

**Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik
der Technischen Universität München**

**Computerunterstützte Planung
von Materialflußsystemen
auf Basis statischer Materialflüsse**

Franz Allgayer

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

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Hoffmann
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Günthner
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart

Die Dissertation wurde am 20.10.1999 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 16.12.1999 angenommen.

Vorwort

Diese Arbeit entstand am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik (fml) der Technischen Universität München. Die Forschungsarbeit wurde von Prof. Dr.-Ing. W. Günthner begleitet. Ihm möchte ich nicht nur für die wohlwollende und konstruktive Begutachtung und die Möglichkeit danken, die Arbeit an seinem Lehrstuhl durchzuführen. Vielmehr trug er durch die Freiräume, die er mir zugestand, maßgeblich zum Gelingen der Arbeit bei.

Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart möchte ich dafür danken, daß er sich bereit erklärt hat, das Koreferat zu übernehmen, Prof. Dr.-Ing. H. Hoffmann für den Vorsitz der Prüfungskommission.

Für die gute Zusammenarbeit im BMBF-Verbundprojekt „MATVAR“ möchte ich mich bei meinen Kollegen Wolfgang Handrich und Alexander Bambynek bedanken. In arbeitsreichen Projektphasen unterstützten sie stets tatkräftig meine Arbeit als Gesamtprojektkoordinator.

Meine Arbeit erforderte funktionsfähige Rechner und ein stabiles Rechnernetzwerk. Dafür sorgten meine Kollegen Thomas Kudlich und Frank Stegherr. Sie halfen mir auch bei so mancher „ausweglos“ erscheinenden Fehlersuche in meinem Source Code, wofür ich ihnen herzlich danken möchte.

Schließlich sei noch allen Kolleginnen und Kollegen für die gute Arbeitsatmosphäre gedankt. Dies gilt insbesondere für meine langjährigen Zimmerkollegen Thomas Kudlich und Gunther Freudl, in denen bei größeren und kleineren Problemen stets hilfsbereite Ansprechpartner zu finden waren.

München, im Dezember 1999

Franz Allgayer

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Entwicklungen in Industrie, Handel und Dienstleistung | 1 |
| 1.2 | Auswirkungen auf die innerbetriebliche Logistik | 4 |
| 1.3 | Auswirkungen auf die Planung von Materialflußsystemen..... | 6 |
| 1.4 | Ziel der Arbeit und Vorgehensweise | 8 |
| 2 | Begriffsabgrenzungen | 10 |
| 2.1 | Logistik..... | 10 |
| 2.1.1 | Unternehmenslogistik | 11 |
| 2.1.2 | Innerbetriebliche Logistik..... | 14 |
| 2.2 | Materialfluß | 15 |
| 2.2.1 | Grundfunktionen des Materialflusses | 15 |
| 2.2.2 | Materialflußsysteme | 16 |
| 3 | Materialflußplanung | 17 |
| 3.1 | Planungsbegriff und Planungsarten..... | 17 |
| 3.2 | Bedeutung der Materialflußplanung | 17 |
| 3.3 | Planungsursachen | 18 |
| 3.4 | Einflußfaktoren bei der Materialflußplanung | 19 |
| 3.5 | Planungsgrundsätze | 21 |
| 3.5.1 | Variantenbildung, Verfeinerung und Variantenreduktion | 21 |
| 3.5.2 | Ideal- und Realplanung | 21 |
| 3.5.3 | Stufenweises, iteratives Vorgehen | 22 |
| 3.6 | Planungsaufwand und Ergebnis | 23 |
| 3.7 | „Planung“ und „Projektierung“ | 23 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.8 | Ablauf der Materialflußplanung | 24 |
| 3.8.1 | Vorarbeiten (Materialflußuntersuchung) | 25 |
| 3.8.2 | Grobplanung..... | 32 |
| 3.8.2.1 | Strukturplanung..... | 34 |
| 3.8.2.2 | Systemplanung | 41 |
| 3.8.3 | Feinplanung..... | 49 |
| 3.8.4 | Realisierung..... | 50 |
| 4 | Rechnergestützte Planungshilfsmittel | 51 |
| 4.1 | CAD-Systeme | 52 |
| 4.2 | Berechnungsprogramme | 53 |
| 4.3 | Datenbanksysteme | 54 |
| 4.4 | Simulationssysteme | 56 |
| 4.5 | Sonstige Software zur Materialflußplanung | 58 |
| 4.6 | Spezifische Software zur Materialflußplanung | 59 |
| 4.6.1 | FASTDESIGN | 60 |
| 4.6.2 | SIMPLE++/CAD..... | 61 |
| 4.6.3 | MATFLOW | 63 |
| 4.6.4 | ProSort | 65 |
| 4.6.5 | MALAGA | 67 |
| 4.7 | Bewertung und Fazit | 68 |
| 5 | Ziele und Konzepte | 72 |
| 5.1 | Gesamtkonzeption | 72 |
| 5.1.1 | Planungssystematik..... | 72 |
| 5.1.2 | Flexibilität und Modularität..... | 74 |
| 5.1.3 | Durchgängigkeit der Daten..... | 76 |
| 5.1.4 | Softwarekonzept..... | 80 |
| 5.2 | Verwendete Entwicklungsbasis..... | 80 |
| 5.3 | Schwerpunkte der Entwicklung | 84 |
| 5.3.1 | Parametrische Objektbibliothek..... | 86 |
| 5.3.2 | Statische Auslastungsberechnung | 88 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6 | Realisiertes Planungswerkzeug | 91 |
| 6.1 | Durchgängige Datenbasis | 91 |
| 6.1.1 | Datenbanksystem | 91 |
| 6.1.2 | Integration und Flexibilität | 92 |
| 6.1.3 | Datenkonsistenz | 94 |
| 6.2 | Durchgängiges Datenmodell | 94 |
| 6.2.1 | Notwendigkeit und grundlegender Aufbau | 94 |
| 6.2.2 | Beschreibung der Elemente | 96 |
| 6.2.2.1 | Artikel | 96 |
| 6.2.2.2 | Stationen | 96 |
| 6.2.2.3 | Prozeßschritte | 98 |
| 6.2.2.4 | Transporthilfsmittel | 98 |
| 6.2.2.5 | Transportmittel | 99 |
| 6.2.2.6 | Lager | 101 |
| 6.2.2.7 | Übergabepunkte | 102 |
| 6.2.2.8 | Transporte | 103 |
| 6.3 | Parametrische Objektbibliothek | 106 |
| 6.3.1 | Entlastung des Planers von Routinetätigkeiten | 106 |
| 6.3.2 | Funktionsweise | 107 |
| 6.3.3 | Grundlagen zur Darstellung der Objekte | 109 |
| 6.3.4 | Verfügbare Materialflußobjekte | 110 |
| 6.4 | Statische Auslastungsberechnung | 120 |
| 6.4.1 | Berechnungsmodelle der Auslastungsberechnung | 121 |
| 6.4.1.1 | Berechnung der Transportmengen | 121 |
| 6.4.1.2 | Berechnung der Zeiten für Lastfahrten | 122 |
| 6.4.1.3 | Berechnung der Zeiten für Lastaufnahme und Lastabgabe | 130 |
| 6.4.1.4 | Berechnung der Auslastungen | 132 |
| 6.4.2 | Erweiterbarkeit der Berechnungsmodelle | 133 |
| 6.4.3 | Beispielhafte Anwendung des Planungswerkzeuges | 133 |
| 6.4.3.1 | Projektbeschreibung | 133 |
| 6.4.3.2 | Strukturplanung | 134 |
| 6.4.3.3 | Systemplanung | 137 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick | 145 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 149 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------------|---|----|
| Bild 1.1: | Bedeutung der logistischen Leistung als Differenzierungskriterium..... | 2 |
| Bild 1.2: | Entwicklungen aufgrund größerer Kundenorientierung der Unternehmen. | 3 |
| Bild 1.3: | Branchenbezogener Anteil der Logistikkosten am Umsatz..... | 5 |
| Bild 1.4: | Anteil logistischer Kostenkomponenten an den gesamten Logistikkosten. | 6 |
| Bild 1.5: | Anforderungen an die Planung von Materialflußsystemen | 8 |
| Bild 2.1: | Die drei Säulen der Logistik | 10 |
| Bild 2.2: | Aufgabenbereiche der Unternehmenslogistik | 12 |
| Bild 2.3: | Gliederung der Unternehmenslogistik..... | 13 |
| Bild 3.1: | Aufteilung der Durchlaufzeiten im Materialfluß | 18 |
| Bild 3.2: | Beziehungsstruktur der Einflußfaktoren auf die Materialflußplanung..... | 20 |
| Bild 3.3: | Prinzip der ständigen Verfeinerung und Variantenreduktion..... | 21 |
| Bild 3.4: | Zusammenhang zwischen Planungsaufwand und Ergebnis..... | 23 |
| Bild 3.5: | Planungsphasen der Materialflußplanung | 25 |
| Bild 3.6: | Teilphasen der Vorarbeiten zur Materialflußplanung | 26 |
| Bild 3.7: | Gliederung von Methoden zur Datenermittlung | 29 |
| Bild 3.8: | Gängige Methoden zur Datendarstellung | 31 |
| Bild 3.9: | Teilphasen der Grobplanung | 33 |
| Bild 3.10: | Ablaufschema einer Walzenfertigung | 34 |
| Bild 3.11: | Ideales Funktionsschema eines Distributionszentrums | 35 |
| Bild 3.12: | Mengenmaßstäbliches Flußdiagramm (Sankey-Diagramm)..... | 36 |
| Bild 3.13: | Transportmatrix [Paletten/Tag] | 36 |
| Bild 3.14: | Klassifikation der Verfahren zur Layoutplanung | 37 |
| Bild 3.15: | Dreiecksraster mit optimierter Anordnung der Funktionseinheiten | 38 |
| Bild 3.16: | Flächenmaßstäbliches Funktionsschema eines Distributionszentrums ... | 39 |
| Bild 3.17: | Blocklayout (Ideallayout)..... | 40 |

| | |
|---|----|
| Bild 3.18: Morphologischer Kasten zur Auswahl von Materialflußmitteln..... | 42 |
| Bild 3.19: Methoden zur Auslegung von Materialflußsystemen | 44 |
| Bild 3.20: Groblayout eines Hochregallagers..... | 46 |
| Bild 3.21: Investitionsrechenverfahren zur Materialflußplanung | 48 |
| Bild 3.22: Teilphasen der Feinplanung | 49 |
| Bild 4.1: Wesentliche Schritte beim Einsatz von Simulationssystemen..... | 57 |
| Bild 4.2: Dreidimensionale Darstellung eines Fabriklayouts | 61 |
| Bild 4.3: SIMPLE Viewer Konzept..... | 62 |
| Bild 4.4: Konzept des Rechnerwerkzeuges MATFLOW | 64 |
| Bild 4.5: Planungsphasenübergreifende Modellierung am Beispiel einer Rollenbahn..... | 66 |
| Bild 4.6: Optimierung realer Systeme mit Hilfe der Simulation | 68 |
| Bild 4.7: Schwächen existierender Rechnerwerkzeuge zur Planung von Materialflußsystemen..... | 71 |
| Bild 5.1: Planungssystematik für eine durchgängige Planung von Materialflußsystemen..... | 73 |
| Bild 5.2: Flexibilität als Anforderung an eine durchgängige Rechnerunterstützung..... | 75 |
| Bild 5.3: Flexibles Modulkonzept zur Unterstützung der einzelnen Planungsschritte | 75 |
| Bild 5.4: Schematische Darstellung der Datenbankintegration | 78 |
| Bild 5.5: Softwarekonzept einer durchgängigen Rechnerunterstützung | 81 |
| Bild 5.6: Entwicklungsbasis zur Umsetzung des Softwarekonzeptes einer durchgängigen Rechnerunterstützung | 84 |
| Bild 5.7: Entwicklungsschwerpunkte des computerintegrierten Planungswerkzeuges | 86 |
| Bild 5.8: Parametrische Objektbeschreibung eines Stetigförderer-Geradstückes . | 87 |
| Bild 5.9: Unterteilung von Transporten zwischen zwei Funktionseinheiten..... | 90 |
| Bild 6.1: Integration von AutoCAD und ACCESS über ODBC | 93 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Bild 6.2: | Grafische Darstellung einer Station | 97 |
| Bild 6.3: | Grafische Darstellung eines Übergabepunktes..... | 103 |
| Bild 6.4: | Grafische Darstellung eines Transportes..... | 104 |
| Bild 6.5: | Beispiel zum Erzeugen und Ändern eines Stetigförderers..... | 106 |
| Bild 6.6: | Dialogfenster zum Editieren eines Materialflußobjektes (hier Stetigförderer – Gerade)..... | 109 |
| Bild 6.7: | Auflistung der berücksichtigten Artikel | 134 |
| Bild 6.8: | Dialogfenster für das Modellelement Station (hier: Warenausgang) | 135 |
| Bild 6.9: | Auflistung definierter Prozesse des Artikels „Granulat-1010-B“ | 135 |
| Bild 6.10: | Strukturvariante des betrachteten Projektbeispiels..... | 136 |
| Bild 6.11: | Editierbarkeit des Transportwegverlaufes..... | 136 |
| Bild 6.12: | Serielle Aufteilung von Transporten auf mehrere Transportmittel | 137 |
| Bild 6.13: | Dialogfenster für das Modellelement Übergabepunkt..... | 138 |
| Bild 6.14: | Parallele Aufteilung von Transporten auf mehrere Transportmittel | 139 |
| Bild 6.15: | Auflistung definierter Transporthilfsmittel (THM)..... | 139 |
| Bild 6.16: | Dialogfenster für den Transportmitteltyp Gabelstapler | 140 |
| Bild 6.17: | Dialogfenster für die Detaillierung von Transporten..... | 141 |
| Bild 6.18: | Auslastungen der definierten Transportmittel | 141 |
| Bild 6.19: | Dialogfenster mit den Werten für das geplante Hochregallager | 142 |
| Bild 6.20: | Planungsergebnis des Projektbeispiels als Groblayout | 144 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|---------------|--|-----|
| Tabelle 5.1: | Planungsmodule und geeignete Standardsoftware | 77 |
| Tabelle 5.2: | Gegenüberstellung nicht kompatibler Datenmodelle | 79 |
| Tabelle 6.1: | Parameter für das Modellelement Artikel | 96 |
| Tabelle 6.2: | Parameter für das Modellelement Station | 97 |
| Tabelle 6.3: | Parameter für das Modellelement Prozeßschritt | 98 |
| Tabelle 6.4: | Parameter für das Modellelement Transporthilfsmittel | 98 |
| Tabelle 6.5: | Allgemeine Parameter für das Modellelement Transportmittel | 99 |
| Tabelle 6.6: | Zeitabhängige Parameter verschiedener Transportmittel | 100 |
| Tabelle 6.7: | Ausgabeparameter für das Modellelement Transportmittel | 101 |
| Tabelle 6.8: | Allgemeine Parameter für das Modellelement Lager | 102 |
| Tabelle 6.9: | Parameter für das Modellelement Übergabepunkt | 103 |
| Tabelle 6.10: | Parameter für das Modellelement Transport | 105 |
| Tabelle 6.11: | Ausgabeparameter für das Modellelement Transport | 105 |
| Tabelle 6.12: | Aufwandsvergleich zum Erzeugen und Ändern eines Stetigförderers | 107 |
| Tabelle 6.13: | Objekte der parametrischen Objektbibliothek | 111 |
| Tabelle 6.14: | Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Lagertechnik Teil 1 | 112 |
| Tabelle 6.15: | Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Lagertechnik Teil 2 | 113 |
| Tabelle 6.16: | Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Stetigförderer Teil 1 | 114 |
| Tabelle 6.17: | Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Stetigförderer Teil 2 | 115 |
| Tabelle 6.18: | Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Flurfördermittel Teil 1.... | 116 |
| Tabelle 6.19: | Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Flurfördermittel Teil 2.... | 117 |
| Tabelle 6.20: | Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Flurfördermittel Teil 3.... | 118 |
| Tabelle 6.21: | Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Personal | 118 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|---------------|--|-----|
| Tabelle 6.22: | Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Verkehrstechnik..... | 119 |
| Tabelle 6.23: | Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Krane..... | 120 |

1 Einleitung

1.1 Entwicklungen in Industrie, Handel und Dienstleistung

Die Situation der Unternehmen in Industrie, Handel und Dienstleistung ist seit Jahren durch eine Sättigung der Märkte gekennzeichnet, was zu einer Stärkung der Kundenposition und somit zu einem Wandel vom Anbieter- zum Käufermarkt geführt hat. Dies bedeutet für die Unternehmen einen sich ständig verschärfenden Wettbewerb und daraus resultierend einen beträchtlichen Kostendruck. Um im Kampf um Marktanteile bestehen zu können, müssen sich die Unternehmen von ihren Mitbewerbern differenzieren, was u.a. zu folgenden Entwicklungen führt.

Die Bestrebungen, neue Kundenwünsche möglichst gut zu erfüllen, sorgen in zunehmendem Umfang für eine Segmentierung des Marktes. So vereinen in den USA Geländefahrzeuge, Minivans und Pick-Ups bereits einen Marktanteil von ca. 50% [Mil-97]. Weitere Konsequenzen sind eine Verbreiterung der Sortimente und eine wesentlich höhere Variantenvielfalt [Hep-98a]. BMW vergrößerte beispielsweise die Anzahl seiner Modelle von 1986 bis 1996 um fast das Dreifache [Mil-97]. Zusammen mit steigenden Qualitätsansprüchen führen diese Entwicklungen zu immer höherwertigeren und komplexeren Produkten [Lin-97, Mil-94, Rei-94].

Trotz höherer Produkt- und Variantenvielfalt gleichen sich Produkte und Technologien immer mehr an. Über alle Branchen hinweg forcieren deshalb einige Unternehmen ihre Innovationsfähigkeit durch höhere F&E-Aufwendungen [Bul-97, Mil-97] und durch ein systematisches Innovationsmanagement, das innovationsförderliches Denken und Handeln unterstützt [Wil-97]. Dadurch gelingt es ihnen, über Technologie- und Produktinnovationen auch auf scheinbar gesättigten Märkten Marktanteile zu erobern und auszuweiten [Bul-97]. Die erzielten Innovationen verkürzen dabei drastisch die Produktlebenszyklen und kommen so dem Markt entgegen, der in immer kürzeren Abständen nach neuen Produkten verlangt [Mil-97, Rei-97].

Aus Sicht des Kunden werden Lieferzeit, Lieferfähigkeit und Termintreue im Vergleich zu Preis und Produktqualität zu immer wichtigeren Faktoren bei der Kaufent-

scheidung [Hor-95, Jün-98]. Dies zeigt auch das Ergebnis einer Untersuchung, nach der die logistische Leistung als Differenzierungskriterium am Markt weiter an Bedeutung gewinnt [Bau-96]. So werden die Untersuchungskriterien Lieferfähigkeit, Lieferzeit, Lieferqualität, Termintreue und Informationsbereitschaft sehr hoch eingeschätzt (Bild 1.1). Eine Unternehmensbefragung bezüglich der Anforderungen der Kunden an die Distributionslogistik ihrer Lieferanten ergibt ein ähnliches Resultat. Bei der Bewertung von 40 verschiedenen Qualitätsmerkmalen erreichen die Attribute Termintreue, Schadensfreiheit, Liefergenauigkeit nach Art und Menge, rasche Information bei Verzögerungen, hohe Lieferbereitschaft und kurze Lieferzeit einen der ersten zehn Plätze [Pfo-99].

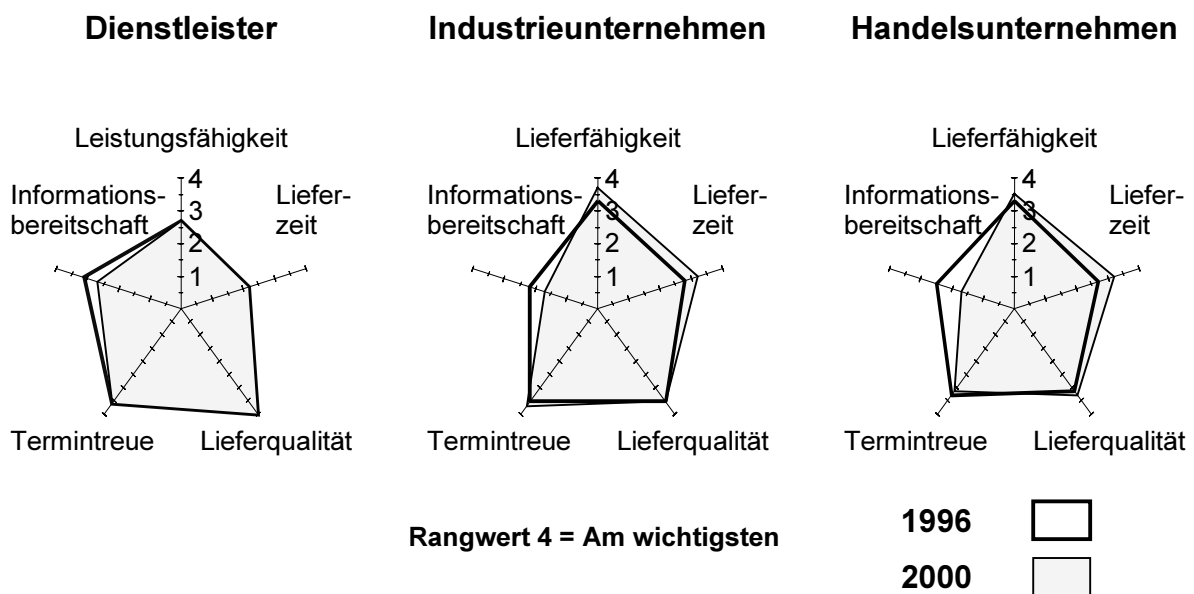


Bild 1.1: Bedeutung der logistischen Leistung als Differenzierungskriterium [Bau-96]

Der Trend zur Globalisierung hält weiter an und beschränkt sich schon längst nicht mehr nur auf die Beschaffung, sondern spiegelt sich bereits in internationalen Produktionsnetzen und globalen Absatzmärkten wieder. Haben deutsche Unternehmen 1996 ihre Distributionslogistik noch zu 26% auf Europa und zu 31% global ausgerichtet, so wird diese Ausrichtung im Jahr 2000 voraussichtlich bereits bei 33% auf Europa und bei 38% global liegen [Bau-96]. Durch diese internationale Präsenz erreichen die Unternehmen eine größere Kundennähe und können so die Kundenwünsche besser erfüllen. Damit ist es den Unternehmen möglich, ihre produzierten Güter

und Dienstleistungen weltweit abzusetzen, womit sie von den regionalen Marktentwicklungen unabhängiger werden [Bul-97].

Zusammenfassend stehen die Unternehmen in Industrie, Handel und Dienstleistung, ausgelöst durch den Wandel des Marktes vom Anbieter- zum Käufermarkt, in einem Spannungsfeld, in dem sie sich nur durch eine starke Kundenorientierung behaupten können (Bild 1.2).

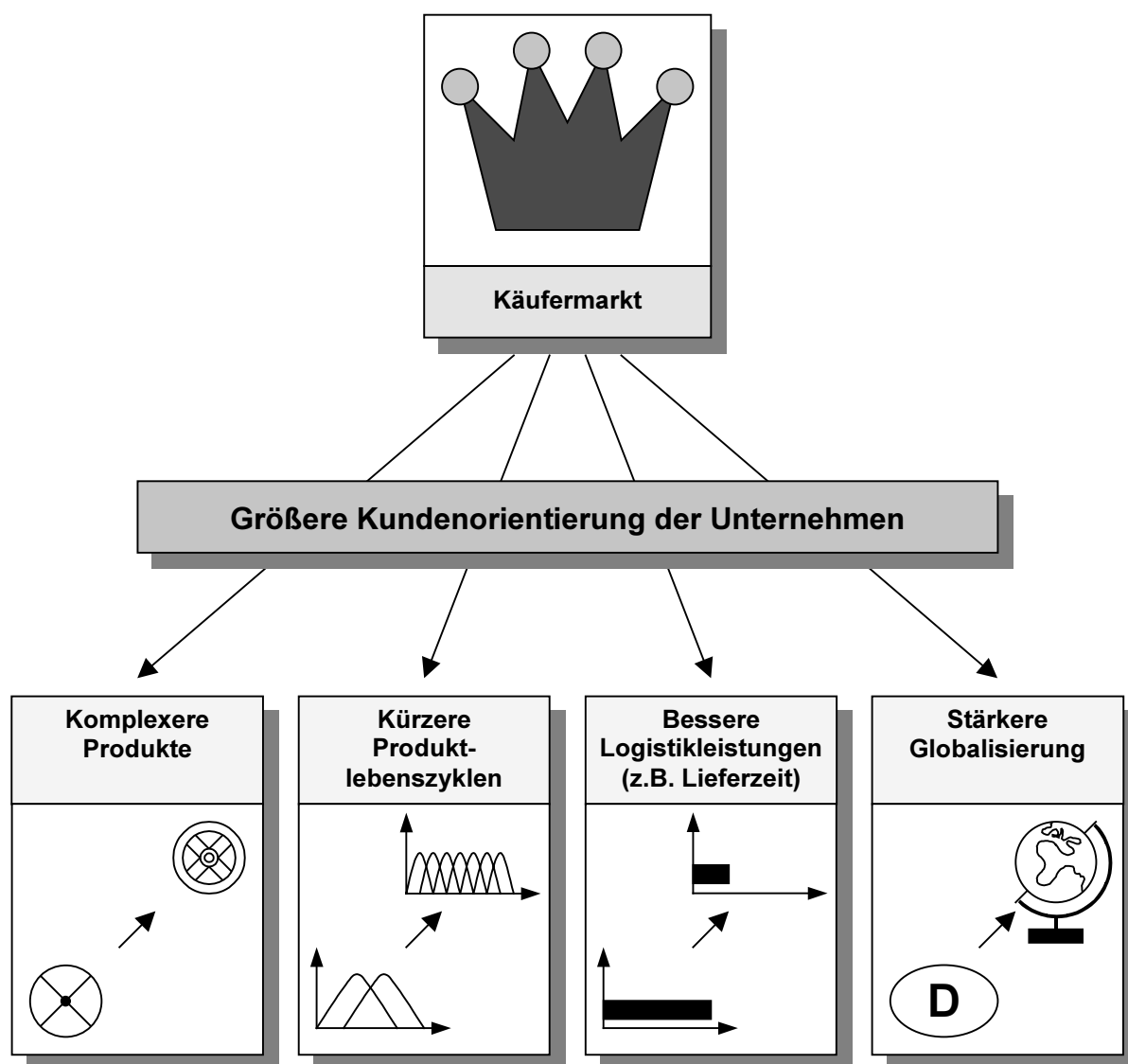


Bild 1.2: Entwicklungen aufgrund größerer Kundenorientierung der Unternehmen

1.2 Auswirkungen auf die innerbetriebliche Logistik

Die größere Kundenorientierung der Unternehmen hat starke Auswirkungen auf die innerbetrieblich eingesetzten Logistiksysteme in Industrie, Handel und Dienstleistung.

Variantenreichere und komplexere Produkte, breitere Sortimente und eine höhere Marktsegmentierung haben komplexere innerbetriebliche Logistiksysteme für die Produktion und Distribution der Güter zur Folge [Mil-94, Paw-97]. Durch den Trend zur Globalisierung wird dieser Sachverhalt noch verstärkt [Hep-98a]. Zusätzlich müssen die eingesetzten Logistiksysteme die gewachsenen Marktanforderungen bezüglich kürzerer Durchlaufzeiten und höherer Termintreue erfüllen, was den Aufwand und die Komplexität ebenfalls erhöht [Baus-97, Paw-99]. Die größere Komplexität der Logistiksysteme und die wachsenden Leistungsumfänge führen in der Folge zu einer Erhöhung des Logistikkostenanteils an den Unternehmenskosten, wenn nicht durch permanente Prozeßoptimierung das Kostensenkungspotential genutzt und dadurch der Logistikkostenanteil gesenkt wird [Bau-96, Baus-97].

Die kürzeren Produktlebenszyklen und häufigeren Sortimentswechsel bei gleichzeitig zunehmenden Leistungsschwankungen bedingen einen permanenten Veränderungsprozeß, dem auch die innerbetrieblichen Logistiksysteme unterliegen. Sie müssen deshalb so flexibel wie möglich auf Struktur-, Mengen-, und Produktveränderungen reagieren können [Gün-99, Rei-97, Sei-97].

Die geforderte Flexibilität steht dabei in einem Zielkonflikt zu dem nach wie vor anhaltenden Trend zur Automatisierung, bei dem in gewissem Umfang Strukturen und Abläufe festgelegt werden. Automatisierung ermöglicht jedoch eine bessere Beherrschung der komplexen logistischen Prozesse und sichert somit die logistische Leistungsfähigkeit der Unternehmen, die sich an Faktoren, wie der Einhaltung zugesagter Liefertermine, Auslieferung am richtigen Ort und Liefergenauigkeit nach Art und Menge, ablesen läßt [Jün-98]. Gleichzeitig beinhaltet Automatisierung hohe Kostensenkungspotentiale, die die unter permanentem Kostendruck stehenden Unternehmen ausschöpfen wollen. Neben organisatorischen Ansätzen [Gün-97a], den Zielkonflikt zwischen Flexibilität und Automatisierung zu verringern, werden deshalb auch technische Ansätze [Gün-98a, Gün-98b, Gün-98c], wie die Entwicklung eines stufenweise automatisierbaren Leichtfördersystems, vorangetrieben.

Anteil Logistikkosten am Umsatz

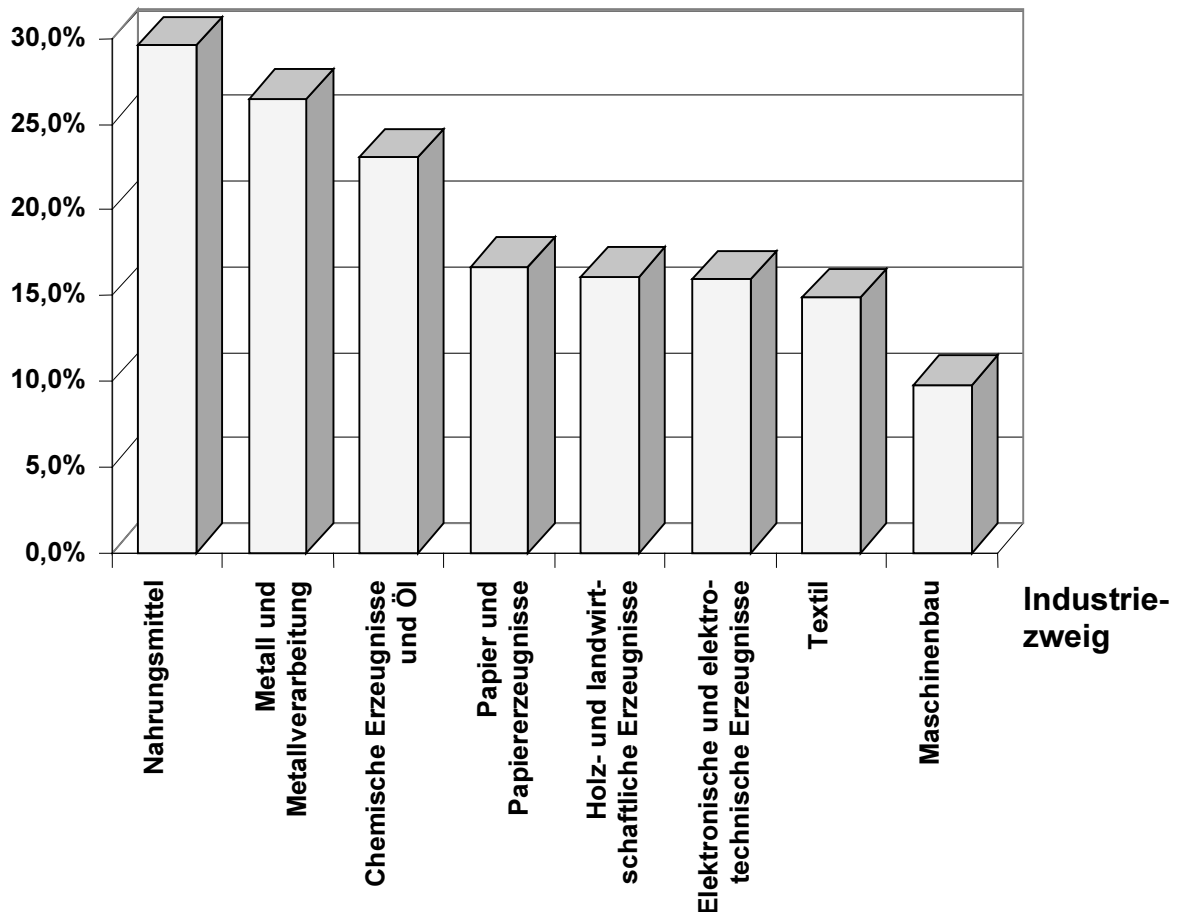


Bild 1.3: Branchenbezogener Anteil der Logistikkosten am Umsatz [Gün-95]

Durch die oben genannten Entwicklungen in den Unternehmen gewinnt die außerbetriebliche (externe) aber auch die innerbetriebliche (interne) Logistik immer mehr an Bedeutung. Dies wird noch dadurch verstärkt, daß die Logistikkosten aller deutscher Wirtschaftsunternehmen jährlich eine Summe von ca. 400 Milliarden DM erreichen [Gün-95] und einen beträchtlichen Anteil am Unternehmensumsatz ausmachen (Bild 1.3). Innerhalb der Logistikkosten stellen die Transport- und Lagerhaltungskosten die höchsten Anteile an den Logistikkosten dar (Bild 1.4) und bieten damit hohe Rationalisierungspotentiale. Ausgelöst durch den wachsenden Wettbewerb und den starken Kostendruck werden laufend neue Möglichkeiten gesucht, diese Potentiale auszuschöpfen. Hier bietet die Logistik Lösungsansätze, da durch logistische Methoden bedeutende Reserven aufgedeckt und genutzt werden können [Koe-93]. Auch das BMBF unterstreicht in seinem Rahmenkonzept Produktion 2000 die größer wer-

dende Bedeutung der Logistik mit der Aussage: „Die Lösung interner und zwischenbetrieblicher logistischer Probleme wird die Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen zunehmend beeinflussen“ [BMBF-95].

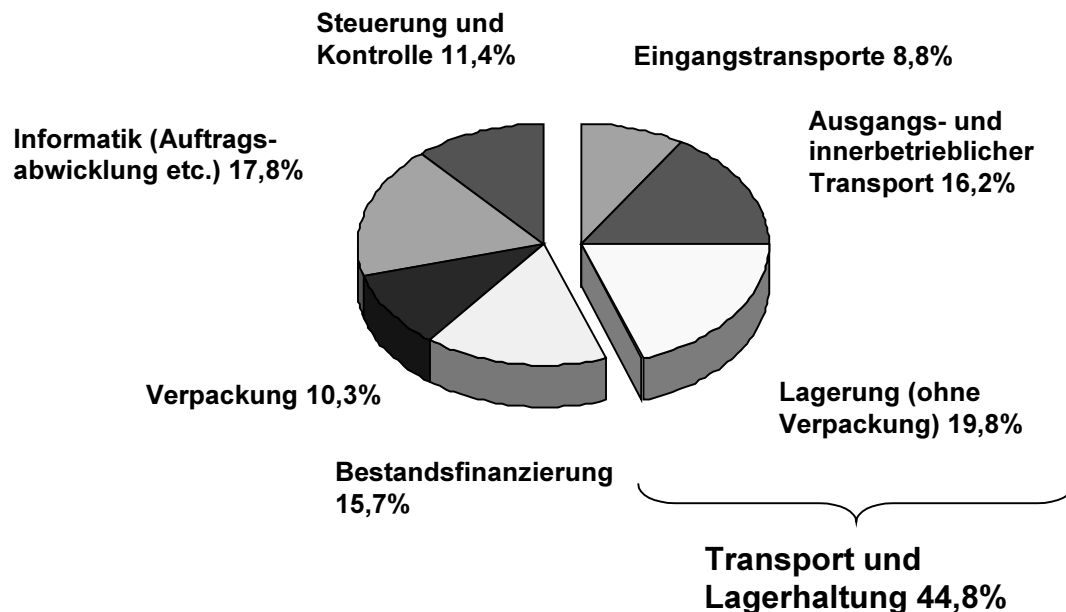


Bild 1.4: Anteil logistischer Kostenkomponenten an den gesamten Logistikkosten [Gün-95]

1.3 Auswirkungen auf die Planung von Materialflusssystemen

Durch den hohen Stellenwert von Logistikfaktoren, wie Lieferzeit, Lieferfähigkeit und Termintreue, steigt die Bedeutung eines ganzheitlichen Systemdenkens. Teilsysteme des Materialflusses werden deshalb nicht mehr isoliert betrachtet, sondern es wird eine Optimierung des Gesamtsystems angestrebt. Zusammen mit komplexeren Logistiksystemen und der geforderten Flexibilität bei gleichzeitiger Prozeßsicherheit führt dies zu einer wesentlichen Erhöhung der Komplexität bei der Planung von Materialflusssystemen [Pin-93, Tru-98].

Trotz höherer Komplexität nimmt die Forderung nach größerer Planungssicherheit weiter zu, da die logistische Leistungsfähigkeit der Unternehmen immer mehr über

deren Markterfolg bestimmt [Bau-97, Pfo-99]. Gleichzeitig kann dem Anstieg der Kosten durch komplexere Materialflußsysteme nur durch eine ganzheitliche Optimierung dieser Systeme während der Planung begegnet werden. Hier wird die zunehmende Bedeutung der Planungssicherheit bei der Planung von Materialflußsystemen sichtbar, da viele Kostensenkungspotentiale nur während der Planung aufgedeckt und genutzt werden können.

Durch das ganzheitliche Systemdenken bedingt kann die Planung von Materialflußsystemen nicht mehr als eine Aneinanderreihung der Planung einzelner Subsysteme gesehen werden. Vielmehr müssen bei der Suche nach dem Gesamtoptimum alle möglichen Kombinationen der Subsysteme betrachtet werden, womit sich die Zahl der zu untersuchenden Planungsvarianten überproportional erhöht. Der Planungsumfang nimmt also ganz entscheidend zu [Bec-97, Pin-93].

Um die Planungssicherheit bei komplexeren und umfangreicheren Planungsprojekten zu gewährleisten, wächst das Bestreben, schon in frühen Planungsphasen eine größere Anzahl von Planungsvarianten detailliert zu untersuchen [Pin-93, VDI 2523]. Dies kann nur durch eine Erhöhung der Planungsgeschwindigkeit erreicht werden. Zusätzlich verstärkt sich durch die kürzeren Produktlebenszyklen und die zunehmende Dynamik der Märkte die Forderung nach einer Verkürzung der Projektlaufzeit zur Planung und Realisierung logistischer Projekte [Bec-97]. Die VDI-Richtlinie 2523 [VDI 2523] definiert dabei die Projektlaufzeit als die Zeit vom Projektstart bis zur vertraglichen Übergabe des betriebsfähigen Systems und leitet folgendes ab: „Je kürzer die Projektlaufzeit, um so länger ist die effektive Nutzungszeit und damit auch der wirtschaftliche Nutzeffekt eines Logistiksystems“. Da sich sowohl die Zeit zur Fertigung als auch zur Lieferung, Montage und Inbetriebnahme von Logistiksystemen ständig verkürzt, nimmt der Anteil der Planungszeit an der Projektlaufzeit immer mehr zu. Um die Projektlaufzeit zu verringern, muß also versucht werden, über eine höhere Planungsgeschwindigkeit vor allem den immer größer werdenden Anteil der Planungszeit zu verkürzen.

Die oben genannten Anforderungen an die Planung von Materialflußsystemen zeigt zusammenfassend Bild 1.5.

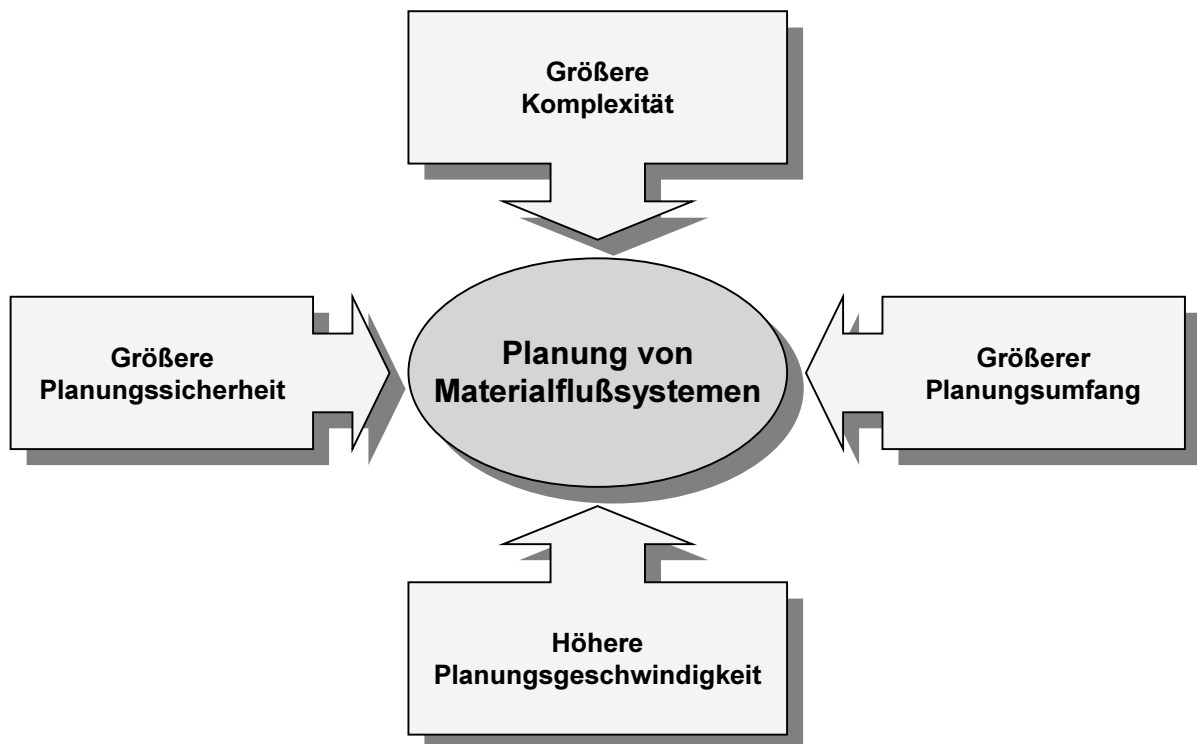


Bild 1.5: Anforderungen an die Planung von Materialflusssystemen

1.4 Ziel der Arbeit und Vorgehensweise

Ziel dieser Arbeit ist es, ein ganzheitliches Konzept zu entwickeln, mit dem die zunehmenden Ansprüche an die Planung von Materialflusssystemen hinsichtlich Komplexität, Umfang, Planungssicherheit und Geschwindigkeit berücksichtigt werden können. Das Konzept soll Überlegungen zu einer durchgängigen Rechnerunterstützung beinhalten, von der wesentliche Teilbereiche zu realisieren sind. Dafür sollen geeignete Softwaretools zu einem computerintegrierten Planungswerkzeug zusammengefügt werden.

In einem ersten Schritt sind dazu Begriffe aus den Bereichen Logistik und Materialfluß abzugrenzen und Grundlagen, Abläufe und Methoden der Materialflußplanung und der darin enthaltenen Systemplanung zu untersuchen. Damit sollen das Themengebiet der Arbeit eingegrenzt und die Randbedingungen für die Entwicklung des übergeordneten Konzeptes und des zu realisierenden Planungswerkzeuges aufgestellt werden.

Anschließend ist in einem zweiten Schritt eine Analyse bereits existierender rechnergestützter Hilfsmittel für die Planung von Materialflußsystemen durchzuführen, um deren Stärken und Schwächen aufzuzeigen. Bei der Analyse sollen neben Standardprogrammen auch aufgabenspezifisch entwickelte Planungswerkzeuge untersucht werden.

Auf den Ergebnissen der ersten beiden Schritte aufbauend ist die übergeordnete Gesamtkonzeption der durchgängigen Rechnerunterstützung mit ihren Teilzielen und Teilkonzepten zu erarbeiten. Anschließend sollen eine für das Gesamtkonzept geeignete Entwicklungsbasis zusammengestellt und die für das Planungswerkzeug zu realisierenden Entwicklungsschwerpunkte formuliert werden.

Abschließend sollen das Planungswerkzeug, das einen Kernbereich der durchgängigen Rechnerunterstützung darstellt, umgesetzt und die implementierten Funktionalitäten beschrieben und erklärt werden.

2 Begriffsabgrenzungen

2.1 Logistik

Die Logistik ist die wissenschaftliche Lehre von Planung, Gestaltung, Steuerung und Kontrolle der Material- und Informationsflüsse in Systemen [Jün-89] und basiert auf den drei Säulen (Bild 2.1)

- Technik,
- Informatik und
- Betriebs- und Volkswirtschaft.

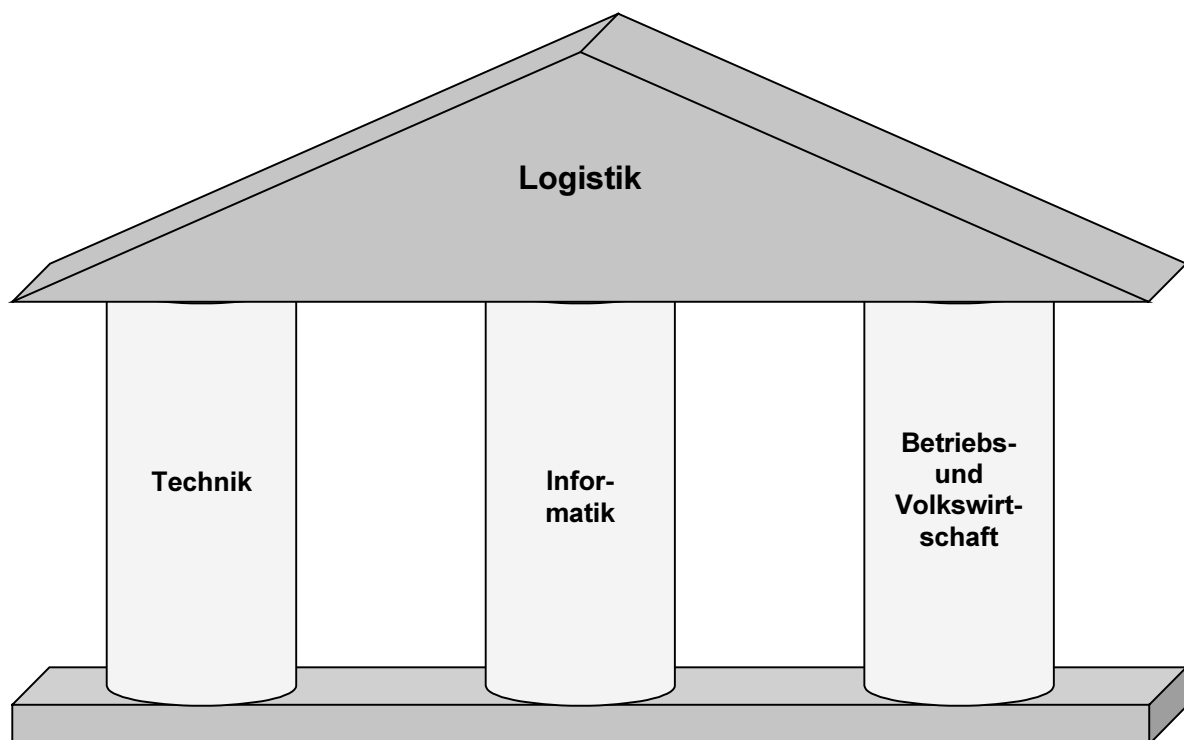


Bild 2.1: Die drei Säulen der Logistik [Jün-89]

Die Zielsetzung der Logistik besteht darin,

- die richtigen Materialien und Güter

- in der richtigen Menge
- mit der richtigen Qualität
- zur richtigen Zeit
- am richtigen Ort
- zu minimalen Kosten

zur Verfügung zu stellen [Jün-89]. Es geht dabei nicht um das Optimieren eines Teilsystems, sondern um ein ganzheitliches, bereichsübergreifendes Systemdenken, das das Minimieren der Gesamtkosten zum Ziel hat.

2.1.1 Unternehmenslogistik

Die Unternehmenslogistik ist ein Teilbereich der Logistik und, davon abgeleitet, die wissenschaftliche Lehre von Planung, Gestaltung, Steuerung und Kontrolle der Material- und Informationsflüsse in Unternehmen [Jün-89]. Wird die Definition um die Schnittstellen des Unternehmens erweitert, so ist es die Aufgabe der Unternehmenslogistik, den Material-, Waren- und Produktionsfluß sowie den dazugehörigen Informationsfluß vom Lieferanten zum Unternehmen, im Unternehmen und vom Unternehmen zum Kunden wirtschaftlich zu planen, zu gestalten, zu steuern und zu kontrollieren [Mart-98].

Darauf aufbauend lassen sich die Aufgabenbereiche der Unternehmenslogistik horizontal in die Bereiche (Bild 2.2)

- Beschaffungslogistik,
- Produktionslogistik und
- Distributionslogistik

gliedern [Gün-91, Jün-89]. Normalerweise sind in einem Produktionsunternehmen alle drei Bereiche zu finden, während bei einem Handelsunternehmen die Produktionslogistik entfällt und ein Dienstleistungsunternehmen nur eine Distributionslogistik besitzt.

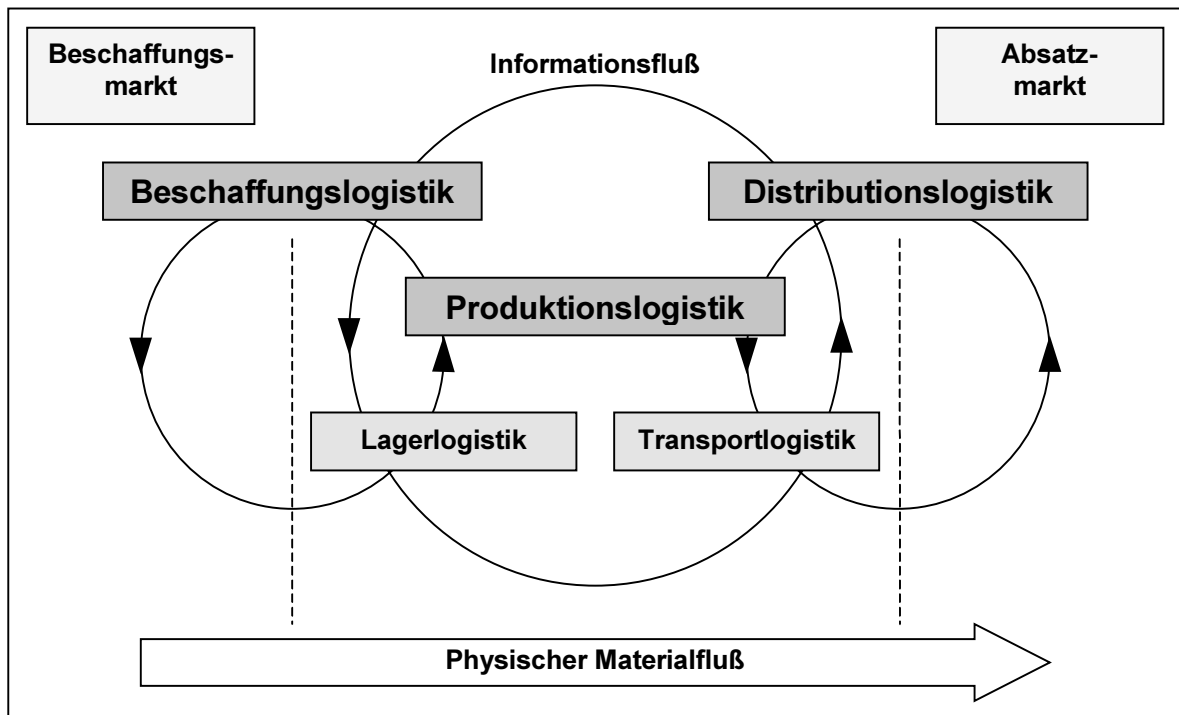


Bild 2.2: Aufgabenbereiche der Unternehmenslogistik [Gün-91]

Neben einer horizontalen Gliederung besitzt die Unternehmenslogistik auch eine vertikale Gliederung (Bild 2.3), die aus einer

- administrativen,
- dispositiven und
- operativen

Ebene besteht und sich über die einzelnen Gebiete der Logistik, die Technik, die Informatik und die Betriebs- und Volkswirtschaft, erstreckt [Mart-98].

Auch Jünemann [Jün-89] unterteilt die Unternehmenslogistik vertikal in drei Ebenen,

- die Management-Ebene,
- die Logistik-Ebene und
- die Materialfluß-Ebene.

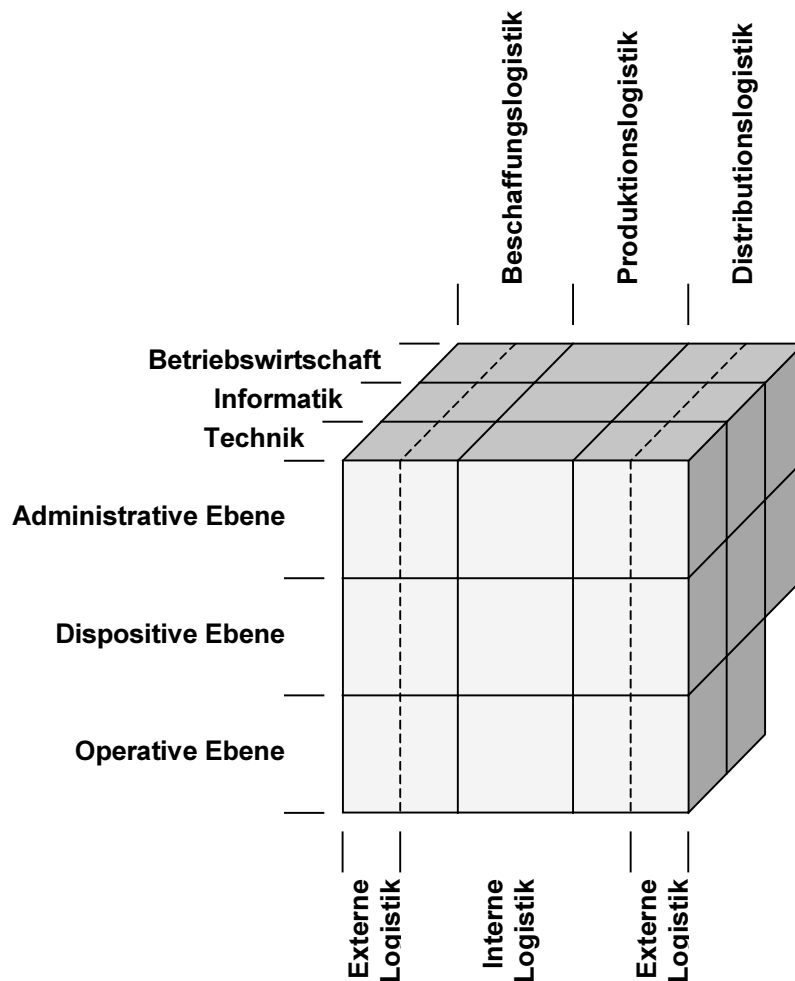


Bild 2.3: Gliederung der Unternehmenslogistik

In der Management-Ebene sind z.B. das Erarbeiten neuer Marktstrategien, das Logistik-Controlling und strategische Planungen wie die Standortplanung angesiedelt. Die Logistik-Ebene deckt die Steuerungsaufgaben für den Materialfluß sowie administrative, dispositive und strategische Aufgaben ab, die Tätigkeitsfelder der Logistik betreffen. Auf der Materialfluß-Ebene werden sämtliche den Materialfluß betreffenden Vorgänge abgewickelt. Im Vergleich zu Martin [Mart-98] setzt Jünemann [Jün-89] noch die Management-Ebene über die anderen Ebenen und faßt die administrative und die dispositive Ebene zur Logistik-Ebene zusammen.

