

Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik

Herausgeber: Prof. Dr. J. Becker, Prof. Dr. H.-L. Grob, Prof. Dr. K. Kurbel,
Prof. Dr. U. Müller-Funk, Prof. Dr. R. Unland

Arbeitsbericht Nr. 18

**Design for Logistics -
Ein Beispiel für die logistikgerechte Gestaltung
des Computer Integrated Manufacturing**

Jörg Becker, Michael Rosemann

Institut für Wirtschaftsinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster,
Grevener Str. 91, 48159 Münster, Tel (0251) 83-9751, Fax (0251) 83-9754
Juli 1993

Inhalt

| | | |
|---|---|----|
| 1 | CIM aus Sicht der Logistik | 3 |
| 2 | Funktionsintegration in der Konstruktion | 4 |
| 3 | Gestaltungsempfehlungen für eine logistikgerechte Konstruktion | 8 |
| | 3.1 Anforderungen der logistischen Subsysteme | 8 |
| | 3.2 Anforderungen der logistischen Kernfunktionen | 11 |
| | 3.3 Die Bedeutung der Produktbauweise | 12 |
| 4 | Möglichkeiten der informatorischen Unterstützung der Konstruktion | 18 |
| 5 | Das Dilemma logistikgerechten Konstruierens | 23 |
| | Literatur | 24 |

Zusammenfassung

Eine rasch ansteigende Anzahl an Beiträgen widmet sich der zwischen Logistik und CIM bestehenden Beziehung. Zumeist besteht das Ergebnis dabei in der Identifikation einer Schnittmenge, in der sich beide Integrationsansätze treffen. Eine solche Schnittmengendefinition ist aber ohne unmittelbaren Nutzen. Dieser Arbeitsbericht zeigt an einem Beispiel auf, daß die Interdependenz zwischen beiden Konzepten - der Verbundenheit von Material- und Informationsflüssen entsprechend - vielschichtiger ist, als die bisher ermittelten Berührungspunkte von Logistik und CIM vermuten lassen.

Exemplarisch für den Blickwinkel CIM aus Sicht der Logistik wird die logistikgerechte Gestaltung der Konstruktion ausgeführt. Damit wird innerhalb des Produktentstehungsprozesses die Phase mit maximaler Gestaltungswirkung auf die Logistik untersucht. Im folgenden wird einerseits dargestellt, wie die Konstruktion Einfluß auf logistische Prozesse nehmen kann. Andererseits wird aufgezeigt, wodurch die Freiheitsgrade einer logistikgerechten Konstruktion abgesteckt werden. Anhand einer Beschreibung der Möglichkeiten der informatorischen Unterstützung des Konstrukteurs werden die datentechnischen Konsequenzen einer höheren Logistikorientierung im Konstruktionsprozeß deutlich. Der Arbeitsbericht endet mit einer Skizzierung der Schwierigkeiten bei der praktischen Umsetzung der aufgestellten Forderungen.

1 CIM aus Sicht der Logistik

Als Überschneidungsbereiche von Logistik und CIM (dem Y-CIM-Modell gemäß definiert) werden in der Literatur genannt:

- PPS¹⁾
- PPS und CAM²⁾
- Materialwirtschaft, Produktionssteuerung und CAM³⁾

Eine umfassende Analyse der Interdependenz zwischen Logistik und CIM zeigt aber, daß beide Integrationskonzepte durch weit mehr Berührungspunkte miteinander verbunden sind, als diese Schnittmengen vermuten lassen.⁴⁾

Eine Vergleichbarkeit von Logistik und CIM ist nur dann gegeben, wenn CIM über das enge Feld der Produktion (Manufacturing) hinaus unter Einschluß der vor- und nachliegenden Prozeßstufen (Beschaffung und Distribution) sowie inklusive der entsorgungslogistischen Abläufe definiert wird. Erst bei einer solchen Begriffsbestimmung erstreckt sich das Rationalisierungspotential von CIM entlang der gesamten Logistikkette. Zudem bedarf es einer strikten Trennung der Intention beider Konzepte. Logistik stellt im wesentlichen den Materialfluß in den Vordergrund, während CIM die integrative Gestaltung des Informationsflusses zum Gegenstand hat. Auf diese Weise gelangt man zu (weitgehend) überschneidungsfreien Definitionen. Durch die enge Verbundenheit von Material- und Informationsfluß bei industriebetrieblchen Prozessen besteht aber eine enge Interdependenz zwischen Logistik und CIM.

Ein Weg, diese wechselseitige Abhängigkeit zwischen Logistik und CIM zu erfassen, besteht darin, jeweils eines der beiden Konzepte in den Vordergrund zu stellen und die Unterstützungsleistung bzw. die Anforderungen des jeweils anderen herauszuarbeiten.

Für jedes logistische Subsystem lassen sich Anforderungen an die Informationsflußgestaltung formulieren. Diese können beispielsweise auf dem Abstraktionsniveau der vier CIM-Integrationskomponenten Daten-, Datenstruktur-, Modul- und Funktionsintegration⁵⁾ generalisiert und über die Alternativen der direkten Kopplung von Systemen, des Unternehmensdatenmodells (UDM) oder des CIM-Interface-Systems realisiert werden. Eine solche Betrachtungsweise bedeutet, *Logistik aus Sicht des CIM* zu untersuchen.

1) Vgl. Nedeß (1992); Jourdan (1990); Maier-Rothe (1986).

2) Vgl. Stenzel (1987); Handke (1986).

3) Vgl. Venitz (1991).

4) Vgl. ausführlich Becker, Rosemann (1993), S. 27-39.

5) Vgl. Becker (1991), S. 166-191.

Unterzieht man das Konzept des Computer Integrated Manufacturing einer logistischen Betrachtung, steht die logistikgerechte Gestaltung der einzelnen CIM-Funktionen im Mittelpunkt. Logistikspezifische Anforderungen existieren insbesondere für die Stammdatenhaltung, die Produktionsplanung und -steuerung, die Konstruktion, die Arbeitsplanung, die CAM-Funktionen und die Qualitätssicherung. Im folgenden sollen exemplarisch für den Blickwinkel *CIM aus Sicht der Logistik* die Aspekte einer logistikgerechten Konstruktion herausgegriffen werden. Dabei zeigt sich, daß die Verantwortung der Logistik nicht erst mit der physischen Abwicklung des Materialflusses beginnt, sondern daß die logistische Aufgabe der optimalen Materialflußgestaltung bereits in den ersten Funktionen innerhalb des Produktentstehungsprozesses einsetzt.

2 Funktionsintegration in der Konstruktion

Die Aufgabe der Konstruktion erfährt wie kaum eine andere betriebliche Funktion durch die den CIM-Ansatz charakterisierende Integration von Daten und Funktionen eine Aufwertung und Erweiterung. Die eigentliche Konstruktionsaufgabe ist die Gestaltung eines Produkts, das vorgegebene Funktionen zu erfüllen hat. Ausgehend von der Einsicht, daß die Konstrukteure nicht nur - entsprechend der frühen Stellung im Produktentstehungsprozeß - über ausgesprochen viele Freiheitsgrade verfügen, sondern in gleichem Maße einen Großteil der folgenden Abläufe und somit auch der einem Produkt zurechenbaren Kosten determinieren, steigen auch die Anforderungen an die Konstruktion. So findet der Zwang zu höherer Kundenorientierung seinen Niederschlag in einem stetigen Anstieg der Variantenvielfalt (externer Einfluß).

Unternehmensintern wird die Konstruktion durch die fortgeschrittene Funktionalität von CAD-Systemen und aufgrund der Entwicklung hin zu einer unternehmensweiten Datenintegration als idealtypischer Ort einer umfassenden Funktionsintegration im Sinne des Vereinigens von Funktionen gesehen. Zu den Anforderungen, die an die Konstruktion gestellt werden, zählen u. a., daß sie zeitparallel kostenorientiert, funktions-, fertigungs-, montage-, wiederhol-, qualitäts-, dispositions-, instandhaltungs- und umweltgerecht zu erfolgen hat. In wachsendem Maße hat die Konstruktion also ihre Entscheidungen an den daraus resultierenden Konsequenzen in nachgelagerten betrieblichen Bereichen zu orientieren. Dabei bestehen zwischen den einzelnen Zielen im konkreten Fall sowohl harmonische, neutrale als auch konfliktäre Beziehungen.

Zusätzlich wird an dieser Stelle die konstruktionssynchrone Beachtung der räumlich-zeitlichen Werkstückveränderung, mithin Logistikgerechtheit, verlangt.⁶⁾ Analog zu den Begriffen, die für

⁶⁾ Pawellek, Schulte sehen in der logistikgerechten Produktgestaltung die dritte Phase der Konstruktionsentwicklung, nachdem ursprünglich die Produktfunktion (erste Phase) und anschließend die Fertigungsgerechtigkeit (zweite Phase) betrachtet wurde. Vgl. Pawellek, Schulte (1987), S. 447.

eine fertigungsgerechte Konstruktion - Design for Manufacture - oder für eine montagegerechte Konstruktion - Design for Assembly⁷⁾ - verwendet werden, wird hier die Forderung *Design for Logistics* erhoben (vgl. Abbildung 1).

