

Forschungsberichte

iwb

Band 122

Burghard Schneider

**Prozesskettenorientierte
Bereitstellung nicht
form stabiler Bauteile**

*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

Schneider, Burghard:
Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile /
Burghard Schneider. -
München : Utz, Wiss., 1999
(Forschungsberichte IWB ; 122)
Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 1999
ISBN 3-89675-559-5

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 1999

ISBN 3-89675-559-5

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 arbeits-teiliger 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.

Für ihre Unterstützung möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Herrn Prof. Dr.-Ing. Joachim Milberg, den Leitern dieses Instituts, besonders danken. Sie haben mir die Bearbeitung der Thematik ermöglicht und durch kritische, aber konstruktive Anregungen und wertvolle Hinweise meine Arbeit stets wohlwollend gefördert.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. W.A. Günthner, dem Leiter des Lehrstuhls für Fördertechnik, Materialfluss und Logistik der Technischen Universität München, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sowie die intensive Zusammenarbeit herzlich bedanken.

Für die Unterstützung auch durch den Verzicht auf viele Abendstunden danke ich meiner Frau Maren, für die Erkenntnis der Schönheit des Lebens meinen Kindern Tanita und Felix. Darüberhinaus bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts sowie insbesondere allen Studenten, die mich bei meinen Arbeiten unterstützt haben, recht herzlich.

Wiesbaden, im Mai 1999

Burghard Schneider

0 Abkürzungen und Formelzeichen	VI
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Einführung	1
1.3 Zieldefinition und Vorgehensweise	4
2 Situationsanalyse und Problemstellung	6
2.1 Begriffe und Definitionen	6
2.1.1 Nicht formstabile Bauteile	6
2.1.2 Prozess	7
2.1.3 Prozesskette	8
2.1.4 Montage und Handhabung	9
2.1.5 Bereitstellen	10
2.2 Analyse des Stands der Technik	12
2.2.1 Klassifizierung formlabiler Bauteile	12
2.2.2 Kostenrelevanz der Teilebereitstellung	13
2.2.3 Bereitstellungsgerechte Bauteilgestaltung	14
2.2.4 Bereitstellungsplanung	15
2.2.5 Bereitstellungskonzepte	19
2.2.5.1 Prozessfolgen und -zeitpunkte	19
2.2.5.2 Prozessorte	20
2.2.5.3 Manuelle und automatisierte Bereitstellungen	20
2.2.5.4 Defizite der Bereitstellungskonzepte	23
2.2.6 Bereitstellungstechnik	23
2.2.6.1 Speichern	25
2.2.6.2 Mengen verändern (Vereinzeln)	27
2.2.6.3 Bewegen	29
2.2.6.4 Orientieren und Positionieren	29

2.2.6.5 Halten	30
2.2.6.6 Defizite der Bereitstellungstechnik	31
2.3 Zusammenfassung der Defizite des Stands der Technik	32
2.4 Anforderungen an die Bereitstellung und Aufgabenklärung	34
3 Aufwandsbewertung der Bereitstellung	37
3.1 Bewertung des bauteilbezogenen technischen Bereitstellungs-aufwands	37
3.1.1 Vorgehen zur technischen Bewertung	37
3.1.2 Bewertungsmatrix prozessrelevanter Kriterien	39
3.1.2.1 Grundklassifizierung: Biegesteifigkeit	39
3.1.2.2 Grundklassifizierung: Volumenänderung	43
3.1.2.3 Grundklassifizierung: Elastizität	44
3.1.2.4 Grundklassifizierung: Formmerkmale	45
3.1.2.5 Weitere Klassifizierungsmerkmale	47
3.1.3 Bildung von Kennfeldern	51
3.2 Bewertung der Kosten über die Prozesskette	53
3.2.1 Einfluss der Bereitstellung auf Kosten und Wertschöpfung	53
3.2.2 Kostenfaktoren	55
3.2.2.1 Platzkosten	57
3.2.2.2 Personal	58
3.2.2.3 Transportbehälter, Magazine und Gebinde	58
3.2.2.4 Inner- und außerbetriebliche Transporte	59
3.2.2.5 Lagerung	61
3.2.2.6 Verfügbarkeit	62
3.2.2.7 Qualität	63
3.2.2.8 Humanisierung der Arbeit	64
3.2.3 Bewertung alternativer Bereitstellungen	65
3.2.3.1 Vorgehen	65

3.2.3.2 Beispiel	67
3.3 Zusammenfassung	69
4 Prozessketten der Bereitstellung als Planungsgrundlage	70
4.1 Zielsetzung	70
4.2 Systemtechnisches Verständnis der Fertigung	70
4.3 Prozesskettenbetrachtung	71
4.3.1 Prozesskettenelemente	72
4.3.1.1 Hauptprozesse	72
4.3.1.2 Nebenprozesse	73
4.3.2 Räumliche Organisation von Hauptprozessen	75
4.3.3 Zeitliche und logische Folge von Hauptprozessen	76
4.4 Zusammenfassung	77
5 Konzept der prozesskettenorientierten Bereitstellung	79
5.1 Zielsetzung	79
5.2 Einbindung in die Produkt- und Montagesystemplanung	79
5.3 Beachtung und Ableitung von Hinweisen zur bereitstellungsgerechten Konstruktion	81
5.3.1 Einfluss auf den Bereitstellungsaufwand	82
5.3.2 Einfluss auf die Prozesse und Prozessfolge	84
5.4 Prozesskettenorientierte Planung der Bereitstellung	86
5.4.1 Analyse	86
5.4.1.1 Systemabgrenzung	86
5.4.1.2 Hauptprozesse, Abhängigkeiten und Prozessgrößen	87
5.4.2 Optimierung der Prozesskette	88
5.4.3 Modelle zur Optimierung der Prozesskette	90
5.4.3.1 Ersatz und Änderung von Prozessen	91
5.4.3.2 Integration von Prozessen	94

5.4.3.3 Verschieben und Vertauschen von Prozessen	97
5.4.3.4 Fixieren von Ausgangsgrößen	99
5.4.3.5 Herstellen von Eingangsgrößen	101
5.4.3.6 Einfluss der Vorgehensmodelle auf den Entwicklungsprozess	105
5.4.4 Bewertung und Entscheidung	106
5.5 Zusammenfassung	107
6 Exemplarische Konzeptanwendungen zur Entwicklung von Bereitstellungslösungen	109
6.1 Kriterien der Gestaltung von Bereitstellungslösungen	109
6.2 Bereitstellungslösung <i>Dichtung</i>	111
6.2.1 Prozesskette und Analyse	112
6.2.2 Konzept <i>Fixieren von Ausgangsgrößen durch Teilekettenbildung</i>	113
6.2.2.1 Mehrstoffige Teileketten durch trennende Formgebung	114
6.2.2.2 Einstoffige Teileketten durch trennende Formgebung	115
6.2.3 Konzept <i>Verlagerung der trennenden Formgebung</i>	118
6.2.4 Wirtschaftlichkeit	120
6.3 Bereitstellungslösung Schlauchmontage	121
6.3.1 Prozesskette und Analyse	122
6.3.2 Konzept <i>Anpassen und Fixieren von Ausgangsgrößen</i>	123
6.3.2.1 Fixieren der Ausgangsgrößen	125
6.3.2.2 Anpassen der Hauptprozesse	128
6.3.3 Wirtschaftlichkeit	130
6.4 Bereitstellungslösung Kaschierfolie	131
6.4.1 Prozesskette und Analyse	131

6.4.2 Konzept <i>Prozessverschiebung und -integration</i>	133
6.4.2.1 Thermoelektrisches Vereinzen und Besäumen	135
6.4.2.2 Schneiden in einer Spanneinrichtung	137
6.4.3 Wirtschaftlichkeit	139
6.5 Zusammenfassung	140
7 Rechnergestütztes Planungshilfsmittel	141
7.1 Zielsetzung	141
7.2 Aufbau	141
7.2.1 Nutzung	144
7.2.2 Erweiterung und Validierung	145
7.3 Datenbasen	146
7.4 Algorithmen	147
7.4.1 Bewertungsverfahren	147
7.4.2 Auswahl von merkmalskonformen Bauteilen, Konzepten und Lösungen	147
7.5 Wertung	149
8 Zusammenfassung und Ausblick	150
8.1 Zusammenfassung	150
8.2 Ausblick	152
9 Literatur	153

0 Abkürzungen und Formelzeichen

Abkürzung	Einheit	Beschreibung
η^{ver}	-	Verfügbarkeit
bl	-	blockförmiges Bauteil
BMz_n	-	Bereitstellungs-Maßzahl nach n Kriterien
BT	-	Bauteil
c	N/m	Federkonstante
E	N/mm ²	Elastizitätsmodul
FBT	-	formlabiles oder nicht formstabiles Bauteil
fl	-	flächiges Bauteil
G	N	Gewichtskraft
v	Grad	Steigungswinkel
HP	-	Hauptprozess
h	mm	Durchhang
I_y	mm ⁴	Flächenträgheitsmoment in y
K_A	DM/a	lineare kalkulatorische Abschreibung
KB_{BT}	DM	Bereitstellungskosten pro Bauteil
KB_{BT60}	DM	Bereitstellungskosten pro Bauteil bei 60% Verfügbarkeit
K_E	DM/a	Energiekosten pro Jahr
K_I	DM/a	Instandhaltungskosten pro Jahr
K_L	DM/a	Lagerhaltungskosten pro Jahr
K_{MH}	DM/h	Maschinenstundensatz
KOS_{BT}	-	Bauteilkoordinatensystem
$KOS_{Träger}$	-	Trägerkoordinatensystem
K_R	DM/a	Raumkosten
KT_h	DM/h	Transportkosten je Stunde
$K_{VWF/h}$	DM/h	Kosten eines VWF pro Stunde
$K_{VWF/J}$	DM/a	Kosten eines VWF pro Jahr
K_Z	DM/a	kalkulatorischen Zinsen pro Jahr
l	mm	Länge
lg	-	langgestreckt-geschlossenes Bauteil
lo	-	langgestreckt-offenes Bauteil
m_{Bauteil}	kg	Bauteilmasse
NP	-	Nebenprozess

n	-	normal
OG	-	Orientierungsgrad; Anzahl der definierten Freiheitsgrade bezüglich der Orientierung eines Körpers; $0 \leq OG \leq 3$ nach VDI 2860 1990
OZ	-	Ordnungszustand = OG/PG; Anzahl der definierten Freiheitsgrade bezüglich der Orientierung und Position eines Körpers; $0/0 \leq OZ \leq 3/3$ nach VDI 2860 1990
p	-	Lagerhaltungskostenfaktor
p	-	parallel
PG	-	Positioniergrad; Anzahl der definierten Freiheitsgrade bezüglich der Position eines Körpers; $0 \leq PG \leq 3$ nach VDI 2860 1990
S	DM/Stück	Stückpreis
t_A	s	Summe aller Ausfallzeiten
t_E	s	Einsatzzeit
T_N	s	Nutzungszeit
t_N	s/Einheit	Transportzeit pro Ladeeinheit
v_{Bt0}	m/s	Geschwindigkeit eines Bauteils zum Zeitpunkt 0
v_{Btrel}	m/s	relative Geschwindigkeit eines Bauteils
VWF	-	Vibrationswendelförderer
W	J	Arbeitsaufnahmevermögen
X	Stück	übliche Bestellmenge
X_{min}	Stück	Lagersicherheitsbestand

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die Entwicklung von Montagemaschinen und -automaten basiert auf der Aufteilung der zur Bewältigung der Montageaufgabe notwendigen Arbeitsvorgänge in kleinste Einheiten und deren schrittweise Mechanisierung oder Automatisierung. Die einzelnen Einheiten oder Prozesse wurden in der Vergangenheit detailliert analysiert, in Form von Komponenten konkretisiert und optimiert. Die Montageplanung integriert die Lösungen der arbeitsteiligen Prozesse zu hochspezialisierten und hochkomplexen Montagesystemen.

Die erprobte ingenieurwissenschaftliche Vorgehensweise (z.B. nach VDI 2221 1986 oder entsprechend der 6-Stufen-Methode nach REFA 1987) führt dabei zum einen zu einer Reihe von Lösungen für Hauptprozesse, die zur Erfüllung der vorliegenden Montageaufgabe erforderlich sind. Zum anderen ist in der Folge ein Hauptarbeitspunkt die Umsetzung der zwischen den Hauptprozessen *notwendig* werdenden Nebenprozesse der Bereitstellung, die insbesondere bei nicht formstabilen Bauteilen wie z.B. Formdichtungen und Dämmfolien nur aufwendig gelöst werden können.

„Notwendigkeit ist ein Übel, aber es besteht keine Notwendigkeit, unter einer Notwendigkeit zu leben“ stellte EPIKUR (1960 S.67) schon ca. 300 v. Chr. fest. Gleichsam soll in dieser Arbeit aufgezeigt werden, warum Prozesse notwendig sind, warum auf einige Prozesse verzichtet werden sollte und wie die Reduzierung der Anzahl von Prozessen strukturiert angestrebt werden kann.

1.2 Einführung

Die Aufgaben der Montage werden durch Haupt- (z.B. Fügen) und Nebenprozesse (z.B. Bereitstellen) bewältigt (vgl. Kap. 2.1.4). Jeder notwendige Prozess erfordert dabei zur Durchführung den Verzehr von Ressourcen wie Arbeitskraft und Betriebsmitteleinsatz (GUTENBERG 1983). Trotz einer hohen Wertschöpfung ist die Montage daher mit einem Anteil von derzeit rund 18% an den Personalkosten der Produktion der deutschen Konsumgüterindustrie deutlicher Kostentreiber (SCHNEIDER 1996 S.1).

Eine Verringerung der Personalkosten ist durch die Reduzierung der Personalbindung oder der Lohnkosten zu erzielen (MÜNTHERTIES 1992 S. 5FF). Letztere Möglichkeit wird insbesondere durch die Öffnung der Märkte hinsichtlich der Austauschbarkeit von Waren und Arbeitskräften gefördert. Die vorhandene Lohnkostendifferenz hat zur Folge, dass lohnkostenintensive Tätigkeiten verlagert werden (REINHART 1998 S.2).

Geringerer Personaleinsatz erfordert bei gleicher Ausbringung eine Produktivitätssteigerung oder die Unterstützung manueller Tätigkeiten durch Mechanisierung und Automatisierung. Hochautomatisierte Montagesysteme können so Grund sein, die Produktion nicht nur im Hochlohnland zu halten, sondern sogar trotz Lohnkostendifferenzen von 1:5 wieder aus Niedrig- in Hochlohnländer zurückzuverlagern (HAP 1997 S.1 u. S.10). JUNKER (1997 S. 218) und WEBER (1997 S. 3FF) gehen zudem davon aus, dass die vom Markt bestimmten Qualitätsziele der Montage ohne Reproduzierbarkeit durch Automatisierung nicht erreichbar sind. Bedingung für eine wirtschaftliche Automatisierung ist dabei eine hohe Verfügbarkeit des Montagesystems, die personalalarm sichergestellt werden muss.

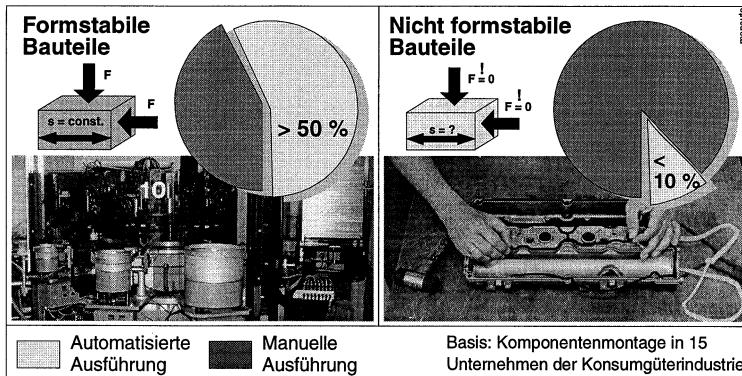


Bild 1-1: Automatisierungsgrad in der Komponentenmontage

Der Forderung nach verfügbaren automatisierten Montagesystemen kann bei *formstabilen* Bauteilen entsprochen werden. Der durchschnittliche Automatisierungsgrad von Montagen *formstabiler* Bauteile gemessen an Prozessen, die auch manuell durchgeführt werden können, liegt in der Komponentenfertigung bei über 50 % entsprechend einer Erhebung unter 15 Unternehmen der Konsumgüterindustrie (SCHNEIDER 1996 S.3) (Bild 1-1).

Die Montage *formlabiler* Bauteile erfolgt dagegen zu über 90% manuell, da automatisierte Lösungen technisch komplex sind und als nur gering verfügbar gelten. So zeigen Störungsanalysen an 12 automatisierten Montageanlagen

einen durch die Zuführeinrichtungen formlabiler Bauteile verursachten Störungsanteil von über 70 % an der Gesamtstörungszahl.

Die technische Komplexität und die geringe Verfügbarkeit resultiert dabei aus der Notwendigkeit, dass für die Handhabungsvorgänge zum *Vereinzeln*, *Ordnen*, *Weitergeben*, *Positionieren* und *Fügen* mechanisiert Kräfte auf die Bauteile aufgebracht werden müssen. Formlabile Bauteile werden jedoch durch eine Veränderung ihrer Geometrie unter Einwirkung von Gewichts- oder Fremdkräften (GREUEL U.A. 1991 S. 36) definiert, weshalb die für Montageprozesse erforderliche fixierte Geometrie nicht gewährleistet werden kann. Die Notwendigkeit einer konstanten Geometrie wird dabei weniger durch die *Fügen*- als vielmehr die Bereitstellungsvorgänge *Vereinzeln*, *Ordnen* und *Positionieren* bedingt, weshalb diese Prozesse bei formlabilen Bauteilen als Haupthinderungsgrund einer Automatisierung dedektiert werden können.

Da die Prozesse der Bereitstellung innerhalb der Montagesystemplanung nicht oder erst nach Abschluss der Grobplanung berücksichtigt werden, wird der Planer vor das Problem gestellt, die Prozesse mit der zur Verfügung stehenden Technik zu realisieren. Wird stattdessen innerhalb automatisierter Montagesysteme die Automatisierung der Bereitstellung formlabiler Bauteile ausgespart, so sind Montagesysteme die Folge, in denen der Mensch für niedrige, in feste Takte eingespannte Tätigkeiten eingesetzt wird, wogegen komplexe Fügeprozesse automatisiert durchgeführt werden - Systeme, die zum einen zu arbeitswissenschaftlich kritischen Arbeitsplätzen führen (NORO 1987) und zum anderen den Vorteil der geringen Personalbindung reduzieren.

Die Folge des Versuchs, manuelle Tätigkeiten automatisiert nachzuvollziehen, ohne die sensorischen und aktorischen Fähigkeiten des Menschen auch nur annähernd kopieren zu können, sind Systemkomponenten, die den formlabilen Eigenschaften der Bauteile nicht entsprechen. In der Konsequenz sind automatisierte Lösungen unsicher und beeinflussen die Verfügbarkeit des Gesamtsystems in hohem Maß. Hohe Kosten durch Betreuungs- und Entstöraufwand sowie komplexe Technik verhindern auch hier das Erreichen des Ziels einer wirtschaftlichen Automatisierung.

Die vorliegende Arbeit zeigt einen Weg, Automatisierungspotentiale der Montage formlabiler Bauteile auszuschöpfen. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung eines Ansatzes zur Planung der Bereitstellung, wobei durch Orientierung an Prozessketten weniger Lösungen für singuläre Bereitstellungsprobleme als vielmehr Konzepte entwickelt werden, die die Probleme formlabiler Bauteile nicht zum Tragen kommen lassen. Durch die Entwicklung eines Bewertungs- und Zuordnungsverfahrens wird dabei ermöglicht, zum einen die Notwendigkeit der Prozesskettenorientierung innerhalb der Montagesystem-

planung zu erkennen und zum anderen das erworbene Methoden- und bau teilbezogene Fachwissen auf neue Bereitstellungsprobleme übertragen zu können.

1.3 Zieldefinition und Vorgehensweise

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung und Validierung von Verfahren und Lösungen, mit der die Probleme der Bereitstellung formlabiler Bauteile durch strukturiertes Methoden- und Fachwissen gelöst werden können, um wirtschaftliche Automatisierung zu ermöglichen. Der vorgestellte Planungsansatz sowie das erarbeitete Wissen zielen dabei vornehmlich auf die Automatisierung der Montage - insbesondere das planerische Vorgehen soll aber auch manuelle Bereitstellungsvorgänge optimieren helfen. Die Arbeit basiert dabei auf Erfahrungen und Entwicklungen, die im Rahmen der Planung und Realisierung von Bereitstellungen von formlabilen Bauteilen für meist automatisierte Montagen entstanden, sowie durch intensive Kontakte mit der Industrie gesammelt wurden.

Die Betrachtung und Erarbeitung von Grundlagen-, Planungs- und Anwendungswissen (Bild 1-2) basiert dabei auf der *Infragestellung der Notwendigkeit von Bereitstellungsprozessen*.

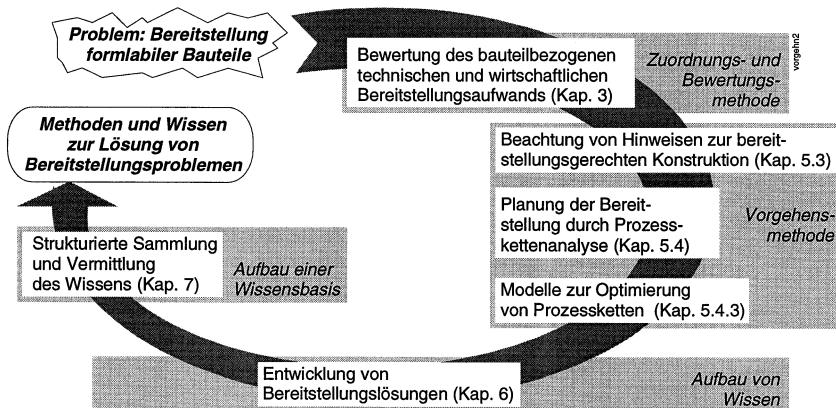


Bild 1-2: Vorgehen zur Lösung der Bereitstellungsproblematik

Das im Rahmen der Erarbeitung von Planungsvorgehen und Technologie erworbene *Methoden- und Fachwissen* soll effizient auf ähnliche Problemfälle übertragbar sein (SCHIERHOLT 1998). In einem ersten Schritt ist daher ein Schlüssel zur Zuordnung von Bauteil und Bereitstellungswissen zu erarbeiten,

welcher dem Planer ausgehend vom vorliegenden Bauteil pragmatisch zur bereits vorhandenen oder im Rahmen der Arbeit erarbeiteten Problemlösungen weist und ermöglicht, anhand des analysierten Stands der Technik den technischen und wirtschaftlichen *Aufwand für die Bereitstellung* eines beliebigen formlabilen Bauteils abzuschätzen.

Grundlage für die Entwicklung von technologischen Komponenten der Bereitstellung ist ihre Notwendigkeit, die durch ein Planungsvorgehen impliziert werden muss. Im Rahmen von Ansätzen der integrierten Montageplanung (FELDMANN 1997, REINHART 1998) reicht es dabei nicht aus, ein zu montierendes Bauteil über seine Funktion hinaus von Gestalt und Aufbau her als Fixum zu betrachten (BOOTROHYD 1992). Hier soll aufgezeigt werden, dass aus bauteilspezifischen Bereitstellungslösungen Regeln der *bereitstellungsrechten Gestaltung formlabiler Bauteile* abzuleiten sind, durch deren Beachtung Bereitstellungsaufwand reduziert werden kann.

Die vorliegende Arbeit entspricht dem Anspruch der Reduzierung von Handhabungsprozessen mit einem *prozesskettenorientierten Vorgehen zur Planung der Bereitstellung*. Die Notwendigkeit dieser Orientierung soll dabei aus der Erkenntnis abgeleitet werden, dass das Konzept und die eingesetzte Technik zur Bereitstellung die Prozesskette von der Bauteilherstellung bis zu abschließenden Qualitätskontrollen technisch und wirtschaftlich beeinflusst. Zu entwickelnde *Modelle zur Optimierung der Prozesskette* hinsichtlich der Bereitstellung führen in der Folge nicht allein zu der Lösung der Zuführeraufgabe für einen Fügeprozess, sondern sollen die Grenzen zwischen Teilefertigung und Montage aufweichen, indem eine ganzheitliche Betrachtung über die Prozesskette stattfindet. Mit der beispielhaften Entwicklung von Werkzeugen, Systemkomponenten und Verfahren im Sinn von *Bereitstellungslösungen* wird technologisches Fachwissen im Bereich der automatisierten Bereitstellung formlabiler Bauteile gesammelt und die Vorgehensweise verifiziert.

Das Methoden- und Fachwissen soll abschließend so aufgearbeitet werden, dass dem Planer die Übertragbarkeit der Lösungen auf ähnliche Problemfälle auch bei geringem Wissensstand ermöglicht wird, wie auch GÖTZ (1991 S.15) fordert. Hier muss eine Möglichkeit geschaffen werden, mit der die erarbeitete *Wissenbasis* mit vorliegenden Problemfällen verknüpft werden kann.

Ergebnis sollen Methoden und Lösungsansätze sein, die unter der Berücksichtigung des Ziels der Reduzierung von Handhabungsprozessen Bereitstellungsprobleme formlabiler Bauteile strukturiert für eine wirtschaftliche Automatisierung lösen helfen (Bild 1-2).

2 Situationsanalyse und Problemstellung

Die Situationsanalyse soll neben der Definition von Begriffen (Kap. 2.1) den Stand der Technik bezüglich der Bereitstellung formlabiler Bauteile und deren Relevanz für die Montagesystemplanung klären. Der Stand der Technik (Kap. 2.2) zeigt eingesetzte Modelle der Bauteilklassifizierung zur möglichen Wissenszuordnung auf, untersucht die Kostenrelevanz der Bereitstellung, bewertet Regeln und Kataloge der Konstruktion hinsichtlich des Bezugs auf die Bereitstellung formlabiler Bauteile und klärt Planungsansätze. Neben derzeitigen Bereitstellungskonzepten wird die Umsetzung von technischen Bereitstellungslösungen *formstabil* auf *formlabile* Bauteile analysiert. Mit der Ableitung von Defiziten können die Aufgaben und Anforderungen an die vorliegende Arbeit näher detailliert werden.

2.1 Begriffe und Definitionen

2.1.1 Nicht formstabile Bauteile

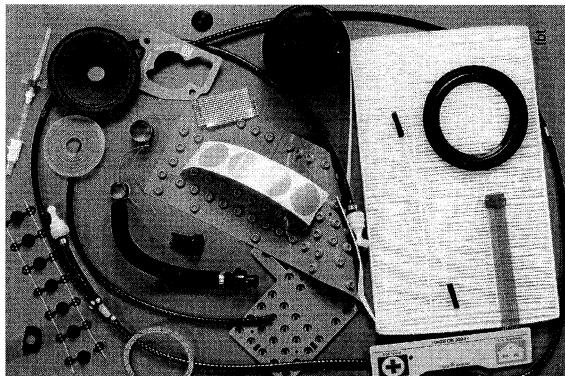


Bild 2-1: Nicht formstabile Bauteile

Die Gruppe der *nicht formstabilen Bauteile* (Bild 2-1), zu der zum Beispiel Gummidichtungen, Dämmmatte, Schläuche, Textilien, Kunststofffolien oder Manschetten gehören, wird nach der hier genutzten Definition von GÖTZ (1991 S. 27FF) so beschrieben, dass durch das Aufbringen von Schwerkraft, Reib-, Greif- oder Füge-

kräften und -momenten eine Verformung durch Stauchung, Streckung, Biegung, Verdrillung oder Volumenänderung in einer oder mehreren Dimensionen eintritt. Die Bauteile sind nicht grundsätzlich in der Lage, Zugkräfte aufzunehmen (Dichtschnur, Schaumstreifen) und besitzen nur eine geringe Biegesteifigkeit, geringe Drucksteifigkeit und niedrigen Elastizitätsmodul (HARTMANN U.A. 1987 S. 379). Bezüglich der Handhabung sind sie dadurch

gekennzeichnet, dass ihnen zur Montage eine definierte Form durch ein Werkzeug oder manuell aufgeprägt werden muss (HOßMANN 1992 S. 6).

WARNECKE & SCHRAFT (1992) nutzen den Begriff *biegeschlaff*, der nur den Teilaspekt der Verformung aufgrund Biegebeanspruchung umfasst. Nicht zu den nicht formstabilen Teilen gehört flüssiges und gasförmiges Handhabungsgut, welches physikalisch ähnliche Eigenschaften aufweist (HERRMANN 1976 S.41). Der Begriff *nicht formstabil* soll im Folgenden synonym mit *forminstabil* und *formlabil* verwendet werden.

Der Anteil formlabiler

Bauteile in Produkten der Konsum- und Investitionsgüterindustrie ist durch zunehmende Elektro- und Elektronifizierung, Sicherheitsanforderungen sowie Erhöhung des Komforts groß und steigend. Schon Werkzeuge wie z.B. Handbohrmaschinen und Stichsägen weisen durch Kabel und

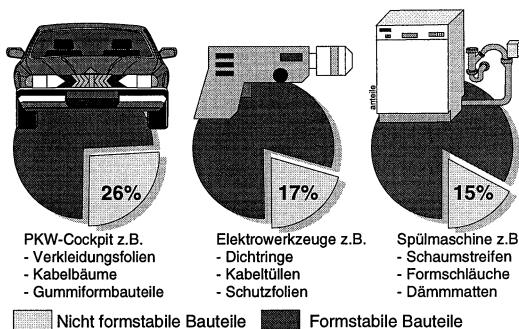


Bild 2-2: Anteile formlabiler Bauteile in Produkten

Folien gemessen an der Teileanzahl einen Anteil von ca. 17% formlabiler Bauteile auf. Die PKW-Komponente Cockpit besteht bis zu 26% aus formlabilen Bauteilen wie Kabelbäumen, Dichtungen, Bowdenzügen, flexible Durchführungen und Verkleidungsmaterial. HOßMANN (1992 S. 11) weist allein in der PKW-Endmontage rund 250 formlabile Bauteile nach. Haushaltsgeräte am Beispiel eines Geschirrspülers enthalten durch Dichtmanschetten, Schutz- und Dichtfolien, Kedergummis, Kabelbäume und Dämmmatten einen Anteil von rund 15 % an der Gesamtbauteilezahl (Bild 2-2).

2.1.2 Prozess

Nach GAITANIDES (1994 S.12FF) bildet sich ein *Prozess* durch eine ablauforganisatorische Zusammenfassung von Aufgaben. Anders als bei der *Funktion* steht hier nicht die Relation zwischen Eingang und Ausgang im Vordergrund, sondern die eigentliche Existenz von Prozessen, deren endlicher Zeitbedarf und Ressourcenverzehr sowie deren komplexe Vernetzung (EVERSHEIM 1995). DIN-NORM EN ISO 8402 (1994) definiert den Prozess allgemein als ein „Satz von in Wechselbeziehung stehenden Mitteln und Tätigkeiten, die Eingaben in Ergebnisse umgestalten“.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff *Prozess* als der Verbrauch von Produktionsfaktoren für physikalisch-technische und (hier nicht näher behandelte) chemisch-technische Vorgänge eingesetzt. Damit wird widergespiegelt, dass die an Bauteilen und Produkten verrichtete Arbeit unabhängig von ihrem Anteil an der Wertschöpfung den Verzehr von Arbeit, Maschinenkapazitäten und Kapital (GUTENBERG 1983) zur Folge hat. Montageprozesse dienen der funktionalen Beschreibung von Operationen des reversiblen oder irreversiblen Zusammensetzens von Einzelteilen oder Baugruppen. Durch Kombinationen der Prozesse zu Funktionen und weiter zu Systemen zeigt SCHMIDT (1992) auf, dass alle Montagen auf wenige Prozesse zurückzuführen sind. Die *Prozessfähigkeit* ist dabei ein Maß dafür, ob der Prozess die an ihn gestellten Anforderungen erfüllen kann (TAGUCHI 1986 S. 25-28). Unter Voraussetzung stationärer Verhältnisse wird die Prozessverfügbarkeit η^{ver} eines Betriebsmittels aus der gemessenen Einsatzzeit t_E und der Summe aller Ausfallzeiten t_A als das Verhältnis

$$\eta^{ver} = \frac{t_E - t_A}{t_E}$$

bestimmt (ARNOLD 1990, S.3).

2.1.3 Prozesskette

Durch die Prozessorientierung wird eine höhere Transparenz und Qualität betrieblicher Vorgänge und insbesondere eine Abbildungsmöglichkeit indirekter Tätigkeiten angestrebt (TRÄNCKER 1990, EVERSHHEIM & MORON 1997 S. 99-108, PFEIFFER U.A. 1998 S. 202). Die technische und organisatorische Integration übergreifender Unternehmensaktivitäten wird durch Verknüpfung von Prozessen zu *Prozessketten* geschaffen (EVERSHHEIM 1995). Dies ermöglicht eine höhere Flexibilität bezüglich Störungen und Änderungen der Auftragsstruktur sowie die Reduzierung von Liegezeiten im Unternehmen durch eine höhere Transparenz der Vorgänge.

WESTKÄMPER (1996 S. 259 u. S. 181) wendet bei der Beschreibung von Prozessketten in der Fertigung den Begriff *Mikroprozesskette* an, die z.B. die Abläufe an CNC-Werkzeugmaschinen von den bereitgestellten Informationen, Materialien und Arbeitsabläufen bis zu dem durch das fertige Werkstück repräsentierten Ergebnis abbilden. Mit *Wirkkettengliedern* (z.B. Werkzeugmaschine, Werkstück, Vorrichtung) und deren kausalen Beziehungen (*Wirkzusammenhang*) lassen sich *Wirkketten* zusammenstellen, die als Gesamtheit der Verfahrenselemente die Lage- und Bewegungszuordnung von Werkstück und Werkzeug während der Fertigung bestimmen.

Entsprechend der genutzten Definition von *Prozessen* wird von einer detaillierten, auf einer niederen Ebene angesetzten *Physikalisch-technischen Prozesskette* ausgegangen. Dabei wird die Montage nicht als ein Prozessschritt im Sinn eines Geschäftsprozesses (REINHART & GOLDSTEIN 1994 S. 131FF), sondern als eine Folge von zu verknüpfenden Prozessen wie *Fügen* (Primärprozesse) sowie Handhabungs-, Justier- und Kontrollfunktionen (Sekundärprozesse) beschrieben (Bild 2-3).

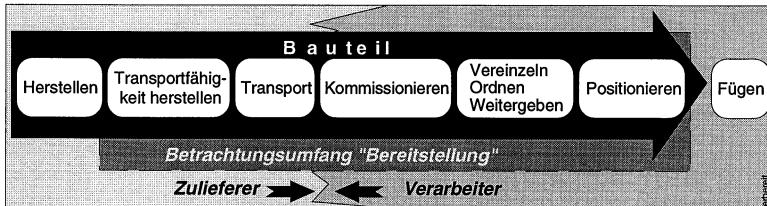


Bild 2-3: Prozesskette der Bereitstellung eines Bauteils zur Montage

2.1.4 Montage und Handhabung

Nach REINHART & SCHNEIDER (1995 S.1236) ist es Aufgabe der Montage, aus Teilen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten an unterschiedlichen Orten gefertigt wurden, ein Produkt höherer Komplexität zusammenzubauen. RICHTER U.A. (1974) definieren den Begriff *Montieren* mit den Tätigkeiten *Handhaben*, *Fügen*, *Kontrollieren* und *Justieren*. *Handhaben* wird nach VDI Richtlinie 2860 (1990) als „...das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskoordinatensystem...“ durch die Funktionen *Speichern*, *Menge verändern*, *Bewegen*, *Sichern* und *Kontrollieren* verstanden. Dabei können „weitere Bedingungen wie z.B. Zeit, Menge und Bewegungsbahn vorgegeben sein...“.

Im Folgenden wird die Definition nach GÖTZ (1991 S. 18FF) genutzt, der die *Montage* als Teilfunktion des Fertigens beschreibt, die sich aus den Teilprozessen *Bereitstellen*, *Vereinzeln*, *Handhaben*, *Fügen* und *Justieren* zusammensetzt. Diese Prozesse sind nach den VDI Richtlinien 3239 (1966) und VDI 2860 (1990) darüberhinaus in *Elementarfunktionen* und *zusammengesetzte Funktionen* zu untergliedern und zu beschreiben.

2.1.5 Bereitstellen

Auch wenn die Begriffe *Teilebereitstellung*, *Zuführen* und *Zubringen* übliche Terminologien in der Kommunikation von Industrie und Wissenschaft sind, ist eine klare Abgrenzung oder ein direkter Zusammenhang der Begriffe in der Produktion aus der Literatur nicht ersichtlich (vgl. VDI 3244 1965, VDI 3239 1966 und VDI 3240 1971).

VDI Richtlinie 3240 (1971) beschreibt *Zubringen* als „einleitende, weiterleitende und beendende Bewegungen mit dem Arbeitsgut bei Fertigungsvorgängen“; WARNECKE & SCHRAFT (1992) und STROHMEYER (1993 S. 5) definieren es als das Bewirken von Werkstück-, Werkstoff- und Werkzeugfluss zu, von und zwischen Wirkstellen. Die *Zubringeeinrichtungen* übernehmen dabei alle Funktionen, die notwendig sind, das Handhabungsgut in der richtigen Anzahl bzw. Menge in einer bestimmten Lage und Richtung an die Wirkstelle zu bringen und haben mit ihrer Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit einen entscheidenden Einfluss auf das Produktionsergebnis. *Zubringen* deckt nach TÜCHELMANN (1986 S. 153FF) dabei nur den Materialfluss 4. Ordnung, also den Materialfluss innerhalb von Produktionseinrichtungen ab (BULLINGER & LUNG 1994).

KROCKENBERGER (1995 S. 17) sieht im *Zuführen* den Transport von Bauteilen zur Bereitstellungsvorrichtung und stellt Bauteile in Reichweite einer Bedienperson oder eines Handhabungsgerätes an der Maschine *bereit*. Nach WIENDAHL (1987 S. 3) besteht das *Zuführen* im stufenweisen Vereinzeln und Ordnen der Teile aus dem Schüttgutzustand bis hin zum *Bereitstellen* der einzelnen Teile in definierter Lage und Ordnung zu einem gewünschten Zeitpunkt. SPUR & STÖFERLE (1986) und ROCKLAND (1995 S. 9) fassen diese Vorgänge unter der *Bereitstellung für automatisierte Anlagen* zusammen, sprechen aber bei der *Anlieferung* ebenfalls von *Bereitstellung*.

Basierend auf diesen heterogenen Definitionen und dem industriellen Sprachgebrauch entsprechend werden im Folgenden unter dem Begriff *Bereitstellung* alle logistisch verbindenden Arbeitsvorgänge von der Entnahme der Teile aus dem Werkzeug oder Spannmittel beim Zulieferer bzw. in der Vorfertigung bis hin zum notwendigen Halten oder Spannen der Teile durch Betriebsmittel in der Fertigungs- bzw. Montagezelle oder dem Fertigungs- bzw. Montagesystem des Verarbeiters zusammengefasst (Bild 2-3). Ausgeschlossen werden Prozesse, die den geplant wertschöpfenden Teil der Prozesskette bilden (z.B. ein Fügeprozess). Zur begrifflichen Eingrenzung der *technisch-logistischen Bereitstellung* wird folgende Definition angelehnt an BROCKHAUS (1987), REFA (1987), DONNEL (1992 S. 29) und WILDEMANN (1995) vorgeschlagen (Def.1.1):

Definition 1.1: Die **technisch-logistische Bereitstellung** umfasst alle betrieblichen Maßnahmen, die dazu dienen, das zu verbauende Material in der erforderlichen Art, Güte und Menge rechtzeitig, positions- und lagegerecht zu möglichst geringen Kosten für den Fertigungsprozess zur Verfügung zu stellen.

Während Definitionen des Materialflusses (z.B. VDI Richtlinie 3300 1963) den Fluss allen Materials (Werkzeuge, Abfallstoffe, Messmittel etc.) beschreiben, wird im Rahmen dieser Arbeit allein der Materialfluss erster bis vierter Ordnung (BULLINGER & LUNG 1994) der zur Montage vorgesehenen Bauteile betrachtet.

Zur Eingrenzung wird ein Ebenenmodell der Bereitstellung vorgeschlagen. Basis ist die logistische Ebene, in der die gewählten technischen Hilfsmittel verwaltet und gesteuert sowie Ausbringungsgrößen vorgegeben und kontrolliert werden (WILDEMANN 1995). Die dafür notwendigen Prozesse können mit technischer Hilfe mechanisiert und automatisiert unterstützt oder durchgeführt werden. Durch physikalische Prozesse wird das Material schließlich beschleunigt, bewegt und verzögert. Die Arbeit schließt die Betrachtung rein logistischer wie auch rein physikalischer Fragestellungen aus, da beide Aspekte durch den Montageplaner nicht beeinflusst werden (Bild 2-4).

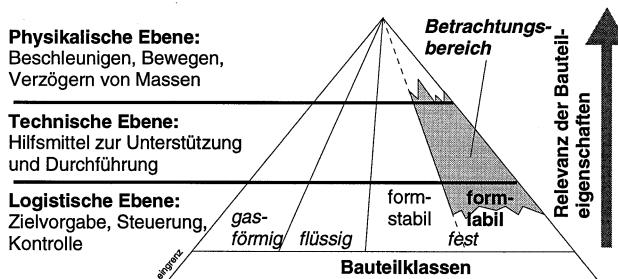


Bild 2-4: Ebenenmodell der Bereitstellung

Prozesse zur Realisierung der Bereitstellung liegen in der Handhabung in den Bereichen *Speichern*, *Menge verändern*, *Führen*, *Orientieren*, *Positionieren*, *Sichern* und *Kontrollieren* (dieser Prozesse) (Bild 2-5). Basierend auf Definition 1.1 gibt ein *Bereitstellungskonzept* an, in welcher Folge, zu welchem Zeitpunkt und an welchem Ort die Prozesse stattfinden. Das Konzept beeinhaltet darüberhinaus eine Aussage über die manuelle oder mechanisierte bzw. automatisierte Ausführung der Bereitstellung. Die *Bereitstellungstechnik* führt einzelne oder mehrere Prozesse der Bereitstellungs-Prozesskette durch oder unterstützt diese und beschreibt somit die technische Ausführung der Prozesse.

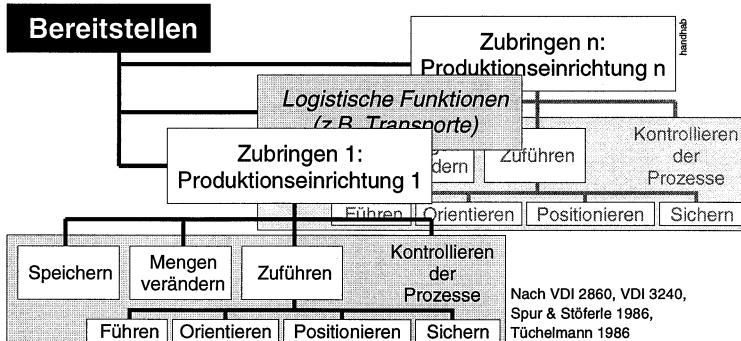


Bild 2-5: Definition Bereitstellen

2.2 Analyse des Stands der Technik

2.2.1 Klassifizierung formlabiler Bauteile

Verschiedene montageunabhängige Klassifizierungsmöglichkeiten, wie nach Verhaltenstypen (VDI 3237 1967) oder geometrischen Merkmalen (VDI 3240 1971), wie auch bekannte Verfahren für Maschinenbau-Einzelteile nach OPITZ (1966) werden als Werkstück-Systematik zur Produktgestaltung, Arbeitsplanung, Arbeitssteuerung und Investitionsplanung eingesetzt (BRANKAMP 1975 S. 29FF). ABELE (1996) bewertet und verbessert die Fertigungsgerechtigkeit von Blechwerkstücken mit Hilfe der Aufstellung einer Reihe von Merkmalen der Bauteile gegenüber Merkmalen von blechverarbeitenden Fertigungseinrichtungen. Mit der Aufstellung stochastischer Modelle versuchen LO & DORE (1990 S. 69FF), ausgehend von drei groben Formklassen Zuführsysteme zu entwickeln. ALTENWERTH U.A. (1984) beschreiben Merkmale formstabiler Werkstücke und resultierendes Werkstückverhalten beim automatisierten Ordnen.

Nach GÖTZ (1992 S. 107) sind Bauteilmerkmale wie z.B. Oberflächen- oder Randhaftung für den Aufwand zur Bereitstellung verantwortlich und können als Bewertungskriterien dienen. Weitere Merkmale wie Dicke und Biegesteifigkeit ermöglichen z.B. bei Textilien prinzipiell eine prozessbezogene Klassifizierung, wobei aber eine scharfe Trennung aufgrund der Inhomogenitäten des Materials nicht möglich ist (KROCKENBERGER 1995 S. 18FF). Im Rahmen dieser Arbeit wird auf die Unterteilung nach Formen formlabiler Bauteile nach

MILBERG U.A. (1987 S. 27) Bezug genommen, die nach den Formgruppen *blockförmig*, *flächig* und *langgestreckt* klassifizieren.

Abgesehen von einzelnen Kriterien ist eine umfassende Klassifizierung formlabiler Bauteile nicht bekannt. Damit ist es nicht möglich, entwickelte und ggf. erprobte bauteilspezifische Verfahren, Lösungen und Erfahrungen der Bereitstellung auf andere Bauteilgruppen oder Bauteile zu übertragen, wie dies z.B. für *formstabile* Bauteile bei der Auslegung von Vibrationswendelförderern nach WARNECKE & SCHRAFT (1992) oder zur Auslegung von Werkstückspeichern nach STROHMEYER (1992 S. 117FF) realisiert wird.

2.2.2 Kostenrelevanz der Teilebereitstellung

Nach LOTTER (1992) und REINHART & SCHNEIDER (1995 S. 1236) liegen Bereitstellungsprozesse im Bereich der Sekundärmontagefunktionen. Sie werden nicht als wertschöpfend bzw. nicht zum Produktionsfortschritt beitragende Tätigkeiten bezeichnet (SPUR & STÖFERLE 1986). Das Bereitstellen der zu montierenden Einzelteile ist nach LOTTER & SCHILLING (1996 S. 28) jedoch das Grundproblem der Montageautomatisierung und für die erzielbare Wirtschaftlichkeit verantwortlich.

Die monetäre Bewertung von Montageanlagen ohne Differenzierung nach Füge- und Bereitstellungsprozesslösungen erfolgt nach Methoden der Wirtschaftlichkeits-, Kosten- und Investitionsrechnung (WARNECKE U.A. 1980, ALTENWERTH U.A. 1984) im Rahmen der Systembewertung. So bewerten NOLLEK (1987) und GUTSCHE (1993) Montagesysteme für Textilien; REINHART (1988), SCHLAICH (1988), CRAMER (1995) und RUPPRECHT (1997 S. 12FF) das Konfektionieren von Kabelbäumen und GÖTZ (1991) und MILBERG & DIRNDORFER (1991) Montagesysteme flächiger Bauteile.

Die Wirtschaftlichkeit der Bereitstellungstechnik wird allein für Magazinpaletten nachgewiesen, wobei Schwerpunkte auf den logistischen Aspekten wie Anzahl, Mehrfachnutzung und Umlaufverhalten liegen. ZIPSE (1987) bewertet Magazinpaletten, während GRAF (1984), HILGENBÖCKER (1985), ROCKLAND (1995) und LOTTER & SCHILLING (1997) die Wirtschaftlichkeit der Magazinierung untersuchen.

WIENDAHL (1987 S. 2) unterstreicht die wirtschaftliche Bedeutung der Beherrschung des Zuführprozesses bezüglich der Qualität des Produktes und der Verfügbarkeit der Montageanlage. Auch die Kosten für Fehlplanungen der Zubringetechnik sind nach GRAF (1984 S. 53FF) hoch. Nach HOBBMANN (1992 S. 13) liegen die Einsatzhemmnisse automatisierter Technik für formlabile langgestreckte Bauteile im Vergleich zu formstabilen Bauteilen insbesondere

in wirtschaftlichen Kriterien wie hohen Investitionskosten, hohem Planungsaufwand und geringen Montagegeschwindigkeiten. KROCKENBERGER (1995 S. 14) schildert, dass allein die Bereitstellungsprozesse die Verfügbarkeit einer Nähzelle reduzieren, geht aber nicht auf die wirtschaftliche Relevanz ein.

ROCKLAND (1995 S. 45) ermittelt analytisch eine durchschnittliche Personalbindung von ca. 8% eines Anlagenbedieners pro automatisiertem Zuführgerät, wobei die Zeiten zur Erkennung der Störung, Wegzeiten und die Zugänglichkeit des Störortes nicht berücksichtigt sind. Weiterhin werden die durch die Bereitstellung verursachten Taktzeitverluste monetär bewertet und der Bereitstellungstechnik als Kostenträger zugeordnet. Auch BOOTHROYD U.A. (1985 S. 144) zeigen auf, dass die Kosten der Bereitstellung nicht nur aus der eingesetzten Technik resultieren, sondern in hohem Maß von den vor- und nachgeschalteten Operationen und dem notwendigen Personal abhängig sind.

Übergreifende wirtschaftliche und technische Vergleiche verschiedener Bereitstellungsverfahren und -konzepte über Prozessketten von der Herstellung bis zur Montage, die nicht ausschließlich im Bereich der Logistik liegen, sind nicht bekannt. Dies verhindert den Nachweis der wirtschaftlichen Relevanz der Bereitstellung innerhalb von Prozessketten der Montage.

2.2.3 Bereitstellungsgerechte Bauteilgestaltung

Montagegerechte Produktgestaltung hat zur Aufgabe, Produkte so zu konstruieren, dass der Montageaufwand ein Minimum erreicht (GAIROLA 1981, BOOTHROYD 1992), wobei der Aufwand die monetär bewertete Summe aller zur Montage notwendigen manuellen, maschinellen und organisatorischen Aufwendungen sowie aller benötigten Energien und Hilfsstoffe ist (BÄBLER 1988). Der Begriff *bereitstellungsgerecht* zielt auf die konstruktive Berücksichtigung der Möglichkeiten der Fertigungstechnik, die sich aus vorhandenen oder möglichen Bereitstellungskonzepten und -techniken ergeben (VDI 3237 1967).

Eine Reihe von Arbeiten wie KAHMEYER & WILLY (1992), LOTTER (1992) und BULLINGER (1986) behandeln die montagegerechte Gestaltung von Bauteilen, Verbindungen und Produkten unter der Einbindung der Produkt- in die Montagesystemgestaltung. Obwohl die Bereitstellung als Teil der Montage zu sehen ist, wird jedoch der Schwerpunkt stets auf den Verbindungsaufbau und die Fügetechnik gelegt (GAIROLA 1981, ANDREASEN U.A. 1988, BÄBLER 1988, SCHMAUS 1993).

In VDI-Richtlinie 3237 (1967) und BOOTHROYD U.A. (1985) wird auf den Begriff *bereitstellungs- bzw. zubringegerecht* eingegangen und es werden Vorschlä-

ge zur Zuführung von Beispielbauteilen gemacht. Die Arbeiten beschränken sich jedoch auf formstabile Bauteile und feststehende Bereitstellungsverfahren.

Nach MILBERG U.A. (1987 S.26) und REINHART U.A. (1998 S. 19-25) liegt eine starke Wechselbeziehung zwischen Montageprozess und der konstruktiven Gestaltung formlabiler Bauteile vor. Die Gestalt des zuzuführenden Bauteils ist ein wesentlicher Einflussfaktor auf die technische und wirtschaftliche Gestaltung des Montagesystems. Auf dem Gebiet formlabiler Bauteile wird montage- aber auch bereitstellungsgerechte Produktgestaltung gefordert, so durch FRANKENHAUSER (1988) für Schläuche, HARTMANN U.A. (1987 S. 380) für Dichtungsprofile, SPIES (1991) für GF-Matten oder SCHLAICH (1988FF) und CRAMER (1995 S. 35FF) für Kabel. HOBMANN (1992 S. 68FF) fordert in Gestaltungsregeln für langgestreckte Bauteile, dass eine endlose Bereitstellung durch geometrisch nicht über die Länge veränderliche Querschnitte ohne Formecken oder Formelemente ermöglicht werden muss. Für flächige Bauteile gibt GÖTZ (1991 S. 121) den Hinweis, dass die Vereinzelbarkeit flächiger Bauteile von einem Stapel am sichersten durch Produkt- und Produktionsgestaltung wie nichthaftende Oberfläche, über die Fläche gleiche Dicke und Vermeiden von Randverschweißung sichergestellt wird.

Der Fokus von Regelwerken und Katalogen der bereitstellungsgerechten Produktgestaltung liegt auf dem Prozess des Speicherns, der bereitstellungstechnisch unkritisch ist (vgl. Kap. 2.2.6.1). Abgesehen von einzelnen Hinweisen wird die Gruppe der formlabilen Bauteile nicht strukturiert berücksichtigt. Bekannte Kataloge bereitstellungsgerechter Produktgestaltung implizieren das Vorliegen einer Bereitstellungslösung für das vorliegende Bauteil. Entsprechend dem konventionellen Planungsvorgehen (vgl. Kap. 2.2.4) wird die Lösung jedoch nicht vor dem Abschluss der Produktkonstruktion gewählt, sondern erst nach der Entwicklung des Montagesystems. Nachdem auch die Kostenrelevanz der Bereitstellung nicht nachgewiesen wird (vgl. Kap. 2.2.2), ist ein Einfluss der Bereitstellung auf die Produktkonstruktion bislang nicht zu erwarten.

2.2.4 Bereitstellungsplanung

Durch die Montageplanung als Teil der Produktionsplanung wird der objekt-orientierte Montageauftrag durch eine Kombination der betrieblichen Ressourcen gelöst und die Festlegung und Abfolge von Funktionen, Orten und Zeiten der Montage durchgeführt (REINHART & SCHNEIDER 1995 S. 1243). Ergebnis der Planung ist ein Montagesystem mit materiellen, dispositiven und operativen Komponenten (SPUR & STÖFERLE 1996). Ein strukturiertes Vorge-

hen in der Montageplanung wird in der Literatur detailliert behandelt, wobei sich folgende Planungsschritte herauskristallisiert haben (VDI 2221 1986, BULLINGER 1986, REFA 1987, GEYER 1991, LOTTER 1992, FELDMANN 1997):

- Produktgestaltung,
- Analyse der Montageaufgabe,
- Festlegung der Montagereihenfolge und Modularisierung,
- Montagekonzepterstellung,
- Prinziplösungen für die Einzelmontage,
- Bildung von Montagestationen und Abtaktung der Stationen,
- Layouterstellung (ggf. unterstützt durch Simulation),
- Detailplanung und
- Realisierung.

ALTENWERTH U.A. (1984) wenden das Vorgehen explizit auch zur Lösung der Ordnungs- und Zuführungsaufgabe an. Weitere Ansätze basieren darauf, die Planungsschritte nicht sequentiell, sondern integriert durchzuführen, um die Planungsqualität und -zeiten zu verbessern (FELDMANN 1997, REINHART U.A. 1998 S. 19-25). Alle Arbeiten messen der Planung der Teilebereitstellung auch bei formlabilen Bauteilen keinen hohen Stellenwert bei und ordnen die Detaillierung der Prozesse erst nach der Gestaltung der Fügevorgänge an. Aus Sicht der Bereitstellung formlabiler Bauteile beschäftigen sich ausgewählte Ansätze zur Planung von Montagesystemen mit der allgemeinen Montageplanung, ohne Bezug auf besondere Bauteilklassen zu nehmen. Andererseits gehen Arbeiten, die eine besondere Auswahl formlabiler Bauteile untersuchen, nur auf die fügeprozessbezogenen Probleme ein (Bild 2-6).

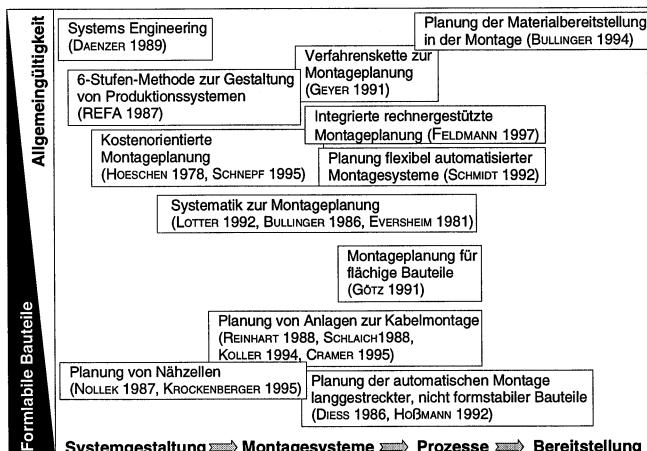


Bild 2-6: Gegenüberstellung von Methoden zur Planung und Systemgestaltung

HILGENBÖCKER (1985), SCHANZ (1988), WIENDAHL U.A. (1993) und ROCKLAND (1995) stellen Verfahren zur Planung von Zuführsystemen vor, die allerdings nicht auf die Lösung der objektorientierten Bereitstellungsaufgabe im Rahmen der Montageplanung, sondern auf die Auslegung oder Flexibilisierung von vorgesehenen Zuführeinrichtungen zielen. So überprüft RAHNEJAT (1986 S. 188FF) das Verhalten des Bauteils unter den Bedingungen der eingesetzten Zuführtechnik durch rechnergestützte Simulation.

Bei der Unterstützung des Planungsvorgehens durch Rechnerhilfsmittel liegt ein deutlicher Schwerpunkt auf den Abläufen, den Bewegungen zum Fügen, der Layoutoptimierung und der Durchlaufzeitermittlung (SCHUSTER 1992). SELIGER U.A. (1992) stellen Montageprozesswissen für die Anlagenkonstruktion rechnerunterstützt bereit. Dabei wird auf das Beispiel *Dichtschnur einlegen* eingegangen - die Unterstützung des Konstrukteurs liegt aber darin, mit dem Montageprozesswissen das (formstabile) Basisbauteil fügegerecht zu gestalten.

Ansätze wie LASHIN (1992) stellen Zusammenhänge zwischen Bauteilen und Bereitstellungseinrichtungen auf. Ziel ist die Nutzung bildverarbeitender Systeme, deren Einsatzmöglichkeiten durch strukturierte Bauteilinformation erweitert werden sollen. HUANG & LEE (1991 S. 599FF) und FELDMANN (1997) generieren ausgehend von den CAD-Daten des Produktes, der Bauteile und der zur Verfügung stehenden Montageanlage automatisiert einen Montageplan. Anders als die Fügeprozesse findet die Bereitstellung dabei keine Berücksichtigung.

GÖTZ (1992 S. 46) schlägt eine Grobeinteilung der Montageplanung für flächige und zum Teil auch formlabile Bauteile in *Analyse von Bauteileigenschaften und Fügeverfahren, Gestaltung der Greiftechnik und Ergänzende Komponenten und Prozesse* vor. Innerhalb der Prozessplanung sind auch alle Bereitstellungsprozesse zu planen; eine Detaillierung unterbleibt jedoch.

Die Planung von Kabel- und Kabelbaummontagen erfolgt bei KOLLER (1994) und CRAMER (1995) ohne Berücksichtigung der Bereitstellung. KROK-KENBERGER (1995 S. 101) weist bei der Planung von Nähzellen auf die Notwendigkeit der Berücksichtigung der Bereitstellung als Teil der Zellenplanung hin und zeigt auf, wie durch Merkmale der Textilien Vereinzelungstechniken und Greiftechnologie ausgewählt werden können. HOBBMANN (1992 S. 23FF) erstellt eine Vorgehensweise zur Automatisierung der Montage von langgestreckt-offenen Bauteilen, indem die parallel zu betreibende Konstruktion der Produktverbindung und die Konstruktion des Montagewerkzeugs in die Phasen *Aufgabenklärung, Konzeptphase, Entwurfsphase* sowie *Ausarbeitungs-*

phase eingeteilt wird. Die Bereitstellung wird dabei in der letzten Detaillierungsstufe geplant.