Den einzelnen Schichten und Teilbereichen des Würfels (Bild 2.3) sind bestimmte logistische Funktionen und Aufgaben zugeordnet, die im Rahmen der Suche nach

einem Gesamtoptimum ständig zu verbessern sind [Mart-98]. In der administrativen und dispositiven Ebene sind es Führungsfunktionen, wie

- Planen,
- Gestalten,
- Bewerten,
- Entscheiden,
- Kontrollieren und
- Überwachen.

In der operativen Ebene der Informatik sind es die operativen Funktionen

- Erfassen,
- Übertragen,
- Verarbeiten,
- Speichern und
- Ausgeben

und in der operativen Ebene der technischen Logistik die operativen Funktionen

- Transportieren,
- Umschlagen,
- Lagern,
- Kommissionieren und
- Verpacken.

2.1.2 Innerbetriebliche Logistik

Die Unternehmenslogistik läßt sich horizontal nicht nur in die Aufgabenbereiche Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik unterteilen, sondern auch in die Bereiche externe und interne Logistik (Bild 2.3). Dabei ist die interne oder auch in-

nerbetriebliche Logistik der Teilbereich der Unternehmenslogistik, der die betriebsstättenbezogenen Aufgabenbereiche der Beschaffungs- und Distributionslogistik sowie die Produktionslogistik abdeckt [Bäu-98]. Die innerbetriebliche Logistik beinhaltet den Material- und Warenfluß mit begleitendem Informationsfluß und den dazugehörigen dispositiven und administrativen Aufgaben zwischen Wareneingang und Wareneingang einer Betriebsstätte. In Anlehnung an die operativen Funktionen der technischen Logistik sind auch innerhalb der internen Logistik das Umschlagen, Lagern, Transportieren, Kommissionieren und Verpacken als die wichtigsten operativen Logistikaufgaben zu sehen.

2.2 Materialfluß

2.2.1 Grundfunktionen des Materialflusses

Nach VDI-Richtlinie 3300 [VDI 3300] bzw. in Anlehnung an VDI-Richtlinie 2411 [VDI 2411] ist der Materialfluß „die Verkettung aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von stofflichen Gütern innerhalb festgelegter Bereiche. Dazu gehören im einzelnen: Bearbeiten, Handhaben, Transportieren, Prüfen, die Aufenthalte und die Lagerung.“ Wird im Sinne dieser Definition das Unternehmen als Bereich verstanden, so umfaßt der Materialfluß alle Vorgänge beim Durchlaufen des Materials durch dieses Unternehmen vom Lieferanten bis zum Kunden.

Wird der Materialfluß um die Vorgänge Kommissionieren, Umschlagen und Verpacken erweitert [Arn-95, Weh-97], so entsprechen die operativen Funktionen der technischen Logistik den Vorgängen des Materialflusses und dienen dazu, diese möglichst optimal durchführen zu können. Der Materialfluß ist also ein operativer Prozeß, der sich von der gesamten Unternehmenslogistik durch die dispositiven und administrativen Aspekte und die logistischen Teilgebiete Informatik und Betriebswirtschaftslehre unterscheidet (Bild 2.3). Was ihn jedoch mit der Logistik verbindet, ist seine Durchgängigkeit durch das Unternehmen und damit durch die Aufgabenbereiche Beschaffung, Produktion und Distribution. Es läßt sich also feststellen: „Material-

fluß und Logistik belegen unterschiedliche, hierarchische Ebenen und sind beide als Querschnittsfunktionen zu verstehen“ [Jün-89].

Im Gegensatz zum Materialfluß, der die Vorgänge beim Durchlaufen des Materials innerhalb der lokalen Unternehmensstandorte umfaßt, deckt der Verkehr Problemstellungen beim Transport von Gütern zwischen verschiedenen Unternehmen oder Unternehmensstandorten ab.

2.2.2 Materialflußsysteme

Zur Erfüllung der Materialflußvorgänge bzw. der operativen Funktionen der technischen Logistik Transportieren, Umschlagen, Lagern, Kommissionieren und Verpacken werden technische Einrichtungen benötigt. Diese bestehen aus einzelnen Transport-, Lager- und Handhabungsmitteln, die zu Transport-, Lager- und Handhabungssystemen zusammengefaßt als Materialflußsysteme bezeichnet werden [Mart-98].

Materialflußsysteme sind wichtige Teile des Gesamtunternehmens, da alle im Unternehmen befindlichen Güter in irgendeiner Weise transportiert, gehandhabt und zum größten Teil auch gelagert werden müssen. Somit sind die Lager-, Handhabungs- und Transportsysteme für den innerbetrieblichen Materialfluß so zu gestalten, daß ein technisch-wirtschaftliches Gesamtsystem entsteht, das alle Forderungen des Betriebes erfüllt. Dabei ist sowohl auf technische als auch auf organisatorische Belange sowie auf die logistische Gesamtstruktur des Unternehmens von der Beschaffung bis zum Vertrieb zu achten [VDI 3629].

3 Materialflußplanung

3.1 Planungsbegriff und Planungsarten

Planung ist eine logistische Funktion, die die Unternehmensführung dazu benutzt, ihre Unternehmensziele zu erreichen [Mart-98]. Kettner [Ket-84] definiert die Planung als gedankliche Vorwegnahme zukünftiger Aktivitäten, welche die Entwicklung des Planungsgegenstandes aktiv beeinflussen will. Für Martin [Mart-98] ist Planung „die gedankliche Vorwegnahme zukünftigen Handelns durch Abwägen verschiedener Handlungsalternativen und Entscheidung für den günstigsten Weg“. Auch für Jünemann [Jün-89] ist Planen grundsätzlich in die Zukunft gerichtet. Er unterscheidet dabei je nach Zeitraum, für den die Planung Gültigkeit haben soll, langfristige, mittelfristige oder kurzfristige Planung. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß Planungen deshalb durchgeführt werden, weil sie die Chance in sich bergen, in Zukunft weitgehend von unliebsamen Überraschungen verschont zu bleiben [Gün-91].

Für die verschiedenen Arten der Planung werden unterschiedliche Bezeichnungen verwendet. Während z.B. Neu-, Erweiterungs-, Sanierungs- oder Rationalisierungsplanung aufgabenbezogene Planungsbegriffe darstellen, sagen die Bezeichnungen Ausführungs-, Grob- oder Feinplanung etwas über den Planungsschritt und über die Genauigkeit der Planung aus. Das betrachtete Planungsgebiet wird durch Begriffe wie z.B. Lager-, Transport-, Materialfluß- oder Fabrikplanung ausgedrückt, und für den zeitlichen Aspekt werden Worte wie Kurz-, Mittel- und Langfristplanung verwendet [Mart-98].

3.2 Bedeutung der Materialflußplanung

In Unternehmen kommt der Materialflußplanung innerhalb der Logistikplanung eine herausragende Bedeutung zu. Die VDI-Richtlinie 2689 [VDI 2689] meint dazu: „Der wirtschaftliche Erfolg eines Unternehmens wird nicht allein durch rationelle Fertigungsverfahren bestimmt. Er hängt in entscheidendem Maße auch davon ab, wie schnell, reibungslos und wie kostengünstig die Materialien durch Produktion und Läger fließen.“ Im Rahmen der Fabrikplanung stellt die Materialflußuntersuchung und

-planung das Kernstück der planerischen Aktivitäten dar [Ket-84]. So wird ihr hier die „Rolle eines Katalysators“ zugesprochen, „durch den die gegenseitige Abstimmung der vielfältigen Einflußbereiche bewerkstelligt und einer optimalen Gesamtkonzeption zugeführt wird“ [Agg-90].

Die Bedeutung der Materialflußplanung unterstreichen auch zahlreiche Untersuchungen, die belegen, daß der Materialfluß einen beachtlichen Kostenfaktor darstellt [Gün-95, Ket-84]. So betragen z.B. die Transportkosten rund 25% der gesamten Logistikkosten (Bild 1.4).

Ein Optimieren des Materialflusses sorgt jedoch nicht nur für ein Senken der Transportkosten, sondern auch für einen schnelleren und störungsfreieren Produktionsablauf, was zu einer höheren Kapazitätsauslastung und zu einer geringeren Kapitalbindung führt [Ket-84]. Der Begriff „Fluß“ darf nämlich nicht darüber hinwegtäuschen, daß die Warte- und Liegezeit des Materials den mit Abstand größten Anteil seiner Durchlaufzeit durch das Unternehmen ausmacht (Bild 3.1) [Arn-95, Wie-97]. Es handelt sich also um einen sehr stark „stockenden Fluß“ [Arn-95].

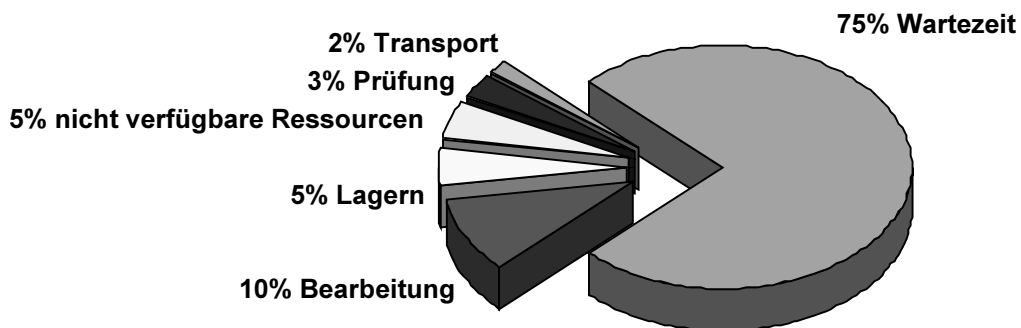


Bild 3.1: Aufteilung der Durchlaufzeiten im Materialfluß [Arn-95]

3.3 Planungsursachen

Die Gründe für eine Materialflußuntersuchung mit eventuell nachfolgender Materialflußplanung sind vielschichtig, stehen zum Teil aber in enger Beziehung zueinander. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind hier zum Beispiel

- Betriebsverlagerungen, -erweiterungen und -umstellungen,
- Mechanisierung und Automatisierung des Transport- und/oder Lagerbereiches,
- geringe Auslastung der Transportmittel,
- hohe Transport- und Lagerkosten,
- hohe Lager- und Zwischenlagerbestände,
- veraltete Transport- und Lagertechnik,
- Erweiterung der Produktionsmenge und des Produktspektrums,
- Engpässe, Unfälle, Störungen, hohe Durchlaufzeiten,
- hohe Personalkosten, umständliche Ablauforganisation,
- Überschreiten von Kostenzielen, mangelhafte Kostentransparenz und
- behördliche Auflagen

zu nennen [Gün-91, Ket-84, Mart-98].

3.4 Einflußfaktoren bei der Materialflußplanung

Als Einflußfaktoren werden nach VDI-Richtlinie 3300 [VDI 3300] alle Umstände bezeichnet, die sich auf die Aufgaben, Organisation und Mittel beim Fördern und Lagern auswirken und damit auf den Materialfluß und dessen Kosten Einfluß nehmen. Diese weitgefaßte Definition zeigt bereits, daß die zu berücksichtigenden Einflußfaktoren recht umfangreich sind, da fast alle Aufgaben und Funktionen in einem Unternehmen den Materialfluß in irgendeiner Form beeinflussen.

Aggteleky [Agg-90] bildet aus den Einflußfaktoren und Bereichen der Materialflußplanung drei Ebenen und erhält so eine funktionelle und in der Regel auch zeitliche Gliederung der Planungsbereiche. Die drei Ebenen werden dabei wie folgt definiert:

- 1. Ebene: Bereiche, die bei der Materialflußplanung meist als vorgegebene Daten, Rahmenbedingungen und Forderungen erscheinen (z.B. Produktmix, Losgrößen, Beschaffenheit der Materialien, Transport- und Lagereinheiten);

3 Materialflußplanung

- 2. Ebene: zu koordinierende Bereiche, die in enger Verknüpfung und meist gleichzeitig mit der Materialflußplanung gestaltet und optimiert werden (z.B. Layoutplanung und bautechnische Gestaltung, Flächen- und Raumprogramm);
- 3. Ebene: Aufgabengebiete nachfolgender Planungsphasen, deren Aufgabenstellung durch die Materialflußplanung gestaltet und abgeleitet wird (z.B. Transport und Kommissionieren, Lagern und Bereitstellen).

Kettner [Ket-84] stellt die wichtigsten Einflußfaktoren auf den Materialfluß dar und nennt sie „Einflußfaktoren ersten Grades“. Er detailliert seine Darstellung der gegenseitigen Beeinflussung zwischen Materialfluß und Einflußfaktor dahingehend, daß er qualitative Beziehungen der einzelnen Einflußfaktoren untereinander und zu den Materialflußkosten ermittelt (Bild 3.2). Aber auch diese Beziehungsstruktur muß im konkreten Planungsfall überprüft werden.

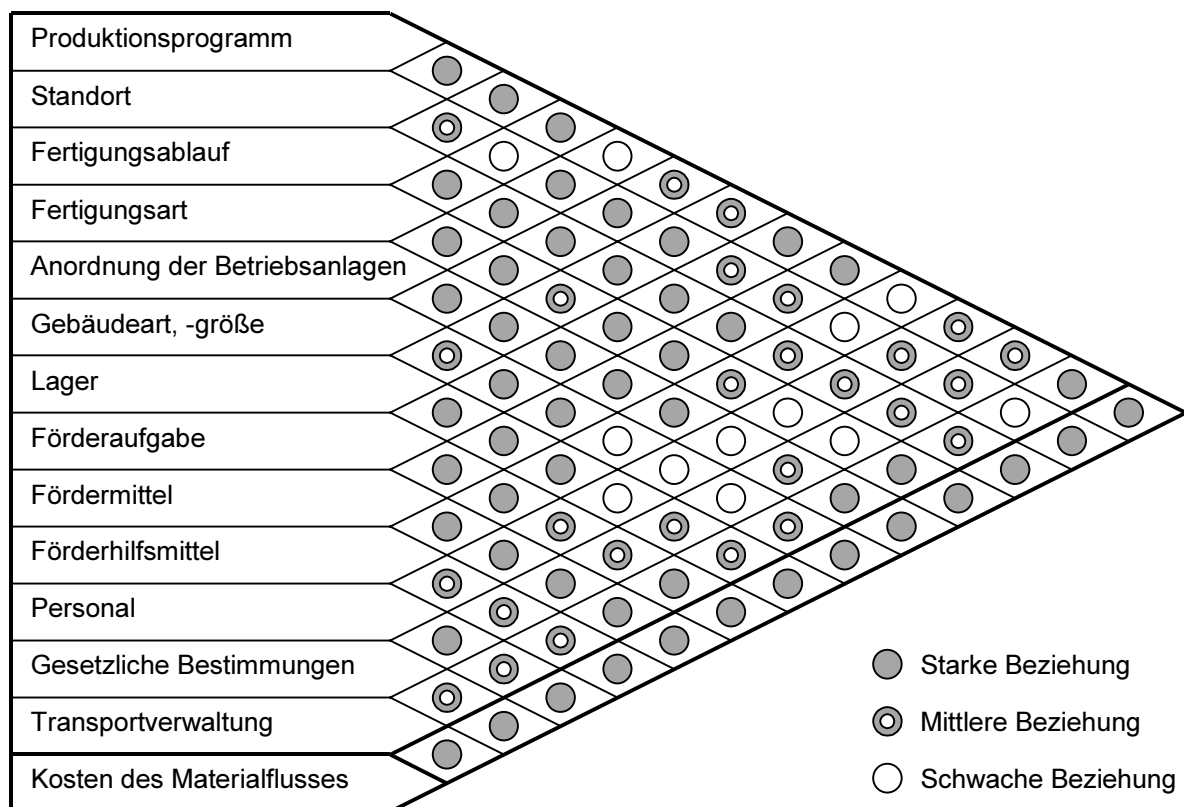


Bild 3.2: Beziehungsstruktur der Einflußfaktoren auf die Materialflußplanung [Ket-84]

3.5 Planungsgrundsätze

3.5.1 Variantenbildung, Verfeinerung und Variantenreduktion

Im Rahmen der Materialflußplanung findet die Methode der Variantenbildung in mehreren Planungsphasen ihre Anwendung [Agg-90, Ket-84]. Am Ende der jeweiligen Planungsphase wird dann entschieden, wie viele und welche der erzeugten Varianten in der nächsten, detaillierteren Planungsphase weiter ausgearbeitet werden sollen. So läßt sich die Anzahl der Planungsvarianten mit Fortschreiten der Planung ständig reduzieren, während die einzelne Variante zunehmend verfeinert wird (Bild 3.3).

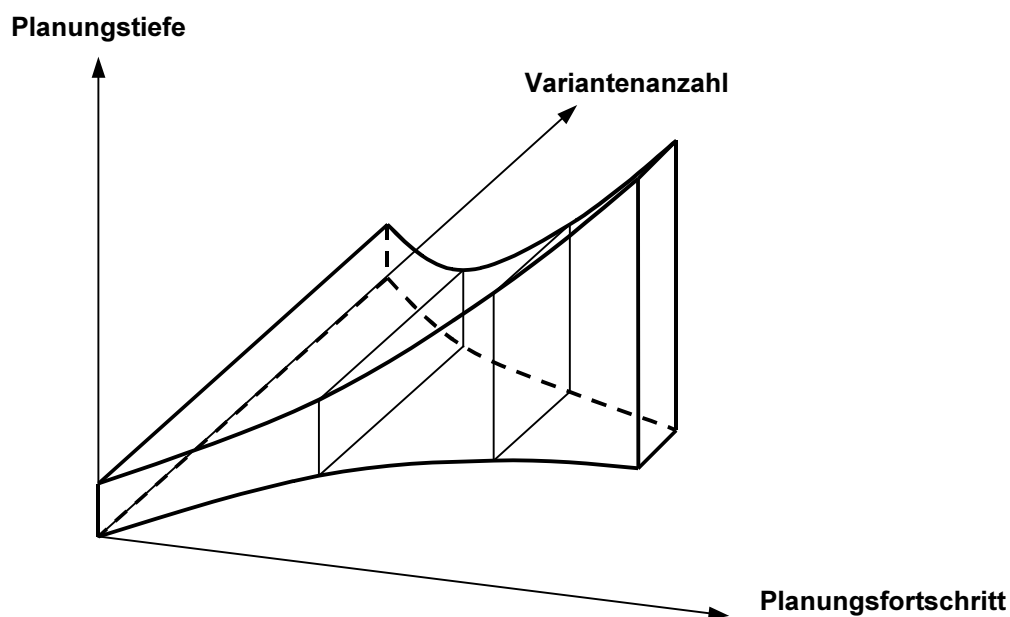


Bild 3.3: Prinzip der ständigen Verfeinerung und Variantenreduktion [Agg-90]

3.5.2 Ideal- und Realplanung

Trotz des zusätzlichen Planungsaufwandes sollte sowohl bei komplexen als auch bei einfachen Planungsaufgaben auf eine Idealplanung nicht verzichtet werden, da sie als Vergleichsbasis die Möglichkeit bietet, in der Realplanung gefundene, „optimale“ Lösungen kritisch zu bewerten [Agg-90, Arn-95, Ket-84]. Die Idealplanung be-

schränkt sich dabei nicht nur auf eine Verbesserung des Ist-Zustandes, sondern stellt die technisch und organisatorisch beste Lösung der Planungsaufgabe dar. Sie basiert allein auf den funktionellen Erfordernissen des Materialflußprozesses und den Anforderungen der an ihm beteiligten Menschen, Betriebsmittel und Produkte und läßt die vorhandenen wirtschaftlichen, räumlichen und sonstigen Restriktionen außer acht. Weitere Vorteile der Idealplanung sind zum einen darin zu sehen, daß die meisten der zu Anfang der Planung aufgestellten Restriktionen beurteilt und danach beibehalten oder fallengelassen werden können. Zum anderen lenkt sie den Planer beim Erarbeiten der Planungsvarianten immer wieder in eine günstige Richtung.

3.5.3 Stufenweises, iteratives Vorgehen

Die Planung des Materialflusses ist gekennzeichnet durch ein stufenweises, iteratives Vorgehen [Agg-90, Jün-89, Ket-84].

Durch die Stufung werden unnötige Arbeiten zum falschen Zeitpunkt und damit überhöhter Aufwand vermieden, da der stufenweise zunehmende Zeit- und Kostenaufwand den Realisierungschancen angepaßt ist. Eine Stufung vom „Groben zum Feinen“, von der Konzeption bis zum Detail, ist also unter ökonomischen Gesichtspunkten unerlässlich [Arn-95, Ket-84]. Dabei sind die einzelnen Planungsstufen weder eindeutig voneinander getrennt noch müssen sie streng nacheinander durchlaufen werden. Sie dürfen aber auch nicht völlig unkoordiniert ablaufen, sondern bilden einen iterativen Prozeß, der ein Ineingreifen der verschiedenen Planungsstufen und zahlreiche Rückkopplungen beinhaltet.

Zeigt sich auf einer bestimmten Planungsstufe, daß die Restriktionen und Anforderungen vorhergehender Planungsstufen das Lösen der Planungsaufgabe zu stark begrenzen oder gar verhindern, so muß zu den entsprechenden Planungsstufen zurückgegangen werden. Soweit sinnvoll, sind die dort festgelegten Planungsparameter zu überarbeiten und gegebenenfalls zu korrigieren. Dieses Vorgehen in iterativen Schritten stellt ein Annäherungsverfahren an die Lösung der Planungsaufgabe dar, das solange durchzuführen ist, bis entweder das Planungsziel in der geforderten Güte erreicht oder die Planung mangels wirtschaftlicher Lösungsmöglichkeiten einzustellen ist.

3.6 Planungsaufwand und Ergebnis

Die Effizienz einer Materialflußplanung, ausgedrückt durch das Verhältnis zwischen Planungsaufwand und Ergebnis, kann nur sehr schwer bewertet werden. Trotzdem gibt es grundsätzliche Zusammenhänge zwischen diesen beiden Größen [Agg-90], die in Bild 3.4 dargestellt sind. Mit einem höheren Planungsaufwand gelangt der Planer zu einer technisch, betrieblich oder preislich günstigeren Lösung. Es ist jedoch zu beachten, daß der Einfluß des Planungsaufwandes auf die Einsparungen mit zunehmender Planungsdauer abnimmt. Gleichzeitig steigen die Planungskosten mit der benötigten Planungszeit proportional an. Die planungsabhängigen Vergleichskosten haben nun dort ihr Minimum (Optimum der Planungseffizienz), wo die Planungskosten erstmals stärker zunehmen als die dadurch entgangenen Einsparungen abnehmen.

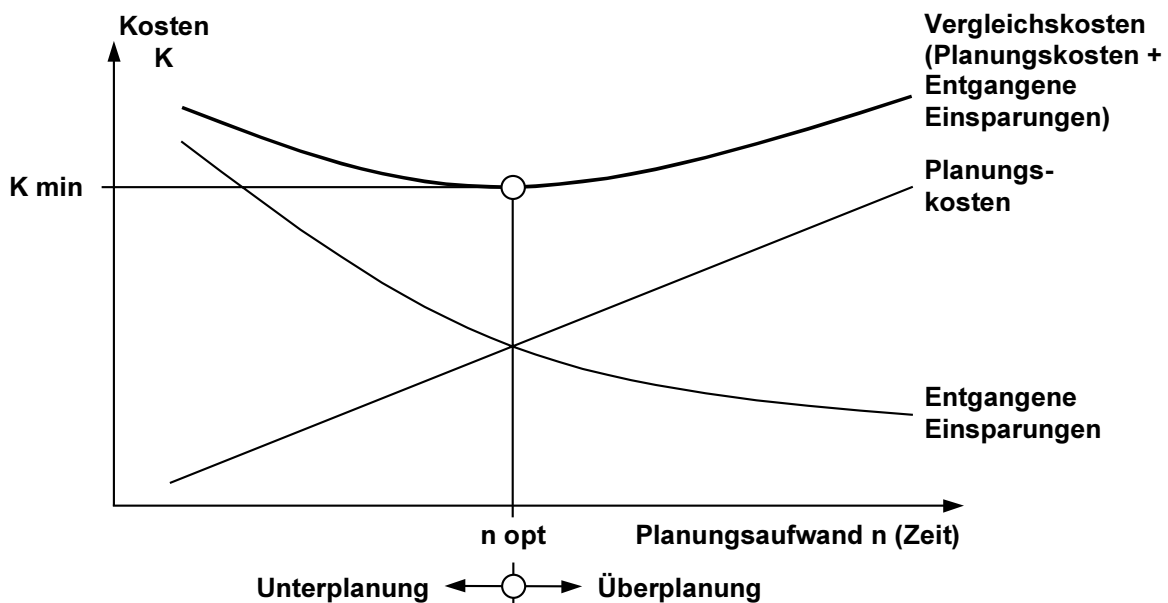


Bild 3.4: Zusammenhang zwischen Planungsaufwand und Ergebnis [Ket-84]

3.7 „Planung“ und „Projektierung“

Die Planung von Materialflußsystemen dient der gedanklichen und modellmäßigen Gestaltung von Materialflußprozessen und der dafür notwendigen Materialflußmittel [Jün-89]. Sie ist durch die verschiedenen Planungsaufgaben der Materialflußplanung,

wie Neu-, Um- und Erweiterungsplanung, sowie die dabei verwendete iterative Vorgehensweise gekennzeichnet.

Im Gestaltungsprozeß von Materialflußsystemen wird zwischen den Begriffen „Planung“ und „Projektierung“ unterschieden. Während die Planung konzeptionelle, herstellerneutrale Aufgabenstellungen bearbeitet, dient die Projektierung der Ausgestaltung von Konzepten mit herstellerspezifischen Geräten [Gün-91, Pin-93].

3.8 Ablauf der Materialflußplanung

In der Literatur finden sich verschiedene Planungsabläufe mit teils unterschiedlichen Bezeichnungen für die einzelnen Planungsschritte [Hep-98b, Jün-89, Sch-98]. Wichtiger jedoch als gleiche Bezeichnungen und Zuordnungen zu nächsthöheren Planungsstufen ist die Durchführung der hinter den einzelnen Planungsphasen stehenden Tätigkeiten an sich, zumal sich in der Planungspraxis die Phasen sowohl zeitlich als auch inhaltlich oft nicht streng voneinander trennen lassen.

Trotz verschiedener Abläufe und Bezeichnungen der Planungsphasen, verschiedener Planungsaufgaben (Neu-, Um- oder Erweiterungsplanung), unterschiedlicher Betreiber (Industrie, Handel, Dienstleistung) und unterschiedlicher Größen der Planungsprojekte läßt sich der prinzipielle Ablauf bei Materialflußplanungen in die vier Hauptphasen

- Vorarbeiten (Materialflußuntersuchung) bis zur Ermittlung der Planzahlen,
- Grobplanung mit dem Ziel zum geeignetsten Gesamtkonzept zu gelangen,
- Feinplanung durch detaillierte Ausarbeitung des Grobplanungskonzeptes und
- Realisierung des Systems

gliedern (Bild 3.5).

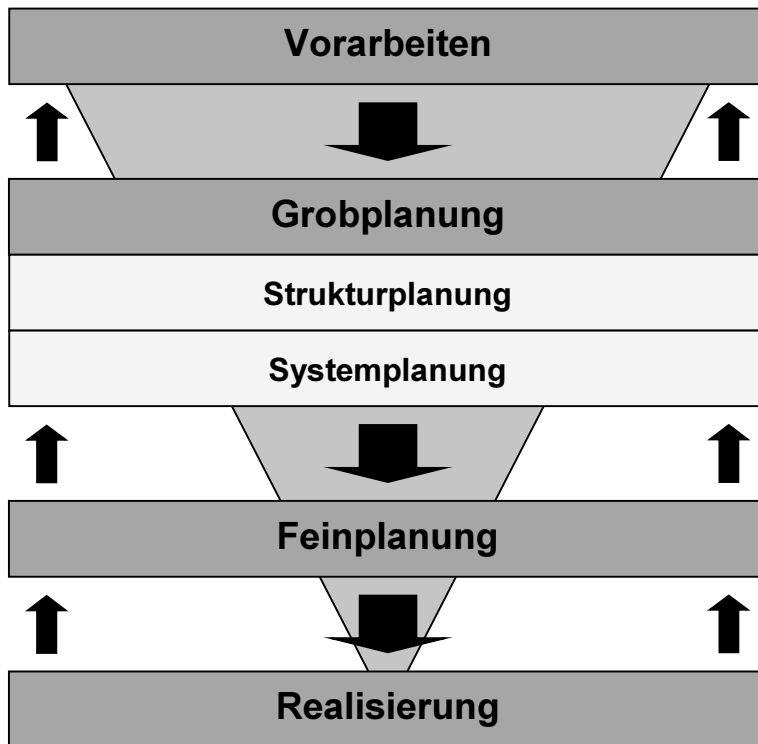


Bild 3.5: Planungsphasen der Materialflußplanung

3.8.1 Vorarbeiten (Materialflußuntersuchung)

Jede Materialflußuntersuchung wird mit dem Ziel durchgeführt, Schwachstellen und ihre Ursachen zu erkennen. Dazu sind im Rahmen der Untersuchung Daten zur Beurteilung des Materialflusses zu ermitteln, wie z.B.

- Daten des Sortimentes,
- Daten des Transport- und Lagergutes,
- Daten der Transport- und Lagerhilfsmittel,
- Daten der Transportmittel und Lagerarten,
- Daten der Betriebswirtschaft und
- Daten der Gebäude, Hallen und des Grundstückes.

Für die Beschaffung, Aufbereitung und Pflege dieser Daten ist ein erheblicher Zeiteanteil der Planungsarbeit notwendig [Arn-95]. Der Aufwand ist jedoch gerechtfertigt.

tigt, da eine breite und sichere Datenbasis nicht nur zur Beurteilung des momentanen Zustandes dient, sondern auch die Grundlage jeder Materialflußplanung ist. Aus diesem Grund werden die einzelnen Teilphasen der Vorarbeiten (Bild 3.6) zur Schaffung der Datenbasis nachfolgend näher erläutert.

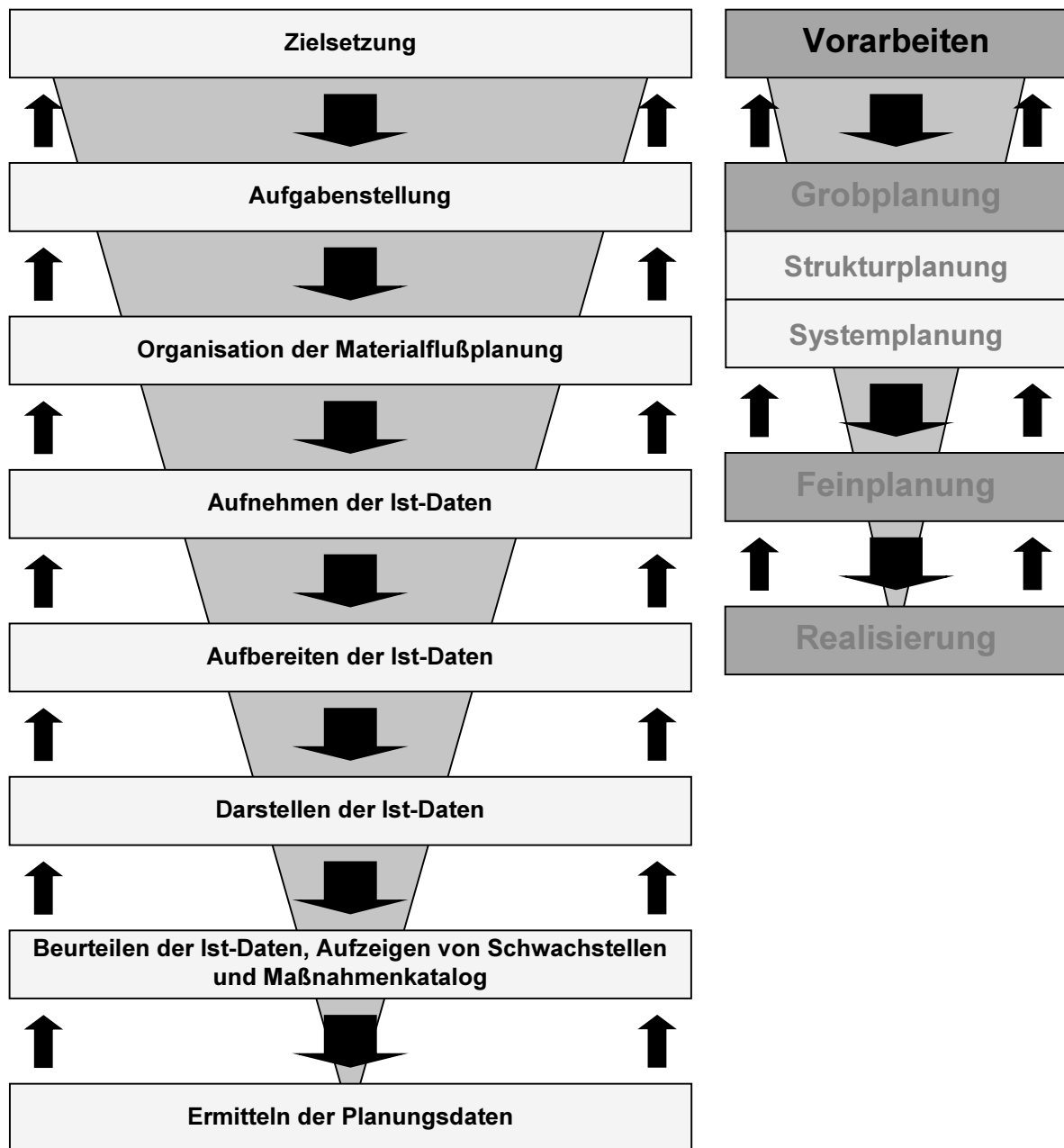


Bild 3.6: Teilphasen der Vorarbeiten zur Materialflußplanung

Zielsetzung

In der Regel formuliert die Unternehmensführung im Rahmen der Zielsetzung die Planungsziele. Sie dienen nach Abschluß der Planung zur Überprüfung des Planungserfolges. Mögliche Planungsziele sind z.B. die Verkürzung der Durchlaufzeiten, verbesserte Nutzung der Verkehrs- und Lagerflächen, Beseitigung von Engpässen und vieles mehr. Die Ziele leiten sich aus den jeweiligen Planungsursachen ab (siehe Kapitel 3.3) und sollen klar machen, was durch die Materialflußuntersuchung erreicht werden soll. Die Zielsetzung bildet somit die Basis für den Entwurf einer Aufgabenstellung [Ket-84, VDI 2689].

Aufgabenstellung

Während die Zielsetzung mehr als Anspruch formuliert ist, enthält eine detaillierte Aufgabenstellung bereits die verschiedenen Teilaufgaben, die verdeutlichen, was zu tun ist, um das gesteckte Planungsziel zu erreichen [VDI 2689]. Um die Aufgabenstellung formulieren zu können, müssen zunächst erste Grobuntersuchungen durchgeführt werden. So sind die für die Planung relevanten Maßnahmen, Größen, Anforderungen und Entscheidungskriterien zu analysieren und ein entsprechender Kostenrahmen zu ermitteln [Gün-91]. Ein besonderes Augenmerk ist darauf zu verwenden, welche Randbedingungen schon durch äußere Umstände festgelegt sind und welche noch festgelegt werden müssen. Für die noch freien Randbedingungen sind sinnvolle Werte, Größen und Vereinbarungen zu treffen. Je deutlicher die Teilaufgaben formuliert werden, um so besser können Arbeitsumfang, Zeitbedarf und Kosten abgeschätzt werden. Damit läßt sich eine Aussage über den Planungserfolg machen und somit eine Entscheidung für oder gegen die Planung treffen. Die endgültige Aufgabenstellung dient im weiteren Planungsverlauf als verbindliche Grundlage für die Untersuchung, Abwicklung und Abrechnung des Materialflußprojektes [Ket-84].

Organisation der Materialflußuntersuchung

Diese Planungsphase steht vor dem Beginn der eigentlichen Materialflußuntersuchung und stellt die „Planung der Planung“ dar. In ihr werden alle relevanten Arbeiten zur Durchführung der Materialflußuntersuchung festgelegt [Mart-98]. Dazu gehören nach Kettner [Ket-84], Martin [Mart-98] und VDI-Richtlinie 2689 [VDI 2689]:

- Bestimmen des Leiters und der Mitarbeiter des Planungsteams,
- Abgrenzen des Planungsumfangs durch Bestimmen der Untersuchungsobjekte (z.B. Transportgüter, Wege der Transportgüter, Fördermittel, Personal, Organisation und Disposition, Kosten) und der Untersuchungsbereiche,
- Festlegen der Vorgehensweise,
- Aufstellen der Terminplanung und
- Bestimmen von Aufnahmeverfahren, Genauigkeit und Aufnahmezeitraum.

Mit dem Aufstellen eines Struktur- oder Untersuchungsplanes wird die Vorbereitungsphase der Materialflußuntersuchung (Zielsetzung, Aufgabenstellung und Organisation) abgeschlossen. Der Plan kann in graphischer oder tabellarischer Form erstellt werden und verdeutlicht die geplante Vorgehensweise zur Bewältigung der gestellten Aufgabe. Er enthält eine eindeutige Abgrenzung der Arbeitsschritte und ordnet ihnen die für sie gültigen Zuständigkeiten, Termine und Kosten zu.

Aufnahmen der Ist-Daten

Beim eigentlichen Erfassen der Ist-Daten (Mengengerüste, Betriebsstrukturen, Abläufe, Anforderungen u.a.) wird der Planer durch Hilfsmittel, wie Checklisten, Formulare und Fragebögen, unterstützt [Düc-97, Ket-84, VDI 2385, VDI 3656]. Beispiele für Fragebögen sind der VDI/AWF-Materialflußbogen [VDI 3300] zur Durchführung von Ablauf- und Belastungsstudien sowie der Materialfluß-Kostenbogen [VDI 3330] zur Durchführung von Kostenstudien [Arn-95, Ket-84, VDI 2689]. Weiter stehen dem Planer direkte und indirekte Methoden der Datenerfassung zur Verfügung. Indirekte Methoden sind das Sichten und Aufnehmen von Betriebsaufzeichnungen und EDV-Daten, direkte Methoden sind das Befragen von Personen mit Hilfe von Interviews, Fragebögen und Selbstaufschreibung und das Beobachten von Vorgängen. Die Beobachtung läßt sich dabei in die Dauerbeobachtung und die Kurzzeitbeobachtung (z.B. Multimoment-Verfahren [VDI 2492]) aufteilen. Bild 3.7 gibt einen Überblick über die verwendeten Methoden zur Ermittlung der Ist-Daten. Da die Aufnahme der Ist-Daten die Basis für alle nachfolgenden Überlegungen, Planungen und Maßnahmen bildet, beeinflußt sie ganz entscheidend das Planungsergebnis.

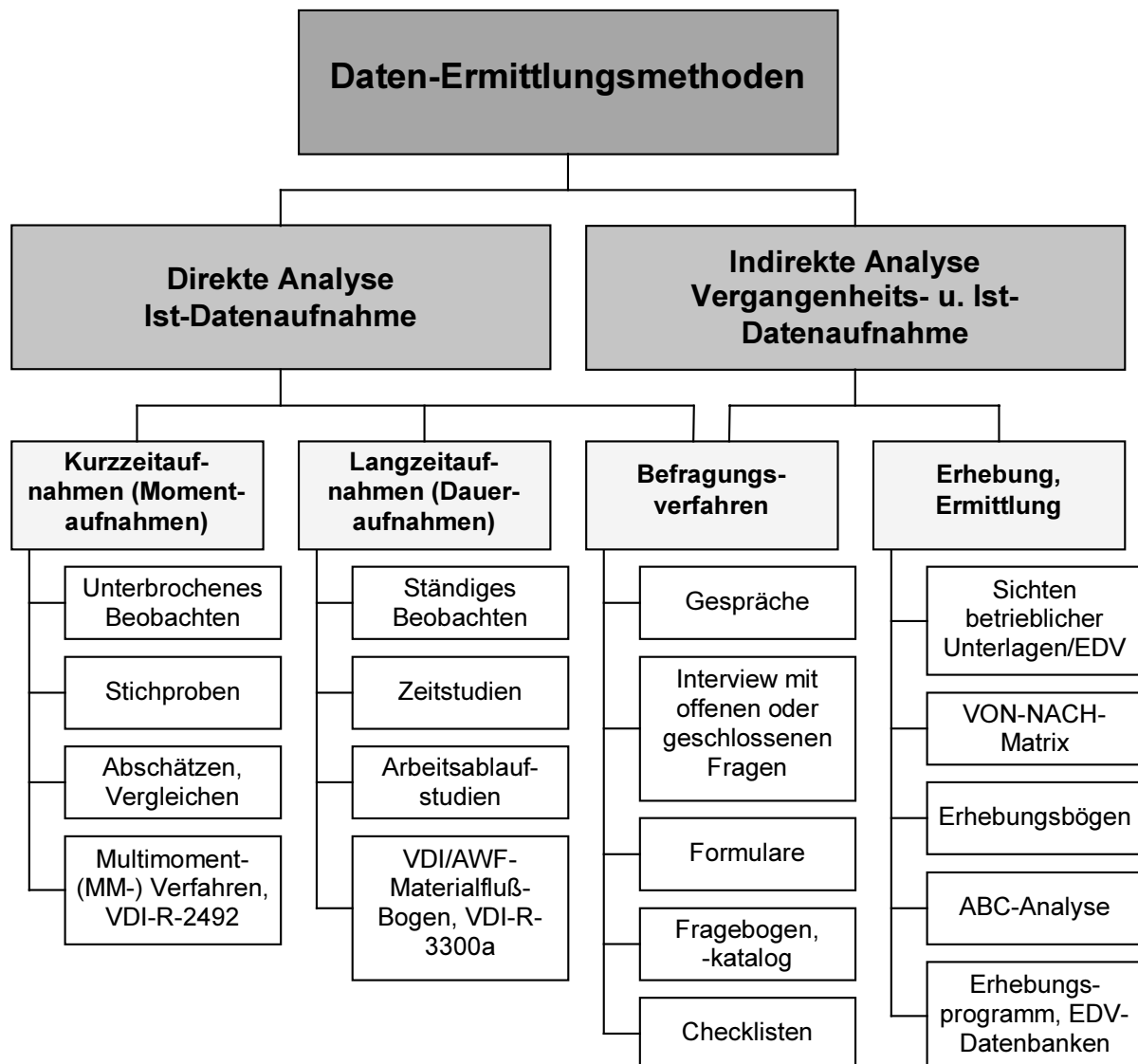


Bild 3.7: Gliederung von Methoden zur Datenermittlung [Mart-98]

Aufbereiten der Ist-Daten

Zunächst sind die aufgenommenen Daten auf Plausibilität hin zu überprüfen. Besonders die direkt ermittelten Daten müssen mit den entsprechenden, aktuellen Plan- und Soll-Daten verglichen werden. Treten größere Abweichungen auf, so ist zu klären, ob die aufgenommenen oder die Soll-Daten fehlerhaft sind. Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Aufbereitung der Ist-Daten ist die Überprüfung auf Relevanz und Vollständigkeit der aufgenommenen Daten. Gerade wenn die Aufgabenstellung vor der Aufnahme der Daten noch nicht klar formuliert werden konnte, werden bei den

einen Untersuchungsobjekten zu viele Daten ermittelt, während bei den anderen wichtige Daten nicht erhoben werden. Nach dem Aufnehmen der fehlenden Daten und der Bereinigung und Verdichtung der gesamten Datenmenge können die für die Untersuchung wichtigen Daten in Tabellen, Listen und Matrizen zusammengefaßt werden.

Darstellen der Ist-Daten

Um die Anschaulichkeit der aufbereiteten Daten zu erhöhen, werden die Tabellen, Listen und Matrizen in übersichtliche Schaubilder und Diagramme überführt, in denen die wesentlichen Zusammenhänge des Ist-Zustandes prägnanter dargestellt werden können. Für die Wege und Mengen der transportierten Materialien werden z.B.

- Ablaufschemas,
- (strukturbehafte) Sankey-Diagramme,
- Mengen-Wege-Bilder oder
- lagegerechte Materialflußschemas für Einzelerzeugnisse

verwendet. Arnold [Arn-95] und die VDI-Richtlinie 3596 [VDI 3596] führen weitere Darstellungsmethoden für den Materialfluß auf, wie Layoutzeichnungen, Graphen, Petri-Netze, Photos und Modelle. Bild 3.8 zeigt einen Überblick über die gängigen Methoden zur Darstellung der erhobenen Daten.

Beurteilen der Ist-Daten, Schwachstellen und Maßnahmenkatalog

Die Beurteilung des Ist-Zustandes erfolgt auf der Basis der wichtigsten Materialflußgrundsätze. Einige davon sind:

- Die Gestaltung des Materialflusses soll geradlinig und ablaufgünstig sein.
- Gegenläufige Transporte und Kreuzungen sollen vermieden werden.
- Nach Möglichkeit sollte Fertigungseinheit = Transporteinheit = Lagereinheit = Verpackungs- und Versandeinheit gelten.

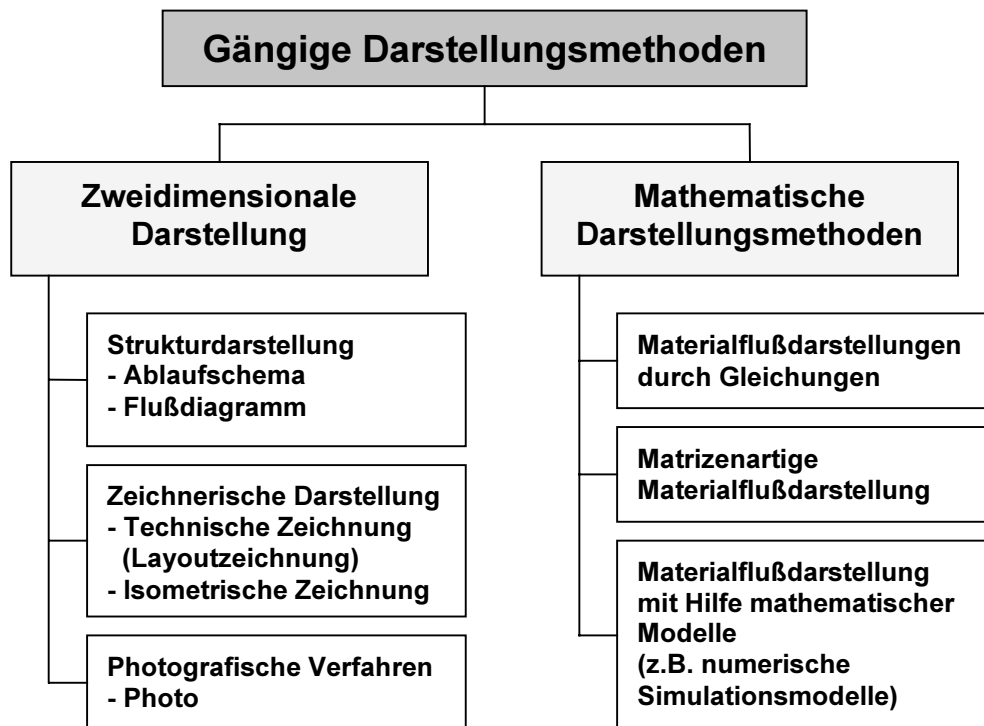


Bild 3.8: Gängige Methoden zur Datendarstellung

Für eine detailliertere Beurteilung bietet sich eine Unterteilung in technische, organisatorische, wirtschaftliche und arbeitswissenschaftliche Gesichtspunkte an. Für die einzelnen Teilgebiete gibt es zahlreiche Checklisten [Ket-84, VDI 2385, VDI 3656], deren Grundsätze und Kriterien projektspezifisch ausgewählt werden müssen und als Basis für die Bewertung des Ist-Zustandes dienen. Ein weiteres wichtiges Hilfsmittel zur Beurteilung der Ist-Daten sind Kennzahlen. Bei ihrer Aufstellung werden aus den ermittelten Daten abgeleitete Größen gebildet, die mit Richtwerten [VDI 2195, VDI 2391, VDI 2695] oder Erfahrungswerten verglichen werden und so zu einer Einschätzung der momentanen Situation führen. Auch für mögliche Kennzahlen gibt es zahlreiche Checklisten [Ket-84, VDI 2689].

Auf der Grundlage der durchgeführten Beurteilung werden anschließend die bestehenden Schwachstellen aufgezeigt und ein Maßnahmenkatalog zur Beseitigung dieser Schwachstellen erstellt. Der Katalog enthält neben langfristigen, größeren Investitionen auch kurzfristige und nicht investitionsintensive Maßnahmen, die zur Verbesserung des Ist-Zustandes als Sofortmaßnahme dienen. Die Umsetzung der verschiedenen Maßnahmen des erarbeiteten Kataloges ist jedoch schon Teil der sich an die Vorarbeiten anschließenden Materialflußplanung [Jün-89, Ket-84, VDI 2689].

Ermitteln der Planungsdaten (Soll-Daten)

Um die zukünftige Unternehmensentwicklung in die Planung einbeziehen zu können, wird aus dem ermittelten Ist-Zustand der gewünschte Soll-Zustand abgeleitet. Dazu wird aus den aufgenommenen Ist-Daten und Kennzahlen ein bereinigtes Ist-Datengerüst erarbeitet und aus diesem mit Hilfe von Trendberechnungs- und Prognosemethoden das Soll-Datengerüst erzeugt [Gün-91, Jün-89]. Die dabei verwendeten Methoden lassen sich nach Aggteleky [Agg-90] in die vier Kategorien:

- Analytische Prognoseverfahren („Hochrechnung“),
- Mathematische Modelle (Operations Research),
- Formalistische Methoden (Zeitreihen) und
- Intuitive Prognosemethoden (Delphi-Methode)

gliedern, wobei auch Kombinationen der Methoden benutzt werden können (z.B. Szenario-Technik). Gegebenenfalls können Soll-Daten aber auch durch Vorgaben der Geschäftsführung entstehen. Nach dem Ermitteln der Soll-Daten muß ein besonderes Augenmerk auf die Beeinflussung des Soll-Zustandes durch die Planungsziele gelegt werden, da sich erwartete oder geplante Umgestaltungen innerhalb der Artikel- und Auftragsstruktur sowie der Auftragsabwicklung ganz entscheidend auf die Soll-Daten auswirken. Nach einer Verdichtung und einer verbindlichen Verabschiedung bildet das Soll-Datengerüst die Grundlage der Materialflußplanung [Agg-90, Gün-91, Jün-89].

3.8.2 Grobplanung

Die Grobplanung ist die kreativste und wichtigste Phase der Materialflußplanung. Sie hat das Ziel, eine technisch funktionelle, wirtschaftliche und organisatorisch einfache Lösung zu erarbeiten. Dem Planer helfen dabei Gestaltungsgrundsätze wie z.B.

- Flexibilität der Lösung anstreben,
- Erweiterungsrichtung vorsehen,
- zweckmäßige Transporteinheiten bilden,

- kurze Auftragsdurchlaufzeiten anstreben
- und vieles mehr.

Die Grobplanung ist geprägt durch ein stufenweises und iteratives Vorgehen, bei dem immer wieder Varianten gebildet, beurteilt und ausgewählt werden und so eine ständige Detaillierung der zu lösenden Planungsaufgabe erreicht wird (siehe Kapitel 3.5.1 und Kapitel 3.5.3). Bild 3.9 zeigt in Anlehnung an verschiedene Autoren [Jün-89, Ket-84, VDI 2498] die wichtigsten Teilbereiche der Grobplanung. Die Darstellung darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß sich die aufgeführten Planungsschritte sehr stark überlappen und aus diesem Grund teilweise parallel durchdacht und bearbeitet werden.

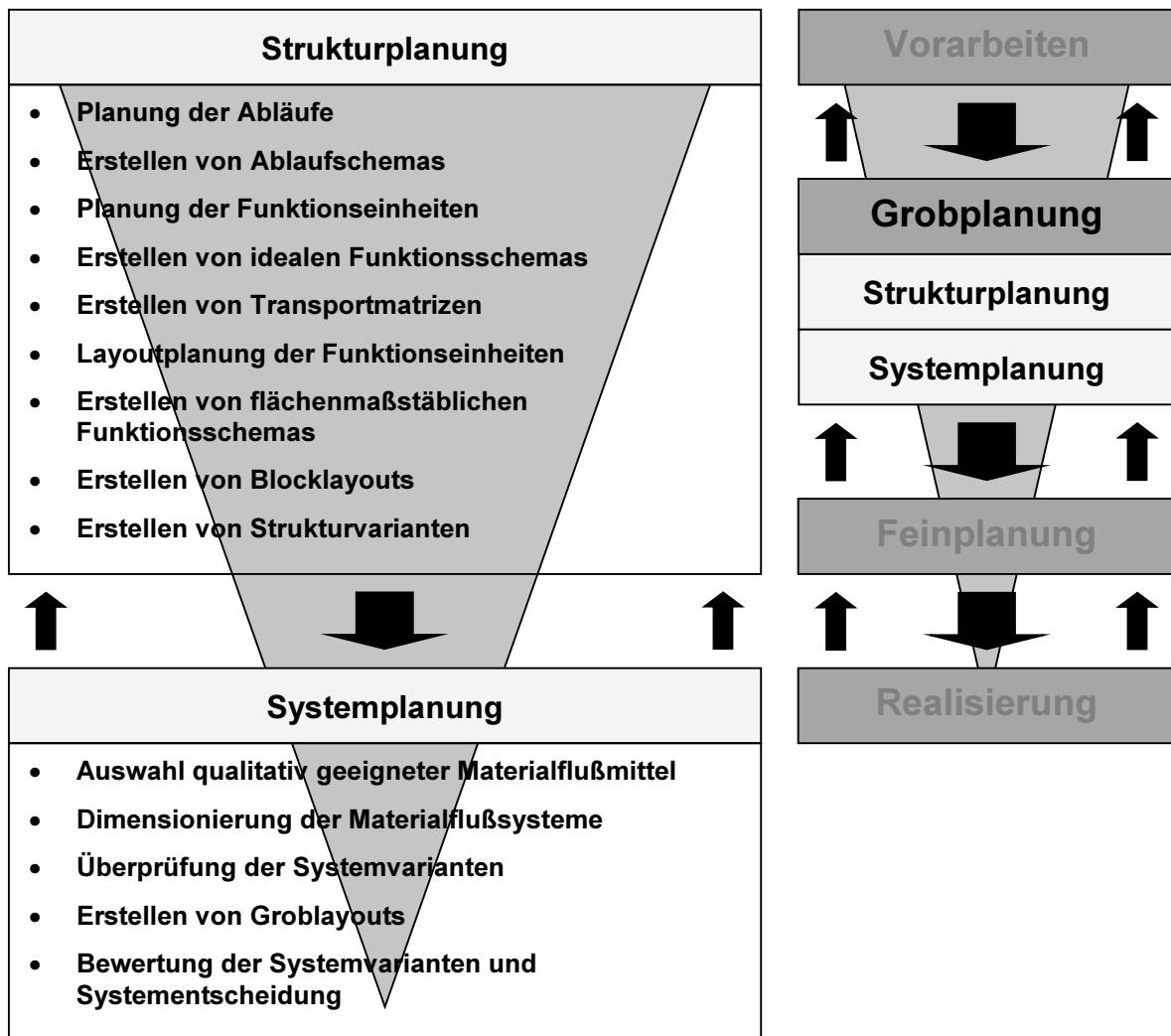


Bild 3.9: Teilphasen der Grobplanung

3.8.2.1 Strukturplanung

Im Vordergrund der Strukturplanung steht der Entwurf verschiedener Ablauffolgen, die sich aus einzelnen Arbeitsschritten, Materialflußoperationen oder Transportvorgängen zusammensetzen. Als Ergebnis der Planung der Ablauffolgen entstehen mit Hilfe der Layoutplanung eine Reihe von Strukturvarianten, auf denen die nachfolgende Systemplanung aufbaut.

