

# **Planung und Steuerung des Werkzeug- und Formenbaus auf Basis eines integrierten Produktmodells**

Vom Fachbereich Maschinenbau  
der Universität Hannover  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieurin  
genehmigte Dissertation

von  
Dipl.-Ing. Kirsten Tracht  
geboren am 26. April 1969 in Hannover

**2001**

1. Referent: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. mult. Hans Kurt Tönshoff
  2. Referent: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans-Peter Wiendahl
- Tag der Promotion: 29. Juni 2001

## **Abstract**

Die Auftragserfüllung im Werkzeug- und Formenbau ist durch den Beginn der Auftragserfüllung vor der Konstruktion und einen hohen Anteil kundengetriebener Änderungen gekennzeichnet. Eine Methode zur Unterstützung der Auftragsplanung und -steuerung im Werkzeug- und Formenbau muss direkt nach Auftragseingang eine grobe Planung unterstützen und flexibel Änderungen bis kurz vor Fertigstellung des Werkzeugs verarbeiten können.

Die in der vorliegenden Arbeit beschriebene Methode zur Planung und Steuerung des Werkzeug- und Formenbaus basiert auf einem Produktmodell, welches neben technischen und fertigungstechnischen Informationen logistische Informationen beinhaltet. Das Produktmodell stellt Informationen für die Planung und die Verfolgung von Aufträgen in Form von Produktstruktur- und Arbeitssystemkennzahlen zur Verfügung. Für den Einsatz in der Praxis wird in der Arbeit zudem eine Organisationsstruktur und geeignete Hilfsmittel für die an der Planung und Steuerung beteiligten Mitarbeiter vorgestellt.

Characteristics of planning and scheduling in die and mold industry are the start of the order processing before the design phase and a high percentage of customer driven changes during the order completion. A method for planning and scheduling therefore needs to support a rough planning before without design and needs to be tolerant against changes till shipping the tool.

The newly developed method for planning and scheduling in die and mold industry is based on a product model integrating data on design, manufacturing and logistics. The product model provides information for planning and monitoring of orders like key figures about product structure and working systems. A suggestion for implementing the model in companies including an organisational structure and tools for those employees dealing with planning and scheduling anywhere in the company is shown as well.

## **Schlagworte**

Werkzeug- und Formenbau; Terminplanung; Kapazitätsplanung

Die and mold industry; planning; scheduling

*Do the things as simple as possible - but not simpler.*

(Albert Einstein)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG .....</b>	<b>I</b>
1.1	ERFOLGSFAKTOREN FÜR DEN MARKT DER ZUKUNFT .....	4
1.1.1	<i>Kurze Durchlaufzeiten (E3)</i> .....	7
1.1.2	<i>Beherrschte Logistik (E4)</i> .....	9
1.1.3	<i>Flexible Auftragsabwicklung (E5)</i> .....	13
1.2	POTENTIALE ZUR VERBESSERUNG DER AUFTRAGSABWICKLUNG .....	14
1.3	AUFGABENSTELLUNG UND LÖSUNGSWEG .....	15
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN DER PLANUNG VON AUFTRÄGEN .....</b>	<b>18</b>
2.1	METHODEN DER PLANUNG .....	18
2.1.1	<i>Projektplanung</i> .....	18
2.1.2	<i>Planung von Entwicklungsprozessen</i> .....	20
2.1.3	<i>Planung der mechanischen Werkstattfertigung</i> .....	24
2.1.4	<i>Integration von Planung und Steuerung</i> .....	27
2.2	PLANUNG MIT PRODUKTINFORMATIONEN .....	30
2.2.1	<i>Technische Elemente</i> .....	30
2.2.2	<i>Produktstrukturierung</i> .....	33
2.2.3	<i>Produktmodelle</i> .....	35
2.2.4	<i>Anforderungen an die Weiterentwicklung der Produktmodelle</i> .....	37
2.3	SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR EINEN METHODISCHEN ANSATZ ZUR AUFTRAGSPLANUNG .....	38
<b>3</b>	<b>PRODUKTMODELL FÜR DIE AUFTRAGSABWICKLUNG .....</b>	<b>41</b>
3.1	KONZEPTION DES PRODUKTMODELLS .....	41
3.1.1	<i>Informationsfluss der Auftragsabwicklung</i> .....	42
3.1.2	<i>Anforderungen an die Modellierung der Datenstruktur</i> .....	43
3.2	ELEMENTE DES PRODUKTMODELLS .....	44
3.3	ABBILDUNG DER ARBEITS- UND TERMINPLANUNG .....	46
3.4	LOGISTISCHE KENNZAHLEN IM PRODUKTMODELL .....	51
3.4.1	<i>Strukturdaten des Produktmodells</i> .....	51
3.4.2	<i>Ableitung der Übergangszeiten als Kenngröße für das Produktmodell</i> .....	54

---

3.5	DURCHLAUFORIENTIERTE PRODUKTSTRUKTUR .....	58
3.5.1	<i>Durchlaufgruppen und Durchlaufeinheiten</i> .....	59
3.5.2	<i>Durchlaufzeitterminierung mit Durchlaufgruppen</i> .....	62
<b>4</b>	<b>PRODUKTMODELLBASIERTE AUFTRAGSPANUNG .....</b>	<b>66</b>
4.1	VORGEHENSWEISE BEI GROB- UND FEINPLANUNG .....	66
4.2	METHODISCHE PLANUNG MIT DURCHLAUFGRUPPEN.....	68
4.2.1	<i>Ablauf der Auftragsplanung</i> .....	70
4.2.2	<i>Kapazitäten und Meilensteine</i> .....	71
4.2.3	<i>Parametrisierung der Produktstruktur</i> .....	74
4.3	ANFORDERUNGEN AN DIE ORGANISATORISCHE EINBINDUNG IM UNTERNEHMEN .....	76
<b>5</b>	<b>ORGANISATION UND ABLAUF DER AUFTRAGSDURCHSETZUNG.....</b>	<b>77</b>
5.1	ORGANISATIONSFORMEN FÜR DIE AUFTRAGSABWICKLUNG .....	77
5.2	GLIEDERUNG DER FUNKTIONEN.....	79
5.2.1	<i>Reihenfolge- und Belegungsplanung</i> .....	82
5.2.2	<i>Auftrags- und Kapazitätsüberwachung</i> .....	83
5.3	RÜCKKOPPLUNG ZUR PLANUNG UND ZUM PRODUKTMODELL.....	89
<b>6</b>	<b>SYSTEM ZUR PLANUNG UND STEUERUNG.....</b>	<b>90</b>
6.1	INFORMATIONSTRUKTUR DES PRODUKTMODELLS .....	90
6.2	PRODUKTSTRUKTURIERUNG.....	93
6.3	MODULE DES PLANUNGS- UND STEUERUNGSSYSTEMS.....	96
6.3.1	<i>Auftragsverwaltung</i> .....	96
6.3.2	<i>Definition der Parameter für die Durchlaufstruktur</i> .....	97
6.3.3	<i>Grobplanung</i> .....	98
6.3.4	<i>Auswertung des Projektplans</i> .....	102
6.3.5	<i>Feinplanung</i> .....	104
6.4	PILOTANWENDUNG .....	105
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>109</b>
<b>8</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>110</b>

## Abbildungsverzeichnis

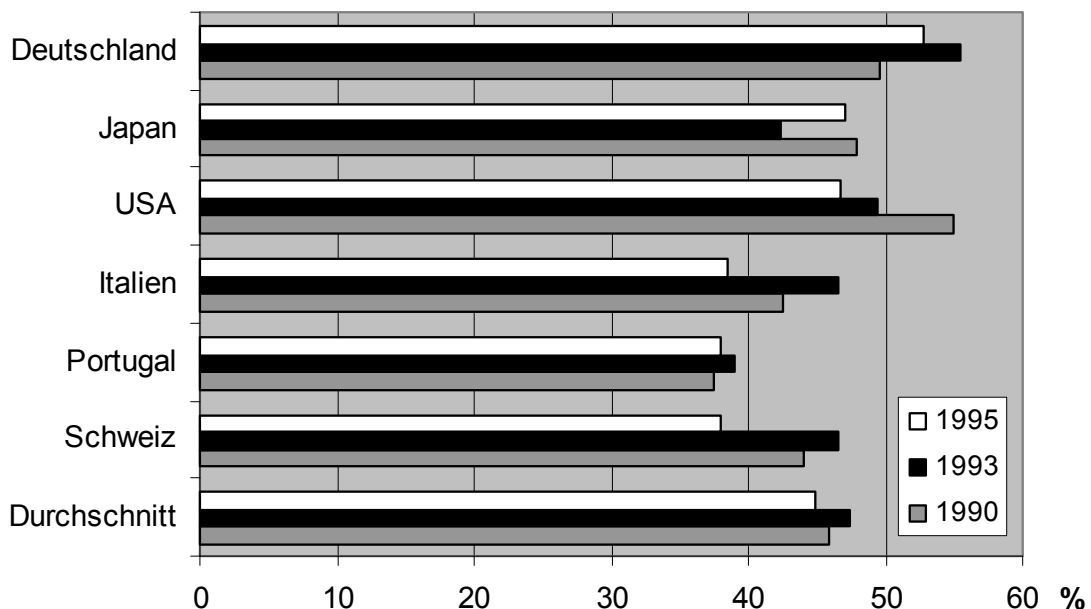
Abbildung 1.1:	Umsatzbezogene Personalkosten hochqualifizierter Arbeitnehmer (ISTMA 1995)	1
Abbildung 1.2:	Einschätzung der Standorte der wichtigsten Konkurrenten deutscher Werkzeugbauer auf dem deutschen Markt ( <i>Hantsch 1997</i> )	2
Abbildung 1.3:	Standorte der wichtigsten Konkurrenten deutscher Werkzeugbauer auf dem deutschen Markt ( <i>VDMA 1999</i> )	2
Abbildung 1.4:	Entwicklungen der Marktanteile von High-Tech und Low-Tech-Werkzeugen auf dem deutschen Markt, bezogen auf die Werte von 1991 ( <i>Klingauf 1995</i> )	3
Abbildung 1.5:	Gewichtung des Kundennutzens am Beispiel der Schmiedegesenkabnehmer ( <i>Eversheim 1998</i> )	5
Abbildung 1.6:	Anteilige Zeitbedarfe der Produktentwicklung bei Fa. Albert Kärcher, Entwicklung von Reinigungsgeräten ( <i>Schmidl 2000</i> )	6
Abbildung 1.7:	Verkürzung der Durchlaufzeit bei der Herstellung von Zahnrädern durch automatisierte Feinstbearbeitung [Tönshoff]	8
Abbildung 1.8:	Durchlaufzeitverkürzung im Werkzeugbau durch Komplettbearbeitung von Formen ( <i>Hock 2000</i> )	9
Abbildung 1.9:	Lage der Kundenauftragsentkopplungsebene [in Anlehnung an Eidenmüller]	10
Abbildung 1.10:	Ablauf der Auftragserfüllung im Werkzeug- und Formenbau	11
Abbildung 1.11:	Vorgehensweise zur Entwicklung der Methode	16
Abbildung 2.1:	Beispiel eines Standardnetzplans für die Werkzeugherstellung	19
Abbildung 2.2:	Kostenbeeinflussung und Kostenverantwortung in den Unternehmensbereichen [nach Rapp]	21
Abbildung 2.3:	Ablauf der Konstruktionsplanung und -steuerung [Franken]	23
Abbildung 2.4:	Verfahren zur Durchlaufzeitbestimmung bei Aufträgen [Wahlers]	24
Abbildung 2.5:	Planungsverfahren für die Reihenfolgeplanung [Fischer]	25
Abbildung 2.6:	Konzepte zur Integration von Planung und Steuerung	27
Abbildung 2.7:	Eigenschaften technischer Elemente [Rudolph]	31
Abbildung 2.8:	Umwandlung von Konstruktions- in Planungselemente [Baum]	32
Abbildung 2.9:	Funktions- und fertigungsorientierte Sicht einer Spritzgießform [Brunkhorst]	34
Abbildung 2.10:	Integration von funktions- und fertigungsorientierter Sicht am Beispiel einer Spritzgießform [Lampkemeyer]	36
Abbildung 2.11:	Einsatz verschiedener Sichten auf das Produkt im Werkzeugbau	39
Abbildung 3.1:	Informationen der Auftragsabwicklung	42
Abbildung 3.2:	Planungselemente und Grundkörper als Elemente eines Einzelteils	45
Abbildung 3.3:	Arbeitsplanungsdaten im Produktmodell [Brunkhorst]	47
Abbildung 3.4:	Zusammensetzung der Durchlaufzeiten für Arbeitsvorgang und Fertigungsauftrag [nach Wiendahl]	49
Abbildung 3.5:	Auftragsbezogene Durchlaufplanung einer Spritzgießform	50

Abbildung 3.6:	Erweitertes Produktmodell	52
Abbildung 3.7:	Planung mit dem erweiterten Produktmodell	53
Abbildung 3.8:	Auftragszeitverteilung am Arbeitssystem „Fräsen“ (Beispiel Werkzeug- und Formenbau)	54
Abbildung 3.9:	Verteilung der Variationskoeffizienten der Auftragszeit je Arbeitssystem (Beispiel Werkzeug- und Formenbau)	55
Abbildung 3.10:	Auftragszeitverteilung am Arbeitssystem „Drahterodieren“ (Beispiel Werkzeug- und Formenbau)	56
Abbildung 3.11:	Ableitung der Durchlaufeinheiten am Beispiel der Durchlaufgruppen „Stammform“ und „Montage“	60
Abbildung 3.12:	Teile gleicher Durchlaufcharakteristik	61
Abbildung 3.13:	Termin- und Kapazitätsplanung mit Durchlaufeinheiten	63
Abbildung 3.14:	Integration von fertigungs- und durchlauforientierter Sicht	64
Abbildung 4.1:	Ablauf von Grob- und Feinplanung	67
Abbildung 4.2:	Terminierung mit Durchlaufgruppen	68
Abbildung 4.3:	Planungs- und Fertigungslose	69
Abbildung 4.4:	Aktualisierung der Grobplanung durch Feinplanungsdaten	71
Abbildung 4.5:	Kapazitätsplanung mit dem erweiterten Produktmodell	72
Abbildung 4.6:	Verdichtung von Standardnetzen zu einer Meilensteinübersicht	73
Abbildung 4.7:	Parametrisierte Erzeugnisgliederung	74
Abbildung 5.1:	Organisationsformen in Unternehmen	78
Abbildung 5.2:	Ebenen der Auftragsplanung	80
Abbildung 5.3:	Funktionen der Auftragsleitstelle [Böhmer]	81
Abbildung 5.4:	Funktionen der Auftragsdurchsetzung	83
Abbildung 5.5:	Hilfsmittel für die Auftrags- und Kapazitätsüberwachung	84
Abbildung 5.6:	Auftragsverfolgung mit Meilensteinen	86
Abbildung 5.7:	Projektfortschrittskurve	88
Abbildung 6.1:	Struktur der Daten der Erzeugnisgliederung	91
Abbildung 6.2:	Struktur der Daten der Fertigungsinformationen	92
Abbildung 6.3:	Struktur der Daten der Logistikinformationen	93
Abbildung 6.4:	Aufteilung der Bearbeitungszeiten (Auszug aus dem Produktmodell)	94
Abbildung 6.5:	Zeitliche Abhängigkeiten der Durchlaufeinheiten (Auszug aus dem Produktmodell)	95
Abbildung 6.6:	Auftragsverwaltung	97
Abbildung 6.7:	Parameterdefinition	98
Abbildung 6.8:	Grobplanung	99
Abbildung 6.9:	Projektplan (unter Verwendung von Microsoft Project)	101
Abbildung 6.10:	Auswertungen der Auftragsplanung	102
Abbildung 6.11:	Auftragsfortschrittskurve (Vorgabewerte)	103
Abbildung 6.12:	Arbeitsplanung	105
Abbildung 6.13:	Ausschnitt aus den Ergebnissen der Auftragszeitstrukturanalyse	107



## 1 Einführung

Der Standort Deutschland ist in den letzten Jahren nicht zuletzt durch die öffentliche Diskussion über die Arbeitskosten und die einzuhaltenden Sicherheits- und Umweltstandards in ein negatives Licht gerückt worden. Vielfach wurden bei dieser Diskussion Produktivität und Ausbildung deutscher Arbeitnehmer außer Acht gelassen. Der Vergleich weltweiter Lohnkosten hoch qualifizierter Arbeitnehmer wie Konstrukteure und Facharbeiter zeigt, dass Deutschland gegenüber den übrigen westlichen Industrienationen und Japan höhere Lohnkosten aufweist. Das Verhältnis stellt sich günstiger dar, wenn statt der stundenbezogenen die umsatzbezogenen Lohnkosten betrachtet werden (Abbildung 1.1). Die hohen Lohnkosten schüren in weiten Teilen des Werkzeug- und Formenbaus die Sorge, gegenüber sogenannten Billiglohnländern mittelfristig nicht mehr konkurrenzfähig zu sein.



**Abbildung 1.1: Umsatzbezogene Personalkosten hochqualifizierter Arbeitnehmer (ISTMA 1995)**

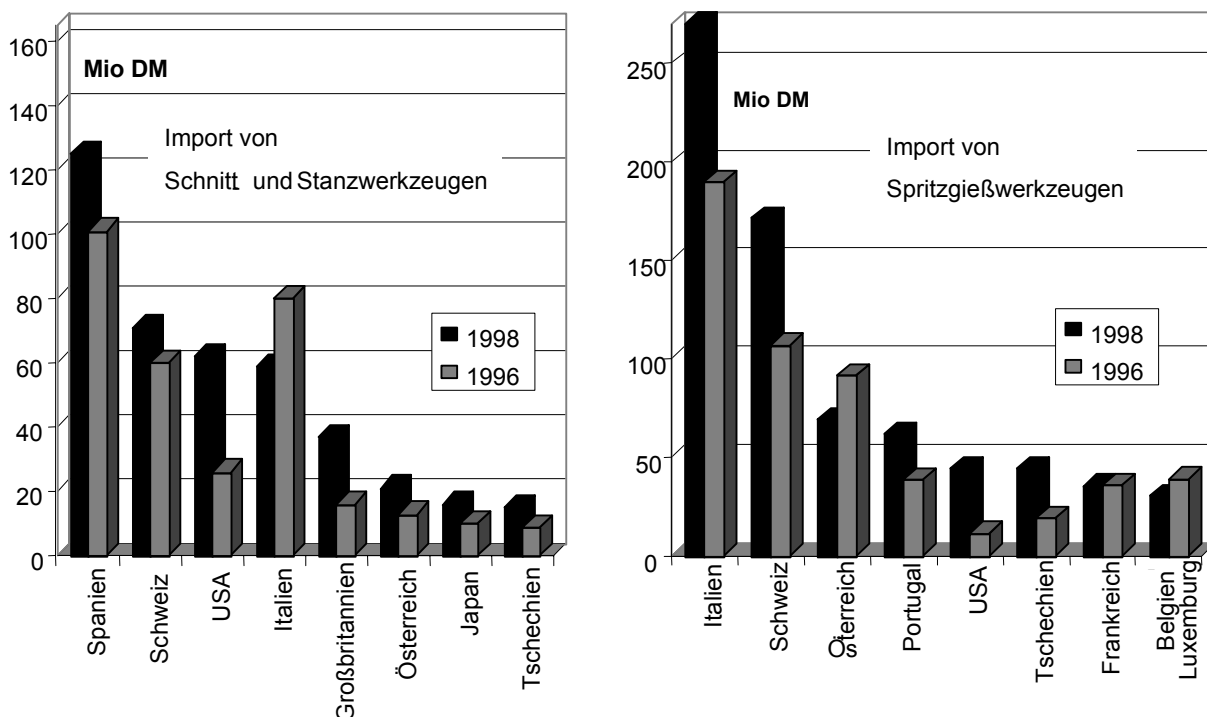
Das Institut für Technik der Betriebsführung (ITB) hat im Jahre 1996 eine Umfrage unter deutschen Werkzeugbauunternehmen durchgeführt und nach den Standorten ihrer wichtigsten Konkurrenten auf dem deutschen Markt gefragt (*Hantsch 1997*). Die Auswertung der Fragebögen ergab, dass deutsche Werkzeugbauer ihre Konkurrenz vornehmlich in Billiglohnländern sehen (Abbildung 1.3). Immerhin ein Viertel der Befragten nannte bereits im Jahre 1996 Tschechien als Konkurrenten, während Deutschland und Italien lediglich von jeweils 16 Prozent der Unternehmen als Standorte bedeutender Wettbewerber bezeichnet wurden. Die Ergebnisse der Befragung ließen sich durch Unternehmensbefragungen des Institut für Integrierte Produktion (IPH) in den Folgejahren bestätigen.

Konkurrenten aus ...	... sind für x% der Befragten eine potentielle Gefahr
Tschechien	25 %
Polen	22%
Portugal	19 %
Deutschland, Italien	16 %
Spanien, Slowakei	9 %
Ungarn	6 %
Frankreich, England, Niederlande, Belgien, Taiwan, Hongkong	3 %

Basis: 32 Unternehmen

**Abbildung 1.2: Einschätzung der Standorte der wichtigsten Konkurrenten deutscher Werkzeugbauer auf dem deutschen Markt (Hantsch 1997)**

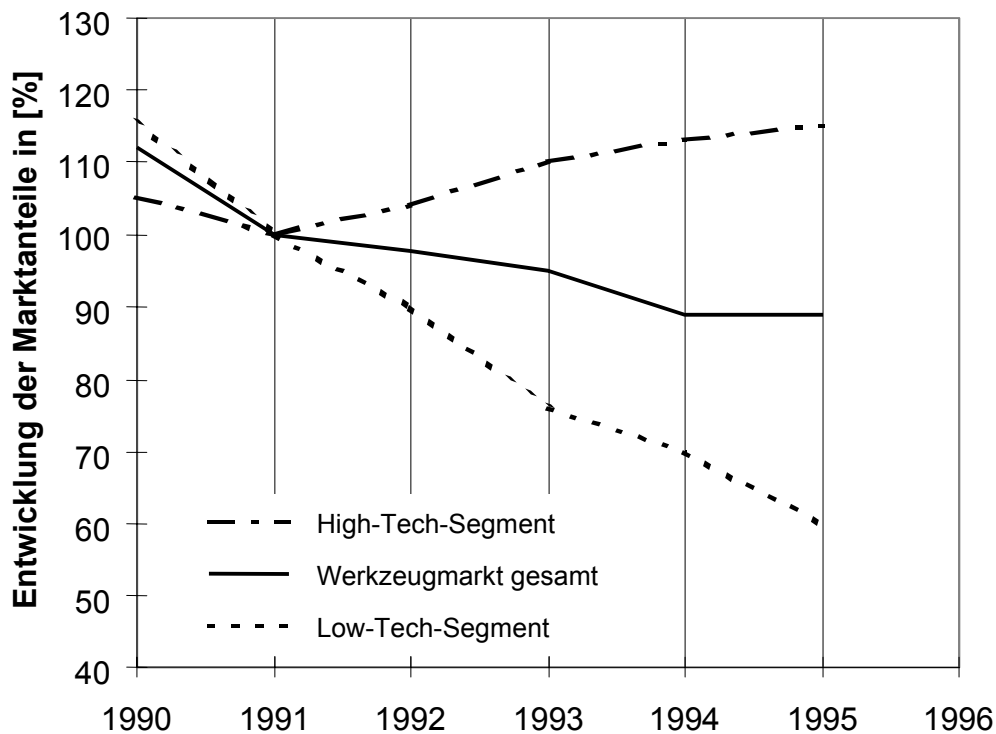
Der Vergleich dieser Sicht der Unternehmen über ihre wichtigsten Wettbewerber mit der bundesdeutschen Außenhandelsstatistik (VDMA 1999) liefert überraschende Ergebnisse. Im Vergleichszeitraum zeigt sich in der Außenhandelsstatistik ein anderes Bild (Abbildung 1.3). Schnitt- und Stanz- ebenso wie Spritzgießwerkzeuge werden überwiegend aus den sogenannten Hochlohnländern nach Deutschland importiert.



**Abbildung 1.3: Standorte der wichtigsten Konkurrenten deutscher Werkzeugbauer auf dem deutschen Markt (VDMA 1999)**

Der Importanteil der Tschechischen Republik beträgt lediglich 3,5 Prozent am Gesamtimport von Werkzeugen. Sowohl im Bereich der Schnitt- und Stanzwerkzeuge als auch im Bereich der Spritzgießwerkzeuge kamen im Jahre 1998 die Hauptkonkurrenten deutscher Werkzeugbauer auf dem deutschen Markt aus Ländern wie der Schweiz, Spanien oder Italien. Bemerkenswert ist die hohe Bedeutung der Schweiz in Bezug auf das Importvolumen insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Schweiz in der Untersuchung von Hantsch und Schneider von weniger als 3 Prozent der Befragten genannt wurde.

Die Entwicklung der Außenhandelsstatistik der letzten Jahre zeigt, dass Portugal sich im Bereich der Spritzgießwerkzeuge bereits auf den vierten Platz vorgeschoben hat. Dies ist durch eine auch von deutschen Unternehmen getragene Initiative zur Qualifizierung portugiesischer Formenbauer zu erklären. Bosch und Siemens Hausgeräte Giengen hat in seinem internen Werkzeugbau die Herstellung von Neuwerkzeugen aufgegeben und qualifiziert im Gegenzug ausgewählte portugiesische Formenbauer für die Herstellung der benötigten Formen (BSH 1999).



**Abbildung 1.4: Entwicklungen der Marktanteile von High-Tech und Low-Tech-Werkzeugen auf dem deutschen Markt, bezogen auf die Werte von 1991 (Klingauf 1995)**

Die Entwicklung der Komplexität der Werkzeuge, die auf dem deutschen Markt gehandelt werden, hat Klingauf im Jahre 1995 untersucht (Klingauf 1995). Abbildung

1.4 zeigt, dass der Anteil der einfachen Werkzeuge und Formen (Low-Tech-Segment) bezogen auf das Marktvolumen von 1991 annähernd 40 Prozent des Marktanteils verloren hat. Im selben Zeitraum stieg der Anteil anspruchsvoller Werkzeuge und Formen (High-Tech-Segment) um rund 15 Prozent. Erfahrungen des Institut für Integrierte Produktion (IPH) aus Seminaren und Beratungsprojekten bei Unternehmen der Branche zeigen, dass dieser Trend sich bis dato fortsetzt.

Konkurrenten der deutschen Werkzeugbauer sind daher Unternehmen aus den traditionellen Werkzeugbau-Ländern, in denen ebenso wie in Deutschland ein hohes Qualitätsniveau der Erzeugnisse durch gut ausgebildete Mitarbeiter und moderne Produktionsmethoden erreicht wird. Eine Stärkung der eigenen Marktposition kann daher nicht ausschließlich über den Preis der Werkzeuge erzielt werden.

### **1.1 Erfolgsfaktoren für den Markt der Zukunft**

Unternehmen, die sich im High-Tech-Segment positionieren, zeichnen sich durch eine überdurchschnittlich hohe Qualität ihrer Werkzeuge und Formen aus. Deutsche Anbieter profitieren zudem von einer großen Nähe zwischen Kunden und Zulieferer. Räumliche Nähe und hohe Produktqualität fördern die Entwicklung von Werkzeugbauunternehmen zu Entwicklungspartnern für Artikel des Kunden, die mit komplexen Werkzeugen oder Prozessen hergestellt werden.

Werkzeugbauer sind in vielen Fällen Problemlöser für ihre Kunden bei der Herstellung fertigungstechnisch anspruchsvoller Artikel des Kunststoffspritzgusses und der Blechverarbeitung. Ihre Kompetenzen sind insbesondere gefragt, wenn Produkte komplexe Geometrien aufweisen oder die Ausbringung der Werkzeuge sehr hohe Stückzahlen erreichen muss. Als Erfolgsfaktoren lassen sich zwei Bereiche identifizieren:

#### *Erfolgsfaktor 1: Werkzeugauslegung:*

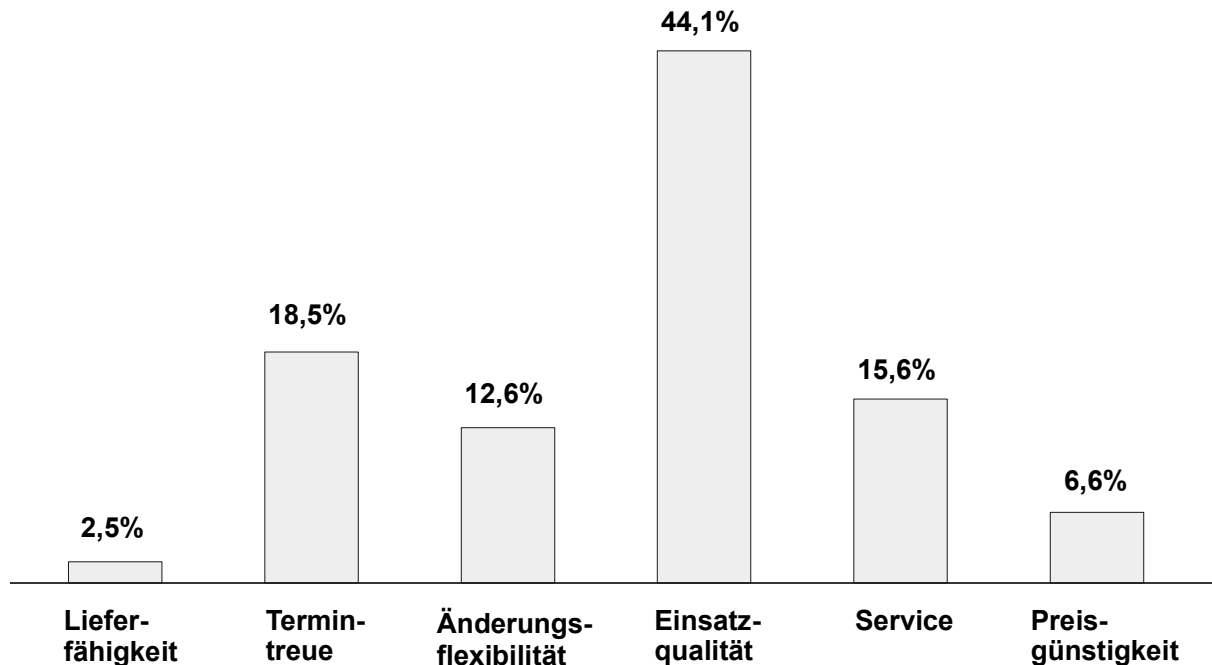
Die Entwicklung des Werkzeugs ist anspruchsvoll, wenn die Herstellung des Bauteils fertigungstechnisch kompliziert ist.

#### *Erfolgsfaktor 2: Konstruktionsberatung:*

Die Entwicklung des Bauteils erfolgt in Kooperation mit dem Werkzeugbau, wenn die Ausbringung in der Serienfertigung durch geringe Zykluszeiten und hohe Standzeiten der Werkzeuge gesteigert werden soll.

Deutsche Werkzeugbauer besitzen in der überwiegenden Anzahl die Kompetenzen zur Erfüllung dieser Erfolgsfaktoren. Die Marktanteile, die portugiesische Werkzeugbauer in den letzten Jahren gewonnen haben, zeigen, dass diese Faktoren alleine nicht für einen erfolgreichen Auftritt am Markt ausreichen. Der Schlüssel zur Erweiterung des Marktanteils liegt in der konsequenten Ausrichtung an den Anforderungen des Kunden und der Ausgestaltung der eigenen Erfolgsfaktoren. Neben den klassischen Tugenden des deutschen Werkzeugbaus wie hoher Güte der Werkzeuge und guten Services bei Reparaturen, nimmt die logistische Leistungsfähigkeit eine bedeu-

tende Stellung ein. Abbildung 1.5 zeigt die Einschätzung des Nutzens der beschriebenen Erfolgsfaktoren durch die Kunden der Werkzeug- und Formenbauer am Beispiel der Schmiedegesenkabnehmer.



**Abbildung 1.5: Gewichtung des Kundennutzens am Beispiel der Schmiedegesenkabnehmer (Eversheim 1998)**

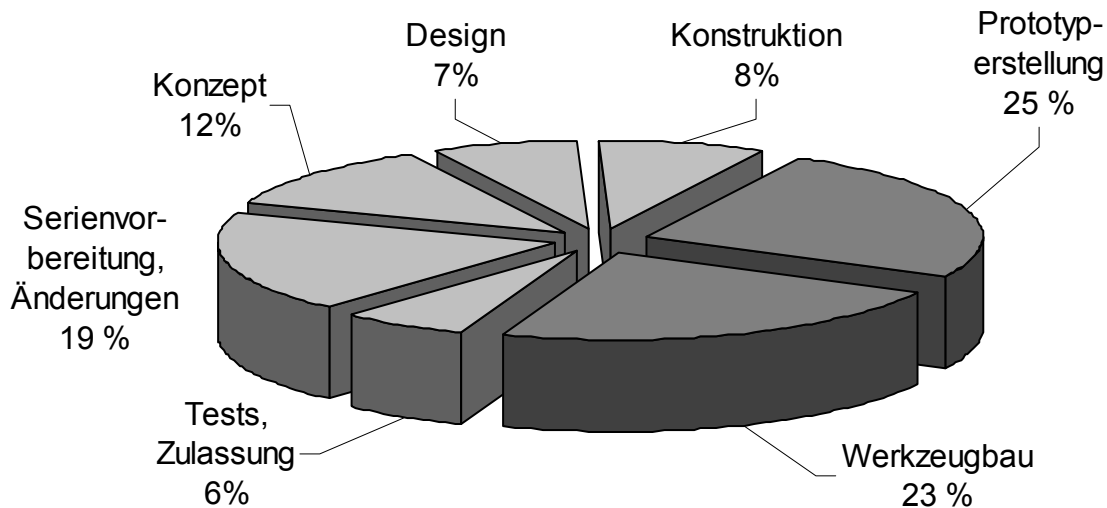
Grundlage einer hohen Lieferfähigkeit, guter Termintreue und Änderungsflexibilität ist eine gute Organisation und Planung der Abläufe der Werkzeugentwicklung und -herstellung. Die Beherrschung dieser organisatorischen Kompetenzfelder heben Werkzeugbauer aus der Masse heraus und geben ihnen die Möglichkeit, in der Zulieferkette erfolgreich zu bestehen.

Der Einsatz von Simultaneous Engineering zur Verkürzung der Produktentwicklungszeiten führt zu einer engen Verzahnung von Produktentwicklung und Prozessauslegung über alle Zulieferstufen hinweg. Dieser Trend wird sich in den nächsten Jahren verstärken, wenn sich die Produktentwicklungszeiten um bis zu 30 Prozent verkürzen werden (Hase 1995).

Die Anstrengungen, die Verfahren des Simultaneous Engineering weiterzuentwickeln, haben in den letzten Jahren verschiedene, neue Ansätze entstehen lassen, u.a. das Kooperative Produktengineering, welches gemeinsam von Mitgliedern der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik und des Berliner Kreises vorangetrieben wird. (Gausemeier 2000, Tönshoff 2000a).

Die Verkürzung der Produktentwicklungszeiten wird die Bedeutung der logistischen und organisatorischen Erfolgsfaktoren im Werkzeug- und Formenbau weiter verstärken. Durch den hohen zeitlichen Anteil des Werkzeug- und Formenbaus an der ge-

samten Produktentwicklung (Abbildung 1.6) werden Werkzeug- und Prototypenbau von Seiten der Kunden zu einer signifikanten Verkürzung ihrer Durchlaufzeiten gedrängt. Für den Werkzeug- und Formenbau bedeutet dies eine weiter fortschreitende Verkürzung der Lieferfristen für die Herstellung eines Werkzeugs und eine stärkere Integration in die Produktentwicklung des Kunden oder der Auftraggeber des Kunden.



**Abbildung 1.6: Anteilige Zeitbedarfe der Produktentwicklung bei Fa. Albert Kärcher, Entwicklung von Reinigungsgeräten (Schmidl 2000)**

Während die Verkürzung der Lieferfristen höhere Anforderungen an die Fähigkeit zur Planung der eigenen Tätigkeiten und zur Sicherstellung der zeitnahen Umsetzung des internen Planes stellt, wird die stärkere Integration in die Produktentwicklung des Kunden die Randbedingungen für eine mittelfristige Planung durch die Notwendigkeit ständiger Anpassungen aufgrund von Kundenänderungswünschen signifikant verschlechtern.

Die Integration in eine enge Kunden-Zuliefer-Kooperation bringt für die überwiegend mittelständischen Unternehmen des Werkzeug- und Formenbaus die Notwendigkeit mit sich, neue Kompetenzfelder zu erschließen. Diese organisatorischen Erfolgsfaktoren umfassen drei Bereiche:

**Erfolgsfaktor 3 (E3): Kurze Durchlaufzeiten:**

Das Unternehmen ist in der Lage, schnellstmöglich nach Abschluß der Produktentwicklung Werkzeuge zu fertigen und Einzelteile für den Serienanlauf zur Verfügung zu stellen.

**Erfolgsfaktor 4 (E4): Beherrschte Logistik:**

Das Unternehmen ist in der Lage, Werkzeuge und serienreife Einzelteile zuverlässig zu dem vorgegebenen Termin bereit zu stellen.

*Erfolgsfaktor 5 (E5): Flexible Auftragsabwicklung:* Das Unternehmen ist in der Lage, seine kurzen Lieferzeiten auch dann stabil zu halten, wenn die Entwicklung des Bauteils bei Auftragsvergabe für das Werkzeug noch nicht abgeschlossen ist und daher ein erheblicher Änderungsaufwand noch während der Werkzeugentwicklung erfolgt.

### 1.1.1 Kurze Durchlaufzeiten (E3)

Einige Abschnitte der Produktentwicklung wie der Prototypenbau haben in den letzten Jahren eine enorme Verkürzung der Durchlaufzeiten und Verringerung der Aufwände bei der Herstellung durch die Entwicklung neuer Verfahren erreicht. Die Einführung von Verfahren des Rapid Prototyping hat die Abläufe in der Herstellung der Prototypen verändert. Die Fertigungsprozesse werden beschleunigt. Durch die Einsparung von Schritten in der Prozesskette werden zudem die Liegezeiten verringert (vgl. *Macht 1999, Reinhart 2000, Gebhardt 1995*).

Im Werkzeug- und Formenbau ist kein derartig umfassender Entwicklungssprung zu beobachten. Die Verkürzung der Durchlaufzeiten und die Senkung der Herstellungsaufwände wurde vor allem durch den verstärkten Einsatz von Verfahren zur Erhöhung der Durchgängigkeit der CAx-Kette und Innovationen im Bereich der Fräsbearbeitung erzielt. Große Erfolge wurden durch den Einsatz der Hart- und Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC) erreicht. (*Wobker 1995, Fallböhrer 1998*)

Diese Bearbeitungsverfahren führen zu einer Beschleunigung der Fräsbearbeitung. Neben der Verkürzung der Fräsbearbeitungen ermöglicht der Einsatz der HSC-Technologie durch eine Verringerung der Zeilenabstände in erheblichem Umfang den Aufwand der manuellen Nacharbeit an den Werkzeugen. (*Tönshoff 1999*)

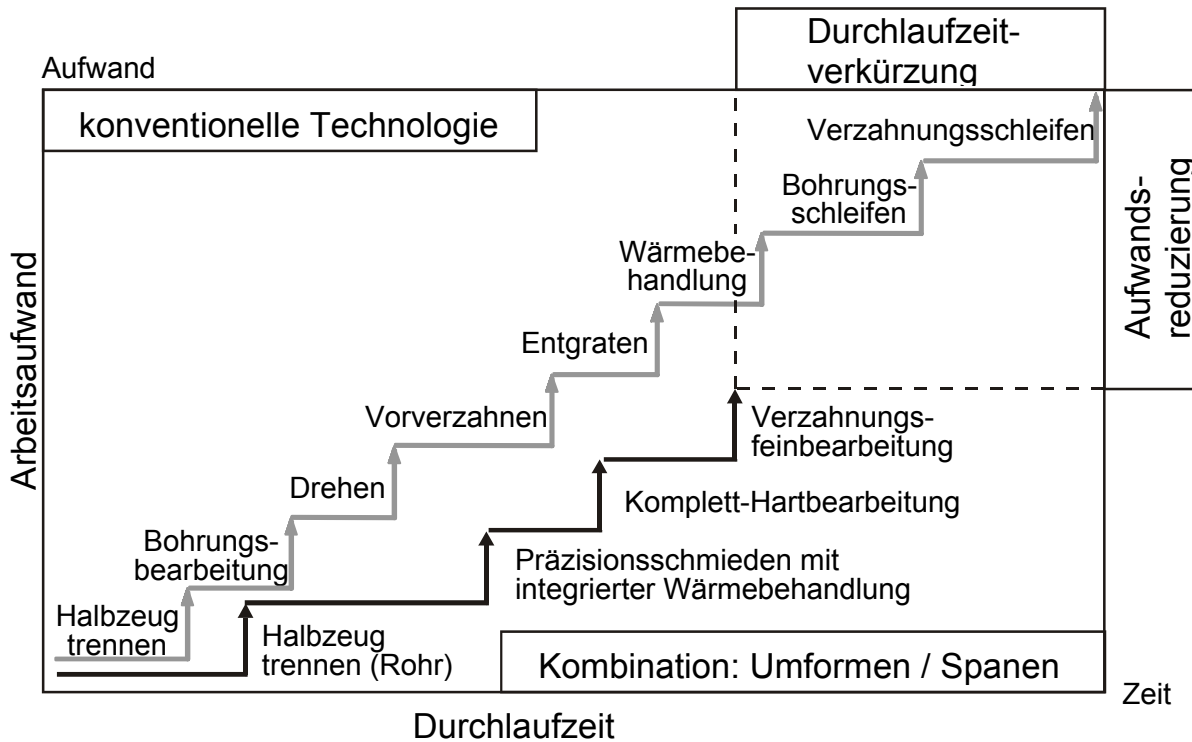
In den letzten Jahren konnte zudem der Einsatzbereich der HSC- und Hartbearbeitung erweitert werden. In Verbindung mit einem 3+2-achsigen Maschinen- und Bearbeitungskonzept kann die Restriktion der Werkzeugauskraglänge vermindert werden, so dass diese Frästechnologien auch bei engen und tiefen Konturen eingesetzt werden können. (*Hock 1996*)

Eine Beschleunigung der maschinellen Bearbeitung kann zudem durch den Einsatz von Simulationsumgebungen im Vorfeld der NC-Programmerstellung erreicht werden. Durch eine Verringerung der Höhe der Rückzugsebene und einer erheblichen Verkürzung der Länge der Eilgangsbewegungen konnte Volkswagen 9 Prozent der Bearbeitungszeit der Fräsoperationen einsparen, durch in Simulationsuntersuchungen ermittelte höhere Vorschubwerte weitere 7 Prozent (*Hock 2000*).

Eine Verringerung der Bearbeitungszeiten bewirkt eine Senkung der Kosten ebenso wie eine Reduzierung der Durchlaufzeiten. In Bezug auf die Durchlaufzeiten lassen sich die zahlenmäßig größeren Effekte durch eine Umstellung der Bearbeitungsfolge mit dem Ziel der Komplettbearbeitung erzielen.

Untersuchungen im Sonderforschungsbereich 300 (*Tönshoff 1999*) zur Senkung der Fertigungszeiten bei der Hohlformbearbeitung zeigen große Potentiale bei Durch-

laufzeit und Kosten durch die Kombination der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung mit einem Schleifenverfahren mit kleinen Topfscheiben und magnetfeldunterstütztem Polieren in einer Maschine oder durch eine Verfahrenskombination Umformen - Spanen (Abbildung 1.7).

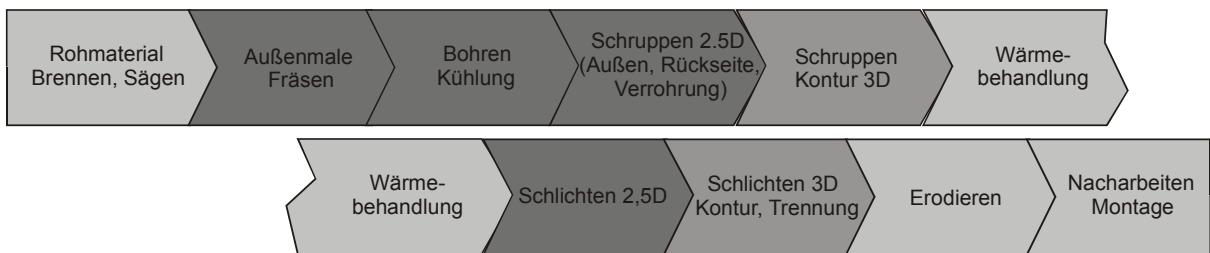


**Abbildung 1.7: Verkürzung der Durchlaufzeit bei der Herstellung von Zahnrädern durch automatisierte Feinstbearbeitung [Tönshoff]**

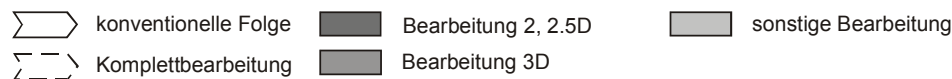
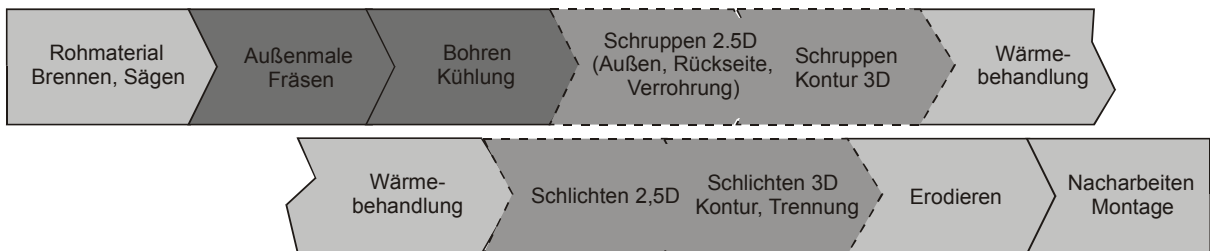
Die Zusammenfassung mehrerer Prozesse auf einer Fräsmaschine ist sogar dann wirtschaftlich, wenn 2D-, 2,5D- und 3D-Bearbeitung auf einer Maschine zusammengefasst werden (*Hock 2000*). Die Vermeidung von Erodierprozessen durch den Einsatz alternativer Verfahren, meist Fräsen, und die so eingesparte Anfertigung einer Elektrode bewirken eine weitere Verkürzung der Prozesskette (Abbildung 1.8). Die erzielte Durchlaufzeitverkürzung beruht vor allem auf der Senkung der hohen Liegezeitanteile, die rund 90 Prozent der Arbeitsvorgangsdurchlaufzeit betragen können (*Wiendahl 1997a*).



konventionelle Folge



Komplettbearbeitung



**Abbildung 1.8: Durchlaufzeitverkürzung im Werkzeugbau durch Komplettbearbeitung von Formen (Hock 2000)**

**1.1.2 Beherrschte Logistik (E4)**

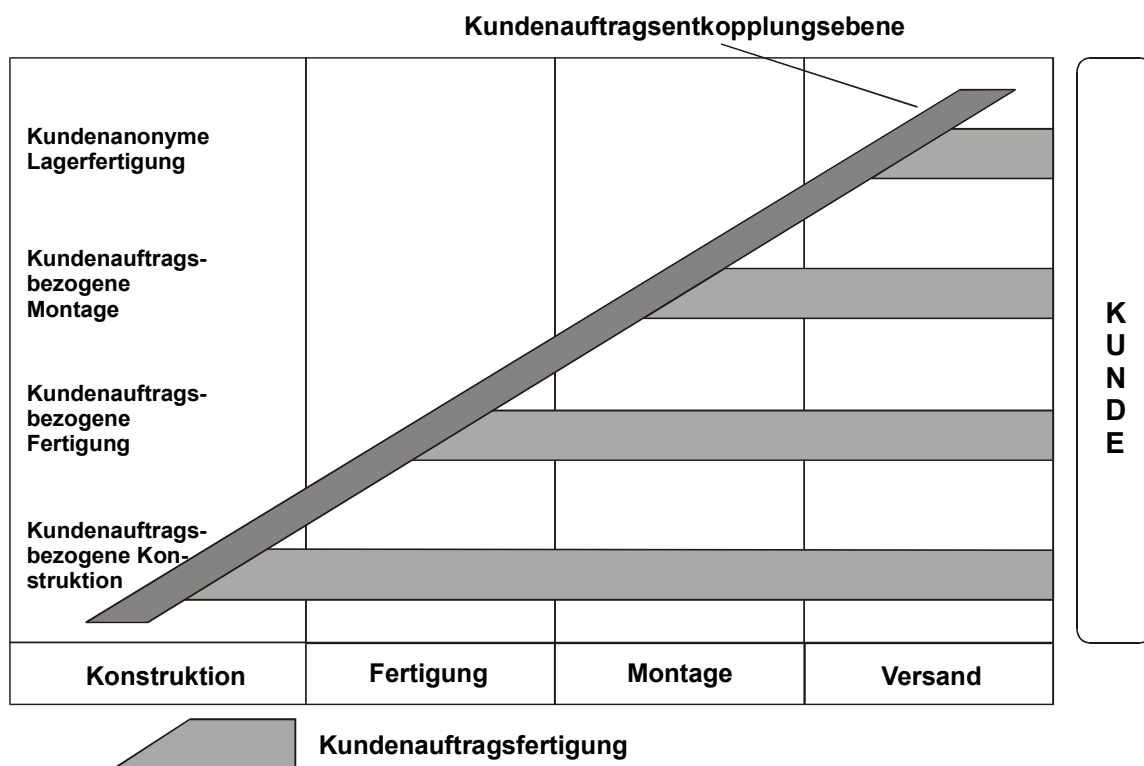
Kurze Durchlaufzeiten sind ein Ergebnis struktureller Maßnahmen im Unternehmen. Diese können sowohl technologischer als auch organisatorischer Art sein. Neben den kurzen Durchlaufzeiten ist für ein Unternehmen die Sicherheit, mit der die kurzen Durchlaufzeiten eingehalten werden können, von großer Bedeutung. Diese Fähigkeit, die entscheidenden Einfluss auf den Erfolg des Marktauftritts eines Unternehmens hat, ist von der Beherrschung der Prozesse der Auftragsabwicklung bestimmt.

Werkzeuge und Formen werden üblicherweise in kundenspezifischer Einzelfertigung hergestellt. Das bedeutet, sie werden für einen Kunden entwickelt, produziert und erprobt, und dies in der Regel einmalig oder in sehr kleinen Stückzahlen. Der Ablauf der Auftragsabwicklung im Werkzeug- und Formenbau ist durch den frühen Beginn der kundenspezifischen Auftragsabwicklung gekennzeichnet. Der Zeitpunkt, ab dem die Auftragsbearbeitung kundenspezifisch durchgeführt wird, wird als Kundenauftragsentkopplungspunkt bezeichnet.

In Abbildung 1.9 ist die Lage der Kundenauftragsentkopplungspunkte für verschiedene Formen der Auftragsabwicklung dargestellt. Die Lage der Kundenauftragsentkopplungspunkte auf der Kundenauftragsentkopplungsebene zeigt verschiedene Ausprägungen der Auftragsabwicklung. Während in einer kundenanonymen Lagerfertigung die Konstruktion und Entwicklung, Fertigung und Montage kundenanonym

durchgeführt werden, wird bei kundenspezifischer Konstruktion und Entwicklung anhand der Kundenspezifikation der erste Schritt der Auftragsabwicklung bereits durch den Kunden getrieben.

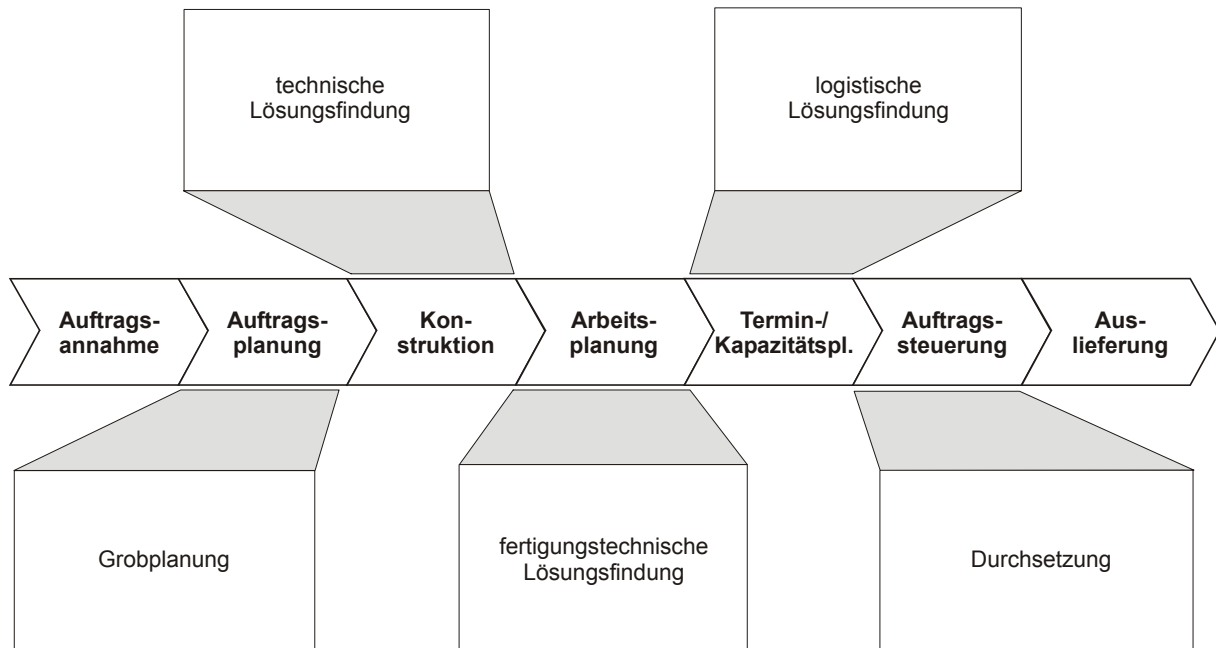
Merkmal des Werkzeug- und Formenbaus ist, dass bei Auftragsbeginn häufig kein vollständiges Modell des mit dem Werkzeug herzustellenden Artikels durch den Kunden bereitgestellt wird. Handskizzen oder Teilansichten von Artikeln sind übliche Eingangsinformationen. Während in der kundenauftragsgebundenen Produktion oder Montage bei der Herstellung des Produkts und der Terminplanung für die Auftragsabwicklung auf vorhandene Fertigungsunterlagen oder Erfahrungswerte zurückgegriffen werden kann, ist dies im Werkzeug- und Formenbau nicht möglich.



