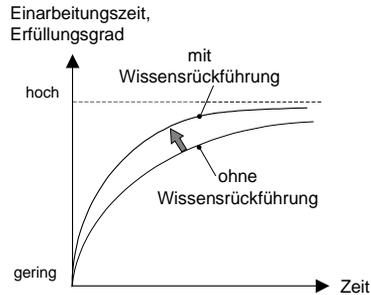


Abbildung 6-22: Einarbeitungszeit für die Arbeitsinhalte eines Prozessbausteins

Dabei sind die ständige Veränderung und immerwährendes Lernen Erfolgsgaranten für reaktionsfähige Unternehmen (REINHART 2000, S. 32ff; ZAHN ET. AL 1990). „Wer nicht bereit ist, sich und das was er tut, immer wieder zu verändern, gerät in eine Sackgasse“ (KAMPHAUSEN 1998, S. 18).

HANSEN ET AL. (1999) unterscheiden dabei prinzipiell zwischen kodifizierter und personalisierter Strategie zum Management von Erfahrungen:

- „*Codification strategy*: Knowledge is carefully codified and stored in databases, where it can be accessed and reused easily by anyone in the company.“ Diese Strategie wird tendenziell eher für operative konkrete Inhalte eingesetzt. Voraussetzung ist ein IT-System, das die Funktionen Kodifizieren, Speichern und Wiederfinden von Erfahrungswissen erlaubt (HANSEN ET AL. 1999, S. 106ff).
- „*Personalization strategy*: Knowledge is closed tied to the person who developed it and is shared mainly through direct person-to-person contacts.“ Diese Strategie wird tendenziell für strategische abstrakte Inhalte eingesetzt. Voraussetzung ist ein Netzwerk, um die Kompetenzen zusammenzuführen (HANSEN ET AL. 1999, S. 106ff).

Ziel im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist es, die Grundidee der Wiederverwendbarkeit von Prozessbausteinen zu nutzen, um Erfahrungen, die mit bestimmten Prozessabschnitten gemacht wurden, in den Bausteinen zu dokumentieren. Die Bausteine werden zurück in den Prozessbaukasten geschrieben, auf den projektübergreifend alle Entwicklungs- und Planungsteams zugreifen können. So können auch während laufender Projekte die Erfahrung sofort anderen Projekten zur Verfügung gestellt werden. Es soll

folglich die *Codification strategy* des Wissensmanagements unterstützt werden. Die *Personalization strategy* wird bereits über das Organisationsmodell gefördert.

**Klassifizierung und Dokumentation von erfahrungsbasiertem Prozesswissen**

Zunächst ist zu klären, was unter "Prozesswissen" zu verstehen ist. In Anlehnung an NORTH (1999) wird folgende Klassifizierung vorgeschlagen (s. Abbildung 6-23):

Daten	= Zeichen + Syntax
Information	= Daten + Bedeutung
<b>Prozesswissen</b>	<b>= Information + Prozesskontext</b>
Prozesskönnen	= Prozesswissen + Anwendungsbezug
Prozesshandeln	= Prozesskönnen + Wollen
Prozesskompetenz	= Prozesshandeln + richtiges Handeln

Abbildung 6-23: Begriffsklärung zum Prozesswissen

Prozesswissen besteht demnach aus *Informationen* und *Prozesskontext*. Das bedeutet, es müssen die Rahmenbedingungen, Anforderungen und erzielten Lösungen eines Bausteineinsatzes mit den zusätzlich generierten Informationen abgespeichert werden.

Die Bausteine sind von der Grundidee wiederverwendbar und damit gut als Erfahrungsspeicher geeignet. Dazu ist jedoch unternehmensspezifisch zu klären, welches Prozesswissen langfristig relevant und auf andere Projekte übertragbar ist. Die vorliegende Arbeit unterscheidet diesbezüglich drei prinzipielle Arten von Erfahrungswissen, das im Baustein gespeichert werden kann (s. Abbildung 6-24):

- Generische Erfahrungen,
- Optimierung/Versionierungen und
- Bausteininstanzen.

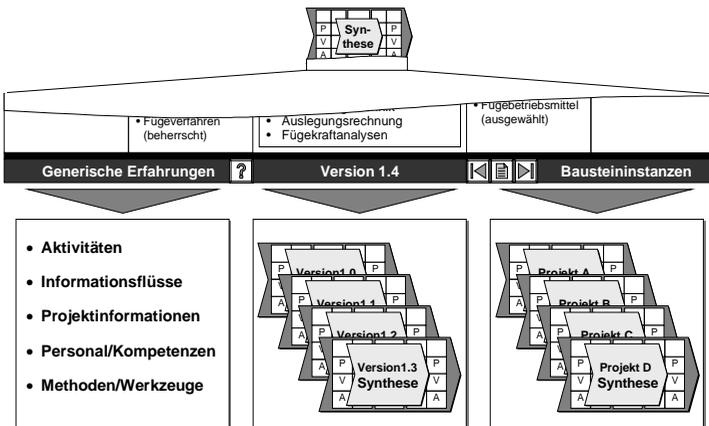


Abbildung 6-24: Arten der Weiterentwicklung von Prozessbausteinen

Im Folgenden sind Beispiele für Erfahrungen dargestellt, die im Prozessbaustein gespeichert und bei Folgeprojekten im Sinne von Hinweisen eingesetzt werden können. Sie werden als unternehmensspezifische *generische Erfahrungen* bezeichnet.

- **Aktivitäten:** z.B. die Zusammenarbeit zwischen Konstruktion und Montageplanung bei der Definition geeigneter Verbindungstechniken kann nur durch objektive Bewertungsmaßstäbe zielführend sein.
- **Informationsflüsse:** z.B. als Eingangsinformation bei der Definition von Verbindungen sind auch Fügeverfahren einzubeziehen, die bislang noch nicht im Unternehmen eingesetzt werden.
- **Projektinformationen** (Zeit/Termine, Kosten): z.B. eine Fugesimulation dauert vier Arbeitstage, ein Simulationsexperte kosten für die vier Tage DM 6.000,-.
- **Personal/Kompetenzen:** z.B. Herr Mustermann ist der kompetenteste Anwender der Montagesimulation ROBCAD/Dynamo
- **Methoden/Werkzeuge:** z.B. die Datenqualität für den Einsatz der Montagesimulation muss mindestens die Freigabestufe FG1 besitzen.

Sehr hilfreich ist bei vielen Entwicklungs- und Planungsaufgaben, wenn bereits vorhandene negative Erfahrungen (Probleme etc.) im Vorfeld der Bearbeitung zur Verfügung gestellt werden können, um die selben Fehler nicht mehrfach machen zu müssen und die knappen Ressourcen zielgerichtet einsetzen zu können.

Die *Optimierung/Versionierung* ermöglicht eine Weiterentwicklung einzelner Prozessbausteine durch ein Ergänzen bzw. Ändern der enthaltenen Informationen aufgrund neuer Erkenntnisse nach dem Einsatz. Dies ist der Fall, wenn z.B. erkannt wird, dass zusätzlich bestimmte Eingangsinformationen unbedingt erforderlich sind, um die Arbeitsinhalte durchführen zu können oder dass eine innovative Methode im Prozessbaustein fehlt, die die Tätigkeit aber gut unterstützen könnte.

*Bausteininstanzen* sind Bausteine, die für einen konkreten Anwendungsfall konfiguriert und in einem Projekt bereits eingesetzt wurden. Daraus gewonnenes Prozesswissen kann nur in Verbindung mit dem Kontext (Rahmenbedingungen, Anforderungen, durchführende Personen und erzielte Lösung) sinnvoll hinterlegt werden. Das bedeutet, zur Erfahrungsaufnahme wird zusätzlich der für einen realen Einsatz instanziierte Baustein gespeichert und kann bei Folgeprojekten als exemplarisches Muster dienen.

### **Prinzipieller Ablauf der Erfahrungsdokumentation**

Der prinzipielle Ablauf des Erfahrungsrückflusses lässt sich gemäß Abbildung 6-25 in sechs Schritte gliedern. Nach der Planung und Durchführung des Prozessbausteins hat stets eine Auswertung zu erfolgen, ob relevante generische Erfahrungen gesammelt werden konnten und eine neue Bausteinversion eingeführt werden sollte. Bausteininstanzen sind hingegen stets in den Prozessbaukasten zurückzuschreiben, um sukzessive Erfahrungsdaten (z.B. durchschnittliche Bearbeitungsdauer und -kosten) aufzubauen.

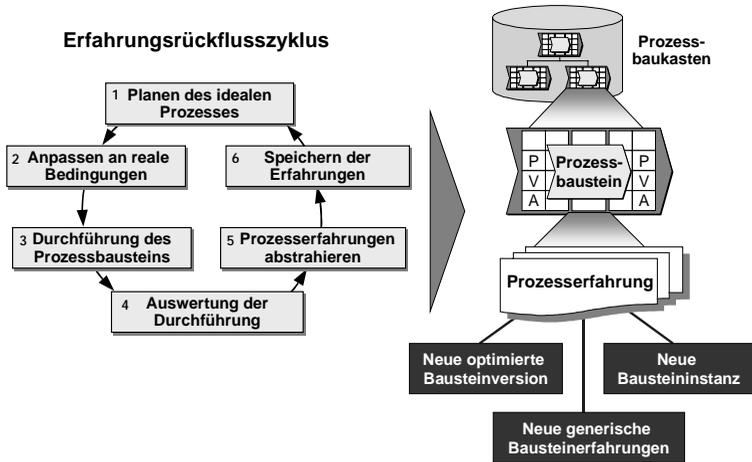


Abbildung 6-25: Ablauf der Erfahrungsdokumentation

### Wiederverwendung von erfahrungsbasiertem Prozesswissen

Es wurde postuliert, dass Wissensangebote stets kontextbezogen abgelegt werden sollen. Nun ist die Frage zu klären, inwieweit erfahrungsbasierte Lösungsvorschläge auf bestimmte Situationen übertragbar sind. Dies kann letztlich allein der menschliche Prozessplaner entscheiden, der die Zusammenhänge versteht. Die Methodik kann lediglich Vorschläge auf Basis ähnlicher Semantik der Ziele und Prozessbausteininhalte machen.

Prozessbausteine, deren inhaltlicher und organisatorischer Einsatz stets relativ ähnlich ist, können mit Erfahrungen bzw. Zusatzinformationen angereichert werden. Bei entsprechend hoher Anzahl des Einsatzes dieses spezifischen Prozessbausteines steht somit umfangreiches Wissen zur Verfügung, das v.a. im Hinblick auf eine Plausibilitätsprüfung des Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesses genutzt werden kann. Im Falle der Kosten eines Entwicklungsprojekts kann z.B. durch Addition der Mittelwerte der gesammelten Kostendaten eine plausible Abschätzung der Gesamtkostensituation erzielt werden und damit a priori überprüft werden, ob das veranschlagte Budget eingehalten werden kann. Analog kann in Bezug auf Abschätzung der zu erwartenden Entwicklungsdauer vorgegangen werden. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Überprüfung des abgeleiteten Prozesses im Hinblick auf die konkreten Rahmenbedingungen im Unternehmen, insbesondere hinsichtlich der verfügbaren Ressourcen. Als Beispiel sei hier die Überprüfung der Verfügbarkeit der gemäß Bausteinbeschreibung einzusetzenden Hilfsmittel und Personalkompetenzen genannt.

Bei einer neuen Problemstellung wird geprüft, ob diese einer vorherigen ähnlich ist. Im Falle einer Ähnlichkeit bietet der gespeicherte Prozessbaustein einen möglichen Lösungsweg.

## 6.5 Zusammenfassung

Das entwickelte Konzept in Kapitel 6 propagiert ein Vorgehensmodell zur Einführung, zum Einsatz und zur Weiterentwicklung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse auf Basis von Prozessbausteinen.

Das Vorgehensmodell lässt sich in zwei übergeordnete Bereiche gliedern, deren Inhalte noch einmal im Überblick dargestellt sind:

- Die **Anpassung und Einführung der Prozessbausteinmethodik** beinhaltet Vorgehensschritte, wie die Analyse der Prozesse und des vorhandenen Entwicklungs- und Planungspotenzials und den Abgleich von Potenzial, Randbedingungen und Einführungsmaßnahmen. Nach diesem Abgleich wird der Aufbau von Methoden- und Kompetenzbaukästen vorgestellt, die das unternehmensspezifische Produktentwicklungs- und Montageplanungspotenzial detailliert abbilden. Mit der Konfiguration eines unternehmensspezifischen Prozessbaukastens wird aus neutralen Baukästen mit allgemeingültigen Prozessbausteinen ein unternehmensspezifischer Baukasten abgeleitet. Der letzte Schritt innerhalb der Einführung beschreibt die Konfiguration produkt- und montagespezifischer Prozessmodelle, die an produkt- und montagespezifische Restriktionen angepasst und um sinnvoll einsetzbare Methoden, Werkzeuge und Personalressourcen ergänzt sind. Diese Prozessmodelle dienen als Hilfestellung, um schnell und aufwandsarm projektspezifische Projektpläne abzuleiten.
- Im Rahmen des **Einsatzes und der Weiterentwicklung der Prozessbausteine** erfolgt zunächst eine Grobplanung projektspezifischer Prozesse auf Basis der produkt- und montagespezifischen Baukästen. Es folgt die situative Prozessfeinplanung. Inhalt ist es, die aktuelle Projektphase bis zum nächsten Meilenstein soweit zu detaillieren, dass alle kritischen Schnittstellen und Informationsflüsse auf operativer Ebene sichtbar werden. Diese Feinplanung steht im engen Wechselspiel mit der Durchführung der Prozesse, in der Prozessbausteine priorisiert und gemäß der Priorität gestartet werden. Die Koordination und Regelung der Prozesse dient dazu, bei Planabweichungen entweder alternative Prozessbausteine einzusetzen oder im Sinne der Reaktionsfähigkeit neue Bausteine zu bilden und in das bestehende Prozessnetz zu integrieren. Als dritte Maßnahme steht eine Umverteilung von Ressourcen für Prozessbausteine zur Verfügung. Der letzte Teilschritt widmet sich schließlich der Prozess erfahrungsspeicherung. Mit abnehmender funktionaler Wissensbündelung ist die Gefahr gegeben, dass Erfahrungen zu ähnlichen Themen nicht mehr projektübergreifend ausgetauscht werden. Ziel ist es daher, Prozess erfahrungen in die Bausteine und Baukästen zurückzuschreiben. So kann dieses Wissen auch während laufender Entwicklungs- und Planungsprojekte anderen zur Verfügung gestellt werden.

Nach der ausführlichen Darstellung der Methodik wird nun ein Rechnerwerkzeug vorgestellt, das die Einführung und den Einsatz der Prozessbausteine unterstützt.

## 7 Rechnerwerkzeug und Praxisbeispiele

In diesem Kapitel wird zum einen ein Rechnerwerkzeug vorgestellt, mit dem die beschriebene Prozessbausteinmethodik softwaretechnisch implementiert wurde. Zum anderen widmet es sich der Methodikverifizierung anhand ausgewählter Fallstudien.

### 7.1 Rechnerwerkzeug *Process Design Tool (PDT)*

Im Rahmen des SFB 336 erfolgte eine Evaluierung des Softwaremarktes hinsichtlich geeigneter Produkte, die den Anforderungen einer hochgradig flexiblen Modellierung dynamischer integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse gerecht werden. Fazit war, dass dies kein gängiges System zuließ.

Um die Arbeit mit den Prozessbausteinen dennoch rechnerbasiert zu unterstützen, wurde das Rechnerwerkzeug *Process Design Tool (PDT)* als Prototyp entwickelt. Zielsetzung war dabei die Umsetzung der Funktionen des Prozessbukaustens (Auswählen und Ablegen von Prozessbausteinen) als Datenbank und des Prozessmodellierers (Adaptieren, Einfügen und Ändern von Prozessbausteinen) (s. Abbildung 7-1).

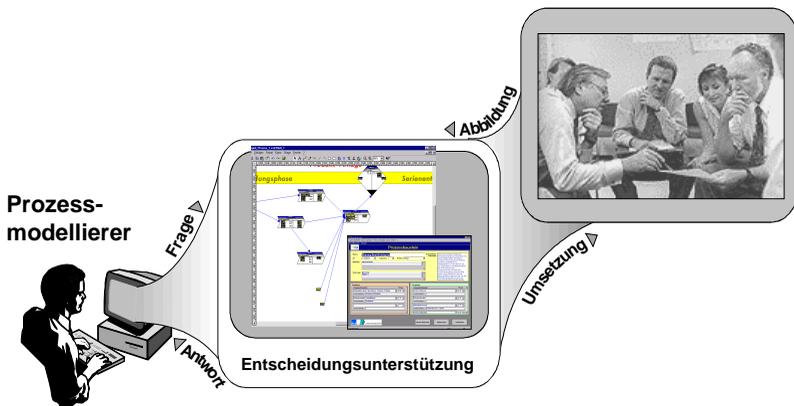


Abbildung 7-1: Ebenen der Prozessgestaltung und -durchführung

Dabei sollte eine Versuchsplattform geschaffen werden, die einen offenen Zugriff auf alle Daten und eine schnelle Änderung aller Darstellungsarten und Modellierungsregeln erlaubt. Außerdem sollte der Einsatz zusätzlicher Software weitgehend vermieden werden, um den Installations- und Einarbeitungsaufwand möglichst gering zu halten.

Als Datenbank wurde MICROSOFT ACCESS<sup>®</sup> gewählt, da sie einen hohen Verbreitungsgrad besitzt (s. Abbildung 7-2). Zur Auswahl von Prozessbausteinen besitzt sie intelligente Filter, um im Sinne einer Entscheidungsunterstützung die Zahl sinnvoll einsetzbarer Prozessbausteine durch Angabe von Auswahlkriterien systematisch zu verrin-

gern. Durch die logische Verknüpfung dieser Kriterien kann die Auswahl weiter spezifiziert werden.

Zusätzlich ermöglicht die Datenbank die Ergänzung der Prozessbausteinbasis. Dazu müssen neue Prozessbausteine allgemeingültig formuliert und in das Kriteriensystem des Prozessbaukastens eingeordnet werden. In dem unternehmensneutralen Prozessbaukasten des SFB 336 sind bereits 110 Prozessbausteine vorkonfiguriert, die allgemeingültige Entwicklungs- und Planungsprozesse vom Projektstart bis zum Produktionsanlauf abbilden können.

Prozessbaustein Name	Art	Ergebnisbezug
Auswahl Zufuhreinrichtungen	1_Synthese	Anlage
Beschaffung Anlage	1_Synthese	Anlage
Beschaffung Betriebsmittel	1_Synthese	Anlage
Erstellung Teilkonzepte Anlage	1_Synthese	Anlage
Feingestalten 2 (P -> A)	1_Synthese	Anlage
Feingestalten 3 (A -> P)	1_Synthese	Anlage
Grobgestalten 3 (A -> P)	1_Synthese	Anlage
Planung Real-Groblayout	1_Synthese	Anlage
Dewertung Anlagenkonzept	8_Bewertung	Anlage

Abbildung 7-2: Prozessbaukasten als ACCESS-Datenbank

Abbildung 7-3 zeigt dazu die standardisierte Eingabemaske für Prozessbausteine in der Datenbank. Die abgelegten Informationen können jederzeit geändert und ergänzt werden, um der ständigen Erweiterung der Erfahrungsbasis Rechnung zu tragen.

Abbildung 7-3 zeigt dazu die standardisierte Eingabemaske für Prozessbausteine in der Datenbank. Die abgelegten Informationen können jederzeit geändert und ergänzt werden, um der ständigen Erweiterung der Erfahrungsbasis Rechnung zu tragen.

**Prozessbaustein**

Name:  Beschreibung/ Erfahrungen: Entwurf des Anlagen-Groblayouts (Prinzipanordnung) Des wesentliche Ziel dieser Aufgabe liegt in der groben räumlichen Anordnung und Verkettung einzelner Arbeitsplätze und Arbeitsstationen zu Teilsystemen und von Teilsystemen zu Montagesystemen. Bei der Entwicklung der Prinzipianordnung muß auch das Produktionsprogramm berücksichtigt werden, damit Modell-Verluste gering gehalten werden können. Aus der Prinzipianordnung läßt sich auch der once-nähere Flächenbedarf ableiten.

Art:  Kompetenz:  Bereich:

Methoden:

Werkzeuge:

**Eingänge**

Eingangsinformation:  Bezug:

Aus Dokumenten:

Aus Dokumenten:

**Ausgänge**

Ausgangsinformation:  Bezug:

Aus Dokumenten:

Aus Dokumenten:

Aus Dokumenten:

Aus Dokumenten:

Buttons: Neuer Baustein, Abbrechen, Schließen

Abbildung 7-3: Eingabemaske für Prozessbausteine

Zur Visualisierung der Prozessinformation wird VISIO PROFESSIONAL® 5.0 eingesetzt. Dieses Grafikprogramm ermöglicht eine sehr flexible und leicht erweiterbare Funktionalität bei der Abbildung von Abläufen.

Eine wesentliche Funktion des *Process Design Tools* ist das Suchen und Vorschlagen geeigneter Prozessbausteine, wenn im Prozessnetz Informationen fehlen oder die aktuelle Projektsituation nach alternativen Prozesspfaden verlangt.

Der Prozessmodellierer besitzt eine eigene Datenbank, um dort die projektspezifischen Informationen abzulegen. Wurde aus dem Prozessbaukasten ein Prozessbaustein ausgewählt und auf die Benutzeroberfläche gezogen, ermöglicht die Prozessdatenbank über eine Maske die projektspezifische Konkretisierung und Spezialisierung des Prozessbausteins. Zur Eingabe der nötigen Eingangsinformationen für einen Prozessbaustein wird dabei eine Liste der bereits im Prozessnetz verfügbaren Ausgangsinformationen zur Verfügung gestellt. Anschließend werden die Daten in die Datenbank geschrieben und der Prozessbaustein im grafischen Prozessnetz angezeigt.

Zusätzlich überprüft das Tool, welche Ein- und Ausgangsbeziehungen zu anderen Prozessbausteinen und Meilensteinen bestehen und zeigt die zugehörigen Informationsflüsse an (vgl. Abbildung 7-4). Durch einfaches Anwählen des Prozessbausteins im Prozessnetz können alle Daten nachträglich geändert werden. Dabei erfolgt eine erneute Überprüfung aller Verbindungen sowie ein Abgleich der Daten in der Prozessdatenbank.

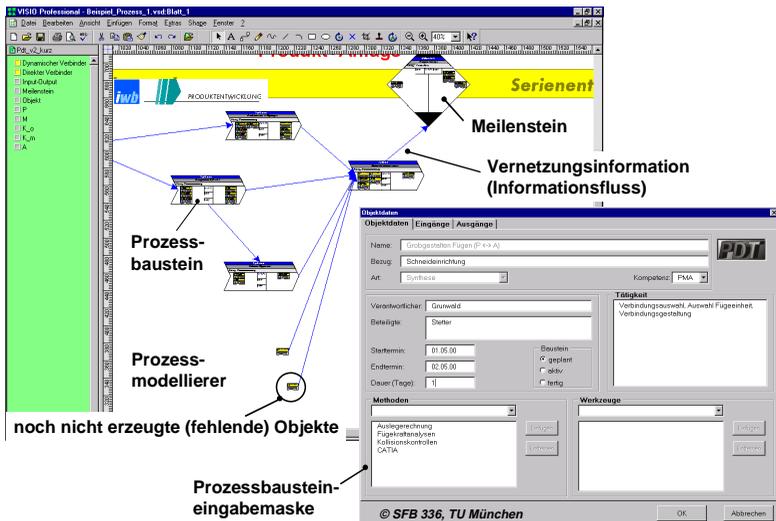


Abbildung 7-4: Oberfläche des Prozessmodellierers Process Design Tool PDT

Nach der Beschreibung des Rechnerwerkzeugs PDT erfolgt nun die Verifizierung der Methodik anhand von industriellen Fallstudien.

## 7.2 Verifizierung der Methodik anhand von industriellen Praxisbeispielen

Die Verifizierung in Praxisbeispielen zeigt anhand von drei Fallstudien in Produktionsunternehmen die verschiedenen Nutzenschwerpunkte der Methodik in unterschiedlichen Unternehmen und Projekten auf. Diese Art der Darstellung soll die Vielfalt der Anwendungsfelder und den Nutzen in der Praxis verdeutlichen. Abbildung 7-5 zeigt die inhaltlichen Schwerpunkte, die mit den Fallstudien verifiziert wurden.

- **Fallstudie 1:** Einführung und Anwendung eines Referenzentwicklungsprozesses für Fahrzeugdachsysteme
- **Fallstudie 2:** Einführung und Anwendung flexibler integrierter Prozesse zur Entwicklung und Planung eines Reisebussitzrahmens
- **Fallstudie 3:** Einführung flexibler Prozesse für integrierte Produkt- und Prozessanalysen bei einem Automobilhersteller

● = betrachtet				
	Methodikelement	Fallstudie 1	Fallstudie 2	Fallstudie 3
	Abbildung	●	●	●
	Qualifizierung	●		●
	Anpassung	●	●	●
	Planung	●	●	●
	Koordination/Regelung	●	●	
	Weiterentwicklung	●		●

Abbildung 7-5: Inhaltliche Schwerpunkte der Fallstudien

### 7.2.1 Fallstudie 1: Einführung und Anwendung eines Referenzentwicklungsprozesses für Fahrzeugdachsysteme

#### Motivation, Zielsetzung und Vorgehensweise

Im Rahmen eines Forschungsverbundprojektes mit einem Automobilhersteller sollte zunächst eine theoretisch optimale Zusammenarbeit von Konstruktion und Montageplanung ermittelt werden. Ferner sollte ein Referenzentwicklungsplan für die Entwicklung von Schiebedächern (SHD) erarbeitet und an die Randbedingungen eines aktuellen Projektes angepasst werden. Schließlich sollte die Planung und Durchführung des Projektes begleitet und die Zielerreichung durch geeignete Koordinations- und Regelungsmethoden sichergestellt werden.

Folgende Arbeitspakete wurden im Rahmen der Fallstudie durchgeführt bzw. begleitet:

- *Analyse von Unternehmenspotenzial und -randbedingungen:* Personal, Entwicklungswerkzeuge (CA-Methoden), Dokumente, Standardabläufe.
- *Analyse der derzeitigen Vorgehensweise* in Entwicklung und Montageplanung, Aufzeigen von Problemstellen aufgrund mangelnder gemeinsamer Vorgehensweise.
- *Erarbeitung* einer Übersicht der *Entwicklungs- und Planungstätigkeiten* und deren gegenseitiger inhaltlicher Abhängigkeiten; *Definition* einer *integrierten Soll-Zusammenarbeit* auf Basis von Prozessbausteinen.

- *Erarbeitung des unternehmens-, produkt- und projektspezifischen Referenzentwicklungsablaufs:* Abgleich des SHD-Referenzentwicklungsplanes mit Randbedingungen; Erarbeitung des projektspezifischen Entwicklungs- und Planungsprozesses mit Berücksichtigung aller Projektrandbedingungen (Ziele, Zeit, Budget).
- *Kurzfristige Feinplanung des aktuellen Projektabschnitts mit Prozessbausteinen:* Anpassung bestehender Bausteine und anwendergerechte Detaillierung.
- *Durchführung der integrierten Entwicklung und Planung mit besonderer Berücksichtigung der gegenseitigen Abhängigkeiten* (z.B. bei der Strukturplanung, bei Montierbarkeitsanalysen und -bewertungen oder der Betriebsmittelplanung).
- *Prozesskoordination und -regelung:* Aufzeigen von Messkriterien zur prozessbausteinbasierten Überwachung des Projektfortschritts; Konzeption und Umsetzung von Methoden zur projektbegleitenden Überwachung von Prozess und Ergebnissen.
- *Erfahrungsaufbau:* Bewertung des verkürzten SHD-Entwicklungsplanes, der sich aus den Bausteinen ergeben hat hinsichtlich Machbarkeit und kritischer Phasen.