Planung der Abläufe und Erstellen von Ablaufschemas

Auf Basis der Soll-Planungsdaten und der bereits existierenden Randbedingungen werden die Arbeitsvorgänge und Operationen geplant und festgelegt, mit denen die Lösung der in der Aufgabenstellung definierten Planungsaufgabe erreicht werden kann [Jün-89, VDI 2498]. Unter Arbeitsvorgängen und Operationen sind hierbei alle wesentlichen, zur Erfüllung einer Produktionsaufgabe notwendigen Arbeitsschritte bzw. alle wichtigen, zur Lösung einer Materialflußaufgabe erforderlichen Materialflußoperationen zu verstehen [Ket-84, Jün-89]. Das Ergebnis dieses Planungsschrittes sind Ablaufschemas (Bild 3.10), die die funktionellen Verknüpfungen und Reihenfolgen der erarbeiteten Arbeitsvorgänge und Operationen verdeutlichen.

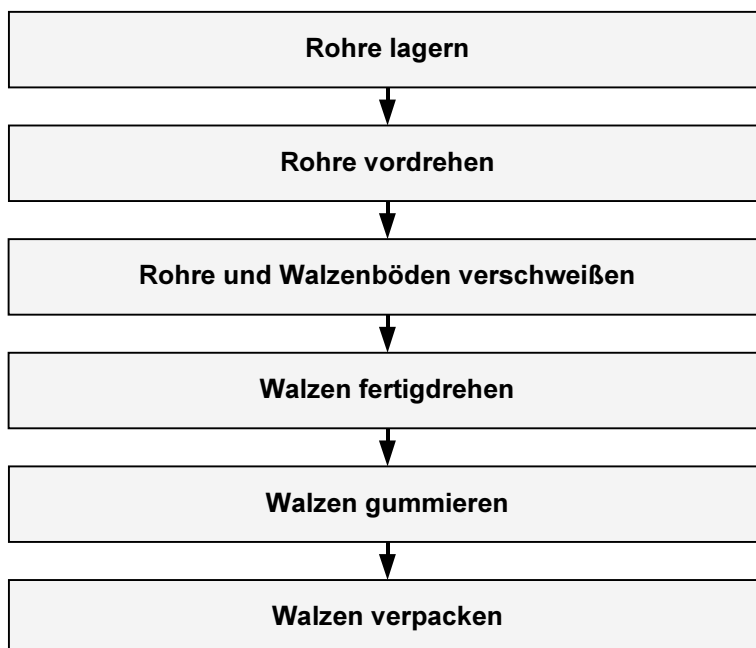


Bild 3.10: Ablaufschema einer Walzenfertigung

Planung der Funktionseinheiten und Erstellen von idealen Funktionsschemas

Mit dem Festlegen von Fertigungs- und Montageprinzipien bzw. von Lagerprinzipien und -strategien fällt die Entscheidung für bestimmte Organisationsformen, wie Werkstattfertigung, Fließfertigung, Mann zur Ware oder Ware zum Mann. Auf diesen Festlegungen aufbauend müssen die einzelnen Arbeitsschritte und Materialflußoperationen unter räumlichen und zeitlichen Aspekten in entsprechenden Funktionseinheiten zusammengefaßt werden [Ket-84, VDI 2498]. Die ablauf- und funktionsgerechte Zuordnung der einzelnen Funktionseinheiten läßt sich dabei in (idealen) Funktionsschemas darstellen (Bild 3.11).

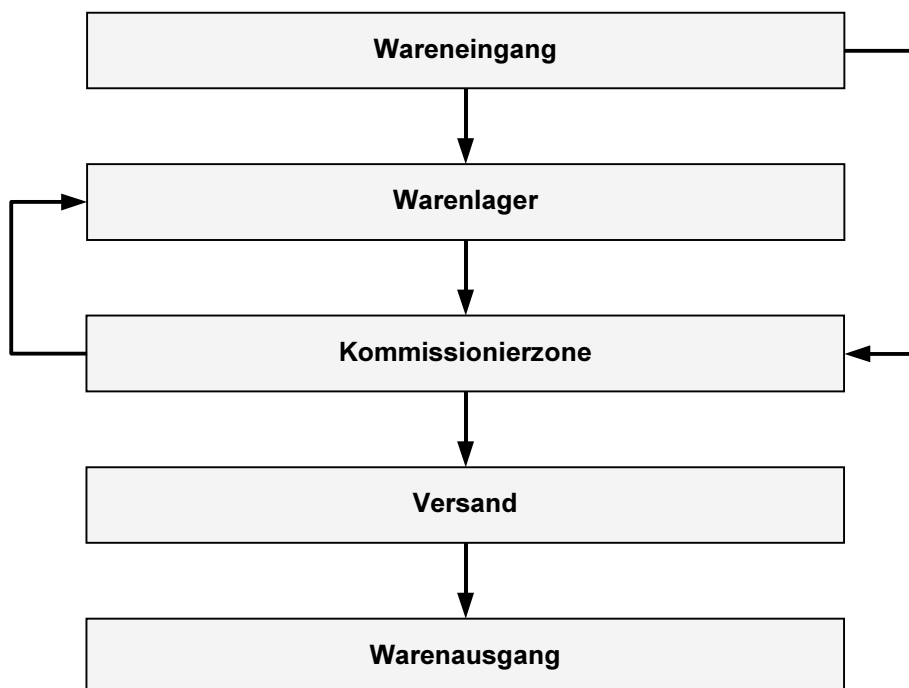


Bild 3.11: Ideales Funktionsschema eines Distributionszentrums

Erstellen von Transportmatrizen und Layoutplanung der Funktionseinheiten

Die Beziehungen zwischen den Funktionseinheiten in Bild 3.11 entsprechen in der Realität dem Transport von Material (Rohmaterial, Werkstücke, Fertigprodukte, verpackte Waren), wobei sich die einzelnen Transportmengen aus den Soll-Planungsdaten ableiten lassen. Übliche Einheiten für die Angabe von Transportmengen sind Stückzahl/Zeiteinheit, Gewicht/Zeiteinheit oder Volumen/Zeiteinheit. Wird das Material zu Transporteinheiten zusammengefaßt, so lassen sich die Transport-

mengen auch in Transporteinheiten/Zeiteinheit angeben. Die Verbindung der Transportmengen mit den dazugehörigen Funktionsschemas führt zu mengenmaßstäblichen Flußbildern, wie z.B. Sankey-Diagrammen (Bild 3.12), oder zu Transportmatrizen (Bild 3.13).

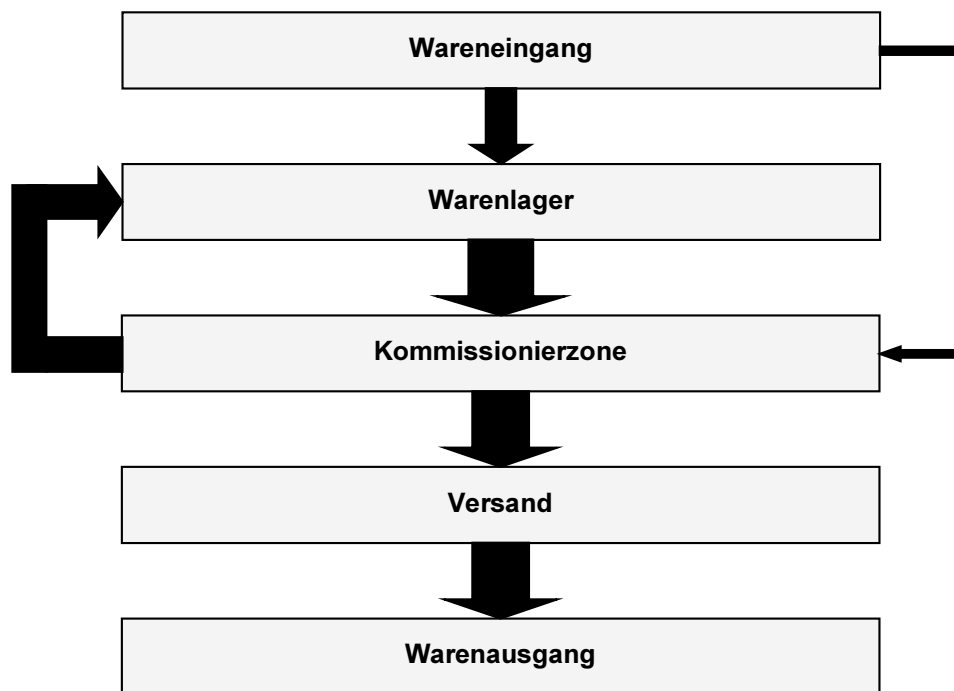


Bild 3.12: Mengenmaßstäbliches Flußdiagramm (Sankey-Diagramm)

| Von \ Nach | WE | WL | KO | VE | WA | Summe |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Wareneingang | --- | 80 | 20 | | | 100 |
| Warenlager | | --- | 170 | | | 170 |
| Kommissionierzone | | 90 | --- | 150 | | 240 |
| Versand | | | | --- | 150 | 150 |
| Warenausgang | | | | | --- | 0 |
| Summe | 0 | 170 | 190 | 150 | 150 | 660 |

Bild 3.13: Transportmatrix [Paletten/Tag]

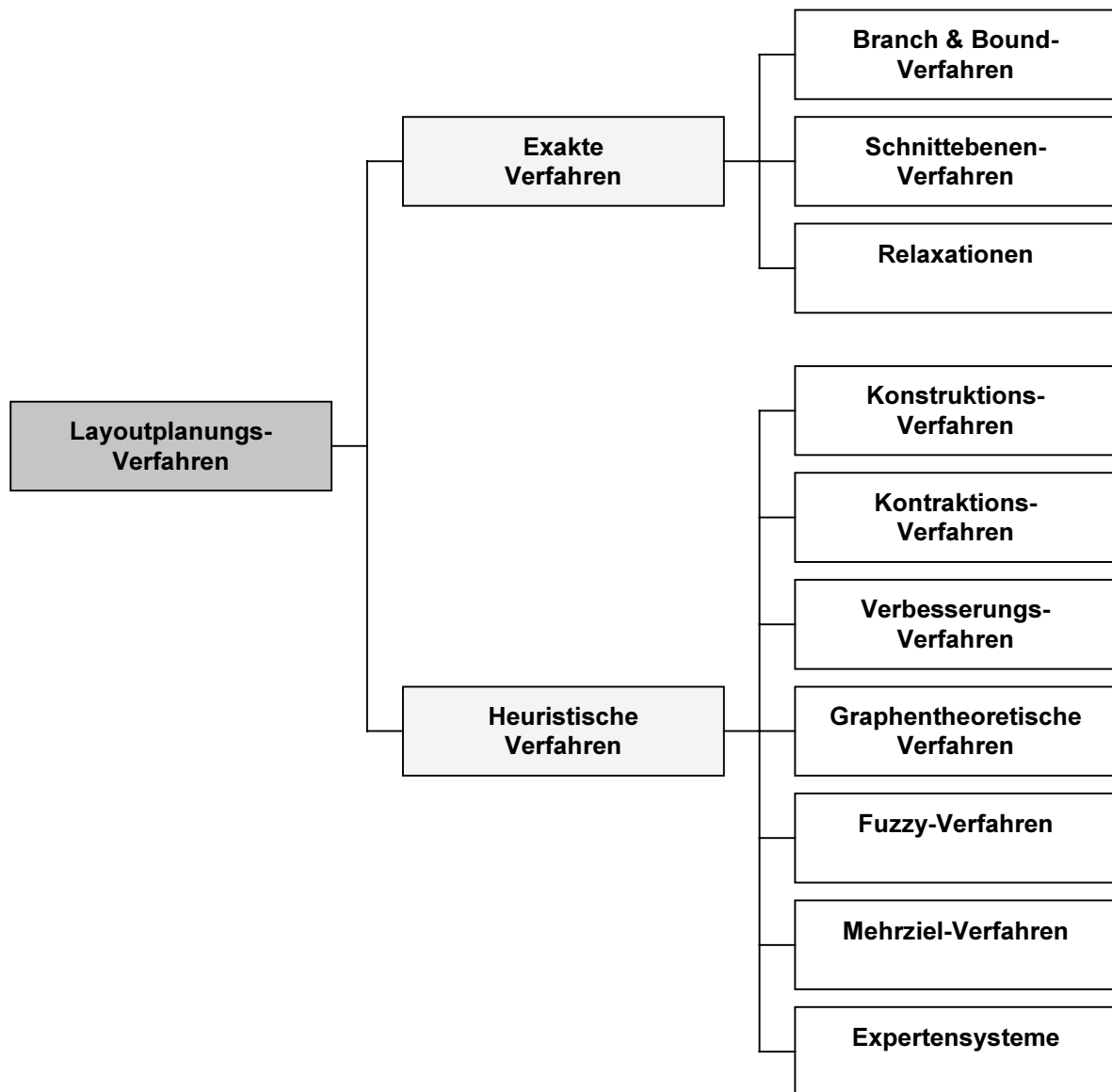


Bild 3.14: Klassifikation der Verfahren zur Layoutplanung [Arn-95]

Im Rahmen der Layoutplanung wird eine möglichst optimale Zuordnung der Funktionseinheiten angestrebt, um den Transportaufwand weitestgehend zu minimieren und gleichzeitig wirtschaftliche Abläufe zu gewährleisten. Dazu werden zum einen die Bereiche nahe beieinander angeordnet, zwischen denen die größten Transportmengen auftreten, zum anderen wird versucht, die Materialrückläufe möglichst gering zu halten [Arn-95, Ket-84, VDI 2498]. Zur Optimierung des Transportaufwandes stehen zahlreiche Verfahren zur Verfügung, die in Bild 3.14 klassifiziert werden. Eine Einteilung und ausführliche Beschreibung der einzelnen Layoutplanungsverfahren

gibt neben Arnold [Arn-95] auch Kettner [Ket-84] und die VDI-Richtlinie 3595 [VDI 3595].

Ein zur Gruppe der heuristischen Verfahren zählendes, konstruktives Layoutplanungsverfahren ist das Dreiecksverfahren. Das Prinzip dieses Verfahrens besteht darin, die Bereiche mit den stärksten Transportintensitäten in einem Layoutkern anzusiedeln und an diesen Kern nach und nach die weiteren Bereiche anzulagern [Arn-95]. Der Name des Verfahrens leitet sich aus dem regelmäßigen Raster mit gleichseitigen Dreiecken ab, das zur Konstruktion verwendet wird. Das Ergebnis dieser Layoutplanung ist eine auf der Grundlage von Transportmengen optimierte Anordnung der Funktionseinheiten, die jedoch weder den Flächenbedarf noch die genaue räumliche Lage der Einheiten zueinander berücksichtigt (Bild 3.15).

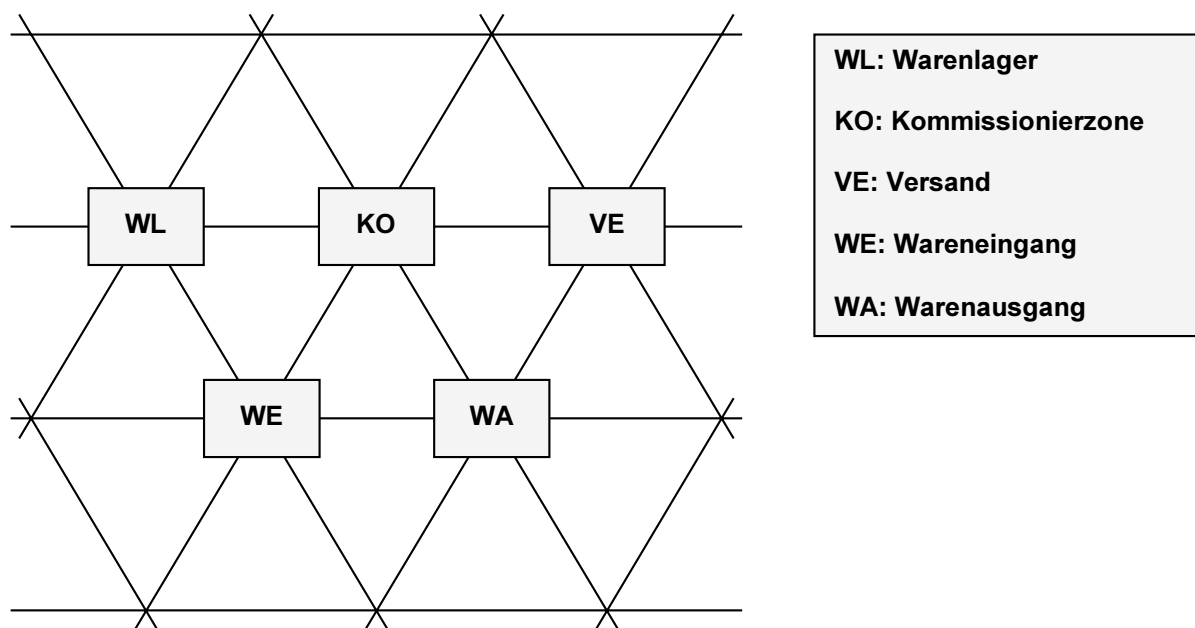


Bild 3.15: Dreiecksraster mit optimierter Anordnung der Funktionseinheiten

Erstellen von flächenmaßstäblichen Funktionsschemas

Für das weitere Planungsvorgehen ist es notwendig, den jeweiligen Flächenbedarf der einzelnen Funktionseinheiten zu ermitteln [Ket-84, VDI 2498]. Für Bereiche der Produktion werden dazu die Soll-Flächen aus den vorhandenen, bereinigten Ist-Flächen abgeleitet oder über Kennzahlen bestimmt. Für Lagerbereiche müssen je nach Lagerungsart, Lagertechnik und Lagerstrategie zusätzliche Dimensionierungs-

untersuchungen durchgeführt werden, um den erforderlichen Flächenbedarf zu erhalten [Arn-95, VDI 2498]. Auf Basis der idealen Funktionsschemas können dann mit Hilfe der ermittelten Flächenbedarfe flächenmaßstäbliche Funktionsschemas erstellt werden (Bild 3.16), in denen sowohl die Größe als auch die ideale Zuordnung der Funktionseinheiten ersichtlich wird.

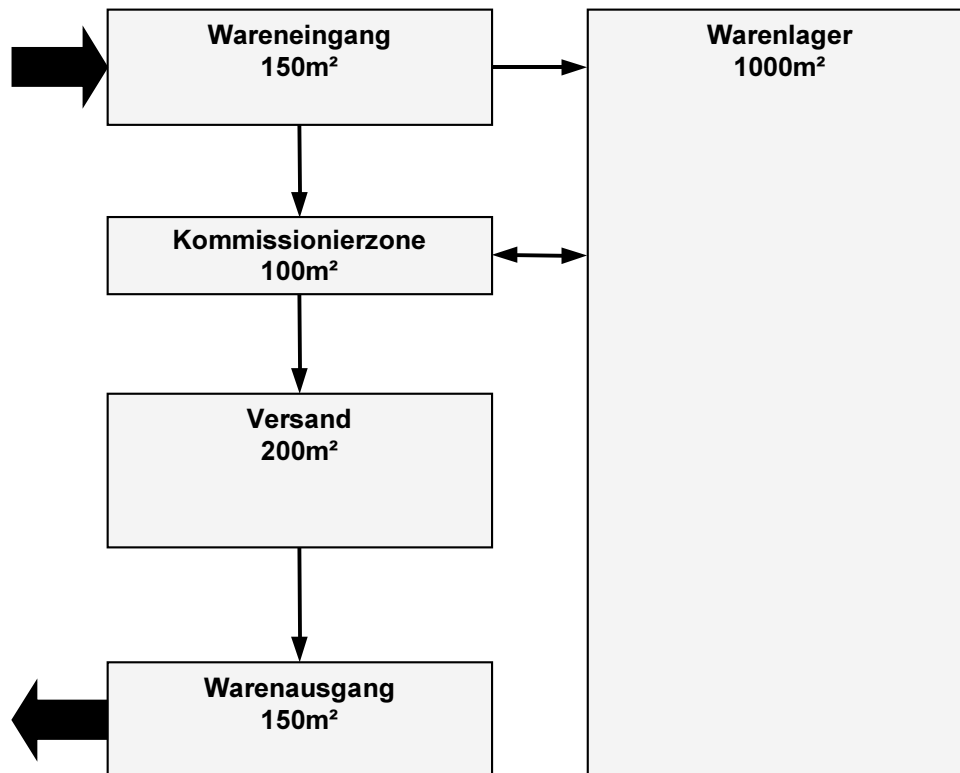


Bild 3.16: Flächenmaßstäbliches Funktionsschema eines Distributionszentrums

Erstellen von Blocklayouts

Im Rahmen dieses Planungsschrittes werden die einzelnen Bereiche des flächenmaßstäblichen Funktionsschemas in einem Gebäuderaster zusammengeführt, wobei die ideale Anordnung gemäß der Layoutplanung der Funktionseinheiten zu beachten ist [Arn-95, Ket-84, VDI 2498]. Das Ergebnis dieser Zusammenführung ist das Blocklayout, das auch Ideallayout genannt wird (Bild 3.17).

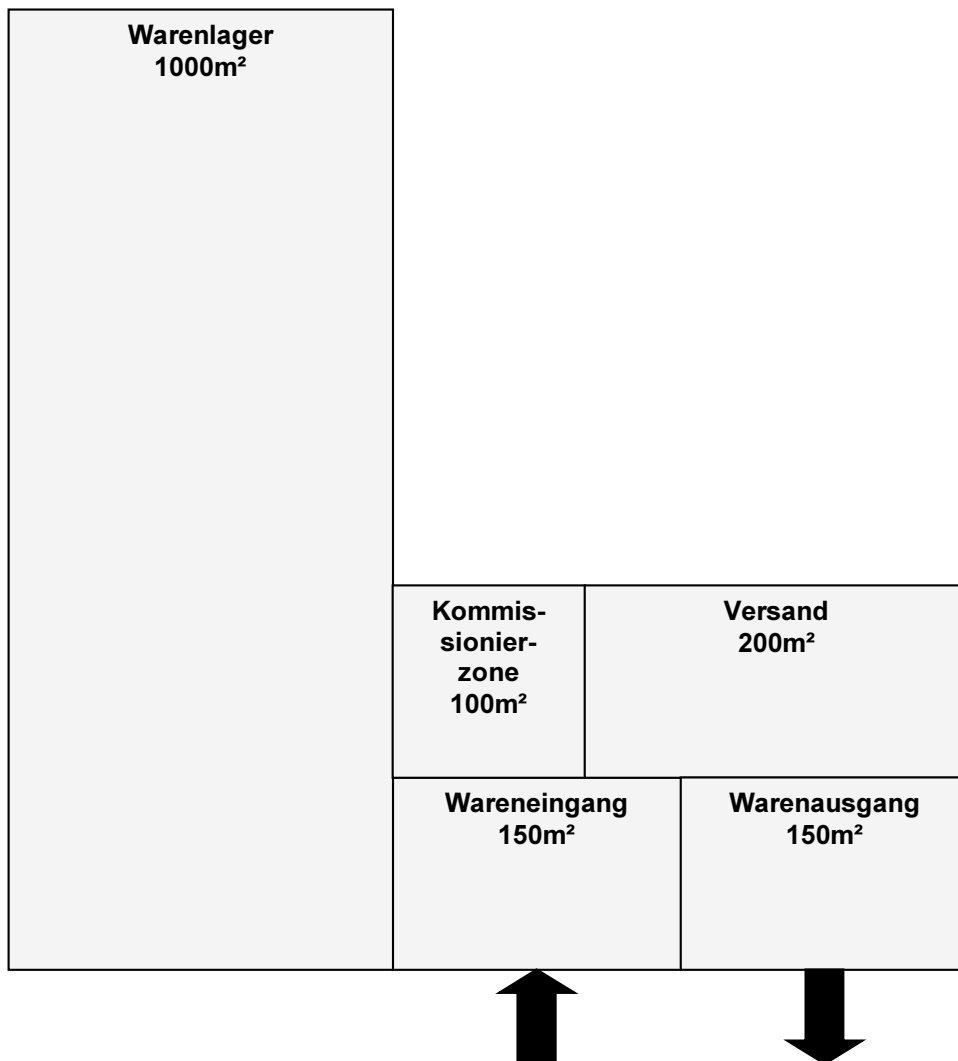


Bild 3.17: Blocklayout (Ideallayout)

Erstellen von Strukturvarianten

Die ideale Anordnung der Funktionseinheiten im Blocklayout muß mit den gegebenen baulichen Randbedingungen abgestimmt werden. Dazu ist festzulegen, wie die Funktionseinheiten auf die Gebäude und in den Gebäuden verteilt werden sollen. Ein besonderes Augenmerk bei diesem Planungsschritt liegt auf der Berücksichtigung von Erweiterungsmöglichkeiten der einzelnen Bereiche. Es besteht sonst die Gefahr, daß der optimierte Materialfluß der durchgeführten Planung bei Erweiterungen zu erheblichen Materialflußproblemen führt. Das Erstellen von Blocklayouts geschieht ausschließlich auf der Basis von Transportmengen. Bei der Anpassung der Blocklayouts müssen jedoch noch weitere Kriterien wie

- arbeitsbedingter Kontakt,
- Arbeitssteuerung,
- organisatorische Zusammengehörigkeit,
- Umweltbeeinflussung usw.

berücksichtigt werden, die die ursprüngliche Anordnung der Funktionseinheiten erheblich verändern können. Das Ergebnis der Anpassung der Blocklayouts an bestehende Randbedingungen besteht aus einer Reihe von Strukturvarianten für die zu lösende Planungsaufgabe.

3.8.2.2 Systemplanung

Im Rahmen der Systemplanung werden für die einzelnen Arbeitsschritte und Materialflußoperationen der entwickelten Strukturvarianten qualitativ geeignete Materialflußmittel ausgewählt. Da bei dieser Auswahl und Zuordnung einzelne Vorgänge zusammengefaßt oder aufgeteilt werden können, ergeben sich für jede gewonnene Strukturvariante der vorhergehenden Planungsstufe wiederum eine Reihe von Systemvarianten, also technische Lösungen. Nach der Dimensionierung und Überprüfung der technischen Varianten findet deren Bewertung statt. Auf dieser Grundlage kann anschließend entschieden werden, welche Systemvariante in der nachfolgenden Feinplanung und Realisierung verwirklicht werden soll.

Auswahl qualitativ geeigneter Materialflußmittel

Für die Auswahl geeigneter Transport- und Lagermittel müssen zunächst die Merkmale der einzelnen Vorgänge in der Prozeßkette und damit die Anforderungen an die Materialflußmittel festgelegt werden [Ket-84, Fis-97]. Zu diesen Merkmalen gehören z.B.

- die geometrischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften des Gutes,
- die Eigenschaften von Transportweg und Lagerraum (dazu zählen bauseitige Bedingungen, Umgebungseinflüsse, Länge, Neigung und Arbeitsbereich) und
- die Eigenschaften des Transport- und Lagerprozesses (z.B. Mengendurchsatz, Transportleistung, Zusatzfunktionen, Automatisierungsstufe).

3 Materialflußplanung

Die Merkmale und Anforderungen der Materialflußoperationen können mit Hilfe von Checklisten erhoben [Bäu-98, VDI 3589, VDI 3656] und in Lastenheften zusammengefaßt werden [VDI 2519].

Um alle zur Erfüllung einer bestimmten Materialflußaufgabe sinnvollen Materialflußmittel auswählen und überprüfen zu können, besteht die Möglichkeit, Transport- und Lagermittelübersichten in Form morphologischer Kästen zu verwenden [Düc-97, Jün-89]. Diese Übersichten gliedern die Materialflußmittel meist nach der Art ihrer Konstruktion und Einsatzweise und geben ihre Eignung für bestimmte Transport- und Lageraufgaben gemäß obiger Merkmale an (Bild 3.18).

| Bedienung \ Lagerung | Regalbedien- gerät | Hochregal- stapler | Gabelstapler | Hängekran |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|-----------|
| Bodenlagerung im Block | ○ | ◉ | ● | ● |
| Einfahrregal | ○ | ◉ | ● | ○ |
| Hochregal | ● | ● | ◉ | ○ |
| Durchlaufregal | ● | ● | ● | ○ |

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet

Bild 3.18: Morphologischer Kasten zur Auswahl von Materialflußmitteln

Neben sinnvollen Transport- und Lagermitteln ist zur Erfüllung der definierten Materialflußaufgaben auch der Einsatz geeigneter, funktionsgerechter Transporthilfsmittel erforderlich. Bei ihrer Auswahl spielt die gewünschte Anzahl der zu einer Transporteinheit zusammenzufassenden Transportstücke eine große Rolle. Nachfolgend sind weitere wichtige Grundsätze für die Auswahl von Transporthilfsmitteln aufgeführt [Ket-84, Koe-93]:

- Um Umpacken zu vermeiden, sollte die Fertigungseinheit = Transporteinheit = Lagereinheit = Verpackung- und Versandeinheit gewählt werden.

- Nach Möglichkeit sollten standardisierte Transporthilfsmittel verwendet werden.
- Die Anzahl unterschiedlicher Transporthilfsmittel sollte auf das erforderliche Minimum begrenzt werden.

Das Ergebnis dieses Planungsschrittes besteht aus einer Reihe von Systemvarianten, die technische Lösungen der in der Aufgabenstellung definierten Planungsaufgabe darstellen.

Dimensionierung der Materialflußsysteme und Überprüfung der Systemvarianten

Bei der Dimensionierung der Systemvarianten werden die Beschreibungsgrößen der Materialflußsysteme quantitativ festgelegt. Dabei sind zeitunabhängige Größen (z.B. geometrische Abmessungen) und zeitabhängige Größen (z.B. Geschwindigkeiten) zu unterscheiden. Zur Festlegung der zeitunabhängigen Größen sind vor allem die Eigenschaften der Güter und der baulichen Gegebenheiten zu berücksichtigen. Die Dimensionierung der zeitabhängigen Größen wird auf der Basis der zu transportierenden Mengen und der zu überbrückenden Entfernungen vorgenommen, die in der Transport- und Entfernungsmatrix dokumentiert sind. Sollen die eingesetzten Materialflußsysteme darüber hinaus dynamisch ausgelegt werden, so müssen auch die für die Transport- und Lagersysteme eingesetzten Steuerungsstrategien berücksichtigt werden.

Die Transportmatrix wird bereits zur Optimierung der Anordnung der Funktionseinheiten benutzt. Nach der Festlegung der Transporthilfsmittel und damit der Transporteinheiten lassen sich in diesem Planungsschritt aus den in ihr enthaltenen Transportmengen je nach Transportmittel die Anzahl der Transporte berechnen.

Die Entfernungsmatrix läßt sich für jede im Rahmen der Strukturplanung erstellte Strukturvariante als Distanz zwischen den einzelnen Funktionseinheiten aufstellen. Sie ist mit den realen Transportwegen der einzelnen Systemvarianten zu detaillieren, da z.B. ein flurfrees Transportsystem das Transportgut auf anderen Wegen transportiert als ein flurgebundenes System, das im Verlauf des Transportweges wesentlich größeren Einschränkungen unterliegt.

3 Materialflußplanung

Die Dimensionierung der eingesetzten Transport- und Lagersysteme hängt bei der dynamischen Auslegung auch ganz entscheidend von den verwendeten Steuerungsstrategien ab. So kann die Steuerung eines Lagers nach dem Prinzip „First In First Out“ (FIFO) je nach Lagertyp zusätzliche Umlagerungsvorgänge erfordern, die bei der Dimensionierung des Lagerbediengerätes berücksichtigt werden müssen. Eine Festlegung der Steuerungsstrategien ist deshalb ein wesentlicher Bestandteil der dynamischen Dimensionierung von Materialflußsystemen.

Je nach Komplexität der Planungsaufgabe und nach geforderter Genauigkeit der Dimensionierung können die zeitabhängigen Größen eines Materialflußsystems mit verschiedenen Methoden bestimmt werden, die einen recht unterschiedlichen Aufwand zur Modellbildung und Analyse erforderlich machen (Bild 3.19).

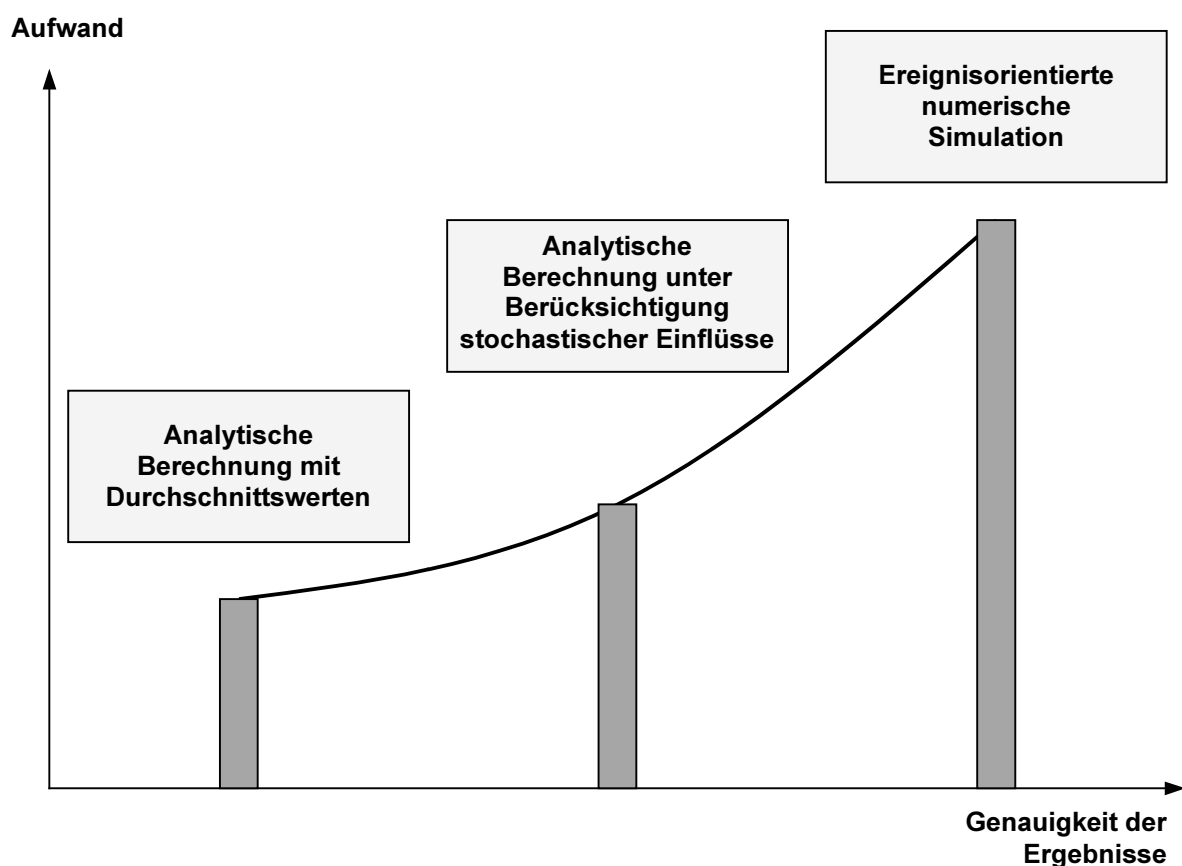


Bild 3.19: Methoden zur Auslegung von Materialflußsystemen in Anlehnung an [Arn-98]

- Der geringste Aufwand zur Dimensionierung von Materialflußsystemen entsteht durch die analytische Berechnung der zeitabhängigen Größen mit Durchschnittswerten. Auf Basis der Transport- und Entfernungsmatrix werden mit Hilfe einfacher Gleichungen die erforderlichen Leistungsdaten und die Anzahl der einzelnen Transportmittel berechnet [Fis-97, Koe-93]. Da die Transportmengen, auf denen die Berechnung basiert, jedoch nur statische Mittelwerte von zeitlich variierenden stochastischen Prozessen darstellen, sollten für alle wichtigen und kritischen Betriebszustände Transportmatrizen aufgestellt und die entsprechenden Dimensionierungsberechnungen durchgeführt werden [Arn-95]. Das Verwenden von Durchschnittswerten ist somit nur für eine Grobdimensionierung geeignet.
- Die analytische Berechnung unter Berücksichtigung stochastischer Einflüsse ist eine Methode zur Dimensionierung von Materialflußsystemen, bei der mit relativ geringem Aufwand bereits gute Genauigkeiten erzielt werden können. Mit Hilfe einfacher mathematischer Verteilungsfunktionen läßt sich hier eine praxisnahe Beschreibung der betrieblichen Durchsätze erreichen [Arn-95]. Darüber hinaus können mit analytischen Ansätzen der Warteschlangentheorie die Füllstände der Systemwarteräume im eingeschwungenen Zustand abgeschätzt werden. Damit lassen sich Puffer, Speicher, Staustrecken und Lager auslegen. Neben Arnold [Arn-95] stellt auch Großeschallau [Gro-84] die analytische Behandlung der Grundelemente von Materialflußsystemen unter Beachtung stochastischer Einflüsse und die Warteschlangentheorie ausführlich dar.
- Die ereignisorientierte numerische Simulation bietet sich bei der Dimensionierung komplexer Materialflußsysteme an, für die keine oder nur sehr umfangreiche analytische Berechnungsverfahren zur Verfügung stehen [Arn-95], oder wenn zeitkritische Prozesse berücksichtigt werden müssen [Gro-84]. Im Vorfeld ist jedoch eine analytische Grobabschätzung notwendig, um zum einen zu realistischen Ausgangswerten zu gelangen und zum anderen zu wissen, mit welchen Ergebnissen zu rechnen ist [VDI 3633b]. Unter relativ großem Zeitaufwand für die Modellierung und Analyse liefert die Simulation sehr genaue Ergebnisse von dynamischen Vorgängen des Systems. Die Simulation kann gewissermaßen als „mathematisches Experiment“ bezeichnet werden, bei dem die Zustandsänderungen numerisch schrittweise im Rechner abgearbeitet werden [Arn-95]. Eine Übersicht über die wichtigsten Gesichtspunkte bei der Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen bietet die VDI-Richtlinie 3633 mit den dazugehörigen Blättern 1 bis 5 [VDI 3633a bis VDI 3633f].

Die Überprüfung der Systemvarianten entspricht einem Funktionsnachweis, der sehr stark von der vorangegangenen Dimensionierung der Materialflußsysteme abhängt [Jün-89]. Besonders komplexe Systeme, die eine größere Investition erfordern, sollten in der Planungsphase mit Hilfe der Simulation überprüft werden, um das dynamische Verhalten und damit die Funktionsweise kennenzulernen und gegebenenfalls korrigierend eingreifen zu können.

Erstellen von Groblayouts

Aufbauend auf den bereits erarbeiteten Strukturvarianten werden von den sinnvollen und funktionsfähigen Systemvarianten der Auswahl- und Dimensionierungsphase Groblayouts erstellt (Bild 3.20). Diese berücksichtigen die konzeptbestimmenden und investitionsbeeinflussenden Aspekte sowohl aus der Sicht der betrieblichen Nutzung und Ausrüstung als auch hinsichtlich der bautechnischen Gestaltung, verzichten jedoch auf betriebliche und bautechnische Details [Agg-90]. So enthalten die Groblayouts z.B.

- Gebäudegrundrisse und -abmessungen,
- Lage und Größe von Abteilungen, wichtigen Anlagen oder Maschinengruppen,
- Lage von Türen, Toren und Haupttransportwegen und
- prinzipielle Darstellungen der eingesetzten Transport- und Lagersysteme.

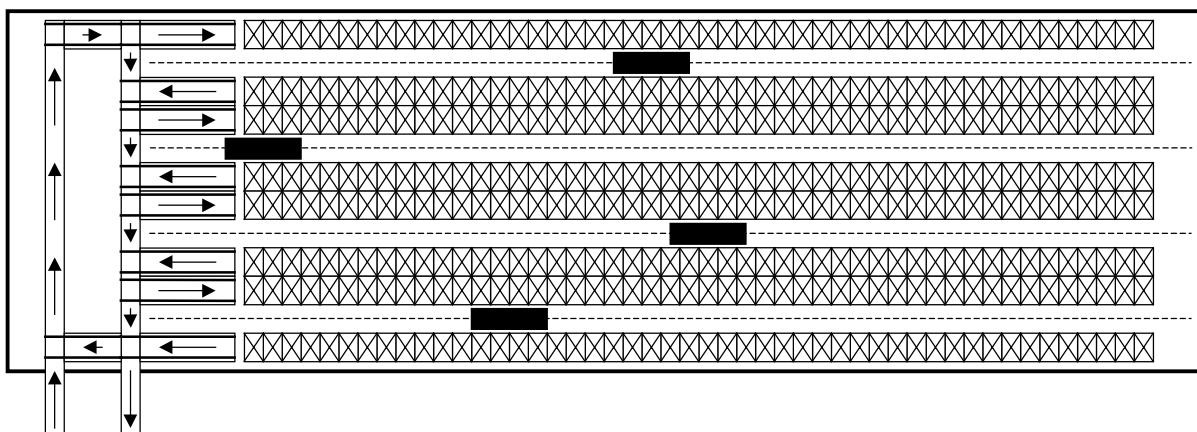


Bild 3.20: Groblayout eines Hochregallagers

Bewertung der Systemvarianten und Systementscheidung

Im abschließenden Schritt der Systemplanung werden die geeigneten und funktionsfähigen Varianten einer Bewertung unterzogen. An dieser Stelle darf nicht vergessen werden, den durch kurzfristige und nicht investitionsintensive Maßnahmen verbesserten Ist-Zustand als weitere Planungsvariante in die Bewertung mit aufzunehmen. Als Bewertungsgrundlage dienen die Wirtschaftlichkeit sowie weitere quantitative (Leistungsdaten, Verfügbarkeit usw.) und qualitative (Sicherheit, Erweiterbarkeit usw.) Kriterien.

Um die Bewertung möglichst objektiv zu halten, muß sie methodisch durchgeführt werden. Besonders qualitative Kriterien unterliegen subjektiven Beurteilungen, die weitestgehend zu objektivieren sind. Zu den hierfür eingesetzten Bewertungsmethoden zählen z.B. die Nutzwertanalyse und die zweistufige Punktbewertung, weil sie zuverlässig und schnell sowie leicht verständlich sind. Eine ausführliche Beschreibung der Nutzwertanalyse findet sich z.B. bei Arnold [Arn-95], die zweistufige Punktbewertung wird von Martin [Mart-98] erklärt.

Eine wichtige Bewertungsgrundlage bei der Entscheidung für eine Planungsvariante ist der Nachweis ihrer Wirtschaftlichkeit. Dafür stehen verschiedene Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung zur Verfügung, die in Bild 3.21 dargestellt sind.

Nach Fischer [Fis-97] erfordern die statischen Rechenverfahren nur wenige Basisdaten und sind sehr einfach anzuwenden. Deshalb sind sie geeignet, wenn

- kurzfristige, grobe Aussagen gefordert werden,
- das Investitionsobjekt nur geringe strategische und monetäre Bedeutung hat,
- technisch und funktional etwa gleichwertige Alternativen zu vergleichen sind oder
- generell sehr unsichere Ausgangswerte und Randbedingungen vorliegen.

Der größte Nachteil der statischen Rechenverfahren ist darin zu sehen, daß die angenommenen Prämissen während der Nutzungsdauer nicht verändert werden können, d.h. die Zahlungen werden nicht auf- oder abgezinst. Damit wird der Einfluß der Zeit in der Rechnung nicht berücksichtigt. Die dynamischen Rechenverfahren erfordern im Vergleich zu den statischen eine größere Menge an Basisdaten und teilweise

eine kompliziertere Berechnung. Bei gesicherten Ausgangsdaten liefern sie durch die Einbeziehung von Zinseszinsen jedoch auch aussagefähigere Ergebnisse [VDI 2693]. Eine weiterführende Beschreibung der Rechenverfahren findet sich bei Arnold [Arn-95], Fischer [Fis-97] und der VDI-Richtlinie 2693 [VDI 2693].

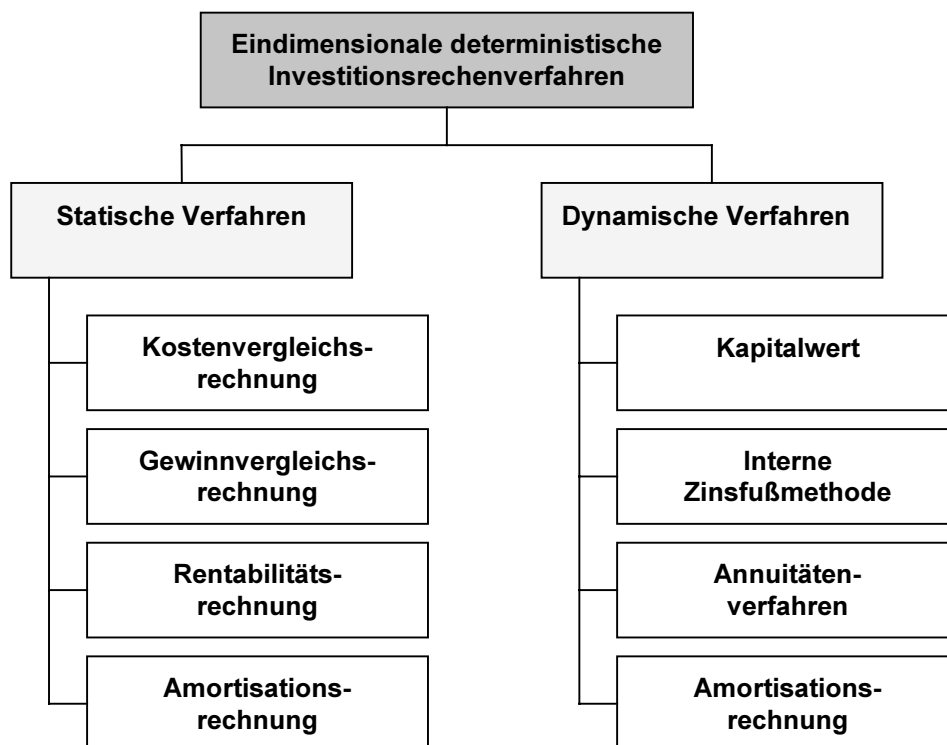


Bild 3.21: Investitionsrechenverfahren zur Materialflußplanung in Anlehnung an [VDI 2693]

Um die verschiedenen Systemvarianten mit Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung bewerten zu können, müssen jedoch zunächst die jeweiligen Materialflußkosten bestimmt werden. Dazu stehen unterschiedliche Ansätze der Kostenerfassung, -analyse und -zurechnung zur Verfügung. Der faktorkostenorientierte Ansatz basiert dabei auf den Einsatzfaktoren (Material, Personal, Kapital sowie Sach- und Dienstleistungen), der prozeßkostenorientierte Ansatz auf den Abläufen (Entwickeln, Beschaffen, Produzieren, Vertreiben etc.) des Materialflusses [VDI 3330]. Im Gegensatz dazu stellt Fischer [Fis-97] eine Berechnung der Transportkosten vor, die den Einfluß des Beschäftigungs- und des Mengengrades berücksichtigt. Weitere Beschreibungen zur Kostenermittlung von Transport- und Lagersystemen sind in [VDI 2695] zu finden.

Am Ende dieser Planungsstufe wird anhand der vorgenommenen Bewertung die Entscheidung zur Weiterplanung und Realisierung einer der ausgearbeiteten Lösungsvarianten getroffen oder die Planung beendet, d.h. hier ist der „point of no return“ der Planung erreicht [Ket-84].

3.8.3 Feinplanung

In der Feinplanung wird die im Rahmen der Grobplanung ausgewählte Lösungsvariante weiter detailliert. Die dabei durchzuführenden Planungsschritte zeigt Bild 3.22.

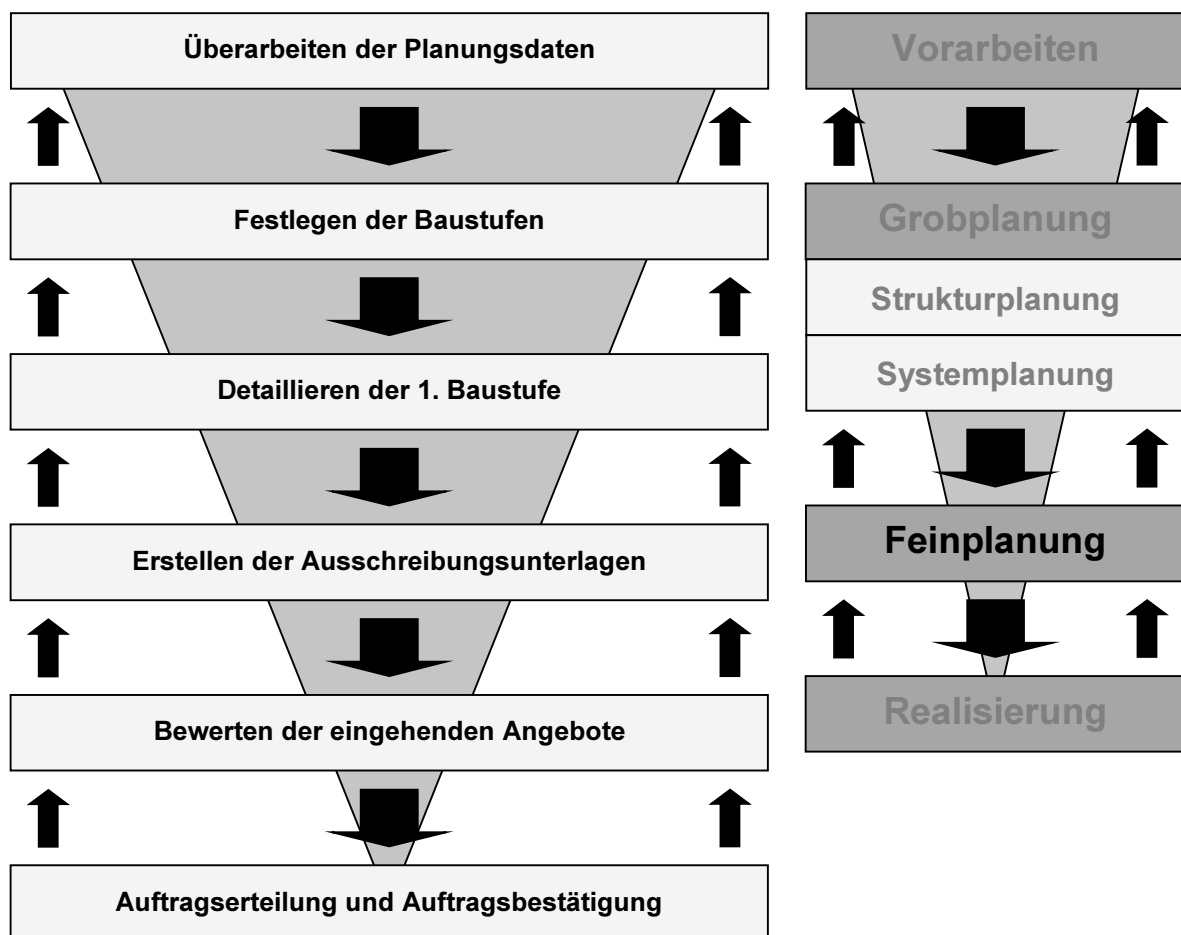


Bild 3.22: Teilphasen der Feinplanung

Im ersten Schritt der Feinplanung werden die bisherigen Planungsdaten überprüft, ergänzt und detailliert, so daß auf dieser Grundlage eine Weiterentwicklung stattfinden kann. Nach der Überarbeitung der Planungsdaten werden je nach Notwendigkeit

und Finanzierbarkeit die Anzahl und die Reihenfolge der Realisierungsstufen bestimmt. Anschließend wird der Planungsumfang der ersten Stufe je nach Größe in Teilbereiche gegliedert, die einer verfeinerten Strukturplanung, Systemplanung und Dimensionierung unterzogen werden [Gün-91, Jün-89]. Besonders wichtig ist hierbei auch eine weitere Detaillierung bezüglich der Steuerung und Organisation der geplanten Materialflußsysteme. Eine weitere Aufgabe im Rahmen der Feinplanung ist die Erstellung der Ausschreibungsunterlagen und eine Bewertung der eingehenden Angebote. Die Feinplanung wird durch die Auftragserteilung und die Auftragsbestätigung abgeschlossen.

3.8.4 Realisierung

Bei der Realisierung werden alle geplanten Arbeiten und Maßnahmen von den beauftragten Firmen verantwortlich durchgeführt. Die Leitung, Koordinierung und Überwachung dieser Tätigkeiten übernimmt ein Projektleiter. Aus dieser Tatsache wird ersichtlich, daß die Realisierung des Projektes im eigentlichen Sinne keine Planung mehr darstellt, sondern vor allem Koordinierungs-, Überwachungs- und Prüfarbeiten umfaßt.

Nach Abschluß der Montage- und Einrichtungsarbeiten findet eine Abnahmeprüfung für alle Anlagen und Maschinen statt. Erst danach kann die Übergabe an den Auftraggeber erfolgen.

4 Rechnergestützte Planungshilfsmittel

Mit dem verstärkten Einsatz der EDV in allen erdenklichen Anwendungsbereichen nimmt auch die Bedeutung der rechnergestützten Planungshilfsmittel für die Lager- und Materialflußplanung stetig zu. Heutzutage stehen eine Vielzahl von Softwareprogrammen zur Unterstützung der unterschiedlichen Planungstätigkeiten zur Verfügung. Die wichtigsten sind

- CAD-Systeme zur graphischen Gestaltung der Planungsobjekte und zur Layoutoptimierung,
- Berechnungsprogramme zur Verarbeitung numerischer Daten bei der Auslegung von Materialflußsystemen,
- Datenbanksysteme zur Erstellung und Pflege geeigneter Datenbasen als Grundlage für den Planungsprozeß und
- Simulationssysteme zur Überprüfung des dynamischen Verhaltens der Materialflußsysteme.