**Abbildung 1.9: Lage der Kundenauftragsentkopplungsebene [in Anlehnung an Eidenmüller]**

Die Verlagerung des Kundenauftragsentkopplungspunktes vor die Konstruktion der Werkzeuge führt dazu, dass neben den Tätigkeiten der Konstruktion und der Arbeitsvorbereitung zusätzlich ein Arbeitsschritt zur Grobterminierung und ersten Kapazitätsabschätzung eingefügt werden muss (Abbildung 1.10). Dieser Schritt wird im folgenden als Auftragsplanung bezeichnet. Aufgabe der Auftragsplanung ist die Abschätzung der zu erwartenden Aufwände für den vorliegenden Auftrag in sämtlichen Bereichen des Unternehmens, sowie eine realistische Terminierung der Arbeitsschritte unter Berücksichtigung der verfügbaren Kapazitäten. Bereits in diesem Schritt müssen Ecktermine des Auftrags wie die Übergabe der Konstruktion an die Fertigung

und der Erstmustertermin festgelegt werden. Ergebnis dieses Schrittes ist ein für alle Bereiche verbindlicher Projektplan, dem die Verantwortlichen der Kapazitätseinheiten den Zeitraum und die abzuarbeitenden Aufwände entnehmen können.



**Abbildung 1.10: Ablauf der Auftragsabwicklung im Werkzeug- und Formenbau**

Die Konstruktion entnimmt aus dem Projektplan Zeitfenster und Zielkosten für die Entwicklung des Werkzeugs. In der Arbeitsplanung werden die in der Konstruktion festgelegten Einzelteile für Fertigung und Montage geplant und mit Vorgabezeiten belegt.

Die Termin- und Kapazitätsplanung greift die detaillierten Planwerte aus der Arbeitsvorbereitung auf und aktualisiert für den Bereich von Fertigung und Montage den groben Projektplan durch die Integration der detaillierteren Plandaten. Die in der Serienfertigung übliche Ermittlung von anlagen- und auftragsbezogenen Belegungsplänen ist im Werkzeug- und Formenbau aufgrund des Umfangs und der Häufigkeit eingehender Änderungen für diesen Zeitpunkt zu aufwendig.

Die Steuerung des Auftrags in der Fertigung und Montage erfolgt auf Basis der Auftragspapiere, die für die Fertigungsfreigabe erstellt werden. Regelmäßige Terminsitzungen sorgen für einen eindeutigen Informationsfluss zwischen der Planung und der Fertigung. Hier werden anstehende Änderungen und drohende Terminverzögerungen besprochen und Prioritäten gesetzt.

Die oben beschriebene Vorgehensweise bietet einen Rahmen, um den angenommenen Auftrag zu erfüllen. Die Planung der Liefertermine und ihre Einhaltung sind erfolgreich, wenn diese Vorgehensweise zur Abwicklung der Auftragsabwicklung durch geeignete Planungsmethoden und Verfahren zur Auftragsverfolgung ergänzt wird. In

der Praxis werden fundamentale Elemente der Planung und der Auftragsdurchsetzung nicht verwendet. Studien im Werkzeug- und Formenbau haben gezeigt, dass die kleinen und mittelständischen Unternehmen des Werkzeug- und Formenbaus überwiegend mit geschätzten Stundenzahlen für den Gesamtbearbeitungsaufwand und die Verrichtungsarten (Konstruktion, Fräsen, Schleifen, Zusammenbau etc.) planen. Vorgabewerte werden in vielen Unternehmen nicht an die Mitarbeiter weitergegeben bzw. nicht für die Termin- und Kapazitätsplanung weiterverwendet. (Tracht 1998)

Die Planung und die Überwachung der Auftragserfüllung obliegen meist der Arbeitsvorbereitung. Die Konzentration der Aufgaben der Arbeitsplanung und der Auftragsbetreuung in einer Abteilung führt zu zwei Problemen: Erstens greift die Arbeitsvorbereitung in den Prozess ein, wenn die Konstruktion bereits abgeschlossen und ein Drittel der Auftragsdurchlaufzeit vergangen ist. In vielen Fällen muss zu diesem Zeitpunkt ein erheblicher interner Terminverzug betrachtet werden. Zweitens ist die Arbeitsvorbereitung in der Branche personell knapp ausgestattet. Die Vielfalt der Aufgaben und der hohe Druck durch die Terminverantwortung überfordern die Mitarbeiter.

Die Mitarbeiter der Arbeitsvorbereitung übernehmen sowohl Arbeitsplanungs- und NC-Programmierungsaufgaben als auch Tätigkeiten der Termin- und Kapazitätsplanung und Sicherung der Termineinhaltung. Die Dringlichkeit der Aufgaben der Termineinhaltung führt zur Vernachlässigung der planerischen Aufgaben zugunsten der Aufgaben des „Terminjägers“. Dies führt zu einem Teufelskreis, in dem der Mitarbeiter aufgrund des hohen Zeitbedarfs zur Terminalsicherung die planerischen Aufgaben nicht mehr erledigen kann. Einzelteile werden aufgrund hohen Zeitdrucks ohne Arbeitsplan in die Fertigung eingelastet. Diese können mit Hilfe des Mitarbeiters durch die Fertigung gesteuert werden, der den Arbeitsplan und die zugehörigen Ecktermine aufgrund seiner Erfahrung und des Wissens über die Gesamtsituation in seinem Kopf aufstellen kann. Dies nimmt dem Mitarbeiter die Möglichkeit, sich der Arbeitsplanung zu widmen. Terminverfolgung und Auftragsdurchsetzung müssen daher von den Aufgaben der Arbeits- und Terminplanung personell entkoppelt sein. Die Mitarbeiter der Arbeitsvorbereitung sind eher für die Aufgaben der Terminplanung geeignet als für die Übernahme von Aufgaben der Auftragsdurchsetzung, da die Auftragsplanung direkt nach Auftragseingang auf Erfahrungswissen basiert. Die Durchsetzung des Auftrags sollte hingegen in den Fachabteilungen, d.h. der Konstruktion, der mechanischen Fertigung und Montage, liegen.

Die im Angebot ermittelten geschätzten Aufwände der Konstruktion, Bearbeitung und Montage des Werkzeugs sowie die Erfahrungswerte für eine mutmaßliche Zeitdauer für die Bearbeitung dieses Auftrags bilden die Grundlage der Auftragsplanung und des ersten Projektplans. Da in der Regel Rückmeldedaten lediglich in Bezug auf betriebswirtschaftliche Fragestellungen ausgewertet werden, sind weder statistische

Übergangszeiten noch fertigungsauftragsbezogene Abweichungen von Planvorgaben bewerten und Rückmeldungen verfügbar (*Fortuna 1997*).

Es gibt keine verlässliche Methode zur Erstellung des ersten Projektplans. Dieser sogenannte Grobplan wird daher überwiegend auf Basis von Erfahrungswissen einzelner Mitarbeiter oder von Gruppen von Mitarbeitern erstellt. Er ist fehlerbehaftet und im Unternehmen wenig akzeptiert. Dennoch ist dieser Grobplan das entscheidende Planungshilfsmittel in Konstruktion und Arbeitsvorbereitung, im ersten Drittel der Auftragsdurchlaufzeit (*Eversheim 2000, Tönshoff 2000b*).

Die geringe Qualität und die geringe Akzeptanz des ersten Projektplans zieht regelmäßig erhebliche Terminüberschreitung im internen Kunden-Zulieferer-Verhältnis nach sich. Die Fertigstellung der Konstruktionsunterlagen erfolgt nach einer um bis zu einem Viertel der geplanten Durchlaufzeit überzogenen Zeitspanne. Dies führt in den Betrieben des Werkzeug- und Formenbaus zu erheblichen Problemen bei der Auftragsdurchsetzung, die in steigenden Prioritäten mit fortschreitender Auftragsbearbeitung und enormen Überstundenbelastungen bei den Mitarbeitern aus Zusammenbau und Erprobung sichtbar werden.

Insbesondere die Mitarbeiter, die den Zusammenbau und die Erprobung des Werkzeugs (auch Try-Out oder Abmusterung genannt) durchführen, stehen unter hohem Erfolgsdruck. Als letztes Glied der Prozesskette lastet auf ihnen der höchste Termindruck. Anpassungsarbeiten, die den Einsatz der Werkzeugmaschinen wie Fräs- oder Schleifmaschinen erfordern, werden daher mit hoher Priorität in der mechanischen Bearbeitung durchgeführt, wodurch der Belegungsplan verändert wird, und sich die Fertigstellung anderer Einzelteile verzögert. In der mechanischen Bearbeitung entsteht durch jede Verzögerung einer Erprobung, durch jede Nacharbeit ein weiterer Terminverzug.

### **1.1.3 Flexible Auftragsabwicklung (E5)**

Die Zielsetzungen kurze Durchlaufzeiten und hohe Termintreue legen im Werkzeugbau eine detaillierte Planung nahe. Diese erlaubt die Erstellung eines optimierten Terminplans und eine gleichmäßige Kapazitätsauslastung. Im Werkzeug- und Formenbau sind kundengelebene Änderungen tägliche Praxis. Durch Änderungen erhöht sich der Bearbeitungsaufwand eines Auftrags um rund ein Drittel (*Bullinger 1992, Tracht 2000*). Für die Planung bedeuten Änderungen eine tägliche Anpassung oder Neuerstellung der Auftragsplanung. Prognostizierte Zusatzbearbeitungsaufwände von einem Drittel über die geplante Auftragsdurchlaufzeit bringen eine große Unsicherheit für die Kapazitätsplanung mit sich.

Eine für den Werkzeug- und Formenbau geeignete Planungsmethode erfordert eine hinreichend genaue Vorhersage der zu erwartenden Aufwände und des Auftragsdurchlaufs, ohne den erzeugten Plan auf eine Detaillierungsebene ausarbeiten zu müssen, auf der jede Änderung eine neue Erstellung des Planes nach sich zieht. Zu-

dem muss in den Unternehmen eine Organisation der Auftragsabwicklung abgebildet werden, die eine schnelle und sichere Umsetzung der Planungsvorgaben und der Kundenänderungen erlaubt.

## 1.2 Potentiale zur Verbesserung der Auftragsabwicklung

Die Aufgabe, schnell und zuverlässig Werkzeuge herzustellen und gleichzeitig für den Kunden eine weitreichende Flexibilität bis kurz vor Ende der Auftragsbearbeitung zu sichern, stellt hohe Anforderungen an die Auftragsabwicklung.

Westkämper (*Westkämper 1998*) stellt eine Studie mit 220 Unternehmen vor, an der sich überwiegend Unternehmen aus dem Maschinenbau und der Elektrotechnik beteiligt haben, die der Gruppe der kleinen und mittelständischen Unternehmen angehören (rund 90 Prozent). Vorreiterunternehmen, die sich durch einen hohen Innovationsgrad in technischer und organisatorischer Hinsicht auszeichnen, setzen im Vergleich zu anderen Unternehmen bei der Planung und Steuerung auf Methoden, die einen geringen Aufwand erfordern.

Zeitdaten sind für 82 Prozent der Unternehmen gleichbedeutend mit Vorgabewerten für die Bearbeitung. Im Bereich der Vorgabezeitermittlung schätzen die Vorreiterunternehmen den Einsatz von Prozesszeitformeln und Planzeitkatalogen. Lediglich 18 Prozent der Unternehmen setzen Zeitdaten für die Terminplanung und Auftragssteuerung ein. Diese Vorreiterunternehmen verwenden für die mechanische Fertigung Zeitdaten in Terminplanung (70%), Kapazitätsplanung (100%) und Durchlaufzeitermittlung (65%). Im Bereich von Entwicklung und Konstruktion verwendet die nach der Untersuchung beste Gruppe der Befragung zu weniger als 20 Prozent Zeitdaten für die Planung. Diese Tendenz lässt sich auch im Werkzeug- und Formenbau beobachten.

Der Anteil der planenden Tätigkeiten im Werkzeugbau steigt kontinuierlich, da die Verbreitung von 3D-CAD-Systemen und die in ihrer Folge eingeführte durchgängige CAD/CAM-Kette den Aufwand für die Auftragsbearbeitung von der Werkstatt in die Planung verlagert. Konstruktion, NC-Programmierung und Arbeitsvorbereitung betragen mehr als 30 Prozent der Auftragsdurchlaufzeit. Der Einsatz einer Auftragsplanung beim Übergang des Auftrags in die Werkstatt greift daher zu spät. Eine Vernachlässigung der Vorgabezeitermittlung und Terminplanung für Konstruktion und Arbeitsplanung ist für die Zukunft im Werkzeug- und Formenbau nicht länger vertretbar.

Eine durchgängige Planungsmethode, mit deren Hilfe die gesamte Prozesskette vom Auftragseingang bis zur Auslieferung des Werkzeugs an den Kunden betrachtet wird, eröffnet erhebliche Potentiale für die Verringerung der Aufwände in der Auftragsdurchsetzung und eine Verbesserung der Liefertreue. Potentiale lassen sich durch eine neue Methode zur Planung und eine Verbesserung der Organisation realisieren. Die Bereitstellung der Planungsergebnisse kann ebenso wie die effiziente Nutzung

von Rückmeldedaten zudem erfolgreich in Unternehmen umgesetzt werden, wenn sie durch den Einsatz von moderner Software erleichtert wird.

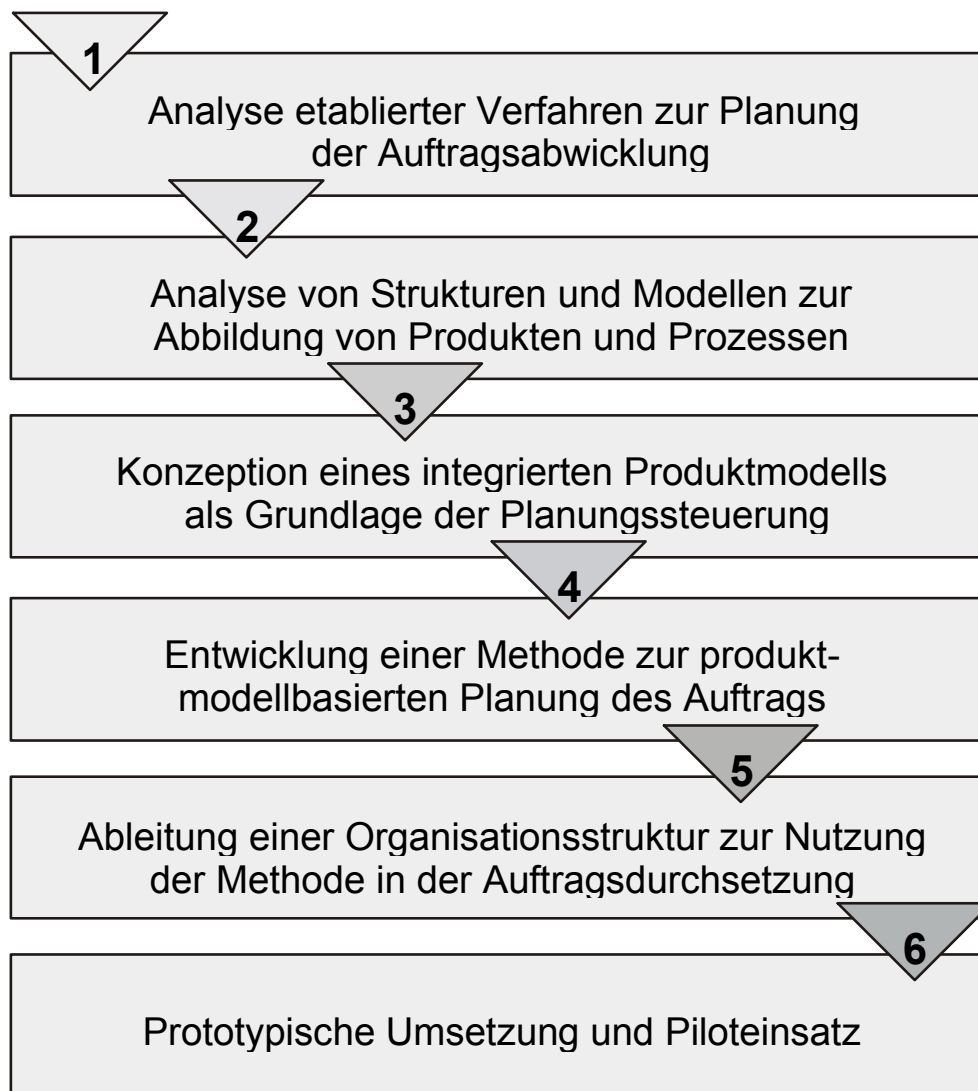
Werkzeug- und Formenbauer liegen in Bezug auf den Einsatz unterstützender Softwaresysteme über dem Durchschnitt vergleichbarer mittelständischer Unternehmen. In der Vergangenheit wurde vor allem in die Konstruktion investiert (*Neugebauer 2000*). Der Bereich der Planung und Steuerung wurde in den letzten Jahren vernachlässigt. Moderne Planungs- und Steuerungssysteme werden nach Erfahrungen aus Seminaren und Projekten des Institut für Integrierte Produktion (IPH) nicht durchgängig eingesetzt. Der Arbeitskreis „PPS-Systeme“ der Fachgemeinschaft Präzisionswerkzeuge im Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) hat den Einsatz von Systemen zur Unterstützung der Auftragserfüllung im Werkzeug- und Formenbau untersucht. In der Serienfertigung erfolgreich eingesetzte Systeme zur Arbeits- und Terminplanung sind für den Einsatz im Werkzeug- und Formenbau nur eingeschränkt geeignet, da sowohl der Detaillierungsgrad der Planung als auch der Aufwand bei Änderungen hoch ist. (*VDMA 1998*)

### 1.3 Aufgabenstellung und Lösungsweg

Im Werkzeug- und Formenbau werden in der Angebotsphase trotz des geringen technischen Lösungsgrades bereits Liefertermin und Preis verbindlich festgelegt. Bei Auftragserteilung liegen daher als Eingangsinformationen neben der Spezifikation des mit dem Werkzeug zu fertigenden Artikels lediglich die kalkulierten Aufwände und der vom Kunden gewünschte Liefertermin vor. Ohne eine exakte Produktstruktur oder detaillierte Vorgabewerte können Durchlaufterminierung und Kapazitätsplanung nicht erfolgversprechend eingesetzt werden.

Unternehmen aus dem Anlagenbau arbeiten seit vielen Jahren erfolgreich mit detaillierten Netzplänen. Sowohl die Erstellung als auch die änderungsgetriebene Aktualisierung vergleichbarer Netzpläne für die Herstellung von Werkzeugen übersteigt den bei den kleinen Unternehmen der Branche vertretbaren Aufwand, so dass der Einsatz von Netzplänen in der aus dem Anlagenbau bekannten Form keine Perspektive bietet. Dennoch scheint ein Planungshilfsmittel unverzichtbar, welches mit vertretbarem Aufwand eine Termin- und Kapazitätsplanung direkt nach Auftragseingang erlaubt, und zudem mit einer detaillierten Planung kombiniert werden kann. Es fehlt ein Planungshilfsmittel, welches ausgehend von den Angebotsdaten eine Prognose der Termine und Belastungen für sämtliche Prozesse der Auftragsabwicklung erlaubt.

Zunächst werden etablierte Methoden zur Planung der Auftragsabwicklung auf ihre Eignung für eine Verwendung als Bestandteil der Methode zur Grobplanung untersucht. (Abbildung 1.11) Die Methoden umfassen die Netzplantechnik, Methoden zur Planung von Entwicklungsprozessen ebenso wie zur Planung mechanischer Fertigungen und bekannte Verfahren zur Integration von Planung und Steuerung.



**Abbildung 1.11: Vorgehensweise zur Entwicklung der Methode**

Bei Werkzeugen stellt bereits die Ermittlung der Bearbeitungszeiten einzelner Prozesse ein Problem dar. Die Grobplanung vor Beginn der Konstruktion benötigt geeignete Vorgabewerte für die Bearbeitungsdauern als Eingangsgrößen. Vor Beginn der Konstruktion stehen keine Arbeitsplanungsdaten zur Verfügung. Die Informationen, die zu diesem Zeitpunkt der Auftragsabwicklung vorliegen, entstammen dem Angebot. Aus der Angebotskalkulation können die geplanten Gesamtbearbeitungszeiten für das Werkzeug oder Bearbeitungszeiten bezogen auf Funktionsgruppen oder Maschinengruppen ermittelt werden.

Die direkt nach Auftragsannahme verfügbaren Informationen reichen in ihrer Detaillierung nicht für die Durchführung einer Durchlaufterminierung des Werkzeugs aus. Um dennoch direkt nach Auftragseingang eine Planung der Auftragsabwicklung beginnen zu können, soll eine Struktur entwickelt werden, die geeignete Elemente für



die Durchlaufterminierung enthält. Diese Struktur soll zudem zur Bestimmung der Bearbeitungsaufwände für die Elemente der Durchlaufterminierung herangezogen werden können.

Der Schlüssel zur Bestimmung von Herstellungsaufwänden und Terminen findet sich bei Produkten wie Werkzeugen und Formen in der Struktur der Produkte. Werkzeuge erlauben keine Festlegung von Standardstrukturen. Ansätze zur Standardisierung von Werkzeugen sind nur in Einzelfällen dokumentiert. In der überwiegenden Anzahl stellen Werkzeuge Unikate dar. Sie enthalten Standardteile, die überwiegend nicht durchlaufzeitbestimmend sind. Die durchlaufzeitbestimmenden Einzelteile, beispielsweise die Formhälften, können in der Regel nicht als Standard definiert werden.

Als Grundlage für die Erstellung einer geeigneten Struktur werden bekannte Strukturen und Modelle zur Abbildung von Produkten und Prozessen auf ihre Eignung für die Abbildung von Planungs- und Steuerungsdaten bei Werkzeugen untersucht. Die Betrachtung konzentriert sich auf neue Ansätze zur Abbildung sämtlicher Daten des Produktlebenszyklus in einem Produktmodell und die Form in der Planungsdaten in die der geometrischen und funktionalen Darstellung entstammenden Produktstrukturdarstellungen integriert werden können.

Geeignete Ansätze zur Modellierung von Produkten und Prozessen sollen in ein neues integriertes Produktmodell einfließen. Dieses soll die Repräsentation der Produktstruktur in einer Form zulassen, die die Grundlage für eine Grobplanung direkt nach Auftragseingang bildet und ein Gerüst für die Anbindung der Feinplanungs- und Rückmeldedaten ermöglicht. Das Produktmodell wird um die für die Planung und Steuerung notwendigen logistischen Parameter erweitert.

Der Einsatz des erweiterten Produktmodells zur Planung im Werkzeug- und Formenbau erfordert die Anpassung bestehender Methoden und die Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Bestimmung der Termine und Belastungen der Ressourcen aus den Angebotsdaten. Nach Abschluss der Arbeitsplanung sollen die Plandaten der Auftragsabwicklung aktualisiert werden können.

Die neue Methode wird für die Planung der Aufträge eingesetzt werden. Sie soll durch eine angepasste Organisationsstruktur eine einfache und sichere Auftragsverfolgung unterstützen. Abschließend wird die Umsetzung der entwickelten Methode in einem Software-Prototypen und die Pilotanwendung vorgestellt.

## 2 Grundlagen der Planung von Aufträgen

### 2.1 Methoden der Planung

Die Planung von Aufträgen in Unternehmen des Werkzeug- und Formenbaus ist geprägt durch die Art der Auftragsabwicklung und die Fertigungsstruktur. Aufträge im Werkzeug- und Formenbau haben Projektcharakter, sie lassen sich mit der Abwicklung von Aufträgen im Sondermaschinenbau oder dem Prototypenbau in der Automobilindustrie vergleichen. Die Herstellung des Werkzeugs durch mechanische Bearbeitung und Montagearbeitsgänge ist überwiegend in Form einer Werkstattfertigung organisiert.

Im Folgenden werden Methoden und Ansätze zur Planung beschrieben und im Hinblick auf die Entwicklung einer Methode zur Auftragsabwicklung im Werkzeug- und Formenbau bewertet. Neben Verfahren zur Projektplanung und zur Terminierung von Entwicklungsvorhaben werden aufgrund der beschriebenen Branchencharakteristik auch Methoden zur Planung von Werkstattfertigungen betrachtet. Es wird untersucht, inwieweit Elemente der Methoden die Grundlage für die Entwicklung einer neuen Vorgehensweise zur Planung der Aufträge im Werkzeug- und Formenbau bilden können. Die Umsetzung der Planungsvorgaben auf der operativen Ebene durch eine geeignete Auftrags- bzw. Werkstattsteuerung ist eine weitere Komponente. Neben den eigentlichen Planungsmethoden werden daher Ansätze zur Integration von Planung und Steuerung betrachtet.

#### 2.1.1 Projektplanung

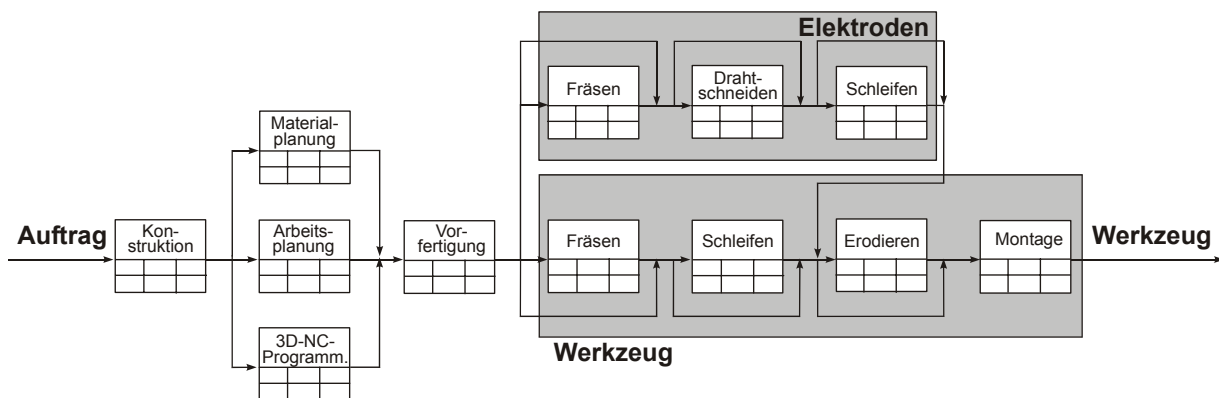
*Die Projektplanung ist die Ordnung, Vorbereitung und gedankliche Vorwegnahme (Planung) von zeitlich, sachlich und räumlich begrenzten, meist einmaligen Vorhaben mit klar definierten Aufgaben- und Zielstellungen (Projekte) (Schwarze 1990).*

Als Projekte sind im Werkzeug- und Formenbau sowohl komplette Aufträge als auch Teile der Auftragsabwicklung, wie beispielsweise die Konstruktion, zu verstehen. Für die Planung von Projekten hat sich im Anlagenbau und der Baubranche die Netzplantechnik als Hilfsmittel bewährt. Bei komplexen Aufgaben dient die Netzplantechnik zur übersichtlichen Erfassung aller Arbeitsgänge und Projektelemente sowie einer vollständigen und übersichtlichen Darstellung des Arbeitsablaufes mit allen Abhängigkeiten.

Kritische Pfade können anhand dieses detaillierten Projektplans frühzeitig erkannt und Pufferzeiten ermittelt werden. Planungsrisiken können im Vorfeld minimiert und für Planabweichungen bereits Gegenmaßnahmen definiert bzw. notwendige Ressourcen disponiert werden. (Daub 1994, Zimmermann 1971, Altrogge 1996)

Im Werkzeug- und Formenbau sind die Abhängigkeiten zwischen Produktionsvorgängen weitgehend technologisch bedingt. Trotz des hohen Aufwands, der mit der Erstellung eines Netzplanes verbunden ist, bietet sich die Netzplantechnik als Planungshilfe an und soll auf ihre Eignung untersucht werden.

Die Projektplanung kann durch Standardnetzpläne vereinfacht werden (*Branckamp 1971*). Standardnetzpläne bieten die Möglichkeit der Erstellung eines kompletten Auftragsnetzes aus standardisierten Teilnetzen, die je nach Anforderung zusammengesetzt werden. Dabei ist ein Standardnetz ein in sich geschlossenes einheitliches Netzelement, das eine bestimmte Tätigkeitskombination mit festgelegter Belastungsdauer und Kapazitätsauslastung enthält. Abbildung 2.1 zeigt einen vereinfachten Standardnetzplan für die Herstellung einer Spritzgießform mit Teilnetzen für das Werkzeug und die für das Erodieren benötigten Elektroden.



**Abbildung 2.1: Beispiel eines Standardnetzplans für die Werkzeugherstellung**

Nach Grein (*Grein 1997*) kann die Netzplantechnik zur Durchführung der Termin- und Kapazitätsplanung in der Entwicklung und Konstruktion eingesetzt werden. Grein verwendet dabei Standardnetzpläne, deren Elemente instanziiert werden. Daub (*Daub 1994*) sucht Lösungen für die Probleme der Ablaufplanung anhand von Simultanmodellen, die Unsicherheiten der Planungen berücksichtigen. Larsen (*Larsen 1993*) untersucht den Einsatz von Netzarbeitsplänen für die Neuplanung.

Eversheim (*Eversheim 1997*) greift in seinem Konzept der dezentralen Auftragsplanung und -steuerung auf standardisierte Netzpläne zurück und leitet daraus modulare Standardnetzpläne ab. Dabei werden die Merkmale eines Projektes identifiziert, die die Struktur des Netzplans beeinflussen. Durch eine Kombination der Merkmale kann ein neuer Netzplan aufgebaut werden.

Als Voraussetzung für den Einsatz von Standardnetzplänen sieht Eversheim (*Eversheim 1996*) sein Konzept der ‚Kistenfertigung‘. Dabei ist eine ‚Kiste‘ der Fertigungsauftrag für eine Hauptbaugruppe, der sämtliche Schritte zur Fertigung der zugehörigen

gen Einzelteile beinhaltet. Die einzelnen Stränge des Standardnetzplanes werden durch die Arbeitsvorgangsfolgen der Hauptbaugruppen gebildet.

Diese Art von Netzplänen ist in ihrem Einsatzbereich eingeschränkt. Die Erstellung der modularen Standardnetzpläne erfordert eine genaue und zeitintensive Planung, die im Werkzeug- und Formenbau aufgrund der kurzen Lieferzeiten überwiegend nicht angewandt werden kann. Erfolgreich eingesetzt werden kann diese Methode bei Unternehmen mit einem begrenzten Produktspektrum. Es fehlt eine Möglichkeit, die Netzpläne produktstrukturabhängig an neue Produktgruppen anzupassen.

### **2.1.2 Planung von Entwicklungsprozessen**

Neben den Ansätzen der Netzplantechnik, die insbesondere für den Anlagenbau weiterentwickelt wurden, stehen in der industriellen Fertigung die Planung der mechanischen Bearbeitung und Montage sowie der Produktentwicklungsprozesse im Vordergrund. Die Produktentwicklung ist nicht nur im Werkzeug- und Formenbau sondern auch in der Serienfertigung ein bedeutender Teilbereich der Auftragsabwicklung.

Der Produktentwicklungsprozess nimmt in der Serienfertigung einen erheblichen Anteil ein. Während dieses Prozesses entstehen ca. 10 Prozent der Gesamtkosten des Unternehmens und die Herstellkosten des Produkts werden zu bis zu 75 Prozent festgelegt (Abbildung 2.2) (*Ehrlenspiel 1995, Rapp 1999*).

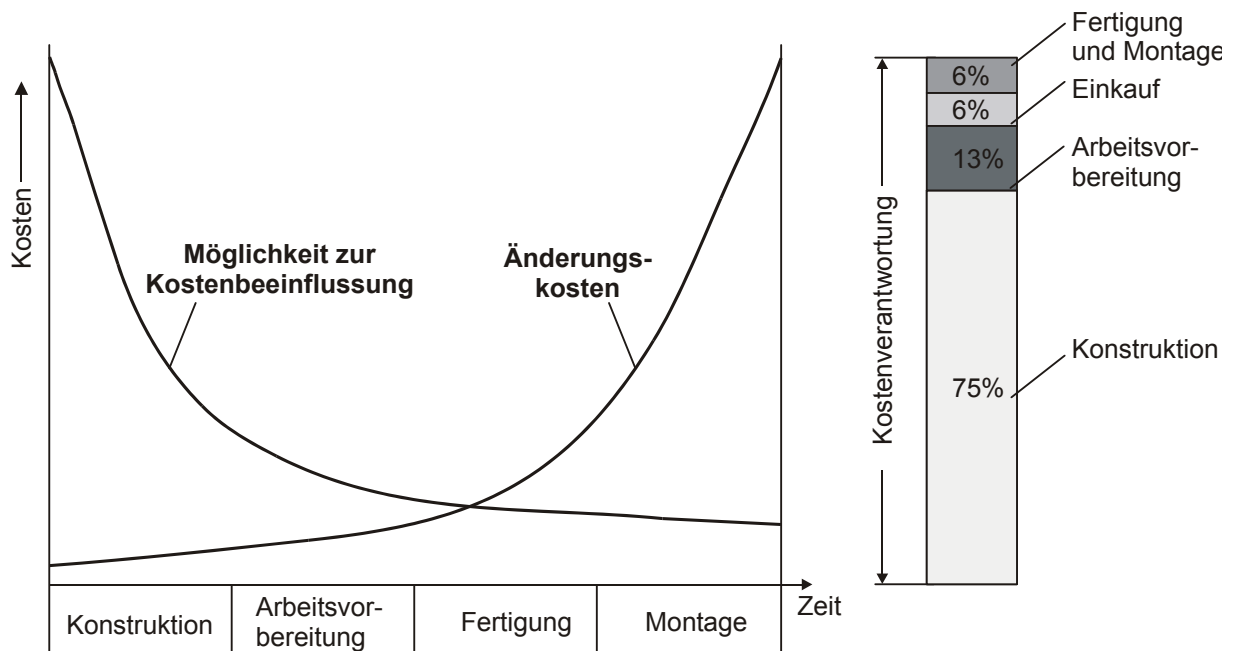
Die Planung eines Entwicklungs- oder Konstruktionsprozesses wird durch die produktbezogenen Einflussgrößen bestimmt, welche bei der Ermittlung von Planzeiten und Abläufen berücksichtigt werden. Dabei sind die Erzeugnisstruktur, die Kapazitätsstruktur, die Konstruktionsarten und die Kundenänderungen während des Konstruktionsprozesses wichtige Einflussgrößen (*Franken 1998*).

Bei der terminlichen Koordination und der Planung des Konstruktionsprozesses werden zwei Ansätze unterschieden. Zum einen die Integration der Produktentwicklung in die gesamte Auftragsabwicklung und zum anderen die Planung des Entwicklungsprozesses (*Klaus 1996*).

Ansätze, die sich mit der Integration von Prozessen der Produktentwicklung beschäftigen, gehen von einer zentralen Planungs- und Steuerungsstelle aus (*Brankamp 1978*). Häufig erfolgt dies in Form einer Auftragsleitstelle, welche die bereichsübergreifende Koordinierung des terminrelevanten Informationsflusses und die Kapazitätsgrobplanung übernimmt (*Full 1993, Lindl 1991, Paul 1991*).

Bei einer Betrachtung der Planung des Konstruktions- und Entwicklungsprozesses muss, um Grundlagen für eine Terminplanung im Konstruktionsbereich zu schaffen, dieser hinsichtlich seiner Organisation, der planungsrelevanten Parameter, der anzuwendenden Terminierungsverfahren und der Unterstützung durch EDV-Systeme untersucht werden. (*Bullinger 1976, Ehrlenspiel 1993, Heuwing 1974, Hichert 1980*)

Dabei sind Simultaneous Engineering, Concurrent Engineering und Kooperatives Produktengineering in den Mittelpunkt gerückt (vgl. S. 5). Es wird versucht, durch Parallelisierung, Standardisierung und Integration die Entwicklungszeiten und -kosten zu senken sowie die Qualität der Produkte zu erhöhen. Ziel ist es, eine parallelisierte und produktionsgerechte Produktentwicklung zu erreichen. (Warschat 1996)



**Abbildung 2.2: Kostenbeeinflussung und Kostenverantwortung in den Unternehmensbereichen [nach Rapp]**

Einen neuen Weg beschreitet Wiendel mit einem Verfahren zur Echtzeitmessung des Produktfortschrittes. Ausgehend von der Anforderungsspezifikation eines Produkts wird ein Produktintegritätsprogramm entwickelt. Dieses Produktintegritätsprogramm wird in Echtzeit, parallel zur Produkt- und Prozessentwicklung durchgeführt und erlaubt Rückschlüsse auf den Stand der Entwicklung. (Wiendel 2000)

Brankamp (Brankamp 1975) hat einen Leitfaden zur Einführung einer Konstruktions-terminsteuerung beschrieben, um eine Leistungssteigerung in der Konstruktion zu erreichen. Dabei wird genau beschrieben, wie ein Unternehmen vorgehen sollte, um eine effiziente Konzeption zur Konstruktions-terminsteuerung firmenspezifisch einzuführen.

Eversheim (Eversheim 1994) hat zur effizienten Auftragsplanung im Produktentwicklungsprozess ein Auftrags- und Dokumenten-Management-System (DOCMAN) entwickelt, welches an die Dynamik des Auftragsgeschehens angepasst werden kann. Dabei wurde eine Systemarchitektur gestaltet, die aus einer zentralen Auftrags- und Dokumentenverwaltung und einer dezentral einzusetzenden Bedienschnittstelle be-

steht. Diese berücksichtigt die für das jeweilige Unternehmen charakteristischen Randbedingungen des Produktentwicklungsprozesses.

Dass die Auftragsdurchlaufzeit verkürzt und die Termintreue erhöht werden kann, wenn eine terminliche Planung und Steuerung in der Konstruktion erfolgt, hat Dorner (*Dorner 1993*) in seiner Arbeit bestätigt. Dorner hat eine Bewertungsmethode zur Abschätzung der Auswirkungen unterschiedlicher zeitwirtschaftlicher Maßnahmen im Konstruktionsbereich entwickelt.

Grein (*Grein 1997*) greift in seinem Lösungsansatz zur Planung von Konstruktionsprozessen auf bereits technisch erarbeitete Lösungen zurück und leitet daraus benötigte Informationen über Zeiten und Ressourcen ab. Diese bilden die Grundlage für neue Projektplanungen. Sollten keine passenden Lösungsmuster vorhanden sein, werden neuronale Netze als Hilfsmittel zur Planung des Kapazitätsbedarfs eingesetzt.

Winkelhofer (*Winkelhofer 1993*) hat in seiner Arbeit eine Zeitrepräsentation mit einem Schlussfolgerungsverfahren und Heuristiken basierend auf Problemmerkmalen zur Terminplanung entwickelt. Diese können auf die Produktentwicklung angewendet werden.

Wahlers (*Wahlers 1998*) hat ein rechnergestütztes Logistik-Planungssystem (CALP-System) entwickelt. CALP wird in der integrierten Produkt- und Prozessgestaltung eingesetzt und soll die Entwicklung komplexer, mehrstufiger Kleinserien- und Serienprodukte unterstützen.

Ziel ist, den Konstrukteuren neben der fertigungsgerechten Konstruktion ein Hilfsmittel für eine logistikgerechte Konstruktion an die Hand zu geben.

Franken (*Franken 1998*) hat zur effizienten Planung des Produktentwicklungsprozesses eine Vorgehensweise entwickelt, in der verschiedene Planungsschritte weitgehend sequentiell durchlaufen werden. Abbildung 2.3 zeigt die Hauptplanungsschritte von der Ablaufplanung bis zur terminorientierten Kapazitätsplanung, aus der der mittelfristige Kapazitätsbedarf abgeleitet wird.

Problematisch ist dabei im Werkzeug- und Formenbau die Planung von Arbeitsgängenreihenfolgen aufgrund der produktabhängigen Zusammenstellung der Arbeitsgänge und deren mögliche Änderung während der Durchführung. Grundsätzlich ist die Planzeitermittlung auf Basis von Auftragszeiten, Kapazitäten und Übergangszeiten, die anhand von Flussgraden errechnet werden, ein erfolgsversprechender Ansatz, der im Rahmen dieser Arbeit weiter verfolgt werden soll (s. Abschnitt 3.3ff).

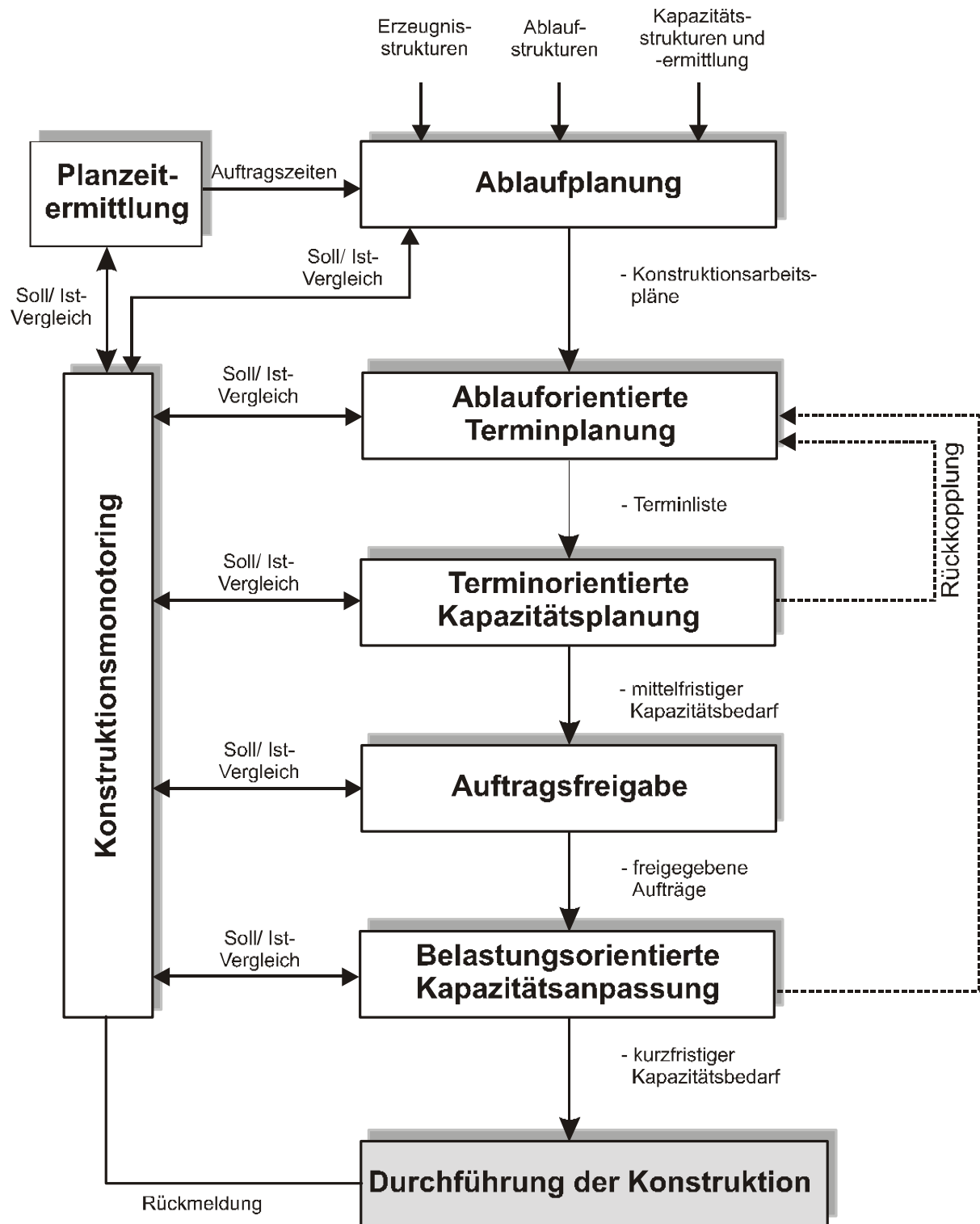


Abbildung 2.3: Ablauf der Konstruktionsplanung und -steuerung [Franken]

### 2.1.3 Planung der mechanischen Werkstattfertigung

Planung der mechanischen Fertigung ist die Durchlaufterminierung je Auftrag, die Kapazitätsterminierung je Maschine und die Maschinenbelegungsplanung. Ziel ist Auftragsdurchlaufzeiten zu ermitteln, um den Fertigungsbeginn zu ermöglichen und die Kapazitäten zu planen, so dass die Arbeitssysteme optimal ausgelastet sind.

Bei der *Durchlaufterminierung* wird für jeden Arbeitsgang eines Auftrags der Anfangs- und der Endtermin anhand der technologischen Reihenfolge bestimmt. Konkurrierende Aufträge an den einzelnen Kapazitätseinheiten werden nicht betrachtet.

In Abbildung 2.4 sind verschiedene Ansätze zur Abschätzung der Durchlaufzeiten von Aufträgen in Abhängigkeit bestimmter Einflussgrößen vorgegeben (Wahlers 1998). Für den Werkzeug- und Formenbau muss die Bearbeitungs- und Rüstzeit und die mittlere Arbeitsplatzbelastung berücksichtigt werden. Bei Formräumen (Kavitäten) mit langen Bearbeitungs- und Rüstzeiten, die zum Teil auf Engpassmaschinen bearbeitet werden, ist eine arbeitsplanabhängige Durchlaufzeitterminierung, die die Belastung des Arbeitsplatzes berücksichtigt zwingend erforderlich.

Verfahren		Einflussgrößen auf die Auftragsdurchlaufzeit						Bemerkungen	
		Anzahl der Arbeitsvorgänge	Bearbeitungs- und Rüstzeit	Losgröße	Transportzeit	mittlere Arbeitsplatzbelast.	gepl. Arbeitsplatzbelastung		
Bedeutung der Einflussgröße		hoch	gering		hoch				
arbeitsplan-unabhängig	1. Schätzen durch Arbeitsvorbereitung	●	●	●	●	○	abhängig von der Erfahrung des Schätzenden		
	2. pauschale mittlere Auftragsdurchlaufzeit	○	○	○	○	○			
	3. Artikelbezogene logistische Statistik des Artikels	●	●	●	●	○	nur für Wiederhol- oder Ähnlicheile		
	4. Artikelbezogene logistische Statistik ähnlicher Artikel	●	●	●	●	○			
arbeitsplanabhängig	Summe der Durchführungzeiten	5. pauschale Durchlaufzeit für alle Arbeitsplätze	●	○	○	○	○	Klassifizierungssystem oder Ähnlichkeitssuche notwendig	
		6. spezifische Durchlaufzeit für jeden Arbeitsplatz	●	○	○	○	●	○	
		7. + pauschale Übergangszeit für den Gesamtauftrag	●	●	●	○	○	○	
		8. + einheitliche Übergangszeit für jeden Arbeitsvorgang	●	●	●	○	○	○	
		9. + Übergangszeit nach Arbeitsplatzwechsel	●	●	●	●	○	○	Übergangszeitmatrix
		10. + Übergangszeit nach Arbeitsplatz	●	●	●	○	●	○	statisch
		11. + dynamische Übergangszeitmatrix nach geplanter Belastung	●	●	●	●	●	●	FLOTTERM

● voll berücksichtigt    ● berücksichtigt    ● teilweise berücksichtigt    ○ nicht berücksichtigt

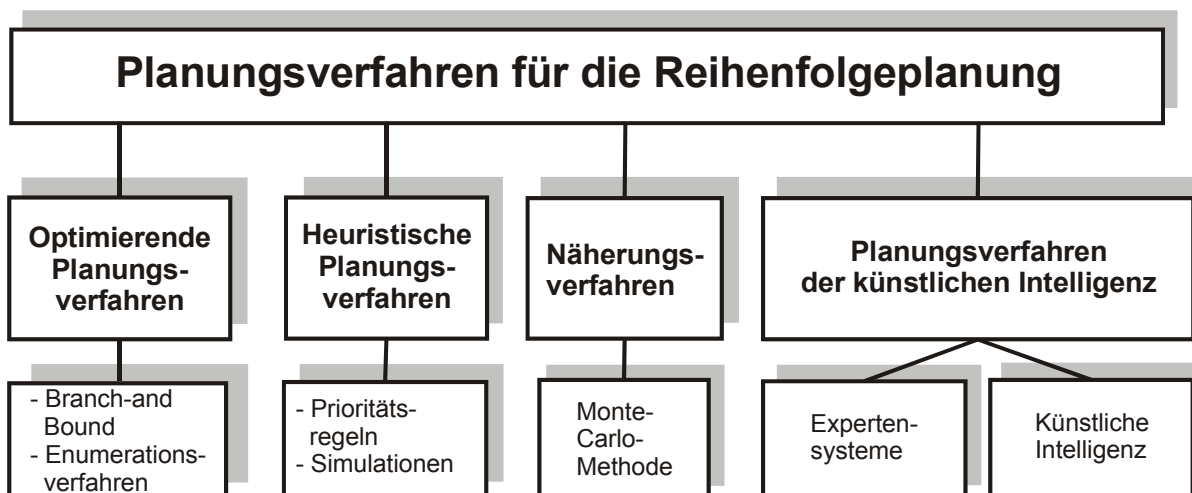
Abbildung 2.4: Verfahren zur Durchlaufzeitbestimmung bei Aufträgen [Wahlers]



An die Durchlaufterminierung schließt sich die *Kapazitätsterminierung* bzw. Belastungsrechnung an. Die Belastungen der jeweils angesprochenen Kapazitäten je Periode aus der Durchlaufterminierung werden für die einzelnen Aufträge addiert und den tatsächlich zur Verfügung stehenden Kapazitäten je Periode gegenübergestellt. Durch die geplanten Kapazitäten ergibt sich ein Belastungsprofil, welchem die tatsächlichen Kapazitäten in einem Kapazitätsprofil gegenübergestellt werden (*Wien-dahl 1997a*)

Für den Werkzeug- und Formenbau zeigte Schaele (*Schaele 1991*), dass die Bildung von Produktgruppen in Verbindung mit einem bestehenden Produktionsprogramm für die Prognose zukünftiger Belastungen betrieblicher Funktionsbereiche hinreichend genaue Ergebnisse liefert.

Für die Planung einzelner Aufträge ist die Methode nicht geeignet, da die Bearbeitungszeiten der Aufträge einer Produktgruppe auf den Kostenstellen stark schwanken. Die mittlere Stundenbelastung der Kostenstellen durch Produktgruppen ist nicht ausreichend für die Prognose der Auslastung einer Kostenstelle durch einen Auftrag oder die Vorhersage der einzuhaltenden Ecktermine für eine termingerechte Bearbeitung. Die von Schaele entwickelte Methode ist gut geeignet für die langfristige Prognose der Auslastung. Für die auftragsbezogene, mittelfristige Betrachtung der Belastung der Ressourcen ist die oben beschriebene Vorgehensweise zur Überführung der aus der Durchlaufterminierung ermittelten Ergebnisse in die kapazitätsorientierte Sicht anwendbar.



**Abbildung 2.5: Planungsverfahren für die Reihenfolgeplanung [Fischer]**

Nach der Grobplanung durch Durchlaufterminierung und Kapazitätsterminierung erfolgt die Feinplanung und Maschinenbelegungsplanung.

Die *Maschinenbelegungsplanung* befasst sich mit der Reihenfolgebildung für die Bearbeitung von Aufträgen und der exakten terminlichen Zuordnung von Aufträgen zu

einzelnen Maschinen. Optimierungskriterien sind die Auslastung oder die mittlere Durchlaufzeit. Aufgrund der hohen Komplexität von Produktionsprozessen ist eine exakte Berechnung der optimalen Reihenfolge von vernetzten Aufträgen an verschiedenen Anlagen selten möglich. Es wurden daher neben den exakten Verfahren weitere Verfahren zur Belegungsplanung entwickelt (Abbildung 2.5). Unterschieden wird zwischen exakten bzw. optimierenden Planungsverfahren, heuristischen Planungsverfahren, Näherungsverfahren und Planungsverfahren der Künstlichen Intelligenz (*Fischer 1999, Winkler 1995*).

Zu den exakten oder optimierenden Verfahren gehören die lineare Programmierung, Enumerationsverfahren, dynamische Programmierung und Branch-and-Bound (*Seelbach 1975, Littger 1992*). Die heuristischen Verfahren bestehen aus den einfachen und gewichteten Prioritätsregeln, heuristischen Regeln und Simulationen. Diese heuristischen Prioritätsregeln sind die am Häufigsten eingesetzten Verfahren in der Praxis (*Hoitsch 1993*).

Bei den Näherungsverfahren wird über die Anwendung von Regeln eine schrittweise Annäherung an eine optimierte Lösung versucht. Das bekannteste Verfahren ist die Monte-Carlo-Methode (*Beckendorff 1991*).

Die Planungsverfahren der künstlichen Intelligenz sind die Expertensysteme und die Künstliche Intelligenz. Die Expertensysteme sind Computerprogramme, die die Problemlösungsfähigkeit von Experten simulieren. Zu den Verfahren gehören regelbasierte Planungsverfahren, Constraint-directed Search oder Planung mit Planskeletten (*Mertens 1990, Cremers 1991, Friedland 1985*). Die künstliche Intelligenz ahmt den menschlichen Wahrnehmungs- und Lernprozess nach und eröffnet damit neue Wege der Entscheidungsfindung. Die bekanntesten Verfahren sind die verteilte Planung und künstliche neuronale Netze (*Corkil 1991, Köhle 1990, Schneider 1993*).

Genetische Algorithmen erzeugen systematische Lösungen durch Rekombination von bekannten Teillösungen (*Kanet 1991, Schöneburg 1994*). Das Ergebnis wird bewertet und der Prozess beginnt erneut. Der Algorithmus läuft solange, bis eine gesetzte Zeitgrenze erreicht wird. Das bis dahin beste Ergebnis wird verwendet.

