

VDI-Buch

Handbuch Logistik

Bearbeitet von
Dieter Arnold, Heinz Isermann, Axel Kuhn, Horst Tempelmeier, Kai Furmans

überarbeitet 2008. Buch. xxxiv, 1137 S. Hardcover

ISBN 978 3 540 72928 0

Format (B x L): 19,3 x 26 cm

Gewicht: 2394 g

[Wirtschaft > Spezielle Betriebswirtschaft > Logistik, Supply-Chain-Management](#)

Zu [Inhaltsverzeichnis](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

**beck-shop.de**
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

Grundlagen: Begriff der Logistik, logistische Systeme und Prozesse

A 1.1 Begriffliche Grundlagen

A 1.1.1 Logistikbegriff

Der Begriff der Logistik ist im Bereich der Wirtschaft noch relativ jung. Er wird in den USA seit etwa 1950, in Deutschland seit etwa 1970 gebraucht und hat seitdem eine große Verbreitung und schnell wachsende Bedeutung gefunden. Fast jedes Industrieunternehmen hat Abteilungen oder ein Geschäftsleitungsressort für Logistik, eine wachsende Zahl an Unternehmen bietet Logistikdienstleistungen an. Allein in Deutschland gibt es mehrere Logistik-Fachverbände mit einigen tausend Mitgliedern aus Wirtschaft und Wissenschaft. An den meisten Hochschulen wird Logistik als Fach gelehrt, und die Logistikforschung hat eine Fülle von Publikationen hervorgebracht.

Im militärischen Bereich tritt der Begriff „Logistik“ schon im 19. Jahrhundert auf und bezeichnet die Planung des Nachschubs, der Truppenbewegungen und -versorgung. Das französische Wort „Logis“ für die Truppenunterkunft gilt als Wurzel des Wortes „Logistik“. Ein Zusammenhang mit dem griechischen „Logos“, von dem sich die „Logik“ ableitet, ist fraglich.

Für den modernen Logistikbegriff gibt es eine Vielzahl von Definitionen, die folgende weitgehend gemeinsame Elemente enthalten: *Logistische Prozesse* sind alle Transport- und Lagerungsprozesse sowie das zugehörige Be- und Entladen, Ein- und Auslagern (Umschlag) und das Kommissionieren. Sie lassen sich zusammenfassend dadurch charakterisieren, dass sie auf eine „bedarfsgerechte Verfügbarkeit von Objekten ausgerichtet sind“ [Ise98: 21] oder abstrakter als Raumüberbrückung (Transport), Zeitüberbrückung (Lagerung) und Veränderung der Anordnung (Kommissionierung) der Objekte. *Logistische Objekte* sind entweder Sachgüter, insbesondere Material und Produkte im Industriebetrieb, Personen oder Informationen. Dieses Handbuch beschränkt sich auf die Sachgüterlogistik; zum besseren Verständnis des allgemeinen Logis-

tikbegriffs wird aber diese Abgrenzung erst im folgenden Abschnitt vorgenommen. Ein *logistisches System* dient der Durchführung meist einer Vielzahl von logistischen Prozessen. Es hat die Struktur eines *Netzwerks*, das aus Knoten, z. B. den Lagerorten, und Verbindungslinien zwischen den Knoten, z. B. den Transportwegen, besteht. Die Prozesse im logistischen System bilden einen *Fluss* im Netzwerk. Die Abgrenzung eines logistischen Systems ist wie bei jedem offenen System eine Frage der Sichtweise: Jedes logistische System enthält engere Subsysteme und ist Teil umfassender Supersysteme.

Damit kann eine sehr allgemeine *Definition der Logistik* gegeben werden: Logistik bedeutet die Gestaltung logistischer Systeme sowie die Steuerung der darin ablaufenden logistischen Prozesse. Diese Definition bedarf aber noch der Ergänzung um die folgenden drei charakteristischen Merkmale der Logistik.

- Erstens spielen Informationen in der Logistik nicht nur als mögliche logistische Objekte eine Rolle, sondern sind eine wesentliche Voraussetzung für die Steuerung der Prozesse. Jedes logistische System benötigt ein *Informations- und Kommunikationssystem* (IK-System), das der Tatsache Rechnung trägt, dass sich die zu steuernden Objekte bewegen und räumlich weit entfernt von der steuernden Stelle sein können. Dieses IK-System ist Bestandteil des logistischen Systems, seine Gestaltung und Steuerung gehört zur Logistik.
- Ein zweites wesentliches Merkmal der Logistik ist die *ganzheitliche Sicht* aller Prozesse in einem System. Die Steuerung einzelner Transport- oder Lagerprozesse gab es schon immer als Aufgabe im Industriebetrieb. Das Besondere am „logistischen Denken“ ist die gleichzeitige Betrachtung vieler Prozesse als Gesamtfluss in einem Netzwerk und ihre Abstimmung im Hinblick auf Gesamtziele des Systems (Abschn. A 1.1.4), das nicht zu eng abgegrenzt sein darf.
- Drittens befasst sich die Logistik mit *physischen Systemen und Prozessen*, deren Gestaltung und Steuerung

sowohl technische als auch ökonomische Aufgaben umfasst, sowie mit den oben erwähnten IK-Systemen. Die Logistik ist daher ihrem Wesen nach *interdisziplinär* und ist Gegenstand der Wirtschaftswissenschaften, der Ingenieurwissenschaften und der Informatik. Im vorliegenden Buch konzentrieren sich die Teile C bzw. D auf die technischen bzw. betriebswirtschaftlichen Aspekte der Logistik, den IK-Systemen für die Logistik sind die Abschn. A 4.1 und Kap. C4 gewidmet.

Andere Logistikdefinitionen unterscheiden sich vor allem durch eine Beschränkung auf bestimmte Arten von logistischen Systemen und Objekten. Eine Erweiterung des Logistik-Begriffs durch Einbeziehung der Produktion, wie er auch für dieses Buch gilt, wird in Abschn. A 1.1.2.3 vorgenommen. Häufig wird als Aufgabe der Logistik außer den planerischen Aufgaben der Gestaltung und Steuerung auch die *Durchführung* der logistischen Prozesse genannt. Diese wurde hier bewusst ausgenommen. Ein Logistikfachmann kann i. d. R. nicht Gabelstapler oder Lkw fahren. Die Logistik ist ihrem Wesen nach Planung.

Erweiterte Begriffe der Logistik, die ihre Bedeutung als Führungskonzept hervorheben, finden sich in [Web98: Kap. A II] und [Kla99].

A 1.1.2 Logistische Systeme

A 1.1.2.1 Überblick

Die zuvor gegebene allgemeine Definition erfasst sehr unterschiedliche logistische Systeme, die für eine nähere Betrachtung der Logistikaufgabe differenziert werden müssen. Man unterscheidet zunächst nach der gesamtwirtschaftlichen und der einzelwirtschaftlichen Sicht makro- und mikrologistische Systeme.

Als *makrologistisches* System bezeichnet man das Verkehrssystem einer Region, einer Volkswirtschaft oder der Weltwirtschaft. Dazu gehören das Verkehrsnetz aus Straßen-, Schienen-, Luft- und Wasserwegen sowie als Prozesse der öffentliche und der individuelle Güter- und Personenverkehr. Mit der entsprechenden Makrologistik befasst sich die Verkehrswissenschaft als Teil der Volkswirtschaftslehre.

Ein *mikrologistisches* System ist das logistische System eines Unternehmens oder ein Subsystem davon. Dazu gehören als Prozesse alle Transporte zu, in und von dem Unternehmen sowie die Lager- und Umschlagprozesse im Unternehmen. Diese Prozesse erbringen Dienstleistungen für die primären Leistungsprozesse Beschaffung, Produktion und Absatz. Eine besondere Rolle spielen die *logistischen Dienstleistungsunternehmen* (LDL), z. B. eine Spediti-

on, eine Lagerei, die Deutsche Bahn oder ein ÖPNV-Betrieb: Ein solches Unternehmen stellt als Ganzes ein logistisches System dar.

Große Bedeutung für die Kooperation von Unternehmen hat die Betrachtung unternehmensübergreifender Logistiksysteme, z. B. eines Industrieunternehmens, seiner Lieferanten, Kunden und der beauftragten LDL. Pfohl [Pfo04: 15] nennt sie *metalogistische Systeme*.

Eine andere Klassifizierung logistischer Systeme richtet sich nach den Objekten: Man unterscheidet dann die (Sach-)Güterlogistik, die *Personenverkehrslogistik* und die *IK-Logistik*. Dieses Buch beschränkt sich, in Übereinstimmung mit einer weit verbreiteten engeren Logistikdefinition, auf die Güterlogistik. IK-Systeme werden nur insoweit betrachtet, als sie der Steuerung der jeweiligen güterlogistischen Prozesse dienen. Außerdem wird überwiegend die mikro- oder die metalogistische Sichtweise angenommen. Die so abgegrenzte *Unternehmenslogistik* bezieht sich im Wesentlichen auf die Material- und Produktströme in und zwischen Industrieunternehmen, Handelsunternehmen und LDL.

A 1.1.2.2 Logistikkette

Die *Logistikkette* ist das logistische System eines Industrieunternehmens. Sie umfasst den gesamten Güterfluss von den Lieferanten zum Unternehmen, innerhalb des Unternehmens und von dort zu den Kunden. Sie kann als eine Folge von Transport-, Lager- und Produktionsprozessen dargestellt werden (Bild A 1.1-1). Die Umschlagprozesse, die an den Schnittstellen dieser Prozesse auftreten, sind nicht gesondert gezeigt. Während der Güterfluss von und zum Unternehmen von Transportprozessen bestimmt wird, wird er im Unternehmen wesentlich durch die Produktionsprozesse beeinflusst. Bei mehrstufiger Produktion sind die einzelnen Produktionsstufen durch Transportprozesse verbunden. Zwar wird die Produktion üblicherweise nicht zu den logistischen Prozessen gezählt; wegen ihrer zentralen Stellung im Güterfluss und der engen Verzahnung mit den logistischen Prozessen ist es aber zweckmäßig, auch die Gestaltung der Produktionssysteme und die Steuerung der Produktionsprozesse in die Logistik einzubeziehen, um den Anspruch der ganzheitlichen Sicht zu erfüllen. Der so erweiterte Logistik-Begriff ist vor allem in der Praxis verbreitet und gilt auch für dieses Buch. Danach ist insbesondere die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) Teil der Logistik.

Man beachte, dass auch die üblicherweise linear dargestellte logistische „Kette“ in der Realität eine Netzwerkstruktur hat. Die Abstraktion der Kette zeigt aber die wesentlichen logistischen Subsysteme als Abschnitte der Kette:

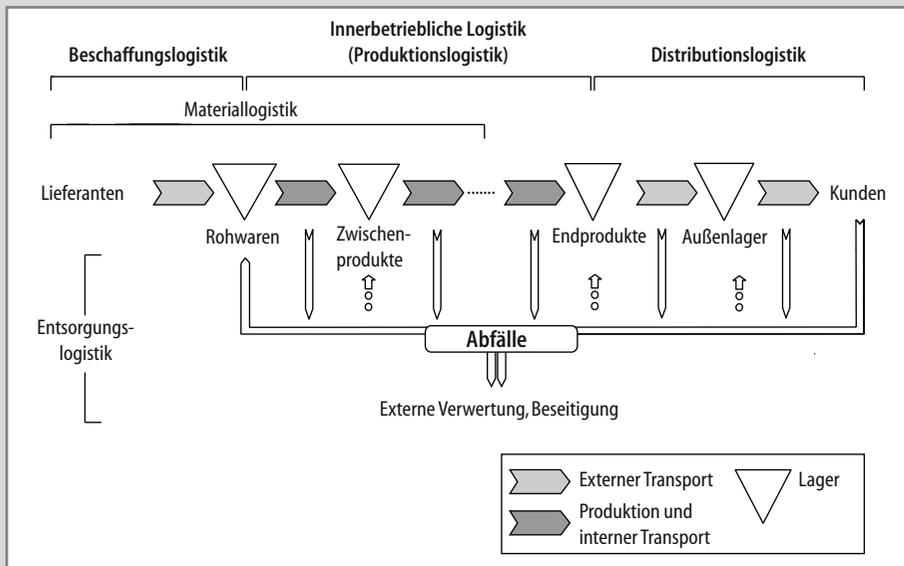


Bild A 1.1-1
Logistikkette

Die *Beschaffungslogistik* betrifft den Fluss von den Lieferanten bis ins Rohwarenlager, die *Produktionslogistik* den Abschnitt von dort bis ins Endproduktlager. Der Begriff „innerbetriebliche Logistik“ wird meist enger gebraucht nur in Bezug auf die mit der Produktion verbundenen Lager- und Transportprozesse. Tempelmeier [Tem05] fasst die Beschaffungslogistik und die Produktionslogistik für Vorprodukte zur *Materiallogistik* zusammen, die damit die Bereitstellung von fremd bezogenem sowie eigengefertigtem Material für den Einsatz in die Produktion betrifft. Die *Distributionslogistik* befasst sich mit der Lieferung der Endprodukte an die Kunden.

Zusätzlich zum vorwärtsgerichteten Güterfluss entlang der Logistikkette ist die Entsorgung ein wesentlicher Gegenstand der Unternehmenslogistik. Auf allen Stufen der Logistikkette können Abfälle anfallen, z. B. Produktionsrückstände, Verpackungen oder Altgeräte, die beseitigt oder der Verwertung in einem anderen Unternehmen oder in der eigenen Produktion zugeführt werden müssen. Im letzten Fall ergibt sich ein rückwärtsgerichteter Fluss. Die Gestaltung und Steuerung dieser Abfallflüsse sind Aufgabe der *Entsorgungslogistik*. Die Rückführung von Altgeräten von den Kunden, die Demontage und der Wiedereinsatz von Teilen ist Gegenstand der sog. *Reverse Logistics* [Fle97].

Die Unterteilung der Unternehmenslogistik in einzelne Abschnitte widerspricht zwar der angestrebten ganzheitlichen Sicht der Logistik, ist aber nützlich sowohl für die theoretische Analyse, da sich die Strukturen der entspre-

chenden logistischen Subsysteme erheblich unterscheiden, als auch für die Logistikpraxis im Rahmen einer hierarchischen Planung, die zusätzlich für eine übergreifende Koordination der Subsysteme sorgt (Abschn. A 1.1.5).

In der deutschsprachigen Logistikkultur wurde die Bezeichnung „Logistikkette“ durch den von der „Value Chain“ [Por85] abgeleiteten Begriff der „Wertschöpfungskette“ weitgehend verdrängt. In der englischen Literatur wird die Logistikkette als „Supply Chain“ bezeichnet. Dieser Begriff hat im Rahmen der neueren Ansätze des *Supply Chain Management* (SCM) eine Erweiterung zu unternehmensübergreifenden Ketten (und Netzen) erfahren.

A 1.1.2.3 Netzwerkmodelle

Der Fluss-Begriff, der eine zentrale Bedeutung in der Logistik hat, kommt aus der Strömungsmechanik. Bei einer Flüssigkeit, die in einem Leitungsrohr von einem Querschnitt A, der Quelle, zu einem Querschnitt B, der Senke, fließt, wird die Flussstärke oder kurz der *Fluss* in *Mengeinheiten pro Zeiteinheit* (ME/ZE) ausgedrückt. Ein *stationärer* Fluss ist im Zeitablauf konstant; für ihn gilt, dass der Zufluss in A gleich dem Abfluss in B und gleich dem Fluss an jedem Querschnitt im Rohr ist. Für einen *dynamischen*, d. h. zeitlich sich ändernden Fluss, gilt diese Beziehung im zeitlichen Mittel.

Durch Verbindung mehrerer solcher Leitungsstücke an *Knoten* erhält man ein Leitungsnetz, das als Schnittstellen

zur Außenwelt mehrere Quellen und Senken besitzen kann, die ebenfalls als Knoten gelten. Für den *Fluss im Netzwerk*, der sich aus den Flüssen in den einzelnen Leitungsstücken zusammensetzt, gilt das Prinzip der *Flusserhaltung*: In jedem Knoten ist (im Mittel) die Summe aller (systeminternen und -externen) Zuflüsse gleich der Summe aller Abflüsse. Das Leitungsnetz wird nun abstrahiert zu einem Netz aus *Knoten* und *Pfeilen*. Der Fluss in einem Pfeil kann Kosten und Erlöse verursachen. Er wird in seiner Stärke durch die *Kapazität* des Pfeils begrenzt.

Diese Struktur lässt sich unmittelbar auf ein Logistiksystem übertragen: Die Flüsse stellen Transport-, Produktions- oder Umschlagprozesse für bestimmte Güter dar, die Knoten Lager, Puffer oder Umschlagpunkte. In den Quellen besteht ein *Güterangebot*, in den Senken ein *Bedarf*. Man beachte, dass ein stationäres Flussmodell keine Lagerbestände erfassen kann. Denn wegen der Flusserhaltung bleibt der Bestand in jedem Lagerknoten konstant. Nur ein dynamischer Fluss kann durch temporäre Ungleichheit von Zu- und Abfluss dort Bestände auf- und abbauen.

Im Netzwerkflussmodell kann man nicht nur die fließenden Mengen, z. B. Transport- und Produktionsmengen, betrachten, sondern auch die *Durchlaufzeiten* (DLZ), die eine ME von einem Punkt im Netzwerk zu einem anderen benötigt. Zwischen den DLZ und dem Fluss besteht ein wichtiger Zusammenhang, der den Bestand im betrachteten Netzabschnitt, auch „Pipeline-Bestand“ oder *Work in Process* (WIP) genannt, einbezieht. Er lässt sich am oben betrachteten Beispiel des Leitungsrohrs verdeutlichen: Bei stationärem Fluss hat während einer DLZ von A nach B genau die dem WIP zwischen A und B entsprechende Menge den Querschnitt B passiert. Daher gilt (im Mittel)

$$\text{Fluss} = \text{WIP}/\text{DLZ} \text{ oder } \text{WIP} = \text{Fluss} \times \text{DLZ}.$$

Bei gegebenem Fluss sind somit WIP und DLZ proportional. Dies entspricht der physikalischen Tatsache, dass die Fließgeschwindigkeit in einem dünneren Rohr höher ist als in einem dickeren.

Das Flussmodell wird auch in neueren Softwaresystemen für das SCM zur graphischen Beschreibung der Supply Chain benutzt. Es stellt eine aggregierte Betrachtungsweise dar, die die einzelnen fließenden Objekte, z. B. Fahrzeuge oder Produktionsaufträge, zum Fluss zusammenfasst. Für eine Einzelerfassung der Bewegung dieser Objekte, etwa zum Zweck einer kurzfristigen Steuerung, gibt es andere Netzwerkmodelle. So betrachtet man für die Tourenplanung (Abschn. A 3.3) ein Straßennetz mit Fahrzeiten für jeden Pfeil und den genauen zeitlichen Ablauf der Fahrten einzelner Fahrzeuge, in der Werkstattsteuerung ein Netz von Arbeitsstationen, an denen jeweils einzelne Aufträge bearbeitet werden. In einem *Netzplan* werden die einzelnen

Aktivitäten eines Projekts, ihre Dauer und ihre Vorgängerbeziehungen dargestellt. Er dient nicht zur Planung fließender Mengen im Logistiksystem, sondern zur zeitlichen Abstimmung einzelner Aktivitäten.

Die genannten Modelle erlauben eine Optimierung (Abschn. A 2.3) der logistischen Aufgaben. Die Bestimmung optimaler Flüsse in beliebigen, auch sehr großen Netzen, bei linearen Kosten und Erlösen ist mit Standardsoftware auf Basis der linearen Programmierung oder spezieller Netzwerkflussverfahren [Dom07: Kap. 6 u. 7] relativ einfach und schnell durchführbar. Netzwerkflussmodelle sind auch einsetzbar für die Gestaltung des Netzes selbst, also des logistischen Systems, indem man den Fluss durch bestimmte Knoten und Pfeile mit fixen Kosten für die Schaffung der entsprechenden Einrichtungen belegt. Dies führt allerdings zu erheblich schwierigeren Problemen, die i. Allg. nur heuristisch lösbar sind. Das Gleiche gilt für die meisten Probleme der Detail-Steuerung.

A 1.1.3 Logistische Prozesse

Als logistische Prozesse wurden bereits Transport, Lagerung, Umschlag und Kommissionierung abgegrenzt. Eine wichtige Hilfsfunktion dafür hat die Verpackung. Hinzu kommen die zur Steuerung notwendigen IK-Prozesse.

Transportprozesse

Außerbetriebliche Transporter treten auf der Beschaffungsseite von den Lieferanten zum Unternehmen und auf der Distributionsseite von dort zu den Kunden auf, außerdem ggf. zwischen den unterschiedlichen Betriebsstandorten eines Unternehmens sowie in der Entsorgung. Als Transportmittel kommen Kfz, Bahn, Flugzeug, Binnen- und Seeschifffahrt in Frage. Dabei ist der Anteil des Straßengüterverkehrs seit 30 Jahren ständig gewachsen und überwiegt heute in Deutschland mit 85% des Transportaufkommens (Tonnage) und 72% der Transportleistung (Tonnenkilometer) [BMV03]. Oft werden Transporte ein- oder mehrmals an Umschlagpunkten (UP) *gebrochen*. Dadurch können zum einen mehrere Transportaufträge (*Sendungen*) mit unterschiedlichen Versand- oder Empfangsorten über große Entfernungen gebündelt und so die Transportkosten gesenkt werden (Abschn. A 1.2). Zum anderen ist am UP ein Wechsel des Transportmittels im *kombinierten Verkehr* möglich.