Zusätzlich werden noch weitere, meist für planerische Nebentätigkeiten verwendete Softwareprogramme eingesetzt, wie z.B.

- Textverarbeitungssysteme zum Erstellen von Berichten und Ausschreibungsunterlagen,
- Graphik- und Präsentationssysteme zur Umsetzung der meist numerischen Informationen in Bilder und Präsentationsgrafiken,
- Tabellenkalkulationssysteme zur Aufbereitung der Daten für die Planung und
- Expertensysteme zur Unterstützung des Planers bei der Layout- und Systemplanung.

Neben den vorgenannten Einzelsystemen existieren auch planungsspezifische Programme, die meist mehrere der oben genannten Hilfsmittel zu einem Gesamtsystem integrieren.

4.1 CAD-Systeme

CAD-Systeme (Computer Aided Design = rechnerunterstütztes Konstruieren) entstanden Anfang der 60er Jahre am M.I.T. in Cambridge (USA) [Wie-89]. Sie werden hauptsächlich zur Produktentwicklung und Konstruktion eingesetzt und sind in diesen Bereichen schon seit längerer Zeit Stand der Technik. Mit ihrer Hilfe lassen sich Zeichnungen relativ schnell erstellen und mit geringem Aufwand ändern. Sie dürfen jedoch schon längst nicht mehr nur als computerunterstützte Zeichenprogramme gesehen werden, sondern bieten in der Regel eine große Anzahl zusätzlicher Funktionen. Zu nennen sind hier:

- Programmierschnittstellen zur Entwicklung individueller Anwendungen [Aut-97b],
- Schnittstellen zu anderen Dateiformaten für den Import und Export von Daten,
- Zeichnen und Darstellen der Objekte in 3-D,
- Layertechniken, automatische Schraffuren und Bemaßungen
- und vieles mehr [Aut-97a, N.N.-97].

Auch im Rahmen der Planung von Materialflußsystemen werden häufig CAD-Systeme eingesetzt. Sie lassen eine schnelle und einfache Erstellung und Änderung der Planungsobjekte zu und ermöglichen so die Verfolgung mehrerer paralleler Lösungsvarianten mit relativ geringem Aufwand. Außerdem stehen dem Planer bereits zu einem frühen Zeitpunkt hochwertige Zeichnungen zur Verfügung, die sich zu Präsentationszwecken nutzen lassen und im Laufe der Planung weiter verwendet werden können.

Die auf CAD-Systemen aufbauenden Systemlösungen für die Planung können in zwei Gruppen unterteilt werden [Lehm-95]. Die in der ersten Gruppe enthaltenen Systeme basieren meist auf bekannten CAD-Programmen. Sie unterstützen den Planer bei der Verwaltung und Darstellung der eingesetzten Betriebs- und Materialflußmittel. Die Materialflüsse können in mengenmäßiger Form ebenfalls dargestellt werden. Eine Layoutoptimierung, d.h. die Anordnungsoptimierung der Layoutobjekte, wird nicht über Optimierungsalgorithmen vom System, sondern manuell durch den Planer durchgeführt [Gün-92]. Die Systeme der zweiten Gruppe sind meist eigenständige Sonderapplikationen, die über Schnittstellen an die CAD-Basis angebunden werden müssen. Im Gegensatz zur ersten Gruppe unterstützen sie den Planer auch bei der

Layoutoptimierung durch die Verwendung von Optimierungsalgorithmen. Der Nachteil dieser EDV-unterstützten Optimierer ist jedoch im hohen Aufwand für die Datenbeschaffung und in ihrer meist einseitigen Ausrichtung auf die Minimierung des Transportaufwandes ohne Berücksichtigung weiterer Einflußfaktoren zu sehen.

Obwohl der Einsatz von CAD-Systemen bei der Materialflußplanung den Planer sehr stark unterstützt und ihn vor allem von zeichnerischen Routinetätigkeiten entlastet, hat die Verwendbarkeit solcher Systeme im Rahmen der unterschiedlichen Planungstätigkeiten auch ihre Grenzen. So bieten CAD-Systeme von Haus aus keine Unterstützung bei der Dimensionierung von Betriebs- und Materialflußmitteln hinsichtlich der Transportleistung an. Hierfür werden mit höheren Programmiersprachen entwickelte Berechnungsprogramme verwendet, die die numerischen Daten bei der Auslegung komplexer Materialflußsysteme verarbeiten können.

4.2 Berechnungsprogramme

Die einfachsten Berechnungsprogramme zur Dimensionierung von Materialflußsystemen basieren auf statischen Betrachtungen (siehe Kapitel 3.8.2.2). Sie bilden die analytischen Gleichungen zur Berechnung von Spielzeiten und Auslastungen unter Verwendung konstanter Mittelwerte in ihrem Quellcode ab. Dazu benötigen die Programme eine Reihe von Eingabeparametern, um die dadurch gegebene Systemkonfiguration beurteilen zu können (evaluativer Ansatz) [Arn-98]. Soll z.B. die ausreichende Dimensionierung von Regalbediengeräten (RBG) unter Vernachlässigung der auftretenden Beschleunigungen und Verzögerungen bewertet werden, so sind u.a. Regallänge und -höhe, Ein- und Auslagerungsort, horizontale und vertikale Geschwindigkeit des RBG, Gabelspielzeiten, Anzahl Soll-Ein- und Soll-Auslagerungen, Anzahl kombinierter Spiele, Verfügbarkeiten und die verfügbare Betriebsdauer als Eingabeparameter notwendig. In diesem Zusammenhang wird auf Fischer [Fis-97] verwiesen, der einige eigenständige Berechnungsprogramme zur Dimensionierung von Stetigförderern, Unstetigförderern und Regalbediengeräten beispielhaft darstellt. Dem Vorteil des geringen Zeitaufwandes bei der Verwendung von statischen Bewertungsmodellen steht jedoch als Nachteil eine geringe Abbildungsgüte der betrachteten Materialflußsysteme gegenüber, so daß sich diese Gruppe von Berechnungsprogrammen nur für die Grobdimensionierung eignet.

Eine andere Gruppe von Berechnungsprogrammen, bei denen mit einem größeren Zeitaufwand auch eine größere Abbildungsgüte erreicht werden kann, basiert auf stochastischen Betrachtungen (siehe Kapitel 3.8.2.2). Dazu werden die charakteristischen Zufallsgrößen des zu berechnenden Materialflußsystems, wie die Anzahl erledigter Transportaufträge oder die Wartezeiten vor Bedienstationen, durch diskrete oder stetige Verteilungen beschrieben [Arn-95]. Für die Berechnung von Materialflußsystemen wichtige diskrete Verteilungen sind z.B. diskrete Gleichverteilungen, Binomialverteilungen und Poissonverteilungen, wichtige stetige Verteilungen sind z.B. stetige Gleichverteilungen, Exponentialverteilungen und Normalverteilungen. Mit Hilfe dieser Verteilungsfunktionen lassen sich z.B. die erreichbaren betrieblichen Durchsätze ermitteln oder die notwendigen Kapazitäten von Speichern und Staustrrecken berechnen. Anwendungsbeispiele finden sich in der Literatur bei der Dimensionierung einer geschlossenen Montagelinie unter Verwendung von Werkstückträgern [Arn-98] und beim Leistungsnachweis für Umlauflager [Mar-97, Mar-98]. Auch die Berechnungsprogramme dieser Gruppe sind meist in sich abgeschlossen und besitzen eine eigene Parametereingabe und -ausgabe.

4.3 Datenbanksysteme

Datenbanksysteme bilden heutzutage das Rückgrat jeder EDV-Infrastruktur. Sie erfüllen ihren Dienst in Banken, im World Wide Web (WWW), in Vertriebssystemen und im Hintergrund von CD-Enzyklopädien. Im Rahmen der Materialflußplanung werden sie bei der Erstellung und Pflege geeigneter Datenbasen für die Vielzahl der benötigten Planungsdaten genutzt. Die verschiedenen Arten der eingesetzten Datenbanksysteme unterscheiden sich durch ihr spezielles Modell der Datenhaltung [Dem-96, Wag-97]. Neben dem sogenannten Netzwerkmodell und dem hierarchischen Modell sind hier das heutzutage gängige relationale Modell sowie die immer populärer werdenden objektorientierten und objektrelationalen Modelle zu nennen.

Das Netzwerkmodell und das hierarchische Modell speichern die Informationen in Datensätzen, wobei das hierarchische Modell die Datensätze baumartig durch unidirektionale Verweise verbindet, während das Netzwerkmodell dazu eine bidirektionale Verbindung benutzt. Charakteristisch für beide Modelle ist jedoch das Abspeichern der Beziehungen zwischen den Datensätzen in Zeigern. Das hat zur Folge, daß zum

Lesen abgespeicherter Informationen entlang der Zeiger durch die Datenbank gegangen werden muß. Dieses Vorgehen ist sehr umständlich und fehleranfällig.

Diesen Nachteil des Netzwerkmodells und des hierarchischen Modells beseitigen die in den achtziger Jahren auf den Markt gekommenen relationalen Datenbanksysteme [IBM-96, Inf-97, Mic-96, Ora-97]. Sie speichern die Informationen in untereinander verknüpften Tabellen ab und erlauben damit die Verwendung einer intuitiven und effizienten Sprache für den Datenzugriff, der Structured Query Language (SQL). Mit einer SQL-Abfrage kann der Datenbank gesagt werden, was und nicht wie abgefragt werden soll. Das hat den Vorteil, daß der Benutzer keine Kenntnis davon haben muß, wie die Datenbank zu durchsuchen ist, um die benötigte Information zu finden. Allerdings haben SQL-Abfragen den Nachteil, daß sie Antworttabellen als Ergebnis liefern, die die normalerweise benutzten imperativen Programmiersprachen wie C nur zeilenweise abarbeiten können, was zu einer umständlichen Weiterverarbeitung von Abfrageergebnissen führt. Darüber hinaus können komplexe Daten, wie längere Texte und Grafiken, in SQL-Abfragen nicht angesprochen werden, und auch das Ab-bilden und Abspeichern komplexer Datenmodelle, die aus einzelnen hierarchischen Objekten und Methoden aufgebaut sind, ist in relationalen Datenbanksystemen nur unter großem Aufwand möglich [Blu-97].

Hierfür bieten sich Datenbanksysteme mit objektorientierten Modellen zur Datenhaltung an [Blu-97, Bor-97, POE-97]. Sie haben ihr Anwendungsgebiet bei Aufgaben, für die eine höhere Objektflexibilität gefordert ist. Dazu speichern diese Systeme die Informationen in Form von Objekten als Instanzen einer Klasse. Gleich wie bei Netzwerkmodellen und hierarchischen Modellen muß der Benutzer jedoch wissen, wie er durch die Datenbank navigieren muß, um zu seinen gesuchten Informationen zu gelangen. Außerdem macht eine noch zu geringe Standardisierung im Bereich der Abfragesprache die objektorientierten Datenbanken im Vergleich zu den relationalen Datenbanken komplizierter und führt zu einer geringeren Benutzerfreundlichkeit.

Die neuesten Datenbanksysteme benutzen objektrelationale Modelle zur Datenhaltung [IBM-96, Inf-97, Ora-97]. Diese Modelle erweitern das relationale Modell um die wichtigsten Funktionen des objektorientierten Modells. Sie beinhalten also sowohl die Trennung von logischer und physikalischer Struktur und die Verwendung einer deklarativen Abfragesprache als auch die objektorientierte Identifizierung, das Handling komplexer und großvolumiger Datenobjekte und die Vererbbarkeit von Attributen und

Operationen aus Klassen in Unterklassen. Allerdings zeichnen sich diese Datenbanksysteme durch eine noch geringere Standardisierung als die objektorientierten Systeme aus [Dem-97].

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß für relationale Datenbanksysteme zur Zeit die höhere Kompatibilität und Leistungsfähigkeit und für objektorientierte und objektrelationale Datenbanksysteme die größere Flexibilität und Innovation spricht [Wag-97].

4.4 Simulationssysteme

Simulationssysteme erlauben ein rein numerisches Experimentieren an einer rechnerinternen Nachbildung der Realität. Wie bei allen Experimenten bedeutet ihr Einsatz einen zusätzlichen Aufwand und ist deshalb nur sinnvoll, wenn [Koe-93]

- die Grenzen analytischer Methoden erreicht sind,
- komplexe Zusammenhänge die menschliche Vorstellungskraft überfordern,
- ein Experiment in der Realität zu teuer oder nicht möglich ist,
- das zeitliche Verhalten einer Anlage untersucht werden soll oder wenn
- neue Lösungen, über die kein Erfahrungswissen vorliegt, überprüft werden sollen.

Ist die Entscheidung zur Durchführung eines Simulationsexperiments gefallen, so sind vier charakteristische Schritte zu beachten (Bild 4.1):

- Modellbildung,
- Simulationsexperimente,
- Auswertung und
- Folgerungen für das reale System, bzw. Anpassung der Planung.

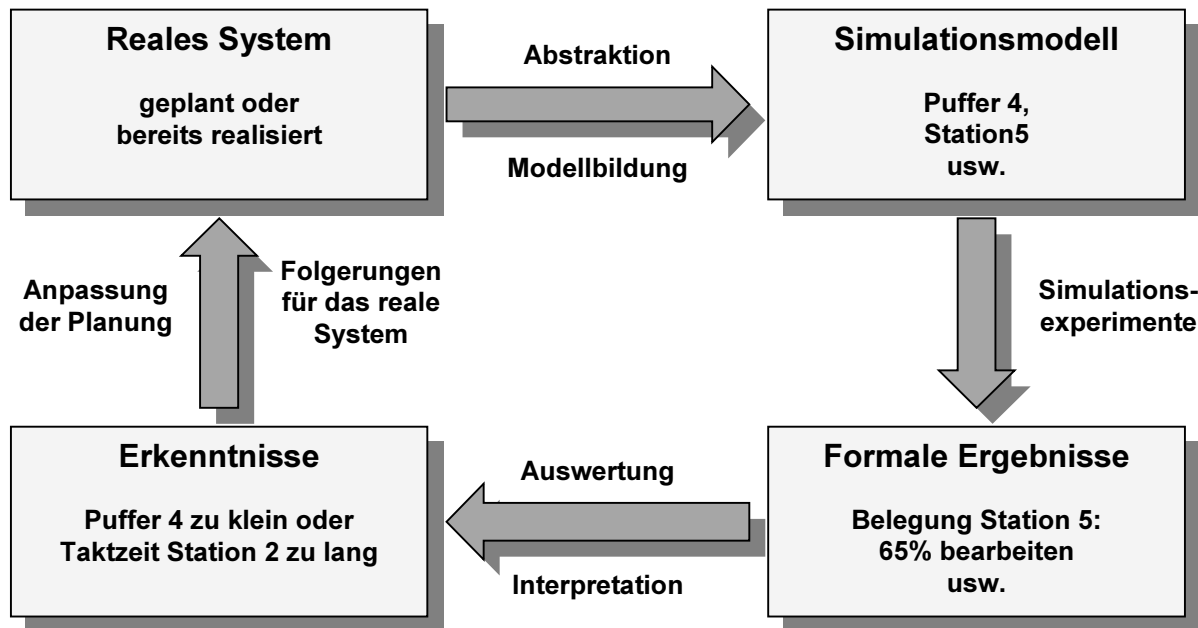


Bild 4.1: Wesentliche Schritte beim Einsatz von Simulationssystemen [Koe-93]

Unter den verschiedenen Konzepten, auf denen die Simulationssysteme aufgebaut sind [Gün-97b, Jün-89, Noc-91], haben sich im Bereich der Materialflußplanung vor allem die bausteinorientierten Simulationskonzepte [Auto-93, Lan-97] durchgesetzt. Sie haben den Vorteil, daß sie dem Anwender einen Vorrat an vorgefertigten Bausteinen eines bestimmten Anwendungsbereiches zur Verfügung stellen und so dafür sorgen, daß er keine zusätzliche abstrakte Abbildungslogik erlernen muß. Einer schnellen und anschaulichen Modellierung steht jedoch ein Verlust an Flexibilität gegenüber, der bei einigen Programmen durch die Bereitstellung eines Werkzeuges zur Schaffung eigener zusätzlicher Bausteine abgefangen wird [AES-98, F&H-98].

Im Rahmen der Materialflußplanung werden diskrete, ereignisorientierte Simulationssysteme bereits seit ca. 20 Jahren eingesetzt [Spi-98]. Die Systeme haben dort im wesentlichen zwei Aufgaben. Zum einen werden sie zur Dimensionierung komplexer Anlagen eingesetzt, d.h. sie dienen der Überprüfung, ob die geplanten Durchsätze erreicht werden können (siehe Kapitel 3.8.2.2). Zum anderen unterstützen sie im Verlauf der Planung die detailliertere Gestaltung der Materialflußsysteme, indem sich mit ihrer Hilfe das Störverhalten, Schwachstellen und Engpässe sowie Strategien zu ihrer Behebung untersuchen lassen. In beiden Aufgabenbereichen können Simulationssysteme das betrachtete Materialflußsystem jedoch nicht selbständig auf ein Ziel hin optimieren. Sie dienen vielmehr dazu, Erkenntnisse zu liefern, die es dem Planer

ermöglichen, die geplante Anlage mit Ingenieurmethoden zu verbessern und erneut zu überprüfen.

4.5 Sonstige Software zur Materialflußplanung

Im Verlauf der Planung sind die wesentlichen Planungsergebnisse immer wieder in Berichten und Präsentationen zusammenzufassen und die Ausschreibungsunterlagen zu erstellen. Für diese Arbeiten eignen sich Textverarbeitungs-, Graphik- und Präsentationssysteme, die hier durch ihre Möglichkeiten zum schnellen Erstellen, Formatieren und Ändern von Texten, Bildern, Diagrammen und Folien eine wirkungsvolle Unterstützung bieten.

Kann bei der Aufnahme des Ist-Zustandes auf EDV-Daten des untersuchten Unternehmens zugegriffen werden (siehe Kapitel 3.8.1), so liegen diese Daten oft in sehr vielen verschiedenen Formaten vor. Außer mit Datenbanksystemen (siehe Kapitel 4.3) kann der Planer auch mit Hilfe von Tabellenkalkulationssystemen die Daten so aufbereiten, daß sie für ihn nutzbar sind. Dazu stellen diese Systeme eine Reihe von Import- und Export-Filtern zur Verfügung und erlauben darüber hinaus eine gezielte Auswahl und Verarbeitung der Daten [Lehm-95].

Ende der 80er Jahre gewannen Expertensysteme im Umfeld der Künstlichen Intelligenz immer mehr an Bedeutung. Sie sind gekennzeichnet durch eine Trennung von Wissen über den Problembereich einerseits und Problemlösungsstrategien andererseits. Die Problembereiche, die mit Expertensystemen bearbeitet werden können, lassen sich dabei durch eine Systematisierung in die drei Klassen Selektion, Konstruktion und Simulation einordnen. Nach Jünemann [Jün-89] bedeutet dabei die Selektion „die Auswahl einer Lösung aus einer fest vorgegebenen Lösungsmenge. Konstruktion ist das Zusammensetzen der Lösung aus kleinen Einzelbausteinen. Die Simulation beinhaltet die Herleitung von möglichen Folgezuständen aus einem vorgegebenen Ausgangszustand.“ Innerhalb der Materialflußplanung ergeben sich von diesen Problembereichen ausgehend Anwendungsgebiete im Bereich der Layoutplanung [AiF-93, Arn-95] und im Bereich der Systemplanung [Jün-89, Beu-93]. Mitte der 90er Jahre ist es um die Expertensysteme allerdings ruhiger geworden, da sie die in sie gesteckten hohen Erwartungen nur zum Teil erfüllen konnten.

4.6 Spezifische Software zur Materialflußplanung

Die meisten der vorgenannten Hilfsmittel sind als kommerzielle Standardprogramme auf dem Markt verfügbar und werden aufgrund ihres hohen Entwicklungsstandes bereits vielfach eingesetzt. Da die einzelnen Hilfsmittel jedoch meist nur bestimmte Planungstätigkeiten unterstützen, stellen sie, auf den Planungsprozeß bezogen, In-sellösungen dar.

Um die Materialflußplanung möglichst effektiv, wirtschaftlich und ganzheitlich durchführen zu können, ist es deshalb sinnvoll, darauf zugeschnittene, rechnergestützte Planungssysteme einzusetzen, die den gesamten Planungsprozeß durchgängig begleiten [Jün-97]. An dieser Stelle soll nochmals auf den Unterschied zwischen Planung und Projektierung hingewiesen werden (siehe Kapitel 3.7), der sich auch auf die jeweilige Rechnerunterstützung auswirkt [Gün-91, Gün-92].

Hilfsmittel zur rechnerunterstützten Projektierung sind herstellergebundene Programme, die meist mit Hilfe einer herstellerspezifischen Produktdatenbank eine Auftragsbearbeitung und Kalkulation ermöglichen. Das hat zur Folge, daß der Lösungsbereich auf die Einsatzfelder des Herstellers begrenzt ist, ohne eine Optimierung des Gesamtsystems zu gewährleisten. Da sich mit solchen Hilfsmitteln die Arbeitsvorgänge der Projektierung jedoch sehr hoch automatisieren lassen, sind sie bei vielen Anlagenherstellern Stand der Technik.

Im Gegensatz dazu werden rechnerunterstützte Planungssysteme meist von großen Planungsbüros eingesetzt, die mit ihrer Hilfe herstellerunabhängige Planungen und Optimierungen der Gesamtsysteme durchführen. Da solche Systeme wegen der unterschiedlichen Problemstellungen universell einsetzbar sein müssen, lassen sie sich bei weitem nicht so hoch automatisieren wie Projektierungssysteme. Trotzdem entlasten sie den Planer von Routinetätigkeiten, unterstützen ihn in kreativen Planungsphasen und gewährleisten dadurch eine schnellere Durchführung auch komplexer Planungsarbeiten mit einer höheren Planungssicherheit.

Obwohl die eingesetzten Planungssysteme hinsichtlich der meisten Planungsschritte durchgängig sind, lassen sich doch auf die Planungstätigkeiten bezogene Aufgabenschwerpunkte erkennen, die im folgenden an bereits realisierten Systemen aufgezeigt werden sollen.

4.6.1 FASTDESIGN

Die Systemfamilie FASTDESIGN ist ein von Projecteam Innovative Fabrikplanung und -steuerung GmbH & Co. entwickeltes Werkzeug für Fabrikplanung und Facility Management [Rick-95]. Zu FASTDESIGN gehören die fünf Module

- FASTPLAN – Strukturplanung,
- FASTGRAF – Materialfluß,
- FASTSIM – Simulation,
- WINFAST – Wirtschaftlichkeit und
- FASTMAN – Facility Management

sowie eine zentrale relationale Datenbank [Pro-97a, Pro-97b, Pro-97c, Pro-98].

Das Modul FASTPLAN dient der Analyse des in der Fabrik produzierten Teilespektrums und der Konfiguration einer Ausgangsstruktur der Fertigung. Dazu stehen Funktionalitäten zur Teilefamilienbildung, Kapazitätsberechnung, Fertigungsstrukturierung und Materialflußanalyse zur Verfügung. Die Ergebnisdaten von FASTPLAN werden anschließend an das zentrale Steuer- und Visualisierungsmodul FASTGRAF übergeben, das auf dem CAD-System AutoCAD basiert. FASTGRAF unterstützt die Materialflußdarstellung und -optimierung sowie die 3D-Layoutplanung (Bild 4.2). Das Simulationsmodul FASTSIM übernimmt zur Struktursimulation das Teilespektrum, die Arbeitspläne und das Fertigungslayout aus dem CAD-Modul FASTGRAF, ohne ein eigenes, sichtbares Simulationsmodell zu erzeugen. Die Animation der Simulationsergebnisse ist in Form dynamisch bewegter Säulendiagramme oder einer Darstellung der dynamisch berechneten Materialflüsse im CAD-Layout von FASTGRAF möglich. Das Modul WINFAST erlaubt die Bewertung der Planungsergebnisse hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit mit Hilfe der dynamischen Investitionsrechnung.

FASTDESIGN unterstützt den Planer in verschiedenen Phasen der Materialflußuntersuchung und -planung. Die Schwerpunkte des Programmpaketes liegen aufgrund der Vielzahl an tiefgreifenden Funktionen bei der Erzeugung von Strukturvarianten im Rahmen der Fertigungsstrukturierung und bei der Erstellung von 3D-Layouts der zu planenden Anlage. Die Planung von Materialflußsystemen wird dadurch unterstützt, daß das System eine Dimensionierung von alphanumerisch definierten Transport-

mitteln ermöglicht. Dazu können im Rahmen der Simulation vordefinierte Strategien zur Auftragsbearbeitung, Maschinenbelegung und Transportsteuerung ausgewählt werden.

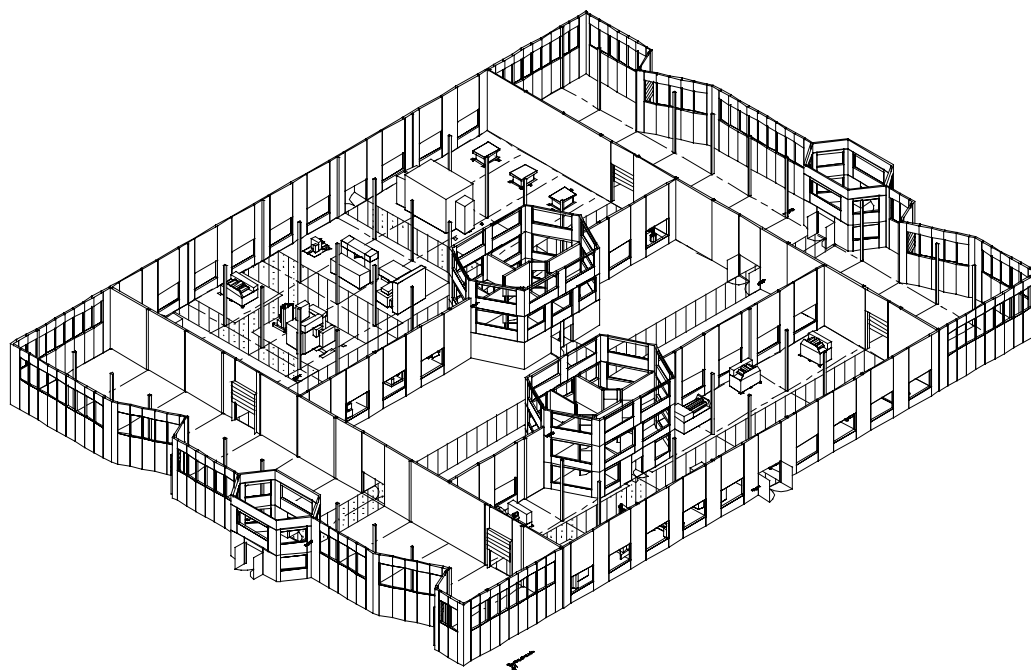


Bild 4.2: Dreidimensionale Darstellung eines Fabriklayouts [Pro-98]

4.6.2 SIMPLE++/CAD

Das SIMPLE++/CAD Viewerprogramm wurde von Tecnomatix AESOP GmbH & Co. KG zur Unterstützung von Materialfluß- und Fabrikplanungen entwickelt. Es ist eine Anwendung des CAD-Systems Microstation und erlaubt eine Kopplung zwischen diesem System und dem Simulationsprogramm SIMPLE++ [Tec-99a].

Für den CAD-Layoutaufbau stellt SIMPLE++/CAD eine Reihe von CAD-Objekten zur Verfügung, die ihre Entsprechung in SIMPLE++-Bausteinen haben [Pie-98]. Mit Hilfe einer Online-Schnittstelle zwischen dem CAD- und dem Simulationssystem läßt sich so, parallel zum Zeichnen des CAD-Layouts für die Fabrikplanung, automatisch das Simulationsmodell für seine dynamische Verifikation erzeugen. Dabei werden geometrische Attribute im CAD-System eingegeben, Simulationsattribute jedoch im Si-

mulationssystem. Aufgrund der Online-Schnittstelle (Bild 4.3) sind auch Änderungen, die im CAD-Layout vorgenommen werden, sofort im Simulationsmodell wirksam und umgekehrt. Die Schnittstelle sorgt also für eine automatische Datenkonsistenz zwischen CAD-Layout und Simulationsmodell. Auf diese Weise kann sowohl das CAD-System als Visualisierungs- und Animationswerkzeug des Simulationsmodells als auch das Simulationssystem für komplexe Simulationen des CAD-Layouts genutzt werden.

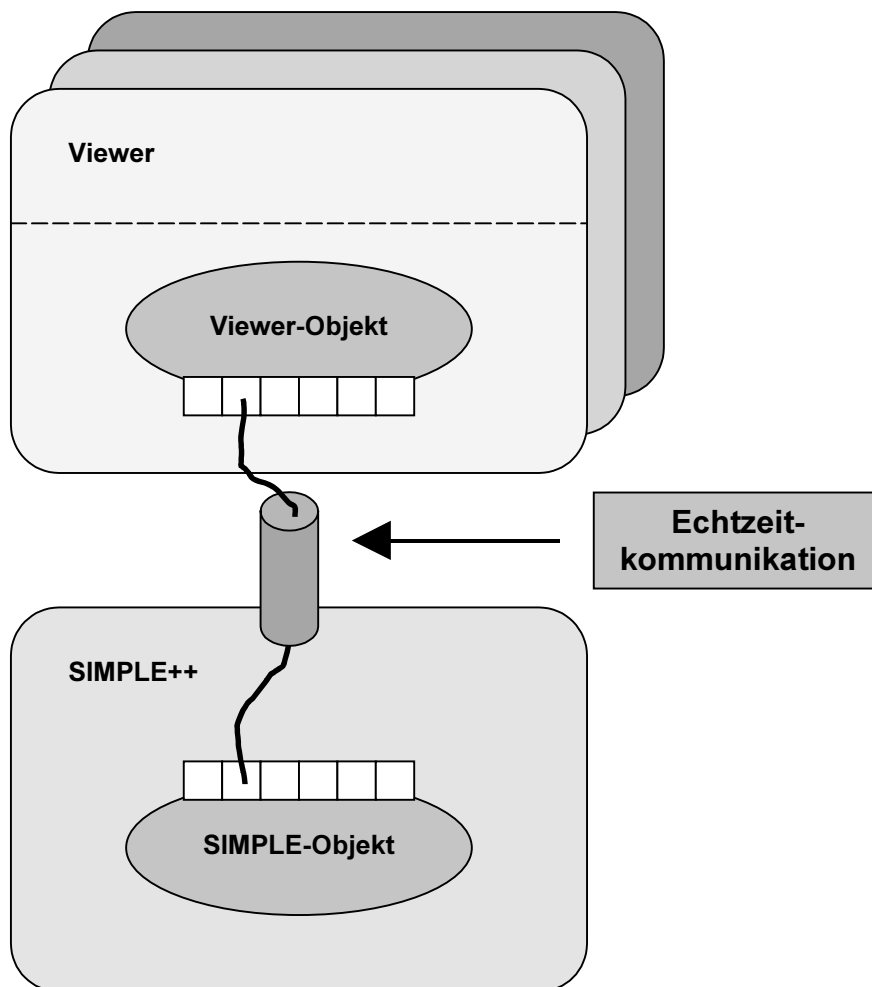


Bild 4.3: SIMPLE Viewer Konzept [Tec-99a]

Das Gesamtsystem bestehend aus SIMPLE++/CAD, Microstation und SIMPLE++ unterstützt den Planer bei Fragestellungen im Rahmen von Materialfluß- und Fabrikplanungen in Industrie, Handel und Dienstleistung. Durch die integrierten CAD-Funktionalitäten erleichtert es das Erstellen der Layouts und die geometrische Di-

mensionierung der Materialflußsysteme in der Grob- und Feinplanungsphase. Ein Anwendungsschwerpunkt ist die dynamische Dimensionierung und Überprüfung der geplanten Systemvarianten mit Hilfe der Simulation. Dazu stehen vorgefertigte Bausteine und Bausteinkästen mitsamt Standardsteuerungsstrategien zur Verfügung, aber auch eigene zusätzliche Bausteine für individuelle Anwendungen lassen sich entwickeln.

4.6.3 MATFLOW

Das am Institut für Produktionstechnik GmbH entwickelte Rechnerwerkzeug MATFLOW ist ein Hilfsmittel zur Planung von Produktionsanlagen [Koh-97]. Auf der Basis von Dateischnittstellen beinhaltet es eine Integration von Tabellenkalkulation, CAD-System (AutoCAD), Simulationssystem (WITNESS) und Programmen zum Desktop Publishing (Bild 4.4). Mit diesen Standardprogrammen lassen sich die Aufgaben der

- Datenbereitstellung,
- Layoutgestaltung und Optimierung der Maschinen- und Kostenstellenanordnung sowie der
- Ablaufsimulation

verknüpfen [Koh-95]. Ein durchgängiges Datenmodell sorgt für den Austausch der benötigten Planungsinformationen zwischen den einzelnen Programmen.

Ein Schwerpunkt des Werkzeuges liegt auf der rechnergestützten, automatischen Layoutoptimierung [Lehm-95]. Hier können unter Berücksichtigung einzugebender Restriktionen, wie z.B. realer Transportwege oder standortfixer Betriebsmittel, die Materialflußwege auf Basis vorher definierter Logistikkennzahlen minimiert werden. Darüber hinaus wird durch die Einbindung der Simulation ein Planungsregelkreis realisiert [Lehm-95]. Die CAD-basierte Layoutplanung übergibt dazu ein materialflußtechnisch optimiertes Layout an das Simulationssystem, d.h. das Layout muß hier nicht nochmals erstellt werden. Die zusätzlich notwendigen dynamischen Daten, wie z.B. Taktzeiten und Anlagenverfügbarkeiten, werden vom Planer interaktiv eingegeben, um das Modell zu vervollständigen. Mit Hilfe der Simulation läßt sich an-

schließlich das dynamische Verhalten verschiedener Planungsvarianten untersuchen. Darunter fällt z.B. das Ermitteln von Maschinenengpässen, Durchlaufzeiten und Pufferfüllständen. Letztere werden nach abgeschlossener Simulation an das CAD-Werkzeug zurückübergeben, um dort mit Hilfe der Teile- bzw. Gebindegrößen die notwendigen Puffer- und Bereitstellungsflächen zu berechnen und so den Planungsregelkreis zu schließen. Eine Anbindung von Funktionalitäten zur Prozeßkostenrechnung ermöglicht darüber hinaus einen monetären Vergleich verschiedener Varianten und eine Bestimmung möglicher Rationalisierungspotentiale [Koh-97, Wer-99].

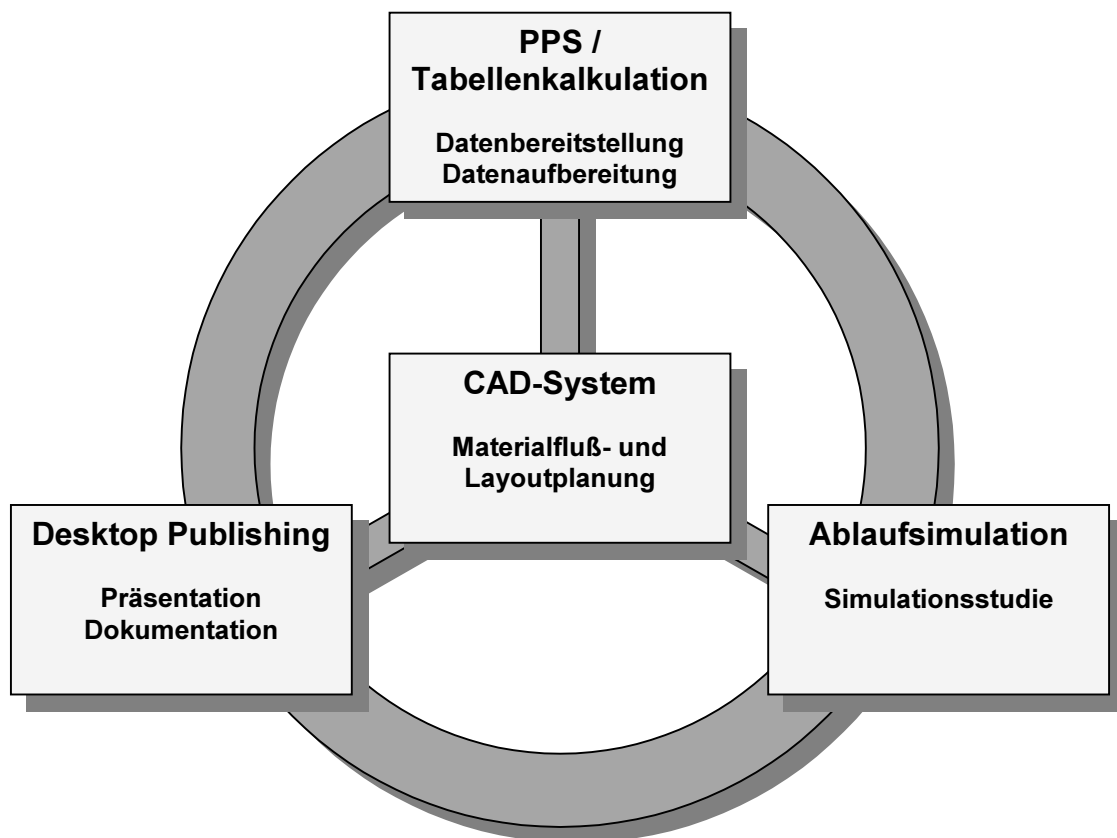


Bild 4.4: Konzept des Rechnerwerkzeuges MATFLOW [Lehm-95]

Neben den bereits beschriebenen Funktionalitäten zur Materialflußuntersuchung und -planung unterstützt MATFLOW die Planung von Materialflußsystemen auch durch die Dimensionierung und Überprüfung alphanumerisch definierter Transportmittel. Dabei lassen sich vor allem die Funktionalitäten des Simulationssystems WITNESS für den Entwurf und die Optimierung von Steuerungskonzepten nutzen.

4.6.4 ProSort

Das System ProSort ist eine AutoCAD-basierte Methodenwelt für eine layoutorientierte CAD-Planung materialflußtechnischer Anlagen [Ric-97]. Es wurde im Rahmen des Projektes „Integriertes Ingenieursystem für Materialflußanlagen“ (IIS_{MFA}) [Zie-95] am Institut für Förder- und Baumaschinentechnik, Stahlbau, Logistik (IFSL) an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg entwickelt. Mit den bislang realisierten Materialflußtechniken können Sortieranlagen für Pakete und Behälter sowie Palettenförderanlagen geplant werden. Der Planer verwendet dazu 3D-Modelle aus externen technischen Datenbanken und ordnet diese im Layout an. Bei der Modellierung kann er sich dank eines modularen Gestaltungskonzeptes gleichzeitig auf verschiedenen Detaillierungsstufen bewegen, womit sich auf Basis eines konsistenten Datenmodells eine Abbildung des realen Planungsfortschrittes durch eine Darstellung gemischter Strukturen erreichen läßt [Leh-95]. Die zur Verfügung stehenden Detaillierungsstufen zeigt Bild 4.5 am Beispiel einer Rollenbahn.

Die 3D-Modelle der externen technischen Datenbanken sind zunächst herstellerunabhängig, können jedoch auf herstellerspezifische Anforderungen angepaßt werden [Ric-97]. Damit lassen sich sowohl Planungs- als auch Projektierungsaufgaben bearbeiten (siehe Kapitel 3.7).

Das System ProSort ist aufgrund seiner tiefgreifenden CAD-Unterstützung besonders geeignet für das Bearbeiten verschiedener Problemstellungen innerhalb der Systemplanung sowohl während der Grob- als auch während der Feinplanung. Zu nennen ist hier die Dimensionierung der geometrischen Abmessungen oder das Erstellen der Layouts. Außerdem lassen sich mit Hilfe der verwendeten Datenbankkataloge qualitativ geeignete Materialflußmittel im Vorfeld der Dimensionierung und Layouterstellung auswählen.

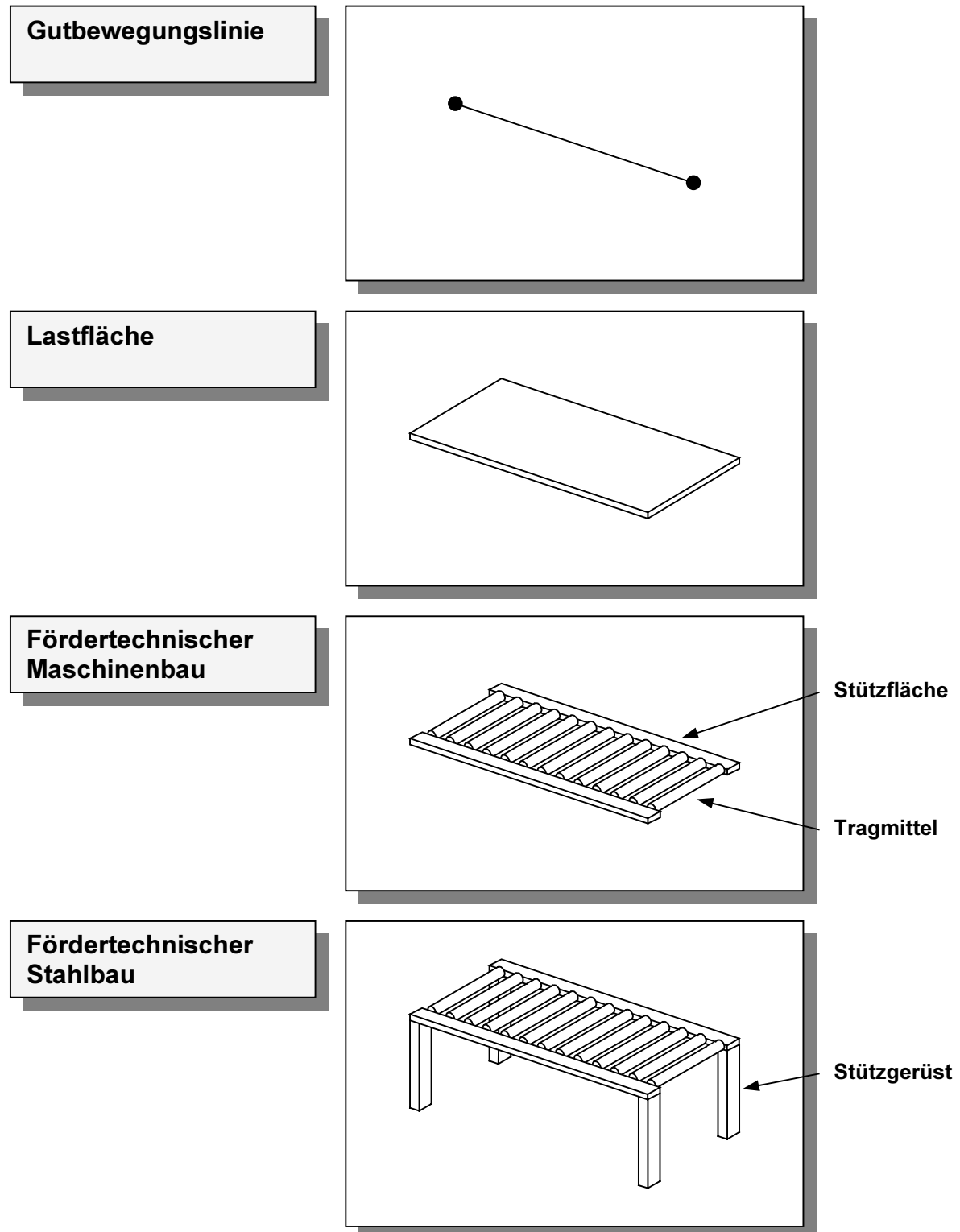


Bild 4.5: Planungsphasenübergreifende Modellierung am Beispiel einer Rollenbahn in Anlehnung an [Leh-95]

4.6.5 MALAGA

MALAGA ist ein von ZIP Ingenieurbüro Industrieplanung und Organisation entwickeltes Fabrikplanungssystem, das auf einer Kopplung zwischen CAD-System und Simulationssystem basiert und aus mehreren Programmodulen aufgebaut ist [Prö-98, ZIP-95]. Enthalten sind u.a. Module zu den Bereichen

- Materialflußanalyse,
- Layoutentwicklung,
- Simulation und
- Facility Management.

Alle entwickelten Funktionalitäten sind sowohl für das CAD-System AutoCAD [Aut-97a] als auch für das CAD-System Microstation verfügbar. Die Simulation basiert auf einer Kopplung zwischen einem der beiden CAD-Systeme und dem Programmkern des Simulationssystems SIMPLE++ [AES-98]. Die Simulation wird also als Funktionalität in das CAD-basierte Planungssystem eingebettet. Damit kann ein Abbild der Fabrik als CAD-Layout erzeugt werden, das gleichzeitig das real-dynamische Modell der Simulation darstellt [Prö-98, ZIP-95]. Als Folge entfällt im Vergleich zur Vorgehensweise mit eigenständigen Simulationsanwendungen (Bild 4.1) das Arbeiten mit Modell und Abstraktion (Bild 4.6).

Im Bereich der Systemplanung erlaubt MALAGA eine transportleistungsbezogene Dimensionierung der für die Fabrik erforderlichen Materialflußsysteme mit Hilfe der Simulation. Dazu stehen eine Reihe vorgefertigter Simulationsbausteine wie z.B. Fahrzeugpools zur Verfügung, die sich mitsamt Standardsteuerungsstrategien (z.B. First In First Out, Bester Nachfolger usw.) auswählen lassen.

Das Fabrikplanungssystem MALAGA ist ein Planungshilfsmittel, das besonders für Aufgabenstellungen der Produktionslogistik geeignet ist. Neben den speziellen Funktionalitäten zur Fabrikplanung unterstützt das System aber auch die Materialflußplanung in ihren wesentlichen Phasen. Bei den Vorarbeiten zur Materialflußplanung (Materialflußuntersuchung) erleichtert es das Aufnehmen, Aufbereiten und Darstellen der Ist-Daten. Während der Grob- und Feinplanung entlastet es den Planer vor allem

bei der Strukturplanung und bei der Dimensionierung und Überprüfung der verschiedenen Systemvarianten mit Hilfe der Simulation.

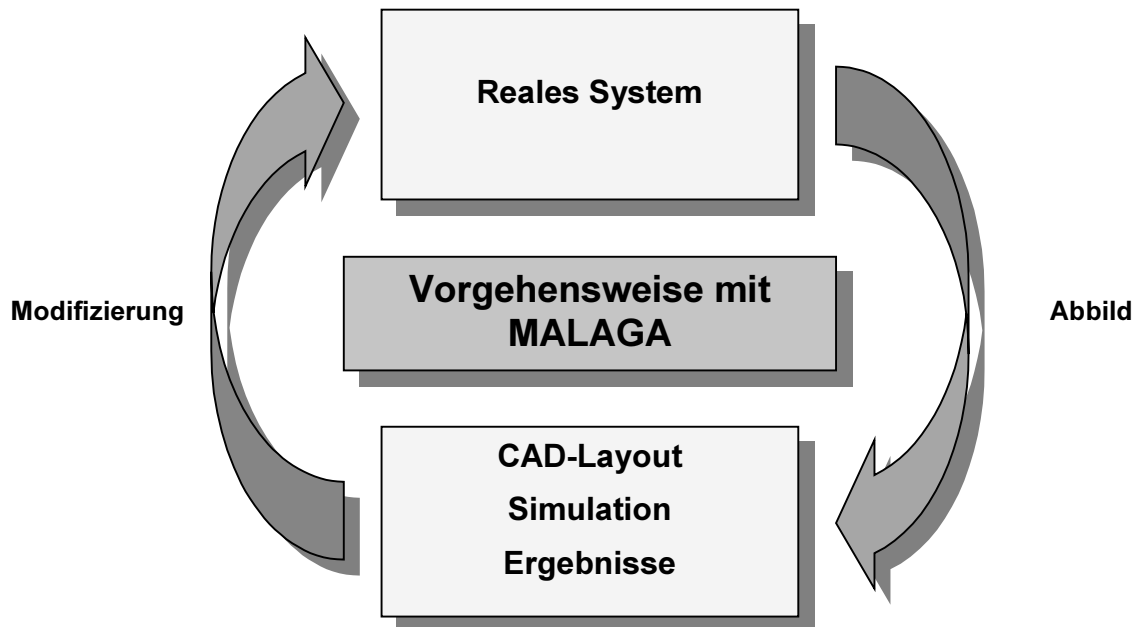


Bild 4.6: Optimierung realer Systeme mit Hilfe der Simulation in Anlehnung an [Prö-98]

4.7 Bewertung und Fazit

Die Analyse der rechnergestützten Planungshilfsmittel zeigt, daß die Unterstützung des Materialflußplaners durch verschiedenste Rechnerwerkzeuge, von kommerzieller Standardsoftware über einfache, vom Planer selbst entwickelte Hilfsprogramme bis hin zu komplexen Systemfamilien, heute Stand der Technik ist. Ohne diese Hilfsmittel ist schon allein der Umfang der zu bearbeitenden Planungsdaten oft nicht mehr zu bewältigen.

Die Untersuchung der spezifischen Software zur Materialflußplanung verdeutlicht darüber hinaus, daß sie gegenüber den allgemeinen rechnergestützten Hilfsmitteln den Vorteil hat, auf unterschiedliche Tätigkeiten im Rahmen der Planung (siehe Kapitel 3.8) zugeschnitten zu sein. Damit lassen sich die Einflußfaktoren der Material-

flußplanung (siehe Kapitel 3.4) besser berücksichtigen, was zu einer größeren Planungssicherheit führt.

Einmal gewonnene Planungsdaten werden im Verlauf der Planung häufig in mehreren aufeinanderfolgenden Planungsphasen und Programmodulen benötigt. Deshalb wird bei einigen der Planungssysteme, die eine Integration von Einzelprogrammen oder -modulen zu einem Gesamtsystem verwirklichen, auch auf die Realisierung eines durchgängigen Datenmodells und einer durchgängigen Datenbasis geachtet. Dadurch entfällt die mehrfache Dateneingabe und die daraus folgende Fehleranfälligkeit. Da aber gerade die Datenaufbereitung und Eingabe der Daten einen nicht unerheblichen Zeitaufwand bedeuten, trägt die Berücksichtigung durchgängig verwendbarer Daten wesentlich zu einer Erhöhung der Planungsgeschwindigkeit bei.

Ein wichtiger Aspekt beim Einsatz planungsspezifischer Programme ist nicht nur das Unterstützen von Planungsmethoden, sondern auch von Vorgehensweisen. Deshalb ermöglichen die meisten der untersuchten Softwaresysteme einen flexiblen Planungsablauf und ein systematisches iteratives Vorgehen (siehe Kapitel 3.5.3). Dies läßt dem Planer genügend individuellen Freiraum und erleichtert ihm das Durchdringen und Lösen auch komplexer Aufgabenstellungen.

Eine Unterstützung des Planers durch Rechnerwerkzeuge, die ein durchgängiges Datenmodell und eine durchgängige Datenbasis enthalten, planungsspezifische Tätigkeiten unterstützen und ein systematisches Arbeiten mit planerischen Freiräumen ermöglichen, ist also ohne Zweifel anzustreben. Diese Forderungen werden von den untersuchten rechnergestützten Planungshilfsmitteln zumindest zum Teil erfüllt.

Dennoch läßt sich erkennen, daß die bereits existierenden Systeme ihre programm-spezifischen Schwerpunkte besitzen, die sich auf die Planungsaufgabe, die Planungsschritte und auf das Planungsgebiet (siehe Kapitel 3.1) sowie auf eine Kombination derselben beziehen können. So sind Programme ohne Unterstützung der Ist-Analyse (Materialflußuntersuchung) zwar für Neuplanungen geeignet, für Um- oder Erweiterungsplanungen sind sie jedoch nicht durchgängig einsetzbar. Andere Systeme wiederum unterstützen zwar die Strukturplanung, nicht jedoch die Systemplanung. Wieder andere Planungswerkzeuge sind sehr gut auf das Gebiet der Fabrikplanung bzw. Produktionslogistik zugeschnitten, können jedoch Warenverteilpro-

bleme in Distributionszentren eher schlechter lösen. Besonders deutlich ist das Defizit bei der Planung von Materialflußsystemen.

Auf der einen Seite gibt es Insellösungen, die weder Planungsdaten aus früheren Planungsschritten übernehmen noch ihre eigenen Ergebnisse an Werkzeuge nachfolgender Planungsphasen übergeben können. Hierzu gehören z.B. Programme, die lediglich eine analytische Auslegung von Materialflußsystemen durch die Ein- und Ausgabe alphanumerischer Parameter zulassen, oder Hilfsmittel, die ausschließlich die Dimensionierung der geometrischen Abmessungen und die Erstellung von Layouts unterstützen.

Auf der anderen Seite existieren weitgehend durchgängige Programmpakete zur Materialflußplanung. Da diese jedoch meist zur Bearbeitung von Problemstellungen der Fabrikplanung bzw. Produktionslogistik dienen, liegt ihr Schwerpunkt auf der Strukturplanung. Die Systemplanung behandeln sie entweder nur am Rande oder im Rahmen der Feinplanung beim optionalen Entwerfen und Optimieren von Steuerungsstrategien des Gesamtsystems mit Hilfe der Simulation. Eine analytische Grobdimensionierung zeitabhängiger und zeitunabhängiger Größen der benötigten Materialflußsysteme findet deshalb meist nicht statt.

Eine Zusammenfassung der oben genannten Schwachstellen existierender Rechnerwerkzeuge zur Planung von Materialflußsystemen zeigt Bild 4.7.