Die Methode der reaktiven Planung von Prozessen ist dadurch gekennzeichnet, dass sie fortwährend aktuelle Informationen aufnimmt und diese im laufenden Fertigungsprozess verarbeitet. Es erfolgt eine kontinuierliche Interaktion mit der Umgebung und eine Reaktion auf sich ändernde Parameter und Randbedingungen. Ziel einer reaktiven Belegungsplanung ist es bei Störungen und Veränderungen so viel wie möglich von dem bereits existenten Belegungsplan zu erhalten (*Scholz-Reiter 2000, Beckendorff 1991*). Dieses Verfahren eignet sich für den Einsatz im Werkzeug- und Formenbau, da die fortlaufend auftretenden Änderungen durch das methodische Vorgehen in den Belegungsplan integriert werden können.

### 2.1.4 Integration von Planung und Steuerung

Planung und Steuerung sind traditionell zeitlich und funktional getrennt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Systeme aufgrund der zur Verfügung stehenden Rechnerkapazität zunächst nach den Grundsätzen des Material Requirements Planing (MRP) entwickelt wurden. Dabei wurde im ersten Schritt die Durchlaufterminierung und im zweiten die Kapazitätsplanung betrachtet. Die Funktionen Steuerung und Überwachung sind nicht Bestandteile von MRP.

Der Trend zur kundenorientierten Just-in-Time Fertigung kleiner Serien mit hoher Liefertreue, ebenso wie der steigende Änderungsanteil bei Entwicklungskooperationen erfordert eine größere Flexibilität bei der Einplanung von Aufträgen. Sielemann berichtet, dass sich Termine in vielen Fällen nur einhalten lassen, wenn auf weniger belastete Arbeitssysteme ausgewichen wird (Sielemann 2000).

Um eine größere Flexibilität bei der Planung und Steuerung von Aufträgen in der Fertigung zu erreichen, müssen beide Aufgaben zukünftig eng miteinander verbunden sein. In der Vergangenheit sind verschiedene Konzepte zur Integration von Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung entwickelt worden (Abbildung 2.6):

Integrationskonzepte	Art der Planung						Flexibilität in der Umplanung
	vollständige Planung	unvollständige Planung	lineare Planung	nichtlineare Planung	hierarchisch	nicht hierarchisch	
Konventionelle Planung 	X		X			X	○
Alternativplanung 	X		X			X	○
Just-in-Time Planung 	X		X			X	○
Nicht-Lineare Planung 	X			X		X	◐
Dynamische Planung 		X	X			X	●
Hierarchische Planung 		X	X		X		◐
Rahmenplan 		X		X	X		●

flexibel    
  teilweise flexibel    
  nicht flexibel

Abbildung 2.6: Konzepte zur Integration von Planung und Steuerung

Die Alternativplanung ist die bekannteste Vorgehensweise zur Erhöhung des Entscheidungsspielraums der Fertigung. Die Arbeitsplanung erstellt mehrere Arbeitspläne, aus denen die Fertigungssteuerung zum Zeitpunkt des Auftrags in die Fertigung die geeignet erscheinende Alternative auswählt. Nach der Auswahl eines Planes in der Fertigung kann nicht auf eine andere Alternative umgeplant werden, so dass Änderungen und Störungen nach Auftragsfreigabe nicht berücksichtigt werden können (*Hämmerle 1993*). Zur Unterstützung der Planer und Steuerer haben Kühnle und ElMaraghy ein Konzept entwickelt, das CAPP- und PPS-Systeme koppelt. Auf diese Weise können die Daten der Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung direkt ausgetauscht werden (*Kühnle 1993, ElMaraghy 1993*).

Bei der *Just-in-Time Planung* wird ein vollständiger und detaillierter Arbeitsplan kurz vor Fertigungsbeginn erstellt, damit die aktuelle Kapazitätssituation berücksichtigt werden kann. Voraussetzung dafür ist eine rechnergestützte Planung, die eine kurzfristige Bereitstellung der Auftragsunterlagen ermöglicht und das aktuelle Fertigungsgeschehen mit einbezieht. Die Planung erfolgt zeitlich so, dass sie kurz vor Beginn der Fertigung beendet ist. Eine Änderung nach Fertigungsbeginn ist ebenfalls nicht vorgesehen. Die bekanntesten Entwicklungen sind das System MADEMA (Manufacturing Decision Making) von Chryssolouris (*Chryssolouris 1985*) und das „Closed Loop Process Planning“ (CLPP) von Alting und Larsen (*Alting 1990*).

Die Integration von Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung kann durch die *Nicht-lineare Planung* erfolgen. Häufig wird diese Art von Arbeitsplanung Netzplanung genannt. In diesem Netzplan sind technologisch zulässige, alternative Arbeitsvorgangsfolgen enthalten. Die Arbeitsvorgangsfolgen können sich aus Alternativen in der technologischen Bearbeitung, der Nutzung alternativer Ressourcen gleicher Technologie oder aus Reihenfolgevertauschung von Arbeitsgängen ergeben. Die Fertigungssteuerung wählt diejenige Alternative aus dem Netzplan aus, die in der gegebenen Situation am Günstigsten ist. Dadurch können reaktive Umplanungen bei Störungen vorgenommen und bei Neuplanung die Belastungsschwankungen harmonisiert werden (*Sielemann 2000*).

Bekannte Ansätze sind das „Adaptable Process Planning“ von Hanock (*Hanock 1987, Hanock 1989*), die „Dynamische Prozessgestaltung“ von Altmann und Krause (*Altmann 1991*) und das FLEXPLAN/ COMPLAN- System für die Werkstattfertigung (*Tönshoff 1993, Schmidt 1996, Detand 1993*). Weitere Arbeiten sind unter anderem von Sihong und Rong (*Sihong 1997*) sowie von Yang (*Yang 1998*) beschrieben worden.

Die von Kreuzfeldt (*Kreuzfeldt 1995*) entwickelten Planungsmethoden sollen den Disponenten bei der Einplanung von Bearbeitungsalternativen unterstützen. Dabei wird versucht, den zusätzlichen Aufwand, der bei der Verwendung von Netzarbeitsplänen entsteht, zu reduzieren, indem Alternativen an Engpassarbeitsplätzen berücksichtigt werden. Die Ermittlung der Engpässe erfolgt über ein Approximationsverfahren, welches die Bestimmung des Einflusses einzelner Engpassarbeitsplätze auf

das Durchsatzverhalten untersucht. Anhand von Simulationen konnte gezeigt werden, dass eine Senkung von Durchlaufzeit und Beständen durch die Nutzung von Netzplänen erreicht wird.

Bei der *Dynamischen Planung* wird schrittweise die Arbeitsplaninformation für den nächsten Arbeitsgang erstellt und in der Fertigungssteuerung eingeplant. Die Arbeitsplanung und Belegungsplanung wird integriert behandelt, indem nach jedem durchgeführten Arbeitsgang die Werkstückbeschreibung erneut analysiert wird und dann der am Besten geeignetste nächste Arbeitsgang ausgewählt wird. Die technologischen und logistischen Randbedingungen werden simultan berücksichtigt.

Die bekanntesten Systeme der dynamischen Arbeitsplanung sind die Systeme von Iwata und Fukuda (*Iwata 1989, Iwata 1990*) sowie das RTCAPP System von Khoshnevis (*Khoshnevis 1990*).

Bei der *hierarchischen Planung* wird der Planungsablauf in eine Grob- und eine Feinplanung unterteilt, die zeitlich voneinander entkoppelt sind. Dabei soll die Grobplanung durchgeführt werden, um die vorhandenen Ressourcen in der Kapazitäts- und Terminplanung berücksichtigen und die benötigten Kapazitäten reservieren zu können. Zum Fertigungszeitpunkt und während des Fertigungsfortschrittes erfolgt eine Detaillierung des Arbeitsplanes parallel zur Belegungsplanung. Die Detaillierung sollte kurz vor der Fertigung erfolgen. Die rechtzeitige Bereitstellung der Hilfsmittel muss dennoch gewährleistet sein. Durch dieses System können aktuelle Situationen berücksichtigt werden.

Schneewind (*Schneewind 1994*) verfolgt den Ansatz der funktionalen Modellierung von Planungsabläufen. Er unterteilt den Planungsablauf in eine Grob- und eine Feinplanung und setzt zur Unterstützung der Feinsteuerung einen elektronischen Leitstand ein. Die Grobplanung wird dabei so früh wie möglich durchgeführt, um die übergeordneten Belastungspläne zu aktualisieren und die entsprechenden Kapazitäten zu reservieren. Die Feinplanung überprüft die Ergebnisse der Grobplanung auf ihre Aktualität und auf Abweichungen. Diese werden dann gegebenenfalls verbessert und detailliert.

In dem Konzept des „Integrated Process Planning Model“ von Zhang (*Zhang 1993*) wird der Planungsablauf in drei Stufen untergliedert und die Planung hierarchisch verfeinert. Es umfasst die Module Arbeitsplanung, Werkstattsteuerung und Entscheidungsfindung. In der Vorplanungsstufe werden die Bearbeitungsschritte aus Technischen Elementen abgeleitet und der Bedarf der Maschinenkapazitäten geschätzt. In der Zuordnungsphase erfolgt die Auswahl der Kapazitäten unter Berücksichtigung der Belegsituation in der Werkstatt. In der Endplanphase werden die benötigten Bearbeitungsschritte auf die verfügbaren und geeigneten Maschinen eingeplant. Zur Ermittlung des optimalen Fertigungszustands und der parallelen Planung von Arbeitsgängen und Maschinenbelegung wird ein mathematisches Modell linearer Gleichungssysteme benutzt.

Hämmerle (*Hämmerle 1993*) stellt ein System zur werkstatorientierten Arbeitsplanung in dezentralen Strukturen vor, bei dem das Bearbeitungswissen der Mitarbeiter effizient genutzt werden soll. Dadurch soll eine Steigerung der Flexibilität in der Fertigung erreicht werden. Mittels eines übergeordneten PPS-Systems wird eine grobe Abschätzung des Kapazitätsbedarfs und der Durchlaufzeiten vorgenommen, welche auf der Basis von Rahmenarbeitsplänen ermittelt werden. Diese enthalten keine detaillierten Angaben über die einzelnen Arbeitsgänge. Die Feinplanung des Auftrags erfolgt durch einen Leitstand, anhand der aktuellen Belastungssituation und der Erfahrung der Mitarbeiter.

Der *Rahmenplan* wurde von Lenderink (*Lenderink 1993*) entwickelt. Dabei wird das rechnerunterstützte Arbeitsplanungssystem PART von van Houten (*vanHouten 1991*) um ein Feinsteuerungsmodul zur Belegungsplanung für die Kleinserienfertigung erweitert. In der ersten Phase werden für den Auftragsvorrat Grobarbeitspläne mit mehreren Bearbeitungsalternativen geplant. Für jede dieser Alternativen werden die erforderlichen Prozesse, die in Frage kommenden Maschinen und der Typ der erforderlichen Fertigungshilfsmittel bestimmt.

In der Belegungsplanphase wird eine Auswahl zwischen den Belegungsalternativen getroffen. Die Alternativen werden anhand der Kenngröße „evaluation time“ (Bewertungszeit) miteinander verglichen. Diese setzt sich aus den Kriterien zusammen, die den Aufwand (Herstellkosten und Bereitstellung der notwendigen Hilfsmittel) und die Dringlichkeit einer Bearbeitungsalternative bewerten. Es wird die Alternative ausgewählt bei der die summierte „evaluation time“ minimal ist. In der dritten Phase kann die Detaillierung der Arbeitspläne erfolgen. Es erfolgt die Auswahl von Vorrichtungen und Werkzeugen sowie die NC-Programmierung.

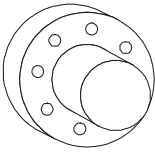
## **2.2 Planung mit Produktinformationen**

Die Produkte im Werkzeug- und Formenbau sind jedes für sich einzigartig, dennoch lassen sich Grundmuster für den Aufbau der Produkte finden, die stetig wiederkehren. Im Verlauf der Arbeit wird gezeigt, dass es möglich ist, Produkte ohne Kenntnis ihrer exakten Erzeugnisstruktur oder der Arbeitsvorgangsfolgen nach logistischen Kriterien zu strukturieren. Für diese Methode werden Grundlagen der Produktstrukturierung ebenso verwendet wie Bausteine aus der Entwicklung technischer Elemente.

### **2.2.1 Technische Elemente**

Bereits in der Konstruktion beginnt die technische Beschreibung des Produkts mit Technischen Elementen (engl. features). Nach Shah (*Shah 1991*) sind Technische Elemente Formen, mit denen ein Konstrukteur bestimmte Eigenschaften oder Attribute und weitere für die Erstellung des Produkts nutzbringende Kenntnisse verbindet. Sie bestehen aus geometrischen Elementen. Zusätzlich beinhalten sie semantische

Informationen wie Toleranzen, Oberflächenbeschaffenheit oder Behandlungszustand (Rudolph 1993).

Technisches Element			
		technische Bedeutung	
	+	geometrische Eigenschaften	technologische Eigenschaften
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Position</li> <li>• Richtung</li> <li>• Anzahl</li> <li>• Bohrungen</li> <li>• Teilkreis</li> <li>• Durchmesser</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toleranzen</li> <li>• Passungen</li> <li>• Oberflächen- güten</li> <li>• Werkstoff</li> <li>• Gewicht</li> <li>• ...</li> </ul>
		+	Funktionale Eigenschaften
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kräfte</li> <li>• Momente</li> <li>• Einsatz- bedingungen</li> <li>• ...</li> </ul>

**Abbildung 2.7: Eigenschaften technischer Elemente [Rudolph]**

Shah betrachtet Technische Elemente als Informationscontainer für Konstruktion, Fertigung und Montage (Shah 1988). Für den Begriff Technisches Element findet sich eine Definition von Tönshoff (Tönshoff 1993):

*Technische Elemente sind Objekte, die zur Beschreibung von Werkstücken, Baugruppen, oder Produkten unter den Gesichtspunkten Konstruktion, Arbeitsplanung, Fertigung, Montage und Qualitätssicherung dienen. Den Technischen Elementen können geometrische, technologische und funktionale Eigenschaften zugewiesen werden.*

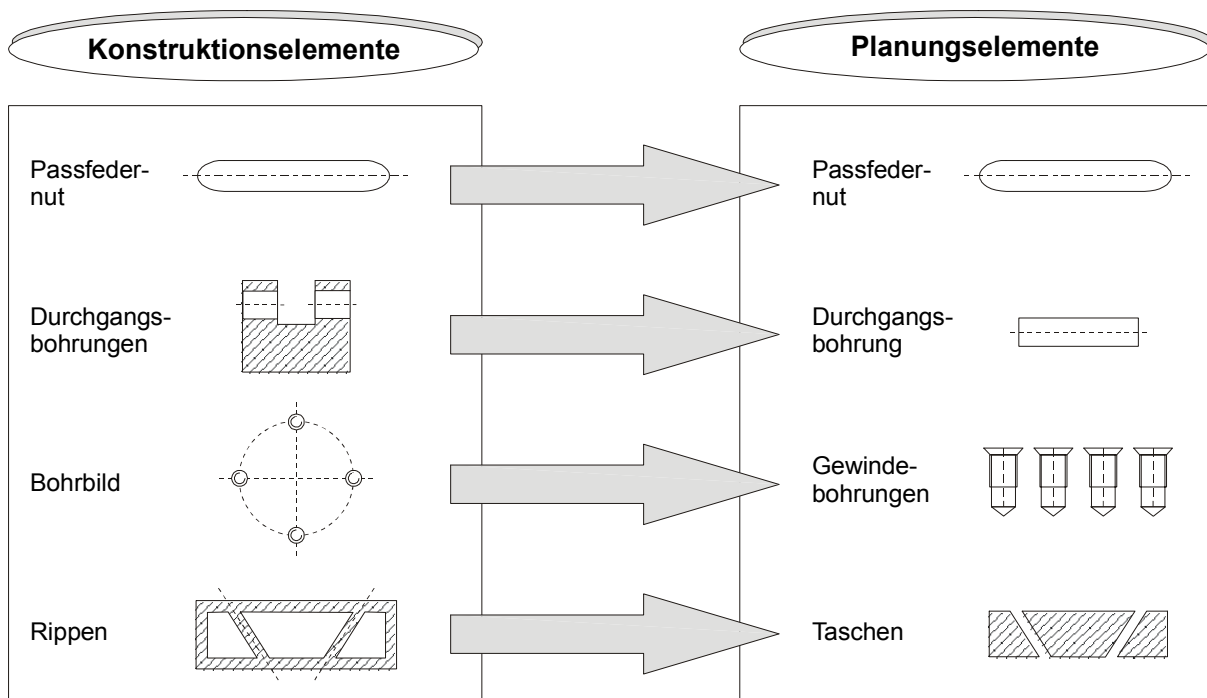
Der Durchbruch für eine Verbreitung des Modellierens mit Technischen Elementen war die Entwicklung einer Methode zum Erstellen eines Konstruktionsteils durch die Kombination Technischer Elemente. Ein wichtiger Schritt für die Praxis war die Möglichkeit, Technische Elemente interaktiv zu definieren.

Die Möglichkeit der Verbindung von geometrischen Informationen mit anwendungsspezifischem Wissen eröffnet Anwendungsbereiche außerhalb der Konstruktion. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die von Schunke entwickelte Methode zur Kombination von Konstruktionstechnischen Elementen (design features) mit Fertigungstechnischen Elementen (manufacturing features) zu nennen. (Schunke 1990).

Konstruktionstechnische Elemente werden zum konstruktiven Aufbau eines Einzelteils verwendet, indem die grobe Geometrie aus Technischen Elementen zusammengefügt wird, um dann durch kleinere Technische Elemente auf die Endgeometrie reduziert zu werden. Fertigungstechnische Elemente werden hingegen zur Abbildung eines Fertigungsschrittes verwendet. Hierzu wird ein Technisches Element in der

Form des Rohkörpers durch Subtrahieren Technischer Elemente, die den einzelnen Arbeitsvorgängen entsprechen, bis auf die Endgeometrie reduziert.

Die Entwicklung Fertigungstechnischer Elemente (auch: Planungselemente) legte den Grundstein für den Einsatz der Technischen Elemente in der Arbeitsplanung (*Hamelmann 1996, Aurich 1995*). In diesem Zusammenhang sind Entwicklungen zur automatisierten Erkennung Technischer Elemente (feature recognition) zu nennen, die den Anstoß zur Entwicklung automatisierter Arbeitsplanungssysteme auf Basis Technischer Elemente gaben (*vanHouten 1991*). Ein Beispiel für die Umformung von Konstruktionselementen in Planungselemente zeigt Abbildung 2.8. (*Baum 1997*). Während für den Konstrukteur die Geometrie der Rippen entscheidend ist, um beispielsweise die Steifigkeit eines Bauteils zu beurteilen, müssen als Planungselemente die Taschen hinterlegt werden, um den Verfahrenweg des Fräsers zu beschreiben.



**Abbildung 2.8: Umwandlung von Konstruktions- in Planungselemente [Baum]**

Das Arbeiten mit Technischen Elementen dieser Art vereinfacht die Planung in Konstruktion und Arbeitsplanung. Eine Weiterentwicklung hat in den letzten Jahren zudem den Bereich der Qualitätssicherung erschlossen, in dem Qualitätsinformationen wie Messdaten, Fehlerinformationen und Qualitätsstatus zu den Technischen Elementen hinzugefügt wurden. (*Krause 1996*)



### 2.2.2 Produktstrukturierung

Die Produkt- oder Erzeugnisstruktur ist eine Gliederung des Erzeugnisses in seine Haupt- und Untergruppen bis zu den Einzelteilen (*Wiendahl 1997a*). Sie spiegelt sämtliche Teilelemente und ihre Zuordnung untereinander wider (*Ungeheuer 1985*). In der Produktstruktur sind die Beziehungen zwischen sämtlichen Elementen des Erzeugnisses eindeutig festgelegt. Diese Definition ist allgemeingültig, da in ihr keine Festlegung bezüglich der Kriterien, nach denen eine Produktstruktur aufgebaut wird, getroffen ist.

Die erste, gedankliche Struktur des Produkts in der Konstruktion ist eine funktionsorientierte Gliederung. Die Strukturierung des Erzeugnisses erfolgt in Funktionskomplexe und -abschnitte, denen eindeutige Eigenschaften zugeordnet werden. Die Fertigung und Montage benötigt hingegen eine entsprechend andere Produktstruktur, in der Bau- bzw. Montagegruppen enthalten sind. Es gibt unterschiedlich Darstellungsmöglichkeiten wie Strukturstücklisten, Gozinthographen oder Strukturstammbäume (*Lampkemeyer 1992*).

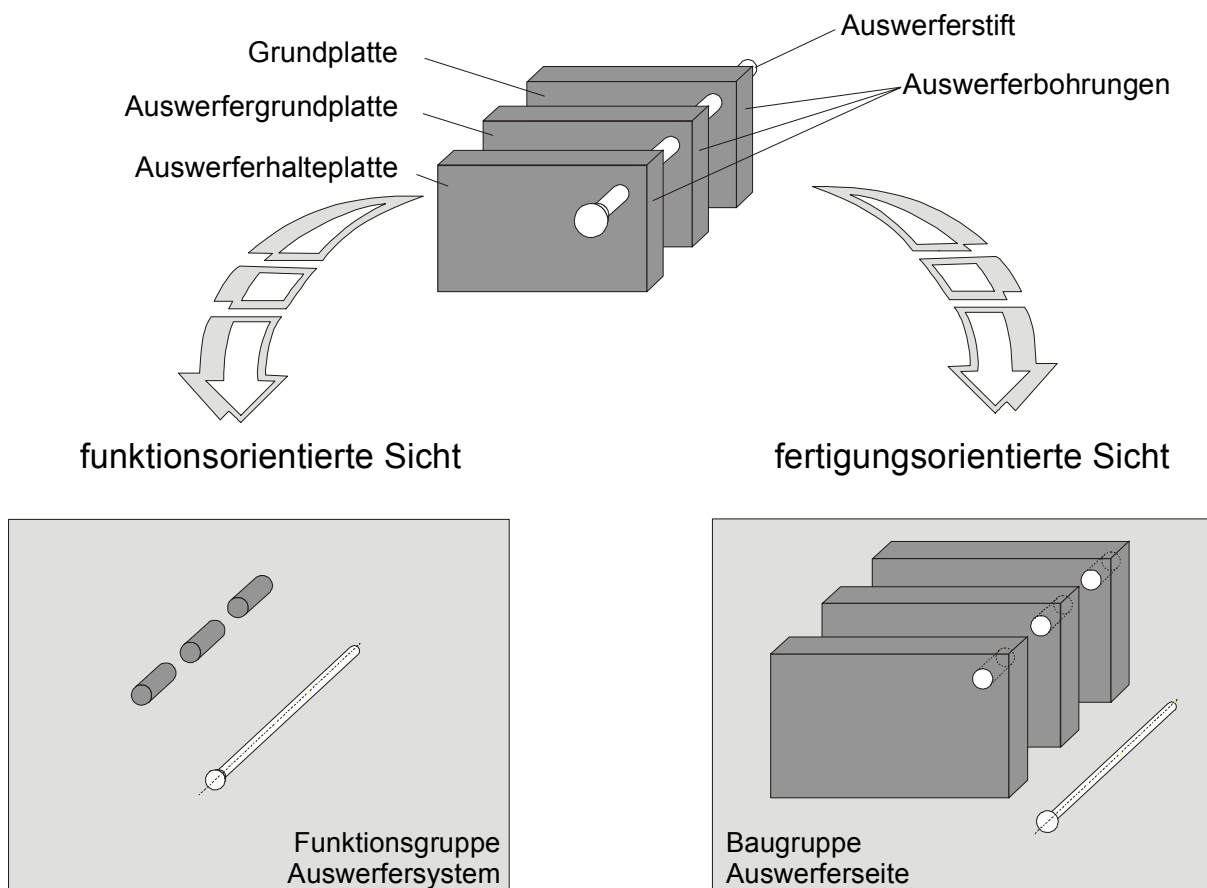
Die Entwicklung von Produktstrukturen verfolgte lange Zeit das Ziel der Variantenbeherrschung und der Vereinbarkeit von Produktions- und Vertriebsinteressen (*Rapp 1999*). Wüpping zeigt in seiner Arbeit, dass neben der Variantenbeherrschung geeignete Vormontagegruppen durch einen Produktstrukturansatz gebildet werden können. Ausgehend von der Beschreibung der Funktionsstruktur werden Hauptfunktionsgruppen gebildet, die in kleinere Bausteine zerlegt werden. Diese Bausteine werden auf ihre Vormontier- und Prüfbarkeit geprüft (*Wüpping 1993*).

Ungeheuer (*Ungeheuer 1985*) entwickelt eine montageorientierte Sicht auf das Produkt, die schrittweise aus der funktionalen Gliederung der Konstruktion abgeleitet werden kann. Grundlage seiner Arbeit ist eine funktionsorientierte Sicht des Produkts, die aus Stücklisten oder einer Funktionsanalyse erarbeitet wird. Auf diese funktionsorientierte Sicht wendet er verschiedene Verfahren zur Abgrenzung der Baugruppen und Ermittlung der optimalen Montagereihenfolge an. Das Ergebnis lässt sich dann wiederum in Form einer Produktstruktur darstellen.

Brunkhorst entwickelt die funktionale Produktstruktur für den Einsatz in der Angebotskalkulation weiter, indem er das Produkt so in Funktionsgruppen und -einheiten gliedert, dass bereits vor der Konstruktion eine hinreichend genaue Kostenprognose erfolgen kann. Diese Gliederung erfolgt analog zu einer Gliederung in Baugruppen und Einzelteile, d.h. eine Funktionsgruppe besteht ihrerseits wiederum aus einer Funktionsgruppe oder einer Funktionseinheit. Eine Funktionseinheit ist als solche definiert, wenn sie eine Funktion auf der untersten Detaillierungsstufe des Produkts ist und in anderen Funktionsgruppen verwendet werden kann. (*Brunkhorst 1995*)

In Abbildung 2.9 sind die funktions- und fertigungsorientierte Sicht auf eine Spritzgießform gegenübergestellt. Die Auswerferbohrungen werden in die Grundplatten eingebracht. Dieser Bearbeitungsschritt ist erforderlich, um die Funktion des Auswer-

fers zu ermöglichen. In der funktionsorientierten Sicht wird die Gruppe in der Bildmitte aus den Grundplatten aufgebaut, in die anschließend die Funktion Auswerfersystem eingebracht wird. Aus Sicht der Arbeitsplanung werden die Grundplatten mit den Bohrungen und der Auswerfer separat betrachtet, um die jeweiligen Arbeitsvorgangsfolgen und die Fertigungsaufwände ableiten zu können. Indirekt ermöglicht die Kenntnis der Anzahl der einzubringenden Auswerfer die Bestimmung der zu erwartenden Fertigungsaufwände und der Kosten. In den beschriebenen Produktstrukturen fehlen Daten wie Arbeitsvorgang und Maschinengruppen.



**Abbildung 2.9: Funktions- und fertigungsorientierte Sicht einer Spritzgießform [Brunkhorst]**

Der Übergang zwischen den verschiedenen Produktstrukturen, d.h. den Sichtweisen auf das Produkt, die jeweils eine bestimmte Unternehmensfunktion repräsentieren, und die Anbindung der für die Auftragsplanung notwendigen Daten erfordert einen hohen Aufwand in den Unternehmen. Um diesen Mangel zu beheben, wurden diverse Ansätze unternommen, verschiedene Sichten auf ein Produkt zu vereinen.

### 2.2.3 Produktmodelle

Die Vereinigung verschiedener Sichten auf ein Produkt führt auf ein Produktmodell, welches als Ziel hat, alle relevanten Informationen im Rahmen des Produktlebenszyklus bereitzustellen. Das Produktmodell kann in Anlehnung an Awiszus (Awiszus 1999), wie folgt definiert werden:

*Produktmodelle sind Dokumentationen sämtlicher relevanten internen und externen Vorgänge, Informationen und Ergebnisse, die für einen Auftrag von der Angebotserstellung über die Produktentwicklung und Fertigung bis zum Ablauf der Produktverantwortung anfallen.*

In der Literatur besteht weitgehend Einigkeit, dass ein Produktmodell sämtliche produktbezogenen Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus enthalten soll (Grabowski 1993). Dem Produktmodell kommen daher neben dem klassischen Einsatzbereich in der Konstruktion Aufgaben im Bereich der Datenübergabe und der Archivierung von Rückmeldedaten in der Produktion, im Vertrieb und in Instandhaltung und Recycling zu. (Anderl 1989)

In den letzten Jahren wurden eine Reihe von Konzepten und Methoden entwickelt, in denen Produktmodelle für unterschiedliche Anwendungsgebiete wie Geometrieabbildung oder Toleranzen, eingesetzt wurden. In Teilen dieser Entwicklungen sind Ansätze zur Berücksichtigung von Planungsvorgängen bereits enthalten. (Awiszus 1999)

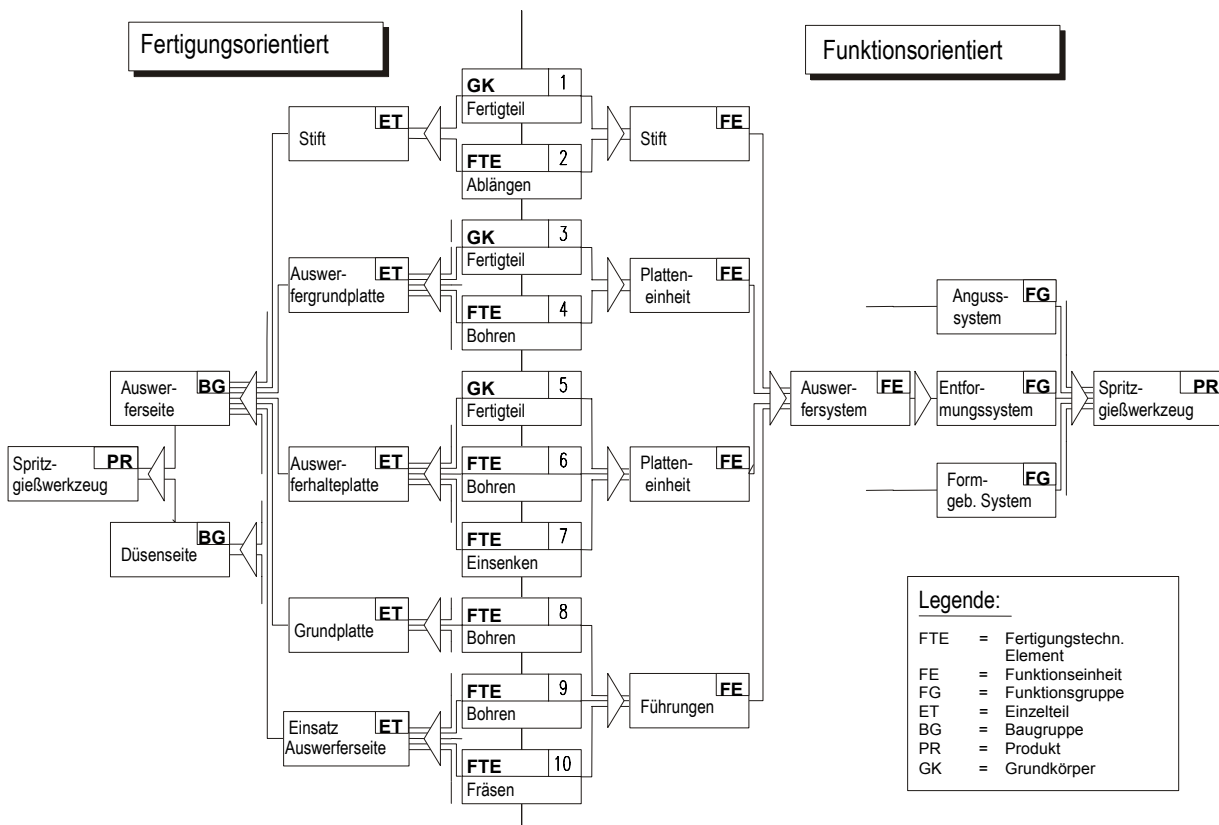
Durch die unterschiedlichen Anforderungen der Konstruktion und Arbeitsplanung an die Produktstrukturierung entsteht konventionell ein hoher Aufwand in der Umwandlung der Daten der Konstruktion in nutzbare Daten für die Arbeitsplanung. Die Entwicklung der Produktmodelle bietet daher enorme Potentiale durch die Schaffung einer gemeinsamen Basis für Datenaustausch und -speicherung über sämtliche Unternehmensbereiche hinweg.

Ungeheuer (Ungeheuer 1985) hat für seine montageorientierte Produktstruktur eine gemeinsame Basis mit der funktionalen Sicht der Konstruktion gefunden, um automatisiert Vorschläge für Vormontagegruppen aus der funktionalen Struktur ableiten zu können. Ungeheuer hat die Integration der beiden Sichten durch eine methodische Zuordnung von Einzelteilen zu Vormontagegruppen realisiert und ein strukturorientiertes Produktmodell für die Montageplanung geschaffen.

Bullinger (Bullinger 1989) entwickelte ein feature-orientiertes Produktmodell für die Integration von CAD und CAPP. Krause (Krause 1996) beschreibt ein graphisch-interaktives System FEAMOS zur Integration von konstruktions- und fertigungstechnischen Elementen mit Qualitätsfeatures mit dem Ziel der Unterstützung einer Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) oder Fehlerbaum-Analyse (FTA).

Lampkemeyer (Lampkemeyer 1992) und Brunkhorst (Brunkhorst 1995) haben eine Methode zur Integration von fertigungs- und funktionsorientierter Sicht entwickelt, die

insbesondere im Bereich der Angebotskalkulation eingesetzt werden kann. Um eine Integration von Fertigungs- und Kalkulationssicht zu erzielen, muss für die jeweils kleinsten Teile, die Funktionseinheiten und Einzelteile, eine gemeinsame Basis gefunden werden. Diese gemeinsame Basis bilden Technische Elemente, die in Form von Grundkörpern (Konstruktionstechnische Elemente) und Planungselementen (Fertigungstechnische Elemente) eingesetzt werden. (Tönshoff 1995)



**Abbildung 2.10: Integration von funktions- und fertigungsorientierter Sicht am Beispiel einer Spritzgießform [Lampkemeyer]**

Planungselemente können zu Arbeitsplanungsdaten verdichtet werden oder in Form von Funktionsgruppen kombiniert werden, so dass die Kosten der Realisierung von Funktionen unabhängig von ihrer tatsächlichen geometrischen Gestalt bestimmt werden können. Dies geschieht durch den Einsatz der von Brunkhorst entwickelten Methode der hierarchischen Ähnlichkeitssuche, die über Produktspezifikationen kostenähnliche Funktionsgruppen bestimmt und die Gesamtkosten für das Produkt ableitet. Die Kostenbestimmung erfolgt durch die Berechnung von Fertigungskosten und Materialkosten über im System hinterlegte Maschinenstundensätze und Materialkosten. Die kurzfristige Preisuntergrenze wird dann unter Zuhilfenahme von Gemeinkostenzuschlägen ermittelt. Die in Abbildung 2.10 dargestellten Funktionsgruppen Anguss-, Entformungs- und Formgebungssystem können bereits für die erste Kostenabschätzung einer Spritzgießform hinreichend sein.

Grundkörper sind nach dieser Definition Elemente, die das Ausgangsmaterial für die Bearbeitung abbilden. Dies sind Normteile, Halbzeuge oder Standardbauteile, sogenannte Normalien. Planungselemente sind alle Elemente, mit denen der Konstrukteur oder Arbeitsplaner die Grundkörper auf die geometrische Form des Fertigteils reduziert. Dies schließt sowohl Fertigungs- und Montagevorgänge, als auch Konstruktions- und Arbeitsplanungsprozesse ein.

Brunkhorst erweiterte den Begriff des Technischen Elements für sein Produktmodell um die kostenbestimmenden Aspekte. Dieser Ansatz zur Unterstützung der Angebotskalkulation ist in ein integriertes Produktmodell zur Unterstützung der Angebots- und Auftragsplanung eingebettet. Die Module des Produktmodells umfassen die Abbildung der Produktstruktur aus der Stückliste, die Verwaltung der eingesetzten Materialien, der erstellten Arbeitspläne und der zugehörigen Rückmeldedaten sowie die funktionale Gliederung des Produkts. Die Modellierung erfolgte unter Einsatz von Elementen der Norm ISO 10303 (STEP).

In den beschriebenen Produktmodellen sind wesentliche Bereiche des betrieblichen Ablaufs repräsentiert. Allen Produktmodellen gemeinsam ist das Fehlen logistischer Kenngrößen, die eine Termin- und Kapazitätsplanung auf Basis der verfügbaren Produktdaten ermöglichen könnten. Um die logistischen Informationen der Auftragsabwicklung einzubeziehen, müssen bestehende Ansätze zur Produktmodellierung um eine logistische Komponente erweitert werden.

#### **2.2.4 Anforderungen an die Weiterentwicklung der Produktmodelle**

Für die Planung von Aufträgen ist ein einheitliches Modell zur Verarbeitung und Speicherung von Produktdaten in allen Phasen des Produktlebenszyklus bis zur Fertigstellung und für jede relevante Unternehmensfunktion notwendig. Die Produktstrukturierung in dem Produktmodell sollte auf die Anforderungen der kundenauftragsbezogenen Einzelfertigung, insbesondere den Werkzeug- und Formenbau, ausgerichtet sein.

Das Produktmodell soll dabei, wie schon von Abeln (*Abeln 1990*) gefordert, die Struktur eines Produkts repräsentieren und zwar mit gestalts-, funktions- und technologiebeschreibenden sowie administrativen Daten.

Ein Produktmodell sollte demnach folgende Daten enthalten:

- Geometriedaten zur Festlegung der Gestalt und der Abmessungen,
- Technologiedaten zur produktionstechnischen Beschreibung und
- Organisationsdaten zur Identifikation und nicht-graphischen Beschreibung (*Brunkhorst 1995*).

Das von Brunkhorst und Lampkemeyer entwickelte Produktmodell zur Abbildung der Angebotskalkulation bietet erste Ansätze zur Erweiterung des Produktmodellbegriffs und zur Integration kalkulatorischer Attribute. Im Rahmen dieser Arbeit soll dieses

Produktmodell erweitert werden, um neben den fertigungstechnischen und betriebswirtschaftlichen logistische Größen abbilden zu können.

### **2.3 Schlussfolgerungen für einen methodischen Ansatz zur Auftragsplanung**

Die Analyse der Verfahren zur Planung und Integration der Steuerung ebenso wie die Analyse der Methoden zur Produktstrukturierung haben verschiedene Ansätze ergeben, die gemeinsam die Grundlage für die Entwicklung einer Methode zur Planung der Aufträge im Werkzeug- und Formenbau bilden können. Aufgrund der Charakteristika der Branche, wie geringe Informationen bei Auftragseingang und hoher Anteil planender Tätigkeiten an der Auftragsdurchlaufzeit, sind einige Verfahren nur eingeschränkt oder nicht einsetzbar. Einerseits werden detaillierte Informationen über Erzeugnisgliederung und Arbeitsvorgangfolgen benötigt, die nicht vorhanden sind. Andererseits erfordern sie einen hohen Aufwand für eine frühzeitige Projektstrukturierung. Daher sollen Ansätze, die bei den gegebenen Randbedingungen die Basis der neuen Methode bilden können, herausgegriffen werden.

Die Arbeit von Schaele (*Schaele 1991*) zeigt, dass eine Vorhersage der Belastung der Ressourcen über einen längeren Zeitraum mit Hilfe der Definition eines Produktionsprogramms und der Ermittlung von Standardaufträgen mit charakteristischen Aufwandsverteilungen in der Unikatfertigung durchgeführt werden kann. Er liefert keine Lösung, um diese grobe Prognose der Aufwandsverteilung auf einzelne Aufträge oder auf die Durchlaufterminierung anzuwenden.

Schneewind (*Schneewind 1994*) schlägt eine hierarchische Struktur der Planung und Steuerung vor, um bereits frühzeitig grobe Pläne für die Reservierung der Kapazitäten nutzen zu können und diese dann nach Abschluss der Feinplanung zu aktualisieren. Offen bleibt die Frage, in welcher Form eine geeignete Grobplanung durchgeführt werden kann.

Lampkemeyer (*Lampkemeyer 1992*) hat eine Methode entwickelt, die nach Eingabe der Produktspezifikation und unter Einsatz von Konstruktionsregeln und einer funktionsorientierten Erzeugnisgliederung die Ermittlung der Kosten von Werkzeugen erlaubt. Voraussetzung ist eine hinreichende Ähnlichkeit der zu kalkulierenden Werkzeuge mit den in der Datenbasis verfügbaren Werkzeugen. Brunkhorst (*Brunkhorst 1995*) erweitert die Methode um die Integration von funktions- und fertigungsorientierter Sicht. Auf diese Weise ist es möglich, fertigungsorientierte Rückmeldedaten direkt in die funktionsorientierte Sicht zu überführen. Das von beiden entwickelte Produktmodell zur Unterstützung der Angebotskalkulation und Arbeitsplanung unterstützt die technische Seite der Planung der Angebote und Aufträge. Ergebnis ist in beiden Bereichen die Abschätzung des zu erwartenden Aufwandes. Sind die Aufwände und ihre Zuordnung zu Kostenstellen bekannt, können die Kosten ermittelt werden.

Die funktions- und die fertigungsorientierte Sicht auf das Produktmodell liefern keine Antwort auf die Frage nach den für die verschiedenen Bearbeitungsschritte benötigten Durchlaufzeiten. Da das Ergebnis der Angebotsplanung eine funktionsorientierte Struktur des Werkzeugs ist, ist kein Rückschluss auf die physikalische Struktur des Werkzeugs möglich. Dies bedeutet, dass weder die Erzeugnisstruktur noch die Anzahl der Einzelteile als Ergebnis der Angebotskalkulation vorliegen, sondern lediglich die Funktionsstruktur und die Bearbeitungsaufwände der Funktionsgruppen. Eine Durchlaufterminierung ist ohne die Bauteilstruktur des Werkzeugs nicht durchführbar. Eine Übersicht über die in den verschiedenen Sichten auf das Produkt enthaltenen Informationen findet sich in Abbildung 2.11.

<b>Sichten auf das Produktmodell</b>	<b>...werden eingesetzt im Bereich...</b>	<b>...enthalten Informationen über...</b>
<b>funktionsorientiert</b>	Angebotskalkulation Konstruktion	Funktionen Abmessungen Kosten des Bauteils
<b>fertigungsorientiert</b>	Arbeitsplanung NC-Programmierung	Werkstoffe Herstellungsaufwände Montagestruktur
<b>durchlauforientiert</b>	Terminplanung Auftragsüberwachung	Durchlaufzeiten Meilensteine Vernetzung der Auftragsabwicklung

**Abbildung 2.11: Einsatz verschiedener Sichten auf das Produkt im Werkzeugbau**

Die bereits von Lampkemeyer und Brunkhorst geforderte Integration von Kosten- und Fertigungssicht bietet vielversprechende Perspektiven für die Durchlaufplanung. Zunächst muss eine Struktur entwickelt werden, in der die logistischen Kennwerte abgelegt sind und die die Elemente für die Durchlaufterminierung in der Grobplanung enthält. Die Integration dieser Struktur mit der Fertigungssicht eröffnet die Möglichkeit, Ergebnisse der Grobplanung in Bezug auf Termin und Belastung der Ressourcen in die Feinplanung zu überführen und ebenso die Ist-Daten aus der Auftragsabwicklung in die Auftragsverfolgung und die Planung zurückzuführen.

Die zu entwickelnde logistische Struktur kann durch die Integration mit der Erzeugnisgliederung in eine Sicht auf das Produkt überführt werden, so dass ein umfassendes Produktmodell, in dem sämtliche konstruktiven, fertigungstechnischen, betriebs-

wirtschaftlichen und logistischen Informationen des Produkts enthalten sind, definiert werden kann.

Die von Schaele nachgewiesene Strukturähnlichkeit der Aufträge im Werkzeugbau in Bezug auf ihre Bearbeitungszeitverteilung eröffnet einen Weg, um jenseits der Standardnetze eine Struktur der Werkzeuge zu entwickeln, die durch Parametrisierung die unterschiedlichen Auftragstrukturen im Werkzeug- und Formenbau abbildet. Die Erkenntnis, dass Übergangszeiten in der Werkstattfertigung von der Auftragszeitverteilung, nicht jedoch von der Bearbeitungszeit eines einzelnen Auftrags abhängen, bildet die Basis für die Durchlaufterminierung und die Ableitung der Belastung der Ressourcen.



### 3 Produktmodell für die Auftragsabwicklung

Produktmodelle enthalten bisher geometrische, technologische und organisatorische Informationen. Ihr Anwendungsgebiet erstreckt sich vor allem auf die Produktentwicklung. Produktmodelle unterstützen die technischen Funktionen in Konstruktion und Arbeitsvorbereitung. Nicht berücksichtigt ist in Produktmodellen der logistische Aspekt, d.h. die Abläufe während der gesamten Produktherstellung vom Auftragseingang bis zur Auslieferung des Werkzeugs an den Kunden. Eine produktmodellbasierte Unterstützung der Auftragserfüllung im Werkzeug- und Formenbau erfordert daher eine Erweiterung des Produktmodellbegriffs um logistische Aspekte.

#### 3.1 Konzeption des Produktmodells

Im Werkzeug- und Formenbau besteht die Aufgabe darin, mit wenigen Informationen bereits in der Grobplanung vor Konstruktion und Arbeitsplanung eine hinreichend genaue Aussage zum terminlichen Ablauf des Auftrags zu treffen. Nach Abschluss der Konstruktion erfolgt eine Aktualisierung der Termine und Belastungen durch eine sukzessive Integration von Arbeitsplanung und Durchlaufterminierung.

Die Ableitung der für die Auftragsabwicklung im Werkzeug- und Formenbau notwendigen Prozesse ist aufgrund der hohen Änderungsrate und des geringen Detaillierungsgrades mit Hilfe eines integrierten Produkt- und Prozessmodells im Verhältnis zum Aufwand zu ungenau und zu kurzlebig. Es sollen daher geeignete logistische Kennzahlen für eine Auftragsplanung und -verfolgung identifiziert und in einem Produktmodell abgebildet werden. Ziel ist, die Grobplanung nach der Auftragsannahme und die Feinplanung nach der Konstruktion auf einer gemeinsamen Basis durchzuführen.

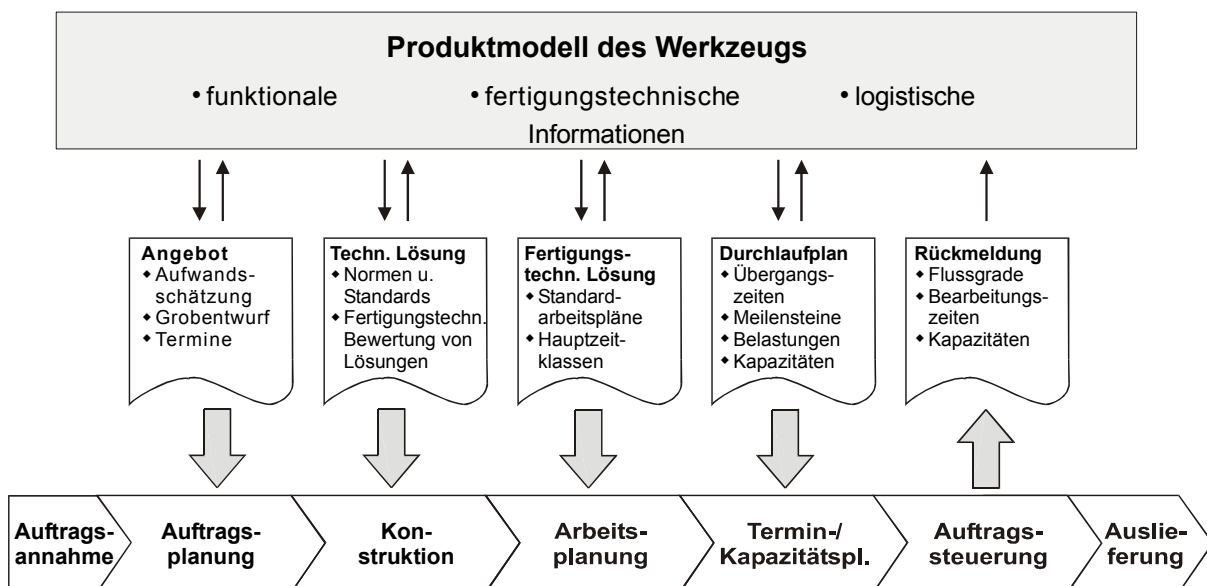
Die Konzeption des erweiterten Produktmodells baut auf den im vorigen Kapitel beschriebenen Ansätzen zur Integration von Planungsdaten in Produktmodelle auf. Es soll ein Weg aufgezeigt werden, um logistische Kennwerte in ein Produktmodell zu integrieren, so dass eine Grobterminierung und Kapazitätsreservierung ohne Detailkenntnisse über das zu fertigende Produkt durchgeführt werden kann.

Die Vorgehensweise ist:

1. Untersuchung der Eingangsdaten der Auftragsabwicklung unter dem Aspekt der Datenrückführung und der Möglichkeit zur Bereitstellung direkt nach Auftragseingang.
2. Aufbau des Produktmodells für die Terminierung und Integration der benötigten Logistik- und Produktstrukturdaten in das Produktmodell.
3. Festlegung der Elemente des Produktmodells für die Grobterminierung und ihre Einbindung in das Produktmodell.

### 3.1.1 Informationsfluss der Auftragsabwicklung

Die Erstellung des Projektplans erfolgt, wie in Kapitel 1 beschrieben, in der Auftragsplanung auf Basis des Angebots. In Abbildung 3.1 ist der Ablauf der Auftragserfüllung für die Herstellung eines Werkzeugs in Verbindung mit den für die Auftragserfüllung benötigten und erzeugten Daten dargestellt. Der prinzipielle Ablauf entspricht dem in Bild 1.10 dargestellten Ablauf der Auftragserfüllung. Dieser Ablauf ist entgegen der vereinfachten sequentiellen Darstellung im Diagramm mit einem hohen Anteil paralleler Bearbeitung versehen. Für die Darstellung der durch das Produktmodell verwalteten Daten und deren Zuordnung zu den Tätigkeiten der Auftragserfüllung kann zu Gunsten der Übersichtlichkeit auf eine detaillierte Darstellung verzichtet werden.



**Abbildung 3.1: Informationen der Auftragsabwicklung**

Die in der Angebotskalkulation ermittelten Aufwände für die Herstellung des Produkts und die mit dem Kunden abgestimmten Termine werden als Eingangsdaten für die Ermittlung des Projektplans herangezogen. Nachdem die Daten der Angebotskalkulation mit den im Auftrag enthaltenen detaillierten Informationen abgeglichen wurden, kann die Terminierung angestoßen werden.

Der Grobentwurf aus der Angebotsphase wird mit der Konstruktion auf seine Gültigkeit hin überprüft. Aufgrund der Häufigkeit von Änderungen zwischen Angebotsabgabe und Auftragserteilung wird der Grobentwurf nochmals mit bestehenden Lösungsvarianten aus dem Unternehmen abgeglichen. Die notwendigen Veränderungen des ersten Grobentwurfs fließen in die Aufwandsabschätzung für die Konstruktion des Werkzeugs ein. Daraus wird das Budget, das der Konstruktion für die zu bewältigende Aufgabe zur Verfügung steht, unter dem Aspekt der zu erwartenden Auf-

wände und wirtschaftlich vertretbaren Kosten festgelegt. Die ermittelten Planaufwände sind Teile des Projektplans.

Gemeinsam mit Angebotskalkulation und Arbeitsplanung überprüft die Auftragsplanung die in der Kalkulation ermittelten Aufwände. Die Schwierigkeit dieser Aufgabe lässt sich einfach verdeutlichen: Weder die Anzahl der Einzelteile des Werkzeugs noch die Art und Weise ihrer Herstellung ist bekannt. Die Planer verlassen sich daher in der Regel auf die in der Angebotskalkulation festgelegten Werte. Das Produktmodell muss daher so gestaltet werden, dass eine hinreichend genaue Spezifikation der Produktstruktur aus den zum Zeitpunkt des Auftragseingangs bekannten Informationen mit Hilfe weniger Parameter automatisch erfolgen kann.

Auf Basis der Aufwandsermittlung erfolgt eine Durchlaufterminierung. Die Parameter dieser Durchlaufterminierung entstammen Rückmeldungen und sind durch Erfahrungswerte ergänzt, falls Rückmeldungen ähnlicher Aufträge nicht in ausreichender Detaillierung oder Qualität verfügbar sind. Parameter sind im Werkzeug- und Formenbau Übergangszeiten von Maschinengruppen oder Arbeitssystemen, Überlappungsgrade von Arbeitsschritten und verfügbare Kapazitäten.

In einem mehrstufigen Erzeugnis wie einem Werkzeug sind für die Bestimmung der Gesamtdurchlaufzeit des Auftrags die Ermittlung der Durchlaufzeit für jedes Einzelteil des Werkzeugs und der mögliche Grad der Parallelbearbeitung verschiedener Einzelteile oder Arbeitsschritte von Bedeutung. Die oben erwähnten Überlappungsgrade beschreiben die Möglichkeit zur parallelen Bearbeitung eines Auftrags. Sie enthalten die Information, ab welchem Zeitpunkt ein nachfolgender Arbeitsschritt begonnen werden kann. So kann die Montage beginnen, wenn die ersten Grundplatten und Schieber in der Montage zur Verfügung stehen. Das Erodieren eines Formteils kann beginnen, wenn die zugehörige Elektrode bearbeitet wurde.

Neben den Parametern der Durchlaufterminierung sind die für die Auftragsverfolgung entscheidenden Meilensteine und die zu terminierenden Elemente festzulegen. In dem der Planungsmethode zugrundeliegenden Produktmodell sind die Erfahrungen der Terminplaner und Projektleiter, ergänzt um Rückmeldedaten, in Form einer logistischen Erzeugnisstruktur abgebildet. Die grundlegende Struktur ist ein allgemeingültiger Bestandteil der beschriebenen Methode. Die Zeitpunkte der Meilensteine werden unternehmensspezifisch definiert.