### **Ergebnisse und Erkenntnisse**

*Analyse der bestehenden Vorgehensweisen und Definition einer integrierten Soll-Zusammenarbeit:* Ziel war es, die Tätigkeiten der Konstruktion und Montageplanung sowie Schnittstellen zwischen diesen Abteilungen zu erfassen und Defizite, die sich aus diesem Vorgehen ergeben, aufzuzeigen. Auf Basis dieser Analyse sollte dann eine optimale Zusammenarbeit abgeleitet werden. Hierfür wurde untersucht, bei welchen Tätigkeiten es starke Abhängigkeiten zwischen Konstruktions- und Montageplanungsschritten gibt und deshalb ein intensiver Informationsaustausch notwendig ist. Daraus wurde eine mögliche „Soll-Zusammenarbeit“ auf Basis von Prozessbausteinen definiert (s. Abbildung 7-6). Die Tätigkeiten der Konstruktion wurden dabei zu sechs wesentlichen Arbeitsinhalten verallgemeinert.

*Erarbeitung des unternehmens-, produkt- und projektspezifischen Referenzentwicklungsablaufs:* Mit dem Referenzentwicklungsplan und der Detaillierung der Aktivitäten, Kompetenzen und Werkzeuge wurde ein Hilfsmittel geschaffen, auf dessen Basis zukünftige integrierte Entwicklungs- und Planungsprojekte geplant und durchgeführt werden. Er bietet eine transparente und einheitliche Kommunikationsbasis für die beteiligten Mitarbeiter. Insbesondere können Abläufe analysiert, bewertet und Verzögerungen frühzeitig erkannt werden. Zugleich dient der Plan als Hilfsmittel zur Einarbeitung neuer Mitarbeiter sowie als Zertifizierungsgrundlage. Es wurde deutlich, dass ein zentraler Plan wichtig ist, um ein einheitliches Verständnis und die Konsistenz der Aufgaben zu gewährleisten. Problematisch ist die Pflege des Plans im Tagesgeschäft. Daher ist die Zahl der Prozessbausteine auf ca. 50 pro Team zu beschränken. Ferner zeigte sich, dass die Aufgaben der Montageplanung im Gegensatz zur Konstruktion etwas klarer zu strukturieren und über einen längeren Zeitraum zu standardisieren sind.

*Kurzfristige Feinplanung eines Projektabschnitts zwischen Konzeptauswahl und Komponentenbestätigung mit Prozessbausteinen (s. Abbildung 7-7):* Der Praxiseinsatz hat gezeigt, dass viele Bausteine nicht wie geplant nach einer bestimmten Dauer abgeschlossen, sondern immer wieder aufgenommen werden, um z.B. Änderungen einzuarbeiten. Insbesondere Änderungen benachbarter oder übergeordneter Baugruppen hatten dabei massive Auswirkungen auf den Projektfortschritt und beeinflussten den Ablauf und Kapazitätsbedarf so stark, dass diese zuvor nur ungenau deterministisch festzulegen waren.

*Durchführung der integrierten Entwicklung und Planung:* Bei einem innovativen Produkt- und Montagekonzept arbeiteten Konstruktion und Montageplanung gemeinsam an einer optimalen Gesamtlösung. Ziel war es, das Modul in einer möglichst einfachen, linearen Bewegung in das Fahrzeug einzubauen. Bei der Untersuchung ging es primär darum, bestimmte geometrische Abstände abzusichern. Aufgrund des engen Bauraums waren dynamische Kollisionskontrollen notwendig.

Kollidiert das Modul beim Abfahren der erzeugten Bahn mit einem anderen Bauteil, muss die Bahn entsprechend verändert werden. Nach einigen Iterationsschleifen konnte die Montierbarkeit des Moduls nachgewiesen werden. Ein zweiter Untersuchungspunkt war die Frage, ob die geplante Einbaureihenfolge möglich und die Zugänglichkeit der Verschraubungspunkte gegeben sind.

Eine wesentliche Erkenntnis bezogen auf die Methodik war zum einen, dass im Prozess nicht mehr Informationen fließen müssen, sondern die vorhandenen besser verteilt und die Empfänger bedarfsgerecht erreichen müssen. Zum anderen ließ sich feststellen, dass der Integrationsgrad und die erforderliche Flexibilität des Vorgehens von Konstruktion und Montageplanung

Tätigkeiten Konstruktion	Produktstruktur festlegen	Bauteilzahl festlegen	Bauteilpositionierung festlegen	Verbindungstechnik/ -punkte festlegen	Bauteilgeometrie festlegen	Bauteilgewicht festlegen
<b>Tätigkeiten Montageplanung</b>						
<b>1. Projektvorbereitung Montage</b>						
Schwachstellenanalysen	○	○	○	○	○	○
Zielvisionen		○			○	○
Montageziele und -konzept	○	○				
Invest / Planzeit-Planung	○			○		○
<b>2. Montagetechnische Bewertung</b>						
Design Review			○	○	○	
Mitarbeit in Package-/ Modul- u. SE-Teams		○	○		○	
Mitarbeit beim Funktionsmaßkonzept	○		○	○	○	
<b>3. Konzeptabsicherung Montagevorgang</b>						
Festlegung der Untersuchungsumfänge			○	○	○	
Montageuntersuchung (Simulation/Versuch)			○	○	○	
Bestätigung des Montageablaufs			○	○	○	
<b>4. Strukturplanung</b>						
Fertigungstiefe	○					
Grobstruktur, Blocklayout, Flächenbedarf	○	○				○
Feinlayout mit Montageablauf	○					○
Einrichtungslayout		○				○
<b>5. Produktions-/Einrichtungstechnik</b>						
Bestätigung Montagekonzept	○		○			
Montageablauf und -reihenfolge	○	○	○		○	
Montagemethode, Fügetechnik			○	○		
Erstellung Anlagenkonzept	○	○			○	○
Betriebsmittel Planung			○	○	○	○
Betriebsmittel Konstruktion			○	○	○	○
Gestaltung Arbeitsablauf/Bandeinrichtungen		○	○	○	○	
Ergonomiebetrachungen			○			○
Prüfkonzept			○	○	○	
<b>6. Prozessplanung</b>						
Arbeitsplan: Grobbewertung Montagezeit	○		○	○		
Arbeitsplan: Arbeits- und Prüfanweisungen	○		○	○		
<b>7. Logistikplanung</b>						
Versorgungskonzept	○	○			○	○
Logistik- und Bandbereitstellflächen		○			○	
Behälter- und Verpackungsplanung					○	○
Verkettungseinrichtung u. Flurförderzeuge					○	○

Abbildung 7-6: Soll-Zusammenarbeit

stark von den betrachteten Bauteilen und Prozessen abhängt.

*Prozesskoordination/-regelung:*

Es zeigte sich, dass es im Entwicklungsablauf eine Vielzahl potentieller Störquellen und Problemfelder gibt, die das Projekt und die Ergebnisse nachhaltig gefährden. Daher ist es erforderlich, mögliche Problemfelder frühzeitig zu identifizieren und zu analysieren. Im vorliegenden Fall wurde die hohe Abhängigkeit des SHD-Technikkonzeptes von den unvorhersehbar eingesteuerten Designänderungen der Dachhaut und des Innenhimmels als entscheidender Störfaktor erkannt. Der zur Verfügung stehende Bauraum kann bei jeder Designänderung beeinträchtigt werden. Es war ersichtlich, dass die Vielzahl potentieller Störfaktoren eine regelmäßige Produkt- und Prozessbewertung erforderlich macht, um eine termin- und kostengerechte Projektabwicklung zu gewährleisten.

Wichtig war die Bewertung hinsichtlich dieser zwei Zieldimensionen Prozess und Prozessergebnis (vgl. MURR 1999), deren Erfüllung im Projektverlauf verfolgt werden muss. Für die prozessbezogene Bewertung wurden in sog. Prozess-Reviews Bewertungsbögen mit den Projektbeteiligten ausgefüllt und von den Verantwortlichen Stellungnahmen zu Erfüllungsgrad, Problemen und Terminalsituation aller Prozessbausteine eingefordert. Diese Art der Bewertung wurde von allen als geeignet empfunden, den aktuellen Stand im Prozess zu erfassen, zu visualisieren, zu diskutieren und Maßnahmen daraus abzuleiten.

*Erfahrungsaufbau:* Bei der Beurteilung der Kritizität von Problemen mit Prozessbausteinen in der Auswertung der Prozess-Reviews ist zu berücksichtigen, wie hoch die Abweichung ist, welche Ursachen dafür verantwortlich sind, ob ein Zeitverzug auszugleichen ist und ob sich die Aktivität auf einem kritischen Pfad befindet, d.h. dass die aufgetretene Verzögerung Terminprobleme bei Folgeprozessen verursachen könnte.

Abschließend wurde ein wesentlicher Vorteil der Methodik durch die Mitarbeiter des Unternehmens bestätigt: die Prozessbausteine bieten die Chance, projektübergreifend zu lernen, da sie wiederverwendbar sind und sich die Inhalte einfach adaptieren lassen.

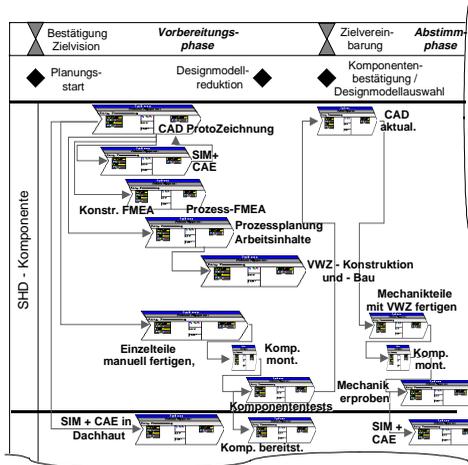


Abbildung 7-7: Ausschnitt aus dem projektspezifischen integrierten Entwicklungsplan

## 7.2.2 Fallstudie 2: Einführung und Anwendung flexibler integrierter Prozesse zur Entwicklung und Planung eines Reisebussitzrahmens

### Motivation, Zielsetzung und Vorgehensweise

Im Rahmen eines Industrieprojektes sollte in sechs Monaten für einen Kfz-Zulieferer ein innovativer modular aufgebauter Sitzrahmen entwickelt werden (vgl. Abbildung 7-8). Dabei sollten die Anforderungen von Fertigung und Montage frühzeitig berücksichtigt und durch vermehrte Gleichteileverwendung eine signifikante Reduktion der Herstellkosten bewirkt werden. Zum Einsatz kamen daher die Methodikelemente Abbildung, Anpassung, Planung und Koordination integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse.

Im Projekt wurde konsequent das integrierte Entwicklungsvorgehen angewandt, um frühzeitig Analysen anstellen zu können, Fehler zu

vermeiden und eine optimale Kombination aus Produkt, Montagevorgang und Anlage zu erreichen. In Abbildung 7-9 sind die wesentlichen Aufgabenpakete dargestellt.

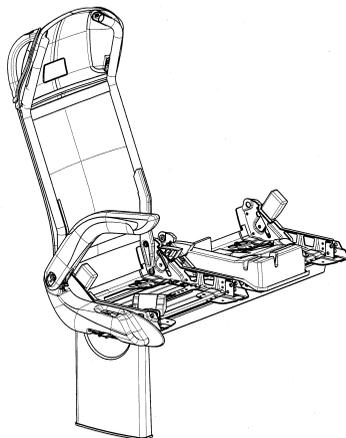


Abbildung 7-8: Sitzrahmen

### Ergebnisse und Erkenntnisse

Die *Prozess- und Werkzeugabbildung* bestätigte, dass die entwickelten Prozessbausteine einen ausreichenden Detaillierungsgrad besitzen. Als positiv erwies sich die Aufwandsminderung bei der Modellierung durch die vorkonfigurierten Prozessbausteine.

Im Rahmen der *Anpassung der neutralen Bausteine* an unternehmens- und projektspezifische Randbedingungen wurden die vorhandenen Werkzeuge und Personalressourcen erfasst und mit den Anforderungen abgeglichen. Darauf basierend wurde ein integriertes Projektteam aus Konstrukteuren und Planern gebildet. Bestimmte Baugruppen und Montagetechnologien sollten weiter verwendet werden, was große Auswirkungen auf die Freiheitsgrade bei der Entwicklung und Planung hatte. Darüber hinaus gab es Langläufer bei der Werkzeugherstellung, die bereits vorgezogen detailliert werden mussten. Die frühzeitige Berücksichtigung dieser unterschiedlichen Konkretisierungsgrade wurde als bedeutender Aspekt für die Anpassung vorkonfigurierter Prozessbausteine bestätigt.

Ferner bestätigte das Projekt die Wichtigkeit einer *zentralen Grobplanung* von Meilensteinen mit definierten Ergebnissen und einer Plausibilitätsprüfung durch alle Beteiligten. Hier wurde erkannt, dass für die Ausarbeitung der Prototypengeometrien zu wenig Zeit eingeplant war.

Phase I: Aufgabe klären	
<b>Spezialisierte Prozessbausteine:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Patentrecherche (Konstruktion K)</li> <li>■ Prüfrichtlinien klären (K)</li> <li>■ Funktionsanalyse (K)</li> <li>■ Analyse und Beurteilung bisheriger Fertigungs- und Montageprozesse (Montageplanung M)</li> </ul>	<b>Integrierte Prozessbausteine:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Analyse des bisherigen Sitzsystems (K und M)</li> <li>■ Analyse des Produktionsprozesses (K und M)</li> <li>■ Ermittlung der "Kosten- und Gewichtstreiber" (K und M)</li> <li>■ Erfassung der existierenden Varianten (K und M)</li> <li>■ Freiheitsgrade Produkt und Montage, Wiederverwendung und neue Technologien (K und M)</li> <li>■ Analyse von Konkurrenzprodukten (K und M)</li> <li>■ Gemeinsame Erstellung eines Lastenheftes und kontinuierliche Weiterführung (K und M)</li> </ul>
Phase II: Konzepterarbeitung	
<b>Spezialisierte Prozessbausteine:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Strukturierung des Lösungsfeldes (K)</li> <li>■ Systematische Variation zur Suche von Teillösungen (Gestalt auf Bauteilebene) (K)</li> <li>■ Aufzeigen geeigneter Materialien und Verfahren (M)</li> <li>■ Erarbeitung von Automatisierungsmöglichkeiten (M)</li> <li>■ Grobkonzepte bewerten hinsichtlich Fertigung und Montage (M)</li> </ul>	<b>Integrierte Prozessbausteine:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Diskussion hinsichtlich montagegerechter Produktgestaltung (K und M)</li> <li>■ Auswahl von Verfahren (K und M)</li> <li>■ Vorauswahl von Teillösungen (K und M)</li> <li>■ Erstellung von Produkt- und Montagekonzepten (K und M)</li> <li>■ Definition von Verbindungstechniken (K und M)</li> <li>■ Reduktion auf drei Konzeptvarianten (K und M)</li> <li>■ Entscheidung für ein Produkt- und Montagekonzept (K und M)</li> </ul>
Phase III: Entwurf von Prototypengeometrie und Montagekonzept	
<b>Spezialisierte Prozessbausteine:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Detaillierung des ausgewählten Produktkonzeptes (K)</li> <li>■ Detaillierung des ausgewählten Montagekonzeptes (M)</li> <li>■ Auslegungsberechnungen (K)</li> <li>■ Erstellung Prototypengeometrie in 3D-CAD (K)</li> <li>■ Kalkulation der Herstellkosten (M)</li> </ul>	<b>Integrierte Prozessbausteine:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Absicherung von Produkt- und Montageeigenschaften (K und M)</li> <li>■ Diskussion über Arbeitsvorgänge und Einsatz von Betriebsmitteln (K und M)</li> <li>■ Klärung konstruktiver und montage-technischer Teilprobleme (K und M)</li> </ul>

Abbildung 7-9: Projektphasen mit spezialisierten und integrierten Prozessbausteinen

Eine Erkenntnis bei der Durchführung war, dass die Konstruktionsmethodik bei sehr angespannter Terminalsituation Fachleuten aus der Praxis nicht effizient genug erscheint. Die Generierung von vielen Konzeptvarianten muss deshalb mitunter kritisch hinterfragt werden. Ferner behindert das Sammeln von zu vielen Anforderungen innovative Lösungen, da dann bereits unterbewusst viele Ideen verworfen werden, die in Diskussionen weiterentwickelt werden könnten. Für die Montage war es entscheidend, dass das Produkt modular aufgebaut wird, möglichst viele Gleichteile verwendet werden und der Variantenbildungszeitpunkt relativ spät im Produktionsablauf erfolgt. Dies wurde als relevanter Entwicklungstreiber akzeptiert und konsequent verfolgt. Das frühe Arbeiten mit unreifen Zwischenständen bedeutete zunächst einen Mehraufwand, der in der Detaillierungsphase wiederum zu einer reduzierten Fehlerzahl führte.

Zusammenfassend können folgende Erfolgsfaktoren genannt werden: die Prozessintegration auf Arbeitsebene, eine informelle Zusammenarbeit, die gemeinsame Ergebnisverantwortung und die gegenseitige Wertschätzung für die Arbeitsergebnisse anderer.

Erkenntnisse für die Koordination integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse waren folgende: Die Abstimmung mit der Projektleitung wurde phasenspezifisch variiert, ein Rhythmus von zwei Wochen erschien in der Konzept- und Entwurfsphase als ideal für derartige Projekte. Konfliktlösungen bereits im Ansatz vermeiden zeitraubende Eskalationen. Eine persönliche Erläuterung der konstruktiven oder planerischen Lösungen kann erforderlich werden, wenn implizite Informationen enthalten sind, die verschiedene Beteiligte unterschiedlich interpretieren. Sehr hilfreich war in diesem Zusammenhang die Definition von einigen Hauptprojektzielen, die allen Beteiligten transparent waren. Exemplarisch soll mit dem Prozesstreiberportfolio (vgl. Abbildung 7-10) die Anwendung einer der zahlreichen Einzelmethode gezeigt werden. Dieses Portfolio erwies sich als geeignetes Steuerungsinstrument, in das die Entwicklungsobjekte eingetragen werden und den aktuellen Stand im Projekt widerspiegeln.

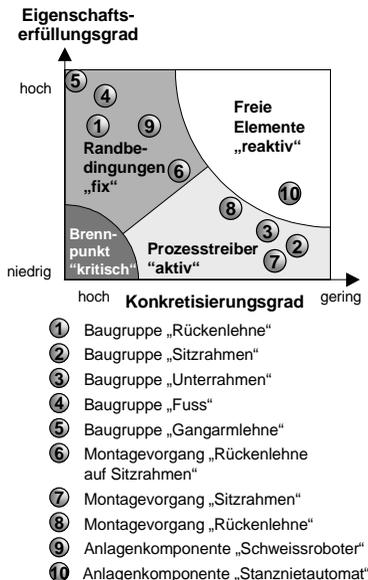


Abbildung 7-10: Prozesstreiberportfolio in Projektanfangsphase

### 7.2.3 Fallstudie 3: Einführung flexibler Prozesse für integrierte Produkt- und Prozessanalysen bei einem Automobilhersteller

#### Motivation, Zielsetzung und Vorgehensweise

Ziel dieser Fallstudie bei einem Automobilhersteller war es, die entwickelte Methodik zur Einführung von flexiblen integrierten Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozessen anzuwenden und weiterzuentwickeln. Gemäß der Strategie "Digital Car" sollte ein integrierter Entwicklungs- und Planungsprozess auf Basis von digitalen Fahrzeugprototypen und digitalen Fabrikmodellen etabliert werden. Im Rahmen der Fallstudie sollten daher zum einen alle simulationsbasierte Absicherungsprozesse der geometrischen Fahrzeugintegration, der Daten- und Informationsflüsse, der eingesetzten Rechnersysteme sowie der beteiligten Organisationseinheiten modelliert werden. Zum anderen sollten zeitliche Bezüge zu den Meilensteinen aufgezeigt werden, in denen die zu diesem Zeitpunkt erforderliche Datenreife definiert ist.

Die Grundidee bestand darin, gemäß der Prozessbausteinidee zwar Standardprozesse vorzugeben, nicht aber deren Reihenfolge bis ins Detail vor auszuplanen. So können diese Teilprozesse im Entwicklungs- und Planungsverlauf je nach Bedarf flexibel in den Prozess eingegliedert werden. Eine standardisierte Prozessbeschreibung einschließlich der einzusetzenden Methoden sollte eine effiziente Abarbeitung dieser Teilprozesse unterstützen.

Zu Beginn wurde ein Projektteam mit Mitarbeitern aller wesentlichen Fach- und Integrationsbereiche gebildet. In einer Reihe von Workshops und Interviews wurden die simulationsgestützten Teilprozesse einschließlich durchführender Organisationseinheiten und eingesetzter Werkzeuge erfasst, modelliert und in Baukästen abgelegt. Für die Synchronisation der einzelnen Teilprozesse wurden Synchronisationsbausteine entwickelt, die auf dem kritischen Pfad bereichsübergreifende Teilprozesse vereinigen. Gemeinsam mit den Prozessbeteiligten wurden Benchmarks durchgeführt, Schwachstellen ermittelt und ein Katalog mit konkreten Verbesserungsmaßnahmen aufgebaut.

### **Ergebnisse und Erkenntnisse**

*Erkenntnisse für die Abbildung:* Die Prozessbausteine sollten so detailliert beschrieben werden, dass auch der Datenfluss zwischen den eingesetzten Rechnerwerkzeugen abgebildet wird. Eine abgeschlossene Semantik für die Beschreibung der Eingangs- und Ausgangsinformationen ist dabei zwingend notwendig.

Oft werden im Rahmen eines Prozessbausteins mehrere Softwarewerkzeuge eingesetzt, deren Zusammenspiel im Vorfeld festzulegen ist. Aus diesem Grund wurde der Ablauf wichtiger Prozessbausteine noch detaillierter aufgelöst. Dafür wurden sieben Kategorien von Tätigkeiten (z.B. „Dokumentieren“) definiert (vgl. Abbildung 7-11). Nach der Modellierung wurden die Prozessbausteine in einem Prozessbaukasten abgelegt.

*Erkenntnisse für die Qualifizierung:* Im Sinne der Integration von Produktentwicklung und Montageplanung wurden Vorschläge unterbreitet, wie eine Definition von Zuständigkeiten aussehen müsste. Die Modulteams sollten für die Konkretisierung und Absicherung ihres Modulumfangs verantwortlich sein. Der einzelne Konstrukteur bestimmter Bauteile innerhalb des Moduls ist dabei für die prinzipielle Verbaubarkeit seiner Teile verantwortlich. Diese Absicherung muss nicht der Montageplaner nachweisen. Das bedeutet wiederum für den Konstrukteur, dass er regelmäßig statische und dynamische Analysen bzgl. Kollisionen und Abständen durchzuführen hat. Dadurch wird eine höhere Prozesssicherheit gemäß der Forderung "Gesamtfahrzeugintegration geht vor Komponentendetaillierung" erreicht. Für die übergreifende Optimierung der Bauteilanordnung innerhalb des Moduls ist der Modul-Montageplaner zuständig. Ein Modul-übergreifender Planer ist für die Abstimmung an den Modulschnittstellen zuständig.

Als Fazit wurde von den Projektmitarbeitern hervorgehoben, dass die Methodik hilft, klassische Kommunikationsbarrieren zwischen den Disziplinen abzubauen.

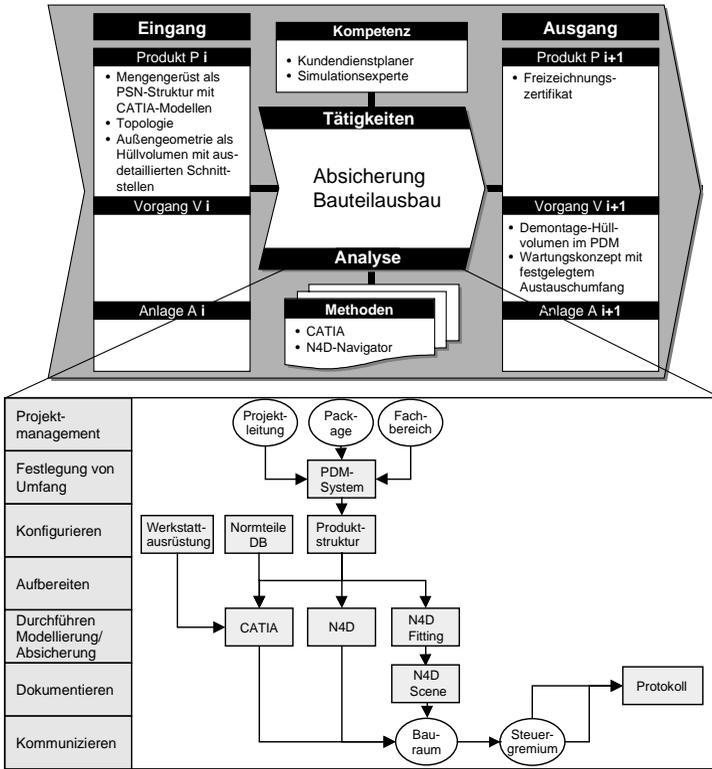


Abbildung 7-11: Beispiel für einen unternehmensspezifischen Prozessbaustein

*Erkenntnisse für die Anpassung und Einführung:* Die aufgenommenen Prozesse und Verbesserungsvorschläge wurden akzeptiert, da sich bei den Beteiligten ein Problembewusstsein eingestellt hatte. Dies wurde durch Abfragen der Probleme im Tagesgeschäft und durch den Methodikeinsatz in einem konkreten Fahrzeugprojekt gefördert.

Im Rahmen von Einführungsworkshops wurde die Methodik der Prozessbausteine den Entwicklern und Planern erläutert, die später die eigentlichen operativen Prozesse durchführen. Ganz entscheidend ist in diesem Zusammenhang, dass sich Vorgesetzte aktiv in die Veränderungsmaßnahmen einbringen. Es hat sich als wichtig erwiesen, mit einem überschaubaren Betrachtungsumfang zu beginnen und kleinere nachweisbare Veränderungsschritte einzuleiten. Eine weitere Erkenntnis war, dass der Informationsbedarf eines spezifischen Prozessbausteins bei der Anpassung an unterschiedliche Produkte, Baugruppen oder Anlagenkomponenten deutlich variieren kann. Bei bestimmten Baugruppen ist die Eingangsgröße relevant, bei anderen Baugruppen hingegen nicht.

*Erkenntnisse für die Planung:* Die Modularität des Prozessbausteinansatzes mit der präzisen Definition von Prozessschnittstellen erlaubt eine dezentrale Planung der Prozesse. Vor dem Projekt wurde im Unternehmen bereits versucht, dezentral die Prozesse aufnehmen zu lassen. Dies war nur bedingt erfolgreich, da vielen Beteiligten noch nicht der Nutzen klar war und sie wenig Erfahrung in Prozessmodellierung hatten. So waren auch die Ergebnisse sehr heterogen. Bei komplexeren Prozessen ist demnach eine zentrale Unterstützung unumgänglich.