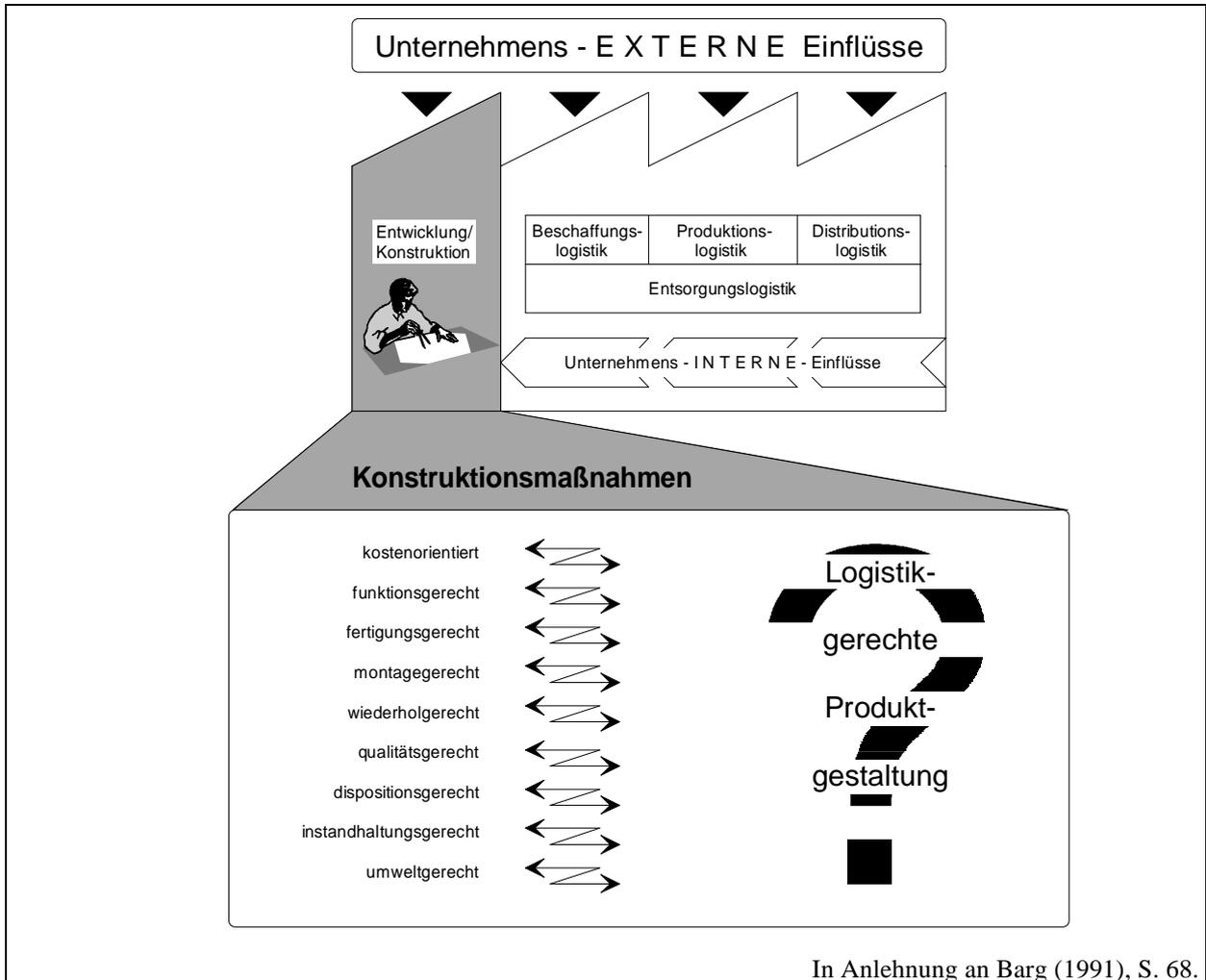


Abb. 1: Logistikgerechtigkeit als eine Anforderung an die Konstruktion

Logistikgerechte Konstruktion bedeutet die konstruktionssynchrone Berücksichtigung logistischer Aspekte durch Nutzung der im Rahmen der gegebenen Produktbeschreibung existierenden Freiheitsgrade. Dazu zählt sowohl die (passive) Integration logistischer Restriktionen als auch die (aktive) Werkstückgestaltung unter Beachtung der logistischen Konsequenzen.

Dieser Definition gemäß, besteht zwischen der Konstruktion und der Logistik eine Wechselbeziehung. Die Konstruktion hat einerseits bei der Werkstückgestaltung die logistischen Bedingungen (z. B. Größe der Transportmittel und -hilfsmittel, maximales Umschlaggewicht und -volumen, Lagerplatzgröße) zu berücksichtigen. Andererseits werden durch die Konstruktion im

⁷⁾ Zu diesen Begriffen vgl. Boothroyd, Dewhurst (1988), S. 42.

Rahmen der produktseitigen Freiheitsgrade aber auch Prozesse der Logistik determiniert. So schränkt sie u. a. durch die Bestimmung der eingesetzten Materialien, der Fertigungsverfahren und der Teileanordnung die möglichen Arbeitsabläufe ein und legt damit wesentlich die Transportintensität während der Produktentstehung fest. Darüber hinaus wird die Ausgestaltung der Logistikressourcen insoweit bestimmt, wie die Konstruktion der Transportmittel als Aufgabe der Betriebsmittelkonstruktion selbst wahrgenommen wird.

Ziel des Design for Logistics ist es also, die mit der Materialbeschaffung, dem Produktionsdurchlauf, der Distribution und der Entsorgung verbundenen logistischen Prozesse bereits in der Konstruktion insofern zu optimieren, als die konstruktive Ausgestaltung des Produkts Einfluß auf diese Abläufe besitzt.

Dabei sind stets beide Wirkungsrichtungen zu beachten. Zugrunde zu legen sind immer die bestehenden logistischen Gegebenheiten, die das maximale, theoretisch denkbare Gestaltungspotential - und somit auch die Freiheitsgrade einer logistikgerechten Konstruktion - eingrenzen. Weitere Einschränkungen erfahren die Möglichkeiten zur logistikgerechten Konstruktion in dem Ausmaß, indem die zahlreichen Anforderungen anderer Funktionsbereiche (Fertigung, Montage, Qualitätssicherung, Umweltschutzmanagement, Kostenrechnung etc.), die synchron zur Logistikgerechtigkeit an die Konstruktion gestellt werden, konfliktär zu den Belangen der Logistik sind.

Die Konstruktion grenzt nun ihrerseits die Gestaltungsmöglichkeiten für die dispositive Planung logistischer Prozesse ein. Planerische Freiheitsgrade bleiben im folgenden soweit erhalten, wie die innerhalb der Konstruktion getroffenen Entscheidungen bezüglich Produktgeometrie und notwendige Fertigungstechnologie zu keinen Zwangsabläufen führen. Zu den dispositiven Aufgaben gehören u. a. die Lieferantenauswahl (Beschaffungslogistik), die Arbeitsplanung (Produktionslogistik), die Wahl des Distributionsweges (Distributionslogistik) und die Festlegung des Recyclingprozesses für ein Produkt (Entsorgungslogistik). Damit sind die Abläufe innerhalb der operativen Ausführung der Logistikprozesse weitestgehend determiniert. Diametral entgegen steht allerdings diesem verbleibenden geringen Gestaltungspotential der operativen Ebene die Tatsache, daß in dieser letzten Phase der Großteil der Logistikkosten verursacht wird.

Abbildung 2 gibt die Eingrenzung des Lösungsraums innerhalb der beschriebenen Phasen der Festlegung logistischer Abläufe wieder.

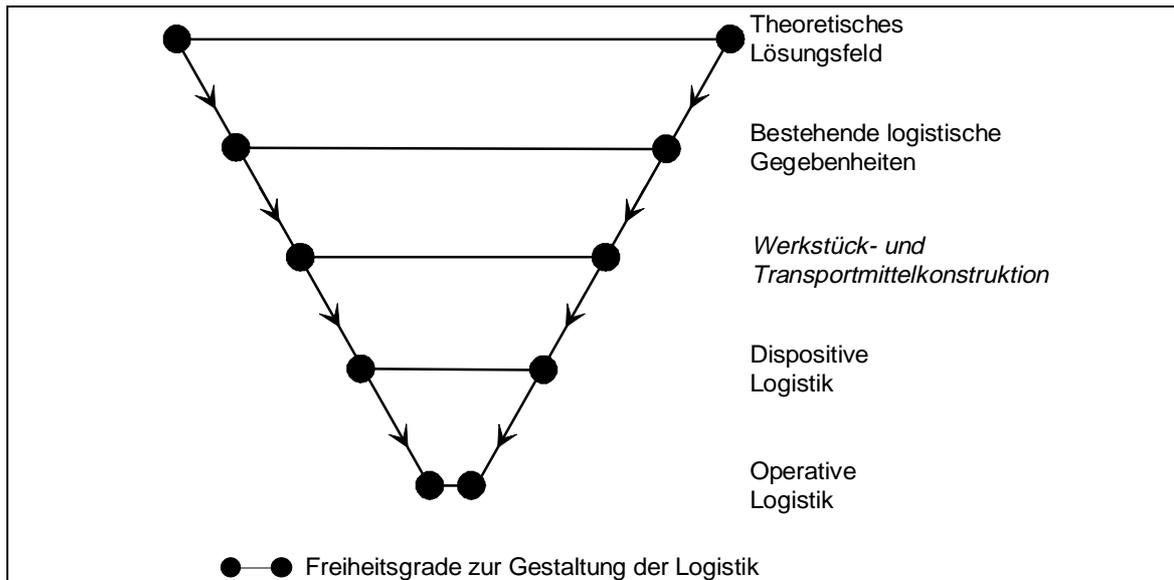


Abb. 2: Eingrenzung der Freiheitsgrade zur Gestaltung logistischer Abläufe

Eine rein sukzessive und nicht rückgekoppelte Eingrenzung des Lösungsraums ignoriert die Interdependenzen, die zwischen den einzelnen Phasen bestehen, und führt somit gegebenenfalls nur zu suboptimalen Entscheidungen. So können beispielsweise konstruktive Entscheidungen durchaus einen teilweisen Neuaufwurf der vorhandenen Logistikstruktur bewirken.

Ein Ansatz zur Aufhebung der Nachteile einer sukzessiven, nicht rückgekoppelten Eingrenzung des Gestaltungsspielraums ist das *Simultaneous Engineering* (SE). Interdisziplinär aus Konstrukteuren, Arbeitsvorbereitern, Logistikern, Projektierungsingenieuren und Anlagenbauern zusammengesetzte SE-Teams sorgen als organisatorische Maßnahme für eine Parallelisierung der Phasen, so daß eine Eingrenzung der Freiheitsgrade unter Beachtung der Bedingungen der nachfolgenden Phasen erfolgt. Ein Ergebnis des SE ist beispielsweise die simultane Werkstück- und Transportmittelkonstruktion. Ein SE-Team ist hierbei verantwortlich für die Entscheidung, in welchem Ausmaß das Produkt und inwieweit das Transportsystem zur gegenseitigen Abstimmung zu ändern ist. Das grundlegende Problem des SE ist die Notwendigkeit, die Arbeit mit Daten zu beginnen, die sich erst im Zeitablauf konkretisieren.

Die nachfolgenden Ausführungen zu den Inhalten einer logistikgerechten Konstruktion beschreiben die innerhalb des Produktentstehungsprozesses erste Funktion (zusammen mit dem Entwurf), die Einfluß auf die Gestaltung der Logistik hat. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, daß ein Großteil der Logistikkosten bereits festgelegt ist, bevor die operativen Logistikabläufe beginnen.

Abbildung 3 bringt diesen Sachverhalt zum Ausdruck, wobei die angegebenen Kostenverhältnisse lediglich beispielhafte Relationen widerspiegeln sollen. Die konkreten Kostenverhältnisse er-

geben sich abhängig vom logistischen Schwerpunkt des Unternehmens, der bei kapitalintensiven Unternehmen mit geringer Fertigungstiefe in der Beschaffungslogistik (zunehmend Automobilindustrie) und bei hoher Fertigungstiefe in der Produktionslogistik (z. B. Textilindustrie) liegt.