Allein LOTTER (1992) schlägt vor, die Bereitstellungstechnik parallel zu den Fügeprozessen zu planen und die Kosten der Bereitstellungseinrichtungen beispielsweise für Magazinierungen schon im Planungsstadium zu prüfen. BAUMBACH & MÜLLER (1990 S. 54) führen eine integrierte Betrachtung der automatischen Bereitstellung, des Transportes und des Lagerns durch, wobei das Spektrum des bereitzustellenden Gutes aus Werkzeugen mit genormten Schnittstellen besteht, weshalb eine Übertragbarkeit auf Bauteile nicht gewährleistet ist.

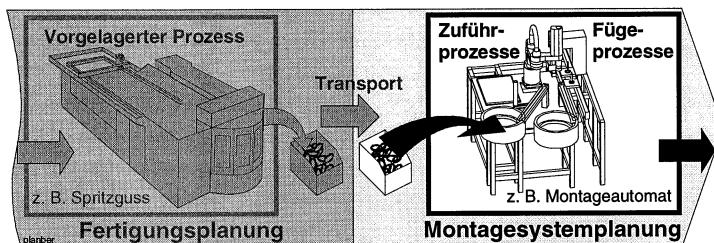


Bild 2-7: Konventionelle Realisierung der Bereitstellung

Zusammenfassend geht die Planung der Bereitstellung zur Montage, ohne einen Schwerpunkt zu bilden, in die Montagesystemplanung ein. Als produktspezifische Planungsdaten dienen das zu montierende Mengengerüst, die einzuhaltenden Zeiten, der Anlieferungszustand der Bauteile sowie die geometrischen Daten der Bauteile und Randbedingungen zur Integration in eine Anlage, Zelle oder einen Arbeitsplatz. Die ausgewählte Fügetechnologie erfordert einen Bereitstellungszustand der Bauteile in Form bestimmter Ordnungszustände und Bauteillagen, wie auch die Einhaltung von Bereitstellungstoleranzen. Aus diesen Größen wird, unabhängig von den vorhergegangenen Herstellungsprozessen oder Transportvorgängen, eine technische Bereitstellungslösung in Form von Zubringefunktionen entwickelt (Bild 2-7).

Die Bereitstellung wird in den Vorgehensmodellen zur Planung von Montagesystemen nicht oder erst zu einem späten Zeitpunkt berücksichtigt, bei dem die Notwendigkeit der Einführung von Bereitstellungsprozessen bereits gegeben ist. In der Folge müssen die notwendig gewordenen Prozesse technisch aufwendig (vgl. Kap. 2.2.6) realisiert werden. Dies unterstreicht die in Kapitel 2.2.5 geschilderte Häufigkeit einer gleichbleibenden Prozesskette der Bereitstellung mit Anordnung der Bereitstellungsprozesse unmittelbar vor dem Fügeprozess.

2.2.5 Bereitstellungskonzepte

Das Bereitstellungskonzept umfasst die Prozessfolgen und -zeitpunkte, die Prozessorte sowie den Grad der Automatisierung (vgl. Kap. 2.1.5). Der industrielle Stand der Technik wurde in einer Analyse von 43 automatisierten Montagen formlabiler Bauteile unterschiedlicher Klassen in 11 Unternehmen der Konsum- und Investitionsgüterindustrie erfasst und analysiert.

2.2.5.1 Prozessfolgen und -zeitpunkte

Die Analyse zeigt eine in hohem Maß identische Folge der Bereitstellungsprozesse und zeitliche Einbindung in die Montagefolge. Bei gleichem Ziel der Kette der Prozesse (vgl. Def 1.1, Kap. 2.1.5) werden die zu fügenden Bauteile für automatisierte Montagen teil- oder ungeordnet gespeichert (gebunkert), bewegt, durch Drehen und Wenden orientiert und anschließend geordnet oder teilgeordnet gespeichert (gepuffert). Nach dem Vereinzeln werden die Bauteile für den Fügeprozess positioniert (Bild 2-8). Überlagert sind dabei Prozesse des Führens oder Weitergebens zum Überbrücken von Wegen.

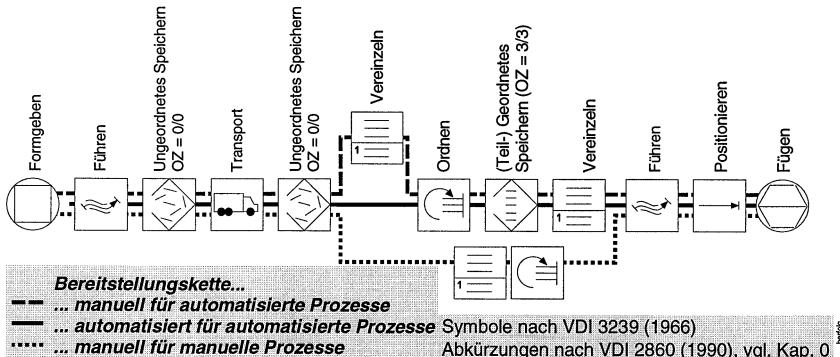


Bild 2-8: Bereitstellungsketten in der Montage

Manuelle Bereitstellungen unterscheiden sich durch die Anordnung des Vereinzelungsprozesses vor dem Ordnungsprozess. Werden Bauteile manuell für automatisierte Anlagen bereitgestellt, so wird diese Vereinzelung additiv eingesetzt. Alle Bereitstellungsprozesse werden unmittelbar vor dem Fügeprozess und nach einem Transport (aus der Zulieferung oder einem Lager) angeordnet.

Für die automatisierte Kabelmontage schlägt SCHLAICH (1988 S. 47) vor, das Ablängen (Vereinzeln) von Leitungen zu verschiedenen Zeitpunkten wie vor oder nach dem Speichern bzw. nach dem Verlegen aller Leitungen durchzu-

führen. GRAF (1984), ZIPSE (1987), ZIERSCH (1987 S. 12FF) und LOTTER (1992) zeigen konzeptionelle Wege für den Einsatz von Magazinen für manuelle und automatisierte Montagen auf, gehen aber nicht auf die Probleme und Notwendigkeiten formlabiler Bauteile ein. Bei der oben genannten Folge von Fertigungsprozessen erfolgt dabei eine zeitliche Entkopplung und damit eine Verringerung des Einflusses der Bereitstellung auf den Fügeprozess.

2.2.5.2 Prozessorte

In der Regel liegen die Prozessorte für die Vielzahl der Bereitstellungsprozesse zum Fügen unabhängig von manueller oder automatisierter Ausführung beim Verarbeiter in unmittelbarer Nähe des Fügeortes. Dies ist darin begründet, dass der Transport und die Anlieferung der Bauteile im Allgemeinen un- bzw. teilgeordnet erfolgt und ein höherer Ordnungsgrad für den Fügeprozess hergestellt werden muss (Bild 2-9). Allein Prozesse zum Ordnen flächiger (stapelfähige Folien u.ä.) und langgestreckt-offener Bauteile (Dichtschnur u.ä.) sind an anderen Orten zu beobachten, da geeignete Speicher zur Verfügung stehen, um den (teil-)geordneten Zustand zum Fügeort zu transferieren.

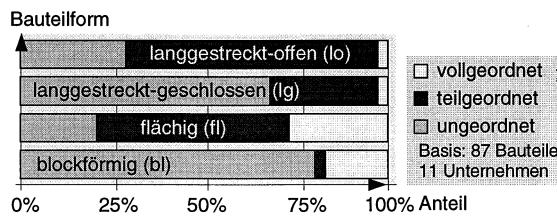


Bild 2-9: Anlieferform im Fügebereich

ZIERSCH (1985), SCHMIDT (1992) und ROCKLAND (1995) zeigen Vorteile einer von automatisierten Montageanlagen entkoppelten Kommissionierung (Magazinierung) der Bauteile auf und

stellen Vorgehensweisen zu deren Einbindung bei der Neuplanung flexibel automatisierter Montageanlagen vor. So werden die Prozesse *Speichern - Bewegen - Orientieren - Speichern* auch räumlich vom Fügeprozess entkoppelt. Auch SCHLAICH (1988 S. 51) gibt die Anregung, bei der Kabelmontage den Ort des Vereinzelungsprozesses flexibel zu wählen und schlägt alternativ den Lagerort des Kabels, das Verlegewerkzeug oder aber eine dem Fügeprozess nachgeschaltete Station vor.

2.2.5.3 Manuelle und automatisierte Bereitstellungen

Eine durchgehend automatisierte Bereitstellung liegt vor, wenn tatsächlich alle Prozesse von der Fertigstellung des Bauteils bis zum Fügeprozess ohne manuellen Eingriff erfolgen und die Prozesskette damit geschlossen ist (WEIB 1996). Die Ausführung der Prozesse *Speichern - Bewegen - Ordnen - Verein-*

zeln - Positionieren - Halten wurde durch Beobachtungen an teilautomatisierten Montagesystemen mit formlabilen Bauteilen für Produkte wie Haushaltsgeräte, Elektroartikel und PKW analysiert. Der Betrachtungsumfang umfasst die Speicherform beim Eintritt der Bauteile in das System, einen danach angeordneten Bewegungsvorgang, das Überführen in einen geordneten Zustand, das Vereinzeln, das erneute Bewegen zum Fügeort, das Positionieren für einen Fügeprozess sowie gegebenenfalls dazu notwendige Haltevorgänge (Bild 2-10).

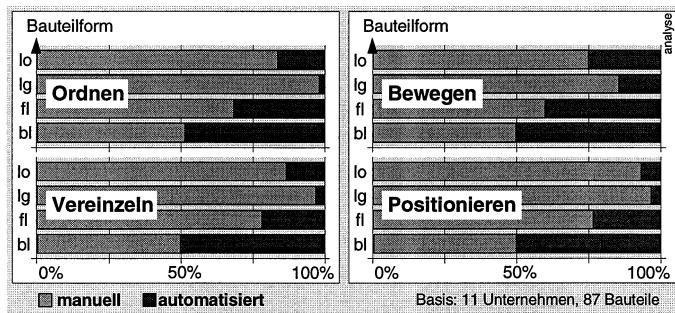


Bild 2-10: Ausführung von Bereitstellungsprozessen

Die Analyse zeigt auf, dass langgestreckte Bauteile über die Formeinteilung nach MILBERG U.A. (1987 S. 24FF) aufgrund der Bereitstellung weiter nach *langgestreckt-offenen* (z.B. Dichtschnur) und *-geschlossenen* (z.B. O-Ring) zu differenzieren sind (vgl. 3.1.2.4). So zeigen sich fast ausnahmslos manuelle Ausführungen bei den *langgestreckt-geschlossenen* Bauteilen wie Rahmendichtungen, großen O-Ringen und Flachdichtungen.

Die *langgestreckt-offenen* Bauteile sind darüberhinaus in über die Länge mit einem veränderlichen oder konstantem Querschnitt ausgestattete Klassen zu unterscheiden, da konstante Querschnitte vielfach von einer Rolle oder Haspel teilgeordnet zugeführt werden. Zum Abspulen sind meist ungeregelte Antriebe im Einsatz, da die Vereinzelung, das Ordnen und Positionieren im Allgemeinen manuell stattfindet. SCHLAICH (1988 S. 34) und CRAMER (1995 S. 33FF) weisen auf der Basis von Untersuchungen nach, dass der Prozess *Ab-längen*, also *Vereinzeln*, von Kabeln zur Kabelbaummontage trotz einfacher technischer Anforderung zu rund 55% bzw. 62% manuell erfolgt. Das Vereinzeln nebeneinander liegender Kabel wird mit 100% manuellen Tätigkeiten analysiert.

Für *flächenförmige* Bauteile werden teil- und vollgeordnete Speicher auch unternehmensübergreifend genutzt, so dass auch das Vereinzeln ohne Vorschalten eines zusätzlichen Ordnungsvorgangs automatisierbar ist. Der trotz-

dem hohe Anteil manueller Positionier- und Ordnungsvorgänge resultiert aus der großen Anzahl mechanisierter Handhabungshilfen. Im Bereich der Fertigung von Bekleidungstextilien weist KROCKENBERGER (1995 S. 23) einen realisierten Automatisierungsgrad von Bereitstellungsprozessen in der Vorfertigung beim Zuführen, Vereinzen und Greifen sowie Orientieren und Positionieren von unter 5% nach. Die komplette Prozesskette *Bereitstellen* wird trotz hoher Stückzahlen sogar nur mit einem Anteil von unter 3% automatisiert.

Die technischen Probleme der Durchführung von Bereitstellungsprozessen können im Allgemeinen mit manueller Verrichtung gelöst werden, da die sensorischen und aktorischen Fähigkeiten des Menschen für die Vielzahl der geforderten Handhabungen ausreichen (WARNECKE U.A. 1990 S. 40, SPIEGELMACHER 1991, WARNECKE & SCHRAFT 1992). Im Rahmen der Analysen wurden auch Grenzfälle bekannt, in denen die Tätigkeiten nur unter Inkaufnahme von Ausschuss durchgeführt werden können. Beispiele sind das manuelle Positionieren mit Lagegenauigkeit $\pm 0,7\text{mm}$ einer Rahmendichtung eines Komponentengehäuses sowie das manuelle Orientieren (Rotation) mit Genauigkeit $\pm 4^\circ$ von tiefgezogenen Innenverkleidungsfolien für einen Kaschierprozess. Während Verformungen ohne Volumenänderungen meist vermieden werden können, sind Stauch- und Längsvorgänge im Material (z.B. Moosgummi-Dichtschnur) auch manuell nur schwer kontrollier- und regelbar. Die Grenzen der manuellen Bereitstellung ohne Hilfsmittel können dort gezogen werden, wo selbst das Eigengewicht zu Verformungen der Struktur führt, sich die Bauteile plastisch verformen (z.B. Bitumenbauteile) oder aufgrund ihrer Größe (z.B. grosse Folienabschnitte) keinerlei Eigenstabilität besitzen.

Werden Bereitstellungsprozesse innerhalb automatisierter Anlagen als manuelle Verrichtung vorgesehen, resultieren vielfach fest in den Montageablauf getaktete, inhaltlich einfache Arbeitsplätze. Die manuellen Bereitstellungs-takte stimmen durch die Einbindung von Puffern dabei zwar nicht direkt mit dem Fügetakt überein - pro Zeiteinheit müssen jedoch Bauteile entsprechend der Fügetaktzeit bereitgestellt, d.h im Allgemeinen vereinzelt, geordnet, bewegt und in dem Puffer positioniert werden. Die resultierenden monotonen Tätigkeiten berücksichtigen dabei kaum das Gebot ergonomischer Arbeitsplätze und -inhalte (NORO 1987, SCHIELE & Hallwachs 1987).

Bei der Bewertung manueller Prozesse nach MTM (1965) sind die Bauteileigenschaften formlabiler Bauteile durch die Wahl der Kriterien abzubilden. So bedingt eine Volumenänderung das Aufbringen höherer Kräfte beim *Fügen* oder das *Bringen in eine bestimmte Lage* anstelle des Positionierens *Gegen einen Anschlag*. Die beispielhafte Bewertung nach MTM (1965) von Montageprozessen zweier geometrisch identischer Bauteile unterschiedlicher Formlabilität zeigt einen notwendigen Mehraufwand von 40% auf (Tab. 2-11).

Bewegung	Symbol	Länge	Steifes Bau- teil (TMU)	Formlabiles Bauteil (TMU)
Hinlangen zu einem auszuwählenden Gegenstand	R - C R - D	30 cm	14,1	= 14,1
Greifen / Auswählgriff	G4B	-	9,1	= 9,1
Bringen in Anschlagposition <i>Bringen in genau bestimmte Lage</i>	M - A M - C	30 cm	12,7	< 15,1
Fügen ohne Druck <i>Fügen mit leichtem Druck</i>	P 1 SSE P 2 SSD	-	9,1	<< 25,3
Summe (Differenz)			45,0	63,6 (+ 40%)

Tabelle 2-11: Vergleich von Tätigkeiten nach MTM (1965)

2.2.5.4 Defizite der Bereitstellungskonzepte

Begründet im klassischen Planungsvorgehen ist in der Zusammenstellung der Bereitstellungsketten und der Wahl von Prozessorten keine Flexibilität zu erkennen. In der Folge werden Lösungen für typische Bereitstellungsprobleme wie Ordnen und Positionieren notwendig. Da diese technisch nur aufwendig zu realisieren sind und geringe Verfügbarkeiten aufweisen (vgl. Kap. 2.2.6), werden vielfach manuelle Tätigkeiten in automatisierte Montagesysteme eingekoppelt. Damit kann das Ziel einer wirtschaftlichen Höherautomatisierung nicht erreicht werden, sondern es entstehen manuelle und durch geringen Arbeitsinhalt gekennzeichnete Tätigkeiten, die die Kostenvorteile der Automatisierung verringern (Bild 2-12).

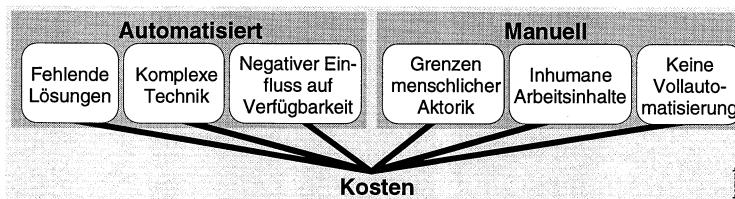


Bild 2-12: Problemgliederung automatisierter und manueller Bereitstellung

2.2.6 Bereitstellungstechnik

Die Automatisierung der Bereitstellung scheitert an fehlenden oder prozesstechnisch ungenügenden Lösungen. Nahezu alle mechanisierten oder automatisierten Betriebsmittel wie auch manuelle Verrichtungen basieren auf einem mechanischen Kontakt zum Bauteil. Unabhängig von manueller oder automatisierter Krafteinleitung zur Handhabung ist die Folge eine Formänderung. Geometrische Bauteilmerkmale können daher nicht oder nur unter In-

kaufnahme von Ungenauigkeiten zum Positionieren nach VDI 3237 (1967) genutzt werden.

Nach den Analysen von ZIERSCH (1985B) an 25 automatisierten Anlagen mit 125 Zuführungen ist schon die automatisierte Bereitstellung *formstabiler* Bauteile in hohem Maß störungsbehaftet. ROCKLAND (1995 S. 39FF) bestätigt die Aussage und analysiert als häufigsten Störort von Fördergeräten den Ordnungsbereich. Die häufigsten Störungsursachen sind dabei das Verhaken, Überlappen und Verklemmen der Bauteile. Weitere Schwerpunkte liegen in der Verformung des Bauteils, in Toleranzfehlern der Bauteile gegenüber dem Förderer sowie in falschen Teilen der Bunkerbefüllung. Die einzelnen Prozesse der Handhabung sind bei formlabilen Bauteilen schon technisch (und nicht nur statistisch) prozesskritisch oder undurchführbar. Mit der Projektion der allgemeinen Probleme automatisierter Bereitstellungstechnik und der Handhabung formlabiler Bauteile werden die auftretenden Effekte verstärkt und die Verfügbarkeit automatisierter Bereitstellungstechnik für formlabile Bauteile deutlich verringert.

KROCKENBERGER (1995 S. 25FF) sieht den Verfügbarkeitsverlust einer textilverarbeitenden Zelle allein in den notwendigen Bereitstellungsvorgängen. Während die Verfügbarkeit des Nähens, Ablegens und Abführen bei nahezu 100% liegt, stören die Bereitstellungsvorgänge *Vereinzeln* und *Greifen* mit 99% sowie *Orientieren* und *Positionieren* mit 98% Verfügbarkeit.

Kriterium	problemlos	brauchbar	kritisch	ungeeignet	k. Aussage
<i>Bauteilqualität</i>	65 %	27 %	4 %	-	4 %
<i>Handhabung</i>	5 %	24 %	59 %	12 %	-
<i>Fügeprozesse</i>	22 %	50 %	22 %	6 %	-
<i>Bereitstellung</i>	5 %	14 %	52 %	27 %	2 %
<i>Positionieren</i>	4 %	8 %	68 %	20 %	2 %
<i>Ordnen</i>	4 %	4 %	64 %	28 %	-
<i>Weitergeben</i>	4 %	56 %	32 %	7 %	2 %
<i>Vereinzeln</i>	8 %	34 %	42 %	16 %	-

Tabelle 2-13: Erfahrungen mit formlabilen Bauteilen in der Montage (Basis 44 Befragungen)

Die Übertragbarkeit dieser Probleme auf andere Bauteilgruppen bestätigt eine Umfrage, bei der in acht Unternehmen 44 Montageplaner und Montageanlagenbetreuer über die Erfahrungen mit formlabilen Bauteilen in der Montage befragt wurden. Die Nennungen in Prozent bei 100 % Befragten über Erfahrungen mit formlabilen Bauteilen in der Montage zeigen auf, dass insbesondere Handhabungs- und Bereitstellungsprozesse als kritisch beurteilt werden, die Bauteilqualität dagegen eine positive Bewertung erfährt (Tab. 2-13). Dabei

ist darauf hinzuweisen, dass der Umfang des Begriffs der *Bereitstellung* unterschiedlich weit zwischen reiner Bauteilhandhabung bis hin zu komplexen logistischen Vorgängen gefasst wird. Insbesondere automatisiertes Ordnen ist Hinderungsgrund weitergehender Automatisierung oder führt zum Entstehen aber auch direkter Einplanung "unvermeidlicher" manueller Ordnungs- und Einlegetätigkeiten in automatisierten Einrichtungen.

VDI 3240 (1971) wie auch andere Arbeiten (HÜTTER 1979, ROCKLAND 1995, SEIDEL 1995, LOTTER 1996 und 1997) entwickeln und systematisieren Kataloge von Bereitstellungstechnik, die hinsichtlich ihrer Eignung für formlabile Bauteile geprüft wurden. Die folgenden Wertungen umfassen Versuche wie auch zeitlich begrenzte, qualitative Aufnahmen in 15 Unternehmen der verarbeitenden Industrie, aus denen zudem das Spektrum der bewerteten Bauteile resultiert. Eine tatsächliche Prozessfähigkeit kann dagegen nur unter Produktionsbedingungen bei ausreichender Prüfungsdauer nachgewiesen werden (TAGUCHI 1986, WESTKÄMPER 1996 S. 260). Die in VDI Richtlinie 3240 (1971) beschriebenen Bereitstellungsprozesse werden aus Grundfunktionen (z.B. Weitergeben) und zusammengesetzten Funktionen (z.B. *Eingeben* entspricht *Vereinzeln* und *Weitergeben*) gebildet. Für ein systematisches Vorgehen und um Überschneidungen der Definitionen zu vermeiden, werden hier die zur Bereitstellung notwendigen Grundprozesse

- ungeordnetes und geordnetes *Speichern*,
- *Bewegen*,
- *Ordnen* (Lage prüfen und ändern oder aussortieren),
- *Vereinzeln*,
- *Positionieren* und
- *Halten* (Spannen) nach VDI 2860 (1990) analysiert.

2.2.6.1 Speichern

In automatisiertern Einrichtungen sind *ungeordnete Speicher* wie Bunker ohne Austrag nur in Zusammenhang mit zusätzlichen Fördereinrichtungen einzusetzen. Während blockförmige Bauteile in Abhängigkeit der Reibpaarung und der Volumenänderung ungeordnet gespeichert werden können, sind langgestreckte, flächige oder gar Durchdringungskörper nicht derart zu speichern, ohne manuellen Folgeaufwand zum Entwirren und Vereinzeln zu erzeugen. Plastische Bauteile verlieren durch Eigen- und Fremdgewicht darüberhinaus undefiniert ihre Form.

Ist bei *langgestreckt-offenen* Bauteilen eine ausreichende Verformbarkeit des Halbzeuges und ein über die Länge L konstanter Querschnitt gegeben, so ist für Teile wie Drähte, Kabel, Schläuche oder Profile das *teilgeordnete Spei-*

chern in nicht abgelängter Form auf Haspeln und Spulen im industriellen Bereich z.B. für Klebstoffbänder und Dichtungsprofile (HARTMANN U.A. 1987 S. 380) üblich. WAGNER & LAUFENBERG (1996) und CIELKER (1997) beschreiben das industriell eingesetzte teilgeordnete Magazinieren von Leitungen in Fässern.

Bei nahezu allen über die Länge im Querschnitt veränderlichen langgestreckt-offenen Bauteilen werden die Ordnungs- und Zuführvorgänge manuell ausgeführt. Daher ist die teilgeordnete Speicherung der Bauteile in Flachmagazinen oder hängend ausreichend. Beispiele hierfür sind Kabelbäume mit Steckverbindungen (KOLLER 1994). CRAMER (1995) weist darüberhinaus auf Rolle gegurtete, 100mm lange Kabelbinder hin.

Langgestreckt-geschlossene Bauteile wie große O-Ringe und Form- und dünnwandige Flachdichtungen werden im Allgemeinen ungeordnet in Bunkern oder teilgeordnet in Gehängen gespeichert (HOßMANN 1992 S. 43FF). Das Speichern von O-Ringen in Schachtmagazinen ist bei einer Schnurstärke von 2,3 mm bis Durchmesser 30mm prozesssicher (OHRMANN 1996).

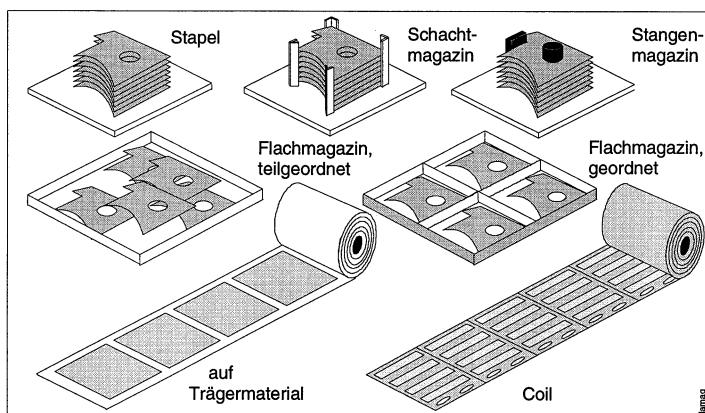


Bild 2-14: Speicherformen von flächigen Bauteilen (nach Götz 1991 S. 120)

GÖTZ (1991) stellt Speicher für *flächige Bauteile* vor und rät den Einsatz von Stapeln an, da dies eine kompakte, einfache Speicherbildung ermöglicht, eine konstante Abholposition leicht realisierbar ist und ein günstiges Vereinzelungsverhalten bewirkt (Bild 2-14). Bekannt sind Anwendungen bei Bauteilen für thermische oder akustische Isolation, Flachdichtungen sowie Folien, Netze und insbesondere Textilien (SPIEGELMACHER 1992, KROCKENBERGER 1995). Auf Trägermaterial aufgebrachte Bauteile, nahezu durchweg Klebefolien, werden nur bis zu einer Flächengröße 280 x 280 mm beobachtet. Coils werden zur Speicherung dünnwandiger Blechabschnitte genutzt (SEIDEL 1996).

Geordnetes Speichern *blockförmiger Bauteile* erfolgt in Flach- und Schachtmagazinen. Während Flachmagazine mit einfacher Stapelhöhe gut geeignet sind, ist eine sichere Förderung innerhalb von Schacht- und Stangenmagazinen aufgrund der Verformungen der Bauteile und Punktberührungen zwischen Werkstücken und Magazinwerkstoffen nicht gewährleistet. Je lagegenauer ein Bauteil im Magazin gesichert werden soll, desto genauer (und damit kostenintensiver) sind die geometrische Verhältnisse zwischen Magazin und Bauteilen zu tolerieren (ZIPSE 1987, LASHIN 1992), da Linien- und Flächenberührungen die jeweilige Flächenpressung verringern und ein Verklemmen vermieden wird (Bild 2-15).

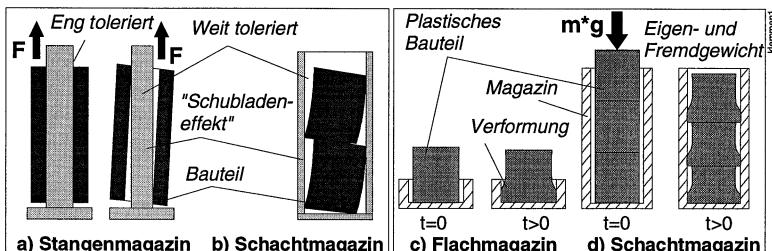


Bild 2-15: Verklemmen in Magazinen

Zick-Zack- und Stufenmagazine weisen Formelemente auf, die zur Richtungsänderung der Bauteile in Förderrichtung im Magazin dienen. Aufgrund der Reibung und Verformungen der Bauteile sind derartige Speicher für formlabile Bauteile ungeeignet. Flachmagazine und Blistergurte in vielfältigen, z.T. flexibel nutzbaren Formen und Ausführungen (GRAF 1984, ZIPSE 1987, ENZLER 1990, LASHIN 1992) ermöglichen ein sicheres geordnetes Speichern. Insbesondere Flachmagazine und Blistergurte können auch plastische Bauteile speichern, da formgebende Elemente integriert werden können. Allerdings können Bauteile durch das Eigen- und Fremdgewicht soweit verformt werden, dass die Förderung im oder aus dem Magazin erschwert bzw. verhindert wird (Bild 2-15).

2.2.6.2 Mengen verändern (Vereinzeln)

Bei endloser Speicherung erfolgt das **Vereinzeln** (hier: Abtrennen) in der geforderten Länge von *langgestreckt-offenen*, über die Länge mit konstantem Querschnitt versehenen Teilen meistens vor Beginn des Positionier- und Fügevorgangs (WARNECKE & FRANKENHAUSER 1988 S. 23, SIEMENS 1991, OTZEN U.A. 1996). SCHLAICH (1988), CRAMER (1995) und RUPPRECHT (1997 S.7ff) zeigen Lösungen zum Vereinzeln hochpoliger Kabel mittels Bildverarbeitung, Vereinzelungskamm, Nuten im Werkstückträger und im Fügewerk-

zeug auf, die auf nebeneinander liegende Adern eines Kabelstranges bezogen sind. Als Optimum für den speziellen Fall wird das gleichzeitige Einlegen sämtlicher Adern mit einer Vereinzelungsrolle, die eine Prozessüberwachung integriert, ausgewählt. Weiterhin können abgelängte, allerdings nah an der Grenze zur technischen Formstabilität zu definierende Schläuche über Stufenförderer vereinzelt werden.

Die Vereinzelung von *langgestreckt-geschlossenen Bauteilen* von Gehängen erfolgt manuell (WÖBNER 1993). Methoden zum automatisierten Fügen von O-Ringen werden z.B. von KRISTA (1992) und JÜHLICHER (1995) aufgezeigt, wobei die Vereinzelung unberücksichtigt bleibt. Allein OHRMANN (1996) beschreibt ein Vereinzelungsverfahren durch Aufhaken aus einem ebenen Zustand.

Bauteilspezifische Lösungen zum Vereinzeln geordneter formlabiler *flächiger Bauteile* von Stapeln, die im Allgemeinen auf angepasste Greiftechnologie und Handhabungskinematik sowie Hilfsfunktionen wie Anblasen basieren, sind Forschungsprojekten (NOLLEK 1987, SELIGER & GUTSCHE 1991, GUTSCHE 1993 S.24FF, HOU 1994) zu entnehmen und in Industrieapplikationen wie z.B. der Druckindustrie, bei Kopierern (KATAYANAGI 1991), in der Blechverarbeitung und bei Verpackungsmaschinen umgesetzt. Durch Aufbringen von Scherspannungen oder Zugspannung (Abschälen) können dabei Vereinzelungsprobleme und Faltenbildung weitgehend verhindert werden.

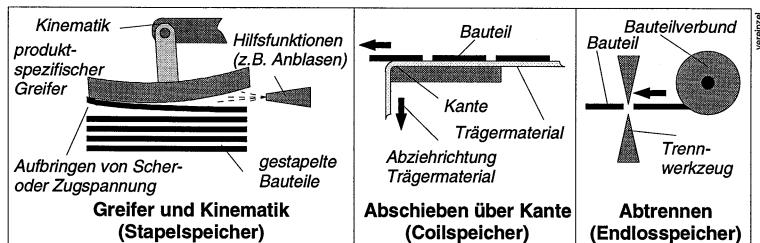


Bild 2-16: Industriell eingesetzte Vereinzelungsverfahren

Weitere industrielle Vereinzelungsverfahren (Bild 2-16) sind im Bereich von Etikettiersystemen von auf Trägermaterial aufgebrachten Bauteile durch Abschieben über einen engen Biegeradius bekannt. Die zum Biegen des aufliegenden Bauteils notwendige Formänderungsarbeit ist dabei höher als die Haftkraft des Bauteils am Trägermaterial. In der Druck- und Textilindustrie sowie bei Verpackungsmaschinen (LACHENMEIER 1991) werden darüberhinaus flächige Bauteile durch Trennverfahren nach DIN 8560 (1985) von einer endlosen Rolle vereinzelt.

2.2.6.3 Bewegen

Aufgrund der möglichen Verformungen unter äusserer Krafteinwirkung (auch Reibung) ist das **Bewegen** durch *Drehen*, *Verschieben* und *Schwenken* wie z.B. in Gleitrinnen, Rollstrecken und Schiebern (vgl. VDI 3240 1990) nur unter Zugabe von Additiven zur Verringerung der Reibwerte möglich. Die Analysen in Industriebetrieben und Versuche bestätigen, dass Weitergeben oder Fördern realisiert werden kann, wenn zur Unterlage keine Relativbewegung stattfindet, wie bei Band-, Hub- und Röllchenförderern oder Luftfilm-Förderstrecken (WIENDAHL & LORENZ 1998, S. 26ff). Mit verformungsfreier Greif- bzw. Haltetechnik sind für Weitergabeprozesse auch Handhabungssysteme geeignet. ARAI U.A. (1997 S. 15FF) bewegen Bauteile ohne Führungen und können damit Reibung an diesen vermeiden. Der zum Weitergeben aufgeprägte Impuls verformt jedoch das Bauteil, ein Einsatz ist nicht bekannt.

Alternativen für das Weitergeben und Fördern von *langgestreckt-offenen Bauteilen* wie z.B. Dichtschnüren und Profilen mit Reibrädern, Zangenvorschub und Profilrollenbahn zeigt VDI-Richtlinie 3240 (1990). HOßMANN (1991 S. 76FF) geht von geregelten und selbstregelnden Antrieben für offenes langgestrecktes Material aus, OTZEN U.A. (1996) und LACHENMEIER (1991) detaillieren Funktionen entsprechend einem Zangenvorschub.

Während für *flächige Bauteile* mit einer einachsig hohen Steifigkeit wie z.B. Papiere Lösungen eingesetzt werden (KATAYANAGI 1991), geben GIBSON U.A. (1990 S. 212) und KROCKENBERGER (1995 S. 24FF) an, dass keine zuverlässig arbeitenden Systeme zur Verfügung stehen, um z.B. formlabile Textilteile eines Stapels beim Mehrlagenschnitt in definierter Orientierung an ein Transportsystem weitergeben zu können.

2.2.6.4 Orientieren und Positionieren

Die Vorgänge **Orientieren** und **Positionieren** setzen sich aus Funktionen zum Erkennen der Lage und Position sowie zum gezielten Bewegen oder Aussortieren bzw. Abzweigen falscher Lagen und Positionen zusammen. Wie bei Wirteilen (HÜTTER 1979) sind dies auch bei der Bereitstellung von nicht formstabilen Bauteilen die weitaus kritischsten Prozesse (NOLLEK 1987 S. 51, MÜLLER-KRAMP 1992, ROCKLAND 1995 S. 42). Da vermieden werden sollte, Kräfte auf das zu ordnende Bauteil auszuüben, entfallen alle Alternativen, die auf Formelementen und mechanischen Ordnungselementen basieren und z.B. durch ALTENWERTH U.A. (1984) strukturiert sind. Während bei starren Bauteilen Drehachsen, Formelemente, Schwerpunkte und Schwerelinien zu berechnen sind, sind diese aufgrund der möglichen, ggf. auch nur geringfügigen Verformungen bei formlabilen Bauteilen nur unscharf zu definieren.

Insbesondere das Ordnen *langgestreckt-geschlossener* Bauteile ist weder durch Standardanwendungen (vgl. VDI-Richtlinie 3240) noch in Industrieapplikationen gelöst (KRISTA 1992). O-Ringe sind mit Sonderlösungen bis maximal 20x1,78 mm automatisiert zu ordnen (OHRMANN 1996), Standardlösungen werden nur bis zur O-Ring-Größe 11,5 x 1,78 mm angeboten. Darüberhinaus stehen zwar automatische Fügewerkzeuge zur Verfügung, das Ordnen erfolgt jedoch manuell (JAUCH 1992).

Einzig *flächenförmige* Bauteile weisen in Richtung der Flächenebene eine ausreichend hohe Steifigkeit auf, die z.B. im Bereich der Druck- und blechverarbeitenden Industrie zur Orientierung und Positionierung über die Ausenkontur genutzt wird (GREIVE & LÖTSCH 1994).

Eine für formlabile Bauteile anzuwendende Ordnungs- und Positioniermöglichkeit liegt in der Kombination von *Lage prüfen* und gesteuertem oder geregeltem *Bewegen* durch sensorische Systeme und Handhabungseinrichtungen, die in Abhängigkeit vom Material (Lichtdurchlässigkeit, magnetisierend etc.) ausgewählt werden (KATAYANAGI 1991). So werden im Textilbereich Bildverarbeitungssysteme oder Matrix-Lichttaster und XY-Tische zur translatorischen Orientierung der geschnittenen Bauteile eingesetzt. Ein automatisierter Ordnungsvorgang des Bauteils (entfalten, glätten) wurde bislang nicht realisiert (KROCKENBERGER 1995 S. 25FF).

2.2.6.5 Halten

Das **Halten (Spannen)** von Bauteilen ist nicht nur beim Zubringen, sondern auch beim Einwirken von Bearbeitungsprozessen von hoher Relevanz. Grundsätzlich kann der Sicherungsprozess durch Kraft-, Stoff- oder Formschluss erfolgen. Von den in VDI-Richtlinie 3240 geschilderten Einrichtungen sind kraftschlüssige Verfahren wie Kniehebel und Dehndorn ungeeignet, die allerdings JAUCH (1993) als Greifer für O-Ringe und Formringe einsetzt.

In Kombination von kraft- und formschlüssigen Verfahren können allein Vakuum-, Adhäsions- und Magnetspannplatten bzw. -greifer eingesetzt werden (TAYLOR 1990). Bei Papieren stehen zudem elektrostatische Verfahren zur Verfügung. Ähnlich der Elemente des geordneten Speicherns sind Einrichtungen zum Spannen in hohem Maß produktspezifisch. Für *flächige Bauteile* detailliert JONES (1986) das Greifen von PREPREG (PREImPREGnated sheet material) mit Vakuum-Flächengreifern. KROCKENBERGER (1995 S. 41FF) weist die Eignung von pneumatischen Prinzipien (Blas- und Vakuumgreifer) zum Greifen und Sichern flächiger Textilien nach und stellt Strategien zum Finden der optimalen Berührungsfläche aus dem Katalog *ganzflächige Verfahren, Mehrfachlinien, Mehrfachpunkte, Einfachlinien* und *Einfachpunkte* auf. Ideal

sind der Bauteilgröße angepasste Flächensauggreifer, deren Grenzen in der fehlenden flächigen Unterstützung sowie der starken lokalen Beanspruchung der Bauteile liegen (GÖTZ 1991 S. 95FF).

Aufgrund der Anwendung des hydrodynamischen Paradoxons sind Bernoulli greifer, die z.B. für Siliziumwaferhandhabung eingesetzt werden (MYOTOKU 1989), nur bedingt für formlabile Bauteile geeignet, da der eingesetzte Gasstrom das Bauteil während des Greifens verformt. Adhäsive Verfahren sind grundsätzlich geeignet, wenn ein formgebendes Element eingesetzt wird - allerdings ist ein rückstandsfreies Lösen bislang nicht realisiert (KÖHLER 1990 S. 44)

Im Bereich der formschlüssigen Greifverfahren erarbeiteten KEMP & TAYLOR (1983) einen 2-Finger-Greifer mit Blasluftunterstützung zur Handhabung von Textilien, Teppiche und Dämmmatte. Anwendungen sind darüberhinaus mit Klemm-, Nadelbett- und Radialnadelgreifer bekannt (KÖHLER 1990 S. 43, KROCKENBERGER 1995) Insbesondere wattige Bauteile wie Textilien können gegriffen werden. Allerdings ist die positionsgenaue Haltesicherheit unter Einwirkung von Kräften (Beschleunigung, Bearbeitung) ungenügend und eine Beschädigung des Bauteils unvermeidbar.

NOLLEK (1987) zeigt das stoffschlüssige Greifen von Textilien mit Gefriergreifern auf. Derartige Kryogreifer, die auf dem Verdampfen von Flüssigkeiten und dem Einsatz des Peltier-Effekt basieren (MÜLLER 1995 S. 277), sind mit Haltkräften bis 8 N/cm² bedingt auch für weitere formlabile Bauteile geeignet. Allerdings stehen dem Einsatz neben Flüssigkeitsrückständen auf dem Bauteil zu hohe Gerätekosten und lange Taktzeiten zum Greifen und Ablegen entgegen.

2.2.6.6 Defizite der Bereitstellungstechnik

Für die Bereitstellung *formstabil*er Bauteile liegen umfangreiche Kataloge von Bereitstellungstechnik vor, wobei Einrichtungen zum Ordnen und Positionieren als prozesskritisch und als mit geringen Verfügbarkeiten behaftet gelten. Durch Überlagerung dieser Problematik mit dem formlabilen Verhalten wird die Verfügbarkeit weiter verringert. Die Technik z.B. zum Fördern und Positionieren basiert in erster Linie auf das Aufbringen von Kräften auf das Bauteil. Damit werden bei *formlabilen* Bauteilen Verformungen hervorgerufen, die die Aufgabenerfüllung der Prozesse verhindern. Eine Übertragbarkeit der Lösungen für *formstabile* auf *formlabile* Bauteile ist damit nicht möglich.

Lösungen für *formlabile* Bauteile stehen nur begrenzt für spezielle Gruppen (wie z.B. Papiere) und Prozesse (wie z.B. Speichern) zur Verfügung. Eine systematische Erfassung und Übertragbarkeit der Lösungen auf andere Bauteile-

gruppen ist nicht bekannt. Die Lösung der aus dem üblichen Planungsvorgehen resultierenden notwendigen Bereitstellungsprozesse (vgl. Kap. 2.2.4) kann daher nur durch bauteilspezifische Neuentwicklungen entsprochen werden. Nachdem die Entwicklungskosten entsprechend der Häufigkeit der Entwicklungsanwendung verteilt werden, sind die entwickelten Betriebsmittel nicht nur aufgrund der Berücksichtigung des formlabilen Bauteilverhaltens technisch aufwendig, sondern auch entwicklungsseitig kostenintensiv.

2.3 Zusammenfassung der Defizite des Stands der Technik

Die Analyse des Stands der Technik zeigt, dass die Automatisierungshemmnisse der Montage formlabiler Bauteile weniger aus den die Montage bestimmenden Füge- als vielmehr den nicht wertschöpfenden Bereitstellungsprozessen resultieren, die die weitaus größere Anzahl der Handhabungen erfordern.

ZIERSCH (1985) bestätigt, dass die Teilezuführung den bestimmenden Engpass für bedienungsarmen Personaleinsatz automatischer Montageanlagen darstellt. Der automatisierten Montage *langgestreckter, formlabiler Bauteile* sind enge Grenzen gesetzt (HOßMANN & DIRNDORFER 1991 S. 126), da insbesondere für die Handhabung der Teile technische Lösungen fehlen (SPIES 1991). So wird auch eine Höherautomatisierung der Kabelkonfektion weitgehend durch das formlabile Verhalten der Kabel und Adern erschwert (SCHWEIZER U.A. 1992 S. 26). CRAMER (1995 S. 35) weist auf der Basis von Befragungen darauf hin, das Automatisierungshemmnisse von *Kabeln* mit einer Nennung von 75% bzw. 31% auf fehlenden technischen Lösungen bei biegeschlaffem Verhalten der Kabeladern beruhen. HOßMANN (1992 S. 43FF) sieht die Vielzahl der Versagensfälle automatisierter Montagen *langgestreckter Bauteile* in der Längendehnung und der Beschädigung des Bauteils durch zu hohe Handhabungskräfte. Nach WÖßNER (1993 S. 34) verhindern Bereitstellungsprobleme eine Komplettautomatisierung der Montage von O-Ringen. Auch der automatisierten Verarbeitung von *flächigen formlabilen Bauteilen* am Beispiel textiler Materialien stehen Hemmnisse entgegen, die in den Eigenschaften der verwendeten Textilie liegen und die Positionierung mit Schablonen oder in Spannvorrichtungen verhindern (SPIEGELMACHER 1991 S. 37, KROCKENBERGER 1995 S. 15).

Für die Klasse der formlabilen Bauteile kann das Ziel der Produktivitätssteigerung durch Verringerung des Lohnkostenanteils durch Automatisierung nach Analyse des Stands der Technik derzeit nicht erreicht werden (Bild 2-17).

Problematisch ist zunächst, dass erarbeitetes Methoden- und Fachwissen nicht strukturiert abgelegt und gezielt abgerufen

werden kann. Die dafür erforderliche umfassende Klassifizierung formlabiler Bauteile steht abgesehen von einzelnen, oft werkstoffspezifischen Kriterien nicht zur Verfügung.

Da keine gesamtheitlichen wirtschaftlichen und technischen Vergleiche verschiedener Bereitstellungskonzepte und -lösungen eingesetzt werden, sondern lediglich eine Betrachtung im Rahmen der Montagesystembewertung erfolgt, wird die technische und wirtschaftliche Relevanz der Bereitstellung nicht erkannt.

Während für *formlabile* Bauteile keine Regeln und Kataloge zur bereitstellungsgerechten Gestaltung zur Verfügung stehen, basieren derartige Werke für *formstabile* Bauteile darauf, dass die Bereitstellungslösung bereits bei der Produktkonstruktion bekannt ist. Abgesehen von der geringen Relevanz der Bereitstellung, die eine Berücksichtigung in der Konstruktion unwahrscheinlich lassen, löst das Vorgehen zur Montagesystemplanung die Bereitstellungsaufgaben jedoch erst deutlich später, so dass die Anwendungshäufigkeit auch dieser Regeln und Kataloge gering ist.

Der geringe Stellenwert der Bereitstellung aufgrund mangelnder Möglichkeit der Relevanzprüfung spiegelt sich auch in der Montagesystemplanung wider. In den Methoden zur Planung von Montagesystemen wird die Bereitstellung nicht oder erst innerhalb der Feinplanung im Sinn einer technischen Lösungs-suche berücksichtigt. Die Bereitstellungsprozesse werden nicht geplant, sondern durch das Anordnen und zur Sicherstellung der Fügeprozesse impliziert. Die Folge dieser Planungsmethode ist eine gleichbleibende Bereitstellungs-

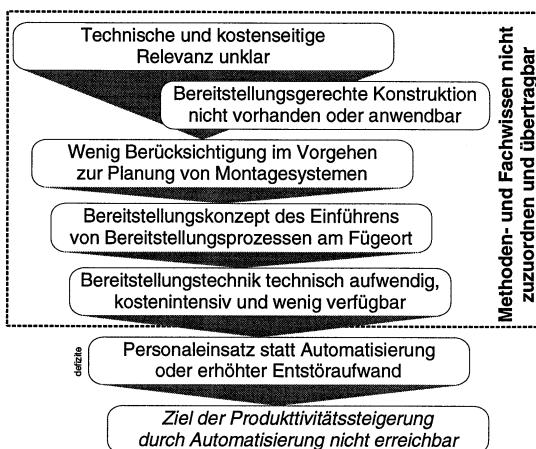


Bild 2-17: Defizite des Stands der Technik

kette, die örtlich unmittelbar vor dem Fügeprozess angeordnet ist. Störungen der Bereitstellungsprozesse wirken sich damit unmittelbar auf den Fügeprozess aus.

Die für die Bereitstellung *formstabiler* Bauteile zur Verfügung stehende grosse Anzahl an technischen Lösungen ist aufgrund der Bauteileigenschaften und des -verhaltens nicht auf *formlabile* Bauteile zu übertragen. Einzelne Prozesslösungen für *formlabile* Bauteile sind nur in wenigen Fällen strukturiert aufgebaut und in hohem Maß bauteilspezifisch. Die schon bei *formstabilen* Bauteilen kritische Verfügbarkeit der Prozesse Ordnen und Positionieren wird bei *formlabilem* Verhalten weiter reduziert, wodurch im automatisierten Betrieb eine erhöhe Personalbindung zur Störungsbehebung impliziert wird. Aufgrund der technischen Komplexität und häufiger Neuentwicklung sind automatisierte Prozesslösungen so kostenintensiv, dass auf die Einbindung vielfach verzichtet wird und die Prozesse manuell durchgeführt werden. Das angestrebte Ziel eines Produktivitätsgewinns durch wirtschaftliche Automatisierung wird damit im Bereich *formlabiler* Bauteile verfehlt.

2.4 Anforderungen an die Bereitstellung und Aufgabenklärung

Aus den erarbeiteten Defiziten können Anforderungen an die Bereitstellung *formlabiler* Bauteile abgeleitet werden, denen innerhalb der vorliegenden Arbeit entsprochen werden soll (Bild 2-18).

Der Aufbau eines Klassifizierungsverfahrens muss die Zuordnung von erarbeiteten Methoden und Fachwissen zu Bauteilgruppen oder Bauteilen ermöglichen. Durch diese Zuordnung können Lösungen und Konzepte strukturiert abgelegt und gezielt abgerufen werden (MILBERG & DIRNDORFER 1991). Die Klassifizierung muss so pragmatisch aufgebaut sein, dass sie von einem Montageplaner mit nur geringem zusätzlichen Aufwand angewendet werden kann.

Durch die frühzeitige Bewertung des voraussichtlichen technischen Aufwands der Bereitstellung muss auf kritische Bereitstellungsfälle aufmerksam gemacht werden, um die Montagesystemplanung zu beeinflussen, bevor die Grobplanung abgeschlossen ist. Diese Bewertung muss möglich sein, sobald das Bauteil in seinen geometrischen und werkstofftechnischen Eigenschaften fixiert ist. Ein Verfahren zur wirtschaftlichen Bewertung muss den Vergleich unterschiedlicher Bereitstellungskonzepte ermöglichen. Nachdem die Wirtschaftlichkeit nicht allein von den technischen Bereitstellungskomponenten,

sondern vielmehr von deren Auswirkung auf die vor- und insbesondere nachgelagerten Prozesse bestimmt wird, sollen diese Auswirkung über die Prozesskette erfasst und belegt werden.

Aufgabe	Zielsetzung	Ansatz	
Ermöglichen der Zuordnung von Methoden- und Fachwissen Darstellung des Bereitstellungs-aufwands	Klären von Merkmalen und deren Ausprägung Klärung der Kritizität formlabiler Bauteile Klärung der Relevanz der Bereitstellung	Klassifizierung und Aufwandsbewertung	Kap. 3
Relevanz der Bereitstellung beachten	Ganzheitliche Optimierung anstreben	Orientierung an Prozessketten	Kap. 4
Konsequenz für die Produktgestaltung prüfen	Vermittlung von Problemwissen ohne Voraussetzung einer Lösung	Ableitung von Gestaltungsregeln	Kap. 5
Berücksichtigung der Bereitstellung in der Planung	Ermöglichen der Automatisierung mit durchgängigen Prozessketten Verringerung der Anzahl notwendigen Bereitstellungsprozesse	Planung der Bereitstellung	
Fachwissen aufbauen, Lösungen generieren	Vermeiden von Krafteinwirkung auf das Bauteil; funktionssicher	Entwicklung von Lösungen	Kap. 6
Abbildung und Zugriff auf Wissen	Anwendbarkeit, Erweiterbarkeit	Vorschlag eines Planungshilfsmittels	Kap. 7

Wirtschaftliche Automatisierung ermöglichen

Bild 2-18: Anforderungsprofil der Bereitstellung

Regeln der bereitstellungsgerechten Gestaltung formlabiler Bauteile können nicht Bereitstellungslösungen implizieren, da diese auch bei Anwendung der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Methoden zum Zeitpunkt der Produktkonstruktion noch nicht bekannt ist. Aufzustellende Regeln müssen daher Wissen über die Bereitstellungsprobleme formlabiler Bauteile, nicht aber über konkrete technische Lösungen vermitteln. Nachdem derartige Regeln in hohem Maß bauteilgruppenspezifisch sind, ist die unternehmensspezifische Erstellung anzunehmen. Voraussetzung ist dabei das Vorliegen von ersten Konzepten und Lösungen. Da die Aufstellung von Regeln zur bereitstellungsgerechten Bauteilgestaltung weniger lösungsimplizierend ist als vielmehr Wissen über Bereitstellungsprobleme und -lösungen formlabiler Bauteile beinhalten soll, ist aufzuzeigen, dass diese aus ersten entwickelten Konzepten und Lösungen abzuleiten sind.

Das Vorgehen zur Planung der Bereitstellung muss dann einsetzen, wenn der voraussichtliche Bereitstellungsaufwand die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems gefährdet. Planungsziel muss die Entwicklung von automatisierbaren

Bereitstellungskonzepten sein, die derart zu entwickeln sind, dass die Anzahl der Handhabungsprozesse gering ist bzw. Prozesse nicht notwendig werden. Nur mit der Gestaltung durchgängiger Prozessketten und damit der Reduzierung der Anzahl von Prozessen ist die Verfügbarkeit der Bereitstellung und damit die Wirtschaftlichkeit nennenswert zu verbessern. Nachdem die Wirtschaftlichkeit über die Prozesskette nachzuweisen ist, soll sich daher auch die Planung der Bereitstellung an den Prozessketten der Montage orientieren.

In Leitlinien zur Gestaltung von Montagen flächiger Bauteile (GÖTZ 1991 S. 171FF) wie auch automatisierter Nähzellen (KROCKENBERGER 1995 S. 20FF) wird explizit die Minimierung der Anzahl der Handhabungsvorgänge und die Anbindung an vorgelagerte Fertigungseinrichtungen gefordert, um die Bauteile ohne zusätzliches Umstapeln oder Ordnen fügen zu können. Bereitstellungskonzepte sollten darüberhinaus an Forderungen von LOTTER (1992) und FELDMANN & HOPPERDIETZEL (1992 S. 24) orientiert werden, die an dem Prinzip *Ordnung schaffen und halten* für die Teilebereitstellung automatischer Montagen festhalten. Auch nach CRAMER (1995 S. 38FF) ist eine einmal geschaffene definierte Lage eines Werkstückes (hier Kabel) bis zu dem Zeitpunkt aufrechtzuerhalten, ab dem das Werkstück nicht mehr als formlabiles Einzelteil, sondern als formstabilen Bauteileverbund gehandhabt werden muss.

Bei die Lösung der Bereitstellungsprozesse durch Betriebsmittel sind die auf das Bauteil aufzubringenden Kräfte zu minimieren. Anforderung ist eine verformungsfreie Positionierung und Orientierung der bereitzustellenden Werkstücke mit der für den Fügeprozess erforderlichen Winkeltoleranz und Positioniergenauigkeit (WARNECKE & SCHRAFT 1992). Die Forderung nach Vermeidung von Verformung durch Prozesskräfte unterstützt HOßMANN (1992 S. 43FF) für langgestreckte formlabile Bauteile, da automatisierte aber auch manuelle Fügeprozesse durch die Längendehnung des Bauteils in den Bereitstellungsprozessen scheitern. GRIEDER & NEUENSCHWANDER (1993 S. 69) sehen als weiteres wichtiges Kriterium die Funktionssicherheit der Zuführeinrichtung an, die für die Zuverlässigkeit der gesamten Montageanlage verantwortlich ist.

Nachdem ein Kernproblem der Bereitstellung in der mangelnden Übertragbarkeit von erarbeitetem Wissen und neuen Bereitstellungsproblemen detektiert wurde, soll eine Möglichkeit zur Abbildung und zum gezielten Abfragen des Wissens vorgeschlagen werden. Um die Nutzung auch bei der als gering angenommenen Relevanz der Bereitstellung sicherzustellen, sind die Hauptanforderungen die einfache Anwendung und ständige Erweiterbarkeit, die für den Nutzer des Wissens nur geringen Zusatzaufwand erfordern darf.

3 Aufwandsbewertung der Bereitstellung

Die Erfassung und Bewertung des technischen und wirtschaftlichen Bereitstellungsaufwands ist Ausgangspunkt für das Einsetzen der Planung der Bereitstellung innerhalb der Montagesystemplanung. In den folgenden zwei Abschnitten wird zum einen mit der Aufstellung von Bauteilmerkmalen ein Verfahren zur Ermittlung des technischen Aufwands der Bereitstellung ausgehend vom Bauteil vorgestellt. Gleichzeitig wird das geforderte Klassifizierungssystem entwickelt, welches die Zuordnung von Bereitstellungswissen und Bauteil ermöglicht (Kap. 3.1). Zum anderen wird aufgezeigt, wie die Relevanz der Bereitstellung für ein Montagesystem durch die Bewertung der Wirtschaftlichkeit über die Prozesskette der Montage nachgewiesen werden kann (Kap. 3.2). Schließlich wird anhand eines Beispiels ein Vorgehen vorgestellt, mit dem die Kosten alternativer Bereitstellungskonzepte über die Prozesskette verglichen werden können.

3.1 Bewertung des bauteilbezogenen technischen Bereitstellungsaufwands

3.1.1 Vorgehen zur technischen Bewertung

Um ausgehend von einem Bauteil eine technische Bewertung des zu erwartenden Bereitstellungsaufwands bzw. der technischen Möglichkeit der Prozesserfüllung durchführen zu können, soll ein analytischer Bewertungsprozess durchlaufen werden, der auf eine Datenbasis aus Vergleichswerten zurückgreift. BREIING (1989), ZANGENMEISTER (1976) und HARTEL (1997) beschreiben als Vorgehen der analytischen Bewertung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten:

- Bewertungskriterien aufstellen, die voneinander unabhängig sein sollen.
- Bewertungskriterien gewichten, wobei der Gewichtungsfaktor die Wichtigkeit der Kriterien im Verhältnis zueinander darstellt.
- Eigenschaften des zu bewertenden Objekts ermitteln (Ausprägung des Objekts hinsichtlich des Kriterium als messbare Eigenschaft oder in Form eines Wertes).
- Maßzahl des Objekts je Kriterium bestimmen.
- Wertigkeit alternativer Objekte als Summe der Maßzahlen berechnen.

Mit dem Ziel der Zuordnung eines klassifizierten Bauteils zu aufgebautem Wissen muss eine detaillierte Differenzierung erfolgen, die mit der Definition von Merkmalen und deren Ausprägung durchführbar ist (ABELE 1996). Deren logische Strukturierung erfolgt wie in der Informationsverarbeitung der Statistik und der Prädikatenlogik (Subjekt-Prädikat-Struktur) (BROCKHAUS 1987).

Zur Vermeidung der von SCHANK (1991 S. 39) aufgezeigten mangelnden Orientierung von Klassifizierungsansätzen an Realweltproblemen wurde zur pragmatischen Klassifizierung innerhalb *prozessrelevanter Merkmale* eine *Grundklassifizierung* eingeführt, die wesentliche Merkmale beinhaltet und mit Hilfe derer eine erste Aufwandabschätzung möglich ist (Kap. 3.1.2) (Bild 3-1).

Die Gewichtung der merkmalsbezogenen Kriterien zueinander wurde nach ZANGENMEISTER (1976) analytisch gegeneinander ermittelt und anhand der Bewertung von 157 formlabilen Beispielbauteilen empirisch verifiziert. So sind Grundkriterien wie die Biegesteifigkeit hoch gewichtet, da neben dem notwendigen technischen Aufwand auch die Prozesssicherheit der Bereitstellung und der Folgeprozesse beeinflusst wird. Kriterien wie die Anzahl der Werkstücklagen oder Luftdurchlässigkeit geben dagegen nur eine Aussage über die technische Komplexität der Ausführung eines Bereitstellungsprozesses ab.

