

Michael ten Hompel · Thorsten Schmidt · Lars Nagel

---

Materialflusssysteme

Michael ten Hompel · Thorsten Schmidt · Lars Nagel

# Materialflusssysteme

Förder- und Lagertechnik

3., völlig neu bearbeitete Auflage

Herausgegeben von Michael ten Hompel  
und Reinhardt Jünemann

Mit 255 Abbildungen und 36 Tabellen



Springer

Professor Dr. Michael ten Hompel (Hrsg.)  
*michael.ten.hompel@iml.fraunhofer.de*

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. Thorsten Schmidt  
*thorsten.schmidt@iml.fraunhofer.de*

Dipl.-Ing. Lars Nagel  
*lars.nagel@iml.fraunhofer.de*

Professor Dr.-Ing. Dr. h.c. Dr.-Ing. E.h. Prof. E.h. Reinhardt Jünemann (Hrsg.)

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML)  
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2–4  
44227 Dortmund  
Germany

Ursprünglich erschienen in der Reihe: Logistik in Industrie, Handel und Dienstleistungen.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-540-73235-8 3. Auflage Springer Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zu widerhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media  
[springer.de](http://springer.de)

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Satz: Digitale Vorlagen der Autoren

Herstellung: LE-Tex Jelonek, Schmidt & Vöckler GbR, Leipzig

Einbandgestaltung: WMXDesign, Heidelberg, nach Vorlagen von Lars Besten, Dortmund

Gedruckt auf säurefreiem Papier 68/3180/YL – 5 4 3 2 1 0

# Vorwort

Materialflusssysteme erbringen die zentralen logistischen Funktionen, Dinge zu lagern, zu transportieren, zusammenzuführen und zu verteilen. Sie sind so vielfältig wie die Branchen, in denen sie Anwendung finden. Ob bei der Warendistribution im Handel, bei der Sortierung von Gepäckstücken am Flughafen oder im Hub eines Paketdienstleisters: immer ist es das Materialflusssystem, das als Symbiose aus betrieblicher Organisation und physischer, fördertechnischer Umsetzung im Mittelpunkt steht. So vielfältig wie die Anwendungsfälle, so vielfältig sind auch die Elemente, aus denen diese Systeme bestehen.

Die Gestaltung effizienter Materialflusssysteme setzt Kenntnisse über den Stand der heute verfügbaren Technologien für die vielfältigen Materialflussoperationen voraus. Die Vielzahl an Technologien generiert eine große Auswahl an Gestaltungsmöglichkeiten, die für den jeweiligen Einsatz abzuwägen sind.

Dieses Buch liefert als Grundlagenwerk der Intralogistik einen vollständigen Überblick über die wesentlichen Komponenten der Förder- und Lagertechnik. Es verbindet diese Elemente mit einer Fülle von Systembeispielen und zeigt in zahlreichen Tabellen und Grafiken technische Daten und Auswahlmöglichkeiten. Hierdurch sollen grundlegendes Wissen vermittelt und Wechselwirkungen aufgezeigt werden. Eine Einführung in die Planung und analytische Berechnung von Materialflusssystemen vervollständigt den grundlegenden Überblick, der durch dieses Buch vermittelt werden soll.

Dieses Werk ist Bestandteil der neu konzipierten Reihe «Intralogistik», die in systematischer Herangehensweise das gesamte Feld der Intralogistik zwischen Informationstechnologie, Technik, Steuerung und Systemgestaltung aufarbeitet.

Herzlich gedankt für ihre Mitwirkung bei der Gestaltung von Beiträgen sei Frau Beck, Frau Oswald, Herrn Albrecht, Herrn Follert, Herrn Dr. Jodin und Herrn Jung vom Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen der Universität Dortmund und vom Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik in Dortmund.

Für die Erstellung der Abbildungen und Tabellen gilt der Dank Frau Liebich, Frau Vorwald, Herrn Besten, Herrn Heinzelmann und Herrn Katsi-

mitsoulias, für die Recherche und Formatierung Herrn Herwick und Herrn Schmidt.

Gedankt wird abschließend den Vertretern der Unternehmen für die Bereitstellung von Fotomaterial, und darüber hinaus den Firmen Vanderlande Industries, Hörmann, Modine und Hilti für die Bereitstellung von Unterlagen zur Erstellung der Beispiele für Materialflusssysteme.

Dortmund  
Frühjahr 2007

*Michael ten Hompel  
Thorsten Schmidt  
Lars Nagel*

Die Intralogistik als identitätstiftende und inhaltliche Klammer dieser Buchreihe spannt das Feld von der Organisation, Durchführung und Optimierung innerbetrieblicher Materialflüsse, die zwischen den unterschiedlichsten Logistikknoten stattfinden, über die dazugehörigen Informationsströme bis hin zum Warenaumschlag in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen auf. Dabei steuert sie im Rahmen des Supply Chain Managements den gesamten Materialfluss entlang der Wertschöpfungskette. Innerhalb dieses Spektrums präsentieren und bearbeiten die Buchtitel der Reihe «Intralogistik» als eigenständige Grundlagenwerke thematisch fokussiert und eng verzahnt die zahlreichen Facetten dieser eigenständigen Disziplin und technischen Seite der Logistik.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Verpackungssysteme .....</b>	<b>5</b>
2.1 Aufgaben der Verpackung und Ladeeinheitenbildung .....	5
2.2 Systematiken zur Packstück- und Ladeeinheitenbildung .....	9
2.2.1 Begriffsbestimmungen .....	9
2.2.2 Systematik zur Packstückbildung .....	11
2.2.3 Systematik zur Ladeeinheitenbildung .....	11
2.3 Verpackungstechnik .....	13
2.3.1 Beanspruchung der Güter .....	13
2.3.2 Packstoffe .....	14
2.3.3 Füll- und Polstermaterialien .....	15
2.3.4 Packmittel .....	17
2.3.5 Packhilfsmittel .....	19
2.3.6 Mehrwegsysteme .....	20
2.3.7 Verpackungsmaschinen .....	21
2.4 Ladeeinheitenbildung .....	23
2.4.1 Ladeeinheiten und Ladehilfsmittel .....	23
2.4.2 Tragende Ladehilfsmittel .....	24
2.4.3 Umschließende Ladehilfsmittel .....	26
2.4.4 Abschließende Ladehilfsmittel .....	29
2.4.5 Palettierung und Packmustergenerierung .....	34
2.4.6 Palettierung mit Roboterunterstützung .....	36
2.4.7 Ladeeinheitensicherung .....	38
2.4.8 Ladungszusammenstellung und Ladungssicherung .....	43
2.5 Auswahlkriterien und Systemvergleich .....	45
<b>3. Lagersysteme .....</b>	<b>49</b>
3.1 Aufgaben der Läger .....	50
3.2 Grundfunktionen von Lagersystemen .....	53
3.3 Systematik der Läger .....	55
3.3.1 Systematisierung der Lagermittel .....	55
3.3.2 Fördermittel im Lager .....	57
3.4 Lagermittel .....	61

## VIII Inhaltsverzeichnis

3.4.1	Bodenlagerung . . . . .	61
3.4.2	Statische Regallagerung . . . . .	62
3.4.3	Dynamische Regallagerung . . . . .	80
3.4.4	Fördermittel mit Pufferfunktion . . . . .	89
3.5	Regalkonstruktion . . . . .	90
3.5.1	Vergleich unterschiedlicher Lagertypen . . . . .	97
3.5.2	Tiefkühl Lager . . . . .	97
3.5.3	Brandschutz im Lager . . . . .	100
3.6	Lagerorganisation . . . . .	102
3.6.1	Parameter der Lagerorganisation . . . . .	102
3.6.2	Ziele der Lagerorganisation . . . . .	104
3.6.3	Strategien zur Lagerbewirtschaftung . . . . .	105
3.6.4	Steuerung automatischer Lagersysteme . . . . .	108
3.7	Begriffe und Kennwerte . . . . .	110
3.8	Auswahlkriterien und Systemvergleich . . . . .	113
<b>4.</b>	<b>Fördersysteme . . . . .</b>	<b>119</b>
4.1	Aufgaben der Fördersysteme . . . . .	119
4.2	Systematik der Fördermittel . . . . .	122
4.3	Stetigförderer . . . . .	127
4.4	Unstetigförderer . . . . .	155
4.4.1	Flurgebundene Unstetigförderer . . . . .	156
4.4.2	Aufgeständerte Unstetigförderer . . . . .	207
4.4.3	Flurfreie Unstetigförderer . . . . .	213
4.5	Auswahlkriterien und Systemvergleich . . . . .	223
<b>5.</b>	<b>Teilfunktionen in Materialflusssystemen . . . . .</b>	<b>231</b>
5.1	Stückgutsortiersysteme . . . . .	231
5.1.1	Aufbau von Sortiersystemen . . . . .	231
5.1.2	Aufbau einer Sortieranlage . . . . .	233
5.1.3	Sortier- und Verteilförderer . . . . .	234
5.2	Kommissioniersysteme . . . . .	251
5.2.1	Systematik der Kommissionierung . . . . .	256
5.2.2	Ausprägungsformen der Kommissionierung . . . . .	269
5.2.3	Leistung von Kommissioniersystemen . . . . .	274
5.2.4	Assoziierte Funktionen der Kommissionierung . . . . .	286
5.3	Intralogistische Systeme und Techniken zum Warenaumschlag . . . . .	289
5.3.1	Aufgaben und Systematik von Umschlagsystemen . . . . .	289
5.3.2	Innerbetriebliche Umschlagsysteme . . . . .	290
5.3.3	Ladezone als Schnittstelle zwischen innerbetrieblichem und außerbetrieblichem Materialfluss . . . . .	301
5.3.4	Systeme zur Be- und Entladung von Lkw . . . . .	312
5.3.5	Auswahlkriterien und Systemvergleich . . . . .	317

<b>6. Planung von Materialflusssystemen</b> . . . . .	321
6.1 Einführung . . . . .	321
6.1.1 Grundsätze und Axiome der Logistikplanung . . . . .	321
6.1.2 Planungsziele . . . . .	323
6.2 Zielsetzungen und Randbedingungen . . . . .	324
6.2.1 Zielkonflikte . . . . .	324
6.2.2 Planungsprobleme . . . . .	324
6.2.3 Planungskriterien . . . . .	325
6.2.4 Definitionen . . . . .	328
6.3 Methodisches Vorgehen: Stufenmodelle der Planung . . . . .	329
6.3.1 Planungsaufakt und Zieldefinition . . . . .	331
6.3.2 Planungsdatenanalyse . . . . .	335
6.3.3 Entwurf von Prozessvarianten . . . . .	343
6.3.4 Entwurf von Arbeitsmittelvarianten . . . . .	348
6.3.5 Dimensionierung, Überprüfung, Bewertung der Varianten . . . . .	349
6.3.6 Feinplanung . . . . .	352
6.3.7 Realisierung . . . . .	354
6.4 Materialflussrechnung . . . . .	356
6.4.1 Klassische Durchsatzberechnung . . . . .	357
6.4.2 Grenzleistungsrechnung . . . . .	358
6.4.3 Bedienungstheorie . . . . .	359
<b>7. Systembeispiele des Materialflusses</b> . . . . .	361
7.1 Distributionssystem . . . . .	361
7.1.1 Distributionslogistik . . . . .	361
7.1.2 Warenverteilzentrum . . . . .	361
7.1.3 Hilti Warenverteilzentrum: Systembeschreibung . . . . .	362
7.2 Cross-Docking-Terminal . . . . .	366
7.2.1 Cross-Docking . . . . .	366
7.2.2 Ausgangssituation . . . . .	366
7.2.3 Cross-Docking-Terminal von Wal-Mart: Systembeschreibung . . . . .	366
7.3 Produktionsver- und -entsorgung . . . . .	370
7.3.1 Just-in-Time . . . . .	370
7.3.2 Ausgangssituation . . . . .	370
7.3.3 Modine JIT-Montagewerk zur Kühlerproduktion: Systembeschreibung . . . . .	371
<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	377
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	383

# 1. Einleitung

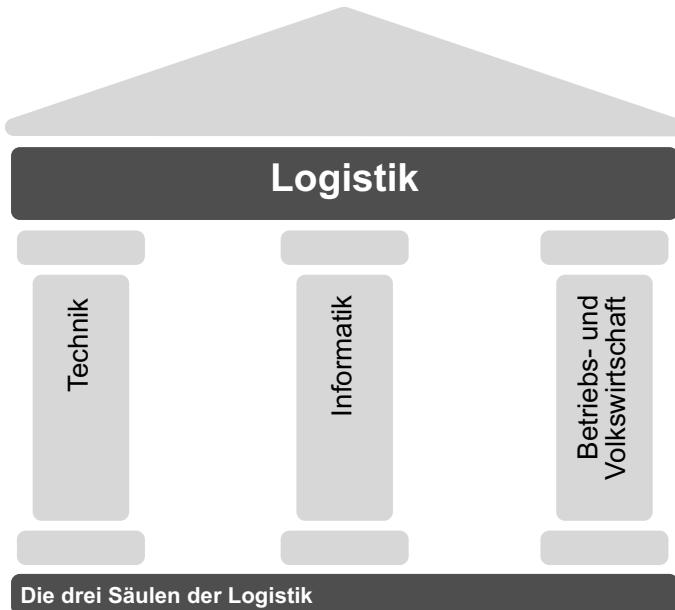
Logistik ist keine Erfindung der Neuzeit. Nicht nur, dass es Fernhandel und Warenströme bereits in vorchristlicher Zeit gab. Auf die Lehren und Methoden der Logistik wird im militärischen Bereich schon seit dem römischen Reich zurückgegriffen. Einzug in die Wirtschaft hielt die Logistik jedoch erst Mitte des 20. Jahrhunderts durch die Übertragung der theoretischen Überlegungen vom Militär auf die Wirtschaft [MORG55] und durch die Verknüpfung der reinen Materialflüsse mit den sie steuernden Informationsflüssen. Mit der Auffassung der Logistik als Managementaufgabe entsteht Ende des 20. Jahrhunderts die Logistik in ihrer heutigen Form.

Die Logistik und ihre Methoden und Verfahren beruhen auf dem Dreiklang aus (vgl. Abb. 1.1):

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

Die technische Sicht der Logistik stellt den *Materialfluss* als eine Verkettung aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von Gütern innerhalb fester Bereiche und damit als physische Funktion logistischer Prozesse in den Vordergrund. Aus der betriebswirtschaftlichen Sicht der Logistik ist diese ein spezieller Führungsansatz zur Entwicklung, Gestaltung, Lenkung und Realisierung effizienter Flüsse von Objekten (Güter, Informationen, Gelder, Personen) in unternehmensweiten und -übergreifenden Wertschöpfungssystemen. Dabei wird der Fokus auf die Distribution, das Marketing, das strategische Handeln, die Kosten und die überbetriebliche Vernetzung gerichtet. Die Sicht der Informatik auf die Logistik definiert diese als Spezialfall der Datenverarbeitung, bei dem ein Datenstrom mit der Bewegung von Gütern unmittelbar verknüpft ist. Die Be trachtungen erstrecken sich dabei von der Verarbeitung von Informationen am essentiellen materialflusstechnischen Objekt über die Kommunikation entlang der logistischen Kette hin zur weltumspannenden Informationskette für den Abgleich von Beständen und Nachfragen.

Kern dieses Buches ist die Aufarbeitung der technischen Seite der Logistik und die Integration der materialflusstechnischen Elemente in Materialflussysteme. Solche Systeme bestehen aus einer Anordnung von mindestens zwei

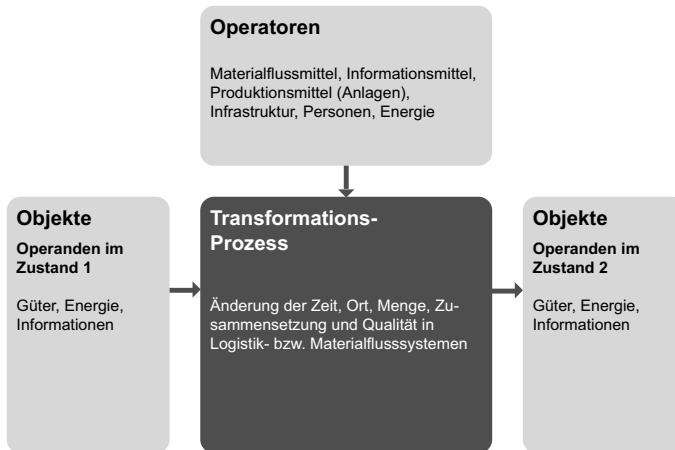


**Abbildung 1.1.** Die drei Säulen der Logistik

Gegenständen der Logistik. Die Gegenstände der Logistik sind diskrete Einzelemente oder Subsysteme, welche die verschiedensten logistischen Systeme bilden und in vielfältigen Kombinationen, oft hierarchisch strukturiert, in logistischen Prozessen zusammenwirken. Die Gegenstände der Logistik können sein:

- Güter (Materialien, Produkte),
- Personen (im Verkehr, hier nicht berücksichtigt),
- Informationen,
- Energie,
- Materialflussmittel (Unter Materialflussmitteln werden hier, bei den Objekten der Logistik, auch Güter- und Personentransportmittel verstanden),
- Produktionsmittel,
- Informationsflussmittel (In Analogie zum Materialfluss werden die Arbeitsmittel des Informationsflusses im Folgenden als Informationsflussmittel bezeichnet) und
- Infrastruktur (Gebäude, Flächen, Wege).

Generell kann zwischen solchen Gegenständen der Logistik, die als Objekte (Güter, Informationen, Energie) im Laufe ihres Aufenthalts im logistischen System einen Transformationsprozess durchlaufen, und solchen, die als Arbeitsmittel (Materialflussmittel, Produktionsmittel, Informationsflussmittel)



**Abbildung 1.2.** Transformationsprozesse in der Logistik

zusammen mit der notwendigen Infrastruktur (Gebäude, Flächen, Wege) die Änderung der Objekte in Systemen bewirken, unterschieden werden.

In Systemen können entweder Wertschöpfungsprozesse oder Transformationsprozesse oder eine Verknüpfung beider wirken. Die Vorgänge der Wertschöpfungsprozesse werden durch die Fertigungs- und Produktionstechnik beschrieben, die Transformationsprozesse durch die Materialflusstechnik (vgl. Abb. 1.2).

Dabei sind diskrete Objekte – im Fall der Materialflusstechnik sind dies Stückgüter – bei der materialflusstechnischen Sichtweise logistischer Systeme Betrachtungsgegenstand. Einen Überblick über die Transformationsprozesse in der Logistik gibt Abb. 1.3.

Die Transformationsprozesse verändern den Systemzustand der logistischen Objekte hinsichtlich Zeit, Ort, Menge, Zusammensetzung und Qualität. Diese Transformationen werden in den verschiedenen Subsystemen der Materialflusssysteme geleistet. Zu den Subsystemen im Bereich der Intralogistik gehören Verpackungssysteme, Fördersysteme, Lagersysteme, Sortier- und Verteilsysteme, Kommissioniersysteme und Umschlagsysteme, die in dieser Reihenfolge mit ihren Aufgaben und Elementen im vorliegenden Buch vorgestellt werden.

In den einzelnen Kapiteln werden die Aufgaben und Funktionen des jeweiligen Subsystems, die relevanten Begriffe und Parameter in einer systematischen Aufbereitung sowie wichtige organisatorische Aspekte beschrieben. Im Anschluss daran erfolgt eine Vorstellung der elementaren Arbeitsmittel bzw. Basiskomponenten des jeweiligen Subsystems mit einer systemtechnischen Beschreibung, typischen Kennwerten und der Erläuterung der Integrationsfähigkeit und -möglichkeit in ein Materialflusssystem.

Transformationsprozesse des Materialflusses		
Materialflussoperatoren	vorrangige Zustandsänderung	technische Mittel
Verpacken, Montieren, Bearbeiten	Zusammensetzung, Wert, Gestalt	Verpackungsmittel, Montagemittel, Fertigungsmittel
Prüfen	—	Prüfmittel
Lagern	Zeit	Lagermittel
Fördern, Transportieren	Ort	Fördermittel, Verkehrsmittel
Handhaben	Lage, Ort	Handhabungsmittel
Umschlagen	Lage, Ort, Zusammensetzung	Handhabungsmittel, auch Fördermittel, Verkehrsmittel
Bilden von Ladeeinheiten	Menge	Handhabungsmittel, Verpackungsmittel
Kommissionieren	Sorte, Menge, Ort	Lagermittel, Fördermittel, Handhabungsmittel

**Abbildung 1.3.** Transformationsprozesse des Materialflusses

Im Anschluss an die Vorstellung der Subsysteme mit ihren Basiselementen soll das zuvor schon beschriebene Zusammenwirken der Subsysteme und Basiselemente zumindest exemplarisch aufgezeigt werden. Dazu finden sich im letzten Kapitel drei typische Beispiele von Materialflusssystemen. Die Vielzahl der Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Subsysteme zu einem Materialflusssystem ist unüberschaubar und auch die Ausprägungen typischer Systeme, wie z. B. Warenverteilzentren, Gepäckförderanlagen, Cross-Docking-Terminals, Paketverteilzentren, Handelslager usw. sind zahllos. Daher stellen die präsentierten Systeme lediglich eine Momentaufnahme dar, die einen Eindruck über typische Einsatzfälle der Intralogistik vermitteln sollen.