Die kumulierten Kurven der Kostenverursachung und -festlegung verdeutlichen, daß die der operativen Logistik vorgelagerten Phasen selbst nur geringe Kosten verursachen, gleichzeitig aber über eine hohe Kostenverantwortung verfügen.

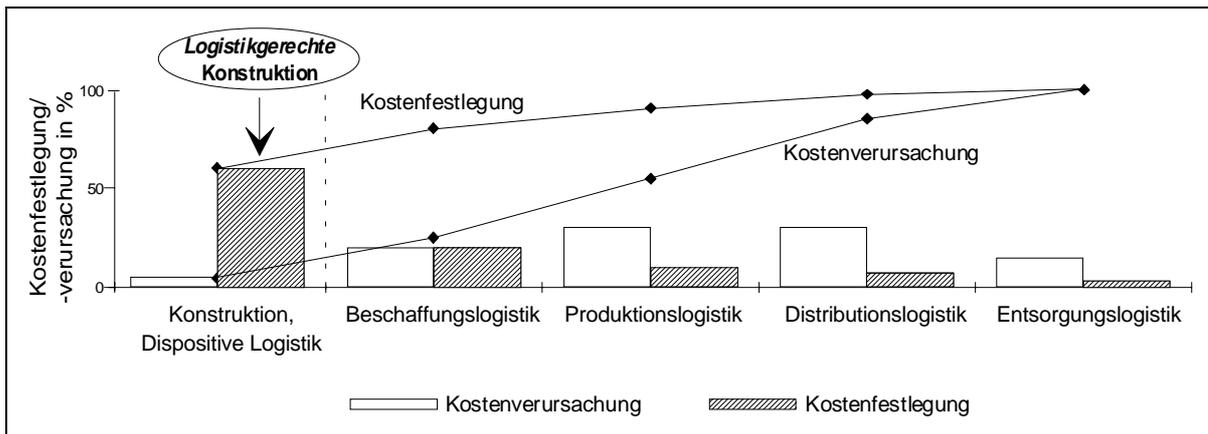


Abb. 3: Stellenwert einer logistikkorrekten Konstruktion für die Kostenfestlegung innerhalb der nachfolgenden Logistikkette

3 Gestaltungsempfehlungen für eine logistikkorrekte Konstruktion

3.1 Anforderungen der logistischen Subsysteme

Nachdem lange Zeit eine funktionale Dreiteilung der Logistik in die Subsysteme der Beschaffungs-, der Produktions- und der Distributionslogistik vorherrschte, hat sich im Zuge einer wachsenden Ökologieorientierung die Entsorgungslogistik als viertes, gleichwertiges Subsystem etabliert. Jedes dieser vier Subsysteme stellt eigenständige Anforderungen an die Produktgestaltung.

Bezüglich der *Beschaffungslogistik* besteht eine wesentliche Bedeutung der Konstruktion darin, daß sie Einfluß auf die make-or-buy-Entscheidung nimmt, indem sie die benötigten Materialien und Fertigungsverfahren so eingrenzt, daß Eigenfertigung bzw. Zukauf keine echten Alternativen mehr darstellen. Damit bestimmt die Konstruktion, welche beschaffungs- und produktionslogistischen Aufgaben in welchem Ausmaß anfallen, wie sich also der logistische Aufwand während der Produkterstellung auf die einzelnen Subsysteme verteilt. Die Produktgestaltung determiniert weiterhin, inwieweit Bausteine komplett zu beziehen sind und damit Modular Sourcing

möglich ist. Mit der Bestimmung der Einsatzstoffe sowie der notwendigen Fertigungsverfahren erfolgt zudem eine Beschränkung der potentiellen Lieferanten. Durch eine wiederholgerechte, d. h. eine die Teilemehrfachverwendung fördernde Konstruktion lassen sich Degressionseffekte wie Mengenrabatte oder eine reduzierte Anzahl an Wareneingangsvorgängen erzielen.

Eine Forderung der *Produktionslogistik* ist - falls Konzepte der flexiblen Automatisierung wie Flexible Fertigungszellen oder -systeme zum Einsatz kommen - die automatisierungsgerechte Gestaltung des Produkts. Hierzu zählen die Schaffung eindeutiger Spann- bzw. Greifflächen, die Standardisierung von Operationen (z. B. Vereinheitlichung der Gewinde) und die weitestgehende Bearbeitung in einer Aufspannung (Vermeidung von Mehrseitenbearbeitungen). Von grundlegender Bedeutung für den produktionslogistischen Aufwand ist die Montageintensität der Produkte, die sich aus der Bauweise ableitet.

Aus Sicht der *Distributionslogistik* gilt es vor allem Umschlagvorgänge zu minimieren. Hierzu bedarf es einer Abstimmung bezüglich Verpackungsarten und -einheiten mit dem jeweiligen Abnehmer (sog. unitization). Stapelfähige Artikel erleichtern durch die Standfestigkeit und Kompaktheit die Lagerung im Distributionskanal. Der Aufwand der Ersatzteillogistik als ein Element der Distributionslogistik läßt sich durch harmonisierte Lebensdauern der in das Produkt eingehenden Einsatzteile reduzieren. Eine auch ohne Verpackungen transportgerechte Produktgestaltung gewinnt aufgrund der Rücknahmeverpflichtungen für Transportverpackungen an Bedeutung. Die durch den Wegfall der Verpackungen verlorene Schutzfunktion ist durch eine entsprechende Konstruktion sowie ggf. eine Umgestaltung der Verkehrsträger zu erzielen.

Dieser letztgenannte Aspekt berührt zugleich die Belange der *Entsorgungslogistik*. Gegenwärtig wird intensiv diskutiert, wie eine ökologische Produktgestaltung auszusehen hat.⁸⁾ Kernforderungen sind die Demontagegerechtigkeit (lösbare Verbindungen, gute Zugänglichkeit, Teilekennzeichnung) sowie die Verwendung recyclingfähiger, untereinander verträglicher Einsatzstoffe. Letzteres bedingt, daß der Konstrukteur Zugriff auf Verträglichkeitsmatrizen hat. Den Aufwand der Entsorgungslogistik reduziert darüber hinaus eine Verringerung des zu entsorgenden Abfallvolumens durch eine Miniaturisierung der Einsatzteile. Durch die weitestgehende Vermeidung degenerativer Erscheinungen am Produkt (z. B. durch eine korrosionsgerechte Gestaltung) wird die Automatisierbarkeit der entsorgungslogistischen Prozesse erhöht.

Prinzipien für eine den jeweiligen Anforderungen der logistischen Subsysteme gerecht werdende Produktgestaltung sind zusammenfassend in Tabelle 1 enthalten.

⁸⁾ Vgl. beispielsweise Barth, Gerhardt, Schmied (1993); Hartmann, Lehmann (1993), S. 103-110; Milberg, Dieterle (1993); Pahl, Beitz (1993), S. 420-432; Barg (1991); Eversheim, Hartmann, Linnhoff (1992).

| Subsystem | Gestaltungsprinzipien |
|-----------------------|--|
| Beschaffungslogistik | <ul style="list-style-type: none"> - Bestimmung der Einsatzstoffe und der notwendigen Fertigungsverfahren gemäß den Möglichkeiten der potentiellen Lieferanten - Förderung des Modular Sourcing durch modulare Bauweise, d. h. die Anlage von Konstruktionshaupt- und -untergruppen - Wiederholgerechte Konstruktion zur Nutzung von Degressionseffekten (Mengenrabatte) und zur Reduzierung der Anzahl an Wareneingangsvorgängen - Auslagerung von Teil-Entwicklungsarbeit auf die Zulieferer |
| Produktionslogistik | <ul style="list-style-type: none"> - automatisierungsgerechte Gestaltung (Standardisierung von Gewinden, Schaffung eindeutiger Spann- bzw. Greifflächen) - Vermeidung von Mehrseitenbearbeitungen - verringerte Montageintensität durch integrale statt differentiale Bauweise |
| Distributionslogistik | <ul style="list-style-type: none"> - Minimierung der Umpackvorgänge durch mit dem Abnehmer (Handel) abgestimmte Einheiten und Verpackungen (unitization) - lagergerechte Produkt- und Verpackungsgestaltung (z. B. Stapelfähigkeit) - Harmonisierung der Lebensdauer der Einsatzteile, um den Aufwand der Ersatzteillogistik zu reduzieren - transportgerechte Produktgestaltung (Hängevorrichtungen, Tragehilfen etc.), insbesondere angesichts weiterer Reduzierungen entsorgungsintensiver Transportverpackungen (z. B. Schrumpffolie) |
| Entsorgungslogistik | <ul style="list-style-type: none"> - demontagegerechte Gestaltung, z. B. durch lösbare Verbindungen (Schnappverbindungen, Spann- oder Drehverschlüsse anstelle von Klebeverbindungen) und gute Zugänglichkeit, d. h. geringe Komplexität der Baustruktur - Einsatz recyclingfähiger, untereinander verträglicher Einsatzstoffe - Kennzeichnung der Einsatzteile (insb. Kunststoffe) - Schaffung direkter Handhabbarkeit des Produkts, um auf Verpackungen und Verpackungshilfsmittel (Behälter, Paletten, Faltschachteln etc.) verzichten zu können - Reduzierung des zu entsorgenden Volumens durch Miniaturisierung der Einsatzteile - korrosionsgerechte Gestaltung |

Tab. 1: Prinzipien für eine den logistischen Subsystemen gerecht werdende Produktgestaltung

3.2 Anforderungen der logistischen Kernfunktionen

Die Forderungen der Logistik an die Produktgestaltung lassen sich nicht nur gemäß den Subsystemen differenzieren, sondern können auch aus den logistischen Kernfunktionen des Transportierens, Umschlagens und Lagerns (TUL-Prozesse) abgeleitet werden.

Hinsichtlich der *Transportaufgabe* ist es entscheidend, wie sehr die Konstruktion Zwangsabfolgen festlegt. Für eine an logistischen Zielkriterien (z. B. Minimierung der Transportkosten) orientierte Festlegung der technischen Vorrangbeziehungen zwischen den Arbeitsgängen reicht es nicht aus, dem Konstrukteur als alleinige Information die Funktionen und Standorte der Betriebsmittel zur Verfügung zu stellen. Ein wichtiger Aspekt ist auch die bestehende Transportwegeinfrastruktur. Dies wird an folgendem Beispiel deutlich (vgl. Abbildung 4): Eine zu treffende konstruktive Entscheidung möge festlegen, welche von zwei technisch äquivalenten Betriebsmittelabfolgen der Fertigung zugrunde zu legen ist. Die erste Alternative (1) besteht in der Betriebsmittelabfolge A-B-C, die zweite (2) lautet A-C-B. Kennt der Konstrukteur lediglich die Koordinaten der Betriebsmittel, so würde er gemäß Abbildung 4a) seine konstruktive Entscheidung so treffen, daß der Durchlauf A-B-C lautet (vereinfachend wird hier von linear mit der Transportentfernung steigenden Kosten ausgegangen). Wird aber das konkrete Fabriklayout einbezogen, das z. B. die Gestalt der Abbildung 4b) haben könnte, so ändert sich in diesem Fall die aus logistischer Sicht optimale Konstruktionsauslegung. Die Abfolge A-C-B weist unter diesen Annahmen die geringeren Transportkosten auf.