Merkmalsklasse		Grundklassifizierung													Prozessrelevante Merkmale	Schlüssel	
Merkmal	Biegesteifigkeit, Volumenänderung, Elastizität, Formmerkmal, Außenkontur, Änderung u. Länge, Symmetrie, Oberflächenelemente, Flächenhaftung, Luftdurchlässigkeit, Neigung Verhaken, Randhaftung, Werkstücklagen																
	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Bautellschlüssel		
Gewichtung	0,15	0,11	0,10	0,12	0,06	0,09	0,04	0,03	0,09	0,01	0,09	0,09	0,02				
Ausprägung	4	2	2	4	2	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Maßzahl	0,60	0,22	0,20	0,48	0,12	...	...	...	...	...	...	...	...	...	= Bewertg. x Gew.	
BMz _n						3,12	3,01	...									
<i>Aufwand der Bereitstellung BMz_n = $\frac{\sum \text{Maßzahlen}}{\sum \text{Gewichtung}}$</i>																	

Bild 3-1: Gewichtung und Bewertung des technischen Bereitstellungsaufwands

Das Bauteil wird unter Berücksichtigung der Temperatur und des Drucks zum Zeitpunkt, bei dem am Bauteil Bereitstellungsarbeit geleistet werden muss, klassifiziert. Die betrachteten Körper verfügen über eine bestimmte Gestalt und einen bestimmten Rauminhalt und setzen einer Änderung ihres Volumens und ihrer Gestalt einen Widerstand entgegen. Voraussetzung ist eine bereitzustellende Geometrie, weshalb formlose Baustoffe wie Füllwatten, Mineralwollen oder Granulate ausgeschlossen werden. Um für den Montagepla-

ner ein günstiges Verhältnis von Aufwand zu Nutzen zu erzielen, wird die Mehrzahl der Merkmale qualitativ aufgrund transparenter Hinweise bewertet. Die in einen Ziffernschlüssel von Eins bis Vier umgesetzte Ausprägung wertet das Merkmal bezüglich des geringeren oder höheren Aufwands zur Bereitstellung mit bekannten Bereitstellungslösungen.

Ähnlich der in VDI Richtlinie 3237 (1967) dargestellten Matrix zu *Verhaltensstypen des Arbeitsgutes, Form- und Größenklassen* wird jedes klassifizierte formlabile Bauteil mit einem spezifischen Schlüssel versehen. Nach erfolgter Bestimmung der Maßzahlen pro Kriterium wird durch die Summe der Maßzahlen dividiert durch die Summe der Gewichtungen der von *eins bis n* durchgeführten Klassifizierungen eine Bereitstellungsmaßzahl BMz_n gebildet (Bild 3-1).

Diese Bereitstellungsmaßzahl BMz_n ermöglicht eine vergleichende Aussage über den qualitativen technischen Aufwand der Bereitstellung. Voraussetzung ist die Bildung von Kennfeldern und erfahrungsgetriebenen Grenzkennwerten (Kap. 3.1.3)

3.1.2 Bewertungsmatrix prozessrelevanter Kriterien

Im Bereich der Bereitstellungstechnik verfügen allein Kriterien der Geometrien nicht über eine ausreichend hohe Aussagekraft (TAYLOR 1990). Vielmehr muss sich die Klassifizierung auf prozessrelevante Kriterien stützen (ABELE 1996), die auf der Konstruktion, der Materialwahl und der Herstellung basieren. Binäre Kriterien zur Auswahl bestimmter Bereitstellungskomponenten, wie z.B. die Magnetisierbarkeit des Bauteils als Entscheidungsgrundlage für magnetische Spanneinrichtungen, werden nicht näher berücksichtigt. Auch Kenngrößen wie das Bauteilgewicht gehen nicht ein, da sie nicht prozessbestimmend sind, sondern lediglich die technische Ausführung bzw. Skalierung eines Prozesses beeinflussen. Die Gruppe der Grundklassifizierung (Bild 3-2) gibt wesentliche Hinweise über die Möglichkeit der automatisierten Bereitstellung und ist daher hervorgehoben.

3.1.2.1 Grundklassifizierung: Biegesteifigkeit

Den Grad der Formstabilität wie auch die Anzahl der Achsen mit geringer Formstabilität weist FRANKENHAUSER (1988 S. 33) als wesentliches Merkmale zur Bestimmung der Handhabungseigenschaften aus. Störquellen beim Ver-einzeln und Greifen (Halten) resultieren nach EMMRICH (1992 S. 15) in erster Linie aus geringer Biegesteifigkeit. NESTLER & PAKULAT (1989 S. 95) und KÖHLER (1990) sehen als Voraussetzung für das automatisierte Orientieren

und Positionieren, dass die Geometrie beziehungsweise die äußere Kontur der Bauteile (hier Textilien) während der Vorgänge nicht ändert. Für weitere Bauteile wie CVK-Abschnitte (SPIES 1991), flächige Bauteile (TAYLOR 1990), O-Ringe (WÖßNER 1993) oder Kabel (RUPPRECHT 1997 S. 10) werden ähnliche Probleme nachgewiesen.

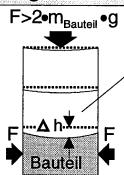
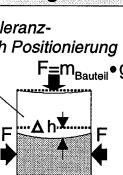
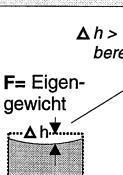
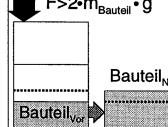
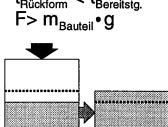
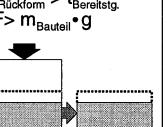
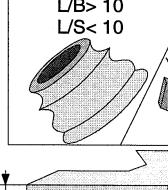
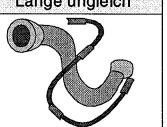
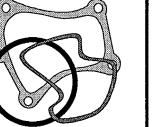
Bereitstellungsaufwand		grundkls		
Bewertung	1	2	3	4
Biegestifigkeit	Biegestif	Reduziert biegestif	Kaum biegestif	Nicht biegestif
	$K_{Bs} < 0,001$ z.B. Kopfdichtung, O-Ring $\phi 6 \times 1,5\text{mm}$	$0,001 < K_{Bs} < 0,03$ z.B. Preßstoffdichtung, O-Ring $\phi 30 \times 1,5\text{mm}$	$0,03 < K_{Bs} < 0,05$ z.B. Kunststoffschlauch, Kabel, Formdichtung	$K_{Bs} > 0,05$ z.B. Folien, Rahmen-dichtung
Volumenänderung	Ein- oder Mehrachsig sehr stabil	Ein- oder mehrachsig stabil	Einachsig instabil	Mehrachsig instabil
				
Elastizität	Niedrig elastisch	Elastisch	Plastisch	Plastisch fließend
				
Formmerkmale	Blockförmig	Flächenförmig	Langgestreckt	
			L/B > 10 und L/S > 10	
	Offen		Geschlossen	
	Querschn. ü. Länge gleich	Querschnitt über Länge ungleich		

Bild 3-2: Grundklassifizierung formlabiler Bauteile und Ausprägung (Erläuterungen Kap. 3.1.2.1 - 3.1.2.4)

Grundsätzlich muss das Biegeverhalten des Bauteils unter den zu erwartenden Belastungen berücksichtigt werden. HSIEH & OH (1997 S. 455FF) stellen ein Verfahren vor, welches die kombinierten Einflüsse der elastischen Ver-

formungen sowie von Formschwankungen der Bauteile (hier Stahlteile) während des Fügens simuliert. Obwohl keine Schwankungen der Bauteilparameter zugelassen sind, steht der rechnerische Aufwand in einem deutlichen Missverhältnis zum Nutzen. Dies gilt auch für die Vorausberechnung mechanischer Eigenschaften von Kautschukbauteilen von HAACK (1985 S. 31FF). Zur Bestimmung der Biegesteifigkeit von *Materialien*, nicht aber *Bauteilen*, stehen Verfahren wie z.B. nach Kawabata (GREUEL U.A. 1991 S. 36FF) oder DIN 53513 (1983) zur Verfügung, die Werte nach einer Verformung stabförmiger Probekörper aufnehmen. Deren Daten gelten in der Fachwelt als nur bedingt reproduzierbar (KROCKENBERGER 1995 S. 17FF) und berücksichtigen plastische und zeitabhängige Verformungsanteile nicht (SPIEGELMACHER 1991).

Diese Klassifizierung muss eine Aussage treffen, ob ein Bauteil als *bereitstellungstechnisch formstabil* zu bezeichnen ist. Zuführversuche zeigen, dass Bauteile besser bereitgestellt werden, wenn ihre Durchbiegung unter Schwerkraffteinfluss gering ist. Ein Grad der Biegeweichheit oder -steifigkeit unter der Einwirkung von Biegemomenten durch Schwerkraffteinfluss stellt daher ein geeignetes Kriterium dar und wird durch das Zusammenwirken der Einflüsse von Werkstoff und der Gestaltmerkmale bestimmt (HOßMANN 1992 S. 54FF).

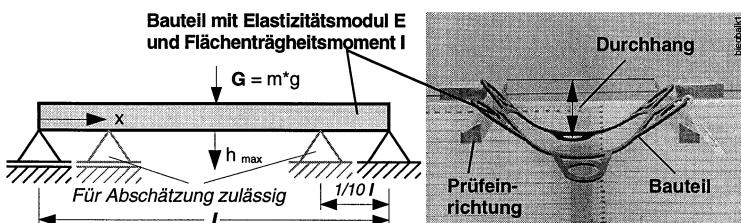


Bild 3-3: Biegebalkenmodell und Prüfeinrichtung

Zur Bestimmung der Biegesteifigkeit wird das Bauteil als Balken mit Zweipunktauflage modelliert (Bild 3-3). Um einen dimensionslosen Vergleichswert zu bilden, wird der Grad der Biegesteifigkeit K_{Bs} als Verhältnis der größten Durchbiegung h_{max} unter dem Werkstückgewicht $G=m \cdot g$ zur größten vorliegenden Länge l des betrachteten Bauteils definiert:

$$(Gleichung 3.1) \quad \text{Biegesteifigkeitskennzahl } K_{Bs} = \frac{h}{l}$$

Neben den beiden Extremen eines nahezu vollständig steifen bzw. nahezu vollständig labilen Formverhalten kann auch die jeweilige Abweichung abgegrenzt werden. In Anlehnung an REINHART (1988 S. 34) erfolgt eine Einteilung der Werte K_{Bs} in vier Gruppen (Bild 3-2).

Unter Umgehung aufwendiger Methoden zur Berechnung des Biegeverhaltens von Bauteilen über Methoden der Finiten Elemente (z.B. HAAK 1985 S. 31ff) können für bereitstellungsbezogene Bewertung ausreichend aussagekräftige Steifigkeitswerte experimentell ermittelt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Auflager ideal außen am Bauteil angreifen. Eine Verschiebung der Auflager um bis zu 1/10 der Länge ist nach empirischen Versuchen bei einer Beeinträchtigung des K_{Bs} um ca. 5% jedoch zulässig (Bild 3-3).

Unter der Annahme, dass die einfach zu ermittelnde Gewichtskraft des Werkstückes mittig zwischen den Auflagern angreift, der Bauteilquerschnitt senkrecht zur Verbindungslinie Schwerpunkt - Auflager konstant ist und ein ebener, schubstarrer Lastfall vorliegt, lässt sich die Biegesteifigkeit K_{Bs} von Bauteilen mit Gleichung 3.2 beurteilen (vgl. SCHNELL U.A. 1985 S. 113),

$$K_{Bs} = \frac{h}{l} = \frac{1}{48} \cdot \frac{G \cdot l^2}{E \cdot I_y} \quad (\text{Gleichung 3.2})$$

die sich aus der bekannten Differenzialgleichung der Biegelinie eines Balkens $E \cdot I_y \cdot h'' = -M$ ergibt. Durch zweimaliges Integrieren und unter Berücksichtigung des beschriebenen Lastfall resultiert $E \cdot I_y \cdot h = G \cdot l^3 / 48$, woraus sich durch Umstellen die dimensionslose Biegesteifigkeitskennzahl ermitteln lässt. Das Flächenträgheitsmoment um die y-Achse I_y müsste abschnittsweise über x integriert werden. Für die hier angestrebte Abschätzung reicht es jedoch aus, I_y entsprechend dem kleinsten Querschnitt des Bauteils einzusetzen (Bild 3-4a).

Auch Bauteile mit Gelenken oder z.B. Ketten sind in den Bereich nicht formstabiler Bauteile einzuordnen, da sie ihre Form unter dem Eigengewicht verändern (Bild 3-4b). Die Gelenkreibung beeinflusst dabei den Grad der Biegesteifigkeit, die mathematische Bestimmung der Kennzahl K_{Bs} ist jedoch mit der oben genannten Methode nicht möglich.

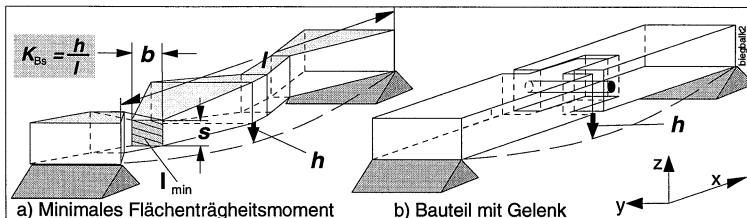


Bild 3-4a und b: Minimales Flächenträgheitsmoment I_{min} und Gelenkbauteil

3.1.2.2 Grundklassifizierung: Volumenänderung

Auch durch Volumenänderung wird die Geometrie eines Bauteils dahingehend verändert, dass eine Orientierung nicht möglich ist (GRAF 1984). Volumenänderungen können schon durch die zum *Weitergeben* und *Ordnen* nötigen Kräfte z.B. in Schräg- und Wendelförderern resultieren (AHRENS 1983). Dabei ist es ohne Interesse, ob die Volumenänderung durch die Konstruktion des Bauteils (z.B. dünnwandige Rohre) oder durch Kompression von eingelagerten, gasgefüllten Hohlräumen (z.B. bei Schäumen) erfolgt (Bild 3-5).

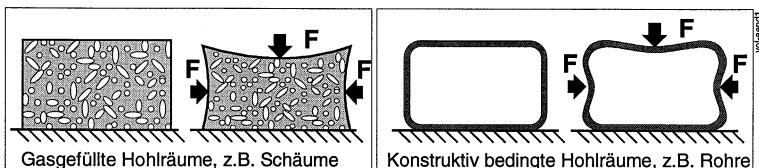


Bild 3-5: Änderung des Bauteilvolumens durch Krafeinwirkung

Quantitativ ist ein Vergleich über die Ermittlung der Verformungsarbeit unter der Aufbringung kinetischer Energie $W=\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ möglich (GREUEL U.A. 1991 S. 38). Nach SAECHTLING (1995 S. 106) ist das Arbeitsaufnahmevermögen eines Formteils gleich dem Produkt eines von der Geometrie abhängigen Faktors K mit dem Integral über der Spannung-Dehnungs-Linie w , also $W=K \cdot w$. Während der Wert K für einfache Formteile bekannt ist, müssen bei komplexen Formen Finite-Elemente-Methoden genutzt werden (z.B. HAAK 1985 S. 53FF). DIN 53519 (1972) beschreibt Verfahren zur Druckprüfung an weich-elastischen bis harten Schaumstoffen, die auf Probekörpern basieren und die zum Verformen eines Volumenanteils notwendige Kraft als Vergleichswert nutzen. Die gewonnenen Materialkennwerte schließen den Einfluss geometrischer Merkmale aus.

Um den Einfluss der Volumenänderung eines Bauteils abzubilden, wird vorgeschlagen, ein Prüfverfahren anzusetzen, mit dem eine Entscheidung fällt, ob ein für die Bereitstellung kritisch deformierbares Bauteil vorliegt. Ein Maß der Deformation wird dabei vernachlässigt, da es für die Auswahl von Bereitstellungsverfahren und -konzepten von untergeordneter Relevanz ist. Eine wesentliche Größe ist die Volumenveränderung beim Speichern und Puffern von Bauteilen.

Hier werden vier Bauteilklassen eingeführt, die sich auf das Verhalten des Bauteils unter Fremd- und Eigenlast gegenüber den zulässigen Füge- und damit Bereitstellungstoleranzen beziehen. Eine bereitstellungsrelevante Volumenänderung liegt vor, wenn die Geometrie unter der Krafeinwirkung übereinanderliegender Bauteile über den Bereich der durch die Bereitstellung vor-

gegebene Toleranzen, meistens der Positioniergenauigkeit zum Fügen, verändert wird (Bild 3.2). Werden diese Veränderungen (größer als die Toleranzen) in mehreren Achsen schon aufgrund der Eigengewichtskräfte erreicht, ist keine automatisierte Bereitstellung durchführbar.

3.1.2.3 Grundklassifizierung: Elastizität

RAUSCH (1987) und SAECHTLING (1995 S. 94FF) fordern die Unterscheidung eines plastischen von einem elastischen Verhaltens, um Greifmechanismen und Positioniertechnologie zuordnen zu können. Die Auslegung von Speichersystemen wird durch die Elastizität des Bauteils bestimmt (GRAF 1984). Beispielsweise müssen plastische Bauteile in Flachmagazinen gestützt werden (ZIPSE 1987). GÖTZ (1991 S. 26) weist darauf hin, dass das Halten von Bauteilen aus Materialien mit strukturviskosem Verhalten mit Vakuum zu irreversiblen Deformationen führt.

Die Elastizität eines Stoffes oder Körpers wird als die Fähigkeit, durch äußere Kräfte oder Momente verursachte Form- oder Volumenänderungen rückgängig zu machen, erklärt. Ein Maß für die Rückbildung stellt der Elastizitätsgrad η_e dar. Für diesen gilt:

$$\eta_e = \frac{W_1}{W_2} \text{ mit}$$

W₁: dem Körper zugeführte Formänderungsarbeit

W₂: freiwerdende mechanische Arbeit durch Rückbildung

Für vollkommen elastische Körper ist dabei $\eta_e = 1$; für vollkommen plastische Körper gilt $\eta_e = 0$. Als messbare Elastizitätsgrenze wird diejenige mechanische Spannung bezeichnet, bei der sich eine bleibende Verlängerung oder Verkürzung um 0,01 % der Messlänge ergibt. Geometrische Merkmale eines Bauteils, die das Rückstellverhalten beeinflussen, können nur mit der Durchführung von strukturierten Versuchen (DIN 53513 1983) oder auch hier durch Berechnung mit Methoden der Finiten Elemente berücksichtigt werden.

Kennzeichnend für *elastische* Körper oder auch Bauteile ist, dass nach Wegnahme einer mechanischen Kraft (hier Vielfache des Eigengewichts) der Werkstoff wieder in den Ausgangszustand zurückkehrt, da bis zum Erreichen der Elastizitätsgrenze das Hookesche Gesetz seine Gültigkeit: $\sigma = \epsilon \cdot E$ bzw. $E = d\sigma/d\epsilon$ behält. *Plastisches* Verhalten ist zu verzeichnen, wenn nach Belastung die Fließgrenze des Materials überschritten ist und damit ein bestimmter Formänderungsbetrag zurückbleibt.

Bereitstellungstechnisch ist es von Interesse, dass die Rückformung des ver einzelten Bauteils schneller erfolgt als dass die Notwendigkeit der Geometrieprüfung z.B. beim Positionieren eintritt. Daher werden die Klassen in Abhängigkeit vom zeitlichen Rückformungsverhalten und möglicher Belastung eingeführt (Bild 3-2). Die Verformung aufgrund des plastischen oder elastischen Verhaltens ist bereitstellungsrelevant, wenn die Formänderung zum Bereitstellungszeitpunkt größer als die zum Fügen zulässigen Bereitstellungstoleranz ist, da in diesen Fällen vor dem Fügevorgang ein erneuter Formprozess oder ein Rückbildungspuffer eingeführt werden muss. Bereitstellungstechnisch hoch kritisch sind Bauteile, die bereits bei Raumtemperatur im Zeitraum zwischen Geometriegebung und Bereitstellung fließen bzw. Ihre Form verlieren, wie z.B. Bitumen.

3.1.2.4 Grundklassifizierung: Formmerkmale

PALM & TOLANI (1983), SELIGER & GUTSCHE (1991 S. 24), JAUCH (1992) und EICH & DIRNDORFER (1993 S. 637) unterstreichen die Relevanz von Formmerkmalen auf Automatisierungskonzepte und Handhabungseigenschaften formlabiler Bauteile. Die Bauteilform ist für das Halten und Weitergeben aufgrund der zur Verfügung stehenden Angriffsfläche sowie einem möglichen kontinuierlichen Linienkontakt bzw. lediglich der Punktberührung ausschlaggebend, da zur Vermeidung von Verformungen die Krafteinbringung über größtmögliche Flächen anzustreben ist (GÖTZ 1991 S. 107FF).

Zur Unterscheidung von Formen verfolgt ZIPSE (1987) einen Ansatz, der mit der parametrisierten Beschreibung einer standardisierten Hüllkörpergeometrie für prismatische und rotationssymmetrische Teile zur Auslegung von Stangenmagazinen verwendet wird. Nach WEBER (1987) sind Blechabschnitte in ebene und räumliche Klassen zu unterscheiden, wobei letztere Werkstücke mit geraden und räumlich gekrümmten Kanten kategorisiert werden. VDI RICHTLINIE 3237 (1967) stellt eine Formeneinteilung (*Flachteile - Blöcke - Stangen - Band*) in eine Ebene mit physikalischen Merkmalen (*Gas, Flüssigkeit, Granulat*) und Bereitstellungstechnik (*Gurtbare Teile*). Weitere Arbeiten gehen von einem bezüglich der Formen bereits abgegrenzten Bauteilbereich aus, so SPIEGELMACHER (1991) und GUTSCHE (1993) für Textilien, FRANKENHAUSER (1988) für Schläuche, CRAMER (1995) für Kabel oder GÖTZ (1991) für flächige Bauteile.

Für den Bereich der Bereitstellung erweist sich die Klassifizierung nach MILBERG U.A. (1987) zielführend, die von den drei Gruppen *langgestreckt - flächenförmig - blockförmig* ausgehen, die hier um die Unterklassen *langgestreckt-offen* und *langgestreckt-geschlossen* erweitert wird (Bild 3-2 und 3-6).

So zeigen JAUCH (1993) und WÖßNER (1993) z.B. den erhöhten Aufwand für die Automatisierung geschlossen-langgestreckter Bauteile auf, da der Kraftangriff vielfach in Punktberührungen und hohe Flächenbelastung mündet. Langgestreckt-offene, im Querschnitt über der Länge gleiche Bauteile können dagegen mit einer kontinuierlichen Flächen- oder Linienberührungen gegriffen bzw. gefördert werden (HARTMANN U.A. 1987, S. 380 CRAMER 1995 S. 30). Beim Greifen langgestreckt-offener Bauteile mit veränderlichem Querschnitt über die Länge wie Formschläuche oder Kabelbäume mit Steckern verbleibt nur eine diskontinuierliche Lösung, d.h. das Bauteil muss mit dem haltenden Element gefördert werden (FRANKENHAUSER 1988, KOLLER 1994).

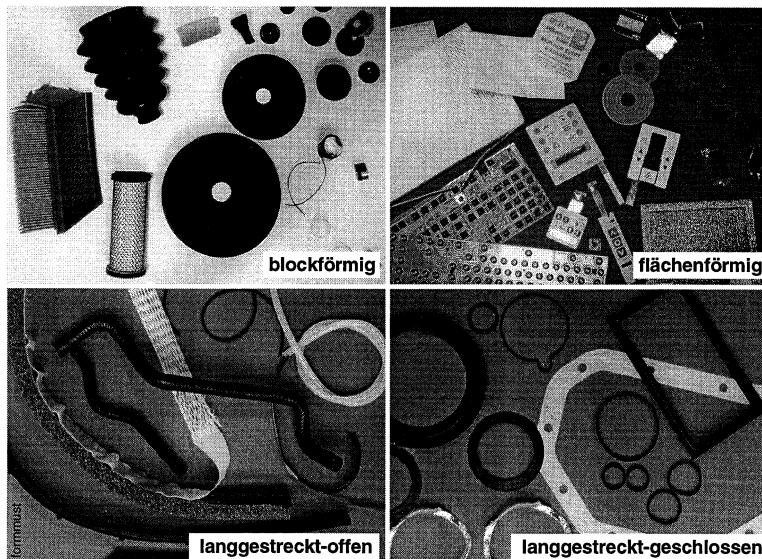


Bild 3-6 : Bauteilklassen nach Formen

GÖTZ (1991 S. 20FF) und KROCKENBERGER (1995 S. 17) definieren Bauteile, deren Länge und Breite um ein Vielfaches größer als die Dicke ist, als flächig. Beispiele sind Dicht- und Dämmfolien, -matten und -vliese wie auch Textilien, die im Fahrzeugbau sowie in Produkten der Haushaltsgeräteindustrie auftreten. Flächenförmige Bauteile weisen bereitstellungstechnisch den Vorteil auf, dass zum einen der Körper in der Fläche stabilisierbar ist. Zum anderen ist die Fläche für einen zur Handhabung erforderlichen Kraftangriff gross. Die Dicke S (im Verhältnis zur Breite B) ist dabei eine Kenngröße, um Greiftechnologien wie Vakuum- oder Nadelgreifer einsetzen zu können, ohne das Bauteil zu verformen bzw. um auszuschliessen, das Teil nicht oder darunter liegende Teile mit zu greifen (GIBSON U.A. 1990 S. 219).

Bei einem gleichmäßigen Verhältnis von Breite zu Dicke stabilisiert sich das Bauteil über die aufgespannte Fläche durch einen geschlossenen Querschnitt. Blockförmige, tatsächlich formlabile Bauteile sind daher nur wenige wie z.B. Faltenbälge und Filterpakete bekannt (Bild 3-6). Abgesehen von dünnwandigen Hohlkörpern, die ohne Abstützung zusammenfallen, können blockförmige Bauteile mit konventionellen Lösungen bereitgestellt werden.

3.1.2.5 Weitere Klassifizierungsmerkmale

Die Ausführung von Ordnungs-, Speicher- und Halteprozessen ist abhängig von der **Außenkontur** mit den Grundabmessungen Dicke S zu Breite B (AHCREN 1983) (Bild 3-7). Sollen Bauteile mit Greifern gehalten bzw. gespannt werden, so hängt die Komplexität der Greiferausführung und des -aufbaus von dieser Kontur ab, sofern sie als Kraftangriffsfläche dienen soll. Während eckige (insbesondere rechteckige) Formen durch korrespondierende Formelemente gehalten, gestützt und geleitet werden können, ist dies bei komplexen und zusammengesetzten Formen erschwert. Bestehen Möglichkeiten des Greifens und Führens an innen liegenden Merkmalen wie Bohrungen und Ausschnitten, ist die Randgestaltung dagegen zweitrangig. Abgesehen von Kreisquerschnitten ist die Kraftaufbringung zum Ordnen und Führen bei runden Bauteilen aufgrund undefinierter Angriffsstellen kritisch. Bauteile mit Nebenformelementen, die meist den eigentlichen formlabilen Anteil darstellen, wie z.B. Tails oder anhängende Kabelstränge von Platinen, sind nicht automatisiert zwangzuordnen.

Für langgestreckte Elastomerprofile geben FICHTMÜLLER U.A. (1992 S. 34) an, dass der Bereitstellungsaufwand mit zunehmender Komplexität der **Änderung über der Länge** steigt. Die Querschnittsform ist bestimmd für die Auswahl und Auslegung von Prozessen der Weitergabe und des Speicherns. Konstant gleichbleibende Querschnittsformen (Breite B zu Dicke S) über der Länge L wie z.B. Scheibenwischergummis können durch kontinuierliche Verfahren weitergeben werden. Liegt eine konstant veränderliche Bauform vor (z.T. bei Formschlüuchen), so ist eine Führung der Bauteile über die Länge an den vorhandenen, relativ zur Peripherie winkelgenauen Flächen möglich, solange keine Torsion des Querschnittes auftritt. Während konstant über die Länge gleichbleibende Bauteile grundsätzlich stapelfähig sind, kann dies bei einer konstanten Veränderung des Querschnitts durch Zusammenstellung von zwei jeweils um 180° zueinander verdrehten Bauteilen möglich sein. Ein- und mehrachsig veränderliche Bauteile sind nur bei Zwischenlegen von Distanzstücken oder angepasster Konstruktion stapelbar, wobei Leerräume und damit ungünstige Packungsverhältnisse einkalkuliert werden müssen.

Bereitstellungsaufwand Bewertung 1		2	3	4	
Außenkontur	Eckig regelmässig	Eckig unregelm.	Rund regelm.	Rund unregelmässig	Neben- formelemente
Änderung ü. L.	Konstant gleichbleibend	Einachsig veränderlich	Konstant veränderlich	Mehrachsig veränderlich	prozel
Symmetrien	Volle	Mehrfache	Einfache	Keine	
Oberfläche	Zentrierend	Durchbrüche	Eben vollflächig	Unregelmäßig	
Flächenhaftung	Nicht haftend	Wenig haftend	Haftend	Stark haftend	
Luftdichtigkeit	$F = m_{\text{Bau teil}} \cdot g$ Abheben möglich	$F > m_{\text{Bau teil}} \cdot g$ Abschälen möglich	$F > m_{\text{Bau teil}} \cdot g$ Abschälen ohne Vereinzelung	$F >> m_{\text{Bau teil}} \cdot g$ Abschälen o. Vereinzelung ggf. Beschädigung	
Verbund	Luftundurchlässig	Gering luftdurchlässig	Luftdurchlässig		
Randhaftung	Kein oder lose	Verklemmend	Durchdringend	Verhakend	
Stab. Lagen	Wenige	Mehrere	Mehrere, instabile	Keine / instabile	

Bild 3-7: Prozessrelevante Merkmale und Ausprägung (Erläuterungen s. Kap. 3.1.2.5, Seite 47 bis Seite 51)

Das Vorliegen von **Symmetrien** ist hinsichtlich des notwendigen Aufwands zum Orientieren von Wichtigkeit, da mit steigender Anzahl die Notwendigkeit für Drehungen und Wendungen reduziert wird (BOOTHROYD 1992, ALTENWERTH U.A. 1984, LO & DORE 1990 S. 70). Darüberhinaus geben Symmetrien eine Aussage über korrespondierende Flächen als Kraftangriffspunkte. Im optimalen Symmetriefall der unmarkierten Kugel kann das Orientieren entfallen.

Greifer können gleichsam an allen Seiten angreifen, die richtige Position bleibt aufgrund der Selbstzentrierung gewährleistet. VDI Richtlinie 2860 (1990) beschreibt den Ordnungszustand durch den Orientierungs- und den Positionierungsgrad. ALTENWERTH U.A. (1984) und HILGENBÖCKER (1985) ermitteln die Ordnungsschwierigkeit aus der Zahl der maximal notwendigen Winkeldrehungen und der Anzahl der ungleichen gegenüberliegenden Seiten eines Bauteils mit Hilfe einer Matrix der Freiheitsgrade. ROCKLAND (1995) errechnet mit der Anzahl möglicher Lagen (N_L), Orientierungen (N_O) und Freiheitsgrade (N_{Fg}) einen maximalen

$$\text{Ordnungsgrad } OG_{\max} = N_L \cdot N_O + N_{Fg}$$

Hier ergibt sich beispielhaft ein Ordnungsgrad von 27 für einen einfachen achsensymmetrischen Quader und von 6 für einen rotationssymmetrischen Zylinder.

Verschiedene **Oberflächenelemente** ermöglichen geordnetes Speichern sowie die einfache Realisierung von Positionierprozessen (GRÖNDHAL & ARNSTRÖM 1983, GRAF 1984 S. 101). Durchbrüche, Bohrungen und Nuten können als Führungselemente für Dorne und in Magazinen sowie als Kraftangriffspunkte für Ordnungs- und Weitergabefunktionen genutzt werden. Zentrieren Bauteile ineinander, wie z.B. Membrane oder Tiefziehteile, so können diese geordnet und selbststabilisierend gestapelt werden, sofern der Abstand der Innen- und Außenkontur (Materialdicke) gleichmäßig und die Konstruktion hintschniedungsfrei ist. Ebene, vollflächige Bauteile sind bei gleichmäßiger Materialdicke über die Fläche ebenfalls geeignetes Stapelgut, jedoch muss die rotatorische Orientierung um die zur Fläche orthogonale Achse durch Führungen gewährleistet werden.

Die **Flächenhaftung** zwischen Bauteilen wird durch die Oberflächenstruktur bestimmt (NESTLER & PAKULAT 1989 S. 97, HANISCH & MAHR 1990, SPIEGELMACHER 1991) und ist eine wichtige Randbedingung für die Auswahl von Vereinzelungs- und Halteverfahren (SELIGER & GUTSCHE 1991 S. 24FF, GÖTZ 1991 S. 26, GUTSCHE 1993, HOU 1994). Für Flächen mit bekanntem Haftungsverhalten zeigt SPIEGELMACHER (1991) ein Verfahren zur Berechnung wie auch zur experimentellen Ermittlung der Kräfte zur ganzflächig or-

thogonalen Trennung von Textilien auf, dass jedoch nicht auf technische Bauteile zu übertragen ist.

Ausgangspunkt der Merkmalsprüfung sind die vollflächig übereinanderliegenden Bauteile, wobei es unwesentlich ist, ob die Haftkraft durch Klebstoffe, statische Aufladung, Kapillarwirkung oder Adhäsion erzeugt wird. Bei einem punkt- oder linienförmigen Kraftangriff erfolgt eine Beurteilung des Vereinzelungserfolges, wobei eine resultierende Verformung unter den zulässigen Toleranzen bleiben muss. Der technische Aufwand zum Vereinzeln steigt mit zunehmender Haftkraft. Erfordert die Flächenhaftung eine Trennstrategie wie das Abschälen (linienförmige Trennung der Bauteile), so ist eine Kinematik über mehrere Achsen einzusetzen. Wird auch mit derartiger Technik mehr als ein Bauteil gefördert, sind Funktionen zum Rückhalten der Bauteile zu berücksichtigen. Treten gar Beschädigungen der Oberflächen auf, sind additive Trennmittel oder -lagen vorzusehen.

In Abhängigkeit der **Luftdurchlässigkeit** können Bauteile mit Greiftechnologien, die auf das Anlegen eines Vakuums oder die Anwendung des hydrodynamischen Paradoxons basieren, gegriffen und gespannt werden. Die Anwendung dieser Technik kann den Vorteil geringer punktförmiger Lasten und geringer Verformung von Bauteilen aufweisen (SPIEGELMACHER 1991, GUTSCHE 1993, KROCKENBERGER 1995). Die Messung nach DIN 538887 (1989) gibt detailliert Auskunft über die Luftdurchlässigkeit eines Materials. Für die Bewertung des Bereitstellungsaufwands erweist sich das Verfahren als zu aufwendig; zudem wird die Bauteilkonstruktion nicht berücksichtigt. Bei dem angestrebten hohen Aufwand-Nutzen-Verhältnis ist subjektiv zu klären, ob über den Großteil der Bauteilflächen eine hohe Luftdurchlässigkeit vorliegt.

Die Neigung zum **Verhaken, Verklemmen und Überlappen** aufgrund der geometrischen Form von Bauteilen untereinander, aber auch des einzelnen Bauteils hat Einfluss auf die Komplexität und Ausführung des Vereinzelungsprozesses (HILGENBÖCKER 1985 S. 77). HÜTTER (1979) beschreibt die **Durchdringfähigkeit** als Verhältnis der größten Halbzeugbreite zur Öffnungsbreite sowie die **Hakfähigkeit** als Verknüpfung von geometrischen und schwerpunktbezogenen Merkmalen. Tatsächlich liegen Fügeprozesse wie *Ineinanderschieben* oder *Ineinanderhaken* (vgl. DIN 8593 Teil 4.1 1985) vor.

Die Auswirkung bezüglich der Bereitstellung hängt insbesondere davon ab, ob das Bauteil zu einem beliebigen Zeitpunkt ungeordnet vorliegt und damit das Merkmal zum Tragen kommt. Verhakte, verklemmte, überlappte oder durchdrungene Bauteile sind ohne Gefahr der Bauteilschädigung nicht durch erhöhte Kraft zu vereinzeln. Vielmehr muss durch das Generieren von Wegen die gefügte Verbindung aufgehoben werden. Bei formlabilen Bauteilen sind

insbesondere Verklemmvorgänge durch elastische Verformung (z.B. bei topfförmigen Bauteilen) zu berücksichtigen.

Auch die aus der Materialwahl und der eingesetzten Herstellungstechnik resultierende **Randhaftung** beeinflusst die Prozesssicherheit der Vereinzelung (KROCKENBERGER 1995 S. 18). Sie tritt z.B. bei Mehrfachstanzung oder -schnitt gestapelter Bauteile durch Verkleben des Bauteilrandes in Form von Verpressung, Verschweißung, Verhaken, Verfilzen oder Schneidgratbildung aber auch z.B. durch Verschmieren mitgestanzter Haftklebstoffschichten auf, womit auch hier Fügeprozesse nach DIN 8593 (1985) vorliegen. Bereitstellungstechnisches Ziel ist die Trennung der Bauteile mit möglichst geringer Kraft, um Verformungen zu vermeiden. Mit steigender Randhaftung ist die auf das Bauteil aufgebrachte Vereinzelungskraft zu erhöhen, die Verformungen zur Folge haben kann. Auch die Notwendigkeit von kinematischen Maßnahmen (z.B. Abschälen) oder erforderlicher mechanisch trennender Verfahren ermöglicht eine Aussage über das Kriterium Randhaftung, wobei der Grund der Randhaftung ohne Relevanz ist.

Je weniger **stabile Vorzugslagen** auftreten, desto weniger Handhabungen sind für eine geforderte Lage durchzuführen (HILGENBÖCKER 1985). Die mechanisch stabile Lage nimmt das Bauteil aufgrund seiner Geometrie und Schwerpunktllage ein, wenn es unter konstantem Krafteinfluss sich selbst überlassen wird. Die Summe aller stabilisierenden Momente ist dabei größer als die der Kippmomente (LASHIN 1993 S. 93). Methoden zur Bestimmung stabiler Lagen aus dem Verhältnis der Trägheitsmomente um die Raumachsen und damit aus der Bauteilgeometrie sind BOOTHROYD (1992) zu entnehmen, für die Bewertung wird auf Bild 3-7 verwiesen. Der Aufwand der Bereitstellung steigt mit zunehmender Anzahl sowie mit zunehmender Instabilität der Lagen. Eine unmarkierte Kugel liegt sinngemäß immer in der Zielorientierung, wohingegen die Markierung einer Kugel nur durch Drehen um alle Achsen mit einer Zielorientierung in Übereinstimmung zu bringen ist.

3.1.3 Bildung von Kennfeldern

Durch die Analyse, Bewertung und Einordnung von Beispielbauteilen kann in Form von Kennfeldern eine Datenbasis erstellt werden, die eine vergleichende Aussage zur technisch sinnvollen Machbarkeit einer automatisierten Bereitstellung eines neu zu bewertenden Bauteils ermöglichen.

Zur Erstellung eines derartigen Kennfeldes ist jedes der zur Bildung der Vergleichsbasis dienende Bauteil entsprechend der Klassifizierung zu bewerten. Anschliessend sind die Maßzahlen BMz_4 bis BMz_{13} zu ermitteln und grafisch

als je eine Kurve pro Bauteil abzubilden (vgl. Bild 3-8 oben). Durch die Bestimmung aller Maßzahlen von BMz_4 bis BMz_{13} der Vergleichsbauteile wird dem Planer offengelassen, nicht alle Kriterien eines neu zu bewertenden Bauteils aufnehmen zu müssen (oder zu können). Mit der Bewertung einer steigenden Zahl von Kriterien nimmt jedoch die Aussagegenauigkeit hinsichtlich einer Vergleichbarkeit eines neuen Bauteils mit den Bauteilen der Datenbasis zu (vgl. Kap. 7).

In einem nächsten Schritt sind erfahrungsgetrieben Grenzwerte BMz_n bzw. Grenzkurven BMz_4 bis BMz_{13} durch die Festlegung der Kritizität der Bereitstellung ausgewählter Beispielbauteile der Basis festzulegen. Dabei sind die Bewertungsklassen in hohem Maß abhängig vom Wissen und den Erfahrungen des Planers, der hier sein bzw. das unternehmensinterne Wissen abbildet. Damit entstehen Kennfelder, die zwar in der Regel produkt-, bauteilgruppen- und unternehmensspezifisch sind, jedoch das Wissen und die technischen Möglichkeiten widerspiegeln, die dem Planer zur Verfügung stehen. Auch die Lage der Grenzkurven ist damit berechtigterweise abhängig von dem spezifisch gesammelten Erfahrungswissen bezüglich einzusetzender Bereitstellungstechnik und angewandter Vorgehen, auf das bei der Neubewertung zurückgegriffen wird.

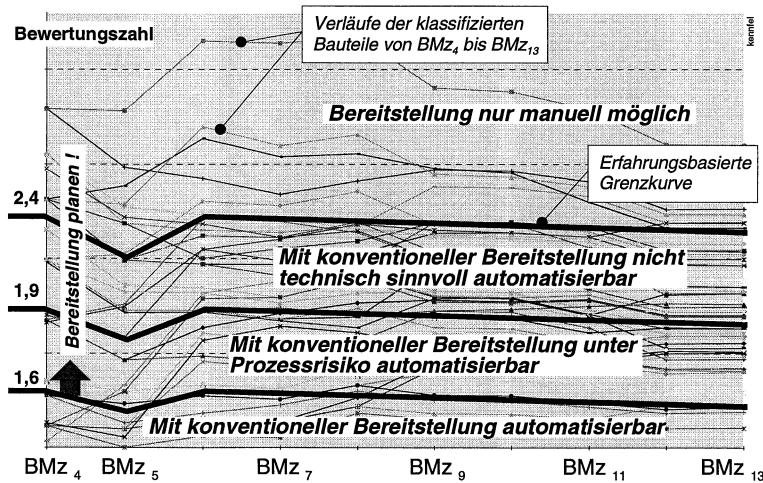


Bild 3-8: Beispielhaftes Kennfeld des technischen Bereitstellungsaufwands formlabiler Bauteile (Basis 157 formlabile Bauteile)

Im Beispiel (Bild 3-8) wurden vier Klassen des zu erwartenden technischen Bereitstellungsaufwands eingerichtet. Das Beispiel basiert auf 157 klassifizierten Bauteilen sowie Erfahrungswerten aus der Entwicklung und Analyse

von Bereitstellungseinrichtungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit. Ab einem erhöhtem Prozessrisiko (im Beispiel bei Einsatz konventioneller Bereitstellungstechnik ab einer BMz_n von 1,5 bis 1,6) ist das Aufwand-Nutzen-Verhältnis zur Überplanung der Bereitstellung gemäß dem in Kapitel 5 vorgestellten Verfahren angemessen (Bild 3-8).

3.2 Bewertung der Kosten über die Prozesskette

Für einen Vergleich alternativer Bereitstellungsverfahren ist neben der technischen Bewertung eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit unabdingbar. Dabei soll die Bewertung nicht nur für einzelne Prozesse, sondern über die gesamte Prozesskette von der Bauteilherstellung bis zur Montage mit dem Fokus der Bereitstellung unter Berücksichtigung der nötigen Voraussetzungen, Auswirkungen, Einsparungen und Kosten durchgeführt werden. Nur auf diese Weise können wirtschaftliche Vorteile in der Montage (z.B. durch Automatisierung) mit zusätzlichen Aufwendungen in der Herstellung (z.B. durch Teilekettenbildung) und Auswirkungen eingesetzter Technik (z.B. Verfügbarkeitsverlust) abgeglichen werden.

In Kapitel 3.2.1 wird dargestellt, welchen Einfluss Bereitstellungsprozesse auf die Kosten- und Wertentwicklung innerhalb einer Prozesskette haben. Nach der Auflistung der für Bereitstellungen relevanten Kostenfaktoren (Kap. 3.2.2) soll ein Vorschlag zum Vorgehen der Bewertung anhand eines Beispiels aufgezeigt werden (Kap. 3.2.3).

3.2.1 Einfluss der Bereitstellung auf Kosten und Wert schöpfung

Ziel der Produktion ist es, Wirtschaftsgüter zu schaffen, die auf dem Markt einen Wert repräsentieren, der vom Kunden gewünscht ist (KERN 1995). Der Wert auf dem Markt besteht aus einem *objektiven Wert*, der z.B. durch eine physikalische Eigenschaft repräsentiert wird und einem *subjektiven Wert*, der von den Präferenzvorstellungen des Wertendenentsprechend der Stellung des zu bewertenden Wirtschaftsgutes in seinem Präferenzsystem bestimmt wird. ENGELS (1962) geht davon aus, dass auch der subjektive, entscheidungsorientierte Wert von Wirtschaftsgütern nachgeprüft werden kann und prägt den Begriff *gerundiver Wert*.

Der Schöpfung des objektiven und gerundiven Werts steht ein Werteverzehr durch den Einsatz von Produktionsfaktoren (z.B. Nutzung von Maschinen

oder Verbrauch von Betriebsstoffen) gegenüber. Kosten sind schließlich die in Geld bewerteten Mengen an Produktionsfaktoren, die bei der Erstellung betrieblicher Leistungen verbraucht werden (GUTENBERG 1983).

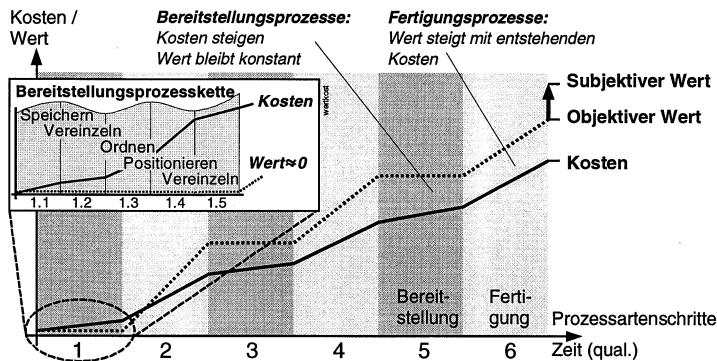


Bild 3-9: Qualitative Kosten- und Wertsteigerung über eine Prozesskette

Der Wert eines Produkts wird durch eine Vielzahl von Produktionsprozessen geschöpft, die in einer Kette von Fertigungs- und Bereitstellungsabschnitten angeordnet sind. Eine geeignete Visualisierung der Bewertung sind Kosten- und Wertsteigerungskurven entlang dieser Wertschöpfungskette. Hier wird die Entwicklung des Bauteilwertes und der verbrauchten Werte (Kosten) über der Zeit bzw. den Schritten des Prozessablaufes grafisch aufgetragen (Bild 3-9). Fertigungsprozesse wie spanende Bearbeitungen erzeugen objektive Werte, da sie das Produkt oder Bauteil mit Funktion und Form ausstatten und die entstehenden Kosten durch den Marktwert des Produktes beglichen werden. Bereitstellungsprozesse erzeugen hingegen keine für den Kunden zu erfassenden Werte, durch den Aufwand für die notwendigen Bereitstellungsprozesse entstehen dennoch fixe und variable Kosten. Das Verhältnis von objektiven zu verbrauchten Werten der Produktion wird zunächst allein durch die Fertigungsprozesse bestimmt (Bild 3-9).

Jeder Prozess, auch ein Bereitstellungsprozess, hat jedoch Einfluss auf die vor- und insbesondere nachgelagerten Prozesse (GAITANIDES 1994), die damit niedrige oder höhere Kosten durch ihre Anzahl und Ausführung verursachen. Der wesentliche Einfluss der gewählten Bereitstellungskonzepte und -techniken liegt in der Verfügbarkeit nachgeschalteter Prozesse. Im Kosten-Wert-Diagramm spiegelt sich eine geringere Verfügbarkeit eines Prozesses durch eine höhere Steigung des Kostenzuwachses wieder, da der anteilige notwendige Aufwand steigt und damit weniger Ausbringung pro Zeiteinheit erfolgt (Bild 3-10).

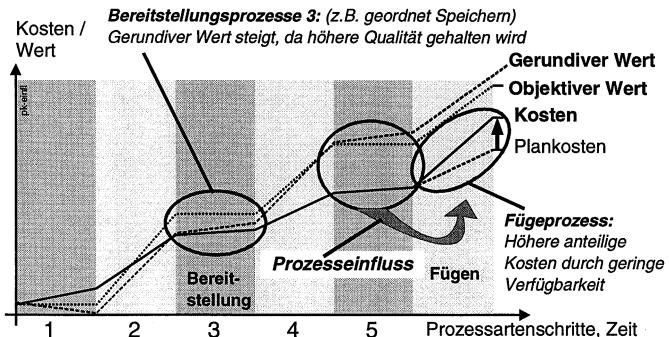


Bild 3-10: Einfluss von Prozessen einer Kette

Auf die objektive und gerundive Wertschöpfung können die Bereitstellungsprozesse direkten Einfluss haben. So kann die Durchlaufzeit sowie die Qualität eines Bauteils oder Produkts durch die Wahl des Bereitstellungskonzepts und der Bereitstellungstechnik verbessert werden, womit der gerundive Wert erhöht wird. Andererseits verringern bspw. Kratzer, die beim Ordnen mit Vibrationsförderern an Bauteilen entstehen, den objektiven Wert (Bild 3-10).

3.2.2 Kostenfaktoren

Grundlage betriebswirtschaftlicher Disposition und Planung sind die entstehenden Kosten, die verursachergerecht erfasst und verglichen werden müssen (CLARK 1923). Damit sind die Produktionskosten den kostenbestimmenden Determinanten zuzuordnen und es ist der funktionale Zusammenhang zwischen den Kostenbestimmungsfaktoren und den Produktionsfaktoren aufzuzeigen (HUCH 1979 S. 1512FF). Die Wahl zwischen Variationsmöglichkeiten dieser Faktoren stellt das produktionswirtschaftliche Entscheidungsproblem dar, welches bei der Auswahl von Bereitstellungsverfahren und -technik neben technischen Kriterien zu lösen ist.

Gerade im Bereich der innerbetrieblichen Logistik werfen sich eine Vielzahl von Problemen auf, soll eine Bestimmung der auftretenden Kosten vorgenommen werden. In vielen Fällen erfolgt ein pauschaler Umschlag auf Gemeinkostenblöcke, aus denen eine rückwirkende Extrahierung von Daten zu meist nicht möglich ist. Die fehlende Kostentransparenz im Gemeinkostenbereich birgt weitreichende Gefahren in sich. Der Nutzer von Leistungen, deren Kosten nicht detailliert bekannt sind, kann ihren Wert nicht richtig ermessen und neigt dazu, diese allzu sorglos in Anspruch zu nehmen, ohne die wirtschaftlichen Auswirkungen zu berücksichtigen (WÄSCHER 1989 S. 41FF). WEBER (1984 S. 1063FF) weist jedoch auf die Unmöglichkeit einer wirklich

verursachungsgerechten Gemeinkostenzurechnung hin, strebt aber dennoch eine möglichst detaillierte Erfassung an.

Ausgangspunkt einer ökonomischen Bewertung von Bereitstellungskonzepten muss die Ermittlung aller Einflussfaktoren sein. Dabei lassen sich zwei Klassen bilden (Bild 3-11). Die Gruppe der quantifizierbaren Größen ist über rechnerische Verfahren zu bewerten. Problematisch dabei die Tatsache, dass die notwendigen Daten nicht ausreichend detailliert vorliegen oder ihre Erfassung mit großem Aufwand verbunden ist. Erhebliche Schwierigkeiten bei der Einbindung in wirtschaftliche Bewertungen verursacht die Gruppe der nicht quantifizierbaren Größen. Die Beurteilung ihres Einflusses bleibt zumeist subjektiven Beurteilungen vorbehalten. Zwar gibt es immer wieder Bemühungen, für diese Faktoren Kennzahlensysteme aufzubauen, doch bleibt die Objektivität für das Maß ihrer Auswirkungen fraglich (SYSKA 1990).

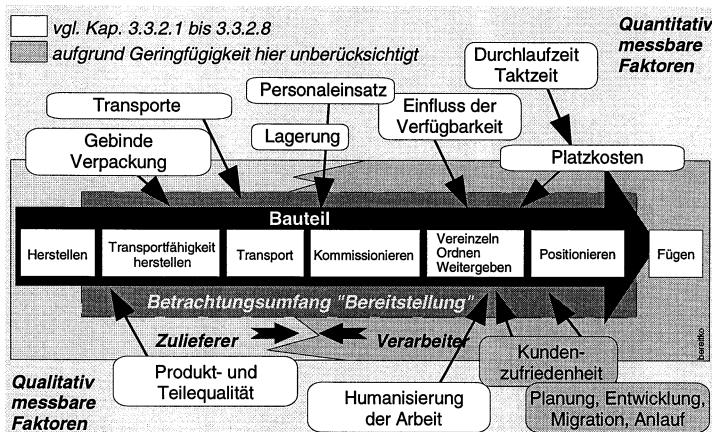


Bild 3-11: Einflussfaktoren der Bereitstellungskosten

Hier soll aufgezeigt werden, welche relevanten Kosten auf ein Bauteil über die bereitstellungstechnische Prozesskette verrechnet werden können. Basierend auf Ansätzen der Prozesskostenrechnung nach HORVATH & MAYER (1989) ergeben sich aus der Prozesserfüllung der Bereitstellungskette eines formlabilen Bauteiles die in Bild 3-11 aufgezeigten Einflussfaktoren, deren Bezug zur Bereitstellung folgend näher erläutert wird. Durch Beispiele wird dabei unterstrichen, dass ein sinnvolles Aufwand-Nutzen-Verhältnis der Prozesskostenprüfung zu den auftretenden Prozesskettenkosten vorliegt (WOLFSTETTER 1991 S. 17). Auf die Gemeinkosten z.B. für dispositive Maßnahmen aber auch auf Kosten der Bereitstellungsplanung wird aufgrund Geringfügigkeit der Kostenanteile nicht eingegangen.

3.2.2.1 Platzkosten

Eine geeignete Methode zur Ermittlung der Kosten von Betriebsmitteln ist die Platzkostenrechnung (LOTTER 1992). Zur wirtschaftlichen Bewertung von Prozessketten der Bereitstellung sind dabei Systemgrenzen festzulegen, die z.T. nur undeutlich sind. Ein Industrieroboter, der ein Bauteil aufnimmt, wendet und wieder ablegt, führt einen Ordnungsvorgang durch. Wird das Bauteil anschliessend auf einem Basisteil abgelegt, so handelt es sich um einen Fügevorgang (*Auflegen*), der nicht mehr Teil der Bereitstellung ist. Lösung der Problematik ist eine zeitliche Zuordnung des Betriebsmittels zu den in Bearbeitung stehenden Bauteilen.

Hier kommt der Maschinenstundensatz K_{MH} in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3258 zum Tragen, wobei die Nutzungszeit T_N den jährlichen Betriebsstunden entspricht:

$$K_{MH} = \frac{K_A + K_Z + K_R + K_E + K_I}{T_N} \left[\frac{DM}{h} \right]$$

Die Nutzungskosten durch die Bereitstellung eines Bauteils bzw. einer Einheit ergeben sich durch die benötigte Belegungszeit des Betriebsmittels. Die Beispielrechnung über eine Einrichtung innerhalb einer Bereitstellungskette zeigt neben der Kostenrelevanz auf, dass gemäß statischer Wirtschaftlichkeitsrechnung die Taktzeit eines Betriebsmittels der Bereitstellung unmittelbaren Einfluss auf die Kosten pro Bauteil hat, da eine Halbierung der Förderrate eine Verdopplung der zuzuschlagenden Kosten zur Folge hat (Tab. 3-12).

Kosten eines Vibrationswendelförderers mit Ordnungseinrichtung für O-Ringe 1,6 x 20mm (Speichern Ordnen, Puffern)	DM 35 000,-
Abschreibung	4 Jahre
Kalkulatorische Abschreibung K_A	8 750 DM/J
Zinssatz	7%
Kalkulatorischer Zins K_Z	1 225 DM/J
Raumkosten K_R (1m ² für Betriebsmittel, mind. 2m ² für Personal für Wartung und Entstörung lt. Arbeitsstättenrichtlinie)	1 440 DM/J
Energiekosten K_E	1 000 DM/J
Instandhaltungskosten K_I	3 920 DM/J
Kosten des VWF/Jahr $K_{VWF/J}$	16 335 DM/J
1-Schicht-Betrieb	1950 h/J
Kosten des VWF/Stunde $K_{VWF/h}$	8,35 DM/h
Förderleistung bei $\eta_{ver}^{ver} = 100\%$	8 BT/min
Kosten pro Bauteil KB_{BT}	0,018 DM/BT

Tabelle 3-12: Kostenbeispiel Platzkosten einer Bereitstellungseinrichtung

3.2.2.2 Personal

Prozesserfüllende, manuelle Tätigkeiten wie das Tragen, Ordnen, Sortieren, Kontrollieren oder Prüfen von Bauteilen, Bedienen eines Handhubwagens, Öffnen von Verpackungen oder Kommissionieren können nach Bestimmung des für die Ausführung der Aufgabe benötigten Zeitanteils als Kosten pro Bauteil, Gebinde oder Transporteinheit ermittelt werden. In einigen Fällen können Arbeitspläne als Erfassungsgrundlage dienen, wobei bereitstellungs-technisch interessante Verrichtungen vielfach nur einen kleinen Teil der Arbeitsaufgabe darstellen. Neben Zeitaufnahmen sind wiederkehrende Tätigkeiten mit Hilfe von Systemen vorbestimmter Zeiten (SvZ) zu bewerten. Die Taktzeit der Bereitstellung beeinflusst die Kosten pro Bauteil damit unmittelbar. Insbesondere das Methods-Time-Measurement (MTM) Verfahren ist zur Zeitenbestimmung geeignet, da hier neben meßbaren auch qualitative Einflussgrößen berücksichtigt werden. LOTTER & SCHILLING (1996 S. 28) zeigen beispielsweise auf, dass manuelles Greifen und Ordnen von Bauteilen im Schüttgutzustand rund die siebenfache Zeit gegenüber dem Greifen magazierter Bauteile erfordert. Gleichfalls führt ein Entwirren (z.B. haftende Formdichtungen) oder ein Glätten verformter Bauteile zu einem erhöhtem Zeitaufwand.

Weitere Personalkosten durch die Bindung von Anlagenpersonal treten zum Entstören und Nachfüllen auf. Aufnahmen an automatisierten Einrichtungen (Förderer mit Zwangsordnungseinrichtung) formlabiler Bauteile (insbesondere O-Ringen und Flachdichtungen) zeigen zur Erzielung einer Verfügbarkeit η^{ver} von ca. 85% (vgl. Kap. 2.1.2) ohne Berücksichtigung von Wegezeiten eine zeitliche Bindung von rund 15% eines Mitarbeiters pro Zuführgerät auf.

3.2.2.3 Transportbehälter, Magazine und Gebinde

Transportbehälter, Magazine und Gebinde werden in der Bereitstellungstechnik genutzt, um Bauteillagen zu übernehmen und zu übergeben sowie um Bauteile auf dem Transport zu schützen. Nahezu jedes Bauteil erfordert für den Transport zwischen Fertigungsschritten bzw. vom letzten Bearbeitungsvorgang zur Montage eine Verpackung oder ein Ladehilfsmittel. WILDEMANN (1995) gibt eine Reihe von Funktionen an, die diese zu erfüllen haben und fordert dabei ein optimales Kosten-Nutzen-Verhältnis (Bild 3-13).

Die Kosten über die Prozesskette der Bereitstellung werden durch notwendige Investitionen sowie den für Transporte und ggf. Rücktransporte erforderlichen logistischen Aufwand beeinflusst. Die Magazin- oder Verpackungskosten setzen sich aus den Aufwendungen für die Betriebsmittel bzw. Verpackungsmaterialien selbst, allen nötigen Hilfsstoffen wie Füllmaterial und

Sicherungsmaterial zusammen. Bei Einwegmagazinen und -verpackungen erfolgt eine anteilmäßige Belastung des transportierten Gutes mit den Kosten für Kauf, Instandhaltung und Entsorgung der Behälter (MEYER 1981).

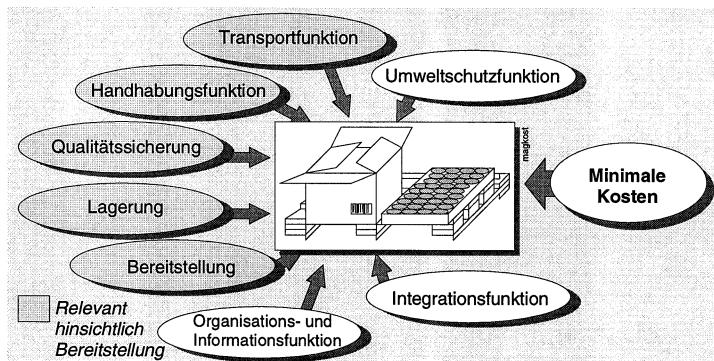


Bild 3-13: Funktionen und Anforderungen von Magazinen und Gebinden

Als zusätzliche Größe sind bei Mehrwegmagazinen die Rückführkosten zu berücksichtigen. Der Vorgang des Rücktransports stellt eine eigene Prozesskette dar. Handelt es sich dabei um im Pool betriebene Einheiten, entsteht ein Beziehungsgeflecht mit eigenen Regeln der Kostenzuordnung (JÜNEMANN 1989).