Eine gute Planung von Materialflusssystemen verbindet die Kenntnis vielfältiger technischer Komponenten mit der Erfahrung in der Gestaltung des Systemlayouts. Grundlegende Hilfsmittel und eine Richtschnur zur Planung intralogistischer Systeme findet sich im gleichnamigen Kapitel.

## **2. Verpackungssysteme**

### **2.1 Aufgaben der Verpackung und Ladeeinheitenbildung**

An die Verpackung wurden lange Zeit ausschließlich Anforderungen des WarenSchutzes gestellt. Diese Tatsache liegt unter anderem in den relativ hohen Transportschäden begründet. Die Bemühungen der Verpackungstechnik waren daher lediglich darauf ausgerichtet, den Schutz der zu transportierenden Güter zu verbessern. Die mit Mitte des letzten Jahrhunderts in den Volkswirtschaften Einzug haltenden Änderungen in den Vertriebs- und Absatzstrukturen im Handel in Form von Selbstbedienungssystemen und länderübergreifendem Transport und Warenumschlag stellten zwangsläufig auch zusätzliche Anforderungen an die Verpackungstechnik. War sie zuvor als lästiges Erfordernis im Anschluss an den Produktionsprozess eingeordnet, avancierte sie nun zum integrierten Prozess in der Produktion von Gütern. Die Verpackungstechnik und die darauf aufbauende Ladeeinheitenbildung, ausgerichtet auf die Bedürfnisse des modernen Warenumschlags, stellen somit Basiselemente des modernen Materialflusses dar. Im Rahmen dieser Neuausrichtung wird die Verpackungstechnik unter neuen Gesichtspunkten betrachtet. Hierzu zählt z. B. die optische Gestaltung einer Verpackung mit dem Ziel einer Produktaufwertung, die informativ und werbend sein soll, um den Kaufanreiz der Waren zu steigern. Neben dem Schutz der Ware vor Umwelteinflüssen stieg im Laufe der Zeit auch die Bedeutung des Schutzes der Umwelt durch das Packgut, insbesondere bei der Verpackung von Gefahrgut.

Mit der steigenden Bedeutung der Verpackung in der Volkswirtschaft traten jedoch auch zunehmend negative Auswirkungen hervor. Insbesondere durch das mit dem erhöhten Verpackungsbedarf ansteigende Müllaufkommen, geriet das Verpackungswesen in das Blickfeld öffentlicher Kritik. Der sich in Deutschland zunehmend verknappende Deponieraum ist ebenso eine treibende Kraft, wie die Tatsache, dass sich das Verpackungsaufkommen recht plakativ als Gradmesser des Wohlstandes einer Nation darstellen lässt. Die Verpackungsproblematik führte den Gesetzgeber - mit dem Ziel der Vermeidung von Verpackungsabfällen - im Jahre 1991 schließlich zum Erlass der 'Verpackungsverordnung' (VerpackVO), welche die Hersteller und Verender von verpackten Gütern verpflichtet, die in den Verkehr gebrachten Verpackungen nach Gebrauch zurückzunehmen und einer Wiederverwendung

oder einer stofflichen Wiederverwertung zuzuführen. Dabei ist die oberste Priorität die Vermeidung von Verpackungsabfall, insbesondere durch Minimierung der notwendigen Verpackungen und den Einsatz von Mehrwegsystemen. Erst danach schließt sich die stoffliche Wiederverwertung an. Die Summe der eingesparten Kunststoff-Verpackungsmaterialien beläuft sich alleine in den Jahren nach der Einführung der VerpackVO in den Jahren von 1991 bis 2000 auf 1,4 Mio. Tonnen.

Obwohl der Sinn der generellen Zielsetzung dieser Verordnung nicht angezweifelt wird, darf jedoch nicht übersehen werden, dass sie eine Reihe von Fragen und Problemen aufwirft, die nicht ohne Weiteres zu lösen sind. So wird der Gesamtkreislauf von Produkt und Verpackung nicht ausreichend berücksichtigt, ebenso findet der Rücktransport leerer Verpackungen keine Berücksichtigung. Viel sinnvoller ist eine kritische Betrachtung der gesamten Prozesskette, von der Herstellung bis zum Kunden einschließlich der Rückführung und Verwertung. Einen Lösungsansatz bietet das Verfahren der Ökobilanzierung, in der versucht wird, alle in einem Prozess wirksamen Größen zu erfassen und zu bewerten [FINK96]. Unbestritten ist aber, dass die VerpackVO eine Reihe positiver Anstrengungen in Gang gesetzt hat. Sie zwingt zum wohlüberlegten Packmitteleinsatz und zum Einsparen von überflüssigem, über das Maß des erforderlichen Warendschutzes hinausgehendem Materialeinsatz. Auch findet ein Umdenken bei der Packmittelauswahl und dem Packmittelmix statt, mit einer Tendenz zum einheitlichen Packmaterial, das eine wesentlich effizientere Entsorgung ermöglicht. Schließlich kommen verstärkt biologisch abbaubare Materialien zum Einsatz, deren Anwendung bislang durch höhere Materialkosten gehemmt war.

Zur Realisierung einer optimalen Verpackung ist eine aufgabengerechte Beachtung aller ihrer möglichen Teifunktionen zu gewährleisten:

- Schutzfunktion
- Lager- und Transportfunktion
- Identifikations- und Informationsfunktion
- Verkaufsfunktion
- Verwendungsfunktion

Nur bei einer durchgehenden Planung und Gestaltung der Verpackung ist es möglich, den verschiedenen Anforderungen aus den genannten Funktionsbereichen gerecht zu werden. Die Zuordnung dieser vielfältigen Anforderungen an die Verpackung zu einzelnen Funktionsbereichen beschreibt Tabelle 2.1. Hierbei wird deutlich, dass viele der erwähnten Eigenschaften in mehreren Funktionsbereichen vorhanden sein müssen. Die Berücksichtigung aller in Tabelle 2.1 erwähnten Anforderungen an die Verpackung kann nur über eine integrierte, ganzheitliche Betrachtungsweise realisiert werden. Die einzelnen Anforderungen sind dabei nicht unabhängig voneinander und bedingen sich teilweise gegenseitig; so widersprechen sich in der Regel z.B. die Kriterien *schwer entflammbar* und *ökonomisch*.

**Tabelle 2.1.** Anforderungen an die Verpackung und die jeweiligen Verpackungsfunktionen

<b>Aufgaben der Verpackung</b>	
Verpackungsfunktionen	Anforderungen an die Verpackung
Schutzfunktion	temperaturbeständig dicht korrosionsbeständig staubfrei chemisch neutral mengenerhaltend schwer entflammbar diebstahlgeschützt
Lager- und Transportfunktion	formstabil stoßfest stoßdämpfend druckfest reißfest
	stapelbar genormt handhabbar automatisierungsfreundlich einheitsbildend
Verkaufsfunktion	raumsparend flächensparend
	ökonomisch
Identifikations- und Informationsfunktion	werbend informativ identifizierbar unterscheidbar
Verwendungs-funktion	leicht zu öffnen wiederverschließbar
	wiederverwertbar ökologisch entsorgungsfreundlich hygienisch

Das Verpacken beinhaltet alle Tätigkeiten zur Bildung einer Verpackung. [DIN 55405] definiert Verpacken wie folgt: „Verpacken ist das Herstellen einer Packung/eines Packstückes durch Vereinigung von Packgut und Verpackung unter Anwendung von Verpackungsverfahren mittels Verpackungsmaschinen bzw. -geräten oder von Hand.“ Dazu gehören nach [DIN 55405] die folgen-

den Verpackungsverfahren: Aseptisches Verpacken, Aufrichten, Einschlagen, Formen, Füllen, Verschließen, Folieren und Sichern. Die Verpackungstechnik wird im Folgenden synonym mit dem Begriff Techniken der Packstückbildung verwendet.

Neben der Verpackungstechnik ist wie bereits erwähnt die Ladeeinheitenbildung ein wesentliches Element zur Erreichung der übergeordneten Zielsetzung. Die Ladeeinheitenbildung beinhaltet das Zusammenfassen von Stückgütern und Packstücken zur rationelleren Handhabung, Lagerung und Beförderung von Gütern. Dabei gelangen im Allgemeinen *Ladehilfsmittel* zum Einsatz. Das Ziel ist dabei u. a. die Schaffung einer definierten Schnittstelle, die den effizienten Einsatz mechanisierter und automatisierter Umschlagmittel ermöglicht. Zum Erreichen eines logistikgerechten Materialflusses und zur Minimierung der Handhabungsvorgänge innerhalb der Transportkette sollte die Gestaltung der Güter an folgender Leitlinie ausgerichtet werden:

$$\begin{aligned} \text{Ladeeinheit} \\ = \text{Produktionseinheit} \\ = \text{Lagereinheit} \\ = \text{Transporteinheit} \\ = \text{Verkaufseinheit}. \end{aligned}$$

Diese Forderung, die trotz ihres idealisierenden Inhaltes eine große Bedeutung besitzt, gibt die Ziele der Verpackungstechnik und Ladeeinheitenbildung wieder. Eine vollständige Umsetzung dieser Forderung ist jedoch in aller Regel aufgrund der Komplexität dieses multikriteriellen Optimierungsproblems nur mit einem integrierten Gesamtkonzept (wie bei einigen Lebensmitteldiscountern) zu erzielen. Die Technik der Packstück- und Ladeeinheitenbildung deckt vielfältige Tätigkeitsbereiche ab. Sie muss mithelfen, einen logistikgerechten Material- und Informationsfluss innerhalb der Transportkette zu verwirklichen und vorhandene Rationalisierungspotenziale konsequent ausschöpfen. In diesem Zusammenhang geht es um die Auswahl von Packstoffen, Packmitteln, Packhilfsmitteln, Ladehilfsmitteln und Ladeeinheitsicherungsmitteln, die Gestaltung und Optimierung der Verpackung, die Dimensionierung von Verpackungssystemen und die Bildung von Ladeeinheiten. Es sind Verpackungsverfahren auszuwählen, Verpackungsmaschinen und Maschinen zur Ladeeinheitenbildung zu entwickeln und einzusetzen und Verpackungsanlagen zu planen und zu realisieren. Die angesprochenen Problemfelder der Verpackung und Ladeeinheitenbildung für unterschiedlichste Güter zeigen die stark gewachsene Bedeutung der Verpackungstechnik und Ladeeinheitenbildung innerhalb der Materialflusskette auf.

## 2.2 Systematiken zur Packstück- und Ladeeinheitenbildung

### 2.2.1 Begriffsbestimmungen

In der Verpackungstechnik und Ladeeinheitenbildung sind eine Vielzahl von Begriffen gebräuchlich, die z. T. eine unterschiedliche Interpretation zulassen. Obwohl die meisten Begriffe durch einschlägige Richtlinien definiert werden, ergeben sich dennoch Freiräume in der Anwendung fachspezifischer Begriffe. Beispielsweise wird der Begriff Stückgut verschieden interpretiert. Abbildung 2.1 zeigt in einem Organigramm die Zusammenhänge von Packstück, Ladeeinheit, Ladung und Stückgut auf. Um eine Basis für eine präzise Systematik von Packstück- und Ladeeinheitenbildung zu schaffen, sollen zunächst die wesentlichen Begriffe voneinander abgegrenzt werden.

„Ein Stückgut ist ein individualisiertes Gut, das stückweise gehandhabt wird und stückweise in die Transportinformation eingeht“ [DIN 30781]. Dabei kann nach Abbildung 2.1 Stückgut sowohl verpackt als auch unverpackt sein. Packstücke sind ebenfalls Stückgüter. Aber auch eine Ladeeinheit wird als Stückgut bezeichnet, da sie der Definition nach [DIN 30781] genügt.

Die Begriffe des Verpackungswesens werden in der [DIN 55405] wie folgt definiert:

*Packung:* ein allgemeiner Begriff für die Gesamtheit der von der Verpackungswirtschaft eingesetzten Mittel und Verfahren zur Erfüllung der Verpackungsaufgabe. Sie ist im engeren Sinne der Oberbegriff für die Gesamtheit der Packmittel und Packhilfsmittel

*Packgut:* das zu verpackende oder das bereits verpackte Gut

*Packmittel:* ein Erzeugnis aus Packstoff, das dazu bestimmt ist, das Packgut zu umhüllen oder zusammenzuhalten, damit es versand-, lager- und verkaufsfähig wird.

*Packhilfsmittel:* ein Sammelbegriff für Hilfsmittel, die zusammen mit Packmitteln zum Verpacken wie beispielsweise Verschließen einer Packung/eines Packstückes dienen. Sie können ggf. allein, beispielsweise beim Bilden einer Versandeinheit verwendet werden.

*Packstoff:* der Werkstoff, aus dem Packmittel und Packhilfsmittel hergestellt werden

*Packstück:* das Ergebnis von Packgut und Verpackung und für den Einzelversand geeignet. Der letzte Zusatz unterscheidet das Packstück von der Packung, die ansonsten ebenso aus Packgut und Verpackung besteht. Oftmals werden die Begriffe Packstück und Packung synonym verwendet.

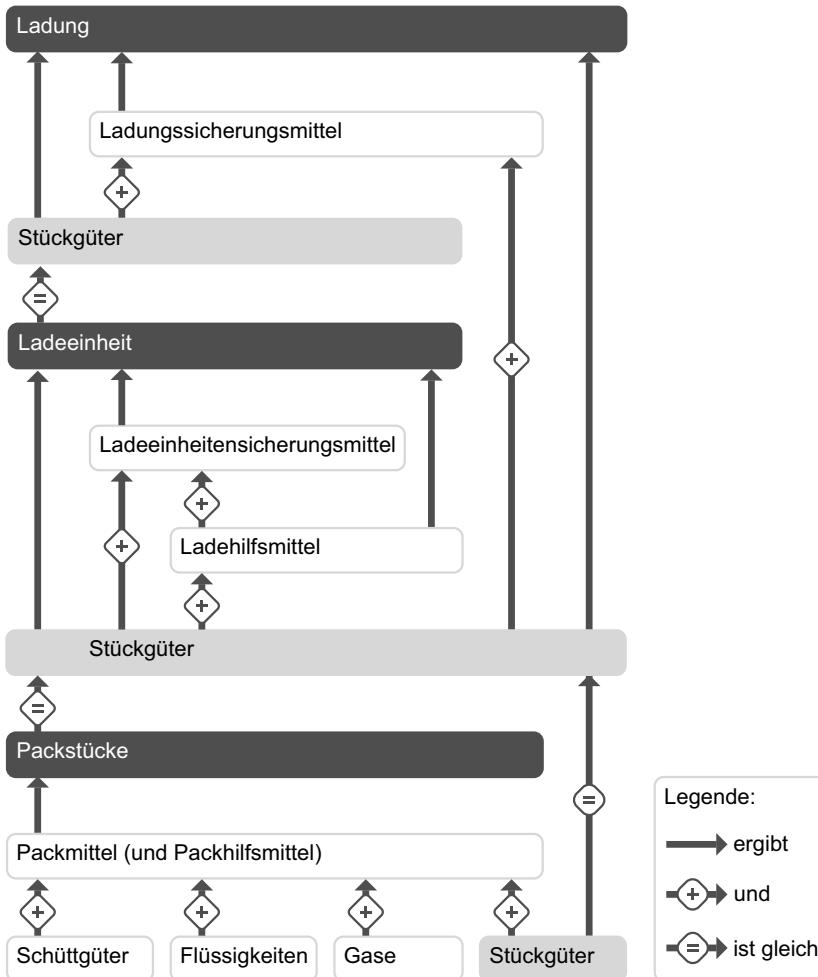


Abbildung 2.1. Bilden von Packstücken, Ladeeinheiten und Ladungen

Analog definiert [DIN 30781]:

**Ladeeinheiten:** Güter, die zum Zwecke des Umschlages durch einen Ladungsträger zusammengefasst sind

**Ladung:** eine Menge von Gütern oder Ladeeinheiten je Transportmitteleinheit

**Ladungsträger:** ein tragendes Mittel zur Zusammenfassung von Gütern zu einer Ladeeinheit. Synonym zu Ladungsträger wird der Begriff Ladehilfsmittel verwendet, der noch universellerer Natur ist, da es auch umschließende und abschließende Ladehilfsmittel gibt. Daher wird auch hier im Folgenden der Begriff Ladehilfsmittel verwendet.

*Ladeeinheitensicherungsmittel:* Sie dienen der Ladungssicherung und werden oftmals zusammen mit Ladehilfsmitteln eingesetzt. Man kennt auch Ladeeinheiten ohne Ladehilfsmittel, wie beispielsweise ein Gebinde von Säcken, das nur über den Einsatz des Ladeeinheitensicherungsmittels Schrumpffolie zu einer Ladeeinheit formiert wurde.

Nach der Verpackungsverordnung werden folgende Verpackungen unterschieden:

*Transportverpackungen:* schützen Waren während des Transports vom Hersteller zum Vertreiber

*Verkaufsverpackungen:* Verpackungen, die vom Endverbraucher zum Transport oder bis zum Verbrauch der Waren verwendet werden.

*Umverpackungen:* zusätzliche Verpackungen um Verkaufsverpackungen, die die Abgabe vom Waren im Wege der Selbstbedienung ermöglichen, dem Diebstahlschutz oder der Werbung dienen

Weitere Arten der Verpackung definiert ebenfalls [DIN 55405].

### 2.2.2 Systematik zur Packstückbildung

Tabelle 2.2 gibt einen systematischen Überblick über die gängigsten Mittel und Hilfsmittel zur Packstückbildung. Die Gliederung zur Packstückbildung wurde dabei in Übereinstimmung mit der bereits zitierten DIN 55405 vorgenommen. Hier unterscheidet man in Packmittel und Packhilfsmittel. Die Packhilfsmittel werden anhand ihrer Funktion gegliedert, und zwar in Verschließhilfsmittel, Ausstattungs-, Kennzeichnungs- und Sicherungsmittel, Schutzhilfsmittel und Polstermittel. Bei dieser Systematik muss berücksichtigt werden, dass in der Regel mehrere Elemente zum Einsatz kommen (z. T. auch mehrere Elemente innerhalb einer Spalte). Es können während des Verpackens verschiedene Packmittel angewendet werden. So wird allgemein in Primärverpackung und Sekundärverpackung oder Sammelpackung unterschieden. Als Beispiel sei das Abfüllen diverser Füllgüter in Flaschen oder Dosen (Primärverpackung) und das anschließende Zusammenfassen auf einem Tray oder in einem Kasten (Sekundärverpackung) genannt. Der Einsatz der Packhilfsmittel richtet sich schließlich nach Anforderungen durch das Gut (z. B. Feuchtigkeitsschutz) bzw. an das Packstück (z. B. Etikettierung zwecks Identifikation).

### 2.2.3 Systematik zur Ladeeinheitenbildung

Bei der Ladeeinheitenbildung kommt nur ein Ladehilfsmittel und in der Regel auch nur ein Ladeeinheitensicherungsmittel zum Einsatz. Die Ladehilfsmittel unterscheidet man nach ihrer Funktion in Ladehilfsmittel mit

**Tabelle 2.2.** Systematik der Mittel und Hilfsmittel zur Packstückbildung

Packstückbildung				
Packmittel	Packhilfsmittel			
Beutel	Verschließ-hilfsmittel	Ausstattungs-, Kennzeichnungs-, und Sicherungsmittel	Schutzhilfsmittel	Polstermittel
Dosen				
Fässer	Clip	Aufklebeetikett	Blaugel	Eckenpolster
Flaschen	Deckscheibe	Banderole	Inhibitor	Flaschenhülse
Kästen	Dichtschnur	Daueretikett	Kieselgel	Gummifaserpolster
Kisten	Dichtungsring	Kennzeichnungs-mittel	Oxidationsschutz-mittel	Gummihaarpolster
Säcke	Heftklammer	Manteletikett	Absorptionsmittel	Holzwolle
Schachteln	Kantenschutz	Plombe	Flammschutzmittel	Holzwollseil
Steigen	Klebeband	Rückenetikett		Luftkissen
Trays	Lackdichtung	Sicherungsring		Papierwolle
Tuben	Spannring	Siegel		Schaumstoffe
Weithalsgläser	Umreifungsband	Warnzettel		Styropor
	Verschlusshülse	Zierkapseln		Zellglaswolle
	Verschluss-membran			Zellstoffwatte

- tragender,
- umschließender und
- abschließender Funktion.

Ladeeinheitensicherungsmittel sichern die Ladeeinheit gegen Verrutschen, Packstückverlust, Umwelteinflüsse und ähnliche Belastungen. Sie sind nach Gebrauch in der Regel nicht wiederverwendbar, also Einwegmittel. Es werden aber auch wieder verwendbare Ladeeinheitensicherungsmittel eingesetzt (vgl. Tabelle 2.3).

