

## 15 Logistiknetzwerke und Logistiksysteme

Das Logistiknetz jedes Unternehmens ist Teil eines weltumspannenden Netzwerks, das von den Logistiksystemen der Speditionen, Verkehrsbetriebe, Eisenbahnen, Luftfahrtgesellschaften, Schifffahrtlinien und anderer Unternehmen aufgespannt wird (s. Abb. 0.2 und Abb. 15.1). Das globale Logistiknetzwerk hat viele Eigentümer und Benutzer. Es dient unterschiedlichen Zwecken und Interessen.

Zentrale Aufgaben des *Netzwerkmanagements* sind die Abgrenzung des unternehmenseigenen Logistiknetzes und die Regelung der Beziehungen zu den Netzen der Lieferanten, Kunden und Logistikdienstleister. Die Unternehmenslogistik muss entscheiden, welche der geschäftsnotwendigen Logistikaufgaben den Lieferanten und Kunden überlassen, welche in eigener Regie ausgeführt oder zugekauft und welche als komplette Leistungspakete an *Systemdienstleister* vergeben werden.

Die Grenzen des eigenen Logistiknetzwerks hängen davon ab, wie das Unternehmen seine *Kernkompetenzen* definiert und welche Bedeutung die Logistik für das Erreichen der Unternehmensziele hat [233]. Im Extremfall, z. B. in der Automobilindustrie, erstreckt sich das Netzwerkmanagement von den Kunden der Kunden bis zu den Lieferanten der Lieferanten (s. Abb. 1.15).

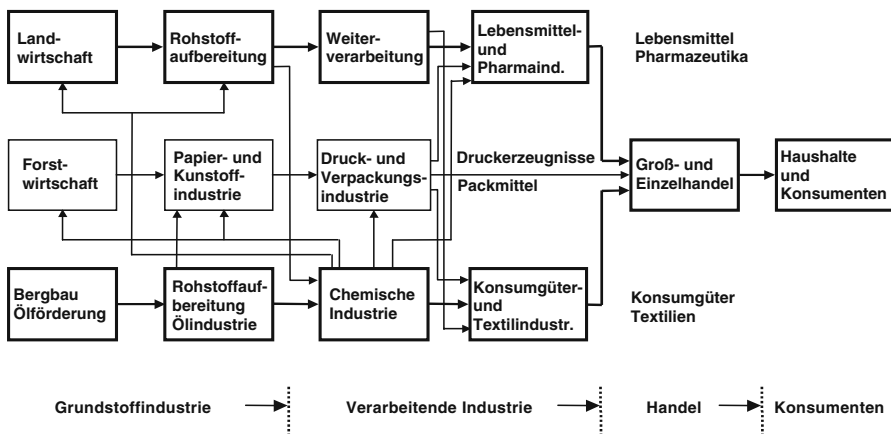


Abb. 15.1 Versorgungsnetzwerk und Lieferketten für Konsumgüter

Die *Kernaufgaben der Unternehmenslogistik* sind daher:

1. Für die benötigten Logistikleistungen sind *Logistiksysteme* so zu gestalten, zu dimensionieren, zu organisieren, zu realisieren, zu betreiben oder zu beschaffen, dass sie die *Leistungsanforderungen* bei Einhaltung der *Restriktionen* kostenoptimal erfüllen.
2. Die einzelnen Logistiksysteme sind so zu einem leistungsfähigen *Logistiknetzwerk* zu verknüpfen und die verfügbaren Ressourcen so zu disponieren, dass die *Auftrags-, Leistungs- und Logistikprozesse* des Unternehmens optimal ablaufen.

Für diese Doppelaufgabe der Unternehmenslogistik wurden in *Band 1* die *Grundlagen und Strategien* sowie die allgemeinen organisatorischen, technischen und kommerziellen *Handlungsmöglichkeiten* dargestellt. Im nachfolgenden *Band 2* werden die Auslegung, Dimensionierung und Optimierung der *Lager-, Kommissionier- und Transportsysteme* behandelt, Verfahren zur Auswahl *optimaler Lieferketten* und zur Gestaltung von *Logistiknetzwerken* entwickelt und hieraus das Vorgehen zum erfolgreichen *Einsatz von Logistikdienstleistern* abgeleitet.

## 15.1 Intralog, Extralog und Interlog

Ein Logistiknetzwerk ist eine Anzahl von Quellen und Senken, die durch Transportsysteme miteinander verbunden sind (s. *Abb. 1.3*). Das Logistiknetzwerk wird von Waren-, Güter- und Personenströmen durchlaufen, die durch Informations- und Datenströme ausgelöst, gesteuert und kontrolliert werden.

Analog zur Unterscheidung zwischen *Intranet*, *Extranet* und *Internet* der Informations- und Kommunikationsnetzwerke lassen sich die Logistiknetzwerke nach den in *Tab. 15.1* aufgeführten Merkmalen einteilen in *Intralog*-, *Extralog*- und *Interlog*-Netze:

- *Intralog*-Netze sind die innerbetrieblichen Logistiknetzwerke innerhalb der einzelnen Betriebsstätten eines Unternehmens.
- *Extralog*-Netze sind die außerbetrieblichen Logistiknetzwerke zwischen den Betriebsstätten der Unternehmen.
- *Interlog*-Netze sind die Logistiknetze aller Unternehmen und Wirtschaftsteilnehmer.

Logistiknetzwerke sind Systeme mit vielfacher Funktion, die sich aus Teil- und Subsystemen mit nur einer oder wenigen Funktionen zusammensetzen.

Das *Interlog*-Netz besteht aus den Logistiknetzwerken der Industrie- und Handelsunternehmen, der Dienstleister und der Verkehrsbetriebe (s. *Abb. 0.2* und *15.1*). Das Logistiknetzwerk eines Unternehmens setzt sich zusammen aus den *Intralog*-Netzen der einzelnen Betriebsstätten, die sich von den Eingängen zu den Ausgängen erstrecken, und dem *Extralog*-Netz, das von den Lieferanten über die Betriebsstätten bis zu den Kunden oder Abnehmern des Unternehmens reicht (s. *Abb. 1.15*).

*Subsysteme* des *Extralog*-Netzes sind die Beschaffungs- oder Versorgungssysteme der Betriebe, die Distributions- oder Verteilsysteme für die Fertigwaren und die Entsorgungssysteme für Produktionsabfall und Verpackungsreste.