Innerbetrieblicher Transport oder *Fördern* findet zwischen Produktionsstellen, Lagern und dem Wareneingang und -ausgang statt. Einen Überblick über die Fördertechniken und ihren Einsatzbereich geben Abschn. C 2.1 und [Jün00].

Umschlag

Umschlagprozesse sind das Be- und Entladen von Transportmitteln, das Sortieren sowie das Ein- und Auslagern. Sie verbinden die einzelnen Transportabschnitte bei gebrochenem Verkehr sowie den außerbetrieblichen Transport mit dem innerbetrieblichen Materialfluss. Die Umschlagprozesse an einem UP müssen so gestaltet sein, dass sie die unerwünschten Effekte des gebrochenen Transports, zusätzliche Kosten und Durchlaufzeiten durch den Umschlag, in akzeptablen Grenzen halten. Dazu dienen einheitliche Ladegefäße wie Wechselbrücken und Container, die sich im Güterverkehr auf allen Transportmitteln weitgehend durchgesetzt haben. Im Wareneingang und -ausgang lassen sich die Umschlagprozesse durch Abstimmung einheitlicher Ladungsträger, z. B. Paletten oder Behälter, mit den Lieferanten bzw. Kunden vereinfachen. Umschlagtechniken behandeln Abschn. A 1.2.4, C 2.4 und C 3.3.

Kommissionieren

Kommissionieren bedeutet das Zusammenstellen von Lagerartikeln zu Aufträgen, die jeweils bestimmte Mengen verschiedener Artikel verlangen. Da diese Mengen i. Allg. kleiner sind als die artikelreinen Lagereinheiten (z. B. ganze Paletten), müssen sie aus Anbruch-Einheiten entnommen werden. Die Aufträge betreffen entweder Material für eine Produktionsstelle oder es sind Kundenaufträge, die in den Versand gehen. Es existiert eine große Vielfalt von Kommissioniertechniken (Abschn. C 2.3).

Lagerprozesse

Lagerprozesse sind das Einlagern, die Lagerung und das Auslagern. Die Techniken dazu (Abschn. C 2.2) müssen aufeinander abgestimmt sein. Durch die Wahl des Lagerplatzes beim Einlagern wird die Fahrzeit für das Ein- und Auslagern beeinflusst. Als Einlagerungsstrategien werden außer der *chaotischen Lagerung* auch Einteilungen des Lagers in Artikelzonen benutzt, die darauf abzielen, den häufig umgeschlagenen Artikeln Plätze mit kürzeren Anfahrzeiten zuzuweisen. Die Lagerung selbst stellt keine eigene Aktivität dar. Die Lagerdauer und die Höhe des Bestandes der einzelnen Artikel werden durch die Steuerung der vor- und nachgelagerten Transport- und Produktionsprozesse bestimmt.

Verpackung

Die Verpackung (Abschn. C 2.5) hat neben der Schutzfunktion für das verpackte Gut wichtige logistische Funk-

tionen: Sie soll eine einfache Handhabung bei Umschlag und Kommissionierung und eine gute Raumausnutzung für Transport und Lagerung, z. B. durch geeignete Abmessungen und Stapelfähigkeit, ermöglichen. Außerdem kann die Verpackung Informationen über das verpackte Gut, den Empfangsort und den Transportweg tragen, insbesondere in elektronisch lesbarer Form, z. B. als Barcode oder RFID-Etikett. Der Verpackungsprozess ist i. d. R. in den Produktions- oder in den Kommissionierungsprozess integriert. Die Verpackung verursacht ihrerseits logistische Aufgaben im Rahmen der Entsorgung, insbesondere das Recycling von Packstoffen und von Mehrwegverpackungen.

IK-Prozesse

Informationen werden für die Planung und Steuerung aller Prozesse in der Logistikkette benötigt (Abschn. B 8.4). Ausgangsinformationen sind die Kundenaufträge und Absatzprognosen, aus denen in verschiedenen Planungsschritten interne Aufträge für Produktion, Transport und Beschaffung abgeleitet werden. Die *Auftragsabwicklung* muss für die termingerechte Durchführung der freigegebenen Aufträge sorgen. Dazu benötigen alle beteiligten Stellen entsprechende Informationen. *Vorausseilende Informationen* dienen der Vorbereitung der Auftragsbearbeitung, z. B. des Empfangs und Umschlags eines Transports; *begleitende Informationen* geben Anweisungen für die Ausführung, eine typische *nacheilende Information* ist die Fakturierung. Schließlich sind *Rückmeldungen* über den Auftragsfortschritt von Bedeutung. Planung, Steuerung und Auftragsabwicklung erfordern Informationen über den aktuellen Zustand der Logistikkette, insbesondere Bestände, Auftragsfortschritt und verfügbare Kapazitäten. Eine elektronische Erfassung dieser Informationen am Ort der Entstehung erfolgt durch die *betriebliche Datenerfassung* (BDE), bei logistischen Prozessen oft in Form einer mobilen Datenerfassung, für die laufende unternehmensweite Verfügbarkeit sorgen die Systeme des *Enterprise Resource Planning* (ERP).

A 1.1.4 Ziele

Das allgemeine ökonomische Ziel der *Effizienz* bedeutet für die Logistik, dass die Kosten der logistischen Prozesse für die jeweilige Leistung minimal und ihre Leistung bei den jeweiligen Kosten maximal sein sollen. Die ganzheitliche und kundenorientierte Sicht der Logistik erfordert, dass dabei die *gesamten Kosten* des betrachteten Logistiksystems, z. B. der Logistikkette, und die *gesamte Leistung für die Kunden* beachtet werden. Außerdem ha-

ben ökologische Ziele für die Logistik eine wachsende Bedeutung.

A 1.1.4.1 Logistikleistung

Output der logistischen Prozesse ist die bedarfsgerechte Bereitstellung von Gütern für Kunden. Dies betrifft bei Betrachtung der gesamten logistischen Kette eines Unternehmens dessen Kunden. Ein Denken in Lieferanten-Kunden-Beziehungen wird aber in der Logistik für alle Prozesse gefordert, so dass auch beliebige logistische Subsysteme an (ggf. internen) Kunden auszurichten sind. Eine monetäre Bewertung der logistischen Leistung fällt schwer, da sie den Wert aus Sicht des Kunden ausdrücken müsste. Eine andere Bewertung erfolgt über den *Lieferservice*, der üblicherweise durch die vier Kriterien Lieferzeit, -zuverlässigkeit, -qualität und -flexibilität definiert wird [Pfo04: Kap. 2.4; Sch95: Kap. 1.3].

Die *Lieferzeit* ist die Zeit von der Auftragserteilung bis zur Bereitstellung der Ware beim Kunden. Sie wird durch die DLZ der zur Kunden-Auftragsabwicklung notwendigen Prozesse und somit durch die Bevorratungsstrategie (Festlegung der auftragsorientierten und der anonymen Prozesse, vgl. Abschn. A 1.1.5.3) bestimmt.

Die *Lieferzuverlässigkeit* ist ein Maß für die Einhaltung der mit dem Kunden vereinbarten Lieferzeit, z. B. ausgedrückt als Anteil verspäteter Lieferungen oder durchschnittliche Verspätung. Bei Lagerfertigung wird sie im Wesentlichen von der *Lieferbereitschaft* (in der Lagerhaltungstheorie auch *Servicegrad* genannt) bestimmt. Diese ist ein Maß für die Fähigkeit, Kundenaufträge sofort aus dem Lagerbestand zu erfüllen, wofür es unterschiedliche Definitionen gibt (Abschn. A 3.4).

Die *Lieferqualität* beschreibt zum einen die Übereinstimmung der Lieferung mit dem Auftrag bzgl. Art und Menge, zum anderen den Zustand der Ware im Hinblick auf Beschädigungen, Verschmutzung u. ä. Die *Lieferflexibilität* ist die Fähigkeit, auf Kundenwünsche hinsichtlich der Art der Auftragserteilung, der Liefermodalitäten (z. B. Verpackung, Ladungsträger, Transportmittel, Tageszeit) und der Information über laufende Aufträge einzugehen.

Der Lieferservice als Bewertungskriterium der Logistikleistung ist mehr-dimensional und nur teilweise quantifizierbar. Er kann eine große Wirkung auf das Nachfrageverhalten der Kunden haben, die sich aber kaum formalisieren lässt. Deshalb ist eine gemeinsame *Optimierung* von Logistikleistung und -kosten i. Allg. nicht möglich. Sinnvoll sind eine Festlegung des angestrebten Lieferservice im Rahmen der strategischen Zielplanung und eine Minimierung der Kosten zur Erreichung dieses Ziels.

A 1.1.4.2 Logistikkosten

Die Logistikkosten können nach den verschiedenen Logistikprozessen unterteilt werden in

- Transportkosten für externe Transporte,
- Kosten des Umschlags und des internen Materialflusses,
- Kommissionierkosten,
- Verpackungskosten,
- Kosten der Lagerung,
- Kosten der Steuerung und der IK-Systeme.

Dabei können in jedem Prozess Kosten für die Faktoren Material, Personal und Betriebsmittel sowie Kapitalbindungskosten entstehen. So gibt es z. B. *Material- und Energiekosten* für externe und interne Transporte und für Verpackungen, *Personalkosten* für Fahrer, für manuelle Tätigkeiten (Handling) in Umschlag und Kommissionierung sowie für die Disponenten. Für alle Transportmittel, für Lagereinrichtung, für Anlagen des Umschlags und Kommissionierens und für die IK-Systeme entstehen *Abschreibungen* und *Kapitalbindungskosten*. Die Kosten für Lagerbestände sind im Wesentlichen Kapitalbindungskosten und hängen im Gegensatz zu den Ein- und Auslagerungskosten nicht vom Materialfluss, sondern von der Bestandshöhe und der Lagerdauer ab. Dasselbe kann für die Kosten für Versicherungen und Schwund gelten.

Die Logistik als Planungsaufgabe benötigt selbst Kosteninformationen, die die Wirkung der logistischen Entscheidungen aufzeigen. Herkömmliche Kostenrechnungssysteme sind dazu wenig geeignet, da sie die Logistikkosten größtenteils als Gemeinkosten ausweisen und auf wertmäßige Bezugsgrößen schlüsseln. Der Wert z. B. eines transportierten Gutes hat aber wenig Einfluss auf die Transportkosten. Der Logistik besser angemessen ist die neuere Prozesskostenrechnung, die eine verursachungsgerechte Schlüsselung der Logistikkosten auf relevante „Kostentreiber“ vornimmt (Abschn. D 5.4).

A 1.1.4.3 Ökologische Ziele

Zwischen der Logistik und der natürlichen Umwelt bestehen zweierlei Beziehungen: Einerseits übernimmt die Logistik Aufgaben der Entsorgung, insbesondere des Recycling, und dient damit dem Umweltschutz. Andererseits haben die logistischen Prozesse mehr oder weniger negative Wirkungen auf die Umwelt: Energieverbrauch, Flächenbedarf (alle Prozesse), Schadstoffemissionen, Lärm (Transport) und Abfallerzeugung (Verpackung). Die ökologischen Ziele der Minimierung dieser Wirkungen stehen i. Allg. im Konflikt zu den ökonomischen Zielen. Besonders offensichtlich sind die Umwelt-Wirkungen des Straßen-

güterverkehrs. Hier besteht allerdings bei vorgegebenen Transportanforderungen weitgehende Übereinstimmung zwischen ökologischen Zielen und der Kostenminimierung [Kra97]. Denn der wesentliche Kostentreiber, die *Fahrleistung* (gefahrte km), bestimmt zugleich Kraftstoffverbrauch und Emissionen. Dagegen führen die geographische Konzentration der Produktionsstätten, der wachsende Anteil des Straßengüterverkehrs im Vergleich zur Bahn, die abnehmende Fertigungstiefe und die Globalisierung der Lieferbeziehungen zu stark erhöhten Transportanforderungen und stehen damit im Konflikt zu ökologischen Zielen.

A 1.1.5 Planungsaufgaben der Logistik

A 1.1.5.1 Planungsebenen

Die Aufgaben der Logistik, Gestaltung und Steuerung der logistischen Systeme und Prozesse, sind Planungsaufgaben. Der in der BWL übliche weit gefasste Begriff der Planung bedeutet die Ermittlung und Festlegung zukünftiger Aktivitäten, die der Zielsetzung des Unternehmens dienen. Da i. d. R. mehrere voneinander abhängige Aktivitäten gemeinsam geplant werden, hat Planung eine Koordinationsfunktion. Planungsaufgaben werden nach der Länge des Planungszeitraums, in dem die zu planenden Aktivitäten erfolgen sollen, unterschieden in lang-, mittel- und

kurzfristig, außerdem in strategisch und operativ. Die strategische Planung entwickelt Strategien zum Aufbau und zur Sicherung der Erfolgspotentiale des Unternehmens und ist ihrem Wesen nach langfristig, die operative Planung betrifft die regelmäßig ablaufenden Prozesse und umfasst mittel- und kurzfristige Aufgaben. Der Begriff *Steuerung* wird meist auf die kurzfristige operative Planung beschränkt, der Ausdruck „Planung und Steuerung“ auch für die operative Planung gebraucht. Der Begriff der *taktischen Planung* wird uneinheitlich verwendet, z. T. für die genauere Ausgestaltung der Strategien, z. T. für die mittelfristige operative Planung. Er wird deshalb im Weiteren nicht benutzt.

Unterteilt man die Planungsaufgaben der Logistik zusätzlich nach den Abschnitten der Logistikkette, so erhält man die *Planungsmatrix*. Bild A 1.1-2 zeigt wichtige Entscheidungen der einzelnen Planungsaufgaben auf drei Planungsebenen. Die *strategische Planung* legt das Leistungsprogramm und die Gestaltung des gesamten dafür notwendigen Logistiksystems fest. Dazu gehören insbesondere Entscheidungen über

- die Produktionstiefe und Fremdleistungen,
- Standorte von Werken und Lagern,
- Investitionen in Produktions- und Lageranlagen,
- das Layout von Produktions- und Lagerhallen,
- die IK- und Steuerungssysteme, insbesondere das PPS-System.

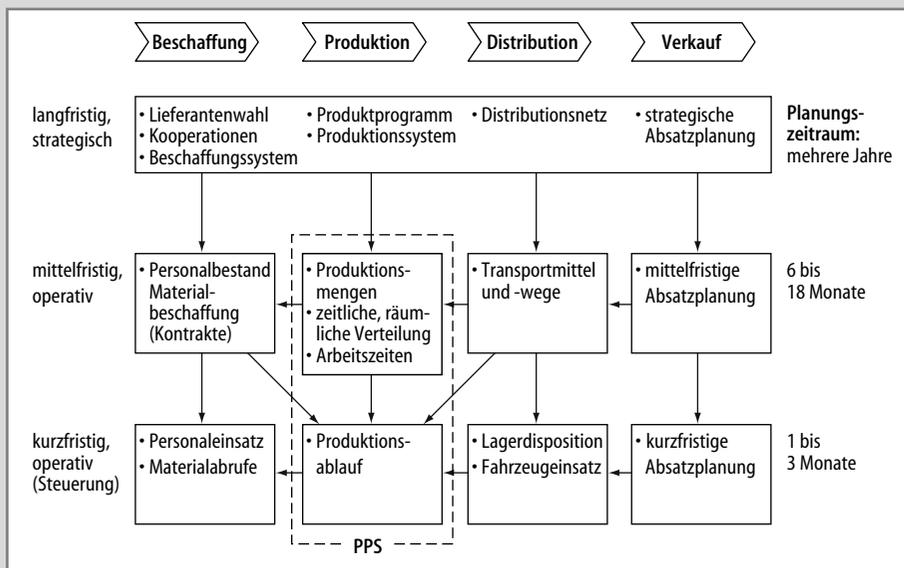


Bild A 1.1-2
Planungsaufgaben der Logistik: die Planungsmatrix

Die *mittelfristige operative Planung* legt Rahmenbedingungen und Kapazitäten für die Produktions- und Logistikprozesse fest, insbesondere

- Personalbestand und Arbeitszeiten,
- grobe Mengenflüsse mit zeitlicher Unterteilung,
- Transportmittel und -wege.

Die *kurzfristige operative Planung* muss schließlich zeit- und mengengenaue unmittelbar umsetzbare Vorgaben für die Ausführung der Prozesse ergeben.

Die Pfeile in Bild A 1.1-2 zeigen den Informationsfluss zwischen den Planungsaufgaben: Planungsergebnisse gehen als Vorgaben in andere Planungen ein, vor allem vertikal von höheren zu niedrigeren Planungsebenen und horizontal entgegen dem Güterfluss in der Logistikkette. Doch es gibt auch zahlreiche Abhängigkeiten in umgekehrter Richtung, so muss die Absatzplanung die Produktionskapazitäten beachten und die lang- und mittelfristigen Planungen benötigen Kosteninformationen, die vom Detailablauf abhängen. Eine Simultanplanung für die gesamte Planungsmatrix ist jedoch nicht realisierbar und wäre auch wegen der unterschiedlichen Anforderungen an Daten- und Ergebnisgenauigkeit der Planungsebenen wenig sinnvoll. Die beste Möglichkeit, der ganzheitlichen Sicht der Logistik trotz Planung von Teilproblemen zu genügen, bietet das Prinzip der hierarchischen Planung, das für beliebig viele Planungsebenen anwendbar ist:

Die Detailplanungen für eng begrenzte Subsysteme auf der untersten Ebene werden auf der nächsthöheren Ebene durch größere Planungen für größere Unternehmensbereiche koordiniert, auf der obersten Ebene schließlich durch die unternehmensweite strategische Planung. Dazu werden genau definierte Vorgabe- und Rückkoppelungsinformationen zwischen den Teilplanungen ausgetauscht. Diesem Prinzip folgen die neueren *Advanced-Planning-(AP)-Systeme*, auch als SCM-Systeme bezeichnet. Sie enthalten Module, die die ganze Planungsmatrix abdecken und durch Informationsaustausch verbunden sind.

A 1.1.5.2 Just-in-time-Steuerung

Die *Just-in-time (JIT)-Steuerung* [Wil00] ist ein spezielles Konzept zur Steuerung des Material- und Produktflusses in der Logistikkette, das in der japanischen Automobilindustrie entwickelt wurde und ab 1980 in den USA und in Europa Verbreitung fand. Die Grundidee besteht darin, die aufeinander folgenden Produktions- und Transportprozesse so zu synchronisieren, dass jeder Prozess das Material genau dann bereitstellt, wenn der jeweilige Nachfolgeprozess es benötigt, also „just in time“. Im Idealfall ist

dann kein Lagerbestand zwischen den Prozessen notwendig, man hat eine „bestandslose“ Logistikkette oder nur sehr geringe Pufferbestände. Das WIP besteht dann (fast) nur aus dem Material in Bearbeitung oder im Transport, die DLZ reduzieren sich auf die reinen Bearbeitungs- und Transportzeiten. Diese Effekte – geringe Bestände, kurze DLZ und entsprechend kurze Lieferzeiten – sind die wesentlichen Vorzüge des JIT-Konzepts.

Realisiert wird es durch eine Steuerung nach dem Holprinzip (Pull-Steuerung). Dabei darf ein Prozess nur auf Anforderung des Nachfolgeprozesses aktiv werden („auf Abruf“) und dann jeweils nur eine geringe Menge produzieren bzw. transportieren, maximal für einen Tagesbedarf. Dies bedeutet z. B. für eine JIT-gesteuerte Produktionslinie mit mehreren Produkten, dass jedes Produkt jeden Tag zu produzieren ist und somit häufige Produktwechsel anfallen. Die JIT-Steuerung ist sowohl für die Produktion als auch für die Beschaffung anwendbar, ebenso für unternehmensübergreifende Prozessketten. Eine mögliche Form der Realisierung für mehrstufige Produktion ist das japanische Kanban-System [Gün04: 318 f.]. Die JIT-Zulieferung von Material ist in der Automobilindustrie verbreitet.

Die JIT-Steuerung ist nicht universell einsetzbar, sondern an eine Reihe von Voraussetzungen gebunden:

- Standardmaterial oder -produkte mit gleichmäßigem Bedarf,
- Fließorganisation der Produktion mit abgestimmten Kapazitäten,
- keine nennenswerten Rüstkosten und -zeiten bei Produktwechsel,
- Kapazitätsreserven und hohe Zuverlässigkeit,
- Fehlerquote nahe null,
- kurze Lieferfristen in der Beschaffung.

Die Voraussetzungen an das Produktionssystem lassen sich durch strategische Gestaltungsmaßnahmen herstellen, die aber erhebliche Investitionen erfordern können, z. B. durch Segmentierung der Produktion nach verwandten Produkten, Automatisierung von Rüstvorgängen und qualitätssichernde Maßnahmen. Die Voraussetzungen an die Beschaffung können durch strategische Kooperation mit den Lieferanten erreicht werden. Wegen der ersten Voraussetzung ist die JIT-Steuerung immer nur für einen kleinen Teil der Artikel (A-Artikel) anwendbar, die aber einen großen Anteil am gesamten Materialfluss haben können.