### **3.1.2 Anforderungen an die Modellierung der Datenstruktur**

Der Ablauf der Auftragserfüllung und die Erzeugnisstruktur des Werkzeugs legen im Werkzeug- und Formenbau die Auswahl der benötigten logistischen Informationen fest. Ein geeignetes Produktmodell bildet das Werkzeug mit seiner Erzeugnisstruktur so ab, dass die Verwaltung von funktionalen, fertigungstechnischen und logistischen Informationen möglich ist. Während funktions- und fertigungstechnische Aspekte in Produktmodellen umfassend repräsentiert sind, fehlt derzeit eine entsprechende logi-

stische Teilstruktur. Die Entwicklung dieser Teilstruktur ist Inhalt der nächsten Abschnitte.

Die logistische Teilstruktur als Bestandteil des Produktmodells soll folgende Eigenschaften besitzen:

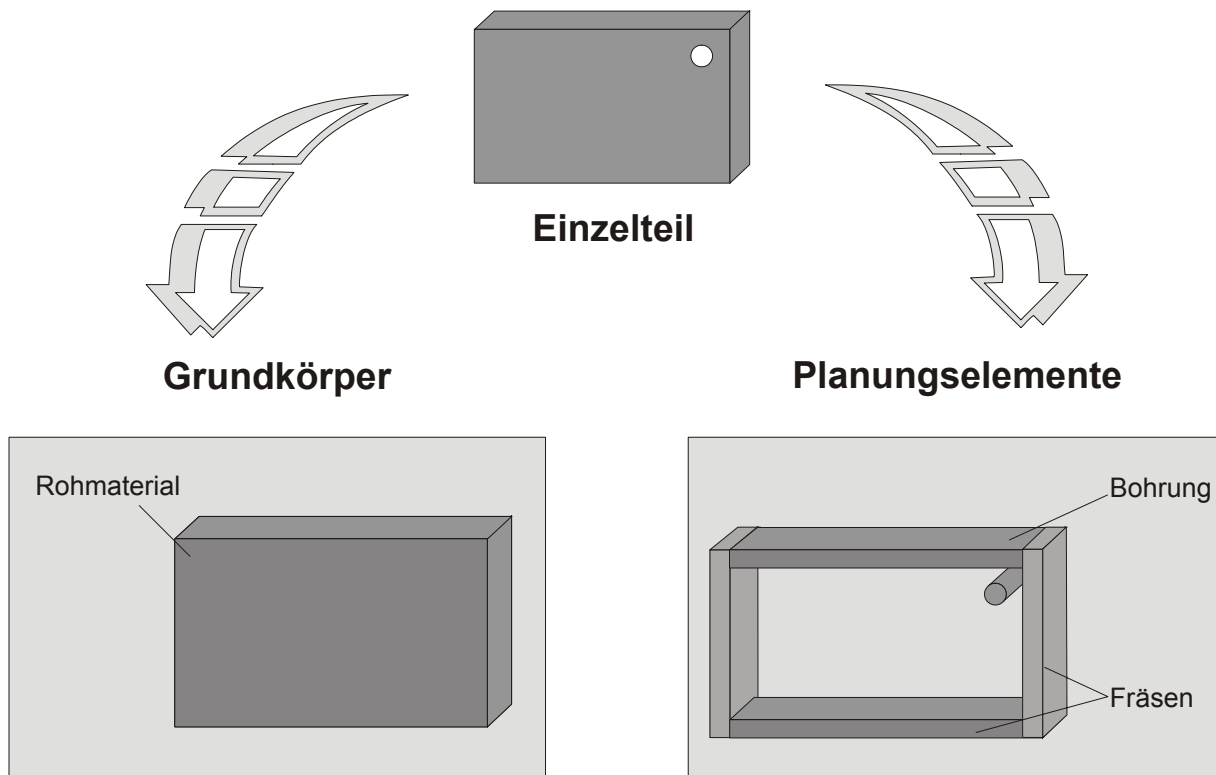
1. Die Struktur erlaubt eine integrierte Darstellung der Produktinformationen und der produktbezogenen Prozessdaten.
2. Die Struktur kann für jedes Produkt ohne vorherige Festlegung der Einzelteile eines Produkts, d.h. ohne konstruktive Lösung der Entwicklungsaufgabe, anhand definierter Merkmale aufgebaut werden.
3. Die Grobplanung bei Auftragseingang und die Feinplanung nach der Arbeitsplanung werden in einem gemeinsamen Datenmodell verwaltet, um in einer hierarchischen Planung kombinierbar zu sein.
4. Die Struktur ist allgemeingültig anwendbar, so dass unterschiedliche Werkzeuge und Formen verwaltet werden können.
5. Die Struktur erlaubt eine direkte Rückführung und Wiederverwendung von Informationen aus Konstruktion und Fertigung, so dass die der Methode zugrundeliegenden Daten automatisch gewonnen werden können.

Die Erweiterung der Produktstruktur um die Informationen der Produktion und der Logistik wird in drei Stufen erläutert: Im ersten Schritt die Erweiterung der klassischen Produktstruktur für den Einsatz in der Arbeitsplanung, im zweiten Schritt den Übergang zur Einbeziehung der Durchlaufterminierung und zum Abschluss die Integration der Grobplanung.

### **3.2 Elemente des Produktmodells**

Die klassische Produktstruktur wird bereits in der Konstruktion festgelegt. Der Konstrukteur baut das Produkt, z.B. eine Spritzgießform, nach funktionalen Gesichtspunkten auf. Aus dieser Produktstruktur, die aus Funktionsgruppen und -einheiten aufgebaut ist, kann eine fertigungs- und montageorientierte Produktstruktur abgeleitet werden, aus der die zeitliche Abfolge der Herstellung der Einzelteile und ihre Montage hervorgehen.

Diese Produktstruktur bildet die Grundlage für Arbeitsplanung und den Einkauf. Die Erweiterung der Produktstruktur erfolgt durch die Zuordnung von Planungselementen und Grundkörpern. In Abbildung 3.2 ist die Zusammensetzung eines Einzelteils durch Grundkörper und Planungselemente dargestellt.



**Abbildung 3.2: Planungselemente und Grundkörper als Elemente eines Einzelteils**

**Grundkörper (GK)** sind die Rohmaterialien aus der Stückliste. Bezogen auf die Elemente, aus denen der Konstrukteur das Produkt aufbaut, sind sie um die im Fertigungsprozess abzutragenden Elemente erweitert. Ein Grundkörper ist daher eine Kombination fertigungstechnischer und konstruktionstechnischer Elemente.

**Planungselemente (PE)** sind die Repräsentation jener Materialmengen, die vom Grundkörper zur Erzeugung des im Produkt verwendeten Teils subtrahiert werden. Sie können durch die Verfahren des „feature mapping“ oder der „feature recognition“ automatisch aus feature-orientierten CAD-Systemen extrahiert oder in der Arbeitsplanung manuell definiert werden. Planungselemente können entweder Operationen, Teilarbeitsgängen oder Arbeitsgängen entsprechen. Eine Operation umfasst sämtliche mit einem Werkzeug durchgeführten Bearbeitungsschritte, ein Teilarbeitsgang sämtliche in einer Einspannlage abgearbeiteten Operationen und ein Arbeitsgang alle an einer Maschine oder einem Montageplatz durchgeführten Teilarbeitsgänge. In den meisten Bereichen des Werkzeug- und Formenbaus reicht eine Spezifikation auf Ebene der Arbeitsgänge aus, da die Bearbeitung durch erfahrene Facharbeiter erfolgt.

Die Arbeitsplanung verwendet Planungselemente, die so definiert sind, dass sie einem Fertigungsverfahren und einer Maschinengruppe zugeordnet sind. Fertigungstechnische Elemente, die im Planungselement „Fräsen XY“ zusammengefasst sind,

können durch das Fertigungsverfahren „Fräsen“ auf der Maschinengruppe „Fräsen, groß“ erzeugt werden.

Grundkörper sind stets der Ausgangspunkt eines Einzelteils einer fertigungsorientierten Produktstruktur, da sie das zu bearbeitende Material repräsentieren. Grundkörper sind entweder Halbzeuge für die Bearbeitung oder Zukaufteile.

In der Regel sind Grundkörper und Planungselemente nicht Bestandteil einer Baugruppe. Eine Ausnahme findet sich beim Einsatz einer unvollständigen Planung, bei der verschiedene Bereiche des Produkts keine Einzelteile enthalten. Alternativ erfolgt eine Sammlung von Einzelteilen in Form der verwendeten Materialien und Bearbeitungsschritte ohne eindeutigen Bezug unter dem Begriff Baugruppen.

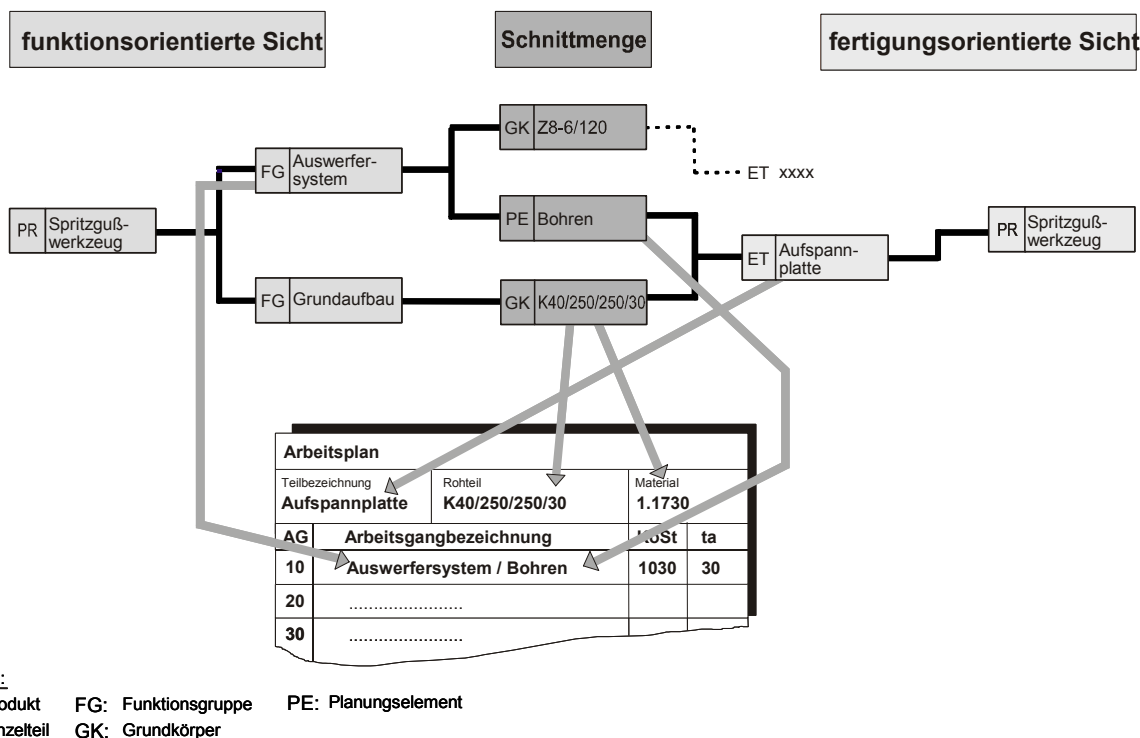
Die direkte Verbindung von Grundkörper und Einzelteil findet sich in anderen Sichten auf das Produkt nicht in dieser Form. In der funktionsorientierten Teilstruktur sind Grundkörper entweder als Zukaufteile oder als Rohmaterialien in einer Funktionseinheit integriert. Da eine Funktion nicht zwangsläufig einzelteilgebunden ist, können Funktionseinheiten im Gegensatz zum Einzelteil ausschließlich aus Planungselementen bestehen und keinen Grundkörper besitzen. Eine Entlüftungsbohrung in einer Spritzgießform ist eine Funktionseinheit, zu der kein Grundkörper gehört.

Die Entlüftungsbohrung beinhaltet mindestens ein Planungselement. Zu den Planungselementen gehören neben den Arbeitsvorgängen in Fertigung und Montage auch Konstruktion und Arbeitsplanung sowie Materialbeschaffung. In Abhängigkeit von ihrer Ausprägung sind Planungselemente verschiedenen Ebenen der funktions- und fertigungsorientierten Produktstruktur zugehörig. Montagearbeitsgänge sind den Vormontage- und Montagegruppen zugeordnet, während Konstruktions- und Arbeitsplanungsarbeitsgänge im Werkzeug- und Formenbau überwiegend auf Produktebene verwaltet werden.

### **3.3 Abbildung der Arbeits- und Terminplanung**

Die Abbildung der Arbeitspläne erfolgt über eine Kombination aus Grundkörpern und Planungselementen, die über ihre Anbindung an ein Einzelteil oder, bei Montagearbeitsplänen, über eine Baugruppe zueinander in Relation gesetzt werden. Die Informationen über die Bearbeitungsdauer und mögliche Maschinengruppen oder Arbeitssysteme sowie Angaben zu Schnittwerten o.ä. sind integraler Bestandteil der Planungselemente. Werkstoff- und Geometrieangaben sowie Informationen zu Stückzahl oder Liefertermin finden sich hingegen in der Definition der Grundkörper.

Das Produktmodell bietet die Möglichkeit, Arbeitsplanungsdaten zu speichern und beispielsweise im Rahmen einer Ähnlichplanung wiederzuverwenden. Die Verdichtung der konstruktions- und fertigungstechnischen Elemente zu Planungselementen bietet zudem die Möglichkeit, einen Vorschlag für die Arbeitspläne zu erstellen. Abbildung 3.3 zeigt die Ableitung von Arbeitsplänen aus der funktions- und fertigungsorientierten Sicht aus das Produktmodell.



**Abbildung 3.3: Arbeitsplanungsdaten im Produktmodell [Brunkhorst]**

Die Abbildung der Arbeitsplanungsdaten verfügt über einen großen Anwendungsbereich in der Verbindung von funktions- und fertigungsorientierter Sicht. Brunkhorst zeigt, dass mit Hilfe der Integration von funktions- und fertigungsorientierten Sicht auf das Produktmodell Arbeitsplanungsdaten so aufbereitet werden können, dass eine arbeitsgangbezogene Rückmeldung automatisch zu einer umfangreichen Kalkulationsdatenbasis führt. Entwicklungen von Tönshoff und Bisping eröffnen einen neuen Weg, mit Hilfe von Strukturkennzahlen auf Basis einer detaillierten Angebotskalkulation grobe Arbeitspläne automatisch abzuleiten (Tönshoff 2000c).

Unabhängig von der Art der Erzeugung sind Arbeitsplanungsdaten die Grundlage für die Terminierung. Die Daten der Arbeitsplanung, die in Form von Planungselementen und Grundkörpern im Produktmodell hinterlegt sind, und ihre Zuordnung zu Einzelteilen, bilden die Grundlage für die Ermittlung von Durchlaufelementen.

Das Durchlaufelement setzt sich nach Wiendahl aus zwei Bestandteilen zusammen, der Übergangszeit und der Durchführungszeit (Abbildung 3.4). Es gilt:

$$ZDL = ZDF + ZUE \quad (\text{Gleichung 1})$$

ZDL = Durchlaufzeit  
 ZDF = Durchführungszeit  
 ZUE = Übergangszeit

Die Durchführungszeit entspricht der Auftragszeit multipliziert mit dem Zeitgrad und bezogen auf die Tageskapazität. Die Auftragszeit ist die Summe aus Rüstzeit und Bearbeitungszeit. Im Werkzeugbau werden Rüst- und Bearbeitungszeit häufig zusammgezogen und als Maschinenbelegungszeit bezeichnet.

Für die Durchführungszeit gilt:

$$ZDF = \frac{ZAU}{L_{\max}} \quad (\text{Gleichung 2})$$

ZDF = Durchführungszeit  
 ZAU = Auftragszeit  
 $L_{\max}$  = maximal mögliche Leistung des Arbeitssystems

Die Auftragszeit berechnet sich nach:

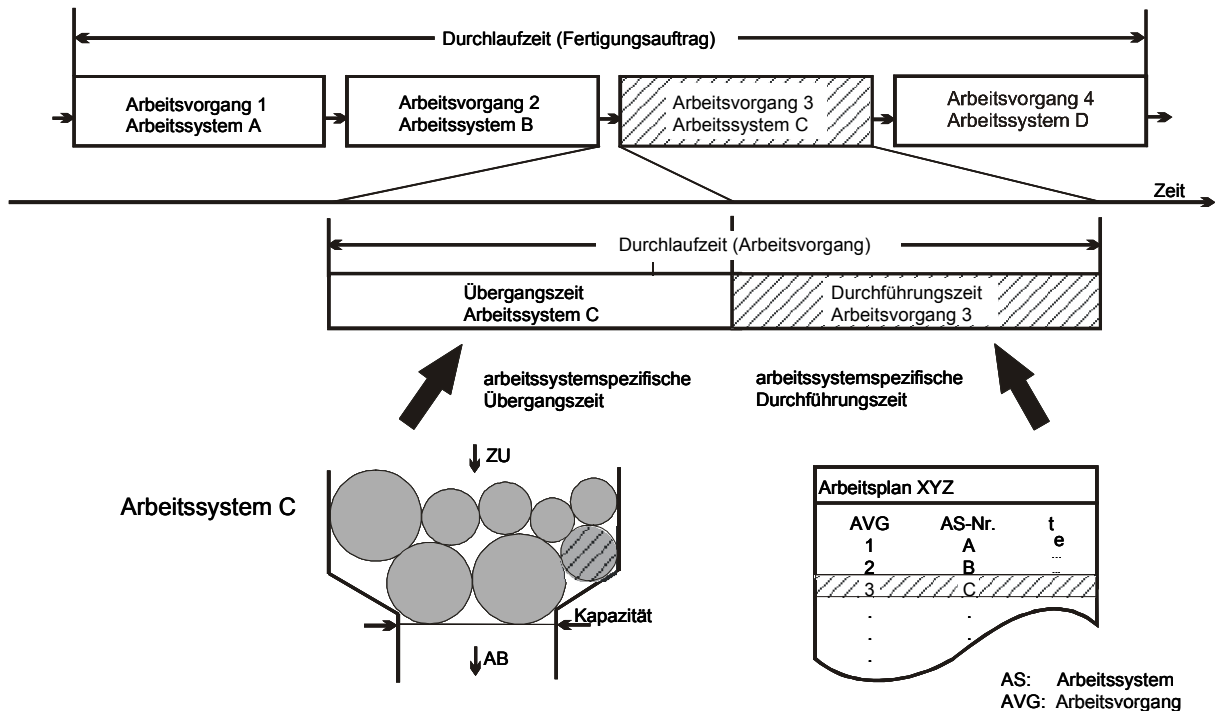
$$ZAU = ZR + ZBA \quad (\text{Gleichung 3})$$

ZAU = Auftragszeit  
 ZR = Rüstzeit  
 ZBA = Bearbeitungszeit je Auftrag

Die Auftragszeit ist die Zeit, in der die Maschine belegt ist. Bei konventionellen Rüstvorgängen entspricht sie der Summe aus Rüst- und Bearbeitungszeit, bei hauptzeitparallelem Rüsten annähernd der Bearbeitungszeit. Rüst- und Bearbeitungszeiten können dem Arbeitsplan entnommen werden und sind arbeitssystem- und einzelteil-spezifisch.

Das zweite Element der Durchlaufzeit, die Übergangszeit, setzt sich aus den Liegezeitanteilen vor und nach der Bearbeitung und der Transportzeit zusammen. Im Werkzeug- und Formenbau kann die Transportzeit aufgrund ihres im Verhältnis zu Auftrags- und Liegezeiten geringen Anteils vernachlässigt werden. Die verbleibenden Komponenten, die Liegezeiten, sind abhängig von Mittelwert und Streuung der Auftragszeiten an dem betreffenden Arbeitssystem.





**Abbildung 3.4: Zusammensetzung der Durchlaufzeiten für Arbeitsvorgang und Fertigungsauftrag [nach Wiendahl]**

Während die Durchführungszeiten aus den Arbeitsplänen abgeleitet werden, kann die Bestimmung der Übergangszeiten arbeitssystemspezifisch anhand von Vergangenheitsdaten erfolgen. Für den Werkzeug- und Formenbau bieten sich zwei Varianten zur Bestimmung der Übergangszeiten an: Im einfachsten Fall können die Übergangszeiten arbeitssystemspezifisch direkt aus den Vergangenheitsdaten bestimmt werden.

Die von Ludwig entwickelte Methode der flussgradorientierten Terminierung bietet für die Bestimmung arbeitssystemspezifischer Übergangszeiten erhebliche Vorteile. Bei Einsatz eines geeigneten Steuerungsverfahrens, welches den Flussgrad als Stellgröße beinhaltet, können die Übergangszeiten und die Durchlaufzeiten auf einem geeigneten Niveau eingestellt werden. Der Flussgrad ist definiert als:

$$FG = \frac{ZDL}{ZDF} \quad (\text{Gleichung 4})$$

- FG = Flussgrad
- ZDL = Durchlaufzeit
- n = Durchführungszeit

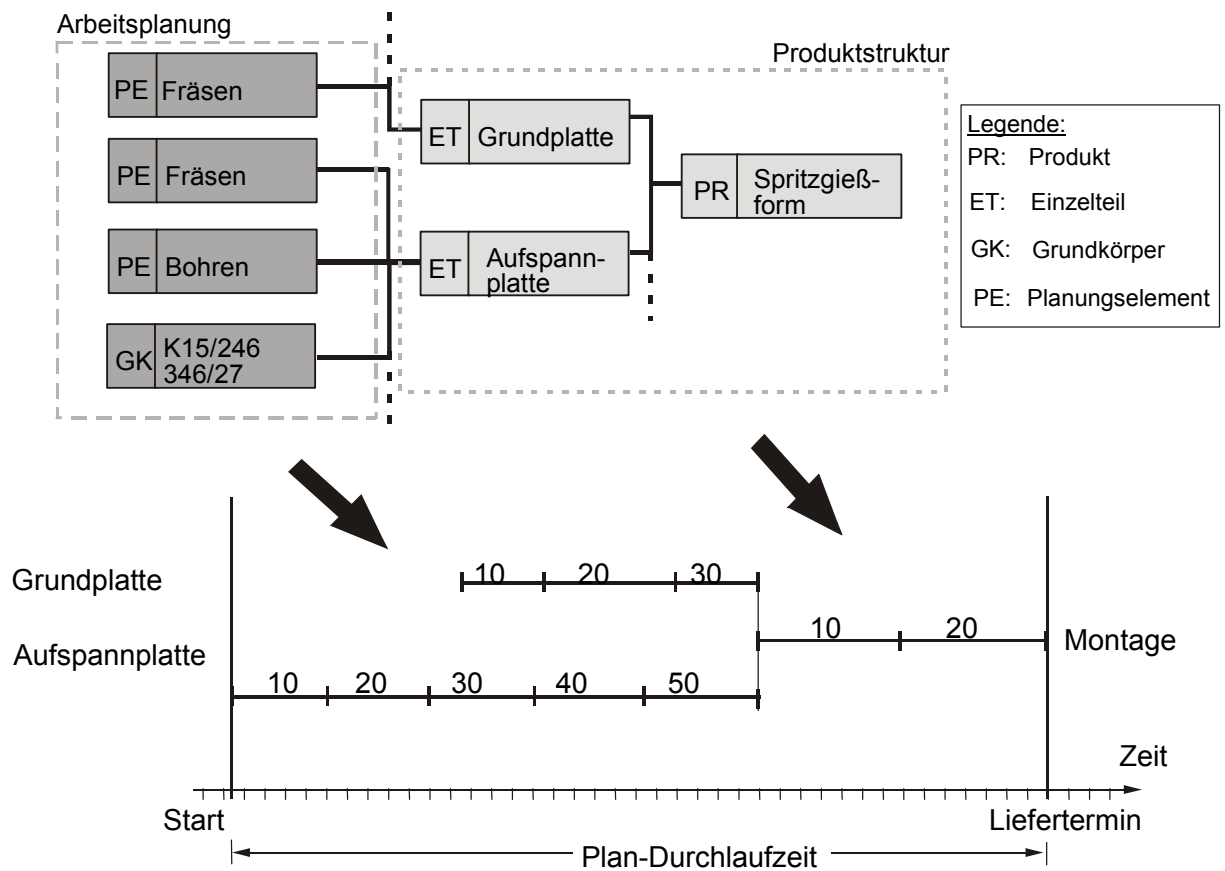
Eine eingehende Beschreibung zum Einsatz des Flussgrades als Stellgröße der Fertigungssteuerung findet sich bei Ludwig (Ludwig 1995) und Wiendahl (Wiendahl 1997b).

Nach Ludwig ist die Übergangszeit an einem Arbeitssystem aus dem Flussgrad und der gewichteten mittleren Durchführungszeit bestimmbar. Es gilt:

$$ZUE = (FG_m - 1) ZDF_{mg} \quad \text{(Gleichung 5)}$$

- ZUE = Übergangszeit
- $FG_m$  = mittlerer Flussgrad
- $ZDF_{mg}$  = mittlere gewichtete Durchführungszeit

Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit zeigen, dass im Werkzeugbau die Übergangszeiten (vgl. Kapitel 6) zu hoch sind. Sie sind anderen Betrieben mit Werkstattfertigung vergleichbar, für die Wiendahl (Wiendahl 1997b) große Mittelwerte der Durchlaufzeiten verbunden mit starker Streuung und einem schlechten Verhältnis von Durchführungs- und Durchlaufzeit konstatierte. Um langfristig nicht nur die schlechten Bedingungen abzubilden, sondern vielmehr ein Hilfsmittel zur sukzessiven Verbesserung der logistischen Kennwerte der Auftragsabwicklung über alle Bereiche hinweg anzubieten, wird der Flussgrad als Mittel zur Bestimmung der Plan-Übergangszeiten in der Planungsmethode implementiert.



**Abbildung 3.5: Auftragsbezogene Durchlaufplanung einer Spritzgießform**

Die flussgradorientierte Terminierung (*Ludwig 1995*) ermittelt für Produkte bekannten Arbeitsinhalts und bekannter Arbeitssysteme Durchlaufelemente. Die Durchlaufelemente der Einzelteile des Werkzeugs werden zu einem Teilstrang der Auftragsabwicklung zusammengefasst. Die Verbindung dieser Teilstränge zu einem Durchlaufplan für das mehrstufige Produkt erfolgt in der Feinplanung analog der fertigungs- bzw. montageorientierten Sicht auf das Produktmodell (Abbildung 3.5), in der Grobplanung analog der logistischen oder durchlauforientierten Sicht.

Da Durchlaufelemente lückenlos aneinandergesetzt werden können, ergibt sich durch eine Aneinanderreihung der Durchlaufelemente die produktbezogene Auftragsdurchlaufzeit. Aus den mehrstufigen Durchlaufplänen kann die Belastung der Ressourcen abgeleitet und anschließend eine Kapazitäts- bzw. Belastungsrechnung angestoßen werden. Um Verwechslungen mit der fertigungsauftragsbezogenen Durchlaufzeit (Auftragsdurchlaufzeit) zu vermeiden, wird die Plan-Durchlaufzeit des gesamten Auftrags im folgenden Produktdurchlaufzeit genannt.

### **3.4 Logistische Kennzahlen im Produktmodell**

Das Verfahren der flussgradorientierten Terminierung kann angewendet werden, wenn bereits Arbeitspläne und Stücklisten vorliegen und die Produktstruktur bekannt ist. Dies ist gegeben, wenn die Planung im Anschluss an die Konstruktion und Arbeitsplanung stattfindet. Die im Werkzeug- und Formenbau nach Auftragseingang stattfindende Auftragsgrobplanung kann auf diesem Wege nicht durchgeführt werden, da weder Einzelteile noch Produktstruktur, Arbeitspläne oder benötigte Ressourcen bekannt sind.

Um im Werkzeug- und Formenbau eine Durchlaufterminierung direkt nach Auftragseingang durchführen zu können, muss eine Struktur für die Abbildung des Produkts gefunden werden, die die logistischen Kennwerte mit den technischen Parametern, die zu diesem Zeitpunkt bekannt sind, verbindet. Auf dem Weg zu dieser logistischen Teilstruktur stellt sich die Frage, welche logistischen Kennwerte für die Terminierung erforderlich sind und in welcher Form diese Kennwerte in eine Produktstruktur integriert werden können. Der vorgestellte Lösungsansatz schlägt eine neue Auffassung des Begriffs des technischen Elements und die Integration der Logistikdaten in ein erweitertes Produktmodell vor.

#### **3.4.1 Strukturdaten des Produktmodells**

Um ein komplexes Produkt wie ein Werkzeug terminieren zu können, ohne bereits Detailinformationen zu kennen, muss es möglich sein, eine Aussage über die Art und Weise zu treffen, in der das Produkt durch den Betrieb laufen wird. Es muss eine durchlauforientierte Sicht auf das Produkt entwickelt werden.

Für die Durchlaufterminierung eines in allen Details bekannten komplexen mehrstufigen Produkts nach dem Verfahren der flussgradorientierten Terminierung sind sämtliche für die Terminierung benötigten Daten bekannt:

Für diesen Anwendungsfall werden benötigt:

1. Die **Struktur des Produkts**, die sowohl fertigungs- als auch montagerrelevante Abhängigkeiten enthält
2. Die **Grundkörper** mit den angehängten Daten der Materialbeschaffung
3. Die **Planungselemente** mit den Bearbeitungszeiten, den zugehörigen Arbeitssystemen und der Arbeitsvorgangsreihenfolge
4. Die **Übergangszeiten** der Arbeitssysteme
5. Der **Liefertermin** und ggf. Meilensteine des Kunden wie die Konstruktionsabnahme oder den Erstmustertermin

Die genannten Informationen lassen eine eindeutige Terminierung zu. Es handelt sich um die ideale Auswahl an Informationen für diese Art der Terminierung.

Die Kennwerte der Logistik sind zum Zeitpunkt der Grobterminierung nicht in der aus der Feinplanung gewohnten Genauigkeit und Detaillierung vorhanden. Dennoch sind sie und ihre Verbindung mit dem Produkt als Teil der durchlauforientierten Sicht auf das Produktmodell die Basis für die Auftragsplanung.

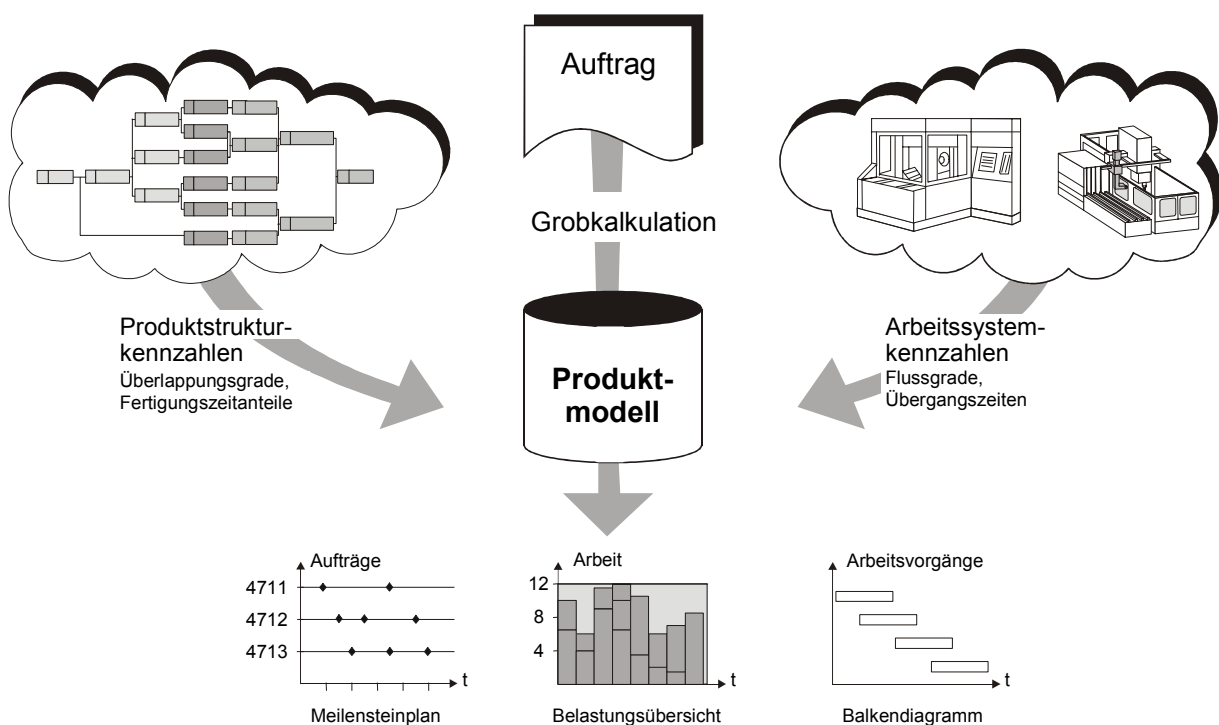
Produktmodell							
Technische Elemente				Logistische Elemente			
Geometrie	Technologie	Funktion	Arbeitsfolge	Arbeits-system	Produkt-struktur		
Position Richtung Anzahl Bohrungen Teilkreis Durchmesser ...	Toleranzen Passungen Oberflächen- güten Werkstoff Gewicht ...	Kräfte Momente Einsatz- bedingungen ...	Arbeitsvor- gänge Maschinen- gruppen Arbeitsvor- gangs-Reihen- folge Ausführungs- zeiten ...	Flussgrade Übergangs- zeiten Bestände ...	Überlappungs- grade Fertigungszeit- anteile Montagever- knüpfungen ...		

**Abbildung 3.6: Erweitertes Produktmodell**

Im erweiterten Produktmodell werden die technischen Elemente, Grundkörper und Planungselemente um die sogenannten logistischen Elemente ergänzt. Abbildung 3.6 zeigt einen Ausschnitt der Daten des erweiterten Produktmodells. Die Basis der technischen Elemente, die bereits konstruktive und fertigungstechnische Informationen beinhaltet, ist um die Arbeitsplanungsdaten ergänzt.

Die Strukturdaten der Logistik sind ein integraler Bestandteil des Produktmodells. Die logistischen Elemente lassen sich in arbeitssystembezogene und produktstrukturbezogene Merkmale unterscheiden. Die arbeitssystembezogenen Merkmale umfassen Daten wie Flussgrade oder Auftragszeitstrukturen und sind direkt mit den im Bereich der Arbeitsplanung eingebundenen Bearbeitungsinformationen gekoppelt.

Die Informationen zur Produktstruktur finden sich in der Gruppe der Produktstrukturkennzahlen. Merkmale, Montageverknüpfungen ebenso wie Überlappungsgrade und Fertigungszeitanteile beschreiben die Verknüpfung der Elemente der Produktstruktur über die Strukturebenen hinweg. Sie enthalten Informationen, die durch eine Verdichtung der Rückmeldedaten aus der fertigungs- bzw. montageorientierten Sicht auf das Produkt gewonnen werden.

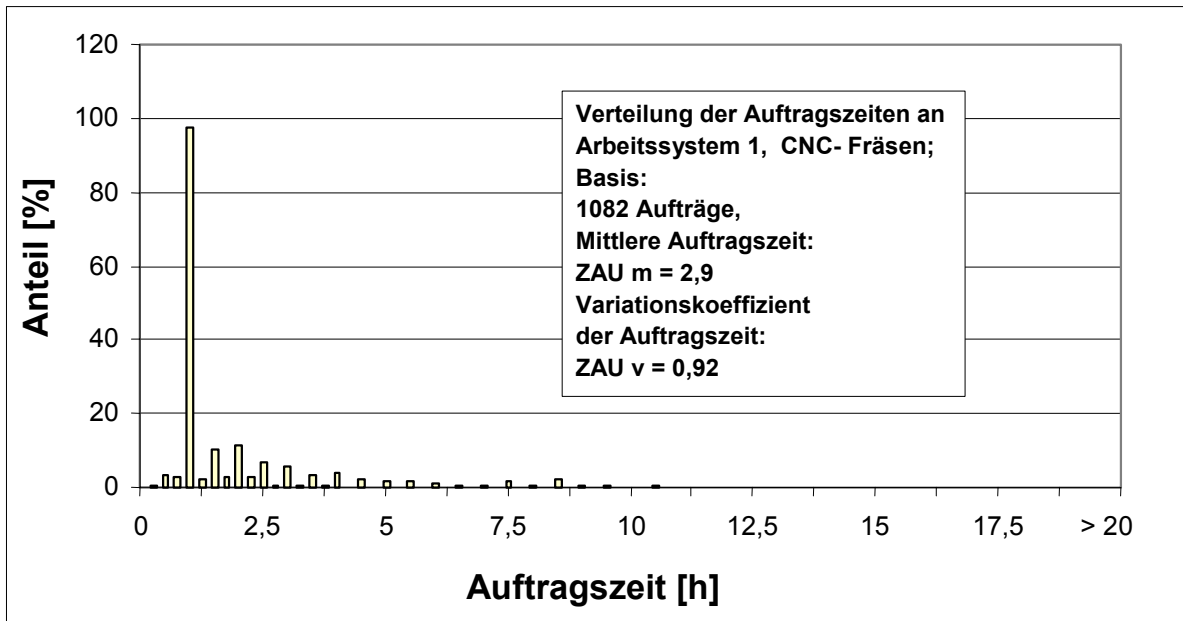


**Abbildung 3.7: Planung mit dem erweiterten Produktmodell**

Der Einsatz des erweiterten Produktmodells als Grundlage der Grob- und Feinplanung ist in Abbildung 3.7 dargestellt. Als strukturelle Komponenten gehen die Informationen über die Produktstruktur und die Arbeitssysteme in das Produktmodell ein. Diese Kennwerte werden durch Analysen der auftrags- bzw. arbeitssystembezogenen Plan- und Rückmeldedaten ermittelt und stehen dann für eine bestimmten Zeitraum als Basisdaten für die Planung zur Verfügung. Als Eingangsinformationen der Planung sind zusätzlich die Spezifikation des Produkts und die für das Angebot kalkulierten Aufwände in die Planung einzubeziehen.

### 3.4.2 Ableitung der Übergangszeiten als Kenngröße für das Produktmodell

Die Bestimmung der Logistikstrukturdaten erfolgte mit Hilfe eines Verfahrens zur Logistikanalyse (Nyhuis 1999). Für den beschriebenen Anwendungsfall des Werkzeug- und Formenbaus und den Einsatz der flussgradorientierten Terminierung können die benötigten Kennzahlen mit einer Auftragszeitstrukturanalyse bestimmt werden.



**Abbildung 3.8: Auftragszeitverteilung am Arbeitssystem „Fräsen“  
 (Beispiel Werkzeug- und Formenbau)**

Die Verteilung der Auftragszeiten eines Arbeitssystems über einen gegebenen Zeitraum zeigt typischerweise eine linksschiefe Verteilungsform und eine große Streuung der Einzelwerte (Bechte 1984). Ein Beispiel aus einem Unternehmen des Werkzeug- und Formenbaus zeigt diese charakteristische Verteilung. (Abbildung 3.8).

Zur Bewertung der Auftragszeitverteilungen werden Mittelwert ( $ZAU_m$ ) und Standardabweichung ( $ZAU_s$ ) der Auftragszeiten herangezogen:

$$ZAU_m = \frac{1}{n} \sum ZAU_i \quad (\text{Gleichung 6})$$

$$ZAU_s = \frac{1}{n} \sum (ZAU_m - ZAU_i)^2 \quad (\text{Gleichung 7})$$

$ZAU_m$  = Mittelwert der Auftragszeiten

$ZAU_i$  = Auftragszeiten der Aufträge im Betrachtungszeitraum

$n$  = Anzahl betrachteter Aufträge

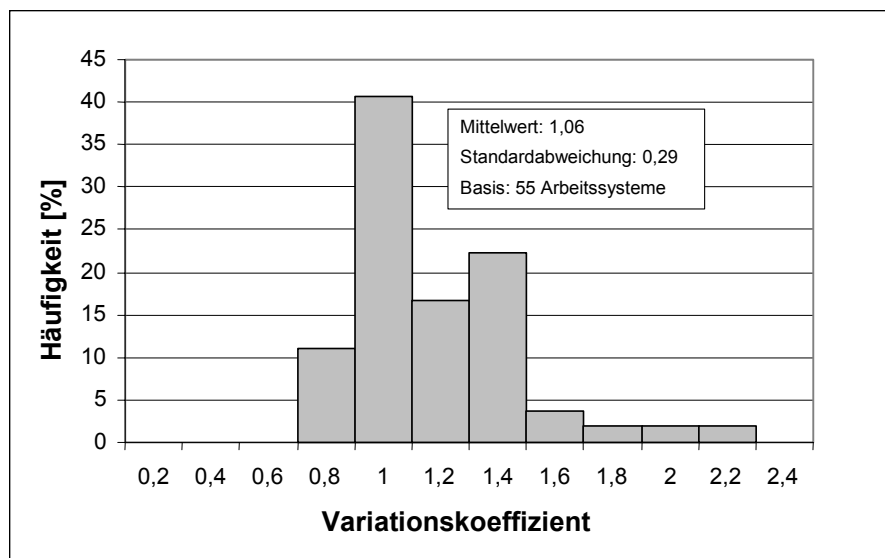
$ZAU_s$  = Standardabweichung der Auftragszeit

Mittelwert und Standardabweichung geben Aufschluss über das mittlere Bestandsniveau an einem Arbeitssystem. Der Bestandspuffer muss umso größer sein, je größer die mittleren Auftragszeiten und ihre Streuung sind. (Erdlenbruch 1984, Nyhuis 1991) Als Kenngröße wird der Variationskoeffizient der Auftragszeiten ( $ZAU_v$ ) verwendet. Der Variationskoeffizient stellt die Streuung der Auftragszeiten zum Mittelwert ins Verhältnis.

$$ZAU_v = \frac{ZAU_s}{ZAU_m} \quad (\text{Gleichung 8})$$

- $ZAU_v$  = Variationskoeffizient der Auftragszeit
- $ZAU_s$  = Standardabweichung der Auftragszeit
- $ZAU_m$  = Mittelwert der Auftragszeiten

Nach Erfahrungen, die am Institut für Fabrikanlagen der Universität Hannover in einer Vielzahl von Untersuchungen in Betrieben mit Werkstattfertigung gemacht wurden, ist ein Variationskoeffizient der Auftragszeiten in der Größenordnung von 0,5 bis 2 zu erwarten. Werkzeug- und Formenbaubetriebe betreiben in der weit überwiegenden Zahl eine Werkstattfertigung. Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit haben eine charakteristische Verteilung der Variationskoeffizienten über die Arbeitssysteme ergeben, die von Nyhuis (Nyhuis 1999) bestätigt wurde (Abbildung 3.9).

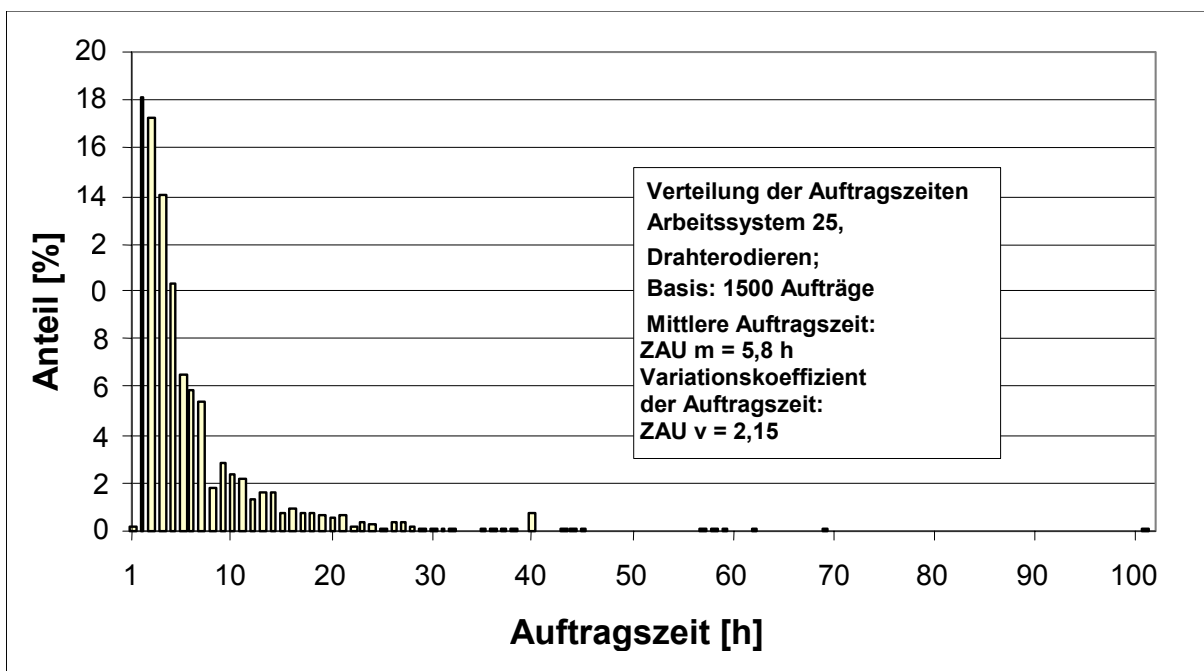


**Abbildung 3.9: Verteilung der Variationskoeffizienten der Auftragszeit je Arbeitssystem (Beispiel Werkzeug- und Formenbau)**

In Abbildung 3.10 ist eines der negativen Beispiele aus den Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit herausgegriffen worden. Basis dieser Untersuchung war ein Drahterodiersystem derselben Fertigung wie in Abbildung 3.7 mit 1500 Fertigungsaufträge in einem Zeitraum von rund vierzehn Monaten. Auffällig ist die enorme Abweichung zwischen der Majorität der Aufträge (84,8 %), die sich in einem Bereich der

Auftragszeiten bis zu zehn Stunden bewegen, und einzelnen großen Aufträgen, die Auftragszeiten von bis zu 100 Stunden aufweisen.

Eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen ergibt sich im konkreten Anwendungsfall aus der Tatsache, dass das betrachtete Arbeitssystem eine Drahterodiermaschine ist, die nach Schichtende mannos im Abschaltbetrieb weiterläuft. Dies bedeutet, dass zum Schichtende ein möglichst großer Arbeitsumfang gerüstet und aufgespannt wird, um die Nachtstunden optimal zu nutzen und so die Maschinenlaufzeiten zu verlängern.



**Abbildung 3.10: Auftragszeitverteilung am Arbeitssystem „Drahterodieren“  
 (Beispiel Werkzeug- und Formenbau)**

Der Variationskoeffizient größer zwei ist im Werkzeug- und Formenbau nicht die Regel, typisch sind, neben den erwarteten Werten im Bereich von eins, eine Vielzahl von Arbeitssystemen mit Variationskoeffizienten zwischen eins und zwei. Im Vergleich mit den von Nyhuis durchgeführten Untersuchungen für den Maschinenbau zeigt sich eine Verschiebung des Mittelwerts der Variationskoeffizienten der Auftragszeiten um rund 0,1 bei annähernd gleicher Standardabweichung.

Bei gegebener Auslastung bestimmen die Variationskoeffizienten der Auftragszeiten über die Flussgrade die Länge der Übergangszeiten und auf dem kritischen Pfad die Durchlaufzeiten der Aufträge insgesamt. Um kurze Durchlaufzeiten zu erreichen, sollten die Auftragszeiten klein sein und wenig streuen. Eine Verkürzung der Auftragszeiten kann durch fertigungstechnologische Maßnahmen erreicht werden. Da im Werkzeug- und Formenbau die Stückzahlen und die Fertigungslosgrößen zwischen eins und fünf liegen, können Verfahren zur Harmonisierung der Losgrößen wie sie von Nyhuis (*Nyhuis 1991*) beschrieben wurden, nicht eingesetzt werden.



Weitergehende Ansätze zur Verkürzung der Durchlaufzeiten bei mehrstufigen Produkten sollen nicht erörtert werden. Es sei auf die Methode zur Verbesserung des Auftragsdurchlaufes bei mehrstufigen Produkten mit Hilfe des Auftragsdurchlaufdiagramms von Wiendahl (*Wiendahl 2000*) verwiesen. Die beschriebene Methode ist zur Optimierung des Auftragsdurchlaufs eines in seiner Produktstruktur vollständig bekannten Produkts im Hinblick auf seine Herstellung geeignet. Sie kann nach der Konstruktion und Arbeitsplanung für die Durchlaufterminierung und Auftragsdurchsetzung in der mechanischen Fertigung eingesetzt werden.

Für die Terminierung lassen sich aus den Variationskoeffizienten der Auftragszeiten die Flussgrade der Arbeitssysteme ableiten. Der mittlere Flussgrad errechnet sich als das Verhältnis von mittlerer Durchlaufzeit zu mittlerer Durchführungszeit.

$$FG_m = \frac{ZDL_m}{ZDF_m} = \frac{ZDF_m + ZUE_m}{ZDF_m} \quad (\text{Gleichung 9})$$

$FG_m$  = mittlerer Flussgrad  
 $ZDL_m$  = mittlere Durchlaufzeit  
 $ZDF_m$  = mittlere Durchführungszeit  
 $ZUE_m$  = mittlere Übergangszeit

Unter Verwendung des Ansatzes von Pollaczek-Chintschin, der als ein klassischer Vertreter der Warteschlangentheorie gilt, kann folgende Berechnungsvorschrift für die Flussgrad abgeleitet werden (vgl. Nyhuis 1999 und die dort zitierte Literatur):

$$FG_m = 1 + \frac{A_m}{1 + A_m} \frac{1 + ZDF_v^2}{2} \quad (\text{Gleichung 10})$$

$FG_m$  = mittlerer Flussgrad  
 $ZDF_i$  = Variationskoeffizient der Durchführungszeit  
 $A_m$  = mittlere Auslastung des Arbeitssystems

mit

$$A_m = \frac{L_m}{L_{max}} \quad (\text{Gleichung 11a})$$

$L_m$  = mittlere Leistung des Arbeitssystems  
 $L_{max}$  = maximale Leistung des Arbeitssystems

Bei Betrachtung eines Arbeitssystems mit von der Auftragszeit der einzelnen Arbeitsvorgänge unabhängiger Leistung gilt weiterhin:

$$ZAU_v = ZDF_v \quad (\text{Gleichung 12})$$

$ZAU_v$  = Variationskoeffizient der Auftragszeit  
 $ZDF_m$  = Variationskoeffizient der Durchführungszeit

Die Umstellung der Formel führt zu folgender Darstellung:

$$FG_m = 1 + \frac{A_m}{1 + A_m} \frac{1 + ZAU_v^2}{2} \quad (\text{Gleichung 13})$$

$FG_m$  = mittlerer Flussgrad

$A_m$  = mittlerer Auslastungsgrad

$ZAU_i$  = Variationskoeffizient der Auftragszeit

Für den Werkzeug- und Formenbau gilt, dass Engpassmaschinen wie Senkerodieren oder HSC-Fräsen, mit hoher Auslastung betrieben werden. Es ist daher sinnvoll, den Auslastungsgrad der Maschinen bzw. Maschinengruppen für die Durchlaufterminierung vorzugeben. Nach Bestimmung des Variationskoeffizienten anhand der oben beschriebenen Auftragszeitstrukturanalyse kann der mittlere Flussgrad und unter Verwendung von Gleichung (5) die Übergangszeit  $ZUE_m$  für die Durchlaufterminierung ermittelt werden.

Diese Vorgehensweise ist zu empfehlen, um den aktuellen Status der Fertigung in der Auftragsplanung abzubilden. In einem zweiten Schritt können Maßnahmen zur Senkung der Durchlaufzeiten ergriffen werden. Dies kann in der Planungsmethode durch die Bestimmung des Flussgrades und der Verfolgung der realen Auslastung verfolgt und unterstützt werden.

### 3.5 Durchlauforientierte Produktstruktur

Nachdem im ersten Schritt die Elemente der Durchlaufzeit (arbeitssystemspezifische logistische Elemente des erweiterten Produktmodells) bestimmt wurden, wird im zweiten Schritt eine geeignete Struktur für die Produktdaten festgelegt (produktionsbezogene logistische Elemente des erweiterten Produktmodells). Im Bereich der Feinplanung, d.h. nach Ermittlung der fertigungs- und montageorientierten Produktstruktur und abgeschlossener Arbeitsplanung, liegen sämtliche für die Durchlaufterminierung und Kapazitätsplanung notwendigen Daten vor.

Aus der Arbeitsplanung werden die Daten über die Maschinengruppen, Arbeitsvorgangsfolgen, Ausführungszeiten etc. mit der fertigungs- bzw. montageorientierten Produktstruktur zusammengeführt. Dieser Produktstruktur kann entnommen werden, welche zeitlichen Überlappungen zwischen den Elementen des mehrstufigen Produkts möglich sind, wie sich Bearbeitungsaufwände über die Elemente der Struktur aufteilen und wie die Elemente in Bezug auf ihre Montage verknüpft sind. Aus dieser Information kann ein Auftragsnetz aufgebaut und der kritische Pfad bestimmt werden.

Für die Grobplanung ist die Ausgangssituation anders. Bei Auftragseingang ist keine Struktur des Produkts verfügbar, und abgesehen von den Daten der Angebotskalkulation sind keine Informationen über die Verteilung der Aufwände über die Zeit bekannt.

### 3.5.1 Durchlaufgruppen und Durchlaufeinheiten

Die durchlauforientierte Sicht auf das Produktmodell arbeitet mit den Daten des erweiterten Produktmodells. Dazu gehören neben den Daten der Technischen Elemente, mit denen bisher eine Erzeugnisgliederung vorgenommen wurde, weitere Daten über die Arbeitsplanung, Logistik und Produktstruktur.