**Tabelle 2.3.** Systematik der Mittel zur Ladeeinheitenbildung

Ladeeinheitenbildung					
Ladehilfsmittel			Ladeeinheitsicherung		
tragend	umschließend	abschließend	Einweg	Mehrweg	Zusatzsicherungen
Flachpalette	Gitterboxpalette	Binnencontainer	mit Linien- oder mit punktueller Berührung	mit Linien- oder mit punktueller Berührung	Einweg
Slipsheet	Palette mit faltbarem Aufsetzrahmen	ISO-Container			
Flat		Luftfrachtcontainer	Stahlband	Zurrurte	Kleb- und Haftmittel
Werkstückträger	Vollwandboxpalette	Tankpalette	Kunststoffband	Gummibänder	Aufrauhen
Rungenpalette		Wechselaufbau	Schnur	Seile und Ketten	Mehrweg
			Packdraht	Manschette	Kantenschutz
			mit flächiger Berührung	mit flächiger Berührung	Zwischenbleche
			Schrumpffolie	Netze	Zackenleisten
			Stretchfolie	Stülphauben	Zwischenlage
			Zwischenlagen	Aufsetzrahmen	Aufsteckecken
			Kleb- und Haftmittel	Faltboxaufsätze	Sicherungskreuze und Balken
				Gitterrahmen	

## 2.3 Verpackungstechnik

### 2.3.1 Beanspruchung der Güter

Neben den verschiedenen Zusatzfunktionen besteht die Hauptaufgabe der Verpackung noch immer im Warenenschutz. Ziel ist also, die von außen einwirkenden Größen auf ein erträgliches Maß zu reduzieren, so dass die Substanz des Packgutes die geforderte Qualität behält.

Die Gutbeanspruchungen lassen sich unterteilen in

- mechanische (Stöße, Druck, Schwingungen usw.),
- elektrische (statische Aufladung),

- klimatische (Temperatur, Luftfeuchtigkeit usw.),
- chemische (Gase) und
- biologische Beanspruchungen (Bakterien, Pilze usw.).

Insbesondere die mechanischen Beanspruchungen sind zumeist nur sehr ungenau vorherzubestimmen, da die Transportbeanspruchungen nur schwierig zu fassen sind. Für den spezifischen Einsatzfall besteht die Möglichkeit, die unterschiedlichen Belastungen in einem Labor mittels Schwingtisch, Klimakammer usw. zu testen.

### 2.3.2 Packstoffe

Ausgangsmaterial aller Packmittel sind Packstoffe, die in der [DIN 55405] in werkstoffungebundene Packstoffe (z. B. Folie, Netz, Tafel) und in werkstoffgebundene Packstoffe unterteilt werden. Man differenziert die Werkstoffklassen Glas, Holz, Keramik, Kunststoff, Metall, Papier, Karton und Pappe sowie textile Packstoffe. Die Packstoffauswahl wird von verschiedenen Kriterien beeinflusst. Allen voran steht die Verfügbarkeit und in direkter Verbindung die Wirtschaftlichkeit des Packstoffes. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass das Material auf Dauer zu wirtschaftlich sinnvollen Preisen und darüber hinaus zuverlässig beschafft werden kann. Zudem spielt auch die Packgutverträglichkeit eine entscheidende Rolle. Bei Lebensmitteltransporten darf die Verpackung keine gefährdenden Stoffe beinhalten. Zudem sollten die Verbraucherakzeptanz und die Umweltverträglichkeit in der Entscheidungsfindung Berücksichtigung finden.

Einen besonderen Stellenwert innerhalb der Verpackungstechnik besitzen Papier, Karton und Pappe, die in Wert und Menge mit über 40 % den größten Anteil am Marktvolumen der Pack- und Packhilfsmittel einnehmen. Dies liegt vor allem in ihrem günstigen Preis, der hohen Widerstandsfähigkeit und der guten Recyclingfähigkeit begründet. Ein besonders gutes Verhältnis zwischen Widerstandsfähigkeit und Gewicht weist dabei die Wellpappe auf, die in der DIN 55468 genormt ist. Wellpappe entsteht durch das Zusammenfügen von ein oder mehreren Lagen eines gewellten Papiers zwischen glatten Lagen eines anderen Papiers. Im Gegensatz zu vielen anderen Packstoffen besitzt Wellpappe dabei auch eine gute stoßdämpfende Eigenschaft. Die Vollpappe ist dagegen massiv und ist entweder einlagig, mehrlagig (gegautscht, d. h. im feuchten Zustand ohne Klebstoffe verbunden) oder mehrschichtig (zusammengeklebt) hergestellt worden. Vollpappe zeichnet sich dadurch aus, dass sie eine hohe Druckfestigkeit besitzt, z. T. unempfindlich gegenüber Feuchtigkeit ist und aufgrund der glatten Oberfläche direkt bedruckbar ist. Nachteilig ist im Gegensatz zur Wellpappe natürlich das höhere Gewicht [HEIN96].

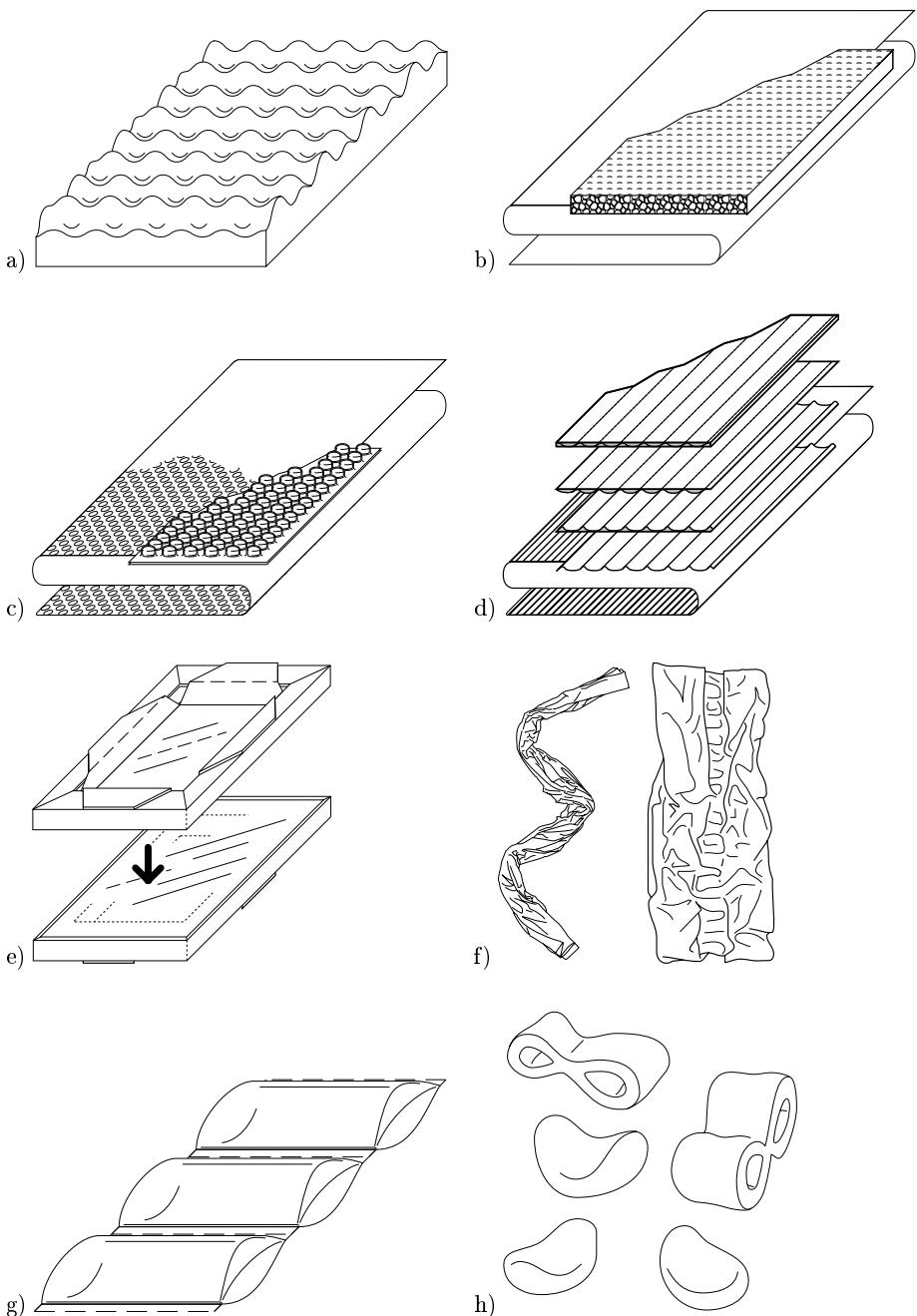
Für diejenigen Anwendungsgebiete, deren Anforderungen herkömmliche Verpackungsmaterialien nicht gerecht werden, können Spezialverpackungen verwendet werden. Besonders die ständig wachsende Elektronikbauteilindustrie kreiert neue Anforderungen an Verpackungen. ESD-Schutzverpackungen

(Electrostatic Discharge) schützen empfindliche elektronische Bauteile vor elektrischen Spannungsfeldern, indem die Verpackung selber antistatisch ist und zusätzliche Ableit- und Abschirmschichten die Außenhaut umschließen. Schon vergleichsweise geringe Potenzialunterschiede können eine Gefahr für elektronische Baugruppen darstellen und zur Zerstörung führen. Eine weitere Gefahr stellt Korrosion dar. Diesem Umstand kann mit Korrosionsschutzverpackungen entgegengewirkt werden. Für diese Anwendung gibt es die Möglichkeit, eine antikorrosiv-beschichtete Wellpappe zu verwenden oder als weitere Variante eine VCI-Verpackung (Vapour Corrosion Inhibitors). Hierbei wird der Verpackung ein VCI-Trägermaterial (Folie) beigegeben, die das zu schützende Gut umschließt. Die VCI-Moleküle des organischen Salzes verdampfen und legen so einen temporären unsichtbaren Schutzfilm über das Gut. Weitere Spezialverpackungen existieren im Bereich der Gefahrguttransporte, für Medikamente und für Chemikalien. Dabei gilt es, einen Schutz zu bieten gegen Erschütterung, Vibrationen, besondere Stoß- und Druckkräfte und auslaufende Flüssigkeiten.

### 2.3.3 Füll- und Polstermaterialien

Füll- und Polstermaterialien sind spezielle Materialien, um Ladungseinheiten auf ihrem Transportweg von der Produktion zum Empfänger zu schützen. Es dominieren Papp- und Kartonmaterialien. Diese sind vielseitig anwendbar und nicht zuletzt wegen ihrer guten Recyclingfähigkeit viel verwendet. Produkte werden mit Karton eingeschlagen, Ecken- und Kanten mit Pappecken geschützt. Materialien wie Kraftpapier, Vollpappe oder Altpapier können als zusätzliche rutschhemmende Zwischenlage oder als Schutzpolster verwendet werden. Wellpappe besteht aus denselben Materialien, kommt jedoch eher für das Ausstopfen und den Schutz kratzempfindlicher Verpackungen zum Einsatz (vgl. Abb. 2.2 d). Luftpolsterfolien und Luftpoltsterkissensysteme dienen demselben Zweck, sie füllen Zwischenräume und fixieren die Ware (vgl. Abb. 2.2 c und Abb. 2.2 g). Jedoch können diese aus Polyethylen bestehenden Materialien besser Stoß- und Druckkräfte kompensieren, so dass sie sich auch für empfindliche Güter eignen. Ein Nachteil ist die beschränkte Recyclingfähigkeit des Kunststoffmaterials. Fixier- und Halteschutz für kleinere, leichtere, unempfindlichere Ladeeinheiten bieten so genannte Fixier- und Membranverpackungen aus Polyethylen (vgl. Abb. 2.2 e). Die zu verpackenden Produkte, z. B. Elektronikbauteile, werden zwischen zwei flexiblen und hochhaftenden Folienfenstern, die in Rahmen aus Wellpappe eingelassen sind, in der Mitte eines Kartons aufgehängt und fixiert. Vorteilhaft sind der einfacher gewährleistete Schutz und die Möglichkeit, einheitliche Kartongrößen zu verwenden, obwohl die Verpackungsgüter selbst variieren.

Individuelle Formteile aus Polystyrol, aufgeschäumt auch bekannt als Styropor, bieten die Möglichkeit, den Verpackungsschutz flexibel an die Transportheiten wie zum Beispiel Großelektronikgeräte anzupassen, und leisten



**Abbildung 2.2.** Füll- und Polstermaterialien: a Noppenschaum b Packschaum c Luftpolsterfolie d Wellpappe e Fixier- und Membranverpackung f Kraftpapier g Luftpolsterkissen h Loose Fill

überdies Stoßschutz, Vibrationsschutz und Fixierung. Zusätzlich haben sie eine hohe Druckfestigkeit, Bruchfestigkeit und Rückstellkraft, benötigen jedoch auch komplizierte Verpackungseinrichtungen.

Packschaum (vgl. Abb. 2.2 b) besteht im Allgemeinen aus geschlossen-zelligem, unvernetztem, geschäumtem Polstermaterial (LDPE - Low Density Polyethylene). Dieses besitzt zusätzlich eine gute Beständigkeit gegenüber Lösungsmitteln, Treibstoffen, Ölen und anderen Chemikalien. Es wird als Zwischenlage, zum Einwickeln und als Kanten- und Oberflächenschutz für empfindliche Güter wie zum Beispiel Einrichtungsgegenstände verwendet.

Loose Fill ist die Bezeichnung für einzelne, kleine Formteile aus Polyethylen, welche lose in die Verpackung gegeben werden und so einen sehr guten Schutz für die Transportobjekte bilden (vgl. Abb. 2.2 h). Es verhindert ein Verrutschen, kompensiert Schläge und Vibrationen und isoliert zusätzlich.

Für schwere Güter gibt es das Papierpolstersystem aus Kraftpapier (vgl. Abb. 2.2 f). Es wird um das Transportmittel angeordnet und kann so hohe Druckkräfte aufnehmen und ein Verrutschen verhindern.

Eine hochwertige Schutzverpackung für kleine, leichte, hochempfindliche Güter bietet der umweltfreundliche, federnde Polyurethan-(PU)-Noppen-schaum (vgl. Abb. 2.2 a). Die spezielle Noppenstruktur der Schaumeinlage umhüllt das Gut, es wird geschützt und gleichzeitig fixiert. Einsatz findet dieses Polstermaterial beim Versand loser, hochwertiger Kleinteile wie z. B. Mikroelektronikbauteile.

#### 2.3.4 Packmittel

Zum Verpacken wird eine Fülle von Packmitteln eingesetzt. Abbildung 2.3 zeigt eine Auswahl der in der [DIN 55405] beschriebenen Packmittel. In Anlehnung an [DIN 55405] können sie wie folgt abgegrenzt werden:

*Beutel:* ein flexibles, vollflächiges, raumbildendes Packmittel, meist unter  $2700 \text{ cm}^2$  Zuschnittsfläche (Breite  $\times$  Länge plus Faltenbreite)

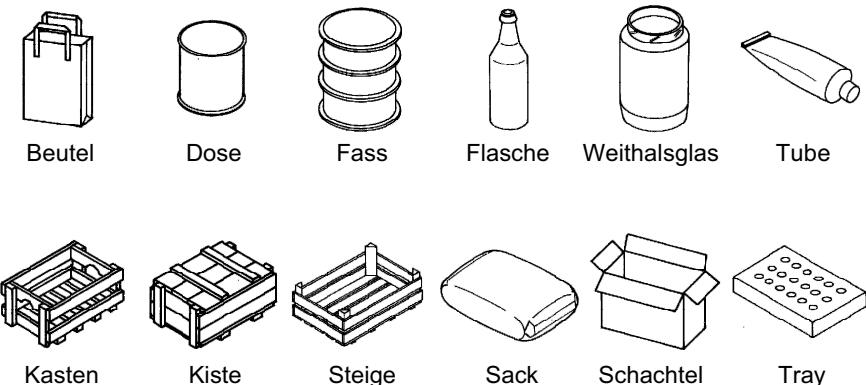
*Dose:* formbeständiges, meist zylindrisches, prismatisches, kegelstumpf- oder pyramidenstumpfförmiges Packmittel mit einem Volumen bis zu etwa 10 Litern

*Fass:* Oberbegriff für bauchige oder zylindrische, im Allgemeinen rollbare Packmittel in verschiedenen Ausführungsarten und aus verschiedenen Werkstoffen

*Flasche:* Packmittel mit halsförmig verengtem Oberteil, das aus verschiedenen Werkstoffen wie Glas, Metall, Kunststoff bestehen kann und das auf verschiedene Weise verschlossen wird (Korken, Schraubverschluss)

*Weithalsglas:* Packmittel aus Glas mit Weithalsmundstück, vorwiegend für Granulate, Tabletten oder Pulver

*Tube:* Packmittel mit rundem oder ovalem Querschnitt, das an einem Ende durch eine Tubenschulter zu einer verschließbaren Öffnung eingezogen



**Abbildung 2.3.** Beispiele häufig verwendeteter Packmittel nach [DIN 55405]

(Tubenhals), am anderen Ende durch Falzen oder Schweißen verschlossen wird, zum Entleeren zusammendrückbar

**Kasten:** stapelbares Packmittel ohne Deckel, welches das Packgut umschließt

**Kiste:** Packmittel aus Holz, im Allgemeinen bestehend aus Boden, zwei Seitenteilen, zwei Kopfteilen (Köpfen) und Deckel, die fest miteinander verbunden sind. Bei Verwendung anderer Packstoffe ist deren Benennung hinzuzusetzen (z. B. Vollpappekiste).

**Steige:** stapelfähiges, standfestes Packmittel zum Transport und zur Lagerung, vorwiegend für leicht verderbliche Lebensmittel (z. B. Obst, Gemüse und Frischfisch). Sie weist im Gegensatz zum Kasten keine geschlossene Form auf und besteht häufig aus Holz.

**Sack:** flexibles, vollflächiges, raumbildendes Packmittel mit einem Schlauchumfang von mindestens 550 mm. Der Sack unterscheidet sich vom Beutel im Wesentlichen durch seine Größe.

**Schachtel:** ein- oder mehrteiliges, im Allgemeinen quaderförmiges, verschließbares Packmittel in verschiedenen Bauarten, Ausführungen und Lieferformen. Die Benennung Karton soll dabei nach [DIN 55405] für Schachtel nicht verwendet werden.

Für alle aufgeführten Packmittel existieren weiterführende Bezeichnungen, welche unterschiedliche Bauformen differenzieren (z. B. Faltschachtel, Vollpappekiste).

In der [DIN 55405] sind Trays nicht eindeutig definiert und werden allgemein den Tablets zugeordnet. Die Begriffsanwendung ist also nicht immer eindeutig. Allgemein werden heute unter Trays Packmittel verstanden, die mehrere Packstücke zusammenfassen und die praktisch sofort als Verkaufsverpackung in das Ladenregal gestellt werden können. Sie bestehen in der Regel aus Pappe. Ähnliche Packmittel aus Pappe mit runden, oben angeordneten Öffnungen zur Aufnahme von beispielsweise Joghurtbechern, die früher

ebenfalls unter Trays gefasst wurden, werden heute wiederum als Steigen bezeichnet, obwohl sie nicht im eigentlichen Sinn stapelbar sind (die Stapelung erfolgt stattdessen auf den Packgütern selbst). Diese Tatsache ist vermutlich auf die charakteristische Form zurückzuführen.

Ebenfalls werden offene Kunststoffkästen auch als Kunststoff- oder Mehrwegbehälter bezeichnet, obwohl die Terminologie gemäß [DIN 55405] als Behälter *ein Packmittel für ein ganz zu umschließendes Füllgut* versteht.

In Mehrwegsystemen sind *nestbare* Behälter, die bei der Leergutrückführung ein wesentlich geringeres Volumen einnehmen (vgl. Abbildung 2.4). Drehstapelbehälter sind im leeren Zustand durch eine Drehung um 180° nestbar. Andere Behälter werden durch einen klappbaren Bügel oder klappbaren Deckel nestbar. Klappbehälter können durch eine gelenkige Verbindung der Seiten- und Stirnwände zusammengeklappt werden. Es existiert eine große Anzahl verschiedener Mehrwegbehälter. Eine Übersicht gängiger Mehrwegbehälter wird in [LABR95] gegeben.

Eine hohe Bedeutung kommt zudem der Modularisierung der Verpackung zu [DIN 55510]. Da Packstücke/Packungen in der Regel zu Ladeeinheiten und diese wiederum zu Ladungen zusammengefasst werden, sollten Verpackungsmoduln in der Fläche und in der Höhe auf die Abmessungen von Ladehilfsmitteln und Verkehrsmitteln abgestimmt sein. Nach [RGV81, SSRG71] sind solche Moduln entwickelt worden.