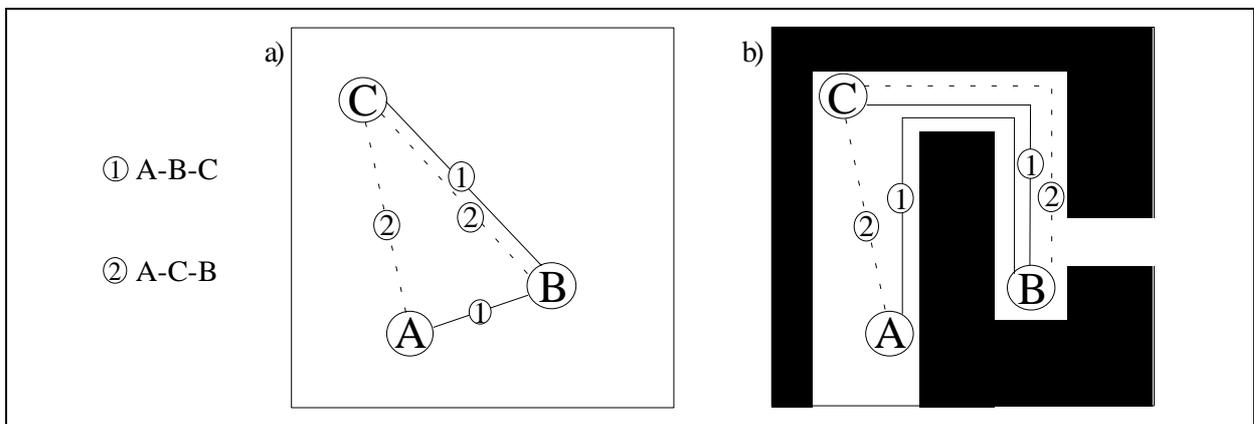


Abb. 4: Bestimmung der technischen Vorrangbeziehungen unter Beachtung der Betriebsmittelstandorte (a) und zusätzlich der Transportwegeinfrastruktur (b)

Neben der reinen Transportstrecke sind auch das jeweilige Transportaufkommen und die auf diesen Strecken verkehrenden Transportmittel zu beachten.

Kenntnisse über die Belastung der Transportstrecke sind wichtig, damit eine wegeminimale Transportstrecke nicht mit langen Wartezeiten auf freie Transportmittel erkauft wird. Entspre-

chende Informationen erhält die Konstruktion aus einer Kapazitätsterminierung, die auch die Transportmittel kapazitativ belastet und somit Transportengpässe identifiziert.

Hinsichtlich der Transportmittel gilt es, Restriktionen, die sich durch die Größe von Paletten oder sonstigen Transporthilfsmitteln ergeben, ebenso in den Konstruktionsentscheidungen zu berücksichtigen wie z. B. die Erschütterung oder die Beschleunigung, die die Werkstücke während des Transports, des Umschlagens oder bei etwaigen Zwischenlagerungen erfahren können. Durch entsprechende konstruktive Gestaltung und gegebenenfalls eine simulative Absicherung ist deshalb dafür Sorge zu tragen, daß eine transportbedingte Beschädigung der Werkstücke möglichst ausgeschlossen wird. Zu diesen konstruktiven Maßnahmen zählen beispielsweise Kontaktflächen, Hängevorrichtungen oder Tragehilfen an den Werkstücken, die diesen eine zusätzliche Standsicherheit während des Transports geben. Auf die Transportmittel abgestimmte Werkstückgrößen erleichtern zudem die optimale Nutzung der Transportkapazitäten. Abhängig von den eingesetzten Fördermitteln sollten die Teile rollfähig, gleitfähig bzw. richtungsstabil sein.

Um *Umschlagoperationen* wie Auf-, Um- und Abspannen zu erleichtern, sind Spannlaschen, Greifflächen oder Griffmulden am Teil vorzusehen, die sich nicht aus der Funktionsbeschreibung des Produkts, sondern aus den fertigungstechnischen und logistischen Bedingungen ergeben.

Analog gilt es, die sich aus Größe, Gestalt bzw. technischer Auslegung der *Lagerplätze* und *-mittel* ergebenden Restriktionen zu beachten. Wie auch bezüglich der zum Transportieren und Umschlagen eingesetzten Ressourcen, so sind auch hinsichtlich der Lagerplätze und *-mittel* die Anforderungen der Produkte im Rahmen der konstruktiven Möglichkeiten zu vereinheitlichen. So sollten die Werkstücke möglichst stapelfähig sein⁹⁾ und insbesondere bei großem Volumen simultan zu den Lagergegebenheiten entwickelt werden.

3.3 Die Bedeutung der Produktbauweise

Entscheidender Einfluß auf den logistischen Aufwand während der Produktentstehung geht bei einem aus mehreren Einzelteilen oder Komponenten bestehenden Produkt von der *Montageintensität* aus. Montageoperationen führen hinsichtlich des Fertigungsablaufs immer zu vernetzter Fertigung, wobei jede Montageoperation das hinsichtlich Ort, Termin und Menge exakte Zusammenführen mehrerer bis dahin unabhängiger Arbeitsvorgangsketten bedingt. Innerhalb der Konstruktion findet der Aspekt Montageintensität Berücksichtigung in der Entscheidung für ei-

⁹⁾ Pfohl berichtet von einem Stuhlhersteller, dessen Transportkosten innerhalb der Distributionslogistik sich halbieren, wenn die Stühle ineinander passen. Vgl. Pfohl (1990), S. 54.

ne Differential-, eine Verbund- oder eine Integralbauweise, wobei diese Bauweisen meist kombiniert auftreten.¹⁰⁾

Bei gleicher Teileanzahl unterscheiden sich Verbund- und Differentialbauweise durch die Montageabfolge. *Verbundbauweise* bedeutet, daß Einzelteile durch eine frühzeitige, unlösbare Verbindung zu einem Werkstück zusammengefaßt werden, das in dieser Form noch weiterer Bearbeitung bedarf. Die *Differentialbauweise* geht hingegen von beliebiger Montagereihenfolge aus. Abbildung 5 verdeutlicht diesen Unterschied anhand beispielhafter Stücklisten.

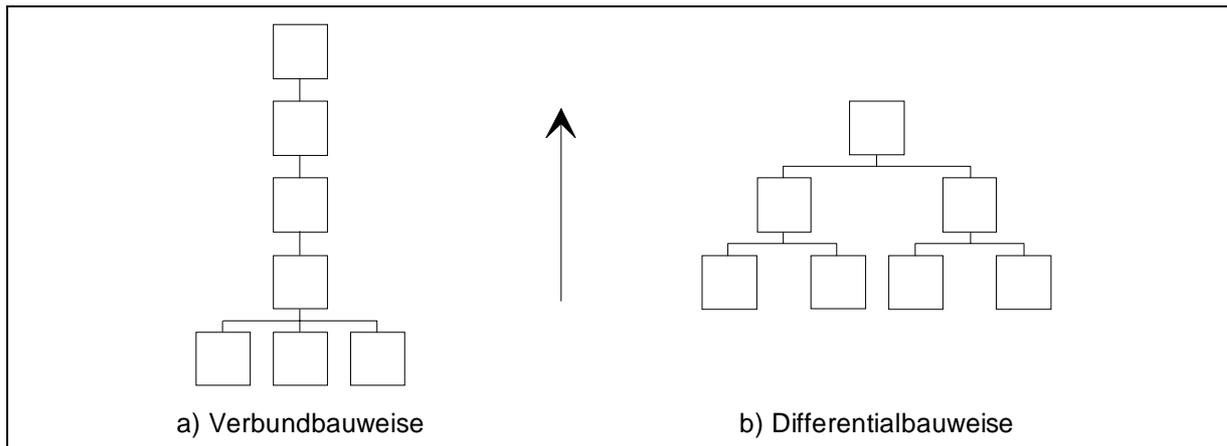


Abb. 5: Stückliste bei Verbund- und bei Differentialbauweise

Aus der jeweiligen Bauweise resultieren gesonderte Alternativen für die Gestaltung logistischer Abläufe. So legt die Verbundbauweise - bei entsprechendem Teilevolumen - eine flußorientierte, durchlaufzeitverkürzende Betriebsmittelanordnung nahe. Zudem reduziert sie durch die frühzeitige Verbindung einzelner Werkstücke zu einem Objekt die Anzahl an Planungseinheiten und somit den Aufwand zur Planung und Steuerung der zugehörigen logistischen Abläufe. Hingegen könnte das während des Fertigungsprozesses anwachsende Volumen des Werkstücks erhöhte Anforderungen an die Logistik stellen, weil z. B. das Werkstückhandling schwieriger wird.

Die Differentialbauweise eröffnet bei entsprechender Fertigungs- und Materialflußorganisation Möglichkeiten zur Durchlaufzeitenreduktion, indem parallel gefertigt und montiert werden kann. Darüber hinaus fördert diese Bauweise das Modular Sourcing, wenn Baugruppen so angelegt werden, daß sie von einem Systemlieferanten bezogen werden können. Dabei werden gegebenenfalls auch nur die Schnittstellen grob spezifiziert und die Detailkonstruktionen dem Zulieferer überlassen.

¹⁰⁾ Vgl. Pahl, Beitz (1993), S. 371-377; Schulte Herbrüggen (1991), S. 249-256.

Verglichen mit der Integralbauweise unterscheiden sich die Differential- und die Verbundbauweise, bei gleicher Baustruktur eines Werkstücks, durch die Anzahl der Teile, die verwendet werden. Im folgenden wird der Integralbauweise nur noch die Differentialbauweise, als die allgemeinere der beiden Bauweisen, gegenübergestellt.

Integralbauweise bedeutet die Fertigung eines Werkstücks aus einheitlichem Werkstoff, wobei im wesentlichen Urformverfahren (Gießen, Sintern) oder Umformverfahren (Massivumformen, Blechumformen) eingesetzt werden. Ein in Differential- oder Verbundbauweise erzeugtes Werkstück zeichnet sich hingegen durch die Montage mehrerer (fertigungstechnisch günstiger) Einzelteile aus. Abbildung 6 verdeutlicht anhand eines einfachen Rohlings für Gußformen, wie die gleiche Baustruktur integral (a) - z. B. durch Gießen - und differential (b) - durch Verbinden von vier Bolzen mit einem Grundblock, in den Löcher gebohrt wurden - produzierbar ist.