*Erkenntnisse für die Koordination/Regelung:* Von Mitarbeitern des Projektteams wurde insbesondere die inhaltliche Unterstützung der Prozessbausteine als sehr wertvoll erachtet. Für die Koordination und Regelung sind im Sinne der frühzeitigen Absicherung von Produkt und Montage intensive Interaktionen gefordert. Insbesondere nicht-integrierte Prozessbausteine müssen durch Synchronisationsbausteine ihre Teilergebnisse regelmäßig zusammenführen und übergreifende Leistungsvereinbarungen dokumentieren. Weitere Spielregeln sind erforderlich, um die Verlässlichkeit und Verbindlichkeit des jeweiligen Entwicklungs- und Planungsstandes zu gewährleisten:

- Keine lokale Detaillierung: Produkt- und Montagedaten stets "veröffentlichen"
- Die vereinbarte Verfügbarkeit der Daten in der erforderliche Reife zu den jeweiligen Meilensteinen und Synchronisationsbausteinen
- Bauteilattributierung hinsichtlich Konkretisierung, Absicherung, Verbindlichkeit
- Information, Kommunikation und Durchsetzung dieser Spielregeln

*Erkenntnisse für die Weiterentwicklung:* Die im Baukasten abgespeicherten Prozessbausteine bilden eine gute Basis für die Weiterentwicklung des Prozesses. Dies ist insbesondere notwendig, da sich alle Prozessparameter mit der Zeit ändern können und werden. Im Laufe des Projektes wurden zahlreiche Schwachstellen erkannt und mögliche Maßnahmen in den Prozessbausteinen dokumentiert, so dass jeder, der auf den Baustein künftig zugreift, sofort mögliche Probleme und Lösungsansätze erkennen kann.

### **7.3 Zusammenfassende Bewertung der Praxisbeispiele**

In diesem Abschnitt sind abschließend die gemeinsamen Erkenntnisse aus den Fallstudien zusammengefasst.

#### **Erkenntnisse zum Modell der flexiblen integrierten Entwicklung und Planung:**

Die Fallstudien bestätigten, dass es die richtige Strategie zur methodischen Beherrschung gering-determinierbarer Prozesse ist, vorkonfigurierte Prozessbausteine und kurze Standardprozesse vorzugeben, nicht aber deren Reihenfolge bis ins Detail vorzuplanen. Dabei sorgte die standardisierte Beschreibung der Arbeitsinhalte einschließlich der einzusetzenden Methoden für eine effiziente Abarbeitung der Bausteine.

Insbesondere die Zusammenarbeit und gemeinsame Ergebnisverantwortung von Entwicklung und Planung garantierten eine Wertschätzung der Zwischenergebnisse und reduzierten deutlich größere Entwicklungsfehler. Die Methodik half, klassische Kommunikationsbarrieren zwischen den Disziplinen abzubauen. Dabei ließ sich feststellen, dass der Integrationsgrad und die erforderliche Flexibilität des Vorgehens von Konstruktion und Montageplanung stark von den betrachteten Bauteilen und Prozessen abhängen.

### **Erkenntnisse zur Einführung der flexiblen integrierten Entwicklung und Planung:**

Die Fallstudien zeigten, dass insbesondere das detaillierte methodische Vorgehen zur Einführung und Anpassung der Prozessbausteinmethodik eine gute Hilfestellung und ein Erfolgsfaktor für den Einsatz der Methodik ist.

Es hat sich als wichtig erwiesen, mit einem überschaubaren Betrachtungsumfang zu beginnen und kleinere nachweisbare Veränderungsschritte einzuleiten. Eine weitere Erkenntnis war, dass der Informationsbedarf eines spezifischen Prozessbausteins bei der Anpassung an unterschiedliche Produkte, Baugruppen oder Anlagenkomponenten deutlich variieren kann. Bei bestimmten Baugruppen war eine Eingangsgröße relevant, bei anderen Baugruppen hingegen nicht. Ganz entscheidend war in diesem Zusammenhang auch, dass sich Vorgesetzte aktiv in die Veränderungsmaßnahmen einbringen. Bei den Beteiligten selbst stellte sich das notwendige Problembewusstsein bzgl. der Methodikeinführung durch das Abfragen der Probleme im Tagesgeschäft und den Methodikeinsatz in aktuellen Entwicklungsprojekten ein.

### **Erkenntnisse zur Planung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse:**

Als positiv erwies sich die deutliche Aufwandsminderung bei der Prozessplanung durch die vorkonfigurierten Prozessbausteine. Die frühzeitige Berücksichtigung unterschiedlich erforderlicher Produkt- und Anlagenkonkretisierungsgrade wurde dabei als bedeutender Aspekt bestätigt.

Das erzeugte Prozessmodell diente als transparente und einheitliche Kommunikationsbasis für die beteiligten Mitarbeiter. So konnten frühzeitig Abläufe analysiert, bewertet und Verzögerungen erkannt werden. Eine abgeschlossene Semantik für die Beschreibung der Eingangs- und Ausgangsgrößen der Prozessbausteine war dabei zwingend erforderlich. Als problematisch erwies sich lediglich die Pflege des Plans im mitunter turbulenten Tagesgeschäft. Die Modularität des Bausteinansatzes mit der präzisen Definition von Prozessschnittstellen erlaubt eine dezentrale Planung der Prozesse. Um eine Heterogenität der Prozessmodelle zu vermeiden, ist bei komplexeren Projekten eine zentrale Unterstützung unumgänglich. Wichtig war in diesem Hinblick auch eine zentrale Grobplanung von Meilensteinen.

**Erkenntnisse zur Durchführung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse:**

Von Mitarbeitern der Projektteams wurde insbesondere die inhaltliche Unterstützung der Prozessbausteine als sehr wertvoll erachtet. Der Praxisinsatz hat auch gezeigt, dass viele Bausteine nicht wie geplant nach einer bestimmten Dauer abgeschlossen, sondern mehrfach wieder aufgenommen werden mussten, um z.B. Produktänderungen einzuarbeiten.

Bei sehr angespannter Terminalsituation erschien Mitarbeitern aus der Industrie die methodische Entwicklungs- und Planungsvorgehensweise manchmal nicht effizient genug. Das frühe Arbeiten mit unreifen Zwischenständen und Erzeugen von Varianten bedeutete zunächst einen Mehraufwand, der in der Detaillierungsphase jedoch zu einer reduzierten Fehlerzahl und besseren Ergebnissen führte.

**Erkenntnisse zur Koordination flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse:**

Die Fallstudien zeigten im Hinblick auf die Informationslogistik während laufender Projekte, dass im Prozess nicht mehr Informationen fließen müssen, sondern die vorhandenen besser verteilt und die Empfänger bedarfsgerecht erreichen müssen. Insbesondere nicht-integrierte Prozessbausteine müssen durch Synchronisationsbausteine ihre Teilergebnisse regelmäßig zusammenführen und übergreifende Leistungsvereinbarungen dokumentieren.

Ferner machte die Vielzahl potentieller Störfaktoren in Entwicklungsprojekten eine regelmäßige Produkt- und Prozessbewertung erforderlich, um eine termin- und kostengerechte Projektabwicklung zu gewährleisten.

**Erkenntnisse zur Weiterentwicklung flexibler integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse:**

Abschließend wurde durch die Mitarbeiter der beteiligten Unternehmen ein wesentlicher Vorteil der Methodik bestätigt. Die Prozessbausteine bieten die Chance, projektübergreifend zu lernen, da sie wiederverwendbar sind und sich die Inhalte einfach adaptieren lassen. Die im vorhandenen Baukasten abgespeicherten Bausteine bilden bereits eine gute Basis für die Weiterentwicklung des Prozesses. Dies ist insbesondere notwendig, da sich alle Prozessparameter mit der Zeit ändern können und werden.

## 8 Bewertung von Aufwand und Nutzen

Nachdem nun die Methodik vorgestellt und verifiziert wurde, soll in diesem Kapitel eine kritische Diskussion hinsichtlich Nutzen und Aufwand erfolgen.

BULLINGER ET AL. (1995, S. 7) stellen im Rahmen empirischer Untersuchungen fest: „Die Stellschrauben zur Beeinflussung des Produkterfolgs liegen (...) zu 70-80% im Entwicklungsbereich“. Dies haben auch die Unternehmen erkannt und stocken sukzessive ihr Entwicklungs- und Planungspersonal auf (Beschäftigungszahlen in F&E: 4,9% (1991), 6,0% (1993), 7,0% (1995) lt. STATISTISCHES BUNDESAMT 1997, S. 83). Demgegenüber stehen zunehmende Schwierigkeiten für Entwicklungs- und Planungsprozesse aufgrund der steigenden Dynamik und Unsicherheit. „So vollzog sich in den letzten 10 Jahren eine drastische Verkürzung der Produktlebenszeiten um 40%“. Die Amortisationszeit für Automobile betrug 1995 bereits 4,3 Jahre, die Produktlebenszeiten noch 8,5 Jahre. Bei Elektronikkomponenten betrug die Amortisationszeit 3 Jahre, die Produktlebenszeit nur 4,7 Jahre (BULLINGER ET AL. 1995, S. 7ff).

Die Erfahrungen aus den Fallstudien in Kapitel 7 zeigen die industrielle Relevanz einer Einführung und Anwendung flexibler integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse. Eine objektive, quantitative Bewertung hinsichtlich Zeit- und Kosteneinsparung, Qualitäts- und Flexibilitätserhöhung wäre jedoch nur durchführbar, wenn zum Vergleich ein identisches Entwicklungsprojekt ohne die methodische Unterstützung abwickelbar wäre. Doch dies ist kaum sinnvoll und wirtschaftlich untragbar.

Im Folgenden sind anhand einer Modellrechnung Nutzen und Aufwand gegenübergestellt. Dafür wurde eine Automobilentwicklung mit diesen Restriktionen herangezogen:

Größe internes Entwicklungsteam	850 Pers.
Gesamtentwicklungsdauer	3,5 Jahre
Gesamtentwicklungskosten	2 Mrd. DM
Kosten pro Entwickler pro Stunde	100 DM / h pro Entwickler
Anzahl der Module im Fahrzeug	50
Anzahl der Prozessbausteine je Modul	20
Kosten pro Änderung	DM 6.000,- (LINDEMANN & REICHWALD 1998, S. 43)

Eine ausführliche Erläuterung dieser Modellrechnung findet sich im Anhang. Für die Abschätzung von Aufwand und Nutzen wurden insbesondere die Arbeiten von DYLLA (1990) herangezogen. Er erfasste in einer empirischen Analyse die Zeitanteile für Entwicklungsaufgaben.

relative Bearbeitungszeiten für einzelne Tätigkeiten [DYLLA 1990, S. 66]	relative Bearbeitungszeiten für die elementaren Arbeitsschritte [DYLLA 1990, S. 68]
Informationssuche (13%)	Anforderungen analysieren (6%)
Aufschreiben (6%)	Anforderungen formulieren (3%)
Skizzieren (5%)	Lösungen suchen (21%)
Zeichnen und Korrigieren (24%)	Lösungen darstellen (38%)
Nachdenken (43%)	Lösungen analysieren (8%)
Sonstiges (9%)	Lösungen beurteilen (1%)
	Sonstiges (23%)

### 7.3 Zusammenfassende Bewertung der Praxisbeispiele

<b>Aufwände (Modellrechnung)</b>	<b>Kosten</b>
<b>Aufwand zur Einführung:</b>	
Schaffung der technologischen Voraussetzungen	3000 DM
Schaffung der organisatorischen Voraussetzungen	52.500 DM
Mitarbeiterinformation und -schulung	274.000 DM
Abilden von Methoden und Kompetenzen	23.750 DM
Anpassung der Bausteine an unternehmensspez. Randbedingungen	2.500 DM
Anpassung der Bausteine an produkt-/anlagenspez. Randbedingungen	38.000 DM
<b>Aufwand bei Anwendung:</b>	
Anpassung der Bausteine an projektspezifische Randbedingungen	93.000 DM
Modellbasierte Feinplanung der Prozesse	1.495.000 DM
Integrierte Erarbeitung / Bewertung von Produkt, Montagevorgang und -anlage	6.188.000 DM
Modellbasierte Koordinierung der Prozesse	1.495.000 DM
Modellbasierte Regelung/Umplanung der Prozesse	781.200 DM
Pflege der Prozessbausteininhalte	3.094.000 DM
Pflege des Prozessbaukastens	54.600 DM
Pflege der Werkzeug-/ Kompetenzbausteininhalte	2.104.000 DM
Pflege der Werkzeug-/ Kompetenzbaukästen	182.000 DM
<b>Gesamtaufwand für Methodikeinführung und -anwendung in einem Projekt</b>	<b>15.880.550 DM</b>

<b>Nutzen (Modellrechnung)</b>	<b>Eingesparte Kosten</b>
<b>Nutzen durch Effizienzsteigerung:</b>	
Abbau von Prozessschnittstellen und Kommunikationsbarrieren; gemeinsamer Erfahrungsaufbau und Problemlösungsprozess	17.945.200 DM
Simulierbarkeit und Bewertbarkeit von Prozessen	3.094.000 DM
<b>Nutzen durch direkte Zeitverkürzung:</b>	
Integrierte Betrachtung von Produkt, Montagevorgang und Montageanlage	21.905.520 DM
Geringere Einarbeitungszeiten durch konkrete Prozessbausteininhalte	17.078.880 DM
Systematik der Wertschöpfung durch Konkretisierungsgrad, Absicherungsgrad und Verbindlichkeit von Gestaltungsobjekten	6.930.560 DM
Kontinuierliche Verfolgung der Wertschöpfung	30.940.000 DM
Detaillierte Prozessplanung auf operativer Ebene	6.535.520 DM
Schnellere Neu- und Umplanung des Entwicklungs-/Planungsprozesses	15.470.000 DM
Schnelles Aufzeigen von Prozessalternativen	15.470.000 DM
<b>Nutzen durch höhere Prozesssicherheit:</b>	
Definition von Prozessbausteinschnittstellen	4.022.220 DM
Plausibilitätsprüfungen durch vorgedachte Informationsflüsse	15.470.000 DM
<b>Gesamtnutzen für Einführung und Anwendung in einem Projekt</b>	<b>154.861.900 DM</b>

Die beispielhafte Aufschlüsselung zeigt, dass der Gesamtnutzen die Gesamtaufwände in dieser Modellrechnung deutlich übersteigt. Auf Basis dieses exemplarischen Vergleichs ergibt sich ein Verhältnis von 10 : 1<sup>3)</sup>. Hinzu kommt, dass durch den Ansatz der Prozessbausteine ein maximal möglicher Parallelisierungsgrad der Tätigkeiten erreicht wird

<sup>3)</sup> Dieses Verhältnis basiert auf einigen Annahmen, die im konkreten Einzelfall abweichen können.

und so zu einer minimalen Entwicklungszeit führen kann. Dies ist ein wesentlicher Vorteil, wenn man bedenkt, dass eine um sechs Monate verspätete Markteinführung ca. 30-50% Gewinnreduktion bedeutet (LINDEMANN & REICHWALD 1998, S. 209; VESEY 1991, S. 23ff). Neben den aufgeführten quantifizierbaren Aufwänden und Nutzeneffekten sind als Ergänzung in diesem Abschnitt folgende qualitative Faktoren zu nennen.

### **Erhöhung der Flexibilität**

- Um eine möglichst hohe Prozessflexibilität zu erreichen, werden die Prozessbausteine nicht über einzelne starre Ereignisse, sondern über den Fortschritt der Gestaltungsobjekte in Form von Konkretisierungs- und Absicherungsgraden variabel miteinander vernetzt. Dies unterstützt eine Prozessbeschleunigung und eine schnellere Neu- und Umplanung.
- Weiterhin lässt es der Ansatz über eine gezielte Verteilung der Kompetenzen in den frei konfigurierbaren Prozessbausteinen zu, den Grad der Autonomie und Dezentralität zu skalieren: Prinzipiell können sowohl die Grobplanung als auch die Feinplanung und Koordination von einer zentralen Instanz übernommen werden. Die Trennlinie zwischen zentraler Grobplanung und dezentraler Feinplanung kann auf Basis der Prozessstruktur individuell festgelegt werden.

### **Steigerung der Reaktionsfähigkeit**

- Ein wesentliches Element der Methodik ist das Verschmelzen zusammengehöriger interdisziplinärer Aufgaben. Bei neuen Anforderungen lassen sich so in einem kurzen intensiven Problemlösungsprozess Lösungen erzeugen, die für alle Disziplinen zielführend sind.
- Die Modularität der Prozesse und Aufbauorganisationseinheiten unterstützt bzw. nutzt dabei die Selbstorganisationsfähigkeiten der am Prozess beteiligten Mitarbeiter. Ferner können so im Bedarfsfall aufwandsarm und systematisch interne/externe Dienstleister in den Prozess integriert werden, das Improvisationsvermögen steigt.
- Die transparente Gestaltung der Wirkzusammenhänge ist ein weiterer essentieller Faktor, der mit der Prozessbausteinmethodik realisiert wurde. Das flexible integrierte Prozessmodell bietet die erforderliche Transparenz und dient als Experimentierplattform, um im Sinne der Reaktionsfähigkeit neue Prozesspfade und deren Konsequenzen planen zu können. Die angebotenen Hilfsmittel zur Entscheidungsunterstützung beschleunigen im Bedarfsfall eine effektive Problemlösung.
- Durch die Prozessbausteine als kurze kontrollierbare Wertschöpfungsabschnitte lassen sich Planabweichungen schnell feststellen und Maßnahmen einleiten.
- Durch den Erfahrungsrückfluss in die wiederverwendbaren Bausteine lässt sich ferner eine ständige Verbesserung der Prozesse erzielen. Der Prozessbaukasten als Erfahrungsspeicher nimmt das neu gewonnene Wissen auf und stellt die Übertragbarkeit auf zukünftige Aufgabenstellungen sicher. Die standardisierte Abbildung von Prozessen, Methoden und Kompetenzen erleichtert Vergleiche, die wiederum zur ständigen Veränderung und immerwährendem Lernen beitragen.

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine Methodik zu entwickeln, welche die Einführung flexibler integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse unterstützt. Dies gilt als wesentlicher Beitrag zur Steigerung der vielfach geforderten Wandlungsfähigkeit. Die Motivation zu dieser Arbeit leitet sich aus den zahlreichen Veränderungen des Umfelds ab, mit denen Produktionsunternehmen zunehmend konfrontiert werden. Daraus ergibt sich die Gefahr, durch starre Strukturen und Prozesse im Entwicklungs- und Planungsbereich nicht mehr adäquat auf neue unvorhersehbare Anforderungen reagieren zu können. Die Folge wäre der Verlust der Wettbewerbsfähigkeit.

Die Analyse des Standes der Forschung und Technik ergab, dass bereits einige Einzelmethoden entwickelt wurden, um für Entwicklungsprozesse eine flexible Prozessunterstützung anzubieten. In Anbetracht der ermittelten Defizite, wie die mangelnde Fokussierung auf die Integration von Produktentwicklung und Montageplanung und die fehlende methodische Unterstützung für eine konkrete Anpassung und Einführung einer geeigneten Methodik konnte ein Handlungsbedarf aufgezeigt werden.

Als Lösungsansatz wurde ein methodisches Vorgehensmodell zur Einführung und Anwendung flexibler integrierter Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozesse vorgestellt. Die einzelnen Schritte des Modells sind wiederum durch systematische Hilfsmittel ergänzt. Zentraler Aspekt der Methodik ist die Integration des Vorgehens von Produktentwicklung und Montageplanung. Damit lassen sich Abhängigkeiten zwischen Produkt, Montagevorgang und Montageanlage besser beherrschen und bei Störungen im Entwicklungsablauf schnell in einem integrierten Problemlösungsprozess zielführende Lösungen erarbeiten. Der zweite Aspekt ist die Modularisierung dieses integrierten Prozesses auf Basis von Prozessbausteinen. Diese erlauben eine flexible und situative Planung, Koordination und Regelung von Produktentwicklungs- und Montageplanungsprozessen. Im Rahmen der Einführung werden die vorhandenen unternehmens- und fallspezifischen Randbedingungen und Potenziale erfasst und abgebildet. Mittels eines Abgleichs werden die Prozessbausteine zusammen mit den vorhandenen Kompetenzen und Werkzeugen in Baukästen strukturiert abgelegt und lassen sich im Bedarfsfall zu durchgängigen effizienten Prozessnetzen konfigurieren. Die Umsetzung des Lösungsansatzes und konkrete Anwendung der Methodik wurde durch das Werkzeug *PDT* aufgezeigt, das die Funktionen des Prozessbaukastens und eines Prozessmodellierers übernimmt. Exemplarisch konnten anhand von drei industriellen Fallbeispielen die Vor- und Nachteile der Methodik aufgezeigt und wichtige Erkenntnisse für die Einführung, Anwendung und Weiterentwicklung gewonnen werden.

Schwerpunkte weiterführender Arbeiten müssten auf der Ergänzung der Methodik für den Einsatz in unternehmensübergreifenden Entwicklungs- und Planungsprojekten liegen vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung übergreifender Wertschöpfungsketten.

## Literatur

### ABELS 1993

Abels, S.: Modellierung und Optimierung von Montageanlagen in einem integrierten Simulationssystem. München: Carl Hanser, 1993.

### AHRENS & BEITZ 1997

Ahrens, G.; Beitz, W.: A Method for the Introduction of Simultaneous Engineering in a Product Development Process. In: Riitahuhta A. (Ed.): Proceedings of ICED 97, Tampere. Tampere: University of Technology 1997, Vol. 3, S. 773-778 (Schriftenreihe WDK 25).

### ALLEN 1990

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

### AMBROSY 1997

Ambrosy, S.: Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung. Aachen: Shaker 1997. (Konstruktionstechnik München, Bd. 26), Zugl.: München: TU, Diss. 1997.

### AMMER 1985

Ammer, E.-D.: Rechnerunterstützte Planung von Montageablaufstrukturen für Erzeugnisse der Serienfertigung. Berlin: Springer, 1985.

### ANDREASEN ET AL. 1985

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

### ANDREASEN & HAIN 1987

Andreasen, M.; Hein, L.: Integrated Product Development. Berlin: Springer, 1987.

### ASHBY 1961

Ashby, W. R.: An Introduction to Cybernetics. London: Chapman & Hall, 1961.

### AUTORENKOLLEKTIV 1996

Autorenkollektiv: Kooperative Wertschöpfung – Produkt, Prozess, Ressourcen. In: Eversheim, W.; Klocke, F.; Pfeifer, T.; Weck, M. (Hrsg.): Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik – Aachener Perspektiven. Düsseldorf: VDI, 1996, S. 0-1 – 0-30.

### BALCK 1990

Balck, H.: Thesen zur Neuorientierung im Projektmanagement. In: Neuorientierung im Projektmanagement. Eine Dokumentation thematisch zusammenhängender Beiträge aus GPM-Jahrestagungen und –Symposien 1987-1989. Köln: TÜV-Rheinland, 1990.

### BALSER 1995

Balsler, T.: Was bedeutet Projektmanagement? In: Ehrl-Gruber, B.; Süß, G.: Praxishandbuch Projektmanagement. Band 1. Augsburg: WEKA, 1995.

### BALZERT 1992

Balzert, H. (Hrsg.): CASE - Systeme und Werkzeuge, 4.Auflage, Mannheim: B.I.-Wissenschaftsverlag, 1992.

**BARCLAY & POOLTON 1994**

Barclay, I.; Poolton, J.: Concurrent Engineering: Concept and Practice. International Journal of Vehicle Design, 15 (1994) 3-5, S. 529-544.

**BARTHELMEß 1987**

Barthelmeß, P.: Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozessgestaltung. Berlin: Springer, 1996 (iwb Forschungsberichte Nr. 9).

**BÄBLER 1988**

Bäbler, R.: Integration der montagegerechten Produktgestaltung in den Konstruktionsprozess. Berlin: Springer, 1988.

**BEITZ & HELBIG 1997**

Beitz, W.; Helbig, D. (Hrsg.): Neue Wege zur Produktgestaltung. Institut für Maschinenkonstruktion. Technische Universität Berlin, 1997.

**BICHLMAIER 1997**

Bichlmaier, C.: A Model to Support Integrated Product Design and Assembly Planning. In: Riitahuhta, A. (Ed.): Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Engineering Design in Tampere, Tampere University of Technology, 1997, S. 535-540.

**BICHLMAIER 2000**

Bichlmaier, C.: Methoden zur flexiblen Gestaltung von Entwicklungsprozessen. München: Utz, 2000. (Zugl. Dissertation TU München)

**BICHLMAIER & GRUNWALD 1998**

Bichlmaier, C.; Grunwald, S.: Prozessintegration mit Prozessbausteinen und ihre exemplarische Anwendung. In: SFB 392 - Kolloquium zur Entwicklung umweltgerechter Produkte (Tagungsband). Darmstadt: TU Darmstadt 3./4.11.1998, S. 103-106.

**BIEMANS 1995**

Biemans, W.G.: Internal and External Networks in Product Development: A Case for Integration. In: Bruce, M.; Biemans, W. G. (Hrsg.): Product Development, Meeting the Challenge of the Design-Marketing Interface. Wiley, Chichester, 1995, S. 137-159.

**BIRKHOFER 2000**

Birkhofer, H.: Skriptum zur Vorlesung Produktentwicklung an der Technischen Universität Darmstadt. Darmstadt: TU (Eigenverlag), 2000.

**BIRMINGHAM & D'AMROSIO 1999**

Birmingham, W.P.; D'Ambrosio, J.G.: Agency in Concurrent Design. In: Proceedings of 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, Las Vegas/Nevada/USA. New York: ASME International, 1999.

**BLEICHER 1996**

Bleicher, K.: Das Konzept integriertes Management. 4. überarb. Aufl. Frankfurt: Campus, 1996.

**BOCHTLER 1996**

Bochtler, W.: Modellbasierte Methodik für eine integrierte Konstruktion und Arbeitsplanung: Ein Beitrag zum Simultaneous Engineering. Aachen: Shaker, 1996. (Zugl. Diss. RWTH Aachen)

BOOTHROYD ET AL. 1994

Boothroyd, G.; Dewhurst, P.; Knight, W.: Product design for manufacture and assembly. New York: Dekker, 1994.

BOROWSKY ET AL. 1999

Borowsky, R.; Grunwald, S.; Klabunde, S.; Liebert, M.; Murr, O.; Schäfer, G.: Der Produktentwicklungsprozess (PEP) in der Automobilindustrie. In: J. Hofer-Alfeis (Hrsg.): Geschäftsprozessmanagement - innovative Ansätze für das wandlungsfähige Unternehmen. Marburg: Tectum, 1999, S. 270-289. (ISBN 3-8288-9033-4)

BRAESS 1990

Braess, H.-H.: Von der Idee bis zum Recycling - Bewältigung der Produkt- und Organisations-Komplexität im BMW Forschungs- und Ingenieur-Zentrum. In: 2. F&E Management-Forum - Integrierte Produktentwicklung, Frankfurt/Main. München: gfmt 1990, S. 293-335.

BRENDL 1985

Brendl, E.: Kompetenz - die innere Stärke ihres Unternehmens. Landsberg: moderne industrie, 1985.

BROCKHAUS 1998

Brockhaus: Brockhaus – Die Enzyklopädie in 24 Bänden. Leipzig: Brockhaus, 1998.

BRUNNER 1990

Brunner, W.: Ein Beitrag zur Produkt-Produktionsoptimierung am Beispiel der Planung von teilautomatisierten Montagesystemen. Bochum, 1990. (Zugl. Dissertation)

BULLINGER 1986

Bullinger, H.-J.: Systematische Montageplanung. München: Carl Hanser, 1986.

BULLINGER 1990

Bullinger, H.-J. (Hrsg.): F&E heute. Industrielle Forschung und Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland. München: IAO-Studie (Eigenverlag), 1990.