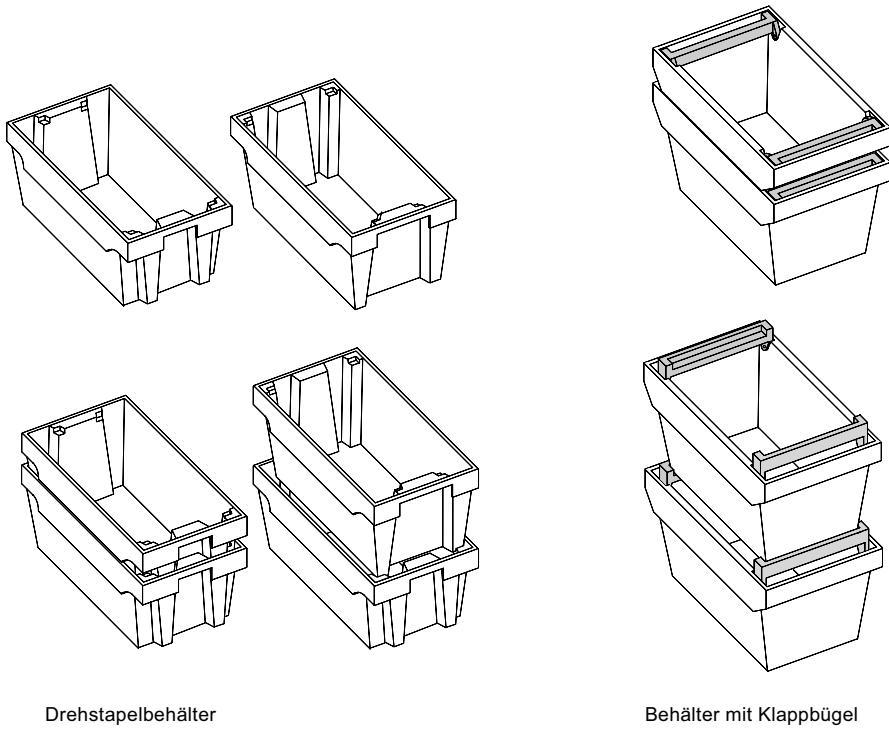
Der international genormte Grundmodul beträgt 400 mm × 600 mm. Auf dieses Maß sind sowohl die Teilflächen nach [DIN 55510] ausgerichtet als auch die Palettenmaße 600 mm × 800 mm, 800 mm × 1.200 mm und 1.000 mm × 1.200 mm. Darüber hinaus sind auch die Binnencontainer und Wechselbehälter auf diese Maße ausgerichtet. In der Höhe tragen die Moduln den maximalen Höhen der Verkehrsmittel Rechnung. Dabei wird oft von einer optimalen Stapelhöhe von 1.800 mm ausgegangen. Nur so können raum- und flächensparende Ladeeinheiten und Ladungen gebildet werden. Seit 1985 existieren die Empfehlungen zu Palettenladehöhen<sup>1</sup> CCG I (1.050mm) und CCG II (1.500-1.950 mm) (vgl. Abb. 2.5). Aber auch für den universellen Einsatz von Verpackungsmaschinen und Handhabungsmitteln ist eine Modularisierung der Verpackung unverzichtbar. Ähnliches gilt für die Einhaltung von Toleranzen, die insbesondere für automatisierte Materialflusslösungen elementar sind.

### 2.3.5 Packhilfsmittel

Unter die Gruppe der Packhilfsmittel fallen weitere notwendige Mittel, um einen Transport durchzuführen. Eine Kategorie wird von den Verschließhilfsmitteln gebildet, deren Aufgabe es ist, die Verpackungen sicher zu verschlie-

---

<sup>1</sup> Beschlossen wurden diese durch die damalige *Centrale für Coorganisation*, welche durch die heutige Standardisierungsorganisation *Global Standard 1 Germany (GS1)* ersetzt wurde.



**Abbildung 2.4.** Nestbare Behälter

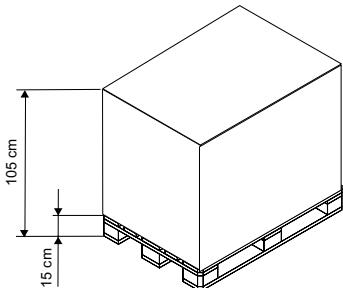
ßen. Hierunter fallen zum Beispiel Heftklammern und Klebeband. Bandrollen, Etiketten und Warnzettel fallen unter die Kategorie der Auszeichnungs-, Kennzeichnungs- und Sicherungshilfsmittel, welche für einen Warentransport unerlässlich sind. Schutzhilfsmittel sind in den Bereich der Gefahrenvermeidung und Transportgutsicherungsmittel einzuordnen. Beispiele hierfür sind Flammenschutzhilfsmittel oder Trockenmittel.

### 2.3.6 Mehrwegsysteme

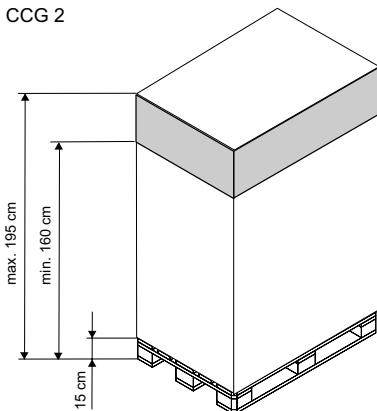
Wie bereits angesprochen, nahmen die Mehrwegsysteme aufgrund der Verpackungsverordnung, deren oberstes Ziel die Abfallvermeidung ist, erheblich an Bedeutung zu (vgl. S. 5). Im einfachsten Falle wird ein Mehrwegsystem zwischen nur einem Aufkommen (Quelle) und einem Bedarf (Senke) betrieben (vgl. Abbildung 2.6 a). Ein solches System kann innerhalb eines Werkes bzw. mehrerer Standorte eines Unternehmens oder zwischen Herstellern bzw. Verlndern und Kunden aufgebaut werden. Diese Systeme sind zwar einfach zu kontrollieren, erfordern aber zwangsläufig ein Zurückführen aller leeren Behälter zur Quelle, was natürlich ökologisch und ökonomisch sehr nachteilig ist. Deshalb haben sich in verschiedenen Bereichen sog. Poolsysteme

Empfohlene Ladungs- und Ladehöhen		
Höhen (Maße in mm)	CCG I	CCG II
Ladungshöhe	900	1.450-1.800
Palettenhöhe	150	150
Ladehöhe	1.050	1.600-1.950

CCG 1



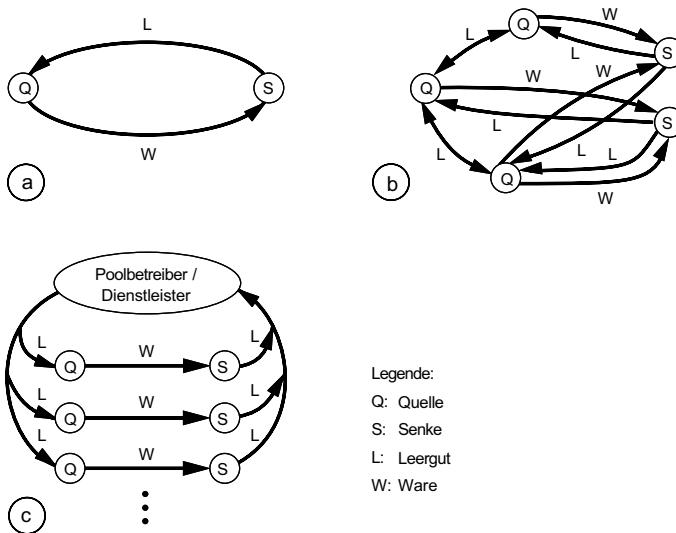
CCG 2

**Abbildung 2.5.** Empfohlene Ladehöhen nach CCG

establiert, an denen mehrere Hersteller (Quellen) und Kunden (Senken) partizipieren (vgl. Abbildung 2.6 b). Dabei bringt jeder Teilnehmer in der Regel ein bestimmtes Kontingent an Behältern oder auch Ladehilfsmitteln ein, auf das er den poolspezifischen Regelungen entsprechend zugreifen kann. Im verstärkten Maße treten in den letzten Jahren auch Dienstleister auf, die ihren Kunden Mehrwegbehälter u. a. auf eine umlaufbezogene Benutzung in Rechnung stellen (vgl. Abbildung 2.6 c). In diesen Systemen ist der Versender nur für den Transport zum Kunden verantwortlich, die übrigen Tätigkeiten wie Leerbehälterrückführung, -reinigung, -lagerung und -reparatur übernimmt der Dienstleister. In [LABR95] sind unterschiedliche Organisationsformen detailliert vorgestellt.

### 2.3.7 Verpackungsmaschinen

Maschinen, die zum Verpacken gehörende Vorgänge ausführen, heißen *Verpackungsmaschinen*. Hierzu gehören die vorgelagerten Vorgänge wie Auspacken, Abräumen und Vereinzeln. Die Hauptvorgänge sind das Füllen, Verschließen und Einschlagen. Vorgänge wie Kennzeichnen, Ausstatten, Sichern



**Abbildung 2.6.** Organisationsformen von Mehrwegsystemen

sowie das Endverpacken sind nachgelagerte Vorgänge. Formmaschinen, Aufrichtmaschinen, Füllmaschinen und Maschinen für vor- und/oder nachgeschaltete Vorgänge, die mit dem Verpackungsvorgang in Verbindung stehen, zählen ebenfalls zu den Verpackungsmaschinen. Nicht in diese Aufzählung gehören dagegen Maschinen, die Packmittel oder Packhilfsmittel herstellen. Verpackungsmaschinen sind zumeist für hohe Stückzahlen dimensioniert. Nach [DILI85] werden Verpackungsmaschinen nach technologischen und funktional-technischen Gesichtspunkten klassifiziert. Eine technologische Einteilung erfolgt in drei Hauptgruppen:

- Maschinen zum Herstellen von Verbraucherverpackungen (also Verpackungen, die in dieser Form direkt zum Verbraucher gelangen),
- Maschinen zum Herstellen von Transportverpackungen (Verpackungen, die nur für den Transport der Güter notwendig sind) und
- Maschinen zum Herstellen von Ladeeinheiten.

Eine funktional-technische Einteilung orientiert sich an den fünf Maschinenarten [DILI85]:

- Form-Maschinen
- Füll-Maschinen
- Verschließ-Maschinen
- Füll-Verschließ-Maschinen
- Form-Füll-Verschließ-Maschinen

Diese Maschinenarten treten hauptsächlich in den ersten beiden Hauptgruppen der technologischen Einteilung auf. Einen umfassenden Überblick der unterschiedlichen Geräte liefert [BUCH96].

## 2.4 Ladeeinheitenbildung

### 2.4.1 Ladeeinheiten und Ladehilfsmittel

Um das Umschlagen, Transportieren und Lagern von Stückgütern effizienter zu gestalten, werden Packstücke zu Ladeeinheiten zusammengefasst. Das Zusammenstellen mehrerer Güter zu einer Ladeeinheit ist in der Regel dann sinnvoll, wenn die Abmessungen oder Gewichte der einzelnen Stückgüter gering sind oder die Anzahl der Stückgüter sehr groß ist. Wie aus Abbildung 2.1 hervorgeht, ergeben sich aber auch andere Möglichkeiten.

Obwohl das Bilden der Ladeeinheiten einen zusätzlichen Prozess in der Materialflusskette und damit einen entsprechend höheren Aufwand darstellt, weist dies jedoch wesentliche Vorteile gegenüber der Handhabung einzelner Packstücke auf. Diese liegen im rationellen Umschlag innerhalb der Transportkette durch die Bildung größerer Stückgüter, in der kostengünstigen Einsetzbarkeit von Lager-, Transport- und Handhabungsmitteln sowie insgesamt in der Materialflusskostenreduzierung und Lieferserviceerhöhung.

Beim Einsatz mechanisierter und automatisierter Materialflussmittel ist für die problemlose Funktion eine einheitliche Schnittstelle zwischen Stückgut und Materialflussmittel erforderlich. Da das Gutspektrum z. T. höchst unterschiedlich ist, wird erst durch den Einsatz von Ladehilfsmitteln diese Schnittstelle geschaffen. Hiermit findet eine relativ einfache Anpassung der Güter an die Materialflussmittel statt, um kostspielige Sonderkonstruktionen zu vermeiden. Weiterhin bietet der Einsatz geeigneter Ladehilfsmittel oder Ladeeinheitensicherungsmittel wirksamen Schutz gegen Diebstahl, Transportschäden und sonstige Beanspruchungen. Die Identifizierung größerer Mengen wird erheblich vereinfacht. Außerdem wird ein effizienterer Packmittel-einsatz ermöglicht.

Aufgrund dieser Eigenschaften kommen heute in den meisten Fällen Ladehilfsmittel, z. B. Paletten als tragende Elemente, in logistischen Systemen zum Einsatz und zwar ungeachtet dessen, ob auf diesen eine Ladeeinheit gebildet wird oder nicht. Lediglich bei Gütern, die besondere Abmessungen oder Gewichte aufweisen, wird z. T. darauf verzichtet. Die Ladehilfsmittel lassen sich in drei Gruppen klassifizieren, nämlich in Ladehilfsmittel mit tragender, umschließender und abschließender Funktion. Tragende Ladehilfsmittel unterstützen das Ladegut lediglich von unten. Umschließende Ladehilfsmittel stützen bzw. sichern es zusätzlich von der Seite und sind zumeist stapelbar. Abschließende Ladehilfsmittel bieten schließlich eine allseitige Umrandung. Nahezu alle Ladehilfsmittel sind unterfahrbar ausgeführt, so dass sie bei-

spielsweise mit Hilfe von Gabelzinken unproblematisch vom Boden oder aus einem Regalfach aufgenommen werden können.

Die Auswahl der richtigen Ladehilfsmittel ist für den gesamten Materialflussprozess von entscheidender Bedeutung, da sie alle beteiligten Teilprozesse massiv beeinflusst. Die Eignung von Lager- und Transportsystemen für eine gegebene Aufgabe wird so unmittelbar bestimmt. Beispielsweise können Gitterboxen zwar gut in einem Bodenblocklager gestapelt werden, für die meisten Stetigförderer sind sie jedoch ungeeignet.

#### **2.4.2 Tragende Ladehilfsmittel**

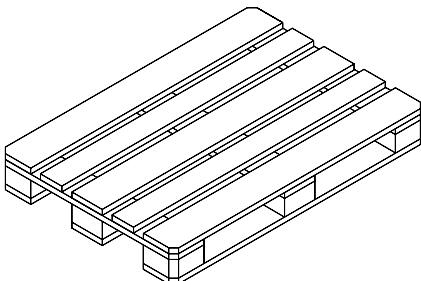
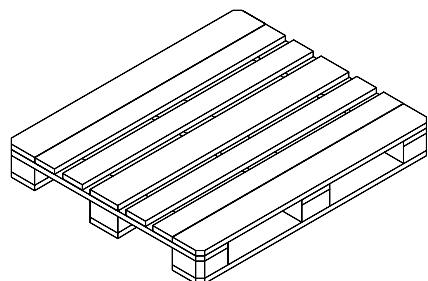
Paletten mit tragender Funktion sind in vielfältigsten Formen (Flachpalette, Rungenpalette, Rollpalette), Abmessungen ( $1.000\text{ mm} \times 1.200\text{ mm}$ ,  $800\text{ mm} \times 1.200\text{ mm}$ ,  $600\text{ mm} \times 800\text{ mm}$ ,  $400\text{ mm} \times 600\text{ mm}$ ) und aus unterschiedlichen Materialien (Holz, Kunststoff, Metall) bekannt (vgl. [DIN 15145]). Am häufigsten sind in Deutschland die Europalette aus Holz mit den Abmessungen  $800\text{ mm} \times 1.200\text{ mm}$  (vgl. Abbildung 2.7) und die Chemiepalette mit den Abmessungen  $1.000\text{ mm} \times 1.200\text{ mm}$  (vgl. Abbildung 2.8) verbreitet. Im Handel wird auch die so genannte Düsseldorfer Palette mit den Abmessungen  $600\text{ mm} \times 800\text{ mm}$  eingesetzt.

Die Europaletten (Europoolpaletten) als meist verbreitete Ladehilfsmittel sind genormte, mehrwegfähige Transportpaletten mit den Maßen  $1.200\text{ mm} \times 800\text{ mm} \times 144\text{ mm}$ , das Eigengewicht variiert zwischen 20 und 24 kg. Die Möglichkeit, die Palette von allen vier Seiten mit allen Standard-Fördermitteln zu be- und entladen, gibt dieser die Bezeichnung Vierwegpalette. Die Europoolpalette ist nach dem Internationalen Eisenbahnverband (UIC-Norm 435-2) genormt und entspricht den Vorgaben des Europäischen Paletten-Pools, dessen Marke auf jeder Palette abgebildet ist. Unbeschädigte Paletten sind Teil eines europaweiten Tauschsystems, so dass diese mehrmals verwendet werden können. Paletten sind für folgende Gewichte ausgelegt:

- 1.000 kg (Nennlast), wenn die Last beliebig auf der Palettenoberfläche verteilt ist,
- 1.500 kg, wenn die Last auf der Palettenoberfläche gleichmäßig verteilt ist und
- 2.000 kg, wenn die Last in kompakter Form vollflächig und gleichförmig auf der gesamten Palettenoberfläche aufliegt.

Alle Elemente im Materialflusssystemen sind auf die Grundmaße der Europalette abgestimmt.

Die Stapelbarkeit von Flachpaletten wird im Wesentlichen durch Beschaffenheit und Form des Gutes bestimmt. Auf Flachpaletten werden palettierte Ladeeinheiten, sofern das Ladegut dazu geeignet ist, üblicherweise bis zu vierfach übereinander gestapelt. Die gängige Stapelhöhe auf der Ladeeinheit beträgt dabei entsprechend CCG I und CCG II 1.050 mm und 1.600 bis

**Abbildung 2.7.** Europalette**Abbildung 2.8.** Chemiepalette

1.950 mm. Sofern sie geringer beladen sind, können sie auch entsprechend häufiger übereinander gestapelt werden. Eine staudrucklose Stapelung wird ferner durch separate Aufsetzgestelle ermöglicht. Flachpaletten der Abmessungen 600 mm × 800 mm, 800 mm × 1.200 mm und 1.000 mm × 1.200 mm sind in [DIN 15141] sowie [DIN 15146] genormt. Die Richtlinien beinhalten neben den exakten Abmessungen auch Werkstoffangaben und Gütebestimmungen, welche den Einsatz dieser Ladehilfsmittel in automatisierten Systemen ermöglichen.

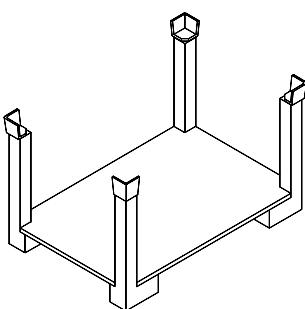
Rungenpaletten nach [DIN 15142], auch als Stapelgestelle bezeichnet, sind Flachpaletten mit festen oder losen Stützen. Die Stützen oder Rungen, die zumeist an den Ecken angeordnet sind, erlauben eine stapeldrucklose Stapelung von Gütern (vgl. Abbildung 2.9). Dabei sind die Rungen mit Fangecken ausgerüstet, so dass der Stapelvorgang vereinfacht wird und sich stabile Stapel bilden. Rungenpaletten werden bis zu fünffach übereinander gestapelt.

Rollpaletten sind Flachpaletten mit Rolluntersätzen (vgl. Abbildung 2.10), die u. a. oftmals in Durchlauf- und Einschubregallägern Verwendung finden (vgl. Abschn. 3.4.3). Die Rollen sind im Allgemeinen nicht drehbar montiert. Die Rollpaletten sind bislang nicht genormt, aber für die Aufnahme anderer genormter Ladehilfsmittel und Güter in der Regel geeignet.

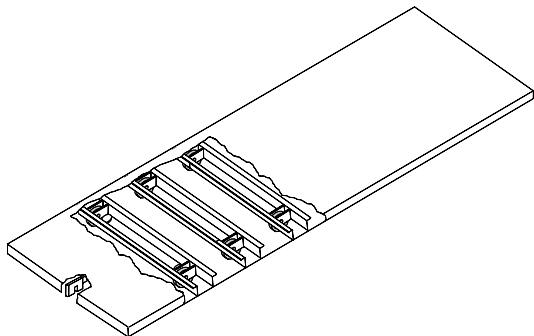
Luftfrachtpaletten bestehen aus Aluminiumblechen, die an den Rändern so gestaltet sind, dass sich Netze und andere Hilfsmittel zur Ladeeinheitenicherung befestigen lassen.