Ausgehend von dieser Information lässt sich für jedes Einzelteil ein (Fertigungs-) Auftragsselement bilden, in dem Übergangszeiten und Durchführungszeiten kombiniert werden (Abbildung 3.11, oben). Diese Vorgehensweise ist für die Terminplanung bei einem mehrstufigen Produkt üblich. Sie setzt die Kenntnis der einzelnen Komponenten voraus. Um diese Vorgehensweise zum Zeitpunkt des Auftragseingangs verwenden zu können, soll ein neuer Ansatz untersucht werden, bei dem Auftragsdurchlauf-elemente in Durchlaufseinheiten überführt werden.

Durchlaufseinheiten sind im Folgenden definiert als:

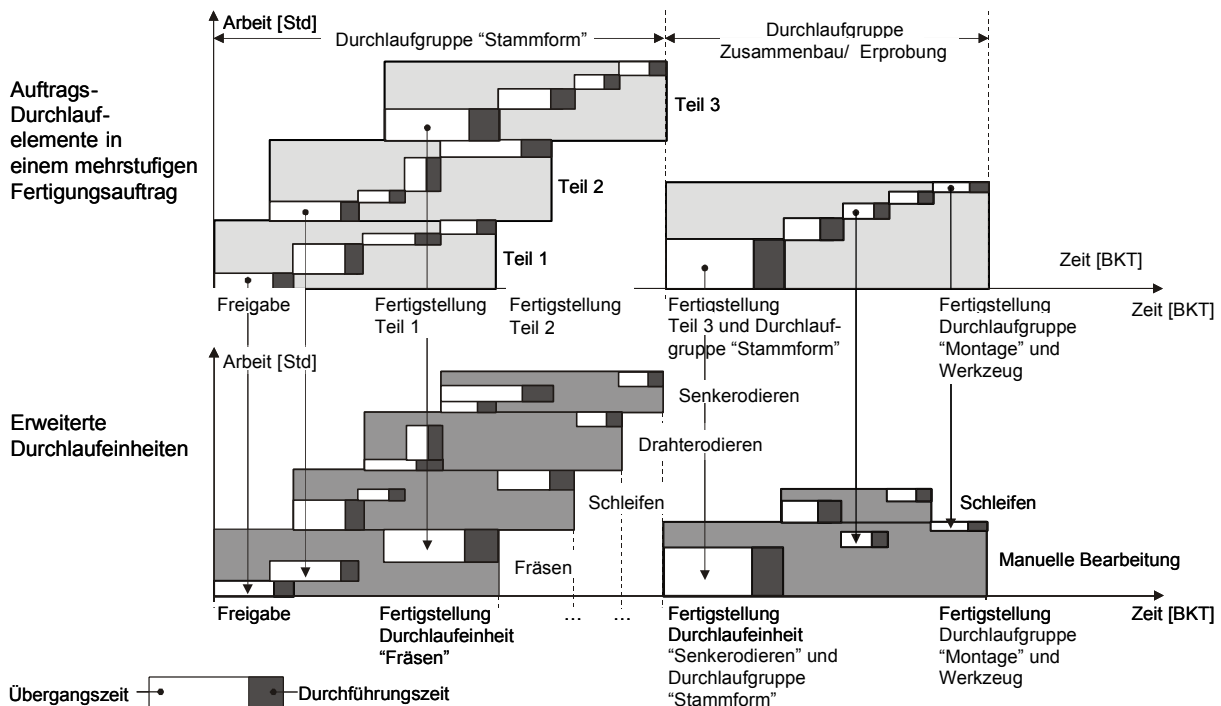
*Eine Durchlaufseinheit (DE) ist eine Einheit auf der untersten Detaillierungsstufe des Produkts, in der die Maschinenreihenfolge zur Bearbeitung der Durchlaufseinheiten feststeht. Durchlaufseinheiten werden zu Durchlaufgruppen (DG) zusammengefasst.*

Gleichzeitig gilt:

*Der Anfang einer Durchlaufgruppe ist gleich dem Anfang der Bearbeitung des ersten Einzelteiles und das Ende einer Durchlaufgruppe ist gleich dem Ende der Bearbeitung des letzten Einzelteiles.*

Auftragsdurchlauf-elemente beschreiben die logistische Sicht auf die Einzelteile in der Fertigung. Sie umfassen die Bearbeitung für ein Einzelteil über verschiedene Arbeitssysteme hinweg. Wahlers (Wahlers 1998) hat verdichtete Prozesselemente entwickelt, mit deren Hilfe er komplexe Produkte in einem logistischen Produktmodell abbilden kann. Prozesselemente sind auf Hauptbaugruppenebene angesiedelt und beinhalten die gesamte Wiederbeschaffungszeit der Komponente inklusive der vorgelagerten Prozesse, so dass die Informationsverluste in Folge der Verdichtung der Darstellung gering sind. Aus den Prozesselementen können die anfallenden Gesamtkosten und die Gesamtprozessdauer entnommen werden.

Wahlers hat mit seinem Ansatz eine Verdichtung der Einzelteile aus Fertigungs- und Montagesicht geschaffen. Die Kombination der Einzelteile, die bisher nach den Kriterien Funktion oder Montage durchgeführt wird, kann zudem nach dem Kriterien „Durchlauf durch das Unternehmen“ vorgenommen werden. Die klassische Sicht ist die Zusammenfassung von Einzelteilen zu Losen.



**Abbildung 3.11: Ableitung der Durchlaufseinheiten am Beispiel der Durchlaufgruppen „Stammform“ und „Montage“**

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Auftragsstruktur in den beteiligten Unternehmen analysiert. Im ersten Schritt werden die Arbeitspläne und die Zeitrückmeldungen auf gleiche Arbeitsvorgangsfolgen und die Ähnlichkeit der Aufwandsverteilung der Bearbeitung über die Arbeitsvorgangsfolge hin untersucht. Ergebnis sind Gruppen von Arbeitsvorgangsfolgen, die in Bezug auf ihren Durchlauf durch den Betrieb gleichartig sind. Im zweiten Schritt werden diese Gruppen von Arbeitsvorgangsfolgen mit Stücklisten und Zusammenbauinformationen abgeglichen. Über verschiedene Werkzeuge hinweg können so Gruppen von Arbeitsvorgangsfolgen identifiziert werden, die all-gemeingültig eine Gruppe von Teilen mit gleicher Durchlaufcharakteristik repräsentieren. Diese Gruppen von Teilen, die dem gleichen Durchlauf durch das Unternehmen folgen und annähernd gleiche Auftragszeitanteile bezogen auf die Fertigungsverfahren aufweisen, sind Durchlaufseinheiten. Analog der Verdichtung der Durchlauf-elemente der Bearbeitungsschritte eines Einzelteils zu einem Auftragsdurchlauf-element, können mehrere Durchlaufseinheiten zu einer Durchlaufgruppe zusammengefasst werden.

Bezogen auf die Durchlaufgruppe stellt das Auftragsdurchlauf-element die fertigungs-orientierte Sicht dar. Aus der Durchlaufgruppe lässt sich durch eine maschinengruppenbezogene Kombination der Durchlauf-elemente eine kapazitätsorientierte Sicht ableiten, die Durchlaufseinheiten. Eine Darstellung der Transformation der Auftrags-durchlauf-elemente in Durchlaufseinheiten findet sich in Abbildung 3.11. In der oberen Hälfte sind die Arbeitsschritte des Arbeitsplans einzelteilbezogenen aufgetragen und

zu Auftragsdurchlaufelementen zusammengefasst. Die drei Auftragsdurchlaufelemente der mechanischen Fertigung bilden gemeinsam eine Durchlaufgruppe, z.B. die Stammform. Die auf einer Maschinengruppe durchgeführten Arbeitsvorgänge der drei Einzelteile können, sofern sie in der Arbeitsvorgangsfolge an der selben Stelle aufgeführt sind, zu einer Durchlaufeinheit zusammengefasst werden. Die drei Einzelteile können auf diese Weise in vier Durchlaufeinheiten umgewandelt werden. In den Durchlaufeinheiten ist der zu erwartende Arbeitsaufwand an einem Arbeitssystem bzw. einer Maschinengruppe und der früheste Anfangs- sowie der späteste Endtermin dieser Durchlaufgruppe definiert.

Die Kombination sämtlicher Elemente führt bei den Auftragsdurchlaufelementen und den Durchlaufeinheiten zu einem gemeinsamen Durchlaufelement, der Durchlaufgruppe. Die Detailansichten ermöglichen die Verwendung in unterschiedlichen Bereichen der Fein- und Grobplanung. Während die Durchlaufgruppe die terminorientierte Darstellung einer Gruppe von Teilen ist, können aus den Durchlaufeinheiten die Kapazitätsinformationen und aus den Fertigungsauftragsdurchlaufelementen die Belegungsplanungsinformationen entnommen werden.

Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit haben ergeben, dass bei Werkzeugen und Formen die Einzelteile Gruppen zugeordnet werden können, die nach dem Kriterium „wird in der selben Reihenfolge auf den selben Maschinengruppen bearbeitet“ festgelegt sind. Diese Gruppen, die Durchlaufgruppen, zeichnen sich durch die Eigenschaft aus, dass sich die Bearbeitungszeiten der Einzelteile der Gruppe prozentual gleich auf die Arbeitssysteme aufteilen. (Abbildung 3.12)

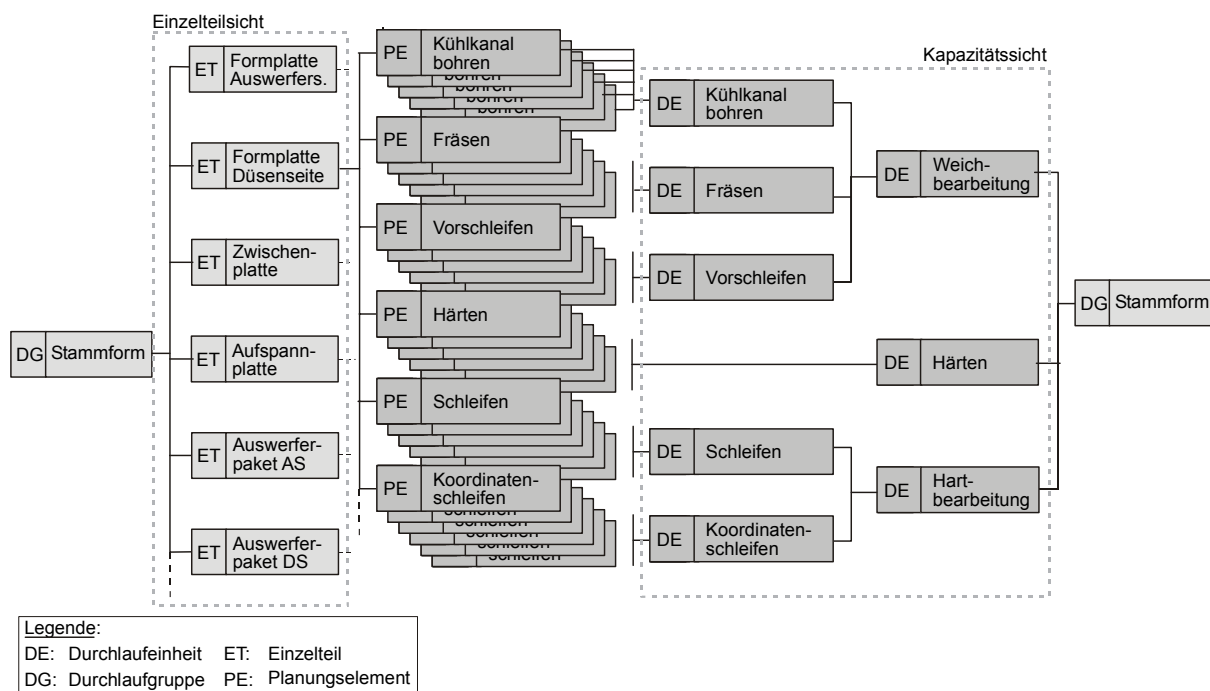


Abbildung 3.12: Teile gleicher Durchlaufcharakteristik

Die Arbeitsvorgänge der Einzelteile nehmen prozentual den selben Anteil an der Gesamtbearbeitungszeit des Einzelteils in Anspruch. Für eine Durchlaufgruppe kann eine Prognose über die Verteilung der Bearbeitungszeiten zwischen den Arbeitsvorgängen gemacht werden. Diese Prognose liegt nach Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit im Bereich von zehn Prozent Genauigkeit. Dies entspricht der Genauigkeit, die im Werkzeug- und Formenbau bei der Arbeitsplanung erreicht wird (*Fortuna 1997*). Es ist daher zulässig, Durchlaufeinheiten wie Kühlkanal bohren, Fräsen und Vorschleifen für eine grobe Terminierung zu verwenden.

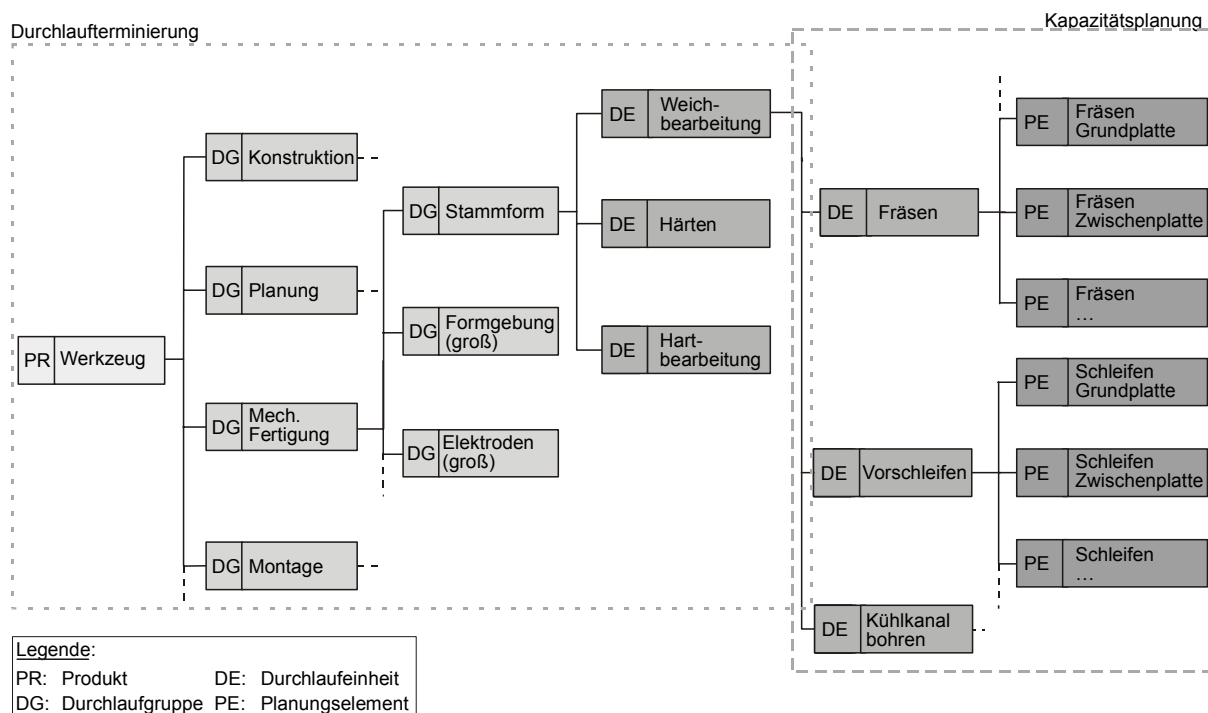
### **3.5.2 Durchlaufzeitterminierung mit Durchlaufgruppen**

Die Durchlaufeinheiten und das erweiterte Produktmodell bilden die Grundlage für die Ableitung der durchlauforientierten Produktstruktur. Mit dieser Produktstruktur kann eine (Grob-) Terminierung analog zu der oben beschriebenen (Fein-) Terminierung des Produkts durchgeführt werden. Die Zusammenfassung von Planungselementen und Grundkörpern verschiedener Einzelteile zu Durchlaufeinheiten und die Erweiterung des Datenmodells ermöglicht eine exakte Darstellung des Durchlaufverhaltens einer Gruppe von Einzelteilen durch den Betrieb. Für die Grobplanung fehlt eine Produktstruktur, die diese Gruppen von Einzelteilen bzw. diese Durchlaufeinheiten zueinander in Beziehung setzt.

Die im vorigen Abschnitt beschriebenen Durchlaufgruppen und -elemente werden so gegliedert, dass eine Beschreibung des Produkts nach dem Durchlauf durch die verschiedenen Arbeitsbereiche in der Auftragsabwicklung in eindeutiger und klar strukturierter Form erfolgen kann. Diese durchlauforientierte Sicht auf das Produktmodell erlaubt die Einbeziehung logistischer Informationen in das Produktmodell und bildet die Grundlage für eine Planung der Termine und Kapazitätsbelastungen durch ein Produkt ohne Kenntnis der fertigungsorientierten Produktstruktur.

Dies ist für die Terminplanung direkt nach Auftragseingang von großer Bedeutung. Im Werkzeug- und Formenbau können zudem Häufigkeit und Aufwand von Änderungen einen Umfang annehmen der bis zu einem Drittel des ursprünglich geplanten Kapazitätsbedarfs entspricht. Die Terminplanung auf Basis von Durchlaufgruppen erlaubt aufgrund der ihr innewohnenden Unschärfe eine einfache Integration der gewünschten Änderungen in die Planung und Steuerung der Werkzeugherstellung. Änderungen des Kunden ziehen in der überwiegenden Anzahl nicht Anpassungen der Terminpläne über alle Ebenen hinweg nach sich. Die grobe Planungsbasis erlaubt es, kleinere Änderungen auf den unteren Ebenen zu betrachten und den Gesamtablaufplan unverändert zu lassen.

Die durchlauforientierte Sicht auf das Produktmodell wird analog zur fertigungsorientierten Sicht in der Form gebildet, dass Durchlaufseinheiten zu Durchlaufgruppen ebenso wie Einzelteile zu Baugruppen zusammengefasst werden. In Abbildung 3.13 ist dargestellt, in welcher Form die Elemente der durchlauforientierten Sicht auf das Produktmodell hierarchisch gegliedert werden und für welchen Bereich der Terminierung sie eingesetzt werden.



**Abbildung 3.13: Termin- und Kapazitätsplanung mit Durchlaufseinheiten**

Ein Werkzeug wird im Beispiel auf der obersten Ebene in die Bereiche Konstruktion, Planung, Mechanische Fertigung etc. unterteilt. Diese Elemente beinhalten jeweils die Auftragsinhalte in Stunden und nach der Terminierung Anfangs- und Endtermin der Gruppe. Diese Gruppen werden weiter unterteilt: In der Mechanischen Bearbeitung u.a. in Stammform, Formgebung und Elektroden. Die Auftragsinhalte werden aus den übergeordneten Gruppen nach dem Schlüssel „Fertigungszeitanteile“, der durch eine Analyse der Produktstruktur und der Rückmeldungen gewonnen wird, auf die Unterdurchlaufgruppen aufgeteilt.

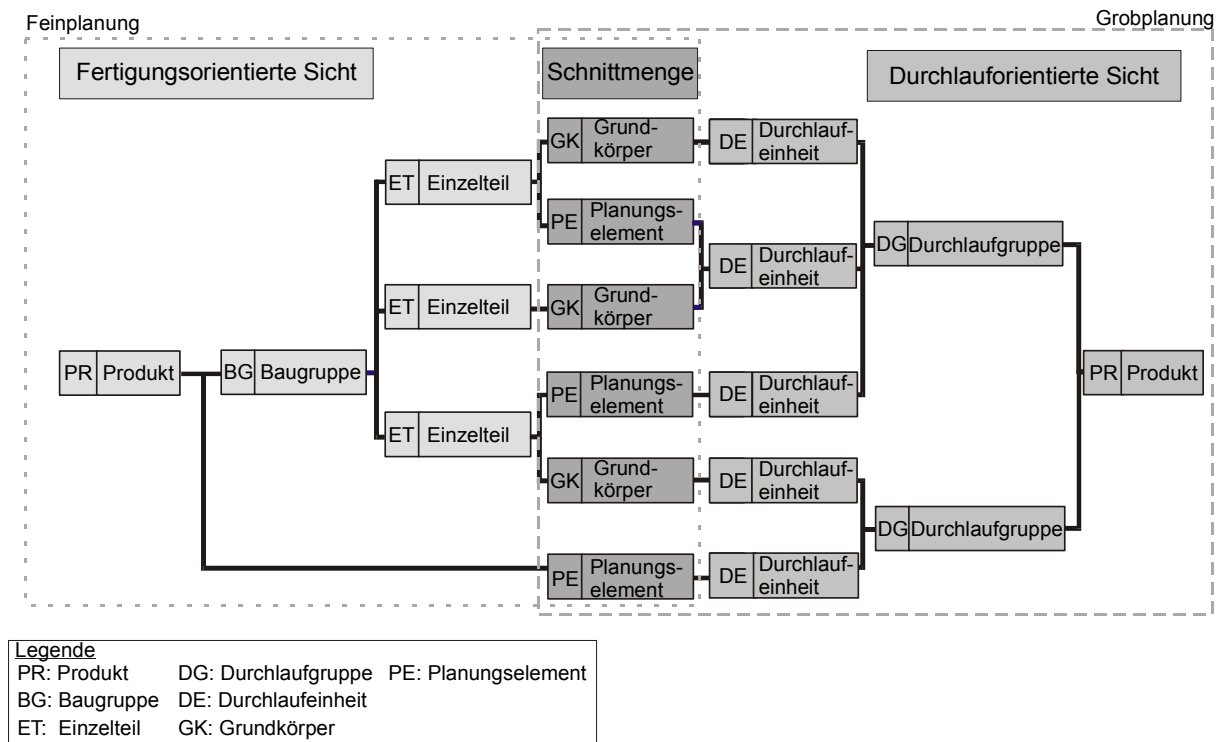
Unterhalb der Durchlaufgruppen sind jeder Gruppe Durchlaufseinheiten zugeordnet. Diese Durchlaufseinheiten sind wiederum in zwei Ebenen aufgeteilt: In der oberen Ebene sind die groben Verfahrensschritte, die für die Terminverfolgung relevant sind, eingeordnet. In der unteren Ebene erfolgt eine Aufteilung der Bearbeitungsaufwände auf die Planungselemente und damit eine Zuordnung auf die Maschinengruppen.

Die Planungselemente sind vor allem für die Ermittlung der im Produktmodell verantwortlichen Schlüssel für die Aufteilung der Bearbeitungsaufwände auf die Elemente in

den verschiedenen Ebenen von großer Bedeutung. Für die Terminierung und Kapazitätsplanung sind sie in der Feinplanung von Belang.

Während die Planungselemente (in der Feinplanung) und die maschinengruppenbezogenen Durchlaufseinheiten (für die Grobplanung) den Grundstock für eine Kapazitätsplanung bilden, werden die Durchlaufgruppen für die Terminplanung und -verfolgung eingesetzt.

Diese Verknüpfung der Daten aus Fertigung und Logistik ermöglicht es, das Produkt durchlauforientiert zu betrachten und auf Basis des Produkts und nicht der Prozesse, Termine und Kapazitäten planen und verfolgen zu können. Die durchlauforientierte Sicht auf das Produktmodell bildet die Basis der Grobplanung. Die Verbindung zwischen Grob- und Feinplanung erfolgt durch eine Überführung der durchlauforientierten Sicht auf das Produktmodell in die fertigungsorientierte Sicht (Abbildung 3.14).



**Abbildung 3.14: Integration von fertigungs- und durchlauforientierter Sicht**

Die Integration der durchlauforientierten und der fertigungsorientierten Sicht auf das Produkt ist die Basis für die Überführung der Daten von der Fein- in die Grobplanung und zurück. Eine hierarchisch aufgebaute Planung benötigt einen sicheren Übergang der Daten von einer Detaillierungsebene in die andere, um ohne manuelle Nachführung mit beiden Ebenen parallel zu arbeiten. Die fertigungsorientierte Sicht entspricht der klassischen Erzeugnisgliederung ergänzt um die Planungsinformationen aus der Arbeitsvorbereitung. Fertigungsorientierte und durchlauforientierte Sicht auf das Pro-



dukt werden durch die gemeinsam verwalteten Planungselemente und Grundkörper miteinander kombiniert und automatisch aktualisiert.

Die fertigungsorientierte Sichtweise bildet die Grundlage für die Feinplanung. Ausgehend von den Grundkörpern und Planungselementen lassen diese sich in Einzelteile und Einzelteile zu Baugruppen zusammenfassen. Mit den Einzelteilen kann die Maschinenbelegungs- und Reihenfolgeplanung erfolgen. Für die Grobplanung bilden ebenfalls die Grundkörper und Planungselemente die Grundlage. Die Planungselemente und Grundkörper werden benutzt, um alle Teile, die die Fertigung ähnlich durchlaufen, zu Durchlaufeinheiten (DE) zusammen zu fassen.

## 4 Produktmodellbasierte Auftragsplanung

Planung ist die gedankliche Realisierung eines zukünftigen Zieles. Dabei soll das vorgegebene Ziel möglichst effizient in einer vorgegebenen Zeit erreicht werden. Die Wahl der richtigen Planungsparameter, der Planungshäufigkeit und der Planungshorizont, und ihre Anwendung ist im Werkzeug- und Formenbau aufgrund der geringen Auftragsreichweiten und langen Auftragsdurchlaufzeiten schwierig. Für einen langen Planungshorizont stehen zu wenig Daten zur Verfügung, für einen kurzen Horizont mit entsprechend hoher Planungshäufigkeit reichen die Ressourcen nicht aus.

Die Planung kann im Werkzeug- und Formenbau durch das erweiterte Produktmodell und eine hierarchische Planung unterstützt werden. Die hierarchische Planung sieht eine grobe Planung zu einem frühen Zeitpunkt vor. Dies kann mit Hilfe des auf logistische Kenngrößen erweiterten Produktmodells geschehen. Aus der Planung werden terminliche Vorgaben in Form von Meilensteinen und eine Lieferzeit als Bestätigung an den Kunden abgeleitet. Weiterhin soll eine erste Kapazitätsrechnung Aussagen über die Auslastung der Anlagen ermöglichen. Die Grobplanung kann im Laufe der Auftragsbearbeitung mit geringem Aufwand detailliert werden.

### 4.1 Vorgehensweise bei Grob- und Feinplanung

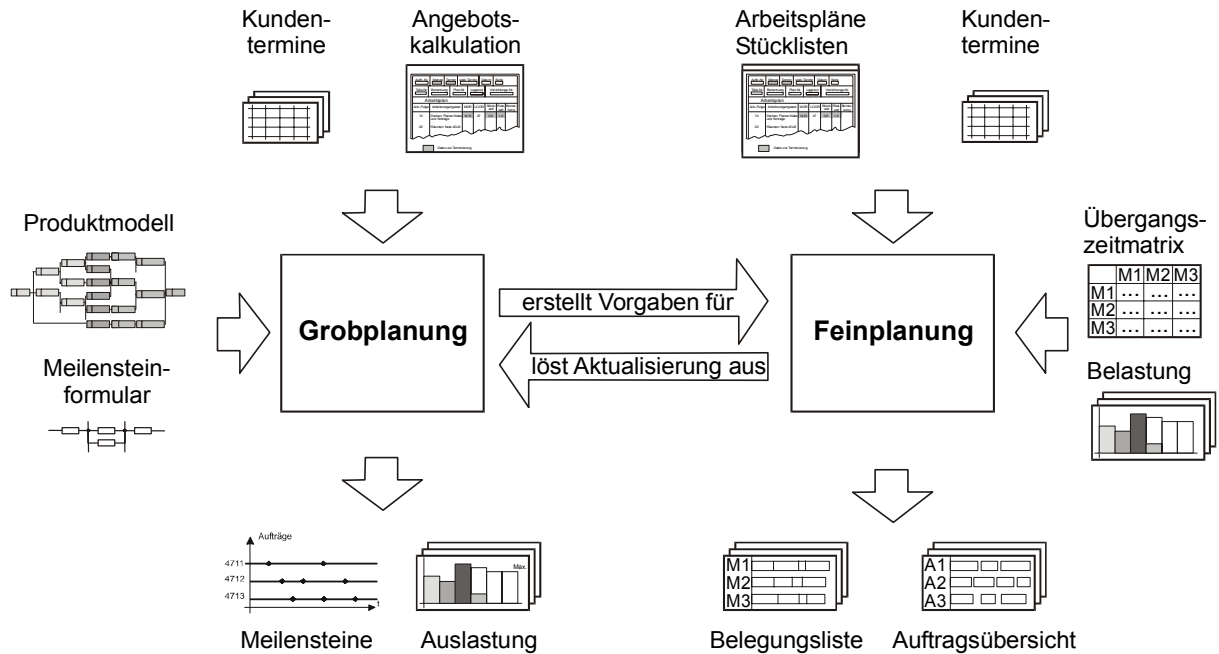
In der Produktionsplanung wird zwischen langfristiger, mittelfristiger und kurzfristiger Planung unterschieden. Dabei bezieht sich die langfristige Planung (auch strategische Planung genannt) auf einen Planungshorizont von mehreren Jahren und legt das Produktionsprogramm fest. Hier wird über die Ziele des Gesamtunternehmens entschieden.

Bei der mittelfristigen Planung ist der Planungshorizont kürzer, ein Jahr oder ein Quartal. Diese sogenannte Grobplanung umfasst die Mengen-, Termin- und Kapazitätsplanung. Sie dient dazu, die vorhandenen Ressourcen effizient zur Erreichung der Unternehmensziele einzusetzen. Im Werkzeug- und Formenbau bezieht sich diese Planung auf einen Zeitraum, der der Auftragsreichweite und der Auftragsdurchlaufzeit entspricht. In der Regel beginnt der Planungsvorgang anhand von Angebots- und Bestelldaten direkt nach Auftragseingang vor der Konstruktion.

In der kurzfristigen Planung beträgt der Planungshorizont eine bis mehrere Wochen und beinhaltet die Auftragsveranlassung, -durchsetzung und -steuerung. Diese operative Planung wird auch Feinplanung genannt. Sie wird detailliert auf Basis von Stücklisten und Arbeitsplänen durchgeführt.

Der Ablauf der Auftragsplanung wird durch die zur Verfügung stehenden Grunddaten bestimmt. In der Feinplanung sind dies Arbeitspläne, Stücklisten und Kundentermine (Abbildung 4.1). Die Feinplanung kann dementsprechend im Anschluss an Konstruktion und Arbeitsplanung erfolgen. Zunächst wird mit Hilfe der aktuellen Belastungssituation eine Reihenfolgeplanung und Durchlaufterminierung und anschließend eine

Kapazitätsrechnung je Arbeitsplatz durchgeführt. Dabei wird die Priorität der Aufträge berücksichtigt. Das Ergebnis der Feinplanung ist eine terminierte Auftragsübersicht und eine Maschinenbelegungsliste.



**Abbildung 4.1: Ablauf von Grob- und Feinplanung**

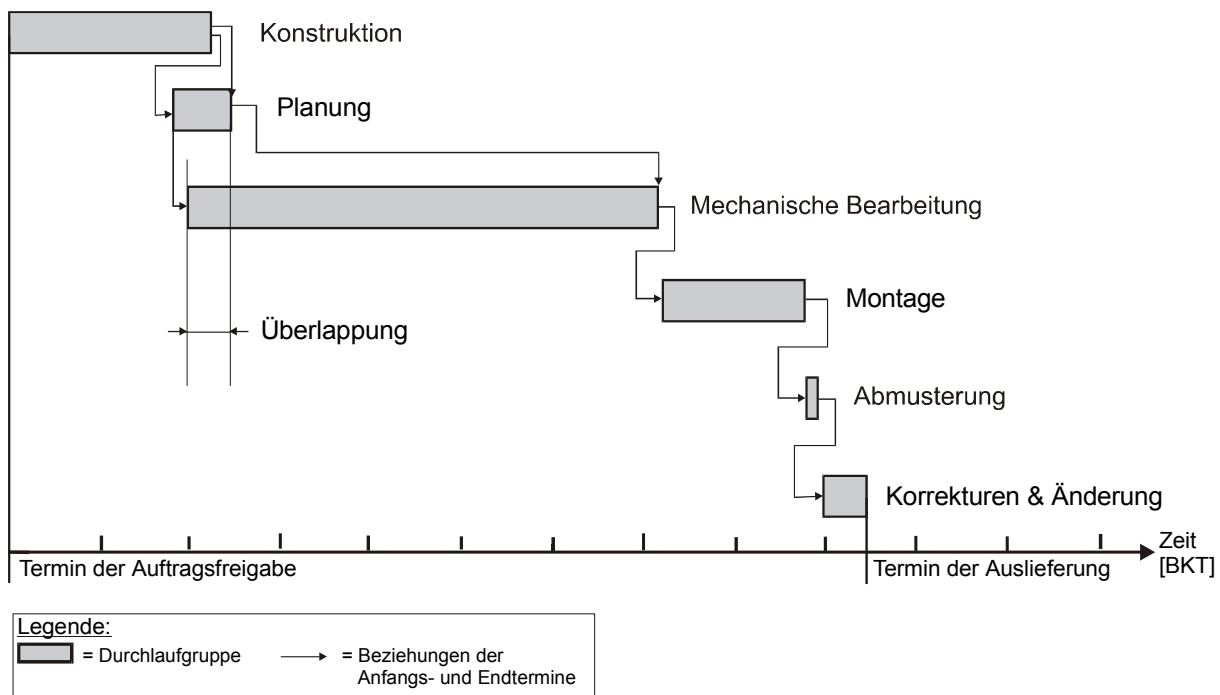
Das Grundgerüst für die Erstellung einer Feinplanung bildet die Erzeugnisstruktur. Die einzelnen Stufen in der Erzeugnisstruktur werden durch den logistischen Parameter Durchlaufzeit, die Übergänge zwischen den Arbeitsplätzen anhand einer Übergangszeittabellen bestimmt. Die der Durchlauf- und Kapazitätsrechnung zugrundeliegenden Daten erlauben daher eine genaue Vorhersage der Abläufe in der Auftragsbearbeitung.

Die Grobplanung entspricht in ihrem Ablauf der Feinplanung. Sie betrachtet die gesamte Auftragsabwicklung von der Konstruktion bis zur Fertigstellung. Der Planungshorizont der Grobplanung ist die Auftragsdurchlaufzeit, so dass bei Auftragseingang festgestellt werden kann, ob die vorhandenen Kapazitäten ausreichen, um den Auftrag termingerecht fertig zu stellen und eine gleichmäßige Kapazitätsauslastung gewährleistet ist.

Bei Beginn der Fertigung erfolgt eine Überführung des Grobplans in den Feinplan. Mit dem Beginn der Feinplanung ist bereits ein Drittel der Auftragsabwicklung beendet. In der Grobplanung werden die Einzeltermine der Auftragsabwicklung, welche in einer Auftragsübersicht abgetragen werden, gebündelt. Eine effiziente und erfolgreiche Planung eines Auftrags kann durch eine abgestimmte Grob- und Feinplanung erfolgen. Als Basis der Planung wird das erweiterte Produktmodell benötigt, um bei Beginn der Grobplanung hinreichend genaue Daten zugrunde legen zu können.

## 4.2 Methodische Planung mit Durchlaufgruppen

Grundlage der Auftragsplanung ist die Verwendung von logistischen Informationen aus dem Produktmodell. Diese Daten müssen in aggregierter Form in einen Ablaufplan überführt werden, der den Berechnungen zugrunde liegt. Um die logistischen Informationen abzubilden, werden Durchlaufgruppen zur Planung eingesetzt. Durchlaufgruppen sind in dieser Arbeit als Gruppen von Teilen eines Produkts definiert, die gleichartig durch die Fertigung laufen. Das bedeutet, die Teile werden auf den selben Maschinengruppen gefertigt und die Bearbeitungszeit auf den Maschinengruppen ist ähnlich. Mit diesen Durchlaufgruppen kann eine Terminierung der Aufträge sowie eine Meilenstein- und Kapazitätsermittlung erfolgen.

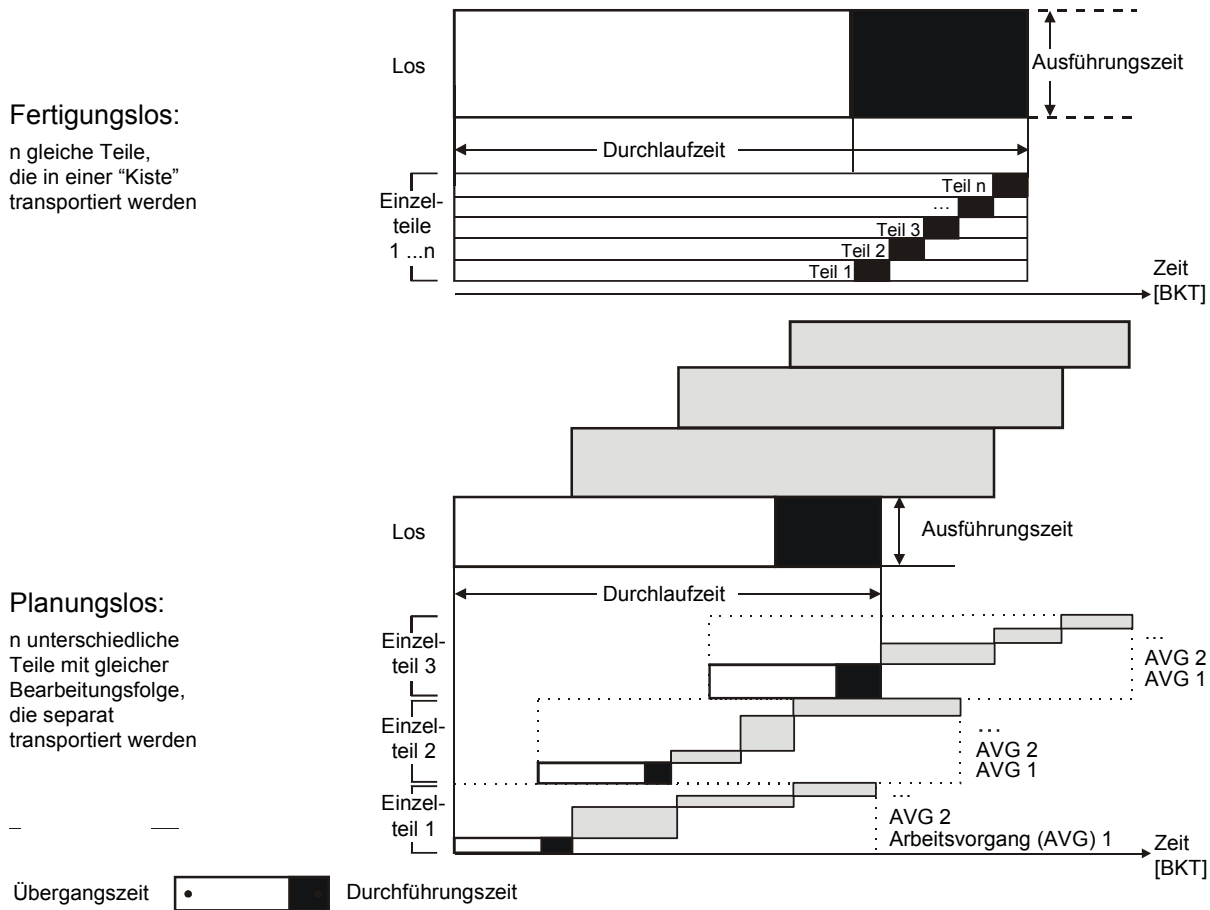


**Abbildung 4.2: Terminierung mit Durchlaufgruppen**

Die Auftragsplanung mit Hilfe von Durchlaufgruppen erzeugt als Ergebnis ein Balkendiagramm, in dem die Durchlaufgruppen als Elemente terminlich geordnet sind (Abbildung 4.3). Dieser Ablaufplan lässt keinen Rückschluss auf die Terminierung der Einzelteile zu. Er dient der Terminierung der Durchlaufgruppen. Das bedeutet, das Ende einer Durchlaufgruppe ist gleich dem Ende der Bearbeitung des letzten Einzelteiles und der Anfang einer Durchlaufgruppe ist gleich dem Anfang der Bearbeitung des ersten Einzelteiles. Eine Durchlaufgruppe bildet eine Anzahl von Einzelteilen mit ähnlichem Auftragsdurchlauf ab. Im Ablaufplan werden diese wie ein Los behandelt (Abbildung 4.3).

In der Logistik werden Lose als eine Anzahl von Teilen einer Sorte definiert, die ohne Unterbrechung des Fertigungsprozesses hintereinander hergestellt werden und in der Planung wie ein Teil behandelt werden. Diese Lose sind Fertigungslose, bei de-

nen Einzelteile dieselbe Maschine in identischer Bearbeitungszeit durchlaufen. Das bedeutet die Bearbeitungszeiten, die Übergangszeiten und Transportzeiten sind für jedes Einzelteil und das gesamte Los bekannt. Eine Zielgröße der Losbildung ist die Reduzierung der Rüstzeiten, um eine hohe Maschinenauslastung zu erreichen.



**Abbildung 4.3: Planungs- und Fertigungslose**

Durchlaufgruppen sind keine Fertigungslose. Sie beinhalten Einzelteile mit unterschiedlichen Bearbeitungszeiten. Durchlaufgruppen bestehen aus Einzelteilen, die gleichartig durch die Fertigung laufen und einen ähnlichen Bearbeitungszeitanteil auf einer Maschinengruppe haben, jedoch separat transportiert werden können. Sie sollen als Planungslose bezeichnet werden.

Planungslose werden in der Planung genutzt, um eine Grobplanung mit wenig Aufwand bei hinreichender Genauigkeit durchführen zu können. Die Flexibilität der Werkstattfertigung kann beibehalten werden, wenn die Grobplanung das Durchlaufverhalten und die Überlappungen der Durchlaufgruppen festlegt und die detaillierte Arbeitsfolgeplanung auf den Maschinengruppen direkt vor Beginn der Fertigung erfolgt. Sämtliche Einzelteile eines Planungsloses werden zum gleichen Zeitpunkt zur Freigabe in der Fertigung freigegeben, d.h. sämtliche Einzelteile werden in einem

bestimmten Zeitrahmen in der Fertigung bearbeitet, jedoch nicht zwingend zum selben Zeitpunkt.

Die Grobplanung gibt an dem durch die Ecktermine vorgegebenen Zeitpunkt das Planungslos zur Fertigungsfreigabe frei. Das bedeutet nicht gleichzeitig, dass die Einzelteile sofort gefertigt werden, sondern dass die Teile zur Fertigung zur Verfügung stehen. Durch die Ecktermine wird vorgegeben, ab wann ein Los frühestens im Fertigungsbereich bearbeitet werden kann und wann es spätestens abgeschlossen sein muss, damit der Auftrag pünktlich beendet werden kann.

Anhand der Planungslose können Kapazitäten abgeschätzt und Meilensteine geplant werden. In der Werkstatt erfolgt die Maschinenbelegung und die Freigabe der Einzelteile für die Fertigung. Die Meilensteine und die Kapazitäten der Grobplanung dienen dabei als Planungsgrundlage, die mit fortschreitender Auftragsbearbeitung ausgearbeitet wird. Es erfolgt eine zentrale Grobplanung der Planungslose und eine dezentrale Feinplanung der Einzelteile.

#### **4.2.1 Ablauf der Auftragsplanung**

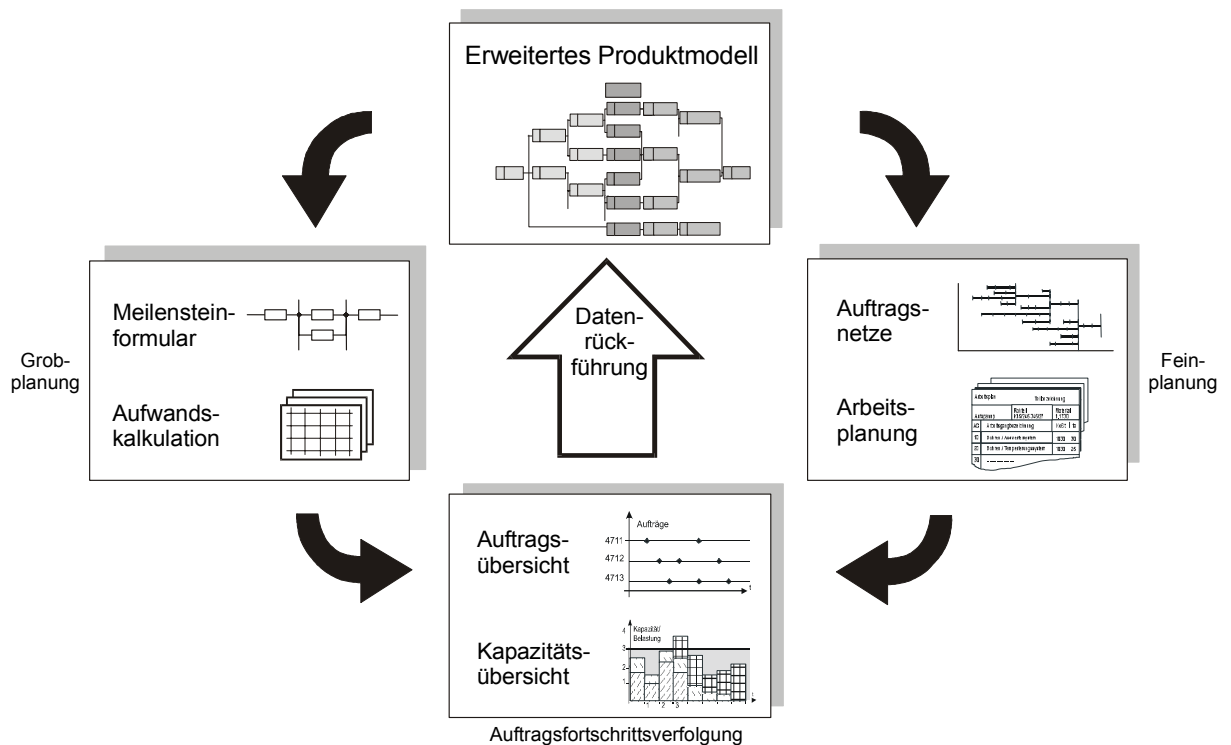
Ein Auftrag wird in der Grobplanung in unterschiedliche Durchlaufgruppen aufgeteilt. Erkenntnisse über das Durchlaufverhalten und die Überlappungen der Durchlaufgruppen liegen durch das erweiterte Produktmodell vor und können entsprechend des herzustellenden Produkts abgerufen werden.

Anhand der Grobplanung mit den Durchlaufgruppen kann eine Terminierung erfolgen. Aus den bekannten Aufteilungen der Durchlaufgruppen werden die ungefähren Bearbeitungszeiten für ein zu fertigendes Teil den einzelnen Bereichen entnommen und addiert. Die Werte aus der Kalkulation werden mit diesen Werten verglichen, gegebenenfalls aktualisiert. Anschließend erfolgt eine Terminierung der Durchlaufgruppen.

In der Grobplanung werden die Meilensteine zur Auftragsverfolgung festgelegt. Als Ergebnis entsteht eine Kapazitäts- und Auftragsübersicht für die Auftragsfortschrittsüberwachung. Zur Aktualisierung der Feinplanung werden die Daten in das erweiterte Produktmodell zurückgeführt. Die Daten werden in der Feinplanung detailliert. Dabei fließen die Ergebnisse der Konstruktion und der Arbeitsplanung in die Feinplanung ein, ebenso wie die Entwürfe der Grobplanung (Abbildung 4.4).

Rückmeldungen der Ist-Bearbeitungszeiten gehen in die gemeinsame Darstellung der Fein- und Grobplanung zurück. Rückmeldedaten werden im erweiterten Produktmodell abgelegt und beiden Planungsebenen zur Verfügung gestellt. Während in der Feinplanung bei Abweichungen beispielsweise die Maschinenbelegungsliste aktualisiert wird, erfolgt eine Anpassung der Grobplanung bei Änderungen, die den Gesamtablauf des Auftrags nachhaltig in Frage stellen. Die Rückmeldungen werden in der Grobplanung akkumuliert und mit dem geplanten Auftragsverlauf abgeglichen,

um bei gravierenden Abweichungen reagieren zu können. Durch die Datenrückführung entsteht ein geschlossener Kreis der Auftragsabwicklung.



**Abbildung 4.4: Aktualisierung der Grobplanung durch Feinplanungsdaten**

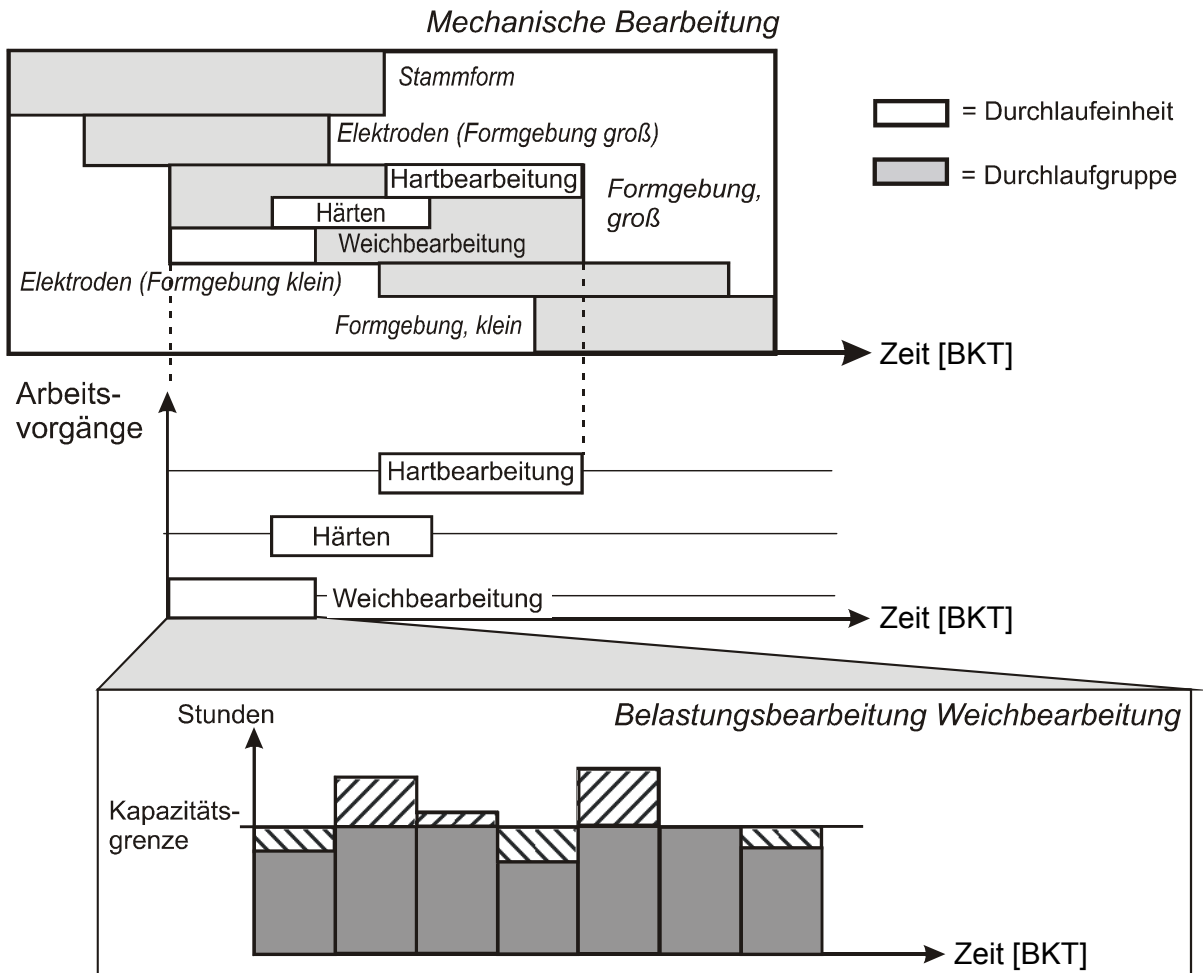
### 4.2.2 Kapazitäten und Meilensteine

Die Grobplanung baut auf den Durchlaufgruppen auf. Die Durchlaufgruppen sind die oberste Ebene der Planung. Eine Durchlaufgruppe setzt sich aus Durchlaufeinheiten zusammen (Abbildung 4.5, oben).

In der Durchlaufgruppe ‚Mechanische Bearbeitung‘ erfolgt eine Aufteilung in die Durchlaufgruppen Stammform, Elektroden und Formgebung groß sowie Elektroden und Formgebung klein. Die Formgebung (groß) kann dabei in die Durchlaufeinheiten Weichbearbeitung, Härten und Hartbearbeitung aufgeteilt werden. Die Weichbearbeitung beinhaltet die Information über die Bearbeitungsverfahren bzw. Verrichtungsarten, die im Rahmen der Weichbearbeitung zum Einsatz kommen.

Die verschiedenen Verrichtungsarten können durch Auftragsnetze dargestellt werden. Auftragsnetze beinhalten bestimmte Tätigkeitskombinationen mit festgelegter Belastungsdauer und Kapazitätsauslastung und können je nach Anforderung zusammengesetzt werden.

Diese Struktur erlaubt bei Kenntnis der ungefähren Anzahl an Einzelteilen einer Durchlaufgruppe eine Verteilung der erwarteten Stunden auf die Maschinengruppen und die Festlegung der Zeitdauer, die für diese Durchlaufgruppe benötigt wird.



**Abbildung 4.5: Kapazitätsplanung mit dem erweiterten Produktmodell**

Durch die Addition der Belastungsdauern in den Durchlaufeinheiten können die Belastungen für die Durchlaufgruppen ermittelt werden und es kann eine Terminierung des Auftrags erfolgen. Anhand der Grobplanung kann frühzeitig festgestellt werden, ob der vereinbarte Liefertermin eingehalten wird und wie sich die Belastung über die Zeit verteilt.