	Intralog	Extralog	Interlog
<b>Merkmale</b>			
Abgrenzung	Innerbetriebliches Logistiknetzwerk einer Betriebsstätte	Außerbetriebliches Logistiknetzwerk eines Unternehmens	Unternehmensübergreifende Logistiknetzwerke mit vielen Teilnehmern
Betriebsstandorte	einer	mehrere	viele
Vernetzung	gering	mittel	hoch
Logistikketten	innerbetrieblich	zwischenbetrieblich	überbetrieblich
Quellen	Wareneingang Produktionsstellen	Lieferanten andere Betriebsstätten	Unternehmen Haushalte
Senken	Verbrauchsstellen Warenausgang	Kunden andere Betriebsstätten	Unternehmen Haushalte
Teilsysteme	Maschinensysteme Lagersysteme Kommissioniersysteme Förder- und Transportsysteme	Beschaffungssysteme Distributionsysteme Entsorgungssysteme Intramodale Transportsysteme	Intralog-Systeme Extralog-Systeme Verkehrssysteme Speditionssysteme
<b>Betreiber</b>			
Betriebsstätten	Unternehmen	Dienstleister	Dienstleister
Betriebsmittel	Unternehmen/Dienstleister	Unternehmen/Dienstleister	Dienstleister
Trassennetz	Unternehmen	Verkehrsbetriebe/Staat	Verkehrsbetriebe/Staat
Transportmittel	Unternehmen/Dienstleister	Unternehmen/Dienstleister	Dienstleister

Tab. 15.1 Merkmale der Logistiknetzwerke

Unternehmen: Industrie- und Handelsunternehmen  
 Dienstleister: Logistikdienstleister, Speditionen, Umschlagbetriebe usw.  
 Verkehrsbetriebe: Eisenbahnen, Reedereien, Luftfahrtgesellschaften  
 Haushalte: Privathaushalte, Gastronomie, Verwaltungen, Krankenhäuser u. a.

*Teilsysteme des Intralog-Netzes* sind die Maschinensysteme, Lagersysteme, Kommissioniersysteme, Bereitstellungssysteme, Umschlagsysteme und innerbetrieblichen Transportsysteme. *Intralog* und *Intralogistik* sind inzwischen gängige Bezeichnungen für die innerbetriebliche Logistik.

## 15.2 Systemaufbau und Systemhierarchien

Jedes System besteht aus Systemelementen und einer System- oder Prozesssteuerung. Die Systemelemente sind so miteinander verbunden und ihre Funktionen werden von der Prozesssteuerung so koordiniert, dass die Aufträge vom System korrekt und zuverlässig ausgeführt werden.

Die Systemelemente können *Leistungsstellen*, *Teilsysteme*, *Subsysteme* oder *Maschinensysteme* sein, die ihrerseits wieder aus Systemelementen zusammengesetzt sind. Hieraus resultiert eine *Hierarchie der Systeme* [142]:

1. *Logistiknetzwerke* setzen sich zusammen aus den
2. *Extralog-Netzen* und *Intralog-Netzen* der Unternehmen, die aus
3. *Lager-, Kommissionier-, Umschlag- und Transportsystemen* aufgebaut sind, die aus
4. *Teil- und Subsystemen* bestehen, deren Elemente
5. *Leistungsstellen* sind, die *Räume, Betriebsmittel* und *Personen* umfassen, oder
6. *Maschinensysteme*, die aus *Teilen, Komponenten* und *Modulen* zusammengesetzt sind.

In abstrakter Form zeigt *Abb. 1.5* die Auflösung eines Logistiknetzwerks in einzelne Logistiksysteme oder eines Logistiksystems in einzelne Leistungsstellen und Subsysteme. Aus der Systemhierarchie resultiert eine *Steuerungshierarchie* für die Systemsteuerung. *Abb. 18.6* zeigt beispielsweise die *Ebenen* der hierarchisch aufgebauten Steuerung eines Transportsystems.

Die weitere Auflösung der Teile, Komponenten und Module in ihre Elemente und die Fortsetzung der Systemhierarchie nach unten ist nicht mehr Aufgabe der Logistik sondern anderer Fachdisziplinen, wie die Fördertechnik, der Fahrzeugbau, der Schiffbau, der Flugzeugbau und der Maschinenbau, die auf die Konstruktion und Herstellung der betreffenden technischen Anlagen und Maschinensysteme spezialisiert sind (s. *Abschn. 3.10*).

Die Hierarchie der Systeme, der Systemaufbau aus Subsystemen und Elementen und die Verkopplung der Systemebenen durch eine hierarchisch aufgebaute Systemsteuerung sind der Schlüssel für die anforderungsgerechte Gestaltung, Dimensionierung und Optimierung der Logistiksysteme und für ein erfolgreiches Netzwerkmanagement. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der *horizontalen Vernetzung* von Systemen in der gleichen Hierarchieebene und der *vertikalen Vernetzung* zwischen Systemen unterschiedlicher Hierarchieebenen.

Von anderen horizontal vernetzten Systemen der gleichen Ebene und aus den höheren Hierarchieebenen, mit denen ein System vertikal vernetzt ist, resultieren die *Aufträge* und *Leistungsanforderungen* an das System. Die unterlagerten Hierarchieebenen bestimmen das *Leistungsvermögen* des Systems und erhalten ihre Aufträge aus übergeordneten Systemen.

### 15.3 Leistungsanforderungen und Leistungsvermögen

Maßgebend für die Planung und den Aufbau eines neuen Systems ebenso wie für die Bewertung vorhandener Systeme sind die *Leistungsanforderungen*. Die Leistungsanforderungen resultieren aus der Anzahl und dem Inhalt der *Aufträge*, die Betreiber oder Benutzer dem System erteilen:

- Die Aufträge an das System spezifizieren die *Menge*, die *Beschaffenheit*, die *Qualität* und den *Bedarfszeitpunkt* der geforderten Produkte und Leistungen.

Aufträge an Logistiksysteme sind *Beförderungsaufträge*, *Transportaufträge*, *Lageraufträge*, *Kommissionieraufträge* und *Lieferaufträge*.