BULLINGER 1991

Bullinger, H.-J.: Paradigmenwechsel in der Produktentwicklung. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Paradigmenwechsel im Management. Ressourcen der Produktentwicklung. 3. F&E Management-Forum. München, 1991.

BULLINGER 1992

Bullinger, H.-J. (Bd.-Hrsg.): Personalentwicklung und –qualifikation. In: Bay, I. (Hrsg.): CIM-Fachmann. Heidelberg: Springer, 1992.

BULLINGER 1996

Bullinger, H.-J.: Concurrent Simultaneous Engineering Systems. Berlin: Springer, 1996.

BULLINGER ET AL. 1995

Bullinger, H.-J.; Kugel, R.; Ohlhausen, P.; Stanke, A.: Integrierte Produktentwicklung. Zehn erfolgreiche Praxisbeispiele. Wiesbaden: Gabler, 1995.

BULLINGER ET AL. 1996

Bullinger, H.-J., Warschat, J., Wissler, K.-F., Seitz, V.: Rapid Product Development - ein ganzheitliches Produktentwicklungskonzept. Konstruktion 48 (1996) 10, S. 305 -312.

## BULLINGER &amp; WARNECKE 1996

Bullinger, Warnecke (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen. Berlin: Springer, 1996.

## CIESLA 1995

Ciesla, M.; Gräßler, R.; Ordenewitz, R.: Integriertes Ressourcenmanagement. Zwf 90 (1995) 3, S. 116-118.

## CLARK &amp; FUJIMOTO 1991

Clark, K.; Fujimoto, T.: Product Development Performance: Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry. Boston (MA), 1991.

## CLARKSON &amp; HAMILTON 1999

Clarkson, J.; Hamilton, J.: ‚Signposting‘ the Design Process. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design ICED 1999, München, 24.-26.8.1999; Vol. 3. München: TU München, 1999, S. 107-112.

## CLAUSING 1994

Clausing, D.: Total Quality Development. A Step-by-Step Guide to World-Class Concurrent Engineering. New York: ASME Press, 1994.

## CRAMER 1993

Cramer, F.: Der Zeitbaum. Grundlegung einer allgemeinen Zeittheorie. Frankfurt, Insel Taschenbuch, 1993.

## CUIPER 2000

Cuiper, R.: Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen. München: Utz, 2000. (Zugl. Dissertation TU München)

## DAENZER &amp; HUBER 1994

Daenzer, W.; Huber F. (Hrsg.): Systems Engineering - Methodik und Praxis. 8. Auflage. Zürich: Industrielle Organisation, 1994.

## DAHL 1990

Dahl, B.: Entwicklung eines Konstruktionssystems zur Unterstützung der montagegerechten Produktgestaltung. Aachen, 1990. (Zugl. Dissertation RWTH Aachen)

## DANGELMAIER &amp; GAUSEMEIER 1996

Dangelmaier, W.; Gausemeier, J.: Fortgeschrittene Informationstechnologie in der Produktentwicklung und Fertigung. In: 2. Internationales Heinz Nixdorf Symposium, Paderborn. Paderborn: HNI-Verlag, 1996. (HNI-Verlagsschriftenreihe Bd. 19)

## DAVENPORT 1993

Davenport, T.: Process innovation: Reengineering work through information technology. Boston: Ernst & Young, 1993.

## DEBUS 1994

Debus, F.: Ansatz eines rechnerunterstützten Planungsmanagement für die Planung in verteilten Strukturen. Karlsruhe, 1994. (Zugl. Dissertation TH Karlsruhe)

DEHNBOSTEL 1998

Dehnbostel, P.: Lernorte, Lernprozesse und Lernkonzepte im lernenden Unternehmen aus berufspädagogischer Sicht. In: Dehnbostel, P.; Erbe, H.-H.; Novak, H. (Hrsg.): Berufliche Bildung im lernenden Unternehmen. Berlin: Edition Sigma, 1998.

DEMARCO 1978

DeMarco, T.: Structured Analysis and System Specification. Englewood Cliffs, 1978.

DEMERS 2000

Demers, M.: Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen. München, 2000. (Zugl. Diss. TU München)

DEMES 1997

Demes, H.: Einige Anmerkungen zur Kooperationsfähigkeit von Arbeitern und Ingenieuren in Japan. In: New Product Development and Production Networks - Learning form Experiences in Different Industries and Countries. Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB), 20.-22. März 1997.

DERICHS 1997

Derichs, T.: Informationsmanagement im Simultaneous Engineering – systematische Nutzung unsicherer Informationen zur Verkürzung der Produktentwicklungszeiten. Aachen: Shaker, 1997. (Zugl. Dissertation RWTH Aachen)

DEUTSCHLÄNDER 1989

Deutschländer, A.: Integrierte rechnerunterstützte Montageplanung. München: Carl Hanser, 1989.

DICESARE 1993

Dicesare, F.P.: Re-engineering to Achieve a Concurrent Engineering Environment. Journal of Design and Manufacturing 3 (1993) 2, S. 75-89.

DILLING 1992

Dilling, H.-J.: Neue Aspekte in der Pkw-Montage. Düsseldorf: VDI-Verlag 1992, S. 71-108. (VDI-Berichte 999)

DOEGE ET AL. 1998

Doege E.; Brüning J.; Köster T.: Gestaltung effizienter Produktentstehungsprozesse. Zwf 93 (1998) 5, S. 203-207.

DÖLLNER 1997

Döllner, G.: Konzipierung und Anwendung von Maßnahmen zur Verkürzung der Produktentwicklungszeit am Beispiel der Aggregatentwicklung. Braunschweig: Institut für Konstruktionslehre, 1997. (Zugl. Diss. TU Braunschweig)

DRÜKE 1997

Drüke, H.: Kompetenz im Zeitwettbewerb – Politik und Strategien bei der Entwicklung neuer Produkte. Berlin: Springer, 1997.

DUFFY & ANDREASEN 1999

Duffy, A.; Andreasen, M.: Design Co-ordination. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proceedings of ICED 1999. München: TU München, 1999, S. 113-118.

## DYLLA 1991

Dylla, N.: Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren. München: Carl Hanser, 1991. (Zugl. Dissertation TU München)

## EHRENSPIEL 1993

Ehrlenspiel, K.: Industrieprobleme in Entwicklung und Konstruktion sowie Folgerungen gemäß einer Umfrage. Konstruktion 45 (1993) 12, S. 389-396.

## EHRENSPIEL 1995

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung - Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion. München: Carl Hanser, 1995.

## EHRENSPIEL 1999

Ehrlenspiel, K.: Practicians – how they are designing? ... and why? In: Lindemann, U. et al. (Eds.): Proceedings of ICED 99, Munich. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung 1999, Vol. 2, S. 721-726. (Schriftenreihe WDK 26)

## EISENHARDT &amp; TABRIZI 1995

Eisenhardt, K.; Tabrizi, B. N.: Accelerating Adaptive Processes: Product Innovation in the Global Computer Industry. Administrative Science Quarterly, 40 (1995), S. 84-110.

## EPPINGER ET AL. 1990

Eppinger, S. D.; Whitney, D. E.; Smith, R. P.; Gebala, D. A.: Organizing the Tasks in Complex Design Projects. In Rinderle, J. R. (Ed.): Design Theory and Methodology – DTM 1990. Proceedings of the 1990 ASME Design Engineering Technical Conferences, Chicago/USA. New York: ASME, 1990.

## EPPINGER &amp; WHITNEY 1997

Eppinger, S. D.; Whitney, D. E.: A model-based framework to overlap product development activities. Management Science 43 (1997) 4, S. 437-451.

## ERIXON ET AL. 1996

Erixon, G.; Yxkill, A.v.; Arnström, A.: Modularity – the Basis for Product and Factory Reengineering. In: Annals of the CIRP. Como, 1996.

## EVANS 1990

Evans, B.: Simultaneous Engineering. In: Allen, W. (Ed.): Simultaneous Engineering - Integrating Manufacturing and Design. SME, 1990. S. 3-4.

## EVANS 1993

Evans, S.: Implementation: common failure modes and success factors. In: Parsaei, H.; Sullivan, W.: Concurrent Engineering. London: Chapman & Hall, 1993, S. 42-60.

## EVERSHEIM 1989

Eversheim, W. (Hrsg.): Fertigung und Montage. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989. (Organisation in der Produktionstechnik, Bd. 4)

## EVERSHEIM 1995

Eversheim, W. (Hrsg.): Prozessorientierte Unternehmensorganisation. Berlin: Springer, 1995.

### EVERSHEIM 1998

Eversheim, W. (Hrsg.): SFB 361 – Modelle und Methoden zur integrierten Produkt- und Prozessgestaltung. Arbeits- und Ergebnisberichte 1996/1997/1998. Aachen: RWTH Aachen, 1998.

### EVERSHEIM ET AL. 1989

Eversheim, W.; Saretz, B.; Sossenheimer, K.-H.: Simultaneous Engineering. Entscheidungsstrategie für Produkte und Produktionseinrichtungen. *Industrie Anzeiger* 111 (1989) 69, S. 2-5.

### EVERSHEIM ET AL. 1993

Eversheim, W.; Müller, S.; Krumm, S.; Popp, W.: Montagegerechte Produktstrukturierung. *VDI-Z* 135 (1993) 1/2, S. 67-70.

### EVERSHEIM ET AL. 1994

Eversheim, W.; Heuser, W.; Kümper, R.: Verringerung und Beherrschung der Komplexität stärkt die Wettbewerbsfähigkeit. In: Milberg, J.; Reinhart, G. (Hrsg.): *Unsere Stärken stärken*, Münchener Kolloquium 94, Landsberg: moderne industrie 1994, S. 71-99.

### EVERSHEIM ET AL. 1995A

Eversheim, W.; Rozenfeld, H.; Bochtler, W.; Gräßler, R.: A Methodology for an Integrated Design and Process Planning based on a Concurrent Engineering Reference Model *Annals of the CIRP* 44 (1995) 1, S. 403-406.

### EVERSHEIM ET AL. 1995B

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. 1998

Eversheim, W.; Gräßler, R.; Schulten, I.: Effizienzsteigerung in Konstruktion und Arbeitsplanung. Gezielter Einsatz von Simultaneous Engineering. *ZwF* 93 (1998) 9, S. 429-433.

### EVERSHEIM ET AL. 1999

Eversheim, W.; Graessler, R.; Schulten, I.: Parallel processes managed by an integrated CAD-CAPP-System. In: Lindemann, U. (Editor): *Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design in München*, TU München 1999, S. 381-384.

### EVERSHEIM & LAUFENBERG 1995

Eversheim, W.; Laufenberg, L.: Markterfolg ist planbar. Integrierte Gestaltung von Simultaneous Engineering-Projekten. *VDI-Z* 137 (1995) 1-2, S. 32-36.

### EVERSHEIM & SCHUH 1996

Eversheim, W.; Schuh, G.: *Betriebshütte. Produktion und Management*. Berlin: Springer, 1996.

### FAULSTICH 1998

Faulstich, P.: *Strategien der betrieblichen Weiterbildung – Kompetenz und Organisation*. München: Vahlen, 1998.

## FELDMANN 1996

Feldmann, C.: Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung. Berlin: Springer, 1996. (iwb Forschungsberichte Nr. 104)

## FERSTL &amp; SINZ 1994

Ferstl, O.-K.; Sinz, E.-J.: Der Ansatz des Semantischen Objektmodells (SOM) zur Modellierung von Geschäftsprozessen. Bamberger Beiträge zur Wirtschaftsinformatik. Otto-Friedrich-Universität, 1994.

## FRICKER 1996

Fricker, A.: Eine Methodik zur Modellierung, Analyse und Gestaltung komplexer Produktionsstrukturen. In: Eversheim, W.; Luczak, H. (Hrsg.): Aachener Beiträge zur Humanisierung und Rationalisierung Bd. 17. Aachen: Augustinus Buchhandlung, 1996.

## FRIEDMANN 1989

Friedmann, T.: Integration von Produktentwicklung und Montageplanung durch neue rechnergestützte Verfahren. Karlsruhe, 1989. (Zugl. Diss. TH Karlsruhe)

## GAITANIDES ET AL. 1994

Gaitanides, M.; Scholz, R.; Vrohling, A.; Raster, M.: Prozessmanagement. München: Carl Hanser, 1994.

## GAIROLA 1981

Gairola, A.: Montagegerechtes Konstruieren. Ein Beitrag zur Konstruktionsmethodik. Darmstadt, 1981. (Zugl. Diss. TH Darmstadt)

## GAISER 1993

Gaiser, B.: Schnittstellencontrolling bei der Produktentwicklung. München: Vahlen, 1993.

## GANGHOFF 1993

Ganghoff, P.: Wissensbasierte Unterstützung der Planung technischer Systeme. Karlsruhe, 1993. (Zugl. Dissertation TH Karlsruhe)

## GAUSEMEIER ET AL. 1997

Gausemeier, J. u.a.: Rechnerunterstützte Methode zur Optimierung von Geschäftsprozessen. ZWF 92 (1997) 7-8, S. 347-350.

## GAUSEMEIER ET AL. 1998A

Gausemeier, J.; Grasmann, M.; Hahn, A.: Konfiguration von Prozess- und Produktdatenmodellen in verteilten Entwicklungssystemen. In: Anderl, R. et al. (Hrsg.): Tagungsband CAD 98, Tele-CAD Produktentwicklung in Netzwerken. Darmstadt 1998. Darmstadt DiK, IGD 1998, S. 239-250.

## GAUSEMEIER ET AL. 1998B

Gausemeier, J.; Flath, M.; Grasmann, M.: Geschäftsprozessübergreifendes Produktstrukturmanagement – Integration der bereichsspezifischen Sichten bei der durchgängigen rechnerunterstützten Entwicklung von variantenreichen Erzeugnissen. In: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte. Düsseldorf: VDI 1998, S. 233-252 (VDI-Berichte).

GAUSEMEIER ET AL. 2000

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

GERO 1998

Gero, J.: Towards a Model of Designing which includes its Situatedness. In: Grabowski (Ed.): Universal Design Theory. Aachen: Shaker, 1998.

GIAPOULIS 1996

Giapoulis, A.: Modelle für effektive Konstruktionsprozesse. Aachen: Shaker, 1997. (Zugl. Dissertation TU München)

GOLDSTEIN 1999

Goldstein, B.: Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung. München: Herbert Utz, 1999. (Zugl. Diss. TU München)

GOLM 1995

Gestaltung von Entscheidungsstrukturen zur Optimierung von Produktentwicklungsprozessen. Berlin, 1996. (Zugl. Diss. TU Berlin)

GÖPFERT 1998

Göpfert, J.: Modulare Produktentwicklung. Wiesbaden: Gabler, 1998. (Zugl. Diss. TU München)

GÖTZE 1995

Götze, S.: Die multikriterielle Entscheidungsfindung als Modell für die Simultane Produktentwicklung. Aachen: Shaker, 1995. (Zugl. Diss. Uni Karlsruhe)

GOUVINHAS & CORBETT 1999

Gouvinhas, R.; Corbett, J.: A discussion on why design methods have not been widely used within industry. In: Lindemann, U. et al. (Eds.): Proceedings of ICED 99, Munich. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung 1999, Vol. 2, S. 1167-1170. (Schriftenreihe WDK 26)

GRABOWSKI 1996

Grabowski, H. (Hrsg.): SFB 346 – Rechnerintegrierte Konstruktion und Fertigung. Arbeits- und Ergebnisbericht 1.7.1993-31.12.1996. Karlsruhe: TH Karlsruhe (Eigenverlag), 1996.

GRABOWSKI ET AL. 1993

Grabowski, H.; Anderl R.; Polly, A.: Integriertes Produktmodell. Berlin: Beuth, 1993.

GRABOWSKI ET AL. 1998

Grabowski, H.; Rude, S.; Grein, G.; Meis, e.; El-Mejbri, E.: Universal Design Theory: Elements an Applicability to Computers. In: Grabowski, H.; Rude, S.; Grein, G. (Eds.): Universal Design Theory. Aachen: Shaker, 1998.

GRABOWSKI & GEIGER 1997

Grabowski, H.; Geiger, K. (Hrsg.): Neue Wege zur Produktentwicklung. Stuttgart: Raabe, 1997.

GRADY 1994

Grady, J.O.: System Integration. Tokyo: CRC-Press, 1994.

GRÄBLER 1999

Gräßler, R.: Planungs- und Workflow-Methodik für eine integrierte Konstruktion und Arbeitsplanung. Aachen: Shaker, 1999. (Zugl. Diss. RWTH Aachen)

GROB & HAFFNER 1982

Grob, R.; Haffner, H.: Planungsleitlinien Arbeitsstrukturierung. Berlin: Siemens AG, 1982.

GÜNTHER 1998

Günther, J.: Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess. Eine empirische Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung von Konstrukteuren aus der Praxis. Aachen: Shaker, 1998. (Zugl. Diss. TU München)

HAMMER & CHAMPY 1994

Hammer, M.; Champy, J.: Business Reengineering. Die Radikalkur für das Unternehmen. Frankfurt: Campus, 1994.

HANSEN 1974

Hansen, F.: Konstruktionswissenschaft – Grundlagen und Methoden. München, 1974.

HANSEN ET AL. 1999

Hansen, M. T.; Nohria, N.; Tierney, T.: What's your Strategy for Managing Knowledge. Harvard Business Review (1999) 3-4, S. 106-116.

HARRINGTON 1991

Harrington, H.J.: Business Process Improvement. New York: McGraw-Hill, 1991.

HARTMANN 1997

Hartmann, M. (Hrsg.): DYNAPRO II. Erfolgreich produzieren in turbulenten Märkten. Stuttgart: LOGIS, 1997.

HEINEN 1991

Heinen, E. (Hrsg.): Industriebetriebslehre. Entscheidungen im Industriebetrieb. Wiesbaden: Gabler, 1991.

HEINRICH 1994

Heinrich, L.: Systemplanung: Planung und Realisierung von Informatik-Projekten. Band 1, 6.Auflage. München: R. Oldenburg, 1994.

HILTI 1997

Hilti, M.: Titel gibt's bei uns nicht. In: von Pierer, H.; von Oetinger, B. (Hrsg.): Wie kommt das Neue in die Welt. München: Carl Hanser, 1997.

HIRSCHBERG ET AL. 1999

Hirschberg, A.; Dürrschmidt, S.; Selke, C.; Reinhart, G.: Reaktionsfähigkeit für Unternehmen - Eine Antwort auf turbulente Märkte. ZWF 94 (1999) 1-2, S. 21-24.

HOFER-ALFEIS 1999

Hofer-Alfeis, J. (Hrsg.): Geschäftsprozessmanagement: Innovative Ansätze für wandlungsfähige Unternehmen. Marburg: Tectum, 1999.

HOFMANN & BUNGARD 1995

Hofmann, K.; Bungard, W.: Alle ziehen an einem Strang. Neue Wege für Produktanläufe bei der Mercedes Benz AG. In: Warnecke, H.-J. (Hrsg.): Aufbruch zum fraktalen Unternehmen. Berlin: Springer, 1995.

HORNPOSTEL 1995

Hornpostel, D.: Methode zur Modellierung der Informationsverarbeitung in Industrieunternehmen. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe, 1995. (Zugl. Dissertation Univ.-GH Paderborn)

HUBBERT & REMMEL 1997

Hubbert, J.; Rimmel, M.: Die Endmontage bleibt Kernkompetenz. In: Automobil-Produktion (1997) 10, S. 32-34.

HUBKA 1984

Hubka, V.: Theorie des Konstruktionsprozesses – Grundlage einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre. Berlin: Springer, 1984.

HUMMEL 1999

Hummel, T.: Total Quality Management. München: Carl Hanser, 1997.

HUNDT 2000

Hundt, D.: Chancen der Arbeitswelt im Wandel. In: Reinhart, G.; Hoffmann, H. (Hrsg.): Nur der Wandel bleibt. Wege jenseits der Flexibilität. Münchener Kolloquium 2000. München: Herbert Utz, 2000, S. 203-209.

KAMPHAUSEN 1999

Kamphausen, J.: Prozessmanagement in der Produktentwicklung. Aachen: Shaker, 1999. (Berichte aus der Produktionstechnik Band 3/99)

KLEEDÖRFER 1998

Kleedörfer, R.: Prozess- und Änderungsmanagement der Integrierten Produktentwicklung. Aachen: Shaker, 1998. (Zugl. Diss. TU München).

KLOCKE 1998

Klocke, F.: Produktionsstandort Deutschland. wt Werkstatttechnik 88 (1998) 3, S. 81.

KOCH 1996

Koch, O.: Workflow-Management - Prozeßorientiertes Arbeiten mit der Unternehmens-DV. Haar b. München: Markt & Technik, 1996.

KÖHLER 1997

Köhler, R.: Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinserienprodukten. Berlin: Springer, 1997. (iwb Forschungsberichte Nr. 103)

KOLLER 1994

Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen. Berlin: Springer, 1994.

KONOLD & REGER 1997

Konold, P.; Reger, H.: Angewandte Montagetechnik – Produktgestaltung, Planung, Systeme und Komponenten. Braunschweig: Vieweg & Sohn, 1997.

## KÖPFER 1991

Köpfer, T.: 3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung – ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung. Berlin: Springer, 1991. (iwb Forschungsberichte Nr. 40)

## KOPEL 1994

Kopel, M.: Komplexe Unternehmensdynamik. Chaotische Systeme in der Betriebswirtschaftslehre. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 1994.

## KRALLMANN 1996

Krallmann, H.: Systemanalyse im Unternehmen - Geschäftsprozessoptimierung, partizipative Vorgehensmodelle, objektorientierte Analyse. 2. Auflage. München: Oldenbourg, 1996.

## KRAUSE 1997

Krause, F.-L.: Auf dem Weg zur virtuellen Produktentwicklung. In: Neue Generationen von CAD/CAM-Systemen, München. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997, S. 17-33. (VDI-Berichte 1357)

## KRAUSE ET AL. 1995

Krause, F.-L.; Doblies, M.; Jansen, H.; Kiesewetter, T.; Kind, C.: Verteilte Systeme zur Unterstützung teamorientierter Produktentwicklungsprozesse. Konstruktion 47 (1995) 12, S. 395-400.

## KRAUSE ET AL. 1999

Krause, F.-L.; Kind, C.; Raupach, C.: Prozessoptimierung in der Produktentstehung. In: VDI (Hrsg.): Virtuelle Produktentstehung in der Fahrzeugtechnik. Tagung 9./10. September 1999, Berlin. Düsseldorf: VDI, 1999, S. 63-86. (VDI-Berichte 1489)

## KRESS &amp; LOFERER 1997

Kress, M.; Loferer, M.: Miteinander statt nebeneinander. In: Die neue Fabrik, Modellfabrik als Denkmodell. Landsberg: moderne industrie, 1997, S. 44-46.

## KRING 1989

Kring, J.R.: Ein Modell für ein integriertes Qualitäts- und Prüfplanungssystem in der Montage. Berlin: Springer, 1989.

## KRISHNAN &amp; EPPINGER &amp; WHITNEY 1997

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

## LAUFENBERG 1996

Laufenberg, L.: Methodik zur integrierten Projektgestaltung für die situative Umsetzung des Simultaneous Engineering. Aachen: Shaker, 1996. (Berichte aus der Produktionstechnik Bd. 9/96)

## LE CHATELIER 1999

Le Chatelier, G.: Entwickeln im Bienenstock. In: Automobil-Entwicklung (1999) 5, S. 43-44.

## LINDEMANN 2000

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

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-Bericht 1338)

LINDEMANN ET AL. 1997

Lindemann, U.; Reinhart, G.; Irlinger, R.; Loferer, M.: Integrierte Gestaltung von Produkt und Produktionsmittel. In: Neue Generationen von CAD/CAM-Systemen, München. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997, S. 161-182. (VDI-Berichte 1357)

LINDEMANN ET AL. 1999A

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. (Eds.): Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design. München: TU, 1999, S. 373 - 376.

LINDEMANN ET AL. 1999B

Lindemann, U.; Bichlmaier, C.; Stetter, R.; Viertböck, M.: Integrierte Produktentwicklung in der industriellen Anwendung - Eine Vorgehensweise zur verbesserten Umsetzung der Methodik. Konstruktion 51 (1999) 9, S. 30-34.

LINDEMANN ET AL. 1999C

Lindemann, U.; Reinhart, G.; Bichlmaier, C.; Grunwald, S.: PMM - Process Module Methodology for Integrated Design and Assembly Planning. In: Proceedings of 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, Las Vegas/Nevada/USA. New York: ASME International, 1999.

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 & REICHWALD 1998

Lindemann, U.; Reichwald, R.: Integriertes Änderungsmanagement. Berlin: Springer, 1998.

LINDERMAIER 1998

Lindermaier, R.: Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen. Berlin: Springer, 1998. (iwb Forschungsberichte Nr. 115)

LINNER 1997

Linner, S.: Konzept einer integrierten Produktentwicklung. Berlin: Springer, 1997. (iwb Forschungsberichte Nr. 88)

LINNER ET AL. 1999

Linner, S.; Geyer, M.; Wunsch, A.: Optimierte Prozesse durch Digital Factory Tools. In: VDI (Hrsg.): Virtuelle Produktentstehung in der Fahrzeugtechnik. Tagung 9./10. September 1999, Berlin. Düsseldorf: VDI, 1999, S. 187-198. (VDI-Berichte 1489)

LOTTER 1992

Lotter, B.: Wirtschaftliche Montage. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1992.

## LOTTER 1995

Lotter, B.: Unternehmerische Innovation, eine Alternative zur Verlagerung der Montage in Niedriglohnländer. In: 12. Deutscher Montagekongress, München. Landsberg: moderne industrie 1995, ohne Seitenangabe.

## LULAY 1999

Lulay, W. E.: Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen. München: Herbert Utz, 1999. (Zugl. Diss. TU München)

## LULLIES ET AL. 1993

Lullies, V.; Bollinger, H.; Weltz, F.: Wissenslogistik. Frankfurt: Campus, 1993.

## LULLIES ET AL. 1998

Lullies, V.; Pastowsky, M.; Grandke, S.: Geschäftsprozesse optimieren – ohne Diktat der Technik. Harvard Business Manager (1998) 2, S. 65-72.

## MADDUX &amp; SOUDER 1993

Maddux, G.; Souder, W.: Overcoming barriers to the implementation of Concurrent Engineering. In: Parsaei, H.; Sullivan, W. (Eds.): Concurrent Engineering – Contemporary issues and modern design tools. London: Chapman & Hall, 1993.

## MARCA &amp; MCGOWAN 1988

Marca, D. A.; McGowan, C. L.: SADT – Structured Analysis and Design Technique. New York, 1988.

## MARKO 1995

Marko, H.: Systemtheorie. Methoden und Anwendungen für ein- und mehrdimensionale Systeme. Berlin: Springer, 1995.

## MEERKAMM 1998

Meerkamm, H.: Integrierte Produktentwicklung. Konstruktion 50 (1998) 9, S. 3-5.

## MELLINGHOFF 1999

Mellinghoff, U.: Know-how Transfer vom Montageband. In: Automobil-Entwicklung (1999) 3, S. 14-16.

## MERKEL 1995

Merkel, H.: Logistik Managementsysteme. München: Oldenbourg, 1995.

## MERTINS ET AL. 1994

Mertins, K.; Süssenguth, W.; Jochem, R.: Modellierungsmethoden für rechnerintegrierte Produktionsprozesse. München: Carl Hanser, 1994.

## MERZ 1987

Merz, K.-P.: Entwicklung einer Methode zur Planung der Struktur automatisierter Montagesysteme. Aachen: Shaker, 1987.