Um die zunehmenden Ansprüche an die Planung von Materialflußsystemen hinsichtlich Komplexität, Umfang, Planungssicherheit und Geschwindigkeit berücksichtigen zu können, muß das Verbesserungspotential, das sich aus den oben aufgezeigten Schwachstellen existierender Programme ergibt, ausgeschöpft werden. Dies führt zu folgenden Forderungen an Werkzeuge zur computerunterstützte Planung von Materialflußsystemen:

- Unterstützung einer systematischen und trotzdem flexiblen Vorgehensweise,
- Verwendung eines durchgängigen Datenmodells und einer durchgängigen Datenbasis,
- Einsatzfähigkeit bei Neu-, Um- und Erweiterungsplanungen sowie bei Aufgabenstellungen in Industrie, Handel und Dienstleistung,

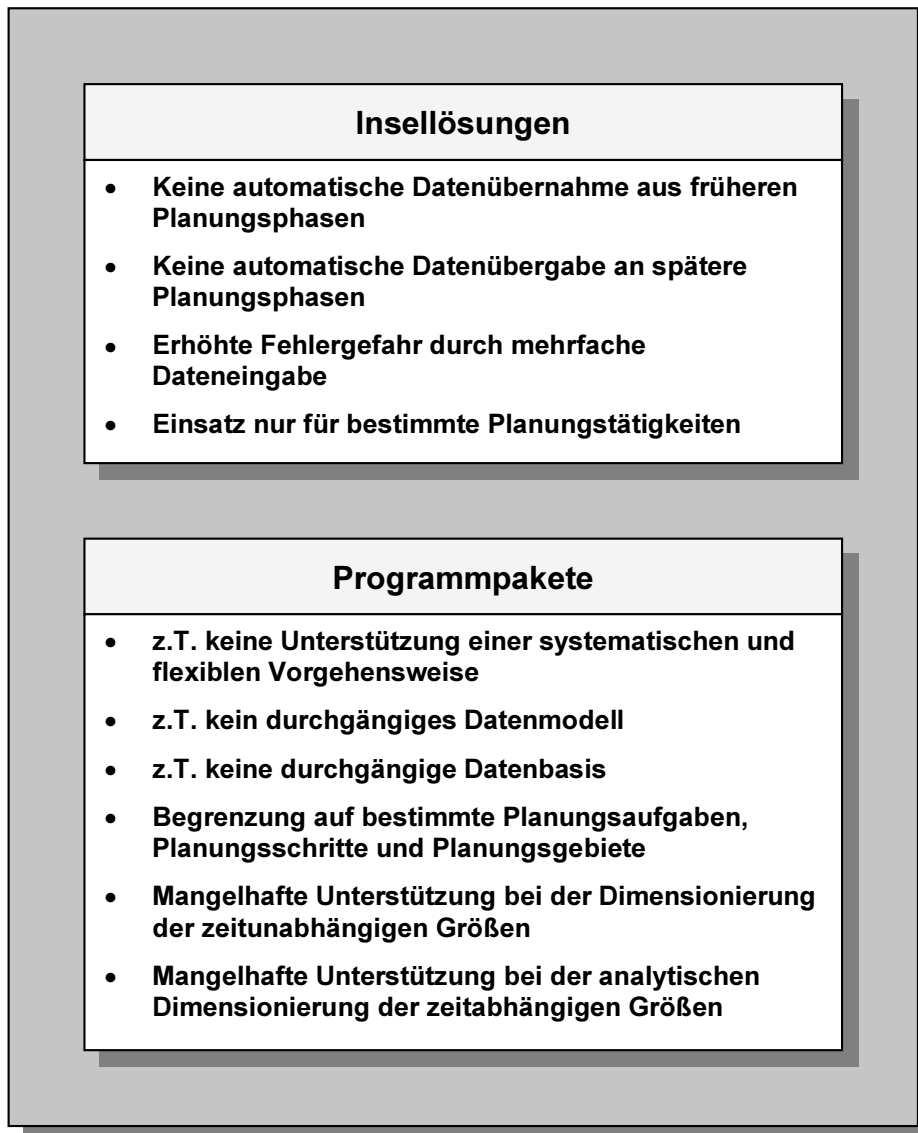


Bild 4.7: Schwächen existierender Rechnerwerkzeuge zur Planung von Materialflußsystemen

- durchgängige Unterstützung des Planungsprozesses von den Vorarbeiten (Materialflußuntersuchung) über die Strukturplanung bis hin zur Systemplanung und
- tiefgreifende Unterstützung des Planers bei der analytischen Dimensionierung sowohl der zeitabhängigen als auch der zeitunabhängigen Größen.

Diese Forderungen sollen in den nachfolgenden Überlegungen zur Konzeptfindung und bei der Entwicklung eines Planungswerkzeuges Eingang finden.

5 Ziele und Konzepte

5.1 Gesamtkonzeption

5.1.1 Planungssystematik

Eine Grundvoraussetzung, um die wachsenden Ansprüche bei der Planung von Materialflußsystemen bezüglich Komplexität, Umfang, Planungssicherheit und Geschwindigkeit beherrschen zu können, ist die konsequente Verwendung einer systematischen Vorgehensweise, bei der der Planungsprozeß in iterativen Schritten durchlaufen werden kann. Eine weitere wesentliche Forderung ist die durchgängige Unterstützung des Planungsprozesses gemäß des beschriebenen Planungsablaufes (siehe Kapitel 3.8) von den Vorarbeiten (Materialflußuntersuchung) über die Strukturplanung bis hin zur Systemplanung. In diesem Fall kann die Planung der technischen Systeme auf der Planung der Materialflüsse aufbauen und diese ermöglichen. Werden die beiden Forderungen zusammengefaßt, so läßt sich die in Bild 5.1 dargestellte Planungssystematik ableiten, die die Grundlage für alle nachfolgenden Überlegungen bildet.

Wie beim Planungsablauf wird auch innerhalb der Planungssystematik zwischen den Phasen Vorarbeiten, Grobplanung und Feinplanung unterschieden. Die Grobplanungsphase wiederum läßt sich in die Strukturplanung und Systemplanung untergliedern. Die Grenzen zwischen den einzelnen Planungsschritten sind in der Planungspraxis jedoch fließend und die Schritte überlappen sich häufig.

Da der zugrundeliegende Planungsablauf sowohl für verschiedene Planungsaufgaben (Neu-, Um- und Erweiterungsplanung) als auch für unterschiedliche Planungsgebiete (Industrie, Handel und Dienstleistung) Gültigkeit besitzt, läßt sich die darauf aufbauende Planungssystematik ebenfalls für verschiedenste Problemstellungen einsetzen. Abhängig von deren Art und Größe müssen dabei nicht alle angegebenen Planungsschritte und -phasen bearbeitet werden. Genausowenig sind die Iterations Schleifen immer gleich häufig zu durchlaufen.

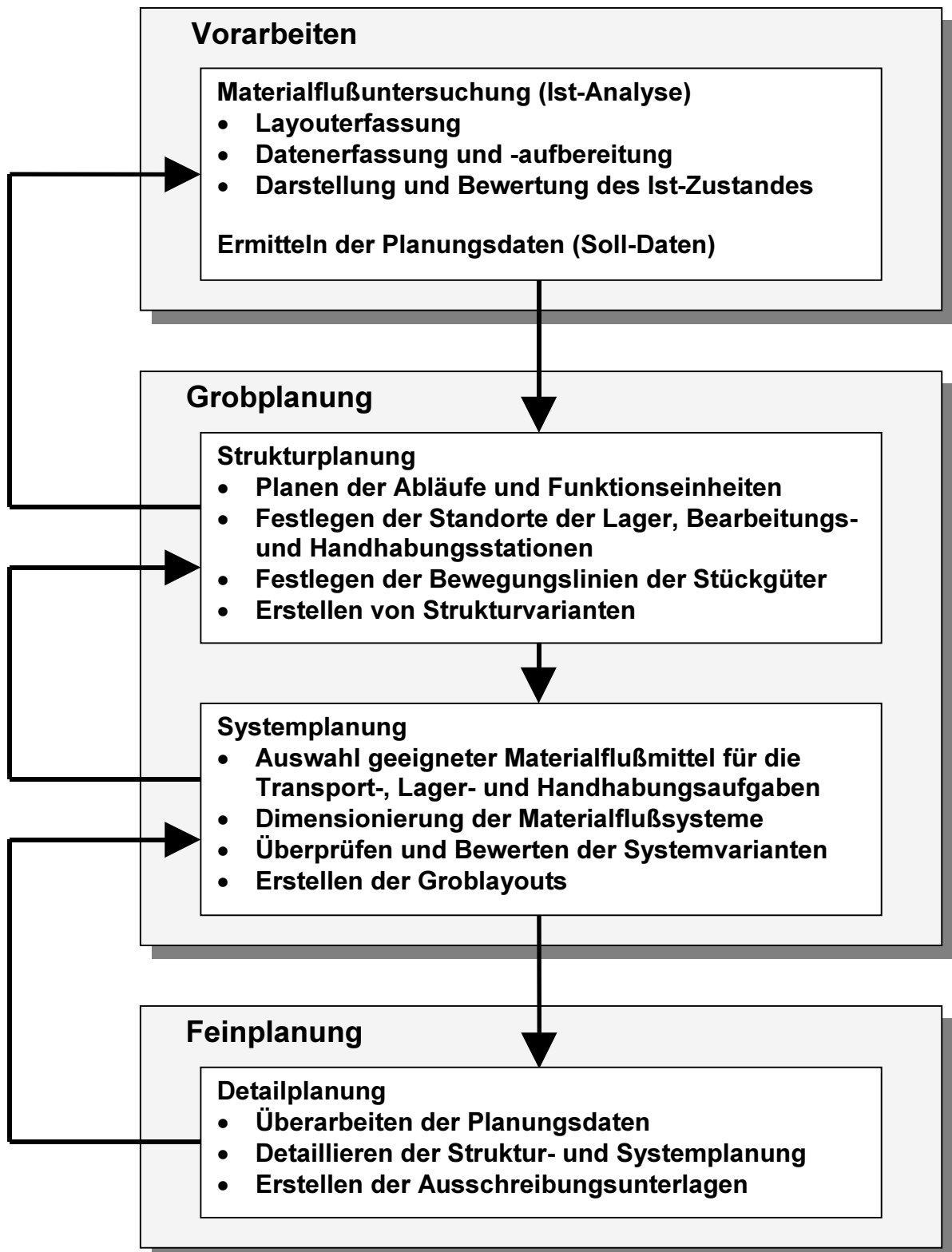


Bild 5.1: Planungssystematik für eine durchgängige Planung von Materialflußsystemen

5.1.2 Flexibilität und Modularität

Um die geforderte Planungssystematik in eine durchgängige Rechnerunterstützung integrieren zu können, muß diese die einzelnen Planungsschritte aus Bild 5.1 durch ihre Funktionalitäten unterstützen. Dabei soll der Planer nicht durch einen starren, von der Rechnerunterstützung vorgegebenen Planungsablauf eingeschränkt werden. Vielmehr muß sie die individuelle Planungsvorgehensweise verschiedener Planer ermöglichen.

Abhängig von Art und Größe der Planungsprojekte kann die notwendige Planungstiefe sehr stark variieren. Der Planer muß deshalb die Möglichkeit besitzen, eine durchgängige Rechnerunterstützung in unterschiedlichen Planungstiefen, wie z.B.

- als reine Zeichenhilfe für Transportmittel,
- zur groben Auslegung von Materialflußsystemen oder
- zur Optimierung von Steuerungsstrategien eines Fahrzeugpools

einzusetzen.

Je nach Planungsaufgabe und Planungsgebiet müssen meist nicht alle Planungsschritte im Planungsablauf bearbeitet werden. So kann z.B. bei einer Neuplanung auf eine Ist-Analyse verzichtet werden.

Um die genannten Anforderungen zu erfüllen, muß eine durchgängige Rechnerunterstützung die Möglichkeit bieten, die verschiedenen Planungsschritte optional zu bearbeiten (Bild 5.2). Darüber hinaus muß auch die zeitliche Reihenfolge, in der die für ein Planungsprojekt erforderlichen Schritte erledigt werden, in einem sinnvollen Rahmen vom Planer frei wählbar sein.

Damit die geforderte Flexibilität gewährleistet werden kann, wird für die zu unterstützenden Planungsschritte ein modulares Konzept entwickelt (Bild 5.3). Die einzelnen Module entsprechen dabei im wesentlichen den in Bild 5.1 zusammengefaßten Planungstätigkeiten innerhalb der Planungssystematik und sollen den Planer beim Bearbeiten der jeweiligen Planungsschritte von Routinetätigkeiten entlasten. Darüber

hinaus müssen sie weitgehend unabhängig voneinander aufrufbar sein, damit sie die für unterschiedliche Planungsprojekte, Planungsvorgehensweisen und Planungstiefen notwendige Flexibilität sicherstellen können.

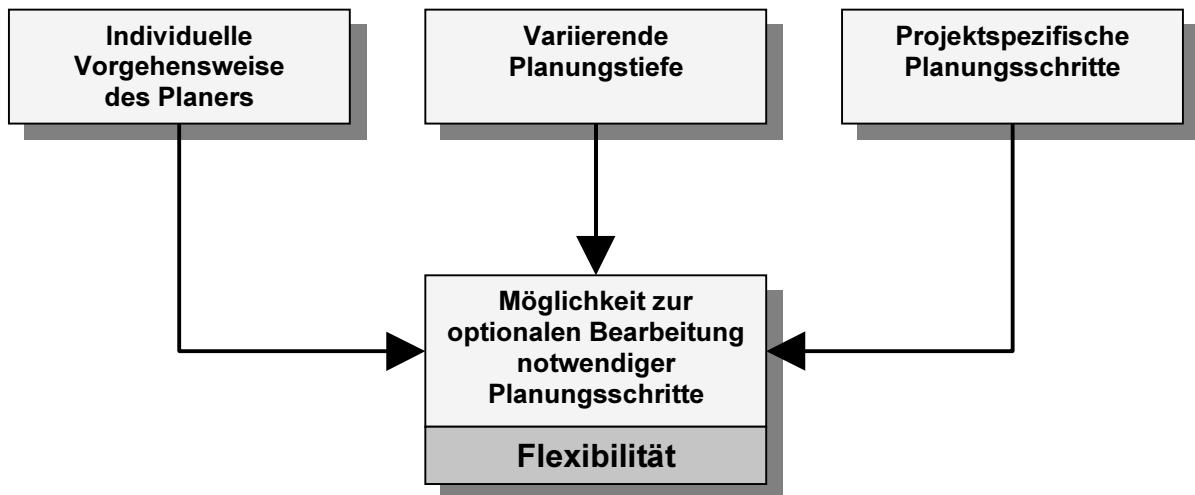


Bild 5.2: Flexibilität als Anforderung an eine durchgängige Rechnerunterstützung

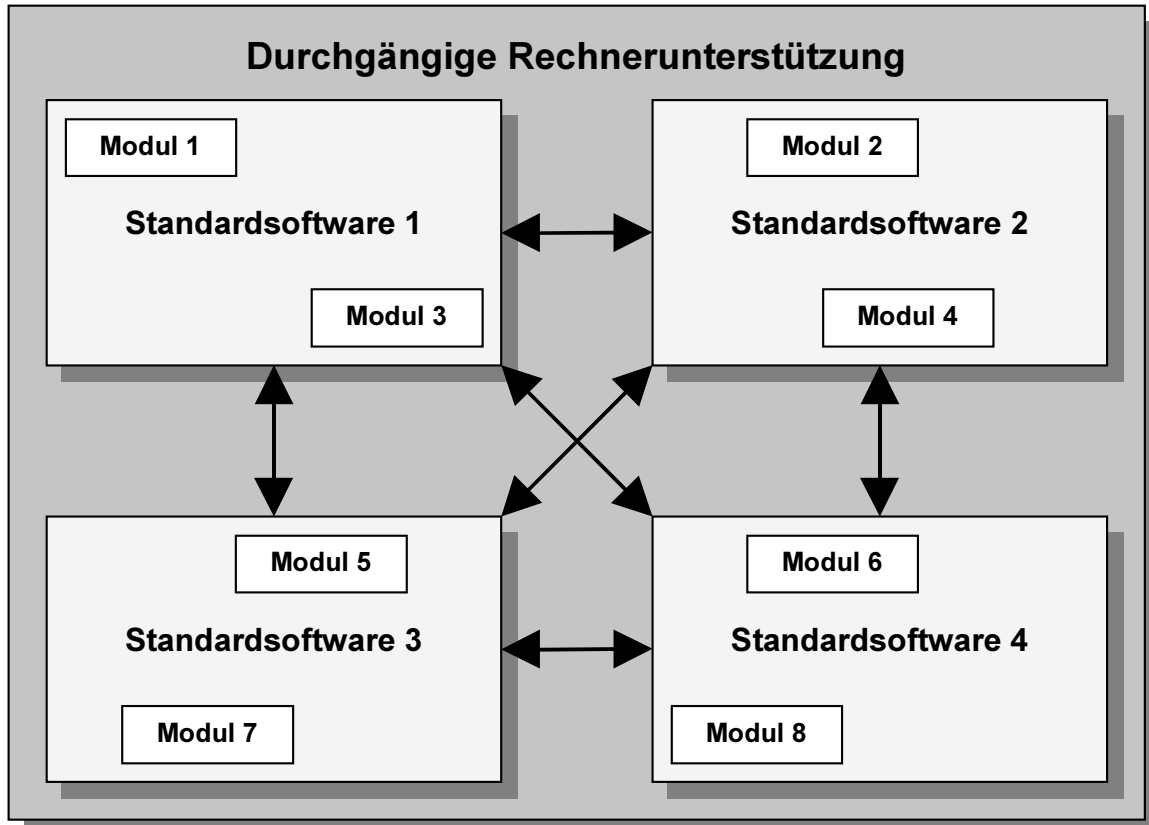


Bild 5.3: Flexibles Modulkonzept zur Unterstützung der einzelnen Planungsschritte

Die Analyse der vorhandenen rechnergestützten Planungshilfsmittel (siehe Kapitel 4) hat gezeigt, daß einige Grundfunktionalitäten zur Planung von Materialflußsystemen bereits durch kommerzielle Standardsoftware abgedeckt werden können. Um die Anzahl der zu entwickelnden Grundfunktionalitäten in angemessenen Grenzen zu halten, ist es deshalb von großem Vorteil, die Planungsmodule auf Standardsoftware aufzubauen. Zusammen mit dieser können sie dann zu einer durchgängigen Rechnerunterstützung integriert werden.

Die Grundfunktionalitäten und Erweiterungsmöglichkeiten, die die verschiedenen Arten von Standardprogrammen (z.B. CAD, Datenbank, Simulation und Textverarbeitung) zur Verfügung stellen, unterstützen die Entwicklung der einzelnen Module in unterschiedlicher Qualität und Quantität. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die benötigten Modulfunktionalitäten herauszuarbeiten und die für die Entwicklung der Module geeignetsten Softwareprogramme auszuwählen. In Tabelle 5.1 werden die Module bzw. Planungsschritte mit ihren Hauptfunktionalitäten beschrieben und die Zuordnungen zu den entsprechenden Standardprogrammen vorgenommen.

Neben den Planungsfunktionalitäten, die innerhalb der Module aus Tabelle 5.1 entwickelt werden müssen, stehen zur Bearbeitung von Planungsprojekten sämtliche Funktionalitäten der verwendeten Standardprogramme zur Verfügung. So unterstützen z.B. die grundlegenden CAD- und Datenbankfunktionalitäten den Planer beim Erstellen der verschiedenen Layouts und beim Aufbereiten und Überarbeiten der Planungsdaten (siehe Kapitel 4.1 und Kapitel 4.3).

5.1.3 Durchgängigkeit der Daten

Im Verlauf der Materialflußuntersuchung und der Materialflußplanung entstehen eine Vielzahl von Daten. Diese müssen zum Zeitpunkt ihrer Entstehung oder zu einem späteren Planungszeitpunkt von allen am Planungsprozeß Beteiligten auf dem aktuellsten Stand genutzt werden können. Dazu ist es erforderlich, in allen Planungsschritten bzw. von allen Modulen aus, und dies durchgängig von den Vorarbeiten bis zur Systemplanung, auf einmal entstandene Daten zugreifen zu können. Dadurch wird sowohl der Aufwand der mehrfachen Eingabe bereits bekannter Daten als auch die damit verbundene Fehleranfälligkeit verringert, was sich in einer Reduzierung der Planungszeit und einer Erhöhung der Planungssicherheit niederschlägt.

Tabelle 5.1: Planungsmodule und geeignete Standardsoftware

| Modul bzw. Planungsschritt | Hauptfunktionalität | Softwarebasis |
|----------------------------|--|---|
| Modul zur Layouterfassung | Erfassen existierender Layouts über Dateischnittstellen | CAD-System |
| Modul zur Datenerfassung | Erfassen von Produkten, Abläufen und Funktionseinheiten über Dateischnittstellen | CAD-System, Datenbank |
| Modul zur Darstellung | Darstellen vorhandener Flächen, Funktionseinheiten, Wege, baulicher Randbedingungen, Materialflüsse und Materialflußsysteme | CAD-System |
| Modul zur Strukturplanung | Erzeugen von Produkten, Abläufen und Funktionseinheiten; Festlegen der Standorte der Funktionseinheiten und der Bewegungslinien der Materialflüsse; Aufbereiten und Überarbeiten der Planungsdaten | CAD-System, Datenbank |
| Modul zur Systemauswahl | Auswahl geeigneter Materialflußmittel für die gegebenen Materialflußaufgaben | CAD-System, Datenbank |
| Modul zur Dimensionierung | Grobdimensionierung der Materialflußsysteme | CAD-System, Datenbank |
| Modul zur Überprüfung | Dynamische Analyse des Systemverhaltens | Datenbank, Simulation |
| Modul zur Bewertung | Unterstützung bei verschiedenen Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung | CAD-System, Datenbank |
| Modul zur Ausschreibung | Unterstützung bei der Erstellung von Ausschreibungsunterlagen | CAD-System, Datenbank, Textverarbeitung |

Zur Erfüllung dieser Forderung ist es sinnvoll, eine zentrale Datenhaltung anzustreben, wie sie sich z.B. durch die Integration eines Datenbanksystems realisieren läßt.

Durch die Verwendung einer durchgängigen Datenbasis für alle entwickelten Planungsmodule in Form einer Datenbank kann sichergestellt werden, daß in jedem Planungsschritt, bzw. von jedem Modul aus, die bereits vorhandenen Daten genutzt werden können (siehe Kapitel 6.1).

Bild 5.4 zeigt eine schematische Darstellung der Datenbankintegration mit möglichen Verbindungen zwischen den einzelnen Planungsmodulen und der Datenbank. Der Vorteil dieses Integrationskonzeptes besteht in seiner Flexibilität bei Erweiterungen um zusätzliche bzw. bei Änderungen vorhandener Module. So können in eine durchgängige Rechnerunterstützung auch nachträglich weitere Planungsfunktionalitäten integriert bzw. die vorhandenen verbessert werden.

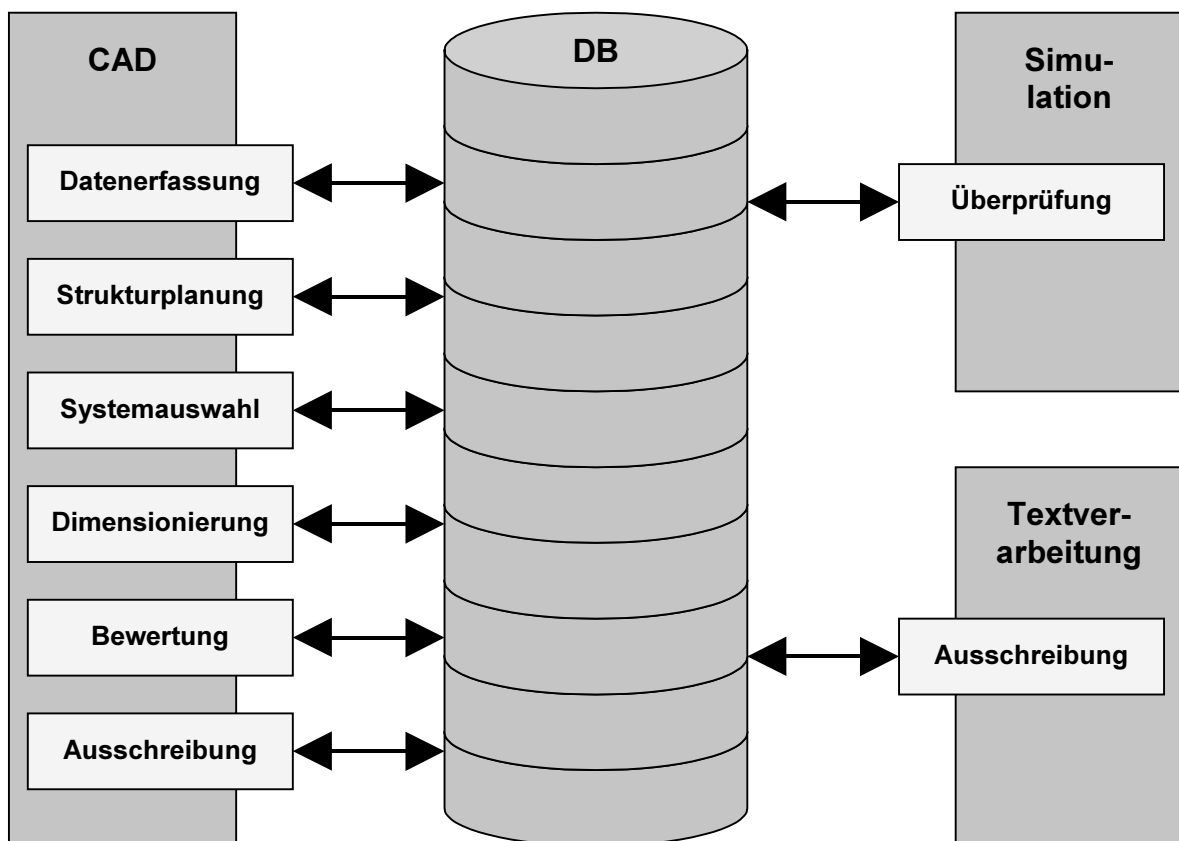


Bild 5.4: Schematische Darstellung der Datenbankintegration

Um ein reales Materialflußsystem im Rechner modellieren zu können, sind sowohl Elemente (z.B. Objekte, Quellen, Senken, Verbindungselemente und Stationen) als auch Beschreibungs- und Bewertungsgrößen (z.B. Objektgeometrie, Menge, Zeit,

Geschwindigkeit und Durchsatz) erforderlich [Gro-84]. Diese Daten werden in unterschiedlichen Planungsschritten benötigt. Neben einer durchgängigen Datenbasis, die die prinzipielle Zugriffsmöglichkeit der einzelnen Planungsmodule auf die Planungsdaten sicherstellt, ist deshalb auch die Verwendung eines durchgängiges Datenmodells unbedingt erforderlich (siehe Kapitel 6.2). Dieses sorgt dafür, daß die Informationen und Daten der einzelnen Planungsschritte in gleichen Einheiten, Datentypen, Datengruppen, Datensätzen und Abhängigkeiten gelesen und abgelegt werden können. Tabelle 5.2 stellt diese Anforderung beispielhaft dar.

Tabelle 5.2: Gegenüberstellung nicht kompatibler Datenmodelle

| | Datenmodell 1 | Datenmodell 2 |
|--------------|--|--|
| Einheit | 3000mm Längenangabe in Millimeter | 3m Längenangabe in Meter |
| Datentyp | 12.345 Wert als Gleitkommazahl | „12.345“ Wert als Zeichenkette |
| Datengruppe | 3000mm, 2000mm, 1000mm Länge, Breite und Höhe als einzelne Werte | (3000mm, 2000mm, 1000mm) Länge, Breite und Höhe als Vektor |
| Datensatz | Rollenbahn 1: Geschwindigkeit Geschwindigkeitsangabe durch die Geschwindigkeit selbst | Rollenbahn 1: Länge, Zeit Geschwindigkeitsangabe durch eine Länge und die dafür benötigte Zeit |
| Abhängigkeit | Stapler 1: Europalette, Gitterbox, Industriepalette Stapler 1 kann Europalette, Gitterbox und Industriepalette transportieren | Gitterbox: Stapler 1, Kran 5, Rollenbahn 3 Gitterbox kann von Stapler 1, Kran 5 und Rollenbahn 3 transportiert werden |

Wird kein durchgängiges Datenmodell ausgearbeitet und integriert, so kann beim Zugriff auf bereits vorhandene Planungsdaten ein erheblicher zusätzlicher Aufwand

durch Formatieren, Umrechnen und Aufbereiten der Daten entstehen. Ein weiterer Nachteil ist in der größeren Fehleranfälligkeit zu sehen, da genau bekannt sein muß, welcher Planungsschritt bzw. welches Planungsmodul mit welchem Datenmodell arbeitet.

5.1.4 Softwarekonzept

Unter Berücksichtigung der genannten Ziele und der zu ihrem Erreichen entwickelten Teilkonzepte kann das in Bild 5.5 dargestellte Softwarekonzept einer durchgängigen Rechnerunterstützung abgeleitet werden. Es enthält sowohl die geforderte Planungssystematik als auch das für eine flexible Planung notwendige Modulkonzept. Darüber hinaus ist eine durchgängige Datenbasis in Form einer zentralen Datenbankanwendung integriert, die die Verwendung eines durchgängigen Datenmodells ermöglicht.

5.2 Verwendete Entwicklungsbasis

Zur Umsetzung des Softwarekonzeptes nach Bild 5.5 muß eine anforderungsgerechte Entwicklungsbasis zusammengestellt werden. Dafür stehen auf dem Markt eine Vielzahl eingeführter Rechner- und Betriebssysteme sowie Standardprogramme zur Verfügung, aus denen eine geeignete Auswahl zu treffen ist.

Beim Erstellen des Modulkonzeptes (siehe Kapitel 5.1.2) hat sich gezeigt, daß es sinnvoll ist, die benötigten Planungsfunktionalitäten auf der Basis vorhandener Standardprogramme zu entwickeln. Da diese Programme bestimmte Grundfunktionalitäten bereits abdecken, läßt sich mit ihrer Hilfe der Realisierungsaufwand beträchtlich reduzieren. Zu der Standardsoftware, die für die Umsetzung der Planungsfunktionalitäten geeignet ist, gehören nach Tabelle 5.1 bzw. Bild 5.5 ein CAD- und ein Datenbanksystem, ein Textverarbeitungsprogramm und ein Ablaufsimulationssystem. Sollen diese Standardprogramme vernetzt werden, so ist eine Systemumgebung erforderlich, die eine Installation der verschiedenen Programme auf einem Arbeitsplatz zuläßt. Darüber hinaus muß die Systemumgebung aus Gründen der Benutzerakzeptanz so leistungsfähig sein, daß die zu einer durchgängigen Rechnerunterstützung integrierten Programme parallel lauffähig sind.

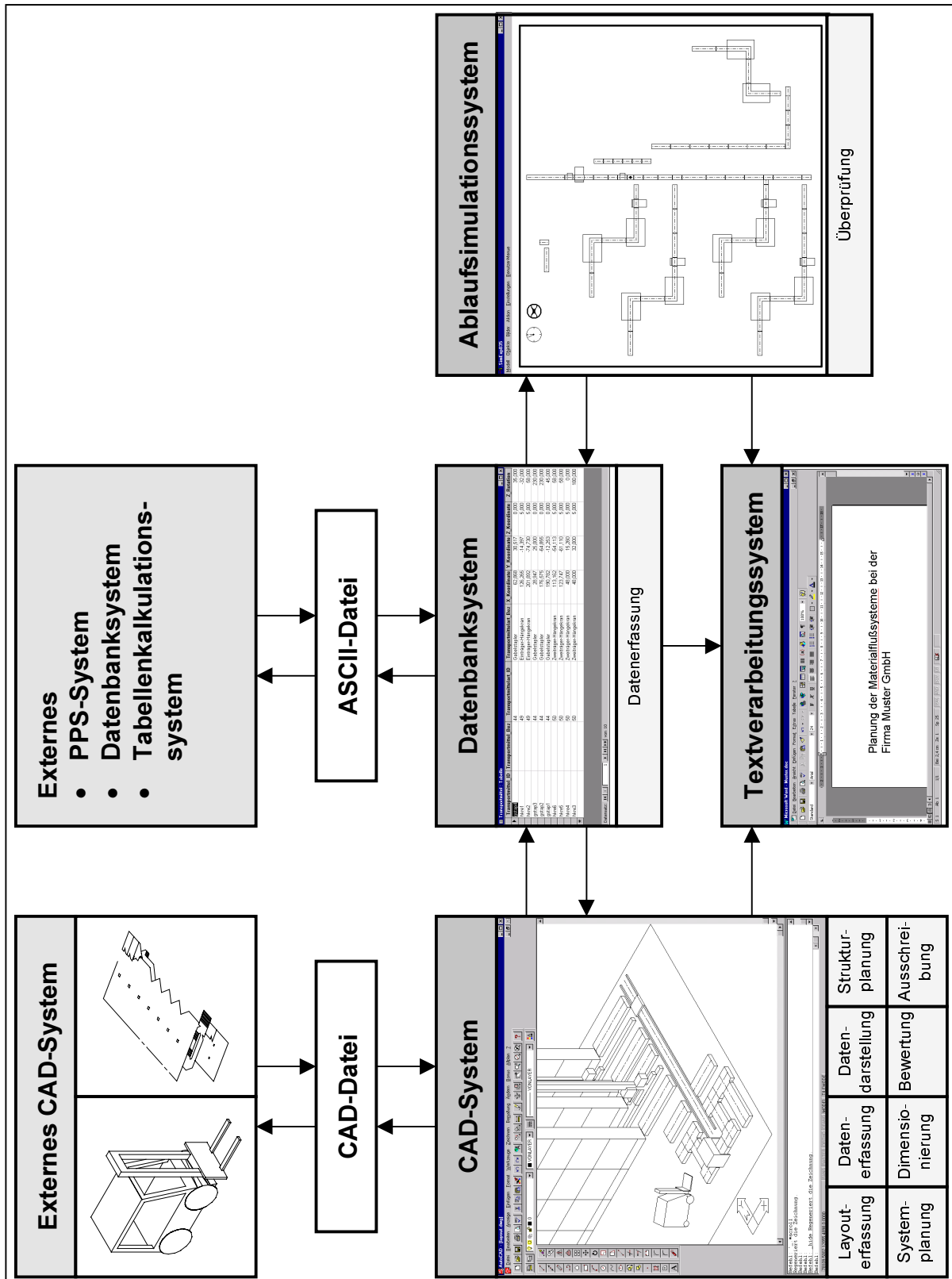


Bild 5.5: Softwarekonzept einer durchgängigen Rechnerunterstützung

Die rasant zunehmende Leistungsfähigkeit der Hardware bei gleichzeitig fallenden Preisen hat den Personal Computer in den letzten Jahren für immer mehr leistungsintensive Anwendungen brauchbar gemacht. Gerade bei großen CAD- und Datenbankanwendungen, die früher fast ausschließlich auf UNIX-Workstations und Großrechnern liefen, werden heutzutage immer häufiger leistungsfähige PC-Systeme eingesetzt. Aus diesen Gründen wird als Rechner- und Betriebssystem für die Entwicklungsbasis ein leistungsfähiger Personal Computer unter dem Betriebssystem Windows NT der Firma Microsoft ausgewählt, der mit den marktüblichen Ein- und Ausgabegeräten ausgestattet ist.

Für die Auswahl der oben genannten Standardprogramme sind neben den vorhandenen Funktionalitäten auch die Möglichkeiten zur Erweiterbarkeit um eigene Anwendungen, die Integrationsfähigkeit in eine durchgängige Rechnerunterstützung, die Lauffähigkeit unter dem ausgewählten Betriebssystem, die Benutzerfreundlichkeit, der Preis sowie die Marktstellung der Programme zu berücksichtigen. Auf Basis dieser Kriterien wird deshalb eine Nutzwertanalyse durchgeführt, um die für das Softwarekonzept geeignetsten Standardprogrammen auswählen zu können.

Aufgrund der zur Zeit noch höheren Kompatibilität und Leistungsfähigkeit gegenüber objektorientierten und objektrelationalen Datenbanksystemen (siehe Kapitel 4.3) [Wag-97] wird zur Umsetzung des Softwarekonzeptes ein relationales Datenbanksystem eingesetzt. Unter den relationalen Systemen wiederum fällt die Wahl auf das Datenbankprogramm ACCESS der Firma Microsoft [Mic-96], da es sich vor allem durch seinen hohen Bekanntheitsgrad, seine einfache Installation und seinen niedrigen Preis auszeichnet. Die zum Teil geringere Leistungsfähigkeit gegenüber anderen Datenbanksystemen ist für diese Anwendung nicht so entscheidend, da ACCESS im Rahmen der durchgängigen Rechnerunterstützung im wesentlichen die Rolle einer Schnittstelle für die Planungsdaten zwischen den verschiedenen Programmen übernehmen soll.

Als Basis der statischen Planungsfunktionalitäten wird vor allem wegen seiner hohen Marktdurchdringung, seiner guten Erweiterbarkeit und seiner einfachen Integrationsfähigkeit das CAD-System AutoCAD der Firma AutoDesk gewählt [Aut-97a]. So entfallen rund 10 Prozent des Weltmarktes für konstruktives Design auf die Firma AutoDesk, die damit den ersten Platz in diesem Bereich einnimmt [N.N.-96a]. Das CAD-System AutoCAD bietet eine Reihe verschiedener Programmierschnittstellen

zur benutzerspezifischen Anwendungsentwicklung, die das Programm sehr offen und damit gut erweiterbar und integrationsfähig machen [Aut-97b]. Die Interpretersprache AutoLISP z.B. eignet sich sehr gut für eine Vergrößerung des Funktionsumfangs hinsichtlich erforderlicher Planungsfunktionalitäten. So können zum einen die erstellten Anwendungen sehr einfach in das Programm eingebunden werden, zum anderen ermöglicht die dynamische Variablenstruktur eine einfache Handhabung der planungsspezifischen Daten. Die auf der Programmiersprache C++ basierende ARX-Schnittstelle (AutoCAD Runtime Extension) bietet durch ihre ASI-Funktionsbibliotheken (AutoCAD SQL Interface) die Möglichkeit der Anbindung an relationale Datenbanken und erleichtert so die Integration von AutoCAD in eine durchgängige Rechnerunterstützung.

Zur Dokumentation der Planungsergebnisse ist ein Programm zur Textverarbeitung erforderlich, das zum Erstellen von Berichten und Ausschreibungsunterlagen geeignet ist. Besondere Beachtung muß die Unterstützung der gängigsten Filter für den Import von Grafiken, Texten, Tabellen und Diagrammen finden, da die Informationen von den anderen Programmen in dieser Form zur Verfügung gestellt werden und in das Textverarbeitungssystem eingebunden werden müssen. So kann jedes beliebige Standardprogramm zur Textverarbeitung verwendet werden, das den genannten Anforderungen entspricht. Im Rahmen des Planungswerkzeuges wird das Textverarbeitungsprogramm WORD der Firma Microsoft ausgewählt.

Als Simulationssystem wird das Programm SIMPLE++ der Firma AESOP eingesetzt [AES-98]. Es zeichnet sich vor allem durch ein breitgefächertes Einsatzspektrum aufgrund seines objektorientierten Bausteinkonzeptes aus. Darüber hinaus sorgt die zur Verfügung stehende Programmiersprache SimTalk zusammen mit der Entwicklungsmöglichkeit von Dialogfenstern für eine gute Erweiterungsfähigkeit. Mit einer Reihe von IPC-Schnittstellen (Inter Process Communication) wie RPC (Remote Procedure Call) und DDE (Dynamic Data Exchange) kann SIMPLE++ andere Programme ansprechen und selbst angesprochen werden, womit die Integrationsfähigkeit sichergestellt wird [Tec-99b].

Die verwendete Entwicklungsbasis besteht somit aus folgenden Komponenten:

- Betriebssystem: Windows NT der Firma Microsoft,
- CAD-System: AutoCAD der Firma Autodesk,

- Datenbanksystem: ACCESS der Firma Microsoft,
- Textverarbeitungsprogramm: nicht explizit festgelegtes Standardprogramm (hier: WORD der Firma Microsoft),
- Ablaufsimulationssystem: SIMPLE++ der Firma AESOP.

Auf Basis des Softwarekonzeptes nach Bild 5.5 läßt sich die verwendete Entwicklungsbasis wie in Bild 5.6 dargestellt beschreiben.

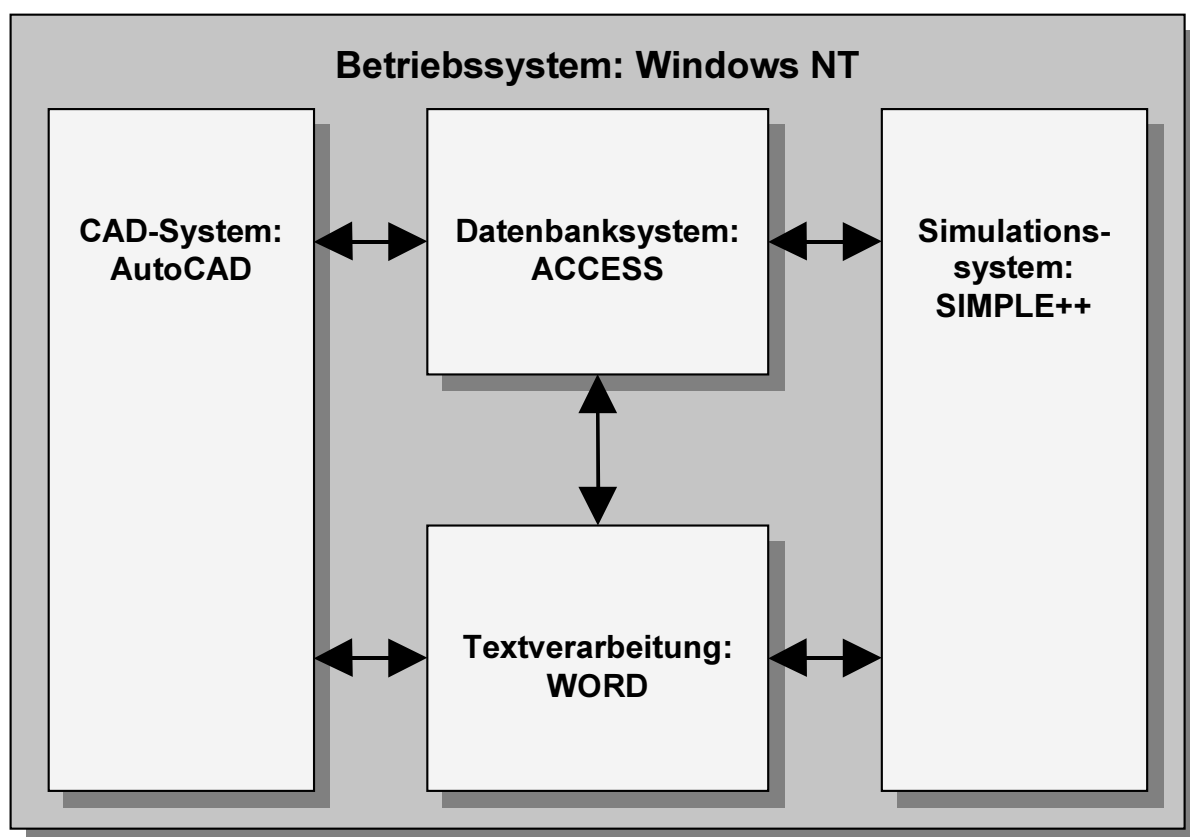


Bild 5.6: Entwicklungsbasis zur Umsetzung des Softwarekonzeptes einer durchgängigen Rechnerunterstützung

5.3 Schwerpunkte der Entwicklung

Da das Datenbanksystem für die Datenhaltung eine zentrale Rolle spielt und die grundlegenden Planungsfunktionalitäten auf dem CAD-System aufbauen, werden diese beiden Systeme als die wesentlichen Teilbereiche des vorgestellten Software-

konzeptes eingestuft und im Rahmen der vorliegenden Arbeit zu einem computerintegrierten Planungswerkzeug zusammengefügt. Bei der Realisierung des Planungswerkzeuges werden die für die Entwicklungsbasis ausgewählten Standardsoftwarepakete verwendet und die in der Gesamtkonzeption (siehe Kapitel 5.1) beschriebenen Überlegungen berücksichtigt.

So werden die Planungsmodule des CAD- und Datenbanksystems umgesetzt, die die Materialflußuntersuchung (Ist-Analyse), die Strukturplanung und die Systemplanung unterstützen. Das sind im einzelnen die Module zur

- Layouterfassung,
- Datenerfassung,
- Darstellung,
- Strukturplanung,
- Systemauswahl und
- Dimensionierung.

Mit Hilfe dieser Module soll eine parametrische Objektbibliothek (siehe Kapitel 6.3) und eine Möglichkeit zur statischen Auslastungsberechnung (siehe Kapitel 6.4) verwirklicht werden. Diese beiden Schwerpunkte dienen der Planung von Materialflußsystemen auf der Grundlage statischer Materialflüsse. Damit soll eine tiefgreifende Unterstützung des Planers bei der analytischen Dimensionierung der zeitabhängigen und zeitunabhängigen Größen von Materialflußsystemen ermöglicht werden, wie sie als Forderung aus der Analyse vorhandener, rechnergestützter Planungshilfsmittel abgeleitet wird (siehe Kapitel 4.7).

Ein weiterer Schwerpunkt der Entwicklungen liegt auf der Umsetzung eines durchgängigen Datenmodells (siehe Kapitel 6.1) und einer durchgängigen Datenbasis (siehe Kapitel 6.2). Hierbei müssen neben den Anforderungen der im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnden Module auch die Anforderungen der Module zur

- Überprüfung,
- Bewertung und
- Ausschreibung,

berücksichtigt werden, die zu einem späteren Zeitpunkt in das Planungswerkzeug integriert werden sollen.

Bild 5.7 zeigt zusammenfassend die Schwerpunkte der Entwicklungen, die im Rahmen des computerintegrierten Planungswerkzeuges realisiert und in den folgenden Kapiteln näher beschrieben werden.

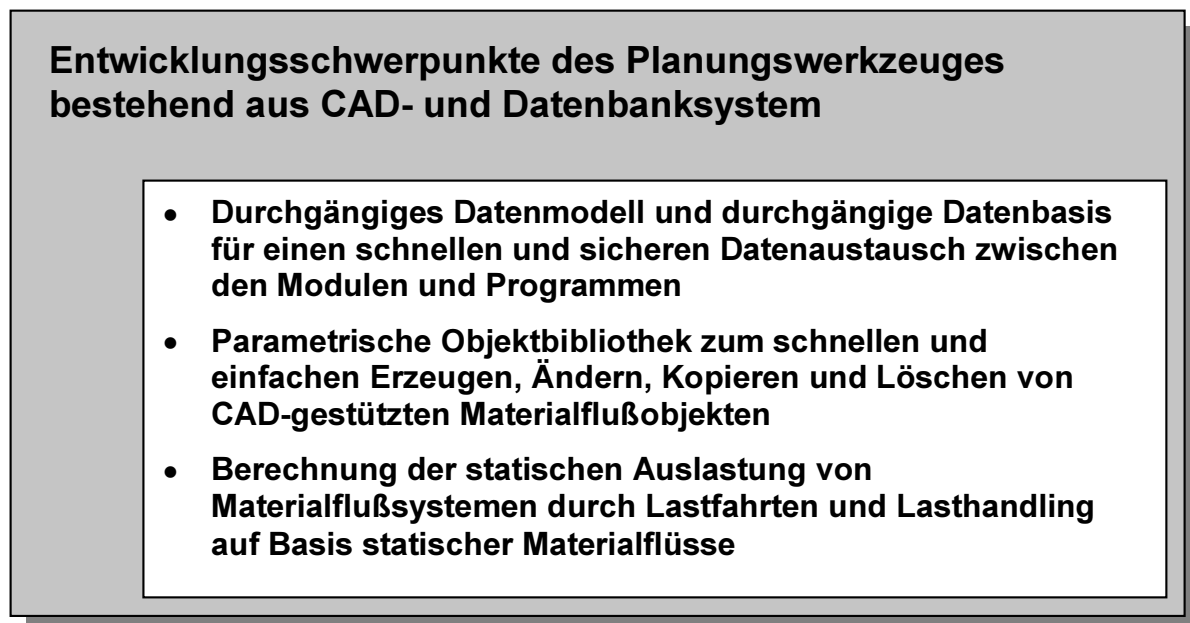


Bild 5.7: Entwicklungsschwerpunkte des computerintegrierten Planungswerkzeuges

5.3.1 Parametrische Objektbibliothek

Bei der CAD-gestützten Planung von Materialflußsystemen muß eine Vielzahl von Materialflußmitteln erzeugt, geändert, kopiert und gelöscht werden. So können z.B. beim Erstellen von Planungsvarianten oft ganze Teilbereiche anderer Varianten übernommen werden. Unterscheiden sich diese Teilbereiche jedoch bezüglich einiger Parameter von der Ursprungsvariante, ist ein aufwendiges Neuzeichnen der im Prinzip schon vorhandenen Lösung notwendig.

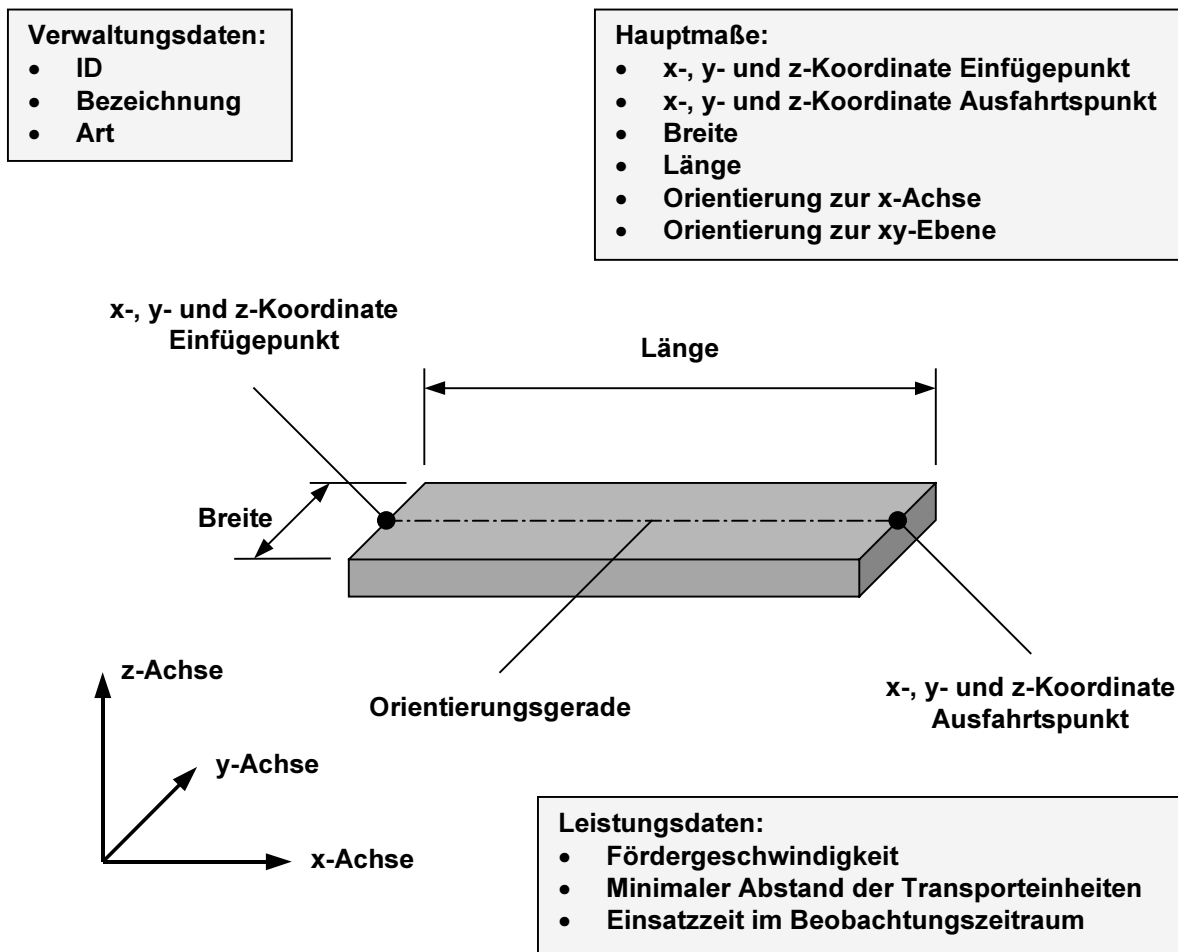


Bild 5.8: Parametrische Objektbeschreibung eines Stetigförderer-Geradstückes

Um den Planer von dieser zeitaufwendigen Routinetätigkeit zu entlasten, ist ein konsequent parametrisches Konzept einer Objektbibliothek erforderlich, das die Dimensionierung der geometrischen Abmessungen tiefgreifend unterstützt (siehe Kapitel 6.3). Bei dem geforderten Konzept werden die materialflußtechnischen Objekte nicht nur durch gezeichnete Grafikelemente (Linien, Flächen, Volumenkörper usw.), sondern auch durch ihre Hauptmaße beschrieben. Dazu erhalten die Grafikelemente bei ihrer Erstellung die Hauptmaße als Attribute angehängt und lassen sich über diese zu einem späteren Zeitpunkt identifizieren und editieren. Beim Editieren werden im Hintergrund liegende Zeichenroutinen angestoßen, die aus den Informationen der Hauptmaße wiederum die entsprechenden Materialflußobjekte generieren. Bild 5.8 zeigt beispielhaft die parametrische Objektbeschreibung eines Stetigförderer-Geradstückes. Neben Daten zur Objektverwaltung wie Transportmittel-ID, Transportmittel-Bezeichnung und Transportmittel-Art werden auch die Hauptmaße und

Leistungsdaten des Materialflußobjektes zu seiner grafischen Darstellung hinzugefügt. Es ist jedoch nicht erforderlich, sämtliche Maße einzugeben, die das grafische Objekt beschreiben. Im vorliegenden Fall wird z.B. nur die Breite und die Länge des Stetigförderers benötigt, die Höhe berechnet die im Hintergrund liegende Zeichenroutine des Stetigförderers aus der Breite und einem konstanten Faktor.

Die parametrische Beschreibung sollte sich jedoch nicht nur auf die Verwaltungsdaten und die Hauptmaße beschränken, sondern auch die Leistungsdaten umfassen. Diese werden zur Grobdimensionierung der Materialflußsysteme bezüglich ihrer zeitabhängigen Größen auf Basis der geplanten statischen Materialflüsse benötigt (siehe Kapitel 6.4).

Das parametrische Konzept der Objektbibliothek hat den Vorteil, beim Erzeugen, Ändern und Kopieren von Materialflußmitteln auf bereits eingegebene Daten zurückgreifen zu können. Gerade dadurch vereinfacht und beschleunigt sich das Erstellen des Planungsmodells im Rechner ganz erheblich, da die gleichen Daten nicht immer wieder von Hand in Dialogfelder eingegeben werden müssen. Darüber hinaus ist dieses Konzept durch seine vom Planungsgebiet unabhängige Objektbeschreibung für den Einsatz bei Problemstellungen in Industrie, Handel und Dienstleistung geeignet.

5.3.2 Statische Auslastungsberechnung

Als Ergebnis der Strukturplanung erhält der Planer eine Reihe von Strukturvarianten, bei denen die Standorte der Funktionseinheiten und z.T. auch die Bewegungslinien der Stückgüter festliegen (siehe Kapitel 3.8.2.1). Da auch die Produkte, Mengen und Abläufe bekannt sind, lassen sich die geplanten statischen Materialflüsse bestimmen und darstellen. Dies kann z.B. mit Hilfe von maßstabsgetreuen Sankey-Diagrammen oder Menge-Wege-Bildern geschehen (siehe Kapitel 3.8.1).