3.2.2.4 Inner- und außerbetriebliche Transporte

Bei den innerbetrieblichen Transportmöglichkeiten sind drei Alternativen zu berücksichtigen (Bild 3-14), deren Kosten unterschiedlich zu bewerten sind. Manuelle Transporte wie das *Tragen* werden wie in Kapitel 3.2.2.2 beschrieben über die Personalkosten verrechnet. Gleiches gilt für den Gebrauch von Betriebsmitteln wie Handhubwagen, da die anteiligen Abschreibungen, Zinsen und Wartungskosten vernachlässigbar gering sind (KOCKROW & STRACHE 1993).

Für den Einsatz von fest installierten, automatischen Fördersystemen wie Hängebahnen oder Schleppkettenförderer kann analog Kap. 3.2.2.1 eine Maschinenstundensatzrechnung oder eine Kostenbestimmung nach VDI-Richtlinie 2481 (1981) *Kostenblatt für Stetigförderer* durchgeführt werden. Als Nettoleistung sind Größen wie die Anzahl der Lastwechselspiele pro Zeiteinheit oder die Förderkapazität heranzuziehen, die anteiligen Kosten zu bestimmen und auf die Bauteile zu verrechnen. Bei Transporten durch Gabelstapler oder artverwandte Fördergeräte sind die Transportkosten je Stunde KT_h als Stundensatz zu ermitteln. Die Bestimmung erfolgt nach VDI-Richtlinie

3301 (1963) Kostenblatt für Flurförderzeuge und VDI-Richtlinie 3594 (1977) Kosten des innerbetrieblichen Transportes. Zur Ermittlung der Transportzeit stehen Hilfsmittel wie Materialflusskarten (MF-Karten), Transportzeitentafel nach VDI-Richtlinie 3301, Abbilden des Werkslayouts in einem Rasterplan zur Feststellung der Transportentfernung, Simulationen bis hin zu Zeitaufnahmen zur Verfügung.

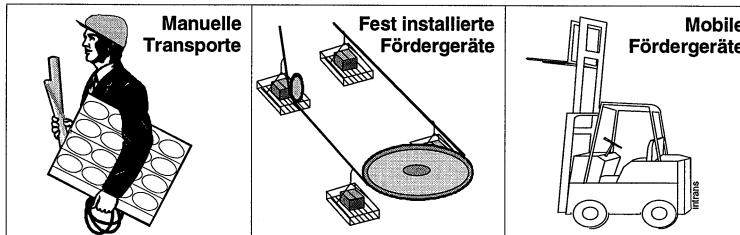


Bild 3-14: Alternative Transportträger

Weitere Kosten entstehen durch Transportbeziehungen zwischen Werken eines Unternehmens oder dem Betrieb des Lieferanten und dem Kunden (Bild 3-15). Für den Fall, dass die Lieferung im Einkaufspreis enthalten ist, sind die Transportkosten zu extrahieren. Bestehen vertragliche Beziehungen mit einer Spedition, so ist dort in der Regel ein Satz für den Transport pro Ladeeinheit (z.B. Palette) oder pro Gewichtseinheit festgelegt. Wird der Transport durch einen eigenen Fuhrpark durchgeführt, so existieren interne Lieferanten-Kunden-Beziehungen, Kostenstellen oder Zuschläge auf Gemeinkosten.

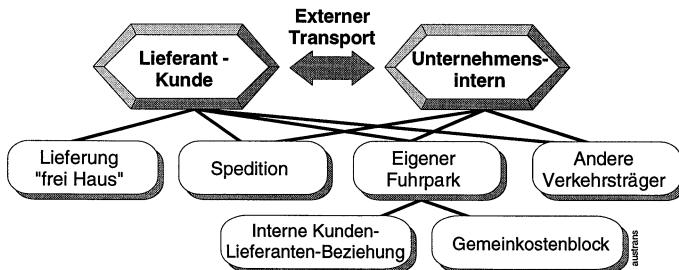


Bild 3-15: Bereitstellungsrelevante Transportbeziehungen (nach BÄCK 1989)

3.2.2.5 Lagerung

Wenngleich während der Lagerung von Produkten oder Teilen nur in Ausnahmefällen eine Wertschöpfung erfolgt (z.B. Auslagern), so wird ein beachtlicher Anteil an den im Laufe der Prozesskette auftretenden Kosten verursacht. Dies ist zum einen durch den Einsatz vorhandener Lagertechnik wie Lagertransportmittel (z.B. Regalbediengerät), die Lagerausstattung (z.B. Regale), die den eingelagerten Gütern zugeschlagen werden muss, zu erklären. Zum anderen verursacht die Kapitalbindung des Lagergutes erhebliche Kosten. Bei preisgünstigen Teilen werden nur geringste Kapitalmengen gebunden, so dass im Rahmen einer ABC-Analyse eine Einstufung als C-Teile vorgenommen wird (PFOHL 1990). Die C-Teile bedingen einfache Dispositionsvorfahren, wodurch sich bei der Vorratshaltung jedoch große Stückzahlen und oft lange Lagerdauern ergeben. Nach EICHNER (1990) hat der tatsächliche Nutzungsgrad von Lagerräumen keinen Einfluß auf die Höhe der Raumkosten. Bei Verrechnung auftretender Raumkosten auf die eingelagerten Bauteile bedeutet dies, dass bei leeren Lagern hohe Kosten pro Lagergut zu berücksichtigen sind, während sich die anteiligen Kosten bei vollem Lager verringern.

Wenn die Voraussetzungen eines annähernd linearen Verbrauchs, bekannter und konstanter Lagerhaltungskostenfaktoren, Bestellmengen und Sicherheitsbestände gegeben sind, erfolgt die Berechnung der Lagerhaltungskosten K_L über

$$K_L = \frac{p \cdot S}{200} \cdot X + \frac{p \cdot S}{100} \cdot X_{min}$$

Dabei entspricht X der üblichen Bestellmenge, X_{min} der Lagersicherheitsbestand, S dem Stückpreis oder exakter dem (gerundeten) Bauteilwert zum Zeitpunkt der Einlagerung und p dem Lagerhaltungskostenfaktor (GREIM & BRINKMANN 1986).

Weiterhin sind Kosten der Güterbehandlung und Güterverwaltung zu berücksichtigen, die eine beachtliche Größenordnung erreichen. So zeigt ein Beispiel von EICHNER (1990), dass in der Kostenstruktur eines Lagers nur 5,4 % auf die Kapitalbindung und 4,3 % auf Abschreibungen sowie Zinsen auf Sachanlagen entfallen. Die Personalkosten mit 42,5 %, Kosten für Beschaffung, Wareneingang und Qualitätskontrolle mit 17,1 %, lagerinterne Transportkosten mit 9,4 % und EDV-Kosten mit 6,1 % haben einen weit höheren Anteil.

3.2.2.6 Verfügbarkeit

Mit sinkender Robustheit eines Prozesses sinkt dessen Verfügbarkeit η_{ver}^{ver} (vgl. Kap. 2.1.2) sowie die der nachgeschalteten Prozesse unabhängig von zwischengeschalteten Puffern, die stets endlich sind (ARNOLD 1990, S.9) (Bild 3-16). Robuste Prozesse sind als störungsunempfindlich zu bezeichnen. TAGUCHI (1986) begründet mit Hilfe einer Verlustfunktion den Zusammenhang zwischen der Abweichung eines Qualitätsmerkmals von der Zielgröße und den dadurch entstehenden Kosten für die Gesellschaft. Ein Prozess ist stabil und beherrscht, wenn allein zufällige Einflüsse wirken (RUFFING 1993 S. 241FF).

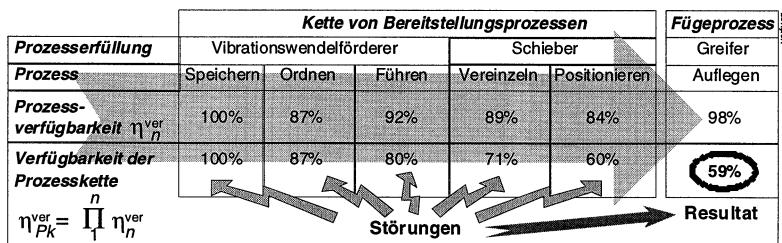


Bild 3-16: Einfluss der Verfügbarkeit (analysierte Beispielwerte)

Da bei der wirtschaftlichen Bewertung von Bereitstellungskonzepten die pro Bauteil oder Bauteileinheit auftretenden Kosten als Maßstab genommen werden, ist die Folge verringriger Verfügbarkeit η_{ver}^{ver} eine längere Belegungszeit von Betriebsmitteln und höhere Personalbindung. Die Relevanz für die Kosten allein einer Zuführung lassen sich an dem in Kapitel 3.2.2.1 geschilderten Kostenbeispiel eines Vibrationswendeförders für O-Ringe darstellen. Der aufgezeigte Kostenanstieg ist auch bei nachgeschalteten Prozessen zu verzeichnen, da ein zwischengestellter Puffer nur durch Verlängerung der Betriebszeit oder höhere Förderleistung zu füllen ist (Tab. 3-17).

Kosten des VWF/Stunde $K_{VWF/h}$	8,35 DM/h
Förderleistung bei $\eta_{ver}^{ver} = 100\%$ (fiktiv)	8 BT/min
Kosten pro Bauteil bei $\eta_{ver}^{ver} = 100\%$; KB_{BT}	0,018 DM/BT
Förderleistung bei $\eta_{ver}^{ver} = 60\%$ (realistisch)	4,8 BT/min
Kosten pro Bauteil bei $\eta_{ver}^{ver} = 60\%$; KB_{BT60}	0,029 DM/BT

Tabelle 3-17: Kosten durch Verfügbarkeitsreduzierung (vgl. Kap. 3.2.2.1)

Als gemittelte Richtwerte, die durch Analysen von 57 Einrichtungen zur Förderung formlabiler Bauteile unterschiedlicher Geometrie und Merkmalsausprägung in automatisierten industriellen Bereitstellungseinrichtungen bei ca.

10% Personalbindung aufgenommen wurden, können folgende Werte genutzt werden (Tab. 3-18).

Bereitstellungsprozess	\varnothing Verfügbarkeit η_{ver}^{ver}	Bereitstellungsprozess	\varnothing Verfügbarkeit η_{ver}^{ver}
Ungeordnet Speichern	100%	Ungeordnet Führen	99%
Geordnet Speichern	100%	Geordnet Führen	91%
Ordnen	89%	Positionieren	87%
Vereinzeln	91%	Basis 57 Einrichtungen mit FBT/1996	

Tabelle 3-18: Richtwerte zur Verfügbarkeit von Bereitstellungsprozessen

3.2.2.7 Qualität

Qualitätskosten werden nach DIN 55350 (1991) als „bewerteter Verbrauch von Gütern und Dienstleistungen, der durch die Planung, Prüfung, Steuerung und Förderung der Qualität verursacht wird oder den Qualitätsmaßnahmen zuzuordnen ist“ definiert. REINHART U.A. (1996) und TAGUCHI (1986) gliedern die Kosten in Prüf-, Fehler- und Fehlerverhütungskosten (Bild 3-19). Da eine gezielte Wertschöpfung durch Bereitstellungsprozesse nur im gerundiven Bereich stattfindet, ist der Bereich der Kosten durch Prüfung der wertschöpfenden Prozesserfüllung hier ohne grosse Relevanz. Kosten entstehen jedoch, wenn die Aufgabenerfüllung der Bereitstellung (vgl. Def. 1.1 in Kap. 2.1.5) geprüft werden soll. Derartige Prüfkosten gehen in die Platzkostenrechnung (Kap. 3.2.2.1) oder die Personalbindung (Kap. 3.2.2.2) ein. Die geforderte Prüfung der Kosten findet durch die Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Bereitstellungskonzepts nach Kapitel 3.2.3 statt.

Prüfkosten	Berücksichtigt über:	Fehlerkosten	Berücksichtigt über:	Fehlerverhütungskosten	Berücksichtigt über:
Bauteilprüfung (Toleranzen, ...)	Platzkosten/ Personal	Ausschuss	Platzkosten/ Personal	Vorgang Prozessketten- orientierte Planung der Bereitstellung formlabiler Bauteile	Personal, Planungs- kosten
Mengenprüfung		Nacharbeit	Verfügbarkeit		
Positionsprüfung		Wertminderung			
Lageprüfung		Mengen- abweichung	Betriebsmittel/ Personal		
Kostenprüfung	Vorgang Wirtschaftliche Bewertung der Bereitstellung (Kapitel 3.2)	Qualitäts- bedingte Ausfallzeit	Verfügbarkeit	Massnahmen zur Änderung bestehender Bereitstellungs- konzepte	Vorgang Wirtschaftliche Bewertung der Bereitstellung (Kapitel 3.2)

Bild 3-19: Qualitätskosten der Bereitstellung

Fehlerkosten wie Ausschuss oder Wertminderung sind zu registrieren, müssen aber zu großen Teilen der Bauteilqualität oder den Fügeprozessen der

Montage zugeordnet werden. Wesentliche Punkte sind nicht nur ein material-schonender Umgang (z.B. bei Dichtungsbauteilen) und die Vermeidung von Transportschäden, sondern auch eine Minimierung von Fehlmengenkosten. Diese entstehen z.B. durch Lagerschwund, Überalterung, unsachgemäße Lagerung oder Falschlieferungen (GREIM & BRINKMANN 1986). Qualitätsbedingte Ausfallzeiten und Mengenabweichungen sind dagegen häufig Folge von Bereitstellungsprozessen und werden über die verantwortete Verfügbarkeit verrechnet (Kap. 3.2.2.6).

Fehlerverhütungskosten können im prozesskritischen Bereich der Bereitstellung formlabiler Bauteile dann geltend gemacht werden, wenn durch monetär bewertbaren Planungs- und Realisierungsaufwand die Anzahl der Bereitstellungsprozesse reduziert wird oder die Prozesse robuster gestaltet werden. Damit fallen das in dieser Arbeit beschriebene planerische Vorgehen wie auch der Aufwand zur Änderung bestehender Bereitstellungskonzepte mit dem Ziel der Erhöhung der Prozesssicherheit über die Prozesskette in den Bereich der Fehlerverhütungskosten.

3.2.2.8 Humanisierung der Arbeit

Manuelle Bereitstellungstätigkeiten sind aufgrund monotonen Arbeitsinhaltes und geringen Umfangs Aufgaben, die nach NORO 1987 und SCHIELE & HALLWACHS 1987 in den Bereich der ergonomisch kritischen Tätigkeiten zu setzen sind. Die Betreuung automatisierter Bereitstellungseinrichtungen muss vielfach in unmittelbarer Maschinennähe erfolgen, um den Materialfluss, wie auch Wege des Personals zur Störungsbehebung kurz zu halten (SPATH 1996 S. 12). Neben vielfach schlechter Zugänglichkeit erfolgen die Tätigkeiten in einer Umgebung, die durch Lärm, Staub, Hitze und Dämpfe belastet ist.

Der wirtschaftliche Nutzen der Humanisierung von Arbeitsplätzen der Bereitstellung ist nicht zu quantifizieren (NORO 1987). So ist kein Wert zu ermitteln, der angibt, in welchem Maß der Ersatz einer Transportkiste durch eine Greifschale zur ergonomischeren Arbeitsplatzgestaltung der Bereitstellung beträgt, die Mitarbeiterzufriedenheit steigt und die Fehlerhäufigkeit gesenkt werden kann. Maßnahmen in diesem Bereich fördern jedoch die Akzeptanz des Unternehmens bei Mitarbeitern und im Kundenkreis und sind damit ein nicht zu unterschätzender wirtschaftlicher Faktor. Geeignet für eine Abwägung ist ein kombiniertes Vorgehen aus einer Kostenvergleichsrechnung und der Anwendung der Methode der Nutzwertanalyse mit dem Resultat eines Arbeitssystemwerts (GROB 1984).

3.2.3 Bewertung alternativer Bereitstellungen

Dem Montageplaner soll eine Methode an die Hand gegeben werden, mit der realisierte oder geplante Alternativen der Bereitstellung analysiert und gegeneinander bewertet werden können. WEBER (1984 S. 1063) fordert bei derartigen Analysen, alle betroffenen Unternehmensbereiche mit einzubeziehen, da das Überschreiten der Grenzen der Einzelressorts häufig erhebliche Kosten einsparungen zulässt.

3.2.3.1 Vorgehen

Zur wirtschaftlichen Untersuchung vorliegender oder geplanter Alternativen von Bereitstellungskonzepten sind die technischen und wirtschaftlichen Parameter der bestehenden oder geplanten Prozesskette bauteilbezogen von der Herstellung bis zum Fügeprozess zu analysieren. In einem ersten Schritt sind Systemgrenzen aufzustellen, innerhalb deren eine Untersuchung, aber nach Möglichkeit auch eine Veränderung erfolgen kann (vgl. Kap. 5.4.1.1) (Bild 3-20).

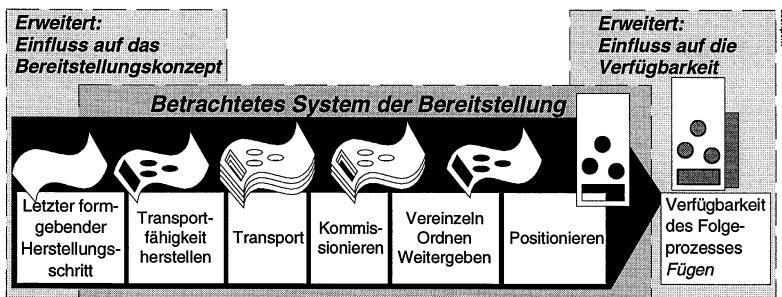


Bild 3-20: Systemgrenzen bei der Bewertung von Bereitstellungskonzepten

In einem zweiten Schritt wird der IST-Zustand einer genauen Betrachtung unterzogen. Um die Gefahr zu reduzieren, einzelne Bewertungspunkte unberücksichtigt zu lassen, erfolgt dies unter Zuhilfenahme von Checklisten, in denen die Prozesse wie Handhabungen und Lagervorgänge verzeichnet und mit Zeit- und Mengenangaben sowie Informationen wie Teilezahl pro Einheit, Taktzeiten oder Transportstrecken verknüpft werden. Wesentlich ist aufgrund der geringen auftretenden Größen die Vollständigkeit der Erfassung der geforderten Daten, zudem eine nachträgliche Ermittlung mit einem ungleich erhöhten Zeitaufwand verbunden ist (WÄSCHER 1989 S. 41FF). Bauteil- und prozessbezogen werden die Kostenfaktoren erfasst und dem über die Prozesskette verfolgten Bauteil zugerechnet.

Für die wirtschaftliche Beurteilung kann eine Kostenvergleichsrechnung durchgeführt werden, bei der Alternativen gegenübergestellt werden. Bei der Durchführung können alle Vorgänge, die bei den Alternativen in gleicher Form notwendig sind, außer Betracht bleiben. Nur die Kosten für lösungsspezifische Abläufe werden aufgelistet, berechnet, addiert und verglichen. Nachteil einer derart vereinfachten Berechnung ist, dass kein absoluter Wert angegeben werden kann. Da bislang jedoch kaum absolute Vergleichsgrößen zur Verfügung stehen, muss in der Vielzahl der Fälle auf die Kostenvergleichsrechnung zurückgegriffen werden.

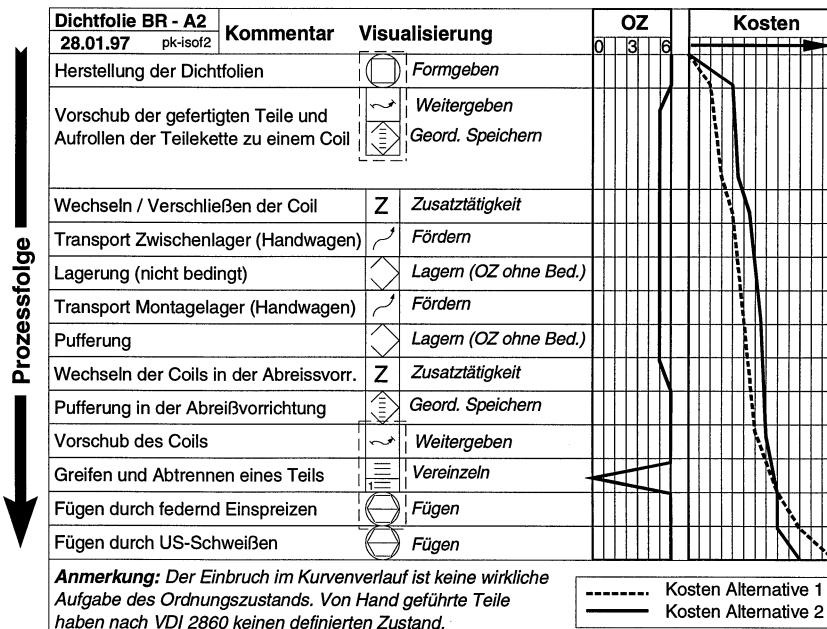


Bild 3-21: Kostenzuwachs über eine beispielhafte Prozesskette im Vergleich zu einer Alternative (vgl. Kap.3.2.3.2)

Zum anderen können für alle auftretenden Vorgänge einzeln die Kosten bestimmt und aufsummiert werden. Dies erfordert detaillierte Daten, die problematisch zu erhalten bzw. aus vorliegenden allgemeinen Daten bereitstellungsspezifisch zu extrahieren sind. Wurden die Bereitstellungskosten für ein Bauteil errechnet, bieten Kostensteigerungskurven eine anschauliche Darstellung und erlauben auch für Fälle, in denen alternative Konzepte nicht in Frage kommen, grundsätzliche Aussagen über Vor- oder Nachteile des Bereitstellungsverfahrens. Durch die Visualisierung der Prozesse unter Zuhilfe-

nahme der Piktogramme für Prozesse aus der VDI-Richtlinie 2860 (1990) und der Kostendaten in Form einer Kostensteigerungskurve wird der Vergleich alternativer Bereitstellungen möglich und das Auffinden von Kostentreibern erleichtert (Bild 3-21).

3.2.3.2 Beispiel

Anhand eines Beispiels soll die Vorgehensweise dargestellt werden. Die betrachteten Teile sind etwa 1/10 mm dünne, dreidimensional profilierte Folien, deren Aufgabe darin besteht, eine elektrische Kontaktisolierung in Kleingeräten mit einer Jahresstückzahl von 1,1 Mio. sicherzustellen (Bild 3-22). Die Klassifizierung zeigt eine Bereitstellungs-Maßzahl BMz_{13} von 2,2 auf, womit das Bauteil entsprechend dem in Kapitel 3.1.3 dargestellten Kennfeld als mit konventioneller Bereitstellungstechnik nicht technisch sinnvoll automatisierbar bewertet wird. Das Gewicht der 25 x 20 x 2 mm großen Bauteile liegt unter einem Gramm und stellt ein zusätzliches Hindernis dar. Die Systemgrenze kann vom letzten formgebenden Fertigungsprozess (Spritzguss) bis um einen an die Bereitstellung angeschlossenen Fügeprozess gelegt werden.

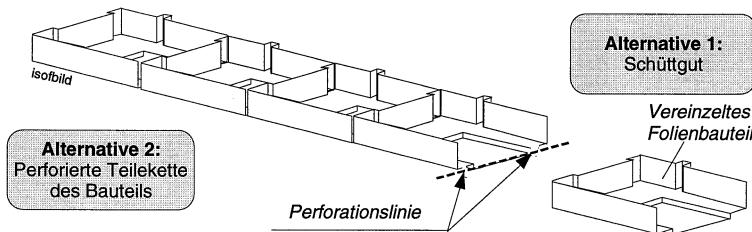


Bild 3-21: Profiliertes Folienbauteil und Teilekette (Fa. BRAUN)

Die Bauteile werden als Wirrgut in Beuteln angeliefert, in Greifschalen gepuffert, dort von Hand vereinzelt, manuell in Formelemente gefügt und im Anschluss verschweißt. Durch die Bauteilform verhaken die Folien beim Greifen und haften über Formschluss aneinander. Beim Herstellprozess liegen die Bauteile in geordnetem Zustand vor, der dann aufgegeben und erst am Ende durch einen manuellen Ordnungsvorgang wiedergewonnen wird.

Ein alternatives Bereitstellungskonzept geht davon aus, die Ordnung über die Prozesskette zu erhalten, wofür das Bauteil als perforierte Teilekette gestaltet wird. Damit ist eine gleichbleibende Ausrichtung und Greifposition für einen effizient gestalteten manuellen Fügeprozess möglich. Von einer Automatisierung wird wegen der hohen Investitionskosten und nicht zu gewährleistenden Störungssicherheiten abgesehen.

Die Bewertung zeigt gegenüber Alternative 1 höhere Kosten in frühen Prozessen (Mehraufwand in der Fertigung), jedoch gesamt reduzierte Kosten über die Prozesskette, die insbesondere aus sicherer und vereinfachter manueller Handhabung beim Fügeprozess unter Vermeidung des Verhakens oder Haftens der Teile resultieren.

Ein zeitlicher Greifvorteil wird über die MTM-Normzeitwertkarte (MTM 1965) mit einer Zeitdifferenz pro Teil von 0,605 Sekunden nachgewiesen. Bei einer Jahresstückzahl von 1,1 Mio. resultieren 185 Stunden. Diese Zeit entspricht 11,2 % der Jahresarbeitszeit (1650 Stunden) oder 7840 DM/Jahr. Die Einsparung pro Teil beläuft sich demnach auf DM 0,0071. Für die Alternative 2 ist eine Auf- und Abrollvorrichtung sowie ein Werkzeugumbau erforderlich, für die bei einer geringen Produktlaufzeit von 3 Jahren mit einmaliger Investition von DM 3000,- zzgl. DM 1000,- Planungskosten veranschlagt werden. Die Platzkosten unter Berücksichtigung des manuellen Bedienaufwands belaufen sich auf DM 0,0012 pro Teil. Die Analysen der bestehenden Alternative 1 zeigen einen Ausschussanteil für Teile, der mit 200,- DM/Jahr, d.h. 0,0002 DM/Teil angesetzt werden muss.

Wichtiger Kostenfaktor ist der nachgeschaltete Schweißvorgang mittels Ultraschall. Bei der angesetzten Verfügbarkeit von 100% treten Kosten in Höhe von 1 Pf pro Teil auf. Tatsächlich liegt die analysierte Verfügbarkeit des Prozesses bei Alternative 1 aufgrund aneinanderhaftender oder deformierter Bauteile aus den Bereitstellungsprozessen nur bei 80% (damit Kosten von 0,0125 DM/Teil). Mit Einführung von Alternative 2 kann durch sichere Teileführung von einer Verfügbarkeit von 95% ausgegangen werden (Kosten 0,012 DM/Teil). Damit weist die Kostenbilanz bei Umstellung auf das Alternativkonzept 2 bei überschlägiger Rechnung Einsparungen in Höhe von 0,0081 DM/Bauteil bzw. 8910 DM/Jahr über die Prozesskette aus (Tabelle 3-23).

Vorteile	DM/BT	Aufwendungen	DM/BT
Schnelleres Greifen durch geordnete Bereitstellung	0,0071	Planung/ Investition für Auf- und Abrollvorrichtungen, Umbau des Herstellwerkzeuges	
Keine Verschmutzung durch Herunterfallen von Teilen aus der Greifschale	0,0002		0,0012
Höhere Verfügbarkeit der Prozesskette und des Folgevorgangs Schweißen (95% ggü. 80%)	0,002		
Summe Einsparungen	0,0093	Summe Mehraufwendungen	0,0012
		Kostenbilanz / BT	-0,0081

Tabelle 3-23: Kostenbilanz Alternative 2 gegenüber Alternative 1

3.3 Zusammenfassung

In Kapitel 3 wird durch die Entwicklung eines technischen und wirtschaftlichen Bewertungsverfahrens die Ermittlung des Aufwands der Bereitstellung ermöglicht.

Durch die Zusammenfassung und Aufstellung von Merkmalen und deren Ausprägungen kann ein formlabiles Bauteil verschlüsselt und damit einer Bauteilgruppe zugeordnet werden. Damit wird es zum einen möglich, erarbeitetes Wissen und gesammelte Erfahrungen mit Bauteilen bzw. Bauteilgruppen zu verknüpfen. Zum anderen kann dieses Wissen bei der Einstreuung eines neu klassifizierten Bauteils gezielt abgerufen werden. So ist durch Vergleichsbildung festzustellen, ob ein vorliegendes Bauteil gemessen an einer vorliegenden Erfahrungsbasis technisch kritisch, d.h. mit hohem Prozessrisiko, bereitzustellen ist.

Das Prozessrisiko der Bereitstellung formlabiler Bauteile ist Ausgangspunkt für die Wahl des Verfahrens zur Ermittlung des wirtschaftlichen Aufwands. Nachdem die Bereitstellung in hohem Maß für die Verfügbarkeit des Montagesystems bzw. der nachgelagerten Prozesse verantwortlich ist, müssen die dadurch entstehenden Kosten berücksichtigt werden. Zur wirtschaftlichen Bewertung von Bereitstellungslösungen wird daher ein prozesskettenorientierter Ansatz gewählt, der die Kosten über die Kette der Bereitstellungen von der Teilefertigung bis zum Fügeprozess umfasst. Damit kann ein Bereitstellungskonzept ganzheitlich bewertet werden, um beispielsweise Mehraufwendungen in der Teilefertigung durch geordnetes Speichern mit dem erzielten Nutzen für den Fügeprozess (höhere Verfügbarkeit) abzugleichen. Anhand eines Beispiels kann nachgewiesen werden, dass Bereitstellungskonzepte auf diese Weise wirtschaftlich vergleichbar werden.

4 Prozessketten der Bereitstellung als Planungsgrundlage

4.1 Zielsetzung

Auch die Planung der Bereitstellung ist innerhalb der Montage durch den Zusammenhang zwischen Produkt, Prozessen und Produktionssystem (FELDMANN 1997 S. 6FF) geprägt. Zudem müssen Forderungen nach hoher Flexibilität, kurzer Planungszeit und hoher Planungsgenauigkeit erfüllt werden (EVERSHEIM 1995), denen z.B. durch gleichzeitige Entwicklung von Produkt, Prozess und Anlage entsprochen werden kann (REINHART 1998). Die Berücksichtigung der Bereitstellung ist insbesondere bei der zusätzlichen Randbedingung *Formlabiles Bauteil* nötig, wie die vorangegangenen Kapitel aufzeigen. Der Stand der Technik weist nach, dass die derzeitige Bereitstellungs-technik für formlabile Bauteile ungeeignet ist, da die Handhabung prozesskritisches ist und daraus eine geringe Verfügbarkeit der Bereitstellung und daran gekoppelter Folgeprozesse resultiert. Damit ist nicht nur die zur Bereitstellung notwendige Technik mit Kosten verbunden, sondern insbesondere die Auswirkung des Bereitstellungskonzepts auf die Prozesskette. Bisherige Methoden der Montageplanung führen nicht zu geeigneten neuen Lösungen.

In Kapitel 4 soll die Grundlage eines prozesskettenorientierten Vorgehens zur Planung der Bereitstellung gelegt werden. Hierzu wird der Fertigungsprozess systematisiert (Kap. 4.2) und der Begriff der Prozesskette mit Prozesskettenanteilen und Prozessfolgen auf die Bereitstellung projiziert (Kap. 4.3).

4.2 Systemtechnisches Verständnis der Fertigung

Systemdenken ist eine Sichtweise, die erlaubt, komplexe Erscheinungen, die als System bezeichnet werden, zu verstehen und zu gestalten. Unter *System* wird die Gesamtheit von Elementen verstanden, die miteinander durch Beziehungen verbunden sind. Voraussetzung zum Verständnis von Systemen ist die Kenntnis ihrer *Elemente* und deren *struktureller Anordnung*. Dabei wird mit der Struktur eines Systems das abstrakte Anordnungsmuster der Elemente, das durch Beziehungen gebildet wird, bezeichnet (DAENZER 1989 S.12).

Produktionsprozesse können systematisch als Ketten von Prozesselementen beschrieben werden. Hauptelemente bilden technische Prozesse, die das Bauteil oder Produkt mit Funktionen, Eigenschaften und Design ausstatten und daher zwingend sind. Die Folge der Prozesse ist dabei z.T. technisch bedingt, z.T. aber auch nur willkürlich gewählt bzw. historisch bedingt. Parallel zu der Kette von Prozessen durchläuft ein Bauteil oder ein Produkt physisch eine Kette von Produktionsorten bzw. -stellen. Zur Ermöglichung der einzelnen Prozesse ist zudem eine Folge von Lagen (Positionen und Orientierungen der Bauteile) sowie eine Folge unterschiedlicher Prozesszeiten (folgend kurz *Takte* genannt) zu durchlaufen.

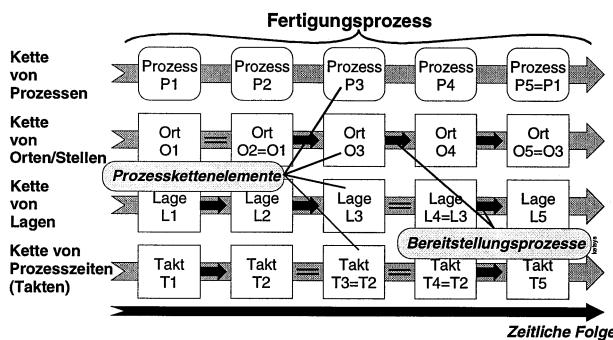


Bild 4-1: Fertigungsprozess als Kette von Prozesselementen

In Fertigungssystemen finden alle Prozesselemente in einer zeitlich definierten Reihenfolge statt, die vom Montageplaner festgelegt wird (SCHMIDT & SCHRÖDEL 1994 S. 478). Während die technischen Prozesse bislang sys-

tematisch geordnet werden (z.B. mittels Montagevorranggraf), werden die Folgen der verbleibenden Prozesselemente *Orte*, *Lagen* und *Prozesszeiten (Takte)* durch den jeweiligen Prozess bedingt. Die Anzahl der Prozesse, Orte, Lagen und Prozesszeiten (Takte) ist dabei nicht einheitlich, Wiederholungen der einzelnen Prozesselemente sind möglich (Bild 4-1).

Zur Realisierung von Prozessketten, die für das Produktionsergebnis erforderlich sind, müssen die Prozesselemente *Orte*, *Lagen* und *Takte* ineinander überführt werden. Diese Überführung erfolgt durch *Prozesse der Bereitstellung*.

4.3 Prozesskettenbetrachtung

Die bereichsübergreifende Optimierung betrieblicher Abläufe stellt eine der wichtigsten ständigen Aufgaben von Produktionsunternehmen dar (EVERSHEIM & MORON 1997 S. 99FF). Unbestritten ist hierbei, dass dies nur durch starke Orientierung an den unternehmerischen Prozessketten, die zur

Herstellung eines Produktes durchlaufen werden müssen, möglich ist (GAITANIDES 1994, REINHART & GOLDSTEIN 1994 S. 131FF, ACKERMANN & WALTER 1995 S. 32, EVERSHHEIM 1995, HERRMANN 1997 S. 958). Grundlage von Optimierungsmaßnahmen stellt die prozessbezogene Analyse der Abläufe und deren Unterteilung in unmittelbar wertschöpfende Haupt- und mittelbar oder nicht wertschöpfende Nebenprozesse dar (SIHN & RIST 1997 S. 26, EVERSHHEIM & DUNKER 1997 S. 44FF). Haupt- wie auch Nebenprozesse verfügen über Ein- und Ausgangsgrößen, die ineinander überführt werden müssen, wenn zwei Prozesse in Folge ablaufen sollen. Aufgabe der Analyse von Prozessketten ist es, die Ein- und Ausgangsgrößen, die zur Durchführung des Prozesses notwendig sind, zu erfassen und zu bewerten. Ziel von Optimierungsmaßnahmen ist schließlich eine „Verschlankung“ der Prozessketten.

Zur visuellen Darstellung von Prozessketten kann auf vielfältige Möglichkeiten zurückgegriffen werden (vgl. GAITANIDES 1994, EVERSHHEIM 1995, WEST-KÄMPER 1997). Die Prozesse werden mit der Art der technischen Ausführung des Prozesses, der Angabe über zwangsläufig vorzulagernde Prozesse, einer statistischen Verfügbarkeit η^{ver} , einer Angabe des ausführenden Unternehmens (bzw. des Bereichs, der Abteilung, der Gruppe etc.) sowie der Ausprägung notwendiger Eingangs- sowie resultierender Ausgangsgrößen beschrieben. Folgend werden Prozessketten bestehend aus Prozesskettenelementen definiert (Kap. 4.3.1), die räumlich organisiert (Kap. 4.3.2) und in eine zeitliche und logische Folge (Kap. 4.3.3) gebracht sind.

4.3.1 Prozesskettenelemente

4.3.1.1 Hauptprozesse

Hauptprozesse werden eingesetzt, um gezielt eine Wertsteigerung eines Bauteils oder Produktes durch den Einsatz von Produktionsfaktoren zu erreichen. Um ein Bauteil mit seinen innerhalb eines Produktverbundes notwendigen Funktionen und Merkmalen auszustatten, ist eine Folge von Hauptprozessen notwendig.

Unter die Einordnung *Hauptprozess* fallen Vorgänge nach DIN 8593 (Fertigungsverfahren) wie auch qualitätssichernde Maßnahmen. Beispielsweise ist das Extrudieren und Beschneiden bei der Folienherstellung als Hauptprozess zu bezeichnen, da das Resultat der in Form gebrachten Folie zur Bedienung eines Marktes notwendig ist. So ist ein Lagerprozess als Hauptprozess zu werten, wenn ein wertschöpfender Prozessinhalt wie z.B. ein Auslagerprozess vorliegt. Das Falten bzw. Zusammenlegen der Folien

nach dem Extrudieren und vor dem Schneiden dient dagegen nicht der geplanten Funktions- oder Formbereicherung des Bauteils, ist nicht direkt wertschöpfend und daher ein Nebenprozess.

Nr. 2.18	hp-pur	Kaschieren		Kostenverursachender und wertsteigernder Hauptprozess (HP)			
Fa. XYZ	auto/man.						
Vorgel. Prozess: Nr. xx							
Verfügbarkeit: yy%							
Ordnung _{EIN}	→	Ordnung _{AUS}	z.B. teilgeordnet → vollgeordnet im Produktzusammenhang				
2/3		3/3					
Position _{EIN}	→	Position _{AUS}	Spannrahmen → Greifer → Produkt				
Spannrahm.		Produkt					
Spannung _{EIN}	→	Spannung _{AUS}	manuell gespannt → ungespannt nach Formöffnung				
gespannt		ungespannt					
Anzahl _{EIN}	→	Anzahl _{AUS}	z.B. 1 Textilstück auf 5 Basisbauteile Anzahl = 1 → Anzahl = 5				
1		5					
Takt _{EIN}	→	Takt _{AUS}	z.B. Beladezeit < Aushärtezeit				
m sec		n sec					

Bild 4-2: Beschreibung eines Hauptprozesses (Bsp.)

Jeder technische Hauptprozess erfordert prozessspezifische Eingangsgrößen, die eine Prozessdurchführung ermöglichen (Bild 4-2). Bezuglich der Thematik Bereitstellung formlabiler Bauteile werden als relevante Eingangsgrößen *Ordnung*, *Position*, *Spannung*, *Menge* und *Prozesszeit (Takt)* gewählt, da diese Größen durch das Verhalten der Bauteile unmittelbar beeinträchtigt werden. Diese Eingangsgrößen werden durch den Hauptprozess technisch-physikalisch in die Ausgangsgrößen transformiert. Die Transformationsvorgänge bzw. der Prozess selbst weisen eine spezifische und analysierbare Verfügbarkeit η^{ver} oder Prozesssicherheit auf. Mit der Wahl eines Hauptprozesses zur Wertschöpfung am Bauteil oder Produkt trifft der Produktionsplaner die Entscheidung über die Ausprägung notwendiger Ein- und resultierender Ausgangsgrößen.

4.3.1.2 Nebenprozesse

Nebenprozesse entstehen aus der Forderung, Hauptprozesse technisch (z.B. Entgraten), räumlich (z.B. Weitergeben), orientierungsbezogen (z.B. Positionieren) und zeitlich (z.B. Speichern) zu ermöglichen oder miteinander zu verknüpfen. Aufgabe der Nebenprozesse ist der Angleich differenzierender Ein- und Ausgangsgrößen der Hauptprozesse und damit die Überbrückung von Schnittstellen. Vielfach werden sie durch Prozesse der Teilebereitstellung realisiert und bilden damit den Materialfluss zwischen den Hauptprozessen.

Ebenso wie Hauptprozesse verzehren auch Nebenprozesse Produktionsfaktoren wie Maschinenzeiten und Personaleinsatz und erzeugen auf diese Weise Kosten (vgl. Kap. 3.2).

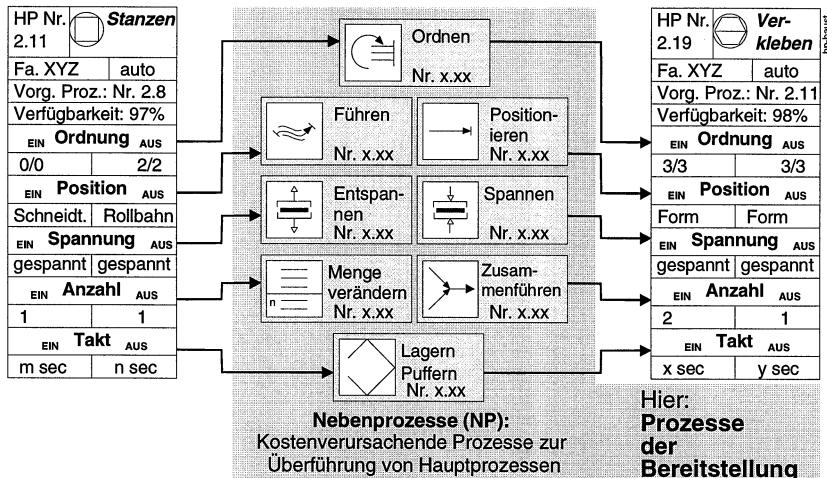


Bild 4-3: Nebenprozessbeschreibung

Für jede differierende Ein- und Ausgangsgröße vor- und nachgelagerter Hauptprozesse wird ein Nebenprozess zum Angleich notwendig (Bild 4-3). Dies kann sich z.B. auf Bauteileigenschaften (z.B. Empfindlichkeiten) und Bauteilzustände (z.B. Ordnungsgrad, Bauteillage) oder auch logistische Größen (z.B. Zeit, Ort und Menge) beziehen. Harmonieren beispielsweise Taktzeiten von Prozessen nicht, so müssen Nebenprozesse des *Speicherns* und *Pufferns* integriert werden. Stimmt die Anforderung des Folgeprozesses an die Lage eines Bauteils nicht mit der Ausgangslage überein, so ist ein Prozess zur Lageveränderung einzusetzen.

Ebenso kann am Hauptprozessausgang aufgrund des Werkstoffs und der Bauteilgeometrie eine geringe Formstabilität vorliegen. Wird am Eingang des Folgeprozesses eine höhere Formstabilität gefordert, um einen Schneidprozess durchzuführen, muss im Nebenprozess das Bauteil gekühlt und gespannt werden. Auch qualitative Faktoren können Ein- und Ausgangsgrößen bilden. So kann z.B. ein im vorgelagerten Hauptprozess entstandener Grat für die einwandfreie Funktion des Bauteils im Produkt zwar unwesentlich, doch das Entgraten durch die Notwendigkeit des Positionierens im Folgenden Hauptprozess bedingt sein. Als wesentliche Größen für die Planung der Bereitstellung formlabiler Bauteile werden hier

- Ordnen,
- Führen und Positionieren,
- Spannen und Entspannen,
- Verändern von Mengen sowie
- Speichern und Puffern

genannt (vgl. 2860 1990).

Eine Planung der Nebenprozesse erfolgt bislang lediglich bezüglich der Ausführung. Bei fixierten Hauptprozessen hat der auch für die Realisierung der Nebenprozesse verantwortliche Montageplaner nur dann Einfluss auf die Art, Anzahl und Zeitpunkte der Nebenprozesse, wenn die Folge der Hauptprozesse variabel zu gestalten ist.

4.3.2 Räumliche Organisation von Hauptprozessen

Eine Folge von Prozessen in der Montage bedingt eine räumliche Anordnung und eine räumliche Bewegung von Bauteilen und Prozessen. In Anlehnung an die Organisationsformen der Montage (EVERSHEIM 1981), projiziert auf das physikalisch-technologische System der Bereitstellung, werden vier Anordnungen von Prozessen innerhalb einer Prozesskette eingeführt (Bild 4-4).

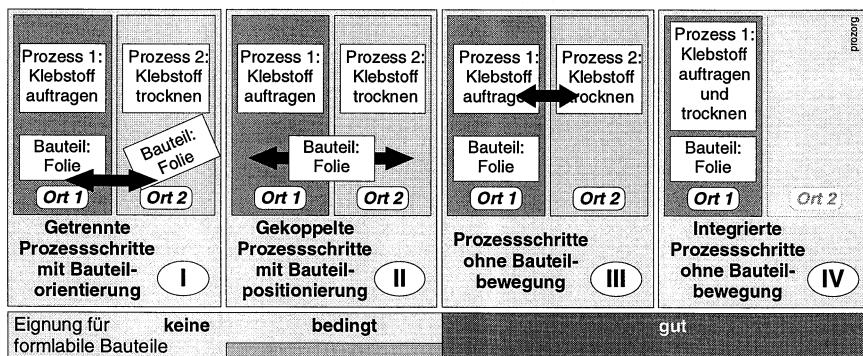


Bild 4-4: Räumliche Organisation von Prozessen und Eignung

- I: *Getrennte Prozessschritte mit Bauteilbewegung*, bei dem eine eindeutige Zuordnung von notwendigen Prozessen zur Realisierung eines Materialflusses im Sinne einer Bauteilbereitstellung erforderlich ist, d.h. das Bauteil führt eine Ortsveränderung zum Prozess und Bewegungen zum Ermöglichen des Prozesses durch.
- II: *Gekoppelte Prozessschritte mit Bauteilbewegung*, bei dem das Bauteil eine Ortsveränderung zum Prozess, nicht aber Bewegungen zum Ermöglichen des Prozesses durchführt.
- III: *Prozessschritte ohne Bauteilbewegung*, bei dem die einzelnen Prozesse den Ortswechsel zum Bauteil durchführen.
- IV: *Integrierte Prozessschritte ohne Bauteilbewegung*, bei denen weder eine Bewegung der Bauteile noch der Prozesse notwendig ist, da die verschiedenen Prozesse an einem Ort in gleicher Lage stattfinden.

Je weniger Bauteilbewegungen, d.h. Bereitstellungsprozesse zur Ermöglichung der Fertigungsprozesse erforderlich sind, desto höher ist die Eignung der Prozessorganisation für formlabile Bauteile, da mit der Reduzierung der Anzahl der Handhabungen des Bauteils die zu erwartende Prozesssicherheit steigt (Bild 4-4).

4.3.3 Zeitliche und logische Folge von Hauptprozessen

Zur wertschöpfenden Entstehung eines Bauteils oder eines Produktes werden Prozesse in eine logische und zeitliche Folge gestellt. Die prozesstechnisch relevante Folge von Prozessen ist dabei allein durch die Abfolge der Hauptprozesse bestimmt.

Das definierte Ziel (z.B. gefügtes Bauteil) ausgehend von einem festgelegten Ausgangszustand (z.B. Spritzgussmaterial) kann über verschiedene Folgen gleicher, für die Zielerreichung erforderlicher Prozesse erreicht werden (Bild 4-5). Selbst technische Zwangslagen bedingen nicht, dass die betreffenden Prozesse unmittelbar aufeinander folgen, sondern negieren lediglich die Austauschbarkeit (Bild 4-5, Alternative 3).

Vorliegende und nachfolgende Prozesse bedingen und beeinflussen die Art und Anzahl der Nebenprozesse dabei gleichermaßen durch die differierenden Aus- bzw. Eingangsgrößen. Die bisherige Aufgabe des Montageplaners liegt allein in der technischen Umsetzung der notwendigen Nebenprozesse, nicht aber in deren Vermeidung.

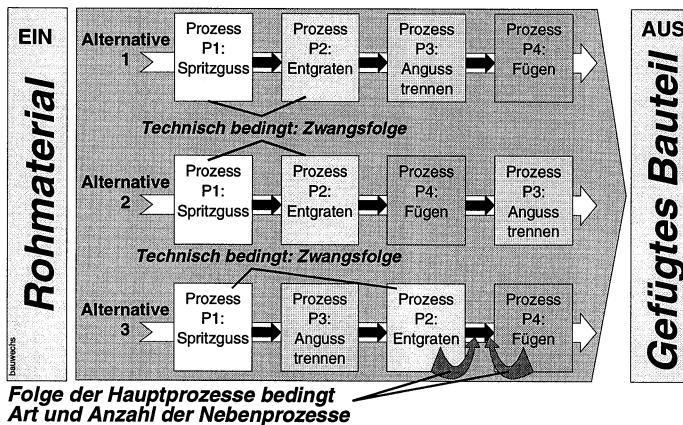


Bild 4-5: Beispiel alternativer Prozessfolgen

Mit der Beeinflussung der Folge von Hauptprozessen wird dem Planer jedoch eine Methode unterbreitet, die Notwendigkeit von Nebenprozessen und insbesondere von Bereitstellungsprozessen bei formlabilen Bauteilen in Frage zu stellen. Durch geeignete Wahl einer Folge notwendiger Hauptprozesse wird auf die Prozesse der Bereitstellung bezüglich ihrer Notwendigkeit, ihrer Anzahl und dem entstehenden Aufwand Einfluss genommen.

4.4 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die Fertigung systematisch als Prozesskette aufgefasst, wobei als Systemelemente Prozesse und als Anordnungsmuster die Orte, Lagen und Prozesszeiten (Takte) der Prozesse definiert werden. Die eingeführte Prozesskettenbetrachtung zeigt auf, dass Hauptprozesse den wertschöpfenden Teil der Prozesskette darstellen. Nebenprozesse ermöglichen dagegen lediglich Hauptprozesse und werden durch deren Ausführung und Anordnung zur Überbrückung der Schnittstellen zwischen Aus- und Eingangsgrößen notwendig. Dieses Problem ist zugleich der bereitstellungstechnische Ansatz zur ganzheitlichen Optimierung, da durch die Veränderung der Prozesse und Folgen auch die Notwendigkeit der Nebenprozesse beeinflusst werden kann.

Im Folgenden werden die Prozessketten der Teilefertigung und Montage symbolisch nach Bild 4-6 dargestellt. Die Angabe der Aus- und Eingangsgrößen kann nach Vorgabe des Planers erfolgen - Bedingung ist eine Durchgängigkeit über das betrachtete System.

Hier wird vorgeschlagen,

- die *Ordnung* entsprechend VDI 2860 (1990) mit Ordnungszustand OZ=OG/PG zu definieren (damit $0/0 \leq OZ \leq 3/3$),
- die *Position* textuell auszudrücken (z.B. *Schneidetisch*),
- den Zustand der *Spannung* binär zu bewerten (gespannt/ungespannt),
- die *Anzahl* in Stück sowie
- den *Takt (Prozesszeit)* in Sekunden anzugeben.

Weiterhin wird zur Beschreibung der Hauptprozesse das ausführende Unternehmen, die Ausführungsart (automatisch oder manuell) und die Verfügbarkeit η^{ver} (vgl. Kap. 2.1.2) vermerkt. Nebenprozesse werden angegeben, wenn sie zur Überbrückung von Schnittstellen notwendig sind.

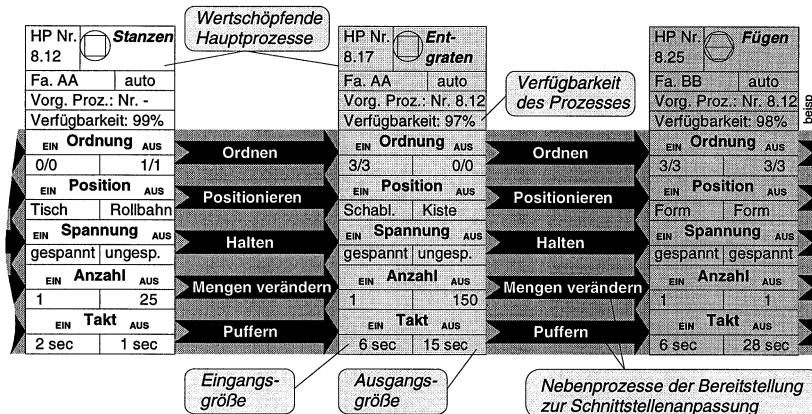


Bild 4-6: Ausschnitt einer beispielhaften Prozesskette

5 Konzept der prozesskettenorientierten Bereitstellung

5.1 Zielsetzung

Nachdem die Kosten über die Prozesskette entstehen und mit dem Bereitstellungskonzept sowie der dazu eingesetzten Technik verändert werden, soll der Ausgangspunkt der Bereitstellungsplanung die Prozesskettenbetrachtung und -optimierung sein. Damit werden nicht wie bisher einzelne Prozesse geplant, sondern es wird die Kette aus Bereitstellungs- und Fertigungsprozessen überarbeitet. Ansatzpunkt ist zum einen der Einfluss auf die Bauteil- und Produktkonstruktion und zum anderen die Veränderung von Prozessen und deren Abfolgen im Rahmen der Grobplanung des Montagesystems hinsichtlich der Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile.

Ziel der Planung ist die Erstellung eines Bereitstellungskonzepts, das angibt, welche Prozesse in welcher Reihenfolge an welchem Ort zu welchem Zeitpunkt (gemäss Def. 1.1 *Bereitstellung*) stattfinden. Dabei ist als Fazit aus dem nachgewiesenen technischen und wirtschaftlichen Bereitstellungsaufwand zu berücksichtigen, dass geringere Kosten durch weniger Aufwand sowie höhere Verfügbarkeit zu erzielen sind.

Das vorgestellte Konzept gliedert sich in die Einbindung in die Produkt- und Montagesystemplanung (Kap. 5.2), die Beachtung und Ableitung von Regeln der bereitstellungsgerechten Konstruktion (Kap. 5.3) und die Planung der Bereitstellung durch Prozesskettenanalyse (Kap. 5.4).

5.2 Einbindung in die Produkt- und Montagesystemplanung

Das dargestellte Vorgehen zur Entwicklung von Konzepten der Bereitstellung mit Hilfe einer Prozesskettenuntersuchung basiert auf dem Ausgangsproblem, dass das formlabile Bauteil innerhalb des Produkt- oder Produktgruppenverbundes unverzichtbar ist. Dabei übt die Konstruktion einen wichtigen Einfluss auf die Prozesskette aus, da hier konstruktiv bedingt die Prozesse vorgeschrieben und Prozessfolgen impliziert werden. Hier ist im Produktentstehungsprozess der erste Einfluss auf die bereitstellungsgerechte Gestaltung

der Prozesskette zu nehmen (Bild 5-1). Im Vorfeld muss entsprechend den Prinzipien der montagegerechten Produktgestaltung insbesondere bei formlabilen Bauteilen deren Notwendigkeit geklärt werden. Auch hier greift das Prinzip der *Infragestellung der Notwendigkeit* (vgl. Kap. 1.1), da in logischer Konsequenz durch den Wegfall des bereitzustellenden Bauteils (z.B. durch Integralbauweise) auch die Bereitstellung entfällt. Bei nachgewiesener Notwendigkeit des Bauteils sind Hinweise zur bereitstellungsgerechten und prozesskettenorientierten Gestaltung zu beachten, wodurch die Prozessfolge und -ausprägung hinsichtlich der Bereitstellung positiv beeinflusst und der Bereitstellungsaufwand reduziert werden kann (Kap. 5.3).

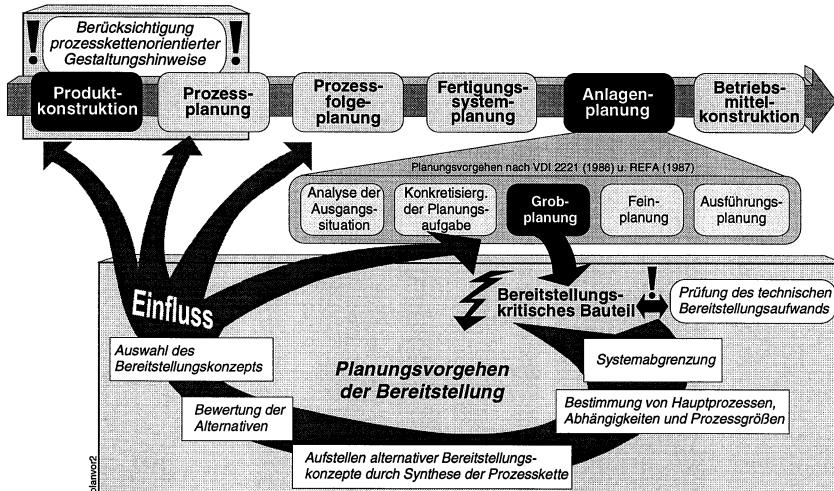


Bild 5-1: Konzept der prozesskettenorientierten Bereitstellung

Innerhalb der Montageplanung (z.B. Planung technischer Systeme nach VDI 2221 1986, GöTZ 1991 oder REFA 1987) sind während der Grobplanungsphase formlabile Bauteile nach Kapitel 3.1 zu bewerten, da hier ebenfalls hinsichtlich der Prozessgestaltung und -abfolge eingegriffen werden kann. Die Bereitstellungsplanung setzt ein, wenn die Bewertung des technischen Aufwands zur Bereitstellung des vorliegenden formlabilen Bauteils nach Kapitel 3.1.3 ein hohes Prozessrisiko erwarten lässt (Bild 5-1). Ausgehend von einer Systemeingrenzung der zu beeinflussenden Prozesskette sind Haupt- von Nebenprozessen zu differenzieren. Nach der Analyse der Hauptprozesse hinsichtlich der Abhängigkeiten sowie der Bestimmung von Ein- und Ausgangsgrößen wird die Durchgängigkeit über die analysierten Schnittstellen angestrebt. Mit der Anordnung von Prozesskettenanteilen können schließlich Konzepte der Bereitstellung erarbeitet werden, die wirtschaftlich zu prüfen sind.

Das Ergebnis der prozesskettenorientierten Bereitstellungsplanung beeinflusst in der Regel nicht nur die bereits bestehende Grobplanung, sondern hat zudem Einfluss auf die Produktgestaltung, die Prozessplanung und -auswahl sowie die Prozessabfolge.

5.3 Beachtung und Ableitung von Hinweisen zur bereitstellungsgerechten Konstruktion

Die Anlagenplanung erfolgt heute nach wie vor ausgehend von Produkten sowie Prozessen zu deren Herstellung und Montage (FELDMANN 1997, S. 29 ff), wobei die Prozesse und deren Folge in Abhängigkeit zur gewählten Produktkonstruktion stehen. Nachdem die Anordnung der Hauptprozesse die Notwendigkeit und Gestaltung der Nebenprozesse (also der Bereitstellung) bedingt, impliziert die Konstruktion die Bereitstellungslösung in der Regel nur indirekt (Bild 5-2). Erst durch die Orientierung in der Konstruktion an durchgängigen Prozessketten können gezielt Lösungen vorgeschlagen werden. Die bauteil- und prozessspezifische Wahl eines Bereitstellungskonzepts (z.B. durch Teilekettenbildung) kann in jedem Fall die Notwendigkeit der Änderung der Bauteilkonstruktion (z.B. Änderung des Spritzgusses) bedingen.