Aus einem geforderten oder zu erwartenden *Auftragseingang*  $\lambda_A$  [Auf/PE] pro Periode PE und einem mittleren *Auftragsinhalt*  $m_A$  [LE/Auf] von *Leistungs- oder Logistikeinheiten* LE resultiert ein *Leistungs- oder Mengendurchsatz*

$$\lambda_{LE} = m_A \cdot \lambda_A \quad [\text{LE/PE}]. \quad (15.1)$$

Aus einem zeitabhängigen Auftragseingang  $\lambda_A(t)$  ergibt sich eine Zeitabhängigkeit des Leistungs- und Mengendurchsatzes  $\lambda_{LE}(t)$ . Aus einem stochastischen Auftrags- eingang folgt ein stochastisch schwankender Durchsatz.

Zeitabhängige und stochastisch schwankende Durchsatzanforderungen führen zu Auftragsbeständen oder zu Warenbeständen, für die das System eine ausreichende *Pufferkapazität* bieten muss. Zusätzlich hat die *Auftragsdisposition* die Möglichkeit, einen Teil der geforderten oder geplanten Liefermengen vor dem Lieferzeitpunkt aus- zuführen und auf Lager zu fertigen. Aus den *dynamischen Durchsatzanforderungen* an ein Logistiksystem und den *Strategien* der Auftrags- und Bestandsdisposition er- gibt sich der *Kapazitätsbedarf*, das heißt die *statische Leistungsanforderung* an die Lager- und Pufferkapazität des Systems.

Den *Leistungsanforderungen*, die festlegen, was ein gesuchtes oder vorhandenes System unter welchen Bedingungen *leisten soll*, steht das *Leistungsvermögen* gegen- über, das angibt, was ein bestimmtes System unter gegebenen Bedingungen *leisten kann*.

Das *dynamische Leistungsvermögen* eines Leistungs- oder Logistiksystems ist ge- geben durch die maximalen *Durchsatzwerte* oder *Grenzleistungen*  $\mu_{LE}$  [LE/PE] der Leistungs- und Logistikeinheiten, für die das System ausgelegt ist (s. Kap. 13). Das *statische Leistungsvermögen* eines Logistiksystems ist die *Puffer- und Lagerkapazität*  $C_{LE}$  [LE], das heißt die maximale Anzahl von Logistikeinheiten, die im System ge- puffert oder gelagert werden kann.

Das Leistungsvermögen eines Systems wird bestimmt vom *Leistungsvermögen der Systemelemente*, von der *Systemstruktur* und von den *Betriebsstrategien*, nach de- nen die Aufträge disponiert und ausgeführt werden. Außer von diesen *systeminter- nen Einflussfaktoren* hängt das Leistungsvermögen des Systems von *externen Einfluss- faktoren* ab, wie die Größe und Struktur der Aufträge und die Stochastik und zeitliche Veränderlichkeit des Auftragseingangs. Die internen und externen Einflussfaktoren müssen für die Disposition und Optimierung eines bestehenden Systems ebenso be- kannt sein wie für die Planung und Realisierung eines neuen Systems.

## 15.4 Systemplanung und Systemoptimierung

Aufgabe der *Systemplanung* ist die Entwicklung eines Systems, das die gestellten *Lei- stungsanforderungen* bei gegebenen *Randbedingungen* zu minimalen *Leistungskosten* erfüllt. Die *Systemoptimierung* hat die Aufgabe, die Leistungskosten eines vorhande- nen Systems zu senken oder das Leistungsvermögen des Systems zu verbessern.

Die *Leistungskosten*  $k_{LE}$  [€/LE] sind die *Betriebskosten*  $K(\lambda_{LE})$  [€/PE] in einer Periode PE (PE = Tag, Woche, Monat oder Jahr) bezogen auf die erbrachte *System- leistung*  $\lambda_{LE}$  [LE/PE]:

$$k_{LE} = K(\lambda_{LE})/\lambda_{LE} \quad [€/LE]. \quad (15.2)$$

Wenn ein System mehrere *Leistungsarten* mit den *Leistungseinheiten*  $LE_i$  und dem Durchsatz  $\lambda_{LEi}$  [ $LE_i/PE$ ] erbringt, müssen die Gesamtbetriebskosten  $K(\lambda_{LE1}; \lambda_{LE2}; \dots; \lambda_{LEn})$  nutzungsgemäß in eine Summe  $K = \sum K_R(\lambda_{LEi})$  *partieller Betriebskosten*  $K_R(\lambda_{LEi})$  aufgeteilt und aus diesen nach Beziehung (15.2) die *partiellen Leistungskosten*  $k_{LEi}$  kalkuliert werden.

Die Betriebskosten werden im Wesentlichen bestimmt von den Abschreibungen, Zinsen und Wartungskosten für Gebäude, Maschinen, Anlagen und Betriebsmittel, vom Personalbedarf und vom Material-, Energie- und Treibstoffeinsatz. Sie setzen sich zusammen aus *fixen Kosten*  $K_{fix}(\mu_{LE})$ , die unabhängig vom Leistungsdurchsatz anfallen, und *variablen Kosten*  $K_{var}(\lambda_{LE})$ , die vom Leistungsdurchsatz abhängen. Die Fixkosten hängen vom Mechanisierungsgrad und vom Leistungsvermögen  $\mu_{LE}$  [ $LE/PE$ ] des Systems ab (s. Kap. 6 und ).

Wenn die *Systemauslastung*

$$\rho = \lambda_{LE}/\mu_{LE} \quad [\%] \quad (15.3)$$

im Verlauf der Zeit absinkt, steigen die Leistungskosten infolge des hohen Fixkostenanteils. Das System ist dann entweder überdimensioniert oder wegen stark schwankender Leistungsanforderungen zur *Vorhaltung von Spitzenkapazität* gezwungen.

Aus diesem betriebswirtschaftlichen Zusammenhang folgt für die Systemplanung und Optimierung das *Verfahren der stufenweisen Annäherung*:

1. Das System ist zunächst unter Annahme eines *stationären Auftragseingangs* ohne stochastische Schwankungen so auszulegen, zu dimensionieren und zu optimieren, dass es den mittleren Leistungsdurchsatz, der für einen vorgegebenen Planungszeitraum zu erwarten ist, mit ausreichenden Leistungsreserven erfüllen kann.
2. Aus den Systemen, die den *stationären Leistungsanforderungen* genügen, werden nach den in Abschn. 6.10 beschriebenen Verfahren die wirtschaftlichsten Lösungen ausgewählt.
3. Für die wirtschaftlichsten Lösungen werden die Auswirkungen eines *zeitlich veränderlichen Auftragseingangs* und Leistungsbedarfs untersucht, die Betriebsstrategien und das Leistungsvermögen dem Bedarf zur *Spitzenstunde des Spitzentags* der Planungsperiode angepasst und erneut die Investitionen und Ertragswerte kalkuliert.
4. Die danach verbleibende wirtschaftlichste Lösung wird unter Berücksichtigung der zu erwartenden *stochastischen Schwankungen* von Auftragseingang und Leistungsbedarf einer *Funktions- und Leistungsanalyse* unterzogen, die in Abschnitt 13.7 beschrieben ist. Mit den hieraus eventuell notwendigen Veränderungen resultiert die technisch und wirtschaftlich *optimale Systemlösung*.