Als Einwegpaletten oder auch verlorene Paletten werden Paletten bezeichnet, die zu einer einmaligen Verwendung vorgesehen sind. Dagegen beschreiben die Bezeichnungen Zweiweg- oder Vierwegpalette die Einfahrmöglichkeiten des Lastaufnahmemittels in eine Palette. Zweiweg-Paletten erlauben die Lastaufnahme von zwei gegenüberliegenden Seiten, Vierweg-Paletten eine allseitige Lastaufnahme. Diese Bezeichnungen gelten analog für umschließende Ladehilfsmittel.

Bei Einsatz von Paletten muss insbesondere bei automatisierten Materialflusssystemen schon beim Wareneingang auf den ordnungsgemäßen Zustand



**Abbildung 2.9.** Rungenpalette



**Abbildung 2.10.** Rollpalette

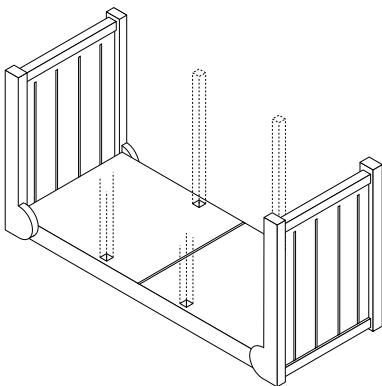
der angelieferten Paletten geachtet werden, um so Störungen, beispielsweise das Verklemmen einer beschädigten Holzpalette in einem Durchlaufregallager, von vornherein zu vermeiden.

Ein Flat, auch Flach-Container genannt, ist eine offene Transportplattform, die hauptsächlich für den außerbetrieblichen Transport von großvolumigen und unempfindlichen Stückgütern Verwendung findet (vgl. Abbildung 2.11). Ein Flat besitzt in der Regel ISO-Container-Abmessungen (10, 20, 30 und 40 Fuß Länge und 2.438 mm Breite) [ISO 668]. Er wird mit zusammenlegbaren, festen oder ohne Aufbauten verwendet [VDI 2411]. Die Aufbauten ermöglichen die Stapelung der Flats. Sie stellen eine Sonderform der Rungenpalette dar.

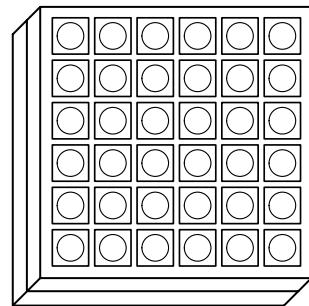
Werkstückträger werden häufig für den innerbetrieblich Transport zwischen Fertigungsmaschinen eingesetzt. Die nicht stapelbaren Werkstücke werden dabei durch angepasste Mulden und Vorrichtungen geordnet bereitgestellt (vgl. Abbildung 2.12). Werkstückträger werden in jüngster Zeit vermehrt in modularen, oftmals genormten Abmessungen angeboten (800 mm × 1.200 mm, 600 mm × 800 mm und 400 mm × 600 mm) und sind häufig stapelbar ausgeführt.

#### 2.4.3 Umschließende Ladehilfsmittel

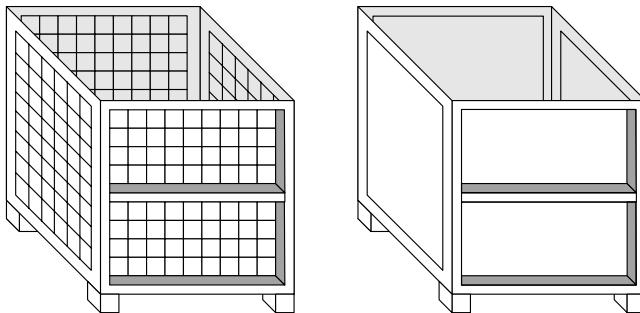
In Boxpaletten werden gewöhnlich nicht stapelbare Kleingüter gelagert. Gängige Bauformen sind die Gitterboxpalette und die Vollwandboxpalette (vgl. Abbildung 2.13). Wie die Rungenpaletten verfügen sie über Füße und Fangrücken, Aufsetzrahmen oder Aufsetztaschen, die eine fünffache Stapelung erlauben. Gitterboxpaletten nach [DIN 15155] besitzen drei feste Gitterwände und eine abnehmbare Vorderwand, die geteilt ist und den Zugriff im Stapel ermöglicht. Ihre Abmessungen entsprechen denen der Flachpalette (800 mm × 1.200 mm und 1.000 mm × 1.200 mm). Sie sind in jedem Falle stapelbar und bei Verwendung geeigneter Anschlagmittel (z. B. Traversen) auch kran-



**Abbildung 2.11.** Flat (20 Fuß)



**Abbildung 2.12.** Werkstückträger

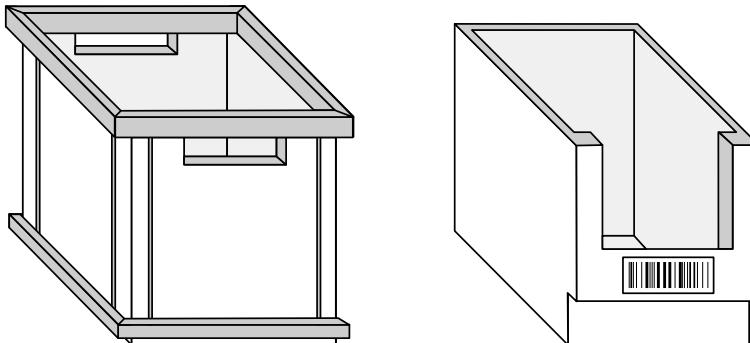


**Abbildung 2.13.** Gitterboxpalette und Vollwandboxpalette

bar. Vollwandboxpaletten umschließen ihren Inhalt dicht, da die Wände nicht aus einem Gitter, sondern aus vollen Platten bestehen. Für die Aufnahme von Warmgut werden Vollwandboxpaletten mit gelochten Wänden eingesetzt. Die Boxpaletten besitzen aufgrund ihrer Umwandlung über das Modulmaß hinausgehende Abmessungen. Bei der Beladung von z. B. Lkw-Ladeflächen ergeben sich z. T. nur sehr geringe Flächennutzungsgrade.

Paletten mit faltbarem Aufsetzrahmen (vgl. Abbildung 2.15) besitzen ähnliche Charakteristika wie Gitterboxpaletten, sie sind also auch stapelbar. Vorteilhaft ist der auf Palettenmaße (in der Regel 800 mm × 1.200 mm) abgestimmte, faltbare Aufsetzrahmen, der beim Leertransport einen wesentlich geringeren Raum einnimmt.

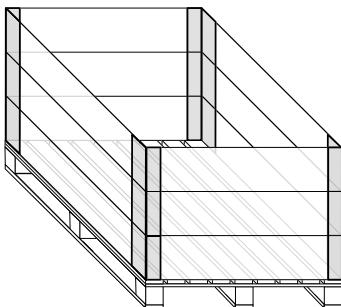
Behälter sind ebenfalls umschließende Ladehilfsmittel, die häufig in Form von Kunststoffbehältern oder Lagersichtkästen (vgl. Abbildung 2.14) in der Lager- und Fördertechnik eingesetzt werden (vgl. Abschn. 3.4.2: Statische Regallagerung - Behälterlager, S. 67). Auf Modulreihen aufbauende Behälterklassen spielen eine äußerst wichtige Rolle bei der Gestaltung eines logistikgerechten Materialflusses. Ihnen wird daher in fortschrittlichen Logistikkonzepten



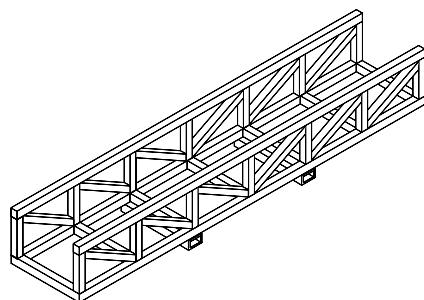
**Abbildung 2.14.** Behälter: Kleinladungsträger (KLT, links) und Lagersichtkasten

ten eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Sie stellen gerade in intralogistischen Systemen das meist verbreitete Ladehilfsmittel dar. Eine besondere Rolle nehmen standardisierte Kleinladungsträger (vgl. Abb. 2.19) für die manuelle und automatische Handhabung ein. Grundlegende Eigenschaften wie Abmessungen, Gewicht und Werkstoff der Kleinladungsträger (KLT) sind nach VDA und ISO genormt (z. B. VDA-Norm 4500, [DIN EN 13199-1]). Es gibt eine Vielzahl von genormten KLT-Größen von 5 bis 48 Liter Inhalt, mit bis zu 50 kg Nutzlast und 200 mm × 300 mm bis 400 mm × 600 mm Grundfläche bei 140 mm bis 280 mm Höhe. Derzeit beträgt der Umlaufbestand mehr als 26 Mio. VDA-KLT. Die einzelnen KLT sind Teile eines Behältersystems, welches die Grundlage für einen Tauschkreislauf bildet. Insbesondere in der Automobilindustrie werden diese Spezialbehältersysteme verwendet, hierbei ist ein nahtloser Materialfluss unabdingbar. KLT dürfen aufgrund der hohen Anforderungen weder beklebt, in ihrer Farbgebung verändert, bespritzt oder in einer anderen Art und Weise in ihren Eigenschaften verändert werden. Die KLT können sowohl horizontal als auch vertikal durch die Eingriffsnuten an den Wänden automatisiert gehandhabt werden, besitzen integrierte Tragegriffe und Grifflöcher für Roboter. KLT besitzen nach VDA genormte Kartentaschen (Kennzeichnungsträger) für die Befestigung von Odette-Etiketten und in ihrer Position fest bestimmte Felder für die Anbringung von Barcodes. Polypropylen als Material der KLT ist äußerst robust, unempfindlich gegen die meisten Öle, Säuren und Laugen und temperaturbeständig zwischen -20 und +100 °C. KLT gewährleisten eine gute Stapelfähigkeit auf Europaletten. Ein Verrutschen oder Kippen wird durch Rippen auf dem Behälterboden und Stapelfüße verhindert. Die glatten Behälterinnenräume sind leicht zu reinigen.

Im Bereich des Einzelhandels werden Rollbehälter nach [DIN 30790] eingesetzt, um einen einfachen Umschlag an den Verkaufsstellen, die in der Regel über keine fördertechnischen Anlagen verfügen, zu gewährleisten. Sie bestehen aus einer Rollplatte mit jeweils zwei Bock- und zwei Lenkrollen und



**Abbildung 2.15.** Palette mit faltbarem Aufsetzrahmen



**Abbildung 2.16.** Langgutkassette

zwei Aufsteckwänden in Form eines Gitters, die über Spanneinrichtungen zusammengehalten werden. Die Außenmaße betragen 810 mm × 670 mm bzw. 810 mm × 720 mm in der Grundfläche und 1.350 mm (Vorzugsmaß) oder 1.450 mm in der Höhe.

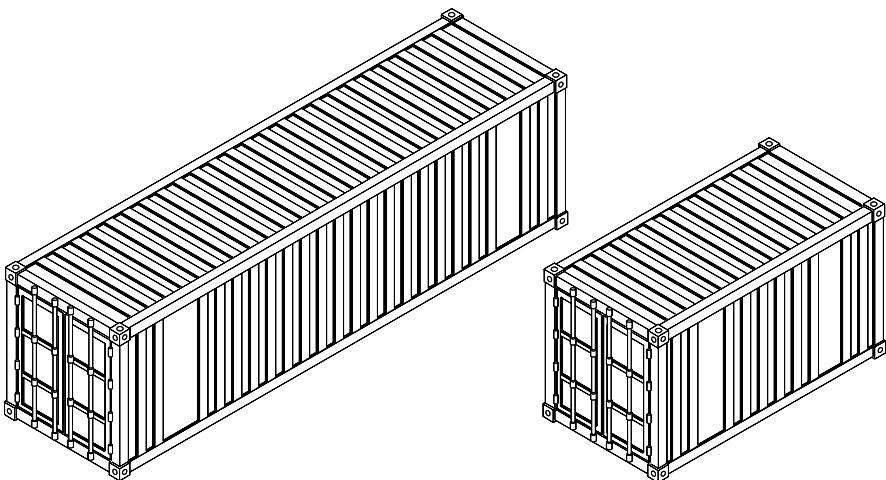
Eine Corlette ist ein Rollbehälter aus der Möbelbranche. Er ist vierseitig mit Gittern versehen und hat größere Abmessungen als z. B. eine Palette, um ganze Möbelstücke (z. B. eine Sitzgarnitur) aufnehmen und transportieren zu können.

Zur Aufnahme von Langgut werden Langgutkassetten oder -wannen verwendet (vgl. Abbildung 2.16). Langgutkassetten, die den Rungenpaletten ähnlich sind, stützen das Lagergut aufgrund seiner Geometrie in jedem Fall seitlich ab und zählen daher auch zu den umschließenden Ladehilfsmitteln. Die Langgutkassette ist durch entsprechende Aufnahmen stapelbar. Langgutwannen dienen zur effizienten Lagerung von Langgut in Kragarmregalen (vgl. Abschn. 3.4.2, S. 77) und sind nicht stapelfähig ausgeführt.

#### 2.4.4 Abschließende Ladehilfsmittel

Das universellste und durch die Globalisierung der Warenströme aus der Logistik nicht mehr wegzudenkende Ladehilfsmittel ist der Container. Er ist ein Frachtbehälter für den dauerhaften Einsatz [VDI 2411, ISO 668]. Man unterscheidet je nach Rauminhalt Klein-, Mittel- und Großcontainer. Großcontainer können bis zu 14 Europaletten in einer Ebene aufnehmen, wobei Paletten- und Containermaße i. Allg. nicht modular aufeinander aufbauen. Container werden in den unterschiedlichsten Bauformen für den Stück- und Schüttguttransport angeboten.

ISO-Container sind für den internationalen (See-)Verkehr vorgesehen und bei dem Transport mit Schiffen, Schienen- und Straßenfahrzeugen weltweit im Einsatz (vgl. Abbildung 2.17). ISO-Container sind in der [ISO 668] genormt und besitzen eine einheitliche Breite und Höhe von 2.438 mm (8 Fuß) bei einer Länge von 10, 20, 30, 40 oder 45 Fuß. Eine überhohe Variante ist der



**Abbildung 2.17.** ISO-Container, 40 Fuß und 20 Fuß

40-Fuß-High-Cube-Container mit einer Höhe von 2.900 mm (9 Fuß und 6 Zoll).

Zu nahezu gleichen Teilen von ca. 40 % werden der 40-Fuß-Container und der 20-Fuß-Container mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 30.480 kg (40 Fuß) bzw. 20.320 kg (20 Fuß) eingesetzt. Darauf folgen mit jeweils 5 % Anteil an der Gesamtzahl der 40-Fuß-High-Cube-Container, der 40-Fuß-Kühlcontainer und der 20-Fuß-Open-Top-Container.

ISO-Container sind für den Vertikalumschlag ausgelegt. Zu diesem Zweck sind sie mit so genannten Eckbeschlägen versehen, in welche die Verschlusszapfen (Twist-Locks) der Lastaufnahmemittel einfahren. Über diese Eckbeschläge, die entsprechend stabil ausgeführt sind, stützt sich der Container auch auf dem Boden oder im Stapel ab, so dass die Außenhülle des Containers weitgehend unbelastet ist.

Die für die Lastaufnahme eingesetzten Ladegeschirre oder Spreader sind weltweit auf die maximale Containerlänge von 12,2 m (40 Fuß) ausgelegt, damit ist auch der maximale Abstand der Eckbeschläge vorgegeben. Bei Containerdimensionen, die über dieses Maß hinausgehen, müssen die Eckbeschläge nach innen gezogen werden, reichen dann allerdings in den Laderaum hinein. Festzuhalten bleibt, dass Container aufgrund ihrer Abstützung über vier Eckbeschläge für den horizontalen Umschlag denkbar ungeeignet sind. Die ISO-Container besitzen nur eine Hecktür.

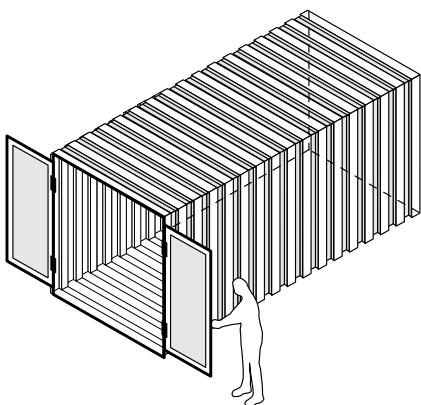
Als Angabe der Transporteinheit hat sich die TEU (Twenty Feet Equivalent Unit) etabliert, die einen Container als Äquivalent eines 20-Fuß-Containers bezeichnet. Ein 40-Fuß-Container entspricht damit 2 TEUs. Die Maße der ISO-Container wurden in den USA geprägt. Die eingeführte Breite von 8 Fuß entspricht der Vorgabe der US-amerikanischen Straßenverkehrs-

**Tabelle 2.4.** Problematik der fehlenden Abstimmung von Abmessungen

Fehlende Abstimmung der Abmessungen von Ladeeinheiten						
	Außenmaße (mm)	Lichte Innenmaße (mm)	Maximale Palettenanzahl			
	Länge x Breite	Länge x Breite	800 mm x 1.200mm	Flächennutzungsgrad (%)	1.000 mm x 1.200 mm	Flächennutzungsgrad (%)
Binnencontainer	12.192 x 2.500 6.058 x 2.500	12.000 x 2.440 5.900 x 2.440	28 14	93,7 95,3	22 10	22 10
ISO-Container	12.192 x 2.438 6.058 x 2.438	11.998 x 2.330 5.867 x 2.330	24 11	93,7 95,3	21 10	91,8 89,4
Wechselbehälter	12.192 x 2.500 6.058 x 2.500	12.000 x 2.440 5.900 x 2.440	28 14	93,7 95,3	22 10	22 10
LKW-Anhänger	8.300 x 2.500	8.200 x 2.425	20	98,6	16	98,3
LKW-Sattelanhänger	12.500 x 2.500	12.400 x 2.425	30	97,8	24	97,5

ordnung zur zulässigen Fahrzeugbreite. Bei Beladung mit den in Europa üblichen Palettenmaßen von 800 mm × 1.200 mm oder 1.000 mm × 1.200 mm ergibt sich aber eine sehr schlechte Flächennutzung (vgl. Abb. 2.4), weil die Innenbreite der ISO-Container weniger als 2.400 mm beträgt.

Nicht zuletzt vor diesem Hintergrund wurde der Binnencontainer für den europaweiten Transport auf Schiene und Straße entwickelt (vgl. Abbildung 2.18, [DIN 15190]). Er besitzt bei 2.500 mm Außenbreite eine lichte Innenbreite von 2.440 mm, so dass zwei Euro- oder Chemiepaletten quer oder drei Europaletten längs verstaut werden können (die Vorgaben der Straßenverkehrsordnungen in Europa sind diesbezüglich etwas vorteilhafter). Somit können 14 Europaletten in einer Ebene transportiert werden. In der Länge wurden die Maße des Binnencontainers den Maßen der ISO-Container angepasst (20 und 40 Fuß), um sie mit den gleichen Umschlagmitteln wie die ISO-Container handhaben zu können. Die Eckbeschläge entsprechen denen der ISO-Container. Die Höhe beträgt 2.600 mm. Die Flächennutzung wird dadurch zwar erheblich verbessert, ist aber durch die fehlende Kompatibilität zu den Verpackungsmodulen nicht optimal. Binnencontainer besitzen im Gegensatz zu ISO-Containern neben der Hecktür eine oder mehrere Seitentüren und sind daher einfacher zu beladen. Sie können bis zu dreifach gestapelt werden. Binnencontainer können zusätzlich mit Greifkanten zur Lastaufnahme mit Greifzangen o. ä. sowie mit Gabeltaschen zur Lastaufnahme mit Gabelzinken



**Abbildung 2.18.** Binnencontainer (20 Fuß)



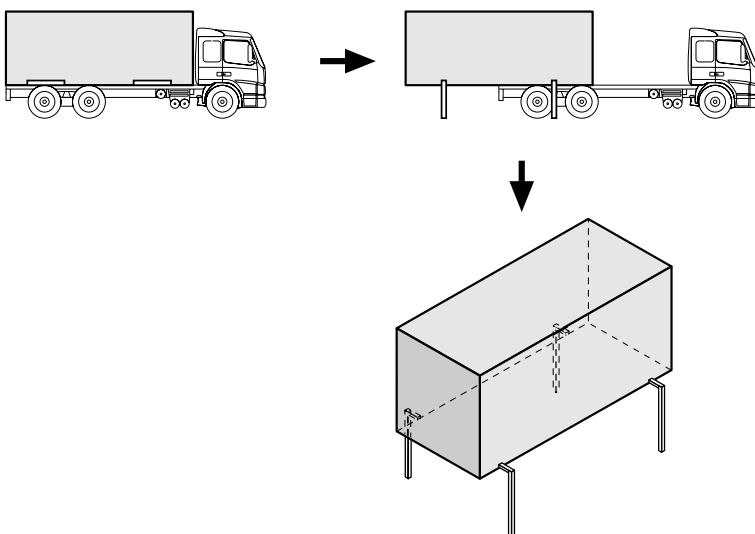
**Abbildung 2.19.** KLT-Behälter [Foto: [Viastore]]

versehen werden. Zusätzlich können sie mit Stützbeinen zwecks Unterfahrbarkeit ausgestattet werden.