Das JIT-Konzept ist somit in erster Linie ein strategisches Konzept: Die Logistikkette ist so zu gestalten, dass eine bestandsarme Steuerung des Güterflusses möglich ist.

Tabelle A 1.1-1 Einflussgrößen und Nutzen verschiedener Bestandskomponenten

Bestandskomponenten	Einflussgrößen	Nutzen
Produktionslosgrößenbestand	Losgröße, Auflagehäufigkeit	Reduktion von Rüstkosten und Rüstzeiten
Transportlosgrößenbestand	Transportmenge, Fahrhäufigkeit	Reduktion von Transportkosten und Fahrleistung
Sicherheitsbestand	Prognosefehler, Produktionszuverlässigkeit, DLZ, Lieferfrist der Lieferanten, Ziel-Lieferbereitschaft	Lieferbereitschaft, Verkürzung der Lieferzeit zum Kunden, Vermeidung von Eillieferungen
Saisonbestand	Bedarfsspitzen, verfügbare Kapazität	Produktionsglättung, Vermeidung von Überstunden
WIP	DLZ, verfügbare Kapazität, Steuerungskonzept	Vermeidung von Kapazitätsverlust
Bestand im Transport	Transportdauer	Reduktion von Transportkosten

A 1.1.5.3 Bestandsmanagement

Bestandsmanagement ist keine eigenständige Planungsaufgabe, da die Höhe der Bestände in den verschiedenen Lagern längs der Logistikkette bereits durch die Planung der Produktions- und Transportprozesse bestimmt wird. Aufgabe eines Bestandsmanagements ist vielmehr, die Auswirkungen dieser Prozesse auf die Bestände zu analysieren und die Planung der Prozesse auf die Optimierung der Bestände auszurichten. Dazu ist eine Differenzierung der Bestände nach Ursache bzw. Zweck in folgende Bestandsarten sinnvoll:

- *Losgrößenbestand* entsteht, wenn der Zufluss losweise, z. B. in Produktionslosen oder in ganzen Fahrzeugladungen, erfolgt, die den Bedarf für einen bestimmten Zeitraum im Voraus abdecken.
- *Sicherheitsbestand* deckt Unsicherheiten im Abfluss und/oder Zufluss ab, vor allem unbekanntem Bedarf, Produktionsstörungen bei Zufluss durch Produktion und schwankende Lieferfristen in der Beschaffung.
- *Saisonbestand* ist notwendig, wenn der Bedarf zeitweise höher als die Zuflusskapazität ist, und deckt dann zukünftige Engpässe ab.
- *Work in Process (WIP)* ist der Bestand, der sich gerade in Bearbeitung oder im Transport befindet oder als Puffer zwischen den Produktionsstufen auf die Bearbeitung wartet.

Losgrößen-, Sicherheits- und Saisonbestand können gleichzeitig als Komponenten *eines* Bestandes auftreten.

Für eine sinnvolle Planung der Bestände ist eine Zerlegung in diese Komponenten notwendig, da sie durch unterschiedliche Einflussgrößen bestimmt werden und unterschiedlichen Nutzen bringen (Tabelle A 1.1-1).

Eine wichtige Entscheidung des Bestandsmanagements betrifft die Frage, ob auftragsorientiert oder auf Lager produziert werden soll, oder allgemeiner die Festlegung des Entkopplungspunktes in der Logistikkette für jedes Produkt [Mey03]. Vor diesem Punkt werden alle Prozesse *anonym*, d. h. ohne Bezug zu vorhandenen Kundenaufträgen, gesteuert und Sicherheitsbestand für erwartete Kundenaufträge gehalten. Dadurch gehen die Durchlaufzeiten dieser Prozesse nicht in die Lieferzeit zum Kunden ein. Je später der Punkt der Auftragsorientierung liegt, desto höher ist der Wert der zu haltenden Sicherheitsbestände und desto kürzer ist die Lieferzeit bis zum Kunden.

Der Zusammenhang zwischen Beständen und Lieferzeit ist somit nicht eindeutig. Einerseits können Sicherheitsbestände die Lieferzeiten erheblich reduzieren, andererseits steigt die DLZ proportional zum WIP (Abschn. A 1.1.2.3), was bei auftragsorientierten Prozessen die Lieferzeit verlängert und bei anonymen Prozessen eine Erhöhung der nachfolgenden Sicherheitsbestände erfordert.

Auffallend ist die unterschiedliche Ausrichtung des Bestandsmanagements in der Entwicklung der Planungs- und Steuerungskonzepte und -software: Etwa 1975 entstand das Konzept des Material Requirements Planning (MRP) [Gün04: Kap. 13], das sich als Grundlage von PPS-Software und später der PPS-Module in ERP-Systemen bis heute weit verbreitet hat. Es beruht auf einer Push-Steue-

zung mit unzulänglicher zeitlicher Genauigkeit, die i. Allg. zu hohen Beständen zwischen den einzelnen Prozessen führt. Demgegenüber bietet das ab 1980 aufkommende JIT-Konzept, das mit einer einfach durchführbaren dezentralen Pull-Steuerung eine Prozesskette bestandslos synchronisiert, deutliche Vorzüge. Gleichzeitig interpretiert Porter [Por85] die Logistikkette als Wertschöpfungskette, in der die reine Lagerung als nicht wertschöpfender Prozess und damit jegliche Bestände unerwünscht sind. „Bestände verdecken Fehler“ [Wil00], ist die allgemeine Einstellung zu Beständen. Schließlich entstehen im Rahmen der Geschäftsprozessorganisation formale Prozesskettenmodelle, in denen Bestände zwischen den Prozessen gar nicht vorgesehen sind. Eine Neuorientierung des Bestandsmanagements in Richtung auf eine gemeinsame Optimierung von Prozessen und Beständen ist erst seit wenigen Jahren zu beobachten. Sie wird durch die neuen Softwaresysteme des Advanced-Planning unterstützt.

Literatur

- [BMV03] Bundesministerium für Verkehr (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 2003/2004. Hamburg: Deutscher Verkehrs-Verlag 2003
- [Dom07] Domschke, W.: Logistik: Transport. 5. Aufl. München: Oldenbourg 2007
- [Fle97] Fleischmann, M.; Bloemhof-Ruwaard, J.M. et al.: Quantitative models for reverse logistics: a review. EJOR 103 (1997) 1–17
- [Gün04] Günther, H.; Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik. 6. Aufl. Berlin: Springer 2004
- [Ise98] Isermann, H.: Grundlagen eines systemorientierten Logistikmanagements. In: Isermann, H. (Hrsg.): Logistik. 2. Aufl. Landsberg: Moderne Industrie 1998, S. 21–60
- [Jün00] Jünemann, R.: Materialflußsysteme. 2. Aufl. Berlin: Springer 2000
- [Kla99] Klaus, P.: Logistik als Weltsicht. In: Weber, J.; Baumgarten, H. (Hrsg.): Handbuch Logistik. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1999, S. 15–32
- [Kra97] Kraus, S.: Distributionslogistik im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie. Nürnberg: GVB, Schriftenreihe Band 35, 1997
- [Mey03] Meyr, H.: Die Bedeutung von Entkopplungspunkten für die operative Planung von Supply Chains. Z. für Betriebswirtschaft 73 (2003) 941–962
- [Pfo04] Pfohl, H.-Ch.: Logistiksysteme. 7. Aufl. Berlin: Springer 2004
- [Por85] Porter, M.: Competitive Advantage. New York: McMillan 1985
- [Sch05] Schulte, C.: Logistik. 3. Aufl. München: Vahlen 2005
- [Tem05] Tempelmeier, H.: Materiallogistik. 6. Aufl. Berlin: Springer 2005
- [Web98] Weber, J.; Kummer, S.: Logistikmanagement. 2. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1998
- [Wil00] Wildemann, H.: Das Just-in-Time Konzept. 5. Aufl. München: gfm 2000

A 1.2 Systeme der Transportlogistik

A 1.2.1 Überblick

Ein wesentlicher Gegenstand der Unternehmenslogistik sind die externen Transportprozesse, die das Unternehmen mit seinen Lieferanten und seinen Kunden verbinden. Die entsprechenden Abschnitte der Logistikkette sind die Beschaffungslogistik und die Distributionslogistik. Diese Unterscheidung ist aber subjektiv auf ein bestimmtes Unternehmen bezogen und kennzeichnet nicht die unterschiedlichen Strukturen von Gütertransportsystemen. Denn jeder Transportprozess gehört aus Sicht des Versenders zur Distribution, aus Sicht des Empfängers zur Beschaffung. Geeigneter für eine Analyse von Transportsystemen ist die Unterscheidung von Produktionssystemen von einem Industriebetrieb zu einem anderen und Konsumgüter-Transporten von der Industrie zum Handel oder vom (Groß-) Handel zum (Einzel-) Handel oder von Industrie bzw. Handel direkt zum Endverbraucher. Der letzte Fall ist am wenigsten verbreitet, dürfte aber im Zuge des elektronischen Handels in Zukunft stark an Bedeutung gewinnen und völlig neue Bedingungen an die Transportlogistik stellen [Dad03]. Bei den Produktionsgütern ist weiter zu unterscheiden zwischen dem Transport von Betriebsmitteln und von Verbrauchsmaterial. Erstere, z. B. Produktionsanlagen oder Lagereinrichtungen, sind auf einer bestimmten Relation nur einmalig oder selten zu transportieren, können aber wegen extremer Volumina und Gewichte spezielle Anforderungen an die Fahrzeuge und die Durchführung der Transporte stellen. Material wird dagegen regelmäßig oder häufig auf der gleichen Relation transportiert. Weitere wichtige Fälle von externen Transporten treten in der Entsorgungslogistik auf.

In diesem Kapitel werden die Fälle der Zulieferung von Material von der Industrie zur Industrie (Zulieferlogistik, Abschn. A 1.2.2) und der Distribution von Konsumgütern von der Industrie zum Handel (Konsumgüterdistribution, Abschn. A 1.2.3) betrachtet. Zur Zulieferlogistik gehören auch die Zwischenwerktransporte zwischen verschiedenen Werken eines Unternehmens. Akteure in Transportsystemen sind außer Industrie- und Handelsbetrieben als Ver-

sender und Empfänger auch logistische Dienstleister (LDL), sofern nicht ein Industrie- oder Handelsunternehmen die Transporte im Werkverkehr, d. h. mit eigenen Fahrzeugen für die eigene Ware durchführt. Die LDL können nicht nur die Transporte, sondern auch alle zugehörigen Umschlag-, Lager- und Informationsprozesse übernehmen. Logistiksysteme von LDL werden in Abschn. A 1.2.4 behandelt.

Eine wesentliche Determinante für die Struktur eines Transportsystems ist die Größenverteilung der zu transportierenden Sendungen. Während große Sendungen in vollen Transporteinheiten, z. B. Lkw-Zügen oder Bahn-Containern, direkt vom Versender zum Empfänger transportiert werden können, werden kleine Sendungen in einem *Transportnetz* gebündelt, wobei eine einzelne Sendung ein- oder mehrmals umgeschlagen wird. Letzteres gilt vor allem für die Konsumgüterdistribution, die im Mittel deutlich kleinere Sendungen zu transportieren hat als die Zulieferlogistik, aber evtl. auch für die JIT-Zulieferung von Material (Abschn. A 1.2.2). Eine besonders starke Bündelung erreicht ein LDL, der die Sendungen einer Vielzahl von Auftraggebern in seinem Netz zusammenfassen kann (Abschn. A 1.2.4).

Zweck der Bündelung von Transportströmen ist die Senkung der Transportkosten. Denn da die Kosten einer Fahrt auf einer bestimmten Strecke für ein bestimmtes Fahrzeug nur unwesentlich von der transportierten Menge abhängen, bringt eine hohe Auslastung der Ladekapazität erhebliche Kostenvorteile. Außerdem sinken die Kosten im Verhältnis zur Ladekapazität mit zunehmender Fahrzeuggröße. Allerdings steigen auch bei Bündelung vieler Sendungen zu gemeinsamem Transport, etwa durch einen LDL, die Kosten pro Mengeneinheit mit abnehmender Sendungsgröße. Denn im Vergleich zum Direkttransport können die gebündelten Sendungen Umwege zu unterschiedlichen Versand- und Empfangsorten, zusätzliche Standzeiten und Umschlag verursachen [Fle98: 65ff.].

Im Güterverkehr hat sich in den letzten 15 Jahren ein grundlegender Strukturwandel vollzogen, der sowohl durch politische als auch durch wirtschaftliche Entwicklungen bedingt ist. In Deutschland wurde im Zuge des EU-Binnenmarktes der Transportmarkt durch Freigabe der Tarife 1994 und der Kabotage (d. h. inländischer Transporte durch ausländische Transportunternehmen) und der Zulassungskontingente 1998 dereguliert. Seitens der Industrie haben verschiedene Faktoren zu einem starken Anwachsen des Transportbedarfs geführt, vor allem die Konzentration der Produktionsstätten, die abnehmende Fertigungstiefe und die Globalisierung der Lieferbeziehungen in Verbindung mit der Osterweiterung der EU. Gleichzeitig sind die Anforderungen an Schnelligkeit und

Flexibilität der Transportleistungen sowie der Kostendruck gestiegen. Das Outsourcing der Transportlogistik an LDL hat stark zugenommen; so ist von 1991 bis 2002 der Anteil des Werkverkehrs am Straßengüterverkehr von 37% auf 27% zurückgegangen [BMV03]. Kooperationen zwischen Industrie und LDL werden dabei durch neue Möglichkeiten der IK-Technologie, insbesondere EDI, begünstigt.

Der starke Zuwachs an Transportbedarf wird seit 20 Jahren fast ausschließlich durch den Straßengüterverkehr gedeckt, während die Güterverkehrsleistung durch Bahn und Binnenschifffahrt stagniert, was vor allem auf die höhere Flexibilität des Straßengüterverkehrs zurückzuführen ist. Als Folge sind die Auslastung der Straßen und die Belastung der Umwelt dramatisch angestiegen. Dieser Entwicklung versuchen einerseits verkehrspolitische Maßnahmen wie die Erhöhung der Mineralölsteuer und die Einführung der entfernungsbezogenen Autobahn-Maut, andererseits neuere Strukturkonzepte wie Güterverkehrszentren und City-Logistik (Abschn. A 1.2.5) entgegenzuwirken.

A 1.2.2 Zuliefernetze

Die laufende Versorgung eines Produktionsbetriebs mit dem benötigten Material ist eine komplexe Aufgabe, deren oberstes Ziel die rechtzeitige Bereitstellung zur Gewährleistung eines reibungslosen Produktionsablaufs ist. Im Maschinenbau kann die Anzahl der fremd bezogenen Teile in die Zehntausende gehen, die Anzahl der Lieferanten einige Tausend betragen. Während bei herkömmlicher Organisation der Lieferant aus seinem Warenausgangslager direkt in das Materiallager des Abnehmers liefert, sind in den letzten 20 Jahren eine Reihe neuer Konzepte entstanden, die zumindest eine Lagerebene einsparen oder sogar Bestände ganz vermeiden. Vorreiter in dieser Entwicklung war die Automobilindustrie, die auch das Prinzip des *Modular Sourcing* vorangetrieben hat, bei dem einzelne *Systemlieferanten* schon fertig montierte größere Module anliefern, z. B. Frontmodule, Sitze oder Kabelbäume. Dadurch wird die Anzahl der Teile und der Lieferanten reduziert.

Die unterschiedlichen Formen der Zulieferlogistik [Sch05: Kap. 5.4] bestehen für ein Werk meist nebeneinander für unterschiedliche Klassen von Material. Sie unterscheiden sich in den Transportkonzepten und in der Häufigkeit der Lieferung des gleichen Materials: *Zyklische Zulieferung* im Abstand von einigen Tagen oder Wochen erlaubt die Bildung größerer Transporteinheiten, erfordert aber Lagerung beim Abnehmer. Hier ist es die Aufgabe der Transportplanung (Abschn. A 3.3), die gegenläufigen Kos-

ten für Transport und Bestände durch eine optimale Liefergröße oder Zykluslänge zu beachten. Bei *tagesgenauer Zulieferung* braucht das Material beim Abnehmer nicht ein- und ausgelagert werden, sondern kann auf einem Umschlagplatz oder in der angelieferten Wechselbrücke kurzzeitig gepuffert werden. Bei *stundengenauer Zulieferung* (JIT-Zulieferung im engeren Sinn) wird das Material unmittelbar an den Verbrauchsort im Werk verbracht, in der Automobilindustrie schon sequenziert entsprechend der vorgesehenen Reihenfolge der Fahrzeugvarianten auf dem Montageband (*Just in sequence*, JIS)

Folgende Transportkonzepte sind zu unterscheiden:

- *Direkter Transport*. Ein direkter Transport vom Lieferanten zum Abnehmer kann auf Bestellung entweder vom Lieferanten durchgeführt werden oder durch Abholung durch den Abnehmer erfolgen. Je nach Umfang des Materialbedarfs eignet sich diese Form für zyklische oder tägliche Lieferungen, für stundengenaue Lieferungen nur bei kurzen Entfernungen, wie weiter unten erläutert. Eine besondere Form ist die Lieferung in ein *Konsignationslager* beim Abnehmer: Hier ist der Lieferant dafür verantwortlich, den Bestand innerhalb vereinbarter Ober- und Untergrenzen zu halten, kann aber Liefertermine und -mengen selbst bestimmen und braucht daher kein eigenes Ausgangslager. Der Abnehmer zieht das Material nach Bedarf aus dem Lager, erst dann geht es in sein Eigentum über. Dieses Konzept findet als *Vendor managed inventory* (VMI) zurzeit große Verbreitung [Gün04: 335].
- *Gebietsspediteur-Konzept*. Das in der Automobilindustrie verbreitete Konzept erlaubt Lieferungen auch von entfernten Lieferanten mit geringerem Volumen in kurzen Zyklen oder sogar täglich. Ein LDL sammelt die Lieferungen von allen Lieferanten in seinem Gebiet in Touren ein, bringt sie zu einem Umschlagpunkt (UP) und transportiert sie von dort gemeinsam in vollen Ladungen zum Werk des Abnehmers. Für diesen Ferntransport wird bei geeigneten Relationen auch die Bahn eingesetzt, wobei sogar ganze Züge für eine Relation zustande kommen können. Für Deutschland und angrenzende Regionen werden typischerweise 5 bis 10 LDL mit insgesamt 20 bis 30 UP eingesetzt, so dass der Radius für die Sammeltouren etwa 100 km beträgt. Falls die Sammeltouren täglich die gleichen Lieferanten anfahren, spricht man von *Milk Runs*.
- *Speditionslager*. Bei diesem Konzept betreibt ein LDL ein Lager in Werksnähe und ist für die stundengenaue JIT-Zulieferung auf Abruf des Abnehmers verantwortlich. Die Lieferanten liefern, ähnlich wie beim VMI-Konzept, in das Lager, halten den Bestand in vereinbarten Grenzen und bleiben bis zum Abruf Eigentümer der

Ware. Eine Realisierung dieses Konzepts ist das Lager der Firma Schenker für die BMW-Werke in München, Regensburg und Dingolfing.

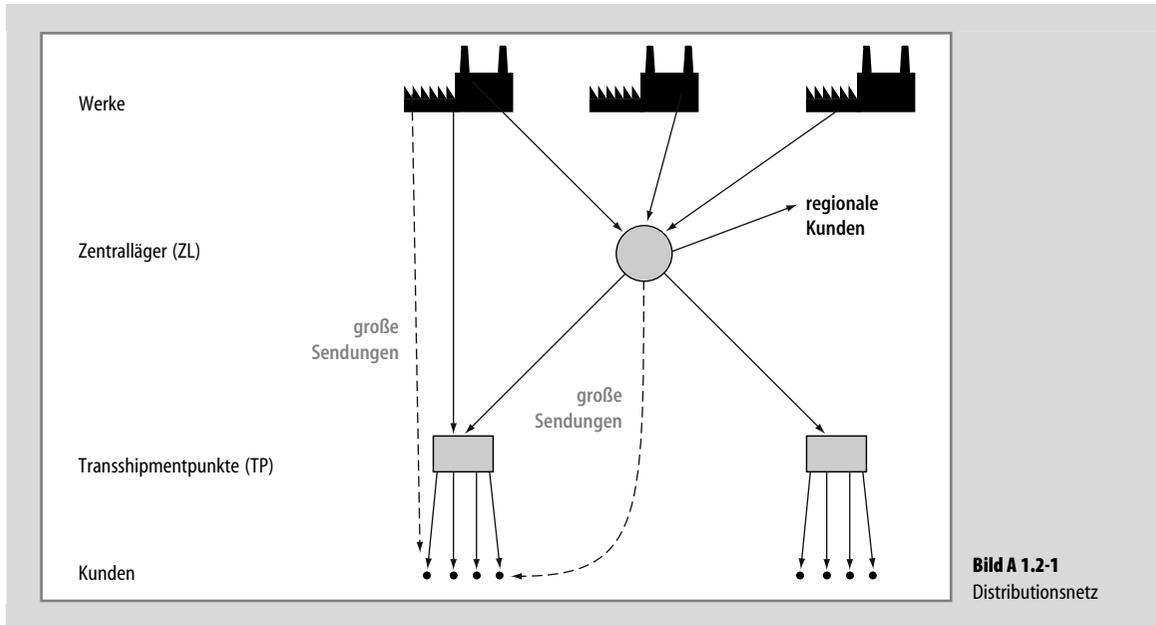
- *Ansiedlung von Lieferanten in Werksnähe*. Eine direkte JIT-Lieferung von der Produktion des Lieferanten zum Verbrauchsort beim Abnehmer ohne Zwischenlagerung ist nur über kurze Entfernungen möglich. Deshalb siedeln sich vor allem Systemlieferanten in Werksnähe an, zumindest für die Modul-Montage. Damit wird auch der aufwendige Transport von sperrigen Modulen über große Entfernungen vermieden. Ein besonderes Beispiel dafür ist das Güterverkehrszentrum von AUDI vor den Werkstoren in Ingolstadt, in dem AUDI Lager- und Montageflächen für Systemlieferanten bereitstellt.