Dieses Vorgehen entspricht dem bekannten *Verfahren der stufenweisen Störungsrechnung*. Danach lässt sich ein mathematisch nicht explizit lösbares Problem durch schrittweise Annäherung mit zunehmender Genauigkeit lösen: Im ersten Schritt wird unter Vernachlässigung von Störungseinflüssen höherer Ordnung zunächst eine Lösung für die Haupteinflussfaktoren errechnet. Die weiteren Einflüsse werden

in den nächsten Berechnungsschritten in der Reihenfolge ihrer Bedeutung berücksichtigt. Die Störungsrechnung führt am Ende mit der benötigten Genauigkeit zur gesuchten Lösung.

Entsprechend dem hierarchischen Aufbau der Logistiksysteme lassen sich Systemplanung und Systemoptimierung auf allen Hierarchieebenen, also für die Netzwerke, die Logistiksysteme und deren Subsysteme, nach dem in Abb. 15.2 dargestellten *iterativen Planungs- und Optimierungsverfahren* durchführen. Nach einer Erfassung der Leistungsanforderungen und Planungsgrundlagen führt das Verfahren über eine Analyse und Bewertung der vorhandenen oder der zur Auswahl stehenden Liefer- und Leistungsketten und Systemvarianten zur Konzeption einer Systemlösung, die den gestellten Anforderungen genügt.

Am schnellsten zum Ziel führen dabei die *Systemplanungsgrundsätze*:

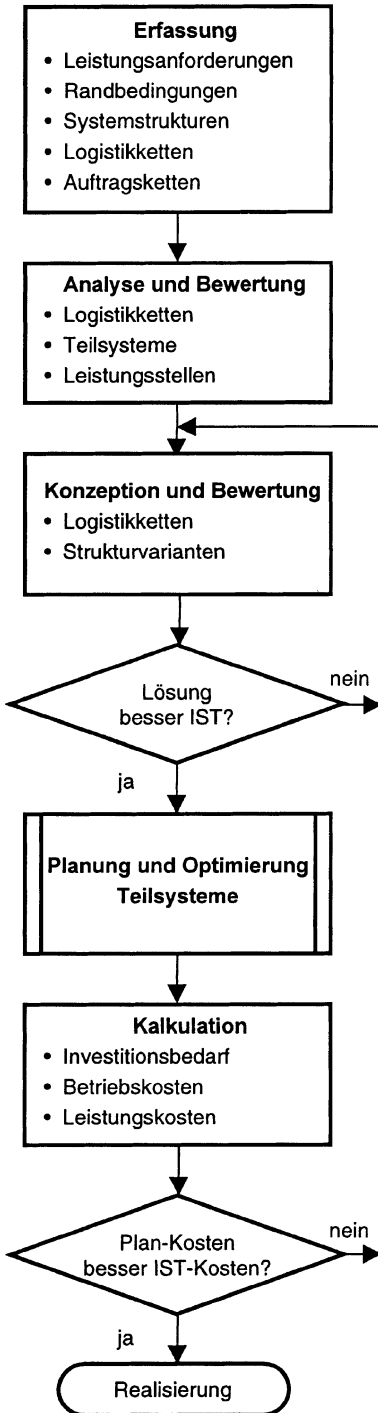
- ▶ Erst die Liefer- und Leistungsketten analysieren und auswählen, danach die zur Realisierung der benötigten Liefer- und Leistungsketten erforderlichen Strukturen und Netzwerke gestalten und optimieren.
- ▶ Auf die Entwicklung der Netzwerke und Systeme folgt die Gestaltung der Auftragsprozesse und der Daten- und Informationsflüsse zur Disposition, Auslösung, Steuerung und Kontrolle von Auftragsdurchführung und Warenfluss.
- ▶ Der Aufbau, die Erfordernisse und die Strategien von Netzwerk, Auftragsprozessen, Lieferketten und Logistiksystemen bestimmen die Anforderungen an die DV-Systeme, wie APS, ERP, PPS, WWS, TLS und LVS.

Die oftmals begrenzten Funktionalitäten der Standardsoftware dürfen nicht die Ausschöpfung der Potentiale verhindern und die Handlungsmöglichkeiten der Logistik einschränken [143–145].

Wenn die entwickelte Lösung die Leistungsanforderungen gegenüber dem IST-Zustand nicht zu deutlich reduzierten Kosten erbringen kann, müssen die zunächst als vorgegeben angenommenen unterlagerten Systeme optimiert oder neu geplant werden. Die Planung und Optimierung der Teilsysteme verläuft wie ein *Unterprogramm* analog zu dem Vorgehen in der überlagerten Hierarchieebene. Das kann entsprechend wieder die Neuplanung und Optimierung leistungsbegrenzender, funktionskritischer oder kostenbestimmender Leistungsstellen, Maschinensysteme oder Elemente erforderlich machen.

Nach diesem iterativen Verfahren werden in den folgenden Kapiteln die Lager-, Kommissionier- und Transportsysteme analysiert und Formeln zur Berechnung des Leistungsvermögens aus den Grenzleistungen ihrer Elemente hergeleitet. Für Lager- und Kommissioniersysteme, deren Aufbau und Struktur von den Kapazitäts- und Durchsatzanforderungen geprägt ist, wird zuerst eine *statische Dimensionierung* und danach eine *dynamische Dimensionierung* durchgeführt, deren Ergebnisse am Ende aufeinander abzustimmen sind. Für ausgewählte Systemlösungen und typische Beispiele aus der Planungspraxis werden die Auswirkung der Einflussfaktoren auf das Leistungsvermögen und die Leistungskosten berechnet.