Im Rahmen der nachfolgenden Systemplanung steht nach der Auswahl qualitativ geeigneter Materialflußmittel deren Dimensionierung für eine ausreichende Transportleistung an. An dieser Stelle des Planungsprozesses werden jedoch auch heute noch in vielen Fällen die CAD-gestützten Planungssysteme der Strukturplanungsphase verlassen und externe alphanumerische Programme zur analytischen Dimensionierung mit einer Vielzahl von Ein- und Ausgabeparametern benutzt (siehe Kapitel

4.2 und Kapitel 4.7). Dazu muß ein Teil der im CAD-gestützten Planungssystem bereits vorhandenen Daten nochmals eingegeben werden. Im Gegensatz dazu verwenden einige Planungssysteme die zu diesem Zeitpunkt existierenden Planungsdaten durchgängig weiter (siehe Kapitel 4.6 und Kapitel 4.7). Sie lesen sie jedoch nach der Strukturplanung sofort in ein Simulationssystem ein, in dem noch viele weitere Eingaben notwendig sind, um ein vollständiges Simulationsmodell aufzubauen und die Materialflußsysteme dimensionieren zu können. Eine analytische Dimensionierung der zeitabhängigen Größen der Materialflußsysteme (Leistungsdaten) auf Basis der in der Strukturplanung ermittelten und dargestellten statischen Materialflüsse findet, wenn überhaupt, nur am Rande statt.

Aus diesem Grund ist ein Konzept für eine Grobauslegung der Materialflußsysteme zu erstellen, das den Planer in diesem Planungsschritt tiefgreifend unterstützt (siehe Kapitel 6.4). So muß dieses Konzept ein Erzeugen von Transportmitteln erlauben, das über eine alphanumerische Definition der Leistungsdaten hinausgehend auch eine grafische Definition ermöglicht und beide Teilbereiche zu einem Objekt zusammenfaßt (siehe Kapitel 6.3). Noch wichtiger als diese Forderung ist jedoch eine realistische Verknüpfung der Transporte mit Transportmitteln. Hier ist neben der Zuordnung des Transportaufkommens zwischen zwei Funktionseinheiten zu einem einzigen Transportmittel auch die Möglichkeit zu schaffen, die Transporte sowohl parallel (mengenmäßig) als auch seriell (streckenmäßig) aufzuteilen, und die entstandenen Teiltransporte verschiedenen Transportmitteln zuzuweisen. Bild 5.9 verdeutlicht diese Forderung in grafischer Form.

Auf der Basis seiner Leistungsdaten und der ihm zugewiesenen Transporte kann damit für jedes Transportmittel die Zeit berechnet werden, die es für Lastfahrten und die Aufnahme und Abgabe der Last (Lasthandling) im Beobachtungszeitraum benötigt. Wird diese Zeit zu seiner Einsatzzeit im Beobachtungszeitraum ins Verhältnis gesetzt, so ergibt sich die Auslastung aus Lastfahrt und Lasthandling. Die Einsatzzeit ist dabei die Summe aus Bereitschaftszeit und Betriebszeit.

Die analytische Dimensionierung der Leistungsdaten nach obigem Konzept hat den Vorteil, dem Planer durch eine grafische Darstellung der bereits definierten Materialflußsysteme einen besseren Überblick während der Planung zu verschaffen. Bei einfachen Systemen führt darüber hinaus die grobe Leistungsauslegung mit geringem Aufwand zu einer höheren Planungssicherheit. Die Daten der statischen

Auslegung können außerdem als Eingangsdaten zu einer späteren Feinauslegung mit Hilfe der Simulation dienen.

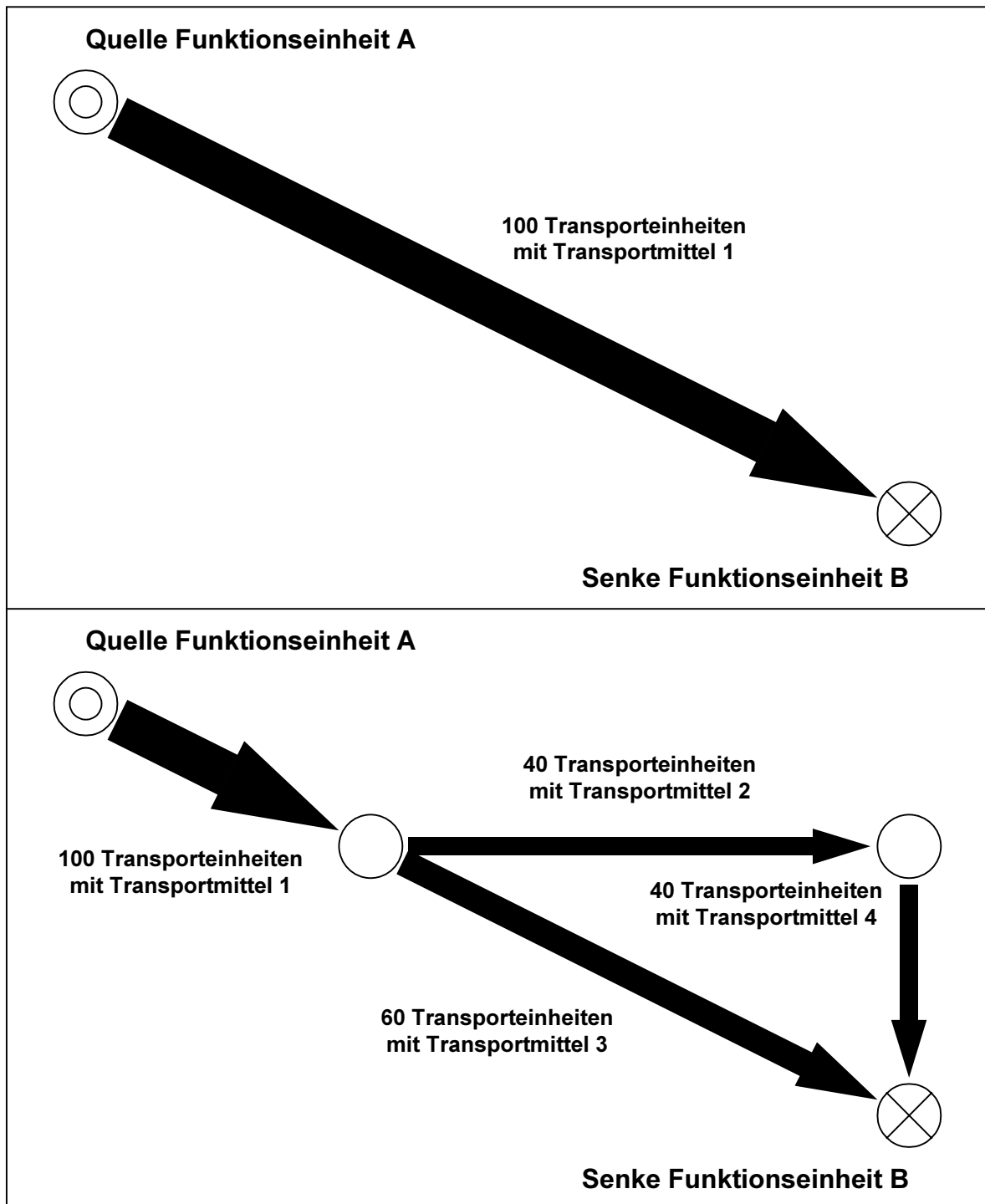


Bild 5.9: Unterteilung von Transporten zwischen zwei Funktionseinheiten

6 Realisiertes Planungswerkzeug

6.1 Durchgängige Datenbasis

6.1.1 Datenbanksystem

Die Verwendung einer durchgängigen Datenbasis reduziert die Planungszeit und erhöht die Planungssicherheit, da einmal eingegebene oder vom Planungswerkzeug erstellte Daten nicht nochmals eingegeben werden müssen. Darüber hinaus können die am jeweiligen Planungsprojekt Beteiligten zu jedem Zeitpunkt der Planung auf die aktuellen Daten zugreifen (siehe Kapitel 5.1.3).

Zur Realisierung der durchgängigen Datenbasis bietet sich der Einsatz eines Datenbanksystems an, das als Schnittstelle für die Planungsdaten die Integration der verschiedenen Softwaresysteme übernimmt. Besonders die Möglichkeit, mit Hilfe gezielter Datenbankabfragen genau die Daten aus der Vielzahl der Planungsdaten herauszufiltern, die ein bestimmtes Planungsmodul für die weitere Bearbeitung benötigt, spricht für die Verwendung einer Datenbankanwendung. Daneben leisten Datenbanksysteme auch bei der Pflege, Überarbeitung und Erstellung geeigneter Planungsdatenbasen wertvolle Dienste. Gerade zu Beginn der Planungsprojekte eignen sie sich sehr gut, um aus den vorhandenen EDV-Systemen der Unternehmen, wie z.B. PPS-Systemen, BDE-Systemen, Systemen des Rechnungswesens oder Leitständen, planungsrelevante Daten zu übernehmen. Die meisten dieser EDV-Systeme sind in der Lage, in verschiedenem Umfang Daten mit einer Standarddatenbank auszutauschen. Die Spannweite reicht dabei von der einfachen ASCII-Schnittstelle bis zum Austausch der kompletten Daten- und Tabellenstruktur.

Wegen seiner für diesen Anwendungsfall guten Eignung wird zur Entwicklung der durchgängigen Datenbasis das relationale Datenbanksystem ACCESS der Firma Microsoft eingesetzt (siehe Kapitel 5.2).

6.1.2 Integration und Flexibilität

ACCESS hat die vollständige Funktionalität einer relationalen Datenbank [Mic-96], d.h. es unterstützt die Aufgabenbereiche

- Datendefinition und -organisation,
- Datenmanipulation und
- Datensicherheit.

Wie andere relationale Datenbanksysteme auch, ist es in der Lage, über eine ODBC-Schnittstelle (Open Database Connectivity) mit anderen Softwaresystemen Daten auszutauschen. So kann sowohl das CAD-System AutoCAD als auch die Simulationssoftware SIMPLE++ über ODBC-Funktionalitäten an ACCESS angebunden werden.

ODBC ist eine einheitliche Datenbankschnittstelle unter Windows, die von Microsoft mit der Unterstützung zahlreicher Datenbankhersteller entwickelt wurde. Die ODBC-Schnittstelle trennt die Oberfläche einer Datenbankanwendung (Frontend) von dem Modul, das die physikalischen Datenzugriffe ausführt (Backend), und kann mit diesem kommunizieren. Die Schnittstelle besteht aus zwei Stufen, einem Treibermanager und mehreren Datenbanktreibern für unterschiedliche Datenbanksysteme. Jeder Datenbanktreiber regelt den Zugriff auf sein spezielles Datenbanksystem und ist daher oft von den entsprechenden Datenbankherstellern selbst entwickelt. Nachfolgend soll die Installation und Funktionsweise der ODBC-Schnittstelle am Beispiel der Integration von ACCESS und AutoCAD näher erläutert werden (Bild 6.1).

Zunächst muß in AutoCAD der ASI-ODBC-Treiber installiert werden. Dieser Treiber ist notwendig, um die ASI-Funktionsbibliotheken (AutoCAD SQL Interface) mit der ODBC-Schnittstelle des Betriebssystems, oder genauer mit dem Treibermanager der ODBC-Schnittstelle, zu verbinden. Dabei wird auch der Zugriffsname definiert, den die AutoCAD-Anwendung für den Zugriff auf ACCESS verwendet. Anschließend muß in der Systemsteuerung der ODBC-Datenbanktreiber für ACCESS installiert und mit dem oben definierten Zugriffsnamen verbunden werden.

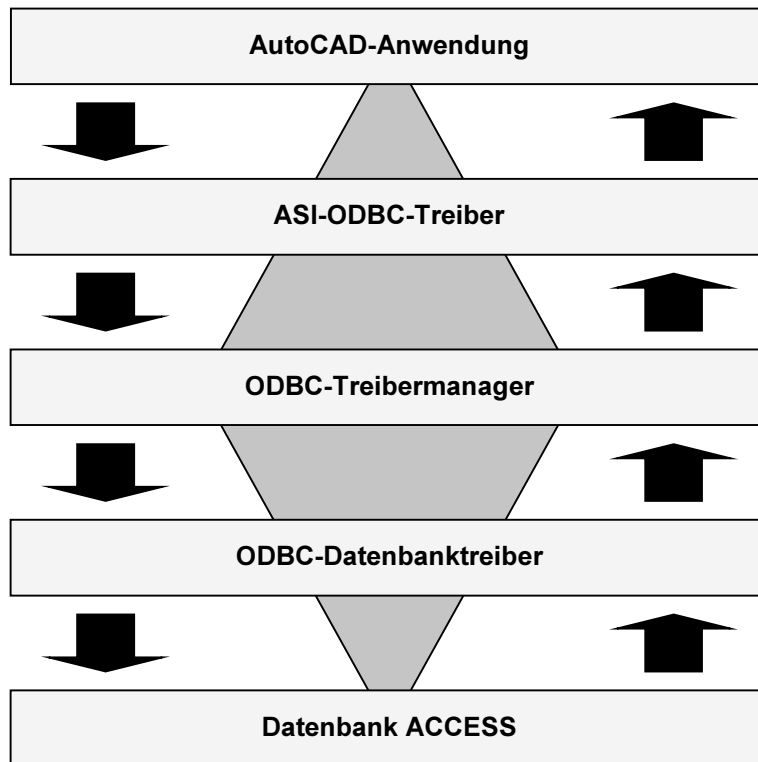


Bild 6.1: Integration von AutoCAD und ACCESS über ODBC

Werden nun von der AutoCAD-Anwendung SQL-Kommandos (Structured Query Language) abgesetzt, so rufen diese über den ASI-ODBC-Treiber zunächst die Bibliotheksfunktionen des Treibermanagers auf. Dieser schickt daraufhin die datenbankspezifischen SQL-Kommandos an den ODBC-Datenbanktreiber für ACCESS, der auf die Datenquelle zugreifen kann. Das Ergebnis einer Datenbankabfrage gelangt auf dem gleichen Weg wieder zurück zur AutoCAD-Anwendung.

Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, daß die in der AutoCAD-Anwendung erzeugten SQL-Kommandos unabhängig davon sind, welche relationale Datenbank benutzt und welcher dazugehörige ODBC-Datenbanktreiber auf Betriebssystemebene installiert wird. Die Verwendung der ODBC-Schnittstelle zur Realisierung der durchgängigen Datenbasis macht das Planungswerkzeug somit flexibel bezüglich der eingesetzten relationalen Datenbank.

Über die Flexibilität bei der Wahl der eingesetzten Datenbank hinaus bietet die Verwendung der ODBC-Schnittstelle auch Vorteile beim Einsatz des Modulkonzeptes (siehe Kapitel 5.1.2). Ohne Datenbankanwendung und ODBC-Schnittstelle müssen

die einzelnen Planungsmodule und Softwaresysteme über direkte Schnittstellen miteinander kommunizieren. Ändert sich ein Modul oder kommt ein neues hinzu, so müssen sämtliche Schnittstellen zu allen anderen Modulen und Softwaresystemen überarbeitet werden. Durch den Einsatz einer Datenbank mit ODBC-Schnittstelle reduziert sich der Änderungsaufwand auf den Bereich zwischen dem betroffenen Modul und der ODBC-Schnittstelle. Die direkten Schnittstellen zwischen den einzelnen Planungsmodulen werden somit zu unabhängigen Datenbankschnittstellen.

6.1.3 Datenkonsistenz

Die Datenbank stellt die von den einzelnen Planungsmodulen benötigten Daten zur Verfügung, d.h. die Module können gezielt Daten aus der Datenbank abfragen (Bild 5.4). Dazu werden die gesamten Planungsdaten, die zwischen dem CAD-System und der Datenbank ausgetauscht werden können, in Teilbereiche zerlegt, die den Elementtypen des durchgängigen Datenmodells entsprechen (siehe Kapitel 6.2). Das CAD-System kann diese Bereiche einzeln oder in ihrer Gesamtheit importieren und exportieren und überprüft dabei, ob die Datenkonsistenz gewährleistet wird.

Der Zeitpunkt des Imports bzw. des Exports von Daten wird vom Benutzer durch entsprechende Befehlsaufrufe festgelegt. Er bestimmt somit, wann die aktuellen Daten des CAD-Systems anderen Benutzern in der Datenbank zur Verfügung stehen bzw. wann er Ergebnisse oder Eingabedaten aus der Datenbank in den CAD-gestützten Teil des Planungswerkzeuges einlesen will.

6.2 Durchgängiges Datenmodell

6.2.1 Notwendigkeit und grundlegender Aufbau

Um die zur Planung von Materialflußsystemen erforderlichen Planungsschritte mit Hilfe eines Rechnerwerkzeuges unterstützen zu können, muß der zu planende Unternehmensbereich als Modell im Rechner abgebildet werden. Dazu sind die für die einzelnen Planungsschritte notwendigen Elemente (Quellen, Senken usw.) mit ihren

Parametern (Geometrie, Menge usw.) in einem Datenmodell zur Verfügung zu stellen [Gro-84].

Neben der prinzipiellen Möglichkeit die erforderlichen Elemente und ihre Parameter zu definieren, muß jedoch auch auf die Durchgängigkeit des Datenmodells geachtet werden (siehe Kapitel 5.1.3). Mit der Verwendung eines in allen Planungsschritten gleichbleibenden Datenmodells läßt sich unnötiges Formatieren und Umrechnen der Daten vermeiden. Dies verkleinert den dafür notwendigen Aufwand und führt zu einer geringeren Fehleranfälligkeit.

Die im Datenmodell benutzten Transportmengen sowie die Anzahl der Fahrten und die Einsatzzeiten von Transportmitteln beziehen sich auf einen bestimmten Beobachtungszeitraum (z.B. eine Schicht, einen Monat, ein Jahr). Dieser Zeitraum kann sich von Projekt zu Projekt verändern und muß vom Planer festgelegt werden. Weiter muß der Zeitraum für alle Parameter, die sich auf ihn beziehen, gleich groß sein.

Die für das durchgängige Datenmodell verwendeten Elemente sind:

- Artikel,
- Prozeßschritte,
- Stationen,
- Übergabepunkte,
- Transporthilfsmittel,
- Lager,
- Transportmittel und
- Transporte.

Bei ihrer Entwicklung werden neben der geforderten Durchgängigkeit auch die Anforderungen einer parametrischen Objektbibliothek (siehe Kapitel 6.3) und einer Möglichkeit zur statischen Auslastungsberechnung von Materialflußsystemen durch Lastfahrten und Lasthandling (siehe Kapitel 6.4) berücksichtigt.

6.2.2 Beschreibung der Elemente

6.2.2.1 Artikel

Im entwickelten Datenmodell sind Artikel alphanumerische Elemente, die keine Darstellung als einzelne grafische Objekte besitzen. Sie repräsentieren die realen Artikel und Produkte, die durch das reale Materialflußsystem fließen, durch die Definition einer eindeutigen Artikelnummer, einer Artikelbezeichnung und einer Stückzahl im Beobachtungszeitraum (Tabelle 6.1).

Tabelle 6.1: Parameter für das Modellelement Artikel

| Parameter | Einheit | Datentyp | Beispiel |
|-----------------------------------|---------|--------------|-----------------|
| Artikel-ID | [-] | Zeichenkette | „RA-40-05“ |
| Artikel-Bezeichnung | [-] | Zeichenkette | „Schachtel III“ |
| Stückzahl im Beobachtungszeitraum | [-] | Ganzzahl | 650 |

6.2.2.2 Stationen

Die Elemente vom Typ Station sind Objekte, an denen die im Modell vorhandenen Artikel einen zeitlichen Aufenthalt besitzen, um beispielsweise bearbeitet, montiert, gehandhabt und gelagert zu werden. Mit Stationen lassen sich also in Realität vorhandene Funktionseinheiten abbilden. Dies können einzelne Betriebsmittel wie Werkzeugmaschinen, Montagezellen und Palettierroboter, aber auch ganze Betriebsbereiche, wie Drehereien und Rohteilelager, sein.

Die grafische Darstellung des Elementtyps Station besteht aus einer Senke und aus einer Quelle, an der der zuführende Transport die Artikel abgibt (Senke) bzw. der abführende Transport die Artikel aufnimmt (Quelle). In Abhängigkeit von der erforderlichen Genauigkeit der Abbildung können Senke und Quelle zusammenfallen oder räumlich getrennt sein (Bild 6.2).

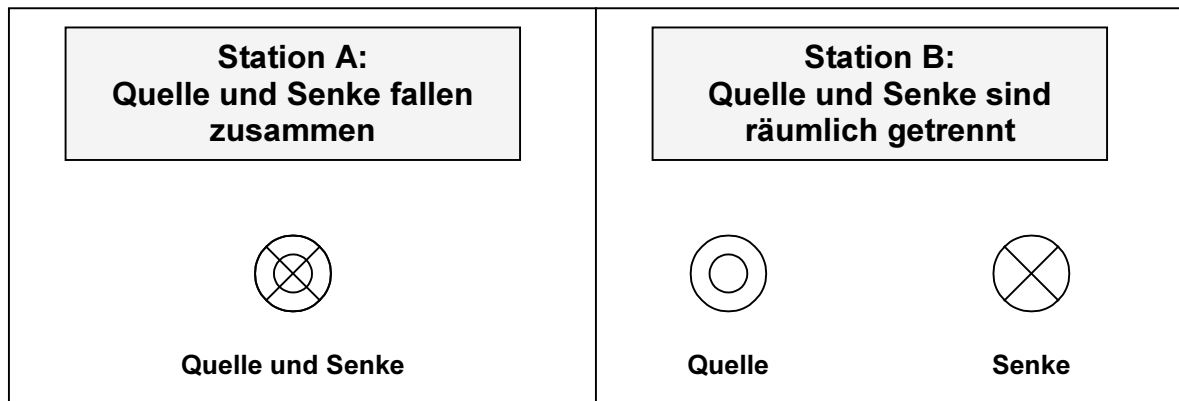


Bild 6.2: Grafische Darstellung einer Station

Die Parameter mit den dazugehörigen Einheiten und Datentypen, die zur Beschreibung von Stationen innerhalb des Datenmodells notwendig sind, zeigt zusammenfassend Tabelle 6.2.

Tabelle 6.2: Parameter für das Modellelement Station

| Parameter | Einheit | Datentyp | Beispiel |
|-------------------------|-------------------|----------------|---------------|
| Station-ID | [-] | Zeichenkette | „45-DM-76“ |
| Station-Bezeichnung | [-] | Zeichenkette | „Palettierer“ |
| Fläche | [m ²] | Gleitkommazahl | 40.000 |
| x-Koordinate der Senke | [m] | Gleitkommazahl | 5.050 |
| y-Koordinate der Senke | [m] | Gleitkommazahl | 41.050 |
| z-Koordinate der Senke | [m] | Gleitkommazahl | 0.000 |
| x-Koordinate der Quelle | [m] | Gleitkommazahl | 5.050 |
| y-Koordinate der Quelle | [m] | Gleitkommazahl | 41.050 |
| z-Koordinate der Quelle | [m] | Gleitkommazahl | 0.000 |

6.2.2.3 Prozeßschritte

Für jeden im Modell definierten Artikel müssen die Prozeßschritte und die Reihenfolge der Prozeßschritte festgelegt werden, die dieser Artikel zu durchlaufen hat. Dazu steht das alphanumerische Element Prozeßschritt zur Verfügung, mit dessen Hilfe die im realen Unternehmensbereich vorhandenen Abläufe und Prozesse bestimmt werden können. Neben der Beschreibung des Prozeßschrittes enthält das Element auch die Information, an welcher Station dieser Prozeß durchgeführt werden soll. Tabelle 6.3 zeigt die Parameter eines Prozeßschrittes für einen bestimmten Artikel. Die Prozeß-ID ist bei diesem Element eine Ganzzahl, die dazu dient, die Reihenfolge der Prozesse festzuhalten.

Tabelle 6.3: Parameter für das Modellelement Prozeßschritt

| Parameter | Einheit | Datentyp | Beispiel |
|---------------------|---------|--------------|---------------|
| Prozeß-ID | [-] | Ganzzahl | 30 |
| Prozeß-Bezeichnung | [-] | Zeichenkette | „LE-Bildung“ |
| Station-ID | [-] | Zeichenkette | „45-DM-76“ |
| Station-Bezeichnung | [-] | Zeichenkette | „Palettierer“ |

6.2.2.4 Transporthilfsmittel

Transporthilfsmittel sind alphanumerische Elemente, die eingesetzt werden, wenn nicht jeder Artikel einzeln, sondern mehrere Artikel eines Artikeltyps zusammen von einer Station zur nächsten transportiert werden sollen. Sie werden im Rahmen des Datenmodells nur durch ihre ID und Bezeichnung beschrieben (Tabelle 6.4).

Tabelle 6.4: Parameter für das Modellelement Transporthilfsmittel

| Parameter | Einheit | Datentyp | Beispiel |
|-----------------|---------|--------------|-----------------|
| THM-ID | [-] | Zeichenkette | „73-56-AF“ |
| THM-Bezeichnung | [-] | Zeichenkette | „VDMA-Behälter“ |

6.2.2.5 Transportmittel

Die Elemente vom Typ Transportmittel sind Objekte, mit denen die im Modell vorhandenen Artikel von einer Station zur nächsten transportiert werden können. Dies kann sowohl ohne als auch mit Transporthilfsmittel geschehen, wobei z.T. auch mehrere Transporthilfsmittel auf einmal transportiert werden können.

Die grafische Darstellung hängt vom Typ des Transportmittels ab und wird in Kapitel 6.3.4 zusammen mit den typspezifischen, zeitunabhängigen Parametern wie Länge, Breite, Höhe usw. näher beschrieben. Allen Transportmitteln gemeinsam sind jedoch die in Tabelle 6.5 zusammengefaßten Parameter.

Tabelle 6.5: Allgemeine Parameter für das Modellelement Transportmittel

| Parameter | Einheit | Datentyp | Beispiel |
|---------------------------------|---------|----------------|----------------|
| TM-ID | [-] | Zeichenkette | „BJ-RT-33“ |
| TM-Bezeichnung | [-] | Zeichenkette | „Stapler groß“ |
| TM-Typ | [-] | Zeichenkette | „Gabelstapler“ |
| x-Koordinate des Einfügepunktes | [m] | Gleitkommazahl | 33.800 |
| y-Koordinate des Einfügepunktes | [m] | Gleitkommazahl | 40.000 |
| z-Koordinate des Einfügepunktes | [m] | Gleitkommazahl | 0.000 |
| Orientierung zur x-Achse | [°] | Gleitkommazahl | 15.000 |

Neben den zeitunabhängigen Parametern verfügen die Transportmittel-Elemente jedoch auch über zeitabhängige Parameter (Leistungsdaten), die zur Berechnung ihrer statischen Auslastung benötigt werden. Tabelle 6.6 zeigt diese zeitabhängigen Parameter in Abhängigkeit vom Typ des Transportmittels.

Tabelle 6.6: Zeitabhängige Parameter verschiedener Transportmittel

| Parameter | Einheit | Datentyp | Beispiel |
|---|---------|----------------|----------|
| <i>Stetigförderer Gerade und Kurve</i> | | | |
| Fördergeschwindigkeit | [m/s] | Gleitkommazahl | 1.000 |
| Abstand der Transporteinheiten | [m] | Gleitkommazahl | 2.000 |
| <i>Stetigförderer Eckumsetzer, Durchlauf-Eckumsetzer und Durchlaufumsetzer</i> | | | |
| Fördergeschwindigkeit der Einfahrt | [m/s] | Gleitkommazahl | 1.000 |
| Fördergeschwindigkeit der Ausfahrt | [m/s] | Gleitkommazahl | 1.000 |
| Summe der Hubzeiten eines Spiels | [s] | Gleitkommazahl | 3.000 |
| Summe der Schaltzeiten eines Spiels | [s] | Gleitkommazahl | 1.500 |
| <i>Stetigförderer Drehtisch</i> | | | |
| Fördergeschwindigkeit | [m/s] | Gleitkommazahl | 1.000 |
| Summe der Drehzeiten eines Spiels | [s] | Gleitkommazahl | 3.000 |
| Summe der Schaltzeiten eines Spiels | [s] | Gleitkommazahl | 1.500 |
| <i>Regalbediengerät Einmast, Regalbediengerät Zweimast und Hochregalstapler</i> | | | |
| Fahrgeschwindigkeit | [m/min] | Gleitkommazahl | 140.000 |
| Hubgeschwindigkeit | [m/min] | Gleitkommazahl | 30.000 |
| <i>Gabelhubwagen Hand und Elektro, Gabelstapler, Schubmaststapler und FTS</i> | | | |
| Geschwindigkeit | [m/s] | Gleitkommazahl | 1.000 |
| <i>Kran Einträger und Kran Zweiträger</i> | | | |
| Kran-Geschwindigkeit | [m/s] | Gleitkommazahl | 2.400 |
| Katz-Geschwindigkeit | [m/s] | Gleitkommazahl | 0.400 |
| Hub-/Senk-Geschwindigkeit | [m/s] | Gleitkommazahl | 0.200 |
| <i>Alle Transportmittel</i> | | | |
| Einsatzzeit im Beobachtungszeitraum | [h] | Gleitkommazahl | 8.000 |

Die in Tabelle 6.5 und Tabelle 6.6 beschriebenen Parameter sind Eingabeparameter, die zur grafischen Darstellung des Transportmittels bzw. zu dessen Grobdimensionierung dienen. Das Ergebnis dieser Grobdimensionierung besteht aus vom Typ des Transportmittels unabhängigen Ausgabeparametern, die die statischen Auslastungen der einzelnen Transportmittel angeben (Tabelle 6.7).

Tabelle 6.7: Ausgabeparameter für das Modellelement Transportmittel

| Parameter | Einheit | Datentyp | Beispiel |
|--|---------|----------------|----------|
| Auslastung aus Lastfahrten | [%] | Gleitkommazahl | 44.567 |
| Auslastung aus Lastaufnahme und -abgabe | [%] | Gleitkommazahl | 10.212 |
| Auslastung aus Lastfahrten, Lastaufnahme und -abgabe | [%] | Gleitkommazahl | 54.779 |

6.2.2.6 Lager

Die Darstellung der Lager als Stationen mit Senke und Quelle ist besonders für frühe Planungsphasen und -schritte geeignet. In späteren Planungsschritten hingegen ist diese Darstellung zu ungenau. Dieses Problem kann mit Objekten vom Elementtyp Lager behoben werden, die eine detailliertere Darstellung erlauben.

Genauso wie beim Elementtyp Transportmittel hängt auch beim Elementtyp Lager die grafische Darstellung vom Typ des Lagers ab. Sie wird in Kapitel 6.3.4 zusammen mit den typspezifischen zeitunabhängigen Parametern wie (Gesamt-)Länge, (Gesamt-)Breite, (Gesamt-)Höhe usw. näher beschrieben. Die allgemeinen Parameter, die für alle Typen von Lagern die gleichen sind, zeigt Tabelle 6.8.

Tabelle 6.8: Allgemeine Parameter für das Modellelement Lager

| Parameter | Einheit | Datentyp | Beispiel |
|---------------------------------|---------|----------------|----------------|
| Lager-ID | [-] | Zeichenkette | „LK-19-ZU“ |
| Lager-Bezeichnung | [-] | Zeichenkette | „Versandlager“ |
| Lager-Typ | [-] | Zeichenkette | „Hochregal“ |
| x-Koordinate des Einfügepunktes | [m] | Gleitkommazahl | 23.900 |
| y-Koordinate des Einfügepunktes | [m] | Gleitkommazahl | 35.000 |
| z-Koordinate des Einfügepunktes | [m] | Gleitkommazahl | 0.000 |
| Orientierung zur x-Achse | [°] | Gleitkommazahl | 90.000 |

6.2.2.7 Übergabepunkte

Die im Modell definierten Artikel werden gemäß ihrer Prozeßschritte mit Hilfe von Transportmitteln von Station zu Station transportiert. Es kommt jedoch vor, daß der Transport von einer Station zur nächsten nicht nur von einem, sondern von mehreren Transportmitteln übernommen wird. Beispielsweise kann ein Gabelstapler ein Transporthilfsmittel mit Artikeln an der Station A aufnehmen, über eine bestimmte Entfernung transportieren und dann an eine Rollenbahn übergeben. Diese transportiert das Transporthilfsmittel anschließend zu Station B. Um diese Übergabe im Modell abbilden zu können, stellt das durchgängige Datenmodell Objekte vom Typ Übergabepunkt zur Verfügung.

Die grafische Darstellung von Übergabepunkten beschränkt sich auf eine abstrakte Abbildung des Übergabeortes als Kreissymbol (Bild 6.3). Am Übergabepunkt endet der Transport mit dem einen Transportmittel und beginnt der Transport mit dem nächsten Transportmittel.

Zur Definition von Übergabepunkten müssen eine eindeutige Übergabe-ID, eine Übergabe-Bezeichnung und die Koordinaten des Übergabeortes festgelegt werden, wie sie in Tabelle 6.9 zu sehen sind.

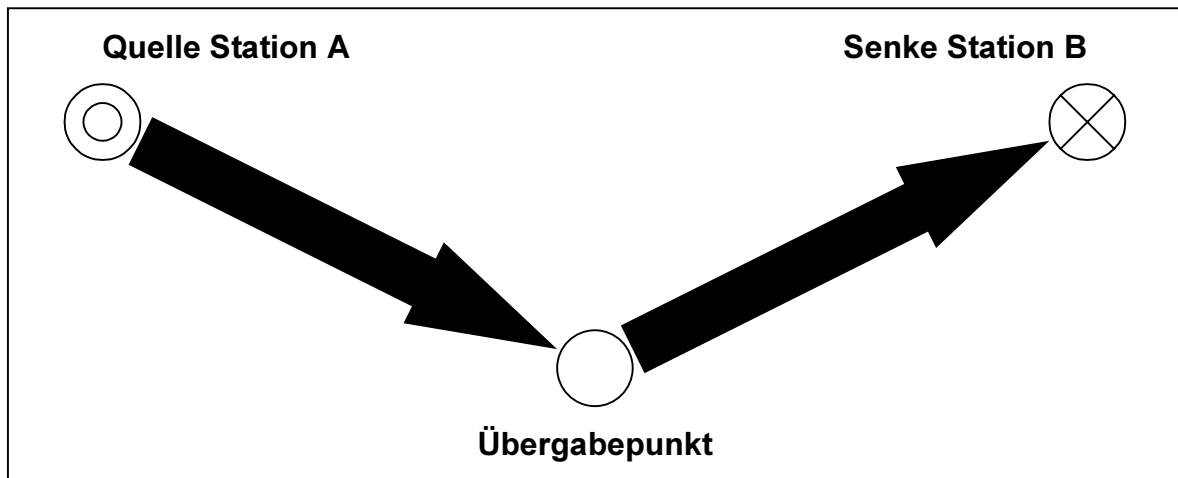


Bild 6.3: Grafische Darstellung eines Übergabepunktes

Tabelle 6.9: Parameter für das Modellelement Übergabepunkt

| Parameter | Einheit | Datentyp | Beispiel |
|---------------------------|---------|----------------|--------------------|
| Übergabe-ID | [-] | Zeichenkette | „91-AR-TX“ |
| Übergabe-Bezeichnung | [-] | Zeichenkette | „Stapler Stetigf.“ |
| x-Koordinate der Übergabe | [m] | Gleitkommazahl | 28.500 |
| y-Koordinate der Übergabe | [m] | Gleitkommazahl | 4.500 |
| z-Koordinate der Übergabe | [m] | Gleitkommazahl | 0.000 |

6.2.2.8 Transporte

Die Transporte des Rechnermodells ergeben sich aus der eindeutigen Kombination der bereits in den Elementen Artikel, Prozeßschritt, Station und Übergabepunkt vorhandenen Parameterwerte Artikel-ID, Prozeß-ID, Quellen-ID und Senken-ID. Das Element Transport ist also ein Objekt, das dem Transport eines bestimmten Artikels nach dem Beenden eines bestimmten Prozeßschrittes von einer Quelle zu einer Senke entspricht.

Die grafische Darstellung des Elementes Transport ist ein Pfeil, der die Quelle des Transportes gerichtet mit seiner Senke verbindet (Bild 6.4). Die Breite des Pfeils re-

präsentiert dabei die Anzahl der Transporteinheiten, der Verlauf des Pfeils entspricht dem Transportweg.

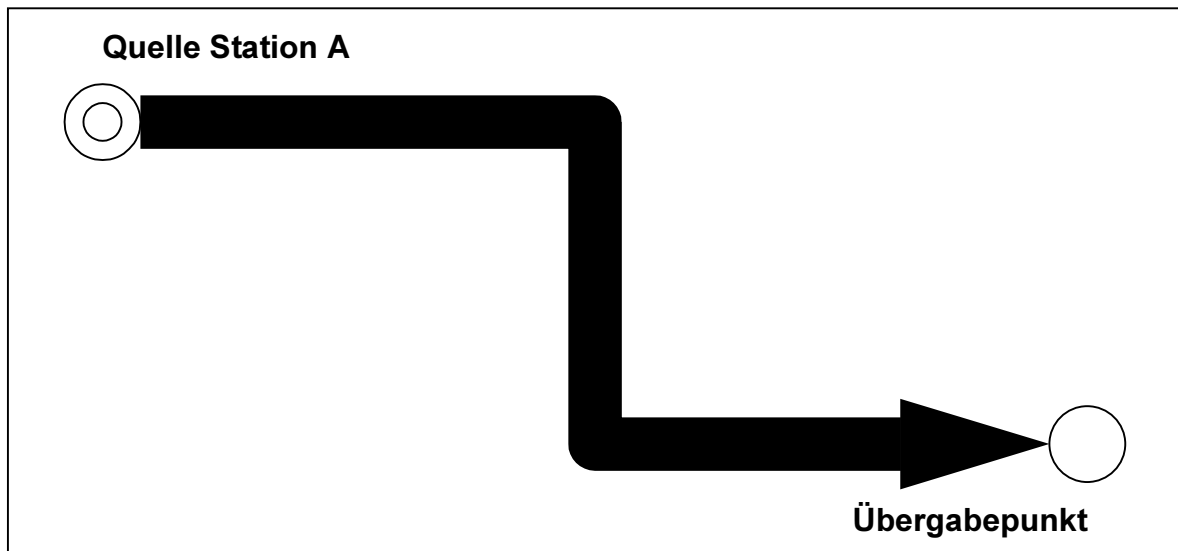


Bild 6.4: Grafische Darstellung eines Transportes

Für jeden vom Planungswerkzeug selbständig erstellten Transport, der sich aus der eindeutigen Kombination von Artikel, Prozeßschritt, Quelle und Senke ergibt, müssen zur genaueren Definition eine Reihe von Eingabeparametern festgelegt werden. Diese sind in Tabelle 6.10 dargestellt.

Aus den bereits vorhandenen Parameterwerten (z.B. Stückzahl eines Artikels im Beobachtungszeitraum), der grafischen Darstellung und den Eingabeparametern des Elementes Transport (Tabelle 6.10) ergeben sich die Werte der Ausgabeparameter, die vom Planungswerkzeug automatisch für jeden Transport berechnet werden. Eine Zusammenfassung der Ausgabeparameter zeigt Tabelle 6.11.

Die automatisch erstellten Transporte verlaufen zunächst direkt von Station zu Station, d.h. sowohl die Quellen als auch die Senken sind Stationen. Durch eine Detaillierung der ursprünglichen Transporte mit Hilfe von seriellen und parallelen Teilungen (siehe Kapitel 6.4.3.3) werden neue Transporte erzeugt, die für die Quellen und Senken z.T. auch Übergabepunkte benutzen (Bild 6.4). Bei einer solchen Verfeinerung ergeben sich meist neue Werte für die Ausgabeparameter, vor allem dann, wenn

auch die Eingabeparameter der neuen Untertransporte verändert werden (z.B. andere Transporthilfsmittel mit anderen Artikelstückzahlen).

Tabelle 6.10: Parameter für das Modellelement Transport

| Parameter | Einheit | Datentyp | Beispiel |
|-------------------------------------|---------|----------------|-----------------|
| THM-ID | [-] | Zeichenkette | „73-56-AF“ |
| THM-Bezeichnung | [-] | Zeichenkette | „VDMA-Behälter“ |
| Anzahl Artikel pro Transporteinheit | [-] | Gleitkommazahl | 120.000 |
| TM-ID | [-] | Zeichenkette | „BJ-RT-33“ |
| TM-Bezeichnung | [-] | Zeichenkette | „Stapler groß“ |
| Anzahl Transporteinheiten pro Fahrt | [-] | Gleitkommazahl | 2.400 |
| Zeit für Lastaufnahme | [s] | Gleitkommazahl | 15.000 |
| Zeit für Lastabgabe | [s] | Gleitkommazahl | 10.000 |

Tabelle 6.11: Ausgabeparameter für das Modellelement Transport

| Parameter | Einheit | Datentyp | Beispiel |
|---------------------------|---------|----------------|-----------|
| Anzahl Artikel | [-] | Gleitkommazahl | 10000.000 |
| Anzahl Transporteinheiten | [-] | Gleitkommazahl | 83.333 |
| Anzahl Fahrten | [-] | Gleitkommazahl | 34.722 |
| Länge des Transportweges | [m] | Gleitkommazahl | 23.450 |

Die Länge des Transportweges ist ein Ausgabeparameter, der im Gegensatz zu den anderen Ausgabeparametern nicht von den Eingabeparametern, sondern vom Verlauf des Transportpfils, d.h. vom Verlauf des Transportweges im Layout, abhängig ist. Wird also der Verlauf des Transportweges geändert, so ändert sich auch automatisch seine Länge im entsprechenden Ausgabeparameter.

6.3 Parametrische Objektbibliothek

6.3.1 Entlastung des Planers von Routinetätigkeiten

Im Laufe des Planungsprozesses müssen zum Erstellen der verschiedenen Layouts immer wieder Materialflußmittel erzeugt, geändert, kopiert und gelöscht werden. Diese zeitaufwendigen Routinetätigkeiten können durch den Einsatz einer parametrischen Objektbibliothek (siehe Kapitel 5.3.1) auf ein Minimum reduziert werden, da mit deren Hilfe auf bereits vorhandene Daten zurückgegriffen werden kann. Dies bestätigt auch der in Bild 6.5 und Tabelle 6.12 zusammengefaßte Vergleich verschiedener Vorgehensweisen zum Erzeugen, Positionieren und anschließendem Ändern eines Stetigförderers.

| Erzeugen und Positionieren | | Ändern | |
|--|---------|--|---------|
| x-Koordinate [m]: | 10.000 | Länge [m]: | 5.000 |
| y-Koordinate [m]: | 10.000 | Orientierung zur xy-Ebene α_{xy} [°]: | -20.000 |
| z-Koordinate [m]: | 2.000 | | |
| Breite [m]: | 0.800 | | |
| Länge [m]: | 4.000 | | |
| Orientierung zur x-Achse α_x [°]: | -30.000 | | |
| Orientierung zur xy-Ebene α_{xy} [°]: | -15.000 | | |

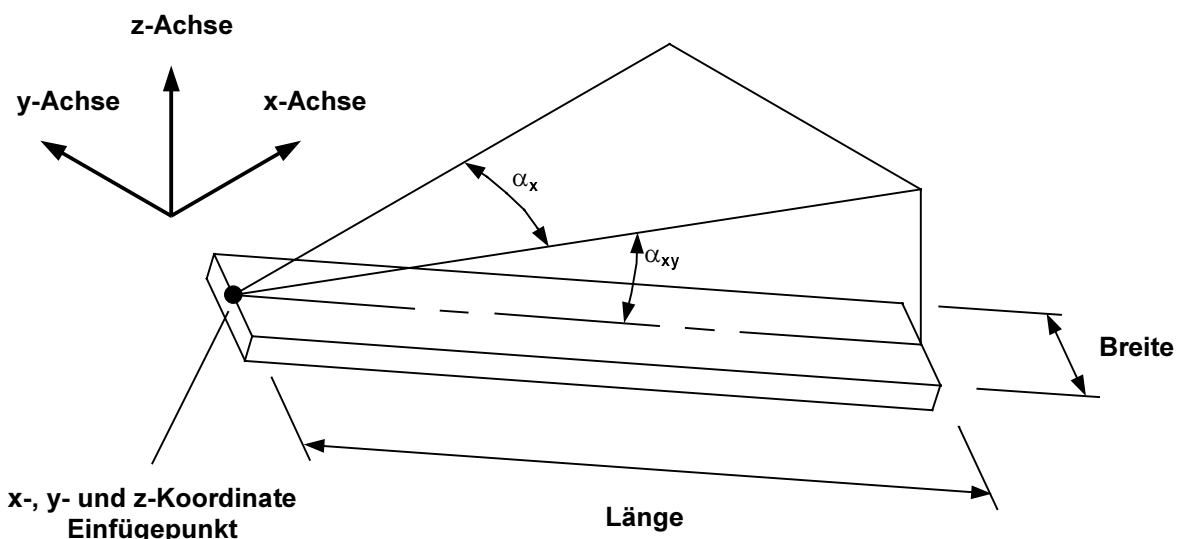


Bild 6.5: Beispiel zum Erzeugen und Ändern eines Stetigförderers

Tabelle 6.12: Aufwandsvergleich zum Erzeugen und Ändern eines Stetigförderers

| | | Zeichnen mit AutoCAD-Grundfunktionalitäten | Einfügen von zuvor erstellten Blöcken | Einfügen von parametrischen Objekten |
|-------------------------|--------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Erzeugen | Befehlsaufrufe | 5 | 3 | 1 |
| | Mausklicks | 26 | 14 | 5 |
| | Eingabe von Werten | 9 | 9 | 7 |
| Löschen | Befehlsaufrufe | 1 | 1 | - |
| | Mausklicks | 3 | 2 | - |
| | Eingabe von Werten | - | - | - |
| Neuzeichnen bzw. Ändern | Befehlsaufrufe | 5 | 3 | 1 |
| | Mausklicks | 26 | 14 | 4 |
| | Eingabe von Werten | 9 | 9 | 2 |

Die Änderung umfaßt dabei die Länge und den Positionswinkel gegenüber der xy-Ebene. Bei der ersten Vorgehensweise wird der Stetigförderer mit dem von AutoCAD zur Verfügung gestellten Funktionsumfang gezeichnet, bei der zweiten als bestehender AutoCAD-Block eingefügt und bei der dritten mit der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten parametrischen Objektbibliothek erzeugt.

6.3.2 Funktionsweise

Das Grundprinzip der parametrischen Objektbibliothek basiert zum einen auf der Integration der Grafikelemente (Linien, Flächen, Volumenkörper usw.) und der alphanumerischen Hauptmaße dieser Elemente (Länge, Breite usw.). Zum anderen baut die Bibliothek auf unterschiedlichen Zeichenroutinen für jeden Typ von Materialfluß-

mittel auf, mit deren Hilfe aus den Hauptmaßen die Grafikelemente erzeugt werden können (siehe Kapitel 5.3.1). Anschließend soll die Funktionsweise und Vorgehensweise näher beschrieben werden.

Zum Erzeugen eines Materialflußobjektes muß zunächst die parametrische Objektbibliothek aufgerufen und der Typ des zu erzeugenden Objektes (z.B. Stetigförderer-Gerade) ausgewählt werden. Daraufhin erscheint ein mit Vorgabewerten gefülltes Dialogfenster (Bild 6.6), in dem die alphanumerischen Werte dieses Materialflußobjektes editiert werden können. Zum Erstellen des Stetigförderers aus Bild 6.5 müssen z.B. die x-, y- und z-Koordinate des Einfügepunktes, die Breite, die Länge, die Orientierung zur x-Achse und die Orientierung zur xy-Ebene eingegeben werden. Durch das Bestätigen der Werte wird eine im Hintergrund liegende Zeichenroutine in Abhängigkeit vom Typ des ausgewählten Materialflußobjektes angestoßen. Sie benutzt die Werte des Dialogfensters als Eingabeparameter, zeichnet damit das entsprechende Materialflußmittel und hängt die Werte abschließend als erweiterte Daten an das gerade erstellte Zeichnungsobjekt an. In das Dialogfenster müssen ganz bewußt nicht alle Maße eingegeben werden, die zum Zeichnen der grafischen Elemente erforderlich sind. Vielmehr soll der Planer nur die Abmessungen eingeben müssen, mit deren Hilfe sich im Rahmen von Planungsarbeiten die Materialflußsysteme detailliert genug abbilden lassen. Für das Beispiel des Stetigförderers bedeutet dies, daß nur die Länge und die Breite festgelegt werden müssen. Die Höhe des Förderers berechnet die Zeichenroutine automatisch aus seiner Breite und einem konstanten Faktor.

Zum Ändern eines Materialflußobjektes muß dieses zunächst ausgewählt werden. Durch den Aufruf der Änderungsfunktion werden anschließend die Hauptmaße aus den erweiterten Daten des Objektes ausgelesen und im gleichen Dialogfenster (Bild 6.6) dargestellt, das auch zum erstmaligen Erzeugen des Objektes benutzt wird. In diesem Dialogfenster können nun ganz gezielt diejenigen Werte editiert werden, die geändert werden sollen, während die gleichbleibenden Werte schon vorhanden sind und nicht mehr eingegeben werden müssen. Nach dem Bestätigen der veränderten Werte wird das alte Materialflußobjekt zunächst gelöscht und anschließend die Zeichenroutine zum Erstellen des neuen Objektes angestoßen. Diese zeichnet das neue Materialflußobjekt mit den neuen Werten und hängt diese abschließend wieder als erweiterte Daten an das neue Zeichnungsobjekt an.

Beim Kopieren von Materialflußobjekten, die sich von ihrem Ursprungsobjekt nur geringfügig unterscheiden, läßt sich der Aufwand ebenfalls auf ein Minimum reduzieren. Wie beim Ändern kommt auch hier der Vorteil, auf bereits vorhandene Daten zugreifen zu können und sie nicht nochmals neu eingeben zu müssen, voll zum Tragen.

Bild 6.6: Dialogfenster zum Editieren eines Materialflußobjektes (hier Stetigförderer – Gerade)

6.3.3 Grundlagen zur Darstellung der Objekte

Im Gegensatz zur Projektierung sind im Rahmen der Planung noch keine technischen Details in der Darstellung der zu planenden Materialflußsysteme erforderlich. Vielmehr ist es wichtig, daß die Systeme in ihrer prinzipiellen Art und Funktion erkennbar und bezüglich ihrer Hauptmaße einfach und schnell variierbar sind. Von dieser Mindestanforderung ausgehend können genauere Darstellungen der Objekte realisiert werden, wenn die Reaktionszeit des Rechners beim Regenerieren der Zeichnung weiterhin in akzeptablen Bereichen liegt. Bei der Festlegung des Detaillie-

ungsgrades ist allerdings zu beachten, daß Objekte, die in großer Zahl in das Layout einzufügen sind (z.B. Stetigförderer), aus besonders einfachen Grundformen aufgebaut werden müssen. Dahingegen kann die Darstellung von Objekten mit geringer Zahl (z.B. Krane) tendenziell aufwendiger gewählt werden. Darüber hinaus sind bei der Darstellung von grafischen Objekten folgende Prinzipien zu beachten [N.N.-96b]:

- Oberflächenstrukturen weglassen oder nur andeuten,
- komplexe Teile zusammenfassen und auf geometrische Grundformen reduzieren (wenn möglich, keine Zylinder oder Kugeln verwenden),
- unwichtige Details weglassen oder nur andeuten und auf das Wesentliche beschränken.

6.3.4 Verfügbare Materialflußobjekte

Zur einfachen und schnellen Definition von Materialflußmitteln werden im Rahmen der Umsetzung des Planungswerkzeuges eine Reihe von grafischen Objekten realisiert und in die parametrische Objektbibliothek eingebunden (Tabelle 6.13).

Neben diesen Objekten lassen sich mit geringem Programmieraufwand auch weitere Objekte in die Bibliothek aufnehmen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, zusätzliche Materialflußmittel mit den Zeichenfunktionen von AutoCAD in die Planungszeichnungen einzufügen.

Die Objekte der Objektbibliothek besitzen als allgemeine Parameter einen Einfügepunkt und eine Orientierung im globalen Koordinatensystem sowie Verwaltungsdaten, die zur Identifikation des einzelnen Objekts im Layout dienen (Tabelle 6.5 und Tabelle 6.8). Über diese allgemeinen Parameter hinaus verfügen alle Objekte über spezifische Hauptmaße, die das einzelne Objekt auszeichnen. In Tabelle 6.14 bis Tabelle 6.23 werden die bereits realisierten Objekte detaillierter beschrieben. Dazu werden sie mit ihrer grafischen Abbildung, ihren spezifischen Parametern und den dazugehörigen Vorgabewerten dargestellt.