Für das Funktionieren der genannten Transportkonzepte ist ein entsprechend gestaltetes Planungs-, Steuerungs- und IK-System wesentlich, das Abnehmer, Lieferant und LDL verbindet [Sch05: Kap. 5.4].

An der JIT-Zulieferung wird häufig kritisiert, dass sie negative ökologische Auswirkungen habe, insbesondere eine erhöhte Fahrleistung durch häufigere Transporte kleinerer Mengen und eine Bevorzugung der Straße. Dem ist entgegenzuhalten, dass die obigen Transportkonzepte gerade auf eine Bündelung der Transportströme und auf eine Verkürzung der Entfernungen für die JIT-Transporte abzielen. Außerdem wird bis zur tagesgenauen Zulieferung auch die Bahn eingesetzt.

A 1.2.3 Distributionsnetze

Das Distributionssystem eines Konsumgüterherstellers hat die Aufgabe, die in einem oder wenigen Werken hergestellten Produkte an eine große Zahl von Ablieferpunkten des Handels, in Deutschland je nach Branche 500 bis 5000, zu verteilen. Auch in der Distribution hat in den achtziger Jahren eine Entwicklung zur JIT-Belieferung des Handels stattgefunden, der häufige Lieferungen kleiner Mengen (Durchschnittsgröße je nach Branche 100 bis 1000 kg) in kurzen Lieferfristen (24 bis 72 Stunden) durchsetzen konnte. Die Konsumgüterindustrie liefert Fertigwaren überwiegend aus dem Bestand. Während früher eine dezentrale Bestandshaltung in vielen kundennahen Außenlagern üblich war, ging, ebenfalls seit den achtziger Jahren, der Trend hin zur Konzentration von Beständen in einem oder wenigen *Zentrallagern* (ZL) für ein Land oder ganz Europa, so dass kleinere Mengen über große Distanzen zu transportieren sind. Diese Entwicklung, obwohl in der Öffentlichkeit weniger registriert als die JIT-Zulieferung an die Automobilindustrie, hat zur Zunahme des Straßengüterverkehrs eher stärker beigetragen. Kraus (Kra97: 58ff.)



schätzt den Anteil der Konsumgüterdistribution an der Fahrleistung des gesamten Straßengüterverkehrs auf 44%.

Ein typisches Distributionsnetz eines Herstellers für die Deutschland-weite Verteilung von Konsumgütern enthält drei Transportstufen (Bild 1.2-1):

- Der Transport von den Werken zu den ZL (1 bis 5) dient der Konsolidierung unterschiedlicher Produkte aus den einzelnen Werken und zugelieferter Handelsware, so dass alle Produkte ab dem voll sortimentierten ZL gemeinsam distribuiert werden können. Diese Transporte erfolgen in der Regel in vollen Ladungen. Sofern der Hersteller nur ein Werk hat, entfällt diese Stufe; das Werkslager hat dann die Funktion des ZL.
- Durch den Transport vom ZL zum UP wird der Fernverkehr gebündelt. Am UP, der meist von einem LDL betrieben wird, wird die Ware von den ankommenden Fernverkehrsfahrzeugen unmittelbar auf kleinere Fahrzeuge für die Auslieferung umgeladen. Wegen des fehlenden Bestandes muss ein UP täglich angefahren werden, so dass bei etwa 10 bis 30 UP im Netz i. d. R. nicht jede der Relationen ein Fahrzeug voll auslastet, es sei denn, dass der LDL eine Bündelung mit Ware anderer Hersteller vornehmen kann.
- Die Feinverteilung erfolgt schließlich ab UP in einem Radius von etwa 100 km in Touren, in denen jeweils eine größere Anzahl von Kunden (bis zu 30) angefahren wird. Ein ZL hat zugleich eine UP-Funktion, d. h. die Kunden im Nahbereich werden von dort aus beliefert.

Neben dieser dreistufigen Distribution ist meist auch eine *Direktbelieferung* (DB) von Kunden ab ZL (vollsortimentiert) oder ab Werk (mit dem Werksortiment) von großer Bedeutung. Sie ist vorteilhaft für größere Sendungen, da dann in der dreistufigen Distribution die schwächeren Bündelungseffekte von den Nachteilen des mehrfachen Umschlags und der Umwege überkompensiert würden. In der Regel wird eine DB ab einer bestimmten Sendungsgröße (1 bis 2 t oder 3 bis 5 Paletten) durchgeführt. Auch die DB kann in Touren erfolgen, wobei aber die Anzahl der Kunden pro Tour (1 bis 5) wesentlich geringer ist als bei den Nahverkehrstouren. Die DB kann je nach Branche bis zu 90% der Tonnage ausmachen, der größere Anteil der Sendungen und der Kosten liegt jedoch in der Feinverteilung.

Die *optimalen Standorte* der ZL und UP lassen sich durch Methoden der Standortplanung (Abschn. A 3.1.1); [Fle98] bestimmen. Für die Lage der ZL lassen sich gewisse Grundmuster auch generell angeben: So ist z. B. bei mehreren Werken der optimale Standort für ein einziges ZL fast immer unmittelbar bei dem Werk mit dem größten Ausstoß. Denn bei anderer Lage, etwa in der geographischen Mitte, würde anstatt eines kleineren Teils der gesamte Warenstrom oder ein größerer Teil davon gebrochen und über einen Umweg geleitet. Auch im Fall mehrerer ZL liegen die optimalen Standorte fast immer bei den größten Werken.

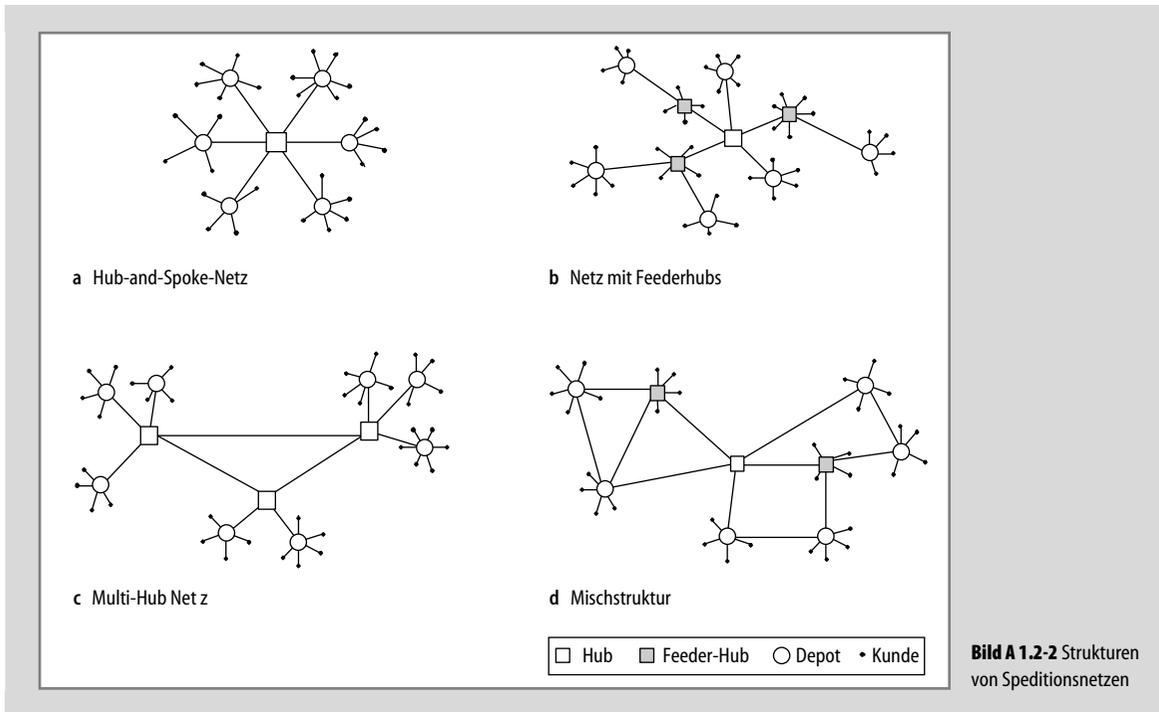
Die Variation der *Anzahl der Lager* hat verschiedene Auswirkungen: Mit sinkender Anzahl der Lager sinkt die mittlere Entfernung Werk–Lager geringfügig, die Entfernungen der ohnehin teureren Auslieferung Lager–Kunde steigen stärker, so dass die Transportkosten insgesamt steigen. Bei Bündelung über UP wachsen auch die über UP zu verteilenden Mengen und damit die Umschlagkosten. Gegenläufig verhalten sich die Kosten für die Bestände, da vor allem die erforderlichen Sicherheitsbestände sinken, und die Lagerfixkosten.

A 1.2.4 Speditionsnetze

In den zuvor betrachteten Distributions- und Zuliefernetzen haben LDL wesentliche Funktionen. Aus der Sicht eines LDL kommt man zu einer anderen Abgrenzung des Logistiksystems: Es umfasst alle Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse, die der LDL für alle seine Auftraggeber ausführt. Die Struktur eines solchen Systems hängt von der Größe der zu transportierenden Sendungen ab: *Komplettladungen* können direkt vom Versand- zum Empfangsort transportiert werden, wofür es eine große Zahl von regionalen Anbietern gibt. Das gleiche gilt für *Teilladungen* oberhalb von etwa 1 bis 3 t Gewicht, die zu Touren

zusammengefasst unabhängig von einem Netz transportiert werden können. *Stückgut* (etwa 30 kg bis 2 t) und *Pakete* (bis etwa 30 kg) müssen dagegen in einem Netz gebündelt werden, das eine große Zahl von potentiellen Versand- und Empfangsorten in beiden Richtungen miteinander verbindet. Flächendeckende Netze für Deutschland und teilweise für Europa wurden in den letzten 10 Jahren von einigen großen Speditionen und durch Verbünde regionaler Speditionen entwickelt (Kap. D2). Hierzu gehören auch die neueren Netze für Fracht und Briefe der Deutschen Post (Abschn. C 3.8).

Ein typisches nationales Netz mit 24-Stunden-Service für Stückgut oder Pakete weist folgende allgemeine Struktur und Prozesse auf [Wlc98: 27ff.]: Etwa 20 bis 40 *Depots* sind in jeweils einem fest abgegrenzten Gebiet für das Ausliefern der Sendungen zu den Empfängern und das Sammeln von den Versendern zuständig. Beides geschieht mit denselben Fahrzeugen, die in Touren am Vormittag ausliefern, anschließend bis zum Abend sammeln und die Ware zum Depot bringen. Der Ferntransport erfolgt über Nacht gebündelt zwischen den Depots. Jede Sendung, soweit sie nicht in der Region verbleibt, durchläuft somit eine dreigliedrige *Transportkette* mit *Vorlauf* (Einsammeln), *Hauptlauf* (Depot–Depot) und *Nachlauf* (Ausliefern).



Das Netz muss nun die Depots so verbinden, dass Transporte von jedem zu jedem Depot möglich sind. Dies ergibt bei n Depots $n(n-1)$, hier also etwa 1000 Relationen, von denen die meisten ein Fernfahrzeug bei weitem nicht auslasten. Eine besonders starke Bündelung wird durch ein *Hub-and-Spoke-Netz* (Bild 1.2-2a) erreicht, das jedes Depot speichenförmig mit einem *Hub* verbindet. Das ist ein zentraler UP, in dem die Ferntransporte synchronisiert ankommen, die Sendungen nach Zielregionen sortiert und umgeladen werden, so dass die Fahrzeuge zu ihren Ausgangsdepots zurückfahren können. Diese Struktur mit nur $2n$ Relationen kann durch Feeder-Hubs noch verdichtet werden (Bild 1.2-2b). Sofern in dieser Struktur einige Relationen mehr als ein Fahrzeug auslasten, kann eine Variante mit mehreren Hubs (Bild 1.2-2c) oder mit einzelnen direkten Depot-Depot-Relationen sinnvoll sein (Bild 1.2-2d).

Für einen 24-Stunden-Service in einem solchen Netz müssen die Hauptläufe als *Linienverkehre* nach einem festen Fahrplan ablaufen, der für die Synchronisation der einzelnen Fahrten am Hub und mit dem Sammel- und Verteilverkehr am Depot sorgt. Dabei sind die zeitlichen Toleranzen sehr gering und erlauben in der Regel höchstens einen vollen Umschlag pro Hauptlauf. Zusätzlich können evtl. schnellere Formen des Umschlags, der Tausch von ganzen Ladegefäßen (Container, Wechselbrücken) oder das Beiladen einzelner Sendungen, vorgesehen werden. In Stückgutssystemen werden meist auch Teilladungen transportiert, was die Flexibilität für die tägliche Disposition erhöht: Mittelgroße Sendungen können je nach Auslastung des Linienverkehrs wahlweise als Stückgut oder als Teilladung behandelt werden [Stu98]. Paketdienste haben dagegen eine homogenere Sendungsstruktur und arbeiten mit reinem Linienverkehr und einer hohen Automatisierung des Umschlags.

A 1.2.5 Kooperative Strukturen

Eine bestmögliche Bündelung der Gütertransporte liegt sowohl im Interesse der beteiligten Unternehmen wegen der damit verbundenen Kostensenkung, als auch im gesamtwirtschaftlichen Interesse wegen der verkehrsreduzierenden Wirkung. Besonders groß ist der Anreiz für Verbesserungen in der Feinverteilung ab UP bei der Konsumgüterdistribution (Abschn. A 1.2.3). Denn hier liegen die Empfänger, der Einzelhandel, überwiegend in Ballungsgebieten und erhalten Waren verschiedener Hersteller in vielen getrennten kleinen Sendungen. Dies ist einer der Gründe, warum zurzeit der Handel versucht, die Industrie aus der Kontrolle über die Distribution zu verdrängen [Bre99]. Besonders die großen Handelsfilialisten richten eigene ZL ein, von denen aus die Verteilung auf

die Filialen in eigener Regie erfolgt. Darüber hinaus streben sie nach vollständiger Übernahme der Distribution, beginnend mit der Selbstabholung bei den Herstellern. Letztere würde allerdings das Problem nur verlagern, da dann an der Rampe eines Herstellers viele getrennte Sendungen zu den verschiedenen Handelsunternehmen abzufertigen wären. Andere Bündelungsversuche sind Kooperationen von Herstellern [Fle99] sowie von LDL im Rahmen der *City-Logistik*. Gesamtwirtschaftlich am sinnvollsten ist ein einmal gebrochener Transportweg, bei dem die Transporte zunächst nach Herstellern gebündelt sind, dann umgeschlagen und nach Empfängern gebündelt werden. Diesen Umschlag kann am ehesten das ZL eines großen Handelsunternehmens oder ein *Güterverkehrszentrum* (GVZ) leisten.

City-Logistik

Die ursprüngliche Idee der City-Logistik ist die Kooperation von Speditionen bei der Belieferung von Empfängern in der Innenstadt (Wit95). Die Bündelung der Lieferungen führt durch höhere Auslastung der Fahrzeuge, Sendungsverdichtung und Tourenverdichtung zu einer Reduktion des Güterverkehrs in der Innenstadt. Weitere Ziele sind die Reduktion von Schadstoff- und Lärmbelastung und die Erhöhung der Attraktivität der Innenstadt. Die Zusammenführung der Lieferströme erfordert jedoch Querfrachten zwischen den kooperierenden Speditionen und Umschlagvorgänge, die die Kosten erhöhen. Ideal ist daher ein GVZ, in dem alle beteiligten Dienstleister angesiedelt sind.

Die City-Logistik war in den neunziger Jahren ein Schwerpunkt der Logistikforschung und -praxis in Deutschland. Das Land Nordrhein-Westfalen förderte 20 Modellprojekte, die aber fast alle nach Auslaufen der Förderung eingestellt wurden [NRW00]. Dagegen haben die Ziele der City-Logistik seitdem noch an Bedeutung gewonnen. Der *Deutsche Städtetag* (Deu03) hat in einem Leitfaden die Erfahrungen zusammengefasst und ermutigt zu neuen Versuchen. Auch international ist die City-Logistik ein aktuelles Thema und Gegenstand einer Reihe von EU-Projekten, die allerdings über den städtischen Lieferverkehr hinausgehen und z. B. Heimbeförderung, Personenverkehr und Straßenbenutzungsgebühren einschließen. Einen guten Überblick geben die Homepage des Projekts BESTUFS (Best Urban Freight Solution) [BES07] und der Sammelband [Tan06].

Güterverkehrszentren (GVZ)

Ein GVZ ist ein großer Umschlagpunkt in der Peripherie eines Ballungsgebietes, der mehrere Schnittstellenfunktio-

nen vereint, nämlich zwischen Fern- und Nahverkehr, zwischen verschiedenen Verkehrsträgern, zumindest Straße und Schiene, sowie zwischen Hersteller- und Empfänger-orientierter Bündelung. Es muss die für diese Umschlagaufgaben nötigen Anlagen sowie Flächen für die Ansiedlung von LDL und zugehörigen Servicebetrieben bieten. GVZ-fähige Güter sind vor allem Stückgut, Pakete und Kleingut, soweit sie nicht in bereits optimierten Systemen von großen Handelsunternehmen oder von Paketdiensten fließen.

GVZ werden zurzeit an einer Reihe von Standorten von Kommunen, Industrie, Handel und LDL gemeinsam geplant. Ziele sind neben der allgemeinen Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur die Entlastung des Stadtgebietes vom Schwerlastverkehr und die Reduktion des städtischen Güterverkehrs durch stärkere Bündelung. Eine ebenfalls erwartete Reduktion des Straßengüterfernverkehrs durch Verlagerung auf die Bahn und durch Bündelung kann erst in einem überregionalen Netz mehrerer GVZ zum Tragen kommen.

Eine Erweiterung des GVZ-Konzepts für sehr große Ballungsgebiete kann, wie es z. B. in Berlin der Fall ist, mehrere GVZ an verschiedenen Seiten der Peripherie umfassen, außerdem zusätzliche *City-Terminals*, das sind UP, über die der Verkehr zwischen GVZ und einzelnen Stadtteilen gebündelt wird [Fle98: 77ff.].

Literatur

- [BES07] www.bestufs.net/project.html vom 22.02.2007
- [BMV03] Bundesministerium für Verkehr (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 2003/2004. Hamburg: Deutscher Verkehrs-Verlag 2003
- [Bre99] Bretzke, W.-R.: Industrie- versus Handelslogistik: Der Kampf um die Systemführerschaft in der Konsumgüterdistribution. *Logistik Management* 2 (1999) 81–95
- [Dad03] Daduna J.R.: Distributionsstrukturen und Verkehrsabläufe im Handel unter dem Einfluss des Online-Shoppings. *Logistik Management* 5 (2003) 12–24
- [Deu03] Deutscher Städtetag (Hrsg.): Leitfaden City-Logistik. Berlin 2003
- [Fle98] Fleischmann, B.: Design of Freight Traffic Networks. In: Fleischmann, B.; van Nunen, J.A.E.E. et al. (Hrsg.): *Advances in Distribution Logistics*. Berlin: Springer 1998, S. 55–81
- [Fle99] Fleischmann, B.: Kooperation von Herstellern in der Konsumgüterdistribution. In: Engelhard, J.; Sinz, E. (Hrsg.): *Kooperation im Wettbewerb*. Wiesbaden: Gabler 1999, S. 169–186
- [Gün04] Günther, H.; Tempelmeier, H.: *Produktion und Logistik*. 6. Aufl. Berlin: Springer 2004

- [Kra97] Kraus, S.: *Distributionslogistik im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie*. Nürnberg: GVB, Schriftenreihe Band 35, 1997
- [NRW00] NRW, Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen: *Abschlussdokumentation, Modellvorhaben Stadtlogistik NRW 1995–2000*
- [Sch05] Schulte, C.: *Logistik*. 3. Aufl. München: Vahlen 2005
- [Stu98] Stumpf, P.: *Tourenplanung in speditionellen Güterverkehrsnetzen*. Nürnberg: GVB, Schriftenreihe Band 39, 1998
- [Tan06] Taniguchi, E.; Thompson, R.G. (eds.): *Recent Advances in City Logistics*. Amsterdam: Elsevier 2006
- [Wit95] Wittenbrink, P.: *Bündelungsstrategien der Speditionen im Bereich der City-Logistik*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 1995
- [Wlc98] Wlcek, H.: *Gestaltung der Güterverkehrsnetze von Sammelgutspeditionen*. Nürnberg: GVB, Schriftenreihe Band 37, 1998

A 1.3 Innerbetriebliche Logistiksysteme

A 1.3.1 Überblick

In den *Logistikketten* der Industrie und des Handels sind innerbetriebliche Logistiksysteme gemäß den in diesem Handbuch benutzten Begriffen (s. Abschn. A 1.1.2) als sog. „Mikrologistische Subsysteme“ enthalten. Ihre Aufgabe besteht darin, die Materialflüsse und Materialbereitstellungen in den innerbetrieblichen Logistikprozessen zu sichern. Entsprechend große Bedeutung haben die innerbetrieblichen Informations- und Kommunikationssysteme (s. Kap. C4).