Die Ergebnisse der Systemanalyse *auf der Ebene der Logistiksysteme* gehen auf der *Ebene der Logistiknetzwerke* in die Auswahl und Optimierung der Liefer- und Leistungsketten und in die Gestaltung der Intralog- und Extralog-Netzwerke ein.



**Abb. 15.2 Planung und Optimierung von Systemen und Netzwerken**

Für *Logistiknetzwerke* sind die Teilsysteme einzelne Logistiksysteme, wie Lager-, Kommissionier-, Umschlag- und Transportsysteme.

Für *Logistiksysteme* sind die Teilsysteme einzelne Leistungsstellen, Maschinensysteme, Förderanlagen und Regalbediengeräte.

Auf allen Ebenen der Logistiksysteme gelten auch bei komplex erscheinender Aufgabenstellung folgende *Planungs- und Gestaltungsprinzipien* [7, 10]:

- ▶ *Einfachheitsprinzip*: Die einfachste Lösung mit den kürzesten Liefer- und Leistungsketten, der kleinsten Anzahl von Parallelsystemen und der geringsten Automatisierung ist häufig auch die beste und wirtschaftlichste Lösung. Sie setzt den Maßstab für alle anderen möglichen Lösungen.
- ▶ *Entkopplungsprinzip*: Ein Gesamtsystem ist so auszulegen und zu dimensionieren, dass Rückstaus und Rückkopplungen der Teil- und Subsysteme im Normalbetrieb unwahrscheinlich sind. Bei Einhaltung des Entkopplungsprinzips lassen sich die voneinander entkoppelten Teil- und Subsysteme jeweils für sich gestalten und optimieren.
- ▶ *Näherungsprinzip*: Die mathematischen Formeln und Algorithmen zur Dimensionierung und Optimierung brauchen nicht genauer zu sein als die Eingabewerte, die Planungsgrundlagen und die Leistungsanforderungen.

Übermäßig komplizierte Systeme mit eng verkoppelten Teilsystemen und Elementen sind nicht mehr beherrschbar und störungsanfällig. Sie lassen sich auch mit Hilfe noch so genauer Berechnungs- und Simulationsverfahren nicht entscheidend verbessern.

Zwei weitere Grundsätze für die Systemgestaltung und Optimierung folgen daraus, dass der Transport, das Lagern und der Umschlag der Waren und Güter wesentlich aufwendiger und teurer sind als der Austausch, das Speichern und die Verarbeitung von Daten und Informationen. Auf der Ebene der innerbetrieblichen Logistiksysteme gilt daher der Grundsatz der

- ▶ *Dominanz des Warenflusses*: Primär bestimmt der Material- und Warenfluss das Logistiksystem und nicht der Informations- und Datenfluss.

Auf der Ebene der Logistiknetzwerke gilt der Grundsatz der

- ▶ *Dominanz der Logistikketten*: Die operativen Liefer- und Leistungsketten und nicht die administrativen Auftragsketten bestimmen die Struktur des Logistiknetzwerks eines Unternehmens.

Jede Auftragskette mündet nach dem Durchlaufen administrativer Leistungsstellen an einer *Umwandlungsstelle* in eine operative Liefer- und Leistungskette, in der die physische Ausführung des Auftrags beginnt. Die Umwandlungsstelle ist die in *Abschn. 8.6* beschriebene und in *Abb. 8.3* dargestellte *Entkopplungsstelle* zwischen dem anonymen und dem auftragsspezifischen Abschnitt der betreffenden Logistikkette.

## 15.5 Optimierter Istzustand und optimale Lösung

Für die Systemplanung und die Verbesserung der Unternehmenslogistik bestehen zwei extreme *Lösungsmöglichkeiten*:

- *Optimierter Istzustand:* Innerhalb der vorhandenen Strukturen werden an den bestehenden Standorten mit minimaler Investition primär durch organisatorische Maßnahmen, Optimierung der Prozesse und verbesserte Betriebsstrategien die Kosten gesenkt und die Leistungsfähigkeit den erwarteten Anforderungen angepasst.
- *Optimale Lösung auf grüner Wiese:* Nach grundlegender Neugestaltung der Prozesse und Strukturen werden an optimalen Standorten neue Betriebe aufgebaut, die frei von den Restriktionen der alten Standorte optimal geplant und mit modernster Technik ausgestattet sind.

Die optimale Lösung auf grüner Wiese sollte stets mit dem optimierten Istzustand und nicht nur mit dem meist unzulänglichen Ausgangszustand verglichen werden. Häufig lassen sich bereits durch eine Optimierung der bestehenden Abläufe und Systeme mit geringen Investitionen die Kosten soweit senken und die Leistungsfähigkeit so verbessern, dass der Unterschied zur vollständig neuen Lösung auf grüner Wiese wirtschaftlich nicht mehr attraktiv ist.

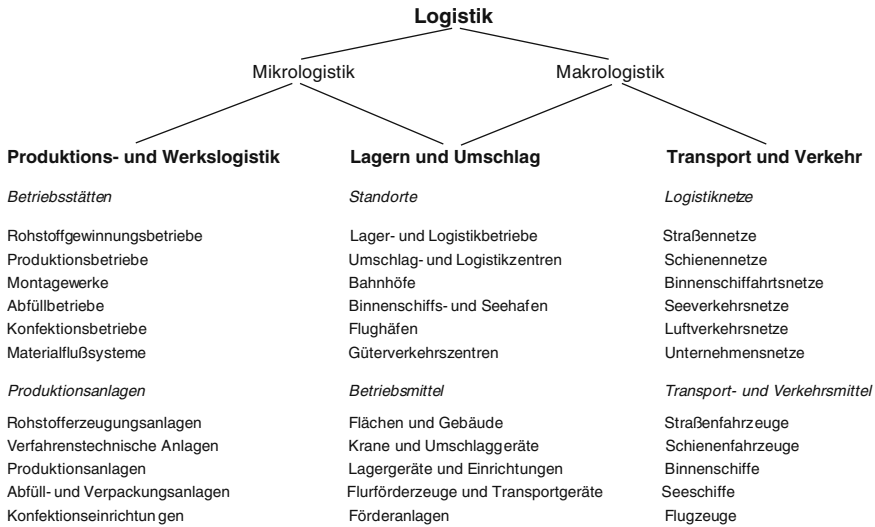
Wenn die Gebäude und Anlagen an den vorhandenen Standorten bereits beschrieben sind, trotzdem aber weiter genutzt werden können, sind die Fixkosten für den optimierten Istzustand in der Regel erheblich geringer als für die Lösung auf grüner Wiese. In diesen Fällen übertrifft die Fixkostendifferenz häufig die mit einer Lösung auf grüner Wiese erreichbaren Einsparungen der variablen Betriebskosten. Dann ist die langfristig optimale Lösung auf grüner Wiese nur in wirtschaftlich vertretbaren Aufbausritten erreichbar.