Wechselaufbauten sind Ladehilfsmittel, die direkt von Verkehrsmitteln, in der Regel Lastkraftwagen, aufgenommen werden können (vgl. Abbildung 2.20). Sie werden im Speditionsbereich sowie im Kombinierten Verkehr Schiene/Straße eingesetzt. Dabei werden die Wechselaufbauten von den Lkw unterfahren und können u.a. durch eine Hubeinrichtung auf der Ladefläche aufgenommen bzw. abgesetzt werden. Der Umschlag im Schienengüterverkehr erfolgt über Krane und entsprechende, seitlich unter die Wechselaufbauten greifende Spreader. Durch den Einsatz von Wechselaufbauten ist der direkte Umschlag der Ladeeinheit von einem Verkehrsmittel auf ein anderes ohne Be- und Entladung der Güter möglich. Die Wechselaufbauten sind im Wesentlichen auf die Bedürfnisse des Straßenverkehrs ausgerichtet und besitzen eine Breite von max. 2.500 mm. Geschlossene Wechselaufbauten werden als Wechselbehälter bezeichnet und sind nach [DIN EN 283, DIN EN 284, DIN EN 452] genormt. Die Längenabmaße liegen zwischen 7.150 mm und 13.600 mm. Die Höhe beträgt max. 2.670 mm. Bei den Wechselbehältern ergeben sich somit erheblich bessere Flächenutzungsgrade bei Verwendung der in Europa eingesetzten Paletten.

Die maximal zulässigen Gesamtgewichte betragen 16 t für 7.150 mm-Wechselbehälter und 34 t für 13.600 mm-Wechselbehälter, allerdings muss berücksichtigt werden, dass das maximale Gesamtgewicht im Straßenverkehr für Fahrzeuge, die im Kombinierten Verkehr agieren, 44 t beträgt, so dass das maximale Gesamtgewicht eines Fahrzeuges in der Realität wohl selten erreicht wird. Wechselbehälter sind nicht stapelfähig.

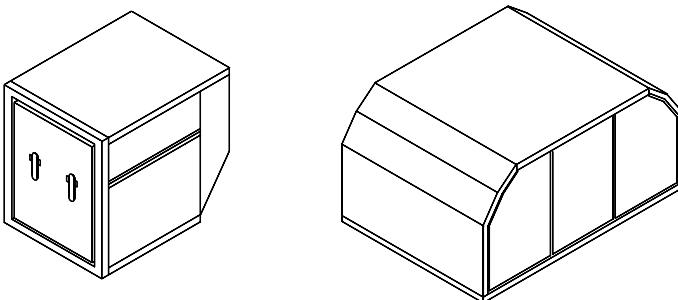
Wie bereits angesprochen, existieren bis zur heutigen Zeit noch keine durchgängig modularisierten Abmessungen für Paletten, Binnen- und ISO-



**Abbildung 2.20.** Wechselbehälter

Container, Wechselbehälter, Lkw- sowie Eisenbahnwaggonladeflächen. So ergibt sich bei der Beladung eines 40-Fuß-Binnencounters mit den maximal möglichen 28 Europaletten lediglich ein Flächennutzungsgrad von 93,7 %. Bei einem 20-Fuß-ISO-Container liegt dieser sogar nur bei 78,9 %. Ähnliche Probleme ergeben sich bei den Abmessungen der Ladeflächen von Lkw oder Eisenbahnwagen. In Tabelle 2.4 sind die Außenmaße und die lichten Innenmaße gängiger Binnen- und ISO-Container sowie Anhänger und Wechselaufbauten dargestellt, wobei bezüglich der maximalen Palettenanzahl und des Flächennutzungsgrades eine Ladetoleranz von 5 mm pro Palettenseite enthalten ist. Die angegebenen Flächennutzungsgrade zeigen die Notwendigkeit einer gegenseitig abgestimmten Modularisierung auf [DIN 55510]. Angesichts der großen Menge der im Umlauf befindlichen Container und Paletten ist aber eine baldige Lösung dieses Problems unwahrscheinlich.

Im Bereich der Luftfahrt gibt es spezielle Lastaufnahmemittel in Form von Paletten und Containern, die als Unit Load Devices (ULD) bezeichnet werden. Luftfrachtcontainer lassen sich in Ableitung der typischen Flugzeugfrachträume in zwei Klassen unterscheiden, die Main-Deck- und die Lower-Deck-Container. Main-Deck-Container sind entweder rechteckig oder an der Oberseite durch Abschrägungen an den Flugzeigrumpf angepasst, Lower-Deck-Container sind dementsprechend an ihrer Unterseite abgeschrägt. Auf Grund der unterschiedlichen Formen bzw. Abmessungen der Flugzeigrümpfe und der zu transportierenden Güter existiert eine Vielzahl in Form und Funktion speziell angepasster ULD, z. B. in Kühlauflösung oder zum Transport von Tieren. Gängige Luftfrachtcontainer sind die 10-Fuß- (2.435 mm × 3.175 mm (B×L)) und 20-Fuß-Main-Deck-Container (2.435 mm × 6.058 mm).



**Abbildung 2.21.** Lower-Deck Container (LD3 und LD7)

( $B \times L$ ) mit einer Höhe von 96 Zoll (2.438 mm) sowie die LD3- (Grundfläche 1.534 mm  $\times$  1.562 mm) und LD7-Lower-Deck-Container.

Alle Luftfrachtcontainer sind in Leichtbauweise konstruiert und bestehen entweder aus Aluminium oder einer Kombination aus Aluminium und Kunststoffen. Die Basisgrößen von Containern und Luftfrachtpaletten sind aufeinander abgestimmt, so dass eine Zusammenladung von Paletten und Containern möglich ist. Die Laderäume der Flugzeuge sind mit Rollteppichen ausgestattet, so dass die Container ohne zusätzliches Fördermittel in die Laderäume geschoben werden können.

#### 2.4.5 Palettierung und Packmustergenerierung

Die im europäischen Warenverkehr gängigste Ladeeinheit ist die auf einer genormten Palette (Euro- oder Chemiepalette) gestapelte Ware. Der Vorgang der Stapelbildung, die so genannte Palettierung, wird entweder manuell durchgeführt oder, bei einer hohen Zahl von geometrisch gleichartigen Gütern, auf Palettiermaschinen, so genannten *Palettierern*.

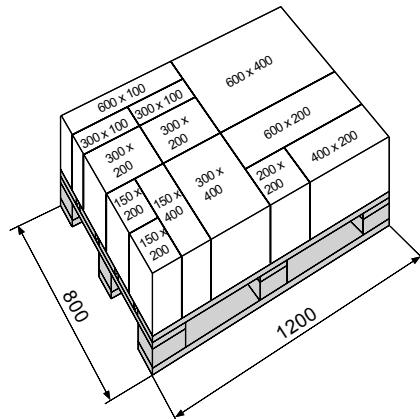
In Abhängigkeit von der Packstückgröße erreichen die Palettierer, die lagenweise das Gut greifen und stapeln, Stundenleistungen von ca. 5.000 Einheiten oder ca. 90 Paletten. Bei geringeren Mengen oder einem größeren Gutspektrum werden auch Palettierroboter, die Behälter einzeln greifen, mit Leistungen von bis zu ca. 500 Paketen pro Stunde eingesetzt.

Wie bereits angesprochen, ist nur mit einer auf das Modulgrundmaß von 400 mm  $\times$  600 mm abgestimmten Packeinheit eine optimale Ausnutzung der Palettengrundflächen der gängigen Palettenmaße 800 mm  $\times$  1.200 mm, 1.000 mm  $\times$  1.200 mm und 600 mm  $\times$  800 mm zu erzielen. Eine beispielhafte Anordnung ist in Abbildung 2.23 dargestellt.

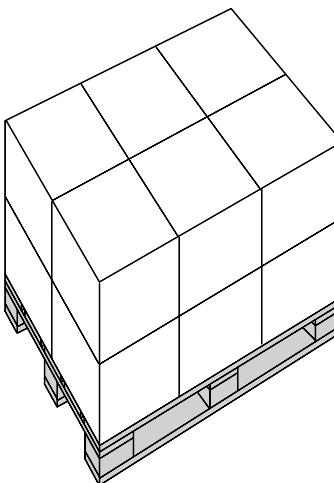
Für die Stabilität der palettierten Einheit ist das Stapleschema von großer Wichtigkeit. Bei der Verbundstapelung werden die einzelnen Lagen um jeweils 180° gedreht gestapelt, so dass sich eine Überlappung der Packstücke in den einzelnen Lagen ergibt, die ein Auseinanderbrechen des Stacks weitgehend verhindert. Wenn aber aufgrund der Bodenform der Packeinheit (z. B.



**Abbildung 2.22.** Verladung von Luftfrachtcontainern [Foto: Dt. Lufthansa AG]



**Abbildung 2.23.** Modular aufgebauter Palette



**Abbildung 2.24.** Säulen- und Verbundstapel

bei einem Getränkekasten) die Verbundstapelung nicht möglich ist, müssen die Packeinheiten in der so genannten Säulenstapelung direkt übereinander gestapelt werden (vgl. Abbildung 2.24).

Automatische Palettierer richten die zugeführten Packstücke mittels Anschlagblechen o. Ä. aus und bilden einzelne Packverbunde, die dann anschließend auf die Palette übergeben werden. Dabei unterscheidet man Vollpalettierer und Lagenpalettierer. Die Vollpalettierer bilden sukzessive eine komplette Ladeeinheit, bevor sie eine weitere, möglicherweise anders aufgebaute Ladeeinheit beginnen. Mit diesen Anlagen werden die maximalen Durchsätze

erzielt, allerdings ist es erforderlich, die gesamte Palettenladung zur Palettierung bereitzuhalten, was sehr große Puffer erfordert. Daneben existieren die Lagenpalettierer, die mehrere Ladeeinheiten gleichzeitig bearbeiten, wobei sie jeweils eine Lage bilden und übergeben. Die erforderliche Pufferlänge entspricht dann der Gesamtlänge der Packstücke einer Lage.

Die Stapelung unregelmäßiger Packstücke lässt sich nur manuell oder mit einem Palettierroboter bewerkstelligen. Die große Schwierigkeit liegt dabei in der effizienten Zusammenstellung der Packstücke bzw. der Packmustergenerierung. Zu diesem Zweck wurden Algorithmen entwickelt, die den Prozess zumeist rechnergestützt vereinfachen (so genannte „Packmustergeneratoren“).

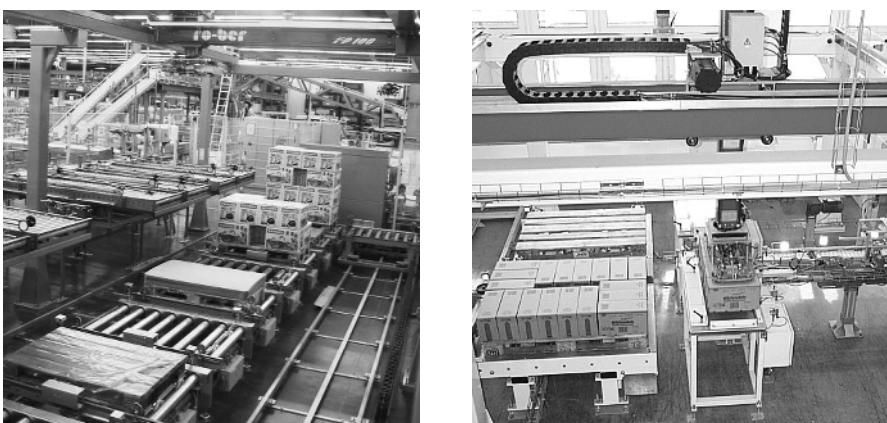
Die Stapelhöhe der Ladeeinheiten wird durch viele Faktoren bestimmt: Anforderungen der Packstücke, der Transport- und Umschlagmittel, der Lagerhaltung, der wirtschaftlichen Bestellmengen, der Haltbarkeit der Güter etc. Allgemeingültige Festlegungen existieren angesichts der vielen, teilweise konträren Anforderungen bis heute nicht. Aus Gründen der Stabilität wird i. d. R. bis ca. 1,05 m hoch (Gesamthöhe inkl. Palette) gestapelt, zur besseren Laderaumausnutzung auf Verkehrsmitteln aber auch bis zu 1,95 m hoch (vgl. hierzu CCG I und CCG II, Abschn. 2.3.4, S. 19). Einen Überblick über unterschiedliche Stapelhöhen und Anforderungen gibt [MERT84]. In vielen Fällen werden palettierte Einheiten in automatischen Systemen gehandhabt, die auf die Modulmaße ausgelegt sind. Ein Überschreiten dieser Abmaße, beispielsweise infolge einer Ausbauchung des Stapels aufgrund des Stauchdrucks, kann sich daher sehr problematisch auswirken. Die Vorgaben der [DIN 55510] berücksichtigen diese Gesichtspunkte lediglich dadurch, dass die Abmaße als Maximalmaße definiert werden. In der [DIN 55511] und durch die EPF (European Packaging Federation) werden dagegen Maßsysteme empfohlen, bei denen die Abmessungen der Teilpackungen um ein bestimmtes Maß zurückgesetzt sind, um Übermaße durch Ausbeulung und Fertigungsungenauigkeiten zu kompensieren [RGV81].

#### **2.4.6 Palettierung mit Roboterunterstützung**

In der Intralogistik werden Roboter in unterschiedlichen Bereichen, wie z. B. in der Verpackung, Waren sortierung, Güterhandhabung und im Umschlag eingesetzt. Ein wichtiges Einsatzfeld, bei dem der Durchdringungsgrad mit Robotersystemen weit fortgeschritten ist, ist die Verpackung von kleineren Ladeeinheiten zu Versandeinheiten.

In diesen Anwendungen werden unterschiedliche Bauformen von Robotern eingesetzt. So genannte Linearroboter bzw. Linearportale stellen die einfachste Variante dar. Sie bestehen aus einem Greifarm, welcher Punkte anfahren kann, die in einer Ebene liegen. Ist der Arm an einem Flächengerüst positioniert, um den Aktionsradius zu erweitern, wird diese Variante als Flächenportal bezeichnet. Der Roboter verändert dabei seine Position durch eine horizontale oder vertikale Bewegung entlang des Gerüstes. Der Vorteil

besteht in der einfachen Programmierung, da die Koordinaten des Gerüstes und der Wirkraum gegeben und linear bzw. kubisch sind. Erweiterte Anwendungsfälle ermöglichen die flexibleren, mit drei- bis sechsachsigen Dreharmroboter bzw. Knickarmroboter. Je nach Anforderung werden diese Roboter entweder auf feststehenden Portalen positioniert, auf welchen sie dann bis zu 360° drehbar sind, oder sie werden mithilfe von Schienensystemen horizontal verfahrbar gestaltet. Bei Knickarmrobotern stellt die hohe Anzahl der Gelenke hohe Anforderungen an die Robotersteuerung, ist in der Praxis jedoch aufgrund mitgelieferter Software unproblematisch. SCARA-Roboter (Abkürzung für engl. Selective Compliance Assembly Robot Arm) stellen eine besondere Art von Industrierobotern dar, die besonders für die Montage konstruiert wurden und gezielt eine Nachgiebigkeit in der horizontalen Achse besitzen. Ihre Konstruktion ähnelt der eines menschlichen Armes und kann einen zylindrischen Arbeitsraum bedienen. SCARA-Roboter besitzen in der Regel nur vier Freiheitsgrade, die Achsen sind als serielles Kinematiksystem ausgeführt. Der Koordinatenursprung einer Achse ist abhängig von der Position der vorhergehenden Achse. Aufgrund ihrer sehr schnellen Bewegungen sind diese Roboter sehr gut für Handhabungs- oder Palettierabläufe geeignet.



**Abbildung 2.25.** Roboteranlagen zur Palettierung [Fotos: Ro-ber]

Zur Palettierung bzw. Depalettierung werden Varianten der aufgeführten Roboter eingesetzt, zumeist die so genannten Dreharmroboter bzw. Knickarmroboter. Solche multifunktionalen, mehrachsigen Systeme bieten die Möglichkeit, mit hoher Frequenz und hoher Präzision Güter zu bewegen. Die Leistungsfähigkeit hängt von dem Layout der Palettieranlage und der Roboterleistung ab. Die Roboter sind gewöhnlich aus Sicherheitsgründen in so genannten Roboterzellen untergebracht. Diese sind abgetrennte Bereiche, die den Wirkraum des Roboters umschließen. Güter werden über Fördersysteme in den Wirkraum des Roboters befördert und dort durch den Roboter

auf die jeweiligen Ladehilfsmittel gestapelt. Vorprogrammierte Stapelbilder können vor oder auch während des Prozesses online geändert werden. Eine Anpassung über unterschiedliche Greifersysteme ermöglicht die Palettierung nahezu aller Güter, wie Behälter, Kartonagen, Trays, Säcke, Getränkekästen, Gebinde oder Flaschen. Leistungssteigerungen werden durch die simultane Aufnahme mehrerer Ladeeinheiten erreicht. Dabei werden zwei oder mehr Behälter, Kartonagen, Trays etc. zugleich aufgenommen und auf der Palette positioniert. Um einen effizienten Einsatz einer roboterbedienten Palettieranlage zu gewährleisten, müssen die Arbeitstakte von der zu- und abfördernden Fördertechnik sowie von Mensch und Maschine aufeinander abgestimmt sein. Um dieser Forderung gerecht zu werden, werden die Produkte teilweise fördertechnisch vorgestaut und anschließend palettenweise zu Palettierrobotern gebracht. Dies ermöglicht neben einem unterbrechungsfreien Ablauf auch die Generierung optimaler Verbundstapel und die beste Raumnutzung, da durch die vorgestauten Güter eine höhere Dispositionsmasse für die Algorithmen der Packmustergenerierung besteht. Bei den Verpackungssystemen erfolgt neben dem Palettieren im Verpackungsprozess auch die Ladeeinheitensicherung. Dabei werden Zwischenplatten, Abdeckhauben oder Füllmaterial während des Palettierungsvorgangs als Transportsicherung eingebracht. Ein weiteres Element von Palettieranlagen sind Hubmechanismen, die während des Palettierens einen vertikalen Ausgleich schaffen, damit möglichst wenige und kurze Roboterachsen benötigt werden.

Palettieranlagen mit Robotereinsatz können in der Ausführung als Portal bis zu ca. 10 m breit und bis 100 m lang sein.

#### 2.4.7 Ladeeinheitensicherung

Die Ladeeinheitensicherung beginnt bereits bei der Bildung einer Ladeeinheit. In vielen Fällen kann durch Auswahl eines geeigneten Ladehilfsmittels und zweckmäßigen Aufbau die Ladeeinheit effektiv gegen äußere Einflüsse geschützt werden. Ein optimaler Schutz wird teilweise nur durch Zusammenwirken verschiedener Maßnahmen erreicht. Die [VDI 3968]: „Sicherung von Ladeeinheiten“ teilt daher auch die Ladeeinheitensicherung in so genannte organisatorisch-technische Verfahren, die vor und während der Bildung der Ladeeinheit zum Einsatz kommen, und in die Verfahren zur Sicherung der bereits bestehenden Ladeeinheiten auf. Die Auswahl eines geeigneten Ladehilfsmittels, z. B. in Form eines umschließenden oder abschließenden Ladehilfsmittels, ist eine Möglichkeit, nicht nur den Zusammenhalt der einzelnen Packungen zu sichern, sondern auch deren Schutz vor klimatischen, chemischen oder biologischen Einflüssen zu erzielen.

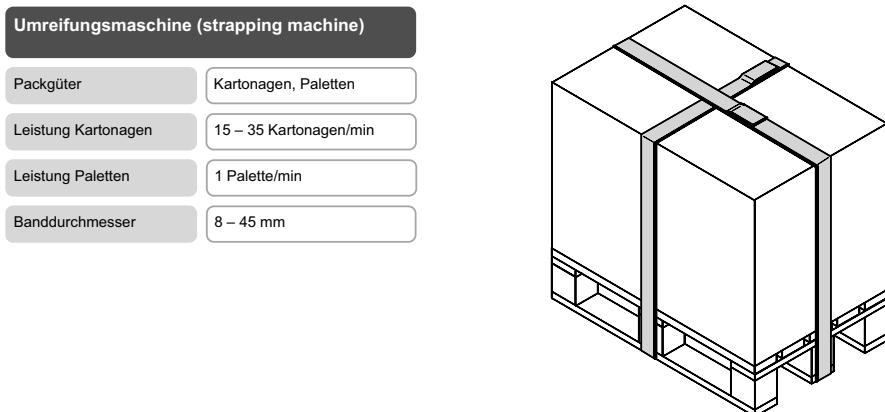
Eine Boxpalette oder eine Flachpalette mit Aufsetzrahmen schließen ein seitliches Abrutschen von Ladeeinheiten weitgehend aus. Abschließbare Kleincontainer schützen die Ladeeinheit vor klimatischen Einflüssen und verhindern den unerlaubten Zugriff während des Transports.