Das Modell eines innerbetrieblichen Logistiksystems kann als *Netzwerk* (Bild A 1.3 1) dargestellt werden, dessen *Knoten* die elementaren materialflusstechnischen Funktionen wie das Be- und Entladen, Sammeln, Verteilen, Puffern oder Lagern symbolisieren. Häufig bilden die Knoten auch produktionstechnische Funktionen ab (s. Abschn. A 1.1.2.2). Die Verbindungslinien (*Kanten* bzw. *Pfeile*) zwischen den Knoten kennzeichnen innerbetriebliche Transportprozesse. Dazu geeignete technische Mittel (*Fördermittel*) werden passend zum *Fördergut*, den Materialfluss- und Umgebungsbedingungen nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten gewählt.

Die Konzepte und die technische Gestaltung der innerbetrieblichen Logistiksysteme für Produktionsbetriebe (z. B. Maschinenbau, Nahrungsmittelherstellung) sind je nach Branche sehr unterschiedlich; sie unterscheiden sich signi-

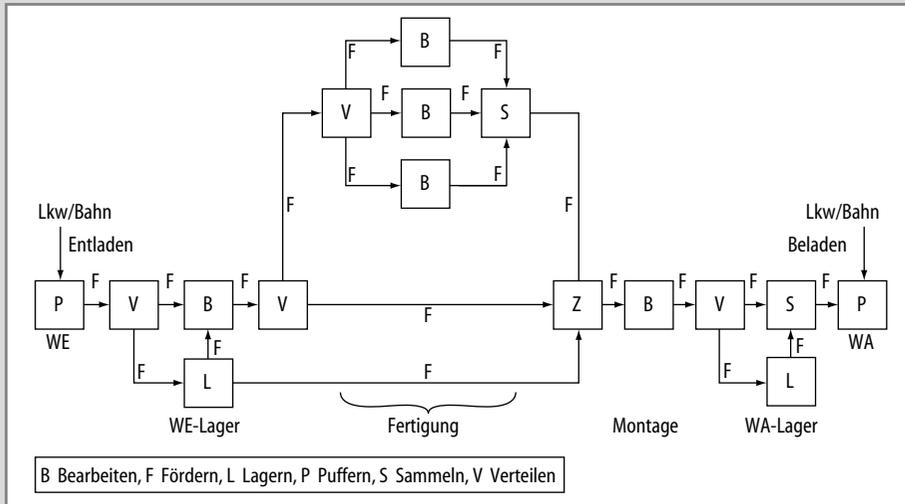


Bild A 1.3-1 Modell eines innerbetrieblichen Logistiksystems als Netzwerk mit materialfluss- und produktionsstechnischen Funktionen der Knoten und fördertechnischen Funktionen der Pfeile

fikant von denjenigen für Betriebe der Distribution (z. B. Güterverkehrszentren (GVZ), Frachtzentrum der Kurier-Express-Paket-(KEP-) Dienste oder Handelshaus). Die Unterschiede beziehen sich aber nicht allein auf den *physischen Materialfluss* und auf die *Materialbereitstellung*, sondern auch auf den *Datenfluss* und die Datenbereitstellung, also auf die Anforderungen an die spezifischen Informations- und Kommunikations-(IK-)techniken.

Während man in der Produktion das Lager völlig zu eliminieren sucht und bestenfalls „Synchronisationspuffer“ mit minimaler Kapazität akzeptiert, ist die Bedeutung des Lagers im Distributionszentrum unbestritten. Bei Betrachtung der gesamten Logistikkette führt die Diskussion um die Existenz des Lagers aber häufig nur zu einer Verschiebung an einen anderen Ort (z. B. weg von der Produktion) oder in eine andere Zuständigkeit (z. B. zu einem Logistikdienstleister).

Die wenigsten der z. Z. etablierten Logistiktrends dienen einer Optimierung der gesamten Logistikkette, die meisten zielen erkennbar nur auf einzelne Glieder. Dagegen wird die Verbreitung des *Supply-Chain-Management-(SCM-)* Ansatzes, der die vollständige Integration aller Partner einer Wertschöpfungskette und die Optimierung über alle Glieder propagiert, auch Konsequenzen für die innerbetrieblichen Logistiksysteme zur Folge haben. Die Optimierung der gesamten Logistikkette kann u. a. die Anpassung von Produktions-, Transport- und Lagermengen, die durchgehende Verwendung von Transporthilfsmitteln sowie einheitliche Identifikations- und Informationssysteme be-

wirken, was z. Z. wegen der verteilten Zuständigkeiten noch nicht im möglichen Umfang gefordert wird.

A 1.3.2 Aufgaben innerbetrieblicher Logistiksysteme

Primäre Aufgabe innerbetrieblicher Logistiksysteme in Produktion und Distribution ist die Versorgung und Entsorgung der Maschinen- und Handarbeitsplätze zwischen Wareneingang und Warenausgang. Dies ist zunächst eine fördertechnische Aufgabe, die mit den üblichen Fördermitteln (Kran, Flurförderzeug, Stetigförderer) gelöst wird (s. Abschn. C 2.1). Die Arbeitsweise – kontinuierlich, takt- oder chargenweise – an den Arbeitsplätzen in Verbindung mit den im Wareneingang ankommenden und den im Warenausgang bereitzustellenden Mengen führt zum Auf- und Abbau innerbetrieblicher Bestände mit anlagentypischer Größe und Zeitcharakteristik. Aufgabe der innerbetrieblichen Logistiksysteme ist es, diese Bestände aufzunehmen, zu verwalten und den Zugriff in der gewünschten Zeit sicherzustellen. Speicher, Puffer und Lager lösen diese Aufgabe nach verschiedenen Konzepten (s. Abschn. C 2.2).

Die Größe, die örtliche Verteilung und der Zeitverlauf der Bestände sind im operativen innerbetrieblichen Logistikprozess einerseits vorgegebene Werte, auf die in der Systemauslegung Bezug zu nehmen ist, andererseits können diese Werte aber häufig auf Basis einer neuen Strategie der Logistik gravierend verändert werden. Ansatzpunkte sind z. B. Änderungen der Losgrößen (Produktionslogistik),

Änderung der Auftragsabwicklung (Distributionslogistik) oder Änderung der Zulieferbedingungen (Beschaffungslogistik). Damit nehmen auch externe Veränderungen Einfluss auf die internen Vorgaben innerbetrieblicher Logistiksysteme. Die Schnittstellen zwischen den einzelnen Gliedern der unternehmensübergreifenden Logistikketten verlieren immer mehr den trennenden Charakter der Unternehmensgrenze. In der Produktion ist das eine Folge der stark zurückgegangenen Fertigungstiefe des einzelnen Unternehmens. In der Distribution liegt eine der wesentlichen Ursachen in der immer stärkeren Wechselwirkung mit den verschärften Bedingungen der Transportlogistik in Verkehrssystemen (s. Kap. C 3).

Zu den Standardaufgaben der innerbetrieblichen Logistik zählen die *Sortier- und Kommissionierprozesse* (s. Abschnitte C 2.3 u. C 2.4). Allerdings sind die dazu benötigten kostenintensiven Anlagen nur bei hohem Durchsatz und/oder langer Einsatzzeit wirtschaftlich. Die gestiegene Variantenvielfalt bei geringer Fertigungstiefe hat die Notwendigkeit des Sortierens und Kommissionierens verstärkt. Dies gilt im Prinzip ebenso bei zurückgehenden Bestellungen und höherer Bestellfrequenz (z. B. ausgelöst durch E-Commerce). Fraglich ist jedoch, ob die Wirtschaftlichkeit der Anlagen dann noch gegeben ist. Wahrscheinlich werden auf diesem Gebiet der innerbetrieblichen Logistik neue technische Lösungen entstehen.

Die z. Z. erkennbaren Trends wirken sich natürlich nicht in allen Bereichen der Industrie und des Handels gleichartig und mit gleicher Geschwindigkeit aus. So wird es noch lange Zeit im Investitionsgüterbereich (z. B. Anlagenbau) innerbetriebliche Logistiksysteme der „konservativen“ Art geben. Dagegen verlangen die hochflexiblen Bereiche der Konsumgüter in Produktion und Handel erkennbar nach neuartigen innerbetrieblichen Logistiksystemen. Deren wesentliche Merkmale sind z. B. höhere Flexibilität bei Produkt- und Produktionsänderungen, stärkere Einbindung in Informationssysteme und niedrigere Fixkosten.

A 1.3.3 Strukturen innerbetrieblicher Logistiksysteme

Zwischen den Strukturen der Logistiksysteme für Betriebe der Produktion und der Distribution gibt es prinzipielle Unterschiede:

A 1.3.3.1 Produktion

In der Regel stehen viele Betriebsmittel verschiedener Technologien (Bearbeiten, Handhaben, Speichern, Fördern, Lagern, Sortieren, Kommissionieren, Verpacken, Etikettieren usw.) im innerbetrieblichen Material-

flussnetzwerk miteinander in Verbindung. Die Quellen-Senken-Beziehungen, die Materialflussstärken und die möglichen Wege werden in Matrizen erfasst (s. Kap. A 2). Produkt und Produktionstechnik geben typische Grade der Vernetzung vor. Angestrebt werden stets *kurze Durchlaufzeiten* und somit *minimale WIP* (s. Abschn. A 1.1.2.3). Das Erreichen dieses Zieles setzt u. a. Modellbetrachtungen als Bediensystemnetzwerke (s. Abschn. A 2.4) voraus. Mit dem Grad der Vernetzung nimmt meist die stochastische Variabilität der Materialflussstärken zu. Dies führt mit zunehmender Auslastung des Systems zu vorhersehbaren Warteprozessen, für die geeignete Pufferplätze einzuplanen sind.

Ein hoher Grad der Vernetzung verlangt die technische Beherrschung vieler Sammel- und Verteilelemente in den Materialflusssystemen. Dabei ist besonders der Verbrauch an Durchlaufzeit in den Sammelementen in Abhängigkeit von der operativen Art der Zusammenführung zu beachten. Stark vernetzte Systeme umfassen üblicherweise verschiedene Fördermittel und Ladungsträger zur Erzeugung des Materialflusses (s. Abschn. C 2.1). Beispielsweise werden Rohteile auf Paletten im Wareneingang angeliefert, mittels Gabelstaplers in den Fertigungsbereich gebracht, dort einzeln auf Stetigförderer verschiedener Art zwischen den Betriebsmitteln transportiert, um schließlich im Montagebereich als Bauteil einer Maschine in ein völlig anders gestaltetes Materialflusssystem mit anderen Fördermitteln und Ladungsträgern überzuwechseln.

Die Gestaltung der Fördermittel und der Ladungsträger für innerbetriebliche Logistiksysteme orientiert sich im Wesentlichen am Produkt und erst dann an den Standards der Förder- und Lagertechnik. An den Schnittstellen zum außerbetrieblichen Transport sollten allerdings die Maß- und Gewichtsstandards der Transportlogistik (Paletten, Boxen, Container, Laderäume usw.) streng beachtet werden, um Kompatibilität innerhalb der gesamten Logistikkette sicherzustellen (s. Abschn. C 2.5).

A 1.3.3.2 Distribution

Im Allgemeinen ist hier der Vernetzungsgrad des Materialflusses wesentlich geringer als in der Produktion. Sehr oft werden im Warenein- und -ausgang die gleichen Ladungsträger benutzt, die auch in den Lagerbereichen verwendet werden. Der logistische Prozess in einem Distributionssystem umfasst typischerweise die Stufen Warenannahme, Sortierung, Lagerung, Kommissionierung, Bereitstellung zur Auslieferung in einer seriellen Anordnung der Prozessstufen. Die Betriebsmitteltechnologien betreffen das Fördern, Lagern, Sortieren, Kommissionieren, Verpacken, Etikettieren und evtl. das Handhaben.

Im Gegensatz zur Produktion sind die Bestände in einem klassischen Distributionszentrum, dessen logistische Funktion den *Umschlag* und die *Speicherung* von Gütern umfasst, in optimierter Größe geplant, wobei der Lagerbereich den größten Raum einnimmt. Betrifft die logistische Funktion eines Distributionszentrums dagegen nur den *Güterumschlag* wie in den Logistikprozessen der KEP-Dienste (s. Abschn. C 3.8), so gibt es keine Lagereinrichtungen, sondern nur Einrichtungen zum Sortieren und Kommissionieren. In diesem Fall ist der Materialfluss noch klarer seriell strukturiert und typisiert.

A 1.3.3.3 Informationsfluss

Ähnlich signifikante Strukturunterschiede, wie sie vorstehend für die Materialflussbeziehungen in der Produktion und Distribution beschrieben wurden, gibt es auch für den Informationsfluss (s. Kap. C 4). In der Produktion sind unternehmensspezifische IK-Systeme noch immer am häufigsten und logisch erklärbar aus den gewachsenen Hard- und Softwarelösungen für die speziellen Datensätze des Unternehmens. Das erschwert natürlich den Aufbau von schnell reagierenden unternehmensübergreifenden Logistikketten. Diese Forderung ist in der Distribution schon in größerem Umfang erreicht. Zu dem standardisierten Ladungsträger haben sich hier schon weitgehend der standardisierte Datenträger und Datensatz gesellt (s. Abschn. C 4.6).

A 1.4 Supply Chain Management

A 1.4.1 Überblick

Auf der einen Seite schafft eine weltweit zunehmende Verflechtung der Leistungserstellung neue Komplexität in der Herstellung von Produkten und Dienstleistungen. Auf der anderen Seite erhöhen steigende Kundenansprüche an Qualität und Kosten den Druck auf Hersteller und Händler. Aus diesem Zusammenspiel heraus entstand der Begriff des *Supply Chain Managements (SCM)*. Supply Chain Management bezeichnet die Koordination von Aktivitäten entlang der Wertschöpfungskette – von der Produktentwicklung des Lieferanten bis zum Beziehungsmanagement des Händlers. Der Begriff des Supply Chain Managements entstand in den 1980er Jahren in den USA. Er umfasst ein breites Spektrum an Ansätzen und Erkenntnissen. Nicht immer müssen diese jedoch die gesamte Wertschöpfungskette umfassen. Viele Ansätze des Supply Chain Managements richten sich nur auf einen ausgewählten Teil dieser Kette. Die einzelnen Ansätze können daher anhand ihrer Reichweite einer von drei Kategorien des Supply Chain Managements zugeordnet werden (vgl. Bild A 1.4-1):

- (a) dem funktionsinternen SCM,
- (b) dem unternehmensweiten SCM oder
- (c) dem unternehmensübergreifenden SCM.

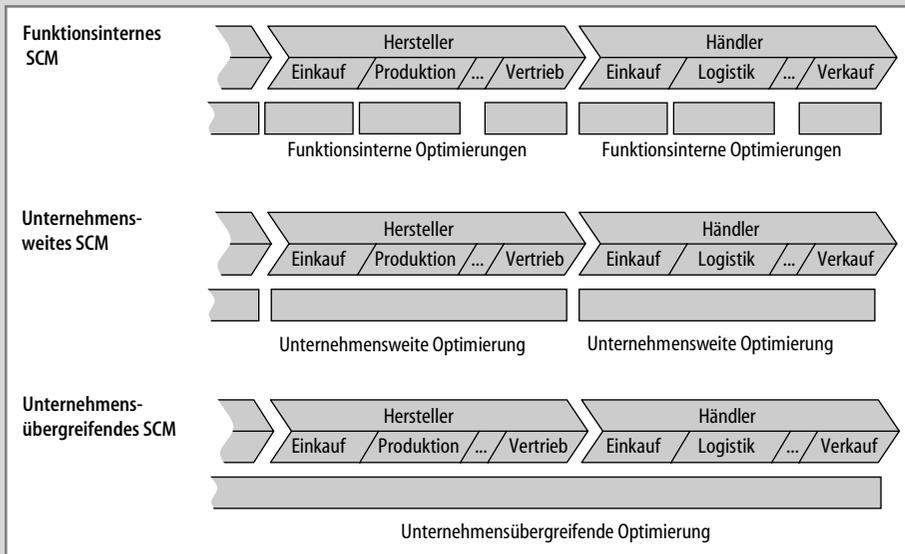


Bild A 1.4-1 Die drei Kategorien des Supply Chain Managements

Zum *funktionsinternen SCM* gehören Ansätze, die innerhalb einer Unternehmensfunktion stattfinden. Beispiele für solche Ansätze sind Verbesserungsmaßnahmen innerhalb des Produktionsbereichs oder Methoden der Nachfrageprognose im Vertriebsbereich. Da Ansätze dieser Kategorie an vielen anderen Stellen in diesem Buch aufgegriffen werden, wird in diesem Kapitel nicht weiter auf das funktionsinterne SCM eingegangen.

In der zweiten Kategorie, dem *unternehmensweiten SCM*, steht die Koordination innerhalb eines Unternehmens über mehrere Funktionen hinweg im Vordergrund. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn Marketing und Entwicklung gemeinsam an der Produktentwicklung beteiligt sind, um neue Produkte von Anfang an so zu entwickeln, dass eine für die gesamte Unternehmung optimale Lösung gefunden wird. In vielen Fällen hat das unternehmensweite SCM den Zweck, Ineffizienzen durch Zielkonflikte zwischen Bereichen zu beseitigen und die Leistungserstellung auf ein aus gesamter Unternehmenssicht optimales Ergebnis auszurichten. Auf das unternehmensweite SCM wird in Abschn. A 1.4.2 eingegangen. Dort werden die Ansätze der organisatorischen Ausrichtung am Wertschöpfungsprozess, der späten Variantenbildung und der Gleichteilerverwendung vorgestellt.

Die dritte Kategorie des Supply Chain Managements ist das *unternehmensübergreifende SCM*. Hier steht die Koordination zwischen mehreren Unternehmen im Vordergrund. Viele Ansätze beschäftigen sich mit der Koordination zwischen Hersteller und Händler. Ein Beispiel für eine solche Koordination ist das Supply Chain Contracting. Hier werden die Vertragskonditionen zwischen Hersteller und Händler so entworfen, dass der gemeinsame Gewinn maximiert wird. Neben der Koordination von Hersteller und Händler gibt es auch Ansätze, die sich auf mehr als zwei Partner der Wertschöpfungskette konzentrieren. Ein Beispiel ist das Supply Chain Engineering, in dem für ein Produkt die gesamte Lieferkette vom Rohstofflieferanten bis zum Endabnehmer betrachtet wird, um Engpässen frühzeitig entgegensteuern zu können. Auf das unternehmensübergreifende SCM wird in Abschn. A 1.4.3 eingegangen und in diesem Zusammenhang das Supply Chain Contracting, der Bullwhip-Effekt und das Supply Chain Engineering vorgestellt.

Viele Ansätze des Supply Chain Managements lassen sich mit Hilfe einfacher Modelle gut erklären. Das Modell, das dabei am häufigsten verwendet wird, ist das Newsvendor-Modell. Dieses Modell wägt die Kosten zu hoher Bestände auf der einen Seite und Umsatzverluste durch zu geringe Bestände auf der anderen Seite ab. Es wird im Folgenden kurz erläutert, da es als Erklärungsbasis für viele andere Modelle in diesem Kapitel herangezogen wird.

Das *Newsvendor-Modell* stammt aus dem Bereich des Bestandsmanagements und ist ein einperiodisches Modell unter unsicherer Nachfrage. Zu Beginn einer Periode muss der Händler über die Bestellmenge entscheiden. Die bestellte Menge erhält er umgehend. Anschließend verkauft er das Produkt. Am Ende der Periode steht der Händler vor einer von zwei Situationen: Entweder war die Bestellmenge größer als die Nachfrage oder die Bestellmenge war kleiner oder gleich der Nachfrage. Im ersten Fall kann er die verbleibenden Einheiten nur noch zu einem geringen Verwertungspreis verkaufen. Im zweiten Fall sind ihm eventuell Kunden entgangen, die gerne etwas gekauft hätten, aber kein Produkt mehr erhalten haben.

Im Fall des Überbestands muss der Händler jede nicht verkaufte Einheit zum Verwertungspreis absetzen, wodurch ihm *Überbestandskosten* von c_o je Einheit Überbestand entstehen. Die Überbestandskosten setzen sich aus der Differenz von Beschaffungspreis p und Verwertungspreis v zusammen ($c_o = p - v$). Im Fall des Unterbestands entgeht dem Händler bei jeder nicht erfüllten Nachfrage die Gewinnmarge c_u je Einheit Unterbestand. Diese so genannten *Unterbestandskosten* entsprechen der Differenz aus Verkaufspreis r und Beschaffungspreis p ($c_u = r - p$).