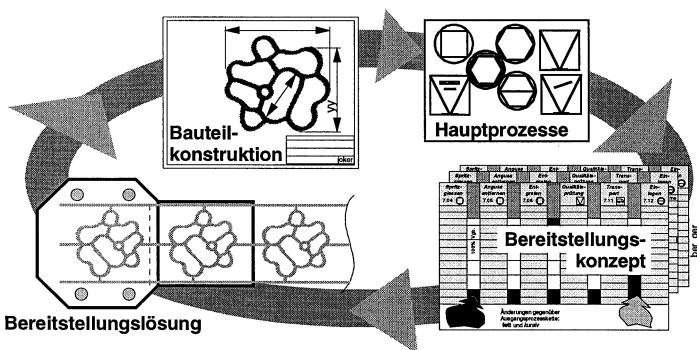


Bild 5-2: Bedingungsgefüge zwischen Bereitstellung und Konstruktion

Die Hinweise zur zuführgerechten Konstruktion z.B. nach VDI 3237 (1967), ANDREASEN u.a. (1988) oder BOOTHROYD (1992) sind unverändert zu berücksichtigen. Die Berücksichtigung ist insbesondere dann sinnvoll, wenn (zu einem späteren Zeitpunkt) die Bereitstellung mit konventioneller Technik möglich scheint, d.h. wenn das formlabile Bauteil nicht als bereitstellungskritisch einzustufen ist. Mit der Lösung von Bereitstellungsproblemen können neue Kataloge der bereitstellungsgerechten Bauteilgestaltung aufgebaut werden.

die jedoch in hohem Maß bauteilgruppen- wie auch lösungsspezifisch sind. Kapitel 6.2.2.2 zeigt dies anhand von Regeln zur Gestaltung perforierter Teileketten. Die Anwendung derartiger Regeln in der Konstruktion setzt die Kenntnis einer geeigneten Bereitstellungslösung voraus, die jedoch erstmalig in der Anlagenplanung zugeordnet oder entwickelt wird. Erst nach dem Aufbau von bauteilspezifischem bereitstellungstechnischen Wissen können daher spezielle Lösungskataloge eingesetzt werden. Da die Konstruktion zudem eine Vielzahl von Kriterien wie wirtschaftliche Fertigung, Montagegerechtigkeit oder Lebensdauer berücksichtigen muss (BARTHELMEß 1987, ERLENSPIEL 1995 S. 528FF), dürfte der Stellenwert von bereitstellungstechnischen Regeln in der Konstruktion auch bei formlabilen Bauteilen allerdings nur gering sein.

Abgeleitet von der in Kapitel 3.1.2 entwickelten Bewertungsmatrix können jedoch Hinweise gegeben werden, wie der technische Aufwand zur Bereitstellung grundsätzlich zu reduzieren ist (Kap. 5.3.1).

Ein größerer Einfluss ist durch Gestaltung der Prozesse und deren Anordnung zu erzielen, die in der Konstruktion durch den Bauteil- und den Produktaufbau impliziert wird. Auch dementsprechende Gestaltungshinweise sind in hohem Maß bauteil- und materialspezifisch (und damit abhängig vom klassenspezifischen Bereitstellungsproblem, vgl. Kap. 6), so dass nur bauteilgruppenspezifische Vorgaben zur Prozessauswahl und -anordnung zu tätigen sind, die das Wissen und die technischen Möglichkeiten des Planers oder eines Unternehmens abbilden. Derartiges Wissen ist aus bereits entwickelten Bereitstellungslösungen abzuleiten und für neue Problemfälle zu vermitteln (Kap. 5.3.2).

5.3.1 Einfluss auf den Bereitstellungsaufwand

Entsprechend der aufgebauten Bewertungsmatrix (Kap. 3.1.2) kann in der Konstruktion Einfluss auf den technischen Aufwand zur Bereitstellung genommen werden. Die in Tabelle 5-3 verzeichneten Hinweise zur bereitstellungsgerechten Gestaltung formlabiler Bauteile bestimmen dabei nicht ein Bereitstellungskonzept oder eine -lösung, sondern senken den technischen Aufwand für die Anwendung bekannter Lösungen. Die unter Berücksichtigung der in Kapitel 6 entwickelten Bereitstellungslösungen zusammengefassten Regeln bestehen dabei unabhängig von der Funktion des individuellen Bauteils, die durch das Befolgen nicht beeinträchtigt werden darf. Ob der aufgrund des konstruktiven Einflusses verringerte technische Aufwand zur Bereitstellung zum Tragen kommt, hängt von der gewählten Bereitstellungslösung ab. So ist beispielsweise die Einführung von Symmetrien (vgl. Tab. 5-3) ohne Relevanz für den Bereitstellungsaufwand, wenn das Bauteil in Form ei-

ner Teilekette bereitgestellt wird. Andererseits ist z.B. bei Einsatz von pneumatischen Greifern zum Greifen eine Luftundurchlässigkeit des Bauteils unabdingbar und somit der Aufwand gerechtfertigt, ein Bauteil partiell bereitstellungsgerecht luftundurchlässig zu gestalten.

Merkmal	konstruktive Einflussmöglichkeit auf das Bauteil	Ungeeignete Ausführung	Geeignete Ausführung
Formlabilität	in mindestens einer Achse (Längsrichtung) Formstabilität durch Materialwahl, Konstruktion oder Einlegen von formstabilen Seelen anstreben		
Volumenänderung	mindestens in einer Achse keine Volumenveränderung		
Elastizität	bei Raumtemperatur plastisch fließende Werkstoffe vermeiden		-
Form	Langgestreckt-geschlossene Ausführung vermeiden		-
Nebenformelemente	Nebenformelemente trennen und spät fügen		
Außenkontur	Vollflächige Greifmöglichkeiten eröffnen		
Änderung über Länge	mindestens über eine Achse keine geometrische Änderung		
Symmetrien	Symmetrien anstreben (vgl. ANDREASEN U.A., S. 139)		
Oberflächenelemente	Unregelmässige Oberflächen vermeiden, zentrierende Elemente fördern		
Flächenhaftung	Möglichst gering, ggf. Einsatz von Trennmitteln zur Senkung der Grenzflächenenergie		
Luftdurchlässigkeit	mindestens partiell gering gestalten		
Verhaken	Neigung verringern (vgl. VDI 3237 1967, ANDREASEN U.A., S. 137)		
Verklemmen	Neigung verringern (vgl. VDI 3237 1967)		
Randhaftung	Fertigungsverfahren mit geringer Randhaftung oder -verschweißung wählen, Schnittanzahl gering halten		

Tab. 5-3: Bereitstellungsgerechte Gestaltung formlabiler Bauteile

5.3.2 Einfluss auf die Prozesse und Prozessfolge

Für die Übermittlung von Wissen über die Probleme der Bereitstellung formlabiler Bauteile sind aus entwickelten Bereitstellungslösungen bauteilgruppenspezifische Regeln abzuleiten, die den Konstrukteur mehr informieren als leiten. Beispielsweise soll hier anhand der entwickelten Lösungen von Kapitel 6 aufgezeigt werden, wie derartige Regeln zur positiven Beeinflussung der Prozesse und der Prozessfolge hinsichtlich der Bereitstellung formlabiler Bauteile zu gestalten sind, um die Funktion des Wissenstransfers zu erfüllen.

Formlabile Bauteile sind innerhalb einer Prozesskette nur dann kritisch, wenn Handhabungen wie insbesondere Halten, Ordnen und Positionieren notwendig werden. Daraus resultieren zwei Grundanforderungen an die Bauteil- und Produktkonstruktion:

Einerseits ist kritisch zu prüfen, ob das funktionstechnisch notwendige Bauteil innerhalb der Prozesskette formlabil sein muss oder lediglich aufgrund Materialwahl und Geometrie (vgl. Kap. 3.1.2) kritische Eigenschaften aufweist. So können beispielsweise Ventildeckeldichtungen aus Elastomeren (vgl. Bild 1-1) durch das Einlegen einer Stahlseele formstabil gestaltet werden, wodurch die Handhabung und damit die Bereitstellung trotz komplexer, langgestreckt-öffener Form und schlechtem Längen-Breiten-Höhen-Verhältnis unkritisch ist. Ebenso ist eine temporäre Stabilisierung durch Verrippung möglich, die nach dem Fügeprozess entfernt wird. Die Funktion des elastischen Dichtens bleibt durch die Stabilisierung jeweils unbeeinträchtigt.

Zum anderen muss in der Konstruktion impliziert werden, dass die Anzahl der Handhabungen mit formlabilen Bauteilen gering ist:

Durch das Vermeiden des Auftretens eines formlabilen Bauteilverhaltens innerhalb der Prozesskette ist die Anzahl kritischer Bereitstellungsprozesse gering zu halten:

- Formlabilität erst spät zum Tragen kommen lassen, so dass z.B. das Bauteil erst beim Vereinzeln formlabil wird (Abziehen von Träger).
- Funktionsbedingte Formlabilität mit formstabilem Basiskörper integrieren.
- Bauteile materialunabhängig konstruktiv formstabil gestalten (versteifen).
- Formlabile Bauteile partiell formstabil ausführen, um eindeutige Führungsflächen zur Verfügung zu haben.
- Prozesse auswählen, die eine Erhöhung der Formstabilität z.B. durch tiefe Temperaturen ermöglichen.

Durch geringe Anzahl von getrennten Hauptprozessen mit formlabilen Bauteilen ist die Anzahl kritischer Bereitstellungsprozesse gering zu halten:

- Orte der Hauptprozesse zusammenführen und integrieren.
- Hauptprozesse am gleichen Ort durchführen.
- Jeden Hauptprozess hinsichtlich der Notwendigkeit für das Fertigungsergebnis prüfen.
- Durch Toleranzvorgaben höchste Qualität der Ausführung notwendiger Prozesse fordern, um Nacharbeiten (zusätzliche Prozesse) und damit zusätzliche Handhabungen zu vermeiden.

Die Anordnung von Hauptprozessen beeinflusst die Sicherheit der Bereitstellungprozesse:

- Stabilisierung formlabiler Bauteile durch die Fügeprozesse, z.B. stets mit formstabilen Bauteilen fügen.
- Produktaufbau so wählen, dass Vormontagen formstabilen Bauteile erfolgen können, so dass nur ein Prozess mit dem formlabilen Bauteil erfolgen muss.
- Vollflächiges Spannen der Bauteile durch Wahl der durchzuführenden Prozesse ermöglichen, so ist z.B. das Schneiden am freien Stück nicht möglich.
- Nicht allein formlabile Fügepartner in einem Prozess auswählen, da die Position relativ zueinander nicht festzustellen ist.
- Höherwertige Ausgangsgrößen (geordneter und gespannter Zustand, vereinzeltes Bauteil) der Hauptprozesse als Eingangsgröße für den Folgeprozess wählen..
- Ergebnisse durchgeföhrter Bereitstellungsprozesse nicht wieder aufheben, d.h. ein gespanntes, geordnetes und positioniertes formlabiles Bauteil in einen formstabilen Teileverbund überführen.

Die beispielhaft aufgestellten Regeln zur Einflussnahme auf Prozesse und deren Anordnung berücksichtigen die im Rahmen der Arbeit entwickelten Lösungen und erheben nicht den Anspruch der Vollständigkeit. Vielmehr soll aufgezeigt werden, dass derartige Regeln in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden und erprobten Lösungen unternehmensspezifisch aufzustellen sind, da nur dann der konstruktive Einfluss die Wahl eines prozesssicheren Bereitstellungskonzepts oder einer robusten Lösung fördert.

5.4 Prozesskettenorientierte Planung der Bereitstellung

Nach der Detektion eines voraussichtlich bereitstellungskritischen Bauteils durch Bewertung nach Kapitel 3 im Rahmen der Grobplanung oder unmittelbar im Anschluss an die Konstruktion setzt das Planungsvorgehen der Bereitstellung ein (Bild 5-1). Die prozesskettenorientierte Planung der Bereitstellung erfolgt in den Schritten Analyse der Prozesskette (Kap. 5.4.1), Optimierung (Kap. 5.4.2) unter Anwendung von verschiedenen Modellen (Kap. 5.4.3) sowie durch Bewertung und Auswahl eines optimierten Bereitstellungskonzepts (Kap. 5.4.4) auch unter Berücksichtigung des Einflusses des gewählten Modells auf den Entwicklungsprozess.

5.4.1 Analyse

5.4.1.1 Systemabgrenzung

Zunächst ist ein durch den Planer zu beeinflussender Betrachtungsumfang festzulegen. Optimal ist die Betrachtung der physischen Prozesskette ausgehend vom Verlassen des Bauteils vom letzten Hauptprozess zur Bauteilbildung (Herstellung) und damit vor etwaigen Nebenprozessen wie Entgraten oder Waschen beim möglicherweise externen Hersteller bis zum relevanten Fügeprozess des betrachteten Bauteils beim Verarbeiter (Bild 5-4).

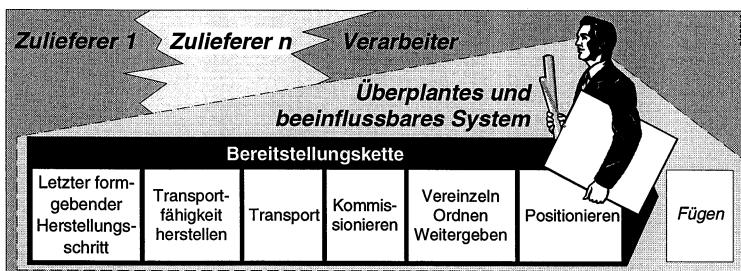


Bild 5-4: Systemabgrenzung einer Prozesskette der Bereitstellung

Urformende Prozesse, die im Bereich formlabiler Bauteile insbesondere im Bereich des Spritzgusses und der Extrusion liegen, stellen eine geeignete Systemgrenze bei der Herstellung dar. Der Entformprozess sollte eingeschlossen werden, um damit die Analyse der eingesetzten Form oder Matrize wie auch des Entnahmeprozesses aus einem Werkzeug oder Spannmittel zuzulassen. Ein nachgeschalteter manueller Prozessschritt wie eine Qualitätskon-

trolle oder ein Aussortieren bietet ebenfalls einen geeigneten Ausgangspunkt, sofern er in seiner Ausführung beeinflussbar ist.

Als Maßnahmen zur Störungsabwehr fordert ZIERSCH (1985) neben der Be- seitigung von Fehlern von Zuführgeräten das Ergreifen früher Maßnahmen in den der Montage vorgelagerten Bereichen oder beim Bauteillieferanten. Die Optimierung und Veränderung darf nicht innerhalb von Unternehmensgrenzen enden (PFEIFFER U.A. 1998 S. 202). Der Aufwand für eine Prozesskettenanalyse ist gerechtfertigt, wenn auch auf der Zulieferer- bzw. Herstellerseite Ver- änderungen in der Prozesskette durchgeführt und deren wirtschaftliche und technische Auswirkungen geprüft werden können. Wirtschaftliche Vorteile auf Seiten des Abnehmers (z.B. durch mögliche Automatisierung) können dabei mit Kosten auf Seite des Zulieferers verbunden sein. Der Abgleich des wirt- schaftlichen Nutzens zwischen Hersteller- und Abnehmerseite ist jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit.

5.4.1.2 Hauptprozesse, Abhängigkeiten und Prozessgrößen

In einem nächsten Schritt sind aus der betrachteten Prozesskette die Haupt- prozesse gemäß der Definition in Kapitel 4.2 zu extrahieren und fertigungs- technische Abhängigkeiten zwischen den Prozessen zu prüfen. Um zu einem späteren Zeitpunkt die Prozesskette variabel gestalten zu können, sollte hier stets der Ist-Zustand in Frage gestellt werden und nur Abhängigkeiten zuge- lassen werden, die zwingend sind, wie beispielsweise die Folge *Spritzgießen - Entgraten*. Insbesondere historisch bedingte Abhängigkeiten, wie z.B. eine Folge *Anguss abtrennen - Fügen* sind kritisch zu prüfen.

Für jeden Hauptprozess des betrachteten oder zu planenden Systems sind die benötigten Eingangs- sowie der resultierenden Ausgangsgrößen zu ana- lysieren bzw. zu definieren. Weiterhin ist zur Dimensionierung notwendiger Puffer die voraussichtliche bzw. technische *Verfügbarkeit* η^{ver} der Hauptpro- zesse zu bewerten. Diese Verfügbarkeit ist prozessabhängig und berücksich- tigt Fehltakte durch Teilemangel. Gerade bei automatisierten Systemen muss geklärt werden, welche manuelle Betreuung zur Verfügung steht, da diese hohen Einfluss auf Störungserkennung, -beseitigung und Wiederanlauf hat (ROCKLAND 1995). Prozessverfügbarkeiten nicht realisierter Prozesse müssen aus FMEA-Aufnahmen und mit Analysen vergleichbarer Prozesse abge- schätzt werden.

5.4.2 Optimierung der Prozesskette

HIRSCH-KREINSEN & MERZ (1997 S. 66ff) fordern zur Restrukturierung von über Jahre gewachsenen und in der Vergangenheit bewährten Strukturen die Dezentralisierung von Unternehmensstrukturen. Dazu gehören einerseits die Externisierung bestimmter Funktionen im Zuge der Verringerung der Fertigungs-, Entwicklungs- und Dienstleistungstiefe eines Unternehmens. Andererseits gilt es mit zunehmender Kunden- und Technologieorientierung auch zu prüfen, welche Aufgaben intern und extern durchgeführt werden. Ein Weg zu diesem Ziel ist die Orientierung an unternehmensübergreifenden Prozessketten, deren Bewertung, Änderung und Aufgliederung auf zentrale oder dezentrale Instanzen.

Die Durchgängigkeit einer Kette von Prozessen wird durch die Folge und Ausprägung der Hauptprozesse beeinflusst, die Eingangsgrößen bedingt und für die resultierenden Ausgangsgrößen verantwortlich ist. Zur Verschlankung von Prozessketten ist daher das Augenmerk auf die Gestaltung und Anordnung der Hauptprozesse zu legen. Ziel bei der Synthese ist es, die Prozesse und die Prozesskette vom internen und externen Zulieferer bis zum Verarbeiter derart zu gestalten, dass die Aus- und Eingangsgrößen benachbarter Hauptprozesse in Übereinstimmung gebracht werden und damit die Anzahl der Handhabungen formlabiler Bauteile reduziert wird. Bezuglich der Bereitstellung werden zwischen zwei Hauptprozessen differenzfreie Schnittstellen angestrebt, die den Verzicht auf die Implementierung von Bereitstellungsprozessen ermöglichen. Liegen die Prozessverfügbarkeiten η^{ver} bei 100%, ist zudem keine Notwendigkeit für die Bildung eines Puffers gegeben (Bild 5-5).

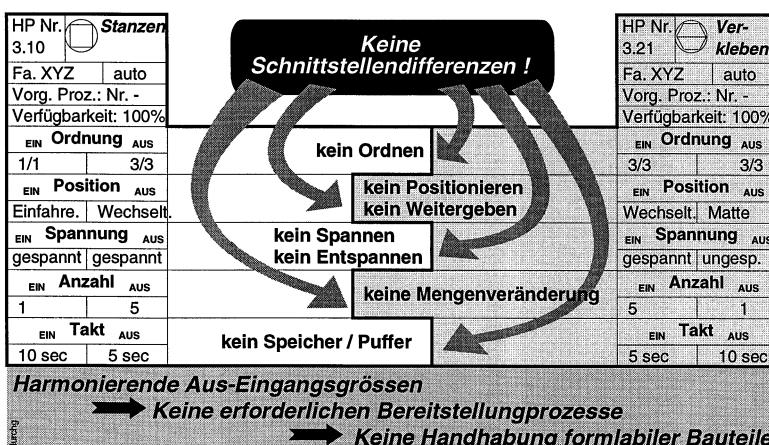


Bild 5-5: Durchgängigkeit durch harmonisierende Prozessgrößen

Mit der Annäherung an diesen Zustand ist die Qualität der technischen Durchgängigkeit einer Prozesskette zu messen, die allerdings nicht gleichbedeutend mit optimaler Wirtschaftlichkeit sein muss. Je weniger Schnittstellen harmonieren, desto größer ist der in zusätzlichen, kostenverursachenden, aber nicht wertschöpfenden Nebenprozessen zu realisierende Anpassungsaufwand.

Dem Ziel der Durchgängigkeit muss durch Änderungen in der Prozesskette näher gerückt werden. Im Rahmen der technischen Machbarkeit ist die Prozesskette aus den zur Bauteil- bzw. Produkterstellung notwendigen Hauptprozessen mit dem Ziel optimaler Harmonie zweier benachbarter Prozesse zu rekombinieren.

Zum einen können Hauptprozesse in der Prozesskette so angeordnet werden, dass möglichst viele Ausgangsgrößen eines vorliegenden Prozesses mit den Eingangsgrößen des Folgeprozesses korrelieren. Der auftretende Zielkonflikt, wie alternativ harmonisierende Übergangsgrößen zueinander zu gewichten sind, kann für formlabile Bauteile aufgrund prozesstechnischer Schwierigkeiten in der Reihenfolge *Ordnen*, *Positionieren*, *Spannen*, *Menge* und *Takt* priorisiert werden. So ist die Vermeidung von *Ordnungs-* und *Positionierungsvorgängen* unbedingt anzustreben und damit Wert auf übereinstimmende Prozessgrößen der *Ordnung* und der *Position* zu legen (Bild 5-6).

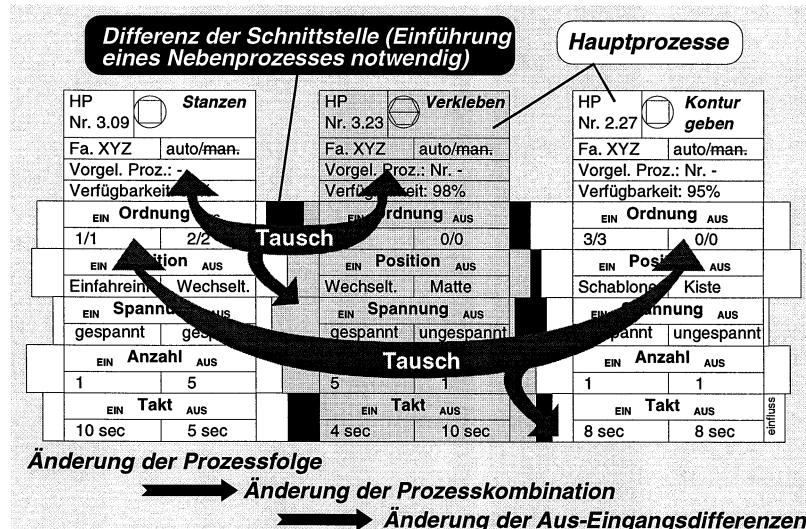


Bild 5-6: Optimierung der Bereitstellung durch Änderung der Prozessfolge

Zum anderen kann auf die Prozesskettenbestandteile Einfluss genommen werden. Dazu sind einzelne Hauptprozesse derart zu verändern, dass Aus- oder Eingangsgrößen besser mit den umgebenden Prozessen harmonieren. Liegt eine abgesehen von einzelnen differenzstarken Hauptprozessen durchgängig gestaltete und geschlossene Prozesskette bereits vor, kann ein Profil an Ein- und Ausgangsgrößen erstellt werden, dem ein substituierender Prozess möglichst vollständig entsprechen muss. Begrenzt durch die technische Sinnhaftigkeit ist der Einfluss auf Hauptprozesse durch die Änderung der Prozessstruktur (technische Änderung der Prozesslösung) sowie durch die Substitution mit anderen Prozesslösungen möglich (Bild 5-7).

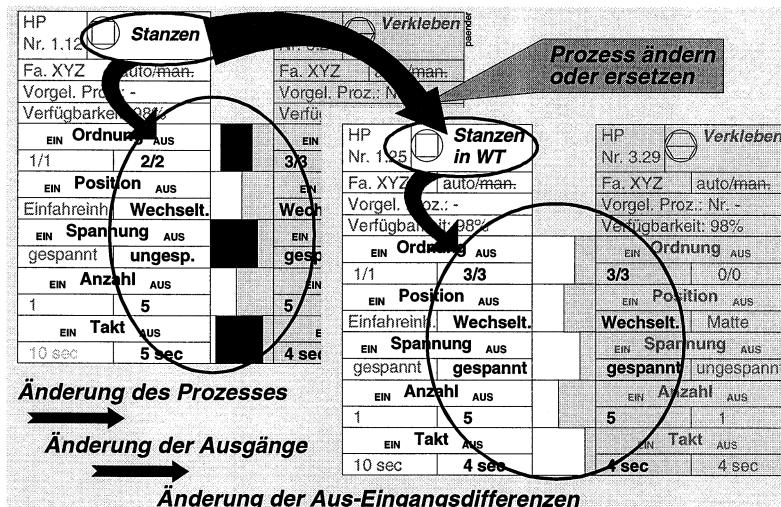


Bild 5-7: Optimierung durch Ändern oder Ersetzen eines Hauptprozesses

5.4.3 Modelle zur Optimierung der Prozesskette

Die Optimierung einer betrachteten Prozesskette erfordert, dass eine *gesamtheitliche prozessübergreifende Abstimmung und Optimierung* stattfindet. Es sind daher nicht nur die Ein- und Ausgangsgrößen benachbarter Prozesse abzugleichen, sondern durch die ganzheitliche Betrachtung insbesondere auch die Übereinstimmung dieser Größen über mehrere Prozesse hinweg zu prüfen. Da das durchzuführende Reengineering daher deutlich über die Montage erweiterter Prozessketten notwendig und sinnvoll ist, sind interne und externe Lieferanten in die Untersuchungen, Überarbeitungen und Entwicklungen einzubeziehen. Soll dem Ziel der prozesssicheren Automatisie-

rung der Montage nähergerückt werden, darf die Umsetzung über Gruppen-, Abteilungs-, Bereichs- und Unternehmensgrenzen kein Tabu sein.

Ausgehend von einer Prozesskettenanalyse und -synthese sind fünf Modelle zur bereitstellungstechnischen Optimierung mit unterschiedlicher Tragweite für den Produktionsprozess zu unterscheiden:

1. Ersatz und Änderung von Prozessen (Kap. 5.4.3.1),
2. Integration von Prozessen (Kap. 5.4.3.2),
3. Verschieben und Vertauschen von Prozessen (Kap. 5.4.3.3),
4. Fixieren von Ausgangsgrößen (Kap. 5.4.3.4) und
5. Herstellen von Eingangsgrößen (Kap. 5.4.3.5).

Dies ist gleichzeitig als Priorisierung der Modellanwendung bei der Synthese von Prozessketten zu berücksichtigen, da der planerische und technische Aufwand der Konzepte variiert (Kap. 5.4.3.6). Während in der Theorie bei kurzen Prozessketten eine Abgrenzung möglich ist, treten in der Praxis aufgrund langer Prozessketten und vielfältiger Einflussfaktoren stets Mischformen bzw. Kombinationen der Modelle auf.

5.4.3.1 Ersatz und Änderung von Prozessen

Basierend auf der Grundthese der *Infragestellung der Notwendigkeit* (Kap. 1.1) besteht ein erstes Modell in der Vermeidung von Nebenprozessen durch das Ersetzen von Hauptprozessen. Dies bedeutet die Einbindung anderer, besser geeigneter Ein- und Ausgangsgrößen mit dem Ziel, die Bildung einer durchgängigen Prozesskette unter Reduzierung der Anzahl von Nebenprozessen zu unterstützen (Bild 5-8).

Insbesondere bei technischer Unmöglichkeit der Zuführung aus dem ungeordneten Zustand (vgl. z.B. O-Ringe mit Durchmesser größer 60mm bei Schnurstärke 2,3mm) stellt der Ersatz von Hauptprozessen eine wichtige und ggf. die einzige technische Bereitstellungsalternative dar. Aus Sicht der Montage ist insbesondere ein Ersatz von Fügeprozessen als Kernprozess der Montage anzustreben.

Die Analyse der Prozesskette ermittelt ein Profil der notwendigen Ein-/Ausgangsgrößen an Schnittstellenbrüchen, die ansonsten nur mit Nebenprozessen überbrückt werden könnten. Zur Bildung einer geschlossenen Prozesskette ist ein Prozess zu finden, der diese Ein-/Ausgangskombination aufweist oder dieser nahe kommt. Nur selten wird dabei tatsächlich ein Prozess durch einen anderen ersetzt - vielmehr ist zu beobachten, dass Prozesse weitere Prozesse bedingen, die ihrerseits Ersatz sind (Bild 5-6). Vorausset-

zung für den Prozessersatz ist die Kenntnis alternativer Hauptprozesse mit gleicher Funktion oder aber der Aufbau dieses Wissens.

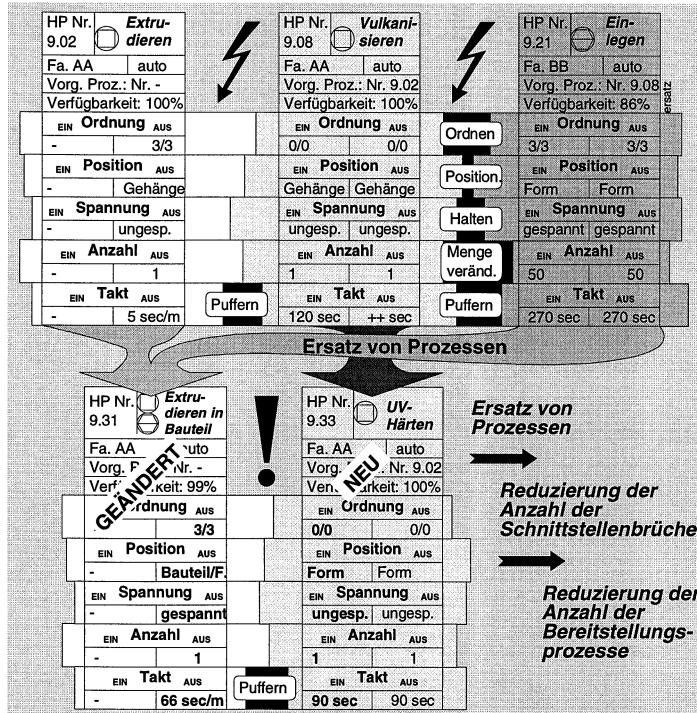


Bild 5-8: Änderung der Ein-/Ausgangsgrößen durch Prozessersatz

Bekannt ist beispielsweise der Ersatz des Prozesses *Dichtschnur einlegen* durch das robotergestützte Einspritzen von viskosen, aushärtendem Dichtungsmaterial (SCHULLER U.A. 1998, S. 40), z.B. beim akustischen Dichten von KFZ-Audiosystemen (Bild 5-9). Der Ersatz des Hauptprozesses *Einlegen* wirkt sich auf die nachfolgenden Prozesse durch neue Ausgangsgrößen aus. Während einerseits Nebenprozesse zum Vereinzen, Ordnen und Positionieren entfallen, sind Hauptprozesse zur Oberflächenbehandlung und zum Aushärten einzuführen. So sind im Beispiel Abbinde- und Polymerisationszeiten zu bedenken, die zeitlich gepuffert werden müssen.

MILLER (1992 S. 37) zeigt auf, dass durch die Umstellung des Prozesses von dem manuellen Einlegen einer formlabilen Dichtung zum automatisierten Aufbringen viskoser, verschäumter Dichtung bei einem Automobilproduzenten nicht nur Kosten in Höhe von ca. DM 1 Mio eingespart werden konnten, son-

dern dass zudem die ablaufbedingten Störungen deutlich verringert werden konnten. Als Einsatzfelder werden beispielsweise die Dichtungen des Sonnendaches, der Sicherungskästen und der Zündkontrolle genannt. Durch den Ersatz von Fügeprozessen wie *Federnd Einspreizen* durch *Einkleben* bei langgestreckt-offenen Bauteilen können nach HOßMANN (1992 S. 52) prozesskritische Elemente des Kraftaufbringens zum Bereitstellen (und Fügen) vermieden werden können.

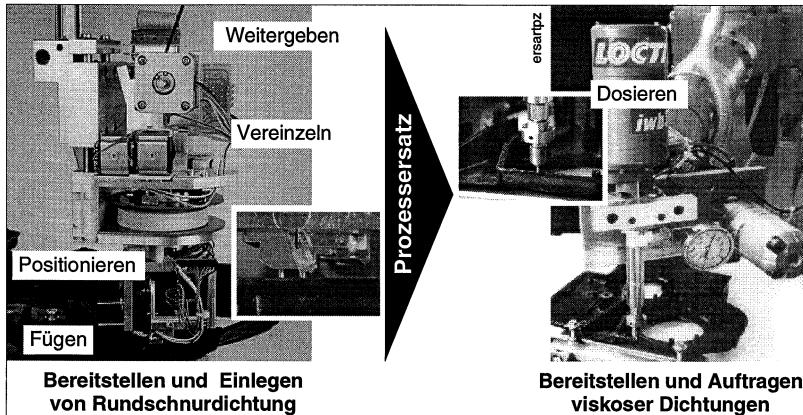


Bild 5-9: Prozessersatz für das Einlegen von Rundschnurdichtung

Im industriellen Bereich werden zur Vermeidung von Problemen und Unsicherheiten in der Prozesskette in einigen Fällen formlabile Bauteile und damit auch Prozesse ersetzt. In dieser Arbeit wird der Austausch prozesstechnisch bezüglich der Bereitstellung gesehen - für den Austausch oder die Vermeidung von Bauteilen entsprechend konstruktiver Kriterien wird auf die weiterführende Literatur der montagegerechten Produktgestaltung verwiesen. Lösungen des Prozessersatzes werden bisher nicht systematisch erfasst, entwickelt und eingesetzt, sondern jeweils als eigene Prozesslösung betrachtet (Tabelle 5-10a/b). Der Ersatz von Prozessen erfordert die Bildung einer Wissensbasis, die technologisch mögliche Prozessalternativen verknüpft. Zudem sind neue Prozesse, neue Prozesserfüllungen und damit neue Betriebsmittel basierend auf fixierten Ein-/Ausgangsgrößen der bestehenden Prozessketten zu entwickeln.

Langgestreckte offene (und bedingt geschlossene) Bauteile		
Ersatz von	durch	Beispiele
Einlegen und Federnd Einspreißen von Dichtschnüren, große O-Ringen, Formdichtungen	Einspritzen viskoser aerob oder anaerob härtender Dichtstoffe und Dosiereinrichtung mit automatischer Handhabung	Ventildeckelherstellung mit Dichtung im BMC-Verfahren, wobei die Dichtung aus Flüssig-Silikon automatisch eingegossen oder eingespritzt wird
Einlegen von Gewindedichtfasern	Aufbringen viskoser Dichtstoffe im Tauchverfahren	Gewindedichtung
Aufkleben von Klebe- und Dichtbändern	Aufbringen aerob oder anaerob härtender hoch- und niedrigviskoser Kleb- und Dichtstoffe	Industrieanwendungen

Flächige Bauteile		
Ersatz von	durch	Beispiel
Aufkleben von Klebstofffolien	Sprühen, Streichen und Tauchen von Klebstoffen	Verpackungsindustrie
Auflegen / Einlegen von Vliesen, Dicht- und Dämmatten	Aufspritzen, Aufschäumen und Tauchen von viskosen, aerob oder anaerob härtenden Stoffen	Kfz-Fertigung: Dichtungen

Blockförmige Bauteile		
Ersatz von	durch	Beispiel
Federnd Aufsprei-zen von Gummittüllen	Vergießen mit Heißvergußmasse	Tüllenform von Kabeln in Steckern

Tabelle 5-10b: Ersatz von Fügeprozessen formlabiler Bauteile

5.4.3.2 Integration von Prozessen

Die Anzahl der Prozessübergänge und der Hauptprozesse stehen in einem Verhältnis von $(m-1)$ zu m . Durch die Integration zweier Hauptprozesse werden die Ein- und Ausgangsgrößen überlagert und damit die Prozesskette um einen Prozessübergang reduziert, entsprechend einer um $(m-1)$ verringerten Anzahl an Prozessübergängen für m integrierte Prozesse. Eine Anpassung wird nicht erforderlich, alle aus einem Schnittstellenbruch resultierenden Nebenprozesse können somit vermieden werden (Bild 5-11). Die resultierende neue Ein-/Ausgangskombination ist aufgrund der notwendigen bauteil- bzw. produktsspezifischen Neuentwicklung der für den Angleich der Ein-/Ausgangsgrößen verantwortlichen Prozesserfüllung systematisch nicht darzustellen.

JUNKER (1997 S. 218) weist innerhalb der Automatisierungstechnik auf das Prinzip der Integration hin, das zum Wegfall einzelner Prozessschritte führt. So können bei der Fertigung von Blechteilen durch integrative Prozesse Positioniertoleranzen durch die anderenfalls notwendigen Bereitstellungsprozesse zwischen den Stanzpressen reduziert werden.

In einem Beispiel von EICH & SCHNEIDER (1995 S.93FF) erfolgt das Kaschieren von PKW-Innenverkleidungsbauteilen durch die Hintereinanderschaltung von Fertigungs- und Montageprozessen (Bild 5-11). Inhalt des Montageprozesses ist das Verkleben eines randbesäumten, formlabilen Bauteils (Stoff) mit einem spritzgegossenen Grundkörper. Die Prozesskette ist durch die Hauptprozesse *Stanzen des Stoffes*, *Aktivieren des Hot-Melt-Klebstoffs* und *Aufpressen des Stoffes auf den Träger* gekennzeichnet, die über mechanisierte bzw. automatisierte Betriebsmittel ausgeführt werden und in einer Anlage angeordnet sind. Nach dem Aufpressen liegt ein formstabiles Produkt vor. Innerhalb der Prozesskette sind als kritische Nebenprozesse die Entnahme der mittels einer Stanze randbesäumten, formlabilen Bauteile aus einer Stanzpresse und das manuell durchgeführte Einlegen in die Kaschierform zu erkennen. Durch Überlagerung von Hauptprozessen mittels einer integrierten Prozesslösung zum Schneiden, Heizen und Kaschieren ist die Anzahl der Nebenprozesse für den Materialfluss zwischen den Hauptprozessen deutlich zu reduzieren.

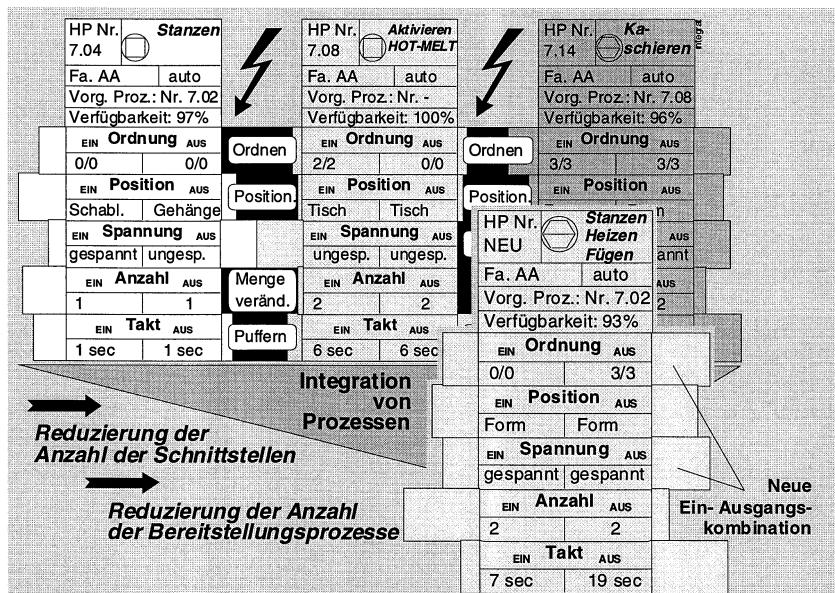


Bild 5-11: Reduzierung von Schnittstellen durch Prozessintegration

Weitere Beispiele der Prozessintegration sind aus der Spritzgusstechnik (Bild 5-12) bekannt (GOTZMANN 1998 S. 13). In der Inserttechnik werden formstabile Einlegeteile in die Spritzform gelegt und umspritzt, wobei der Kunststoff

das eigentliche formlabile Formteil bildet und ein Fügeprozess und die dazu notwendige Bereitstellung entfällt. Bei der Outserttechnik ist das eigentliche Formteil bereits vorhanden - der Kunststoff wird in diesem Fall an einigen Stellen angespritzt und kann auch zur Teilekettenbildung dienen. Die entstehenden Kunststoffteile dienen dem Formteil als Funktionselemente (BEITL 1993). Die Blasformfertigung von Ansaugrohren ist integrativ mit verschiedenen elastischen und plastischen Kunststoffen in einem Fertigungsschritt möglich und ersetzt Fügeprozesse von formlabilen mit formstabilen Rohren mittels Schellen (DAUBENBÜSCHEL 1995 S. 32). Über Mehrkomponenten-Technologie können beispielsweise Abdeckungen mit angespritzter, formlabiler Dichtung erzeugt werden. Gleichsam sind Kabeldurchführung in einem Schuss als Zweikomponenten-Bauteile zu formen, die aus einem ringförmigen, festen Befestigungsbereich und einem weichen Element mit Dichtungs-, Schutz- und Haltefunktion bestehen und so den Fügeprozess umschließen (MÜLLER 1997 S. 178).

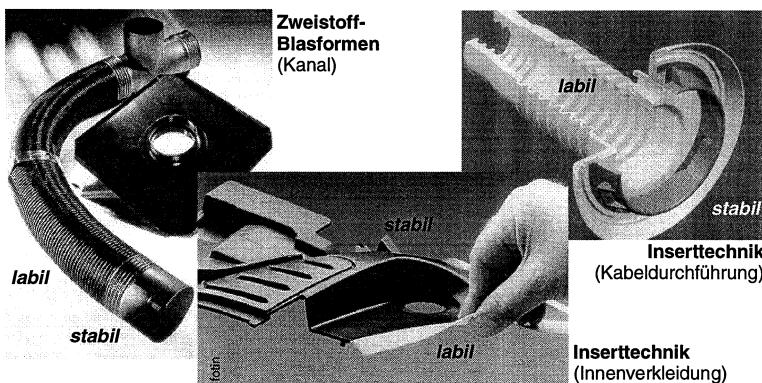


Bild 5-12: Semiformlabile Produkte durch Prozessintegration

Bereitstellungskonzepte durch Integration von Hauptprozessen basieren auf den bestehenden Prozessen, müssen aber neue Lösungen der *Prozesserfüllung* durch integrierte Werkzeuge und Betriebsmittel aufweisen. Auch hier ist zu prüfen, welche Prozesse über die Prozesskette von der Zulieferung bis zur Verarbeitung organisationstechnisch zu integrieren sind. Projiziert auf das genannte Beispiel Ansaugrohr kann eine Prozessintegration nur durchgeführt werden, wenn das die Montage durchführende Unternehmen (hier Verarbeiter) die Problematik des Bereitstellens formlabiler Bauteile erkennt und die Prozessketten beider Bauteile (flexibles Rohr, festes Ansaugteil) verfolgt.

5.4.3.3 Verschieben und Vertauschen von Prozessen

Harmonierende Kombinationen von Aus- und Eingangsgrößen können anschaulich mit dem Tausch oder der Verschiebung der Hauptprozesse erzielt werden. Zeigt sich, dass ein innerhalb der Prozesskette vorhandener, aber nicht benachbarter Hauptprozess ideale Ausgangsgrößen aufweist, so ist zu prüfen, wie durch Verschieben oder Vertauschen von Prozessen eine nebenprozessfreie bzw. -arme Verknüpfung möglich wird (Bild 5-13).

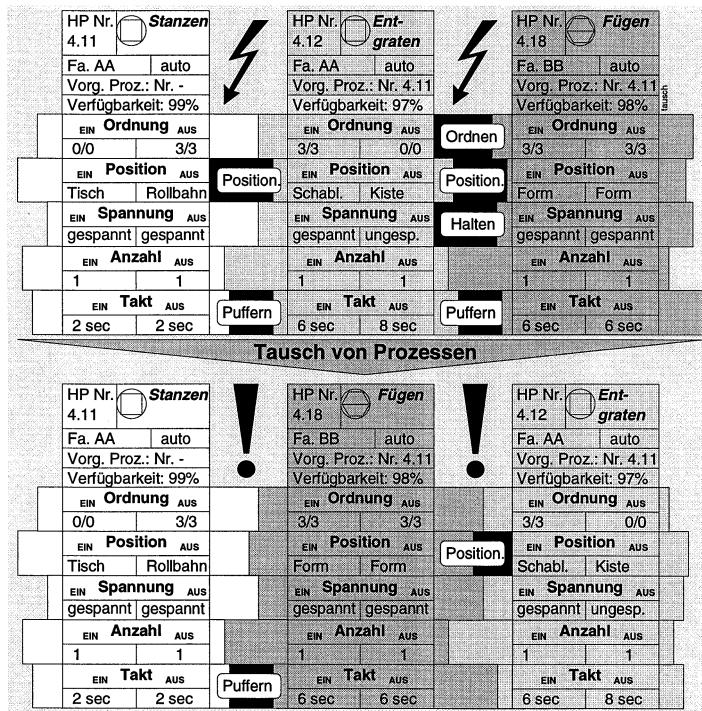


Bild 5-13: Optimierung der Verkettung durch Prozesstausch

Für Bereitstellungen formlabiler Bauteile ist von Interesse, formgebende Prozesse unmittelbar vor den Fügeprozess zu verlagern. LOTTER (1992) verschiebt beispielsweise Stanz- und Biegeprozesse aus Fertigungsbereichen in die Montage und direkt in die Montageanlage. Bei nahezu allen formgebenden Hauptprozessen wie Spritzgießen oder Stanzen wird das Bauteil in allen Freiheitsgraden mit der Genauigkeit der Bearbeitung geordnet und positioniert. Automatisierte Fügeprozesse verlangen genau diesen Zustand. Mit der Nutzung des geordneten und positionierten Zustands aus dem formgebenden

Prozess für den Fügeprozess werden keine Bereitstellungsprozesse erforderlich.

In diesem Sinn ist bei einer beispielhaften Prozesskette *Stanzen einer Flachdichtung - Entgraten - automatisiertes Fügen* zu klären, ob der Stanzvorgang nicht direkt zur Positionierung zu nutzen und daher örtlich und zeitlich zu verlagern ist. Die Nebenprozesse der Bereitstellung *Vereinzeln*, *Ordnen* und *Positionieren* können auf diese Weise entfallen. Voraussetzung ist hier ein Stanzverfahren, welches in der Montage beim Verarbeiter in dem zur Verfügung stehenden Raum eingesetzt werden kann. Gleichfalls kann der Fügevorgang in den Herstellungsprozess verschoben werden (Bild 5-13).

Auch die Vereinzelung durch Trennen von endlos bereitgestelltem formlabilen Material (Kabel, Dichtschnur etc.) vor oder nach dem Fügeprozess ist eine Prozessverschiebung. Beim Einsatz von Teileketten werden Fertigungsschritte in der Montage verlagert, die konventionell während der Herstellung der Bauteile durchgeführt werden wie z.B. das Trennen des Angusses.

Durch das Verschieben von Hauptprozessen wird auch die nach der Montage liegende Prozesskette durch neue Ausgangsgrößen beeinflusst. Vielfach müssen Zwangsfolgeprozesse, wie z.B. das Entgraten nach dem Spritzgießen, gleichfalls verschoben werden. Werden z.B. Herstellungsprozesse durch Trennen in der Montage durchgeführt, so ist das Abschnittsmaterial zu entsorgen oder rückzuführen. Hier wird neuerlicher Entwicklungsbedarf zur Integration dieser Schritte in eine neue Prozesskettenumgebung erforderlich.

Prozesse und Prozesserfüllung werden durch dieses Bereitstellungskonzept nicht verändert. Allerdings entstehen durch die geänderte Anordnung der Prozesse innerhalb der Kette neue Anforderungen an die Betriebsmittel. Der Entwicklungsbedarf liegt in der Gestaltung von Hauptprozessen, die variabel innerhalb einer Prozesskette und insbesondere auch spät in der Herstellungsfolge eines Bauteils einzusetzen sind. Hier sind insbesondere Verfahren zur Formgebung und Vereinzelung näher erwähnt, d.h. Fertigungsschritte, die in die Montage unmittelbar vor den Fügeprozess verschoben werden können.

Heutige Produktionskonzepte gehen von verzweigten Netzwerken und geringer Fertigungstiefe des endmontierenden Unternehmens aus (EVERSHEIM 1995). Eine Verschiebung oder Vertauschung von Prozessen für ein neues Bereitstellungskonzept muss jedoch über Bereichs- und Unternehmensgrenzen hinweg erfolgen. Damit ist die Verteilung der Durchführung der Hauptprozesse bei Zulieferern und Verarbeitern zu überplanen.

5.4.3.4 Fixieren von Ausgangsgrößen

Die Prozesskettenanalyse kann aufzeigen, dass Ausgangsgrößen vorgelagerter Prozesse als Eingangsgrößen späterer, aber nicht benachbarter Prozesse geeignet bzw. mit geringem Aufwand herzustellen sind. Ist ein Verschieben bzw. Zusammenstellen der Prozesse nicht möglich, so können Ausgangsgrößen über Folgeprozesse fixiert werden.

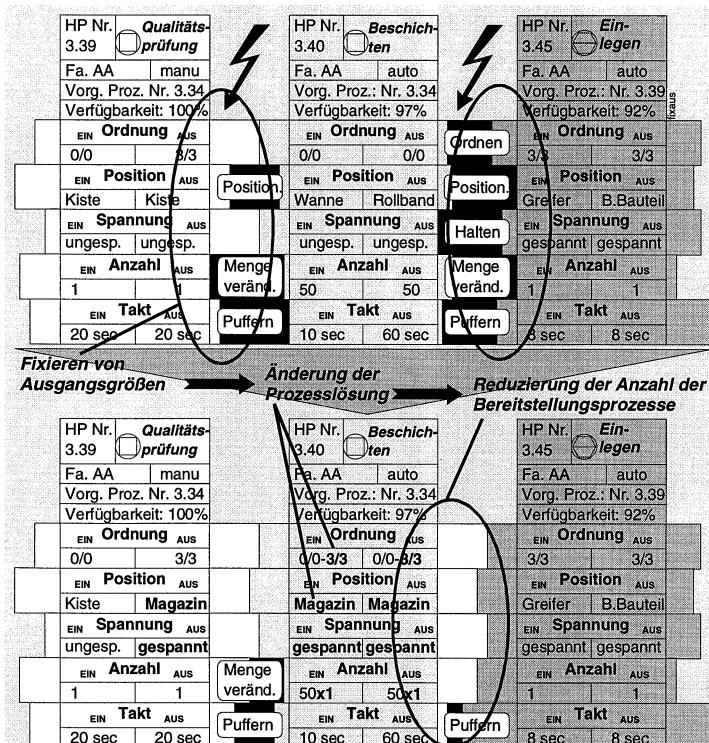


Bild 5-14: Fixieren von Ausgangsgrößen

Das Fixieren von Ausgangsgrößen zu einem frühen Zeitpunkt in der Prozesskette setzt prozesstheoretisch eine Einheitlichkeit aller Aus- und Eingangsgrößen voraus (Bild 5-14). Liegt das Ein-/Ausgangsgrößenprofil nicht vor, so sind diese Größen durch Reengineering der Hauptprozesse und der zum Materialfluss genutzten Betriebsmittel ausgehend von der Herstellung des Bauteils über nachfolgende Hauptprozesse wie Bearbeitungen, Transporte, Lagervorgänge etc. bis zum Montagevorgang herzustellen. So wird z.B. bei der manuellen Qualitätskontrolle einer Formdichtung ein hoher Ordnungszu-

stand hergestellt, der für die Oberflächenbeschichtung der Dichtung unrelevant, für den Fügevorgang *Einlegen* jedoch benötigt wird. Durch Fixieren des Ordnungszustands nach der Qualitätssicherung in einem Magazin kann der erzeugte Zustand übernommen werden - vorausgesetzt wird die Durchführbarkeit der Beschichtung am magazinierten Bauteil durch eine Änderung der Prozesslösung (Bild 5-14).

Industrielle und wissenschaftliche Beispiele der Fixierung von Ausgangsgrößen sind als Magazinierung bekannt (vgl. Kap. 2.2.6.1). Es liegen in erster Linie technische Lösungen vor, die betriebsintern Ordnungszustände fixieren. Gerade formlabile Massenartikel werden jedoch an anderen Orten gefertigt als in der Montage. Die Zusammenarbeit der Beteiligten über eine Prozesskette ist daher auch bei dem Konzept der Fixierung von Ausgangsgrößen unabdingbar.

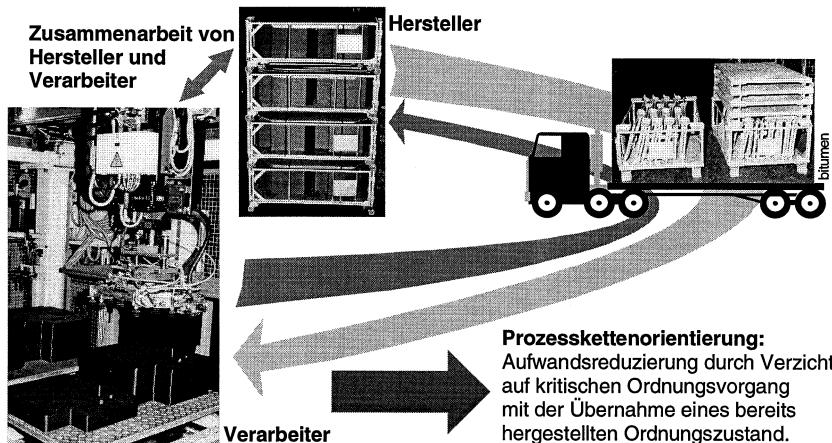


Bild 5-13: Unternehmensübergreifende Prozesskettenoptimierung (Bsp. nach SCHNEIDER 1996 S. 8)

Beispielhaft ist die prozesskettenorientierte Zusammenarbeit eines Herstellers von Geschirrspülern mit dem Zulieferer für Bitumen-Dämmatten (Bild 5-13), die zur akustischen Dämmung eingesetzt werden. Neben dem Problem der Formlabilität verhält sich das Bitumenmaterial zudem plastisch - ein Umstand, der insbesondere bei höherer Temperatur kritisch ist. Während die Handhabung der Bitumen-Matten unkritisch ist, können die Bauteile nicht automatisiert geordnet werden. Hier wurde in Zusammenarbeit mit dem Dämmattenhersteller ein Behälter entwickelt, der den notwendigen Ordnungszustand aus der formgebenden Stanze bis zur Montage unter Wahrung der Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitsansprüche aufrechterhält. Um das Kommissionieren und

Abarbeiten mit einem Handhabungssystem zu erleichtern, sind die Seitenwände des Systems im EURO-Format abnehmbar. Da das demontierte, leere Magazin nur rund 1/5 des vollen Trägers einnimmt, können die Transportkosten des im Umlauf zwischen Verarbeiter und dem Mattenhersteller eingesetzten Magazins niedrig gehalten werden (SCHNEIDER 1996 S. 8).

Das Fixieren von Ausgangsgrößen basiert auf den Prozessen der Prozesskette bei zum Teil geänderter und erweiterter Prozesslösung. Technische Hilfsmittel für die erreichbare geringere Störanfälligkeit und das Reduzieren von Handhabungsvorgängen sind z.B. durchgängig genutzte Werkstückträger, Paletten, Magazine, Bauteilgurte oder Teileketten (vgl. VDI 3237 1967), die das Durchführen notwendiger Hauptprozesse zulassen. Relativ zum Werkstückträger oder zur Teilekette verbleibt das Bauteil in der gleichen Lage und Position. Schließlich sind Prozesse zu entwickeln, die den Ordnungszustand z.B. von der Herstellung direkt in den Speicher überführen.

5.4.3.5 Herstellen von Eingangsgrößen

Das Herstellen von Eingangsgrößen erfolgt durch den Einsatz von Nebenprozessen, womit hier kein Konzept entsteht, das dem technischen Leitziel der Vermeidung kritischer Prozesse der Bereitstellung mit formlabilen Bauteilen nahekommt. Vielmehr wird einer Notwendigkeit durch den Einsatz von Prozessen Rechnung getragen, die innerhalb der Prozesskette nicht wertschöpfend sind.

Damit setzt bei Unmöglichkeit der Realisierung anderer Konzepte entsprechend der vorhergehenden Kapitel hier die konventionelle Planung der Bereitstellung (Kap. 2.2.4) im Sinn einer technischen Lösung für einen notwendigen Nebenprozess ein, der Schnittstellenbrüche überbrücken soll. Die konventionelle Lösung der Bereitstellung bzw. der Abgleich von Aus- und Eingangsgrößen erfolgt durch den Einsatz von Betriebsmitteln („Zuführeinrichtungen“).

Auch bei den nach anderen Modellen geänderten Prozessketten verbleiben Nebenprozesse, die technisch gelöst werden müssen. Um dabei dem wirtschaftlichen Leitziel sicherer Bereitstellungsprozesse bzw. geringem Einfluss der (ggf. unsicheren) Bereitstellungsprozesse auf die Folgeprozesse gerecht zu werden, sind folgende Ansätze möglich:

- Nachgewiesen sichere Technik merkmalszugeordnet einsetzen,
- Technik für Standardprobleme standardisieren und
- kritische Prozesse von der wertschöpfenden Prozesskette entkoppeln,

die im Folgenden näher erläutert werden.

◆ **Merkmalsgeeignete Bereitstellungstechnik**

Nach Kapitel 3.1 können formlabile Bauteile durch Merkmale klassifiziert werden. Damit ist eine Vergleichbarkeit von Bauteilen wie auch dazugehörigen Bereitstellungslösungen gegeben. Durch die Sammlung von Erfahrungen mit der Bereitstellung vergleichbarer Bauteile können Betriebsmittel zum einen optimiert werden. Zum anderen wird bei Vorliegen einer Wissenbasis die Zuordnung eines klassifizierten Bauteils zu erprobter Technik möglich (SCHUSTER 1992, S. 77) (Bild 5-16).

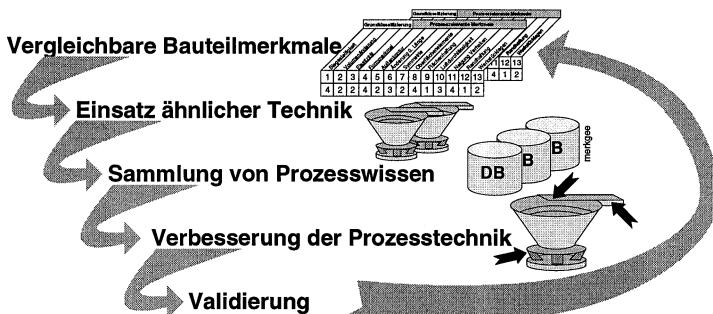


Bild 5-16: Sammlung und Zuordnung von Wissen durch Bauteilmerkmale

Die einzusetzende Technik kann dabei bauteilgruppeneignet, muss aber nicht bauteilspezifisch sein. In einem Entwicklungsschritt ist das grundlegende technische Konzept auf das bauteilspezifische Problem anzupassen. Durch eine Merkmalszuordnung werden Lösungen unabhängig von der technischen Funktion des Bauteils übertragen, die ihren Ursprung in so verschiedenen Bauteilgruppen wie Dichtungen und Schutzfolien haben können. Kapitel 7 stellt einen Vorschlag für den Aufbau einer derartigen Wissensbasis vor.

◆ **Integrierte Mehrfachlösung**

Viele Bereitstellungsprobleme formlabiler Bauteile treten immer wieder in geringer Varianz auf. So werden in Deutschland pro Jahr viele Millionen z.T. standardisierte O-Ringe montiert, aber aufgrund der aufgezeigten Bereitstellungsprobleme nur ca. 10% automatisiert (WÖßNER 1993). Allein ein Kraftfahrzeug besteht bezogen auf die Teileanzahl zu 15% aus formstabilen und formlabilen Normteilen (WALTHER 1997, S. 70). Klassifiziert nach Kapitel 3.1 zeichnen sich eine Vielzahl von standardisierten wie auch nicht standardisierten Bauteilen durch vergleichbare Merkmalskombinationen aus.

Unter mehrfacher Nutzung des Entwicklungsergebnisses sind hier hochkomplexe, aber für verschiedene Bauteilgrößen skalierbare Bereitstellungsressourcen zu entwickeln, die Funktionen des *Speicherns*, *Ordnens*, *Vereinzelns*, *Positionierens* und *Kontrollierens* in einer prozesssicheren Lösung integrieren (SCHNEIDER 1995 S. 1FF). Dabei findet eine räumliche Integration statt, damit zusätzliche Prozesse zum Verbinden zweier Nebenprozesse (z.B. *Führen* zwischen *Ordnung* und *Vereinzelung*) entsprechend des technischen Leitziel vermieden werden. Im Sinn des Prozesskettenansatzes werden Fügeprozesse nicht ausgesetzt, sondern als wesentliche Hauptprozesse der Montage einbezogen. Damit erfolgt die prozesskettenorientierte Integration von Bereitstellungs- und Fügelösung, z.B. in Form von Montagemodulen für Standardbauteile (Bild 5-17).