## MILBERG 1991

Milberg, J.: Die rechnerintegrierte Produktion. In: Bayerischer Forschungsverbund Systemtechnik (Hrsg.): Systemtechnik – ein Instrument der Unternehmensführung, 10. Oktober 1991. Tagungsband, S. 2b-1 – 2b-31.

MILBERG 1997

Milberg, J.: Produktion – Eine treibende Kraft für unsere Volkswirtschaft. In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Mit Schwung zum Aufschwung. Münchener Kolloquium '97. Landsberg/Lech: moderne industrie, 1997, S. 19-39.

MILBERG 1998

Milberg, J.: Perspektiven für die Produktion aus der Sicht des Fahrzeugbaus. In: Bey, I. (Hrsg.): Karlsruher Arbeitsgespräche 1998: Produktion 2000 – Ergebnisse und Zukunftschancen. Karlsruhe: Forschungszentrum Karlsruhe, 1998, S. 5-14.

MILBERG 2000

Milberg, J.: Unternehmenspolitik im Wandel. In: Reinhart, G. (Hrsg.); Hoffmann, H.: Münchener Kolloquium. ... nur der Wandel bleibt. 16./17. März 2000. München: Herbert Utz, 2000, S. 311-331.

MILBERG & REITZLE 1994

Milberg, J., Reitzle, W.: Die Prozesse sind nicht sicher genug. Automobil-Produktion (1994) 4, S. 30-32.

MINTZBERG 1989

Mintzberg, H.: Mintzberg on Management. New York: The Free Press, 1989.

MINTZBERG 1991

Mintzberg, H.: Mintzberg über Management: Führung und Organisation, Mythos und Realität. Wiesbaden: Gabler, 1991.

MÜLLER & REINDL 1999

Müller, G.; Reindl, P.: Der BMW DMU-Prozess mit Entwicklungspartnern. In: VDI (Hrsg.): Virtuelle Produktentstehung in der Fahrzeugtechnik. Tagung 9./10. September 1999, Berlin. Düsseldorf: VDI, 1999, S. 135-147. (VDI-Berichte 1489)

MURR 1999

Murr, O.: Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen. München, 1999. (Zugl. Diss. TU München)

NEVINS & WHITNEY 1989

Nevins, J.L.; Whitney, D.E.: Concurrent Design of Product and Processes. New York: McGraw Hill, 1989.

NORTH 1999

North, K.: Wissensorientierte Unternehmensführung: Wertschöpfung durch Wissen. Wiesbaden: Gabler, 1999.

ORTON & WEICK 1990

Orton, J.D.; Weick, K.E.: Loosely coupled Systems: A Reconceptualization. Academy of Management Review 15 (1990) 2, S. 203-223.

OST 1993

Ost, S.: Entwicklung eines Verfahrens zur differenzierten Flexibilitätsanalyse und -bewertung. Hamburg: TU Hamburg-Harburg (Eigenverlag), 1993.

## PAHL &amp; BEITZ 1997

Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung. 4. Auflage. Berlin: Springer, 1997.

## PASLACK 1991

Paslack, R.: Urgeschichte der Selbstorganisation. Braunschweig: Vieweg, 1991.

## PENNEL ET AL. 1989

Penell, J. P.; Winner, R. I.; Bertrand, H. E.; Slusarczuk, M. M. G.: Concurrent Engineering – An Overview for Autotestcon. In: Proceedings Autotestcon 89 Conference, 25.-28. Sept. 1989, Philadelphia, USA, S. 88-99.

## PFEIFER 1993

Pfeifer, T.: Qualitätsmanagement: Strategien, Methoden, Techniken. München: Carl Hanser, 1993.

## PFEIFER ET AL. 1998

Pfeifer, T.; Klonaris, P.; Reinecke, R.; Homering, J.; Steins, D.: Corporate Memory – Erfahrungswissen in einem Unternehmensgedächtnis speichern. In: Werkstatttechnik 88 (1998) 5, S. 211-216.

## PFEIFFER &amp; DÖGL 1990

Pfeiffer, W.; Dögl, R.: Das Technologieportfolio zur Beherrschung der Schnittstelle Technik und Unternehmensstrategie. In: Hahn, D. (Hrsg.); Taylor, B.: Strategische Unternehmensplanung. 5. Aufl. Heidelberg: Physica 1990, S. 254-282.

## PICOT ET AL. 1996

Picot, A.; Reichwald, R.; Wigand, R.: Die grenzenlose Unternehmung. Information, Organisation und Management. 3. überarb. Aufl., Wiesbaden: Gabler, 1996.

## PIECH 1996

Piech, F.: Automobilindustrie steht an einem Wendepunkt. VW-Report Nr. 6: Zukunftssicherung durch Umbau. Sonderveröffentlichung des Wolfsburger Kurier. Mai 1996.

## VON PIERER 1998

Pierer, v. H.: Siemens- die Kraft des Neuen. Mit Innovationen Wettbewerbsfähigkeit sichern. Statement auf der Fachpresstagung zur Hannover Messe 1998, 20. Januar 1998.

## PILLER 1998

Piller, F. T.: Kundenindividuelle Massenproduktion. Der Wettbewerbsfaktor der Zukunft. München: Carl Hanser, 1998.

## PRASAD 1996

Prasad, B.: Concurrent Engineering Fundamentals – Integrated Product and Process Organization. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall, 1996.

## PROBST 1987

Probst, G.: Selbst-Organisation - Ordnungsprozesse in sozialen Systemen aus ganzheitlicher Sicht. Berlin: Paul Parey, 1987.

RADTKE 1995

Radtko, M.: Konzept zur Gestaltung prozess- und integrationsgerechter Produktmodelle. Kaiserslautern, 1995. (Zugl. Diss. Universität Kaiserslautern)

REICHWALD & SCHMELZER 1990

Reichwald, R.; Schmelzer, H. J.: Durchlaufzeiten in der Entwicklung. München: Oldenbourg, 1990.

REINHART 1996

Reinhart, G.: Planung von Produktionssystemen. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Betriebsstätte - Produktion und Management. Berlin: Springer, 1996.

REINHART 1997

Reinhart, G.: Innovative Prozesse und Systeme – der Weg zu Flexibilität und Wandlungsfähigkeit. In: Reinhart, G. (Hrsg.); Milberg, J. (Hrsg.): Mit Schwung zum Aufschwung – Information, Inspiration, Innovation, München. Landsberg: moderne industrie 1997.

REINHART 1998A

Reinhart, G.: Simultan ist gut – Gemeinsam ist besser: Kooperative Produkt- und Anlagenentwicklung. In: Tagungsband des 14. Deutschen Montagekongresses 18./19. März 1998, München. Landsberg/Lech: moderne industrie, 1998, S. 1-18.

REINHART 1998B

Reinhart, G. (Hrsg.): Montage-Management - Lösungen zum Montieren am Standort Deutschland. München: Transfer-Centrum, 1998.

REINHART 1998C

Reinhart, G.: Systemtechnik in der Produktion - Beispiele zur Produktionssteuerung und Montage. Ringvorlesung Systemtechnik WS 97/98 an der TU München. München: TU München (Eigenverlag), 1998.

REINHART 1999A

Reinhart, G.: Vom Wandel der Zeit - Wandel als Chance für unsere Unternehmen im globalen Wettbewerb. ZWF 94 (1999) 1-2, S. 14.

REINHART 1999B

Reinhart, G.: Montagetechnik, Handhabung und Industrieroboter. Skriptum zur Vorlesung. München: TU München (Eigenverlag), 1999.

REINHART 2000

Reinhart, G.: Im Denken und Handeln wandeln. In: Reinhart, G. (Hrsg.); Hoffmann, H.: Münchener Kolloquium. ... nur der Wandel bleibt. 16./17. März 2000. München: Herbert Utz, 2000, S. 17-40.

REINHART ET AL. 1997A

Reinhart, G.; Reindl, P.; Murr, O.: Gestaltung von Digital Mock-Up Entwicklungsprozessen. In: Information Management - Sonderausgabe „Business Engineering“ (1997) 7, S. 22-25.

## REINHART ET AL. 1997B

Reinhart, G.; Lindemann, U.; Bichlmaier, C.; Feldmann, C.; Glander, M.; Schmalzl, B.; Zanker, W.: Integrierte Produktentwicklung in Konstruktion und Montageplanung. Projektmanagement 8 (1997) 1, S. 4-15.

## REINHART ET AL. 1998

Reinhart, G.; Hirschberg, A.; Grunwald, S.: Turbulentes Umfeld zwingt zum Wandel. iwb newsletter 6 (1998) 4, S. 1-2. ISSN 1434 - 324X

## REINHART ET AL. 1999A

Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.; Hirschberg, A.; Selke, C.: Reaktionsfähigkeit für Unternehmen. Zwf 94 (1999) 1-2, S. 31-35.

## REINHART ET AL. 1999C

Reinhart, G.; Grunwald, S.; Lindermaier, R.; Murr, O.: Kontinuierliche Prozessbewertung sichert den Erfolg unternehmensübergreifender Engineeringprojekte. In: Wildemann, H. (Hrsg.): Virtuelle Fabrik - Wandlungsfähigkeit durch dynamische Unternehmenskooperationen. München: TCW, 1999. (ISBN 3-931511-64-2)

## REINHART ET AL. 1999D

Reinhart, G.; Grunwald, S.; Rick, F.: Virtuelle Produktion - Virtuelle Produkte im Rechner produzieren. VDI-Z 141 (1999) 12, S. 26-29.

## REINHART ET AL. 1999E

Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.; Krüger, A. In: Tagungsband zum 15. Deutschen Montagekongress 13./14.10.1999, München. Landsberg: moderne industrie, S. 1-9.

## REINHART ET AL. 2000

Reinhart, G.; Glander, M.; Grunwald, S.; Reicheneder, J.; Stetter, R.; Zanner, S.: Flexible Produktentwicklung und Montageplanung mit integrierten Prozessbausteinen. Zwf 95 (2000) 1/2, S. 19-22.

## REINHART &amp; GRUNWALD 1999

Reinhart, G.; Grunwald, S.: Engineering-Netzwerke garantieren Effizienz und Wandlungsfähigkeit. In: Wildemann, H. (Hrsg.): Virtuelle Fabrik - Wandlungsfähigkeit durch dynamische Unternehmenskooperationen. München: TCW, 1999. (ISBN 3-931511-64-2)

## REINHART &amp; GRUNWALD 2000

Reinhart, G.; Grunwald, S.: Einführung wandlungsfähiger Prozesse im Engineering. Zwf 95 (2000) 7-8, S. 351-355.

## REINHART &amp; 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, Fukuoka/Japan. IEEE, 28.-30.05.2001.

## REINHART &amp; LOFERER 1996

Reinhart, G.; Loferer, M.: Cooperative Work in Product Development Processes. In: Proceedings of Applied Concurrent Engineering 96, Seattle, WA, USA, 5.-7.11.1996.

RIECKMANN & LANGE 1999

Rieckmann, W.; Lange, R.: Einführung des Concurrent Engineering bei Airbus. In: VDI (Hrsg.): Virtuelle Produktentstehung in der Fahrzeugtechnik. Tagung 9./10. September 1999, Berlin. Düsseldorf: VDI, 1999, S. 89-98. (VDI-Berichte 1489)

RITZÉN ET AL. 1999

Ritzén, S.; Beskow, C.; Norell, M.: Continuous Improvement of the Product Development Process. In: Lindemann, U. et al. (Eds.): Proceedings of ICED 99, Munich. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung 1999, Vol. 2, S. 793-798. (Schriftenreihe WDK 26)

RODENACKER 1984

Rodenacker, W.G.: Methodisches Konstruieren. 3. überarb. Auflage. Berlin: Springer, 1984.

ROGGATZ 1998

Roggatz, A.: Entscheidungsunterstützung für die frühen Phasen der integrierten Produkt- und Prozessgestaltung. Aachen: Shaker, 1998. (Berichte aus der Produktionstechnik; Bd. 98/25)

ROPOHL 1975

Ropohl, G.: Systemtechnik – Grundlagen und Anwendung. München: Carl Hanser, 1975.

ROSENBERG 1996

Rosenberg, O.: Variantenfertigung. In: Kern, W. et al. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Aufl. Stuttgart: Schäffer, S. 2119-2129.

ROSS 1977

Ross, D.T.: Structured Analysis (SA). A Language for Communicating Ideas. IEEE Transactions on Software Engineering (1977) SE-3, S. 16-34.

ROßGODERER & WOENCKHAUS 1995

Roßgoderer, U.; Woenckhaus, C.: A Concept for Automatical Layout Generation. In: Proceedings of the 1995 IEEE International Conference of Robotics and Automation, Nagoya. (1995) 1, S. 800-805.

ROTH 1982

Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Berlin: Springer, 1982.

SARETZ 1993

Saretz, B.: Entwicklung einer Methodik zur Parallelisierung von Planungsabläufen. Aachen: Shaker, 1993. (Zugl. Diss. RWTH Aachen)

SCHACHER 1999

Schacher, D.: Prozesse und virtuelle Techniken im globalen Unternehmen. In: VDI (Hrsg.): Virtuelle Produktentstehung in der Fahrzeugtechnik. Tagung 9./10. September 1999, Berlin. Düsseldorf: VDI, 1999, S. 3-15. (VDI-Berichte 1489)

SCHÄFER 1992

Schäfer, G.: Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung. München: Carl Hanser, 1992.

## SCHEER 1994A

Scheer, A.-W.: Architektur integrierter Informationssysteme: Grundlagen der Unternehmensmodellierung, 2.Auflage. Berlin: Springer, 1994.

## SCHEER 1994B

Scheer, A.-W.: Wirtschaftsinformatik: Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse, 5. Auflage. Berlin: Springer, 1994.

## SCHMALZL 1996

Schmalzl, B.: Ein Projektleitsystem im integrierten Produkterstellungsprozess. VDI-Fortschrittsberichte, Reihe 20 - Rechnergestützte Verfahren. Nr. 202. Düsseldorf: VDI, 1996.

## SCHMIDT 1992

Schmidt, M.: Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme. Berlin: Springer, 1992. (iwb-Forschungsberichte Nr. 41)

## SCHMIDT &amp; GANGHOFF 1991

Schmidt, J.; Ganghoff, P.: Wissensbasierte Planung der Aufbau- und Ablaufstruktur von Montagesystemen. VDI-Z 133 (1991) 11, S. 85-92.

## SCHNEIDER 1998

Schneider, H.: Endlich Ordnung im Dschungel der Kompetenzen. Management & Qualität (1998) 7/8, S. 52.

## SCHOLZ 1989

Scholz, W.: Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen. München: Carl Hanser, 1989.

## SCHOLZ-REITER 1990

Scholz-Reiter, B.: CIM – Informations- und Kommunikationssysteme. Darstellung von Methoden und Konzeption eines rechnergestützten Werkzeugs für die Planung. München: Oldenbourg, 1990.

## SCHREINER 1996

Schreiner, P.: Ein Beitrag zur agentengetriebenen kooperativen Produktentwicklung. Aachen: Shaker, 1996. (Zugl. Diss. Uni Karlsruhe)

## SCHUH &amp; SPETH 1998

Schuh, G.; Speth, C.: Integriertes Komplexitätsmanagement. In: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte. Düsseldorf: VDI, 1998, S. 157-174. (VDI-Berichte)

## SCHULZ-WOLFGRAMM 2000

Schulz-Wolfgramm, C.: Neues Denken und Handeln für Innovation und Restrukturierung. In: Reinhart, G.; Hoffmann, H. (Hrsg.): Nur der Wandel bleibt. Wege jenseits der Flexibilität. Münchener Kolloquium 2000. München: Herbert Utz, 2000, S. 41-58.

## SCHUMANN 1994

Schumann, G.: Adaptive Planung des Produktentwicklungsprozesses. München: Carl Hanser, 1994. (Zugl. Diss. TU Berlin)

SCHUSTER 1992

Schuster, G.: Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage. Berlin: Springer, 1992. (iwb-Forschungsberichte Nr. 55)

SELIGER 1988

Seliger, G.: Integrierte Montageplanung. ZWF CIM Sonderheft 1988, S. 45-47.

STELZLE 1998

Stelzle, H. (Hrsg.): Die Zulieferer im Haus. Automobil Produktion – Sonderausgabe ‚Der neue 3er‘, April 1998, S. 62-66.

SENGE 1998

Senge, P.: Die fünfte Disziplin. Stuttgart: Klett-Cotta, 1998.

SERVATIUS 1994

Servatius, H.-G.: Reengineering-Programme umsetzen: Von erstarrten Strukturen zu fließenden Prozessen, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1994.

SOBEK & LIKER & WARD 1998

Sobek, D. K.; Liker, J. K.; Ward, A. C.: Another Look at how Toyota integrates Product Development. In: Harvard Business Review (1998) 7/8, 36-49.

SPATH ET AL. 1998

Spath, D.; Matt, D.; Riedmiller, S.; Scharer, M.: Aufbruch zu neuen Märkten. ZWF 93 (1998) 1-2, S. 12-14.

SPATH ET AL. 1999

Spath, D.; Olbrich, W.; Baumeister, M.: Bevorratungsarme Montage in hybriden Montagesystemen. In: Tagungsband zum 15. Deutschen Montagekongress 13./14.10.1999, München. Landsberg: moderne industrie, 1999, S. 1-11.

SPÄTH 2000

Späth, L.: Zukunft ohne Risiko? Haben wir Angst vor zuviel Wandel?. In: Reinhart, G.; Hoffmann, H. (Hrsg.): Nur der Wandel bleibt. Wege jenseits der Flexibilität. Münchener Kolloquium 2000. München: Herbert Utz, 2000, S. N19-N29.

SPIES 1997

Spies, J.: Montagegerechte Produktgestaltung am Beispiel des komplexen Großserienproduktes Automobil. Zürich, 1997. (Zugl. Dissertation ETH Zürich)

SPUR 1996

Spur, G.: Schlüsseltechnologie Automatisierung. ZWF 91 (1996) 4, S. 120-121.

SPUR 1997

Spur, G.: Auf dem Weg zur virtuellen Produktentwicklung. ZWF 92 (1997) 3, S. 74-75.

SPUR & MERTINS 1993

Spur, G.; Mertins, K.; Jochem, R.: Integrierte Unternehmensmodellierung. Berlin: Beuth, 1993.

## STATISTISCHES BUNDESAMT 1997

Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands. Endbericht an das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie. Hannover: Statistisches Bundesamt (Eigenverlag), 1997, S. 83.

## STETTER 2000

Stetter, R.: Method Implementation in Integrated Product Development. München, 2000. (Zugl. Diss. TU München)

## STUFFER 1994

Stuffer, R.: Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung. München: Carl Hanser, 1994. (Konstruktionstechnik München; Bd. 14)

## STUFFER &amp; KLEEDÖRFER 1997

Stuffer, R.; Kleedörfer, R.: Prozessmanagement im Wandel - zeitgerechte Ansätze zur Prozessplanung und -steuerung. EDM-Report 3 (1997) 2, S. 42-47.

## SUH 1998

Suh, N. P.: Axiomatic Design as a Basis for Universal Design Theory. In: Grabowski, H.; Rude, S.; Grein, G. (Hrsg.): Universal Design Theory. Aachen: Shaker, 1998, S. 5-24.

## TERWIESCH &amp; LOCH 1998

Terwiesch, C.; Loch, C.: Communication and uncertainty in concurrent engineering. In: Management Science 44 (1998) 8, S. 455-465

## TERWIESCH &amp; LOCH 1999

Terwiesch, C.; Loch, C.: Measuring the Effectiveness of Overlapping Development Activities. In: Management Science 45 (1999) 4, S. 455-465

## TIELSCH &amp; HEINTZ 1998

Tielsch, R.; Heintz, M.; Saßmannshausen, A.; Qualifizierung und berufliche Kompetenzentwicklung im Service Engineering. Information Management & Consulting 13 (1998) Sonderausgabe, S. 53.

## TILCH 1994

Tilch, H.: Innovationsorientiertes Personalmanagement. Integrierte Entwicklung von Qualifikation, Organisation und EDV im Maschinenbaubetrieb. Reihe Berufliche Bildung, Band 14. Bremen: Donat, 1994.

## UHLMANN 1998

Uhlmann, E.: Regionale Stärken für globale Chancen durch technologische Innovationen. In: IX. Internationales Produktionstechnisches Kolloquium 98 (Tagungsband). Berlin: Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik 1998, S. 13-27.

## UHLMANN &amp; SCHRÖDER 1998

Uhlmann, E.; Schröder, C.: Agile Produktion als Antwort auf den Wandel der Märkte. In: ZwF 93 (1998) 5, S. 180-184.

## ULRICH &amp; EPPINGER 1995

Ulrich, K.T.; Eppinger, S.D.: Product Design and Development. New York: McGraw-Hill, 1995.

UNGEHEUER 1986

Ungeheuer, U.: Produkt- und Montagestrukturierung. Methodik zur Planung einer anforderungsgerechten Produkt- und Montagestruktur für komplexe Erzeugnisse der Einzel- und Kleinserienproduktion. Aachen, 1986. (Zugl. Diss. RWTH Aachen)

VDI RICHTLINIE 2221

VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI, 1993.

VESEY 1991

Vesey, J. T.: The new competitors: They think in terms of speed to market. *Academy of Management Executive* 5 (1991) 2, S. 23-33.

VIERTLBÖCK 2000

Viertlböck, M: Modell der Methoden- und Hilfsmiteleinführung im Bereich der Produktentwicklung. München, 2000. (Zugl. Diss. TU München)

WANG & JIN 1999

Wang, K.-L.; Jin, Y.: Modeling Dependencies in Engineering Design. In: *Proceedings of 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences*, September 12-15, Las Vegas/Nevada/USA. New York: ASME International, 1999.

WARD & LIKER & CRISTIANO & SOBEK 1995

Ward, A.; Liker, J.V.; Cristiano, J.J.; Sobek II, D.K.: The Second Toyota Paradox: How Delaying Decisions Can Make Better Cars Faster. *Sloan Management Review*, Spring Issue, 1995, S. 43-61.

WARNECKE 1992

Warnecke, H.-J.: Die fraktale Fabrik: Revolution der Unternehmenskultur. Berlin: Springer, 1992.

WARNECKE 1993

Warnecke, H. J.: Revolution der Unternehmenskultur: Das Fraktale Unternehmen. 2. Aufl. Berlin: Springer, 1993.

WARNECKE 1997

Warnecke, H.-J.: Komplexität und Agilität – Gedanken zur Zukunft produzierender Unternehmen. In: Schuh, G.; Wiendahl, H. P. (Hrsg.): *Komplexität und Agilität*. Berlin: Springer, 1997, S. 1-8.

WARNECKE 1998

Warnecke, H.-J.: Zur Informations- und Kommunikationstechnik. *wt Werkstattstechnik* 88 (1998) 3, S. 65.

WARNECKE & KNICKEL 1997

Warnecke, G.; Knickel, V.: Reduzierung der Komplexität bei vernetzter Produktentwicklung. *wt Werkstattstechnik* 87 (1997), S. 355-358.

WARNECKE ET AL. 1998A

Warnecke, H. J.; Sihm, W.; Wiendahl, H.-H.: Informationstechnologie unterstützt die verteilte Produktion. *wt Werkstattstechnik* 88 (1998) 3, S. 87-92.

## WARNECKE ET AL. 1998B

Warnecke, G.; Gissler, A.; Stammwitz, G.: Referenzmodell Wissensmanagement - Ein Ansatz zur modellbasierten Gestaltung wissensorientierter Prozesse. Information Management 13 (1998) 1, S. 25-29.

## WEBER 1998

Weber, H.: Konzept eines Modells zur Produktentwicklung. Berlin, 1998. (Zugl. Diss. TU Berlin)

## WESTKÄMPER 1996

Westkämper, E. (Hrsg.): Sonderforschungsbereich 467 - Wandlungsfähige Produktionssysteme im turbulenten Umfeld – Finanzierungsantrag 1997, 1998, 1999. Stuttgart: Universität Stuttgart (Eigenverlag), 1996.

## WESTKÄMPER 1998

Westkämper, E.: Die Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Wettbewerbsfaktor Unternehmensorganisation: wie Unternehmen erfolgreich reorganisieren; 14. und 15. Oktober 1998, Stuttgart. Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 1998, S. 7-33. (Fraunhofer IPA-Innovationsforum F 32)

## WESTKÄMPER 1999A

Westkämper, E. (Hrsg.): Sonderforschungsbereich 467 - Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für die variantenreiche Serienproduktion. Ergebnisberichte 1997, 1998, 1999. Stuttgart: Universität Stuttgart (Eigenverlag), 1999.

## WESTKÄMPER 1999B

Westkämper, E.: Die Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. wt Werkstatttechnik 89 (1999) 4, S. 131-140.

## WESTKÄMPER ET AL. 1998

Westkämper, E.; Balve, P.; Wiendahl, H.-H.: Auftragsmanagement in wandlungsfähigen Unternehmensstrukturen. PPS-Management 3 (1998) 1, S. 22-26.

## WEULE 1996

Weule, H.: Die Bedeutung der Produktentwicklung für den Standort Deutschland. VDI-Tagung Informationsverarbeitung in der Konstruktion 1996. München: 22./23.10.1996.

## WHEELWRIGHT &amp; CLARK 1994

Wheelwright, S.C.; Clark, K.B.: Revolution der Produktentwicklung. Frankfurt: Campus, 1994.

## WHITNEY ET AL. 1999

Whitney, D. E.; Dong, Q.; Judson, J.; Mascoli, G.: Introducing Knowledge-Based Engineering Into an Interconnected Product Development Process. In: Proceedings of 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, Las Vegas/Nevada/USA. New York: ASME International, 1999.

## WIENDAHL 1999

Wiendahl, H.-P.: Beschäftigungswirksame Produktionskonzepte. In: Tagungsband zum 15. Deutschen Montagekongress 13./14.10.1999, München. Landsberg: moderne industrie, 1999, S. 1-9.

WIENDAHL ET AL. 1998

Wiendahl, H.-P.; Helms, K.; Höbig, M.: Management of Variable Production Networks – Vison, Management and Tools. In: Annals of the CIRP 47 (1998) 2.

WIENDAHL & HERNÁNDEZ 2000

Wiendahl, H.-P.; Hernández, R.: Wandlungsfähigkeit – neues Zielfeld in der Fabrikplanung. Industrie Management 16 (2000) 5, S. 37-41.

WIENDAHL & SCHEFFCYK 1996

Wiendahl, H.-P.; Scheffcyk, H.: Gestaltung wandlungsfähiger Fabrikstrukturen - Strategien, Planungsmethoden, Beispiele. In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg.): Stuttgarter Impulse – Innovation durch Technik und Organisation. Fertigungstechnisches Kolloquium FTK 1997, Tagungsband. Berlin: Springer, 1997.

WIESHEU 2000

Wiesheu, O.: Innovation statt Stagnation – Bayerns Strategie für den Wandel. In: Reinhart, G.; Hoffmann, H. (Hrsg.): Nur der Wandel bleibt. Wege jenseits der Flexibilität. Münchener Kolloquium 2000. München: Herbert Utz, 2000, S. N3-N17.

WILDEMANN 1993

Wildemann, H. (Hrsg.): Lean Management – Strategien zur Erreichung wettbewerbsfähiger Unternehmen. Frankfurt: Frankfurter Allgemeine Zeitung, Verl.-Bereich Wirtschaftsbücher, 1993.

WILDEMANN 1994

Wildemann, H.: Die modulare Fabrik: Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung, 4. Aufl. München: TCW, 1994.

WITTLAGE 1986

Wittlage, H.: Methoden und Techniken praktischer Organisationsarbeit, 2.Aufl. Berlin: Neue Wirtschafts-Briefe GmbH, 1986.