Auch wenn die Lösung auf grüner Wiese nicht sofort realisierbar oder gegenwärtig unwirtschaftlich ist, sollte ein Unternehmen diese Lösung kennen. Aus der Kenntnis der optimalen Lösung auf grüner Wiese resultieren die analytischen *Benchmarks*, an denen sich die Unternehmenslogistik in den bestehenden Strukturen und Betrieben zu messen hat. Außerdem muss die Struktur- und Standortentwicklung langfristig an der optimalen Lösung auf grüner Wiese ausgerichtet werden (s. Abschn. 4.5.3).

## 15.6 Dynamische Netzwerke

Handlungsfelder der praktischen Logistik und Untersuchungsgegenstand der theoretischen Logistik sind die Logistiknetze und die in ihnen ablaufenden Objektbewegungen. Die Logistiknetze bestehen aus *Stationen*, in denen *materielle Objekte* erzeugt, be- und verarbeitet, gelagert, umgeschlagen, umgelenkt und bereitgestellt werden, und einem Geflecht von *Verbindungswegen*, auf denen Transportmittel verkehren und die Objekte zwischen den Stationen befördern.

Die Objekte der Logistik sind Rohstoffe, Halbfertigwaren, Fertigprodukte, Handelswaren, Pakete, Briefe, Lebewesen und Personen. Immaterielle Objekte, wie Informationen, Aufträge oder andere Daten, sind kein unmittelbarer Gegenstand der Logistik. Sie werden benötigt zum Auslösen und Kontrollieren der Prozesse in den Logistiknetzen.



**Abb. 15.3 Untersuchungsbereiche und Handlungsfelder der Logistik**

In der Theorie wurden die Objektströme lange Zeit als stationär und die Logistiknetze als unveränderlich angesehen. Nur langsam wird auch die Dynamik der Logistiknetze in der Theorie berücksichtigt. Die Unabhängigkeit der Konsumenten, die Entwicklung der Technik und die laufenden Veränderungen des Bedarfs verursachen stochastische Schwankungen und systematische Veränderungen der Ströme. Die Dynamik der Ströme bewirkt Veränderungen der Logistiknetze. Das Anschwellen, die Verlagerung und das Absinken der Ströme erzwingen kurzfristig Anpassungen der *Netzwerkkapazitäten*, das heißt des Leistungs-, Durchsatz- und Speichervermögens der Stationen und Verbindungen, und langfristig Veränderungen der *Netzstruktur*, also der Standorte der Stationen, der Verbindungswege und ihrer Vernetzung.

Die Erforschung der Gesetzmäßigkeiten dynamischer Netzwerke, der Strukturen, der Prozesse und der dynamischen Strömungsgesetze, sowie die Entwicklung von Strategien und Handlungsmöglichkeiten zur Beherrschung, Gestaltung und Nutzung dynamischer Logistiknetze sind bis heute nicht abgeschlossen [233]. Die Wechselwirkungen zwischen den Möglichkeiten und Grenzen der Technik, den organisatorischen und dispositiven Handlungsmöglichkeiten, dem Bedarf und den Rahmenbedingungen sowie den ökonomischen, humanitären und anderen Zielen und Zwängen sind immer noch nicht ausreichend bekannt.

Wer sich in der Logistik zurechtfinden und auf dem wirtschaftlichsten Weg ans Ziel kommen will, muss sein Ziel kennen und sich ein klares Bild machen (s. Abb. 15.3). Er benötigt Pläne mit den Standorten, Knotenpunkten, Verbindungen und Entfernungen, braucht Verzeichnisse der Ressourcen, Kapazitäten und Grenzleistungen und verschafft sich einen Überblick über das logistische Leistungsangebot und die Leistungspreise. Diese Informationen liegen in einigen Bereichen der Logis-



**Abb. 15.4 Beispiel eines konstruierten Verkehrsnetzwerks**

Straßennetz der Stadt Palmanova in Italien

tik recht detailliert und vollständig vor, in anderen sind sie noch immer lückenhaft und ungenau.

Auf die Zielfestlegung, Bedarfserkundung und Informationsbeschaffung folgen das Analysieren, Segmentieren und Klassifizieren, darauf das Ordnen, Sortieren und Zuweisen und am Ende das Bündeln, Sichern und Zusammenfügen der ausgewählten Teile zu einer wirtschaftlichen Gesamtlösung. Dazu werden die Logistiknetze unter verschiedenen *Aspekten* betrachtet und klassifiziert. Die Aspekte und die *Klassifizierung* sind eine Frage der Zweckmäßigkeit und werden von den Zielen bestimmt.

Die theoretische Logistik ist wie die Architektur und die Informatik eine *Gestaltungswissenschaft*. Sie muss Antworten auf praktisch relevante Fragen geben und Lösungsverfahren für konkrete Probleme entwickeln. Aus dieser Aufgabe der theoretischen Logistik resultieren mehrere sinnvolle Aspekte und Klassifizierungen der Logistiknetzwerke.

### **15.6.1 Untersuchungsaspekte der Logistiknetze**

Die Erforschung der Logistiknetzwerke ist besonders fruchtbar unter dem *Strukturaspekt* und unter dem *Prozessaspekt* (s. Kap. 1). Unter dem *Strukturaspekt* wird erkundet, welche Netzstruktur für welche Anforderungen am besten geeignet ist. Daraus werden *Strategien zur Strukturgestaltung* entwickelt. Wichtige Strukturkennzahlen zur Beurteilung der Effizienz eines Logistiknetzes sind der *Netzzumwegfaktor*, von dem die Fahrweglängen und der Transportmittelbedarf abhängen, und der *Netznutzungsgrad*, der die Auslastung eines Netzwerks angibt und sich auf die Netzkostensätze auswirkt (s. u.).