Der Einsatz eines Ladehilfsmittels ist allerdings nicht die zwangsläufige Voraussetzung für eine gute Ladeeinheitensicherung. Nachteilig sind neben dem erschweren Zugriff auf die Packstücke beim Depalettieren vor allem das höhere Gewicht und die höheren Kosten. Als rein organisatorische Maßnahme bietet sich zur Bildung stabiler Transporteinheiten in vielen Fällen allein die geeignete Stapelung der Packungen, nämlich die so genannte Verbundstapelung an (vgl. Abschn. 2.4.5). Eine Reihe technischer Sicherungsmittel wird während der Bildung der Ladeeinheiten zum Einsatz gebracht. Dazu zählen zum einen Verfahren, welche die Haftung der Packstücke innerhalb der Ladeeinheit beeinflussen, also kraftschlüssige Verfahren, und zum anderen Verfahren oder technische Mittel, die Packstücke formschlüssig miteinander verbinden. Kraftschlüssige Verfahren sind beispielsweise die Verwendung von Reibmatten oder die Aufbringung von Klebstoffen zwischen einzelne Packstücklagen, um ein Abrutschen der Packstücke von der Ladeeinheit zu verhindern. Kleber erlauben eine gezielte Einstellung des Haftwertes, sind aber in großem Maße von den Packstücken selbst (und deren Oberflächen) abhängig. Als formschlüssige Verfahren kommen Haken in Betracht, welche einzelne Packstücke zu einem Verbund zusammenfügen. Das setzt allerdings eine freie Öffnung an den Packstücken voraus, wie sie beispielsweise bei Getränkekisten gegeben ist. Zur Sicherung der Ladeeinheiten haben sich aber insgesamt drei Verfahren durchgesetzt, die an der fertiggestellten Ladeeinheit zum Einsatz kommen: das Umreifen, das Schrumpfen und das Stretchen bzw. Umwickeln. Die Verfahren sollen im Folgenden näher erläutert werden.

## Umreifen

Beim Umreifen wird die Ladeeinheit durch das Umschlingen mit Umreifungsbindern aus Kunststoff oder Metall umwickelt. Die Güter werden zum Umreifen in die gewünschte maschinenabhängige Position befördert. Das Band wird in einer sich in einem Rahmen befindlichen Bandführung um das zu sichernde Gut geführt. Je nach Anforderung wird das Gut horizontal und/oder vertikal geführt. Es wird an der Ladung gespannt, über Reibung verschweißt und abgeschnitten. Je öfter der Ablauf wiederholt wird, d. h. je mehr Umreifungsänder verwendet werden, desto höher ist die Stabilität der Ladeeinheit.

Die im Umreifungsband wirkende Zugkraft wirkt als Druckkraft auf die Packstücke und verhindert somit das Verrutschen. Metallbänder eignen sich wegen ihrer hohen Festigkeit insbesondere zur Sicherung von schweren und stabilen Gütern sowie überall dort, wo hohe Spannkräfte gefordert sind, z. B. bei Presswaren. Kunststoffbänder dagegen sind für kleinere Kräfte geeignet und weisen eine hohe Elastizität auf, so dass auch Ladeeinheiten, die sich während des Transportes setzen, ausreichend gesichert sind. Außerdem sind Kunststoffbänder einfacher zu verarbeiten und kostengünstiger. Beim Umreifen gelangen häufig Hilfsmittel wie Winkel- oder Kantenschützer zum Einsatz. Sie verhindern Beschädigungen der Ware durch die relativ hohen Zugkräfte des Umreifungsbandes. Vorteilhaft beim Umreifen ist insbesondere das kom-



**Abbildung 2.26.** Ladeeinheitsensicherung durch Umreifen

plette Umfassen der Ladeeinheit, was eine sichere Verbindung von Ladegut und Ladehilfsmittel garantiert. Verglichen mit anderen Verfahren fällt eine verhältnismäßig geringe Abfallmenge an. Typisches Einsatzfeld für das Umreifen ist die Ladeeinheitsensicherung von Kartonagen im Versandbereich des Endkundenhandels. Darüber hinaus können auch ganze Paletten automatisch umreift werden, jedoch liegt die Leistung deutlich unter jener für Kartonagen. Beim Umreifen von Paletten wird das Band durch den doppelten Palettenboden gezogen und mehrfach vertikal um die Palette gewickelt.

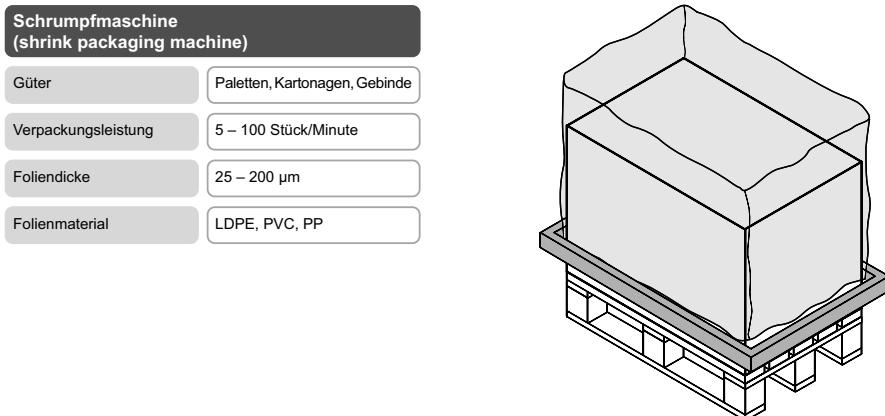
### Schrumpfen

Beim Schrumpfen [VDI 3968] wird eine Kunststofffolie (Dicke ca. 25 - 200 µm), deren äußere Form unterschiedlich gestaltet sein kann, über die Ladeeinheit gezogen (vgl. Abb. 2.27). Diese wird anschließend einer Wärmebehandlung bei 180 °C bis 220 °C ausgesetzt.

Durch die Wärmebehandlung beim Schrumpfen werden die durch den Herstellungsprozess im Folienmaterial eingefrorenen Spannungen freigesetzt. Der Vorgang des Rückschrumpfens beim langsamen Erkalten des Folienmaterials führt zur Stabilitätserhöhung des Packstückverbundes.

Die Kunststofffolie ist meist durchsichtig, so dass die Waren problemlos identifiziert werden können. Zu Werbezwecken kann sie auch bedruckt werden. Es gibt darüber hinaus auch schwarze Schrumpffolie, die u. a. oftmals wegen ihrer diebstahlverhütenden Eigenschaft verwendet wird. Zudem können Ladeeinheiten, die mittels Schrumpfhauben oder Schrumpfschläuchen mit Deckblatt wasserdicht gesichert wurden, begrenzte Zeit im Freien lagern.

Neben flachen Umlauffolien werden verbreitet auch Schläuche oder konfektionierte Hauben eingesetzt. Vorteilhaft beim Schrumpfen ist die universelle Verwendbarkeit des Verfahrens, da durch die hohe Schrumpffähigkeit der Schrumpffolie auch unregelmäßig aufgebaute Ladeeinheiten problemlos



**Abbildung 2.27.** Ladeeinheitensicherung durch Schrumpfen

verarbeitet werden können. Auf die Ladeeinheiten wird dabei kein Druck ausgeübt. Moderne Schrumpftechniken erlauben bei wärmeempfindlichen Gütern das Aufblähen der Haube während der Wärmezufuhr durch eine geeignete Luftströmung, so dass sich zwischen Haube und Gut eine isolierende Luftsicht aufbaut. Diese Technik beugt auch einem Verkleben von Schrumpfhaube und Gutverpackung vor, wenn identische Materialien mit unterschiedlicher Dicke eingesetzt werden. Scharfe Kanten müssen ebenfalls abgedeckt werden, da die Folie an solchen Stellen einreiken kann.

Beim Einsatz von konventionellen Folien ist auf Kondenswasserbildung bei Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsschwankungen zu achten. Treten beim Einsatz von konventionellen Folien Probleme durch Wärme, Wasserverdunstung und Feuchtigkeit auf, kann die Produktverpackung beschädigt werden, z.B. in Form von aufgeweichten Kartonagen oder korrodiertem Metall. Um diesem entgegen zu wirken, können spezielle gelochte oder makroperforierte Stretchfolien eingesetzt werden. Diese ermöglichen eine gute Luftzirkulation und damit ein schnelles Auskühlen, Trocknen oder Gefrieren von palettierten Produkten. Nachteilig beim Schrumpfen hingegen ist der erhöhte Peripherieaufwand (Wärmequellen in Form von Schrumpfrahmen oder Heizmast). In vollautomatischen Anlagen können Leistungen bis ca. 150 Ladeeinheiten pro Stunde erzielt werden.

### Stretchen

Bei der Ladeeinheitensicherung mit Stretchfolien, oftmals auch als Stretchen [VDI 3968, Bl. 5] bezeichnet, wird die Ladeeinheit durch eine vorgespannte Folie umhüllt. Nach dem angewandten Arbeitsverfahren unterscheidet man dabei das Spiralstretchen (vgl. Abb. 2.28), das Vollbahnstretchen, das Vorhangstretchen oder Banderolieren und das Haubenstretchen (vgl. Abb. 2.29).

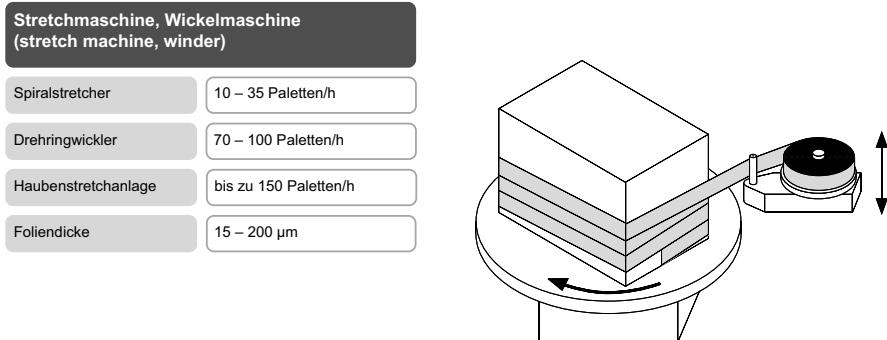


Abbildung 2.28. Ladeeinheitenensicherung durch Sprialstretchen

Beim gängigsten Stretchverfahren, dem *Spiralstretchen*, wird die ca. 17 - 50 µm starke Folie wendelförmig um die Ladeeinheit geführt, bis sie diese ausreichend sicher umschließt. Alternativ dazu wird auch die Ladeeinheit mithilfe eines Drehtisches gedreht, bis sie von der nun vertikal verfahrenen Folie umschlossen ist. Die mechanische Vorspannung der Folie oder auch *Reckung* wird durch unterschiedliche Verfahren erzeugt. Im einfachsten Fall wird die Folie beim Abwickeln gebremst und somit auf der Strecke zwischen Ladeeinheit und Rolle mechanisch gedehnt. Problematisch ist dabei allerdings die Krafteinwirkung auf die Ladeeinheit, weshalb sich diese Technik für lose zusammengesetzte Ladeeinheiten nur bedingt eignet. Bei der Vorreckung mittels zweier Reckwalzen, die in einem festen Übersetzungsverhältnis stehen, können zwar höhere Dehnungen erzielt werden, es werden aber dennoch Kräfte in die Ladeeinheit eingeleitet. Werden derartige Reckwalzen allerdings separat angetrieben, kann die Folie bei starker Vorreckung (und damit mit hoher Spannkraft) nahezu kraftlos um die Ladeeinheit gewickelt werden.

Beim *Vollbahnstretchen* wird eine auf das Höhenmaß der Ladeeinheit abgestimmte Folie verwendet, um die Anzahl der notwendigen Drehungen zu verringern. Speziell im Spiralstretchen liegt aber ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens, nämlich die Möglichkeit, durch beliebig einstellbare Lagenzahl den Materialverbrauch spezifisch dem Bedarf anzupassen. Eine Variation der übereinandergelegten Schichten ermöglicht eine Erhöhung der Stabilität des Stapelverbundes. So werden Stapel im unteren Bereich mit mehr Lagen versehen als im oberen Bereich.

Beim *Vorhangstretchen* oder *Banderolieren* wird die bis zu 200 µm starke Folie einlagig um die Ladeeinheit geführt und im gespannten Zustand verschweißt. Das Verfahren eignet sich nur für Ladeeinheiten mit gleichbleibender Höhe oder Breite, zeichnet sich aber durch einfache Technik aus.

Das *Haubenstretchverfahren* verwendet einen Schlauch oder konfektionierte Hauben zum Sichern der Ladeeinheiten. Der Arbeitsablauf beim Haubenstretchen erfolgt folgendermaßen: Die Folie wird zunächst oberhalb der Lade-

einheit an die Reff- und Reckeinrichtung übergeben (vgl. Abb. 2.29 a). Daraufhin wird sie gerefft, gestrechelt, aufgespannt und auf die richtige Länge abgeschnitten (vgl. Abb. 2.29 b). Der Reckgrad der Folie wird durch die Stapeldimension, Folienelastizität und Folienabmessungen definiert. Anschließend wird ohne seitliche Berührung der Reckwinkel und gleichzeitige Reckung über die Ladeeinheit gestülpt (vgl. Abb. 2.29 c und Abb. 2.29 d). Dadurch können die Ladeeinheiten wie beim Schrumpfen ebenfalls wasserdicht gesichert werden. Auf die Ladeeinheit werden dabei keine Kräfte ausgeübt. Das Verfahren erlaubt hohe Vorreckungen der Folie und führt daher zu sehr stabilen Ladeeinheiten. Damit die Folie einen dauerhaft festen Sitz erlangt, wird ein so genannter Unterstretch gebildet (vgl. Abb. 2.29 e), bei dem die Palette angehoben und die Folie unter diese gezogen wird.

Beim Stretchen mithilfe eines *Drehringwicklers* bildet ein Stahlring die Führung für Kunststoffrollen, an denen Folie abgewickelt wird. Die Ladeeinheit bleibt in einer Positionierung stehen und wird umwickelt. Der Vorteil liegt hierbei in den fehlenden Beschleunigungskräften. Durch entsprechende Vorrichtungen kann mit Ausnahme des Banderolierens beim Stretchen die Folie auch unter die Ladeeinheit gezogen und ein so genannter Unterstretch gebildet werden. Das Stretchen eignet sich für regelmäßig aufgebaute Ladeeinheiten. Für geringe Stückzahlen empfiehlt sich das Spiralstretchen von Hand. In vollautomatisierten Haubenstretchanlagen können ebenfalls bis ca. 150 Paletten pro Stunde verarbeitet werden.

Als *wiederverwendbare Sicherungsmittel* werden insbesondere Netze und Zurrgurte sowie Stülphauben aus Kunststoff zum Witterungsschutz eingesetzt. Zur Einwegsicherung dienen zusätzlich Klebebänder und Schnüre. Als Mehrwegsicherungen kommen Aufsetz- und Aufsteckvorrichtungen mit oder ohne Abdeckung zum Einsatz, die oftmals zusätzlich umreift sind.

#### **2.4.8 Ladungszusammenstellung und Ladungssicherung**

Bei der Zusammenstellung einer Ladung auf einem Lkw ist zunächst den Anforderungen des Transportmittels Rechnung zu tragen. Bezüglich der Lastverteilung ist zu beachten, dass die Ladeeinheiten möglichst symmetrisch angeordnet werden und eine einseitige Belastung vermieden wird. Der Schwerpunkt der Gesamtladung sollte möglichst niedrig gehalten werden. Fahrzeugspezifisch müssen neben dem zulässigen Gesamtgewicht die zulässigen Achslasten und die minimale Lenkachslast beachtet werden. Aus diesen Anforderungen resultiert für jedes Fahrzeug eine charakteristische Kennlinie für die Lastverteilung auf einer Ladefläche, ein Lastverteilungsplan, der vom Hersteller oder von Sachverständigen erstellt wird und als Hilfsmittel zur Beladung eingesetzt werden kann.

Die Stauschemata von Ladeeinheiten auf den unterschiedlichen Ladeflächen hängen von den Grundflächen der Laderäume ab (siehe Abschn. 2.4.4,



a)



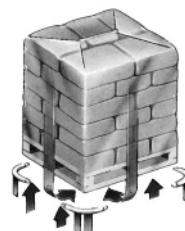
b)



c)



d)



e)

**Abbildung 2.29.** Haubenstretchmaschine, a-e Prinzip der Ladeeinheitenensicherung durch Haubenstretchen [Foto und Grafiken: Beumer]

S. 32). Aufgrund der Beanspruchungen der Ladeeinheiten während des Transports, die hauptsächlich aus den Trägheitskräften der Ladung herrühren, ist zumeist, insbesondere bei Teilladungen, eine Sicherung erforderlich, die ein Verrutschen oder Auseinanderfallen der Ladung verhindern soll. Zur Sicherung werden Zurrurte, Festlegehölzer, Keile und (Luft-)Kissen oder andere Polster zum Verschließen von Hohlräumen eingesetzt. Beispiele und weitere Ausführungsformen gibt [VDI 2700].

## 2.5 Auswahlkriterien und Systemvergleich

Durch die Kombination der unterschiedlichen Packstoffe mit den definierten und verbreiteten Packmitteln lässt sich für jede Anforderung an eine Verpackung von Objekten, Waren oder Werkstücken eine adäquate Lösung gestalten. Tabelle 2.5 zeigt geeignete Kombinationen von Packmitteln und Packstoffen für die Erfüllung von Schutzfunktionen gegenüber

- mechanisch bedingten Einflüssen (Schadensmerkmale wie beispielsweise Deformationen, Druckstellen, Brüche oder Risse),
- klimatisch bedingten Einflüssen (Schäden wie beispielsweise Hitzesprengungen, Verdunstungsverluste, Nässeflecke oder Verklumpungen) und
- biologisch bedingten Einflüssen (Schäden durch den Befall von Mikroorganismen u. Ä.).

Im Hinblick auf die ökonomischen und rechtlichen Auswirkungen vieler Schäden, die beim Verpacken, Transportieren, Umschlagen oder Lagern entstehen können, kommt der Erfüllung der genannten Schutzfunktionen eine besondere Bedeutung zu. Zudem führen Schäden beim Packgut infolge der ständig gestiegenen Qualitätsanforderungen seitens der Kunden bzw. Abnehmer nicht selten zu Absatrzrückgängen aufgrund von Imageverlusten. Tabelle 2.5 enthält weiterhin Angaben über jeweils gebräuchliche Volumengrößen dieser Packmittel.

Einem beispielhaften systemtechnischen Vergleich werden die drei wichtigsten Verfahren der Ladeeinheitensicherung, das Umreifen, Schrumpfen und Stretchen, in Tabelle 2.6 und Tabelle 2.7 in Anlehnung an [KEST82b] unterzogen. Dieser beinhaltet die Erfüllung der Schutzfunktionen, die Eignung für unterschiedliche Arten und Formen von Packstücken und Ladeeinheiten und die Bedienungseigenschaften. Für die Schrumpffolie spricht die hohe Einsatz- und Verwendungsflexibilität dieses Ladeeinheitensicherungsmittels, die aber ebenso wie die Stretchfolie im Hinblick auf die Entsorgung als problematisch einzustufen ist. Dennoch besitzen die anderen Ladeeinheitensicherungsverfahren trotz vieler Vorteile der Schrumpffolie ebenfalls ihre Berechtigung. Ein Überblick der Verträglichkeiten von verschiedenen Ladehilfsmitteln und Fördermitteln wird in Abschn. 4.5, S. 229 gegeben.