WUCHERER 2000

Wucherer, K.: Informationstechnologie – die Chance zu neuen Systemkonzepten. In: Reinhart, G.; Hoffmann, H. (Hrsg.): Nur der Wandel bleibt. Wege jenseits der Flexibilität. Münchener Kolloquium 2000. München: Herbert Utz, 2000, S. 245-259.

WÜTHERICH 1990

Wütherich, H.: Neuland des strategischen Denkens. Die Unternehmung, 44 (1990) 3, S. 178-201.

ZAHN ET AL. 1990

Zahn, E.; Foschiani, S.; Kleinhans, A.: Strategieunterstützungsmodelle in der Produktion. In: Zahn, E. et al. (Hrsg.): Organisationsstrategie und Produktion. München: Hudak-Druck, 1990.

ZAHN ET AL. 1992

Zahn, E.; Braun, F.; Dogan, D.; Weidler, A.: Ganzheitliche Produktentwicklung als Schlüssel zur Reduzierung von Entwicklungszeiten. In: Scheer, A.W. (Hrsg.): Simultane Produktentwicklung. München, 1992, S. 429-484.

ZANKER 1999

Zanker, W.: Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden. Aachen: Shaker, 1999. (Zugl. Diss. TU München)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Umfeldeinflüsse auf das Wirtschaften von Produktionsunternehmen.....	1
Abbildung 1-2: Zusammenhang zwischen dem Umfeld und der geforderten Flexibilität und Reaktionsfähigkeit (nach REINHART 2000, S. 39).....	4
Abbildung 1-3: Einordnung von Entwicklung und Planung in den Produktlebenslauf.....	5
Abbildung 1-4: Stellhebel (in Anlehnung an LOTTER 1992).....	6
Abbildung 1-5: Maßnahmen zur Entwicklungszeitverkürzung (nach BULLINGER 1990).....	7
Abbildung 1-6: Maßnahmen zur Steigerung der Entwicklungseffizienz (nach EHR- LENSPIEL 1993, S. 389ff).....	7
Abbildung 1-7: Zeitpunkt der Einbindung ausgewählter Abteilungen in Entwicklungs- prozesse (BULLINGER 1990).....	7
Abbildung 1-8: Einführung, Einsatz und Weiterentwicklung modellbasierter Ent- wicklungs- und Planungsprozesse.....	8
Abbildung 1-9: Überblick über die Inhalte der Arbeit.....	9
Abbildung 2-1: Entstehen interner Dynamik in Produktentwicklung und Montageplanung (in Anlehnung an SARETZ 1993, S. 16).....	17
Abbildung 2-2: Entwicklungsprojekte im Vergleich (nach ULRICH & EPPINGER 1995).....	18
Abbildung 2-3: Determinanten der Entwicklungsprozessgestaltung.....	19
Abbildung 4-1: Relevante Themenfelder im Stand der Forschung und Technik.....	25
Abbildung 4-2: Grundmodell eines Prozesses zur Verdeutlichung externer und interner Kunden-Lieferanten-Beziehungen in Anlehnung an DIN 19222 (GAITANIDES ET AL. 1994, S. 23; HUMMEL 1997).....	26
Abbildung 4-3: Kostens optimaler Grad der Arbeitsteilung (in Anlehnung an PICOT ET AL. 1996, S. 213).....	28
Abbildung 4-4: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI-Richtlinie 2221/2222 und der Vorgehenszyklus nach EHR- LENSPIEL 1995.....	29
Abbildung 4-5: Prinzipielles Vorgehen bei der Montageplanung (nach BULLINGER 1986; FELDMANN 1996; GROB & HAFFNER 1982; KONOLD & REGER 1997; LOTTER 1992; SCHUSTER 1992).....	33

Abbildung 4-6: Aufgabeninhalte einer parallelen Marktbearbeitung, Produkt- und Prozessentwicklung (vgl. ULRICH & EPPINGER 1995, S. 3-4 und S. 14-18; WHEELWRIGHT & CLARK 1994, S. 237; GÖPFERT 1998, S. 66).....	37
Abbildung 4-7: Verzahnung von Konstruktion und Montageplanung (FELDMANN 1996) .....	39
Abbildung 4-8: Elemente der Integrierten Produktentwicklung (LINDEMANN & KLEEDÖRFER 1997) .....	40
Abbildung 4-9: Determinanten von Produkt, Montagevorgang und Montageanlage.....	43
Abbildung 4-10: Produktstrukturierungsansätze (nach ANDREASEN ET AL. 1985).....	44
Abbildung 4-11: Funktionale Gliederung des Montageablaufs.....	47
Abbildung 4-12: Systembegriff nach DAENZER & HUBER (1994) .....	49
Abbildung 4-13: Einflussfaktoren auf Einführungsprozesse (VIERTLBÖCK 2000, S. 98) .....	52
Abbildung 4-14: Vorgehensplan für Aufbau und Einführung der Methodik der Integrierten Produktentwicklung nach EHRENSPIEL (1995, S. 270).....	53
Abbildung 4-15: Interaktionsbedarf bei unterschiedlichen Modularisierungsgraden (in Anlehnung an WEBER 1998, S. 51) .....	60
Abbildung 4-16: Überblick zur Anforderungserfüllung existierender Ansätze .....	70
Abbildung 5-1: Prinzip der Flexibilisierung von Entwicklungs- und Planungs- prozessen .....	72
Abbildung 5-2: Vorteile einer Prozessmodularisierung .....	73
Abbildung 5-3: Beispiel für einen integrierten Prozessbaustein nach BICHLMAIER & GRUNWALD (1998) .....	75
Abbildung 5-4: Klassifizierung eines Prozessbausteins.....	78
Abbildung 5-5: Grundmuster methodischer Entwicklungs- und Planungsprozesse .....	82
Abbildung 5-6: Abgleich paralleler Teilprozesse durch Synchronisationsbausteine.....	85
Abbildung 5-7: Strukturierung von Produkt, Montagevorgängen und Anlagen.....	87
Abbildung 5-8: Informationseinheiten und deren Reifestufen .....	88
Abbildung 5-9: Interdependenzen zwischen Konkretisierung und Absicherung.....	89
Abbildung 5-10: Kategorisierung von Entwicklungsmethoden hinsichtlich Bezug.....	91
Abbildung 5-11: Klassifizierungsschema für Personalressourcen .....	92
Abbildung 5-12: Aufbau von Prozess-, Methoden- und Kompetenzbaukästen.....	92

Abbildung 5-13: Strukturierung des Prozessbaukastens.....	94
Abbildung 5-14: Klassifizierungsschema für Methoden/Werkzeuge.....	95
Abbildung 5-15: Klassifizierungsschema für Kompetenzen.....	96
Abbildung 5-16: Auswahlvorgang von Kompetenz und Kompetenzträger.....	97
Abbildung 6-1: Vorgehensmodell zur Einführung und Anwendung .....	99
Abbildung 6-2: Vereinfachte Darstellung der integrierten Arbeitsinhalte.....	102
Abbildung 6-3: Zielstrukturierung.....	103
Abbildung 6-4: Grundsätzliche Anpassungsmöglichkeiten bei der Methoden- einführung .....	108
Abbildung 6-5: Qualifizierung des Personals .....	109
Abbildung 6-6: Qualifizierung von Methoden und Werkzeugen.....	110
Abbildung 6-7: Qualifizierung der Organisation .....	110
Abbildung 6-8: Zwei Modelle der Mikro-Aufbauorganisation.....	111
Abbildung 6-9: Einflussfaktoren auf die unternehmensspezifische Konfiguration .....	113
Abbildung 6-10: Modell zur Konfiguration eines unternehmensspezifischen Prozessbaukastens .....	114
Abbildung 6-11: Einflüsse auf die produkt-/montagespezifische Konfiguration .....	116
Abbildung 6-12: Konfiguration produkt- und montagespezifischer Prozessbaukästen und -modelle .....	117
Abbildung 6-13: Exemplarische Definition von Randbedingungen, Anpassungselementen und Prozesstreibern .....	118
Abbildung 6-14: Drei vereinfachte Beispiele für Prozessbausteine der Grobgestaltung in Abhängigkeit vom verfügbaren Freiheitsgrad.....	119
Abbildung 6-15: Einflussfaktoren auf die projektspezifische Konfiguration.....	123
Abbildung 6-16: Modell zur Konfiguration projektspezifischer Prozessmodelle.....	124
Abbildung 6-17: Prozesstreiberportfolio mit Objektbeispielen.....	127
Abbildung 6-18: Konkretisierungs-, Verbindlichkeits- und Absicherungsgrade.....	128
Abbildung 6-19: Zu bewertende Prozessmerkmale.....	129
Abbildung 6-20: Kaskadenregelung .....	130
Abbildung 6-21: Problemlösungszyklus der Systemtechnik (DAENZER & HUBER 1994).....	133
Abbildung 6-22: Einarbeitungszeit für die Arbeitsinhalte eines Prozessbausteins .....	134

Abbildung 6-23: Begriffsklärung zum Prozesswissen.....	135
Abbildung 6-24: Arten der Weiterentwicklung von Prozessbausteinen .....	135
Abbildung 6-25: Ablauf der Erfahrungsdokumentation .....	137
Abbildung 7-1: Ebenen der Prozessgestaltung und -durchführung.....	139
Abbildung 7-2: Prozessbaukasten als ACCESS-Datenbank.....	140
Abbildung 7-3: Eingabemaske für Prozessbausteine.....	140
Abbildung 7-4: Oberfläche des Prozessmodellierers Process Design Tool PDT .....	141
Abbildung 7-5: Inhaltliche Schwerpunkte der Fallstudien.....	142
Abbildung 7-6: Soll-Zusammenarbeit.....	144
Abbildung 7-7: Ausschnitt aus dem projektspezifischen integrierten Entwicklungsplan .....	145
Abbildung 7-8: Sitzrahmen .....	146
Abbildung 7-9: Projektphasen mit spezialisierten und integrierten Prozess- bausteinen.....	147
Abbildung 7-10: Prozesstreiberportfolio in Projektanfangsphase.....	148
Abbildung 7-11: Beispiel für einen unternehmensspezifischen Prozessbaustein .....	150

## Anhang

### 1. Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme

<b>Abk.</b>	<b>Bedeutung</b>
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAPE	Computer Aided Production Engineering
CASE	Computer Aided Software Engineering
CE	Concurrent Engineering
CERN	Concurrent Engineering Research Center
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CIMOSA	Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture
CPM	Critical Path Method
CSCW	Computer Supported Cooperative Work
EDI	Electronic Data Interchange
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DMF	Digital Manufacturing
DMU	Digital Mockup
DSM	Design-Structure-Matrix
DYNAPRO	Dynamische Produktions- und Organisationsstrukturen
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
eEPK	Erweiterte ereignisgesteuerte Prozessketten
F&E	Forschung und Entwicklung
FBA	Fehlerbaumanalyse
FEM	Finite Elemente Methode
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
I&K	Information und Kommunikation
ICAM	Integrated Computer Aided Manufacturing
IDA	American Institute for Defence Analysis

---

IDEF	I-CAM Definition Language
INKA	Integrierter Konstruktionsarbeitsplatz
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnologie
IUM	Integrierte Unternehmensmodellierung
KBE	Knowledge-Based Engineering
MA	Mitarbeiter
MKS	Mehrkörpersimulation
MPM	Metra-Potential-Methode
OOA	Object Oriented Analysis
OOD	Object Oriented Design
OMT	Object Modeling Technique
PDM	Produktdatenmanagement
PDT	Process Design Tool
PEPSY	Produktentwicklungs- und Planungssystem
PERT	Program Evaluation and Revert Technique
PKW	Personenkraftwagen
PLASMA	Planungsmanagementsystem
PNEP	Produktneutraler Entwicklungsplan
PVA	Produkt, Vorgang, Anlage
QFD	Quality Function Deployment
RPD	Rapid Product Development
SADT	Structured Analysis and Design Technique
SE	Simultaneous Engineering
SFB	Sonderforschungsbereich
SHD	Schiebehubdach
SOM	Semantisches Objektmodell
TOTE	Test-Operate-Test-Exit
TRIZ	Theory of Inventive Problem Solving
UDT	Universal Design Theory
UML	Unified Modeling Language
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

## 2. Glossar

Begriff	Bedeutung
<b>Methode</b>	Der Begriff Methode ist griechischen Ursprungs (méthodos) und bedeutet wörtlich übersetzt „Weg zu etwas hin“. Im übertragenen Sinn ist eine Methode ein nach Gegenstand und Ziel planmäßiges, folgerichtiges, auf Regeln aufbauendes Verfahren, Vorgehen oder Handeln zur Lösung praktischer und theoretischer Aufgaben (BROCKHAUS 1998). Für den Aufbau, die Adaption und Verwendung von Modellen, sowie für die Entwicklung und Anwendung von Methoden ist der Einsatz entsprechender <i>Werkzeuge</i> erforderlich.
<b>Qualifizierung</b>	Unter Qualifizierung wird in diesem Zusammenhang das Befähigen der Unternehmensorganisation, Prozesse, technischen Hilfsmittel und Personen hinsichtlich der Anforderungen und Erfolgsfaktoren einer flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung verstanden.
<b>Konfiguration</b>	Die Konfiguration (Anpassung) umfasst in diesem Kontext, einen Prozess aus vorgegebenen elementaren Grundbausteinen zusammenzusetzen. Dabei wird aus einem großen Raum möglicher Prozesse unter Berücksichtigung der Eigenschaften und Abhängigkeiten dieser elementaren Grundbausteine eine spezifische Prozesskette oder ein Prozessnetz gebildet. Die elementaren Grundbausteine können dabei angepasst werden. Im Rahmen der Arbeit sollen drei Abstraktionsstufen der Konfiguration näher betrachtet werden: Die Konfiguration unternehmens-, produkt-/montage- und projektspezifischer Prozesse.
<b>Koordination</b>	Die Koordination besteht aus dem Aufzeigen des Interaktionsbedarfs und dem Steuern der Interaktion mit der Zielsetzung einer besten Lösungsfindung (vgl. MINTZBERG 1989). Da in arbeitsteiligen Prozessen oft zusätzliche Interaktionen entstehen, die nicht vorhersehbar sind, ist die Koordination dynamisch dem Interaktionsbedarf anzupassen. Die Interaktion stellt dabei den eigentlichen Akt der Zusammenarbeit dar. Sie setzt sich aus Kommunikation (Informationsweitergabe) und Handlung (Aktivität zur Umsetzung der Informationen in die Lösung einer Aufgabe) zusammen (WEBER 1998, S. 43).
<b>Regelung</b>	Die Regelung „charakterisiert eine Art der Störungskompensation, die auf Rückkopplung beruht. Unter Rückkopplung versteht man allgemein ein Prinzip, nach dem das Ergebnis eines Prozesses gemessen und mit dem gewünschten Soll-Zustand verglichen wird. Stellt sich eine Abweichung des Ist- vom Soll-Zustand heraus, so wird eine Korrekturmaßnahme eingeleitet.“ (HEINEN 1991, S. 59). Die Regelung bleibt solange aktiv, bis das gewünschte Ergebnis erreicht ist. Sie dient damit auch dazu, bestimmte Tätigkeiten anzustoßen, ohne dass eine „Störung“ im eigentlichen Sinne vorliegt.

<b>Objektbereich</b>	Objektbereiche sind abgrenzbare Einheiten der Gestaltungsobjekte Produkt, Montagevorgang und Montageanlage. Beim Produkt können das Baugruppen, Bauteile oder Gestaltzonen einzelner Bauteile sein. Bei der Montageanlage sind Objektbereiche einzelne Betriebsmittel oder deren Komponenten. Der Montagevorgang lässt sich bezüglich einzelner Füge- oder Handhabungsoperationen ebenfalls in Objektbereiche strukturieren. Die Betrachtung von Objektbereichen ist im Rahmen dieser Arbeit wichtig, da sich einzelne Objektbereiche der Gestaltungsobjekte auf verschiedenen Konkretisierungsstufen befinden und deshalb getrennt von den restlichen Objektbereichen betrachtet werden müssen (vgl. BICHLMAIER 2000, S. 65).
<b>Konkretisierungsebene</b>	Gestaltungsobjekte können auf unterschiedlichen Konkretisierungsebenen betrachtet werden. Innerhalb dieser Ebenen wird nur eine bestimmte Menge an Eigenschaften betrachtet, festgelegt oder abgesichert. Der Wechsel zur nächsthöheren Ebene ist mit einer Abstraktion der zur nächsttieferen Ebene mit einer Konkretisierung verbunden (vgl. BICHLMAIER 2000, S. 65).
<b>Prozessbaustein</b>	Ein Prozessbaustein ist eine abgeschlossene Einheit von Tätigkeiten, die dazu dienen, ein bestimmtes Zwischenergebnis zu erreichen. Um die integrierte Entwicklung und Planung von Produkt, Montagevorgang und Anlage zu ermöglichen, beziehen sich Prozessbausteine daher auf mindestens eines dieser drei Gestaltungsobjekte. Sie enthalten darüber hinaus einer charakterisierende Klassifizierung, Eingangs- und Ausgangsinformationen, erforderliche Kompetenzen zur Bearbeitung, einsetzbare Methoden und Werkzeuge, Zeit, Kosten und Bearbeiter.

### 3. Der neutrale Prozessbaukasten des SFB 336

Die folgenden Tabellen zeigen einen Auszug der Daten des Prozessbaukastens, wie er im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 336 der TU München entworfen wurde.

Die erste Spalte enthält eine laufende Nummerierung für die Prozessbausteine. Die zweite Spalte enthält die Kurzbezeichnung der Prozessbausteine. Eine Tätigkeitsbeschreibung ist in der dritten Spalte enthalten. Die Spalten vier und fünf enthalten die erforderlichen Eingangs- bzw. zu erarbeitenden Ausgangsinformationen. Die sechsten Spalte lassen sich sinnvoll einsetzbare Methoden entnehmen. Die siebte Spalte gibt den Typ der Prozessbausteine an.

Dabei bedeuten:

- A: Analyse
- S: Synthese
- B: Bewertung
- AU: Auswahl
- M: Meilenstein/Synchronisation

Die achte Spalte enthält schließlich noch den Bezug des Prozessbausteins auf die Gestaltungsobjekte. Es bedeuten:

- P: Produkt
- V: Montagevorgang
- A: Montageanlage

Die Tabelle enthält lediglich Vorschläge für Prozessbausteine und erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Der Inhalt sollte mit der Anwendung der Bausteine fortlaufend aktualisiert und optimiert werden.

<b>lfd Nr.</b>	<b>Name des Prozessbausteins</b>	<b>Zweck und Arbeitsinhalte</b>	<b>Eingänge</b> (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	<b>Ausgänge</b> (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	<b>Methoden</b>	<b>TYP</b>	<b>BEZUG</b>
1	<b>Definition Projekttrandbedingungen</b>	Festlegen von Projektbeteiligten, Verantwortlichkeiten, Eckterminen, Projektzielen, Budget, Entwicklungspartner	---	Projektbudget (PVA), Projektplan (PVA), Projekttermine (PVA)		M	P V A
2	<b>Projekt Kick-Off</b>	Teambildung, Projektauftrag analysieren, Projektablauf planen	Projektbudget (PVA), Projektplan (PVA), Projekttermine (PVA)	Entwicklungsauftrag (PVA), Projektbeteiligte (PVA)	Kick-off-Meeting	M	P V A
3	<b>Schwachstellenanalyse</b>	Die Schwachstellenanalyse ist ein Instrument im Zielfindungsprozess, um organisatorische, technische, kostenmäßige oder personelle Schwachstellen zu ermitteln.	Entwicklungsauftrag (PVA), Kundenreklamationen (P), Vorgängerproduktinformation (P), Anlageninformationen (A), Vorgangsinformationen (V), Audits (PVA)	vorhandene Schwachstellen (A), vorhandene Schwachstellen (V), vorhandene Schwachstellen (P)	ABC-Analyse, Portfolio, Benchmarking, Bestandsanalyse, Flussdiagramm, Mitarbeiterbefragung, Multimomentaufnahme, Qualitätsanalyse, Sicherheitsanalyse, Umweltanalyse, Verbesserungsvorschlagswesen, Wertanalyse, Zeitstudie	A	P V A
4	<b>Fehler- und Risikoanalysen (Produkt und Prozess)</b>	Mögliche systemimmanente Fehler und Risiken gilt es zu bewerten	Anlageninformationen (A), Vorgangsinformationen (V), Produktinformationen (P), Qualitätsziele (PVA)	vorhandene Schwachstellen (P), vorhandene Schwachstellen (A), vorhandene Schwachstellen (V), Prüffunktionen (PA), Weiterer Analysebedarf (A), Prüffunktionen (V), Weiterer Analysebedarf (P)	FMEA, Rechnergestützte Fehleranalyse, Fehlerdatenbank	A	P V A
5	<b>Definition reine Produktziele</b>	Reine Produktziele ermitteln und gewichten	Entwicklungsauftrag (PVA), vorhandene Schwachstellen (P), produktspezifische Randbedingungen (P)	Produktziele, gewichtet (P), nicht-zu prüfende Produktfunktionen (P)	Kundenbedarf (QFD), Marktanalyse, Bewertung von vorhandenen Lösungen (Schwachstellen), Benchmarking Vorgänger und Konkurrenz	S	P
6	<b>Definition reine Montageziele</b>	Reine Montageziele definieren und gewichten	Entwicklungsauftrag (PVA), verfügbares Personal (A), montagespezifische Randbedingungen (VA), vorhandene Schwachstellen (A), vorhandene Schwachstellen (V)	Montageanlagenziele, gewichtet (A), Montagevorgangziele, gewichtet (V) Planungsziele (VA)	Recherche nach und Bewertung von vorhandenen Lösungen, Bestandsaufnahme (Schwachstellen), Benchmarking Vorgänger und Konkurrenz	S	V A
7	<b>Definition Qualitätsziele</b>	Definition von Qualitätsmerkmalen, Quantifizieren der Qualitätsziele	Entwicklungsauftrag (PVA), Anlagenziele (A), Produktziele (P), Vorgangsinformationen (V)	Ausschussquote (A), Q-Merkmale (P), Reklamationsquote (P), Sicherheit (P), Zuverlässigkeit (P), Qualitätsziele (PVA)	Kundenbedarf ermitteln (QFD), Bewertung von vorhandenen Lösungen (Schwachstellen), Benchmarking Vorgänger und Konkurrenz	S	P V A

lfd Nr.	Name des Prozessbausteins	Zweck und Arbeitsinhalte	Eingänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Ausgänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Methoden	T Y P	B E Z U G
8	<b>Definition integrierte Ziele</b>	Produktbestimmende Anlageeigenschaften & anlagenbestimmende Produkteigenschaften sammeln, strukturieren und dokumentieren, Lösung von Zielkonflikten	Entwicklungsauftrag (PVA), Fertigungstechnologie/ anlagenspezifische Randbedingungen (A)	Fertigungsprozesse (V), Außenabmessungen (P), Dichtung/Schmierung (P), Gewicht (P), Kundenvarianten (P), Stückkosten (P), Werkstoff (P), Prüffunktionen (P), Entwicklungszeit (PVA), Stückzahlen (PVA)	Kundenbedarf ermitteln (QFD), Marktanalyse, Recherche nach u. Bewertung von vorhandenen Lösungen (Schwachstellen), Benchmarking Vorgänger und Konkurrenz	S	P
9	<b>Zielabsicherung</b>	Abgleich der erarbeiteten Ziele mit den Kundenforderungen und Gewichtung der Kriterien	Entwicklungsauftrag (PVA), Produktziele (P), Vorgangsziele (V), Anlagenziele (A)	Produktziele, abgesichert und gewichtet (P), Vorgangsziele, abgesichert und gewichtet (V), Anlagenziele, abgesichert und gewichtet (A)	Fragebogen, Interview, Marktanalysen	A	P
10	<b>Definition Anlagenstrategie</b>	Festlegen der Anlagenstrategie: Neuentwicklung oder Wiederverwendung	Entwicklungsauftrag (PVA), Anlagenziele (A), Vorgangsziele (V), Produktziele (P)	Freiheitsgrade Anlage (A), Arbeitsinhalte (V), Freiheitsgrade Produkt (P), Eigenteile, Fremtteile (PA), Vormontagen (PVA)	Bewertungsmethode, Lösungskataloge	A	P
11	<b>Freigabe Lastenheft</b>	Lastenheft freigeben, weiteres Vorgehen planen, Verantwortlichkeiten verteilen	Entwicklungsauftrag (PVA), Anlagenziele (A), Vorgangsziele (V), Produktziele (P), Lastenheft (PVA)	Projektziele freigeben (PVA), Anlagenziele freigeben (A), Vorgangsziele freigeben (V), Produktziele freigeben (P), Lastenheft freigeben (PVA)	Checkliste, Anforderungsliste	M	P A
12	<b>Funktionsbe- trachtung</b>	Zu realisierende Produktfunktionen definieren	Produktziele (P), vorhandene Schwachstellen (P), Lastenheft (PVA), Funktionelle Anforderungen (P)	Funktionen (P)	Methode zur funktionellen Systembeschreibung	S	P
13	<b>Erstellung Prinziplösungen Produkt</b>	Suche nach Prinziplösungen für das Produkt, Festlegen wiederverwendbarer Baugruppen, Einzelteile	Funktionen (P), Teilfunktionen u. Vernetzungen (P)	Bedarf an Versuchen (P), Prinziplösungen Produkt (P), Übernahmebauteile festgelegt (P)	Analogiebetrachtungen, Analyse von Konkurrenz/ Vorgängerprodukten, Checklisten (Lösungskataloge), Kreativitätstechniken	S	P
14	<b>Erstellung Produktstruktur und Fügefolgen</b>	Kombination von Prinziplösungen; qualitativ-geometrische Produktstrukturierung; Ermittlung potentieller Fügefolgen	Vorgangsziele (V), Anlagenziele (A), Produktziele (P), Prinziplösungen Produkt (P)	alternative Fügefolgen (V), Bauräume (P), Produktstruktur (P)	Bewertungs- und Auswahlmethoden, Checklisten, Lösungskataloge, Montagevorranggraph, morphologischer Kasten	S	P V
15	<b>Analyse und Auswertung Fügefolge</b>	Analyse & Auswertung der möglichen alternativen Fügefolgen	Vorgangsziele (V), Anlagenziele (A), Werkerqualifikation (A), alternative Fügefolgen (V), Komplexität Produkt (P), Stückzahl Produkt (P), Varianten Produkt (P)	Fügefolgen ausgewertet (V), Aussage zur Automatisierbarkeit (VA), Blockbildung (VA), Modulbildung (P)	Montagevorranggraph	A	V A