Logistiknetze sind entweder *konstruierte Netze*, die nach Bedarf gestaltet sind und planmäßig realisiert werden, *chaotische Netze*, die unter dem Einfluss vieler Akteure historisch gewachsen sind, oder eine Kombination dieser beiden Netzarten.

Ein schönes Beispiel eines konstruierten Netzes ist das in *Abb. 15.4* gezeigte spinnen-netzartige Straßennetz der italienischen Stadt *Palmanova*. Andere Beispiele sind die rechtwinkligen Straßennetze von *Manhattan* oder *Mannheim*. Die öffentlichen Verkehrsnetze – die Schienennetze, Wasserstraßennetze und Luftverkehrsnetze – sind in weiten Bereichen chaotische Netze [197]. Die Logistiknetze der Unternehmen sind *kombinierte Netzwerke*.

Die Aufgabe der Unternehmenslogistik besteht darin, für die eigenen Leistungsanforderungen unter geschickter Nutzung und Ergänzung der vorhandenen und allgemein zugänglichen Netzwerke ein spezifisches Unternehmensnetzwerk aufzubauen. Dafür werden Auswahl- und Gestaltungsregeln benötigt. Das Ergebnis ist ein innerbetriebliches oder außerbetriebliches Transportnetz, Frachtnetz, Beschaffungsnetz oder Versorgungsnetz.

Unter dem *Prozessaspekt* wird untersucht, welche Objekte nach welchen Gesetzmäßigkeiten durch die Stationen und Transportverbindungen fließen. Ziel ist herauszufinden, wie die Erzeugung und Lagerung in den Stationen und die Beförderung zwischen den Stationen zu organisieren und zu disponieren sind, um einen veränderlichen Bedarf kostenoptimal zu erfüllen. Ergebnisse sind Regeln und Strategien für die *dynamische Disposition* und zur *Auswahl optimaler Lieferketten* (s. Kap. 20).

Andere Aspekte verbinden den Strukturaspekt und den Prozessaspekt. Dazu gehört der *Planungsaspekt*, unter dem untersucht wird, wie sich ein Logistikbetrieb oder ein Logistiknetzwerk bedarfsgerecht planen und rationell realisieren lassen (s. Kap. 3). Unter dem *ökonomischem Aspekt* werden die Investitionen, Betriebskosten und Leistungspreise der Logistik erkundet. Untersucht wird, wie sich die technischen und organisatorischen Handlungsmöglichkeiten einzelwirtschaftlich und gesamtwirtschaftlich auswirken (s. Kap. 6, und 22). Unter dem *Funktionsaspekt* wird analysiert, welche Funktionen wie und wo am rationellsten ausgeführt und gebündelt werden können. Der *Technikaspekt* betrachtet die möglichen Beiträge der Technik zur Logistik (s. Abschn. 3.10).

Nicht immer ausreichend berücksichtigt wurden in der Vergangenheit der *humanitäre Aspekt*, der den Einfluss des Menschen auf die Logistik und die Auswirkungen der Logistik auf die Menschen betrachtet (s. Kap. 24), und der *ökologische Aspekt*. Unter den Schlagworten *Ökologistik* und *nachhaltige Logistik* werden die Folgen der Logistik für die Umwelt untersucht und daraus Beschränkungen für die Logistik hergeleitet [184, 185, 280].

Besondere Aufmerksamkeit hat in der Logistik der *Qualitätsaspekt* gefunden. Unter diesem Aspekt wird untersucht, wie weit ein Logistikstandort, ein Versorgungsnetz oder ein Logistikdienstleister die Anforderungen, Erwartungen und Ansprüche der Auftraggeber, Kunden und Empfänger erfüllt und was sich machen lässt, um eine geforderte Qualität zu erreichen und zu sichern [185].

Weitere Aspekte der Logistik sind die makroökonomisch-gesamtgesellschaftliche Sicht der *Makrologistik* und die mikroökonomisch-betriebliche Sicht der *Mikrologistik*, die wiederum einen innerbetrieblichen und einen außerbetrieblichen Aspekt hat.

Die Erkenntnisse, die sich aus dem humanitären Aspekt, dem ökologischen Aspekt, dem Qualitätsaspekt und der Makrologistik ergeben, wirken sich auf die Gesetzgebung und damit auf den *juristischen Aspekt* der Logistik aus. Dieser findet sich

im *Verkehrsrecht* und im *Wettbewerbsrecht*, aber auch in den gesetzlichen Bestimmungen zur Haftung und Gewährleistung, zum Outsourcing von Logistikbetrieben und zur Preisbildung auf den Logistikmärkten (s. Kap. 22) [187].

In den nachfolgenden Kapiteln werden die technischen, organisatorischen, planerischen und wirtschaftlichen Aspekte der *Lagersysteme*, *Kommissioniersysteme* und *Transportsysteme* detailliert behandelt. Danach werden unter dem Prozessaspekt und unter dem Strukturaspekt die außerbetrieblichen *Lieferketten* und *Logistiknetze* analysiert, die letztlich alle der Versorgung der Privathaushalte mit Konsum- und Gebrauchsgütern dienen (s. Abb. 0.2 und 15.1). Anschließend wird unter wirtschaftlichem Aspekt, unter Qualitätsaspekten und aus juristischer Sicht der *Einsatz von Logistikdienstleistern* betrachtet. Das letzte Kapitel *Menschen und Logistik* behandelt zusammenfassend den humanitären Aspekt der Logistik.

### 15.6.2 Netzumwegfaktor

Der Umwegfaktor der Transportverbindung zwischen zwei Stationen  $S_i$  und  $S_j$  eines Logistiknetzes ist das Verhältnis der *kürzesten Fahrweglänge*  $l_{ij}$  zur *Luftwegentfernung*  $d_{ij}$ :

$$f_{ij \text{ umw}} = l_{ij} / d_{ij} . \quad (15.4)$$

Für eine Direktverbindung auf dem Luftweg ist der Umwegfaktor 1. Für einen Verbindungsweg über den Rand eines Quadrats, dessen Ecken die beiden Stationen sind, ist der Umwegfaktor  $\sqrt{2} = 1,41$ . Bei Wasserwegen über Flüsse und Kanäle oder bei kleinen Landstraßen kann der Umwegfaktor noch größer sein.