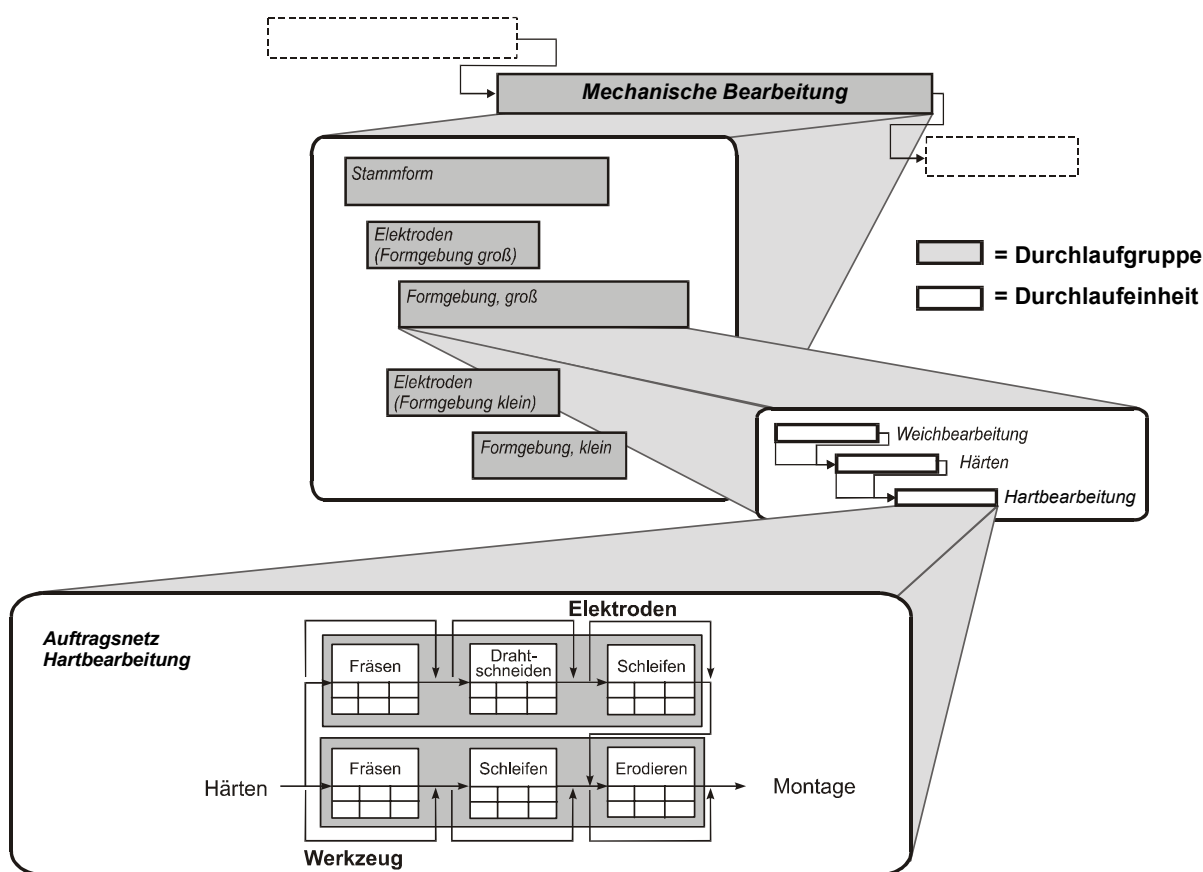
Die Belastungen bzw. Kapazitäten der verschiedenen Maschinen lassen sich aus den Durchlaufeinheiten ermitteln (Abbildung 4.5, unten). Für die Ausführung des jeweiligen Auftrags wird eine bestimmte Kapazität der Maschine benötigt. Diese benötigte Kapazität wird in der Kapazitätsübersicht der Maschine abgetragen.

Die Kapazitätsübersicht enthält die Belastung der Maschine durch die zukünftigen Aufträge über mehrere Perioden. Das System überprüft, ob die Maschine Kapazität besitzt, um den Auftrag auszuführen, und ermittelt, ob die Maschinen unter- oder ü-



überlastet ist. Bei einer Überlastung können entsprechende Gegenmaßnahmen wie Fremdvergabe dieses Arbeitsschrittes, Nutzung von Kapazitäten der Maschine in einer noch nicht ausgelasteten Periode oder Nutzung von Kapazitäten anderer Maschinen eingeleitet werden.

Für das Arbeiten mit Durchlaufgruppen werden die Durchführungszeiten in einem ersten Ansatz gleichmäßig über die gesamte Durchlaufzeit eines Fertigungsauftrags verteilt. In den Betriebsuntersuchungen stellte sich heraus, dass die Verteilung der Auftragszeit über die Durchlaufzeit in der Regel nicht als konstant angenommen werden kann. Für den Einsatz in der Praxis sollte daher die ungleichmäßige Verteilung der Aufwände über die Zeit in die Betrachtung einbezogen werden.



**Abbildung 4.6: Verdichtung von Standardnetzen zu einer Meilensteinübersicht**

Mit Hilfe der hierarchischen Durchlaufgruppen kann eine Grobterminierung des Auftrags und eine grobe Übersicht über die Kapazitäten erfolgen. Allerdings entsteht keine Verbindung zu einem realen Auftrag mit Einzelteilen. Zur Auftragsverfolgung können Meilensteine eingesetzt werden. Meilensteine sind Zeitpunkte an denen eine Auftragsfortschrittsüberwachung erfolgt. An diesen Zeitpunkten wird der Ist-Zustand

des Auftrags mit dem Soll-Zustand des Auftrags, der sich aus der Grobplanung ergibt, verglichen.

Diese Meilensteine werden in der Grobplanung anhand von Rückmeldepunkten in den Standardnetzen festgelegt. Rückmeldepunkte sind Fertigmeldungen von den verschiedenen Einzelteilen in den Durchlaufseinheiten. Eine Verdichtung der Rückmeldepunkte in die Durchlaufseinheiten führt zu einem Meilenstein. Diese Meilensteine werden in der hierarchischen Abfolge an die nächst höhere Durchlaufgruppe weitergegeben und lassen sich in der Auftragsübersicht darstellen (Abbildung 4.6).

### 4.2.3 Parametrisierung der Produktstruktur

In der durchlauforientierten Sicht auf das Produkt werden die Produktdaten mit den Daten der Auftragsabwicklung verbunden. Die Struktur ist für die Produkttypen (Spritzgießform, Schneidwerkzeug etc.) allgemeingültig. Die Ausprägungen ihrer Merkmale und die abgeleiteten Durchlaufpläne variieren hingegen. Um diese Variationen im Modell abzubilden, wurde die Erzeugnisstruktur parametrisiert (Abbildung 4.7). Bei der Parametrisierung werden unterschiedliche Produkttypen über Strukturmerkmale und Strukturschlüssel abgebildet.

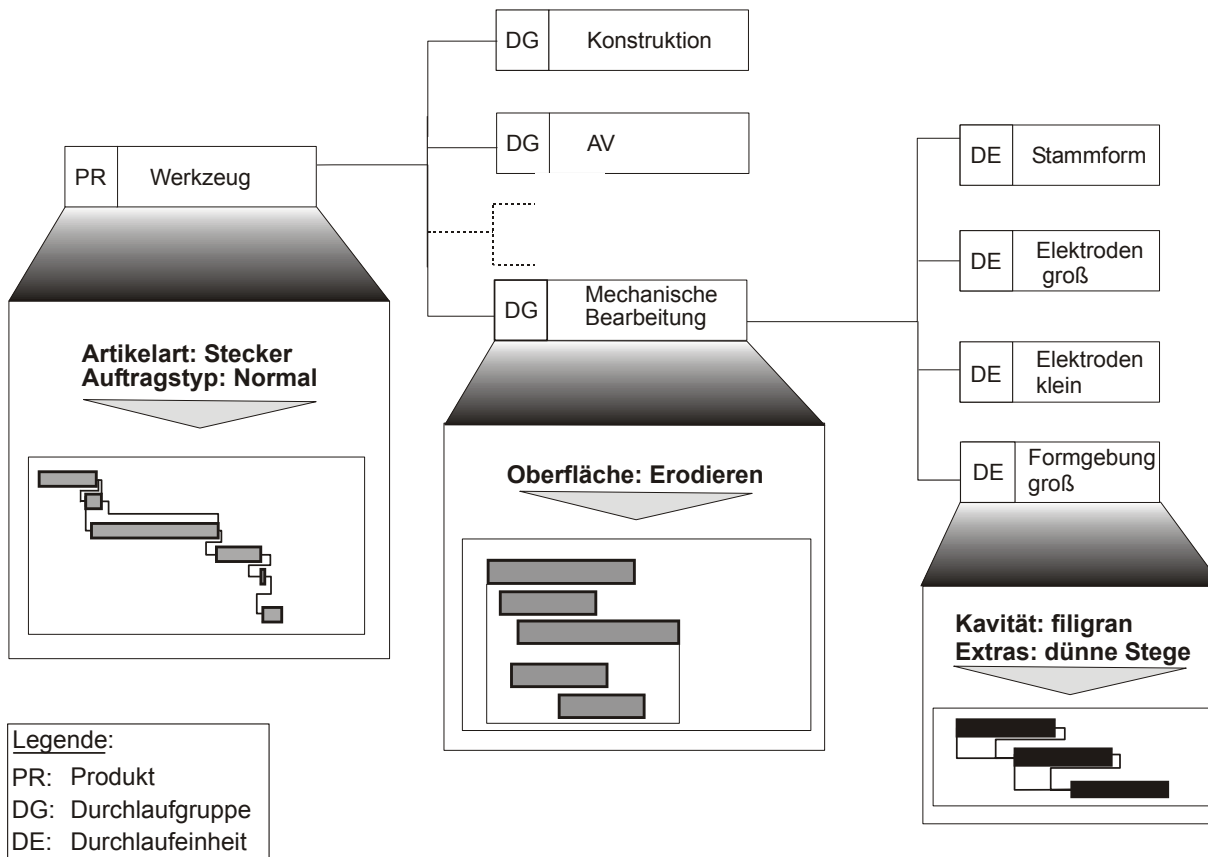


Abbildung 4.7 Parametrisierte Erzeugnisgliederung

Strukturmerkmale können artikelbezogen, kundenbezogen oder auftragsartbezogen gegliedert sein. Artikelbezogene Strukturmerkmale werden in konstruktive Merkmale (z.B. Stanz- oder Biegewerkzeuge), fertigungstechnische Merkmale (z.B. Oberflächenbeschaffenheit, Toleranz) und logistische Merkmale (Anzahl der Teile in den Durchlaufgruppen) unterschieden.

Die kundenbezogenen Strukturmerkmale können Rückmeldezeitpunkte sein, an denen der Kunde über den Auftragsfortschritt informiert werden möchte. Gerade im Werkzeug- und Formenbau, der häufig bereits während der Produktentwicklung des Kunden in den Produktenstehungsprozess einbezogen ist, sind kundenbezogene Strukturmerkmale in ausgeprägter Form zu finden. Die Kunden wollen informiert werden und in den internen Ablauf ihres Lieferanten eingreifen.

Ein weiteres Strukturmerkmal ist die Priorität des Auftrags. Es kann unterschieden werden zwischen Reparatur-, Eil- oder Normalauftrag. Die Priorität des Auftrags hat Einfluss auf die Flussgrade und Überlappungsgrade der Durchlaufgruppen und -einheiten, da nicht die durchschnittlich kalkulierten Liege- und Übergangszeiten anfallen und sich dadurch die Durchlaufzeit dieses Auftrags verringert. Eilaufträge dürfen nur zu einem geringen Prozentsatz auftreten, da andernfalls der gesamte Planungsansatz in Frage gestellt wird.

Die Strukturmerkmale der Durchlaufgruppen werden in den Durchlaufeinheiten zu Parametern, den sogenannten Strukturschlüsseln. Diese Strukturschlüssel bestimmen wie die Einzelteile bearbeitet werden sollen. Über den Produktschlüssel kann angegeben werden, wie die Oberflächen eines Einzelteiles einer Durchlaufeinheit beschaffen sein soll oder welche Komplexität beispielsweise eine Kavität besitzt.

Um Durchlaufeinheiten auf Maschinengruppen zuordnen zu können, erfolgt eine Aufteilung der Einzelteile einer Durchlaufeinheit in Bearbeitungszeitklassen, anhand des Strukturschlüssels „Auftragszeit.“ Damit werden die Einzelteile je nach ihrer Bearbeitungszeit unterschiedlichen (logistischen) Maschinentypen zugeordnet. Dieses Strukturmerkmal beeinflusst direkt den Wert der Übergangszeiten, die für die Terminierung verwendet werden.

Die Varianten der Durchlaufgruppen bestimmen die prozentualen Aufwandsanteile der Durchlaufeinheiten an den Durchlaufgruppen und beinhalten den Schlüssel zur Aufteilung der Stundenanteile auf Maschinengruppen. Damit kann eine Kapazitätsreservierung vorgenommen werden.

Basis der Durchlaufterminierung sind aufbereitete Vergangenheitsdaten, anhand derer Bearbeitungszeiten auf den Maschinen und Bearbeitungszeiten der Durchlaufeinheiten pro Maschine ermittelt werden. Auf diese Weise ergibt sich die Durchlaufzeit pro Durchlaufeinheit, welche zu der Durchlaufzeit der Durchlaufgruppe gebündelt wird.

### 4.3 Anforderungen an die organisatorische Einbindung im Unternehmen

Mit Hilfe der beschriebenen Methode zur Auftragsplanung und -verfolgung kann im Werkzeug- und Formenbau eine Planung des Auftragsdurchlaufes auf Basis von Durchlaufgruppen und -einheiten erfolgen. Sie leistet die Prognose der benötigten Durchlaufzeiten, die Ableitung der zu erwartenden Belastung der Ressourcen und die Definition von Meilensteinen. Notwendige Voraussetzung ist die Erzeugung und Pflege von logistischen Plandaten, die im Produktmodell abgelegt sind.

Verantwortlich für Struktur und Qualität der Daten sowie den gesamten Planungsprozess sollte eine Stelle im Unternehmen sein, die in direktem Kontakt zum Kunden steht und intern die gesamte Prozesskette wie eine Auftragsleitstelle überblickt. Gerade für den Werkzeug- und Formenbau ist von Bedeutung, ob es sich um ein Entwicklungsprojekt gemeinsam mit einem Kunden handelt, in dem die Planungssicherheit aufgrund technischer oder terminlicher Änderungen gering ist, oder um weitgehend fixierte Aufträge. Lösungsansätze für eine geeignete Organisation werden in Kapitel 5 beschrieben.

Um diesen Plan für die Durchsetzung der Aufträge einsetzen zu können, müssen die für eine effiziente Auftragsabwicklung und -verfolgung einsetzbaren organisatorischen Strukturen vorhanden und mit den geeigneten Hilfsmitteln ausgestattet sein. Während die Prozesse in Konstruktion und Arbeitsplanung durch die Auftragsleitstelle gesteuert werden können, müssen die Meister für Fertigung und Montage detailliertere Informationen über den Stand einzelner Bearbeitungsschritte haben. Wichtig ist eine Verknüpfung der Informationen aus Grob- und Feinplanung über eine Datenbank, um Meilensteine verfolgen und bei Abweichungen informieren und Gegenmaßnahmen ergreifen zu können.

## 5 Organisation und Ablauf der Auftragsdurchsetzung

Die Erstellung eines Ablaufplans ist eine wichtige Grundlage für die erfolgreiche Bearbeitung einer Aufgabe. Dies gilt im Bereich der Produktion ebenso wie bei Projekten. Da gerade in Unternehmen des Werkzeug- und Formenbaus bei der Durchführung eines Plans viele Abweichungen auftreten, muss die Einhaltung überwacht und bei Abweichungen entsprechende Änderungen vorgenommen werden. Dafür sind neben einer geeigneten Organisationsstruktur Werkzeuge erforderlich, die eine permanente Überwachung des Fortschritts und Ressourceneinsatzes ermöglichen.

Im folgenden Abschnitt wird die für den Einsatz der beschriebenen Planungsmethode geeignete Organisationsstruktur aufgezeigt. Für diese Organisation werden die Hilfsmittel, die für die Auftragsverfolgung und -durchsetzung eingesetzt werden sollten, beschrieben.

### 5.1 Organisationsformen für die Auftragsabwicklung

Unternehmen sind gefordert, sich entsprechend den internen und externen Randbedingungen zu organisieren, so dass eine kundenorientierte und effiziente Auftragsabwicklung ermöglicht wird. Dabei hat die Organisation die Funktion, Vorgänge, die einen Wiederholungscharakter aufweisen, zu strukturieren. Generelle Regelungen werden getroffen, die die Aufgaben von Mitarbeitern festlegen und eine optimale Erfüllung dieser Aufgaben gewährleisten.

Die Aufbauorganisation übernimmt die Aufgabengliederung und die Zuordnung der Aufgaben zu Personen. In der Aufbauorganisation erfolgt die Bildung von Organisationseinheiten (Abteilungen, Arbeitsgruppen, Stellen) sowie die Festlegung der Weisungs- und Informationsbeziehungen zwischen den Organisationseinheiten. Damit wird die hierarchische Gliederung des Unternehmens in Organisationseinheiten und deren Beziehungen zueinander bestimmt. (*Braun 1996*)

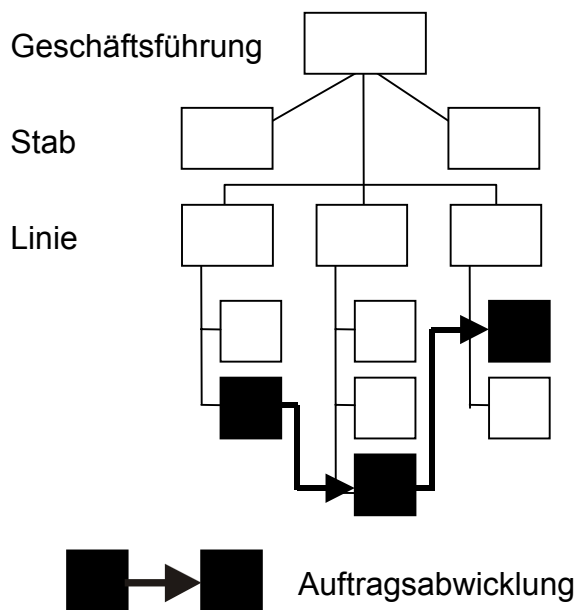
Diese Gliederung des Unternehmens lässt sich durch verschiedene Grundformen der Aufbauorganisation darstellen. In den Grundformen werden zwei Arten von Abteilungen unterschieden: Linienabteilungen, welche Handlungs- und Entscheidungsverantwortung besitzen und Stabsabteilungen, welche Informations- und Beratungsfunktionen haben. (*Deuschle 1995*).

Weiterhin enthält die Unternehmensorganisation auch eine Ablauforganisation. Die Ablauforganisation regelt den räumlichen und zeitlichen Ablauf der Aufgabenerfüllung, die Verantwortlichkeit für einzelne Ablaufschritte bzw. an den Schnittstellen. Dabei werden Bearbeitungsvorgänge, -reihen, -folgen, -zeiten sowie der Transport von Sachgütern und Informationen betrachtet. Es wird der Ablauf der normalen Geschäftsvorfälle gesteuert und ein rationelles und einheitliches Vorgehen gewährleistet. Die wichtigsten Ziele der Ablauforganisation sind die Minimierung der Durchlaufzeiten und Optimierung der Kapazitätsauslastung.

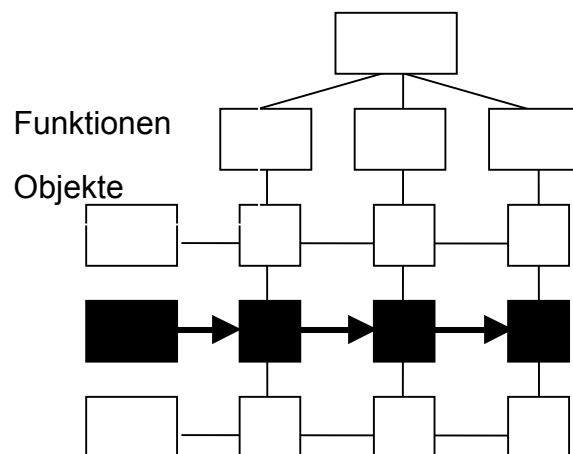
Anhand der Merkmale Spezialisierung und Verantwortlichkeit lassen sich verschiedene Organisationsformen charakterisieren. Grundsätzlich lassen sich die Linien-, die Matrix- und die Prozessorganisation unterscheiden.

Die Linienorganisation ist funktionsorientiert mit Tendenzen zur Entscheidungscentralisation. Dabei bedeutet Entscheidungscentralisation die Bündelung von Entscheidungsbefugnissen in den höheren Hierarchieebenen. Die einzelnen Organisationseinheiten sind auf einen bestimmten Auftragsteil spezialisiert. Jede Abteilung bearbeitet ihren Auftragsteil und nach Beendigung der Bearbeitung wird das Ergebnis an die nächste Organisationseinheit weitergereicht. Der einzelne Auftrag durchläuft die Abteilungen nacheinander und die Ressourcen werden optimal ausgenutzt. (Eversheim 1999a) Eine parallele Bearbeitung erfolgt in der funktionsorientierten Organisationsform in der Regel nicht (Abbildung 5.1) Dies stellt hohe Anforderungen an die Koordination, damit die Aufträge optimal die Organisationseinheiten durchlaufen.

### a) Linienorganisation



### b) Matrixorganisation



**Abbildung 5.1: Organisationsformen in Unternehmen**

Im Gegensatz zur Linienorganisation ist die Prozessorganisation in ihrem strukturellen Aufbau an den betrieblichen Prozessen ausgerichtet. Die Aufbauorganisation ist den Bedingungen des Ablaufs untergeordnet (Corsten 1997). Prozessorientierung ist gleichzeitig eine Objektorientierung, d.h. die Organisationseinheiten werden an Prozessen bzw. an Ketten zusammenhängender Aktivitäten zur Erstellung eines Produkts ausgerichtet. (Picot 1996)

Die Vorteile einer Ausrichtung der Aufbauorganisation an den Prozessen bestehen in einer Komplexitätsreduktion durch Schaffung produktorientierter Einheiten und Kapazitätsentflechtungen sowie in einer verstärkten Integration betrieblicher Abläufe

durch Funktionsintegration und Schnittstellenabbau. In der Prozessorientierung treten an die Stelle von unternehmens- bzw. bereichsintern optimierten Abläufen, unternehmensübergreifend optimierte Prozesse. Dazu müssen team- bzw. projektorientierte, flexible und reaktionsfähige prozessorientierte Strukturen eingesetzt werden.

Einen Mittelweg zwischen Linien- und Prozessorganisation bildet die Matrixorganisation. In der Regel sind die Objekte an Märkten oder bestimmten Produktgruppen ausgerichtet und werden einheitlich durch eine Abteilung oder einen Objektleiter gegenüber Kunden vertreten. Funktionen wie Konstruktion oder Produktion werden in Linie geführt, um Know-how zu bündeln und die Ressourcen optimal zu nutzen. Dabei entstehen zwischen Objekt- und Funktionsleitern Kompetenzschnittpunkte, für die Entscheidungsregeln definiert sein müssen.

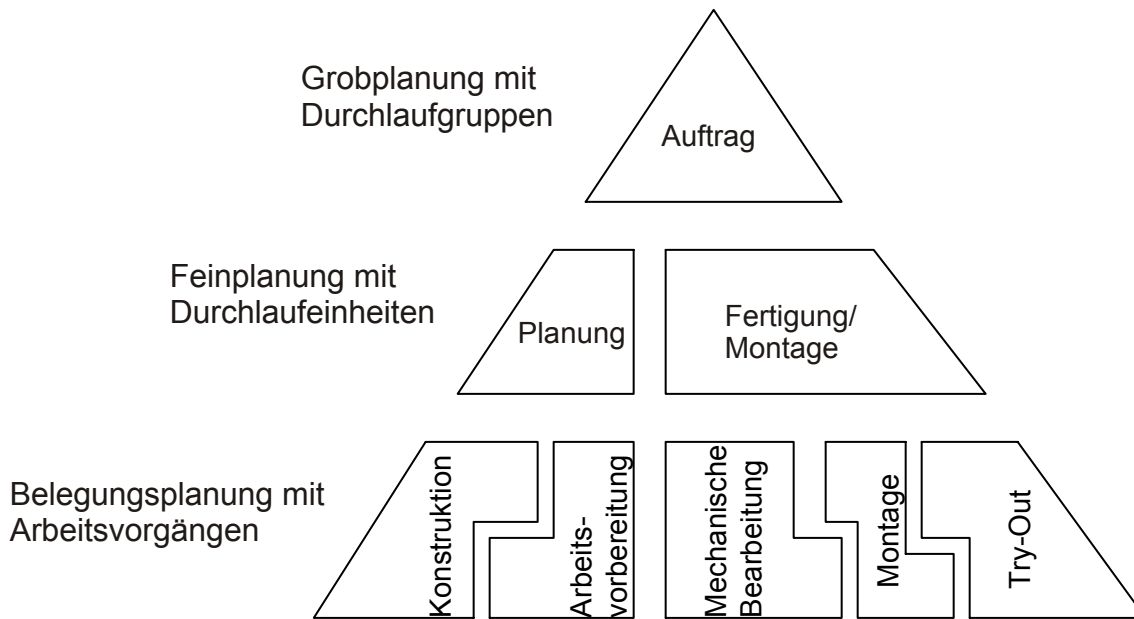
Im Werkzeug- und Formenbau ist die Organisation meist arbeitsteilig gegliedert, d.h. sie besteht aus einer funktionsorientierten Organisationsform. Dennoch ist aufgrund des Projektcharakters der Aufträge eine immanente Prozessorientierung vorhanden. Eine vollständige Prozessorientierung ist aufgrund der geringen Größe der Betriebe und des inhomogenen Auftragspektrums in der Regel nicht umsetzbar.

Für die Gestaltung der Verantwortlichkeiten und die Zuordnung der Aufgaben der Auftragsabwicklung zu Organisationseinheiten ist daher ein wichtiges Kriterium die Berücksichtigung der Anzahl der Schnittstellen zwischen Abteilungen und damit der zu erbringenden Koordinationsaufgaben. Der hohe Koordinationsaufwand, der sich aus einer Vielzahl von Schnittstellen ergibt, führt zu längeren Durchlaufzeiten. Zudem sind bei einer hohen Anzahl von Schnittstellen kurzfristige Auftragsänderungen der Kunden mit hohem Aufwand verbunden. (*Schönheit 1994*)

Mit Hilfe einer hierarchischen Gliederung der Aufgaben und einer entsprechenden hierarchisch strukturierten Planungs- und Steuerungsmethode kann eine erfolgreiche Mischung der funktions- und prozessorientierten Organisationsform erreicht werden. Typisch für den Werkzeug- und Formenbau ist eine funktionsorientierte Aufbauorganisation, die mit einer prozessorientierten Ablauforganisation verbunden ist.

## 5.2 Gliederung der Funktionen

Die in den vorherigen Kapiteln beschriebene Methode der Auftragsplanung unterstützt die Prozessorientierung. Die Grobplanung erfolgt zentral, die Feinplanung orientiert sich an den Prozessen des Auftragsablaufes (Abbildung 5.2), der Planung, die Konstruktion und Arbeitsvorbereitung umfasst, und Fertigung/ Montage, die mechanische Bearbeitung, Montage und Erprobung (Try-Out) enthalten. Zwischen Planung und Fertigung/ Montage besteht dabei eine Schnittstelle, die durch effiziente Kommunikations- und Informationsflüsse optimal gestaltet werden muss. In den Bereichen erfolgt dann die Auftragsdurchsetzung anhand einer Belegungsplanung durch den Fertigungsleiter bzw. Meister.



**Abbildung 5.2: Ebenen der Auftragsplanung**

Die Auftragsgrobplanung mit der Terminplanung sollte von einer Zentralstelle vorgenommen werden, die den gesamten Ablauf überblickt und im Kontakt zum Kunden steht. Ein geeigneter Ansatz dafür ist eine Auftragsleitstelle.

Die Feinplanung und die Belegungsplanung zur Auftragsdurchsetzung erfolgt dezentral in den Funktionsbereichen. Dazu müssen Aufgabenbereiche festgelegt, Eingangs- und Ausgangsinformationen der einzelnen Bereiche klar definiert und die Rechte und Pflichten der einzelnen Leistungseinheiten in der Organisation bestimmt werden (*Weil 2000*). Geeignete Hilfsmittel für die Unterstützung dieser Mischform aus zentraler Grobplanung und dezentraler Feinplanung sind eine hierarchische Strukturierung der Auftragsabwicklung.

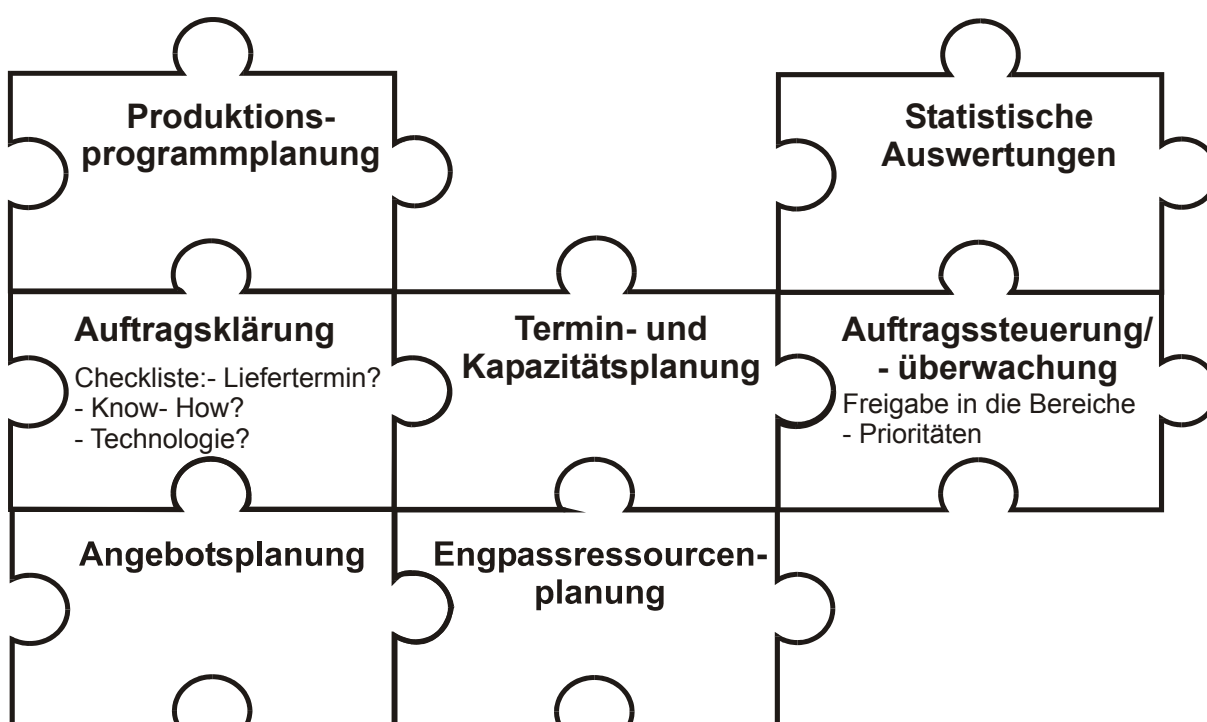
Die hierarchische Strukturierung der Organisationsform ist die Aufspaltung von Planungs- und Steuerungsaufgaben in mehrere hierarchisch angeordnete Planungsebenen. Ziel ist die Reduktion der Organisationskomplexität und die Erleichterung der Aufgabenlösung (*Kuhlmann 1994*). Planungsvorgaben werden von oben nach unten gegeben und Rückmeldungen über den Auftragsverlauf von unten nach oben. Diese Datenrückführung in verdichteter Form entlastet die oberen Entscheidungsebenen.

In der effizienten Auftragsabwicklung der Einzel- und Kleinserienfertigung erfolgt eine hierarchische Strukturierung in Form von einer Aufteilung in eine Auftragsgrobplanung, Feinplanung und Belegungsplanung. Dabei sollte jedem Auftrag ein Projektbetreuer zugeordnet werden, der den Durchlauf des gesamten Auftrags begleitet und die Auftragsverantwortung gegenüber dem Kunden übernimmt. (*Tönshoff 1997, Paul 1991*)



Diese hierarchische Strukturierung der Auftragsabwicklung sollte durch eine Auftragsleitstelle als Steuerungsebene für die verschiedenen Aufträge unterstützt werden (Abbildung 5.3). Neben den Kernaufgaben Auftragsklärung, Termin- und Kapazitätsplanung und Auftragssteuerung und -überwachung ist eine der wichtigsten Tätigkeiten einer Auftragsleitstelle, die Auftragsabwicklung für alle Bereiche transparent zu gestalten und die Koordination aller terminrelevanten Informationen zu gewährleisten. (Böhmer 1994)

Die Terminvorgaben beschränken sich – wie bei der hierarchischen Strukturierung – auf Ecktermine, innerhalb derer die Fertigungseinheiten eine Feinplanung und Steuerung der Detailabläufe eigenständig durchführen.



**Abbildung 5.3: Funktionen der Auftragsleitstelle [Böhmer]**

Die Mitarbeiter der Auftragsleitstelle sind in der Regel nicht für die inhaltliche Durchführung von auftragsbezogenen Tätigkeiten verantwortlich, sondern für die Überwachung und Koordination der Auftragsabwicklung und -ablaufes. (Dräger 1994, Eversheim 1999b) So ist der Mitarbeiter an der Maschine zuständig für die Festlegung der Auftragsreihenfolge innerhalb eines Tages, der Meister für die Reihenfolgeplanung der Aufträge innerhalb von drei Tagen und die Fertigungssteuerung für die Festlegung der Auftragsreihenfolge innerhalb einer Woche. (Weil 2000)

Weiterhin werden in der Auftragsleitstelle Dateien mit Plandurchlaufzeiten und -kosten für Baugruppen und Endprodukte gepflegt und verwaltet, die die Grundlage für die Produktionsprogrammplanung bilden. Es werden die Engpassressourcen ge-

steuert, die den Liefertermin bestimmen und alle erforderlichen Informationen für eine Auftragsabwicklung zur Verfügung gestellt. (*Große-Wienker 1993*)

Damit diese Aufgaben von der Auftragsleitstelle wahrgenommen werden können, müssen die Terminvorgaben regelmäßig mit den Fertigungsbereichen abgestimmt werden und die Rückmeldung über den Auftragsfortschritt muss zuverlässig sein. Die Methode zur hierarchischen Auftragsplanung und das Datenmodell bieten den Mitarbeitern der Auftragsleitstelle die Ecktermine zur Auftragsverfolgung und die Plandaten für eine Bewertung der Rückmeldungen. Dadurch lassen sich auf den unterschiedlichen Ebenen der Auftragsverfolgung geeignete Informationen in verdichteter Form zur Verfügung zu stellen.

### **5.2.1 Reihenfolge- und Belegungsplanung**

Im Anschluss an die Terminplanung durch die Auftragsleitstelle erfolgt die Belegungs- und Reihenfolgeplanung. In der Belegungsplanung werden die Aufträge mit ihren Arbeitsgängen exakt auf einzelne Arbeitsplätze eingeplant, nachdem im Vorfeld Kapazitätsgruppen betrachtet wurden. Weiterhin können Anpassungen infolge von Störungen oder kurzfristigen Änderungen vorgenommen werden.

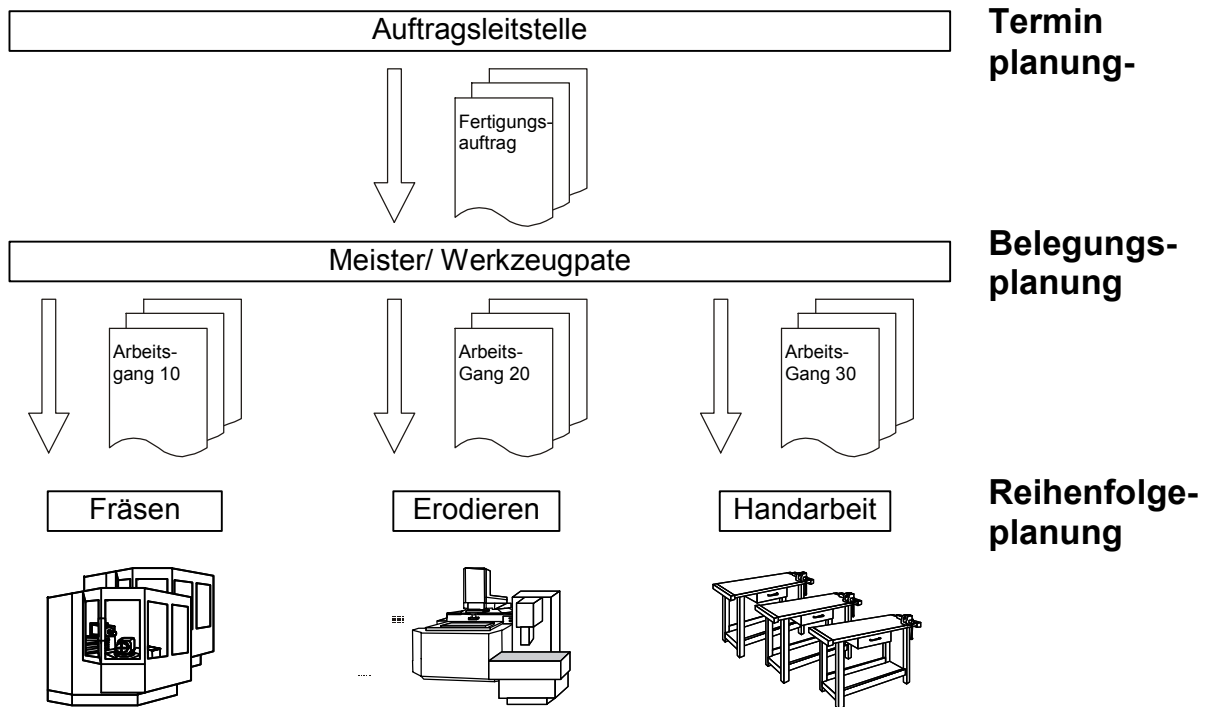
Der Projektbetreuer aus der Auftragsleitstelle gibt den Auftrag mit dem Meilensteinplan bzw. den Eckterminen in die Auftragsdurchsetzung. Die Auftragsdurchsetzung erfolgt durch den Meister oder einen Werkzeugpaten, der die Belegungsplanung durchführt und die Arbeitsgänge in den einzelnen Bereichen abarbeiten lässt (Abbildung 5.4).

Diese Aufgabe bedingt in der Regel, dass der Meister für die Auftragsfortschrittsüberwachung auf der Ebene der Auftragsdurchsetzung verantwortlich ist. Ein erfolgversprechendes Konzept ist, an Stelle eines Meisters aus der mechanischen Bearbeitung einen Werkzeugpaten einzusetzen. Dies ist ein Mitarbeiter aus der Montage, meist ein erfahrener Werkzeugmacher, oder ein Vorarbeiter. Insbesondere eine Zuordnung der Aufträge zu den Mitarbeitern, die die Endmontage durchführen sollen, ist zielführend. Diese Mitarbeiter behalten für ihre Aufträge den Überblick über den Gesamtfortschritt der Bearbeitung. Für die Durchführung und die Einhaltung der Ecktermine sind die Mitarbeiter der einzelnen Fertigungsbereiche verantwortlich. Sie müssen sich bei Verzögerungen des Auftrags vor dem Meister verantworten.

An den Eckterminen erfolgt die Rückmeldung von den Meistern an den Projektbetreuer über den Fortschritt der Aufträge. Dadurch kann der Projektbetreuer frühzeitig abschätzen, ob der Liefertermin eingehalten werden kann. Sollte dies nicht der Fall sein, besteht die Möglichkeit, entsprechende Maßnahmen zur Liefertermineinhaltung rechtzeitig einzuleiten und gegebenenfalls eine Auswärtsvergabe anzustoßen.

In dieser hierarchischen Strukturierung der Auftragsabwicklung ist der Projektbetreuer verantwortlich für die termingerechte Abwicklung insgesamt und für den planenden

Teil der Auftragsabwicklung, d.h. Konstruktion und Arbeitsplanung (Tönshoff 1997). Mitarbeiter werden durch die Auftragsleitstelle direkt beauftragt oder über den Abteilungsleiter indirekt von der Auftragsleitstelle angesprochen. Eine Rückmeldung muss wie in den direkten Bereichen zu den entsprechenden Meilensteinen erfolgen.



**Abbildung 5.4: Funktionen der Auftragsdurchsetzung**

Die Verwendung der durch die vorgestellte Planungsmethode erarbeiteten Plan- und Ist-Werte auf den unterschiedlichen Hierarchieebenen sollte durch geeignete Hilfsmittel für die Mitarbeiter unterstützt werden. Diese Hilfsmittel sind Darstellungen der Plan- und Ist-Werte der Aufträge, die für die spezifische Aufgabe angepasst sind. Die Hilfsmittel verwenden dieselbe Datengrundlage, so dass die Auswertung der Daten automatisch und damit zeitnah erfolgen kann. Die Verwendung dieser Hilfsmittel in der Auftragsverfolgung in Form eines hierarchischen Auftragsmonitorings wird im folgenden beschrieben.

### 5.2.2 Auftrags- und Kapazitätsüberwachung

Die Darstellungen der Planungsergebnisse können als Hilfsmittel zur Auftrags- und Kapazitätsüberwachung eingesetzt werden. Das Meilenstein-Formular, der Arbeitsplan, die Auftrags- und die Kapazitätsübersicht erzeugen eine bessere Transparenz der Auftragsabwicklung und eine gute Übersicht über die Aufträge auf allen Ebenen bei gleichzeitig geringem Aufwand für die Verfolgung des Auftragsfortschritts.

Bisher wurde mit einer detaillierten Terminplanung in der Werkstatt gearbeitet, anhand derer der Auftrag überwacht wurde. Bei Terminverschiebungen durch kurzfristige Änderungen führt dies zu einer unübersichtlichen Vielfalt von parallel zu bearbeitenden Planänderungen. Korrekte Informationen über den Auftragsfortschritt müssen mit hohem Aufwand sichergestellt werden.

Um diesem Aufwand bei der Aktualisierung der Pläne zu entgehen, wird mit einer hierarchischen Struktur mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden gearbeitet. Dabei erfolgt eine Verbindung der Grob- und Feinplanung durch die Meilensteine, die Durchlaufgruppen und die Durchlaufseinheiten des Produktmodells.

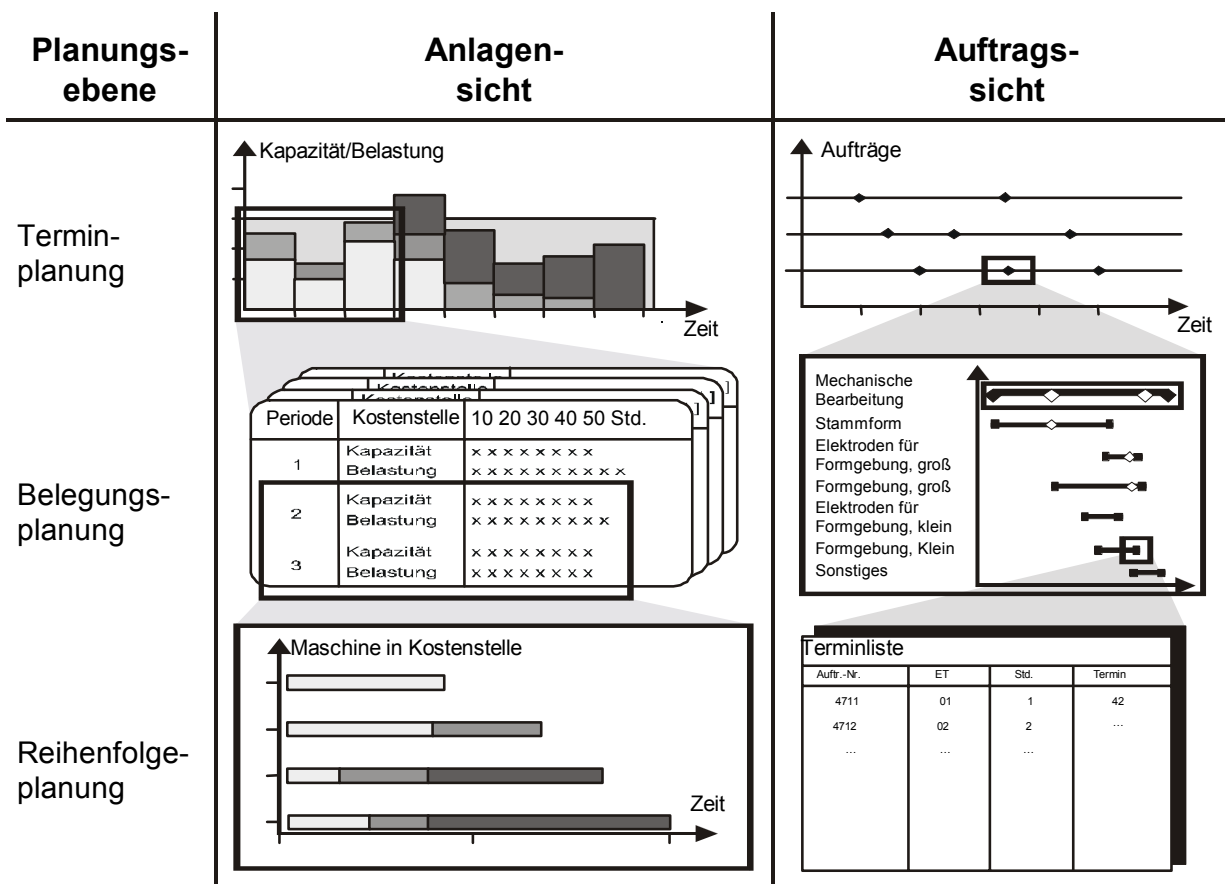


Abbildung 5.5: Hilfsmittel für die Auftrags- und Kapazitätsüberwachung

Die Meilensteine sind so hinterlegt, dass sie auf der Ebene der Belegungsplanung lediglich für die Bestimmung des spätesten Fertigstellungstermins dienen. Sie werden jeweils für die nächsthöhere Ebene verdichtet, so dass dort eine einfache Überwachung der in der Bearbeitung erzielten Fortschritte erfolgen kann. (Abbildung 5.5)

Aus der durchlauforientierten Sichtweise auf das Produkt und die darauf aufbauende Grobplanung kann sowohl die Anlagensicht als auch die Auftragsicht abgeleitet werden. Während die Auftragsicht eine Verfolgung der Termine ermöglicht, stellt die

Anlagensicht die für die Kapazitätsplanung notwendigen Informationen zur Verfügung.

Die Anlagensicht ist für Unternehmen des Werkzeug- und Formenbaus von geringerer Bedeutung, da eine hohe Anlagenauslastung aufgrund der notwendigen Flexibilität und Kundenorientierung keine hohe Priorität hat. Die Auslastungsübersicht in Abbildung 5.5 ergibt sich aus einer Kapazitäts- und Belastungsrechnung der verschiedenen Aufträge zu den zur Verfügung stehenden Anlagen. Die Darstellung kann auf dieser Ebene sowohl für übergeordnete Einheiten wie die gesamte Werkstatt als auch für einzelne Bereiche wie Fräsen oder NC-Programmierung abrufen. Für die Auftragsdurchsetzung wird diese Darstellung auf eine periodengenaue Abgrenzung von Belastung und verfügbarer Kapazität einzelner Kostenstellen, für die Belegungsplanung bis auf den Arbeitsvorrat der Maschinen detailliert.

In der Auftragssicht (Abbildung 5.6) sind auf Ebene der Terminplanung sämtliche Meilensteine aller freigegebenen Aufträge dargestellt. Sie ergeben sich aus den Meilensteinen, die für die Durchlaufgruppen der einzelnen Aufträge definiert wurden und anhand derer der Projektleiter den Auftragsfortschritt überwacht. Diese Meilensteine finden sich in den Durchlaufeinheiten und in den Arbeitsplänen wieder, so dass sie auf der Ebene der Belegungsplanung eindeutig bestimmt sind.

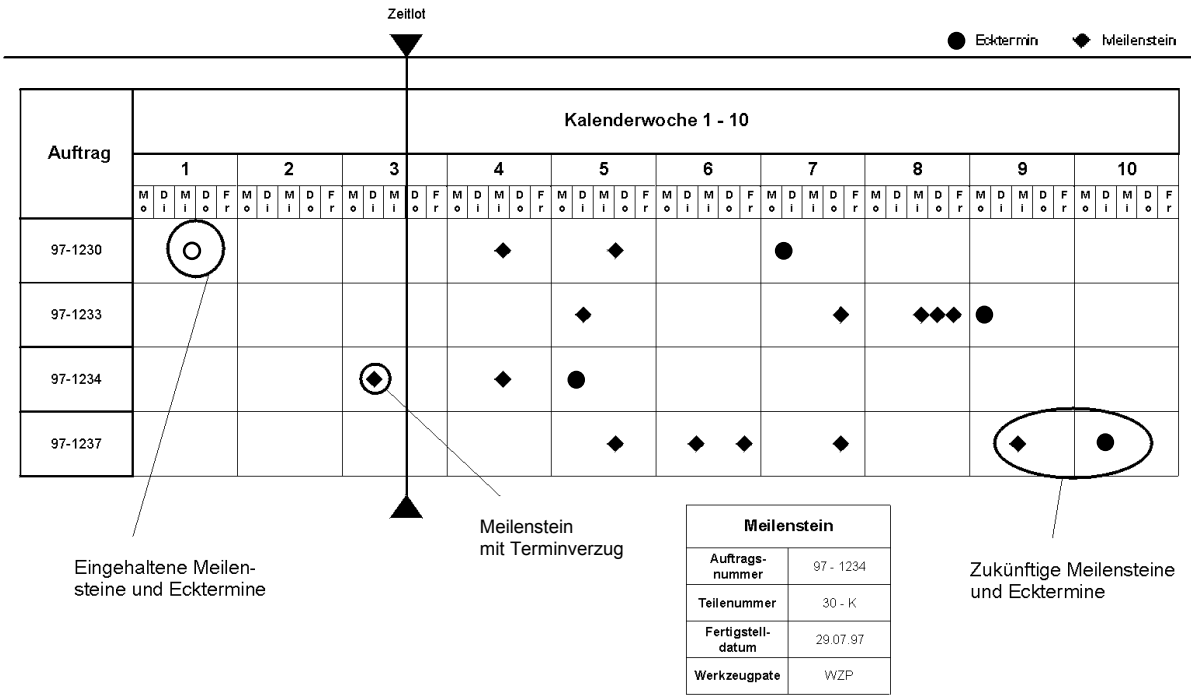
Die Definition der Meilensteine erlaubt darüber hinaus deren automatisierte Festlegung in der Arbeitsplanung, da sie zu eindeutigen Zeitpunkten, während der Bearbeitung der Einzelteile auftreten. Die Festlegung der Meilensteine kann anhand der Spezifikation der Einzelteile und ihrer Zuordnung zu einer Durchlaufgruppe bzw. Durchlaufeinheit vorgenommen werden. Somit sind die Meilensteine aus Planungssicht definiert und können durch ihre Integration in die Arbeitspläne und damit in die Rückmeldestrukturen ohne zusätzliche Aufwände im Rahmen der betrieblichen Datenerfassung im System abgeglichen werden.

Die Meilensteine können im betrieblichen Alltag für eine einfache Verfolgung des Auftragsfortschritts auf allen Ebenen von der Terminplanung bis zur Werkerebene verwendet werden. Ihre hierarchische Struktur sichert eine lückenlose Verfolgung, da hierarchisch von unten nach oben die Verdichtung zunimmt, während keine zusätzlichen Informationen in das System integriert werden.

Die Terminverfolgung der Aufträge erfolgt über eine Rückmeldung der bereits ausgeführten Arbeitsgänge an einem Auftrag zu einem bestimmten, vorher festgelegten Zeitpunkt, dem Meilenstein. Das bedeutet, es erfolgt eine Meldung an eine zentrale Auftragsüberwachungsstelle über den Ist-Zustand des Auftrags. Aus dieser kann die terminliche Darstellung abgeleitet und tatsächliche und geplante Belastung der Maschinen und der Kostenstellen nachgeführt werden.

Dabei ist es sowohl für die Meilensteindarstellung als auch für die Kapazitätsübersicht unerheblich, welches Einzelteil einer Durchlaufgruppe in welcher Reihenfolge

auf einem Arbeitssystem bearbeitet wurde. Betrachtet wird lediglich der kumulierte Ist-Zustand der Durchlaufgruppe am Zeitpunkt des Meilensteins.



**Abbildung 5.6: Auftragsverfolgung mit Meilensteinen**

Diese verdichtete Darstellung erlaubt aufgrund der ihr zugrunde liegenden Detailinformationen einen Abgleich zwischen dem geplanten und dem realisierten Auftragsfortschritt und die frühzeitige Detektion eines Auftragsverzuges. Dieser kann durch die Darstellung jedes Auftrags auf mehreren Detaillierungsebenen mit anderen Aufträgen abgeglichen werden, um dann geeignete Maßnahmen abzuleiten, die für Fertigung oder Konstruktion sinnvoll erscheinen. Die Betrachtung des einen Auftrags, der in Verzug geraten ist, und der parallel bearbeiteten Aufträge zeigt, dass in vielen Fällen ein unerwartet fortgeschrittener Fertigungszustand eines anderen Auftrags die Ursache des Verzugs ist. Der Abgleich zwischen den geplanten und den erbrachten Leistungen jedes Auftrags erlaubt eine fundierte Aussage, ob der Auftrag in der durch den zweiten Auftrag in der nächsten Planperiode freigewordenen Kapazitäten wieder in seinen planmäßigen Auftragsfortschritt eintreten kann, oder ob andere Maßnahmen ergriffen werden müssen.

Die Auftragsplanung mit Hilfe von Durchlaufgruppen erzeugt als Ergebnis ein Balkendiagramm, in dem die Durchlaufgruppen als Elemente terminlich eingeordnet sind. Der so erzeugte Ablaufplan lässt keinen direkten Rückschluss auf die Terminierung der Einzelteile zu. Jedoch bildet eine Durchlaufgruppe eine Anzahl von Einzelteilen ähnlichen Auftragsdurchlaufs, die im Ablaufplan wie ein Los behandelt werden.