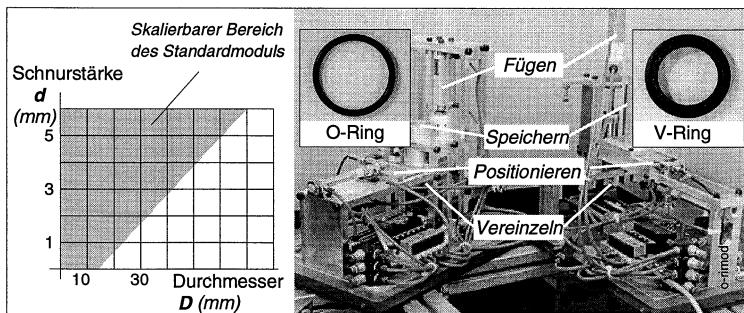


Bild 5-17: Beispiel einer integrierten, skalierbaren Mehrfachlösung für außenliegende langgestreckt-geschlossene Bauteile

Die Wirtschaftlichkeit von Betriebsmitteln wird in hohem Maß durch die Konstruktion und Entwicklung bestimmt. Bei der Entwicklung von Betriebsmitteln für merkmalskonforme oder sogar standardisierte Bauteile werden die Entwicklungskosten auf mehrere Bereitstellungsprobleme verteilt. Durch die mehrfache Anwendung ähnlicher oder gleicher Technik werden Erfahrungen gewonnen, die bei neuen Problemstellungen über die Merkmale zugeordnet und erneut genutzt werden können (SCHNEIDER 1995 S. 8). Zudem wird die Prozesssicherheit durch die mehrfache Einsatzprüfung und daraus möglicher Weiterentwicklungen aufgrund Wissensmehrung erhöht.

♦ Entkoppelung kritischer Prozesse

Um den Einfluss kritischer Bereitstellungsprozesse auf die wertschöpfenden Hauptprozesse (hier Fügeprozesse) zu reduzieren, sind diese zu entkoppeln. Die Berücksichtigung des Leitziel der hohen Verfügbarkeit bedingt entweder

die Bildung kostenintensiver redundanten Systeme oder eine Verschiebung aus der wertschöpfenden Kette, so dass die zu erwartende schlechte Verfügbarkeit ohne Einfluss bleibt. Anders als bei der Verschiebung von Hauptprozessen (vgl. Kap. 5.4.3.3) sind hier (Neben-) Prozesse an Stellen zu verschieben, die die Nachschaltung eines geplanten oder zusätzlich eingeführten Puffers ermöglichen. Damit führt die Prozessverschiebung nicht zur Reduzierung der Anzahl an Nebenprozessen. Die Kosten eines auch zusätzlichen Puffers sind jedoch gegenüber einem Verlust durch mangelnde Verfügbarkeit vernachlässigbar klein (vgl. Kap. 3.2.2.6). Vorausgesetzt wird eine Bereitstellung, die so leistungsfähig ist, dass Taktzeitverluste durch Störungen kompensiert werden. Jeder geplante Puffer sollte in einer Folge von Bereitstellungsprozessen sehr spät angeordnet sein (Bild 5-18).

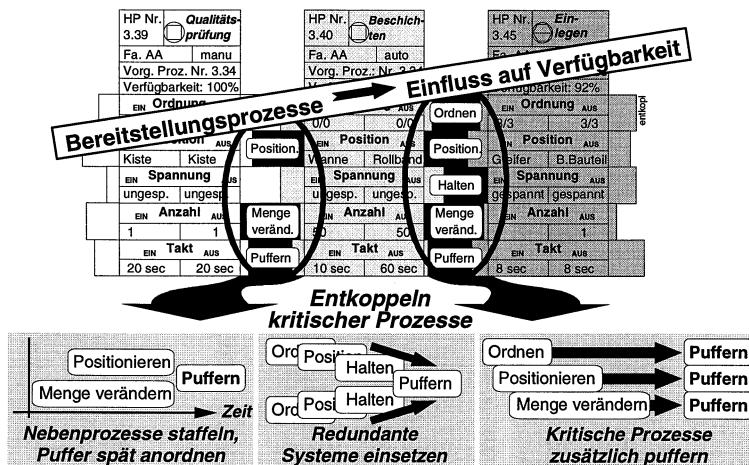


Bild 5-18: Entkoppeln kritischer Bereitstellungsprozesse

Neben einzelnen Prozessen können auch Prozesskettenabschnitte aus der Ausgangskette herausgenommen und anderweitig implementiert werden. ROCKLAND (1995) beschreibt den Aufbau von Kommissionierzellen, in denen beispielsweise Ordnungs- und Vereinzelungsvorgänge unter Nutzung von geordneten Speichern getrennt von den Fügeprozessen erfolgen. So können Bereitstellungsprozesse zur Herstellung notwendiger Eingangsgrößen am Wareneingang bzw. in einer dem Fügeprozess vorgelagerter Station beim Verarbeiter durchgeführt werden. Der Vorteil liegt auch hier in einer erhöhten Prozesssicherheit des Fügeprozesses durch Pufferung störungsanfälliger Bereitstellungsprozesse.

5.4.3.6 Einfluss der Vorgehensmodelle auf den Entwicklungsprozess

Durch den Einfluss auf die Ausprägung von Hauptprozessen, durch Nutzung von für die Teilebereitstellung geeigneten Ausgangsgrößen früh angeordneter Hauptprozesse und durch die Anordnung der Hauptprozesse sind physische Prozessketten durchgängig zu gestalten und zu verschlanken. Die Entwicklung und Realisierung von Konzepten der Bereitstellung über die Modelle der Prozesskettenbetrachtung setzt die mögliche Einflussnahme auf Abschnitte des Entwicklungsprozesses voraus. Gleichsam beeinflusst ein angewandtes Modell wie auch das resultierende Bereitstellungskonzept die Prozess-, Produkt- und Produktionsplanung technisch und wirtschaftlich in unterschiedlichem Maß (Bild 5-19). So fordern neue Prozessketten zum einen die Entwicklung neuer Technik durch neue Verknüpfungen. Zum anderen wird durch die Veränderung von Prozessketten von der Teilefertigung bis zur Montage die Abgrenzung dieser Bereiche unscharf - so sind Montageprozesse in der Fertigung und Fertigungsprozesse in der Montage zu realisieren.

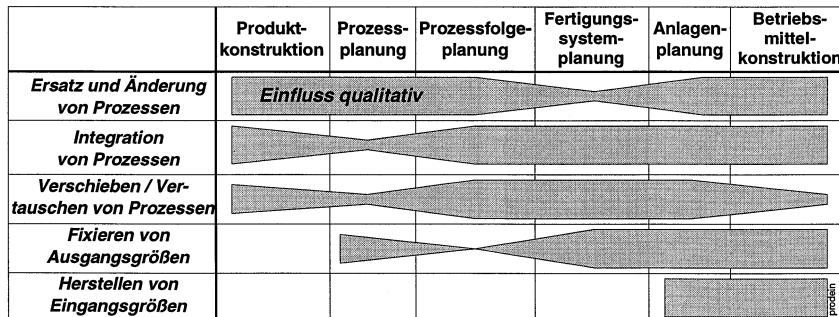


Bild 5-19: Einfluss der Vorgehensmodelle auf die Produktionsplanung

Die Produktkonstruktion muss die Art und Folge der Prozesse berücksichtigen, so z.B. eine geänderte Montagereihenfolge durch die Gestaltung des Verbindungsaufbaus und die Lage der Prozesseingriffsorte ermöglichen. Damit muss aus der Grobplanungsphase gegebenenfalls erneut ein Rückschluss zur Konstruktion erfolgen. Die Prozesse wie auch deren Folge sind innerhalb der Bereitstellungsplanung Ansatzpunkt und Änderungsansatz der Konzeptbildung. Durch die Neuverteilung von Hauptprozessen ist die Fertigungssplanung bzw. das Fertigungssystem wie auch das Zulieferkonzept betroffen. Die Anlagenplanung basiert auf der Verknüpfung von Prozessen und ist damit unmittelbar abhängig von deren Art und Ausführung. Letztlich muss die Bereitstellungslösung über die Betriebsmittelkonstruktion realisiert werden.

Die wirtschaftlichen Konsequenzen bei Anwendung der Vorgehensmodelle zur Bildung von Bereitstellungskonzepten basieren auf zwei Hauptkostenfaktoren. Zum einen ist der technische Aufwand der Realisierung der Bereitstellungslösungen zu berücksichtigen. Zum anderen entsteht durch die Planung der Bereitstellung ebenfalls in Kosten zu bewertender Aufwand (Bild 5-20). Weiteres Kriterium ist die notwendige Bildung oder Bereitstellung von Fach- und Methodenwissen, um die Konzepte tragfähig gestalten zu können (SCHIERHOLT 1998). Da eine Verifizierung von den Produkten und den eingesetzten Prozessen abhängt, ist weder eine allgemeine Quantifizierung des Planungsaufwands bzw. der technologischen Einsatzes noch ein Optimum zwischen diesen Größen darzustellen.

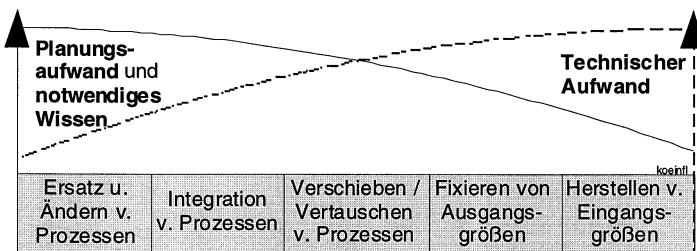


Bild 5-20: Qualitativer Einfluss der Modelle auf den technischen und planerischen Aufwand

5.4.4 Bewertung und Entscheidung

Jede neue Folge von Prozessen wie auch jeder Einsatz neuer oder geänderter Prozesse erfordert eine neue Bereitstellungslösung, da stets andere Bereitstellungsprozesse durch die Kombinationen von Aus- und Eingangsgrößen notwendig werden. Ein Optimum kann gefunden werden, wenn über das vorgestellte Verfahren technisch sinnvolle und realisierbare Alternativen von Prozessketten bzw. Bereitstellungskonzepten entwickelt werden. Hinsichtlich der technischen Eignung für formlabile Bauteile bewertet, ist das technisch geeignete Bereitstellungskonzept eine durchgängiges Konzept ohne bzw. mit möglichst wenigen Schnittstellenbrüchen und damit möglichst geringer Notwendigkeit zur Einführung von Bereitstellungsprozessen. Diese Vorstellung korreliert nur selten mit den Anforderungen der Wirtschaftlichkeit. Zudem ist eine technische Realisierbarkeit der theoretisch ermittelten Prozessfolge vielfach in Frage zu stellen.

Die Entscheidung für ein Konzept kann durch die individuelle und vergleichende Prüfung der Wirtschaftlichkeit nach Kapitel 3.2 über die systematische Identifikation der kostenverursachenden Faktoren geklärt werden. Entsprechend dem dargestellten Verfahren (Kap. 3.2.3) sind dafür die ermittelten Alternativen wirtschaftlich gegeneinander oder gegen einen Vergleich zu bewerten. Die technische Realisierbarkeit ist durch den Planer zu prüfen und sicherzustellen. Entsprechend betriebswirtschaftlichen Grundsätzen ist schließlich eine Entscheidung der über die Prozesskette kostengünstigsten Alternative zu fällen. Erst die individuell nachzuweisende Wirtschaftlichkeit bietet die Entscheidungsgrundlage für die Auswahl sowie den Nachweis für den Nutzen durchgängiger Bereitstellungskonzepte.

5.5 Zusammenfassung

Das vorgestellte Konzept der Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile baut mit Zielrichtung der Gestaltung kurzer und robuster Prozessketten auf der prozesskettenorientierten Bauteilgestaltung und der methodischen Veränderung der Kette von Fertigungs- und Bereitstellungsprozessen auf (Bild 5-21).

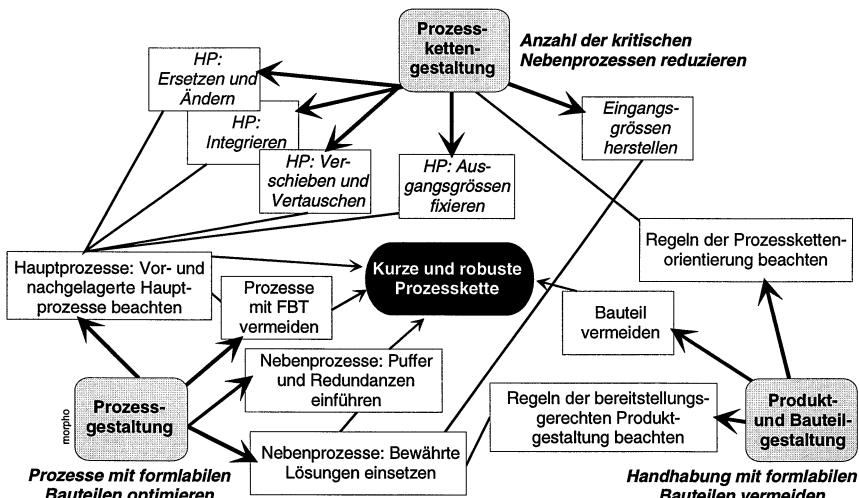


Bild 5-21: Morphologie und Bedingungsgefüge der Einflussmöglichkeiten zur prozesskettenorientierten Bereitstellung

Zum einen hat die Produktgestaltung unmittelbar Einfluss auf die Prozessauswahl und -abfolge. Mit der Orientierung an Prozessketten der Montage wurde zudem ein Verfahren zur Planung der Bereitstellung entwickelt, das innerhalb der Montagesystemplanung ansetzen soll, wenn ein formlabiles Bauteil als bereitstellungstechnisch prozesskritisch dedektiert wurde. Dabei schafft die Prozesskettenanalyse Transparenz über die Fertigungsfolge und ermöglicht so das Erkennen von bereitstellungstechnischem Rationalisierungspotential. Das Verfahren löst dabei nicht ein einzelnes Bereitstellungsproblem, sondern versucht, die Notwendigkeit von Bereitstellungsprozessen zwischen den Hauptprozessen durch das Anstreben von Durchgängigkeit zu reduzieren.

Die vorgestellten Modelle zur Optimierung der Prozesskette bilden den Ausgangspunkt zur Überarbeitung von bestehenden oder neu aufzubauenden Ketten in der Montage und Teilefertigung. Veränderungen in der Prozesskette bedingen die Veränderung der Hauptprozesse wie auch die Einführung und Gestaltung von Nebenprozessen (Bild 5-21). Durch die enge Verknüpfung von Bauteilgestaltung, Prozessauswahl und Prozesskette löst eine Änderung der Prozesskette die Notwendigkeit des erneuten Durchlaufens des Produktentstehungsprozesses aus (Bild 5-1).

6 Exemplarische Konzeptanwendungen zur Entwicklung von Bereitstellungslösungen

Das mit dem prozesskettenorientierten Planungsvorgehen nach Kapitel 5 zu entwickelnde Bereitstellungskonzept bildet die Grundlage zur Erarbeitung der Ausführung von Neben- aber auch Hauptprozessen in der gewählten Reihenfolge. Die Optimierung der Bereitstellung verändert dabei konventionelle Prozessketten, um den Eigenschaften formlabiler Bauteile gerecht zu werden. Aufgrund des prozesskettenorientierten Vorgehens entstehen dabei weniger Lösungen der Bereitstellungstechnik im Sinn von Zuführeinrichtungen, sondern vielmehr Technik zur Lösung der aus dem Konzept resultierenden Fertigungsaufgaben. Diese Technik ist jeweils nicht allein einer Bauteilkategorie zuzuordnen, sondern ist vielmehr geeignet für Bauteile mit einer spezifischen Kombination von Merkmalen. Eine Strukturierung der Bereitstellungstechnik nach einzelnen Bauteilmerkmalen des Kapitels 3.1.2 ist weder durchführbar noch sinnvoll.

Nach der Zusammenstellung von Kriterien zur Lösungsgestaltung (Kap. 6.1) wird beispielhaft die Realisierung von Lösungen der Dichtungsmontage (Kap. 6.2), der Schlauchmontage (Kap. 6.3) und der Montage von tiefgezogener Folie (Kap. 6.4) vorgestellt und das Vorgehen nach Kapitel 5 verifiziert.

6.1 Kriterien der Gestaltung von Bereitstellungslösungen

Wie jeder produktionstechnische Prozess unterliegt auch die Bereitstellung betriebswirtschaftlichen Grundsätzen, die jedoch dem wirtschaftlichen Optimum über die gesamte Prozesskette unterzuordnen sind. Kapitel 3.2.2.6 zeigt auf, dass die aus Bereitstellungsprozessen resultierende Verfügbarkeit die Wirtschaftlichkeit der Bereitstellung und aller nachfolgender Prozesse der (automatisierten) Produktion in hohem Maß negativ beeinflusst. Neben der Erzielung geringer Kosten ist es daher Leitziel für die Umsetzung eines Bereitstellungskonzepts, den *Einfluss der bereitstellenden Prozesse auf die wertschöpfenden Prozesse zu minimieren* (Bild 6-1).

Technisch sind Bereitstellungskonzepte für formlabile Bauteile mit den daraus resultierenden Anforderungen an die Bereitstellungsprozesse unter das Hauptkriterium und -ziel der *Vermeidung bzw. Reduzierung der Anzahl der Handhabungsvorgänge* zu stellen, da mit jedem entfallenen Bereitstellungsprozess die resultierende Verfügbarkeit steigt. In der Montage werden Pro-

zessketten mehrerer Bauteile im Fügeprozess zusammengeführt. Nur selten werden dabei gleichermaßen formlabile, prozesskritische Bauteile gefügt. Als weitere Maßgabe bei der Planung der Konzepterstellung ist anzustreben, *Handhabungsvorgänge stets mit dem formstabileren Bauteil durchzuführen* - unabhängig davon, welches Bauteil ursprünglich als Basis- und als Fügebauteil geplant ist.

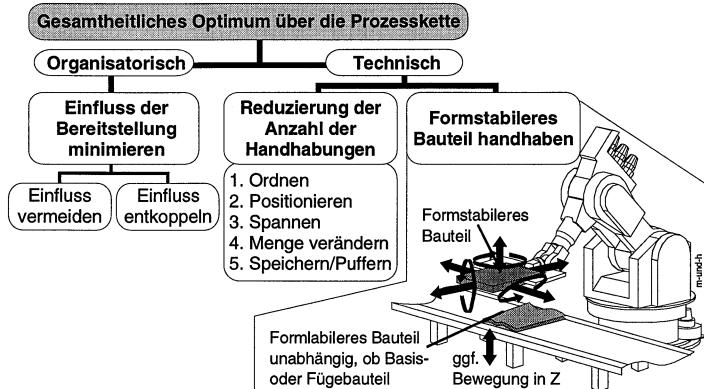


Bild 6-1: Kriterien bei der Realisierung von Bereitstellungslösungen

Voraussetzung für den Einsatz einer technischen Bereitstellungslösung ist deren Wirtschaftlichkeit. Komponenten zur hochverfügbaren Bereitstellung wie auch Fertigungsprozesse formlabiler Bauteile sollten darüberhinaus nach Kriterien entwickelt werden, die aus den Analysen (Kap. 2.2) sowie realisierten Bereitstellungskonzepten extrahiert wurden (Tab. 6-2a/b)

Allgemein
<ul style="list-style-type: none"> • Angriff von Halte-, Greif- und Reibkräften am Bauteil vermeiden. • Kräfte flächig einbringen (GÖTZ 1991 S. 53). • Formlabilität durch Wahl der Prozesstemperatur und Bildung von Bauteilverbünden reduzieren. • Bauteilform bei plastischem Material durch formende Elemente unterstützen. • Bauteilform bei fließenden Materialien generieren. • Handhabung auf das jeweils formstabilere Bauteil verlagern. • Formstabileres Bauteil mit der Schwerkraft lagern, da die zum Halten erforderlichen Prozesskräfte höher sind als die Gewichtskraft ($F_{\text{Halt}} > F_G$).
Speichern (insbes. Auslegung von voll- und teilgeordneten Speichern)
<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Reibung und Haftung anstreben. • Geringe Flächenpressung zwischen Bauteilen und Magazinen realisieren. • Enge Toleranzen zwischen Bauteil- und Magazingeometrie vorsehen. • Bauteilverformung durch Eigen- und Fremdbauteilgewicht vermeiden.

Tabelle 6-2a: Kriterien zur Gestaltung von Bereitstellungslösungen (Teil I)

Ordnen / Positionieren
<ul style="list-style-type: none"> Automatisiertes Orientieren und Positionieren nur einsetzen, wenn eine Konstanz der Geometrie der Bauteile während der Prozesse gewährleistet wird (KROCKENBERGER 1995 S. 35). Bauteile für die Zeittdauer der Prozesse vollständig oder partiell (in einigen Achsen) versteifen (RAUSCH 1987). Geometrische Merkmale der Bauteile zum Positionieren nicht mechanisch abtasten, sondern kontaktlose sensorische Verfahren bevorzugen. Bauteile ganzflächig führen, um die Veränderung der Kontur während des Positionierungsvorgangs zu verhindern (GIBSON U.A. 1990 S. 220).
Mengen verändern (reduzieren)
<ul style="list-style-type: none"> Neben Prozessen wie Abschieben oder Abheben ist insbesondere der Einsatz von Trenntechnik zu berücksichtigen, um endlose Bereitstellung zu ermöglichen. Verformungen während des Vereinzelns durch Trennen durch Einsatz kraftloser Trenntechnik und Spannen ohne Zug- oder Druckspannungen vermeiden. Trennflächen nachbearbeitungsfrei gestalten.
Sichern
<ul style="list-style-type: none"> Bauteil durch den Sicherungsprozess stabilisieren. Geometrische Merkmale nicht als Formschlusselemente nutzen. Erzeugte Ordnungsgrade durch die Gestaltung der Greiftechnik und der Handhabungskinematik beim Spannen und Entspannen beibehalten.
Bewegen
<ul style="list-style-type: none"> Längenänderungen in der Bewegungsrichtung aufgrund Krafteinbringung durch Antriebsgestaltung verhindern. Bewegungen relativ zum antreibenden Element vermeiden (z.B. Rollenförderer)

Tabelle 6-2b: Kriterien zur Gestaltung von Bereitstellungslösungen (Teil II)

6.2 Bereitstellungslösung *Dichtung*

Die Flachdichtung mit den Außenmaßen 110mm x 60mm x 1,1mm eines hydraulischen Geräts wird durch die Klassifizierung gemäß Kapitel 3.1 beschrieben (Bild 6-3). Die resultierende Bewertungszahl BMZ_{13} von 2,3 gibt den Hinweis, dass das Bauteil mit konventioneller Bereitstellungstechnik nicht technisch sinnvoll automatisierbar bereitzustellen ist (vgl. Kap. 3.1.3). Ausschlaggebend ist eine starke Randanhäftung, die aus den Anrisse des eingesetzten Formgebungsverfahrens *Stanzen* resultiert.

In der Konstruktion konnte das Bauteil bereitstellungstechnisch dahingehend optimiert werden, dass anstelle einer zunächst geplanten mehrdimensional geformten Formdichtung (Elastomer) eine Flachdichtung eingesetzt wurde.

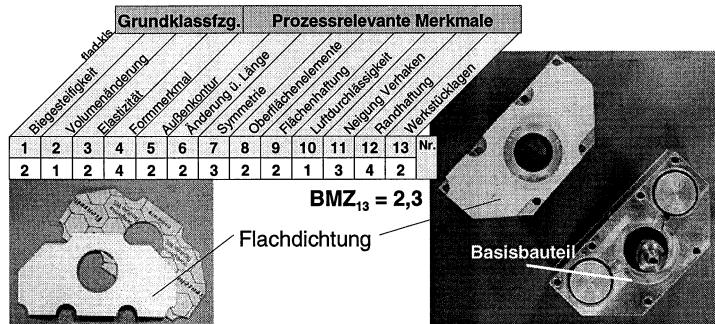


Bild 6-3: Bereitstellungsproblem Flachdichtung

6.2.1 Prozesskette und Analyse

Das mittels Kalander hergestellte Dichtungsmaterial wird beim Hersteller in Streifen geschnitten, in einer Stanze geformt und nach einer Qualitätskontrolle beim Verarbeiter gefügt. Das System der Montage ist in Richtung der Bauteilfertigung nur bis an den Prozess des Kalanderabzugs zu erweitern, ohne diesen zu umschließen, da das Know-How der Dichtstoffherstellung nicht übertragbar und der Prozess nicht beeinflussbar ist. Die trennende Formgebung des Bauteils muss vor dem Fügeprozess erfolgen, da Bohrungen und Aussparungen eingebracht werden müssen (Bild 6-4).

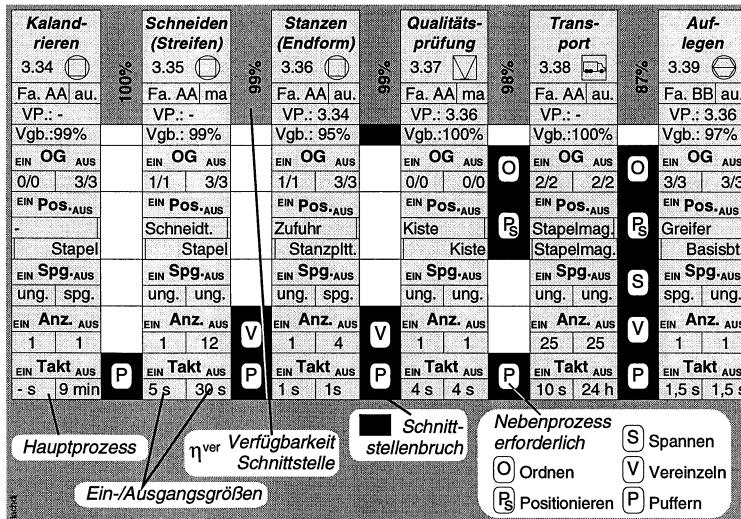


Bild 6-4: Prozesskette der Flachdichtung

Die Flachdichtung wird in dem Fügeprozess auf ein Basisbauteil positioniert und durch *Auflegen* gefügt. Die Bereitstellungslösung der Dichtung sieht eine geordnete Bereitstellung vor, die durch ein Stapelmagazin realisiert wurde. Aufgrund der Randanhaftung, die so hoch ist, dass das zurückbleibende Bauteil fixiert werden müsste, scheitert die automatisierte Bereitstellung an dem Vereinzelungsprozess. Bei dem zum Fügen eingesetzten Pick-and-Place-Vorgang werden zudem die Lagetoleranzen aufgrund ungenügend tolerierter Bereitstellung deutlich überschritten. Während der Fügeprozess aufgrund seiner Einfachheit eine hohe Verfügbarkeit aufweist, ist die Prozesskette aufgrund der notwendigen Bereitstellungsprozesse in hohem Maß instabil.

Die Analyse der Hauptprozesse hinsichtlich Abhängigkeiten und Prozessgrößen zeigt auf, dass beim Stanzen ein Prozessausgangsprofil vorliegt, welches dem Eingang des Fügeprozesses entspricht. Die Prozesskettenanalyse führt daher zu folgenden konzeptionellen Aussagen:

- Der Ersatz des Fügeprozesses *Auflegen* ist nicht möglich, da das Dichtungsmaterial nicht durch andere Prozesse aufzubringen ist.
- Technisch bedingt ist eine Prozessintegration (z.B. Stanzen des Bauteils auf dem Basisbauteil) nicht durchzuführen.
- Die Verlagerung der Formgebung komplett (z.B. Stanzen vor der Montage) oder teilweise (z.B. Verarbeitung als Teilekette) unmittelbar vor den Fügeprozess ist konzeptionell realisierbar.
- Bei Beibehaltung der für den Fügeprozess erforderlichen Prozessgrößen aus dem Stanzprozess müssen Folgeprozesse wie z.B. die Qualitätskontrolle am geordnet und vereinzelt vorliegenden Bauteil durchgeführt werden.

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 5.4.3 vorgestellten Vorgehensmodelle zur Konzeptbildung ist es hier möglich, die Bereitstellung durch Fixieren von Ausgangsgrößen (Kap. 5.4.3.4) oder durch Verlagerung (Kap. 5.4.3.3) zu optimieren.

6.2.2 Konzept *Fixieren von Ausgangsgrößen durch Teilekettenbildung*

Für das Fixieren von Ausgangsgrößen des Stanzprozesses (Bild 6-5) bis zum Fügeprozess sind geordnete Speicher- und Weitergabelösungen erforderlich. Ziel bei der Bildung von Teileketten ist zum einen die Stabilisierung der formlabilen Bauteile durch den Bauteilverbund, zum anderen die Schaffung

einer Möglichkeit zum Positionieren und Ordnen, ohne das Bauteil unter dem Aufbringen von Kräften greifen zu müssen. Das vorliegende langgestreckt-geschlossene Bauteil weist keine Änderung des Querschnitts über der Länge auf, weshalb eine entstehende Teilekette ohne Zwischenlagen aufgespult oder aufgestapelt werden kann. Geeignete Lösungen basieren auf mehr- bzw. einstoffigen Teileketten durch Trennen.

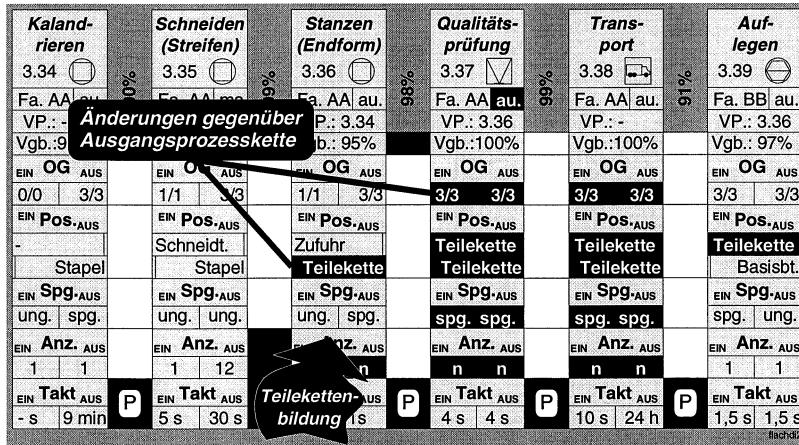


Bild 6-5: Verbesserte Prozesskette durch Fixieren der Ausgangsgrößen

6.2.2.1 Mehrstoffige Teileketten durch trennende Formgebung

Eine erste Möglichkeit zur Herstellung von Teileketten ist durch das Aufbringen auf Trägermaterialien wie Folien und Bänder gegeben. Zum Fixieren der Ausgangsgrößen muss das Aufbringen der vereinzelten Bauteile in der Stanze erfolgen, wobei die Haftkraft (unter Berücksichtigung der Unterstützung durch Auswerfer und Niederhalter) zwischen Trägermaterial und Bauteil größer sein muss als eine vorhandene Rückzughaltung zwischen Bauteil und Stanzmesser. Genutzt wird das Verfahren der mehrstoffigen Teilekettenbildung im Kennzeichnungsbereich, in dem Mehrfachfolien teilgestanzt werden, so dass die Bauteile ausgestanzt, das Trägermaterial jedoch unbearbeitet bleibt (FELIX 1998, S.30). Das Trägermaterial dient dabei zur Versteifung des Bauteils und als Kraftangriffsstelle für Handhabungstätigkeiten der Bereitstellung. Mit dem Aufbringen des Bauteils auf einen Träger wird das Bauteilkoordinatensystem KOS_{BT} gegenüber einem Trägerkoordinatensystem $KOS_{Träger}$ fixiert. Die Handhabung des als formstabil zu wertenden Trägers, d.h. das Verschieben des $KOS_{Träger}$ zum System der Bereitstellungstechnik, ist sicher zu bewerkstelligen (Bild 6-6).

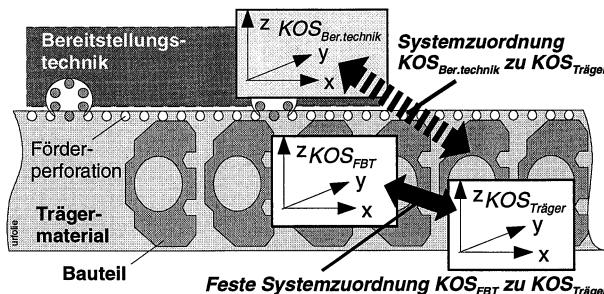


Bild 6-6: Systemzuordnung bei Teileketten

Zur Nutzung der Stabilisierung formlabiler Bauteile durch den Träger sind bewegte Kettenkonzepte einzusetzen, bei denen die Handhabungsvorgänge mit dem Träger, nicht aber mit dem Bauteil erfolgen. Linien-

formige Ketten weisen dabei den Vorteil auf, nur eine Bewegungssachse zum Positionieren zu erfordern. Als Trägermaterialien dienen adhesive Folien und Netze des Verpackungs- und Kennzeichnungsbereich (Bild 6-7). Für das Vereinzen bzw. Ablösen der in mehrstoffige Teileketten magazinierten Bauteile wird auf die Lösungen dieses Bereichs verwiesen, die im Allgemeinen auf dem Abschieben der Bauteile über eine Kante basieren.

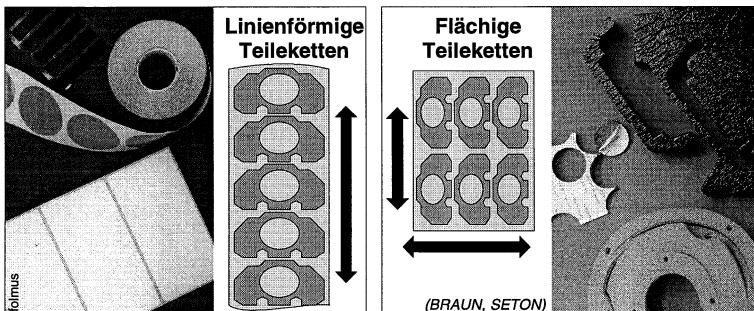


Bild 6-7: Bewegte Teileketten auf Trägermaterialien

6.2.2.2 Einstoffige Teileketten durch trennende Formgebung

Prozesse der Formgebung durch Trennen wie Stanzen, die bei der Herstellung formlabiler flächenförmiger und langgestreckt-geschlossener Bauteile eingesetzt werden, erzeugen einen vollständigen geordneten Zustand. Das Bauteil wird dabei aus einer größeren Materialmenge herausgelöst. Diese umgebende Materialmenge wird genutzt, um das Bauteil in Form von Teileketten zu stabilisieren (Bild 6-8). Der Begriff *Teilekette* ist gerechtfertigt, wenn mindestens 85% der zur Formgebung einzubringenden Arbeit am Bauteil ge-

leistet wurde, darüberhinaus ist von der *Fertigung in der Montage* auszugehen.

Bei der Bildung von Teileketten durch trennende Formgebung von flächigen Bauteilen werden Stege für den Halt des Bauteils im Teileverbund oder im Materialabschnitt bei der Formgebung ausgespart. Diese Stege sind in einem weiteren Prozess zu durchtrennen, um das Bauteil aus dem Teileverbund zu vereinzeln. Um eine Abgrenzung perforierter Teileketten zu erzielen, wird hier bei dem Begriff *Perforieren* davon ausgegangen, dass die ungeschnittenen und geschnittenen Abschnitte in regelmäßigen Abständen aufeinander folgen, während bei anderen Teileketten gezielt Stege an bauteilkritischen Orten als Unterstützung oder an unkritischen Stellen zum Halten im Teileverbund angebracht werden (Bild 6-8a-d).

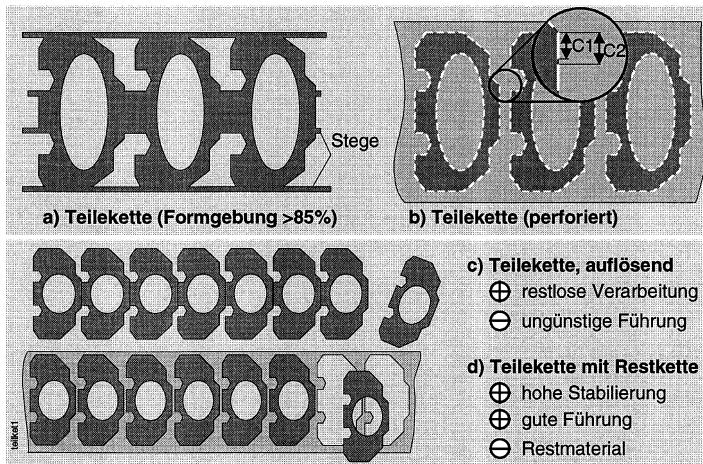


Bild 6-8: Einstoffige Teileketten

Die Vereinzelung von Bauteilen aus einer Teilekette wird durch einen Formgebungsschritt abgebildet, bei dem die verbliebenen Stege durchtrennt werden. Die Größe einer fertigungstechnischen Einrichtung zum Stanzen ist proportional zur Länge der Trennlinie, da diese im Verhältnis zur notwendigen Kraft steht (BRANKAMP 1975). Eine Einrichtung zum Trennen von Stegen baut daher klein und kann als Bereitstellungseinrichtung in bestehende Montageeinrichtungen integriert werden.

Das Auslösen *perforierter Bauteile* erfolgt mittels des Trennverfahrens *Durchreißen* nach DIN 8588 Teil 3.1.5.0.1 (1984) entlang einer vorbestimmten offenen oder geschlossenen Trennlinie. Die Richtung des Auslösens kann durch Drücken durch das umgebende Material hindurch oder Ziehen von Material

weg erfolgen, wobei beim Durchdrücken der Einsatz eines für verschiedene Konturen flexibel einsetzbaren Stempels nur aufwendig zu realisieren ist (Bild 6-9).

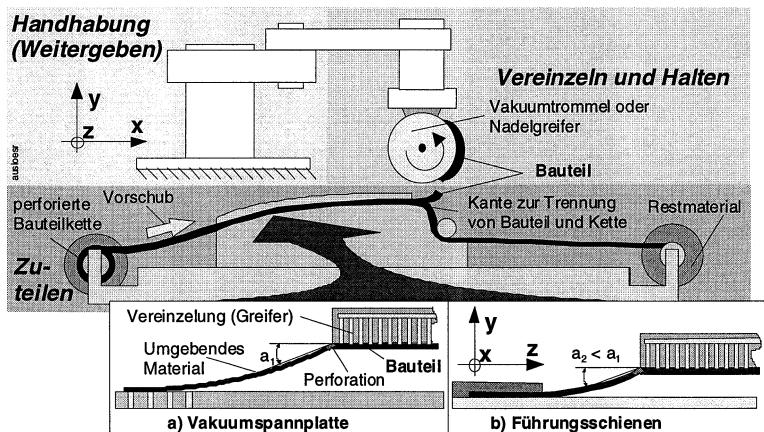


Bild 6-9: Aufbau einer Einrichtung zum Bereitstellen perforierter Teileketten

Das Durchreißen perforierter Bauteile erfordert die Bildung eines gezielten Anisses, der durch das Strecken des Materials über eine Kante realisiert wird. Durch das Größenverhältnis des Bauteils zur gesamten Teilekette des formlabilen Materials (je kleiner die Bauteilgröße, desto höher die Biegesteifigkeit, vgl. Kap. 3.1.2.1) verhält sich das auszulösende Bauteil steifer als das umgebende Material und löst sich aus dem Teileverbund. Damit das Bauteil vom umgebenden Material werkzeugfrei abgesichert werden kann, muss das umgebende Material gespannt werden. Ideal ist ein flacher Trennwinkel, der durch nah an der Perforation positioniertes Spannen erreicht wird (Bild 6-9 a-b).

Perforierte Teileketten sind einsetzbar, wenn das Herstellverfahren die Formgebung als letzten Schritt der Prozesskette vor der Montage zulässt, keine Anforderungen an die Kantenqualität gestellt werden und folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Kein Materialbruch im Bauteil beim Knicken über die Kante,
- geringstmögliche Stegbreiten bzw. -querschnitte,
- Zulassen eines Anisses durch die Geometrie der Perforationslinie,
- Gewährleistung eines durchgehender Rissfortschritts und
- Berücksichtigung von Aufbau, Form und Anrisslage in der Bauteilkonstruktion (Tab. 6-10).

	ungeeignet	geeignet
Aufbau		
Auflösungs-bild		
Abschnitte		
Anriss- und Bauteilform		
keine Hinterschneidungen		
runde, geschlossene Form		
keine Spalten, parallele Anrissformen		
Öffnungswinkel zwischen 25° und 120°		
Anrisslage		
an großem Öffnungswinkel		

Tabelle 6-10: Bereitstellungsgerechte Gestaltung perforierter Teileketten

Deutliche Vorteile von Teileketten liegen in der einfachen Handhabung kritischer Bauteile zu Hauptprozessen. So werden z.B. Vormontagen für Kleinstteile, aber auch Drucke und Markierungen im Bereich der Folienverarbeitung wie z.B. bei der Tastaturherstellung ermöglicht. Flachdichtungen können noch im Teileverbund mit notwendigen Verstärkungen ausgestattet werden und nahezu alle üblichen Qualitätskontrollen durchlaufen, bevor sie vereinzelt werden. Damit wird nicht nur die Sicherheit der Bereitstellung für Endmontagen verbessert, sondern eine bereitstellungstechnisch durchgängige Gestaltung kompletter Prozessketten ermöglicht.

6.2.3 Konzept Verlagerung der trennenden Formgebung

Anders als mit der oben beschriebenen Teilekettenbildung kann die Prozesskette auch durch die Verlagerung (Kap. 5.4.3.3) des vollständigen Stanzens bzw. die volle Formgebung des Bauteils in die Montage optimiert werden (Bild 6-11). Die Integration stellt zwei wesentliche Randbedingungen: Zum einen

muss die beengte räumliche Situation in automatisierten Montageanlagen berücksichtigt werden. Zum anderen ist die trennende Formgebung statistisch gesehen nicht vollständig verfügbar, weshalb eine Qualitätsprüfung nachzuschalten ist.



Bild 6-11: Verlagerter Stanzprozess und Integration der Qualitätsprüfung

In der für das beschriebene Beispiel eingesetzten Lösung wird das Dichtungsmaterial in Streifen zugeführt. Die entwickelte pneumatisch betriebene Stanzpresse bringt über eine Kniehebelkinematik eine Kraft von ca. 5 t auf, die der im ursprünglichen Formgebungsprozess aufgebrachten Kraft angeglichen ist. Der mit dem Stanzprozess generierte Ordnungszustand wird durch eine Handhabung übernommen und dem angeschlossenen Fügeprozess aufgeprägt.

Zur Sicherung der Qualität, die Aus- und Anrisse sowie Materialinhomogenitäten berücksichtigen muss, wurde vor dem Stanzprozess eine Durchlichtprüfung des eingehenden Materials mit Hilfe einer Zeilenkamera eingeführt. Formtoleranzen und Kantenqualität werden mit einer weiteren Bildverarbeitung geprüft (Bild 6-12). Die Entwicklung der Stanze mit integrierter Qualitätskontrolle erfolgte modular, so dass eine Übertragbarkeit durch Skalierung auf Bauteile mit ähnlicher Merkmalskombination möglich ist. Die mögliche Häufigkeit des Einsatzes erlaubt die Beschreibung als integrierte Mehrfachlösung (Kap. 5.4.3.5).

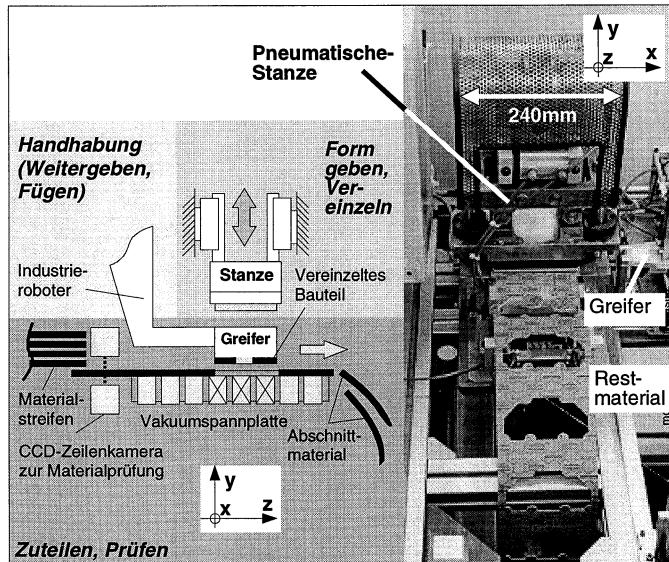


Bild 6-12: Konzept und realisierte Bereitstellungslösung

6.2.4 Wirtschaftlichkeit

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit der Lösungen gegenüber der bestehenden Prozesskette wurden die Prozesskosten über den betrachteten Prozesskettenabschnitt gemäß Kapitel 3.2.3 ermittelt und auf das formlabile Bauteil verrechnet (Bild 6-13).

Bis zum zweiten Bereitstellungsschritt liegt bei den aufgezeigten Alternativen eine identische Kostenentwicklung vor. Hauptkostenfaktoren der Ausgangs-Prozesskette liegen weniger in der Technik oder dem Personaleinsatz als vielmehr in der resultierenden, geringen Verfügbarkeit des Fügeprozesses aufgrund der Bereitstellungsprozesse und -lösungen.

Die Herstellung einer durchgängig genutzten, hier vor- und abgestanzten Teilekette führt zu Kostenerhöhungen im Stanzprozess, durch den automatisierten Qualitätssicherungsprozess sowie in der Bereitstellungstechnik für den Fügeprozess. Zudem ist Abschnittsmaterial zu berücksichtigen, welches bislang wieder in das Ausgangsmaterial des Herstellers eingehen kann. Vorteile zeigen sich jedoch durch einen wesentlich stabileren Prozess des wertschöpfenden Fügens (Bild 6-13).

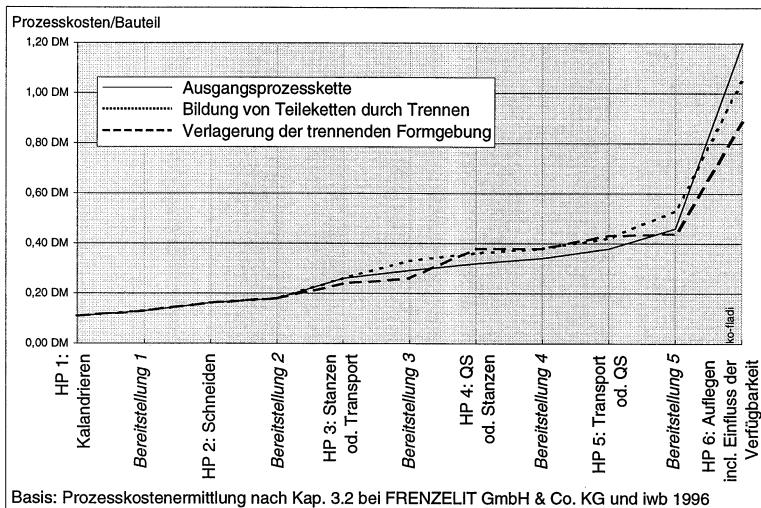


Bild 6-13: Vergleich der Prozesskosten über die betrachtete Prozesskette

Hauptkostenfaktoren bei Verlagern des Stanzprozesses liegen insbesondere in der Neuentwicklung des integrierten Stanzmoduls und integrierter Qualitätsprüfung durch Bildverarbeitung. Bei deutlicher Reduzierung der Zahl der Bereitstellungsprozesse gleicht der Vorteil der hohen Prozesssicherheit diese Nachteile überproportional aus. Durch die mögliche Mehrfachanwendung der Bereitstellungslösung ist zudem eine Kostenreduzierung durch Aufteilung der Konzeptions- und Konstruktionskosten des integrierten Stanzmoduls zu erwarten.

6.3 Bereitstellungslösung Schlauchmontage

Vulkanisierte Schläuche werden im Fahrzeugbau und im Haushaltgerätebereich für das Führen flüssiger und gasförmiger Medien wie Kühlmittel oder Zu- und Abwasser eingesetzt, wobei die Schläuche zur räumlichen Optimierung geformt sind (FRANKENHAUSER 1988 S. 15). Funktionsbedingt ist der Einsatz eines ungeformten und damit bereitstellungstechnisch wesentlich unkritischeren Bauteils nicht zulässig. Das vorliegende langgestreckt-offene Bauteil mit einer Änderung des Querschnitts über der Länge ist merkmalskonform mit Bauteilen wie Dichtformteilen und Dichtfüllen. Die durch die Motorraumausnutzung bedingte Form des Schlauches lässt keine Symmetrie zu, so dass das Bauteil vollgeordnet gefügt werden muss. Hohe Ansprüche an die Bereit-

stellungstechnik resultieren zudem aus der Haftung der Bauteile untereinander sowie aus deren Neigung, als Schüttgut zu verwirren.

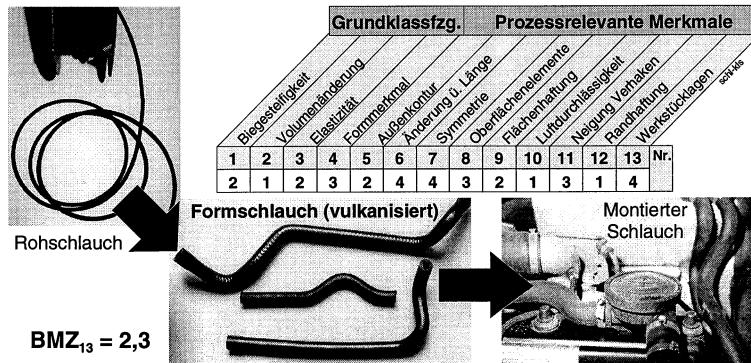


Bild 6-14: Zwischenprodukte der Prozesskette Schlauchmontage

Um das Knicken in Radien zu vermeiden, werden die Schläuche geformt, vulkanisiert und abschließend abgelängt. Die Montage von Formschläuchen erfolgt in der Regel manuell, da das automatisierte Ordnen und Positionieren nur schwer möglich ist (WARNECKE & FRANKENHAUSER 1995 S. 23), was durch die Bewertungszahl BMZ_{13} mit 2,3 bestätigt wird (Bild 6-14).

6.3.1 Prozesskette und Analyse

Zur Erstellung eines automatisierungsorientierten Bereitstellungskonzepts wird die Prozesskette daher vom Formungs- bis zum Fügeprozess betrachtet. Der Vorgang der Schlauchherstellung und Vulkanisierung ist nicht auf den Verarbeiter übertragbar. Andererseits kann die Montage aus logistischen Gründen nicht beim Schlauchhersteller erfolgen, da der Fügeprozess in das Aggregat kurz vor der Fertigstellung durchgeführt wird. Dies bedingt den Einbezug des Schlauchherstellers in die Optimierung der Prozesskette.

Formgebender Schritt ist das Aufdornen des Rohschlauchs auf Dorne. Die entstandene Form wird durch Vulkanisieren fixiert, weshalb ein vollgeordneter Zustand vorliegt. Noch im heißen Zustand werden die Bauteile abgedornt und in den Schüttgutzustand überführt. Da beim Vulkanisieren ein nichtlinearer Verzug auftritt, werden die Schläuche anschließend in einer Lehre beidseitig abgelängt. Gleitmittelrückstände und Abschnittsmaterialien werden durch Waschen vom Schlauch entfernt, der abschließend in einer Qualitätskontrolle verpackt wird. Nicht die Fügeprozesse (Aufschieben, Aufstecken), sondern allein die Vereinzelungs-, Ordnungs- und Positionierprozesse sind aufgrund

der bedingt formlabilen Eigenschaften der Bauteile prozesskritisch, weshalb eine manuelle Ausführung des Fügeprozesses beim Verarbeiter trotz hoher Stückzahlen erfolgt (Bild 6-15).

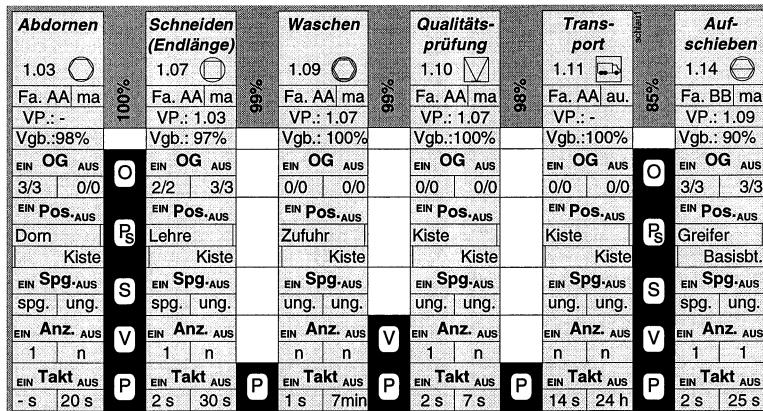


Bild 6-15: Prozesskette des Formschlauchs

Das Konzept einer automatisierungsorientierten Bereitstellung baut auf folgenden Erkenntnissen auf:

- Der Ersatz von Prozessen der Formgebung ist möglich (FRANKENHAUSER 1988), allerdings ist ein Bauteilersatz und eine Qualitätsveränderung die Folge.
- Die Integration von Hauptprozessen kann nicht den Fügeprozess, sondern lediglich die Prozesse *Abdornen* und *Schneiden* umschließen, da hier der geordnete Zustand des Bauteils auf dem Formdorn die Handhabung in eine Lehre vermeiden lässt.
- Eine Verschiebung des Fügeprozesses unmittelbar nach den Abdornprozess ist nicht zulässig, da die Bauteile nicht über die Endform verfügen und zudem gewaschen werden müssen.
- Die für den Fügeprozess geforderten Eingangsgrößen sind innerhalb der betrachteten Prozesskette nicht als Ausgangsgrößen zu beobachten.

6.3.2 Konzept Anpassen und Fixieren von Ausgangsgrößen

Aufgrund der Trennung von Hersteller und Verarbeiter zeigt sich das Fixieren von Ausgangsgrößen (Kap. 5.4.3.4) dennoch als mögliche Lösung. Dazu müssen zum einen die für den Fügeprozess erforderlichen Eingangsgrößen hergestellt, zum anderen über die Prozesskette fixiert werden (Bild 6-16).

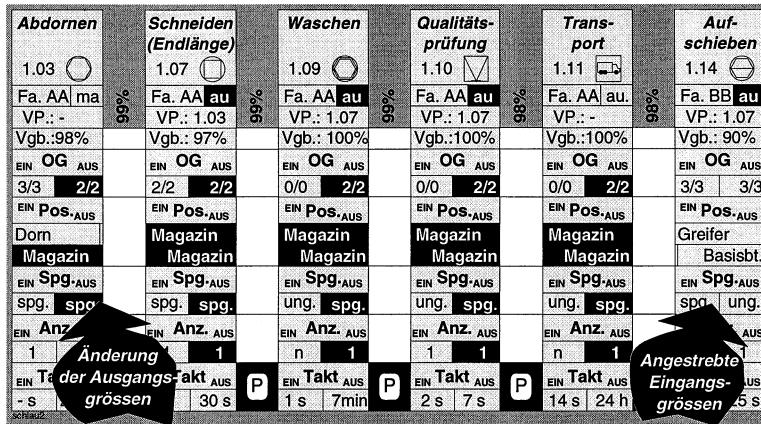


Bild 6-16: Optimierte Prozesskette durch Anpassen und Fixieren von Ausgangsgrößen

Das aufgestellte Konzept fordert zum einen Lösungen zum Fixieren der Ausgangsgrößen *Ordnungsgrad*, *Position* und *Menge*. Zum anderen sind die Hauptprozesse zu überarbeiten, um die geforderten Ausgangsgrößen zu erzeugen und um bei fixierten Ausgangsgrößen die Prozessausführung zu ermöglichen (Bild 6-17). Neben dem *Abdornen* weisen die Prozesse *Schneiden*, *Waschen* und *Qualitätssicherung* eine derartige Eignung aufgrund bislang manueller Ausführung auf. Eine größte Effizienz kann jedoch erzielt werden, wenn die erarbeiteten Ausgangsgrößen auch als Eingangsgrößen für die zwischen *Abdornen* und *Fügen* liegenden Prozesse einzusetzen sind und so eine Automatisierung ermöglichen. Daher soll der *Abdornprozess* dahingehend verändert werden, dass geordnete, positionierte und vereinzelte Bauteile vorliegen, die über die Prozesskette zu fixieren sind.

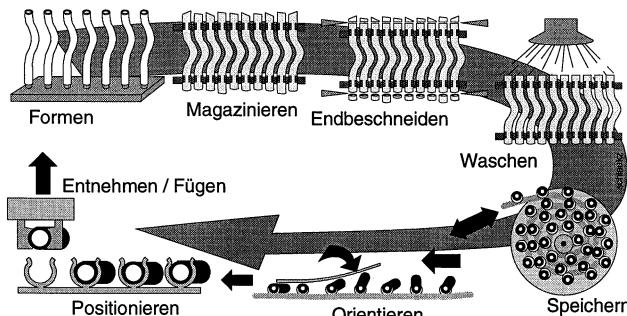


Bild 6-17: Konzept der Bereitstellung der Formschläuche

6.3.2.1 Fixieren der Ausgangsgrößen

Die Anforderungen an das Fixieren der Ausgangsgrößen resultieren aus dem zu erzielenden Prozessgrößenprofil und technischen Randbedingungen (Tab. 6-18).

Nr.	Anforderung
1	Fixierung eines erzielten Ordnungszustands sowie des vereinzelten Bauteils und Stabilisierung des zu speichernden Materials relativ zum Speicher
2	Hohe Packungsdichte (gegenüber dem Schüttgut nicht mehr als 1/3 vergrößert)
3	Geringes Volumen des ungefüllten Magazins
4	Mehrfachnutzung oder unkritische Entsorgung
5	Hohe Variantenflexibilität bezüglich Schlauchform
6	Beidseitige Zugänglichkeit zum Rohrinneren beim Waschprozess
7	Beständigkeit gegen die aggressiven Medien im Waschprozess
8	Temperaturbeständigkeit 90°C (Abdornen nach dem Autoklaven)
9	Automatisiertes Magazinieren wie auch Entmagazinieren möglich
10	Keine Rückstände an den Schläuchen nach dem Entmagazinieren
11	Halten der Bauteile zum Beschneiden mit ca. 25 N
12	Lagetoleranzen für den Fügeprozess bei $\pm 1,5\text{mm}$

Tabelle 6-18: Anforderungen an das Fixieren der Ausgangsgrößen (Formschlauch)

Durch die Anordnung der Kinematik lassen sich geordnete Speicher für abgelängte, langgestreckte Bauteile in zwei Grundformen unterteilen, wobei jeweils stehende, hängende und liegende Anordnungen der Bauteile relativ zum Speicher möglich sind (Bild 6-19).

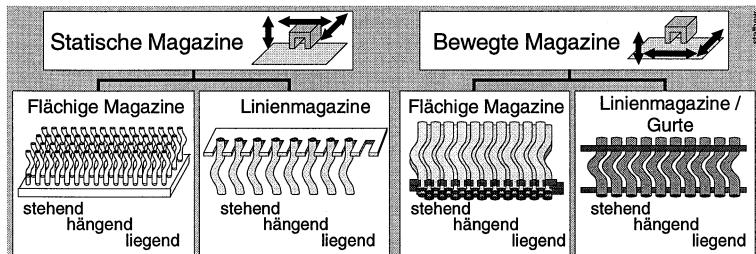


Bild 6-19: Einteilung von geordneten Speichern für langgestreckte Bauteile

Statische Speicher legen das Bereitstellungsproblem auf die Handhabung des Bauteils und sind damit entsprechend der Zielsetzung der Reduzierung der Anzahl der Handhabungen ungeeignet. Für die Gestaltung der dieser Klasse zuzuordnenden Formpaletten und -magazine wird auf die Literatur verwiesen (ENZLER 1990, GRAF 1985, ZIPSE 1987). Bauteilbewegungen in *bewegten Speichern* wie Matten, Gurte und Ketten werden durch eine am Speichermedium angreifende Kinematik durchgeführt. Eine Positionierung und Orientie-

lung erfolgt dabei an Merkmalen des Speichers, die von den Eigenschaften des Bauteils und insbesondere der kritischen Formlabilität unabhängig sind.