Die Gewinnfunktion $G(S,D)$ des Händlers in Abhängigkeit von der Bestellmenge S und der Nachfragemenge D sieht daher wie folgt aus:

$$G(S,D) = (r-p)D - c_u[D-S]^+ - c_o[S-D]^+ \quad (\text{A 1.4-1})$$

Die Nachfrage D ist zum Zeitpunkt der Bestellung nicht bekannt. Der Händler kann lediglich die Wahrscheinlichkeitsverteilung mithilfe einer Nachfrageprognose schätzen. Wurde die Verteilungsfunktion der Nachfrage $F(D)$ geschätzt, kann der Erwartungswert der Nachfrage maximiert werden. Die optimale Bestellmenge S^* ist gegeben durch

$$S^* = F^{-1}\left(\frac{c_u}{c_u + c_o}\right) \quad (\text{A 1.4-2})$$

Das Verhältnis

$$CR = \frac{c_u}{c_u + c_o} \quad (\text{A 1.4-3})$$

wird als das *kritische Verhältnis* bezeichnet, da es das optimale Verhältnis zwischen Unter- und Überbestandskosten angibt.

In vielen Fällen wird eine Normalverteilung mit dem Mittelwert μ und der Standardabweichung σ für die Nachfrage unterstellt, da sie häufig die tatsächliche Nachfrage

gut wiedergibt und außerdem leicht zu handhaben ist. Im Fall einer normalverteilten Nachfrage vereinfacht sich die Formel für die optimale Bestellmenge. Durch Skalierung zu einer Standardnormalverteilung (mit dem Mittelwert $\mu=0$, der Standardabweichung $\sigma=1$ und der Verteilungsfunktion $F_{01}(x)$) ergibt sich

$$S^* = \mu + z_{CR}\sigma \quad (\text{A 1.4-4})$$

$$\text{wobei } z_{CR} = F_{01}^{-1}\left(\frac{c_u}{c_u + c_o}\right).$$

Der Wert z_{CR} hängt nur von den Kostensätzen ab und ist unabhängig von der prognostizierten Nachfrage. Der erwartete Gewinn bei normalverteilter Nachfrage und optimaler Bestellmenge ist gegeben durch

$$G(S^*) = (r - p)\mu - (c_u + c_o)f_{01}(z_{CR})\sigma. \quad (\text{A 1.4-5})$$

Die Anwendung des Newsvendor-Modells wird im Folgenden anhand eines Beispiels kurz erläutert:

Ein Textilhändler muss Winterjacken (eines Typs) für die Wintersaison kaufen. Nachbestellungen während der Wintersaison sind aufgrund der langen Beschaffungszeiten nicht möglich. Der Händler schätzt die Nachfrage nach den Jacken anhand von Vergangenheitswerten. Alle nicht verkauften Jacken müssen am Ende der Saison im Schlussverkauf zum Verwertungspreis abgesetzt werden. In unserem Beispiel betragen die Werte der Nachfrageprognose $\mu=245$ Stück und $\sigma=39$ Stück, der Verkaufspreis $r=\text{€}69,99$, der Beschaffungspreis $p=\text{€}35$ und der Verwertungspreis $v=\text{€}15$. Das kritische Verhältnis ist in diesem Beispiel

$$CR = \frac{c_u}{c_u + c_o} = \frac{r - p}{r - v} = \frac{34,99}{54,99} = 0,6363 \quad (\text{A 1.4-6})$$

und der entsprechende Wert $z_{CR}=0,3486$ (der z -Wert kann aus der Tabelle einer Standardnormalverteilung abgelesen werden). Die optimale Bestellmenge beträgt daher

$$S^* = 245 + 0,3486 \cdot 39 \approx 259 \text{ Stück.} \quad (\text{A 1.4-7})$$

Daraus ergibt sich ein erwarteter Gewinn von

$$G(S^*) = (r - p)\mu - (c_u + c_o)f_{01}(z_{CR})\sigma \approx \text{€}7767 \quad (\text{A 1.4-8})$$

für die Winterjacken in dieser Saison.

A 1.4.2 Unternehmensweites Supply Chain Management

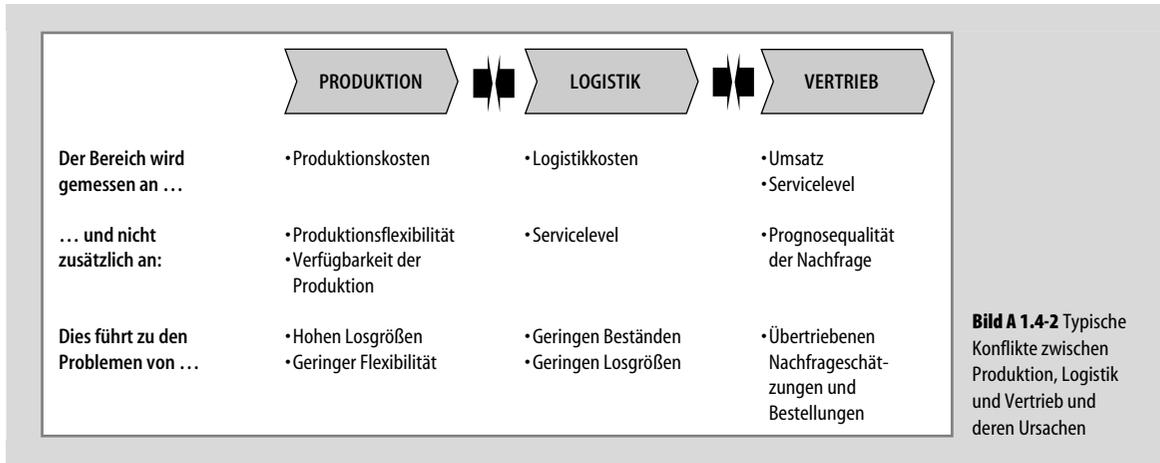
Das unternehmensweite Supply Chain Management findet innerhalb eines Unternehmens statt. Seine Aufgabe ist die

Koordination von Aktivitäten mehrerer Funktionalbereiche eines Unternehmens. Funktionalbereiche sind z. B. Produktion, Vertrieb und Forschung und Entwicklung (FuE). Die Funktionalbereiche versuchen, ihre Aktivitäten aus ihrer Sicht optimal zu gestalten. Wenn die einzelnen Bereiche jedoch unterschiedliche Zielsetzungen haben, muss nicht zwangsläufig eine optimale Situation für die gesamte Unternehmung entstehen. Das Ziel des unternehmensweiten SCM ist eine Verbesserung der Wertschöpfung aus Sicht der gesamten Unternehmung.

Die Voraussetzung für eine koordinierte Wertschöpfung in einem Unternehmen ist die Ausrichtung der Ziele, Anreize und Aufgaben der beteiligten Funktionen am gemeinsamen Wertschöpfungsprozess. Auf diesen Aspekt wird in Abschn. A 1.4.2.1 eingegangen. Wenn die Aktivitäten am Wertschöpfungsprozess ausgerichtet sind, kann es trotzdem zu Ineffizienzen im Prozess kommen. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn die Anzahl der herzustellenden Produktvarianten groß ist und dadurch der Herstellungsprozess komplex wird. Eine Möglichkeit, diese Ineffizienzen zu reduzieren, ist die späte Variantenbildung. Die späte Variantenbildung wird in Abschn. A 1.4.2.2 beschrieben. Weiterhin kann Komplexität vorgebeugt werden, indem Gleichteile in den Produktvarianten verwendet werden. Ein Ansatz zur Optimierung des Anteils an Gleichteilen in Produktvarianten wird in Abschn. A 1.4.2.3 vorgestellt.

A 1.4.2.1 Organisatorische Ausrichtung am Wertschöpfungsprozess

In der traditionellen funktionalen Organisationstheorie ist ein Unternehmen entsprechend seinen Funktionen unterteilt. Jeder Funktionalbereich wird dabei von einem Bereichsleiter geführt. Für den Funktionalbereich werden Kennzahlen festgelegt, anhand derer die Leistung des Bereichs gemessen werden kann. Das Problem dieser Vorgehensweise soll an einem kurzen Beispiel verdeutlicht werden. Angenommen ein typisches Industrieunternehmen bewertet die Produktion anhand der Produktionskosten, die Logistik anhand der Logistikkosten und den Vertrieb mit Hilfe des Servicelevels anhand der Warenverfügbarkeit. In diesem Unternehmen kommt es häufig zu Konflikten zwischen Produktion, Logistik und Vertrieb. Dem Vertriebsleiter wird vorgeworfen, zu niedrige Servicelevel anzubieten. Der Vertriebsleiter argumentiert damit, dass die Logistik zu niedrige Bestände vorhält. Der Logistikleiter wiederum wirft seinem Kollegen vom Vertrieb falsche Absatzplanungen vor. Die Produktion möchte die Losgrößen erhöhen, um Produktionskosten zu senken. Der Logistikleiter ist verärgert, weil dadurch die Bestandskosten in seinem Bereich steigen.



An diesem Beispiel lassen sich die Schwachstellen in der Zielausrichtung gut erklären. Der Vertrieb wird über den Servicelevel bewertet. Der Servicelevel ergibt sich einerseits aus einer möglichst genauen Nachfrageprognose und andererseits aus dem Bestandsmanagement der Logistik. Damit wird die Leistung des Vertriebs an einer Kennzahl gemessen, die der Vertrieb nur zum Teil selbst beeinflussen kann. Die Logistik dagegen wird anhand der Logistikkosten bewertet. Sie ist damit nur für einen Teil der Konsequenzen ihrer Entscheidungen verantwortlich. Senkt sie die Bestände, ist das zwar gut für die Logistikkosten, allerdings schlecht für den Servicelevel.

Ähnlich sieht es zwischen Produktion und Logistik aus. Die Produktion möchte hohe Losgrößen produzieren. Dadurch verursacht sie in der Logistik hohe Bestände, für die sie jedoch nicht verantwortlich ist. Die einzelnen Konflikte und ihre Ursachen sind in Bild A 1.4-2 schematisch dargestellt.

Das Problem in diesem Beispielunternehmen liegt in der schlechten Ausrichtung der Aufgaben, Ziele und Verantwortlichkeiten. Diese sollten am gesamten Leistungserstellungsprozess orientiert und einheitlich ausgerichtet sein [THO03]. Die zugewiesenen Verantwortlichkeiten sollten den Aufgaben der Beteiligten entsprechen. Und die übertragenen Aufgaben müssen die Erreichung der vereinbarten Ziele ermöglichen. Dabei sind zwei Bedingungen relevant:

1. Jeder Funktionalbereich darf nur für die Ziele verantwortlich sein, die er im Rahmen seiner Aufgaben direkt beeinflussen kann.
2. Jeder Funktionalbereich muss Verantwortung für alle seine Aufgaben tragen.

Die Ausrichtung der Organisation am Wertschöpfungsprozess ist häufig der erste Schritt zu einer ganzheitlichen

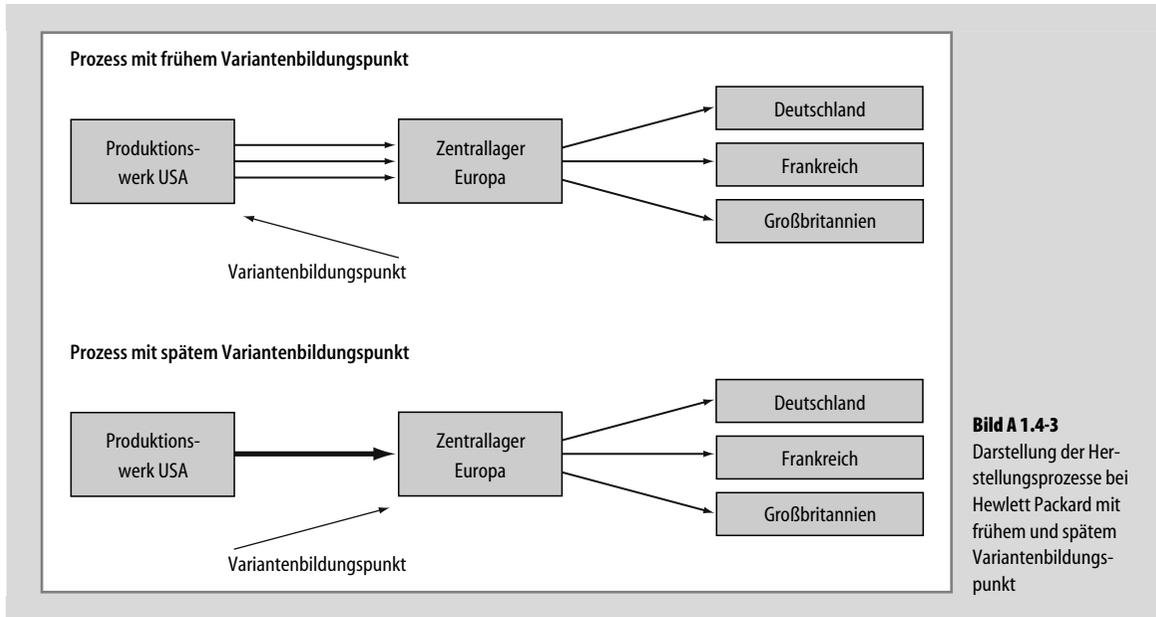
Verbesserung des Unternehmens. Im Folgenden werden zwei weiterführende Ansätze des unternehmensweiten SCM vorgestellt.

A 1.4.2.2 Späte Variantenbildung

Zunehmende Erwartungen von Kundenseite an individuelle Produkte bringen viele Unternehmen dazu, die Variantenzahl ihrer Produkte zu erhöhen. Das steigert auf der einen Seite den Umsatz und die Kundenzufriedenheit. Auf der anderen Seite sind jedoch höhere Sicherheitsbestände an unfertigen und fertigen Erzeugnissen im Leistungserstellungsprozess notwendig, da der Bedarf nach den einzelnen Varianten schlechter vorhergesagt werden kann.

Hewlett Packard stand in den 1990er Jahren mit der Produktion und der Logistik von Druckern vor dem Problem einer großen Variantenzahl [SIM00]. Die Tintenstrahldrucker von Hewlett Packard waren von den technischen Eigenschaften her identisch, unterschieden sich jedoch in der länderspezifischen Ausfertigung. Je nach Verkaufsland mussten die Bedienungsanleitung, die Displaybeschriftung, der Netzteiladapter und andere Spezifika angepasst werden. Dies wurde traditionell im Produktionswerk in den USA durchgeführt. Die fertigen Produktvarianten wurden an die Zentrallager in den USA, Europa und Asien geschickt und dort bis zum Verkauf gelagert. Während die Herstellzeit mit circa einer Woche relativ gering war, nahm der Überseetransport per Schiff ca. vier Wochen in Anspruch.

Die Nachfrageprognose nach Druckern in den USA verlief aufgrund der Marktgröße unproblematisch. Auch war die Anlieferzeit durch die Nähe zum Produktionswerk vergleichsweise gering und damit nur ein niedriger Sicher-



heitsbestand im Zentrallager notwendig. In Europa und Asien war das anders. Da jedes Land ein eigenes, angepasstes Druckermodell benötigte, konnten die Bedarfe nach den einzelnen Varianten nur ungenau vorhergesagt werden. Durch die mehrwöchige Transportzeit waren zusätzlich hohe Sicherheitsbestände notwendig und trotz hoher Bestände hatten die Zentrallager in Europa und Asien nur geringe Servicelevel.

Das Problem bei Hewlett Packard entstand vor allem durch die hohe Variantenzahl und den damit verbundenen logistischen Problemen. Die Produktion der Drucker war für alle Varianten identisch. Die Bildung der einzelnen Varianten fand zwischen der Produktion und dem Transport statt. Aufgrund der langen Transportzeit wurde die Variantenbildung innerhalb der ersten 20% der Lieferzeit durchgeführt. Das Unternehmen stellte nach einiger Zeit den Produktionsprozess so um, dass die lokale Anpassung der Produkte erst später in den Zentrallagern erfolgte. Dadurch wurde die Bildung der Varianten an das Ende des Leistungserstellungsprozesses verlagert. Das Produktionswerk schickt identische, noch nicht angepasste Drucker nach Europa und Asien. Dort werden erst zu einem späteren Zeitpunkt, wenn gute Nachfrageinformationen für jedes Land verfügbar sind, die Drucker an die Bedürfnisse des jeweiligen Landes angepasst. Die Änderung im Leistungserstellungsprozess ist in Bild A 1.4-3 dargestellt.

Eine Verlagerung der Variantenbildung auf einen späteren Zeitpunkt in der Leistungserstellung wird als *späte Va-*

riantenbildung oder *Postponement* bezeichnet. Das Ziel dieses Ansatzes ist es, die Sicherheitsbestände im Wertschöpfungsprozess zu reduzieren. Voraussetzung ist, dass die Herstellung zunächst für alle Varianten gleich ist und die unterschiedliche Behandlung der Varianten erst ab einem bestimmten Schritt im Produktionsprozess beginnt. Dieser Punkt wird als *Variantenbildungspunkt* oder *freeze point* bezeichnet. Die zusätzlichen Sicherheitsbestände sind erst ab diesem Schritt notwendig, denn in allen vorhergehenden Schritten werden alle Varianten gleich behandelt. Je später somit der freeze point liegt, desto weniger Sicherheitsbestände fallen an. Bei der späten Variantenbildung wird versucht, durch neues Produktdesign oder Umstellung der Prozessschritte den freeze point weiter nach hinten zu verlagern.

Den Einsparungen im Bestand sind die Mehrkosten für das neue Produktdesign oder die Umstellung der Prozessschritte gegenüberzustellen. Die Höhe der Einsparung in den Beständen kann mit Hilfe des Newsvendor-Modells bestimmt werden. Im Fall von Hewlett Packard wurden in Europa sechs Produktvarianten voneinander unterschieden. Das Unternehmen wollte einen Servicelevel von 98% erreichen. Daraus ergibt sich ein Wert von $z_{98\%} = 2,0537$. Die benötigten Bestände ergeben sich weiterhin aus $S^* = \mu + z_{98\%} \cdot \sigma$. Die Nachfrage war annähernd normalverteilt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Nachfrage über die Lieferzeit und die optimalen Bestände je Produktvariante sind in Tabelle A 1.4-1 dargestellt.

Tabelle A 1.4-1 Geschätzte Nachfragen und optimale Bestellmengen je Druckervariante bei Hewlett Packard

Variante	μ	σ	S^*
1	49,0	34,9	121
2	488,5	219,8	940
3	18407,0	6065,1	30863
4	2675,5	1260,0	5263
5	4893,0	2377,4	9775
6	356,5	111,1	585
Summe			47547

Es müssen insgesamt 47547 Einheiten im Zentrallager gelagert werden.

Durch die Verlagerung der Variantenbildung in das Zentrallager müssen nur noch länderunspezifische Einheiten gelagert werden. Die gesamte Nachfrage nach diesen Einheiten ergibt sich aus den einzelnen Nachfragewerten der Produktvarianten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Nachfragen der einzelnen Varianten unabhängig voneinander sind. Der Mittelwert der gesamten Nachfrage beträgt

$$\mu_{\text{gesamt}} = \sum_i \mu_i = 26869,5 \tag{A 1.4-9}$$

Stück je Woche. Die Standardabweichung liegt bei

$$\sigma_{\text{gesamt}} = \sqrt{\sum_i \sigma_i^2} = 6639,8 \tag{A 1.4-10}$$

Stück. Die neue Bestandshöhe beträgt

$$S^* = \mu_{\text{gesamt}} + z_{98\%} \sigma_{\text{gesamt}} = 40506 \tag{A 1.4-11}$$

Stück. Durch die spätere Variantenbildung konnten daher die Bestände um ca. 15% gesenkt werden.