Für die Auftragsdurchsetzung ist wichtig, dass der Fortschritt der Planungslose insgesamt dem geplanten Fortschritt entspricht. Hingegen ist nicht von Bedeutung welches Einzelteil einer Durchlaufgruppe bereits wie weit fortgeschritten ist. Um die Auftragsverfolgung zu erleichtern und Termine einzuhalten, sind für die Durchlaufgruppen Meilensteine definiert. Funktionsbereiche wie die Konstruktion oder die mechanische Bearbeitung können innerhalb der Planungslose und der Meilensteine flexibel disponieren, ohne dass der Ablaufplan seine Gültigkeit verliert. Bei dieser Form der Terminplanung und -verfolgung ist es sinnvoll, die Belegungsplanung im Rahmen der in der Durchlaufplanung festgelegten Eckwerte eigenverantwortlich in den ausführenden Bereichen zu belassen.

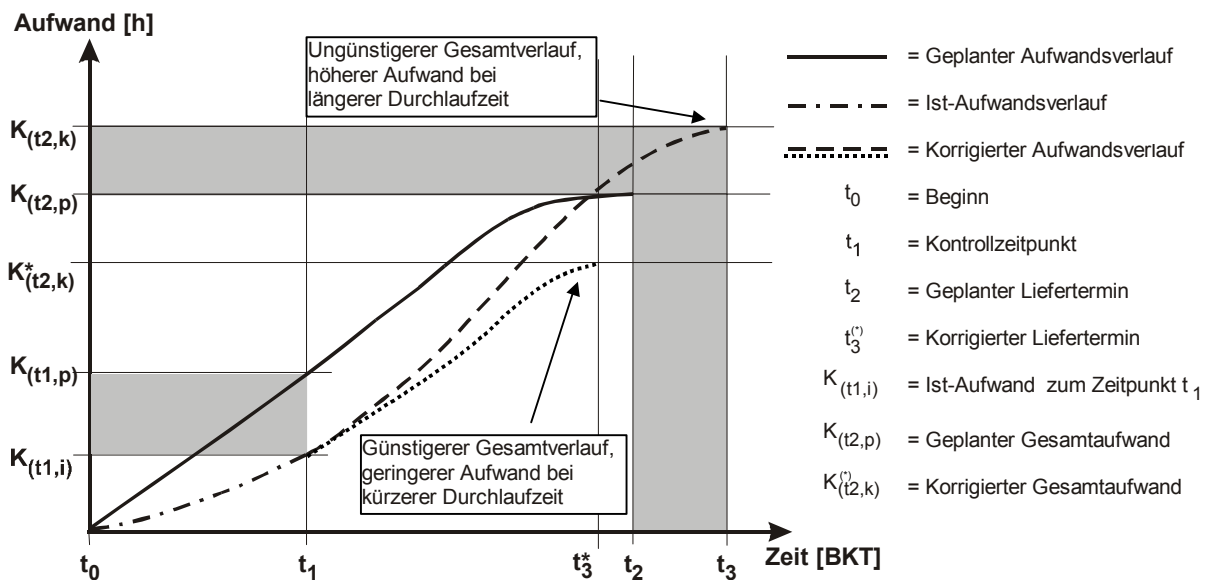
Die hierarchische Auftragsfortschrittsverfolgung baut zunächst auf einer Verfolgung der Termineinhaltung und der Abschätzung der benötigten Kapazitäten auf. Diese Vorgehensweise geht davon aus, dass die geplanten Aufwände den tatsächlich erbrachten Aufwänden entsprechen. Eine Veränderung der Belastung nach der Fertigmeldung eines Meilensteins oder, gravierender, eine Nichtanpassung der Belastung bei einer Verschiebung eines Meilensteins, birgt erhebliche Unsicherheiten in Bezug auf eine mögliche Abweichung der realen Aufwände von den geplanten Aufwänden.

Untersuchungen des IPH haben ergeben, dass im Werkzeug- und Formenbau die Genauigkeit der Vorgabewerte aus der Arbeitsplanung selten besser als  $\pm 10$  Prozent ist, im Bereich des Erodierens sind Abweichungen von 100 Prozent eher die Regel als die Ausnahme. Vor diesem Hintergrund ist die Annahme, die geplanten Aufwände entsprächen den tatsächlich zu erbringenden, nicht haltbar. Verschiebt sich ein Meilenstein, ist die Frage zu beantworten, ob der Auftrag verschoben wurde oder sich der Aufwand erhöht hat. Wird ein Meilenstein früher als vorgesehen erreicht, kann ebenfalls entweder ein planmäßiger Bearbeitungsschritt früher beendet sein, oder weniger Aufwand als geplant benötigt worden sein.

Eine Erhöhung der Sicherheit lässt sich durch das Hinzuziehen einer aufwandsbezogenen Auswertung der Rückmeldedaten erzielen. Die Projektfortschrittskurve (Abbildung 5.7) ist eine bewährte Darstellung. Sie stellt den geplanten Aufwand und den tatsächlich erbrachten Aufwand kumuliert über die Projektdauer dar. Diese Darstellung kann für das Gesamtprojekt oder einzelne Funktionsbereiche erstellt werden. Aus der Projektfortschrittskurve kann für einen gegebenen Termin die Differenz zwischen geplanter und erbrachter Leistung oder für einen geplanten Leistungsfortschritt die Terminabweichung ermittelt werden. Weichen zu einem gegebenen Termin geplanter und erbrachter Aufwand voneinander ab, so gibt es zwei Varianten einer Erklärung. Entweder haben die Tätigkeiten mehr Zeit in Anspruch genommen als veranschlagt, oder zum aktuellen Termin wurde weniger Leistung erbracht als geplant.

Am Zeitpunkt  $t_1$  in Abbildung 5.7 liegt der erbrachte Leistungsumfang unterhalb des geplanten Aufwandes. Eine Erklärung ist, dass die bisher abgeschlossenen Arbeiten mit weniger Aufwand bearbeitet werden konnten als geplant. Eine andere Erklärung

ist, dass die bis hierher geplanten Arbeiten nicht abgeschlossen sind. Während im ersten Fall die Gesamtkurve unterhalb der Plankurve verlaufen würde, wird im zweiten Fall die Kurve wie in der Graphik dargestellt, zu einem späteren Zeitpunkt und in der Regel an einem höheren Aufwandsniveau enden.



**Abbildung 5.7: Projektfortschrittskurve**

Die Interpretation der vorliegenden Kurve ist entscheidend für die nachfolgenden Maßnahmen und eine effiziente Regelung des Produktionsablaufes. Ebenso wie eine reine Meilensteindarstellung ist die Aussage der Graphik nicht eindeutig. Die Kombination beider Darstellungen lässt eine sichere Interpretation der Soll/Ist-Vergleiche zu. In der oben beschriebenen Situation klärt der Fortschritt der Meilensteine die Frage, ob der Auftrag weniger aufwendig ist als geplant oder eine terminliche Verzögerung in der Bearbeitung vorliegt. Während im ersten Fall die Meilensteine termingerecht rückgemeldet sind, lässt sich im zweiten Fall ein Rückstand bei der Auftragsfortschrittkontrolle ablesen. Die Kombination aus Meilensteinübersicht und Projektfortschrittskurve erlaubt die sichere Aussage über den Auftragsfortschritt in Bezug auf den Endtermin und über die Einhaltung der geplanten Aufwände.

Die Ermittlung der Plan-Projektfortschrittskurve ist im Anschluss an die produktmodellbasierte Grobplanung unproblematisch, da die Belastungen für die Kostenstellen bereits aus der Planung entnommen werden können. Diese Aufwände müssen lediglich periodenrichtig addiert und kumuliert aufgetragen werden. Die Integration der Rückmeldedaten erfolgt analog.



### 5.3 Rückkopplung zur Planung und zum Produktmodell

In der Anwendung der produktmodellbasierten Auftragsplanung ist die Analyse der Projektfortschrittskurven vergangener Aufträge ebenso wie die Analyse der Produktstrukturen in Bezug auf Durchlaufgruppen eine Basis für die kontinuierliche Anpassung der Planungsbasis für zukünftige Aufträge. Die Ergebnisse beider Analysen entsprechen sich im Grundsatz, so dass beide zudem geeignet sind, strukturelle Schwachstellen in der Auftragsabwicklung aufzudecken.

Anhand der Projektfortschrittkurve kann beispielsweise eine ungünstige Abarbeitungsverteilung in Bezug auf den Gesamtauftrag nachgewiesen werden. Ein flacher Verlauf der Kurve zu Beginn und ein steiler Anstieg der Aufwände kurz vor dem geplanten Fertigstellungstermin bedeuten ein hohes Risiko für Verzögerungen, da vielleicht die dann erforderlichen Kapazitäten nicht zur Verfügung stehen. Eine mögliche Gegenmaßnahme wäre, die einzelnen Komponenten des Werkzeugs bzw. einzelne Arbeitsgänge in der Bearbeitung vorzuziehen. Auf diese Weise lassen sich daher Produkte herausfiltern, die anfällig für Verzögerungen oder Aufwandserhöhungen sind.

Darüber hinaus können mit den Parametern, die aus den Rückmeldedaten gefiltert werden, eine Reihe logistischer Analysen durchgeführt und darauf aufbauend Verbesserungsmaßnahmen eingeleitet werden. Diese Rückführung kann in eine kontinuierliche Überprüfung der Planungsparameter münden, so dass die sich kontinuierlich verändernden Strukturen der Produktion und der Produkte zeitnah in die Planung eingehen.

## 6 System zur Planung und Steuerung

Das Produktmodell und die darauf aufbauende Methode zur Auftragsabwicklung sind die theoretische Grundlage des Planungssystems, welches die gesamte Auftragsabwicklung unterstützt. Das System umfasst die komplette Kette der Auftragsabwicklung von der Grob- über die Feinplanung bis zur Auftragsverfolgung. Für ein durchgängiges System ist die Konsistenz der verarbeiteten Daten von großer Bedeutung. Im ersten Schritt wird daher die Entwicklung einer durchgehenden Datenbasis, die aus dem Produktmodell abgeleitet wird, erläutert.

Da Unternehmen des Werkzeug- und Formenbaus überwiegend kleine Unternehmen sind, wurde für die Erstellung des Prototypen für ein produktmodellbasiertes Planungssystem auf eine allgemein verfügbare und einfach zu handhabende Plattform zurückgegriffen. Für die Entwicklung des Softwareprototypen wurde daher als Entwicklungsumgebung Microsoft Access verwendet. Die Struktur der Software wurde so gestaltet, dass zukünftig eine Übertragung auf Plattformen wie ORACLE oder SQL Server möglich ist.

Neben der Entwicklung der Informationsstruktur sind für die Entwicklung einer derartigen Software die Definition der Vorgehensweisen zur Datenverarbeitung und die Ableitung der Benutzerschnittstellen wichtige Aufgaben.

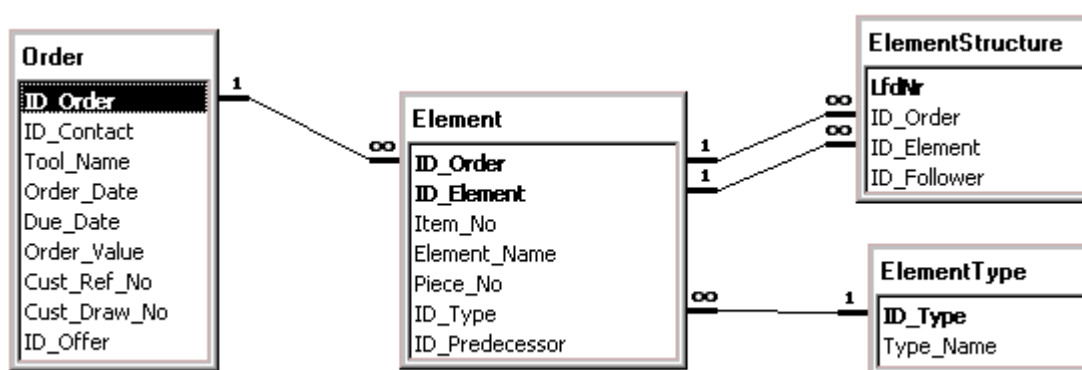
### 6.1 Informationsstruktur des Produktmodells

Das Produktmodell wird in Form geschlossener Module in einer Datenbank implementiert. Diese Module repräsentieren Funktionsbereiche der Auftragsabwicklung. Die Ableitung des Informationsmodells aus dem Produktmodell wird im folgenden für die Bereiche „Erzeugnisgliederungen“, „Fertigungsinformationen“ und „Logistikinformationen“ erläutert.

Die Darstellung erfolgt in Form der in Microsoft Access üblichen Tabellenstruktur (Abbildung 6.1), in der der Tabellenname (**Order**) in der Kopfzeile jeder Tabelle angezeigt wird. Die Primärschlüssel wie *ID\_Order*, sind jeweils fett angezeigt, die übrigen Attribute wie *ID\_Contact* und *Tool\_Name* sind als Informationen an die aufgebaute Struktur angegliedert. Die Beziehung zwischen den Tabellen beschreibt, in welcher Form Informationen in den verbundenen Tabellen gleichartig verwendet werden können. Die verwendete Beziehung wird als 1:n oder 1:∞ bezeichnet. In den Abbildungen dieses Abschnitts ist durchgängig die Bezeichnung 1:∞ verwendet. Für eine ausführliche Einführung in die Datenbankentwicklung sei an dieser Stelle auf Stucky und Schlegeler (*Stucky 1983*) verwiesen.

In Abbildung 6.1 ist die für die Abbildung der Sichten auf das Produktmodell relevante Teilstruktur dargestellt. Die Tabelle **Order** enthält die für die Identifizierung des Kundenauftrags benötigten Informationen. Die Elemente des Werkzeugs wie Einzelteile oder Durchlaufeinheiten, sind in der Tabelle **Element** enthalten.

In der Tabelle **Element** sind sämtliche Strukturelemente aller Sichten auf das Produkt enthalten. Der *ID\_Type* definiert für jedes in der Tabelle eingetragene Element, ob es sich um ein Einzelteil, eine Baugruppe, ein Betriebsmittel oder eine Funktions- oder Durchlaufgruppe handelt. Die Darstellung entspricht einer Art von Mengenstückliste, in der die physikalisch existenten Elemente und die zur Planung verwendeten Elemente der Sichten integriert sind. Durch die Verwendung der Tabelle **Element-Structure** werden die Elemente mit den zu der selben Strukturart gehörenden Elementen in eine hierarchischen Struktur gebracht, Einzelteile Baugruppen zugeordnet, Durchlaufeinheiten zu Durchlaufgruppen zusammengefasst und so weiter.



**Abbildung 6.1: Struktur der Daten der Erzeugnisgliederung**

Die Informationen der technischen Planung, Daten der Arbeitsplanung und Materialzuordnungen, werden über die Tabellen **ProcessPlan** (Arbeitspläne) und **Element\_Material\_Relation** (Materialzuordnung) mit den Elementen der Produktstruktur in Beziehung gesetzt. (Abbildung 6.2)

Die Tabelle **ProcessPlan** ordnet den Elementen eines Auftrags einen Arbeitsgang zu, der mit Hilfe der Daten aus den Tabellen **MachGroup**, **MachStep** und **Operation** definiert werden kann. Die Struktur ist derart aufgebaut, dass eine Gliederung der Fertigung in Arbeitssysteme, die jeweils Maschinengruppen zugeordnet sind, und die Zuordnung von Arbeitsvorgängen zu Maschinengruppen und Arbeitssystemen erfolgt.

In der Materialverwaltung sind die für den Werkzeug- und Formenbau notwendigen Standardmaterialien in den Tabellen **Standard\_Material**, **Standard\_Material\_Name** und **Material\_Type\_Property\_Relation** hinterlegt. So sind für den Spritzgießformenbau verschiedene Typen von Materialien mit ihren spezifischen Beschreibungsmerkmalen und den überwiegend verwendeten Ausprägungen wie Materialarten oder Maßen in das System integriert. Jeder Auftrag des Werkzeug- und Formenbaus enthält über die Standardmaterialien hinaus Materialien, die nicht dem Standard des Unternehmens entsprechen. Aus diesem Grunde werden die in der Struktur verwalte-

ten Materialien nicht direkt in die Auftragsverwaltung integriert, sondern zunächst dupliziert. Diese Duplikate können in ihren Ausprägungen verändert werden. Zudem können Sondermaterialien in die Auftragsstruktur eingebracht werden. Die in einem Auftrag verwendeten Materialien werden in den Tabellen **Material** und **Element\_Material\_Rel** abgelegt.

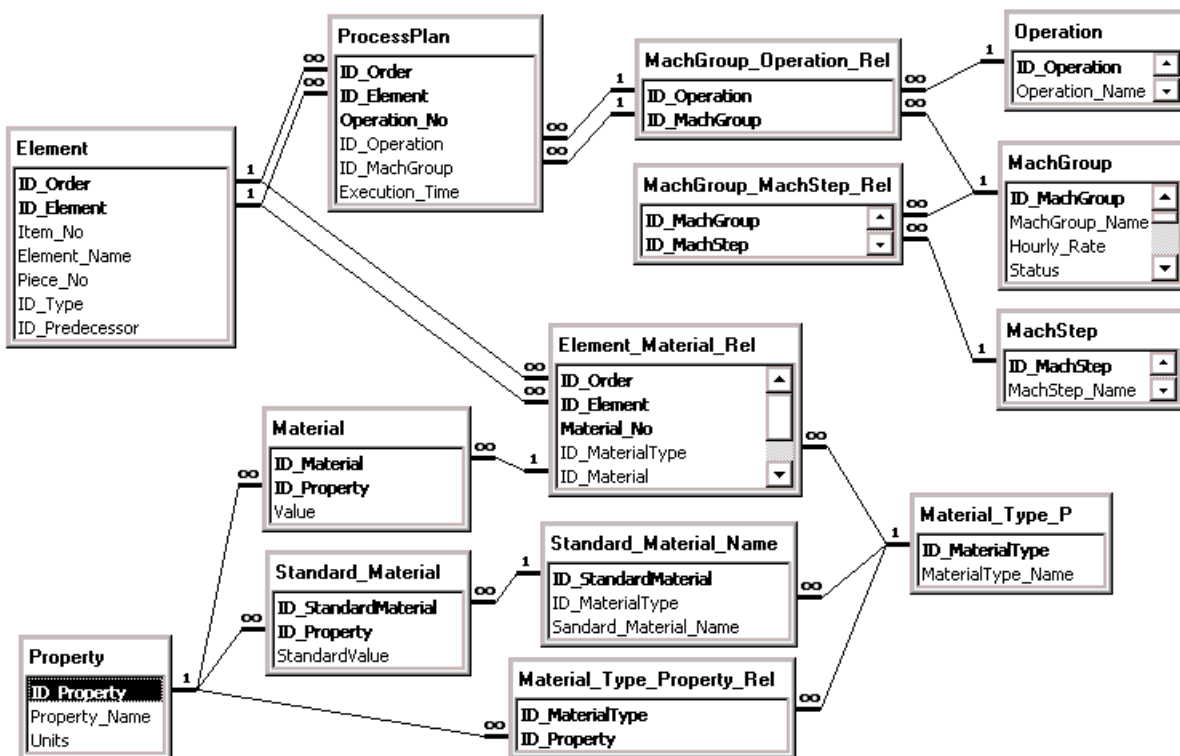


Abbildung 6.2: Struktur der Daten der Fertigungsinformationen

Für die Abbildung der durchlauforientierten Sicht auf das Produktmodell wurde eine Struktur des Datenmodells entwickelt (Abbildung 6.3). In Tabelle **ElementCoarse-Scheduling** (ECS) werden die Elemente der Struktur, d.h. die Durchlaufgruppen und Durchlaufeinheiten verwaltet. Diese sind mit der Produktstruktur durch eine Verbindung zwischen der *ID\_ECS* und der *ID\_Element* verknüpft. In den Tabellen **Schedule** und **ECS\_Relation** werden die für die Terminierung relevanten produktstruktur-spezifischen Daten wie Überlappungsgrade verwaltet. Die arbeitssystemabhängigen Daten wie Flussgrade und Übergangszeiten werden in der Tabelle **MachGroup** verwaltet.

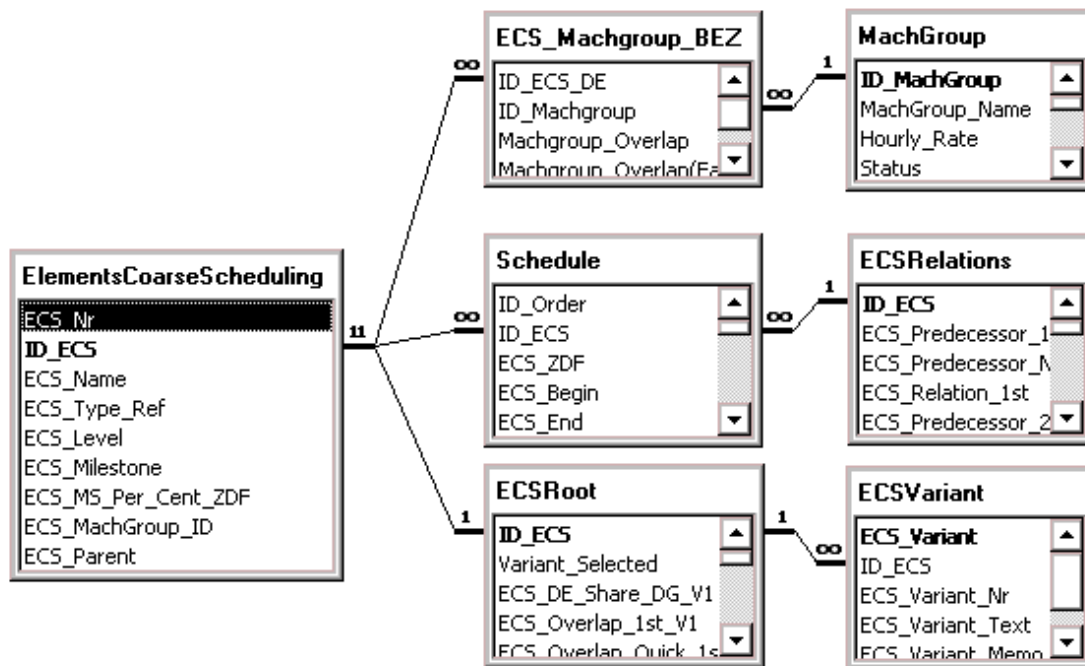


Abbildung 6.3: Struktur der Daten der Logistikinformationen

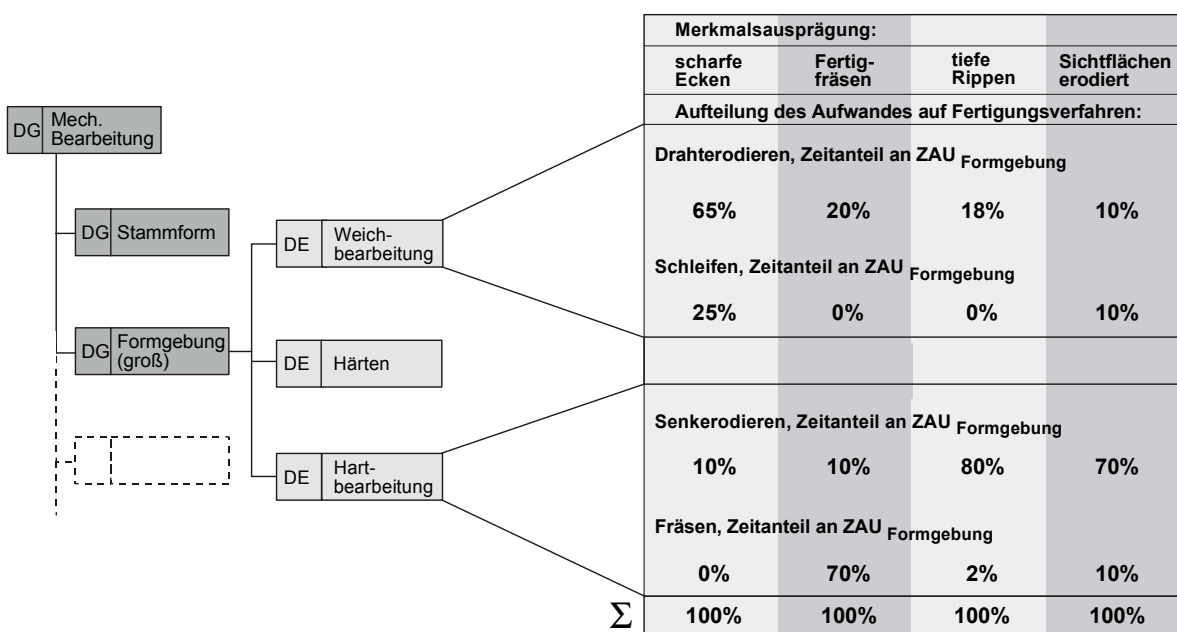
Über die Verbindung von **ECS\_MachGroup** und **MachGroup** werden die Kapazitäten der Maschinengruppen mit den für den Auftrag ermittelten Belastungen in Beziehung gesetzt. **ECS\_Root** und **ECS\_Variant** enthalten die für die Aufteilung der Aufwände auf die Durchlaufgruppen und Durchlaufeinheiten notwendigen Informationen, insbesondere die Verwaltung der Varianten der Durchlaufgruppenstrukturen und die zugehörigen Parameter.

## 6.2 Produktstrukturierung

In der Informationsstruktur wurden die Grundlagen gelegt, um auf sämtliche für die Planung und Auftragsverfolgung notwendigen Informationen in einer konsistenten Form strukturiert zugreifen zu können. Im nächsten Schritt wurden die für die Planung benötigten Vorgehensweisen und Berechnungsvorschriften für die Verwendung der Daten aus der Datenbank abgeleitet.

Für die Planung mit Durchlaufgruppen sind zwei Schritte zu durchlaufen: Im ersten Schritt werden die aus der Angebotskalkulation bekannten Aufwände anhand der für den Auftrag bekannten Kriterien und der in der Struktur verankerten Parameter auf Durchlaufgruppen, Durchlaufeinheiten und schließlich Maschinengruppen verteilt. In Abbildung 6.4 ist diese Vorgehensweise am Beispiel der Durchlaufgruppe **Mechanische Bearbeitung**, und der Unterdurchlaufgruppe **Formgebung**, dargestellt.

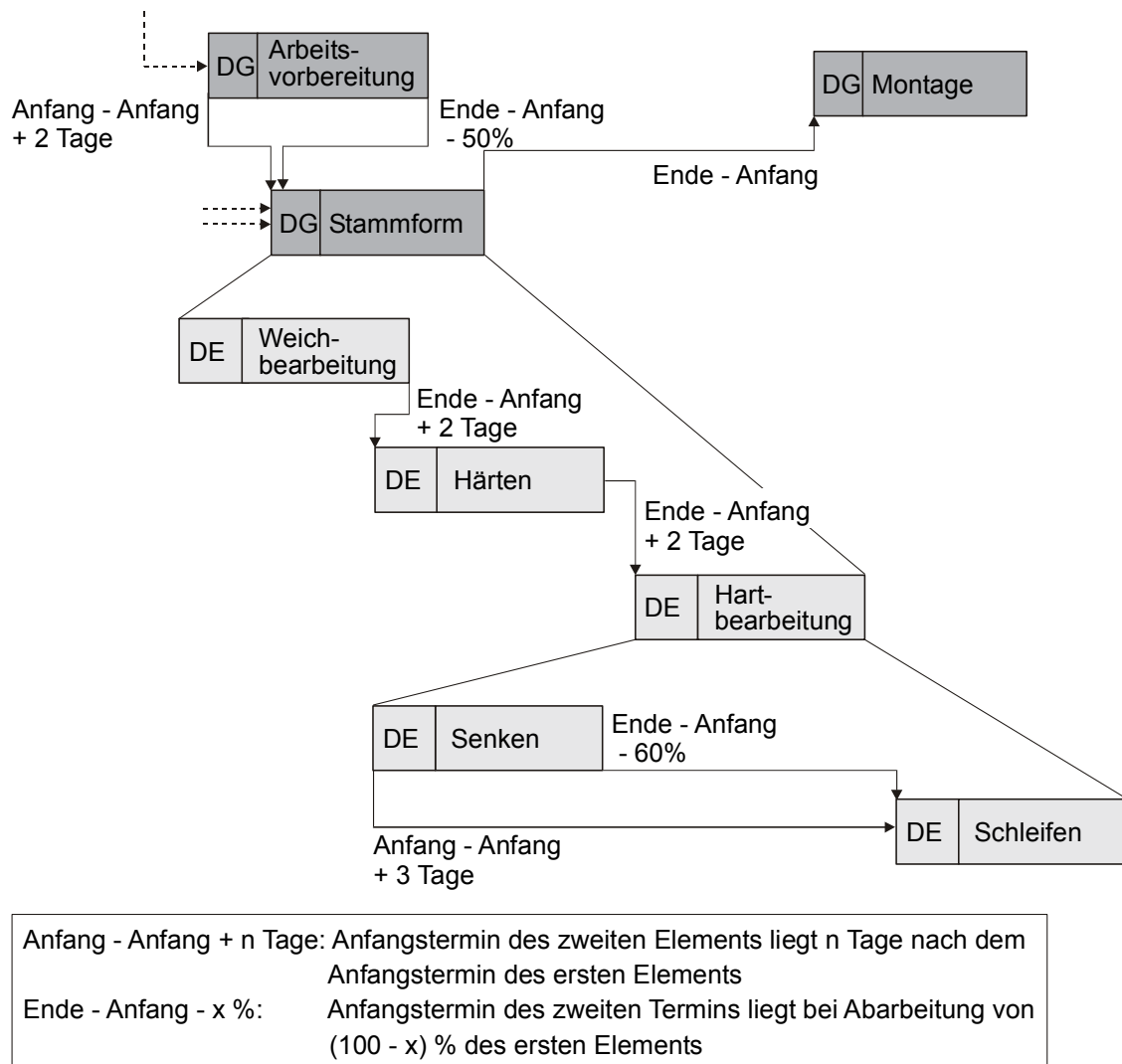
Die Durchlaufgruppe **Formgebung** setzt sich aus den drei Durchlaufeinheiten *Weichbearbeitung*, *Härten* und *Hartbearbeitung* zusammen. Die Aufwände dieser Durchlaufeinheiten verteilen sich in Abhängigkeit von der Ausprägung des zu fertigenden Produkts unterschiedlich auf die Maschinengruppen. Während die Ausprägung scharfe Ecken, die typisch für ein Steckerwerkzeug ist, zu einem Drahterodieranteil von 65 Prozent bei völliger Verdrängung des Fräsens führt, stellt sich bei der Anforderung Sichtflächen mit Erodieroberflächen ein Senkerodieranteil von 70 Prozent ein. Auf diese Weise kann durch die Kenntnis der Spezifikation des Produkts und der Parameter in der Produktstruktur eine Aufteilung der Aufwände auf Kapazitätseinheiten erfolgen.



**Abbildung 6.4: Aufteilung der Bearbeitungszeiten (Auszug aus dem Produktmodell)**

Anschließend können die Ecktermine und die zeitliche Anordnung der Durchlaufgruppen bestimmt werden. Im ersten Schritt werden aus den für eine Maschinengruppe ermittelten Aufwänden in Verbindung mit den Strukturparametern der Grad der Parallelbearbeitung abgeleitet. Zudem wird anhand der arbeitssystemspezifischen Übergangszeit die Durchlaufzeit der Durchlaufeinheit berechnet.

Sind die Durchlaufzeiten der Planungslose für einzelne Maschinengruppen festgelegt, so müssen im nächsten Schritt diese Durchlaufeinheiten auf die nächsthöhere Ebene verdichtet werden. Um diese zusammenzufassen, müssen die Beziehungen und Abhängigkeiten der Durchlaufeinheiten und Durchlaufgruppen untereinander berücksichtigt werden. Die Struktur, die für diese Terminierung verwendet wird, ist in Abbildung 6.5 dargestellt.



**Abbildung 6.5: Zeitliche Abhängigkeiten der Durchlaufgruppen (Auszug aus dem Produktmodell)**

Die Terminierung der Durchlaufgruppen erfolgt durch die Definition der Beziehungen der Start- und Endtermine der Durchlaufgruppen und -einheiten untereinander. Im Bild sind für die Bearbeitung der Stammform die Beziehungen zu anderen Durchlaufgruppen und zu den Durchlaufgruppen der Durchlaufgruppe dargestellt.

Um die Abhängigkeiten der Durchlaufgruppen untereinander abzubilden, werden die Beziehungen der Anfangstermine, die Beziehungen der Endtermine und die Beziehungen der End- zu den Anfangsterminen in die Struktur integriert und mit den aus der Auftragsanalyse bekannten Überlappungsgraden belegt.

Nachdem in den ersten Schritten die Durchlaufzeiten der Durchlaufgruppen ermittelt wurden, kann durch die Nutzung dieser Struktur die Terminierung der Durchlaufgruppen und -einheiten ausgeführt werden.

### 6.3 Module des Planungs- und Steuerungssystems

Die Informationsstruktur und die Abhängigkeiten der Elemente bilden die Basis für das Planungssystem TAPiE (Termin- und Arbeitsplanung in der Einzelfertigung). In dieses System sind die für die Auftragsplanung entwickelten Module integriert. Für die produktmodellbasierte Auftragsplanung wurden fünf Module entwickelt, die jeweils einem Aufgabenbereich zugeordnet werden:

1. Auftragsverwaltung
2. Definition der Parameter für die Durchlaufstruktur
3. Grobplanung
4. Feinplanung
5. Erzeugung der Planungsunterlagen
6. Auswertung der Pläne und Rückmeldungen

#### 6.3.1 Auftragsverwaltung

In der Auftragsverwaltung werden die Aufträge angelegt und der Bezug zu einem bereits erstellten Angebot hergestellt (Abbildung 6.6). Auf diese Weise können die im Angebot kalkulierten Daten einfach für die Auftragsplanung herangezogen werden.

Der Planer legt den Auftrag an, in dem er den Kunden und den gewünschten Artikel in die Auftragsverwaltung einträgt. Die Identifikation des Auftrags erfolgt im Beispiel durch eine laufende Nummer in Verbindung mit einem Klassifikationsschlüssel. Die Klassifikation dient zur Unterscheidung von Standard-Werkzeug-Aufträgen von Prototypen, Reparaturen oder Wartungstätigkeiten. Neben diesen Daten werden weitere für die Auftragsbearbeitung notwendige Informationen verwaltet. Für die Planung ist vor allem das Datum des Auftragseingangs und der Liefertermin, der Auftragswert und besondere Absprachen sowie der Lieferumfang von Bedeutung. Zum Lieferumfang können im Werkzeugbau neben dem Werkzeug auch Elektroden oder Musterteile gehören.

Im Laufe der Bearbeitung bietet die Statusverfolgung des Auftrags eine einfache Möglichkeit, Mitarbeiter, die nicht direkt an der Terminierung beteiligt sind, schnell und einfach über den Auftragsfortschritt zu informieren. Die angegebenen Stati dürfen nicht mit den Meilensteinen verwechselt werden, die dem Planer zur Verfügung stehen. In der Statusübersicht wird der Durchlauf der Aufträge durch die drei Bereiche Konstruktion, Arbeitsplanung, Fertigung und Montage verfolgt. Die Statusübersicht stellt eine stärkere Verdichtung als die Übersicht über die Meilensteine dar, die vor allem bei einer großen Anzahl von parallel bearbeiteten Aufträgen die Übersichtlichkeit der Auftragsbearbeitung verbessert.



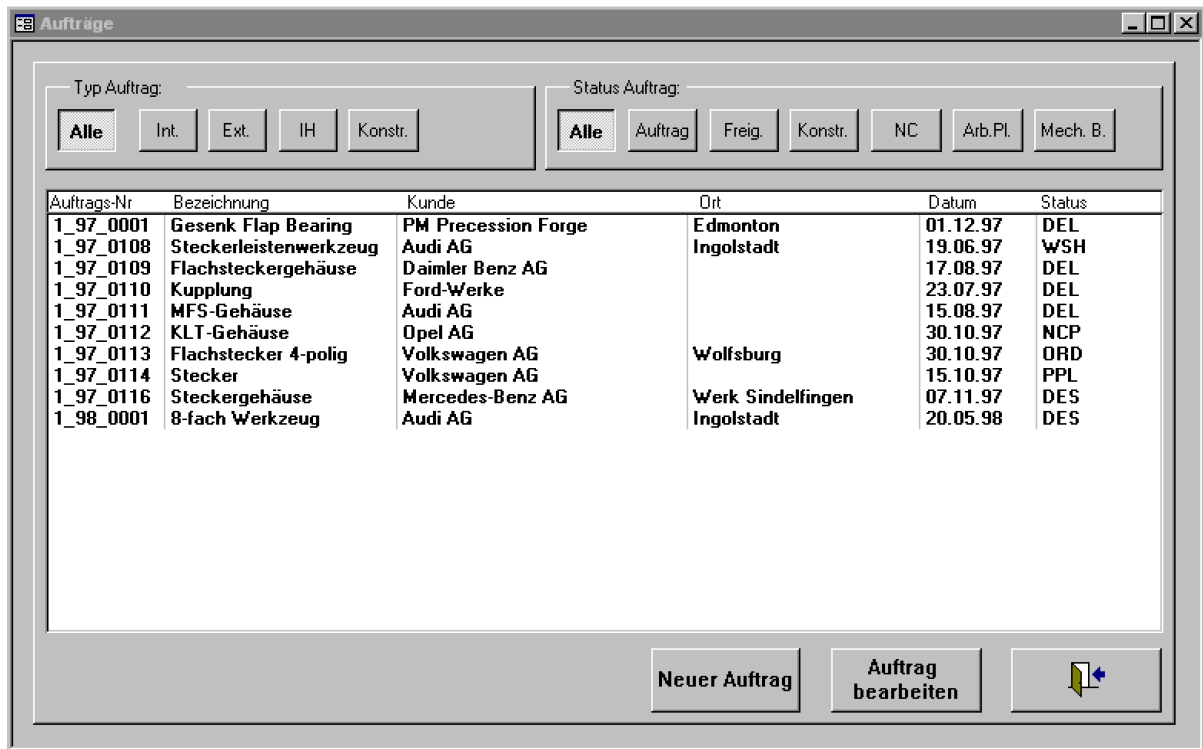


Abbildung 6.6: Auftragsverwaltung

### 6.3.2 Definition der Parameter für die Durchlaufstruktur

Im Anschluss an die Eröffnung des Auftrags werden die Durchlaufgruppen parametrisiert, und die hierarchische Struktur der Durchlaufgruppen aufgebaut. Im Planungssystem sind hierfür Varianten der Durchlaufgruppen definiert worden, die auf einfache Weise eine Klassifizierung der Elemente der Struktur ermöglichen (Abbildung 6.7). Im Bereich der Formgebung bezeichnet die Variante „EDM“ ( Electro Discharge Machining) das Vorhandensein filigraner Strukturen und den Wunsch nach einer Oberfläche mit Erodierstrukturen. Jeder Variante ist ein bestimmter Datensatz zugeordnet, der die prozentualen Anteile der Durchlaufeinheiten an der Durchlaufgruppe bestimmt.

Der Planer betrachtet im Einzelnen jede Durchlaufgruppe und selektiert die für sein Produkt passende Variante. Diese Variante kann für jede Durchlaufgruppe separat gewählt werden. Durch die Variante wird die Aufteilung der Aufwände auf Durchlaufeinheiten und Maschinengruppen bestimmt. Im unteren Teil von Abbildung 6.7 ist die Darstellung der Anteile der Durchlaufgruppe Formgebung am Gesamtprojekt, ebenso wie die Aufteilung der für die Formgebung veranschlagten Stunden als Anteil an der Formgebung angezeigt.

Durchlaufgruppen (DG)		
Nr.	Bezeichnung:	Sel.
1000	Konstruktion	Ja
2000	Arbeitsvorbereitung	Ja
3000	Mechanische Bear.	Ja
3100	Stammform	Ja
3200	Elektroden für Form	Ja
3300	Formgebung groß	Ja
3400	Elektroden für Form	Ja
3500	Formgebung klein	Ja
3600	Sonstiges	Ja
4000	Montage	Ja
5000	Abmusterung	Nein
6000	Korrekturen und Ä.	Nein

Variantenauswahl		
Variante:		Beschreibung:
Fertigfräsen		Filigrane Aufbauten und Oberfläche mit Erodierstrukturen
EDM		
Poliert		
Kammermaße		
Variantspezifische DE-Daten		
Nr:	Name:	DE%DG
3300	Formgebung groß	35
3301	Weichbearbeitung Form groß	15
3302	Härten Form groß	5
3303	Schleifen und Drahtbearbeitung	64
3304	Fräsen und Senken Form groß	16

Formgebung, groß benötigt 35 % des Gesamtbearbeitungsaufwandes für das Werkzeug

Formgebung, groß teilt sich auf in 15 % Weichbearbeitung, 5 % Härten, 64 % Schleifen und 16 % Fräsen

**Abbildung 6.7: Parameterdefinition**

Für jede Durchlaufgruppe müssen Parameterwerte definiert werden. Werden einzelne Durchlaufgruppen nicht bearbeitet, werden dennoch Planwerte ermittelt, denen Annahmen über den mittleren Durchlauf im Betrieb hinterlegt sind. Diese mit Standardwerten ermittelten Ablaufpläne sind jedoch wesentlich ungenauer als die durch die Parametrisierung ermittelten.

Ergebnis der Parametrisierung ist ein Projektplan mit Meilensteinen, Aufwandschlüsseln und Überlappungsgraden. Der Plan ist nicht mit Aufwänden versehen. Er ist ein Gerüst, in das die Daten des Auftrags integriert werden können.

### 6.3.3 Grobplanung

Nachdem der Ablaufplan konfiguriert wurde, werden in der Grobplanung die Vorgabewerte aus der Angebotskalkulation in das System einbezogen. Es besteht die Option, die kalkulierten Aufwände für den Auftrag insgesamt oder auf die Durchlaufgruppen bezogen in das System einzugeben. Erfahrungen der Pilotanwender zeigen, dass die Terminplaner die Stundenverteilung auf die Durchlaufgruppen sicher abschätzen können. Die Pilotanwendung zeigte, dass diese Schätzungen in vielen Fällen näher an den tatsächlich abgerechneten Aufwänden liegen als die Ergebnisse der Arbeitsplanung.

Im Anschluss an die Eingabe der Aufwandswerte in das System kann die Durchlaufterminierung ausgehend vom geplanten Liefertermin und unter Einbeziehung des vorher konfigurierten Ablaufplans erfolgen. Das Ergebnis der Durchlaufterminierung wird in Form einer Tabelle angezeigt (Abbildung 6.8).

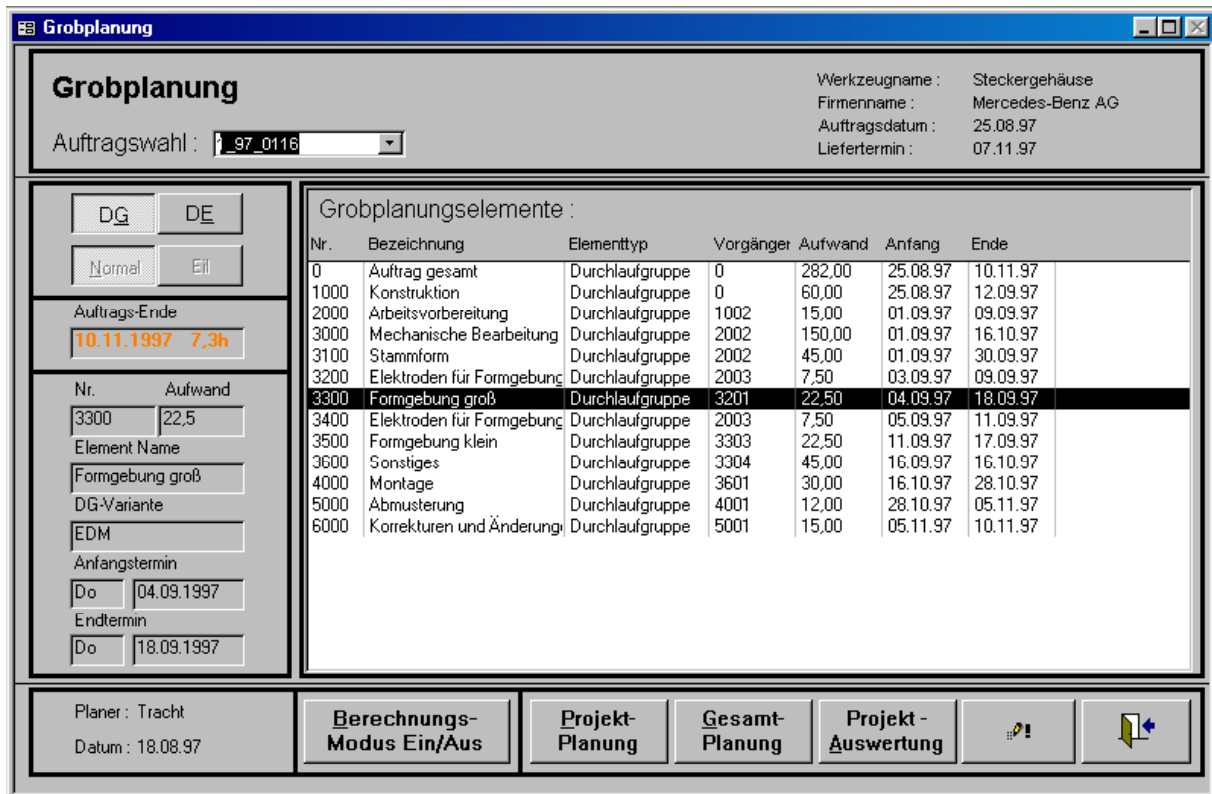


Abbildung 6.8: Grobplanung

Im ersten Schritt wird die Berechnung unter der Maßgabe einer „normalen“ Priorität durchgeführt. Für diesen Berechnungsvorgang werden die in der Logistikanalyse ermittelten Übergangszeiten und damit mittlere Kapazitätsverfügbarkeiten angenommen. Gerade der Werkzeug- und Formenbau ist mit Aufträgen konfrontiert, die mit den mittleren Übergangszeiten nicht termingerecht bearbeitet werden können. Dies gilt insbesondere für Prototypenaufträge oder Reparaturen. Neben einer Veränderung der Priorität und der Durchführung von Reihenfolgevertauschungen ist im Werkzeug- und Formenbau verbreitet, bei Auftreten derartiger Eilaufträge die Kapazität durch Überstunden, Auswärtsvergaben und mannlose Schichten zu erhöhen. Die kurzfristige Erhöhung der Kapazitäten zieht eine Veränderung der maximalen Leistung und der mittleren Übergangszeiten nach sich.

Derartige Eilaufträge werden mit höherem personellen Betreuungsaufwand durch den Betrieb begleitet und können aufgrund der verstärkten Parallelisierung der Bearbeitung mit größeren Überlappungsgraden und geringerer Gesamtauftragsdurchlaufzeiten fertiggestellt werden. Im Planungssystem wurde daher die Möglichkeit geschaffen, neben der normalen Priorität eine Eilpriorität als Option zu wählen und den Auftrag unter der Annahme erweiterter Kapazitäten und erhöhten Auftragsbegleitungsaufwandes zu bearbeiten. Durch die Annahme erweiterter Kapazitäten steigt die maximal mögliche Leistung der Arbeitssysteme. Dies wirkt sich auf die Flussgrade und die Übergangszeiten an den Arbeitssystemen aus. Zudem kann der Grad der Parallelbearbeitung durch eine intensivere Betreuung erhöht werden. In dem neutra-

len Auftragsplan, der Ergebnis der Parametrisierung ist, sind daher zwei parallele Pläne enthalten, die sich in Bezug auf ihre logistische Kenngrößen unterscheiden.

Ist das Ergebnis der Durchlaufterminierung, dass der Auftrag unter den gewählten Randbedingungen nicht zu dem gewünschten Liefertermin fertiggestellt werden kann, so wird eine Vorwärtsterminierung angestoßen, die den frühest möglichen Fertigstellungstermin ausgehend vom aktuellen Datum ausgibt. In Abbildung 6.8 ist dieses Ergebnis der Terminierung im Feld End-Termin angegeben. Um zu entscheiden, ob dieser Verzug akzeptabel ist oder nicht, kann die Darstellung der Strukturelemente von der in der Abbildung gezeigten Auflistung der Durchlaufgruppen mit ihren Bezeichnungen, den jeweils übergeordneten Elementen, den kalkulierten Aufwänden und Anfangs- und Endtermin bis auf die Ebene einzelner Durchlaufeinheiten erweitert werden. Die angezeigten Kennwerte sind in dieser Darstellung für sämtliche Strukturebenen identisch. Über die Detailansicht in der linken Hälfte von Abbildung 6.8 kann zudem auf die Informationen aus der Parametrisierung zurückgegriffen werden, und die ausgewählte Variante der jeweiligen Durchlaufgruppe bzw. der Durchlaufeinheit abgefragt werden.

Nach Abschluss der Durchlaufterminierung liegen sämtliche für die Planung und Verfolgung notwendigen Informationen im System vor. Im nächsten Schritt müssen die für die Planung und vor allem die Verfolgung der Aufträge notwendigen Auswertungen und Darstellungen erzeugt werden. Diese Schritte werden jeweils von der Grobplanung angestoßen: Entweder die Erzeugung eines auftragsbezogenen Ablaufplans mit Meilensteinen durch die Projektplanung oder die Erzeugung der Gesamtübersicht über sämtliche aktiven Aufträge über die Gesamtplanung, oder die detaillierte Auswertung über die Projektauswertung.

Im Projektplan werden die Durchlaufgruppen und Durchlaufeinheiten als Balkenplan dargestellt. Diese Darstellung kann alternativ für einen Auftrag separat oder über alle aktiven verfügbaren Aufträge gemeinsam durchgeführt werden. In

Abbildung 6.9 ist zu erkennen wie die Einbindung der Meilensteine in diesen Plan gestaltet wurde. Der Ablaufplan ist in eine Darstellung der Durchlaufgruppen und Durchlaufeinheiten als Gantt-Diagramm über sämtliche Ebenen hinweg unter Angabe der Ecktermine und unter Einbeziehung der Meilensteine überführt worden.

Im Beispiel ist zuerkennen, dass die Meilensteine eine Sammlung von Einzelrückmeldungen sind. Für die Bearbeitung der Formgebung, groß wurde beispielsweise genau ein Meilenstein definiert, die Fertigmeldung des Härtens am 7. September. Unter der Annahme, dass die Formgebung mehr als ein Teil umfasst, zum Beispiel fünf Teile, ist der Meilenstein die Zusammenfassung der fünf einzelnen Rückmeldungen des Inhalts „Härten beendet.“

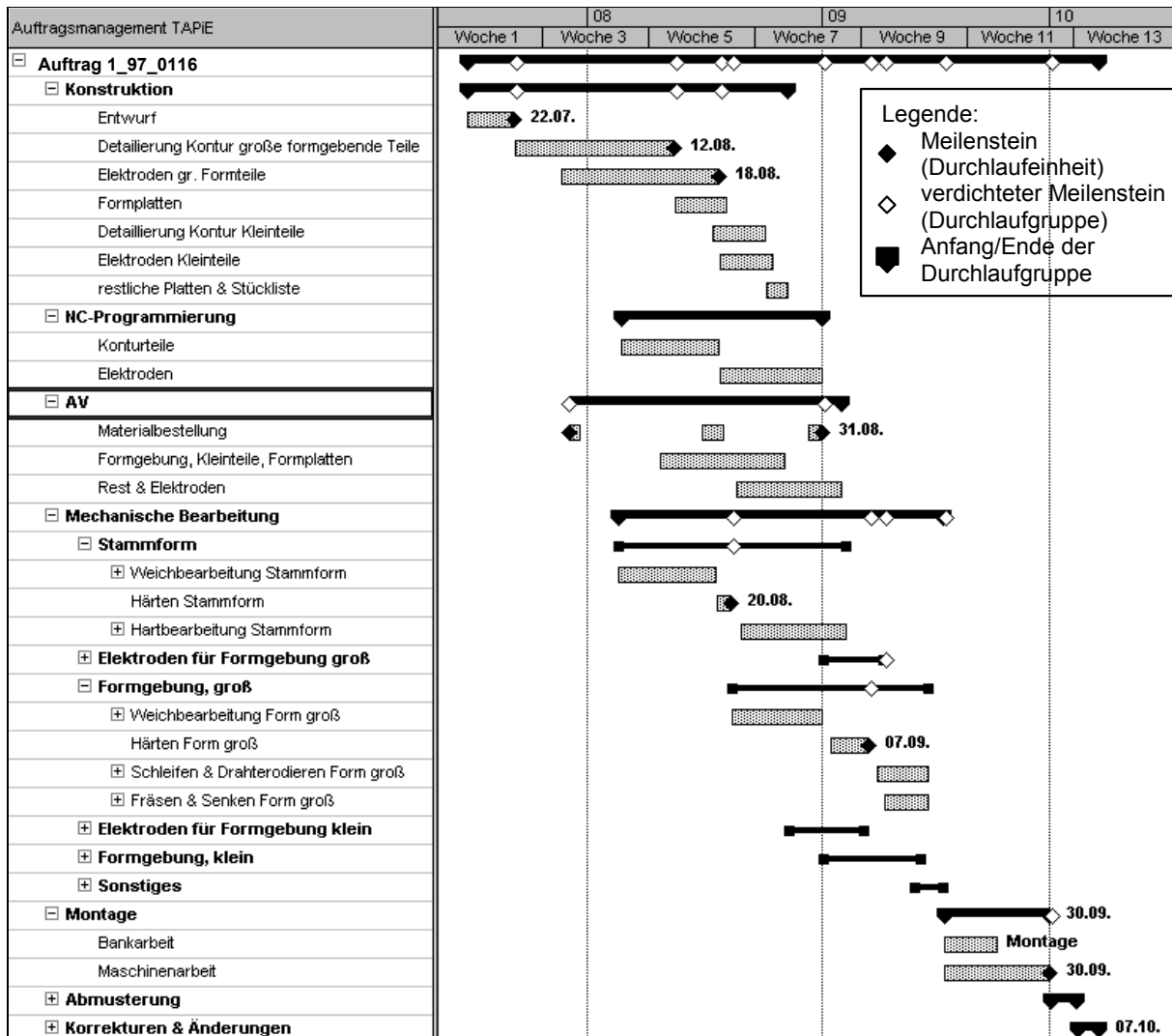
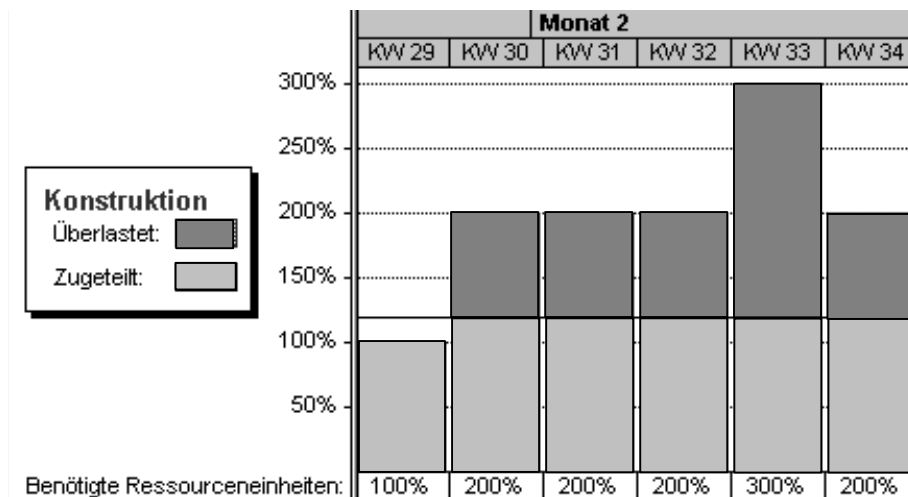


Abbildung 6.9: Projektplan (unter Verwendung von Microsoft Project)

Die Verfolgung der Meilensteine kann wie in diesem Beispiel über eine binäre Aussage (Arbeitsgang ist abgeschlossen / nicht abgeschlossen) erfolgen. Es ist zudem möglich, Teilschritte anzuzeigen. Diese können „die Hälfte der Teile muss zu diesem Zeitpunkt diesen Arbeitsvorgang beendet haben“ oder „die Bearbeitung dieser Teile muss an diesem Arbeitsvorgang zu 50 Prozent abgeschlossen sein“ lauten. In der Pilotanwendung wurde auf diese Art der Meilensteinverfolgung verzichtet, da die einfachste Form der Meilensteinverdichtung und Rückmeldung für diesen Betrieb als hinreichend beurteilt wurde.