Tabelle 6.13: Objekte der parametrischen Objektbibliothek

| | |
|------------------|---|
| Lagertechnik | Blocklagerung |
| | Zeilenlagerung |
| | Fachbodenregal |
| | Hochregal |
| | Durchlaufregal und Kanalregal |
| | Verschieberegale |
| Stetigförderer | Gerade |
| | Eckumsetzer |
| | Durchlauf-Eckumsetzer |
| | Kurve |
| | Drehtisch |
| | Durchlaufumsetzer |
| Flurfördermittel | Regalbediengerät (Einmast und Zweimast) |
| | Gabelhubwagen (Hand und Elektro) |
| | Gabelstapler |
| | Schubmaststapler |
| | Hochregalstapler |
| | FTS (Fahrerloses Transport System) |
| Krane | Hängekran (Einträger und Zweiträger) |
| Verkehrstechnik | Lkw – Zugmaschine |
| | Lkw – Gliederzug |
| | Lkw – Sattelzug |
| Sonstiges | Bediener |

Tabelle 6.14: Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Lagertechnik Teil 1

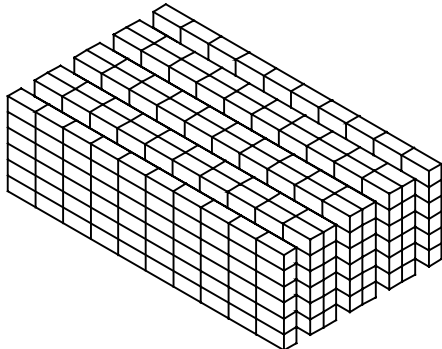
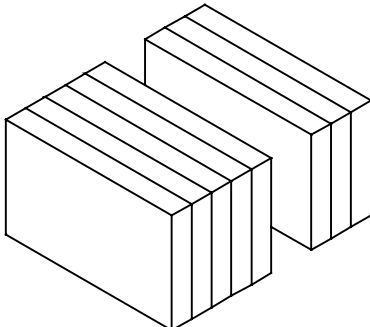
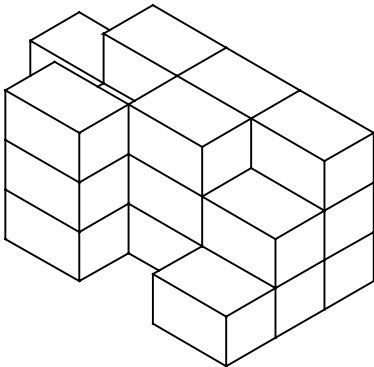
| | |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">Hochregal</p> | <p>Modulabmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modullänge [m]: 3.000 • Modulbreite [m]: 4.300 • Modulhöhe [m]: 1.500 <p>Moduldaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gangbreite [m]: 1.500 • Regaltiefe [m]: 1.400 • Paletten pro Modul [-]: 6 <p>Anzahl Module:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hintereinander [-]: 10 • Nebeneinander [-]: 4 • Übereinander [-]: 6 <p>Lagergesamtdaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtlänge [m]: 30.000 • Gesamtbreite [m]: 17.200 • Gesamthöhe [m]: 9.000 • Anzahl Paletten [-]: 1440 |
|  | <p>Fächergröße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 5.000 • Breite [m]: 0.600 • Höhe [m]: 3.000 <p>Anzahl:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nebeneinander [-]: 8 <p>Zwischengang:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gangbreite [m]: 1.200 <p>Gesamtabmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtbreite [m]: 6.000 |
| <p style="text-align: center;">Verschieberegale</p> | |
|  | <p>Größe einer Lagereinheit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 1.200 • Breite [m]: 0.800 • Höhe [m]: 0.700 <p>Gesamtabmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtlänge [m]: 4.800 • Gesamtbreite [m]: 2.400 • Gesamthöhe [m]: 2.100 <p>Anzahl:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hintereinander [-]: 4 • Nebeneinander [-]: 3 • Übereinander [-]: 3 • Füllgrad [%]: 60.000 |
| <p style="text-align: center;">Blocklagerung</p> | |
|  | |

Tabelle 6.15: Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Lagertechnik Teil 2

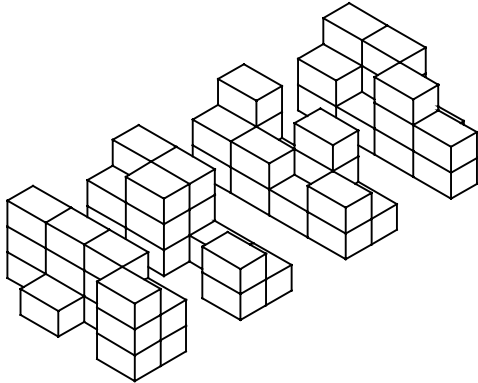
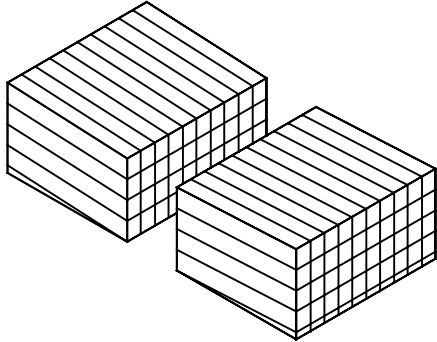
| | |
|---|--|
| <p style="text-align: center;">Zeilenlagerung</p> | <p>Größe einer Lagereinheit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 1.200 • Breite [m]: 0.800 • Höhe [m]: 0.700 <p>Gesamtabmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtlänge [m]: 4.800 • Gesamtbreite [m]: 13.900 • Gesamthöhe [m]: 2.100 <p>Anzahl:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hintereinander [-]: 4 • Übereinander [-]: 3 • Füllgrad [%]: 60.000 <p>Zeilendaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gangbreite [m]: 2.500 • Zeilenanzahl [-]: 4 |
|  | <p>Fächergröße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 1.200 • Breite [m]: 0.600 • Höhe [m]: 0.500 <p>Gesamtabmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtlänge [m]: 4.800 • Gesamtbreite [m]: 1.200 • Gesamthöhe [m]: 1.500 <p>Anzahl:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hintereinander [-]: 4 • Übereinander [-]: 3 |
| <p style="text-align: center;">Fachbodenregal</p> | <p>Fächergröße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 6.000 • Breite [m]: 0.700 • Höhe [m]: 0.900 <p>Gesamtabmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtlänge [m]: 14.500 • Gesamtbreite [m]: 7.000 • Gesamthöhe [m]: 3.914 <p>Zwischengang:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gangbreite [m]: 2.500 <p>Neigung der Kanäle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neigungswinkel [°]: 3.000 <p>Anzahl:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nebeneinander [-]: 10 • Übereinander [-]: 4 |
| <p style="text-align: center;">Durchlaufregal und Kanalregal</p> |  |

Tabelle 6.16: Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Stetigförderer Teil 1

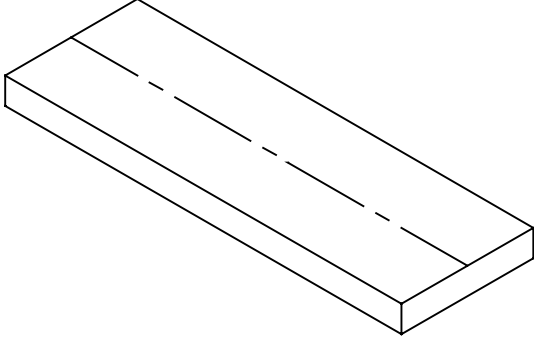
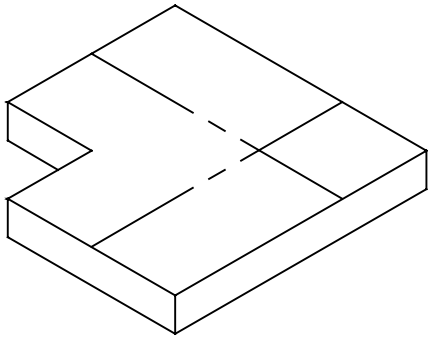
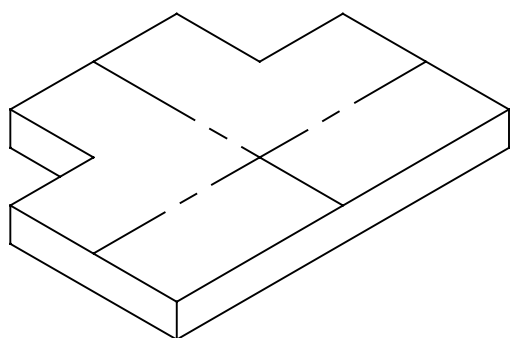
| | | |
|------------------------------|---|---|
| Gerade |  | <p>Ausfahrtpunkt:</p> <ul style="list-style-type: none"> X-Koordinate [m]: 3.000 Y-Koordinate [m]: 0.000 Z-Koordinate [m]: 0.000 <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> Breite [m]: 1.000 Länge [m]: 3.000 <p>Orientierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Orientierung zur xy-Ebene [°]: 0.000 |
| Eckumsetzer |  | <p>Ausfahrtpunkt:</p> <ul style="list-style-type: none"> X-Koordinate [m]: 1.000 Y-Koordinate [m]: -1.000 Z-Koordinate [m]: 0.000 <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> Länge der Einfahrt [m]: 1.000 Breite der Einfahrt [m]: 1.000 Länge der Ausfahrt [m]: 1.000 Breite der Ausfahrt [m]: 1.000 <p>Orientierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Umsetzer nach rechts/links [-]: rechts |
| Durchlauf-Eckumsetzer |  | <p>Ausfahrtpunkt rechts:</p> <ul style="list-style-type: none"> X-Koordinate [m]: 1.000 Y-Koordinate [m]: -1.000 Z-Koordinate [m]: 0.000 <p>Ausfahrtpunkt links:</p> <ul style="list-style-type: none"> X-Koordinate [m]: 1.000 Y-Koordinate [m]: 1.000 Z-Koordinate [m]: 0.000 <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> Länge der Einfahrt [m]: 1.000 Breite der Einfahrt [m]: 1.000 Länge der Ausfahrt [m]: 1.000 Breite der Ausfahrt [m]: 1.000 <p>Orientierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Einfahrt zu Ausfahrt rechts [°]: 90.000 |

Tabelle 6.17: Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Stetigförderer Teil 2

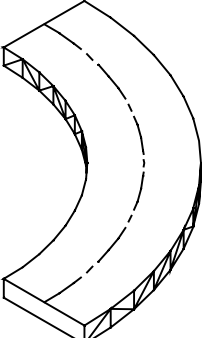
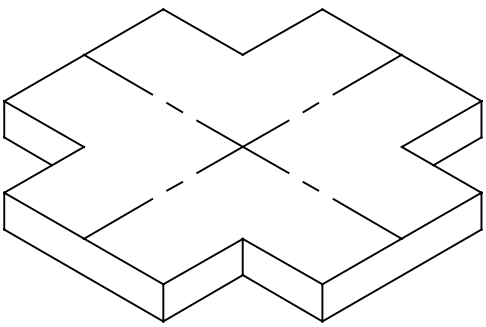
| | |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">Kurve</p> | <p>Ausfahrtspunkt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • X-Koordinate [m]: 3.000 • Y-Koordinate [m]: -3.000 • Z-Koordinate [m]: 0.000 <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kurvenwinkel [°]: 90.000 • Kurvenradius [m]: 3.000 • Breite [m]: 1.000 <p>Orientierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kurve nach rechts/links [-]: rechts |
|  | <p>Ausfahrtspunkt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • X-Koordinate [m]: 2.000 • Y-Koordinate [m]: 0.000 • Z-Koordinate [m]: 0.000 <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Breite [m]: 1.000 • Länge (Durchmesser) [m]: 2.000 |
| <p style="text-align: center;">Drehtisch</p> | <p>Ausfahrtspunkt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • X-Koordinate [m]: 1.000 • Y-Koordinate [m]: 2.000 • Z-Koordinate [m]: 0.000 <p>Ausfahrtspunkt rechts:</p> <ul style="list-style-type: none"> • X-Koordinate [m]: 1.000 • Y-Koordinate [m]: -1.000 • Z-Koordinate [m]: 0.000 <p>Ausfahrtspunkt links:</p> <ul style="list-style-type: none"> • X-Koordinate [m]: 1.000 • Y-Koordinate [m]: 1.000 • Z-Koordinate [m]: 0.000 <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge der Einfahrt [m]: 1.000 • Breite der Einfahrt [m]: 1.000 • Länge der Ausfahrt [m]: 1.000 • Breite der Ausfahrt [m]: 1.000 |
| <p style="text-align: center;">Durchlaufumsetzer</p> |  |

Tabelle 6.18: Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Flurfördermittel Teil 1

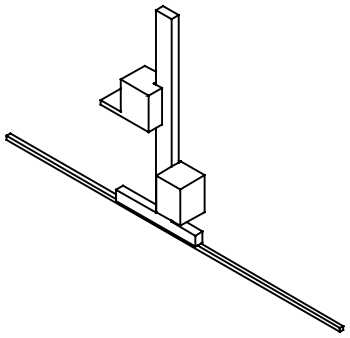
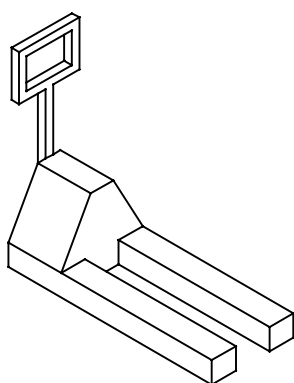
| | |
|---|--|
| <p>Regalbediengerät (Einmast)</p> | <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 4.300 • Breite [m]: 1.300 • Höhe [m]: 10.200 • Schienenlänge im Regal [m] 12.000 • Schienenlänge vor Regal [m] 4.000 • Schienenlänge hinter Regal [m] 2.000 • Position RBG auf Schiene [m] 6.000 |
|  | <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 6.500 • Breite [m]: 1.300 • Höhe [m]: 10.200 • Schienenlänge im Regal [m] 12.000 • Schienenlänge vor Regal [m] 4.000 • Schienenlänge hinter Regal [m] 2.000 • Position RBG auf Schiene [m] 4.000 |
| <p>Regalbediengerät (Zweimast)</p> | <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 1.350 • Breite [m]: 0.540 • Höhe [m]: 0.500 |
|  | |

Tabelle 6.19: Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Flurfördermittel Teil 2

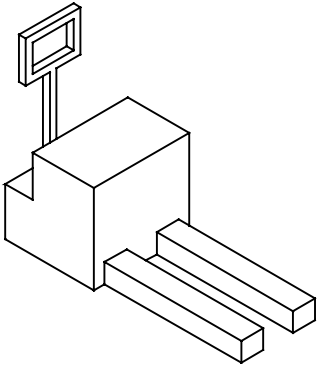
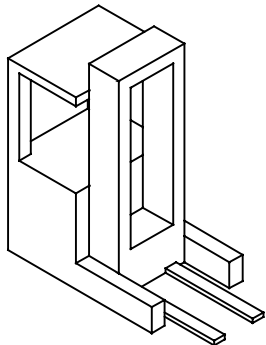
| | |
|---|--|
| Gabelhubwagen (Elektro) | <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 1.700 • Breite [m]: 0.700 • Höhe [m]: 0.650 |
|  | <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 3.000 • Breite [m]: 1.000 • Höhe [m]: 1.800 • Masthöhe [m]: 2.500 |
| Gabelstapler | <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 2.450 • Breite [m]: 1.200 • Höhe [m]: 2.200 • Masthöhe [m]: 2.500 |
|  | <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 2.450 • Breite [m]: 1.200 • Höhe [m]: 2.200 • Masthöhe [m]: 2.500 |

Tabelle 6.20: Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Flurfördermittel Teil 3

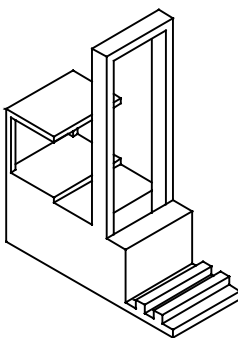
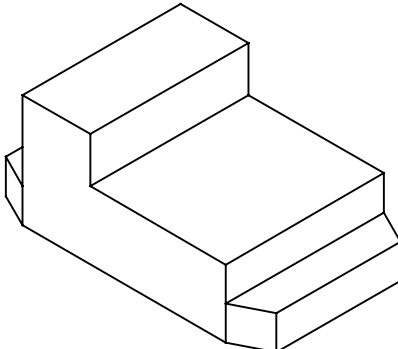
| | |
|--|--|
| <p>Hochregalstapler</p> | <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 3.500 • Breite [m]: 1.400 • Höhe [m]: 2.400 • Masthöhe [m]: 4.400 |
|  | <p>FTS (Fahrerloses Transport System)</p> <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 1.700 • Breite [m]: 0.700 • Höhe [m]: 0.650 |
|  | |

Tabelle 6.21: Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Personal

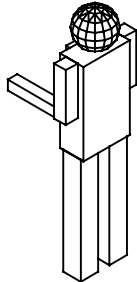
| | |
|---|--|
| <p>Bediener</p> | <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Größe [m]: 1.850 • Breite [m]: 0.600 • Tiefe [m]: 0.200 |
|  | |

Tabelle 6.22: Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Verkehrstechnik

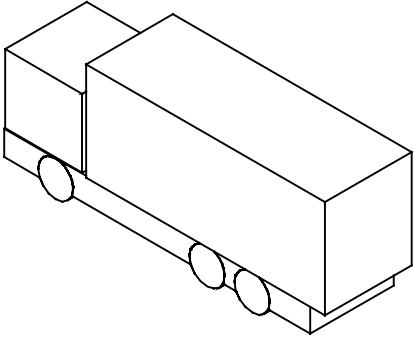
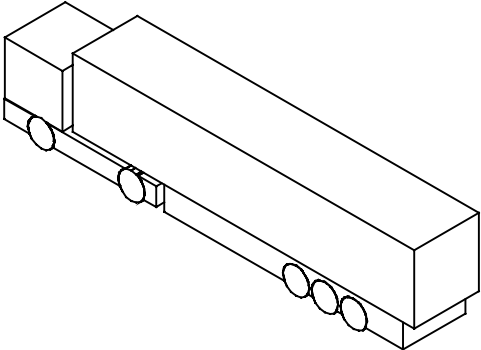
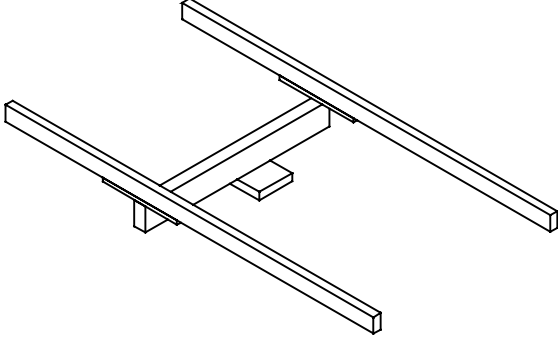
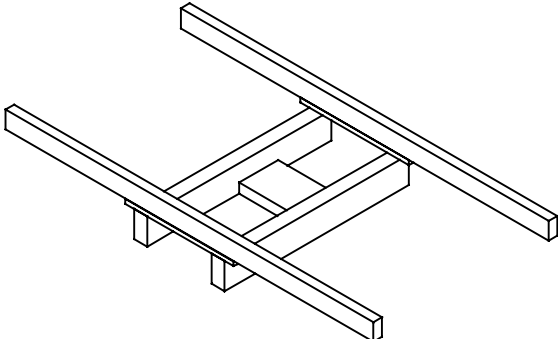
| | |
|---|---|
| Lkw - Zugmaschine | Hauptmaße: <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtlänge [m]: 9.650 • Breite [m]: 2.600 • Höhe [m]: 4.000 • Höhe Fahrerhaus [m]: 3.100 |
|  | Hauptmaße: <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtlänge [m]: 18.300 • Breite [m]: 2.600 • Höhe [m]: 4.000 • Höhe Fahrerhaus [m]: 3.100 |
| Lkw - Gliederzug | Hauptmaße: <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtlänge [m]: 16.475 • Breite [m]: 2.600 • Höhe [m]: 4.000 • Höhe Fahrerhaus [m]: 3.100 |
|  | |

Tabelle 6.23: Realisierte Objekte der Objektbibliothek: Krane

| | |
|--|--|
| <p>Hängekran (Einträger)</p> | <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 10.000 • Breite [m]: 5.000 • Höhe [m]: 1.300 • Position der 1. Brücke [m]: 3.500 • Anzahl der Brücken [-]: 1 |
|  | <p>Hängekran (Zweitträger)</p> <p>Hauptmaße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Länge [m]: 10.000 • Breite [m]: 5.000 • Höhe [m]: 1.300 • Position der 1. Brücke [m]: 3.500 • Anzahl der Brücken [-]: 1 |
|  | |

6.4 Statische Auslastungsberechnung

In der Strukturplanung werden die Artikel mit ihren Prozeßschritten und die Stationen, an denen die Prozesse durchgeführt werden sollen, festgelegt (siehe Kapitel 3.8.2.1). Aus diesen Informationen lassen sich die Materialflüsse bzw. die Transporte des Planungsbereiches ableiten, die durch Hinzufügen von Daten zu Transporthilfsmitteln, Transportmitteln und Transportwegen weiter detailliert werden können (siehe Kapitel 6.2.2.8). Auf der Grundlage dieser Planungsdaten und der Leistungsdaten der Transportmittel kann eine Grobdimensionierung der definierten Transportmittel bezüglich ihrer Transportleistung vorgenommen werden (siehe Kapitel 5.3.2).

6.4.1 Berechnungsmodelle der Auslastungsberechnung

Um für jedes Transportmittel die Auslastung aus Lastfahrten sowie aus Lastaufnahme und -abgabe berechnen zu können, müssen im Planungswerkzeug eine Reihe von Berechnungsmodellen hinterlegt werden.

6.4.1.1 Berechnung der Transportmengen

In einem allgemeinen Teil der Berechnung muß für jeden Transport die Transportmenge ermittelt werden. Dies erfolgt nach jedem Ändern der Parameter, die die Transportmenge betreffen.

Die Transportmenge eines Transportes kann durch drei verschiedene Werte, die Stückzahl des Artikels, die Anzahl der Transporteinheiten und die Anzahl der Fahrten, ausgedrückt werden. Die Stückzahl des Artikels berechnet sich dabei aus der Gesamtstückzahl dieses Artikels im Beobachtungszeitraum (wird bei der Definition des Artikels festgelegt) und dem prozentualen Anteil, der diesem Transport bei eventuellen parallelen Aufteilungen (Bild 5.9) zugewiesen wurde, zu:

$$m_A = m * p \quad (6.1)$$

mit: m_A = Stückzahl des Artikels,
 m = Gesamtstückzahl des Artikels,
 p = Anteil durch parallele Aufteilungen.

Für jeden Transport innerhalb des Planungsmodells wird ein vorher definiertes Transporthilfsmittel benutzt, das durchschnittlich mit einer bestimmten Stückzahl des Artikels beladen werden kann. Mit Hilfe dieser Beladung läßt sich aus der Stückzahl des Artikels die Anzahl der Transporteinheiten eines Transportes wie folgt ableiten:

$$m_{TE} = \frac{m_A}{z_{THM}} \quad (6.2)$$

mit: m_{TE} = Anzahl der Transporteinheiten,
 m_A = Stückzahl des Artikels,
 z_{THM} = \emptyset Stückzahl des Artikels pro THM.

Die Artikel bzw. die Transporteinheiten werden im Planungsmodell von Transportmitteln befördert. Einige Typen von Transportmitteln (z.B. Gabelstapler) können unter Umständen mehr als eine Transporteinheit pro Fahrt transportieren. Deshalb kann für jeden Transport angegeben werden, wie viele Transporteinheiten das benutzte Transportmittel pro Fahrt durchschnittlich aufnehmen kann. Mit diesem Durchschnittswert kann die Anzahl der Fahrten eines Transportes aus der Anzahl der Transporteinheiten nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$m_F = \frac{m_{TE}}{z_{TM}} \quad (6.3)$$

mit: m_F = Anzahl der Fahrten,
 m_{TE} = Anzahl der Transporteinheiten,
 z_{TM} = \emptyset Stückzahl der TE pro Fahrt.

6.4.1.2 Berechnung der Zeiten für Lastfahrten

Im diesem Teil der Auslastungsberechnung wird ermittelt, wieviel Zeit ein bestimmtes Transportmittel benötigt, um eine Lastfahrt entlang des Transportweges durchzuführen bzw. eine Transporteinheit vom Anfang bis zum Ende des Transportmittels (bei Stetigförderern) zu befördern. Zusammen mit den bereits oben ermittelten Transportmengen ergibt sich daraus die gesamte Zeit, die für die Lastfahrten eines bestimmten Transportes erforderlich ist. Durch eine Aufsummierung über sämtliche Transporte, die das Transportmittel abzuarbeiten hat, läßt sich schließlich die Gesamtzeit berechnen, die es für seine Lastfahrten im Einsatz ist. Die genaue Art und Weise der gesamten Ermittlung ist dabei vom Typ des Transportmittels abhängig, dessen Leistungsdaten und Hauptmaße im Datenmodell (siehe Kapitel 6.2) und in der Objektbibliothek (siehe Kapitel 6.3) beschrieben sind.

Stetigförderer Gerade und Kurve

Bei den Transportmitteltypen Stetigförderer Gerade und Kurve werden zunächst die Transporteinheiten aller Transporte aufsummiert, die ein bestimmtes Transportmittel abzuarbeiten hat. Dabei gilt für die Gesamtzahl der Transporteinheiten:

$$m_{TE j} = \sum_{i=1}^{n_j} m_{TE j, i} \quad (6.4)$$

- mit: $m_{TE j}$ = Anzahl der Transporteinheiten über alle Transporte des Transportmittels j ,
- $m_{TE j, i}$ = Anzahl der Transporteinheiten eines Transportes i des Transportmittels j ,
- n_j = Anzahl der Transporte des Transportmittels j .

Die Zeit, die die Gerade oder Kurve benötigt, um vom leeren in den vollen Zustand zu gelangen, berechnet sich zu:

$$t_{\text{über } j} = \frac{l_j - d_{\text{min } j}}{v_j} \quad (6.5)$$

- mit: $t_{\text{über } j}$ = vom Transportmittel j benötigte Zeit, um vom leeren in den vollen Zustand zu gelangen,
- l_j = Länge des Transportmittels j ,
- $d_{\text{min } j}$ = minimaler Abstand der Transporteinheiten des Transportmittels j ,
- v_j = Fördergeschwindigkeit des Transportmittels j .

Nach Erreichen des vollen Zustandes ergibt sich die Zeit, die erforderlich ist, um die erste Transporteinheit bis zum Ende des Transportmittels und alle anderen Transporteinheiten um $d_{\text{min } j}$ weiterzubewegen, nach folgender Gleichung:

$$t_{\text{voll } j} = \frac{d_{\text{min } j}}{v_j} \quad (6.6)$$

- mit: $t_{\text{voll } j}$ = vom Transportmittel j benötigte Zeit, um im vollen Zustand eine Transporteinheit bis zum Ende des Transportmittels weiterzubewegen,
- $d_{\text{min } j}$ = minimaler Abstand der Transporteinheiten des Transportmittels j ,
- v_j = Fördergeschwindigkeit des Transportmittels j .

Die Gesamtzeit, die das Transportmittel zum reinen Fördern der Last (Lastfahrt) im Einsatz ist, wird dann wie folgt ermittelt:

$$t_{\text{fahr } j} = t_{\text{über } j} + (t_{\text{voll } j} * m_{\text{TE } j}) \quad (6.7)$$

- mit: $t_{\text{fahr } j}$ = Gesamtzeit, die das Transportmittel j zum reinen Fördern der Last (Lastfahrt) im Einsatz ist,
- $t_{\text{über } j}$ = vom Transportmittel j benötigte Zeit, um vom leeren in den vollen Zustand zu gelangen,
- $t_{\text{voll } j}$ = vom Transportmittel j benötigte Zeit, um im vollen Zustand eine Transporteinheit bis zum Ende des Transportmittels weiterzubewegen,
- $m_{\text{TE } j}$ = Anzahl der Transporteinheiten über alle Transporte des Transportmittels j .

Stetigförderer Eckumsetzer, Durchlauf-Eckumsetzer und Durchlaufumsetzer

Auch bei diesen Typen von Transportmitteln werden zuerst die Transporteinheiten über alle Transporte aufsummiert. Es ist jedoch zu unterscheiden, ob die Transporte umgesetzt werden müssen oder ob sie ohne Umsetzung längs oder quer zur Einfügerichtung des Transportmittels geradeaus durch dieses hindurchlaufen. Für den Eckumsetzer, Durchlauf-Eckumsetzer und Durchlaufumsetzer berechnet sich die Summe der umzusetzenden Transporteinheiten in Anlehnung an Gleichung (6.4) zu:

$$m_{\text{TE } u j} = \sum_{i=1}^{n_{u j}} m_{\text{TE } u j, i} \quad (6.8)$$

- mit: $m_{\text{TE } u j}$ = Anzahl der Transporteinheiten über alle Transporte des Transportmittels j , die umgesetzt werden müssen,
- $m_{\text{TE } u j, i}$ = Anzahl der Transporteinheiten eines Transportes i des Transportmittels j , der umgesetzt werden muß,
- $n_{u j}$ = Anzahl der Transporte des Transportmittels j , die umgesetzt werden müssen.

Beim Durchlauf-Eckumsetzer und Durchlaufumsetzer werden zusätzlich zu den umzusetzenden Transporteinheiten diejenigen Transporteinheiten ermittelt, die ohne Umsetzung quer zur Einfügerichtung des Transportmittels geradeaus durch dieses hindurchgeschleust werden. Die Anzahl dieser Transporteinheiten ergibt sich aus der Gleichung:

$$m_{TE\ qj} = \sum_{i=1}^{n_{qj}} m_{TE\ qj,i} \quad (6.9)$$

mit: $m_{TE\ qj}$ = Anzahl der Transporteinheiten über alle Transporte des Transportmittels j , die quer zur Einfügerichtung durch das Transportmittel j hindurchlaufen,

$m_{TE\ qj,i}$ = Anzahl der Transporteinheiten eines Transportes i des Transportmittels j , der quer zur Einfügerichtung durch das Transportmittel j hindurchläuft,

n_{qj} = Anzahl der Transporte des Transportmittels j , die quer zur Einfügerichtung durch das Transportmittel j hindurchlaufen.

Für den Durchlaufumsetzer werden schließlich noch alle Transporteinheiten addiert, die längs zur Einfügerichtung des Transportmittels geradeaus durch dieses hindurchgeschleust werden. Diese berechnen sich zu:

$$m_{TE\ lj} = \sum_{i=1}^{n_{lj}} m_{TE\ lj,i} \quad (6.10)$$

mit: $m_{TE\ lj}$ = Anzahl der Transporteinheiten über alle Transporte des Transportmittels j , die längs zur Einfügerichtung durch das Transportmittel j hindurchlaufen,

$m_{TE\ lj,i}$ = Anzahl der Transporteinheiten eines Transportes i des Transportmittels j , der längs zur Einfügerichtung durch das Transportmittel j hindurchläuft,

n_{lj} = Anzahl der Transporte des Transportmittels j , die längs zur Einfügerichtung durch das Transportmittel j hindurchlaufen.

Nach der Ermittlung der unterschiedlichen Transportmengen läßt sich nun mit Hilfe der transportmittelspezifischen Parameter für den Eckumsetzer, den Durchlauf-Eckumsetzer und den Durchlaufumsetzer die Gesamtzeit für das reine Fördern (Lastfahrt) berechnen. Für diese gilt:

$$\begin{aligned}
 t_{\text{fahr } j} &= m_{\text{TE } u j} * \left(\frac{l_{l j}}{2 v_{l j}} + \frac{l_{q j}}{2 v_{q j}} + t_{\text{Hub } j} + t_{\text{Sch } j} \right) \\
 &+ m_{\text{TE } q j} * \frac{l_{q j}}{v_{q j}} \\
 &+ m_{\text{TE } l j} * \frac{l_{l j}}{v_{l j}}
 \end{aligned} \tag{6.11}$$

- mit: $t_{\text{fahr } j}$ = Gesamtzeit, die das Transportmittel j zum reinen Fördern der Last (Lastfahrt) im Einsatz ist,
- $m_{\text{TE } u j}$ = Anzahl der Transporteinheiten über alle Transporte des Transportmittels j , die umgesetzt werden müssen,
- $m_{\text{TE } q j}$ = Anzahl der Transporteinheiten über alle Transporte des Transportmittels j , die quer zur Einfügerichtung durch das Transportmittel j hindurchlaufen,
- $m_{\text{TE } l j}$ = Anzahl der Transporteinheiten über alle Transporte des Transportmittels j , die längs zur Einfügerichtung durch das Transportmittel j hindurchlaufen,
- $l_{l j}$ = Länge des Transportmittels j längs zur Einfügerichtung,
- $v_{l j}$ = Fördergeschwindigkeit des Transportmittels j längs zur Einfügerichtung,
- $l_{q j}$ = Länge des Transportmittels j quer zur Einfügerichtung,
- $v_{q j}$ = Fördergeschwindigkeit des Transportmittels j quer zur Einfügerichtung,
- $t_{\text{Hub } j}$ = vom Transportmittel j benötigte Summe der Hubzeiten eines Spiels,
- $t_{\text{Sch } j}$ = vom Transportmittel j benötigte Summe der Schaltzeiten eines Spiels.

Stetigförderer Drehtisch

Der Drehtisch erhält ein ähnliches Berechnungsmodell wie der Durchlaufumsetzer. Da die Längs- und Querrichtung jedoch die gleichen Längen- und Geschwindigkeitswerte besitzen, wird nicht zwischen diesen beiden Richtungen unterschieden. So ergeben sich die Transportmengen in Anlehnung an Gleichung (6.8) und (6.9) zu:

$$m_{TE\ d\ j} = \sum_{i=1}^{n_{d\ j}} m_{TE\ d\ j,\ i} \quad (6.12)$$

- mit: $m_{TE\ d\ j}$ = Anzahl der Transporteinheiten über alle Transporte des Transportmittels j , die gedreht werden müssen,
 $m_{TE\ d\ j,\ i}$ = Anzahl der Transporteinheiten eines Transportes i des Transportmittels j , der gedreht werden muß,
 $n_{d\ j}$ = Anzahl der Transporte des Transportmittels j , die gedreht werden müssen

und zu:

$$m_{TE\ g\ j} = \sum_{i=1}^{n_{g\ j}} m_{TE\ g\ j,\ i} \quad (6.13)$$

- mit: $m_{TE\ g\ j}$ = Anzahl der Transporteinheiten über alle Transporte des Transportmittels j , die geradeaus durch das Transportmittel j hindurchlaufen,
 $m_{TE\ g\ j,\ i}$ = Anzahl der Transporteinheiten eines Transportes i des Transportmittels j , der geradeaus durch das Transportmittel j hindurchläuft,
 $n_{g\ j}$ = Anzahl der Transporte des Transportmittels j , die geradeaus durch das Transportmittel j hindurchlaufen.

Mit den beiden Transportmengen läßt sich anschließend in Anlehnung an Gleichung (6.11) die Gesamtzeit für das Fördern (Lastfahrt) berechnen. Für diese gilt:

$$t_{fahr\ j} = m_{TE\ d\ j} * \left(\frac{l_j}{v_j} + t_{Dreh\ j} + t_{Sch\ j} \right) + m_{TE\ g\ j} * \frac{l_j}{v_j} \quad (6.14)$$

- mit: $t_{fahr\ j}$ = Gesamtzeit, die das Transportmittel j zum reinen Fördern der Last (Lastfahrt) im Einsatz ist,
 $m_{TE\ d\ j}$ = Anzahl der Transporteinheiten über alle Transporte des Transportmittels j , die gedreht werden müssen,

- $m_{TE\ g\ j}$ = Anzahl der Transporteinheiten über alle Transporte des Transportmittels j , die geradeaus durch das Transportmittel j hindurchlaufen,
 l_j = Länge des Transportmittels j ,
 v_j = Fördergeschwindigkeit des Transportmittels j ,
 $t_{Dreh\ j}$ = vom Transportmittel j benötigte Summe der Drehzeiten eines Spiels,
 $t_{Sch\ j}$ = vom Transportmittel j benötigte Summe der Schaltzeiten eines Spiels.

Gabelhubwagen Hand und Elektro, Gabelstapler, Schubmaststapler und FTS

Da bei den Flurförderzeugen im Gegensatz zu den Stetigförderern jeder Transportweg eine unterschiedliche Länge aufweisen kann, ist hier das Vorgehen bei der Berechnung der Zeiten aus Lastfahrten ein anderes. Zunächst werden die Zeiten für die Lastfahrten jedes einzelnen Transportes eines Transportmittels berechnet. Diese ergeben sich zu:

$$t_{fahr\ j,\ i} = m_{F\ j,\ i} * \frac{l_{j,\ i}}{v_j} \quad (6.15)$$

- mit: $t_{fahr\ j,\ i}$ = Zeit, die das Transportmittel j für die Lastfahrten des Transportes i benötigt,
 $m_{F\ j,\ i}$ = Anzahl der Fahrten eines Transportes i des Transportmittels j ,
 $l_{j,\ i}$ = Weglänge eines Transportes i des Transportmittels j ,
 v_j = Geschwindigkeit des Transportmittels j .

Anschließend werden die Zeiten für die Lastfahrten jedes einzelnen Transportes eines Transportmittels über alle Transporte dieses Transportmittels aufsummiert. Daraus läßt sich die Gesamtzeit für die Lastfahrten des Transportmittels wie folgt berechnen:

$$t_{fahr\ j} = \sum_{i=1}^{n_j} t_{fahr\ j,\ i} \quad (6.16)$$

- mit: $t_{\text{fahr } j}$ = Gesamtzeit, die das Transportmittel j für alle seine Lastfahrten im Einsatz ist,
 $t_{\text{fahr } j, i}$ = Zeit, die das Transportmittel j für die Lastfahrten des Transportes i benötigt,
 n_j = Anzahl der Transporte des Transportmittels j .

Regalbediengerät Einmast und Zweimast sowie Hochregalstapler

Im Berechnungsmodell für die Geräte zur Bedienung von Hochregallagern finden sowohl die Fahr- als auch die Hubgeschwindigkeiten Berücksichtigung, da sie sich üblicherweise stark voneinander unterscheiden. Damit muß jedoch auch die Länge des Transportweges in eine Komponente entlang der Fahrrichtung und in eine Komponente entlang der Hubrichtung aufgeteilt werden. Auf Basis dieser Überlegungen berechnet sich die Lastfahrzeit des Transportmittels für einen bestimmten Transport zu:

$$\begin{aligned}
 t_{\text{fahr } j, i} &= m_{F j, i} * \frac{l_{H j, i}}{v_{H j}} && \text{für } \frac{l_{H j, i}}{v_{H j}} > \frac{l_{F j, i}}{v_{F j}} \\
 t_{\text{fahr } j, i} &= m_{F j, i} * \frac{l_{F j, i}}{v_{F j}} && \text{für } \frac{l_{H j, i}}{v_{H j}} \leq \frac{l_{F j, i}}{v_{F j}}
 \end{aligned}
 \tag{6.17}$$

- mit: $t_{\text{fahr } j, i}$ = Zeit, die das Transportmittel j für die Lastfahrten des Transportes i benötigt,
 $m_{F j, i}$ = Anzahl der Fahrten eines Transportes i des Transportmittels j ,
 $l_{H j, i}$ = Weglänge eines Transportes i des Transportmittels j in Hubrichtung,
 $v_{H j}$ = Hubgeschwindigkeit des Transportmittels j ,
 $l_{F j, i}$ = Weglänge eines Transportes i des Transportmittels j in Fahrrichtung,
 $v_{F j}$ = Fahrgeschwindigkeit des Transportmittels j .

Die Gesamtzeit für die Lastfahrten eines Transportmittels läßt sich dann nach Gleichung (6.16) als Aufsummierung der einzelnen Lastfahrzeiten sämtlicher Transporte dieses Transportmittels ermitteln.

Kran Einträger und Zweiträger

Für das Berechnungsmodell der Krane wird der Ansatz der Regalbediengeräte um die dritte Dimension erweitert, so daß hier zwischen Kran-, Katz- und Hubgeschwindigkeit unterschieden werden kann. Weiter wird davon ausgegangen, daß ein Verfahren des Krans oder der Katze nur in der obersten Laststellung möglich ist. Damit ergibt sich die Lastfahrzeit eines Transportmittels für einen bestimmten Transport zu:

$$\begin{aligned}
 t_{\text{fahr } j, i} &= m_{F j, i} * \left(\frac{l_{K r j, i}}{v_{K r j}} + \frac{l_{H j, i}}{v_{H j}} \right) && \text{für } \frac{l_{K r j, i}}{v_{K r j}} > \frac{l_{K a j, i}}{v_{K a j}} \\
 t_{\text{fahr } j, i} &= m_{F j, i} * \left(\frac{l_{K a j, i}}{v_{K a j}} + \frac{l_{H j, i}}{v_{H j}} \right) && \text{für } \frac{l_{K r j, i}}{v_{K r j}} \leq \frac{l_{K a j, i}}{v_{K a j}}
 \end{aligned} \tag{6.18}$$

- mit: $t_{\text{fahr } j, i}$ = Zeit, die das Transportmittel j für die Lastfahrten des Transportes i benötigt,
- $m_{F j, i}$ = Anzahl der Fahrten eines Transportes i des Transportmittels j,
- $l_{K r j, i}$ = Weglänge eines Transportes i des Transportmittels j in Kranfahrrichtung,
- $v_{K r j}$ = Krangeschwindigkeit des Transportmittels j,
- $l_{K a j, i}$ = Weglänge eines Transportes i des Transportmittels j in Katzfahrrichtung,
- $v_{K a j}$ = Katzgeschwindigkeit des Transportmittels j,
- $l_{H j, i}$ = Länge des Hub- und Senkweges eines Transportes i des Transportmittels j,
- $v_{H j}$ = Hub- und Senkgeschwindigkeit des Transportmittels j.

Auch für die Krane berechnet sich die Gesamtzeit für die Lastfahrten eines Transportmittels aus der Aufsummierung der einzelnen Lastfahrzeiten sämtlicher Transporte dieses Transportmittels nach Gleichung (6.16).

6.4.1.3 Berechnung der Zeiten für Lastaufnahme und Lastabgabe

Neben der Gesamtzeit für die Lastfahrten kann auch die Gesamtzeit für das Lasthandling, d.h. für die Lastaufnahme und die Lastabgabe, bestimmt werden.

Diese ergibt sich bei allen Typen von Stetigförderern aus der Summierung der Zeiten für die Lastaufnahme und -abgabe der Transporteinheiten bei den einzelnen Transporten zu:

$$t_{\text{hand } j} = \sum_{i=1}^{n_j} m_{\text{TE } j, i} * (t_{\text{auf } j, i} + t_{\text{ab } j, i}) \quad (6.19)$$

- mit: $t_{\text{hand } j}$ = Gesamtzeit, die das Transportmittel j zur Lastaufnahme und -abgabe im Einsatz ist,
 $m_{\text{TE } j, i}$ = Anzahl der Transporteinheiten eines Transportes i des Transportmittels j ,
 $t_{\text{auf } j, i}$ = Zeit, die das Transportmittel j für die Aufnahme einer Transporteinheit des Transportes i benötigt,
 $t_{\text{ab } j, i}$ = Zeit, die das Transportmittel j für die Abgabe einer Transporteinheit des Transportes i benötigt,
 n_j = Anzahl der Transporte des Transportmittels j .

Hierbei ist zu beachten, daß es im Gegensatz zur Lastfahrtberechnung keine Rolle spielt, ob die Transporteinheiten geradeaus durch die Transportmittel hindurchgeschleust werden können oder ob sie umgesetzt oder gedreht werden müssen.

Bei den restlichen Typen von Transportmitteln (Flurförderzeuge, Regalbediengeräte und Krane) werden die Zeiten für die Lastaufnahme und -abgabe nicht für die einzelne Transporteinheit, sondern für eine Lastfahrt angegeben. Damit läßt sich die Gesamtzeit für das Lasthandling bei diesen Transportmitteln aus Gleichung (6.19) ableiten:

$$t_{\text{hand } j} = \sum_{i=1}^{n_j} m_{\text{F } j, i} * (t_{\text{auf } j, i} + t_{\text{ab } j, i}) \quad (6.20)$$

- mit: $t_{\text{hand } j}$ = Gesamtzeit, die das Transportmittel j zur Lastaufnahme und -abgabe im Einsatz ist,
 $m_{\text{F } j, i}$ = Anzahl der Fahrten eines Transportes i des Transportmittels j ,
 $t_{\text{auf } j, i}$ = Zeit, die das Transportmittel j für die Aufnahme der Transporteinheiten einer Fahrt des Transportes i benötigt,

- $t_{ab\ j,\ i}$ = Zeit, die das Transportmittel j für die Abgabe der Transporteinheiten einer Fahrt des Transportes i benötigt,
- n_j = Anzahl der Transporte des Transportmittels j .

6.4.1.4 Berechnung der Auslastungen

Mit den ermittelten Gesamtzeiten für die Lastfahrten bzw. für die Lastaufnahme und -abgabe lassen sich die Auslastungen aus diesen Materialflußoperationen berechnen. Dies geschieht für jedes Transportmittel auf der Basis seiner Einsatzzeit im Beobachtungszeitraum, da sich die zuvor berechneten absoluten Zeiten auf den gleichen Beobachtungszeitraum beziehen. Somit gilt für die Auslastung eines Transportmittels aus seinen Lastfahrten:

$$A_{fahr\ j} = \frac{t_{fahr\ j}}{t_{kap\ j}} \quad (6.21)$$

- mit: $A_{fahr\ j}$ = Auslastung des Transportmittels j aufgrund seiner Lastfahrten,
- $t_{fahr\ j}$ = Gesamtzeit, die das Transportmittel j für alle seine Lastfahrten im Einsatz ist,
- $t_{kap\ j}$ = Einsatzzeit des Transportmittels j im Beobachtungszeitraum

und für die Auslastung aus seiner Lastaufnahme und Lastabgabe:

$$A_{hand\ j} = \frac{t_{hand\ j}}{t_{kap\ j}} \quad (6.22)$$

- mit: $A_{hand\ j}$ = Auslastung des Transportmittels j aufgrund seiner Lastaufnahme und -abgabe,
- $t_{hand\ j}$ = Gesamtzeit, die das Transportmittel j zur Lastaufnahme und -abgabe im Einsatz ist,
- $t_{kap\ j}$ = Einsatzzeit des Transportmittels j im Beobachtungszeitraum.

6.4.2 Erweiterbarkeit der Berechnungsmodelle

Die beschriebenen und im Planungswerkzeug implementierten Berechnungsmodelle bilden die Grundlage für eine Berechnung der statischen Transportmittelauslastungen durch Lastfahrten und Lasthandling. Sie können jedoch noch verfeinert und erweitert werden.

So ist es denkbar, die Berechnungsmodelle der Flurförderzeuge durch die Berücksichtigung von Beschleunigungen oder wegabhängigen Geschwindigkeiten (Kurvenfahrt, Engpaß des Weges usw.) weiter zu detaillieren.

Ebenso ist es möglich, zusätzliche Berechnungsmodelle zu erstellen, die optional zu den bereits bestehenden ausgewählt werden können. Beispielsweise ist bereits jetzt eine zusätzliche Berechnungsmöglichkeit für Regalbediengeräte und Hochregalstapler implementiert, die sich auf die bekannte Ermittlung von Einzelspielzeiten und Doppelspielzeiten nach VDI-Richtlinie 3561 [VDI 3561] stützt.

6.4.3 Beispielhafte Anwendung des Planungswerkzeuges

Im folgenden wird anhand eines Projektbeispiels näher auf die Vorgehensweise zur statischen Auslastungsberechnung von Materialflußsystemen eingegangen. Dabei werden die vom Planungswerkzeug zur Verfügung gestellten Funktionalitäten eingehend beschrieben.

6.4.3.1 Projektbeschreibung

Das betrachtete Unternehmen ist im Bereich der Kunststoff-Spritzgußfertigung als Zulieferbetrieb für die Automobilbranche tätig. Die in den letzten Jahren in dieser Branche durchgeführten Logistikkonzepte (Just in Time, Kanban usw.) erforderten für das Unternehmen technologiebedingt eine immer größere Bevorratung. Zusätzlich konnte das Unternehmen in den letzten Jahren ein beachtliches Wachstum erzielen. Aus diesen Gründen entschloß sich die Unternehmensführung für eine Neustrukturierung des Materialflusses und zum Bau eines neuen Lagers.

Nachfolgend soll gezeigt werden, wie die Planung der Materialflusssysteme mit dem im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Planungswerkzeug erfolgt.

6.4.3.2 Strukturplanung

Im Rahmen der Strukturplanung besteht die Möglichkeit, die Artikel zu definieren, die im Planungsmodell berücksichtigt werden sollen. Zur Definition ist die Angabe einer eindeutigen Artikel-ID, einer beschreibenden Artikel-Bezeichnung und einer durchschnittlichen Stückzahl des Artikels im Beobachtungszeitraum notwendig (Bild 6.7).

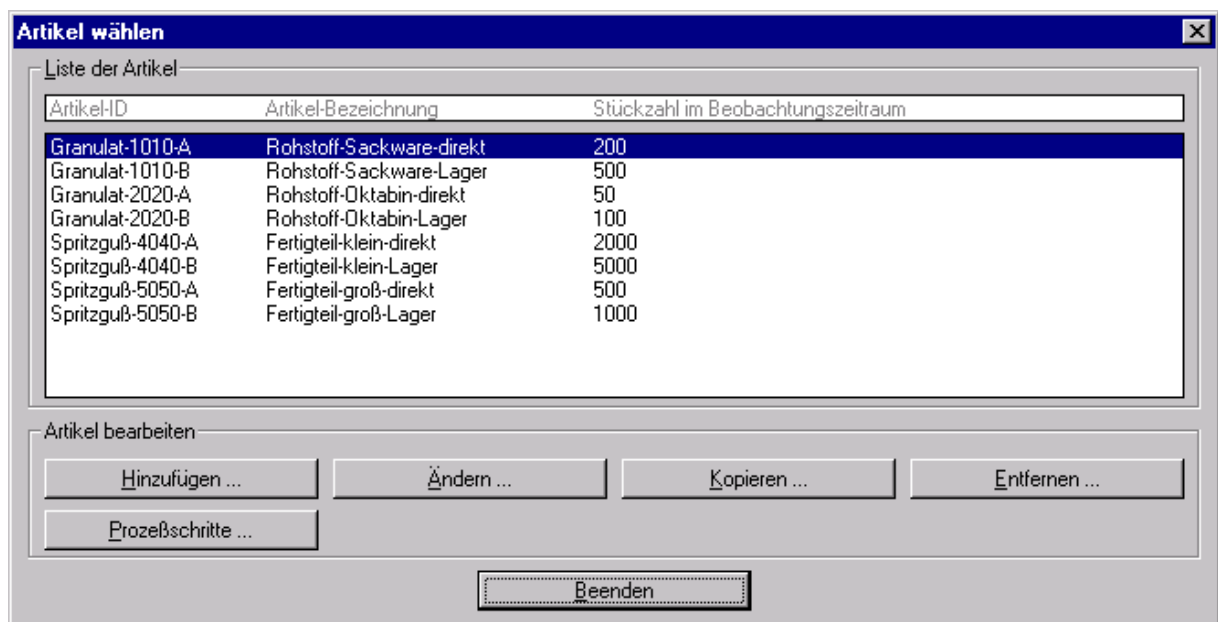


Bild 6.7: Auflistung der berücksichtigten Artikel

Auch die Stationen, an denen die Artikel z.B. gelagert, geprüft, bereitgestellt oder verpackt werden sollen, können zusammen mit ihrer grafischen Darstellung und Lage festgelegt werden. Dazu müssen eine eindeutige Station-ID, eine beschreibende Station-Bezeichnung und die Koordinaten von Quelle und Senke der Station eingegeben werden (Bild 6.8). Die Fläche der Station ergibt sich aus einer optionalen grafischen Bearbeitung des Bereiches, der zu dieser Station gehört und beträgt beispielsweise für den Warenausgang 289m².

Für jeden einzelnen Artikel können nun die Prozesse definiert werden, die dieser zu durchlaufen hat. Dazu ist für jeden Prozeß eine für den Artikel eindeutige Prozeß-ID

und eine beschreibende Prozeß-Bezeichnung einzugeben. Zusätzlich muß eine Station ausgewählt werden, an der der einzelne Prozeß durchgeführt werden soll. Bild 6.9 zeigt beispielhaft die Prozesse des Artikels „Granulat-1010-B“.

Bild 6.8: Dialogfenster für das Modellelement Station (hier: Warenausgang)

| Prozeß-ID | Prozeß-Bezeichnung | Station-ID | Station-Bezeichnung |
|-----------|--------------------|------------|------------------------|
| 10 | Abladen | WE | Wareneingang |
| 20 | Warenkontrolle | WE-Lager | Wareneingang-Lager |
| 30 | Lagern | Lager | Zentrallager |
| 40 | Bereitstellen | MBS | Materialbereitstellung |

Bild 6.9: Auflistung definierter Prozesse des Artikels „Granulat-1010-B“

Durch die Definition der Prozesse unter Hinzufügen dafür geeigneter Stationen werden die Artikelinformationen mit den Stationsinformationen gekoppelt. Mit Hilfe dieser

Verknüpfung kann das Planungswerkzeug die Transporte des betrachteten Planungsbereiches und damit seine Materialflüsse automatisch ableiten und darstellen. Werden zusätzlich Informationen über die Gebäudegrundrisse in das CAD-System eingegeben, so lassen sich Strukturvarianten des zu planenden Bereiches erzeugen (Bild 6.10).

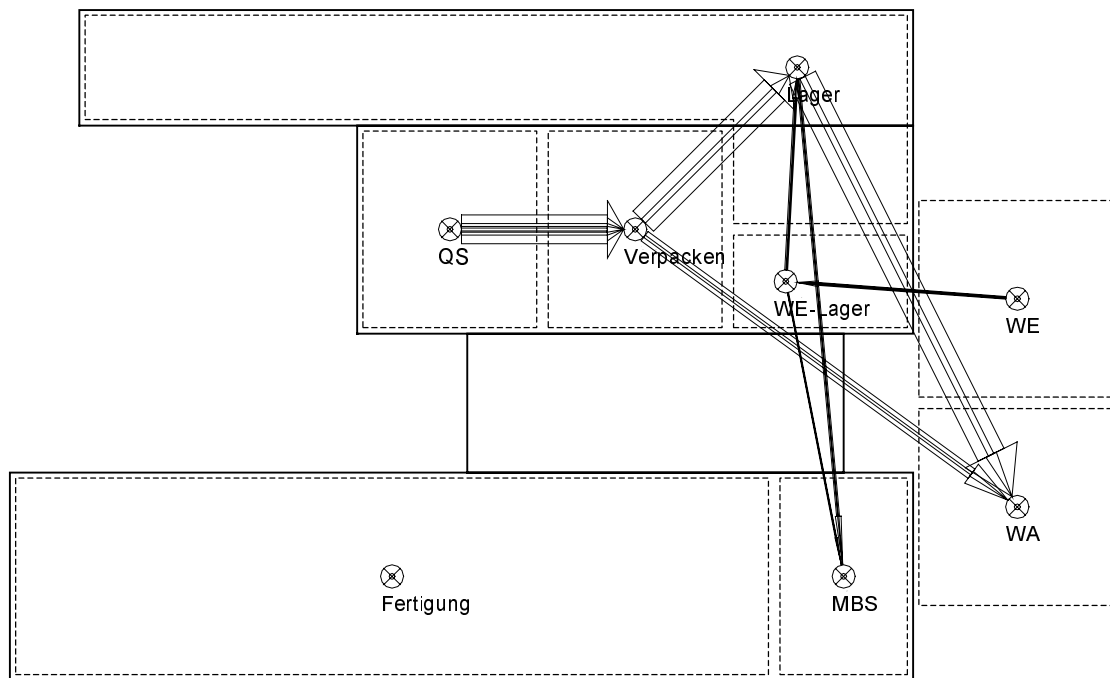


Bild 6.10: Strukturvariante des betrachteten Projektbeispiels

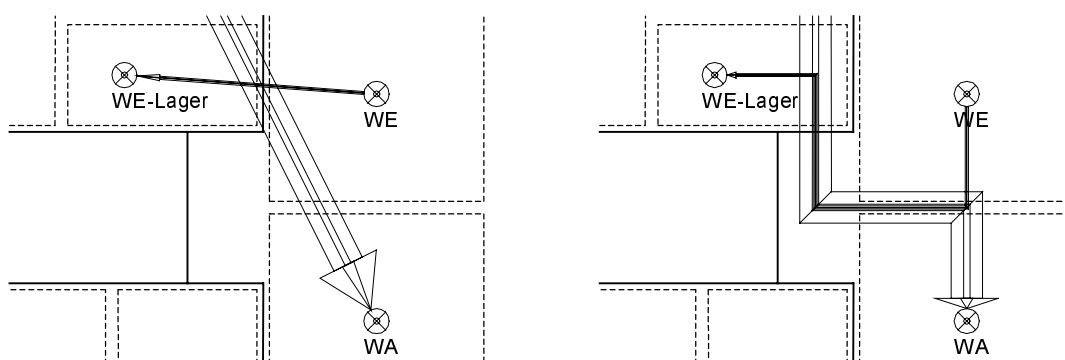


Bild 6.11: Editierbarkeit des Transportwegverlaufes

Sind außer den Gebäudegrundrissen weitere bauliche Randbedingungen (z.B. die Lage der Tore) bekannt, so können die Transporte bereits an dieser Stelle unabhängig von den einzusetzenden Transportmitteln dahingehend detailliert werden, daß

der Verlauf der Transportwege diese Randbedingungen berücksichtigt. Bild 6.11 zeigt Transporte vor und nach dieser Detaillierung.