Voraussetzung für den Einsatz von Magazinen ist ein für Automatisierungsbestrebungen ausreichend hoher Speicherinhalt. Dies ist entweder durch eine entsprechend hohe Bauteilanzahl pro Speicher oder durch die Anzahl der Speicher zu erreichen (Bild 6-20).

- *Endliche Lagen* von starren und flexiblen Magazinen weisen das Problem einer kurzen Lauflänge bzw. einer geringen Anzahl an Bauteilen auf. Der notwendigen Austausch der Magazine erfordert Handhabungsaufwand.
- *Quasi-endlose Lagen* setzen eine Flexibilität des Speichers oder regelmäßig aufeinanderfolgende Gelenke (Gliederkette) voraus. Liegend oder hängend werden Lagen zwischen einer Anzahl von Bauteilen gefaltet, wobei durch geeignete Speichergestaltung die Möglichkeit einer dichten Packung gegeben ist.
- *Rollen und Haspeln* ermöglichen gleichfalls eine gute Raumnutzung. Durch zunehmenden Rollen- bzw. Haspeldurchmesser bei gleichbleibenden Bauteilabständen ist keine dichte Packung möglich. Auch hier wird eine Flexibilität des Speichers vorausgesetzt.

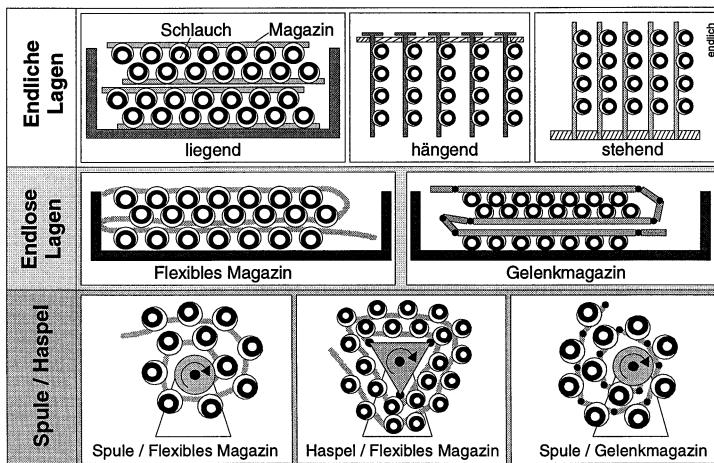


Bild 6-20: Speicherausbildung

Ein geordnetes Speichern von Bauteilen in bewegten Speichern bedingt das Halten der Bauteile in mehreren Achsen im vorgegebenen Zustand. Dabei weisen die in Abhängigkeit der Speicherausführungen möglichen Halteverfahren unterschiedliche Qualitäten auf (Tabelle 6-21).

	Aufbau	Haft	def. Abstand	Magazinierung	Recyclierfikt.	Kosten
Adhäsivband, einseitig	++	---	---	++	-	---
Adhäsivband, zweiseitig	++	---	---	+	-	---
Papier-faltband	+	-	++	---	++	++
Elastisches Band	-	++	++	---	+	-
Klettband	++	-	---	+	-	---
Klett- und Formband	---	++	++	++	---	---
Clipband, mehrstoffig, mehrteilig	-	++	++	++	-	---
Clipband, einstoffig, mehrteilig	+	+	++	++	++	+
Clipband, einstoffig, einteilig	++	+	++	++	++	++

Tabelle 6-21: Haltemöglichkeiten bei bewegten Speichern

Unter Berücksichtigung der Anforderungen und technischen Randbedingungen eignen sich im Beispiel *Formschlauch* Clipbänder. Die aufgrund der beim Waschen eingesetzten aggressiven Medien aus CrNi-Stahl hergestellten Clipse werden an das Kunststoff-Band angenietet. Um ein automatisiertes

Magazinieren zu ermöglichen, sind die Clipse mit einer Führungshilfe ausgestattet (Bild 6-22). Durch Einbringen von axialen Sicherungselementen ist ein Verdrehen des Schlauches möglich, ein axiales Verschieben jedoch ausgeschlossen.

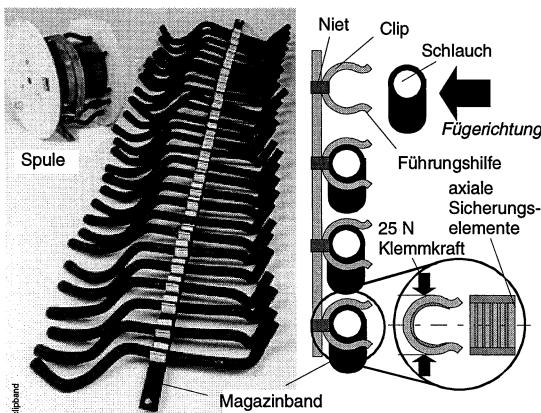


Bild 6-22: Spulbares Clipband für Formschläuche

Bei einer Ortsveränderung und beim Positionieren wird das Magazin als formstables Element begriffen, zu dem sich die gespeicherten Bauteile in

einer definierten Position befinden. Zur Ortsveränderung bieten sich gesteuerte und getaktete Lösungen wie Zahnprofile, Lochstanzungen, Reibschluss- oder Capstonantriebe an. Da ein formstables Objekt vorliegt, kann das Positionieren mit konventionellen Lösungen wie z.B. Lichtschrankensteuerungen, Wegmessungen, gesteuertem oder getaktetem Vorschub und Anschlägen realisiert werden.

6.3.2.2 Anpassen der Hauptprozesse

Die Eingangsgrößen des Fügeprozesses geben an, dass geordnete, positionierte und vereinzelte Bauteile vorliegen müssen. Da der bisherige erste Prozess der betrachteten Prozesskette (Abdornen) jedoch aufgrund der manuellen Ausführung nicht über korrespondierende Ausgangsgrößen verfügt, muss dieser Prozess reproduzierbar mechanisiert oder automatisiert werden. Das Magazinierverfahren greift noch im Herstellungsprozess an, da die Bauteile nur auf dem Formdorn eine genau definierte Position und Orientierung aufweisen.

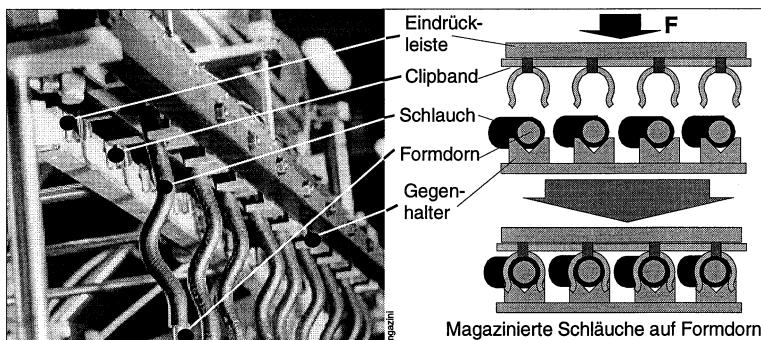


Bild 6-23: Magaziniervorgang der aufgedornten Bauteile

Mittels einer Eindrückleiste wird das geführte Magazinband auf die aufgedornten Schläuche gedrückt, während die Dorne gegengestützt werden (Bild 6-23). Zum Abdornen der magazinierten Formschläuche wird ein automatisiertes Verfahren nach MILBERG & KUGELMANN (1994) genutzt, welches durch den Einsatz von Druckfedern, die über die Formdorne geschoben werden, das zeitgleiche Abschieben aller Schläuche einer Leiste ermöglicht (Bild 6-24). Nach dem Abdornen bleiben die Schläuche durch die Haltekräfte im Magazinband axial gesichert und verdrehen sich beim Aufspulen derart im Magazin, dass sie tangential zur Spulenseite angeordnet werden und optimal den Raum nutzen.

Während der Fügeprozess einen vollgeordneten Zustand der Bauteile fordert, kann der Hauptprozeß *Waschen* auch ungeordnet und der Hauptprozeß *Endbeschneiden* auch teilgeordnet durchgeführt

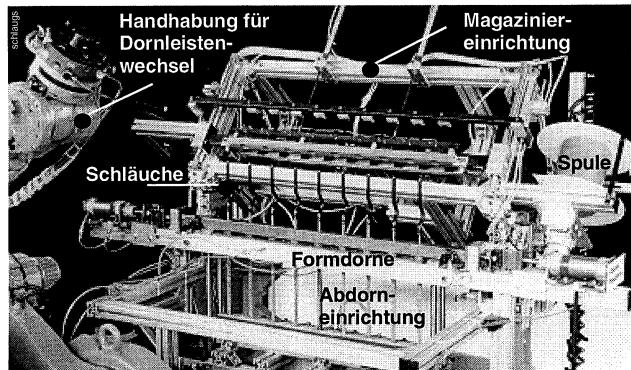


Bild 6-24: Pilotanlage zur Bereitstellung formlabiler Formschläuche

werden. Durch die Notwendigkeit der Anordnung der Magazinierung direkt nach dem Abdornen müssen aber auch diese Hauptprozesse im magazinierten Zustand der Bauteile durchgeführt werden.

Durch die Positionierung der Bauteile mit dem Magazin ist ein axiales Verschieben über die zugelassenen Toleranzen beim Endbeschneiden ausgeschlossen. Gleichfalls ist auch eine Qualitätskontrolle z.B. durch Druckprüfung automatisiert durchzuführen. Um Rückstände eines beim Aufdornen genutzten Gleitmittels aus dem Rohrinneren zu entfernen, durchlaufen die magazinierten Schläuche schließlich eine Wascheinrichtung, wobei die Schläuche erneut mittels des Magazins genau unter einer Waschdüse positioniert werden (Bild 6-25).

Die Bauteile verlassen den Herstellerbetrieb magaziniert und werden beim Verarbeiter manuell in die Abspulvorrichtung eingesetzt. Um die rotatorische Ordnung wieder herzustellen, wird eine Ordnungsschikane durchlaufen, in der eine Zwangsausrichtung durch ein Abweiserblech erfolgt. Die Formschläuche liegen abschließend vollgeordnet im Magazingurt vor. Das mit

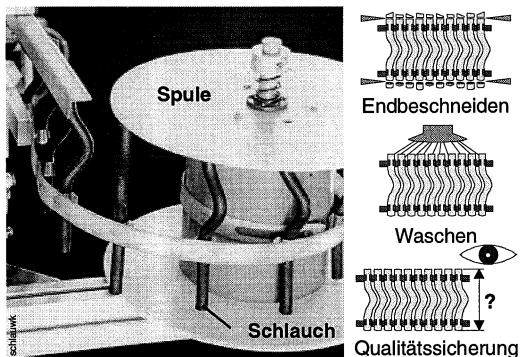


Bild 6-25: Abspuleinrichtung

dem Magazin positionierte formlabile Bauteil kann für den Fügeprozess gegriffen werden, wobei es aus dem Bauteileverbund durch Entnehmen vereinzelt wird.

6.3.3 Wirtschaftlichkeit

Die Ermittlung der Prozesskosten (vgl. Kap. 3.2) zeigt auf, dass das Fixieren der Ausgangsgrößen bedingt durch Investitionen für Einrichtungen zum Fixieren sowie Magazinbänder und Spulen zu hohen Kosten in frühen Phasen der Prozesskette führt. Dem technischen Nutzen des geordneten Zustands der Schläuche für einen automatisierbaren Fügeprozess müssen hier die erhöhten Kosten für die Logistik gegenübergestellt werden. Zu beachten ist insbesondere das gegenüber Schüttgut erhöhte Transportvolumen der Formschläuche und Kosten durch die Spulenkörper sowie deren Rückführungskosten (6-26).

Die neue Prozesskette weist jedoch eine deutlich reduzierte Anzahl an Nebenprozessen zum Ordnen und Vereinzeln auf, so dass zum einen die Automatisierung möglich und zum anderen die wirtschaftlichen Nachteile in frühen Phasen der Prozesskette ausgeglichen werden. Ein Ratiopotential ist weniger aus den wirtschaftlichen Daten als vielmehr durch die Vermeidung der seitens Temperatur und Kraftbelastung beim manuellen Abdornen und Fügen ergonomisch kritischen Arbeitsplätze zu definieren.

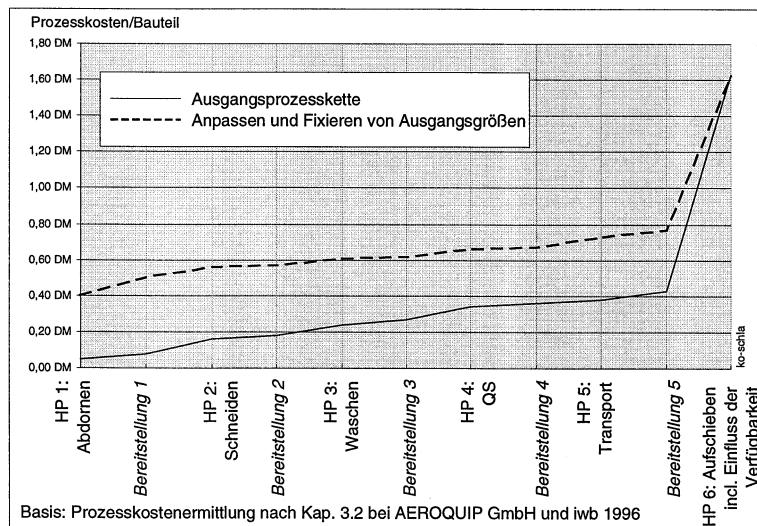


Bild 6-26: Vergleich der Prozesskosten über die betrachtete Prozesskette

6.4 Bereitstellungslösung Kaschierfolie

Geförmte flächige Bauteile werden in der Haushaltsgeräte- und Fahrzeugindustrie für Abdichtungen, Dämmungen, Schutz und Verkleidungen eingesetzt. Um Sicherheits- und Qualitätsanforderungen zu realisieren, werden KFZ-Innenausstattungs-Baugruppen kaschiert, indem formlabile Folien auf Trägerbauteile montiert werden. Im Beispiel eines PKW-Handschuhfachdeckels wird eine durch Thermoumformen gefertigte, formlabile Polypropylenschaumfolie während der Herstellung des Basisbauteils durch Blasformen mit diesem verschweißt. Die Bauteilklassifizierung sagt aus, dass eine manuelle Bereitstellung anzuraten ist (Bild 6-27). Aufgrund ungünstiger Arbeitsbedingungen im Bereich des Blasformprozesses und hoher Stückzahlen bei wenig Varianten wird die Automatisierung der Montage dennoch angestrebt. Die Möglichkeit des konstruktiven Einflusses auf eine bereitstellungstechnisch optimierte Bauteilgestaltung ist durch die Vorgaben des Design, des Materials und der Funktion in höchstem Maß beschränkt.

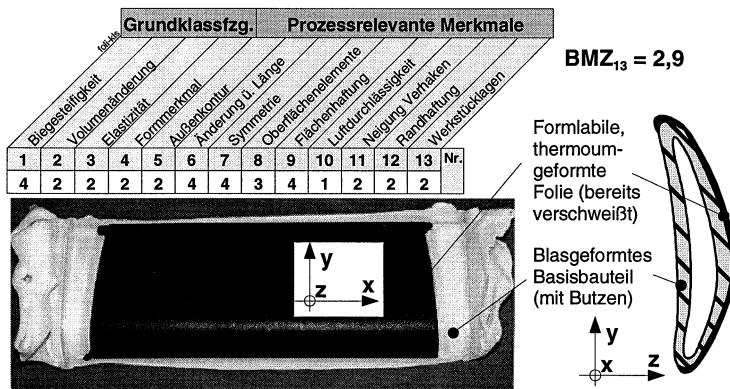


Bild 6-27: Blasgeformter Handschuhfachdeckel mit Kaschierfolie (BMW AG)

6.4.1 Prozesskette und Analyse

Dem Verarbeiter wird das Folienmaterial auf Rolle zugeliefert, wobei eine prozesskettentechnische Einflussnahme auf den externen Zulieferer nicht möglich ist. Das vorgeschaltete Material wird für das Erhitzen gespannt, über eine Handhabung aufgenommen und in einem Thermoumformwerkzeug geformt (Bild 6-28). Die Folie gewinnt durch den Umformprozess nur unwesentlich an Steifigkeit und muss im warmen Zustand entsprechend des Träger-

bauteils entlang einer dreidimensional gekrümmten Linie besäumt und gefügt werden, da ansonsten eine unregelmässige Schrumpfung eintritt.

Schneiden (Abschn.)	Er- hitzen	Tief- ziehen	Be- säumen	Rand ent- schäumen	Ver- schweißen
8.15	8.17	8.18	8.19	8.20	8.23
Fa. AA| au	Fa. AA| au	Fa. AA| au	Fa. AA| ma	Fa. AA| ma	Fa. AA| au
VP.: -	VP.: -	VP.: 8.17	VP.: 8.18	VP.: -	VP.: 8.20
Vgb.:100%	Vgb.:100%	Vgb.: 98%	Vgb.: 93%	Vgb.:100%	Vgb.: 95%
EIN OG AUS	EIN OG AUS	EIN OG AUS	EIN OG AUS	EIN OG AUS	EIN OG AUS
0/0 | 3/3	1/1 | 1/1	1/1 | 3/3	3/3 | 0/0	3/3 | 0/0	3/3 | 3/3
EIN Pos. AUS	EIN Pos.-AUS	EIN Pos. AUS	EIN Pos.-AUS	EIN Pos.-AUS	EIN Pos.-AUS
Schneidt.	Ps	Übergabe	Ps	Rahmen	Schabl. 1
Stapel		Übergabe		Tiefz.form	Übergabe
EIN Spg.-AUS ung. ung.	S	EIN Spg.-AUS spg. ung.	S	EIN Spg.-AUS spg. ung.	EIN Spg.-AUS spg. ung.
EIN Anz. AUS	V	EIN Anz. AUS	EIN Anz. AUS	EIN Anz. AUS	EIN Anz. AUS
1 | n	1 | 1	1 | 1	1 | 1	1 | n	1 | 1
EIN Takt AUS	P	EIN Takt AUS	P	EIN Takt AUS	P
- s | 10s	2s | 22s	5 s | 30 s	1 s | 30s	4s | 27s	1,5 s | 1,5s

Bild 6-28: Ursprüngliche Prozesskette der Kaschierfolie

In Vorbereitung auf den Fügeprozess wird der Randbereich anschließend mechanisch bearbeitet, wobei eine weitere Schablone als Spannmittel genutzt wird. Schließlich wird das bearbeitete Bauteil automatisiert in eine Blas- oder Spritzgussform eingelegt, um bei der Entstehung des Basisbauteils mit diesem verschweißt zu werden (Bild 6-28).

Innerhalb der als Prototyplinie aufgebauten Prozesskette werden alle Bereitstellungen manuell durchgeführt. Grund ist die technische Unmöglichkeit, das flächige, formlabile Bauteil in den verschiedenen Schablonen und Formen zu positionieren. Auch das Einlegen in die Blasformmaschine ist aufgrund der Verformungen nur gering verfügbar. Da die Einhaltung der Lagetoleranzen nicht gewährleistet werden kann, ist eine hohe Ausschussquote zu verzeichnen, die nicht durch Nacharbeit zu korrigieren ist. Automatisierungsversuche der Positionierung mit Bildverarbeitung scheiterten, da die Umrisskontur aufgrund der statischen (Verzug bei Abkühlung) und dynamischen (Beschleunigung) Bauteilverformung keine Aussage über die Position gibt.

Erklärtes Ziel bei der Optimierung der Prozesskette ist die Vermeidung von Bereitstellungsprozessen aufgrund der technischen Unmöglichkeit einer Automatisierung. Neben der Lösung der Nebenprozesse ergeben sich durch Veränderungen in der Prozesskette folgende Ansätze:

- Der Ersatz der Hauptprozesse *Thermoumformen*, *Formgeben* und *Verkleben* der formlabilen Folie ist mit dem Ersatz durch das *Aufsprühen* grund-

sätzlich technisch realisierbar. Allerdings können mit derzeitigen Werkstoffen die geforderten Produktqualitäten insbesondere hinsichtlich der Kantenqualität nicht erzielt werden.

- Die Integration der Hauptprozesse *Thermoumformen*, *Formgeben* und *Ver-schweißen* würde dazu führen, dass diese Prozesse an einem Ort stattfinden und eine Bereitstellung nicht erforderlich ist.
- Der Tausch von Hauptprozessen, insbesondere die Verlagerung des Formgebungsprozesses hinter den Verklebeprozess, welcher das formlabile Bauteil in einen formstabilen Bauteileverbund überführen würde, ist aufgrund der geforderten Produktqualität und Geometrie nicht möglich.
- Das Fixieren der Ausgangsgrößen *Ordnung* und *Position* nach dem *Ther-moumformprozess* ist aufgrund der Formlabilität des Bauteils nicht in der für die Folgeprozesse notwendigen Lagetoleranz möglich.

6.4.2 Konzept Prozessverschiebung und -integration

Das gewählte Konzept basiert auf der Integration und Überlagerung von Prozessen gemäss Kapitel 5.4.3.2 (Bild 6-29). Technischer Kern ist eine die Prozesse durchlaufende Spanneinrichtung, welche die Bauteile über die Hauptprozesse *Rand entschäumen* und *Beheizen* fixiert.

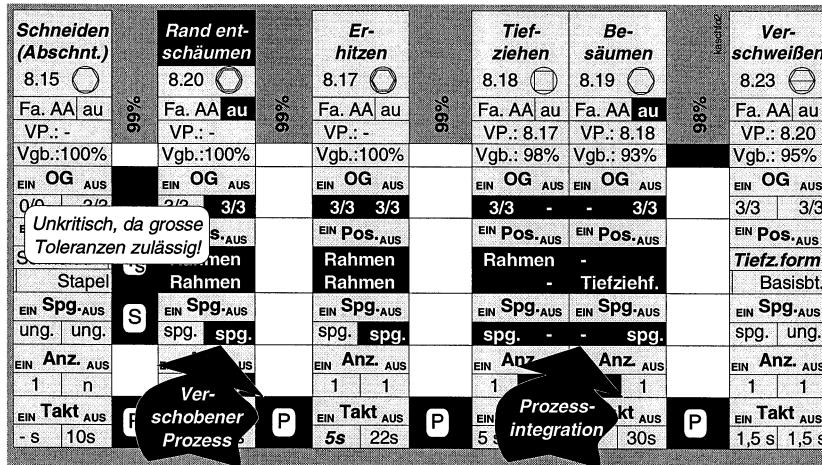


Bild 6-29: Optimierte Prozesskette durch Prozessintegration

Damit wird die Positionierung nicht mit den differierenden Geometrien des Bauteils, sondern mit einer formstabilen Spannenrichtung durchgeführt. Nach dem Beheizen wird das gespannte Bauteil zusätzlich beim Einsetzen des Va-

kuums in der Form des wesentlichen Formgebungsprozesses (Thermoumformen) formschlüssig gespannt. Der gespannte Zustand und der Ordnungszustand relativ zum Werkstückträger soll bis zur Fertigstellung der formstabilen Baugruppe beibehalten werden (Bild 5-29).

Die Umsetzung der erarbeiteten Prozesskette bedingt die Entwicklung neuer Fertigungslösungen. So wird ein Werkstückträger gefordert, der die betrachtete Prozesskette ohne Umsetzen des Bauteils durchläuft und damit in den Prozessen *Thermoumformen*, *Beschneiden*, *Fügen* mit Trägermaterial sowie *Blasformen/Hinterspritzen* eingesetzt werden kann. Insbesondere ist zu klären, wie das tiefgezogene Bauteil in der *Thermoform* gespannt besäumt werden kann (Bild 6-30). Um hinsichtlich höherer Flexibilität auf den Einsatz von Besäum- bzw. Schneidlehren zu verzichten, soll die Führung des auszuwählenden Trennwerkzeugs frei entlang einer dreidimensionalen Bahn (in diesem Fall robotergestützt) erfolgen.

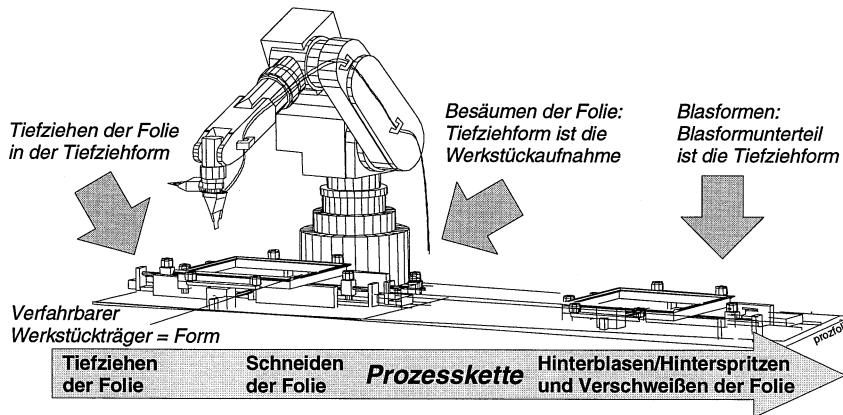


Bild 6-30: Aufrechterhaltung der durch Thermoumformen gewonnenen Spannung über Folgeprozesse

Die geänderte Prozesskette stellt eine Reihe von Randbedingungen an das Werkzeug zum Besäumen und den Werkstückträger zum Weitergeben zwischen den Prozessen. Neben Prozessanforderungen wie Taktzeit und Qualität bestehen zwischen den Werkzeugen und der Spritzguss- oder Blasform umfangreiche Wechselbeziehungen und zu berücksichtigende Aus-/ Eingangsgrößen (Tab. 6-31).

Nr.	Anforderung an Verfahren zum Trennen und Vereinzeln gespannter flächiger Bauteile: Stoffliche Trennung entlang einer offenen oder geschlossenen Schnittlinie.
1	Geringe Krafteinwirkung beim Trennen auf das Material, um Spannkräfte gering zu halten und um Verformungen zu vermeiden.
2	Nur eine Eingriffseite eines Werkzeugs, um das Spannen zu ermöglichen.
3	Trennen in einem flächig anliegenden Spannmittel, hier Form. Kein Verschleiß des Spannmittels durch Trennverfahren zulässig.
4	Kein Entstehen oder Verbleib von Nebenprodukten wie Spänen im Spannmittel und grätfreie Schnittkante, um zusätzliche Prozesse zu vermeiden
5	Hohe Standzeit und Wirtschaftlichkeit.
Nr.	Anforderung des zugrundeliegenden Beispiels
6	Schnittlage muss im Sinn einer Bauteilgestaltung genau definierbar sein.
7	Materialtrennung muss orthogonal zum Werkstückträger und dem dreidimensional gekrümmten, tiefgezogenen Bauteil erfolgen.
8	Schnitt in einer dreidimensional gekrümmten, geschlossenen Bahn.
9	Flexible Schnittführung, um Teilevarianten erzeugen zu können.
10	Folienwerkstoff PP, PU, PVC und ASA
11	Der Werkstückträger muss Prozesse wie im Beispiel <i>Thermoumformen, Schneiden und Hinterblasen bzw. Hinterspritzen</i> durchlaufen können und mit dementsprechenden Funktionalitäten ausgestattet sein.

Tabelle 6-31: Anforderungsliste des Beispiels seitens der Bereitstellung

6.4.2.1 Thermoelektrisches Vereinzeln und Besäumen

Dem Anforderungsprofil nach Tab. 6-31 entsprechen Trennverfahren nach DIN 8588 nur ungenügend. Insbesondere die Notwendigkeit, in oder auf einer Spanneinrichtung zu besäumen, qualifiziert sie als ungeeignet. Unter besonderer Berücksichtigung der Anforderung 1 nach kraftfreiem Schneiden und der damit möglichen Reduzierung von Spannkräften ist im Beispiel das Schneiden mit thermisch aktiven Klingen von Bedeutung, das unter DIN 8588 *Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden* Teil 3.1.2.1 *Einhubiges Messerschneiden* einzuordnen ist. Durch das Aufschmelzen des zu schneidenden Materials tangiert dieser Schneidvorgang die Definition von DIN 2310 *Thermisches Schneiden*. Ziel ist es, die Scherfestigkeit des Materials durch Temperaturerhöhung in der Schneidzone abzusenken, um das Material anschließend mit einer Klinge zu trennen. Anders als bei dem zum Trennen von Schaumstoffen eingesetzten thermoelektrisch erhitzen Draht besteht nicht die Gefahr, dass das Material nach dem Schneidvorgang erneut verschweißt.

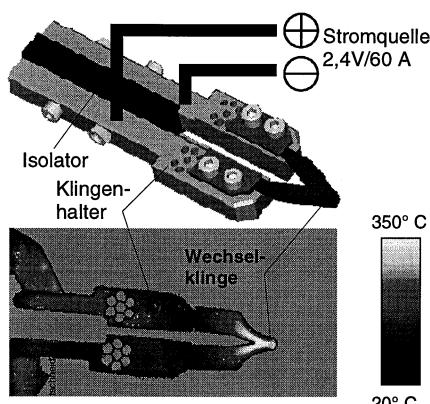


Bild 6-32: Aufbau und Wärmebild eines thermischen Schneidwerkzeugs

Schnittkraft ab. Durch höhere Temperatur wird die Schnittfestigkeit herabgesetzt, das Material schmilzt in der Schneidzone auf und die Trennung erfolgt verstärkt durch Verdrängung. Hohe Wärmeeinbringung in der Schneidzone lässt einen Aufschmelzgrat am Material entstehen und das Klingengefüge verändern, bis schließlich Sprödbrüche auftreten (Bild 6-33).

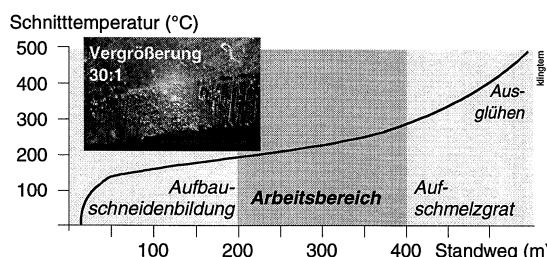


Bild 6-33: Standwegverhalten einer Thermoklinge St42/1,2mm

Schneidzone der Klinge geregelt. Die Temperaturregelung für das thermoelektrische Schneiden wurde daher basierend auf ein NiCr/Ni-Thermoelement entwickelt, das in unmittelbarer Nähe der Schneidzone auf die Klinge geklebt wird. Das verstärkte Signal des NiCrNi-Thermoelements wird über eine Analog-Digital-Wandler-Karte von einem PC-gestützten Regelungsprogramm eingelesen. Getaktet mit der Rechnerfrequenz vergleicht das Programm Soll- und Ist-Temperatur über frei programmierbare Parameter eines PID-Reglers und regelt die Energiezufuhr durch Eingriff auf eine Phasenanschnittsteuerung (Bild 6-34).

Ungeregelte Thermoschneidgeräte werden zum Nachschneiden von Reifenprofilen und Trennen von Folien eingesetzt (ZÄGL 1995). In einem hochstromigen Stromkreis stellt die Klinge den höchsten elektrischen Widerstand dar, in deren Folge im engsten Querschnitt der Klinge ein Temperaturanstieg erfolgt (Bild 6-32).

Bei niederen Temperaturen baut sich der Kunststoff auf der Schneide auf und erhöht den Widerstand der Klinge. Folglich nimmt die Schnittqualität bei steigender

Für die Realisierung der Bereitstellungslösung ist daher ein Regler erforderlich, der den Wärmestrom der Klinge unabhängig von der Schnittgeschwindigkeit einstellbar konstant hält. Als Analogie zum Wärmeübergang wird die Temperatur in der

Der Regler realisiert eine Temperaturabweichung im Schnittbetrieb von ABS-Folie (3mm) mit 0,2m/s von $\pm 1^{\circ}\text{C}$, womit das geregelte thermoelektrische Besäumen für den robotergestützten Einsatz bei unterschiedlicher Bahngeschwindigkeit qualifiziert wird.

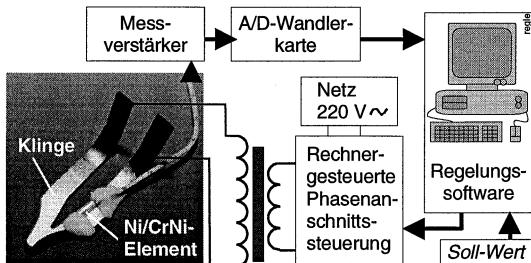


Bild 6-34: Aufbau des thermischen Reglers

6.4.2.2 Schneiden in einer Spanneinrichtung

Um den Kontakt des Schneidwerkzeugs mit dem Werkstückträger zu vermeiden, muss entweder ein Freiraum hinter der eindringenden Klinge geschaffen oder das Folienmaterial in der Schnittzone mit einem Hintergriff vom Werkstückträger abgehoben werden (Bild 6-35).

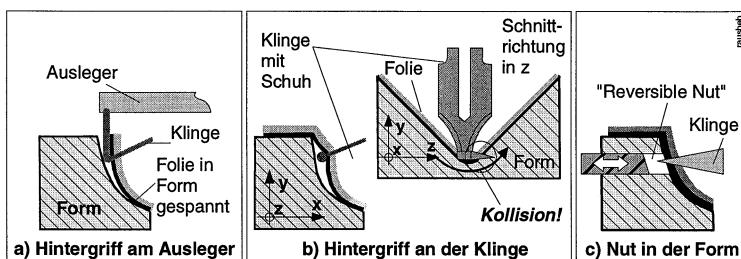


Bild 6-35: Schneiden in einer flächig anliegenden Spanneinrichtung

Ein Hintergriff mit Ausleger (Bild 6-35a) ist aufgrund der nach dem Thermoformprozess vorhandenen Foliengeometrie im Beispiel nicht möglich. Für die Befestigung eines Hintergriffs an der thermisch aktiven Klinge (Bild 6-35b) bietet das Verschweißen des Schuhs trotz Gefügeveränderung gegenüber weiteren Lösungen wie Schrauben und Nieten eine hochwertige Verbindung. Der Einsatz eines kleinen Schuhs bei gering sphärisch gewölbten, geschlossenen Trennlinien ist eine praktikable Lösung. Grenzen liegen in kleinen Radien, die ein Einfahren der Klinge in den Formradius aufgrund der Schuhlänge verhindern.

Nur eine Nut in der Form bzw. dem Werkstückträger ermöglicht einen Schnitt, bei dem weder Form noch Klinge beschädigt werden (Bild 6-35c). Um einen qualitativ hochwertigen Blasform- bzw. Spritzgussprozess zu erzielen, muss

die Nut reversibel gestaltet sein. Dies wird durch den Einsatz von Schiebern erreicht, die beim vorliegenden geschlossenen Schnittverlauf über den gesamten Umlauf des Werkstückträgers bzw. der Form angeordnet sind. Im nutlosen Zustand muss die Konstruktion alle Bedingungen wie Druckfestigkeit, Ausdehnung und Kühlfähigkeit einer Thermo- und Blas- bzw. Spritzgussform erfüllen (Bild 6-36).

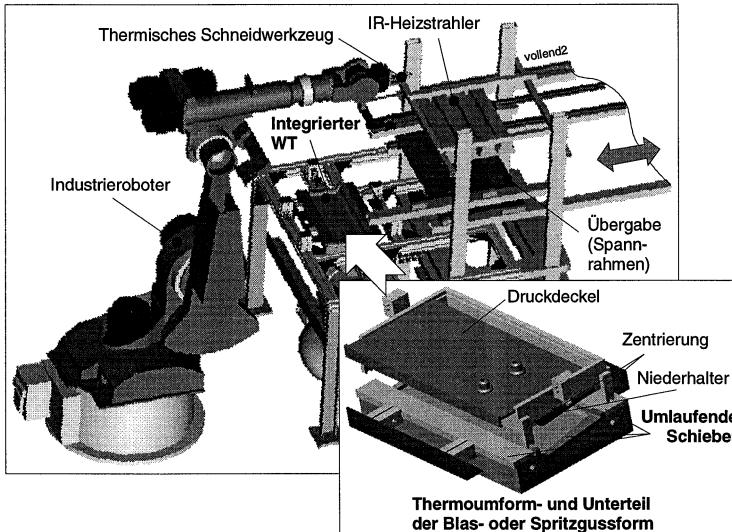


Bild 6-36: Integrierter Werkstückträger und Zellenplanung

Die Integration der Betriebsmittel (Bild 6-37) führt zur Umsetzung der neuen, bereitstellungstechnisch durchgängigen Prozesskette, wodurch die Anzahl notwendiger Nebenprozesse um rund 50% gegenüber der Ausgangsprozesskette reduziert wird. Weiteres Merkmal ist ein durchgängiger Spannungszustand des Bauteils. Nach dem Spannen einer Folienplatine in einen Rahmen wird dieser unter Infrarotstrahlern positioniert, nach dem Erhitzen mit der angesaugten Folie über Zentriereinrichtungen auf der Form plaziert und niedergehalten.

Durch das Anlegen eines Vakuums am Unterteil und Aufbringen eines oberseitigen Drucks erfolgt die Formgebung, die das Bauteil gleichzeitig in der Form spannt. Nach der Formung des Bauteils wird der Rahmendeckel entfernt und eine Zugänglichkeit des Werkzeugs zum Bauteil geschaffen. Das Freilegen der *Reversiblen Nut* durch das Zurückfahren der Schieber ermöglicht das robotergestützte thermoelektrische Besäumen des Bauteils. Das Ausgangsprodukt, welches positionsgenau gespannt ist, kann den Folgepro-

zessen Hinterspritzen bzw. Hinterblasen mit dem Werkstückträger (Form) zugeführt werden. Ausgehend von der Bereitstellung des Folienmaterials auf einer Rolle über den Thermoumformvorgang bis hin zur Weiterbearbeitung (Montage) wird der Ordnungszustand der Folie beibehalten, bis dieses den formlabilen Zustand verliert.

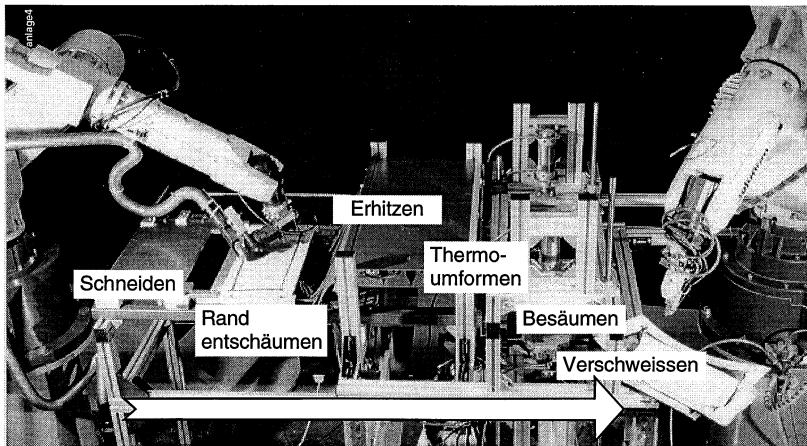


Bild 6-37: Realisierte Pilotanlage mit durchgängiger Bereitstellung

6.4.3 Wirtschaftlichkeit

Der Vergleich der Wirtschaftlichkeit der beiden Prozessketten zeigt erneut auf, dass nur die Betrachtung über die Kette der Haupt- und Nebenprozesse hinweg aussagekräftige Daten liefert. Während die einzelnen Bereitstellungsschritte der alternativen Konzepte trotz Wechsel von manueller zu automatisierter Durchführung marginale Kostenunterschiede aufweisen, zeigen sich über die Prozesskette deutliche Kostenvorteile für die integrierte, automatisierte Lösung (Bild 6-38).

Bei gleichzeitiger Verlagerung von Hauptprozessen innerhalb der Kette treten Kostenblöcke sinngemäß ebenfalls geändert auf. Sind die notwendigen Hauptprozesse aufgrund der eingesetzten Betriebsmittel auch Hauptkostenfaktoren, so bewirkt das umgesetzte Bereitstellungskonzept trotz notwendiger Investitionen und Planungsaufwand eine Kostenreduzierung von rund 20 %, die insbesondere aus der erhöhten Verfügbarkeit der Gesamtkette aufgrund deutlich verringerten Ausschusses resultiert. Zudem ist durch die Automatisierung von einer erhöhten Fertigungsqualität auszugehen, da die Prozesse stabil reproduziert werden können.

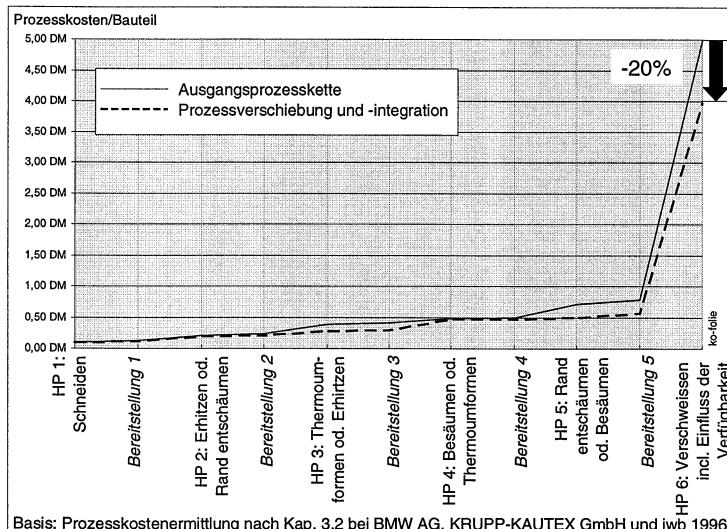


Bild 6-38: Vergleich der Prozesskosten über die betrachtete Prozesskette

6.5 Zusammenfassung

Anhand von drei in dieser Arbeit detaillierten Beispielen wurde das in Kapitel 5 vorgestellte Konzept zur prozesskettenorientierten Bereitstellung nicht formstabil Bauteile erprobt und verifiziert. Für jedes Beispiel entsteht durch Anwendung des Verfahrens mindestens ein Bereitstellungskonzept, welches technisch realisiert wurde. Die geänderte Prozesskette hat dabei rückwirkend Einfluss auf die Bauteil- bzw. Produktkonstruktion (insbesondere Beispiele nach Kap. 6.2 und Kap. 6.4). Ergebnis ist eine jeweils in hohem Maß produkt- bzw. bauteilspezifische Bereitstellungslösung, die über den Klassifizierungsschlüssel einer merkmalskonformen Bauteilgruppe zugeordnet werden kann.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nach Kapitel 3.2 zeigen in den ersten beiden Beispielen nur geringe Verbesserungen gegenüber der Ausgangsprozesskette. Dem in dieser Arbeit angestrebten Ziel der wirtschaftlichen Automatisierung wird der Planungsansatz jedoch gerecht, da die Lösungen (Kap. 6.2, 6.3 und 6.4) eine Automatisierung überhaupt erst ermöglichen.

Insbesondere die Optimierung der Prozesskette *Kaschierfolie* zeigt, dass das Ergebnis des Vorgehens nach Kapitel 5 nicht die Notwendigkeit der Entwicklung von Bereitstellungstechnik im konventionellen Sinn bedeutet, sondern vielmehr durch hohe Transparenz für den Planer zur Überarbeitung der Fertigungsfolge durch Überdenken der bislang genutzten Technologie führt.

7 Rechnergestütztes Planungshilfsmittel

7.1 Zielsetzung

Durch das Vorgehen nach Kapitel 5 und 6 werden Konzepte und technische Lösungen für individuelle Bereitstellungsprobleme entwickelt und damit Wissen und Erfahrung gesammelt. Die Auswahl und Entwicklung eines Bereitstellungskonzepts und der zur Umsetzung notwendigen Technik wird dabei durch die Ein- und Ausgangsgrößen der Prozesse sowie die Bauteile bestimmt, wobei nicht *ein* Merkmal, sondern die gesamte Merkmalskombination eines Bauteils prägend ist. Dies bedeutet jedoch, dass Bauteile mit gleicher oder in hohem Maß ähnlicher Merkmalskombination, aber ggf. mit anderer Funktion, Größe und Material gleichfalls mit der entwickelten Lösung bzw. dem Konzept bereitgestellt werden können.

WESTKÄMPER (1997 S. 226ff) schildert die Notwendigkeit der Bildung von Erfahrungswissen durch konsequentes Lernen aus der Vergangenheit und strukturierte Dokumentation. Die lernfähige Produktion basiert auf der stärkeren Nutzung humaner Ressourcen ohne das Durchbrechen der Lernphasen durch das kontinuierliche Fortsetzen von Entwicklungsprozessen (SPUR 1997 S. 6). Lernsysteme, die Wissen vermitteln sowie Schnittstellen aufweisen, um Wissen gleichermaßen aufzunehmen, damit die Wissensbasis zu erweitern und diese erneut weiterzugeben, bilden die Grundlage des dynamischen Produktionsmanagements (PESCH 1994, SCHIERHOLT 1998).

Ziel dieses Kapitels ist ein Beispiel der strukturierten Abbildung von Bereitstellungswissen in einer erfahrungsbasierten Datenbank und eines geeigneten Zugriffsverfahren, um den Montageplaner im Entscheidungs- und Auswahlprozess zu unterstützen. Darüberhinaus soll eine Möglichkeit geschaffen werden, neu generiertes Wissen für weitere Anwendungen durch Ablage in der Datenbasis zu speichern.

7.2 Aufbau

Die Darstellung von Erfahrungswissen erfolgt bislang in erster Linie durch strukturierte Diagramme und Tabellen (GEYER 1991 S. 37). Mit der Markteinführung kostengünstiger PC-basierter Datenbanksysteme und hochkapazitiver Datenträgern (insbesondere CD-ROM) zeichnet sich derzeit jedoch ein

deutlicher Wandel zu kostengünstigen rechnerbasierten Wissenssammlungen und -darstellungen ab. Planungsumgebungen für die Montageautomatisierung müssen gewährleisten, dem Planer trotz starker Vernetzung der Einzelschritte der Montage ausreichend Wissen über Komponenten und Funktionen von Teilproblemen wie hier der Bereitstellung formlabiler Bauteile zur Verfügung zu stellen.

Nach PUPPE (1988) wird eine Einteilung von Wissenrepräsentationsformen in die Problemtypen *Diagnostik*, *Konfiguration* und *Simulation* vorgeschlagen. In der entwickelten Planungsunterstützung *NoFORM!* (*Knowledge based planning of feeding deformable parts*) wird aus einer Menge erprobter Alternativen eine (oder mehrere) Lösung ausgewählt, es liegt daher ein *Diagnostikproblem* vor. Kern ist eine Desktop-Datenbank mit einem Wissens- und einem Zugriffsteil. Dabei wird deklaratives und prozedurales Wissen zusammengefasst, indem das in Kapitel 3.1 vorgeschlagene merkmalsorientierte Bewertungsverfahren für die Ermittlung des technischen Aufwands mit dem prozesstechnischen Erfahrungswissen verknüpft wird. Die Merkmale eines bezüglich seiner Funktion normierten Bauteils stellen den Zugriffschlüssel dar. Zugriffen werden kann auf das ebenfalls nach den Bauteilmerkmalen strukturierte, aber bauteilspezifisch abgelegte Wissen.

Die Nutzung einer Planungsunterstützung bedingt die Schritte

- Wissen aufbauen,
- Wissen strukturieren,
- Wissen anwenden und
- Wissen erweitern,

um den Zugriff auf bereits erarbeitete Lösungen zu erlauben (MERTENS U.A. 1990, SELIGER U.A. 1992, WARNECKE 1998 S. 195). Der Aufbau zielt daher darauf ab, den Montageplaner interaktiv zu beteiligen, um sowohl die abgelegten Lösungen und Bewertungsfaktoren zu validieren als auch um neu entwickelte Lösungen und Maßstäbe direkt in die Datenbasis zu übernehmen (Bild 7-1). Das erarbeitete deklarative und prozedurale Wissen ist in fünf Datenbasen abgelegt, die miteinander verknüpft sind, da jedem mit Merkmalen der Merkmalsbasis klassifizierten und in der Bauteilbasis abgelegten Bauteil ein oder mehrere Modelle des Vorgehens sowie mindestens eine Lösung der bereitstellungstechnischen Basis zugeordnet sind. Über die Basis der Kennwerte (vgl. Kap. 3.1.3) wird eine qualitative Aussage über den Grad der technischen Schwierigkeit der Bereitstellung getätigt. Schließlich werden Algorithmen zur Ermittlung von Kennwerten und den Zugriff auf die Datenbasen eingeführt.

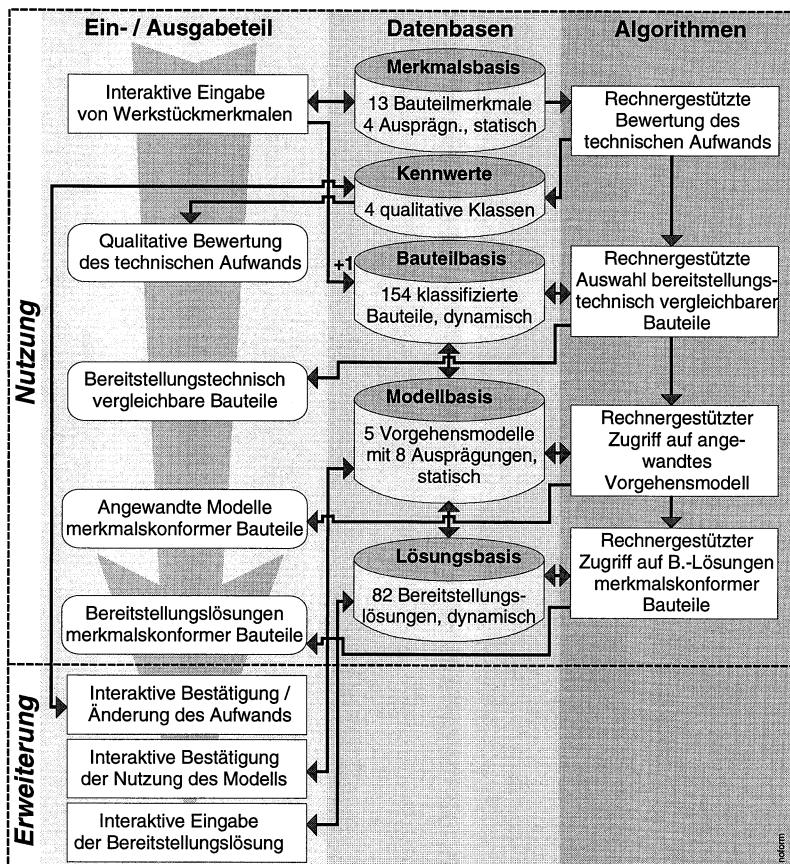


Bild 7-1: Aufbau der Wissensbasis „Bereitstellung formlabiler Bauteile“

Die Wissensbasis kann nur dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn eine ständige Anpassung und Erweiterung erfolgt (SELIGER U.A. 1992). Ausgangsbasis ist eine Anzahl untersuchter Bauteile und entwickelter Lösungen unabhängig von der Funktion und Verwendung der Bauteile. Im industriellen Umfeld ist dagegen das Auftreten unternehmensintern ähnlicher Bauteile wahrscheinlich. Die Datenbasis muss daher vom Anwender zunächst spezifisch gefüllt werden. Um dieser Notwendigkeit gerecht zu werden, wurde das Planungswerkzeug in einen Nutzungs- und einen Erweiterungs- bzw. Validierungsbereich gegliedert.

7.2.1 Nutzung

Im Ausgangszustand liegt dem Nutzer der Planungsunterstützung ein formlabiles bereitzustellendes Bauteil real oder in Form schriftlicher Daten bis hin zu virtuellen Prototypen vor. Unterstützt durch eine Anwendungsoberfläche (Bild 7-2) wird das Bauteil interaktiv durch die Festlegung der Ausprägung der Merkmale nach Kapitel 3.1 klassifiziert und in die Bauteilbasis überführt, wobei die Bauteilfunktion ohne Einfluss auf die Klassifizierung ist, sondern lediglich als Bauteilinformation mitgeführt wird. Dabei ist die Vollständigkeit der Angabe aller 13 Merkmalsausprägungen nicht erforderlich, aber zur Erreichung hoher Aussagegenauigkeit gefordert. Durch den rechnerbasierten, strukturierten Zugriff auf die Datenbasen erhält der Planer eine qualitative Bewertung des zu erwartenden technischen Bereitstellungsaufwands sowie Informationen über bereitstellungstechnisch vergleichbare und daher merkmalskonforme Bauteile, sofern diese in der Bauteilbasis zur Verfügung stehen. Zu diesen Vergleichsbauteilen werden (wenn vorhanden) zugeordnete, geeignete Bereitstellungskonzepte und -lösungen aufgezeigt, die grundsätzlich technisch auch auf das neu betrachtete Bereitstellungsproblem angewendet werden können.

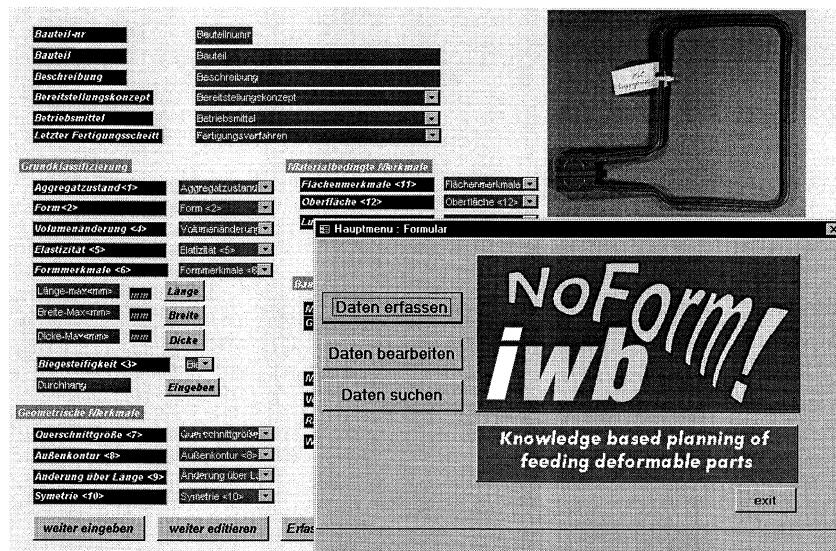


Bild 7-2: Anwendungsoberfläche NoForm! zur Planungsunterstützung

7.2.2 Erweiterung und Validierung

Mit dem Ziel der Datensammlung und der Erhöhung der Aussagewahrscheinlichkeit wurde das Planungswerkzeug um Ein-Ausgabemöglichkeiten erweitert, die das Wissen und die Erfahrung des Planers abfragen und aufnehmen. Zunächst wird jedes neu eingebrachte Bauteil in Form der Klassifikation in die Bauteildatenbasis übernommen. Nach der Nutzung des Planungswerkzeugs und der Lösung des Bereitstellungsproblems ist der Planer gefordert, die seitens des Planungswerkzeugs getätigte Aussage bezüglich des zu erwartenen Bereitstellungsaufwands zu bestätigen oder zu ändern.

Damit wird die automatische Grenzliniengbildung des Kennfelds „Technischer Bereitstellungsaufwand“ beeinflusst. Die Grenzlinien zwischen zwei Kennfeldbereichen werden durch die Mittelung der Kurve der Maximalwerte BMz_m des unteren Bereichs mit der Kurve der Minimalwerte BMz_n des oberen Bereichs gebildet (Bild 7-3). Ein neu eingebrachtes und hinsichtlich der Bereichseinordnung bestätigtes Bauteil kann dabei die Maximal- bzw. Minimalwerte neu definieren und damit die Mittelwertbildung ändern. Damit wird die Aussagewahrscheinlichkeit des aufgespannten Kennfelds mit der Anzahl der Abfragen zunehmend verbessert.

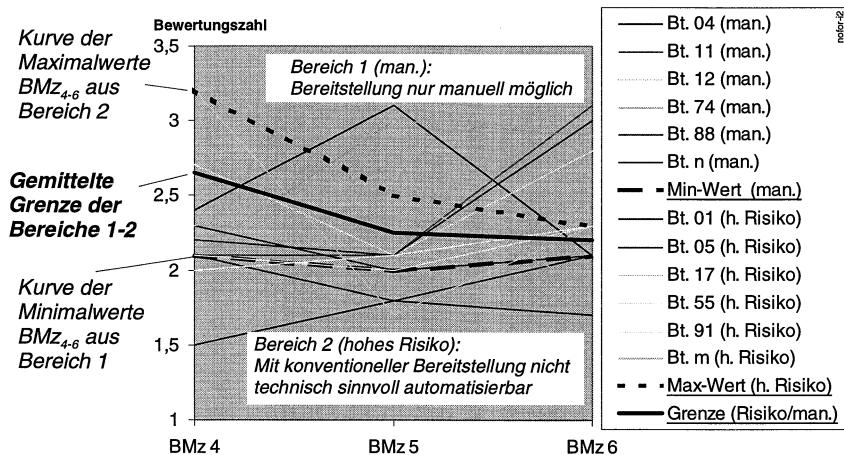


Bild 7-3: Korrektur des Kennfeldes „Technischer Bereitstellungsaufwand“ durch Erweiterung der Datensätze (Ausschnitt, vgl. Kap. 3.1.3)

Jede Abfrage der Datenbank nach Vergleichslösungen fordert den Anwender schließlich dazu auf, das Konzept und die für sein Problem neu gefundene bzw. entwickelte Lösung nach deren Verifizierung zu hinterlegen. Anderen-

falls ist die Übernahme des vorgeschlagenen Konzepts bzw. der Lösung hinsichtlich des neuen Bauteils zu bestätigen, womit eine weitere Zuordnung eines Konzepts und einer Lösung zu einem hinterlegten Bauteildatensatz erfolgt.

7.3 Datenbasen

Fünf Datenbasen gliedern und beinhalten das Wissen im Bereich der Bereitstellung formlabiler Bauteile nach Kapitel 3.1 bis Kapitel 6 (Bild 8-1):

Merkmalsbasis: Die in Kapitel 3.1 vorgeschlagenen 13 für die Bereitstellung formlabiler Bauteile relevanten Merkmale werden durch jeweils vier qualitativ unterschiedliche Ausprägungen beschrieben. Damit ist der technische Bereitstellungsaufwand für jedes Merkmal eines Bauteils zu unterscheiden. Die Zuordnung von Merkmalsausprägung und dem technischen Aufwand basiert auf dem Erfahrungswissen verschiedener Projekte sowie Erfahrungen von Montageplanern und Anlagenbedienern.

Kennwerte: Wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben ermöglicht die Summe aller gewichteten Merkmalsausprägungen in Form einer Bewertungszahl eine qualitative Aussage über Möglichkeit oder Unmöglichkeit der Automatisierung. Vorgeschlagen wird eine Aufwandsbewertung in vier Stufen von Gering (*Mit konventioneller Bereitstellungstechnik automatisierbar*) bis Hoch (*Bereitstellung nur manuell möglich*). Das auf diese Weise aufgespannte Kennfeld ist erfahrungsgetrieben und mit zunehmender Anzahl abgelegter Bereitstellungslösungen zu verändern, weshalb die Grenzwerte interaktiv änderbar sind.

Bauteilbasis: Im Ausgangszustand besteht die Bauteilbasis aus 154 Bauteilen, die entsprechend Kapitel 3.1 klassifiziert sind. Für Vergleiche durch den Montageplaner mit dem ihm voliegenden Bauteil sind weitere Daten wie Größe, Gewicht und letztem formgebenden Verfahren erfasst sowie durch Bildmaterial ergänzt.

Modellbasis: In Kapitel 5 werden fünf Vorgehensmodelle zur Bildung von Bereitstellungskonzepten in acht Ausführungen vorgestellt, die durch Prozesskettenbetrachtung möglich sind. Alle Ausgangsbauteildatensätze wie auch alle hinzukommenden Bauteildatensätze sind mit mindestens einem Modell verknüpft, d.h. hier liegt jeweils eine Mehrfachzuordnung vor. Bei Nutzung der Wissensbasis werden jeweils neue Bauteildatensätze mit den Modellen verknüpft, so dass eine Erhöhung der Aussagewahrscheinlichkeit erfolgt.

Lösungsbasis: Die Lösungsbasis enthält konkrete Angaben über eingesetzte Technik gelöster Bereitstellungsprobleme, die einzelnen oder wenigen der abgelegten Bauteildatensätze zugeordnet sind. Bei Nutzung der Daten durch den Montageplaner wird dieser aufgefordert, die für sein formlabiles Bauteil entwickelte Lösung durch interaktive Eingabe der Wissenbasis zur Verfügung zu stellen. Auch hier erfolgt damit eine stetig steigende Sammlung von Lösungen, die für neue Abfragen Bereitstellungsbeispiele merkmalskonformer Bauteile darstellen.