lfd Nr.	Name des Prozessbausteins	Zweck und Arbeitsinhalte	Eingänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Ausgänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Methoden	TYP	BEZUG
16	<b>Prinziplösungen Anlage</b>	Entwurf der Prinziplösungen der Anlage	Vorgangsziele (V), Anlagenziele (A), Produktgewicht (P), Produktvolumen (P), Aussage zur Automatisierbarkeit (VA), Blockbildung (VA), Modulbildung (P)	Automatisierungsgrad (A), Prinziplösungen Anlage (A)	Analogiebetrachtungen, Analyse von Konkurrenz- / Vorgängeranlagen, Checklisten (Lösungskataloge), Kreativitätstechniken	S	V A
17	<b>Definition Fertigungstiefe</b>	Analyse der Produktstruktur hinsichtlich Kauf- und Eigenfertigungsteile	Kapazitätsteilung (V), Prinziplösungen Produkt (P), Produktkonzept (P), beherrschte Technologien (VA), vorhandene Anlagen (A)	Eigenteile, Fremtteile (P)	ABC-Analyse, Kernkompetenzanalyse, Make or Buy-Analysen	S	P V A
18	<b>Erstellung Produktkonzept</b>	Erarbeitung des Gesamtkonzepts Produkt; Strukturierung in Haupt- und Nebenfunktionsträger; Detaillieren der Hauptfunktionsträger	Produktziele (P), Funktionen (P), Prinziplösungen Produkt (P), qualitativ-geometrische Produktstruktur (P), Teilkonzepte Produkt (P), Teillösungen (P)	Produktstruktur ausgewählt (P), Produktkonzept (P)	Morphologie, Analogiebetrachtungen, Analyse von Konkurrenz- / Vorgängerprodukten, CAD, Checklisten (Lösungskataloge), Kreativitätstechniken	S	P
19	<b>Erstellung Montagekonzept</b>	Erarbeitung des Gesamtkonzepts Montage	Vorgangsziele (V), Anlagenziele (A), Automatisierungsgrad (A), Fügefolgen, ausgewertet (V), Prinziplösungen Anlage (A), Teilkonzepte Anlage (A),	Montagekonzept (VA)	Morphologie, Kreativitätstechniken	S	P
20	<b>Kapazitätsteilung Montageanlage</b>	Der Kapazitätsbedarf wird anhand der Vorgabezeiten gleichmäßig auf Arbeitsplätze verteilt. Ferner wird festgelegt, welche der potentiell automatisierbaren Arbeitsschritte zu automatisieren sind.	Prinziplösungen Anlage (A), vorhandene Kapazität (A), Ablaufplan (inkl. Speichern, Fördern, Prüfen) (V), Vorgabezeiten (V)	Kapazitätsteilung (A)		S	V A
21	<b>Erstellung Teilkonzepte Montage</b>	Umsetzungskonzept für Teilbereiche (Blockbildung: automatisch, hybrid, manuell)	Kapazitätsteilung (A), Prinziplösungen Anlage (A), Montagekonzept (VA)	Teilkonzepte Anlage (A), Erforderliche Prüfmethode (V), Vorgabezeitschätzung (V), Automatisierungsgrad (VA)		S	A
22	<b>Bewertung Produktkonzept</b>	Bewertung der Produktkonzeptvarianten und Auswahl der Produktkonzepte	alternative Fügefolgen (V), Produktkonzept (P), Produktstruktur (P)	Güte Produktkonzept (P)	ABC-Analyse, Bewertungsmethoden, Kosten-Nutzen-Rechnung, Nutzwert-Analyse, Punktbewertung, Wirtschaftlichkeitsrechnung	B	P
23	<b>Bewertung Montagekonzept</b>	Bewertung der Montagekonzeptvarianten und Auswahl des Montagekonzepts	Anlagenziele (A), Vorgangsziele (V), Prinziplösungen Anlage (A), Fügefolgen (V), Montagekonzept (A)	Produktstruktur, ausgewählt (P), Güte Montagekonzept (A)	ABC-Analyse, Bewertungsmethoden, Kosten-Nutzen-Rechnung, Nutzwert-Analyse, Punktbewertung, Wirtschaftlichkeitsrechnung	B	A

lfd Nr.	Name des Prozessbausteins	Zweck und Arbeitsinhalte	Eingänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Ausgänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Methoden	TY P	BEZUG
24	<b>Eigenschaftsanalyse Produkt</b>	Eigenschaftsabsichernde Analyse in der Konzeptphase	Produktziele (P), Funktionen (P), Produktkonzept (P)	Eigenschaften Produktkonzept (P)	Berechnung, Simulation, Versuch	A	P
25	<b>Eigenschaftsanalyse Montage</b>	Eigenschaftsabsichernde Analyse in der Konzeptphase	Anlagenziele (A), Vorgangziele (V), Montagekonzept (VA)	Eigenschaften Vorgangskonzept (V), Eigenschaften Anlagenkonzept (A)	Berechnung, Simulation, Versuch	A	P
26	<b>Integrierte Freigabe Konzepte</b>	Konzept von Produkt und Montage freigeben, weiteres Vorgehen planen	Montagekonzept (VA), Produktkonzept (P), Eigenschaften Vorgangskonzept (V), Eigenschaften Anlagenkonzept (A), Eigenschaften Produktkonzept (P)	Montagekonzept freigeben (VA), Produktkonzept freigeben (P)	Checkliste	M	P V A
27	<b>Gestaltungsbestimmende Randbedingungen</b>	Definition gestaltungsbestimmender Randbedingungen (Funktionsmaße, Anschlussmaße, Toleranzen)	Montagetechnologie (V), Bauteilumgebung (P), Schnittstellengeometrien (P)	geforderte Genauigkeit Fügeeinrichtungen (A), Anschlussmaße (P), Funktionsmaße (P), Kräfte/Momente (P), Toleranzen (P), Verformungen (P)	ABC-Analyse, Auslegungsrechnung, Synthesemethoden	S	P V A
28	<b>Definition Package</b>	Bauraumfestlegung der Baugruppen, Einzelteile	Kaufteile (P), Vorgänger-Modelle (P), Produktstruktur, ausgewählt (P), Produktkonzept (P)	Bauräume (P), Bauteiltopologie (P)	Visualisierung und Kollision (DMU)	S	P
29	<b>Grobgestalten 1 (P → A)</b>	Grobgestaltung der gestaltungsbestimmenden Funktionsträger beim Produkt & Sicherstellen der prinzipiellen Montierbarkeit	Anlagenkonzept (A), Anschlüsse (P), Belastungen (P), Hauptfunktionsträger (P), Produktkonzept (P)	Grobentwürfe Produkt (P), Werkstoff (P)	Skizzen, CAD	S	P V
30	<b>Grobgestalten 2 (P → A)</b>	Grobgestalten der Betriebsmittel bei gegebenem Produktentwurf	Anlagenkonzept (A), Grobentwurf Funktionsträger (P)	Grobentwurf Montageanlage (A), Werkstoff (P)	Skizzen, CAD	S	P A
31	<b>Grobgestalten 3 (A → P)</b>	Grobgestaltung der gestaltungsbestimmenden Betriebsmittel & Sicherstellen der prinzipiellen Produktfunktionen der betroffenen Bauteile	Anlagenkonzept (A), Konzepte Produkt (P)	Grobentwurf Montageanlage (A), Werkstoff (A)	Skizzen, CAD	S	A
32	<b>Grobgestalten 4 (A → P)</b>	Grobgestalten der Funktionsträger bei gegebenen Betriebsmitteln	Grobentwurf Betriebsmittel (A), Produktkonzept (P)	Grobentwurf Produkt (P), Werkstoff (P)	Skizzen, CAD	S	P
33	<b>Grobgestalten 5 (P ↔ A)</b>	Grobgestalten der Produktfunktionsträger und der zugehörigen Betriebsmittel	Prinziplösungen Anlage (A), Prinziplösungen Produkt (P)	Grobentwurf Betriebsmittel (A), Werkstoff Betriebsmittel (A), Grobentwurf Funktionsträger (P), Werkstoff (P)	Skizzen, CAD	S	P A

Ifd Nr.	Name des Prozessbausteins	Zweck und Arbeitsinhalte	Eingänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Ausgänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Methoden	TYP	BEZUG
34	<b>Grobgestalten Fügen (P ↔ A)</b>	Verbindungsauswahl, Auswahl Fügeeinheit, Verbindungsgestaltung	verfügbare Fügeeinheiten (A), Fügefolgen (V), verfügbare Füge-technologien (VA), Gewicht Fügepartner (P), Grobgeometrie Fügepartner (P), Steifigkeit Fügepartner (P)	Fügeprozess (V), Geometrie Verbindungselemente (P), Material Verbindungselemente (P), Verbindungsart (P), Werkstoff (P)	Auslegungsrechnung, Fügekraftanalysen, Kollisionskontrollen	S	P V A
35	<b>Fügekraftanalyse</b>	Ermittlung ausgewählter Fügekräfte	Geometrie Fügepartner (P), Werkstoff Fügepartner (P)	Fügekräfte (P)	FEM-Analyse	A	P V A
36	<b>Montageablaufplanung</b>	Entwurf des Ablaufplans, Definition von Technologien	verfügbare Betriebsmittel (A), Fügefolge (V), Produktstruktur (P)	Ablaufplan (inkl. Speichern, Fördern, Prüfen) (V), Technologien ausgewählt (VA)	Montagevorranggraph, 3D-Simulation, Technologiebewertung nach VDI 3780, Technologiekalender, -roadmap	S	P V A
37	<b>Definition Arbeitsinhalte</b>	Montageaufgaben aus dem Ablaufplan werden arbeitsplatzspezifisch zu Arbeitsinhalten verknüpft	Kapazitätsteilung (A), Mitarbeiterqualifikation (A), Ablaufplan (inkl. Speichern, Fördern, Prüfen) (V), Arbeitsplatzbedingungen (VA)	Arbeitsinhalte pro Arbeitsplatz (A)	Gruppenarbeit, Job Enlargement, Job Enrichment	S	V
38	<b>Vorgabezeitermittlung</b>	Vorgabezeiten (SOLL) für Montageoperationen werden bestimmt als Voraussetzung zur Ermittlung des Kapazitätsbedarfs	Arbeitsplatzlayout (A), Arbeitsinhalte (V)	Vorgabezeiten (V)	Zeitstudien nach REFA (MTM, Multi-moment, Workfactor)	S	V A
39	<b>Montagekostenabschätzung</b>	Kosten für die Montage mittels Kalkulationsmethoden abschätzen	Kostensätze (A), Prinziplösungen Anlage (A), Vorgangszeiten (V), Erfahrungswerte (VA)	Montagekosten (VA)	Kalkulation mittels Kostenfunktionen, Kalkulation nach Erfahrungsdaten, Kilokostenmethode, Materialkostenkalkulation, Sachkalkulation, Schätzung	A	V A
40	<b>Groblayout-Ideal-Planung</b>	Entwurf des groben Anlagen-Ideallayouts	Lösungen für Teilbereiche (A), Montageablauf (V), Vorgabezeiten (V), Kapazitätsteilung (VA)	Blocklayout (A), Funktionsmodell (A), Prinzipanordnung (A)	Dreiecksrasterdiagramm	S	V A
41	<b>Planung Real-Groblayout</b>	Entwurf des groben Anlagenreallayouts (grobe räumlichen Anordnung einzelner Arbeitsplätze)	Betriebsmittel Grundfläche (A), Ablaufplan (inkl. Speichern, Fördern, Prüfen) (V)	Anlagenkonzept (A), Bandstrukturen (A), Bereichsflächen (A), Fixpunkte (A), Flächenbedarf (A), Grobreallayout (A)	Ablaufsimulation	S	A
42	<b>Bestimmung Arbeitssystemwert</b>	Bestimmung des Arbeitssystemwerts, der zur Beurteilung von Montagesystemalternativen dient	Groblayouts (A), Anlagenkonzept (A), Planungsziele (-grunddaten) (VA)	Arbeitssystemwert (VA)		A	V A

Ifd Nr.	Name des Prozessbausteins	Zweck und Arbeitsinhalte	Eingänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Ausgänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Methoden	TYP	BEZUG
43	<b>Erstellung Produktdesign</b>	Erstellung von Produktdesignvarianten	Konzepte Produkt (P), Package (P), Ziele (PVA)	Produktaußengeometrie (P), Produktdesign (P)	CAS, Gestaltungsmethoden, Tonmodelle, Rapid Prototyping	S	P
44	<b>Funktionsuntersuchung und -absicherung</b>	Erkennen und Absichern kritischer Funktionen von Produkt und Montageanlage	Anlagenkonzept (A), Produktkonzept (P), Produktfunktionen (P), Anschlussmaße (PA), Form- und Lagetoleranzen (PA), Funktionsmaße (PA)	Funktionsmaße (abgesichert) (P), ggf. Optimierungspotential (PA), Toleranzsituation, abgesichert (PA)	Berechnung (deterministisch, analytisch), Simulation (stochastische), Versuch (Hardware)	A	P
45	<b>Auslegungsrechnung</b>	Auslegungsrechnung zur Dimensionierung von Bauteilen	Anschlussmaße (A), Produktziele (P), Funktionsmaße (P), Package (P), Prinziplösungen Produkt (P), Produktkonzept (P)	Abmessungen (P), Dimensionen (P), Prinziplösungen, abgesichert (P)		S	P
46	<b>Analyse Freiheitsgrade</b>	Analyse vorhandenen Freiheitsgrade bei der Produkt- und Betriebsmittel-Gestaltung	Anlagenrandbedingungen (A), Anlagenkonzepte (A), vorhandene Betriebsmittel (A), Vorgangsrandbedingungen (V), Produktkonzept (P), Teillösungen (P), Produktrandbedingungen (PVA)	Freiheitsgrade bei der Anlage (A), Freiheitsgrade im Prozess (V), Freiheitsgrade beim Produkt (P)	Portfolio-Technik	A	P V A
47	<b>Analyserechnung</b>	Eigenschaftsabsicherung ab vorliegenden Konzepten (Beispielfragestellung: z.B. ist Durchmesser einer Welle ausreichend?)	Anlagenziele (A), Produktziele (P), Detaillierte Gestalt (PA), Werkstoff (PA)	Absicherung Eigenschaft Anlage (A), Absicherung Eigenschaft Produkt (P)	Berechnung (deterministisch, analytisch), Simulation (stochastisch), Versuch (Hardware)	S	P
48	<b>Feingestalten 1 (P → A)</b>	Feingestaltung der gestaltungsbestimmenden Produktfunktionsträger & Sicherstellen der prinzipiellen Montierbarkeit	Randbedingungen Anlage (A), Fertigungstechnologie (VA), Grobentwürfe Produkt (P), Kräfte, Momente (P), Werkstoff (P)	Feinentwürfe Produkt (P)	CAD	S	P
49	<b>Feingestalten 2 (P → A)</b>	Feingestalten des Betriebsmittel bei gegebenem Produktentwurf	Grobentwurf Betriebsmittel (A), Prinzipanordnung (A), Fertigungstechnologie (VA), Kräfte, Momente (P), Werkstoff (P)	Feinentwurf Betriebsmittel (A), Feinlayout Anlage (A)	CAD	S	A
50	<b>Feingestalten 3 (A → P)</b>	Feingestaltung der gestaltungsbestimmenden Betriebsmittel & Sicherstellen der prinzipiellen Produktfunktionen der betroffenen Bauteile	Grobentwurf Betriebsmittel (A), Prinzipanordnung (A), Fertigungstechnologie (VA), Kräfte, Momente (P), Werkstoff (P)	Feinentwurf Betriebsmittel (A), Feinlayout (A)	CAD	S	A
51	<b>Feingestalten 4 (A → P)</b>	Feingestalten der Funktionsträger bei gegebenen Betriebsmitteln	Fertigungstechnologie (VA), Grobentwurf Produkt (P), Kräfte, Momente (P), Werkstoff (P)	Feinentwurf Produkt (P)	CAD	S	P V

Ifd Nr.	Name des Prozessbausteins	Zweck und Arbeitsinhalte	Eingänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Ausgänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Methoden	TYP	BEZUG
52	<b>Feingestalten 5 (P ↔ A)</b>	Feingestalten der Produktfunktionsträger und der zugehörigen Betriebsmittel	Grobentwurf Betriebsmittel (A), Fertigungstechnologie (VA), Grobentwürfe Produkt (P), Kräfte, Momente (P), Werkstoff (P)	Feinentwurf Betriebsmittel (A), Feinentwurf Produkt (P)	CAD	S	P A
53	<b>Feingestalten Fügen (P ↔ A)</b>	Feingestaltung von Produkt und Greifer unter dem Aspekt "Fügen"	Grobentwurf Betriebsmittel (A), Ablaufplan (inkl. Speichern, Fördern, Prüfen) (V), Fertigungstechnologie (VA), Grobentwurf Fügepartner (P), Kräfte+Momente (P), Werkstoff Fügepartner (P)	Feinentwurf Betriebsmittel (A), Ablaufplan, detailliert (V), Fügeprozess (V), Fügebewegung (V), Fügerrichtung (V), Feinentwurf Produkt (P)	CAD	S	P V A
54	<b>Feingestalten Handhaben (P ↔ A)</b>	Feingestaltung von Produkt und Betriebsmittel unter dem Aspekt "Handhaben"; Greifplanung	realisierbare Kinetiken und Kräfte der Betriebsmittel (A), Handhabungs- und Fügereihenfolge (V), Montagetechnologie (VA), Bauteilgewicht (P), Hüllgeometrie (P), Kräfte, Momente (P), Oberflächen (P), Steifigkeit (P), Stückzahlen (P), Werkstoff (PA)	Handhabungsvorgang (VA), Kontaktfläche Produkt - Betriebsmittel (PA), Ordnungsgrad Produkt (PV)	CAD	S	P V A
55	<b>Prozessanalyse</b>	Untersuchung des Produkts mit geeigneten Verfahren hinsichtlich seines kinematischen und kinetischen Verhaltens beim Montageprozess	Detailgeometrie (P), Prototyp Fügepartner (P), Belastungen (PA), Bewegungen (PA), Werkstoff (PA)	Toleranzeigenschaften (PA), Fügekraft (PVA)	Berechnung (deterministisch, analytisch), Simulation (stochastisch), Ablaufsimulation Versuch (Hardware)	A	P V
56	<b>Toleranzanalyse</b>	Untersuchung des Produkts mit geeigneten Verfahren hinsichtlich seines Toleranzverhaltens	Toleranzvorgaben (PA), Produktziele (P), Vorgangziele (V), Anlagenziele (A)	Bauteiltoleranzen (P), Prozesstoleranzen (VA)	Toleranzsimulation	A	P A
57	<b>Definition Materialfluss</b>	Optimale Gestaltung des Materialflusses der Montageteile durch Wegeplanung und Disposition von Material und Betriebsmitteln	Prinzipanordnung (A), Ablaufplan (V), Durchlaufzeit (V), Taktzeiten (V), Planungsziele (VA), Pufferdimensionierung (VA), Verfügbarkeit (A)	Materialfluss (V)	Materialflusssimulation, Ablaufsimulation	S	V A
58	<b>Auswahl Handhabungs- und Bereitstellungssysteme</b>	Für das vorliegende Konzept der Anlage und des Montageablaufs werden geeignete Handhabungs- und Bereitstellungssysteme ausgewählt	Anlagenziele (A), Vorgangziele (V), Außenmessungen (P), Bauteilgewicht (P), Bauteilsteifigkeit (P), Oberflächeneigenschaften (P), Stückzahlen (P), Teilevielfalt (P), Losgröße (PV), Montageablauf (V) Anlagenkonzept (A)	Handhabungssystem (A), Bereitstellungssystem ausgewählt (A)	Handhabungssystemkataloge, Bereitstellungssystemkataloge	A	A

Ifd Nr.	Name des Prozessbausteins	Zweck und Arbeitsinhalte	Eingänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Ausgänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Methoden	TYP	BEZUG
59	<b>Auslegung Puffer, Auswahl Verkettungsmittel</b>	Auslegung von Puffern zur Entkopplung von Arbeitsplätzen, Auswahl bzw. Konstruktion von Verkettungsmitteln (Transportmitteln)	Anlagenziele (A), Vorgangsziele (V), Prinzipanordnung (A), Vorhandene Verkettungsmittel (A), Ablaufplan (inkl. Speichern, Fördern, Prüfen) (V), Produktaußengeometrie (P), Produktgewicht (P), Produktvolumen (P)	Pufferdimension (A), Verkettungsmittel (A), Pufferart (VA)	Ablaufsimulation	S	P V A
60	<b>Auswahl Zuführeinrichtungen</b>	Auswahl und Konstruktion von Zuführeinrichtungen zur lagegerechten Positionierung der zu fügenden Bauteile	Anlagenziele (A), Vorgangsziele (V), Bauteilgröße (P), Oberflächen (P), Stand- und Auflageflächen (P), Steifigkeit (P), Teilgewicht (P), Teilevielfalt (P), Greifflächen (PA)	Zuführeinrichtungen (A)	Herstellerkataloge für Zuführeinrichtungen	S	A
61	<b>Investitionsabschätzung</b>	Laufende Überprüfung des sich bei der Auswahl der Betriebsmittel aufsummierenden Investitionsbetrags	Anlagenziele (A), Vorgangsziele (V), Betriebsmittel (A), Kosten der Betriebsmittel (A)	Investitionssumme (A), Umbau-/ Installationskosten (A)		A	V A
62	<b>Erstellung Arbeitsplan</b>	Im Arbeitsplan werden die durchzuführenden Montageoperationen, benötigte Betriebsmittel und Vorgabezeiten abgelegt.	verfügbare Maschinen (A), verfügbare Vorrichtungen (A), Vorgabezeiten (V), Produktgeometrie (P), Stücklisteninformation (P), Auftragsdaten (PVA)	Arbeitsplan (VA)	bestehenden Arbeitsplan verwenden	S	P V A
63	<b>Feinlayoutplanung</b>	In der Layoutplanung wird die Prinzipanordnung detailliert und an die räumlichen Gegebenheiten angepasst. Außerdem sind Infrastruktur und Gebäudetechnik zu berücksichtigen.	Geometrieinformationen der Anlage (A), Groblayout (A), Ablaufplan (inkl. Speichern, Fördern, Prüfen) (V), Arbeitsinhalte pro Arbeitsplatz (V)	Anordnung Arbeitsplätze (A), Feinlayout (A), Fördereinrichtungen (A), Materialbereitstellung (A), Transportflächen (VA),	3D Simulation, CAD	S	V A
64	<b>Investitionsrechnung</b>	Die Investitionsrechnung wird zur Entscheidung über Anlagenalternativen, zur Beurteilung der Rentabilität und zur Einschätzung des Investitionsrisikos eingesetzt.	Betriebsmittel-Investitionssumme (A), Lebensdauer der Maschinen (A), Nettoerlös (P), Produktlebenszyklus (P), Stückzahlen (P), Verkaufszahlenprognose (P),	Amortisationszeit (A), Kapitalwert (A), Rentabilität (A)	Amortisationsrechnung, Kostenvergleichsrechnung, Kapitalwertmethode, Interne-Zinsfuß-Methode	A	V A
65	<b>Arbeitsplatz-/ Stationsgestaltung</b>	Die in den vorangegangenen Planungsaufgaben ausgewählten Betriebsmittel werden entsprechend der Kapazitätsteilung zu Arbeitsplätzen/-stationen zusammengestellt.	Anlagenrandbedingungen (A), Anlagenziele (A), Behälter (A), Betriebsmittel (A), Montageinhalte (V), montagevorgangsspezifische Ziele (V), Ergonomische Anforderungen (VA)	Arbeitsplatzlayout (A), Bereitstellflächen (A)	3D Simulation, Ergonomiesimulation, Gestaltungshinweise	S	V A

Ifd Nr.	Name des Prozessbausteins	Zweck und Arbeitsinhalte	Eingänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Ausgänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Methoden	TYP	BEZUG
66	<b>Freigabe Konstruktion und Montageablauf</b>	Entwurf von Produkt und Montageablauf freigeben	Konstruktionszeichnung (P)	Konstruktionszeichnung (P) freigegeben (P) Montageablauf, freigegeben (V)	Checkliste	M	P
67	<b>Entwickeln Steuerprogramme</b>	Auf Basis des Montageprozessablaufes werden Prozessrechner oder SPS programmiert, um die maschinennahe Steuerung der Montageanlage zu übernehmen	Ausgewählte Betriebsmittel (A), Arbeitsinhalte (V), Bewegungsprogramme (VA)	Steuerprogramm (VA)	CosMonAut	S	V A
68	<b>Erstellung Fertigungsunterlagen</b>	Serienzeichnung / Fertigungsunterlagen erstellen	Fertigungstechnologie (VA), Detaillierte Gestalt (P), Werkstoff (P)	Fertigungsinformationen (PVA)	CAD	S	P V A
69	<b>Prüfung der Fertigungsunterlagen</b>	Prüfung der Fertigungsunterlagen hinsichtlich Machbarkeit und Vollständigkeit	Fertigungsunterlagen (P)	Fertigungsunterlagen, geprüft (P)		B	P
70	<b>Erstellung Kontrollplan / Prüfplan</b>	Erstellung Kontrollplan bzw. Prüfplan zur Aufnahme der Prüfmerkmale im Serienprozess	Prüfmerkmale (P)	Prüfvorgänge (PVA)		S	P V A
71	<b>Definition Untersuchungsumfänge, Versuchsplanung</b>	Festlegung der durchzuführenden Simulationen und Versuche	Montagekonzept (A), Montageziele (VA), Produktkonzept (P), Produktziele (P)	durchzuführende Simulationen (PVA), durchzuführende Versuche (PVA)	SPC, Design of Experiments, Statistische Versuchsmethodik	S	P V A
72	<b>Design Review</b>	In regelmäßigen Zeitabständen wiederkehrende systematische Überprüfung der Entwicklungsergebnisse an den an sie gestellten Anforderungen	Montagekonzept (V), Produktdesign (P), Produktkonzept (P), Ziele (P)	Montierbarkeit, abgesichert (A), Produktdesign, bewertet (P), Produktkonzept, bewertet (P)	Bewertungsmethoden	B	P
73	<b>Statische Geometrieprüfung</b>	Statische Überprüfung von Bauteilen hinsichtlich Kollision, Kontakt und Abstand	Greifraum (A), Bauraum (P), Funktionsraum (P), Hüllgeometrie (P), Sicherheitsabstände (P)	Abstände (P), Änderungsbedarf (P), freier Bauraum (P), Kollisionen (P), Kontakte (P)	3D Simulation, Datenmanagement	A	P
74	<b>Dynamische Geometrieprüfung</b>	Dynamische Überprüfung von Bauteilen hinsichtlich Kollision, Kontakt und Abstand in einer Einbausituation	Fügeeinheit (A), Handhabungsbetriebsmittel (A), Fügebewegung (V), Fügefolge (V), Bauraum (P), freier Bauraum (P), Funktion (P), Hüllgeometrie (P), Sicherheitsabstände (P)	Taktzeiten (V), Abstände (PA), freier Bauraum (PA), Kollisionen (PA), Kontakte (PA), Änderungsbedarf (PVA)	3D-Simulation, FEM-Analyse, Hardwareversuch, Mehrkörpersimulation (MKS), Toleranzsimulation	A	P V A
75	<b>Montierbarkeitsimulation</b>	Dynamische Überprüfung von Bauteilen hinsichtlich Kollision, Kontakt und Abstand in einer Einbausituation inkl. Werker und Betriebsmittel	Fügebetriebsmittel (A), Mögliche Fügefolgen (V), Grobgeometrie Fügepartner (P), Grobgeometrie Verbindung (P), Werker (A), Betriebsmittel (A)	Montierbarkeit, abgesichert (PVA)	3D Simulation	A	P V A

lfd Nr.	Name des Prozessbausteins	Zweck und Arbeitsinhalte	Eingänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Ausgänge (P=Produkt, V=Vorgang, A=Anlage)	Methoden	T Y P	B E Z U G
76	<b>Beschaffung Anlage</b>	Beschaffung der Anlage	Freigabe Anlage (A)	Anlage, bestellt (A)		S	A
77	<b>Aufbau Anlage</b>	Aufbau der Anlage	Anlage, bestellt (A), Anlage, geliefert (A)	Anlage, aufgebaut (A), Anlaufstrategie (VA)		S	V A
78	<b>Anlagenabnahme und -freigabe</b>	Abnahme und Freigabe der Anlage	Anlage, aufgebaut (A), Anlaufstrategie (VA), Anlageprobe- lauf (A)	Anlage, abgenom- men (A)	Checklisten	B	V A
79	<b>Prototyp anfertigen</b>	Anfertigung eines Produktprototypen	Geometrie Produkt (P), Werkstoff Pro- dukt (P)	Prototyp Produkt (P)	Rapid Prototyping	S	P
80	<b>Analyse Prozessfähigkeit</b>	Nachweis der Prozessfähigkeit (Montage und Fertigung)	Prototyp Produkt (P), Montageprozess (V), Anlage (A)	Bestätigung Prozessfähigkeit (VA)	Statistische Versuchsmethodik	A	V A
81	<b>Erstbemusterung</b>	Muster hinsichtlich der Anforderungen prüfen und bewerten	Prototyp Produkt (P)	Erstmuster, bewertet (P)	Statistische Versuchsmethodik	B	P
82	<b>Montierbarkeitsversuch</b>	Reale Überprüfung von Bauteilen hinsichtlich Kollision, Kontakt und Abstand in einer Einbausituation inkl. Werker und Betriebsmittel	Fügebetriebsmittel (A), Fügeprozess (V), Prototyp Füge- partner (P)	Montierbarkeit, abgesichert (PVA)	Rapid Prototyping Modelle	A	P V A
83	<b>Musterfreigabe</b>	Musterfreigabe durch den Kunden	Prototyp Produkt (P)	Prototyp Produkt freigegeben (P)		A	P
84	<b>Dokumentation Anlage</b>	Dokumentation (Nutzungsunterlagen) für die Anlage erstellen	Anlageninformation (A)	Anlagendokumenta- tion erstellt (A)	Vorhandene Anlagenhandbücher, vorhandene Arbeits- pläne	S	V A
85	<b>Dokumentation Produkt</b>	Dokumentation (Nutzungsunterlagen, Handbuch) für das Produkt erstellen	Produktinformation (P)	Produktdokumenta- tion erstellt (P)	Vorhandene Produkthandbücher	S	P