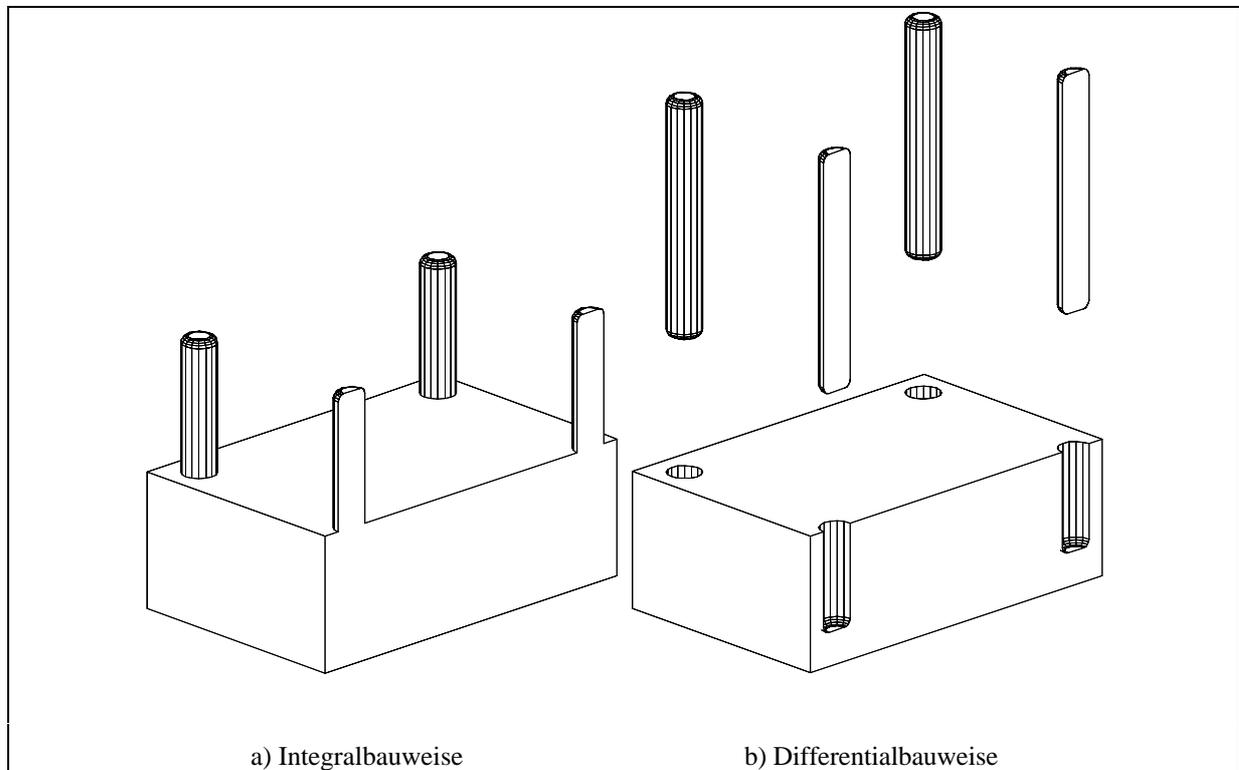


Abb. 6: Integral- und Differentialbauweise

Aus beiden Konstruktionsprinzipien lassen sich unterschiedliche logistische Implikationen ableiten: Während die Fertigung des integral gebauten Werkstücks nur die Bereitstellung des Gußrohmaterials und den Abtransport des Fertigteils bedingt, da der gesamte Herstellungsprozeß ausschließlich in der Gießerei stattfindet, sind die Transportbewegungen beim Werkstück in Differentialbauweise aufgrund der verteilten Produktionsvorgänge komplexer. Der gegossene Grundblock ist mit vier Bohrungen zu versehen, und die Bolzen sind zu schneiden und mit einer Nut abzurunden. Schließlich bedarf es eines geeigneten Verbindungsverfahrens, um die insgesamt fünf Einzelteile zum fertigen Werkstück zu montieren (Abbildung 7).

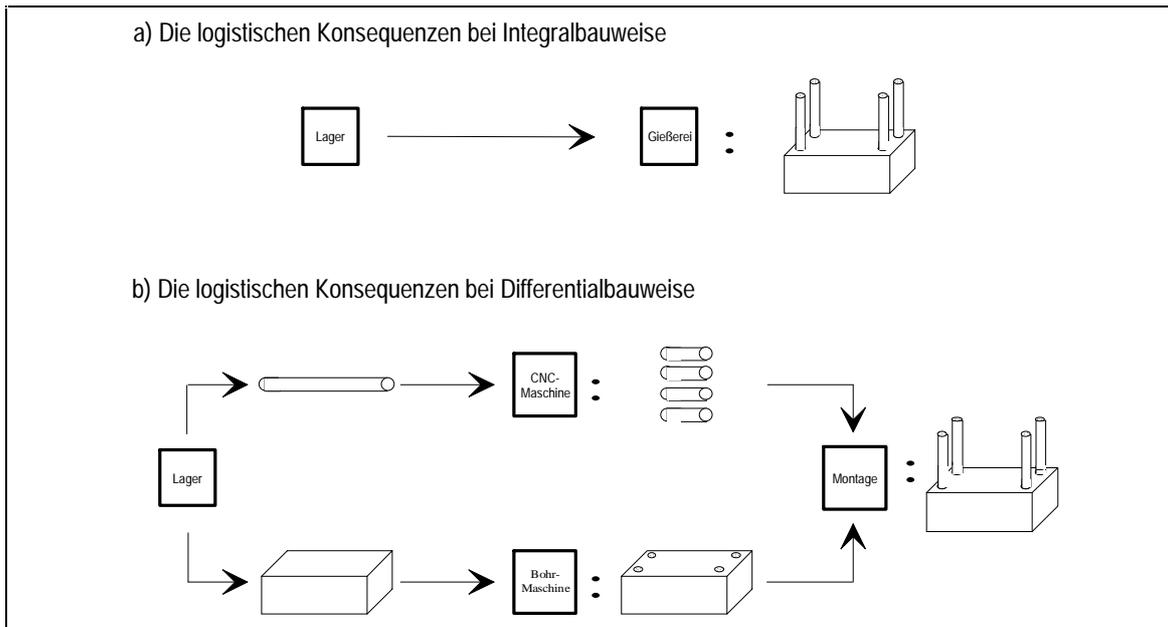


Abb. 7: Die logistischen Konsequenzen der Integral- und der Differentialbauweise

Aus logistischer Sicht hat die Integralbauweise durch die mit einer Komplettbearbeitung einhergehende zeitliche und räumliche Integration diverser Arbeitsgänge den Vorteil, daß sie den Steuerungsaufwand deutlich reduziert. Anstelle von Einzelteilen, die bei Differentialbauweise einzeln transportiert, umgeschlagen, zwischengelagert und schließlich montiert werden müssen, beschränkt sich der logistische Aufwand bei der Fertigung eines baustrukturgleichen Werkstücks in Integralbauweise auf ein Minimum. Ist dieses Werkstück jedoch in seiner kompakten Ausführung besonders groß, sperrig bzw. schwer, so erhöht sich der Transportaufwand im Vergleich zum Einzeltransport der Teile bei Differentialbauweise.

Dies ist vor allem relevant, wenn das Endprodukt erst "vor Ort" aus den einzeln gelieferten Komponenten montiert werden soll (sog. Lieferung completely knocked down¹¹⁾). Die komplett-zerlegte-Lieferung ist z. B. bei Auslandsmontage zur Ausnutzung eines niedrigen Lohnniveaus oder aufgrund von Einfuhrzöllen auf Endprodukte angebracht. In diesem Fall kann auch die Entwicklung einer Verpackung, die verschiedene Teile optimal umfaßt, zu den Aufgaben der Konstruktion gehören.

Zudem besitzt die Differentialbauweise den Vorteil, daß sie den Einbau von Teilen mit hoher Kapitalbindung oder Empfindlichkeit, großem Volumen oder Gewicht oder einem hohen Variantenbestimmungsgrad auf einer späten Stufe des Produktentstehungsprozesses gestattet. Dadurch wird eine auftragsanonyme Bevorratungsebene möglich, die entweder die Kapitalbindung reduziert (sofern ansonsten auf Fertigteilebene gelagert wird) oder die Auftragsabwicklungszeit

¹¹⁾ Vgl. Ihde (1991), S. 229f.; Pfohl (1990), S. 278.

senkt (sofern ansonsten auf einer frühen Stufe ausgesprochen geringer Produktkonkretisierung gelagert wird). Ferner wird das gesamte logistische Handling erleichtert. Verantwortlich hierfür ist vor allem ein möglichst später Variantenbestimmungspunkt (order penetration point), weil aus einer Verbindung mit kundenspezifischen Teilen im folgenden oft auch eigenständiger logistischer Aufwand resultiert.

Anhand des Vergleichs von Differential- und Integralbauweise zeigt sich auch, daß die vielschichtigen Forderungen, die an die Konstruktion gestellt werden, nicht nur in harmonischer, sondern oft in konfliktärer Beziehung zueinander stehen. So ist eine differentiale Bauweise im Regelfall fertigungsgerechter als eine integrale, da die Einzelteile leichter einspann- und bearbeitbar sind und die Ausschußgefahr im allgemeinen geringer ist. Handelt es sich überdies um Gleich- oder Wiederholteile, sind Kostendegressionseffekte eher nutzbar, und die Anschaffung einer Sondermaschine ist rentabler. Die integrale Bauweise steht zudem im Widerspruch zu einer demontagegerechten Konstruktion. Andererseits ist die Integralbauweise im Regelfall montagegerechter, da im Extremfall die Montage entfällt.

Der logistisch interessante Aspekt der Reduzierung der Teileanzahl läßt sich nicht nur über eine Verminderung der Gesamtzahl der in ein Produkt eingehenden Einzelteile erreichen, wie sie durch forcierte Integralbauweise herbeigeführt wird, sondern auch durch eine produktübergreifende Verringerung der Anzahl verschiedener Teile (*Bausteinbauweise*). Neben dem Funktionsprinzip und der Baugröße ist die Stückzahl die wesentliche konstruktive Kosteneinflußgröße.¹²⁾ Innerbetrieblich lassen sich die Stückzahlen insbesondere durch die Vereinheitlichung von Lösungen, d. h. durch *Normung*¹³⁾ erhöhen. Normung subsumiert folgende Möglichkeiten:

- Gleichteile: Mehrfachverwendung von Teilen in *einem* Produkt.
- Wiederholteile: Mehrfachverwendung von Teilen in *unterschiedlichen* Produkten.
- Normteile: Verwendung intern oder extern genormter Teile.
- Teilefamilien: Standardisierung von Teilen gleicher Funktion.
- Baukastensysteme: Teile und Baugruppen werden bewußt so konstruiert, daß sie auf diverse Arten zu Produkten mit *unterschiedlicher Gesamtfunktion* zusammengefügt werden können. Sie stellen damit Wiederholteile dar.