A 1.4.2.3 Gleichteileverwendung

Eine hohe Variantenzahl verursacht hohe Komplexitätskosten in Logistik, Produktion und anderen Bereichen. Der Einkauf muss mit vielen Lieferanten verhandeln und hat geringe Bestellmengen je Artikel. Die Logistik benötigt hohe Sicherheitsbestände. Die Produktion muss die Herstellung einer großen Variantenzahl beherrschen. Durch die Verwendung von Gleichteilen im Produktdesign kann ein Teil dieser Komplexitätskosten vermieden werden. Gleichteile sind Komponenten, die in mehreren Varianten

eingesetzt werden können. Durch die Verwendung von Gleichteilen können jedoch zusätzliche Kosten, wie höhere Stückpreise, entstehen, denn speziell auf jede Variante angepasste Materialien sind häufig günstiger als Gleichteile. Gleichteile müssen ein breiteres Spektrum an Funktionen erfüllen und vielfältigeren Anforderungen genügen. Es gilt daher, das optimale Maß an Gleichteilen zu bestimmen, das in einer Familie von Produktvarianten eingesetzt werden sollte. Dabei sind alle Änderungen in den Stückkosten, Lagerhaltungskosten, Rüstkosten und indirekten Komplexitätskosten ganzheitlich zu berücksichtigen. Thonemann und Brandeau [THO00] haben das Gleichteileproblem am Beispiel von Kabelbäumen in der Automobilindustrie untersucht. Das Ziel ist die Bestimmung einer optimalen Gleichteilverwendung in den Kabelbäumen (Varianten), die in einer Vielzahl von Motortypen (Produkten) zum Einsatz kommen. Das Problem kann als mathematisches Programm formuliert werden. Die Anforderungen der Produkte an die Varianten werden in einer Matrix v abgebildet. Der Wert $v_{ij} = 1$ bedeutet, dass Produkt l die Eigenschaft j benötigt. Die Entscheidungsvariablen sind x , die Zuordnung von Eigenschaften zu Varianten ($x_{ij} \in \{0,1\}$). $x_{ij} = 1$ bedeutet, dass Variante i die Eigenschaft j hat, und y , die Zuordnung von Varianten zu Produkten ($y_{il} \in \{0,1\}$). $y_{il} = 1$ bedeutet, dass Variante i in Produkt l verbaut werden kann). In der Zielfunktion werden für jede Variante i die Produktionskosten P_i , die Lagerhaltungskosten H_i und die Rüstkosten G_i angesetzt. Zusätzlich werden indirekte Komplexitätskosten $F(I)$ betrachtet, die von der Variantenzahl I abhängen. Die Problemstellung sieht damit wie folgt aus

$$\min_{I, x, y} \left[F(I) + \sum_{i=1}^I (P_i(x, y) + H_i(x, y) + G_i(x, y)) \right]. \tag{A 1.4-12}$$

Die Stückkosten der Varianten ergeben sich aus den Kosten b_j für den Einbau der Eigenschaft j und der erwarteten Nachfrage μ_l nach Produkt l als

$$P_i(x, y) = \sum_{j=1}^J b_j x_{ij} \sum_{l=1}^L \mu_l y_{li}. \tag{A 1.4-13}$$

Für die Lagerhaltung wird eine (R,Q)-Politik mit fixen Bestellkosten K , Servicelevelanforderung β , Lieferzeit τ und Lagerkostensatz q unterstellt (zur (R,Q)-Politik vgl. [GUE05]). Die Parameter R und Q werden mit

$$Q_i(x, y) = \sqrt{\frac{2K \sum_{l=1}^L \mu_l y_{li}}{q \sum_{j=1}^J b_j x_{ij}}} \tag{A 1.4-14}$$

und

$$R_i(x, y) = \tau \sum_{l=1}^L \mu_l y_{li} + \sqrt{\sum_{l=1}^L \sigma_l^2 y_{li}} \Psi^{-1} \left(\frac{(1-\beta) Q_i(x, y)}{\sqrt{\sum_{l=1}^L \sigma_l^2 y_{li}}} \right) \quad (A 1.4-15)$$

geschätzt. $\Psi(z)$ bezeichnet dabei die Standardverlustrfunktion

$$\Psi(z) = \int_{t=z}^{\infty} (t-z) dF_{01}(t). \quad (A 1.4-16)$$

Daraus können die Lagerhaltungskosten und die Rüstkosten berechnet werden:

$$H_i(x, y) = q \sum_{j=1}^J b_j x_{ij} + \left(\sqrt{\sum_{l=1}^L \sigma_l^2 y_{li}} \Psi^{-1} \left(\frac{(1-\beta) Q_i(x, y)}{\sqrt{\sum_{l=1}^L \sigma_l^2 y_{li}}} \right) + \frac{Q_i(x, y)}{2} \right), \quad (A 1.4-17)$$

$$G_i(x, y) = \frac{K \sum_{l=1}^L \mu_l y_{li}}{Q_i(x, y)}. \quad (A 1.4-18)$$

Eine Nebenbedingung stellt die Anforderungsmatrix v dar. Eine weitere Restriktion ergibt sich aus der Bedingung, dass jede Eigenschaft nur von maximal einer Variante erbracht werden soll. Die Nebenbedingungen lassen sich als

$$v_{lj} \leq \sum_{i=1}^I x_{ij} y_{li}, \quad \forall l=1..L, j=1..J$$

$$\sum_{i=1}^I y_{li} = 1, \quad \forall l=1..L$$

$$0 < I \leq L \quad (A 1.4-19)$$

formulieren. Das mathematische Programm kann mit Hilfe des Branch-and-Bound-Verfahrens (vgl. Abschn. A 2.2) oder mit Hilfe des Simulated Annealing (vgl. Abschn. A 2.2) gelöst werden.

In dem konkreten Anwendungsfall der Automobilindustrie konnte durch Gleichteileverwendung die Anzahl der Varianten an Kabelbäumen von 200 auf 75 gesenkt werden. Dadurch ergaben sich jährliche Einsparungen in Höhe von ca. 2,5 Mio. Euro.

A 1.4.3 Unternehmensübergreifendes Supply Chain Management

Das unternehmensübergreifende SCM koordiniert Aktivitäten zwischen mehreren Unternehmen. Es wird i. Allg. in Supply Chains angewendet, deren Partner ihre internen

Supply Chains bereits gut im Griff haben. Ein großer Teil der Ansätze des unternehmensübergreifenden SCM beschäftigt sich mit der Koordination von zwei benachbarten Stufen einer Supply Chain. Diese Stufen sind in vielen Fällen der Hersteller und der Händler eines Produktes. Im folgenden Kapitel wird die Koordination von Hersteller und Händler am Beispiel des Supply Chain Contracting erläutert. Andere Ansätze beschränken sich nicht nur auf zwei Stufen, sondern umfassen einen größeren Teil der Supply Chain. In Abschn. A 1.4.3.2 wird der Bullwhip-Effekt dargestellt, der das Aufschaukeln von Nachfrageprognosen über verschiedene Stufen einer Supply Chain beschreibt. In Abschn. A 1.4.3.3 wird das Supply Chain Engineering vorgestellt. Das Supply Chain Engineering ist eine Methode zur Prognose und Vermeidung von Engpässen in einer Supply Chain.

A 1.4.3.1 Supply Chain Contracting

Wenn Hersteller und Händler unabhängige Unternehmen sind, treffen sie auch Entscheidungen über ihre Bestellmengen, Verkaufspreise und andere Parameter unabhängig voneinander. Dies kann zu nicht optimalen Entscheidungen aus Sicht der gesamten Supply Chain führen. In manchen Fällen liegt der gemeinsame Gewinn deutlich unter dem Gewinn, den die Supply Chain erzielen könnte, wenn Hersteller und Händler zusammenarbeiten würden. Dieser Effekt wird im Folgenden an einem kurzen Beispiel (vgl. [THO05]) erläutert.

Ein Hersteller fertigt Designertaschen zu $p = \text{€ } 100$ je Stück. Der Händler kann die Taschen für $r = \text{€ } 300$ während der Saison verkaufen. Am Ende der Saison können die Taschen nur noch zu einem Preis von $v = \text{€ } 10$ verwertet werden. Die Nachfrage nach Taschen kann als normalverteilt mit $\mu = 100$ Stück und Standardabweichung $\sigma = 30$ Stück angenommen werden.

Im traditionellen Fall berechnet der Hersteller dem Händler einen Großhandelspreis w . Für diesen Preis kann der Händler eine beliebige Menge an Einheiten vom Hersteller beziehen. Der Händler wird versuchen, seinen eigenen Gewinn zu maximieren. Dazu verwendet er das Newsvendor-Modell. Da der Hersteller über den Großhandelspreis frei entscheiden kann, wird er versuchen, ihn so zu wählen, dass der Händler eine für den Hersteller gewinnmaximale Menge bestellt. In dem Beispiel der Designertaschen erhält man durch numerische Optimierung einen für den Hersteller optimalen Großhandelspreis von $w = \text{€ } 256$ je Tasche. Für den Händler ergibt sich ein kritisches Verhältnis von

$$CR = \frac{c_u}{c_u + c_o} = \frac{r - w}{r - v} = 0,1517 \quad (A 1.4-20)$$

und daraus eine optimale Bestellmenge von

$$S^* = \mu + z_{CR}\sigma = 100 - 1,0292 \cdot 30 \approx 69 \text{ Stück.} \quad (\text{A 1.4-21})$$

Das bedeutet für ihn einen erwarteten Gewinn von

$$G_{\text{Händler}}(S^*) = (r-w)\mu - (c_u + c_o) f_{01}(z_{CR})\sigma \approx \text{€ } 2356. \quad (\text{A 1.4-22})$$

Der gesamte Gewinn der Supply Chain, als Summe der Gewinne von Hersteller und Händler, beträgt

$$G_{SC}(69) = G_{\text{Hersteller}}(69) + G_{\text{Händler}}(69) \\ = (256 - 100)69 + 2356 \approx \text{€ } 13120. \quad (\text{A 1.4-23})$$

Würden nun Hersteller und Händler zusammenarbeiten, würde sich ein anderes kritisches Verhältnis ergeben

$$CR_{\text{koordiniert}} = \frac{c_u}{c_u + c_o} = \frac{r-p}{r-v} = 0,6897. \quad (\text{A 1.4-24})$$

Die optimale Produktionsmenge steigt auf

$$S^* = \mu + z_{CR}\sigma = 100 + 0,4950 \cdot 30 \approx 115 \text{ Stück} \quad (\text{A 1.4-25})$$

und der erwartete Gewinn der Supply Chain auf

$$G_{SC}(115) = (r-p)\mu - (c_u + c_o) f_{01}(z_{CR})\sigma \approx \text{€ } 16929. \quad (\text{A 1.4-26})$$

Die Vorgabe von Großhandelspreisen durch den Hersteller wird als *Großhandelspreisvertrag* bezeichnet. In dem vorgestellten Beispiel liegt der erwartete Gewinn der Supply Chain im Fall eines Großhandelspreisvertrags ca. 22% unter dem optimalen Gewinn. Diese Ineffizienz entsteht durch die mangelnde Koordination zwischen beiden Partnern. Der Händler trägt das gesamte Verlustrisiko für Unter- und Überbestände. Im Gegenzug erhält er jedoch nur einen Teil des Gewinns. Aufgrund dieser ungleichen Verteilung des Verlustrisikos und Erfolgs scheut der Händler, das aus Sicht der Supply Chain optimale Maß an Risiko einzugehen. Das Ergebnis ist eine für keine Partei optimale Situation. Diesem Problem widmen sich die Ansätze des *Supply Chain Contracting*. Das Supply Chain Contracting besteht aus neuen Vertragsformen, die aufgrund ihrer Beschaffenheit zwei Eigenschaften erfüllen:

1. Sie führen zum maximalen Gewinn der gesamten Supply Chain.
2. Sie stellen keine Partei schlechter als bei dem herkömmlichen Großhandelspreisvertrag.

Im Folgenden werden zwei grundlegende Typen solcher optimaler Verträge vorgestellt: der Rücknahmegarantievertrag und der Umsatzteilungsvertrag.

Im *Rücknahmegarantievertrag* verpflichtet sich der Hersteller, nicht abgesetzte Einheiten des Produkts am Ende

der Verkaufsperiode vom Händler zurückzukaufen. Dadurch teilen sich Hersteller und Händler das Risiko, und der Händler hat einen Anreiz, eine größere Menge zu bestellen. Um den Rücknahmegarantievertrag zu implementieren, muss der Hersteller dem Händler neben dem Großhandelspreis w einen Rücknahmepreis b vorgeben. Der Händler wird daraufhin den Rücknahmepreis b anstelle des Verwertungspreises v ansetzen, da er alle nicht verkauften Einheiten zu diesem Preis abgeben kann. Soll der maximale Gewinn der Supply Chain erreicht werden, muss der Rücknahmepreis b so gewählt werden, dass das kritische Verhältnis des Händlers dem kritischen Verhältnis der Supply Chain entspricht:

$$CR_{\text{Händler}} \stackrel{!}{=} CR_{SC} \\ \Rightarrow \frac{r-w}{r-b} = \frac{r-p}{r-v} \quad (\text{A 1.4-27}) \\ \Rightarrow b = r - \frac{(r-w)(r-v)}{r-p}.$$

Für einen gegebenen Großhandelspreis existiert ein Rücknahmepreis, mit dem der Gewinn der Supply Chain maximiert wird. Je nach Höhe des Großhandelspreises verteilt sich jedoch der Gewinn unterschiedlich auf Hersteller und Händler. Um auch die zweite Bedingung zu erfüllen und keine Partei schlechter zu stellen als vor einer Vertragsänderung, sollte der Hersteller den Großhandelspreis so wählen, dass der Händler zumindest den gleichen Gewinn erhält wie bei einem Großhandelspreisvertrag. Ansonsten kann der neue Vertragstyp beim Händler auf Ablehnung stoßen. Wie der Gewinn aufgeteilt wird, hängt vor allem von der Machtposition der einzelnen Parteien ab. Ein starker Hersteller kann eventuell eine Parameterkonstellation durchsetzen, mit der er den gesamten Vorteil der Vertragsänderung einbehält. Es kann gezeigt werden, dass der Gewinn des Händlers (und damit auch der des Herstellers) linear vom Großhandelspreis abhängt. Die Bestimmung eines geeigneten Großhandelspreises vereinfacht sich dadurch.

Im Beispiel der Supply Chain für Designertaschen ergibt sich bei einem Großhandelspreis von $w = \text{€ } 256$ ein Rücknahmepreis von $b = \text{€ } 236,20$. Mit dieser Parameterkonstellation wird der maximale Gewinn der Supply Chain von $G_{SC} = \text{€ } 16929$ erreicht. Möchte der Hersteller den gesamten zusätzlichen Gewinn einbehalten, so müsste er dem Händler einen Großhandelspreis von $w = \text{€ } 272$ und einen Rücknahmepreis von $b = \text{€ } 259,40$ vorgeben. Der Händler würde dann einen Gewinn von

$$G_{\text{Händler}}(115) = (r-w)\mu - (r-b) f_{01}(z_{CR})\sigma \\ = (300 - 272) \cdot 100 - (300 - 259,40) \cdot 0,3529 \cdot 30 \approx \text{€ } 2370 \quad (\text{A 1.4-28})$$

erwirtschaften. Dieser Gewinn liegt knapp über dem Gewinn des Händlers vor der Vertragsänderung. Der Hersteller erhält einen Gewinn von $G_{\text{Hersteller}} = G_{\text{SC}} - G_{\text{Händler}} = 16929 - 2370 = € 14559$. Durch die Vertragsänderung würde er seinen Gewinn um 35% steigern.

Eine weitere beliebte Vertragsform ist der *Umsatzteilungsvertrag*. Beim Umsatzteilungsvertrag erhält der Hersteller zusätzlich zum Großhandelspreis einen prozentualen Anteil $(1-u)$ vom Umsatz des Händlers. Damit wird der Hersteller am Risiko der Supply Chain beteiligt, wodurch sich das Risiko des Händlers verringert. Der neue Großhandelspreis wird geringer sein als der alte Preis, um den Händler für seine Umsatzabgabe zu entschädigen. Ähnlich wie bei einem Rücknahmegarantievertrag muss der Umsatzanteil u so gewählt werden, dass das kritische Verhältnis des Händlers dem der Supply Chain entspricht. Nur so wird sich der Händler aus Sicht der Supply Chain optimal verhalten. Der Umsatzanteil u muss daher

$$\begin{aligned} CR_{\text{Händler}} &= CR_{\text{SC}} \\ \Rightarrow \frac{ur-w}{ur-v} &= \frac{r-p}{r-v} & (A 1.4-29) \\ \Rightarrow u &= \frac{w(r-v)-v(r-p)}{r(p-v)} \end{aligned}$$

betragen. Der Hersteller kann w und u so wählen, dass er einen beliebigen Anteil des zusätzlichen Gewinns erhält. Hat er eine ausreichend starke Machtposition, kann er den gesamten zusätzlichen Gewinn einbehalten. Dann würde er $w = € 23$ wählen. Daraus ergibt sich ein Umsatzanteil von

$$\Rightarrow u = \frac{w(r-v)-v(r-p)}{r(p-v)} = 0,1730, \quad (A 1.4-30)$$

wobei der maximale Gewinn der Supply Chain erreicht wird. Der Händler erhält von diesem Gewinn

$$G_{\text{Händler}} = (ur-w)\mu - (ur-v)f_{01}(z_{CR})\sigma \approx € 2446, \quad (A 1.4-31)$$

was knapp über dem Gewinn des Händlers vor Vertragsänderung liegt. Den restlichen Gewinn erhält der Hersteller.

Jeder Rücknahmegarantievertrag kann in Bezug auf die Zahlungsströme zwischen Hersteller und Händler durch einen Umsatzteilungsvertrag ersetzt werden. Die Wirkung der beiden Vertragsformen ist daher identisch. Ein Nachteil des Umsatzteilungsvertrages ist, dass der Händler den erzielten Umsatz dem Hersteller melden muss. Dafür muss der Hersteller dem Händler entweder vertrauen oder in geeignete Kontrollinstrumente investieren. Ein ähnliches

Problem tritt im Rücknahmegarantievertrag auf, wenn der Händler die nicht verkauften Einheiten nicht an den Hersteller zurückschickt, sondern nur die Menge meldet.

Supply Chain Contracting wurde im Fall der Videoverleihkette Blockbuster erfolgreich angewendet [CAC05]. Filmstudios verkaufen ihre Filme auf Videokassetten an Blockbuster. Blockbuster verleiht die Filme in seinen Filialen an seine Kunden. Um die hohen Fixkosten der Filmproduktion wieder einzuspielen, verlangten die Filmstudios hohe Einkaufspreise je Kassette. Die Produktionskosten für die Vervielfältigung einer Kassette waren dagegen sehr gering. Durch die hohen Einkaufspreise der Videofilme sah sich Blockbuster gezwungen, eine geringere als optimale Menge an Videokassetten bei den Filmstudios zu kaufen. Blockbuster bot daraufhin den Filmstudios von sich aus an, sie durch einen Umsatzteilungsvertrag an den Verkaufserlösen zu beteiligen. Im Gegenzug verlangte Blockbuster eine starke Senkung der Einkaufspreise. Die Rechnung ging in diesem bekannten Anwendungsfall für alle Beteiligten auf. Obwohl die genauen Verkaufs- und Umsatzzahlen nicht veröffentlicht wurden, wird geschätzt, dass die Profitabilität der gesamten Videoverleih-Branche durch Umsatzteilungsverträge um ca. 7% gestiegen ist [CAC05].

In den vorhergehenden Kapiteln standen Ansätze im Vordergrund, die Aktivitäten innerhalb eines Unternehmens oder zwischen zwei benachbarten Partnern einer Supply Chain koordinieren. Im Weiteren wird die Sicht auf Ansätze erweitert, die mehr als zwei Partner in einer Supply Chain umfassen. Zunächst wird der Bullwhip-Effekt vorgestellt und Maßnahmen gegen diesen Effekt diskutiert.

A 1.4.3.2 Bullwhip-Effekt

In einer klassischen Supply Chain liefert ein Hersteller seine Produkte zunächst an den Großhandel. Dieser verteilt die Waren gegebenenfalls an Zwischenhändler weiter, bis sie schließlich im Einzelhandel an den Konsumenten verkauft werden. Jede Stufe in dieser Supply Chain bestellt Ware bei der vorgelagerten Stufe, wie zum Beispiel der Einzelhandel bei seinem Zwischenhändler. Während die Ware vom Hersteller entlang der Supply Chain zum Kunden transportiert wird, fließen Bestellinformationen rückwärts vom Kunden zum Hersteller. Die Nachfrageinformationen, die dem Hersteller zur Planung von Produktion und Logistik zur Verfügung stehen, können dabei durch das Verhalten der vielen Akteure in der Supply Chain verzerrt werden. Die Bestellungen des Großhandels, die der Hersteller erhält, können um ein Vielfaches unregelmäßiger und schwerer zu prognostizieren sein als die Endnachfrage des Kunden. Bild A 1.4-4 zeigt die Nachfrage je Stufe für eine drei-stufige Supply Chain aus dem Bereich des

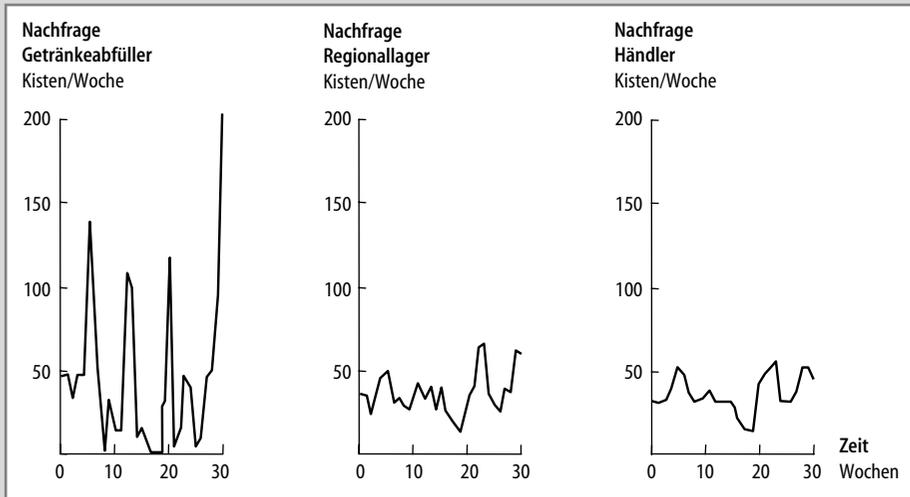


Bild A 1.4-4 Nachfrageentwicklung je Stufe einer Supply Chain aus dem Getränkehandel

Getränkehandels [THO05]. Obwohl die Nachfrage im Einzelhandel relativ stabil ist, schwankt sie aus Sicht des Herstellers stark. Wochen mit Nachfrage von über 100 Kisten wechseln sich mit Wochen ohne Nachfrage ab.