### 6.3.4 Auswertung des Projektplans

Die Verwendung der Durchlaufgruppen für die Durchlaufterminierung führt auf der Ebene der Durchlaufeinheiten zu einer Verteilung der Arbeitsinhalte auf Maschinen-  
gruppen bzw. Arbeitssysteme. Diese können in Form von Belastungsdiagrammen  
ausgewertet werden –über sämtliche Aufträge oder separat.



**Abbildung 6.10: Auswertungen der Auftragsplanung**

Die Darstellung der Belastungssituation der Maschinengruppen bzw. Kostenstellen ist die wichtigste Darstellung für die Planung der Kapazitäten und für eine vorausschauende Auswärtsvergabe über die Funktionen der Auftragsabwicklung hinweg. In Abbildung 6.10 ist die Übersicht der Belastung in der Konstruktion für einen Zeitraum erheblicher Überlastung dargestellt. Die Konstruktion ist überlastet, so dass über eine Auswärtsvergabe nachgedacht werden muss. In diesem Beispiel ist die Vorgehensweise des Unternehmens derart, dass Auswärtsvergaben nach der Aktualisierung in der Feinplanung weiterhin als Belastung in den Bereich eingeplant werden. Dies ist eine mögliche Vorgehensweise. Da Eigenfertigung und Auswärtsvergabe in dem Pilotbetrieb gemeinsam betrachtet werden, kann diese Auswertung keine eindeutige Aussage ergeben. Es besteht die Gefahr, dass eine Unterlast in der internen Abteilung aufgrund der Überlagerung mit einem hohen Auswärtsvergabeanteil nicht rechtzeitig erkannt wird.

Diese Kapazitätsanzeige bzw. die Belastungsübersicht kann insbesondere für die Steuerung strategischer Zulieferer verwendet werden, wenn diese im Planungssystem separat betrachtet werden. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass weder eine Überlastung kleiner Zulieferer noch eine zu geringe Berücksichtigung wichtiger Kooperationspartner erfolgt.

Die Vorhersage der Arbeitsinhalte eines Planungselements ist im Werkzeug- und Formenbau in der Regel mit mehr als 10 Prozent Ungenauigkeit behaftet. Aufgrund

dieser Ungenauigkeit ergibt sich eine erhebliche Abweichung zwischen Prognose und Rückmeldung bei der Kapazitätsbetrachtung. Es sollte daher mit Hilfe dieser Darstellung nicht die Tageskapazität einer Maschine betrachtet werden. Die Auswertung der durchlauforientierten Struktur ist vor allem für die langfristige Planung einer passenden mittleren Auslastung ein geeignetes Instrument. Die Vorhersage erheblicher Kapazitätsüberschreitungen kann mit einem Vorgriffhorizont, der die Beauftragung von Unterauftragnehmern in einem für diese tragbaren Zeitrahmen ermöglicht, erfolgen. Dies spart für den Betrieb den Aufwand für die häufige Anpassung der Kapazitäten. Es vereinfacht zudem die Preisverhandlungen bei den Auswärtsvergaben, da die Anzahl potentieller Anbieter höher und der Entscheidungsdruck geringer ist.

In Abbildung 6.11 ist die Auftragsfortschrittskurve dargestellt. Sie ist eine geeignete Ergänzung zur Auftragsfortschrittskontrolle mittels Meilensteinen. In dieser Darstellung der Auftragsfortschrittskurve sind die Bearbeitungsaufwände über der Zeit dargestellt, für jede Kostenstelle und für den gesamten Auftrag. Charakteristisch ist die S-Form der Kurve der Rückmeldedaten eines Auftrags, die nach der ersten Erprobung des Werkzeugs durch einen zweiten, kleineren Schlängel für die Nacharbeit ergänzt wird.

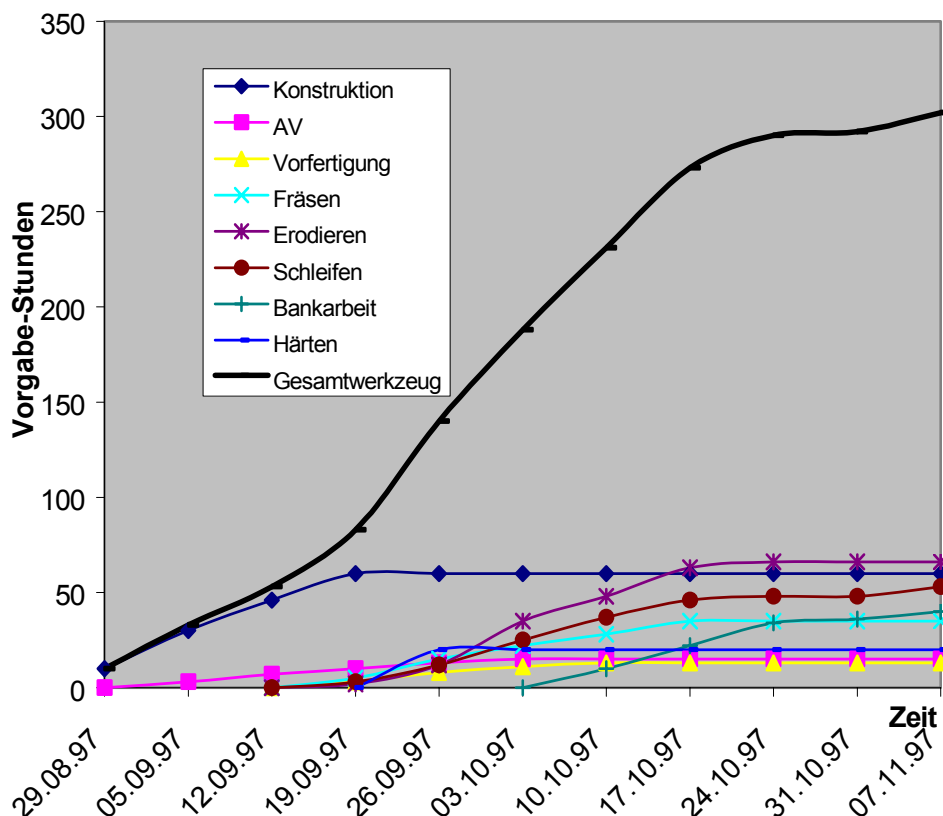


Abbildung 6.11: Auftragsfortschrittskurve (Vorgabewerte)

Die Form der S-Kurve ergibt sich durch die ungleichmäßige Möglichkeit zur Parallelisierung der Tätigkeiten über den zeitlichen Verlauf der Auftragsbearbeitung. Während in der Konstruktion lediglich ein oder zwei Mitarbeiter am Entwurf arbeiten, können in der mechanischen Bearbeitung viele Einzelteile gleichzeitig bearbeitet werden. In der Regel wird mehrschichtig gearbeitet, so dass die Steigung der Kurve in der Konstruktion erheblich geringer ist als in der mechanischen Bearbeitung. Ein vergleichbarer Effekt stellt sich bei der Montage ein, da wiederum lediglich ein oder zwei Mitarbeiter parallel arbeiten können.

Die Kombination der Auftragsfortschrittskurve für Vorgabewerte mit der Auftragsfortschrittskurve der Rückmeldewerte und der Abgleich mit den abgearbeiteten Meilensteinen erlaubt eine einfache und sichere Aussage über den Fortschritt des Auftrags und bietet Ansätze zur Ableitung von Maßnahmen.

### 6.3.5 Feinplanung

Um die Verbesserungsmöglichkeiten der Datenbasis nach der Konstruktion zu nutzen, ist ein Arbeitsplanungsmodul in das System integriert worden. Dieses Modul ist nicht Bestandteil der entwickelten Methode, sondern dient der Bestimmung der Arbeitsplanungsdaten. Diese werden für die Integration der Fein- mit der Grobplanung benötigt. Hierfür werden die in der Arbeitsplanung bestimmten Vorgabewerte für die Darstellung in der durchlauforientierten Sicht den einzelnen Elementen der Struktur zugeordnet und anschließend summiert.

Im Arbeitsplanungsmodul werden die Einzelteile und Baugruppen, die in der Konstruktion in die Stückliste eingetragen wurden, um die entsprechenden Rohmaterialangaben und Arbeitsvorgangsdaten ergänzt. Der Arbeitsplaner übernimmt im ersten Schritt die fertigungsorientierte Sicht auf das Produktmodell in das Planungssystem, d.h. die Produktstruktur inklusive der Einzelteile und Baugruppen sowie der Beziehungen der Elemente untereinander.

Für jedes Element der Struktur werden die Materialien (Grundkörper) und Arbeitsgänge (Planungselemente) definiert. In der Materialauswahl wird auf eine Liste der Standardmaterialien zurückgegriffen und, soweit möglich, ein geeignetes Material ausgewählt und modifiziert.

In der Arbeitsplanung wird für jedes Element der Struktur ein Arbeitsplan angelegt, der neben den Arbeitsvorgangsnummern den Fertigungsbereich, die Maschinen-Gruppe und die Arbeitsgangbezeichnung enthält (Abbildung 6.12). Diese Angaben können einem Auswahlmenü entnommen werden. Für die Ermittlung der Vorgabewerte für die Bearbeitung sind für den Bereich Fräsen exakte Formeln hinterlegt, in den übrigen Bereichen ist eine erfahrungsgel leitete Vorgabewertbestimmung vorgesehen.

Ein Beispiel für einen Bereich ohne exakte formelbasierte Vorgabewertbestimmung ist das Senkerodieren. Für die Planung der Erodiervorgänge existieren in der Praxis



eine Vielzahl von Formeln, die überwiegend empirisch ermittelt sind. Ihr Einsatz wird durch die Erfahrung, dass Erodierarbeitsgänge häufig eine Abweichung zwischen Plan- und Istwerten von mehr als 100 Prozent haben, in Frage gestellt. Ansätze zur Verbesserung der Vorgabewertermittlung für das Erodieren finden sich u.a. bei Lau-

wers (Lauwers 1993) und Becker (Becker 1996)

**Abbildung 6.12: Arbeitsplanung**

Die in der Arbeitsplanung ermittelten Werte sind trotz der angesprochenen Unsicherheit, mit der die Planwerte der Arbeitsplanung belegt sind, für eine Planung im Werkzeug- und Formenbau hinreichend genau (Fortuna 1997) und können direkt in das Grobplanungssystem zurückgeführt werden.

### 6.4 Pilotanwendung

Die Methode zur Planung und Steuerung der Aufträge im Werkzeug- und Formenbau wurde gemeinsam mit zwei Unternehmen aus der Branche des Werkzeug- und Formenbaus entwickelt und getestet. Die Kunden beider Unternehmen entstammen überwiegend der Automobil- und Automobilzulieferindustrie. Eines der Unternehmen stellt mit rund 280 Mitarbeitern mittelgroße Blechwerkzeuge und Sondermaschinen her, während das andere mit 120 Mitarbeitern Kunststoffspritzgießformen fertigt und in der eigenen Produktion zur Herstellung der Artikel einsetzt. Die Eignung der Me-

thode für unterschiedliche Produktarten und verschiedene Auftragsarten konnte auf diese Weise getestet werden.

Für die Entwicklung der Methode wurden das Produktspektrum und die Ablaufstrukturen der verschiedenen Produkte analysiert. Die Untersuchung umfasste die Rückmeldedaten eines Auftrags über einen Zeitraum, der der drei- bis vierfachen Auftragsdurchlaufzeit entsprach, und richtete sich auf die Identifikation der Ähnlichkeit ihrer Bearbeitungsfolge und der Verteilung der Bearbeitungszeiten auf die Kostenstellen. Als Ergebnis konnte bei beiden Unternehmen eine eindeutige Gruppenbildung festgestellt werden, aus der Durchlaufgruppen und Durchlaufseinheiten abgeleitet werden konnten. Meilensteine wurden gemeinsam mit den Terminplanern auf Basis ihres Erfahrungswissens festgelegt und den Durchlaufgruppen und -einheiten zugeordnet.

Der aufwendigste Schritt bei der Definition der Durchlaufgruppen und -einheiten war die Bestimmung der Parameter, anhand derer die Varianten der Durchlaufgruppen und -einheiten gebildet wurden. Erste Hinweise auf die Parameter ließen sich aus dem Ergebnis der Auftragsanalyse gewinnen. Die begrenzte Anzahl an Aufträgen, die für die Analyse herangezogen werden konnten (in dem kleineren Betrieb lagen 100 Aufträge, und davon lediglich 35 Neuaufträge zur Analyse vor) erforderte eine Absicherung der Analyseergebnisse durch die Erfahrung der Angebotskalkulatoren und Arbeitsplaner. Da die geringe Zahl von Neuaufträgen für kleine Unternehmen der Branche charakteristisch ist, empfiehlt sich diese Vorgehensweise auch für die Einführung der Methode in der Praxis.

Aus der Analyse ergaben sich für die Durchlaufgruppen und -einheiten charakteristische Parameter, denen prozentuale Aufteilungen der Gesamtbearbeitungszeit auf untergeordnete Elemente bzw. Kostenstellen zugeordnet wurden. Ein Ausschnitt aus dem für den Spritzgießformenbau entwickelten Produktmodell ist in Abbildung 6.4 dargestellt.

Im Anschluss an die Definition der Durchlaufgruppen und der Parameter zur Aufteilung der Bearbeitungsaufwände bis auf die Ebene der Kostenstellen wurde eine Auftragszeitstrukturanalyse durchgeführt (vgl. Abschnitt 3.4), um die für die Bestimmung der Durchlaufzeiten der Elemente der durchlauforientierten Sicht auf das Produktmodell benötigten Flussgrade und Übergangszeiten zu ermitteln. Ein Ausschnitt aus der Analyse der Werkstatt eines der Unternehmen findet sich in Abbildung 6.13. Neben den Mittelwerten der Auftragszeiten sind die Streuung sowie der Variationskoeffizient ebenso angegeben wie die ermittelten Flussgrade und Übergangszeiten.

Aus den Übergangszeiten der Kostenstellen und den im Produktmodell hinterlegten prozentualen Aufteilungen kann die Durchlaufzeit der einzelnen Elemente der durchlauforientierten Struktur ermittelt werden. Untersuchung der Gesamtdurchlaufzeit der Aufträge im Betrachtungszeitraum hinsichtlich der Abhängigkeiten und Randbedingungen der einzelnen Elemente ergänzten die im Produktmodell hinterlegten Informationen um die Überlappungsgrade (Abbildung 6.5).

Aufgrund der Sensibilität der Informationen der Terminierung der Aufträge können die für die Unternehmen ermittelten Produktstrukturen und Modelle nicht im Original wiedergegeben werden. Sämtliche betriebsbezogenen Informationen in den Darstellungen dieser Arbeit wurden daher verfälscht, so dass keine Rückschlüsse auf den Betrieb, seine Kunden oder Kennzahlen möglich sind.

Nr.	Kostenstelle	Anzahl Aufträge	ZAU <sub>m</sub> [Std]	ZAU <sub>s</sub> [Std]	ZAU <sub>v</sub> [-]	FG <sub>m</sub> [-]	ZUE <sub>m</sub> [BKT]
55	Bohrmaschine	113	1,75	0,66	0,38	3,2	1,0
47	Montage	108	3,67	3,01	0,82	8,5	5,0
46	Montage	208	5,22	5,82	1,11	11,1	9,5
41	Drehmaschine	261	3,01	2,48	0,82	4,3	4,6
40	Drehmaschine	403	2,81	2,73	0,97	4,8	5,0
26	Drahterodiermaschine	967	5,61	7,51	1,34	13,5	8,0
25	Drahterodiermaschine	1500	5,77	12,45	2,16	26,4	16,8
24	Senkerodiermaschine	894	1,58	1,08	0,68	7,6	0,8
23	Senkerodiermaschine	828	4,44	5,24	1,18	11,7	3,8
15	Flachschleifmaschine	1759	2,11	2,33	1,10	10,9	1,9
14	Koordinatenschleifmaschine	380	7,57	7,91	1,04	3,4	3,1
12	Profilschleifmaschine	743	1,70	1,40	0,82	2,9	0,7
10	Rundschleifmaschine	457	1,59	1,28	0,81	1,8	1,0
9	Profilschleifmaschine	1072	1,98	1,78	0,90	4,6	1,7
8	Profilschleifmaschine	1034	2,43	2,04	0,84	4,4	2,0
4	NC-Fräsmaschinen	656	2,08	2,01	0,97	4,8	3,4
3	NC-Fräsmaschinen	924	2,31	2,25	0,97	4,8	3,8
2	CNC-Fräsmaschinen	705	3,72	3,29	0,88	9,0	6,2
1	CNC-Fräsmaschinen	1082	2,87	2,65	0,92	9,3	5,0

**Abbildung 6.13: Ausschnitt aus den Ergebnissen der Auftragszeitstrukturanalyse**

Die Erprobung neuer Methoden zur Auftragsplanung und Steuerung stößt in der Praxis häufig auf Probleme, da Eingriffe in die Planungsvorgaben im größeren Umfang in der Regel im laufenden Betrieb nicht möglich sind. Zur Verifizierung wurden Aufträge, die nicht in die Analyse eingeflossen sind, mit Hilfe der Planungsmethode betrachtet. Die Planungsmethode ist kein Hilfsmittel zur Durchlaufzeitverkürzung, sondern zur Abbildung der Leistungsfähigkeit des Betriebs. Die Bewertung der Qualität der Planung konnte daher durch einen Vergleich zwischen den Planungsergebnissen und den in der Realität ermittelten Rückmeldedaten erfolgen.

Ergebnis dieser Studie war eine Abweichung der geplanten Termine und Aufwände zwischen Grobplan und Rückmeldungen, die unterhalb von zehn Prozent lag, und damit unter den Abweichungen zwischen den aus Arbeits- und Terminplanung ermittelten Terminen und Bearbeitungsaufwänden und den Rückmeldungen lag.

Nach diesem ersten Plausibilitätscheck der Methode wurde begonnen, die durchlauforientierte Struktur auf das gesamte Produktspektrum auszuweiten und die zugehörigen Meilensteine in der Auftragsverfolgung einzusetzen. Hierbei zeigte sich, dass

eine erhebliche Reduzierung des Aufwandes für die Auftragsverfolgung durch die Verringerung der persönlichen Fortschrittskontrolle bei Rundgängen durch die Fertigung beobachtet werden konnte. In Verbindung mit der Reduzierung des Planungsaufwandes bei der Grobplanung mit dem Prototypensystem konnte der administrative Aufwand um bis zu 20 Prozent gesenkt werden. Die freigewordenen Kapazitäten wurden für eine verbesserte Arbeitsplanung bzw. in eine intensivere Angebotsplanung genutzt.

Neben den direkten Effekten der Aufwandsreduzierung in den indirekten Bereichen, konnte eine Reduzierung der Gesamtdurchlaufzeit der Aufträge um bis zu 15 Prozent beobachtet werden. Diese Reduzierung ist auf die gegenüber der herkömmlichen Vorgehensweise bei der Durchlaufterminierung genauere Bestimmung der zu erwartenden Übergangszeiten und eine darauf ausgerichtete Durchlaufterminierung und Auftragsfreigabe zu erklären.

Die beschriebene Methode ist grundsätzlich gut geeignet, um die Auftragsgrobplanung und Auftragsverfolgung in der Unikatfertigung zu unterstützen. Für den praktischen Einsatz stellt die Ableitung der Durchlaufgruppen und -einheiten sowie die Parametrisierung der Produktstruktur eine Hürde dar, die gerade kleine Unternehmen kaum ohne externe Unterstützung leisten können. Ist dieser Schritt bewältigt, birgt die Methode für die mittelständischen und kleinen Betriebe der Branche große Potentiale zur Vereinfachung ihrer Auftragsplanungs- und -verfolgungsprozesse.

## 7 Zusammenfassung

Die Planung der Herstellung von Werkzeugen und Formen ist eine Aufgabe, die aufgrund der geringen verfügbaren Datenbasis zum Zeitpunkt der Auftragserteilung, mit erheblichen Unsicherheiten belastet ist. Bisher existierte keine Methode, um direkt nach Auftragseingang effizient Termine zu bestimmen und Kapazitäten abzuschätzen. Weder die Vorwegnahme eines Entwurfes zur Planung der Auftragsabwicklung noch die Schätzung der Durchlaufzeiten stellt eine vertretbare Lösung dar. In der vorliegenden Arbeit wurde eine Methode zur Unterstützung der Auftragsplanung beschrieben, der eine durchlauforientierte Sicht auf das Produktmodell zugrunde liegt.

Das erweiterte Produktmodell integriert die für eine logistische Sicht auf das Produkt notwendigen Informationen in das aus fertigungstechnischer Sicht beschriebene Produktmodell. Diese gemeinsame Basis erlaubt die Integration der beschriebenen Grobplanung mit der Feinplanung und dem Rückmeldewesen, der Materialwirtschaft etc. Der Einsatz von Durchlaufgruppen und Durchlaufseinheiten und die Betrachtung der Durchlaufseinheiten als Planungslose erlaubt eine einfache und sichere Planung der Auftragsabwicklung über den gesamten Prozess ohne Kenntnis der Detailstruktur des herzustellenden Produkts.

Die Planungsmethode ist ein Hilfsmittel, das für kleine und mittelständische Unternehmen entwickelt wurde, um Produkte des Werkzeug- und Formenbaus direkt nach Auftragseingang in Bezug auf die für eine sichere Einhaltung des Kundenliefertermins notwendigen internen Meilensteine hin zu untersuchen und einen sinnvollen Terminplan für die Abarbeitung des Auftrags zu erstellen. Die Methode ist darüber hinaus für Unternehmen der Unikatfertigung wie den Betriebsmittelbau oder den Sondermaschinenbau geeignet.

Im Gegensatz zum Einsatz detaillierter Netzpläne, deren Erstellung mit hohem Aufwand verbunden ist und nur bei weitgehend standardisierten Erzeugnissen oder engen Produktspektren wirtschaftlich vertretbar ist, ist der Einsatz der vorgestellten Methode in jedem Betrieb möglich. Der Einsatz von Meilensteinen nicht erst in der mechanischen Fertigung, sondern direkt nach Auftragseingang, und ihre einfache Verfolgung mit Hilfe der Durchlaufgruppen, erleichtert die Einhaltung interner Termine bereits in frühen Phasen der Produktentstehung. Dies senkt den Aufwand für die Auftragsverfolgung ebenso wie für den Anteil an Überstunden in der letzten Phase der Fertigstellung. Die Erhöhung der Transparenz der Auftragsabwicklung bewirkt zudem einen Imagegewinn beim Kunden, da jederzeit eine fundierte Aussage über den Projektstand möglich ist.

Die Ergebnisse der Pilotanwendung lassen erhebliche Potentiale erwarten. Die Aufwände in der Projektplanung konnten um rund 20 Prozent gesenkt werden, während gleichzeitig die Gesamtdurchlaufzeit um 15 Prozent abnahm.

## 8 Literatur

- Abeln 1990* Abeln, O.:  
Die CA-Techniken in der industriellen Praxis: Handbuch der computergestützten Ingenieur-Methoden.  
Hanser-Verlag, München, 1990
- Alting 1990* Alting, L.; Nielsen, N. E.:  
Simultaneous Engineering within Process and Production Planning.  
Proceedings of the "Pacific Conference on Manufacturing",  
Sydney, December 1990
- Altmann 1991* Altmann, C.:  
Dynamische Prozessgestaltung in Flexiblen Fertigungssystemen durch integrierte Arbeitsvorbereitung.  
Dissertation, Technische Universität Berlin, 1991
- Altrogge 1996* Altrogge, G.:  
Netzplantechnik.  
3. Auflage, Oldenburg Verlag, München, Wien, 1996
- Anderl 1989* Anderl, R.:  
Integriertes Produktmodell.  
Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, Band 84 (1989) Nr. 11,  
S. 640-644
- Aurich 1995* Aurich, J. C.:  
Werkstückmodellierung mit Technischen Freiformelementen.  
Dissertation, Universität Hannover, 1995. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 183, VDI Verlag, Düsseldorf, 1995
- Awiszus 1999* Awiszus, B.:  
Integrierte Produkt- und Prozessmodellierung umformtechnischer Planungsprozesse. Habilitationsschrift, Universität Hannover, 1999
- Baum 1997* Baum, T.:  
Grafisch-interaktive Arbeitsplanung mit technischen Elementen.  
Dissertation, Universität Hannover, 1997. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 250, VDI Verlag, Düsseldorf, 1997

- Bechte 1984*      Bechte, W.:  
Steuerung der Durchlaufzeit durch belastungsorientierte Auftragsfreigabe bei Werkstattfertigung.  
Dissertation, Universität Hannover, 1984. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 70, VDI Verlag, Düsseldorf, 1984
- Beckendorff 1991*      Beckendorff, U.:  
Reaktive Belegungsplanung für die Werkstattfertigung.  
Dissertation, Universität Hannover, 1991. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 232, VDI Verlag, Düsseldorf, 1991
- Becker 1996*      Becker, M.:  
Methode zur modellgestützten Verfahrensplanung und elementorientierten NC-Programmierung im Werkzeug- und Formenbau.  
Dissertation, Universität Hannover, 1996. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 225, VDI Verlag, Düsseldorf, 1996
- Böhmer 1994*      Böhmer, D.:  
Einrichtung von Auftragsleitstellen auf der Grundlage eines Referenzmodells.  
Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 1994. Zgl. Berichte aus der Produktionstechnik Band 21, Shaker Verlag, Aachen
- Brankamp 1971*      Brankamp, K.; Heyn, W.:  
Standardisierte Netzpläne - Aufbau und Einsatzmöglichkeit für die Angebotsterminierung. Beuth Vertrieb GmbH, Berlin, Köln, Frankfurt a. M., 1971
- Brankamp 1975*      Brankamp, K.:  
Leitfaden zur Leistungssteigerung in der Konstruktion.  
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1975
- Brankamp 1978*      Brankamp, K.; Grässler, D.:  
Die Funktionen und Bausteine einer Gesamtauftragssteuerung in Maschinenbau-Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung. Leitfaden zur Vorgehensplanung und Realisierung. Maschinenbau-Verlag, Frankfurt/M., 1978
- Braun 1996*      Braun, J.:  
Aufgaben und Ziele der Organisationsgestaltung. In: Bullinger, H.-J.; Warnecke, H.-J. (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen. Springer Verlag, Berlin u.a., 1996

- Brunkhorst 1995* Brunkhorst, U.:  
Integrierte Angebots- und Auftragsplanung im Werkzeug- und Formenbau. Dissertation, Universität Hannover, 1995. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 366, VDI Verlag, Düsseldorf, 1995
- BSH 1999* Theuerkauf, J.:  
Redebeitrag bei Seminar Betriebsmittelbau, Techno Transfer, Darmstadt, 29./30.9.99
- Bullinger 1989* Bullinger, H. J.; Salzer, C.:  
Integration von CAD und CAP über ein gemeinsames Produktmodell. CIM Management, Band 5 (1989) Nr. 6, S. 28-33
- Bullinger 1976* Bullinger, H. J.:  
Ablaufplanung in der Konstruktion – Zeiten, Kapazitäten, Kosten. In: Warnecke, H.-J. (Hrsg.): Produktionstechnik heute, Band 15, Otto Krausskopf Verlag, Mainz, 1976
- Bullinger 1992* Bullinger, H. J.; Frech, J.; Wasserloos, G.:  
Forschungs- und Entwicklungsmanagement in der deutschen Industrie. In: Simultane Produktentwicklung, Forschungsbericht 4, Hochschulgruppe Arbeits- und Betriebsorganisation HAB e.V., Hrsg: A. W. Scheer, gfmt - Ges. f. Management u. Technologie, 1992
- Chryssolouris 1985* Chryssolouris, G.; Chan, S.:  
An Integrated Approach to Process Planning and Scheduling. CIRP-Annalen, Band 34 (1985) Nr. 1, S. 413-417
- Corkil 1991* Corkill, D.:  
Blackboard Systems. In: AI Expert, Band 9 (1991), S. 41ff
- Corsten 1997* Corsten, H.:  
Geschäftsprozessmanagement – Grundlagen, Elemente und Konzepte. In: Corsten, H. (Hrsg.): Management von Geschäftsprozessen: theoretische Ansätze – praktische Beispiele. Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln, 1997
- Cremers 1991* Cremers, A. B., Heinz, K.; Jünemann, R.:  
Expertensysteme für die Planung der Produktion. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1991



- Daub 1994* Daub, A.:  
Ablaufplanung: Modellbildung, Kapazitätsabstimmung und Unsicherheit. Dissertation, Universität Göttingen, 1994.  
Zgl. Eul Verlag Bergisch Gladbach, Köln, 1994
- Detand 1993* Detand, J.:  
A computer aided process planning system generating non-linear process plans. Dissertation, Katholieke Universiteit Leuven, 1993
- Deuschle 1995* Deuschle, U.:  
Prozessorientierte Organisation der Auftragsabwicklung in mittelständischen Unternehmen. Dissertation, Technische Universität München, 1995. Zgl. Springer Verlag, Berlin, 1995
- Dorner 1993* Dorner, F.:  
Beitrag zur Beurteilung der Wirksamkeit organisatorischer Maßnahmen am Beispiel der Zeitwirtschaft in der Konstruktion. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 1993. Zgl. Aachener Beiträge zu Humanisierung und Rationalisierung, Band 7, Verlag der Augustinius Buchhandlung, Aachen, 1993
- Dräger 1994* Dräger, H.:  
Gesamtauftragsüberwachung in der Kleinserien- und Einzelfertigung am Beispiel des Betriebsmittelbaus. Dissertation, Universität Hannover, 1994. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 330, VDI-Verlag Düsseldorf, 1994
- Ehrlenspiel 1993* Ehrlenspiel, K.; Stuffer, R.; Rutz, A.:  
Einführung einer methodischen Termin- und Kapazitätsplanung in Entwicklung und Konstruktion.  
VDI-Berichte, Band 1037 (1993), S. 31-48
- Ehrlenspiel 1995* Ehrlenspiel, K.:  
Integrierte Produktentwicklung. Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion.  
Carl Hanser Verlag, München, 1995
- EIMaraghy 1993* EIMaraghy, H. A.; EIMaraghy, W. H.:  
Bridging the Gap Between Process Planning and Production Control.  
Proceedings of the CIRP Seminars: Manufacturing Systems, 1993, S. 5-11

- Erdlenbruch 1984* Erdlenbruch, B.:  
Grundlagen neuer Auftragssteuerungsverfahren für die Werkstattfertigung.  
Dissertation, Universität Hannover, 1984. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 71, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1984
- Eversheim 1994* Eversheim, W.; Pollack, A.; Waltz, M.:  
Auch Entwicklungsprozesse sind planbar.  
VDI-Z, Band 136 (1994), Nr. 6, S. 78-83
- Eversheim 1996* Eversheim, W.; Deuse, J.; Moron, O.; Muhr, T.:  
PPS im Werkzeugbau.  
Die Arbeitsvorbereitung, Band 33 (1996) Nr. 6, S. 378-382.
- Eversheim 1997* Eversheim, W.; et al.:  
Dezentrale Auftragsplanung und -steuerung im Werkzeugbau.  
Zeitschrift für Unternehmensentwicklung und Industrial Engineering, Band 46 (1997) Nr. 5, S. 245-250.
- Eversheim 1998* Eversheim, W.; Klocke, F.:  
Werkzeugbau mit Zukunft: Strategie und Technologie.  
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1998
- Eversheim 1999a* Eversheim, W.; Spannemann, F.:  
Leistungsfähige Strukturen schaffen.  
SMM Werkzeug und Formenbau, (1999) Nr. 46, S. 22-24
- Eversheim 1999b* Eversheim, W.; Böhmer, D.; Dohms, R.; Schellberg, O.: Einrichtung einer Auftragsleitstelle.  
In: Luczak, H.; Eversheim, W. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin u.a., 1999
- Eversheim 2000* Eversheim, W.; Deckert, C.; Schröder, J.; Weber, P.:  
Mit der richtigen Strategie zum Erfolg.  
Werkstatt und Betrieb, Band 133 (2000) Nr. 5, S. 14-17
- Fallböhmer 1998* Fallböhmer, P.:  
Advanced Cutting Tools for the Finishing of Dies and Molds.  
Dissertation, Universität Hannover, 1998. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 498, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998
- Fischer 1999* Fischer, K.:  
Fuzzybasierte Auftragsauswahl an Schmiedeaggregaten. Dissertation, Universität Hannover, 1999. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 504, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999

- Fortuna 1997* Feature-oriented Cost Estimation and Process Planning for Special Tooling Industry - Technical Report, CRAFT-Projekt Fortuna #1451.  
IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover, 1997
- Franken 1998* Franken, T.:  
Modellbasierte Beherrschung von Konstruktionsabläufen.  
Dissertation, Universität Hannover, 1998. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Nr. 306, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998
- Friedland 1985* Friedland, P. E.; Iwasaki, Y.:  
The concept and implementation of skeletal plans.  
Journal of Automated Reasoning, Band 2 (1985) Nr. 1, S. 51-66
- Full 1993* Full, J.:  
Kundenfertiger aus der Ohnmacht erwacht.  
Die Arbeitsvorbereitung, Band 30 (1993) Nr. 1, S. 24-26
- Gausemeier 2000* Gausemeier, J.; Lindemann, U.; Reinhart, G.; Wiendahl, H.-P.:  
Kooperatives Produktengineering: ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens.  
HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 79, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Bonifatius Verlag, Paderborn, 2000
- Gebhardt 1995* Gebhardt, A.:  
Rapid Prototyping - Werkzeuge für die schnelle Produktentwicklung.  
Carl Hanser Verlag, München, 1995
- Grabowski 1993* Grabowski, H.; Anderl, R.; Polly, A.:  
Integriertes Produktmodell.  
DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 1993
- Grein 1997* Grein, G.:  
Wissensbasierte Kapazitäts-/Terminplanung von Konstruktionsprozessen.  
Dissertation, Universität Karlsruhe, 1997. Zgl. Forschungsberichte der Universität Karlsruhe, Band 2 (1997), Shaker Verlag, Aachen
- Große-Wienker 1993* Große-Wienker, R.:  
Entwicklung eines Kommunikationssystems für die integrierte Auftragsplanung und -steuerung. Dissertation, RWTH Aachen, 1993. Zgl. Berichte aus der Produktionstechnik, Band 94 (1993) Nr. 7, Shaker Verlag, Aachen

- Hamelmann 1996* Hamelmann, S.:  
Systementwicklung zur Automatisierung der Arbeitsplanung.  
Dissertation, Universität Hannover, 1996. Zgl. Fortschritt-  
Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 195, VDI-Verlag, Düsseldorf 1996.
- Hämmerle 1993* Hämmerle, E.:  
Werkstatorientierte Systeme zur Arbeitsplanung und kurzfristi-  
gen Fertigungssteuerung.  
Dissertation, Universität Bremen 1993
- Hanock 1987* Hanock, T. M.:  
Effects of Adaptive Process Planning on Job Cost and Lateness  
Measures. International Journal of Operations and Production  
Management, Band 8 (1987), S. 34-39
- Hanock 1989* Hanock, T. M.:  
Effects of Alternative Routings under Variable Lot-size Condi-  
tions. International Journal of Production Research, Band 27  
(1989) Nr. 2, S. 247-259
- Hantsch 1997* Hantsch, G.; Schneider, A.:  
Strukturelle Situation im Werkzeugbau.  
Verlag Dr. Jochem Heizmann, Gifhorn, 1997
- Hase 1995* Hase, B.:  
Quality results during the product development process. Inter-  
national Symposium on Automotive Technology and Automa-  
tion, Stuttgart, 1995
- Heuwing 1974* Heuwing, F. W.:  
Grundlagen der Terminplanung in der Konstruktion. Dissertati-  
on, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen  
1974
- Hichert 1980* Hichert, R.:  
Praktische Ansätze zur Termin-, Kapazitäts- und Kostenpla-  
nung in Entwicklung und Konstruktion.  
In: Moll, H. H.; Warnecke, H. J. (Hrsg.): RKW-Handbuch For-  
schung, Entwicklung, Konstruktion F+E, Band 2, Schmidt-  
Verlag, Berlin, 1980

- Hock 1996* Hock, S.:  
Hochgeschwindigkeitsfräsen im Werkzeug- und Grossformenbau: Eingriffsverhältnisse und Technologie.  
Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, 1996. Zgl. Darmstädter Forschungsberichte für Konstruktion und Fertigung, Verlag Shaker, Aachen, 1996
- Hock 2000* Hock, S.:  
Durchgängige Stimmigkeit.  
Werkstatt und Betrieb, Band 133 (2000) Nr. 5, S. 51-59
- Hoitsch 1993* Hoitsch, H.-J.:  
Produktionswirtschaft – Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre. Franz Vahlen Verlag, München, 1993
- ISTMA 1995* ISTMA 1995:  
Bericht über den Stanz-, Vorrichtung- und Formenbau 1990-1995, International Special Tooling and Machining Association, Frankfurt/Main, 1996
- Iwata 1989* Iwata, K.; Fukuda, Y.:  
A new Proposal of Dynamic Process Planning in Machine Shop. Proceedings of CIRP International Workshop on CAPP, Universität Hannover, 21.-22. September 1989
- Iwata 1990* Iwata, K.; Fukuda, Y.; Sugimura, N.:  
A Proposal of Knowledge Base Structure for Integrated Process Planning System. Preprints of the 22<sup>nd</sup> CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, University of Twente, Enschede, Netherlands, 11.-12. Juni 1990
- Kanet 1991* Kanet, J. J.; Sridharan, V.:  
PROGENITOR: A genetic algorithm for production scheduling. Wirtschaftsinformatik, (1991) Nr. 4, S. 332-336
- Khoshnevis 1990* Khoshnevis, B.; Chen, Q. M.:  
Integration of Process Planning and Scheduling Functions. Journal of Intelligent Manufacturing, Band 1 (1990), S. 165-176
- Klaus 1996* Klaus, M.:  
Koordination der Auftragsabwicklung in der Konstruktion. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 1996. Zgl. Aachener Beiträge zu Humanisierung und Rationalisierung, Band 25, Verlag der Augustinus Buchhandlung, Aachen, 1996

- Klingauf 1995* Klingauf, W.:  
Eine Branche im Wandel. Werkzeug- und Formenbau, Sonderheft: Portrait einer Branche, 1995, S. 8-14
- Köhle 1990* Köhle, M.:  
Neuronale Netze. Springer Verlag, Wien, 1990
- Krause 1996* Krause, F. L.; Stephan, M.:  
Fehlersensitive Produktgestaltung.  
Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, Band 91 (1996) Nr. 7-8, S. 330-332
- Kreutzfeldt 1995* Kreutzfeldt, J.:  
Planen mit Bearbeitungsalternativen in der Teilefertigung. Dissertation, Universität Hannover, 1995. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 16, Nr. 80, VDI-Verlag Düsseldorf, 1995
- Kuhlmann 1994* Kuhlmann, T.:  
Konzeption und Entwicklung eines Systems zur Koordinierung der Produktion komplexer Unikate.  
Dissertation, Universität Bremen, 1994
- Kühnle 1993* Kühnle, H.; et al.:  
Fusion von CAPP und PPS – Neue Energien für die Auftragsabwicklung. CIM Management, (1992) Nr. 1, S. 49-54
- Lampkemeyer 1992* Lampkemeyer, U.:  
Objektschemata und Methoden für ein rechnerintegriertes Angebotsplanungssystem im Werkzeug- und Formenbau.  
Dissertation, Universität Hannover, 1992. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 3, Nr. 279, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992
- Larsen 1993* Larsen, N. E.:  
Effects from Use of Alternative Routings.  
Proceedings of CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Band 22 (1993) Nr. 3, S. 243-253
- Lauwers 1993* Lauwers, B.:  
Computer-Aided Process Planning and Manufacturing for Electrical Discharge Machining.  
Dissertation, Katholieke Universiteit Leuven, 1993
- Lenderink 1993* Lenderink, A.; Kals, H. J. J.:  
The Integration of Process Planning and Machine Loading. Robotics & Computer Integrated Manufacturing, Band 10 (1993) Nr. 1-2, S. 89-99

- Lindl 1991* Lindl, M.:  
Auftragsleittechnik für die integrierte Konstruktion und Arbeitsplanung. CIM Management, Band 7 (1991) Nr. 1, S. 65-73
- Littger 1992* Littger, K.:  
Optimierung – Eine Einführung in rechnergestützte Methoden. Springer Verlag, Berlin, 1992
- Ludwig 1995* Ludwig, E.:  
Modellgestützte Diagnose logistischer Produktionsabläufe. Dissertation, Universität Hannover, 1995. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 362, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1995
- Macht 1999* Macht, M.:  
Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping. Dissertation, Technische Universität München, 1999. Zgl. iwbforschungsberichte, Band 131, Utz Verlag, München, 1999
- Mertens 1990* Mertens, P.:  
Lexikon der Wirtschaftsinformatik.  
2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1990
- Neugebauer 2000* Neugebauer, R.; Kreppenhofer, D.; Lang, R.:  
Daten optimal organisieren.  
Werkstatt und Betrieb, Band 133 (2000) Nr. 5, S. 46-50
- Nyhuis 1991* Nyhuis, P.:  
Durchlauforientierte Losgrößenbestimmung.  
Dissertation, Universität Hannover, 1991. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 225, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991
- Nyhuis 1999* Nyhuis, P.:  
Logistische Kennlinien.  
Habilitationsschrift, Universität Hannover, 1999
- Paul 1991* Paul, H.-J.; Borges, C.:  
Auftragsleitstelle – Problemlösung für eine Gesamtauftragssteuerung.  
VDI-Berichte, Band 928 (1991), S. 1-34
- Picot 1996* Picot, A.; Reichwald, R.; Wigand, R.:  
Die grenzenlose Unternehmung: Information, Organisation und Management; Teil 5: Auflösung von Hierarchien – Modularisierung der Unternehmung.  
2. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1996

- Rapp 1999* Rapp, T.:  
Produktstrukturierung – Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und –plattformen.  
Dissertation Universität St. Gallen, 1999. Zgl. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999
- Reinhart 2000* Reinhardt, G.; Fährer, J.:  
Schneller zum Formeneinsatz mit Rapid Prototyping.  
Werkstatt und Betrieb, Band 133 (2000) Nr. 5, S. 98-100
- Rudolph 1993* Rudolph, F. N.:  
Konfigurierbare technische Elemente für Konstruktion und Arbeitsplanung.  
Dissertation, Universität Hannover, 1993. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 84, VDI-Verlag Düsseldorf, 1993
- Schaele 1991* Schaele, M.:  
Erstellen und Bewerten von Konzepten zur Rechnerintegrierten Produktion im Werkzeugbau.  
Dissertation, Universität Hannover, 1991. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 214, VDI-Verlag Düsseldorf, 1991
- Schmidl 2000* Schmidl, G.; Friz, H.:  
In kürzerer Zeit von der Idee zum serienreifen Produkt. Maschinenmarkt, (2000) Nr. 23, S. 34-39.
- Schmidt 1996* Schmidt, B. C.:  
Integration von Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung mit Netzarbeitsplänen. Dissertation, Universität Hannover, 1995, Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 226, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996
- Schneewind 1994* Schneewind, J.:  
Entwicklung eines Systems zur integrierten Arbeitsplanerstellung und Fertigungsfeinplanung und -steuerung für die spanende Fertigung.  
Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 1994. Zgl. Berichte aus der Produktionstechnik, Band 8 (1994), Shaker Verlag, Aachen
- Schneider 1993* Schneider, B.:  
Neuronale Netze für betriebliche Anwendungen: Anwendungspotentiale und existierende Systeme. Arbeitsbericht Nr. 22, Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität Münster, 1993



- Scholz-Reiter 2000* Scholz-Reiter, B.:  
Reaktive Planung.  
Industrie Management, Band 16 (2000) Nr. 2, S. 21-26
- Schöneburg 1994* Schöneburg, E.; Heinzmann, F.; Feddersen, S.:  
Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien: eine Einführung in Theorie und Praxis der simulierten Evolution.  
Addison-Wesley Verlag, Bonn, 1994
- Schönheit 1994* Schönheit, M.; Wiegershaus, U.; Fink, M.:  
Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit mit effizienten Geschäftsprozessen – Prozessorientierung erhöht die Flexibilität.  
wt - Produktion und Management, Band 84, 1994, S. 538-542
- Schunke 1990* Schunke, A.:  
Ähnlichkeitsuche für die Rechnerunterstützte Konstruktion. Dissertation, Universität Hannover, 1990. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 22, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990
- Schwarze 1990* Schwarze, J.:  
Netzplantechnik: Eine Einführung in das Projektmanagement.  
6. Auflage, Verlag Neue Wirtschaftsbriefe, Herne, Berlin, 1990
- Seelbach 1975* Seelbach, H.:  
Ablaufplanung. Physica-Verlag, Würzburg, 1975
- Shah 1988* Shah, J. J.:  
Feature transformations between application-specific feature spaces. Computer-Aided Engineering Journal, December, 1988, S. 247-255
- Shah 1991* Shah, J. J.:  
Conceptual Development of Form Features and Feature Modelers. Research in Engineering Design, (1991) Nr. 2, S. 93-108
- Sielemann 2000* Sielemann, M.:  
Integration von Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung bei autonomer kooperativer Fertigung. Dissertation, Universität Hannover, 1999. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 535, VDI Verlag, Düsseldorf, 2000
- Sihong 1997* Sihong, Y.; Rong, W.:  
Multi-routings Integrated Process Planning and Management System-SIPM. Proceedings of the 1997 IEEE International Conference in Intelligent Processing Systems, October 28-31, Beijing, China, 1997, S. 1366-1370

- Stucky 1983* Stucky, W.; Schlageter, G.:  
Datenbanksysteme: Konzepte und Modelle; mit einigen Tabellen und zahlreichen Beispielen. Teubner-Verlag, Stuttgart, 1983
- Tönshoff 1993* Tönshoff, H. K.; Kreuzfeldt, J.; Hofschneider, D.:  
Concurrent Process Planning and Workshop Control in Batch Production. Proceedings of CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Band 22 (1993) Nr. 3, S. 231-241.
- Tönshoff 1995* Tönshoff, H. K.; Brunkhorst, U.; Tracht, K.:  
Angebotsplanung in der Einzelfertigung.  
CIM Management, Band 11 (1995) Nr. 5, S. 42-45
- Tönshoff 1996* Tönshoff, H. K.; Tracht, K.:  
A Product Model for Tender and Order Planning in Die and Mold Industry. Production Engineering (1996) 2.
- Tönshoff 1997* Tönshoff, H. K.; Pudig, C.; Tracht, K.:  
Werkzeug- und Formenbau in Deutschland.  
wt - Produktion und Management, Band 87, 1997, S. 145-151
- Tönshoff 1999* Tönshoff, H. K.; Karpuschewski, B.; Teske, T.; Urban, B.:  
Neue Ansätze zur Senkung der Fertigungszeiten bei der Hohlformbearbeitung. Forschungsbericht, 3. Berichtszeitraum des SFB 300 „Werkzeuge und Wertzeugsysteme der Metallbearbeitung“, Hannover, 1999
- Tönshoff 2000a* Tönshoff, H. K.; Seidemann, H.; Schmidt, B. C.:  
Co-operative Product Engineering (CPE) – A New Approach to Simultaneous Engineering. Annals of Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, 21.-23. Juni 2000, Capri
- Tönshoff 2000b* Tönshoff, H. K.; Tracht, K.:  
Scheduling and Monitoring in one-of-a-kind production - a new approach for Die and Mould Industry. Annals of International Conference on Die and Mold Technology, 26.-28. Juli 2000, Peking
- Tönshoff 2000c* Tönshoff, H. K.; Bisping, M.:  
Tendering of dies and molds. Annals of International Conference on Die and Mold Technology, 26.-28. Juli 2000, Peking
- Tracht 1998* Tracht, K.:  
Benchmarking im Werkzeug- und Formenbau. Unveröffentlichte Studie. Institut für Integrierte Produktion Hannover, 1998

- Tracht 2000* Tracht, K.:  
Grundlagen und Voraussetzungen zur Effektivitätssteigerung im Werkzeugbau. Termingerechte Auftragsabwicklung im Werkzeugbau, Deutsches Industrieforum, 10.-11.4.2000, Bielefeld
- Ungeheuer 1985* Ungeheuer, U.:  
Produkt- und Montagestrukturierung. Methodik zur Planung einer anforderungsgerechten Produkt- und Montagestruktur für komplexe Erzeugnisse der Einzel- und Kleinserienproduktion. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 1985. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 112, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1985
- vanHouten 1991* van Houten, F., J., A., M.:  
PART: a computer aided process planning system. Dissertation, Universität Enschede, 1991
- VDMA 1998* Verein Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.:  
Arbeitskreis „PPS im Werkzeugbau“, unveröffentlichte Untersuchung, Frankfurt, 1998
- VDMA 1999* Verein Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.:  
Deutsche Außenhandelsstatistik 1998, Frankfurt, 1999
- Wahlers 1998* Wahlers, T.:  
Modellgestützte Analyse und Verbesserung der logistischen Merkmale komplexer Serienprodukte. Dissertation, Universität Hannover, 1998. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 475, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998
- Warschat 1996* Warschat, J.:  
Concurrent und Simultaneous Engineering.  
In: Bullinger, H. J.; Warnecke, H. J. (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen: ein Handbuch für das moderne Management. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg u.a., 1996
- Weil 2000* Weil, C.:  
Weg mit dem Auftragsstau. It Band 3 (2000), S. 64-66
- Westkämper 1998* Westkämper, R. D.; Schraft, E.:  
Mehr Erfolg durch professionellen Methodeneinsatz. Eine Empirische Untersuchung zum Methodeneinsatz in produzierenden Unternehmen. Studie des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart, 1998

- Wiendahl 1997a* Wiendahl, H.-P.:  
Betriebsorganisation für Ingenieure.  
4. Auflage, Hanser Verlag, München, Wien, 1997
- Wiendahl 1997b* Wiendahl, H.-P.:  
Fertigungsregelung.  
Hanser Verlag, München, Wien, 1997
- Wiendahl 2000* Wiendahl, H.-P.:  
Modellierung der Produktionslogistik komplexer Produkte auf  
der Basis eines Auftragsdiagramms.  
Abschlussbericht zum DFG-Forschungsvorhaben Wi 377/46-4,  
Hannover, 2000
- Wiendel 2000* Wiendel, W.:  
Produktintegritätskonzept zum Einsatz in Concurrent Enginee-  
ring.  
Dissertation, Universität Hannover, 2000
- Winkler 1995* Winkler, M.:  
Eine flexible Architektur für Systeme der Werkstattsteuerung.  
Dissertation, Universität Hannover, 1998. Zgl. Fortschritt-  
Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 479, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998
- Winklhofer 1993* Winklhofer, A.:  
Zeitrepräsentation und merkmalsgesteuerte Suche zur Termin-  
planung. Dissertation, Technische Universität München, 1993.  
Zgl. infix Verlag, Sankt Augustin, 1993
- Wobker 1995* Wobker, H.-G.:  
Hartbearbeitung. Habilitationsschrift, Universität Hannover,  
1995. Zgl. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 420, VDI-  
Verlag, Düsseldorf, 1997
- Wüpping 1993* Wüpping, J.:  
Systematische Entwicklung und Nutzung von Baukastensysteme-  
men für Wrap-around-Verpackungsmaschinen. Forschungsber-  
icht, Schriftenreihe Transport- und Verpackungslogistik, Band  
17, Deutscher Fachverlag, Frankfurt/Main, 1993
- Yang 1998* Yang, Z.; Qiao, L.; Jiang, L.:  
Improving the Performance of Part Dispatching Based on Multi-  
ple Process Plans Using Graph Theory. International Journal of  
Production Research, Band 36 (1998) Nr. 7, S. 1987-2003

- Zhang 1993*      Zhang, H. C.:  
IPPM – A Prototype to Integrated Process Planning and Job  
Scheduling Functions. CIRP-Annalen, Band 42 (1993) Nr. 1, S.  
513-518
- Zimmermann 1971*      Zimmermann, H.-J.:  
Netzplantechnik.  
Springer Verlag, Berlin, New York, 1997