¹²⁾ Vgl. Ehrlenspiel (1985), S. 77.

¹³⁾ Vgl. Pahl, Beitz (1993), S. 402-411; Ehrlenspiel (1985), S. 212-249.

- Baureihen: Die Teile einer Baureihe sind hinsichtlich ihrer qualitativen *Funktion* und Konstruktion *identisch* und bezüglich Werkstoff und Fertigungsart möglichst gleich, unterscheiden sich aber in ihrer quantitativen Leistung und ihren Abmessungen.

Zielsetzung der Mehrfachverwendung bereits konstruierter Teile ist es, ein Maximum an verkaufsfähigen Teilen mit einer begrenzten Anzahl an Stücklisten zu erreichen oder die Minimierung der Stücklistenanzahl bei gegebener Variantenvielfalt. Neben den unmittelbaren Vorteilen in der Konstruktion (geringerer Aufwand für Neukonstruktionen) und in der Fertigung, in der eine intensivere Realisierung des Erfahrungskurveneffekts Lieferzeitverkürzungen und Produktqualitätssteigerungen herbeiführt, leistet die Teilemehrfachverwendung aus logistischer Sicht folgende Beiträge:

- Durch die sich über verschiedene Komponenten aufaddierende Teilemenge wird eine Teilefertigung in eigenständigen, objekt- und flußorientiert angelegten *Fertigungsinseln* attraktiv. Damit erfolgt eine drastische Reduzierung der notwendigen Transporte, denn Produktion in Fertigungsinseln bedeutet qua definitione geringen logistischen Aufwand.
- Eine durch stärkere Verwendung von Gleich- und Wiederholteilen verringerte Teilevielfalt führt zu größeren Mengen in der Beschaffung und Fertigung. In der Folge lassen sich im *Einkauf* geringere Kosten durch *günstigere Mengenrabatt-Konditionen* erzielen. Der beschaffungslogistische Aufwand wird durch die Möglichkeit zur Bildung kumulierter Einheiten reduziert. *In der Fertigung* ergeben sich *Kostendegressionsvorteile*, weil Prozeßmengen (z. B. Transportmenge, Bearbeitungsmenge in der Galvanik oder im Brennofen) sich eher verwirklichen lassen und die Produktion auf Spezialmaschinen zu geringeren Stückkosten führt. Außerdem können für die Aufgaben des Transportierens, des Umschlagens und des Lagerns verstärkt Standardbetriebsmittel und -hilfsmittel eingesetzt werden.
- Je kleiner die Teilevielfalt ist, desto *geringer* sind der unmittelbar daraus ableitbare *Ersatzteileaufwand* und folglich die Aufwendungen innerhalb der Ersatzteillogistik. Neben Dispositions- und Administrationsaufwand (z. B. Bestellabwicklung, Lagerverwaltung) *sinkt* damit auch *die Kapitalbindung*, da für weniger Teile Sicherheitsbestände vorzuhalten sind.
- Innerhalb der Fertigung steigt die Transparenz, da im Durchschnitt die Fertigungsauftragsgröße steigt, während die Anzahl der Fertigungsaufträge abnimmt. Folglich werden Probleme, die aus einer "Überfrachtung" der Fertigung mit Aufträgen resultieren (Durchlaufzeitensyndrom), tendenziell vermieden.

Das Ziel einer hohen Mehrfachverwendung von Teilen ist allerdings kritisch hinsichtlich der individuellen Kundenanforderungen zu sehen, falls damit Einschränkungen der vom Kunden empfundenen Typenvielfalt einhergehen. So ist beispielsweise der Entscheidung über eine eher integrale oder eine mehr differentiale Bauweise die Überlegung zugrunde zu legen, in welchem Ausmaß beide Bauweisen zu kombinieren sind, um sowohl das Ausnutzen von Kostendegressionseffekten bei auftragsneutralen Teilen zu erlauben als auch durch Einzelelemente ein kundeneigenes Produkt zu beschreiben. Baukasten- und Bausteinsysteme als Spezialformen der Differentialbauweise stellen hier durch ihre an einer Teilemehrfachverwendung ausgerichteten Vorgehensweise einen geeigneten Ansatz dar, der zu unterscheidbaren Produkten führt. Der Beitrag einer logistikgerechten Konstruktion liegt dabei in der Anlage kundenneutraler, logistikgerechter Baugruppen.

Über die dargestellten Aspekte hinaus gehört zu einer logistikgerechten Konstruktion eine Reihe weiterer, individueller und oft detaillierter Gestaltungsempfehlungen. Beispiele hierfür sind Positioniererleichterung durch Definition von Bezugskanten, Anordnen von Greifflächen in Schwerpunktlage und Vermeidung von Fast-Symmetrien bei erforderlicher Vorzugslage.¹⁴⁾

4 Möglichkeiten der informatorischen Unterstützung der Konstruktion

Die Berücksichtigung der auf die konstruktiven Freiheitsgrade restriktiv wirkenden logistischen Anforderungen in Feasibility-Studien ist eine Aufgabe, der die Gegebenheiten des gesamten Produktentstehungsprozesses zugrunde zu legen sind. Dabei sind u. a. die Lagerbedingungen, die Umschlag- und Kommissioniertechniken und die inner- und außerbetrieblichen Transportbedingungen miteinzubeziehen.

Die Schwierigkeit liegt hier in der Darstellung der dynamischen Logistikprozesse in einer Konstruktionszeichnung, die nur eine statische Beschreibung eines Teils in einem ganz bestimmten Fertigungszustand wiedergeben kann, während das Werkstück selbst innerhalb des Produktionsprozesses ständige Veränderungen erfährt. Für eine logistikgerechte Konstruktion, die den Anforderungen der *zeitlichen* und räumlichen Gütertransformation zu genügen hat, bedarf es deshalb der Simulation als Hilfsmittel, um die Konstruktion durch eine zusätzliche zeitliche Dimension zu erweitern.

Dies gilt auch, da die Konstruktion durch die Teileanordnung Zwangsabfolgen definiert und somit die Bearbeitungs- und Montagereihenfolge festlegt, d. h. daß sie bei festgelegtem Fabrik-

¹⁴⁾ Eine umfangreiche Darstellung eines Maßnahmenkatalogs zur logistikgerechten Konstruktion findet sich bei Schulte Herbrüggen (1991), S. 323-331 sowie der dort angegebenen Literatur.

layout den Materialfluß und damit den logistischen Aufwand innerhalb der Produktentstehung beeinflusst. Inwieweit die Konstruktion für eine produktseitige Einschränkung der theoretisch möglichen Arbeitsabläufe sorgt, läßt sich einer simulierten Demontage des Produkts entnehmen.¹⁵⁾ Dabei erfolgt eine sukzessive Zerlegung des Werkstücks in seine einzelnen Komponenten. Die Umkehrung dieser Zerlegung ergibt die späteren Montageoperationen, die innerhalb der Simulation auf Kollisionen geprüft werden. Einige Systeme zur Montagesimulation generieren aus diesen Abläufen automatisch einen Vorranggraph.

Den gestiegenen Funktionalitätsanforderungen im Produktionsvorfeld, speziell in der Konstruktion, kann nur entsprochen werden, wenn die zur Verfügung stehenden Informationen entsprechend aufbereitet sind. Eine wesentliche Aufgabe im Rahmen einer logistikgerechten Konstruktion ist es, für ein Werkstück zu entscheiden, ob die erforderlichen Logistikprozesse standardmäßig sind oder ob sie individuell nur für dieses Werkstück anfallen. Es stellt sich also die Frage nach dem Toleranzbereich eines Werkstücks, innerhalb dessen auf logistische Standardressourcen Rückgriff genommen werden kann.

Eine einfache, auf Geometriemerkmale beschränkte Möglichkeit, die aus logistischer Sicht irrelevanten Merkmale eines zu konstruierenden Werkstücks auszuschließen, stellt die Verwendung der *Black-Box-Methode*¹⁶⁾ dar. Mit geringem Definitionsaufwand lassen sich dadurch die hinsichtlich anfallender Transport-, Umschlag- und Lageraufgaben zulässigen Gestaltvariationen festlegen.

Das in Abbildung 8 dargestellte Black-Box-Modell könnte z. B. zur Ermittlung der Teile angelegt worden sein, die eine bestimmte Transportform nutzen können. Dabei ist die Größe und Gestalt der Werkstückschicht, die für die Transportstabilität sorgt und die die Transportform abschließt, fest vorgegeben. Die Schicht des Black-Box-Modells mit dem kleineren Durchmesser stellt hingegen nur das Maximalvolumen dar. Dieser Werkstückteil möge hinsichtlich der Transportsicherheit keine Bedeutung besitzen und ist somit aus logistischer Sicht irrelevant. D. h. Größe, Gestalt und Schichtenzahl dieses Teils sind insoweit variabel, wie die geometrischen Grenzen des Black-Box-Modells nicht überschritten werden (Beispielteile enthält Abbildung 9). Der besondere Nutzen liegt hier also in der Reduktion der ursprünglichen Geometrieinformationen auf die aus Sicht einer Anwendung (hier der Logistik) relevanten Angaben.

¹⁵⁾ Vgl. Montageplanung in CIM (1992), S. 22-26; Moritzen (1990).

¹⁶⁾ Vgl. Thoben (1990), S. 104.