## 4. Checkliste zur integrierten Bewertung von Produkt und Montagevorgängen

<b>Absicherung von Montageeigenschaften in Abhängigkeit der Produktkonkretisierung</b>			
<b>Nr.</b>	<b>Konkretisierungsgrad</b>	<b>Erfolgsfaktoren für montagegerechte Produktgestaltung</b>	<b>J N</b>
1	Aufgabe geklärt, Schwachstellen analysiert	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prinzipielle Montierbarkeit gewährleistet?</li> <li>• Betriebliche Randbedingungen in Anforderungsliste berücksichtigt?</li> <li>• Betriebliche Planungsziele berücksichtigt?</li> <li>• Neue Montagetechnologien berücksichtigt?</li> <li>• Montagegerechtheit als Forderung aufgenommen?</li> </ul>	
2	Funktionsstruktur aufgestellt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktion auf Notwendigkeit überprüft?</li> <li>• Vormontierbare Baugruppen ableitbar?</li> <li>• Teilfunktionen zusammengefasst?</li> <li>• Baukastensystem realisiert?</li> <li>• Variantenbehafte Bauteile/-gruppen spät im Montageablauf gebildet?</li> </ul>	
3	Funktionsstruktur variiert	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nebenfunktionsträger in Hauptfunktionsträger integriert?</li> <li>• Seltene Funktionen in separate Baugruppen gelegt?</li> <li>• Umfänge der einzelnen Baugruppen begrenzt?</li> <li>• Unabhängig voneinander vormontier-/prüfbare Baugruppen gebildet?</li> <li>• Make-or-buy Entscheidung auf Baugruppenebene durchgeführt?</li> </ul>	
4	Prinziplösungen für Teilfunktionen generiert, wiederverwendbare Bauteile bestimmt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montageoperationen zusammengefasst und Endmontageumfänge in Vormontagen zusammenfassen?</li> <li>• Neue Montagetechnologien berücksichtigt?</li> <li>• Bauteilvielfalt reduziert?</li> <li>• Standardisierte Verbindungstechniken verwendet?</li> <li>• Formschlüssige Schnappverbindungen oder kraftschlüssige Pressverbindungen verwendet?</li> </ul>	
5	Konzeptvarianten erstellt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alternative Montagereihenfolgen ermöglicht?</li> <li>• Montageablauf unterschiedlicher Varianten vereinheitlicht?</li> <li>• Montage variantenbildender Bauteile/-gruppen spät im Montageablauf?</li> <li>• Bauteile integriert, die sich nicht gegeneinander bewegen müssen oder die nicht aus verschiedenen Werkstoffen bestehen müssen?</li> <li>• Seltene Funktionen in separate Baugruppen gelegt?</li> <li>• Unabhängig vormontier- und prüfbare Baugruppen gebildet?</li> <li>• Bauteilvielfalt reduziert?</li> <li>• Jede Baugruppe auf einem Basisteil aufgebaut?</li> <li>• Basisteil offen gestaltet (Zugänglichkeit von mehreren Seiten)?</li> <li>• Standardisierte Verbindungstechniken verwendet?</li> <li>• Schnappverbindungen oder Pressverbindungen verwendet?</li> <li>• Geradlinige einheitliche Fügebewegungen realisiert?</li> </ul>	
6	Hauptfunktionsträger grobgestaltet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betriebsmitteleinsatz optimiert (Normwerkzeuge etc.)?</li> <li>• Bauteile eingespart, deren Funktion von anderen Bauteilen übernommen werden kann?</li> <li>• Bauteile integriert, die sich nicht gegeneinander bewegen müssen oder die nicht aus verschiedenen Werkstoffen bestehen müssen?</li> <li>• Montageoperationen zusammengefasst?</li> <li>• Bauteilvielfalt reduziert?</li> <li>• Einheitliche Montageverfahren ermöglicht?</li> </ul>	

#### 4 Checkliste zur integrierten Bewertung von Produkt und Montagevorgängen

	Zu: Hauptfunktionsträger grobgestaltet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fügetoleranzen zwischen den Baugruppen vorgesehen?</li> <li>• Jede Baugruppe auf einem Basisteil aufgebaut?</li> <li>• Basisteil offen gestaltet und gute Lagestabilität?</li> <li>• Fügeflächen am Basisteil von einer Fügerichtung aus erreichbar?</li> <li>• Positionierhilfen vorgesehen?</li> <li>• Gleichzeitiges Fügen und Positionieren vorgesehen?</li> <li>• Geradlinige einheitliche Fügebewegung vorgesehen?</li> <li>• Sichtbarkeit und Zugänglichkeit der Fügestelle gewährleistet?</li> <li>• Ausreichend Platz für Fügebewegung vorgesehen?</li> <li>• Fügebewegung von unten vermieden?</li> <li>• Hauptabmessungen und Baugruppengewicht begrenzt?</li> <li>• Greifflächen vorgesehen und möglichst nahe am Schwerpunkt?</li> <li>• Wenden der Baugruppe während der Montage vermeidbar?</li> <li>• Gleichzeitiges Halten mehrerer Bauteile vermieden?</li> <li>• Schwer handhabbare Bauteile magazinierbar bzw. stapelbar?</li> <li>• Wenig Verbindungselemente und integrierte Sicherungselemente?</li> <li>• Einfache Fügebewegungen (Pressen statt Schrauben) realisiert?</li> <li>• Fügevorgänge leicht erlernbar?</li> <li>• Schnell zu fügende Verbindungselemente gewählt?</li> </ul>
7	Haupt- und Nebenfunktionsträger feingestaltet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausgeprägte Stand- und Auflageflächen der Einzelteile vorgesehen?</li> <li>• Orientierungshilfen der Einzelteile vorgesehen?</li> <li>• Erkennungsmerkmale der Einzelteile vorgesehen (Verwechslungen)?</li> <li>• Bauteile eindeutig symmetrisch oder eindeutig unsymmetrisch?</li> <li>• Standardisierte selbstzentrierende Greifmöglichkeiten vorgesehen?</li> <li>• Fließgut realisiert?</li> <li>• Eindeutige Vorzugslage der Teile geschaffen?</li> <li>• Problemlose Teilebewegung in automatischen Fördereinrichtungen?</li> <li>• Anpassarbeiten, Passflächen vermieden oder reduziert?</li> <li>• Überbestimmungen vermieden?</li> <li>• Engtoleriererte, toleranzhaltige Fertigung geplant?</li> <li>• Teilefertigungsprobleme (Verzug, Schwund) gelöst?</li> <li>• Formstabile Teile verwendet?</li> <li>• Stoß- und klimatisch unempfindliche leichte Werkstoffe verwendet?</li> </ul>
8	Entwurf vervollständig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Endmontageumfänge in Vormontagen zusammengefasst?</li> <li>• Fügetoleranzen zwischen den Baugruppen vorgesehen?</li> </ul>
9	Detaillierte Geometrie ausgearbeitet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausgeprägte Stand- und Auflageflächen der Einzelteile vorgesehen?</li> <li>• Einführschrägen vorsehen?</li> <li>• Orientierungshilfen der Einzelteile vorgesehen?</li> <li>• Erkennungsmerkmale der Einzelteile vorgesehen (Verwechslungen)?</li> <li>• Bauteile eindeutig symmetrisch oder unsymmetrisch?</li> <li>• Standardisierte selbstzentrierende Greifmöglichkeiten vorgesehen?</li> <li>• Fließgut möglich?</li> <li>• Eindeutige Vorzugslage der Teile geschaffen?</li> <li>• Problemlose Teilebewegung in automatischen Fördereinrichtungen?</li> <li>• Anpassarbeiten, Passflächen vermieden oder reduziert?</li> <li>• Überbestimmungen vermieden?</li> <li>• Engtoleriererte, toleranzhaltige Fertigung möglich?</li> <li>• Teilefertigungsprobleme (Verzug, Schwund) gelöst?</li> <li>• Formstabile Teile verwendet?</li> <li>• Stoß- und klimatisch unempfindliche leichte Werkstoffe verwendet?</li> </ul>

## 5. Checkliste zur Erstellung von Anforderungsprofilen für Prozessbausteine

Integriertes Anforderungsprofil des Prozessbausteins an die Durchführungskompetenz				
<b>Prozessbaustein:</b>				
<b>Organisatorische Rolle:</b>				
<b>Verfügbarkeit:</b>				
<b>Kosten:</b>				
<b>Erfolgsfaktoren</b>	<b>Keine Kenntnisse</b>	<b>Grundkenntnisse</b>	<b>Anwendungskenntnisse</b>	<b>Spezialkenntnisse</b>
<b>Fachkompetenz:</b>				
Konstruktionswissen Produktstrukturierung				
Konstruktionswissen Produktkonzeption				
Konstruktionswissen Produktentwurf				
Konstruktionswissen Produktdetaillierung				
Planungswissen Betriebsmittelauswahl				
Konstruktionswissen Betriebsmittelkonstruktion				
Planungswissen Layoutplanung				
Planungswissen Montageabläufe				
Planungswissen Montageprozesse				
...				
<b>Methodenkompetenz:</b>				
Kenntnisse in CAD				
Kenntnisse in EDM/PDM				
Kenntnisse in 3D Simulation				
Kenntnisse in Ablaufsimulation				
Kenntnisse im Prototypenversuch				
Kenntnisse in DFMA				
Kenntnisse in Produkt- u. Prozess-FMEA				
Kenntnisse in Kreativitätstechniken				
Umgang mit unreifen Zwischenergebnissen				
Fähigkeit zum Umgang mit Komplexität				
Kenntnisse in Projektmanagement				
...				
<b>Sozialkompetenz:</b>				
Führungserfahrung/Verantwortung				
Belastbarkeit				
Lernbereitschaft				
Teamfähigkeit				
Moderationsfähigkeit				
Kommunikationsfähigkeit				
Bereitschaft zur Wissensweitergabe				
Motivation				
...				

## 6. Quantitative Konzeptbewertung

Aufwände	Zeit pro MA	Sonstige Zeit	Kosten pro MA	Sonstige Kosten	Kosten Gesamt für Entwicklungsprojekt
<b>Aufwand zur Einführung:</b>					
<b>Schaffung der technologischen Voraussetzungen</b> (Server-Installation Prozessmodellierer, Zugang von allen Clients, ...)	-	30h	-	-	<b>3000 DM</b>
<b>Schaffung der organisatorischen Voraussetzungen</b> (Aufbauorganisation, ...)	0,5h	100h	50 DM	10.000 DM	<b>52.500 DM</b> (850x50+10.000)
<b>Information und Schulung</b> von 80% der Mitarbeiter	4h	20h	400 DM	2.000 DM	<b>274.000 DM</b> (850*0,8x400+2.000)
<b>Abbilden der vorhandenen Methoden und Kompetenzen</b> (ca. 50 Methoden, 850 Mitarbeiter)	0,25h	25h (0,5 x 50)	25 DM	2.500 DM	<b>23.750 DM</b> (850x25+2.500)
<b>Anpassung der Prozessbausteine</b> an vorhandene <b>unternehmensspezifische Randbedingungen</b> (zentrale Anpassung) Ca. 100 Bausteine	-	25 h (100 x 0,25h)	-	2.500 DM	<b>2.500 DM</b>
<b>Anpassung der Prozessbausteine</b> an vorhandene <b>produkt-/anlagenspezifische Randbedingungen</b> (dezentrale Anpassung, Beteiligung von 30% der Mitarbeiter) Ca. 500 Bausteine	255 h (1hx850 x 0,3)	125 h (500x 0,25h)	25.500 DM	12.500 DM	<b>38.000 DM</b>
<b>Aufwand bei Anwendung:</b>					
<b>Anpassung der Prozessbausteine</b> an vorhandene <b>projektspezifische Randbedingungen</b> (dezentrale Anpassung, Beteiligung von 80% der Mitarbeiter) Ca. 1.000 Bausteine	680 h (1hx 850x0,8)	250 h (1000 x 0,25h)	68.000 DM	25.000 DM	<b>93.000 DM</b>
<b>Modellbasierte Feinplanung</b> der Prozesse (durch 20% der Mitarbeiter und zentrale Abstimmung)	2h / Monat	16 h / Monat	200 DM / Monat	1600 DM / Monat	<b>1.495.000 DM</b> (12x3,5x(850x0,2x 200+1600))
<b>Integrierte, synchrone Erarbeitung und frühzeitige Bewertung von Produkt, Montagevorgang und Montageanlage</b> Gesamteffekt: ... bei 70% der Mitarbeiter in den ersten 2 Projektjahren: Aufwandssteigerung für „Lösungen analysieren/beurteilen“ um 30%	1,0 h / Wo. (0,08x 0,3) x 40h/ Wo.)		100 DM		<b>6.188.000 DM</b> (100x52x20x0,7x850)
<b>Modellbasierte Koordinierung</b> der Prozesse (durch 20% der Mitarbeiter und zentrale Abstimmung)	0,5h / Wo.	4 h / Wo.	50 DM / Wo.	400 DM / Wo.	<b>1.495.000 DM</b> (52x3,5x(850x0,2x 200+1600))
<b>Modellbasierte Regelung/Umplanung</b> der Prozesse (durch 10% der Mitarbeiter und zentrale Abstimmung)	2h / Monat	16 h / Monat	200 DM / Monat	1600 DM / Monat	<b>781.200 DM</b> (12x3,5x(850x0,1x 200+1600))
<b>Pflege der Prozessbausteininhalte</b> (Weiterentwicklung)	0,25 h / Wo.	-	25 DM / Wo.	-	<b>3.094.000 DM</b> (52x3,5x850x0,8x25)
<b>Pflege des Prozessbaukastens</b> (Weiterentwicklung)	-	3 h / Wo.	-	300 DM / Wo.	<b>54.600 DM</b> (52x3,5x300)
<b>Pflege der Methoden-/ Kompetenzbausteininhalte</b>	0,17 h / Wo.	-	17 DM / Wo.	-	<b>2.104.000 DM</b> (52x3,5x850x0,8x17)
<b>Pflege der Methoden-/ Kompetenzbaukästen</b>	-	10 h / Wo.	-	1.000 DM / Wo.	<b>182.000 DM</b> (= 52x3,5x1.000)
<b>Gesamtaufwand für Methodikeinführung und -anwendung in einem Projekt</b>					<b>15.880.550 DM</b>

Nutzen	Zeiteinsparung / MA	Kosteneinsparung/MA	Eingesparte Gesamtkosten
<b>Nutzen durch Effizienzsteigerung:</b>			
<b>Abbau von Prozessschnittstellen/ Kommunikationsbarrieren; gemeinsamer Erfahrungsaufbau und Problemlösungsprozess</b> => Wertschätzung der Ergebnisse, weniger Fehler => weniger Korrekturen => Effekt bei 40% der Mitarbeiter: „Lösungen suchen“ um 10%, „Lösungen darstellen“ um 10%, „Lösungen analysieren/beurteilen“ um 15% kürzer	2,9 h / Wo. (0,21x0,1+0,38x0,1+0,09x0,15)x (40h / Wo.)	290 DM / Wo.	<b>17.945.200 DM</b> (290x52x3,5x 0,4x850)
<b>Simulierbarkeit und Bewertbarkeit von Prozessen</b> durch flexibles Prozessmodell; Prozessbausteine = kontrollierbare Wertschöpfungsabschnitte => Effekt bei 20% der MA: um 20% kürzere „Informationssuche“	1,0 h / Wo. (0,13x0,2) x (40h / Wo.)	100 DM / Wo.	<b>3.094.000 DM</b> (100x52x3,5x 0,2x850)
<b>Nutzen durch direkte Zeitverkürzung:</b>			
<b>Integrierte, synchrone Betrachtung von Produkt, Montagevorgang und Montageanlage</b> => Fehler früh erkennen, größerer Handlungsspielraum, zeitparalleles Arbeiten von Entwicklung und Planung => Verkürzung von Änderungsschleifen und Entwicklungszeit => Effekt bei 60% der MA: Beschleunigung „Lösungen suchen“ um 10%; Beschleunigung „Lösungen darstellen“ um 10%	2,36 h / Wo. (0,21x0,1 + 0,38x0,1) x (40h / Wo.)	236 DM / Wo.	<b>21.905.520 DM</b> (236x52x3,5x 0,6x850)
<b>Sinkende Einarbeitungszeiten durch detaillierte stets verbesserte Prozessbausteineinhalte</b> (z.B. Arbeitsbeschreibung) => Effekt bei 80% der MA: Zeitverkürzung zur „Informationssuche“ 10% und zum „Nachdenken“ 5%	1,38 h / Wo. (0,13x0,1 + 0,43x0,05) x (40h / Wo.)	138 DM / Wo.	<b>17.078.880 DM</b> (138x52x3,5x 0,8x850)
<b>Systematik der Wertschöpfung durch Konkretisierungsgrad, Absicherungsgrad und Verbindlichkeit von Entwicklungsobjekten</b> , Beherrschung der Koordination trotz unscharfer Zwischenzustände => Verringerung von Änderungs- und Fehlerkorrekturschleifen => Effekt bei 40% der MA: Beschleunigung „Informationssuche“ um 5%; Beschleunigung „Nachdenken“ um 5%	1,12 h / Wo. (0,13x0,05 + 0,43x0,05) x (40h / Wo.)	112 DM / Wo.	<b>6.930.560 DM</b> (112x52x3,5x 0,4x850)
<b>Verfolgung der Wertschöpfung</b> => Fehler früh erkennen, keine Blindleistung => Gesamteffekt bei 100% der MA: alle Prozesse um 5% beschleunigt	2 h / Wo. 0,05 x (40h / Wo.)	200 DM / Wo.	<b>30.940.000 DM</b> (200x52x3,5x 1,0x850)
<b>Detaillierte Planung auf operativer Ebene</b> => geklärte Zuständigkeiten, Fehler / Engpässe früh erkennen => Effekt bei 80% der MA: „Informationssuche“ um 10% verkürzt	0,52 h / Wo. (0,13x0,1) x (40h / Wo.)	52 DM / Wo.	<b>6.535.520 DM</b> (52x52x3,5x 0,8x850)
<b>Schnellere Neu- und Umplanung des Entwicklungsprozesses</b> durch modulare Prozessgestaltung und vorkonfigurierte standardisierte Bausteine (Prozessbaukasten = Erfahrungsspeicher) => Effekt bei 50% der MA: Beschleunigung aller Prozesse um 5%	2 h / Wo. 0,05 x (40h / Wo.)	200 DM / Wo.	<b>15.470.000 DM</b> (200x52x3,5x 0,5x850)
<b>Schnelles Aufzeigen von Prozessalternativen</b> als Entscheidungsunterstützung („Experimentierplattform“) => effektive Problemlösung (Objektivierung und Beschleunigung der Entscheidungsfindung bei Alternativen) => Gesamteffekt bei 50% der MA: alle Prozesse 5% beschleunigt	2 h / Wo. 0,05 x (40h / Wo.)	200 DM / Wo.	<b>15.470.000 DM</b> (200x52x3,5x 0,5x850)
<b>Nutzen durch höhere Prozesssicherheit:</b>			
<b>Definition von Prozessbausteinschnittstellen</b> in einheitlichen Semantik (Kommunikationsfähigkeit) => Effekt bei 100% der MA: „Informationssuche“ um 5% verkürzt	0,26 h / Wo. (0,13x0,05) x (40h / Wo.)	26 DM / Wo.	<b>4.022.220 DM</b> (26x52x3,5x 1,0x850)
<b>Plausibilitätsprüfungen durch vorgedachte und explizit abgebildete Informationsflüsse</b> => transparente Gestaltung der Prozesse und Wirkzusammenhänge => weniger Fehler, geklärte Zuständigkeiten und Kunden-Lieferantenbeziehungen => Effekt bei 50% der MA: Beschleunigung aller Prozesse um 5%	2 h / Wo. 0,05 x (40h / Wo.)	200 DM / Wo.	<b>15.470.000 DM</b> (200x52x3,5x 0,5x850)
<b>Quantifizierbarer Gesamtnutzen für Einführung und Anwendung in einem Projekt</b>			<b>154.861.900 DM</b>

# 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 *Buchs, S.*  
Analytische Untersuchungen zur Technologie der  
Kugelbearbeitung  
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, I.*  
Schneiderodierte Oberflächen  
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*  
Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen  
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmeß, P.*  
Montagerechtes 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 *Grahe, A.*  
Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible  
Fertigungssysteme  
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Riese, K.*  
Klippsmontage mit Industrierobotern  
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 *Lutz, P.*  
Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung  
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 *Klippel, C.*  
Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen  
Fertigungssystems  
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 *Rascher, R.*  
Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der  
Kugelherstellung  
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 *Heuster, 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 *Witba, 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 Karosserieteilen auf Risse und Einschnürungen mittels Methoden der Bildverarbeitung**  
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*  
**Planungsstrategien zur störungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten**  
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*  
**3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen**  
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54076-8
- 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 Programmbaukastens 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 *Schrüfer, 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 rationalen 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 *Helml, 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 3-540-56890-5
- 62 *Stetter, R.*  
Rechnergestützte Simulationwerkzeuge zur  
Effizienzsteigerung des Industrierobotersatzes  
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dirndorfer, A.*  
Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage  
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*  
Simulation des Schwingungsverhaltens spanender  
Werkzeugmaschinen  
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woelckhaus, Ch.*  
Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-  
Layoutoptimierung  
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57264-8
- 66 *Kummetsteiner, G.*  
3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur  
Planung manueller Montagesysteme  
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelman, 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 *Raith, 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 *Romanow, P.*  
Konstruktionsbegleitende Kalkulation von  
Werkzeugmaschinen  
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3
- 82 *Kahlenberg, R.*  
Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen  
Fertigungszellen  
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1
- 83 *Huber, A.*  
Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der  
Hartbearbeitung  
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*  
Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in  
flexiblen 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 *Deutsche, U.*  
Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung  
in mittelständischen Unternehmen  
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*  
Recyclingintegrierte Produktentwicklung  
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*  
**Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte**  
1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*  
**Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen · Gestellstrukturen**  
1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*  
**Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren**  
1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*  
**Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme**  
1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*  
**Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen**  
1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*  
**Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme**  
1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*  
**Autonome Fertigungszellen · Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung**  
1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *Moctezuma de la Barrera, J.L.*  
**Ein durchgängiges System zur computer- und rechnergestützten Chirurgie**  
1996 · 99 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-61145-2
- 100 *Geuer, A.*  
**Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung**  
1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8
- 101 *Ebner, C.*  
**Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten**  
1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0
- 102 *Pischelsrieder, K.*  
**Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion**  
1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *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 *Lindnermaier, R.*  
**Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen**  
1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64668-8
- 116 *Koehrer, 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 herstellungorientierten 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 *Plöb, E.*  
**Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen**  
1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*  
**Erfahrungsgelieferte Planung von Laseranlagen**  
1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

# Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, 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, utz@utzverlag.com

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**  
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**  
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**  
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**  
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**  
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**  
86 Seiten · ISBN 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**  
80 Seiten · ISBN 3-931327-07-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel**  
130 Seiten · ISBN 3-931327-08-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**  
120 Seiten · ISBN 3-931327-09-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**  
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**  
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**  
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**  
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
- 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
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**  
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**  
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**  
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**  
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**  
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätsteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**  
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**  
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**  
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen**  
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**  
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**  
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**  
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobautteilen**  
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**  
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**  
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1
- 47 **Virtuelle Produktion - Prozeß- und Produktsimulation**  
131 Seiten · ISBN 3-89675-047-X
- 48 **Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen**  
106 Seiten · ISBN 3-89675-048-8
- 49 **Rapid Prototyping - Methoden für die reaktionfähige 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

# Forschungsberichte iw b

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, 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, utz@utzverlag.com

- 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 Partnerverbänden**  
1999 · 152 Seiten · 44 Abb. · 27 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-645-1
- 133 Heitmann, Knut  
**Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle**  
1999 · 146 Seiten · 60 Abb. · 13 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-675-3
- 134 Blessing, Stefan  
**Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen**  
1999 · 160 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-690-7
- 135 Abay, Can  
**Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik**  
2000 · 159 Seiten · 46 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-697-4

- 136 Brandner, Stefan  
**Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken**  
 2000 · 172 Seiten · 61 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-715-6
- 137 Hirschberg, Arnd G.  
**Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung**  
 2000 · 165 Seiten · 49 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-729-6
- 138 Reek, Alexandra  
**Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen**  
 2000 · 193 Seiten · 103 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-730-X
- 139 Sabbah, Khalid-Alexander  
**Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen**  
 2000 · 148 Seiten · 75 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-739-3
- 140 Schliffenbacher, Klaus U.  
**Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken**  
 2000 · 187 Seiten · 70 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-754-7
- 141 Sprengel, Andreas  
**Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung**  
 2000 · 144 Seiten · 55 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-757-1
- 142 Gallasch, Andreas  
**Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion**  
 2000 · 150 Seiten · 69 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-781-4
- 143 Cuiper, Ralf  
**Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen**  
 2000 · 168 Seiten · 75 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-783-0 · lieferbar ab ca. 02/01
- 144 Schneider, Christian  
**Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion**  
 2000 · 180 Seiten · 66 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-789-X
- 145 Jonas, Christian  
**Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen**  
 2000 · 183 Seiten · 82 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-870-5
- 146 Willnecker, Ulrich  
**Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen**  
 2001 · 175 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-891-8
- 147 Lehner, Christof  
**Beschreibung des Nd:Yag-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss**  
 2001 · 205 Seiten · 94 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0004-X
- 148 Rick, Frank  
**Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen**  
 2001 · 145 Seiten · 57 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0008-2
- 149 Höhn, Michael  
**Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme**  
 2001 · 171 Seiten · 74 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0012-0
- 150 Böhl, Jörn  
**Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung**  
 2001 · 179 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0020-1
- 151 Bürgel, Robert  
**Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben**  
 2001 · 185 Seiten · 60 Abb. · 10 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0021-X  
 lieferbar ab ca. 09/01
- 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