Eine wichtige Strukturkennzahl eines Logistiknetzes mit insgesamt  $n$  kürzesten Verbindungen zwischen den Stationen ist der

- *ungewichtete Netzumwegfaktor*

$$f_{ij \text{ umw}} = (1/n) \sum_{i,j} l_{ij} / d_{ij} . \quad (15.5)$$

Gibt es zwischen je zwei von insgesamt  $N$  Stationen jeweils nur einen kürzesten Weg, ist  $n \leq N(N-1)/2$ .

Der ungewichtete Netzumwegfaktor des deutschen Hauptverkehrstraßennetzes ist rund 1,23. Das ist recht genau der Mittelwert des minimalen Umwegfaktors 1 für den Luftweg und des Umwegfaktors 1,41 über die Ecken eines Quadrats.

Die Weglängen und die Nutzung der Stationsverbindungen durch die Transportströme  $\lambda_{ij}$  berücksichtigt der

- *gewichtete Netzumwegfaktor*

$$f_{ij \text{ umw}} = \sum_{i,j} (l_{ij} \cdot \lambda_{ij}) \cdot (l_{ij} / d_{ij}) / \sum_{i,j} (l_{ij} \cdot \lambda_{ij}) \quad (15.6)$$

Ein *ineffizientes Netz* mit unnötig weiten Fahrwegen hat einen Netzumwegfaktor, der wesentlich größer ist als 1,2. Weite Fahrwege bewirken einen großen Transportmittelbedarf, lange Beförderungszeiten und hohe Kosten. Der Netzumwegfaktor lässt sich verringern durch *Wegbegradigungen*, *Direktverbindungen* und *Abkürzungen* für die längsten und am meisten genutzten Stationsverbindungen (s. Abschn. 18.3 und 18.9).

### 15.6.3 Netznutzungsgrad

Der Nutzungs- oder Auslastungsgrad einer Verbindung zwischen zwei Stationen  $S_i$  und  $S_j$  eines Logistiknetzes ist das Verhältnis  $\rho_{ij} = \lambda_{ij}/\mu_{ij}$  des aktuellen *Transportstroms*  $\lambda_{ij}$  zur maximal möglichen Durchsatzleistung  $\mu_{ij}$  der betreffenden Stationsverbindung. Ein Maß für die Nutzung eines Logistiknetzes mit insgesamt  $n$  Stationsverbindungen ist der

- *ungewichtete Netznutzungsgrad*

$$\rho_{\text{Netz}} = (1/n) \sum_{i,j} \lambda_{ij}/\mu_{ij}. \quad (15.7)$$

Ein partieller Transportstrom  $\lambda_{ij}$  zwischen zwei Stationen  $S_i$  und  $S_j$  kann die maximale Durchsatzleistung, das heißt die *partielle Grenzleistung*  $\rho_{ij}$  nur erreichen, wenn alle anderen Transportströme verschwinden, die auf ihrem Weg die gleichen Stationen und Knotenpunkte nutzen. Die partiellen Nutzungsgrade  $\rho_{ij} = \lambda_{ij}/\mu_{ij}$  beeinflussen sich also wechselseitig. Der Netznutzungsgrad ist von der Höhe und von der Struktur der Strombelastung abhängig. Er kann sich auch im Verlauf der Zeit ändern. Für zyklisch wiederkehrende Belastungsstrukturen ist daher die Angabe des minimalen, mittleren und maximalen Netznutzungsgrads notwendig.

Die Frage nach den maximal möglichen Strömen in Netzwerken wird in der *Theorie der Graphen und Netzwerke* behandelt [11, 13, 100–102]. Sie ist insbesondere Gegenstand der Arbeiten von *Ford und Fulkerson* [188]. Die Graphentheorie untersucht primär kontinuierliche stationäre Ströme und kaum stochastische oder dynamische Ströme. Die Ergebnisse sind für den mathematisch ungeschulten Logistiker schwer verständlich. Bisher ist es nicht gelungen, aus den Erkenntnissen der Graphentheorie allgemeine Konstruktionsprinzipien und Auswahlregeln für Logistiknetzwerke herzuleiten.

Zur Lösung praktischer Probleme sind andere Verfahren besser geeignet. Dazu gehören die *Grenzleistungs- und Staugesetze* [41, 43] (s. Kap. 13), die *Bündelungs- und Ordnungsstrategien* [30] (s. Kap. 5) sowie die daraus abgeleiteten pragmatischen Regeln für die Konstruktion, die Optimierung und den Betrieb von dynamisch belasteten Logistiknetzen. Nach dem *Entkopplungsprinzip*, dem *Einfachheitsgrundsatz* und dem *Subsidiaritätsprinzip* werden zunächst die Stationen und Transportverbindungen dem Bedarf entsprechend ausgewählt und dimensioniert. Anschließend werden die optimierten Systemelemente zu einem funktionsfähigen Gesamtsystem zusammengesetzt. Diese *Anfangslösung* kann danach weiter optimiert werden.

Der Netznutzungsgrad eines Logistiknetzes wird vom Leistungsvermögen weniger *Engpasselemente* bestimmt. Deren begrenztes Durchlassvermögen verhindert eine bessere Nutzung der anderen Stationen und Transportverbindungen. Das hat zur Folge, dass der Nutzungsgrad vieler Logistiknetze wesentlich kleiner als 1 ist.

### 15.6.4 Netzauslastung und Transportmittelbedarf

Ein besonderes Problem der Netzgestaltung und Netzoptimierung ist der *Zielkonflikt* zwischen der *Netzauslastung* und den *Netzkosten* einerseits und dem *Transportmit-*

*telbedarf* und den *Transportmittelkosten* andererseits [197]. So hat ein geringer Nutzungsgrad eines Transportnetzes hohe Netzkostensätze zur Folge (s. *Abschn.* 18.12). Der Bau zusätzlicher Verbindungen und leistungsfähigerer Knotenpunkte reduziert bei gleichbleibendem Transportaufkommen den Gesamtnutzungsgrad und erhöht daher die Netzkostensätze.

Zwischen einer Reduzierung des Netzumwegfaktors zur Senkung der Transportmittelkosten und der damit verbundenen Verminderung des Netznutzungsgrads, der die Netzkosten erhöhen würde, besteht also ein Zielkonflikt, der sich nur im konkreten Einzelfall lösen lässt (s. *Abschn.* 18.12).



<http://www.springer.com/978-3-642-29375-7>

Logistik 2

Netzwerke, Systeme und Lieferketten

Gudehus, T.

2012, XIX, 587 S. 178 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-642-29375-7