6.4.3.3 Systemplanung

Im Rahmen der Systemplanung muß zunächst festgelegt werden, welche Transportmittel und Transporthilfsmittel für welche Transporte geeignet sind (siehe Kapitel 3.8.2.2). Bei dieser Überlegung besteht die Möglichkeit, die Transporte und die Transportwege in Abhängigkeit von den Transportmitteln und Transporthilfsmitteln, die eingesetzt werden sollen, zu zerlegen und zu editieren.

So ist es im vorliegenden Fall notwendig, den Materialfluß vom Lager zum Warenausgang seriell aufzuteilen. Den ersten Teil des Weges übernehmen Regalbediengeräte, den zweiten Teil Stetigförderer der Lagervorzone und den dritten Teil ein Gabelstapler, der die Artikel am Ende des Transportes im Warenausgang auf einen bereitstehenden Lkw stellt (Bild 6.12).

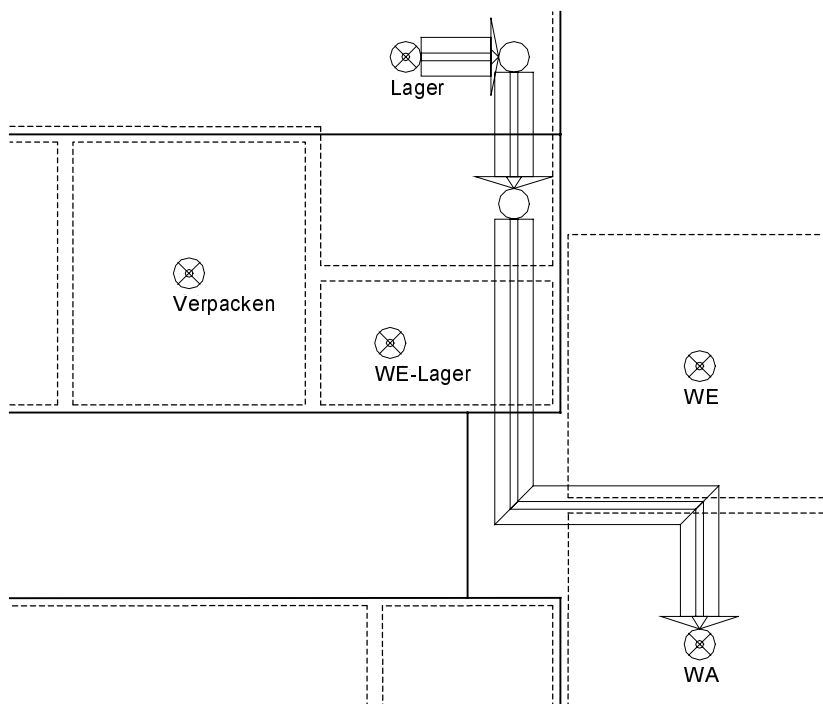


Bild 6.12: Serielle Aufteilung von Transporten auf mehrere Transportmittel

Zur seriellen Aufteilung von Transporten können Übergabepunkte definiert und grafisch dargestellt werden (Bild 6.12), an denen die zu transportierenden Artikel von einem Transportmittel an das nächste übergeben werden können. Sie lassen sich durch eine eindeutige Übergabepunkt-ID, eine beschreibende Übergabepunkt-Bezeichnung und die Koordinaten des Übergabepunktes erzeugen (Bild 6.13).

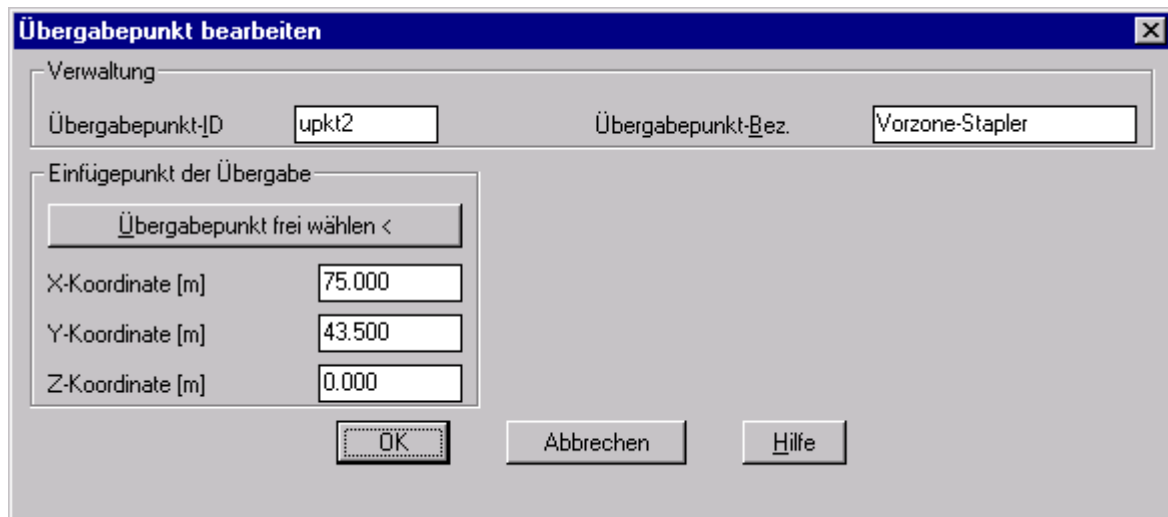


Bild 6.13: Dialogfenster für das Modellelement Übergabepunkt

Ebenso ist es im betrachteten Projektbeispiel erforderlich, Materialflüsse parallel zu teilen. Die Artikel, die zur direkten Beschickung der Materialbereitstellung aus dem Wareneingangslager dienen, sollen zum einen von einem kleinen Elektrogabelhubwagen innerhalb des Gebäudes zum anderen aber auch von einem Dieselstapler außerhalb des Gebäudes transportiert werden (Bild 6.14).

Im Rahmen der Festlegung der Transportwege spielt auch die Auswahl von Transporthilfsmitteln (THM) eine große Rolle. Hier können mit Hilfe des Planungswerkzeuges die verschiedenen Gebinde definiert werden, die im Planungsbereich eingesetzt werden sollen. So lassen sich die THM durch die Eingabe einer eindeutigen THM-ID und einer beschreibenden THM-Bezeichnung festlegen (Bild 6.15).

Auch die ausgewählten Transportmittel lassen sich in ihrer grafischen (siehe Kapitel 6.3.4) und leistungsmäßigen (siehe Kapitel 6.2) Ausprägung erfassen. Dazu müssen aus der Objektbibliothek der gewünschte Typ des Transportmittels ausgewählt und seine Hauptmaße und Leistungsdaten eingegeben werden. Bild 6.16 zeigt beispielhaft das Eingabefenster für den Transportmitteltyp Gabelstapler.

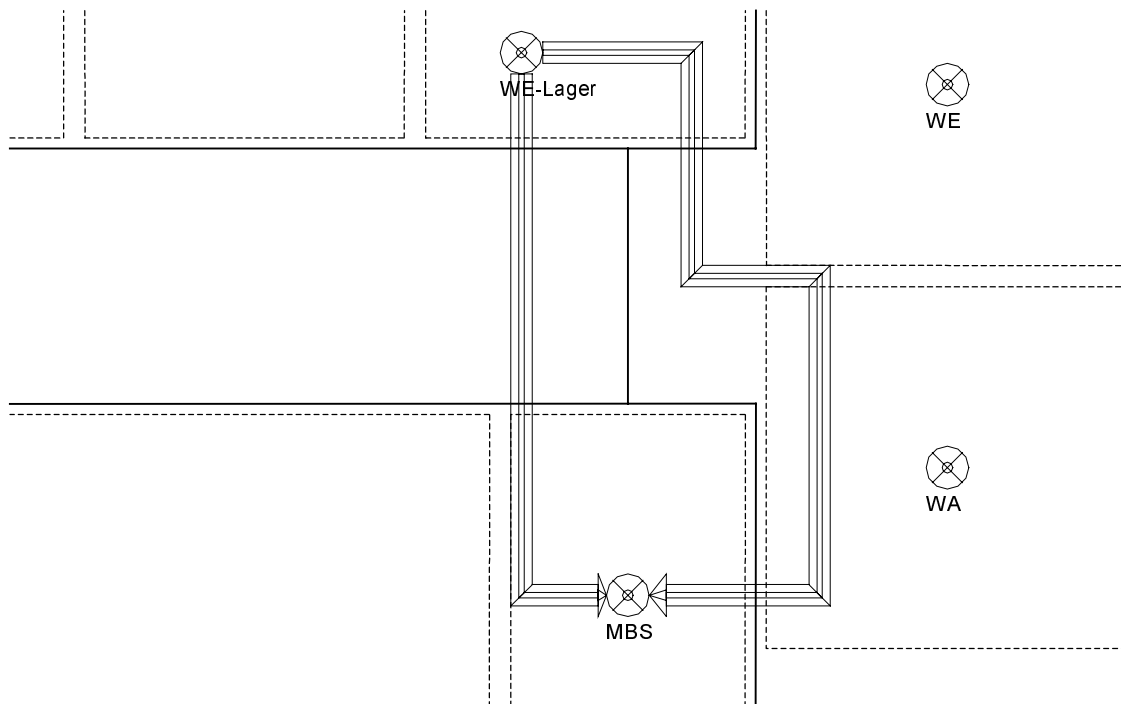


Bild 6.14: Parallele Aufteilung von Transporten auf mehrere Transportmittel

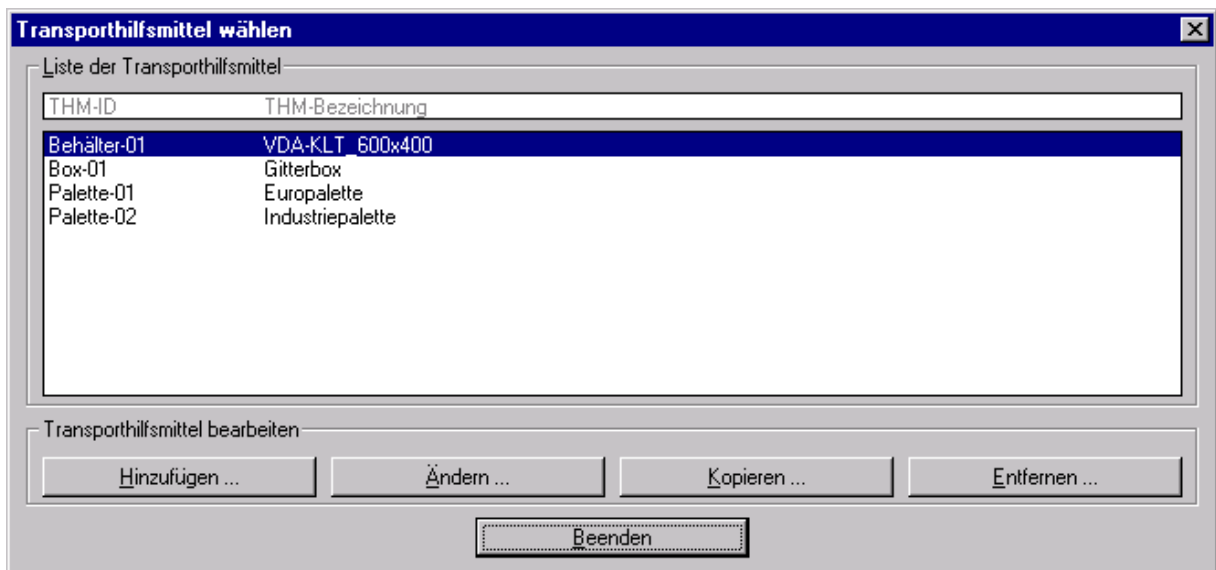


Bild 6.15: Auflistung definierter Transporthilfsmittel (THM)

Bild 6.16: Dialogfenster für den Transportmitteltyp Gabelstapler

Nach der Definition geeigneter Transporthilfsmittel und Transportmittel lassen sich die einzelnen Transporte weiter detaillieren. Dazu können aus der Gesamtheit der Transporte durch verschiedene Filter und Sortieralgorithmen beliebige Untermengen gebildet werden, denen sich eine Reihe von Eingabeparametern zuweisen lassen. Zu diesen Eingabeparametern zählen das verwendete Transporthilfsmittel und Transportmittel, deren durchschnittliche Beladung sowie die durchschnittlichen Zeiten für die Lastaufnahme und -abgabe (Bild 6.17).

Aus den bereits vorhandenen und den zur Detaillierung der Transporte eingegebenen Werten kann das Planungswerkzeug für jeden Transport einige Ausgabewerte berechnen. Hier sind die Anzahl der Artikel, Transporteinheiten und Fahrten sowie die Länge des Transportweges zu nennen (Bild 6.17).

Darüber hinaus kann mit den vorhandenen Daten überprüft werden, ob die zur Verfügung stehende statische Transportleistung der definierten Transportmittel ausreicht, um die anfallenden Transporte im Planungsbereich abzarbeiten. Dazu wird

für alle Transportmittel sowohl die Auslastung aus den Lastfahrten als auch die Auslastung aus der Lastaufnahme und -abgabe berechnet (Bild 6.18).

Transportauftrag bearbeiten

Basisparameter

TA-ID: 1
 Artikel-ID: Granulat-1010-A
 Prozeß-ID Quelle: 10
 Quelle-ID: WE
 Senke-ID: WE-LAGER

Eingabeparameter

THM-ID: Palette-01
 TM-ID: gstap1
 Anzahl Artikel pro TE [-]: 10.000
 Anzahl TE pro Fahrt [-]: 1.000
 Zeit für Lastaufnahme [s]: 5.000
 Zeit für Lastabgabe [s]: 5.000

Ausgabeparameter

Länge Transportweg [m]: 39.500
 Anzahl Artikel [-]: 200.000
 Anzahl TE [-]: 20.000
 Anzahl Fahrten [-]: 20.000

OK Abbrechen Hilfe

Bild 6.17: Dialogfenster für die Detaillierung von Transporten

Auslastung der Transportmittel

Liste der Transportmittel mit Auslastungen

| TM-ID | TM-Art-Bez. | Auslastung [%] | Lastfahrten [%] | Lastaufnahme/-abgabe [%] |
|----------|------------------------------|----------------|-----------------|--------------------------|
| ghwh1 | Gabelhubwagen - Elektro | 38,2 | 27,8 | 10,4 |
| gstap1 | Gabelstapler | 25,9 | 17,2 | 8,7 |
| stetig1 | Stetigförderer - Gerade | 8,7 | 8,7 | 0,0 |
| stetig10 | Stetigförderer - Gerade | 13,9 | 13,9 | 0,0 |
| stetig11 | Stetigförderer - Gerade | 6,9 | 6,9 | 0,0 |
| stetig12 | Stetigförderer - Gerade | 7,3 | 7,3 | 5,9 |
| stetig13 | Stetigförderer - Eckumsetzer | 27,2 | 15,4 | 11,8 |
| stetig14 | Stetigförderer - Eckumsetzer | 13,5 | 7,7 | 5,8 |
| stetig15 | Stetigförderer - Gerade | 3,5 | 3,5 | 0,0 |
| stetig2 | Stetigförderer - Gerade | 8,7 | 8,7 | 0,0 |
| stetig3 | Stetigförderer - Gerade | 8,7 | 8,7 | 0,0 |

Zuordnung der Transporte bearbeiten

Transporte wählen < Zuweisen

Beenden

Bild 6.18: Auslastungen der definierten Transportmittel

6 Realisiertes Planungswerkzeug

Auf der Grundlage dieser Werte kann nun die Dimensionierung der Materialflusssysteme verbessert werden, indem

- die Leistungsdaten einzelner Transportmittel geändert werden,
- weitere Transportmittel in das Planungsmodell eingefügt oder bestehende entfernt werden oder
- die Zuordnung der Transporte zu den Transportmitteln teilweise neu gestaltet wird, so daß bestimmte Transportmittel stärker belastet, andere jedoch dafür entlastet werden.

Eine weitere Funktionalität des Planungswerkzeuges betrifft die Abbildung von Lagersystemen. Im Rahmen der Systemplanung können die während der Strukturplanung nur durch ihre grobe Lage im Layout (Abbildung als Station) bestimmten Lager detaillierter dargestellt werden. Dafür sind je nach Typ der Lagertechnik eine Reihe von Werten einzugeben, die sich im wesentlichen auf die Modul- und Gesamtabmaße sowie auf die Anzahl der Module in den drei Koordinatenrichtungen beschränken (siehe Kapitel 6.2). Bild 6.19 zeigt das Hochregal-Dialogfenster mit den Werten für das im Rahmen des Projektes geplante Hochregallager.

The screenshot shows a dialog box titled "Hochregal bearbeiten" with a 3D wireframe model of a high bay warehouse in the top left corner. The dialog is divided into several sections:

- Verwaltung:** Lager-ID (hoch1), Lager-Bez. (Zentrallager), Lager-Art-ID (12), Lager-Art-Bez. (Hochregallager).
- Einfügepunkt:** Einfügepunkt frei wählen <, X-Koordinate [m] (65.000), Y-Koordinate [m] (57.800), Z-Koordinate [m] (0.000).
- Orientierung:** Orientierung zur y-Achse [°] (180.000).
- Modulabmaße:** Modullänge [m] (3.000), Modulbreite [m] (4.800), Modulhöhe [m] (1.500).
- Moduldaten:** Gangbreite [m] (1.600), Regaltiefe [m] (1.600), Paletten pro Modul [-] (6).
- Anzahl Module:** Hintereinander [-] (19), Nebeneinander [-] (2), Übereinander [-] (6).
- Lagergesamtdaten:** Gesamtlänge [m] (57.000), Gesamtbreite [m] (9.600), Gesamthöhe [m] (9.000), Anzahl Paletten [-] (1368).

Buttons at the bottom: OK, Abbrechen, Hilfe.

Bild 6.19: Dialogfenster mit den Werten für das geplante Hochregallager

Das Planungsergebnis des dargestellten Projektbeispiels zeigt das Groblayout in Bild 6.20. Als neues Lager wird ein zweigassiges Hochregallager mit 1368 Stellplätzen für Europaletten geplant. Die Vorzone besteht aus einem Verschiebewagen und einigen Tragketten- und Rollenförderern. Für die außerhalb des Lagers und seiner Vorzone abzudeckenden Transporte sieht die Planung einen Gabelstapler und einen elektrischen Gabelhubwagen vor. Die statischen Auslastungsberechnungen dieses einfachen Konzeptes ergeben, daß das geplante Materialflußsystem die auftretenden Transportaufgaben bewältigen kann (Bild 6.18).

Die Groblayouts, die zum Abschluß der Systemplanung mit dem Planungswerkzeug erstellt werden können und die bezüglich der Transportleistung ihrer Materialflußsysteme bereits statisch ausgelegt sind, haben bezüglich der zunehmenden Ansprüche an die Planung folgende Vorteile:

- Bei einfachen Planungsprojekten kann auf eine aufwendige Simulation verzichtet werden, ohne die Auslegung der Materialflußsysteme bezüglich ihrer Transportleistung ganz entfallen lassen oder mühsam von Hand berechnen zu müssen. Mit geringem Aufwand läßt sich somit eine höhere Planungssicherheit erreichen.
- Bei komplexeren Planungsprojekten kann frühzeitig entschieden werden, welche Varianten simulationswürdig sind. Für diese stehen dann bereits sinnvolle Eingangsdaten zur Verfügung.

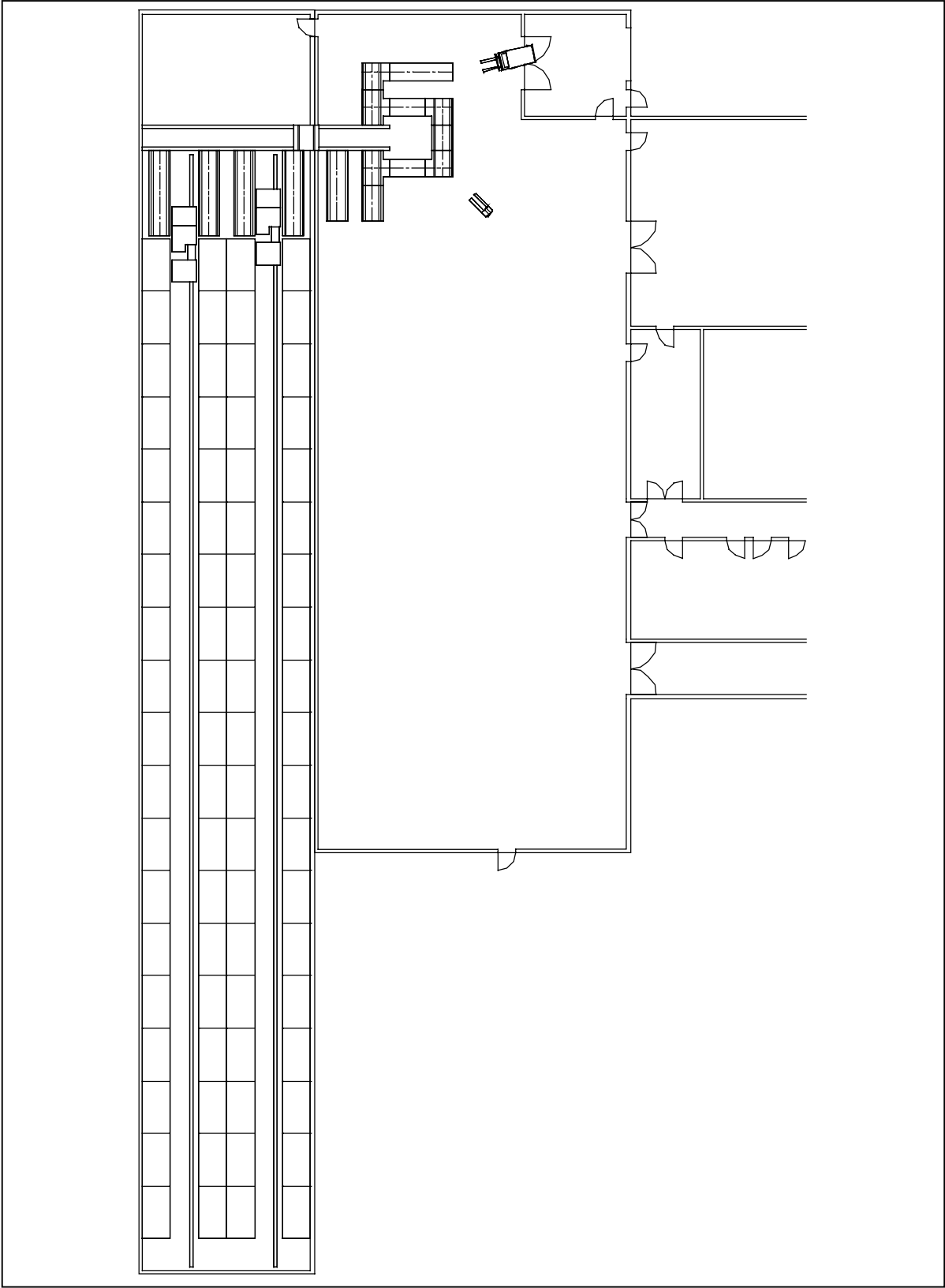


Bild 6.20: Planungsergebnis des Projektbeispiels als Groblayout

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die sich rasch ändernden Marktanforderungen zwingen die Unternehmen zu einem ständigen Anpassungsprozeß, der starke Auswirkungen auf die innerbetriebliche Logistik hat und so eine häufige Neu-, Um- oder Erweiterungsplanung der Materialflusssysteme (Lager- und Transportsysteme) erfordert. Der Planungsprozeß selbst ändert sich dabei ebenfalls, was sich besonders durch einen größeren Umfang und eine höhere Komplexität der Projekte, wachsende Erwartungen an die Planungssicherheit und einen kürzeren Zeitraum zur Durchführung der Planung bemerkbar macht.

Um diese Herausforderungen besser bewältigen zu können, wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Konzept erstellt, das Überlegungen zu einer durchgängigen Rechnerunterstützung enthält. Wesentliche Kernbereiche dieses Konzeptes werden bei der Entwicklung eines computerintegrierten Planungswerkzeuges umgesetzt, das eine Planung technischer Materialflusssysteme auf der Grundlage statischer Materialflüsse ermöglicht. Die dafür verwendete Entwicklungsbasis besteht aus dem CAD-System AutoCAD [Aut-97a] und der Datenbankanwendung MS ACCESS [Mic-96].

Neben den zunehmenden Ansprüchen an die Planung werden für die formulierten Teilkonzepte und Entwicklungsschwerpunkte auch die Ergebnisse einer Analyse des Planungsprozesses und einer Analyse vorhandener rechnergestützter Planungshilfsmittel berücksichtigt.

Auf diesen Randbedingungen aufbauend wird eine Planungssystematik erarbeitet, die den Planungsprozeß von den Vorarbeiten (Materialflußuntersuchung) über die Strukturplanung bis hin zur Systemplanung durchgängig unterstützt. Diese Planungssystematik dient als Grundlage des Gesamtkonzeptes und des zu entwickelnden Planungswerkzeuges.

Aufgrund der geforderten Flexibilität bezüglich individueller Vorgehensweisen, variierender Planungstiefen und projektspezifischer Planungstätigkeiten muß eine geeignete Rechnerunterstützung die Möglichkeit zur optionalen Bearbeitung der verschiedenen Planungsschritte beinhalten. Aus diesem Grund wird ein modulares Konzept entwickelt und umgesetzt, bei dem die einzelnen Module im wesentlichen den Planungstätigkeiten innerhalb der Planungssystematik entsprechen und weitgehend unabhängig voneinander aufrufbar sind.

Um den Planungsaufwand zu verringern und eine höhere Planungssicherheit zu ermöglichen, ist es unbedingt erforderlich, in allen Planungsschritten bzw. von allen Planungsmodulen aus auf einmal entstandene Daten zugreifen zu können. Aufgrund dieser Anforderung wird die Konzeption einer durchgängigen Datenbasis erarbeitet, die im realisierten Planungswerkzeug auf der Integration einer Datenbankanwendung basiert. Neben der prinzipiellen Zugriffsmöglichkeit durch die Verwendung einer durchgängigen Datenbasis muß darüber hinaus sichergestellt werden, daß die einzelnen Module für ihre Daten gleiche Formate, Einheiten und Abhängigkeiten verwenden. Dies wird durch die Entwicklung eines durchgängigen Datenmodells für alle Planungsmodule erreicht, mit dessen Hilfe der ansonsten entstehende Aufwand durch zusätzliches Formatieren, Umrechnen und Aufbereiten der Daten vermieden werden kann. Gleichzeitig sinkt die Fehleranfälligkeit.

Ein weiterer Schwerpunkt bei der Realisierung des Planungswerkzeuges besteht in der Entwicklung einer tiefgreifenden Unterstützung des Planers bei der analytischen Dimensionierung sowohl der zeitabhängigen als auch der zeitunabhängigen Größen von Materialflußsystemen. Dazu wird eine parametrische Objektbibliothek erstellt, die die wichtigsten Typen von Materialflußmitteln enthält, aber auch eine nachträgliche Erweiterung zuläßt. Diese Objektbibliothek erlaubt zum einen ein schnelles Erzeugen, Ändern, Kopieren und Löschen von Materialflußmitteln beim Erstellen von Planungs- und Layoutvarianten. Zum anderen ermöglicht sie durch eine Integration der Leistungsdaten der Materialflußmittel deren statische Auslastungsberechnung durch Lastfahrten und Lasthandling. Als Grundlage dieser Auslastungsberechnung dienen neben den genannten Leistungsdaten die in der Strukturplanung erzeugten Materialflüsse zwischen den einzelnen Stationen des Planungsprojektes. Sie können mit Hilfe des Planungswerkzeuges auf vielfältige Weise editiert werden. So ist es möglich, die anstehenden Transporte sowohl seriell als auch parallel auf verschiedene Transportmittel aufzuteilen und so zu einer realistischen Zuordnung von Transporten zu Transportmitteln zu gelangen.

Die im entwickelten Planungswerkzeug implementierten Funktionalitäten erlauben ein schnelles Erstellen von Groblayouts und die Berechnung der statischen Auslastung der enthaltenen Materialflußsysteme. Bei einfachen Planungsprojekten hat der Planer somit ein Werkzeug an der Hand, um die Materialflußsysteme grob zu dimensionieren, ohne eine aufwendige Simulation durchführen zu müssen. Bei komplexeren Projekten kann er zu einem frühen Zeitpunkt erkennen, welche Planungsvarian-

ten simulationswürdig sind. Für diese Varianten stehen ihm dann bereits sinnvolle Modell- und Eingangsdaten zur Verfügung. Damit ist sowohl bei einfachen als auch bei umfangreichen und komplexen Planungsprojekten ein beträchtlicher Zeitgewinn zu erzielen. Dieser eröffnet die Möglichkeit, mehr Planungsvarianten zu verfolgen bzw. detaillierter zu betrachten, und erhöht dadurch die Planungssicherheit.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit liegt der Schwerpunkt der Umsetzung auf den Planungsmodulen des CAD- und Datenbanksystems sowie auf der Realisierung einer durchgängigen Datenbasis und eines durchgängigen Datenmodells. Da bereits hiermit die oben genannten Verbesserungen bezüglich der Planungseffizienz erzielt werden können, sollte darauf aufbauend eine schrittweise Erweiterung des Planungswerkzeuges, die eine weitere Steigerung der Planungseffizienz erwarten läßt, unter Beachtung des aufgezeigten Gesamtkonzeptes erfolgen.

So erscheint es sinnvoll, in einem nächsten Schritt die Planungsmodule des Simulationssystems zu entwickeln und über die Datenbankanwendung an das Planungswerkzeug anzubinden. Dadurch kann bei komplexen Planungsprojekten ein weiterer Zeitgewinn durch das schnelle und einfache Erzeugen des Simulationsmodells und das automatische Bereitstellen sinnvoller Eingangsdaten erzielt werden. Darüber hinaus wird durch die dynamische Überprüfung der statischen Planungsergebnisse die Planungssicherheit erhöht.

Im Bereich der Bewertung von Systemvarianten ist an die Unterstützung des Wirtschaftlichkeitsnachweises zu denken. Dazu muß zunächst eine Erweiterung der bereits zur Verfügung stehenden Daten durchgeführt und damit eine Berechnung der Materialflußkosten [VDI 3330] ermöglicht werden. Nach einer Integration verschiedener Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung [VDI 2693] können dann mit Hilfe dieser Kosten die unterschiedlichen Systemvarianten monetär bewertet werden.

In weiteren Arbeiten ist es denkbar, Planungsmodule zum Erstellen von Ausschreibungsunterlagen und zur Dokumentation der Planung zu entwickeln und an das Planungswerkzeug anzubinden. Dies hat den Vorteil, direkt auf bereits vorliegende Daten des CAD-, Simulations- und Datenbanksystems zugreifen zu können, was sowohl der Planungszeit als auch der Planungssicherheit zugute kommt. Aus den abgefragten Daten können dann, zumindest zum Teil, automatisch Berichte erstellt werden.

Es wird deutlich, daß die aufgezeigten Erweiterungsmöglichkeiten zu einem durchgängigen rechnerunterstützten Planungswerkzeug für Materialflußsysteme führen, mit dessen Hilfe der Planungszeitraum und die Planungssicherheit weiter optimiert werden können. Damit ist es möglich, den zunehmenden Ansprüchen an den Planungsprozeß erfolgreich zu begegnen.

8 Literaturverzeichnis

- [AES-98] AESOP (Hrsg.):
Simple++ 5.0: Referenzhandbuch.
Stuttgart: AESOP GmbH, 1998.
- [Agg-90] Aggteleky, B.:
Fabrikplanung: Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung,
Band 1-3.
München, Wien: Hanser, 1987 (Band 1) und 1990 (Band 2 und 3).
- [Aif-93] AiF Forschungsvorhaben Nr. 8727, Abschlußbericht:
Entwurf eines wissensbasierten, computergestützten Werkzeugs für
den Layoutplaner zur Gestaltung innerbetrieblicher Layouts.
Dortmund: Fraunhofer-Institut für Materialfluß und Logistik, 1993.
- [Arn-95] Arnold, D.:
Materialflußlehre.
Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1995.
- [Arn-98] Arnold, D.; Rall, B.:
Analytische Dimensionierung von Materialflußsystemen mittels ge-
schlossener Warteschlangennetze.
In: Ziems, D. (Hrsg.): Logistikplanung: Methoden, Werkzeuge, Poten-
tiale / 4. Magdeburger Logistiktagung.
Magdeburg: LOGISCH GmbH, 1998.
- [Aut-97a] Autodesk (Hrsg.):
AutoCAD 14: Benutzerhandbuch.
Neuchatel / Schweiz: Autodesk Development B.V., 1997.
- [Aut-97b] Autodesk (Hrsg.):
AutoCAD 14: Handbuch für Benutzeranpassungen.
Neuchatel / Schweiz: Autodesk Development B.V., 1997.
- [Auto-93] Autosimulations (Hrsg.):
Automod User's Manual.
Bountiful / Utah: Autosimulations Inc., 1993.
- [Bau-96] Baumgarten, H.:
Trends und Strategien in der Logistik 2000: Analysen - Potentiale -
Perspektiven.
Berlin: TU Berlin, Institut für Technologie und Management, Bereich
Logistik, 1996.

- [Bau-97] Baumgarten, H.; Wiegand, A.:
Logistiktrends und -strategien: Ergebnisse einer aktuellen Umfrage.
In: Hossner, R. (Hrsg.): Logistik Jahrbuch 1997.
Düsseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt, 1997.
- [Bäu-98] Bäune, R.; Martin, H.; Schulze, L.:
Handbuch der innerbetrieblichen Logistik, Band 2: Auswahl von Flurförderzeugen.
Hamburg: Jungheinrich AG (Hrsg.), 1998.
- [Baus-97] Bausch, H.:
Gefahrstofflager in einem wachsenden Umweltbewußtsein der Gesellschaft.
In: VDI (Hrsg.): Den Wandel fordern und fördern / 8. Deutscher Materialfluß-Kongreß, VDI-Bericht 1325.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997.
- [Bec-97] Beckmann, H.:
Evolutionäre Logistik-Planung: Strategien der erfolgreichen Unternehmensentwicklung.
In: Hossner, R. (Hrsg.): Logistik Jahrbuch 1997.
Düsseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt, 1997.
- [Beu-93] Beumer, C.:
Computerunterstützte Materialflußplanung für Warenverteilsysteme.
Dissertation Universität Hannover, 1993.
- [Blu-97] Blummer, T.:
Objektverwalter: Objektdatenbanken – High-Tech-Spielzeuge oder Zukunftsmodell?
In: c't (1997) Nr. 5, S. 284-295.
- [BMBF-95] Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (Hrsg.):
Rahmenkonzept „Produktion 2000“: Strategien für die industrielle Produktion im 21. Jahrhundert.
Bonn: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), 1995.
- [Bor-97] Born, A.:
Reine Lehre: Jasmine: Objektorientierung pur.
In: iX (1997) Nr. 5, S. 28.

- [Bul-97] Bullinger, H.-J.:
Den Wandel fordern und fördern.
In: VDI (Hrsg.): Den Wandel fordern und fördern / 8. Deutscher Materialfluß-Kongreß, VDI-Bericht 1325.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997.
- [Dem-96] Demuth, B.:
Zweckgemeinschaft: Verschmelzung von objektorientierten und relationalen Systemen.
In: iX (1996) Nr. 5, S. 140-148.
- [Dem-97] Demuth, B.:
Friedlich vereint: Persistence: Mittler zwischen Objekten und Relationen.
In: iX (1997) Nr. 7, S. 91-97.
- [Düc-97] Dück, O. (Hrsg.):
Logistik in der Produktion.
Augsburg: WEKA, 1997.
- [F&H-98] F&H Simulations (Hrsg.):
Introducing Taylor ED: Revolutionary new tool for modeling, visualization and control.
In: Taylor Times number 7, S. 7-9.
Utrecht / Niederlande: F&H Simulations B.V.; 1998.
- [Fis-97] Fischer, W.; Dittrich, L.:
Materialfluß und Logistik: Optimierungspotentiale im Transport- und Lagerwesen.
Berlin u.a.: Springer, 1997.
- [Gro-84] Großeschallau, W.:
Materialflußrechnung.
Berlin u.a.: Springer, 1984.
- [Gün-91] Günthner, W.:
Wirtschaftliche Lager- und Materialflußtechnik / Seminarband.
Regensburg: Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut (OTTI), 1991.
- [Gün-92] Günthner, W.; Seebauer, J.; Reichenberger, H.:
Klarheit in nur 60 Minuten: CAD-gestützte Lager- und Materialflußplanung.
In: Materialfluß 23 (1992) Nr. 9, S. 48-50.

- [Gün-95] Günthner, W.:
Fördertechnik I.
Vorlesungsskriptum: fml Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik, TU München.
München: Lehrstuhl fml, 1995.
- [Gün-97a] Günthner, W.; Allgayer, F.:
Verbundforschungsprojekt „MATVAR“ ist angelaufen: Dynamische Produktionsstrukturen durch flexible Materialflußsysteme.
In: Logistik im Unternehmen 11 (1997) Nr. 10, S. 28-30.
- [Gün-97b] Günthner, W.; Kumpf, A.; Haller, M.:
Auswahl von Simulations-Software: Auf den Verwendungszweck kommt es an.
In: F+H Fördern und Heben 47 (1997) Nr. 3, S. 130-134.
- [Gün-98a] Günthner, W.; Handrich, W.:
Ein Ansatz für mehr Flexibilität: Leichtfördersystem im Überflurbereich.
In: F+H Fördern und Heben 48 (1998) Nr. 5, S. 349-352.
- [Gün-98b] Günthner, W.; Handrich, W.:
Einsatzmöglichkeiten eines Leichtfördersystems im Überflurbereich.
In: Marquard, H.-G. (Hrsg.): Automatisierte Krane - Einsatz Erfahrungen und Entwicklungstendenzen / 6. Kranfachtagung.
Dortmund: Verlag Praxiswissen, 1998.
- [Gün-98c] Günthner, W.; Bambynek, A.:
Integrierbarkeit eines flurfreien Leichtfördersystems: Schnittstellen-Baukasten.
In: Hebezeuge und Fördermittel 38 (1998) Nr. 12, S. 593-595.
- [Gün-99] Günthner, W.; Haller, M.:
Im Spannungsfeld zwischen Flexibilität und Automatisierung: Sich den Herausforderungen stellen.
In: Hossner, R. (Hrsg.): Logistik Jahrbuch 1999.
Düsseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt, 1999.
- [Hep-98a] Heptner, K.:
Ersatzteillogistik - Dienstleistung im Wandel.
In: VDI (Hrsg.): VDI-FML Jahrbuch 1998.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1998.

- [Hep-98b] Heptner, K.:
Einteilung der Lager nach ihrer Funktion.
In: Dück, O. (Hrsg.): Lagerplanung, -organisation und -optimierung.
Augsburg: WEKA, 1998.
- [Hor-95] Horn, V.:
Prozeßorientierte Strukturierung der Fabrik für die Zukunft.
In: Ziems, D. (Hrsg.): Planung von Logistiksystemen `95: Kooperation
und Integration / Tagungsbericht.
Magdeburg: Institut für Förder- und Baumaschinentechnik, Stahlbau,
Logistik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 1995.
- [IBM-96] IBM (Hrsg.):
Daten-Replikation für relationale und nichtrelationale Datenbanken:
DB2-Datenbanksysteme: Übersicht über die IBM Konzeption und
Produkte.
Stuttgart: IBM Deutschland Informationssysteme GmbH, 1996.
- [Inf-97] Informix (Hrsg.):
Informix-Universal Server: Die Erweiterung des RDBMS zur Verwal-
tung komplexer Daten.
Ismaning: Informix Software GmbH, 1997.
- [Jün-89] Jünemann, R.:
Materialfluß und Logistik: Systemtechnische Grundlagen mit Praxis-
beispielen.
Berlin u.a.: Springer, 1989.
- [Jün-97] Jünemann, R.:
Die zukünftige Rolle des Förder- und Lagerwesens in Forschung und
Entwicklung – eine Standortbestimmung.
In: Jünemann, R. (Hrsg.): Von der Fördertechnik zur Logistik: Trends
auf dem Weg in das 21. Jahrhundert / Tagungsband zu den 15.
Dortmunder Gesprächen.
Dortmund: Verlag Praxiswissen, 1997.
- [Jün-98] Jünemann, R.; Beyer, A.:
Steuerung von Materialfluß- und Logistiksystemen: Informations- und
Steuerungssysteme, Automatisierungstechnik.
Berlin u.a.: Springer, 1998.
- [Ket-84] Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R.:
Leitfaden der systematischen Fabrikplanung.
München, Wien: Hanser, 1984.

- [Koe-93] Koether, R.:
Technische Logistik.
München, Wien: Hanser, 1993.
- [Koh-95] Kohler, U.:
Simulationsgestützte Layout- und Materialflußplanung in der Großserienmontage.
In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Planung von Montageanlagen / iwv Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, TU München, Seminarbericht Nr. 13.
München: Herbert Utz Verlag Wissenschaft, 1995.
- [Koh-97] Kohler, U.:
Effizientes Planen senkt die Produktionskosten: Durchgängige Materialfluß- und Logistikplanung.
In: Industrieanzeiger (1997) Nr. 10, S. 60-61.
- [Lan-97] Lanner (Hrsg.):
WITNESS Benutzerhandbücher.
Redditch / Großbritannien: Lanner Group Ltd, 1997.
- [Leh-95] Lehmann, P.; Richter, K.:
Anforderungen an CAD-Planungssysteme aus der Angebotsbearbeitung für Stückgut-Verteilzentren.
In: Ziems, D. (Hrsg.): Planung von Logistiksystemen `95: Kooperation und Integration / Tagungsbericht.
Magdeburg: Institut für Förder- und Baumaschinentechnik, Stahlbau, Logistik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 1995.
- [Lehm-95] Lehmann, H.:
Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystemen.
Dissertation Technische Universität München, 1996.
- [Lin-97] Lindemann, U.:
Erfolgreiche Produkte durch Integrierte Produktentwicklung.
In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Mit Schwung zum Aufschwung / Münchner Kolloquium `97.
Landsberg / Lech: Moderne Industrie, 1997.
- [Mar-97] Marquardt, H.-G.; Schulze, F.:
Umlauflager als Bediensystem: Modellierung.
In: Hebezeuge und Fördermittel 37 (1997) Nr. 1/2, S. 50-53.

- [Mar-98] Marquardt, H.-G.; Markwardt, U.:
Leistungsnachweis für Umlauflager.
In: Ziems, D. (Hrsg.): Logistikplanung: Methoden, Werkzeuge, Potentiale / 4. Magdeburger Logistiktagung.
Magdeburg: LOGISCH GmbH, 1998.
- [Mart-98] Martin, H.:
Transport- und Lagerlogistik: Planung, Aufbau und Steuerung von Transport- und Lagersystemen.
Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1998.
- [Mic-96] Microsoft (Hrsg.):
Arbeiten mit Microsoft Access 97: Microsoft ACCESS 97 Benutzerhandbuch.
Redmond / Washington: Microsoft Corporation, 1996.
- [Mil-94] Milberg, J.:
Unsere Stärken stärken - Der Weg zu Wettbewerbsfähigkeit und Standortsicherung.
In: Milberg, J.; Reinhart, G. (Hrsg.): Unsere Stärken stärken / Münchner Kolloquium `94.
Landsberg / Lech: Moderne Industrie, 1994.
- [Mil-97] Milberg, J.:
Produktion - Eine treibende Kraft für unsere Volkswirtschaft.
In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Mit Schwung zum Aufschwung / Münchner Kolloquium `97.
Landsberg / Lech: Moderne Industrie, 1997.
- [N.N.-96a] N.N.:
Der Personalcomputer als 3D-Zeichentisch.
In: Süddeutsche Zeitung, Ausgabe vom 24. Juni 1996.
- [N.N.-96b] N.N.:
Weniger ist mehr: Reduzierte Grafiken bringen viele Vorteile.
In: Zeichnen (1996) Nr. 1, S. 19-21.
- [N.N.-97] N.N.:
Mehr Leistung in allen Dimensionen: Version 3.0 von Solid Edge.
In: Zeichnen (1997) Nr. 1, S. 20-21.
- [Noc-91] Noche, B.; Wenzel, S.:
Marktspiegel Simulationstechnik in Produktion und Logistik.
Köln: Verlag TÜV Rheinland, 1991.

- [Ora-97] Oracle (Hrsg.):
Skalierbarkeit ... Offenheit: Client/Server-Produktkatalog.
München: Oracle Deutschland GmbH, 1997.
- [Paw-97] Pawellek, G.; Schirrmann, A.:
PPS im Wandel: Zukünftige Steuerungskonzepte bauen auf Organi-
sation und Logistik.
In: Hossner, R. (Hrsg.): Logistik Jahrbuch 1997.
Düsseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt, 1997.
- [Paw-99] Pawellek, G.; Hartmann, T.:
Komplexitätsreduzierung in der Produktionslogistik: Planungsinstru-
ment auf Basis teiledifferenzierter Logistiko-optimierung.
In: Hossner, R. (Hrsg.): Logistik Jahrbuch 1999.
Düsseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt, 1999.
- [Pfo-99] Pfohl, H.-C.; Häusler, P.; Koldau, A.:
Qualität distributionslogistischer Leistungen: Empirische Ergebnisse
aus Unternehmensbefragung und Fallstudien.
In: Hossner, R. (Hrsg.): Logistik Jahrbuch 1999.
Düsseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt, 1999.
- [Pie-98] Piepenbrock, G.:
SIMPLE++/CAD.
In: AESOP (Hrsg.): SIMPLE++ Benutzertreffen 1998 / Tagungsband.
Stuttgart: AESOP GmbH, 1998.
- [Pin-93] Pink, C.:
Hilft der Rechner nur dem Zeichner?: Computer bei der Lagerpla-
nung.
In: Lagertechnik `93, S. 31-34.
- [POE-97] POET (Hrsg.):
Technical Overview: A closer look at the POET Object Database.
Hamburg: POET Software GmbH, 1997.
- [Pro-97a] Projecteam (Hrsg.):
FASTDESIGN: Die Systemfamilie für Fabrikplanung und Facility-
Management.
Dortmund: Projecteam Innovative Fabrikplanung und -steuerung
GmbH & Co., 1997.
- [Pro-97b] Projecteam (Hrsg.):
FASTDESIGN Planung.
Dortmund: Projecteam Innovative Fabrikplanung und -steuerung
GmbH & Co., 1997.

- [Pro-97c] Projecteam (Hrsg.):
FASTDESIGN Simulation.
Dortmund: Projecteam Innovative Fabrikplanung und -steuerung
GmbH & Co., 1997.
- [Pro-98] Projecteam (Hrsg.):
FASTDESIGN: Benutzerhandbuch.
Dortmund: Projecteam Innovative Fabrikplanung und -steuerung
GmbH & Co., 1998.
- [Prö-98] Pröll, E.:
Fertigung-Logistik-Personal: Ein gesamtheitliches Simulationsmodell
auf CAD-Basis.
In: AESOP (Hrsg.): SIMPLE++ Benutzertreffen 1998 / Tagungsband.
Stuttgart: AESOP GmbH, 1998.
- [Rei-94] Reinhart, G.:
Wettbewerbsfähige Produktion - Voraussetzung für eine strategische
Entscheidung.
In: Milberg, J.; Reinhart, G. (Hrsg.): Unsere Stärken stärken / Münch-
ner Kolloquium `94.
Landsberg / Lech: Moderne Industrie, 1994.
- [Rei-97] Reinhart, G.:
Innovative Prozesse und Systeme - Der Weg zu Flexibilität und
Wandlungsfähigkeit.
In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Mit Schwung zum Aufschwung /
Münchner Kolloquium `97.
Landsberg / Lech: Moderne Industrie, 1997.
- [Ric-97] Richter, K.:
ProSort Informationsblatt 3/97.
Magdeburg: Institut für Förder- und Baumaschinentechnik, Stahlbau,
Logistik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 1997.
- [Rick-95] Rickert, M.:
Umstrukturierung eines metallverarbeitenden Betriebes in NRW mit
rechnergestützten Methoden.
In: Ziems, D. (Hrsg.): Planung von Logistiksystemen `95: Kooperation
und Integration / Tagungsbericht.
Magdeburg: Institut für Förder- und Baumaschinentechnik, Stahlbau,
Logistik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 1995.

- [Sch-98] Schaab, W.:
Neuplanung von Lager- und Materialflußsystemen.
In: Dück, O. (Hrsg.): Lagerplanung, -organisation und -optimierung.
Augsburg: WEKA, 1998.
- [Sei-97] Seifert, W.:
Logistikzentren für den stationären Handel: Vergleich unterschiedlicher Automatisierungsstufen.
In: VDI (Hrsg.): VDI-FML Jahrbuch 1997.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997.
- [Spi-98] Spieckermann, S.; Gutenschwager, K.:
Simulationsgestützte Logistikplanung.
In: Ziems, D. (Hrsg.): Logistikplanung: Methoden, Werkzeuge, Potentiale / 4. Magdeburger Logistiktagung.
Magdeburg: LOGISCH GmbH, 1998.
- [Tec-99a] Tecnomatix AESOP (Hrsg.):
Simple++/CAD: Benutzerhandbuch.
Stuttgart: Tecnomatix AESOP GmbH & Co. KG, 1999.
- [Tec-99b] Tecnomatix AESOP (Hrsg.):
Simple++: Inter-Process-Communication Schnittstellen.
Stuttgart: Tecnomatix AESOP GmbH & Co. KG, 1999.
- [Tru-98] Truskiewitz, G.:
Entwicklung von Warenverteilzentren mit hoher Leistung: Steigende Qualifikationsanforderungen an den Logistik-Planer.
In: Hossner, R. (Hrsg.): Logistik Jahrbuch 1998.
Düsseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt, 1998.
- [VDI 2195] VDI-Richtlinie 2195:
Zeit- und Umschlagstudien an Kranen.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1985.
- [VDI 2385] VDI-Richtlinie 2385:
Leitfaden für die materialflußgerechte Planung von Industrieanlagen.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989.
- [VDI 2391] VDI-Richtlinie 2391:
Zeitrichtwerte für Arbeitsspiele und Grundbewegungen von Flurförderzeugen.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1982.

- [VDI 2411] VDI-Richtlinie 2411:
Begriffe und Erläuterungen im Förderwesen.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1970.
- [VDI 2492] VDI-Richtlinie 2492:
Multimoment-Aufnahmen im Materialfluß.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1968.
- [VDI 2498] VDI-Richtlinie 2498:
Vorgehen bei einer Materialflußplanung.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1978.
- [VDI 2519] VDI-Richtlinie 2519 Blatt 2 (Entwurf):
Lasten-/Pflichtenheft für den Einsatz von Förder- und Lagersystemen.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996.
- [VDI 2523] VDI-Richtlinie 2523:
Projektmanagement für logistische Systeme der Materialfluß- und Lagertechnik.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.
- [VDI 2689] VDI-Richtlinie 2689:
Leitfaden für Materialflußuntersuchungen.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1974.
- [VDI 2693] VDI-Richtlinie 2693 Blatt 1:
Investitionsrechnung bei Materialflußplanungen mit Hilfe statischer und dynamischer Rechenverfahren.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996.
- [VDI 2695] VDI-Richtlinie 2695:
Ermittlung der Kosten für Flurförderzeuge / Gabelstapler.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1994.
- [VDI 3300] VDI-Richtlinie 3300:
Materialfluß-Untersuchungen.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1973.
- [VDI 3330] VDI-Richtlinie 3330 (Entwurf):
Die Kosten des Materialflusses.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1998.
- [VDI 3561] VDI-Richtlinie 3561:
Testspiele zum Leistungsvergleich und zur Abnahme von Regalförderzeugen.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1973.

- [VDI 3589] VDI-Richtlinie 3589:
Auswahlkriterien und Testmöglichkeiten für Flurförderzeuge.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1981.
- [VDI 3595] VDI-Richtlinie 3595 (Entwurf):
Methoden zur materialflußgerechten Zuordnung von Betriebsberei-
chen und -mitteln.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997.
- [VDI 3596] VDI-Richtlinie 3596:
Darstellungsmethoden für den Materialfluß.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1975.
- [VDI 3629] VDI-Richtlinie 3629 (Entwurf):
Organisatorische Grundfunktionen im Lager.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996.
- [VDI 3633a] VDI-Richtlinie 3633 (Entwurf):
Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen: Be-
griffsdefinitionen.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996.
- [VDI 3633b] VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1:
Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen:
Grundlagen.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.
- [VDI 3633c] VDI-Richtlinie 3633 Blatt 2:
Lastenheft / Pflichtenheft und Leistungsbeschreibung für die Simulati-
onsstudie.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997.
- [VDI 3633d] VDI-Richtlinie 3633 Blatt 3:
Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen: Ex-
perimentplanung und -auswertung.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997.
- [VDI 3633e] VDI-Richtlinie 3633 Blatt 4:
Auswahl von Simulationswerkzeugen: Leistungsumfang und Unter-
scheidungskriterien.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997.
- [VDI 3633f] VDI-Richtlinie 3633 Blatt 5 (Entwurf):
Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen: In-
tegration der Simulation in die betrieblichen Abläufe.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997.

- [VDI 3656] VDI-Richtlinie 3656 (Entwurf):
Lagersysteme: Planungsgrundlagen für Hochregallager.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.
- [Wag-97] Wagner, G.:
Jenseits von Schema F: Datenmodelle – Strickmuster für Datenbanken.
In: c't (1997) Nr. 5, S. 276-282.
- [Weh-97] Wehking, K.-H.:
Materialflußtechnik und Logistik im Wandel.
In: Jünemann, R. (Hrsg.): Von der Fördertechnik zur Logistik: Trends auf dem Weg in das 21. Jahrhundert / Tagungsband zu den 15. Dortmunder Gesprächen.
Dortmund: Verlag Praxiswissen, 1997.
- [Wer-99] Werner, M.; Kohler, U.:
Mit Prozeßdaten lassen sich Abläufe optimieren: Software zeigt Rationalisierungspotential in der Logistik.
In: Industrieanzeiger (1999) Nr. 5, S. 48.
- [Wie-89] Wiendahl, H.-P.:
Betriebsorganisation für Ingenieure.
München, Wien: Hanser, 1989.
- [Wie-97] Wiendahl, H.-P.:
Fertigungsregelung: Logistische Beherrschung von Fertigungsabläufen auf Basis des Trichtermodells.
München, Wien: Hanser, 1997.
- [Wil-97] Wildemann, H.:
Organisationsentwicklung für Unternehmen mit Zukunft.
In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Mit Schwung zum Aufschwung / Münchner Kolloquium `97.
Landsberg / Lech: Moderne Industrie, 1997.
- [Zie-95] Ziems, D.:
Kooperation und Integration: Aktuelle Herausforderungen an Planungsprozesse.
In: Ziems, D. (Hrsg.): Planung von Logistiksystemen `95: Kooperation und Integration / Tagungsbericht.
Magdeburg: Institut für Förder- und Baumaschinentechnik, Stahlbau, Logistik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 1995.

- [ZIP-95] ZIP (Hrsg.):
MALAGA: Fabrikplanung aus einem Guß.
München: ZIP Ingenieurbüro Industrieplanung und Organisation,
1995.