Dieses Aufschaukeln der Nachfrage entlang der Supply Chain ist unter dem Begriff *Bullwhip-Effekt* bekannt. Der Bullwhip-Effekt wurde in den 1960er Jahren von Forrester erstmals ausführlich untersucht [FOR61] und in den 1990er Jahren von Lee et al. populär gemacht [LEE97]. Der Bullwhip-Effekt hat einen negativen Einfluss auf die Verfügbarkeit und die Kosten einer Supply Chain. Durch das Aufschaukeln der Nachfrage entlang der Supply Chain sind hohe Sicherheitsbestände beim Hersteller und anderen frühen Stufen der Supply Chain notwendig. Trotzdem ist die Verfügbarkeit geringer, als es aufgrund der relativ stabilen Nachfrage des Endkunden möglich wäre.

Lee et al. haben die Gründe für das Aufschaukeln der Nachfrage analysiert und vier Hauptursachen identifiziert [LEE97]:

1. *Nachfrageprognosen entlang der Supply Chain.* Jede Stufe der Supply Chain prognostiziert ihre eigene Nachfrage mit Hilfe von gängigen Prognosemodellen und bestellt daraufhin so, dass ihr eigener Gewinn maximiert wird. Durch die Aneinanderreihung unkoordinierter Bestellungen erhöhen sich die Schwankungen in der Nachfrageprognose auf jeder Stufe. Das Ausmaß der Schwankungsänderung kann für bestimmte Nachfrageverteilungen und Prognoseverfahren geschätzt werden. Als Maß für die Erhöhung der Schwankung wird das Verhältnis der Nachfragevarianzen vor ($V[Y]$) und nach

einer Stufe ($V[X]$) verwendet. Im Fall einer normalverteilten Nachfrage und dem Einsatz der exponentiellen Glättung zur Nachfrageprognose beträgt die Varianzerhöhung annähernd

$$\frac{V[X]}{V[Y]} \approx 1 + \frac{2(LT+1)}{T} + \frac{2(LT+1)^2}{T^2}, \quad (\text{A 1.4-32})$$

wobei LT die Lieferzeit und T die Anzahl an Perioden darstellt, die in der exponentiellen Glättung verwendet werden [CHE00].

Um den Einfluss der Nachfrageprognosen auf den Bullwhip-Effekt zu mindern, müssen Informationsverzögerungen vermieden, Nachfrageinformationen ausgetauscht und Nachfrageprognosen über mehrere Stufen hinweg gemeinsam betrieben werden. Durch die Vermeidung von Informationsverzögerungen reduziert sich die Zeitverschiebung zwischen dem Bedarf des Endkunden und dem Eintreffen des Bedarfes beim Hersteller. Häufig verfügen der Einzelhändler oder andere spätere Stufen der Supply Chain über besondere Nachfrageinformationen wie z. B. geplante Promotions. Diese sollten den anderen Partnern in der Supply Chain möglichst frühzeitig mitgeteilt werden. Das Aufschaukeln der Prognosevarianz entlang der Supply Chain kann außerdem reduziert werden, indem mehrere Partner die Nachfrage gemeinsam prognostizieren. Dafür existieren verschiedene Ansätze wie zum Beispiel das Vendor Managed Inventory (vgl. Abschn. A 1.2).

2. *Losgrößenbildung.* Der Handel versucht fixe Kosten von Bestellungen und Lieferungen durch die Zusammenfassung von Lieferungen zu reduzieren. So ist es zum Beispiel günstiger, wenn nur einmal pro Monat ein vollständig beladener LKW die Lieferung durchführt, als alle zwei Wochen ein halbvoll beladener LKW. Durch diesen als Losgrößenbildung bekannten Effekt verstärkt sich jedoch die Nachfrageschwankung bei der vorgelagerten Stufe der Supply Chain. Die Losgrößenbildung kann reduziert werden, indem fixe Bestellkosten gesenkt, Transporte gebündelt und Bestellzeitpunkte koordiniert werden. Die fixen Bestellkosten können zum Beispiel durch automatisierte Bestellprozesse gesenkt werden. Dadurch verlieren die Abnehmer den Anreiz zur Losgrößenbildung. Ebenso können Transporte gebündelt werden, um Fixkosten in den Transporten zu reduzieren und die Auslastung der Transporte zu erhöhen. Eine Bündelung kann über verschiedene Produkte (mehrere Produkte eines Lieferanten werden in einem gemeinsamen Transport angeliefert) oder über verschiedene Abnehmer (mehrere Abnehmer in regionaler Nähe werden gemeinsam bedient) erfolgen. Sollte eine Reduktion der Fixkosten nicht möglich sein, kann versucht werden, die Zeitpunkte verschiedener Bestellungen zu koordinieren. Die negativen Effekte der Losgrößenbildung treten insbesondere dadurch auf, dass Bestellungen unregelmäßig stattfinden und sich zeitlich überlagern. Werden die Bestellzeitpunkte gleichmäßig über die Zeit verteilt, reduziert sich die Schwankung der Nachfrage.

3. *Rationierung.* Wenn mehr Bestellungen beim Hersteller eingehen, als er Ware zur Verfügung hat, muss er sein Angebot rationieren. Die Abnehmer erhalten dann nur einen Teil ihrer Bestellung. Häufig wird die vorhandene Warenmenge prozentual zu den Bestellungen an die Abnehmer vergeben. Liegt z. B. die verfügbare Menge 20% unter der nachgefragten Menge, erhält jeder Abnehmer nur 80% der bestellten Menge. Bei wiederholten Lieferengpässen passen sich die Abnehmer an diese Situation an. Sie bestellen höhere Mengen als sie eigentlich benötigen. Dadurch erhalten sie bei einer prozentualen Zuteilung einen größeren Anteil im Vergleich zu vorher. Im obigen Beispiel müsste ein Händler seine Bestellmenge künstlich um 25% erhöhen, um bei einer Zuteilung von 80% die gewünschte Menge zu erreichen. Diese Bestellungen werden als *Phantombestellungen* bezeichnet. Phantombestellungen verstärken den Lieferengpass zusätzlich und erhöhen die Nachfrageschwankung für den Hersteller. Um den Einfluss der Rationierung auf den Bullwhip-Effekt zu reduzieren, kann der Hersteller Informationen über die wahre Kundennachfrage erhalten, die Rationierungsregeln anpassen und die Vertragsgestal-

tung ändern. Hat der Hersteller Informationen über die Endkundennachfrage, kann er Phantombestellungen erkennen und entsprechend reagieren. Zusätzlich können die Rationierungsregeln angepasst werden. Anstelle einer Zuteilung anhand der Bestellmenge kann zum Beispiel eine Zuteilung anhand des Marktanteils des Abnehmers oder anderer Kriterien erfolgen. Auch eine Änderung der Vertragsregeln kann helfen. Wird zum Beispiel eine Rückgabe der bestellten Einheiten an den Hersteller vertraglich ausgeschlossen, muss der Abnehmer das Überbestandsrisiko von Phantombestellungen vollständig selbst tragen. Tritt kein Engpass ein, hat er eine zu große Menge bestellt.

4. *Preisschwankungen.* In vielen Fällen ist der Hersteller selbst der Verursacher von Nachfrageschwankungen. Durch kurzfristige Rabattaktionen gibt er seinen Abnehmern einen Anreiz, unregelmäßig und in großen Mengen zu bestellen. Je kürzer die Aktion und je höher der Rabatt ist, desto unregelmäßiger werden die Bestellungen beim Hersteller. Der Abnehmer bestellt Ware, die er erst zu einem späteren Zeitpunkt benötigt. Der zusätzliche Lagerbestand, der durch Rabattkäufe entsteht, wird alleine in der US-Nahrungsmittelindustrie auf US\$ 75 bis 100 Mrd. geschätzt [LEE97]. Der Effekt von Preisschwankungen kann durch Anpassung des Anreizsystems, Trennung von Bestellung und Lieferung oder durch Verlängerung des Aktionszeitraums gemindert werden. Rabattaktionen haben den Zweck, den Umsatz zu erhöhen. Dieser Effekt kann aber auch durch andere Anreize erreicht werden, ohne zusätzliche Nachfrageschwankungen zu erzeugen. Zum Beispiel können Preisnachlässe auf Verkäufe des Abnehmers anstatt auf Bestellungen gewährt werden. Eine andere Möglichkeit ist die Trennung von Bestellung und Lieferung. Die negativen Effekte von Preisschwankungen treten nur auf, wenn die Ware sofort geliefert wird. Eine Verteilung der Lieferung über einen größeren Zeitraum glättet nicht nur die Nachfrage am Hersteller, sondern senkt auch die Bestände des Abnehmers.

A 1.4.3.3 Supply Chain Engineering

Das *Supply Chain Engineering* ist eine Methode zur Prognose und Vermeidung von Engpässen innerhalb einer Supply Chain. Dabei wird die gesamte Supply Chain vom Rohstofflieferanten bis zum Endabnehmer betrachtet, da Engpässe häufig in frühen Stufen einer Supply Chain auftauchen, die Ursachen in späten Stufen der Supply Chain haben. Das Supply Chain Engineering ist besonders in Situationen geeignet, in denen Unternehmen ihre Nachfrage nur schwer steuern können und von einer langen

Kette von Vorlieferanten abhängen, die die eigene Verfügbarkeit beeinflussen. Best und Thonemann [BES03] haben das Supply Chain Engineering in der europäischen Leiterplattenindustrie eingesetzt, um Maßnahmen zur Vermeidung von Engpässen im wichtigsten Rohstoff dieser Branche, dem Glasgarn, zu identifizieren. Durch den Einsatz konnte die Verfügbarkeit und die Effizienz der Supply Chain nachhaltig gesteigert werden. Das Supply Chain Engineering besteht aus vier Phasen, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

1. Die erste Phase ist die *Supply Chain Analyse*. In der Analysephase werden auf der Nachfrageseite die wichtigsten Endabnehmerbranchen identifiziert, die einen relevanten Einfluss auf die Nachfrage haben können. Auf der Versorgungsseite werden die Kapazitäten und möglichen Engpässe auf den einzelnen Stufen einer Supply Chain analysiert. Besonderes Augenmerk wird auf die so genannte indirekte Nachfrage gelegt. *Indirekte Nachfrage* ist die Nachfrage nach Materialien oder Rohstoffen durch andere Produkte als das eigene. So benötigt ein Leiterplattenhersteller zum Beispiel Glasgarn für die Produktion der Leiterplatten. Die Nachfrage nach Leiterplatten wäre in diesem Beispiel die direkte Nachfrage. Für die Verfügbarkeit des Glasgarns sind jedoch auch andere Bedarfe relevant, wie zum Beispiel der Bedarf an Glasgarn für die Tapetenindustrie. Der Bedarf an Glasgarn für die Tapetenindustrie wäre in diesem Beispiel

die indirekte Nachfrage. Die indirekte Nachfrage spielt bei der Engpassanalyse einer Supply Chain eine wichtige Rolle, da sie häufig einen Großteil der Rohstoffnachfrage ausmacht, schwerer als der eigene Bedarf zu prognostizieren ist und in vielen Fällen vernachlässigt wird.

2. Sind die Bedarfe und Kapazitäten auf jeder Stufe der Supply Chain bekannt, kann mit der zweiten Phase, der *Supply Chain Prognose*, begonnen werden. In der Prognosephase werden auf jeder Stufe die Bedarfe den Kapazitäten gegenübergestellt. Für die Bedarfssituation kann mit verschiedenen Szenarien gerechnet werden, die die unterschiedliche Bedarfsentwicklung reflektieren. Best und Thonemann [BES03] unterscheiden zwischen einer statischen und einer dynamischen Prognose. Mit der statischen Prognose werden Bedarfe und Kapazitäten im Gleichgewichtszustand gegenübergestellt. Die statische Analyse ist leicht durchführbar und zeigt die grundlegenden Engpässe in den einzelnen Szenarien auf. Das mögliche Ergebnis einer statischen Analyse ist in Bild A 1.4-5 dargestellt. Die dynamische Analyse untersucht dagegen, inwieweit Kapazität im Zeitverlauf aufgebaut und zur Bedarfsdeckung eingesetzt werden kann. Dynamische Prognosen können mit Hilfe von Simulationswerkzeugen (vgl. Abschn. A 2.4) erstellt werden. In der dynamischen Analyse spielen auch antizipierte Kapazitätserweiterungen und Investitionsentscheidungen auf einzelnen Stufen der Supply Chain eine Rolle, soweit

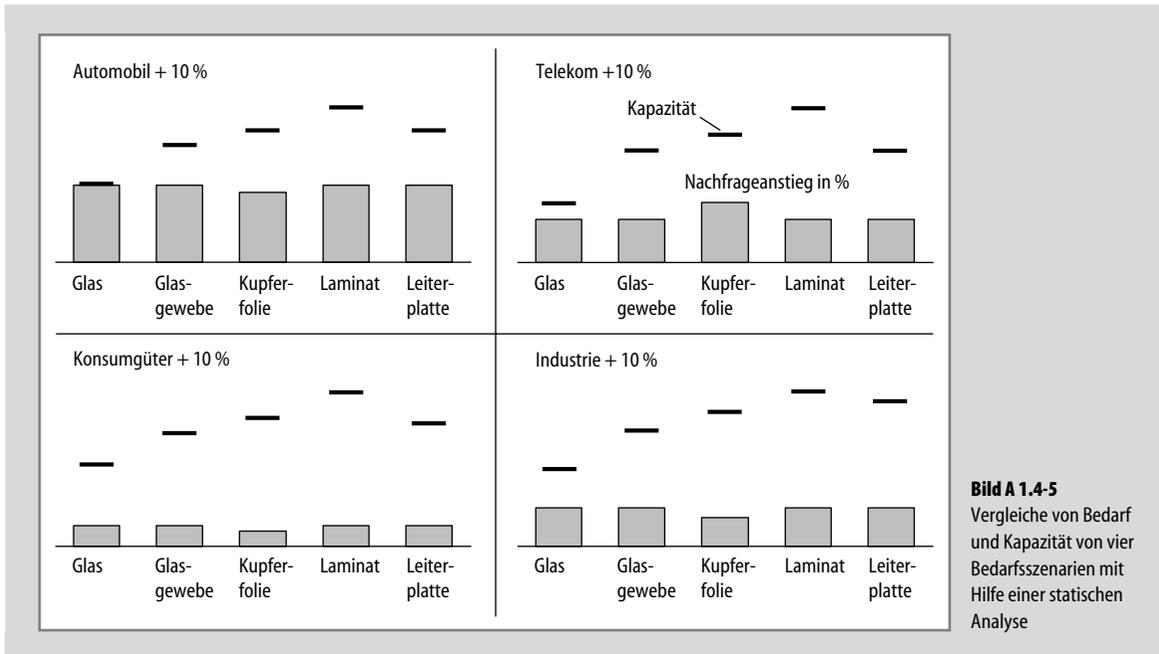


Bild A 1.4-5
Vergleiche von Bedarf und Kapazität von vier Bedarfsszenarien mit Hilfe einer statischen Analyse

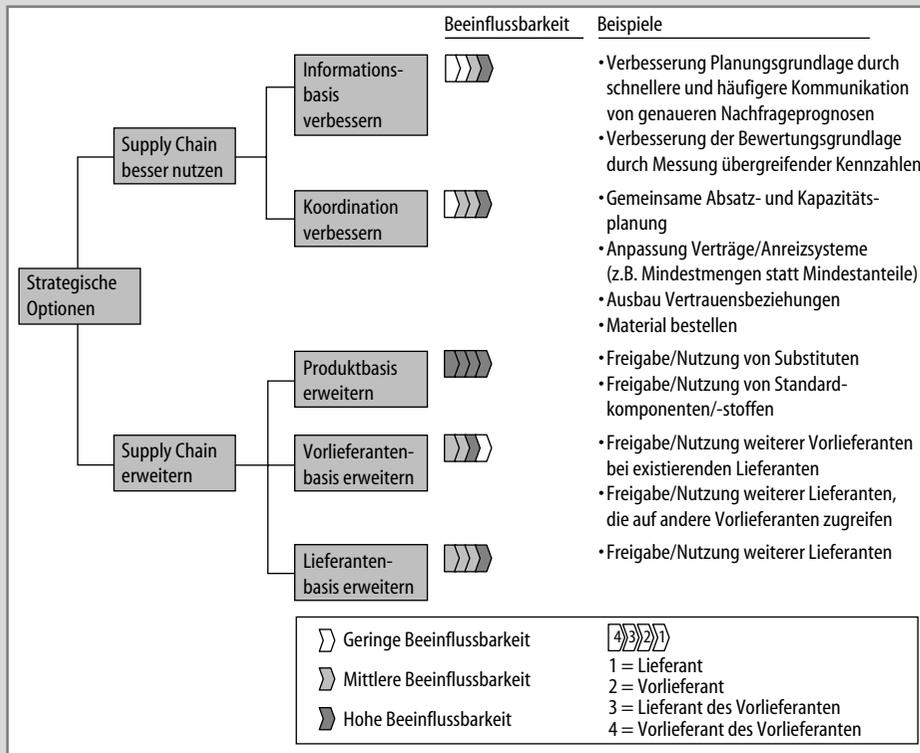


Bild A 1.4-6 Mögliche strategische Optionen zur Vermeidung von Engpässen

diese dem analysierenden Unternehmen bekannt sind. Die dynamische Prognose ist komplexer in der Erstellung. Dafür ist eine detaillierte Analyse der Engpassentwicklung im Zeitverlauf möglich.

3. Aufbauend auf der Analyse und der Prognose können durch die *strategische Positionierung* des analysierenden Unternehmens Maßnahmen zur Vermeidung von Engpässen getroffen werden. Bild A 1.4-6 zeigt Möglichkeiten der strategischen Positionierung zur Abwehr potenzieller Engpassituationen [BES03].
4. In vielen Fällen lassen sich Engpassituationen zwar reduzieren jedoch nicht völlig vermeiden. Für solche Fälle sieht das Supply Chain Engineering den *Aufbau von Frühindikatoren* vor. Für den Aufbau dieser Indikatoren müssen relevante Kennzahlen gefunden werden, die die Entwicklung wichtiger Treiber der direkten und indirekten Nachfrage widerspiegeln. In dem obigen Beispiel der indirekten Nachfrage nach Glasgarn durch die Tapetenindustrie könnte ein möglicher Frühindikator die Absatzentwicklung in dieser Industrie sein. Für diese Frühindikatoren müssen Grenzwerte vorgegeben werden. Über- oder unterschreitet eine Kennzahl einen

Grenzwert, wird eine Warnung vor einem möglichen Engpass ausgelöst. Best und Thonemann [BES03] empfehlen die Entwicklung einer Normtaktik für jeden möglichen Frühindikator. Eine Normtaktik besteht aus einem Katalog von Maßnahmen, die die Engpassgefahr mindern. Normtaktiken können im Vorfeld entwickelt und mit allen Beteiligten abgestimmt werden. So lassen sie sich im Bedarfsfall zügig umsetzen.

Wenn die Anzahl der Rohstoffe eines Produktes groß ist, kann das Supply Chain Engineering aufgrund der hohen Anzahl an Zulieferern schnell unübersichtlich werden. Daher sollte man sich auf die wichtigsten und am ehesten gefährdeten Rohstoffe konzentrieren.

Literatur

[BES03] Best, F.; Thonemann, U.: Supply Chain Engineering. Supply Chain Management II (2003) 7–15
 [CAC05] Cachon, G.; Lariviere, A.: Supply Chain Coordination with Revenue-Sharing Contracts: Strengths and Limitations. Management Sci. 51 (2005) 1, 30–44

- [CHE00] Chen, F.; Drezner, Z.; Ryan, J. K.; Simchi-Levi, D.: Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times and Information. *Management Sci.* 46 (2000) 3, 436–443
- [FOR61] Forrester, J.: *Industrial Dynamics*. New York: John Wiley & Sons 1961
- [GUE05] Günther, H.O.; Tempelmeier, H.: *Produktion und Logistik*, 6. Aufl. Berlin: Springer 2005
- [LEE97] Lee, H.L.; Padmanabhan, V.; Whang, S.: The Bullwhip Effect in Supply Chains. *Sloan Management Rev.* 38 (1997) 3, 93–102
- [SIM00] Simchi-Levi, D.; Kaminsky, P.; Simchi-Levi, E.: *Designing and Managing the Supply Chain*. Boston: McGrawHill 2000
- [THO05] Thonemann, U.: *Operations Management: Konzepte, Methoden und Anwendungen*. München: Pearson Studium 2005
- [THO03] Thonemann, U.; Behrenbeck, K.; Diederichs, R.; Großpietsch, J.; Küpper, J.; Leopoldseder, M.: *Supply Chain Champions – Was sie tun und wie Sie einer werden*. Wiesbaden: Gabler 2003
- [THO00] Thonemann, U.; Brandeau, M.: Optimal Commonality in Component Design. *Operations Res.* 48 (2000) 1, 1–19