7.4 Algorithmen

Die implementierten Algorithmen realisieren den Zugriff auf abgelegte Datensätze nach der interaktiven Eingabe der Werkstückmerkmale eines bereitzustellenden Bauteils. Mit der Klassifizierung eines Bauteils mittels der vorgeschlagenen Merkmalsausprägung erfolgt dabei eine Normierung bezüglich der Bauteilfunktion, die für die Bereitstellung ohne Interesse ist.

7.4.1 Bewertungsverfahren

In einem ersten Schritt werden die einzelnen Merkmalsausprägungen des eingebrachten Bauteils über das Vorgehen in Kapitel 3.1.1 gewichtet und zu einer Bewertungszahl gemittelt. Je mehr Merkmale berücksichtigt werden, desto höher ist die Aussagewahrscheinlichkeit des Vorschlags der Bewertung des technischen Bereitstellungsaufwands. Sinngemäß wird für das neu eingebrachte Bauteil eine Kennlinie BMz_4 bis BMz_{13} aufgestellt und in das aus der Datenbasis aufgebaute Kennfeld eingepasst (vgl. Bild 3-8 und Bild 7-3). Mit der Bewertungszahl und der Kennlinie wird auf die Datenbasis *Kennwerte* zugegriffen, wobei eine Zuordnung zu einer der vier abgelegten Klassen des technischen Bereitstellungsaufwands erfolgt, die dem Nutzer mitgeteilt wird. Die Grenzen des durch die Datenbasis aufgespannten Kennfelds werden nach Abschluss einer erfolgten Planung neu definiert, so dass die Aussagegenauigkeit mit zunehmender Nutzung der Planungsunterstützung steigt (vgl. Kap. 7.2.2).

7.4.2 Auswahl von merkmalskonformen Bauteilen, Konzepten und Lösungen

Die Kernfunktion des auswahlbestimmenden Algorithmus ist die Suche nach merkmalskonformen Bauteilen, für die bereits Bereitstellungskonzepte bzw.

-lösungen vorliegen. Nach den Ausführungen der vorangegangenen Kapitel sind Vergleiche zwischen Bauteilen nicht durch einzelne Merkmale, sondern allein durch Konformität von Merkmalskombinationen für die Zuordnung eines Bereitstellungskonzepts oder -lösung aussagekräftig. Nachdem nicht davon auszugehen ist, dass eine vollständige Konformität eines neuen zu einem bereits untersuchten Bauteil vorliegt, muss der Algorithmus gewährleisten, dass eine möglichst große Verwandtschaft bezüglich der Merkmale vorliegt.

Das neu klassifizierte Bauteil wie auch alle die Datenbasis bildenden bereits abgelegten und bereitstellungstechnisch gelösten Bauteile liegen als eine Folge von bis zu 13 Ausprägungen zwischen 1 und 4 vor (Bild 7-4). Nicht bestimmte Merkmale werden durch eine „0“ abgebildet und bleiben vom Vergleich ausgeschlossen. Durch eine Gewichtung entsteht eine Folge von bis zu 13 Wertungen, die das zu neu eingebrachte Bauteil charakterisieren. Kapitel 3.1 zeigt auf, dass die Relevanz der Merkmale mit steigender Ordnungszahl abnimmt, was sich auch hier in der Gewichtung widerspiegelt.

Differenz zwischen den Einzelwerten des neuen Bauteils und den Einzelwerten des Bauteils 1 der Datenbasis

Summe der Differenzbeträge

Differenzbeträge der Aufwandswertung des neuen Bauteils zu den Wertungsdaten der Bauteilbasis

Je geringer die Summe, desto grösser die (gewichtete) Konformität

Differenz zu 1

Differenz zu 2

Differenz zu n

Σ= 11

Σ= 24,8

Σ= 4,8

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1 2 3 4 5 6 7 8

über die Existenz merkmalskonformer, also bereitstellungstechnisch vergleichbarer Bauteile informiert werden. Das Vorgehen liefert dabei keine objektive Aussage, sondern stets eine Auswahl aus den in der Datenbasis abgelegten Bauteilen (Bild 7-4).

Den abgelegten Bauteilen wurden Bereitstellungskonzepte und -lösungen zugeordnet, d.h. es wurden Verknüpfungen zur Konzept- und Lösungsbasis geschaffen (Kap. 7.2). Nach der Auswahl merkmalskonformer Bauteile für ein vorliegendes, über das bereitzustellende Bauteil in das Planungssystem gebrachtes Bereitstellungsproblem können daher die Verknüpfungen reaktiviert und dem Nutzer in Form von Vorschlägen (grafisch und textuell) aufgezeigt werden.

Die Vermittlung ähnlicher Problemfälle und dazugehöriger Lösungen ersetzt nicht die Feinplanung der Bereitstellungslösung und bedingt, dass merkmalskonforme Bauteile abgelegt und geeignete Lösungen des Bereitstellungsproblems bereits technisch und wirtschaftlich tragfähig gelöst wurden.

7.5 Wertung

Übertriebene Erwartungen seitens der Anwender an wissensbasierte Systeme (MERTENS U.A. 1990) wie auch mangelnde Orientierung der Expertensystemforschung an Realweltproblemen (SCHANK 1991 S. 38) führen dazu, dass nur ca. 10% aller geplanten bzw. durchgeführten Wissensbasis-Projekte tatsächlich zur Anwendung kommen (GANGHOFF 1993). WEULE (1993 S. 8) geht davon aus, dass von den realisierten Wissensbasen zudem nur ein geringer Teil auf Systeme zur Planungsunterstützung entfallen.

Die Akzeptanz und die Verbreitung unterstützender Planungswerkzeuge ist davon abhängig, dass Wissen über andere Bereiche der Montage oder Fertigung analog dem vorgestellten Modul zur Verfügung gestellt wird. Bei einer Einigung auf ein gemeinsames Planungsvorgehen und eine gemeinsame Wissenstrukturierung kann ein rechnergestütztes Planungssystem entstehen, in dem einzelne Problemfelder wie *Fügen von Schläuchen* (FRANKENHAUSER 1988) oder *Dichtprozesse mit viskosen Dichtmedien* (SCHULLER U.A. 1998) durch den Einsatz problemspezifischer Module entsprechend *NOFORM!* gelöst werden können. Voraussetzung ist das Ablegen umfangreichen Wissens, um eine hohe Aussagewahrscheinlichkeit gewährleisten zu können. Auch hier ist wesentliches Element, dass ein derartiges System Wissen nicht statisch bindet, sondern neues Wissen integrieren und anpassen sowie mit steigendem Erfahrungsschatz dynamisch wachsen kann (WARNECKE 1998 S. 195).

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Die Automatisierung der Montage formlabiler Bauteile gilt als in hohem Maß prozessunsicher. Grund sind weniger die nicht beherrschten Fügeprozesse als vielmehr Prozesse der Bereitstellung, die automatisierungstechnisch nicht robust oder nicht realisierbar sind. Zum ermöglichen der Durchführung von wertschöpfenden Hauptprozessen sind derartige Prozesse der Bereitstellung jedoch *notwendig*. Da die wirtschaftliche Relevanz der Bereitstellung aufgrund der Einordnung als Sekundärmontageprozesse bislang als gering eingestuft wird, berücksichtigt die Montagesystemplanung die Bereitstellung nicht bzw. erst, wenn die Grobplanung abgeschlossen ist. Vorhandenes, produktspezifisches Bereitstellungswissen ist zudem nicht auf weitere, ähnliche Problemfälle zu übertragen. Die Folge sind personalintensive Störungsbehebungen oder in feste Anlagenakte gebundene manuelle Bereitstellungstätigkeiten, die eine wirtschaftliche und ergonomische Vollautomatisierung verhindern.

Die vorliegende Arbeit zeigt einen Weg zur Behebung dieser Defizite durch die Entwicklung einer Struktur zur Konzeption, Lösung und Bewertung der Bereitstellung formlabiler Bauteile in automatisierten Montagesystemen. Im Mittelpunkt steht dabei die Orientierung an physikalisch-technischen Prozessketten der Bereitstellung von der Bauteilherstellung bis zum Fügeprozess mit dem Ziel, eine Bewertungsbasis zu schaffen und durch die *Infragestellung der Notwendigkeit* von Bereitstellungsprozessen deren Anzahl zu reduzieren.

In einem ersten Schritt wird durch die Aufstellung von Bauteilmerkmalen, ihren Ausprägungen und Kennfeldern ausgehend von einem bereitzustellenden Bauteil die strukturierte Zuordnung von Aussagen bezüglich der bereitstellungstechnischen Kritizität möglich. Die Übertragbarkeit auf ein ähnlich aufgebautes Bauteilspektrum wird mit Hilfe der Einführung einer Merkmalskonformität gefördert.

Bei alleiniger Berücksichtigung der durch einen Bereitstellungsprozess direkt entstehenden Kosten wird die geringe wirtschaftliche Relevanz der Bereitstellung bestätigt. Durch die Betrachtung von Prozessketten, die aus Haupt- und Nebenprozessen aufgebaut sind, wird jedoch nachgewiesen, dass ein hoher Einfluss des gewählten Bereitstellungskonzepts und der -lösung auf die Funktionsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Prozesskette besteht.

Das Konzept zur prozesskettenorientierten Bereitstellung wird durch die Be- trachtung des Einflusses der Konstruktion auf die Prozesswahl und -folge ein- geleitet. Abgesehen von der generellen Vermeidung von formlabilen Bauteilen ist jedoch zu berücksichtigen, dass Ansätze zur bereitstellungsgerechten Bauteilgestaltung von den eingesetzten Prozessen abhängig und daher nicht zu verallgemeinern sind, sondern jeweils von den erarbeiteten und erprobten Lösungen abgeleitet werden müssen.

Mit der Betrachtung von Prozessketten wird die Planung der Bereitstellung angeschlossen. Fünf aufgestellte Vorgehensmodelle zur Optimierung der Be- reitstellung betreffen damit mehr die Folge und Anordnung der wertschöpfen- den Hauptprozesse als die Ausprägung der Nebenprozesse der Bereitstel- lung. Zum Erreichen des Ziels der Vermeidung von Handhabungen erfolgt die Planung der Bereitstellung unter der konsequenten Infragestellung der Not- wendigkeit der nur gering wertschöpfenden Nebenprozesse innerhalb einer Prozesskette.

Anhand von Beispielen wird zum einen aufgezeigt, dass die prozesskettenori- entierte Erfüllung der Bereitstellungsaufgabe nicht allein die konventionell be- kannten Prozesse der Bereitstellung wie z.B. Speichern, Weitergeben und Positionieren betrifft, sondern vielmehr Teilefertigungs- und Montageprozesse umschließt, die unabhängig von ihrer Bereichszuordnung eingesetzt werden. Zum anderen sind die Lösungen in hohem Maß vom Bauteil und den einge- setzten Hauptprozessen abhängig.

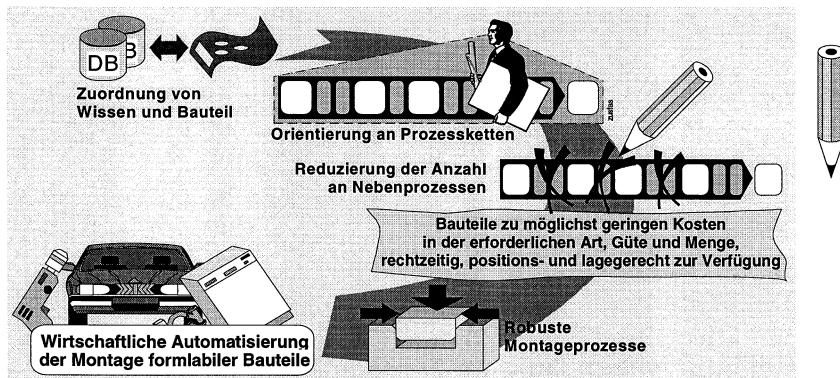


Bild 8-1: Erreichung des Ziels einer wirtschaftlich automatisierten Montage

Abschließend wird in einem Ansatz dargestellt, dass die Orientierung an nu- merisch erfassbaren Bauteilmerkmalen eine Zuordnung von Bauteilen und unternehmensinternen Konzepten und Lösungen ermöglicht, die durch den Einsatz von Datenverarbeitung zu unterstützen ist.

Ergebnis der Arbeit ist eine Wissens- und Vorgehensstruktur zur prozesskettenorientierten Bereitstellung formlabiler Bauteile in der automatisierten Montage. Durch die Orientierung an Prozessketten werden Rationalisierungspotentiale über die Bereitstellung hinaus aufgedeckt, die durch ganzheitliche Optimierungsmaßnahmen auszuschöpfen sind. Damit können Bereitstellungslösungen entwickelt werden, die den Anforderungen der wirtschaftlich automatisierten Montage nach hoher Verfügbarkeit durch robuste Prozesse und geringer Personalbindung gerecht werden können (Bild 8-1).

8.2 Ausblick

Die Analysen und Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass der bislang auf der Geschäftsprozessebene verfolgte Ansatz der Prozesskettenorientierung auch auf technischer Anlagenebene anzusetzen ist. Verbesserungs- und Rationalisierungspotentiale können aufgedeckt und mit dem Ziel der Bildung durchgängiger, physikalisch-technischer Prozessketten ausgeschöpft werden.

Der in der vorliegenden Arbeit aufgestellte Ansatz zur prozesskettenorientierten Planung von Fertigungsfolgen ist an der konkreten Problemstellung formlabiler Bauteile ausgerichtet, da hier die prozesstechnischen Probleme besonders evident sind. Für eine Übertragbarkeit auf beliebige Bauteile ist daher zunächst das Verhältnis von Planungsaufwand zum erzielten wirtschaftlichen Nutzen prüfen. Zur Erweiterung des Planungsansatzes ist das Wissen zu erweitern und abzubilden, wobei der Ansatz der vorgestellten Datenbasis zur Bereitstellungsplanung für formlabile Bauteile über die Entwicklung weiterer Planungsbausteine das Entstehen eines umfassenden Lösungsverwaltungssystems ermöglicht.

Das zu Hilfe genommene Modell einer physikalisch-technischen Prozesskette besteht aus Prozessbausteinen, die hinsichtlich der Relevanz für die Bereitstellung als Ein-/Ausgangsgrößensystem definiert werden. Um bereitstellungstechnisch kritische Hauptprozesse im Sinn der Vermeidung von Nebenprozessen zukünftig substituieren zu können, ist die Aufstellung einer umfangreichen Wissensbasis aus Bausteinen von Hauptprozessen anzustreben. Neben den hier genutzten Ein-/Ausgangsgrößen sind dabei auch die technische Prozessfunktionen abzubilden. Ein derart weiterentwickeltes Prozess- und Prozesskettenmodell würde schließlich die durchgängige Gestaltung und Optimierung von Fertigungsfolgen auch über den Bereich der formlabilen Bauteile und der Montage hinweg erlauben.

9 Literatur

ABELE 1991

Abele, R.: Mensch und Computer sichern optimale Passform. In: VDI-Nachrichten, 27.09.91, S.32.

ABELE 1996

Abele, U.: Bewertung und Verbesserung der fertigungsgerechten Gestaltung von Blechwerkstücken. Berlin: Springer 1996.

ACKERMANN & WALTER 1995

Ackermann, B., Walter, J.: Prozeßoptimierung im Produktteam: Das Beispiel eines mittelständischen Unternehmens. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung 90 (1995) 1-2, S. 32-34.

AHRENS 1983

Ahrens, H.: Grundlagenuntersuchungen zur Werkstückzuführung mit Vibrationswendelförderern und Kriterien zur Geräteauslegung. Fortschrittsberichte VDI-Z Reihe 13 Nr. 23. Düsseldorf: VDI-Verlag 1983.

ALTENWERTH U.A. 1984

Altenwerth, F.: Heinz, K.: Schraft, R.D.: Arbeitssysteme mit integrierten Handhabungsgeräten. Düsseldorf: VDI-Verlag 1984.

ANDREASEN U.A. 1988

Andreasen, M.; Kähler, S.; Lund, T.: Design for assembly. Berlin: Springer 1988.

ARAI U.A. 1997

Arai, T.; Ota, J.; Aiyama, Y.: Assembly by Nongrasping Manipulation. In: Annals of the CIRP. Vol. 31/2/1997 S. 15-18.

ARNOLD 1990

Arnold, D.: Die Verfügbarkeit - Selbstzweck oder Kostenfaktor?. In: VDI (Hrsg.): Verfügbarkeit von Materialfluß-Systemen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1990, S.1-16.

BARTHELMEß 1987

Barthelmeß, P.: Montagegerechtes Konstruieren durch Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung. Berlin: Springer 1987.

BÄBLER 1988

Bäßler, R.: Montagegerechte Produktgestaltung für eine wirtschaftliche Montagegestaltung. Leipzig: Expert 1988.

BAUMBACH & MÜLLER 1990

Baumbach, J.; Müller, W.: Erfolgsfaktor Werkzeughandlung. In: Schweizer Maschinenmarkt, Band 90 (1990) Heft 14, S. 54-57.

BEITL 1993

Beitl, F.: Zuführen und Halten beim Umspritzen. In: Wirtschaftliche Fertigung mit Hochleistungswerkzeugen - Herausforderung an den Werkzeugbau. 5. Würzburger Werkzeugtage, Fachtagung des Süddeutschen Kunststoff-Zentrums (SKZ), Würzburg, 5.-6.10.1993 (1993), S. 229-250.

BOOTHROYD U.A. 1985

Boothroyd, G., Dewhurst, P.; Lennartz, C.C.: Part Presentation Cost in Robot Assembly. In: Assembly Automation Band 5 (1985) S. 138-141.

BOOTHROYD 1992

Boothroyd, G.: Assembly Automation and Product Design. New York 1992.

BRANKAMP 1975

Brankamp, K.(Hrsg.): Handbuch der modernen Fertigung und Montage. München: verlag moderne industrie, 1975.

BREIING 1989

Breiling, A.: Analyse und Sensibilitätsuntersuchung der wichtigsten Bewertungsverfahren. In: Bericht IKB-B-002/89. ETH Zürich: 1989.

BROCKHAUS 1987

Brockhaus - Enzyklopädie in 24 Bd.: Band 3. 19. Aufl. Mannheim: F.A. Brockhaus 1987.

BULLINGER & Lung 1994

Bullinger, H.-J.; Lung, M.: Planung der Materialbereitstellung. Stuttgart: Teubner 1994.

BULLINGER 1986

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

CIELKER 1997

Cielker, W.: Vorrichtung zum Aufnehmen und Abziehen eines biegeelastischen strangförmigen Materials. Offenlegungsschrift Nr. 29612760: 1997.

CLARK 1923

Clark, J.M: Studies in the Economies of Overhead Costs. Chicago: Palmer 1923.

CRAMER 1995

Cramer, R.: Flexibel automatisierte Montage hochpoliger Rundkabel. Dissertation. Berlin: Springer-Verlag 1995.

DAENZER 1989

Daenzer, F. (Hrsg.): Systems Engineering. Zürich: Verlag Industrielle Organisation 1989.

DAUBENBÜSCHEL 1995

Daubenbüschel: Blasformen von thermoplastischen Elastomeren. Thermoplastische Elastomere, SKZ Würzburg, 1995, S.32-38.

DIN 53513 1983

DIN 53513: Bestimmung der visko-elastischen Eigenschaften von Elastomeren - Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Berlin: Beuth-Verlag 1983.

DIN 53519 1972

DIN 53519: Bestimmung der Kugeldruckhärte von Weichgummi - Internationaler Gummihärtegrad (IRHD). Berlin: Beuth-Verlag 1983.

DIN 8593 1985

DIN 8593: Fertigungsverfahren Fügen. Berlin: Beuth-Verlag 1985.

DIN-NORM EN ISO 8402 1994

DIN-Norm EN ISO 8402: Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung - Begriffe. Berlin: Beuth-Verlag 1994.

DONNEL 1992

Donnel, D.P.: Tips on parts feeding. In: Assembly, Band 35 (1992) Heft 2, S. 28-30.

EICH & DIRNDORFER 1993

Eich, B.; Dirndorfer, A.: Automatische Handhabung und Montage nicht formstabiler Bauteile. KGK 46, Nr. 8/93: 1993, S. 629-638.

EICH & SCHNEIDER 1995

Eich, B.; Schneider, B.: Planung der Teilebereitstellung als Grundlage einer ganzheitlichen Materialflußplanung. In: Planung von Montageanlagen, Seminarbericht / iwb 13, München: Utz-Verlag 1995 S. 93-103.

EICHNER 1990

Eichner, W.: Lagerwirtschaft. Wiesbaden: Gabler 1990.

EMMERICH 1992

Emmerich, H.: Flexible Montage von Leitungssätzen mit Industrierobotern. Berlin: Springer 1992.

ENGELS 1962

Engels, W.: Betriebswirtschaftliche Bewertungslehre im Licht der Entscheidungstheorie. Köln, Opladen: Malzer 1962.

ENZLER 1990

Enzler, H.: Einführung in die Problematik. In: System-Werkstückträger für durchgehende Ordnung in flexibler Fertigung und Montage. VDI-Seminar Stuttgart 1990.

EPIKUR 1960

Epikur: Philosophie der Freude. Stuttgart: Alfred Kröner Verlag, 1960.

ERLENSPIEL 1995

Erlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung: Methoden für Prozeßorganisation, Produkterstellung und Konstruktion. München: Hanser 1995.

EVERSHEIM 1981

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik. Bd. 4: Fertigung und Montage. Düsseldorf: VDI-Verlag 1981.

EVERSHEIM 1995

Eversheim, W.: Prozeßorientierte Unternehmensorganisation: Konzepte und Gestaltung schlanker Organisationen. Berlin: Springer 1995.

EVERSHEIM & DUNKER 1997

Eversheim, W.; Dunker, R.: Kostenintensive Nebentätigkeiten aus dem Montageprozeß verbannen. In: Industriezeiger 119 (1997) 38, S. 44-47.

EVERSHEIM & MORON 1997

Eversheim, W.; Moron, O: Strategic Design of Process Chains. In: Annals of the German Academic Society for Production Engineering (WGP), Vol. IV/1 (1997), S. 99-108.

FELDMANN 1997

Feldmann, Ch.: Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung. Berlin Heidelberg: Springer 1997.

FELDMANN & HOPPERDIETZEL 1992

Feldmann, K.; Hopperdietzel, R.: In Reih und Glied. In: Der Maschinenmarkt, Band 98 (1992) Heft 17, S. 24-28.

FELIX 1998

Felix, A.: Zur richtigen Zeit am richtigen Ort. In: Automobil-Produktion 01/1998, S. 30.

FICHTMÜLLER U.A. 1992

Fichtmüller, N.; Hossmann, J.; Kugelmann, F.: Richtschnur für das Handling von Dichtschnur. In: Roboter 10, 1/92. Landsberg: MI-Verlag 1992, S. 34-36.

FRANKENHAUSER 1988

Frankenhauser, B.: Montage von Schläuchen mit Industrieroboter.
Dissertation Stuttgart: 1988.

GAIROLA 1981

Gairola, A: Montagegerechtes Konstruieren. Dissertation TH Darmstadt:
1981.

GAITANIDES 1994

Gaitanides, M.: Prozeßmanagement: Konzepte, Umsetzungen und
Erfahrungen des Reengineering. München: Hanser 1994.

GAITANIDES 1995

Gaitanides, M.: Prozeßsystem als strategischer Wettbewerbsfaktor. ZwF 90
(1995) 7/8, S. 340-345.

GANGHOFF 1993

Ganghoff, P.: Wissensbasierte Unterstützung der Planung technischer
Systeme. Dissertation Dr.-Ing. Universität Karlsruhe (TH): 1993

GEYER 1991

Geyer, G.: Entwicklung problemspezifischer Verfahrensketten in der
Montage. München: Hanser 1991.

GIBSON U.A. 1990

Gibson, I.; Monkman, G. J.; Palmer, G. S.: Adaptabel Grippers for Garment
Assembly. In: Proceedings of the International Robots and Vision
Automation Conference, Detroit: 1990, S. 212-221.

GLAAS 1992

Glaas, W.: Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung. Berlin: Springer 1992.

GÖTZ 1991

Götz, R.: Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für
flächige Bauteile. Berlin: Springer 1991.

GOTZMANN 1998

Gotzmann, G.: Innovative Spritzgiessprozesse schaffen Funktions-vielfalt in
einem Schuss. VDI Nachrichten / Nr. 7 / 1998, S.13.

GRAF 1984

Graf, B.: Flexibilität und Kapazität von Werkstückspeichersystemen. Berlin:
Springer-Verlag 1984.

GREIM & BRINKMANN 1986

Greim, H.-R.; Brinkmann, M.: Kostenerfassung und -analyse im
Lagerbereich. München: gfmt - Verlags KG 1986.

GREUEL U.A. 1991

Greuel, M.; Weisse, F.; Zastrow, U.: Der Griff eines Gewebes - subjektive Beurteilung und objektive Messung. In: Bekleidung + Wäsche (1991) Nr. 5, S.36-45.

GRIEDER & NEUENSCHWANDER 1993

Grieder, C.; Neuenschwander, J.: Zusammenbau von Erzeugnissen auf hochautomatisierten Montageanlagen mit hoher Verfügbarkeit. In: VDI-Z, Band 135 (1993) Heft 5, S. 69-72.

GROB 1984

Grob, R.: Erweiterte Wirtschaftlichkeits- und Nutzungsrechnung. Köln: TÜV Verlag Reinland 1984.

GUTENBERG 1983

Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Bd. I: Die Produktion. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1983.

GUTSCHE 1993

Gutsche, C.: Beitrag zur automatisierten Montage technischer Textilien. München: Hanser, 1993.

HAACK 1985

Haack, W.: Vorausberechnung der mechanischen Eigenschaften von Kautschuken sowie Ermittlung des Verformungsverhaltens von Bauteilen. In: 11. Sitzung des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit. DVM, Köln-Gürzenich, 12.- 13.03.1985, S. 31-60.

HANISCH & MAHR 1990

Hanisch, G.; Mahr, A.: Automatisches Greifen und Vereinzen von Textilien. Köln: Forschungsgemeinschaft Bekleidungsindustrie 1990.

HAP 1997

hap: Varta produziert künftig in Ellwangen. In: Stuttgarter Zeitung Nr. 262 vom 13.11.1997, S. 1 u. S. 10

HARTL 1997

Hartl, M.: Kennzahlenbasiertes Bewertungssystem zur Beurteilung der Demontage- und Recyclingeignung von Produkten. Dissertation Dr.-Ing. Universität Karlsruhe: 1997.

HARTMANN U.A. 1987

Hartmann, G.; Pössinger, J.; Stempfle, H.: Einlegen von Dichtungsprofilen in Geschirrspüler durch Industrieroboter. In: Werkstatttechnik 77 / 1987, S. 379-382.

HELLERMANN 1997

Hellermann: Autotool 2000-Rationelle Bündelung für viele Einsatzbereiche. Firmenschrift der Fa. Hellermann. Pinneberg: 1997

HERRMANN 1976

Herrmann, G.: Analyse von Handhabungsvorgängen im Hinblick auf deren Anforderungen an programmierbare Handhabungsgeräte in der Teilefertigung. Dissertation Stuttgart: 1976.

HERRMANN 1997

Herrmann, J.: Von der Produktqualität zum QM - wo bleiben die Prozesse? In: QZ 42 (1997) H 9, S. 958.

HILGENBÖCKER 1985

Hilgenböcker, H.: Methodische Entwicklung von Zuführsystemen. Fortschritt-Berichte VDI-Reihe 2 Nr. 97. Köln: VDI-Verlag 1985.

HIRSCH-KREINSEN & MERZ (1997)

Hirsch-Kreinsen, H.; Merz, E.: Organisation und Kooperation als strategische Ressource der Zukunft. In: Lutz, B. (Hrsg.): Strategiefähigkeit und Zukunftsicherung der deutschen Industrie. Düsseldorf: Springer 1997, S. 66-89.

HOLZEMER 1982

Holzemer, K.: Berechnungsverfahren für Gummi und deren Einsatz bei der Entwicklung von Gummibauteilen. VDI-Berichte Nr. 444: 1982.

HORVATH & MAYER 1989

Horvath, P.; Mayer, R.: Prozesskostenrechnung. In: Controlling 4 (1989) 7, S. 214-219.

HOßMANN & DIRNDORFER 1991

Hoßmann J.; Dirndorfer A.: Montage nicht formstabiler Bauteile: Know-How-Frage. Die Neue Fabrik, MI-Sonderpublikation (1991), S. 126-128.

HOßMANN 1992

Hoßmann, J.: Methodik zur Planung der automatisierten Montage von nicht formstabilen Bauteilen. Berlin: Springer 1992.

Hou 1994

Hou, M.: Verfahren zum automatischen Handhaben und Positionieren labiler Stoffzuschnitte in der Bekleidungsfertigung. Dissertation Universität Stuttgart: 1994.

HSIEH & OH 1997

Hsieh, C.C.; Oh, K.P.: Simulation und optimatation of assembly involving flexible parts. In: International Journal of Vehicle Design, Band 18 (1997) Heft 5, S. 455-465.

HUANG & LEE 1991

Huang, Y.-F.; Lee, C.-S.-G.: A framework of knowledge-based assembly planning. In: Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 9-11. April, Sacramento, CA, USA, Band 1 (1991) S. 599-604.

HUCH 1979

Huch, B.: Produktionskosten. In: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Stuttgart: Poeschel 1979, S. 1512-1525.

HÜTTER 1979

Hütter, O.: Systematische Untersuchungen zum Werkstück- und Geräteverhalten beim Zubringeprozess von Wirkteilen. Dissertation Universität Hannover 1979.

JAUCH 1993

Jauch, T.: Automatisierte Montage nicht formstabiler Bauteile mit Industrieroboter - Konzept für die Montage von Dichtungselementen. Dissertation Kaiserslautern: 1993.

JÜHLICHER 1995

Jühllicher, F.-W.: Verfahren und Vorrichtung zum Einsetzen eines Dichtungsringes in eine innerhalb einer Bohrung eines Bauteils angeordneten Dichtungsnut. Offenlegungsschrift Nr. 4321510: 1995.

JÜNEMANN 1989

Jünemann, R.: Materialfluß und Logistik. Berlin: Springer, 1989.

JUNKER 1997

Junker, J.: Automatisierung und kundennahe Produktion - vom Rohbau zum „Präzisions-Karosseriebau“. In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg.): Stuttgarter Impulse-Innovation durch Technik und Organisation. Berlin: Springer 1997 S. 218-225.

KAHMEYER & WILLY 1992

Kahmeyer, M.; Willy, A.: Produktgestaltung in der flexibel automatisierten Serienmontage. Düsseldorf: VDI-Verlag 1992.

KATAYANAGI 1991

Katayanagi, J.: Vorrichtung zur Förderung von zugeschnittenen Blättern. Patent Nr. 3700677: 1991.

KOCKROW & STRACHE 1993

Kockrow, E.; Strache, H.: Transport und Warenannahme. Wiesbaden: Gabler 1993.

KÖHLER 1990

Köhler, E.: Automatische Werkstückhandhabung in der Konfektion. In: Deutsche Nähzeitschrift Nr. 4 / 1990, S. 42-46.

KOLLER 1994

Koller, S.: Direktmontage von Leitungen mit Industrierobotern. Berlin, Heidelberg: Springer 1994.

KRISTA 1992

Krista, J.: Verfahren und Vorrichtung zum automatischen Einbringen von O-Ringen in Ringnuten von rotationssymmetrischen Bauteilen. Patent Nr. 4135721: 1992.

KROCKENBERGER 1995

Krockenberger, O.: Entwicklung einer flexibel automatisierten Nähzanlage. Dissertation. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1995.

LACHENMEIER 1991

Lachenmeier, K.: Vorrichtung zum Verpacken von Gegenständen mit einer dehnbaren schlauchförmigen Kunststofffolie. Patent Nr. 3707877: 1991.

LASHIN 1993

Lashin, G.: Rechnerunterstützte Bereitstellung von ungeordneten Kleinteilen für die automatisierte Montage. München: Carl Hanser 1993.

LO & DORE 1990

Lo, E.K.; Dore, A.M.: Stochastic modelling of part feeding and acquisition in robotic assembly. In: Proceedings of the 28th MATADOR of UMIST. Manchaster, 18.-19.04.1990 (1990), S. 69-75

LOTTER 1992

Lotter, B.: Wirtschaftliche Montage. Düsseldorf: VDI-Verlag 1992.

LOTTER & SCHILLING 1996

Lotter, B.; Schilling, W.: Magazinierte Teileversorgung der Montage (Teil 1). In: Der Betriebsleiter, Band 37 (1996) S. 28-30.

LOTTER & SCHILLING 1997

Lotter, B.; Schilling, W.: Magazinierte Teileversorgung der Montage (Teil 3). In: Der Betriebsleiter, Band 38 (1997) Heft 1-2 S. 39-40.

MERTENS U.A. 1990

Mertens, P.; Borgkowsky, V.; Geis, W.: Betriebliche Expertensystem-Anwendungen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1990.

MEYER 1981

Meyer, A.: Rationeller Transport in Industrie und Handel. Dietikon-Zürich: Stocker-Schmid 1981.

MILBERG U.A. 1987

Milberg, J.; Diess H.; Götz R.: Flächen-Unterdruckgreifer für nicht formstabile Bauteile. Industrieanzeiger 109 (1987) 73, S. 24-28.

MILBERG & DIRNDORFER 1991

Milberg, J.; Dirndorfer, A.: Untersuchungen zur Montage flächiger Bauteile. DFG-Zwischenbericht Mi 234/16-2, 1991.

MILBERG & KUGELMANN 1994

Milberg, J.; Kugelmann, F.: Abschlussbericht zum DFG MI 234/22-2 Kompliente Systeme in der Montage. München: 1994

MILLER 1992

Miller, T.: Foam-in-place gasketing reduces automotive production costs. In: Adhesive Age, Band 35 (1992) Heft 5, S. 36-37.

MTM 1965

Deutsche MTM-Vereinigung e.V.(Hrsg.): MTM-Normzeitwertkarte. Hamburg 1965.

MÜLLER 1997

Müller, D.: Metal goes Plastik. In: Scope Oktober 1997, S. 178-180.

MÜLLER 1995

Müller, E.: Kryogreifer. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Band 90 (1995) Heft 6, S. 277.

MÜLLER-KRAMP 1992

Müller-Kramp, T.: Flexibles Ordnen von Werkstücken. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1992.

MÜTHERTIES 1992

Mütherties, R.: Großserie: Automatisch oder manuell montieren? In: 10. Deutscher Montagekongress. Neuorientierung im teuersten Bereich der Produktion. München: mi-verlag 1992, S.1-37.

NESTLER & PAKULAT 1989

Nestler, R.; Pakulat, D.: Untersuchung zum Vereinzelungsprozess von textilen Stoffteilen: Teil 1. In: Textiltechnik 34 (1989) N.5, S. 92-98.

NOLLEK 1987

Nollek, H.: Nähzelle für die automatisierte Fertigung von Hosenbeinen. Information des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung. Stuttgart: 1987.

NORO 1987

Noro, K.: Occupational health and safety in automation and robotics. London: Taylor&Francis 1987.

OHRMANN 1996

Ohrmann GmbH: Vorrichtung zum Zuführen und Montieren von ringförmigen Elementen wie z.B. Dichtungsringen. Gebrauchsmuster Nr. 29612760: 1996.

OPITZ 1971

Opitz, H.: Werkstückbeschreibendes Klassifizierungssystem. Essen: Girardet-Verlag 1970.

OTZEN U.A. 1996

Otzen, U.; Schorscht, H.-J.; Weiss, M.: Verfahren und Vorrichtung zur Drahtzuführung. Offenlegungsschrift Nr. 4443503: 1996.

PALM & TOLANI 1983

Palm, W.J.; Tolani, R.: Assembly of Products Containing Flexible Tubes. CAM-I Spring Seminar, May 1983, St. Louis: 1983.

PANDUIT 1996

Panduit: Kabelbinder und Zubehör. Informationsschrift der Fa. Panduit GmbH. Bad Homburg: 1996.

PESCH 1994

Pesch, E.: Learning in automated manufacturing - a local search approach. Heidelberg: Physica 1994.

PFEIFFER U.A. 1998

Pfeiffer, T.; Dahmen, J.; Gaida, W.: Qualitätsmanagement in der Produktionstechnik - Handlungsschwerpunkte und Perspektiven. In: Werkstattstechnik 5/98 1998, S. 201-207.

PFOHL 1990

Pfohl, H.-C.: Logistiksysteme - Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 4. Aufl. Berlin: Springer 1990.

POURBABAI 1994

Pourbabai, B.: An optimal concurrent design and loading strategy for an flexible assembly line system to control the bottleneck. In: International Journal of Advanced Manufacturing technology, Band 9, 1994, Heft 3, S. 156-165.

PUPPE 1988

Puppe, F.: Einführung in Expertensysteme. Berlin: Springer 1988.

RAHNEJAT 1986

Rahnejat, H.: Simulation for resource optimazation in robot-assisted automated assembly. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Band 200 (1986) Heft B3, S. 181-186.

RAUSCH 1987

Rausch, W.: Stabilisierung von Bekleidungstextilien. Forschungsstelle Hohenstein: Forschungsgemeinschaft Bekleidungsindustrie. Bekleidungstechnische Schriftenreihe Band 54, 1987 S.o.Z.

REFA 1987

REFA: Methodenlehre der Betriebsorganisation. Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme. München: Hanser 1987.

REINHART 1988

Reinhart, G.: Flexible Automatisierung von Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze. Berlin: Springer 1988.

REINHART U.A. 1996

Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement. Berlin, Heidelberg: Springer 1996.

REINHART 1998

Reinhart, G.: Simultan ist gut - Gemeinsam ist besser. In: Wirtschaftliche Montage - Effizienz durch ganzheitliche Systemgestaltung. 14. Deutscher Montagekongress. München, 18. und 19. März 1998, S. 1-18.

REINHART 1998

Reinhart, G. (Hrsg.): Montage-Management: Lösungen zum Montieren am Standort Deutschland. München: Transfer-Centrum 1998.

REINHART & GOLDSTEIN 1994

Reinhart, G.; Goldstein, B.: Gestaltung der internen Kunden-Lieferanten-Beziehung. In: Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch systematische Mittel. Erlangen, München: Bayerischer Forschungsverbund Systemtechnik 1994, S. 131 - 159.

REINHART & SCHNEIDER 1995

Reinhart, G.; Schneider, B.: Montage. In: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Stuttgart: Poeschel 1995, S. 1236-1248.

REINHART U.A. 1998

Reinhart, G.; Cuiper, R.; Loferer, M.: Planung durch Integration von Produktkonstruktion und Anlagenplanung verbessern. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Montage-Management: Lösungen zum Montieren am Standort Deutschland. München: Transfer-Centrum 1998, S. 19-25.

RICHTER U.A. 1974

Richter, F.; Schilling, W.; Weise, M.: Montage im Maschinenbau. Berlin: Technik Verlag 1974.

ROCKLAND 1995

Rockland, M.: Flexibilisierung der automatischen Teilebereitstellung in Montageanlagen. Dissertation TU München. Berlin: Springer 1995.

ROTH 1982

Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Berlin: Springer 1982.

RUFFING 1993

Ruffing , B.: Prozesse durch Kennwerte fähig beurteilen. QZ 38 (1993) 4, S. 241-244.

RUPPRECHT 1997

Rupprecht, R.: Einführung in die Kabelkonfektion. In: Schmitt, P. (Leitung), Schraft, R.D. (Leitung): Kabelkonfektion - Quo vadis?: Trends in der Produktion von Kfz-Kabelsätzen. Essen: 1997, S. 7-18.

RÜMMLER 1992

Rümmler, G.: Anwendungen der Kostenvergleichsrechnung in der Arbeits- und Fertigungsplanung. In: Wissenschaftliche Schriftenreihe der Technischen Universität Chemnitz-Zwickau, Heft 6/1992.

SAECHTLING 1995

Saechting, H. (Hrsg.): Kunststoff-Taschenbuch. München: Hanser 1995.

SCHMAUS 1993

Schmaus, T.: Rationalisierungspotential der montagegerechten Produktgestaltung bei der Montage mit Industrierobotern. Berlin: Springer 1993.

SCHANK 1991

Schank, R.C.: Where's the AI? In: AI Magazine, Vol. 12, No. 4, 1991 38-49.

SCHIELE & HALLWACHS 1987

Schiele, G.; Hallwachs, U.: Robotereinsatz menschgerecht geplant. Berlin: Springer 1987.

SCHIERHOLT 1994

Schierholt, K.: Knowledge management aspects in process configuration for multi-variant products. In: First International Workshop on Intelligent Manufacturing Systems. Lausanne, 15.-17- April 1998 S.o.Z.

SCHLAICH 1988

Schlach, G.: Kabelbaummontage mit Industrierobotern. Berlin: Springer 1988.

SCHMIDT 1992

Schmidt, M.: Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme. Berlin: Springer 1992.

SCHMIDT & SCHRÖDEL 1994

Schmidt, T., Schrödel, O.: Ein methodischer Ansatz zur Analyse und Modellierung von logistischen Unternehmensabläufen. Wirtschaftsinformatik 36. 1994, 5, S. 478-487.

SCHNEIDER 1995

Schneider, B.: Montage von Standardbauelementen. In: Innovative Montagesysteme, iwb Seminarbericht 1. München: 1995 S. 1-16.

SCHNEIDER 1996

Schneider, B.: Bereitstellung und Verarbeitung formlabiler Bauteile. In: 13. Deutscher Montagekongress: Die Montage im internationalen Wettbewerb. 23. und 24. 10.1996. München: mi-verlag 1996.

SCHNELL U.A. 1985

Schnell, W.; Gross, D.; Hauger, W.: Technische Mechanik. Berlin: Springer 1985.

SCHRAFT & BÄBLER 1986

Schraft, R.-D.; Bäßler, R.: Möglichkeiten zur Umsetzung des montagegerechten Konstruierens. VDI-Berichte Nr. 592. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1986, S.119-131.

SCHULLER U.A. 1998

Schuller, R.; Schneider, B.; Lorenzen, J.: Auswahl und Anwendung statischer Dichtungselemente. In: Maschinenmarkt 104 (1998) 3/4, S. 40-44.

SCHUSTER 1992

Schuster, G.: Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage. Berlin, Heidelberg: Springer 1992

SCHWEIZER U.A. 1992

Schweizer, M.; Emmerich, H.; Cramer, R.: Lösungen fehlen - Marktanalyse mehradriger Kabel. In: Industrieanzeiger 114 (1992) Nr. 53, S. 24-27.

SEIDEL 1995

Seidel, G.: Teilebereitstellung in automatischen Montageanlagen. In: Innovative Montagesysteme, Seminarbericht / iwb 1, München: 1995.

SELIGER & GUTSCHE 1991

Seliger, G.; Gutsche, C.: Industrieroboter geführte Montage flächiger nicht formstabiler Fügepartner. ZwF 86 (1991) 1, S. 24-28.

SELIGER U.A. 1992

Seliger, G.; Krüger, S.; Neu, S.: Rechnerunterstützte Bereitstellung von Montageprozeßwissen für die Konstruktion. In: Aspekte erfolg-reicher Produktkonstruktion. 11. und 12. November. Berlin: 1992.

SIEMENS 1991

Siemens AG: Legewerkzeug zur automatisierten Montage von biegeschlaffen Schutzprofilen an Gerätegehäusen. Gebrauchsmuster Nr. 9010928: 1991.

SIHN & RIST 1997

Wertewandel im fraktalen Unternehmen: Prozeßorientierung, Selbstmanagement und Teamarbeit als Eckpfeiler. In: Technische Rundschau 89 (1997), Nr. 19, S. 26-30.

SPATH 1996

Spath, D.: Steigerung des Wertschöpfungsanteils in der Montage. In: 13. Deutscher Montagekongress: Die Montage im internationalen Wettbewerb. 23. und 24. 10.1996. München: mi-verlag 1996 S. 1-17.

SPIEGELMACHER 1991

Spiegelmacher, K.: Zuschneiden und Vereinzeln textiler Werkstücke. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1991.

SPIES 1991

Spies, B.: Handling biegeschlaffer Teile. Vortrag bei CCK-Seminar Montageautomatisierung. Kaiserslautern, 1991 S.o.Z.

SPUR 1997

Spur, G.: Aspekte der wissengetriebenen Produktion. In: ZwF 92 (1997) 1-2, S. 6-7.

SPUR & STÖFERLE 1986

Spur, G. & Stöferle Th.: Fügen - Handhaben - Montieren. Handbuch der Fertigungstechnik Band 5. München: Hanser Verlag 1986.

STROHMEYER 1993

Strohmeyer, R.: Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von Zubringeeinrichtungen. Berlin: Springer 1993.

SYSKA 1990

Syska, A.: Kennzahlen für die Logistik. Berlin: Springer 1990.

TAGUCHI 1986

Taguchi, G.: Quality Engineering. München: gmft 1986.

TAYLOR 1990

Taylor, P. M. (Hrsg.): Sensory Robotics for the Handling of Limp Materials. In: Computer and Systems Sciences Vol. 64. Berlin: Springer 1990.

TRÄNCKER 1990

Träncker, J.: Entwicklung eines prozeß- und elementeorientierten Modells zur Analyse und Gestaltung der technischen Auftragsabwicklung von komplexen Produkten. Dissertation Aachen: 1990.

TÜCHELmann 1986

Tüchelmann, Y.: Automatisierter Material- und Informationsfluß. In: CIM-Komponenten in der Produktion. Werkstatttechnik 76 (1986), S.153-156.

VDI 2221 1986

VDI Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Berlin: Beuth 1986.

VDI 2222 1982

VDI Richtlinie 2222: Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen. Berlin: Beuth 1982.

VDI 2481 1981

VDI Richtlinie 2481: Kostenblatt für Stetigförderer. Düsseldorf: VDI-Verlag 1981.

VDI 2860 1990

VDI Richtlinie 2860: Blatt 1: Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen: Begriffe, Definitionen, Symbole. Düsseldorf: VDI-Verlag 1990.

VDI 3237 1967

VDI Richtlinie 3237: Fertigungsgerechte Werkstückgestaltung im Hinblick auf automatisiertes Zubringen, Fertigen und Montieren. Berlin: Beuth-Verlag 1967.

VDI 3239 1966

VDI Richtlinie 3239: Sinnbilder für Zubringefunktionen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1966.

VDI 3240 1971

VDI Richtlinie 3240: Zubringeeinrichtungen: Begriffe, Kennzeichnungen, Anforderungen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1971.

VDI 3244 1965

VDI Richtlinie 3244: Automatisierung des Arbeitsgutdurchlaufs - Zubringeeinrichtungen und Verkettungseinrichtungen in der Fertigung. Düsseldorf: VDI-Verlag 1965.

VDI 3246 1965

VDI Richtlinie 3246: Zubringeeinrichtungen für Blechkleinteile an Pressen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1965.

VDI 3258 1962

VDI Richtlinie 3258: Kostenrechnung mit Maschinenstundensätzen: Begriffe, Bezeichnungen, Zusammenhänge. Blatt 1 und 2. VDI-Verlag: Düsseldorf 1962.

VDI 3301 1963

VDI Richtlinie 3301: Kostenblatt für Flurförderzeuge. Düsseldorf: VDI-Verlag 1963.

VDI 3594 1977

VDI Richtlinie 3594: Kosten des innerbetrieblichen Transportes.:
Düsseldorf: VDI-Verlag 1977.

WAGNER & LAUFENBERG 1996

Wagner, T.; Laufenberg, A.: Verfahren und Vorrichtung zum
Zwischenspeichern von biegeschlaffem Wickelgut. Patent Nr. 19503729:
1996.

WALTHER 1997

Walther, M.: Geflecht zum Überleben. In: Automobil-Produktion 10/1997, S.
70.

WARNECKE 1998

Warnecke H.J.: Wissen - die Ressource der Zukunft. In: Werkstattstechnik
5/98 1998, S. 195.

WARNECKE & FRANKENHAUSER 1995

Warnecke H.J., Frankenhauser, B.: Montage biegeschlaffer Teile mit
sensorgeführtem Industrieroboter. Industrieblatt Nr. 81/107.Jg. 1995,
S. 23-24.

WARNECKE & SCHRAFT 1992

Warnecke, H.J.; Schraft, R.D.: Handbuch Handhabungs-, Montage- und
Industrierobotertechnik. Landsberg: mi-Verlag 1992.

WARNECKE U.A. 1990

Warnecke, H.J.; Nollek, H.; Strommer, W.: Schließung der Lücke zwischen
Zuschnitt und Näherei. In: Bekleidung + Wäsche Nr. 1/1990 S. 38-40.

WARNECKE U.A. 1993

Warnecke, H.J.: Bullinger, H.J.: Hichert, R.: Wirtschaftlichkeitsrechnung für
Ingenieure. München: Carl Hanser 1993.

WÄSCHER 1989

Wässcher, D.: Strategisches Gemeinkostenmanagement im Material- und
Logistikbereich. Controller Magazin 14 (1/89), S. 41-46.

WEBER 1984

Weber, J.: Kostenrechnung in der Logistik. In: Produktivität-Flexibilität
durch Logistik - BVL Logistik-Kongreß '84, Band 2. München: gfmt -
Gesellschaft für Management und Technologie 1984. S. 1063-1083.

WEBER 1987

Weber, T: Ein Beitrag zur Planungssystematik für die flexibel automatisierte
Blechteilfertigung. Dissertation Stuttgart 1987.

WEBER 1997

Weber, T.: Wettbewerbsfähigkeit am Standort Deutschland durch ein innovatives Gesamtkonzept. In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg.): Stuttgarter Impulse-Innovation durch Technik und Organisation. Berlin: Springer 1997. S. 3-27.

WEIß 1996

Weiβ, H.: Prozeßketten müssen durchgängig und flexibel sein. In: CAD-CAM-Report, Band 15 (1996) Heft 1, S. 36-38.

WESTKÄMPER 1997

Westkämper, E.: Lernfähige Produktion. In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg.): Stuttgarter Impulse-Innovation durch Technik und Organisation. Berlin: Springer 1997 S. 226-244.

WESTKÄMPER 1996

Westkämper, E.: Null-Fehler-Produktion in Prozeßketten: Maßnahmen zur Fehlervermeidung und -kompensation. Berlin, Heidelberg: Springer 1996.

WEULE 1993

Weule, H.: Expertensysteme im industriellen Einsatz. In: Puppe, F.; Günter, A. (Hrsg.): Expertensysteme 93. 2. Deutsche Expertensystemtagung Hamburg, Berlin: Springer 1993, S. 1-12.

WIENDAHL 1987

Wiendahl, H.-P.: Zuführen und Bereitstellen von Werkstücken in der automatischen Montage. In: Flexibel automatisierte Montagesysteme. Seminar der VDI Ges. Produktionstechnik (ADB), Düsseldorf, 5.-6.10.1987, S. 1-12.

WIENDAHL U.A. 1993

Wiendahl, H.-P.; Müller-Kramp, T.; Radow, W. R.: Planung flexibler Zuführsysteme. VDI-Z 135 (1993) 4, S. 85-87.

WIENDAHL & LORENZ 1998

Wiendahl, H.-P.; Lorenz, B.: Neue Verfahren in der Zuführtechnik. ZWF 1-2/1998, S. 26ff

WILDEMANN 1995

Wildemann, H.: Behältersysteme - Konzepte zur Optimierung des Behälterkreislaufes. München: Transfer-Centrum-Verlag 1995.

WINKLER & KÖHLER 1991

Winkler, R.; Köhler, E.: Entwicklung eines kontinuierlichen Positionierverfahrens: Teil 1. In: Bekleidung + Wäsche (1991), Nr. 3, S. 20-25.

WOLFSTETTER 1991

Wolfstetter, G.: Moderne Verfahren der Kostenrechnung. Pfaffenweiler: Centaurus 1991.

WÖßNER 1993

Wößner, J.: Automatische Montage von O-Ringen. Dissertation Stuttgart. Berlin: Springer-Verlag 1993.

ZANGENMEISTER 1976

Zangenmeister, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. München: Wittmannsche 1976

ZIERSCH 1985

Ziersch, W.-D.: Strategien zur Leistungssteigerung von automatischen Montageanlagen durch zuverlässige Zuführsysteme. Dissertation. Düsseldorf: VDI Verlag 1985.

ZIERSCH 1985b

Ziersch, W.-D.: Betriebsverhalten automatischer Montageanlagen und Strategien zur Leistungssteigerung. In: Nutzung automatischer Montageanlagen. IFA-Fachtagung, Januar 1985 (1985), S. 136-166.

ZIERSCH 1987

Ziersch, W.-D.: Betriebsverhalten von automatischen Montageanlagen. In: Flexibel automatisierte Montagesysteme. Seminar der VDI Ges. Produktionstechnik (ADB), Düsseldorf, 5.-6.10.1987, S. 12-23.

ZIPSE 1987

Zipse, T.: Konzeption und Auswahl modularer Magazinpaletten. Berlin: Springer 1987.

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	<i>Streifinger, E.</i> Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel 1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3	14	<i>Groha, A.</i> Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme 1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
2	<i>Fuchsberger, A.</i> Untersuchung der spanenden Arbeit von Knochen 1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1	15	<i>Riese, K.</i> Klippsmontage mit Industrierobotern 1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
3	<i>Maier, C.</i> Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern 1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X	16	<i>Lutz, P.</i> Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung 1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
4	<i>Summer, H.</i> Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen 1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8	17	<i>Klippel, C.</i> Mobilier Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems 1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
5	<i>Simon, W.</i> Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen 1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9	18	<i>Rascher, R.</i> Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung 1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
6	<i>Büchs, S.</i> Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung 1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7	19	<i>Heusler, H.-J.</i> Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme 1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
7	<i>Hunzinger, I.</i> Schneiderodierte Oberflächen 1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5	20	<i>Kirchnapf, P.</i> Ermittlung modularer Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen 1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
8	<i>Pilland, U.</i> Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen 1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2	21	<i>Sauerer, Ch.</i> Beitrag für ein Zerspanprozeßmodell Metallbandsägen 1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
9	<i>Barthelmeß, P.</i> Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung 1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2	22	<i>Karstedt, K.</i> Positionsbestimmung von Objekten in der Montage. und Fertigungsautomatisierung 1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
10	<i>Reithofer, N.</i> Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen 1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6	23	<i>Peiker, St.</i> Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems 1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
11	<i>Diess, H.</i> Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse 1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5	24	<i>Schugmann, R.</i> Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage 1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
12	<i>Reinhart, G.</i> Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze 1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1	25	<i>Wrbä, P.</i> Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik 1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
13	<i>Bürstner, H.</i> Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion 1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6	26	<i>Eibelhäuser, P.</i> Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung 1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7
		27	<i>Prasch, J.</i> 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 *Tuzcek, H.*
Inspektion von Karosseriepreßteilen 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 Programmabaukastens für robotergeführte Klebeprozesse
1992 · 106 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-55374-6

45 *Schönecker, W.*
Integrierte Diagnose in Produktionszellen
1992 · 87 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-55375-4

46 *Bick, W.*
Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades
1992 · 70 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-55377-0

47 *Gebauer, L.*
Prozeßuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9

48 *Schräfer, N.*
Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9

49 *Wissbacher, J.*
Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen
1992 · 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9

50 *Garnich, F.*
Laserbearbeitung mit Robotern
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7

51 *Eubert, P.*
Digitale Zustandesregelung 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 *Heiml, 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 Zubringereimittungen
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 *Stettner, R.*
Rechnergestützte Simulationswerkzeuge zur Effizienzsteigerung des Industrieroboter Einsatzes
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 *Woenckhaus, Ch.*
Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-Layoutoptimierung
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8

66 *Kummetssteiner, G.*
3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur Planung manueller Montagesysteme
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9

67 *Kugelmann, F.*
Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen Automatisierung von Produktionssystemen
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9

68 *Schwarz, H.*
Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4

69 *Viethen, U.*
Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7

70 *Seehuber, M.*
Automatische Inbetriebnahme geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X

71 *Amann, W.*
Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von Produktionssystemen
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9

72 *Schöpf, M.*
Rechnergestütztes Projektinformations- und Koordinationsystem 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 3-540-580-80-0

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 *Reith, 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 Produktionsystemen 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 *Linner, 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 *Deutschle, 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 varianteureiche 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 *Fichttmüller, 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 Produktionsysteme
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 *Kähler, R.*
Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen varianteureichen Kleinproduktionen
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 *Wegner, M.*
Steuerungsintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe
1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62856-5

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 Ähnlichkeitssuche 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 *Kube, 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 *Lindermair, R.*
Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen
1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8

116 *Koehler, J.*
Prozeßorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung
1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7

117 *Schuller, R. W.*
Leitfaden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen
1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1

118 *Debuschwitz, M.*
Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung
1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3

119 *Bauer, L.*
Strategien zur rechnergestützten Offline-Programmierung von 3D-Laseranlagen
1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1

120 *Pfob, E.*
Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5

121 *Spitznagel, J.*
Erfahrungsgeleitete 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 089-277791-00, utz@utzverlag.com

1	Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung 115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9	27	Rapid Prototyping · Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt 111 Seiten · ISBN 3-931327-22-2
2	Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt 82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7	28	Rapid Tooling · Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt 154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
3	Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung 110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5	29	Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar 156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
4	Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte 134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3	31	Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends 183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
5	Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung 95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1	33	3D-CAD · Mehr als nur eine dritte Dimension 181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
6	Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung 86 Seiten · ISBN 3-931327-76-0	34	Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz 102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
7	Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen 80 Seiten · ISBN 3-931327-77-9	35	Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben 129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
8	Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel 130 Seiten · ISBN 3-931327-78-7	36	Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion 124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
9	Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte 120 Seiten · ISBN 3-931327-79-5	37	Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätsteigerung durch technische und organisatorische Ansätze 95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
10	3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel 90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8	38	Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung 128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
11	Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion 110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6	39	Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau 130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
12	Autonome Produktionsysteme 100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4	40	Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen 160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
13	Planung von Montageanlagen 130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2	41	Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen 146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
15	Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung 80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9	42	Stückzahlflexible Montagesysteme 139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
16	Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart 80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7	43	Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern 120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
17	Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen 80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5	44	Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobauteilen 125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
18	Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen 165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3	45	Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele ISBN 3-89675-045-3
19	Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung 85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1	46	Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation ISBN 3-89675-046-1
20	Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen - Plug & Play - Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme 105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5	47	Virtuelle Produktion - Prozeß- und Produktionsimulation ISBN 3-89675-047-X
21	Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen 95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3	48	Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen ISBN 3-89675-048-8
22	Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale 95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1	49	Rapid Prototyping - Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung ISBN 3-89675-049-6
24	EDM Engineering Data Management 195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8	50	Rapid Manufacturing - Methoden für die reaktionsfähige Produktion ISBN 3-89675-050-X
25	Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele 152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6	51	Flexibles Kleben und Dichten - Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle ISBN 3-89675-051-8
26	Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag 110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4		

Forschungsberichte iwb

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

**Forschungsberichte iwb ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-00, utz@utzverlag.com**

122 Burghard Schneider
Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
183 Seiten · 98 Abb. · 14 Tab. · ISBN 3-89675-559-5

123 Bernd Goldstein
Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
170 Seiten · 65 Abb. · ISBN 3-89675-546-3

124 Helmut E. Mößmer
Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme
156 Seiten · 67 Abb. · 5 Tab. · ISBN 3-89675-585-4

125 Ralf-Gunter Gräser
Ein Verfahren zur Kompenstation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
167 Seiten · 63 Abb. · 5 Tab. · ISBN 3-89675-603-6

126 Hans-Jürgen Trossin
Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
162 Seiten · 75 Abb. · 11 Tab. · ISBN 3-89675-614-1

127 Doris Kugelmann
Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
158 Seiten · 68 Abb. · 2 Tab. · ISBN 3-89675-615-X

128 Rolf Diesch
Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
160 Seiten · 69 Abb. · ISBN 3-89675-618-4

129 Werner E. Lulay
Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen
170 Seiten · 51 Abb. · 14 Tab. · ISBN 3-89675-620-6

130 Otto Murr
Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
178 Seiten · 85 Abb. · 3 Tab. · ISBN 3-89675-636-2

131 Michael Macht
Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
170 Seiten · 87 Abb. · 5 Tab. · ISBN 3-89675-638-9

132 Bruno H. Mehler
Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbindungen
152 Seiten · 44 Abb. · 5 Tab. · ISBN 3-89675-645-1