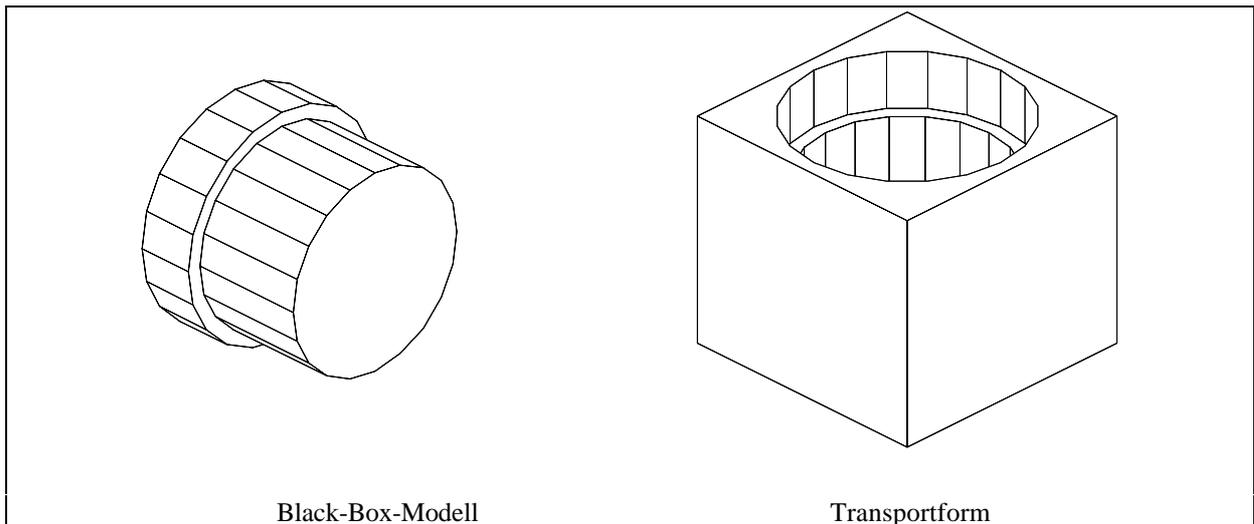


Abb. 8: Verwendung einer Black-Box am Beispiel einer Transportform

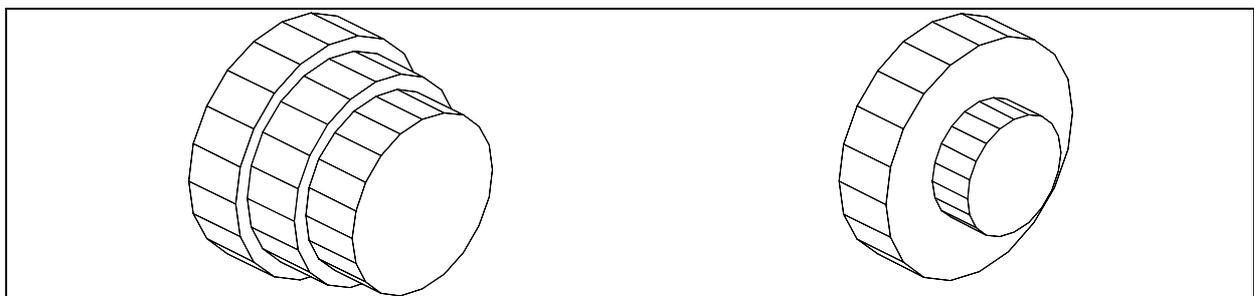


Abb. 9: Beispielhafte Teile, die vom Black-Box-Modell erfasst werden

Legt man eine derart bestimmte Black-Box dem Konstruktionsprozeß zugrunde, lassen sich zudem die Anforderungen an Transportmittel- und -hilfsmittel standardisieren. Im Regelfall reichen die geometrischen Daten der Konstruktion für die Bestimmung der logistischen Konsequenzen jedoch nicht aus. Vielmehr sind auch technische Informationen wie Maß- und Toleranzangaben oder Oberflächenbeschaffenheiten relevant für den Fertigungsablauf.

Der STEP-Standard (Standard for the Exchange of Product Model Data) stellt beispielsweise ein derart umfassend definiertes Produktmodell (Integrated Product Information Model, IPIM) dar.¹⁷⁾ Ein Produktmodell beinhaltet die produktdefinierenden Daten des gesamten Produktlebenszyklus, welcher sich von der Entwicklung und Konstruktion über die Fertigung und Montage bis zum Vertrieb und der After-Sales-Wartung erstreckt.

Teileähnlichkeit aus logistischer Sicht kann sich entsprechend auch nur daran bemessen, inwieweit die Teile hinsichtlich des logistischen Aufwands vergleichbare Anforderungen stellen. Die

¹⁷⁾ Zu STEP vgl. beispielsweise Eversheim u. a. (1993); Grabowski u. a. (1989).

hierfür benötigten Informationen bestehen neben den geometrischen Daten z. B. auch aus Gewichtsangaben, Maß-, Lage- und Formtoleranzen oder Angaben zur Lage des Schwerpunkts eines Werkstücks. Derartige logistikrelevante Bauteilemerkmale sollten in sog. *Logistikfeatures* abgelegt werden. Analog zu Fertigungsfeatures, unter denen die "für die Fertigung relevanten Bereiche eines Werkstücks [...] verstanden werden"¹⁸⁾, fassen Logistikfeatures alle für logistische Vorgänge wichtigen Objektmerkmale zusammen. Da für die Logistik insbesondere Flächen- und Volumenangaben wichtig sind, ergeben sich vorrangig geometrische Definitionen (Zylinder, Fasen, Radien, Paßfedernuten, Bohrungen etc.), wobei zusätzlich jedem Feature (auch Technisches Element) u. a. die notwendigen logistischen Prozesse zugeordnet werden. Der Produktstruktur entsprechend, weist auch die Feature-Struktur eine Hierarchie auf, wenn übergeordnete Teile selbst als Features definiert werden. Während aus Sicht der Fertigung insbesondere Features der untersten Hierarchieebene relevant sind, stellen auch die zusammengesetzten Features höherer Ebenen Anforderungen an die Logistik. Features sind also in Abhängigkeit von den Anforderungen der Anwendungen, die sie nutzen, zu spezifizieren.

Werden die Features nicht nachträglich - interaktiv manuell oder automatisiert (wissensbasiert) - generiert, sondern erfolgt eine featurebasierte Konstruktion, werden logistische Anforderungen unmittelbar in den Konstruktionsprozeß integriert. Die entsprechenden Informationen stehen damit in integrierten CIM-Vorgangsketten für nachfolgende Anwendungen (z. B. logistikgerechte Arbeitsplanung) zur Verfügung. Dabei greift der Konstrukteur auf eine Feature-Datenbank zurück, die Elemente enthält, die sich als logistikgerecht erwiesen haben. Dies stellt allerdings den größten Nachteil des featurebasierten Konstruierens dar: verwendbar sind nur systemseitig vorhandene Elemente, ihre Anlage erfordert zeit- und damit kostenintensiven Programmieraufwand.¹⁹⁾ Aus Fertigungs- und Logistiksicht sind dekompositorische Modellierer, in denen Volumina von einem angelegten Rohteil subtrahiert werden, kompositorischen Methoden, die gängige Manipulationsoperationen einsetzen und damit eher die Konstruktionssicht vertreten, vorzuziehen.

Features stellen einen objektorientierten Ansatz zur - in diesem Fall - logistikspezifischen Wissensrepräsentation dar. Ähnlich dem Black-Box-Ansatz sorgen auch Features für eine Verdichtung auf die anwendungsrelevanten Werkstückmerkmale. Über das Black-Box-Modell hinaus enthält das Feature weitere, nicht geometrische Informationen und führt so zu einer logischen Verknüpfung von Formelementen und Semantik. Formelemente sind geometrische Gruppen, die einen festen Zusammenhang von Flächen darstellen. Sie sind oft fertigungs- bzw. logistikabhängig oder -bedingt. Das geometrische Gestaltmodell als das aufgrund des CAD-Einsatzes am besten entwickelte Partialmodell eines umfassenden Produktmodells wird dadurch um weitere Se-

¹⁸⁾ Vgl. Maßberg, Xu (1990), S. 152. Zur Feature-Technologie vgl. auch Schaal (1992), S. 44-61.

¹⁹⁾ Vgl. Tönshoff, Hamelmann, Rudolph (1993), S. 74.

mantik erweitert. Innerhalb des Standardisierungsvorhabens STEP werden Features im Partialmodell Formelemente beschrieben. Diese werden wiederum von anderen Partialmodellen (z. B. Fertigungs-, Logistik-, Qualitätssicherungsmodell) mit weiteren Informationen (Fertigungsinformationen, Transportanforderungen, Meßzyklen) versehen.

Die Forderung, die Verwendung von Features im Rahmen des Konstruktionsprozesses zu forcieren, hat Einfluß auf die Wahl der Datenbank.²⁰⁾ Während *relationale Datenbanken* für betriebswirtschaftliche Anwendungen von ihrem theoretischen Konzept her als geeignet gelten und in der Praxis eine weite und rasch steigende Verbreitung gefunden haben, erscheinen sie für die eher ingenieurwissenschaftlichen Anwendungen innerhalb der Konstruktion weniger prädestiniert. Die mit den Spalten und Zeilen der Tabellen erzeugten zweidimensionalen, flachen Datenstrukturen entsprechen nicht den Dimensionalitätsanforderungen der komplexen Konstruktionsobjekte. Diese stellen aus Kanten, Flächen bzw. Volumina zusammengesetzte, heterogene Elemente dar, so daß eine Hierarchie von Objekten vorliegt. Diese Hierarchie bedingt in relationalen Datenbanken umständliche, zeitintensive join-Operationen. Gilt der relationale Ansatz aufgrund der Dekompositionspflicht (Normalisierung) bereits für die Ablage der komplexen geometrischen Daten als nur bedingt geeignet, verschärft sich dieser Sachverhalt durch die Ausweitung um Features, die das Produkt um weitere Objektinformationen ergänzen.

Eine höhere Problemadäquatheit für die Aufgaben der Konstruktion besitzen *objektorientierte Datenbanken*²¹⁾ mit ihren Gestaltungsmerkmalen der Bildung komplexer Objekte, der Kapselung und der Vererbung. Ein Produkt wird hierbei realitätsnah ("1:1-Abbildung") als ein Objekt aufgefaßt, das mitsamt den dazugehörigen Unterobjekten und den zwischen diesen bestehenden Beziehungen als eine Einheit abgespeichert wird. Beispielsweise lassen sich so Feature-Hierarchien durch diese explizite Semantik objektorientierter Datenbanken einfach modellieren. Das optionale Konzept der langen Transaktionen²²⁾ und eine gegenüber relationalen Datenbanken einfachere Versionsverwaltung (Versioning)²³⁾ unterstützen zudem die Arbeit mit umfangreichen Entwurfsobjekten. Durch die Vererbung lassen sich angelegte Strukturen wiederverwenden. Zusammen mit dem Klassenkonzept unterstützt das Vererbungsprinzip des weiteren die einfache Wiederholteilsuche über Sachmerkmalsleisten nach DIN 4000/4001.²⁴⁾

Für die gesamte CIM-Architektur bedeutet diese Entwicklung eine Koexistenz zweier unterschiedlicher Datenmodelle und Datenbanksysteme: das relationale Konzept findet Verwendung für betriebswirtschaftliche Applikationen und objektorientierte Datenbanken kommen für die

20) Vgl. auch Eversheim u. a. (1993), S. 65f.

21) Vgl. Matthes, Marcial (1992); Khoshafian, Abnous (1990), S. 33ff.

22) Vgl. ausführlich Korth, Kim, Bancelhon (1990).

23) Vgl. Khoshafian, Abnous (1990), S. 289ff.

24) Vgl. hierzu CAD-Normteiledatetei nach DIN (1990).

Funktionen der Produktkonstruktion zum Einsatz. Eine wesentliche Aufgabe bei der damit notwendig werdenden Integration heterogener Datenbanksysteme stellt die Vermittlung einer einheitlichen Sicht für den Anwender dar.

5 Das Dilemma logistikgerechten Konstruierens

Die aus theoretischer Sicht zu fordernde logistikgerechte Konstruktion sieht sich in realiter allerdings einem wesentlichen *Dilemma* ausgesetzt. Das größte Gestaltungspotential hinsichtlich der späteren Produktentstehungsstufen - mithin auch bezüglich der Logistik - liegt bei Neu- und Ähnlichkeitskonstruktionen vor; das geringste bei Variantenkonstruktion oder, im Extremfall, bei reiner Stückzahlenhebung, d. h. einer wiederholten Verwendung von Bauteileinformationen. Die Konstruktion leistet dann aber keinen Anstoß mehr für neue Materialflußkonzeptionen, sondern es wird lediglich auf bestehende Arbeitspläne Bezug genommen. Der Arbeitsplan stellt die wichtigste Informationsgrundlage zur Bestimmung der logistischen Konsequenzen dar. Ein Standardarbeitsplan liegt bei wiederholter Verwendung vor bzw. läßt sich bei Variantenkonstruktion aus bestehenden generieren. Für die hinsichtlich ihres Gestaltungspotentials auf die Logistik bedeutsamere Neukonstruktion ist er hingegen erst in einer Phase hoher Konkretisierung ableitbar. Aus Mangel an Informationen erscheint somit die Integration logistischer Kriterien in Konstruktionsentscheidungen gerade im interessanten Fall der Neukonstruktion als besonders schwierig.

Das Dilemma einer logistikgerechten Konstruktion besteht somit darin, daß sich der Umfang des Gestaltungspotentials und die Verfügbarkeit der notwendigen Informationen (Arbeitspläne) invers zueinander verhalten. Die vor allem durch Ausführungen zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation bekannte gegenläufige Entwicklung von Beeinflußbarkeit und Kenntnis einer Größe während der frühen Produktentstehungsphasen besteht für logistische Überlegungen in zumindest gleichem Maße.

Literatur

- Barg, A.: Recyclinggerechte Produkt- und Produktionsplanung. VDI-Z, 133 (1991) 11, S. 64-74.
- Barth, D.; Gerhardt, A.; Schmied, H.: Integration der Demontage in das produktionstechnische System. Zwf, 88 (1993) 4, S. 141-145.
- Becker, J.: CIM-Integrationsmodell. Die EDV-gestützte Verbindung betrieblicher Bereiche. Berlin u. a. 1991.
- Becker, J., Rosemann, M.: Logistik und CIM. Die effiziente Material- und Informationsflußgestaltung im Industrieunternehmen. Berlin u. a. 1993.
- Boothroyd, G.; Dewhurst, P.: Product Design for Manufacture and Assembly. Manufacturing Engineering, o. Jg. (1988) 4, S. 42-46.
- CAD-Normteiledatensatz nach DIN. DIN-Fachbericht 14. 2. Aufl., Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung. Berlin, Köln 1990.
- Ehrlenspiel, K.: Kostengünstig Konstruieren. Berlin u. a. 1985.
- Eversheim, W. u. a.: STEP als Integrationskern für die Produktdatengenerierung. VDI-Z, 135 (1993) 7, S. 63-66.
- Eversheim, W.; Hartmann, M.; Linnhoff, M.: Zukunftsperspektive Demontage. VDI-Z, 134 (1992) 6, S. 83-86.
- Grabowski, H. u. a.: STEP - Entwicklung einer Schnittstelle zum Produktdatenaustausch. VDI-Z, 131 (1989) 9, S. 68-76.
- Handke, G.: Das Zusammenwirken von Logistik und CIM-Systemen in der Unternehmung. In: RKW-Handbuch Logistik. Band 2, Kennzahl 6810. Berlin 1986.
- Hartmann, M.; Lehmann, F.: Demontage. VDI-Z, 135 (1993) 1/2, S. 100-110.
- Ihde, G. B.: Transport, Verkehr, Logistik. Gesamtwirtschaftliche Aspekte und einzelwirtschaftliche Handhabung. 2. Aufl., München 1991.
- Jourdan, H.: Computerintegrierte Logistik. it, 32 (1990) 5, S. 307-311.
- Khoshafian, S.; Abnous, R.: Object Orientation. Concepts, Languages, Databases, User Interfaces. New York u. a. 1990.
- Korth, H. F.; Kim, W.; Bancilhon, F.: On Long-Duration CAD Transactions. In: Readings in Object-Oriented Database Systems. Hrsg.: S. B. Zdonik; D. Maier. San Mateo, California 1990. S. 400-407.
- Maier-Rothe, C.: Gemeinsame Strategien für Logistik und Computer-Integrated Manufacturing. In: RKW-Handbuch Logistik, Band 2, Kennzahl 6820. Berlin 1986.
- Maßberg, W.; Xu, J.: Auf dem Weg zur Integration von CAD und CAP. Zwf, 85 (1990) 3, S. 151-154.

- Matthes, J.; Marcial, F.: Technische Dokumentation für den Engineeringprozeß. In: IOA-Forum. Objekt-orientierte Informationssysteme II. Hrsg.: H. J. Warnecke; H.-J. Bullinger. Berlin u. a. 1992. S. 205-221.
- Milberg, J.; Dieterle, A.: Integration der Demontage in die Produktgestaltung. wt Produktion und Management, 83 (1993) 3, S. 42-44.
- Montageplanung in CIM. Band-Hrsg.: K. Feldmann. Köln 1992 (CIM-Fachmann. Hrsg.: I. Bey).
- Moritzen, K.: Montagegerechtes Entwerfen mit wissensbasierten Systemen. Zwf, 85 (1990) 5, S. 248-251.
- Nedeß, C.: PPS zwischen CIM und Logistik. In: ONLINE'92. 15. Europäische Congressmesse für Technische Kommunikation. Symposium VIII-4. Hamburg 1992.
- Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. 3. Aufl, Berlin u. a. 1993.
- Pawellek, G.; Schulte, H.: Logistikgerechte Produktion und Produktgestaltung. Zwf, 82 (1987) 8, S. 447-450.
- Pfohl, H.-C.: Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 4. Aufl., Berlin u. a. 1990.
- Schaal, S.: Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD am Beispiel der konstruktionsbegleitenden Konstruktion. München, Wien 1992.
- Schulte Herbrüggen, H.: Modellanalyse von Materialflußsystemen für eine kundennahe Produktion. Bergisch Gladbach, Köln 1991.
- Stenzel, J.: CIM und Logistik - ein Widerspruch? CIM-Management, 3 (1987) 2, S. 70-76.
- Thoben, K.-D.: CAD. Sparen durch Wiederholkonstruktion. Düsseldorf 1990.
- Tönshoff, H. K.; Hamelmann, S.; Rudolph, F. N.: Elementorientierte Konstruktion und Arbeitsplanung. VDI-Z, 135 (1993) 5, S. 73-78.
- Venitz, U.: CIM und Logistik - Zwei Wege zum gleichen Ziel? In: Integrierte Informationssysteme. Hrsg.: H. Jacob; J. Becker; H. Krcmar. Wiesbaden 1991 (SzU, Band 44), S. 35-47.

Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik

- Nr. 1 Bolte, Ch., Kurbel, K., Moazzami, M., Pietsch, W.: Erfahrungen bei der Entwicklung eines Informationssystems auf RDBMS- und 4GL-Basis; Februar 1991.
- Nr. 2 Kurbel, K.: Das technologische Umfeld der Informationsverarbeitung - Ein subjektiver 'State of the Art'-Report über Hardware, Software und Paradigmen; März 1991.
- Nr. 3 Kurbel, K.: CA-Techniken und CIM; Mai 1991.
- Nr. 4 Nietsch, M., Nietsch, T., Rautenstrauch, C., Rinschede, M., Siedentopf, J.: Anforderungen mittelständischer Industriebetriebe an einen elektronischen Leitstand - Ergebnisse einer Untersuchung bei zwölf Unternehmen; Juli 1991.
- Nr. 5 Becker, J., Prischmann, M.: Konnektionistische Modelle - Grundlagen und Konzepte; September 1991.
- Nr. 6 Grob, H.L.: Ein produktivitätsorientierter Ansatz zur Evaluierung von Beratungserfolgen; September 1991.
- Nr. 7 Becker, J.: CIM und Logistik; Oktober 1991.
- Nr. 8 Burgholz, M., Kurbel, K., Nietsch, Th., Rautenstrauch, C.: Erfahrungen bei der Entwicklung und Portierung eines elektronischen Leitstands; Januar 1992.
- Nr. 9 Becker, J., Prischmann, M.: Anwendung konnektionistischer Systeme; Februar 1992.
- Nr. 10 Becker, J.: Computer Integrated Manufacturing aus Sicht der Betriebswirtschaftslehre und der Wirtschaftsinformatik; April 1992.
- Nr. 11 Kurbel, K., Dornhoff, P.: A System for Case-Based Effort Estimation for Software-Development Projects; Juli 1992.
- Nr. 12 Dornhoff, P.: Aufwandsplanung zur Unterstützung des Managements von Softwareentwicklungsprojekten; August 1992.
- Nr. 13 Eicker, S., Schnieder, T.: Reengineering; August 1992.
- Nr. 14 Erkelenz, F.: KVD2 - Ein integriertes wissensbasiertes Modul zur Bemessung von Krankenhausverweildauern - Problemstellung, Konzeption und Realisierung; Dezember 1992.
- Nr. 15 Horster, B., Schneider, B., Siedentopf, J.: Kriterien zur Auswahl konnektionistischer Verfahren für betriebliche Probleme; März 1993.
- Nr. 16 Jung, R.: Wirtschaftlichkeitsfaktoren beim integrationsorientierten Reengineering: Verteilungsarchitektur und Integrationschritte aus ökonomischer Sicht; Juli 1993.
- Nr. 17 Miller, C., Weiland, R.: Der Übergang von proprietären zu offenen Systemen aus Sicht der Transaktionskostentheorie; Juli 1993.
- Nr. 18 Becker, J., Rosemann, M.: Design for Logistics - Ein Beispiel für die logistikgerechte Gestaltung des Computer Integrated Manufacturing; Juli 1993.