**Tabelle 2.5.** Eignung von Packmitteln zur Erfüllung von Schutzfunktionen

Ladeeinheitsicherung					
Packstoffe und Verpackungsarten	Typische Volumenkla... (Liter)	Schutzfunktion vor...			
		... mechanischen Einflüssen	... klimatischen Einflüssen	... biologischen Einflüssen	
Papier					
Schachtel	0,5	[■]	[■]		
Sack (geschlossen)	25			[■]	
Beutel	5				
Tray	---	[■]	[■]		
Holz					
Kiste	250	[■]	[■]	[■]	
Fass	250	[■]	[■]	[■]	
Kasten	150	[■]	[■]	[■]	
Steige	50	[■]			
Glas					
Weithalsglas	5	[■]	[■]	[■]	[■]
Flasche	1	[■]	[■]	[■]	[■]
Metall					
Kasten	200	[■]			
Fass	300	[■]	[■]	[■]	[■]
Dose	5	[■]	[■]	[■]	[■]
Tube	1	[■]	[■]	[■]	[■]
Kunststoff					
Kasten	150	[■]	[■]		
Sack	200				[■]
Fass	200	[■]	[■]	[■]	[■]
Beutel	10				[■]
Dose	5	[■]	[■]	[■]	[■]
Tube	1	[■]	[■]	[■]	[■]
		[■] günstig	[■] bedingt	[■] ungünstig	

**Tabelle 2.6.** Beispielhafter Systemvergleich für Umreifen, Umschrumpfen und Stretchen - Erfüllung von Funktionen der Ladeeinheitsicherung

Auswahlkriterien für Ladeeinheitsicherung I			
Funktion der Ladeeinheitsicherung	Art der Ladeeinheitsicherung		
Schutz vor...	Umreifen	Umschrumpfen	Stretchen
... Diebstahl		■	■
... Feuchtigkeit		■	
... Transportbeanspruchung	■	■	
... Staub		■	■
... Temperaturschwankungen		■	
... Verrutschen	■	■	■
... UV-Strahlung		■	
Eigenschaften			
einfach	■	■	■
manuell durchführbar		■	
automatisierbar	■	■	■
ökonomisch	■	■	■
werbend	■	■	
leicht zu entfernen	■		
wiederverwendbar			
entsorgungsfreundlich	■		
hygienisch		■	■
materialsparend		■	■

■ günstig    □ bedingt    ○ ungünstig

**Tabelle 2.7.** Beispielhafter Systemvergleich für Umreifen, Umschrumpfen und Stretchen - Eignung für ausgewählte Eigenschaften der Packstücke

Auswahlkriterien für Ladeeinheitsicherung II			
Eigenschaften der Packstücke	Art der Ladeeinheitsicherung		
Art der Packstücke	Umreifen	Umschrumpfen	Stretchen
Schachteln	■	■	■
Kisten	■	■	■
Säcke		■	
Fässer	■		■
Weithalsgläser	■	■	
Packstückattribute			
klein		■	■
groß	■		
unregelmäßig		■	■
Ladeeinheitenattribute			
schwer	■	■	■
hoch	■	■	■
verbundgestapelt	■	■	■
säulengestapelt	■	■	■
uneinheitlich		■	■

günstig  
  bedingt  
  ungünstig

### 3. Lagersysteme

Gemäß der VDI-Richtlinie 2411 ist Lagern jedes *geplante* Liegen des Arbeitsgegenstandes im Materialfluss. Das Lager ist ein Raum bzw. eine Fläche zum Aufbewahren von Stück- und/oder Schüttgut in Form von Rohstoffen, Zwischenprodukten oder Fertigwaren, das mengen- und/oder wertmäßig erfasst wird. Die grundlegenden Prozesse in einem Lager sind das Einlagern von Lagereinheiten, das Aufbewahren und Bereithalten von Lagereinheiten auf Lagerplätzen sowie das Auslagern einer Lagereinheit. Optional findet in einem Lager das Kommissionieren ganzer Ladeeinheiten statt.

Läger bilden eine der Kernfunktionen innerhalb von Materialflusssystemen. Änderungen in der Struktur der Weltwirtschaft in Form von gestiegener Arbeitsteiligkeit auf Seiten der Produktion sowie die steigende Kundenindividualität mit der Konsequenz immer größerer Sortimente und somit die Wandlung vom Verkäufermarkt zum Käufermarkt stellen völlig neue Anforderungen an Logistiksysteme und die in ihnen notwendigen Läger. Diese müssen oft in erster Linie flexibel sein. Die geforderten Eigenschaften sind dabei eine sowohl auf- als auch abwärts gerichtete Skalierbarkeit und eine funktionale Modularisierung der einzelnen Lagermittel in Form von Subsystemen. Auf der anderen Seite erfolgt eine starke Automatisierung und Spezialisierung von Lagersystemen, um eine immer weiter steigende Auftragslast bewältigen zu können. Die in diesem Buch vorgestellten Lagermittel sind unterschiedlich gut für die Anforderungen nach Flexibilität oder nach hoher Leistung geeignet; die bestimmenden Eigenschaften werden in den jeweiligen Abschnitten behandelt. Die Eignung eines Lagermittels für den spezifischen Anwendungsfall muss bei jeder Planung eines Lagersystems überprüft und für die jeweilige Anlage und gewünschte Funktion bewertet werden.

Bevor ein Materialflusssystem aus den verschiedenen Funktionselementen der Materialflusstechnik mithilfe einer geeigneten Logistikplanung (vgl. Kapitel 6) gestaltet werden kann, werden im Kapitel Lagersysteme die wichtigsten Punkte zum Aufbau eines Lagersystems vorgestellt, so dass der Leser einen ersten, fundierten Überblick über die Gestaltung von Lagersystemen erhält. Dabei werden zunächst die Aufgaben von Lägern und ihre Grundfunktionen erläutert, um im Anschluss daran die Systematik der Lagermittel vorzustellen. Als Kern dieses Kapitels werden systematisch die verschiedenen Vertreter

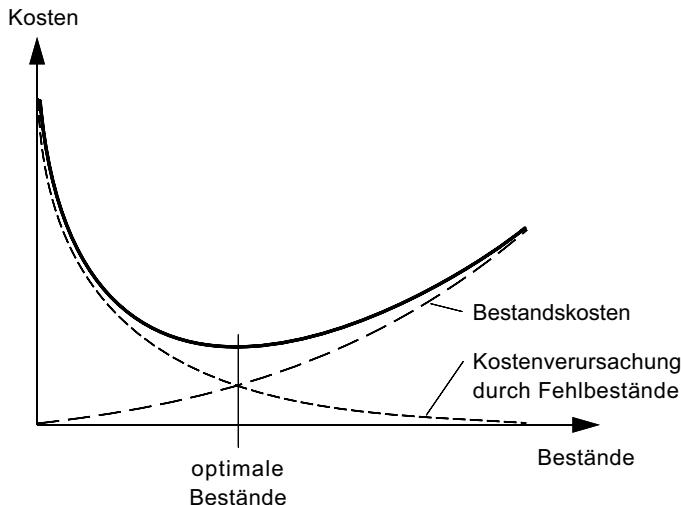
statischer und dynamischer Lagermittel behandelt, wobei auf die technische Ausgestaltung und auf die Einsatzfelder des jeweiligen Elements eingegangen wird.

Schematische Grafiken zeigen das jeweilige Grundprinzip des Lagermittels; ergänzende Photographien stellen die typische Einbausituation dar. Charakteristische Kennzahlen schließen die Vorstellung der einzelnen Lagermittel ab. Diese Kennzahlen gelten für große Bereiche der jeweiligen Lagermittel und schließen damit bewusst keine Sonderlösungen oder Spezialfälle mit ein. Die Angaben beziehen sich auf die verbreiteten Systeme sowie, falls nicht anders angegeben, auf die Lagerung von Behältern, Kartonagen, Paletten und Gitterboxen. In einem weiteren Unterkapitel wird auf die konstruktiven Belange der Regalsysteme eingegangen, darüber hinaus werden der Brandschutz im Lager sowie die Besonderheiten der Tiefkühl Lagerung behandelt. Die Integration der zuvor präsentierten einzelnen Elemente von Lagermitteln zu einem Lagersystem über die Lagerorganisation wird im Anschluss beschrieben. Relevante Begriffe und Kennwerte, die im Kontext der Lagersysteme benutzt werden, werden im Sinne ihrer Verwendung in diesem Buch definiert. Abschließend werden einige ausgewählte Kriterien zur ersten Grobauswahl von Lagermitteln in Abhängigkeit von einigen wichtigen Kenngrößen präsentiert.

### 3.1 Aufgaben der Läger

In Lägern werden Güter bereitgestellt, die zwar verfügbar sind, aber erst zu einem späteren Zeitpunkt benötigt werden. Dieser Umstand impliziert zunächst eine wertschöpfungslose Zeitüberbrückung, ist aber in der Praxis aus einer Vielzahl von Gründen heraus unumgänglich und sogar sinnvoll. Aus logistischer Sicht ist das Besondere an der Lagerhaltung, dass es ein geplanter Prozess der Zeit- und Zustandsüberbrückung ist. Eine Vielzahl von Gründen bedingt den Aufbau von Lägern:

- asynchrone Zu- und Abgänge zwischen Bereichen oder Anlagen
- Mengenausgleich, z. B. im Rahmen der Fertigung wirtschaftlicher Losgrößen
- Sicherstellung der Auslastung kostenintensiver Produktionsanlagen, z. B. bei Störungen, Lieferengpässen, Verkehrsproblemen usw.
- Nutzung kostenoptimaler Bestellmengen durch die Gewährung von Rabatten
- Nutzung von Transportkapazitäten
- saisonale Schwankungen im Absatzverhalten
- Schaffung eines hohen Lieferservices durch schnelle Befriedigung von Aufträgen oder Kundenwünschen bzw. Sicherstellung der Lieferfähigkeit insgesamt
- Lagerung zur Wertsteigerung (durch Reifung) oder zwecks spekulativer Absichten



**Abbildung 3.1.** Zielkonflikt der Lagerhaltung

- Erfüllung von Zusatzaufgaben, wie z. B. die Bereitstellung zur Kommissionierung

Den vielseitigen Zielsetzungen stehen die Lagerkosten, bedingt durch gebundenes Kapital, Betriebsmittel, Personal, Verwaltung usw. gegenüber. In den meisten Fällen wird das Lagern als Zusatzprozess der Wertschöpfungskette eines Unternehmens verstanden. Darüber hinaus werden durch Reservebestände ineffiziente Strukturen und Unzulänglichkeiten verschiedener Abläufe verdeckt, wodurch enorme Zusatzkosten verursacht werden. Allgemeines Ziel ist daher, die vorgehaltenen Güter auf ein erforderliches Minimum zu reduzieren und somit einen so genannten optimalen Lagerbestand zu erreichen. Die qualitativen Zusammenhänge sind beispielhaft in Abb. 3.1 dargestellt.

Moderne Logistikstrategien verfolgen darüber hinaus die Zielsetzung, Bestände durch Informationen zu ersetzen und die erforderlichen Güter bedarfssynchron zum Verbrauch bereitzustellen (Just-In-Time-Konzept, kurz JIT). Ein derartiges Konzept erfordert aber nicht nur das zeitgenaue Anliefern der Güter durch die Zulieferer, sondern vor allem auch die Anpassung des eigenen Produktionsprozesses an diese Strukturen.

Das Ziel ist erreicht, wenn nur noch kleine Rohmaterial- und Teilelager notwendig sind, die Produktion von den Zulieferern weitgehend direkt beschickt wird und auch die Fertigteileläger in der Größe minimiert werden, um wiederum die Abnehmer weitgehend sofort zu beliefern. Diese Entwicklungen werden typischerweise nur in Unternehmen, die eine ausgeprägte auftragsbezogene Serienfertigung aufweisen, beispielsweise in der Automobilbranche, schnell vorangetrieben. Die weitaus größere Zahl der Firmen kann, vor allem wenn Produkte in Einzelfertigung hergestellt werden, nach wie vor auf Lä-



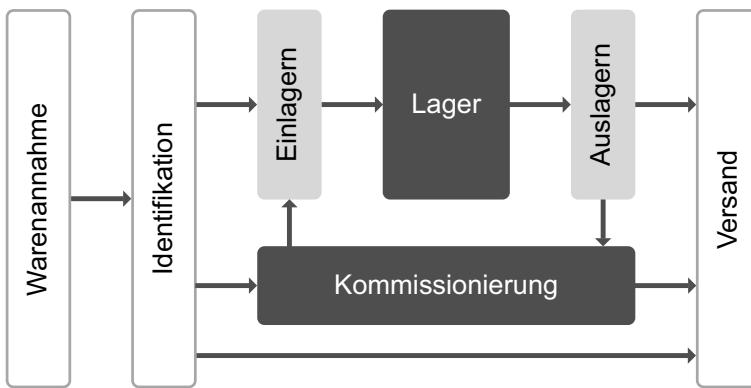
**Abbildung 3.2.** Grundtypen von Lägern

ger in integrierten Materialflusssystemen, die mehr und mehr automatisiert werden, nicht verzichten. Eine Minderung der Notwendigkeit für den Aufbau von Lägern in Logistiksystemen ist somit bisher nur in Branchen mit ausgeprägter Auftragsfertigung nach dem Push-Prinzip der Fall, der käuferorientierte Handel mit der Forderung nach einem breiten Sortiment folgt dem Pull-Prinzip und ist weiterhin stärker auf Lager angewiesen.

Die Aufgabe der Lager unterteilt sich in die Bevorratung, Pufferung und Verteilung bzw. Sammlung von Gütern (vgl. Abb. 3.2). Je nach Typ dienen sie vorrangig zur Überbrückung einer Zeitdauer oder zum Wechsel der Zusammensetzung der eingelagerten Güter zwischen Zu- und Abgang [RKW81]. Bleibt die Zusammensetzung der Lade- bzw. Lagereinheiten zwischen Ein- und Auslagerung gleich, so spricht man auch von einem Einheitenlager. Sofern die Zusammensetzung aber geändert wird, bezeichnet man das Lager als Kommissionierlager.

Vorratsläger dienen dem Ausgleich von Bedarfsschwankungen und stellen in einer Zeit zwischen zwei Zugängen über einen längeren Zeitraum regelmäßig Material für die Produktion bereit. Typisches Merkmal von Vorratslägern ist, dass die Ein- und Auslagerungen unregelmäßig sein können. Die Umschlaghäufigkeit in Vorratslägern ist im Vergleich zu Pufferlägern niedrig. Pufferläger gleichen Schwankungen zwischen Zu- und Abgängen in kürzeren Zeintervallen aus und dienen häufig zur Zeitüberbrückung zwischen verschiedenen Arbeitsvorgangsfolgen in der Produktion. Charakteristisches Merkmal von Pufferlägern sind nur geringe Schwankungen in der Zahl der Ein- und Auslagerungsvorgänge pro Zeiteinheit. Die erreichbaren Umschlaghäufigkeiten liegen entsprechend hoch. Sowohl Vorrats- als auch Pufferläger dienen vorrangig der Überbrückung einer Zeitdauer.

Verteilläger oder auch Distributionsläger hingegen erfüllen neben der Bevorratung den Zweck einer Zusammensetzungsveränderung von Ladeeinheiten zwischen Zu- und Abgang. Dazu wird in diesen Lägern kommissioniert, sortiert und konsolidiert. Verteilläger finden in Industrieunternehmen sowohl als Rohmaterial- und Zukaufteilelager als auch als Fertigteilelager häufig dann Verwendung, wenn lediglich Teilmengen einzelner Ladeeinheiten benötigt werden. Sie stellen darüber hinaus in Handelsunternehmen den am häufigsten vorzufindenden Lagertyp dar. Sie weisen relativ regelmäßige Zu- und Abgänge allerdings unterschiedlicher Ladeeinheiten auf. Die Umschlaghäufigkeiten können sehr verschieden sein. Reine Umschlaglager dienen beispielsweise nur der kurzfristigen Aufnahme der Güter und sind auf eine hohe Umschlagsleistung anstelle einer hohen Lagerkapazität ausgelegt. Zwischen Warenein-



**Abbildung 3.3.** Verknüpfung der Grundfunktionen von Lagersystemen über einen gerichteten Materialfluss

und -ausgang erfolgt dabei im Wesentlichen eine Sortierung der Güter. Sammelläger stellen das Gegenteil der Verteilläger dar. In Sammellägern werden Teilmengen einer Transportladung zu einer größeren Gesamtladung zusammengefügt.

Zu den Aufgaben im Lager bzw. der Lagervorzone und dem Warenausgang gehört es auch, Güter zu verpacken und Ladeeinheiten zu bilden (vgl. Kap. 2: Verpackungssysteme) sowie die Ladeeinheiten an den Schnittstellen zwischen inner- und außerbetrieblichen Materialfluss umzuschlagen.

## 3.2 Grundfunktionen von Lagersystemen

Jedes Lagersystem beinhaltet unabhängig von Art und Ausführung identische Grundfunktionen für die Handhabung von Waren. Im konkreten Fall ergeben sich technische, organisatorische sowie von der Lagerart abhängige unterschiedliche Ausprägungen. Grundfunktionen aller Lagersysteme, die in Auswahl und Sequenz in den jeweiligen Systemen kombiniert werden, sind Warenannahme, Identifikation, Einlagern, Kommissionieren, Auslagern und Versand. Sie beschreiben gleichzeitig den gerichteten Fluss von Waren in einem Lager (vgl. Abb. 3.3).

Bei der Annahme und Identifikation von Waren wird die angelieferte Menge anhand vorliegender Liefer- bzw. Bestellinformationen auf Vollständigkeit und Unversehrtheit geprüft und anschließend nach Vorgaben der Lagerverwaltung entweder mit einer vorbestimmten Lagerortsvergabe eingelagert, ohne Einlagerung unmittelbar für geplante Warenausgänge am Versand bereit gestellt (Cross-Docking, vgl. Abschn. 7.2, S. 366) oder in anstehende Kommissionieraufträge übernommen. Diese Einlagerung der angelieferten Waren erfolgt je nach Lagerausführung manuell, teilmanuell durch Stapler oder voll-

automatisch durch Paletten- und Behälterfördersysteme, fahrerlose Transportsysteme oder Regalbediengeräte. Umgekehrt werden Waren anhand vorliegender Aufträge zeitnah ausgelagert, gegebenenfalls kommissioniert und im Versandbereich zwischengepuffert. Aufgaben des Versandes sind zudem die Ladungssicherung und das Erstellen von Versandbegleitpapieren. Aufgabe der Kommissionierung ist das Zusammenstellen von Teilmengen aus den üblicherweise auf Lagereinheiten (Paletten und Behältern) artikelrein vorgehaltenen Beständen des Lagers.

Die Entnahme einzelner Artikel und das Kommissionieren auf bereitgestellte Einheiten werden durch Auftragsinformationen gesteuert, in denen die Anzahl der zu kommissionierenden Artikel und die Reihenfolge der Entnahme festgelegt sind. Die Entnahme erfolgt entweder vom Lageplatz direkt (Person-zur-Ware) oder durch Auslagerung einer artikelreinen Lagereinheit an einem Kommissionierplatz (Ware-zur-Person), anschließende Entnahme und die anschließende Rücklagerung der angebrochenen Einheit.

Jede Lagerbewegung ist unmittelbar nach der Ausführung in der Lagerverwaltung zu verbuchen, um eine permanente Bestandsführung des Lagers und aller umlaufenden Waren im Lagerbereich zu ermöglichen. Der anforderungsgerechte und wirtschaftliche Betrieb eines Lagers ist durch Strategien zu erreichen, mit denen schnelle Zugriffszeiten, kurze Transportwege und -zeiten sowie eine insgesamt hohe Umschlagleistung bei möglichst gleichverteilter Ressourcennutzung ermöglicht wird. Gleichzeitig sind je nach Artikelausprägung u. U. auch Mindesthaltbarkeitsdaten oder Zusammenlagerungsverbote zu beachten. Die bei einer Einlagerung für eine Lagereinheit durchgeführte Lagerplatzvergabe orientiert sich daher an diesen Kriterien und bestimmt zunächst einen bestmöglichen freien Lagerplatz, beispielsweise durch Zonung des Lagers anhand der Entnahmehäufigkeit einzelner Artikel (z. B. nach einer ABC-Verteilung). In bestimmten Fällen ist das Verteilen identischer Artikel auf mehrere Bereiche eines Lagers sinnvoll. Durch diese Redundanz wird beim Ausfall eines Betriebsmittels immer noch ein Zugriff auf den betreffenden Artikel ermöglicht. Darüber hinaus können auch aufwändige Algorithmen für die Lagerortsvergabe, die Auftragsreihenfolge sowie für die Zuordnung der Betriebsmittel zu den Aufträgen realisiert werden [tHS03]. Automatische Lagersysteme können kostengünstig eine Reorganisation in betriebsschwachen Zeiten durchführen. Da kein zusätzliches Personal benötigt wird, entstehen nur Kosten für Energie und Verschleiß der Betriebsmittel. Dem steht der Vorteil eines gut organisierten Lagers gegenüber. Die Folge sind schnelle Zugriffe in den Zeiten häufiger Lagerbewegungen. Damit können Läger auch bei einem hohen Füllgrad noch zufrieden stellende Zugriffszeiten bieten.

Grundlage für Reorganisationen sind Kennzahlen über Umschlagmengen von Artikeln in einem Zeitraum. Die vorbestimmten Transportzeiten in einem automatischen Lager führen dazu, dass das zur Verfügung stehende Optimierungspotenzial besser genutzt werden kann als in einem manuell betriebenen Lager. Terminierte Auslagerungen [BRAN97], die bis zu einem vorgegebe-

nen Zeitpunkt ausgeführt werden müssen, können unter diesen Bedingungen besser eingeplant und mit höherer Termintreue ausgeführt werden.

### 3.3 Systematik der Läger

Läger lassen sich – über ihren Bestimmungszweck hinaus – nach folgenden Kriterien klassifizieren:

- Lagergut
- Lagermittel
- Ladehilfsmittel
- Bauform
- Bauhöhe
- Stellung im Produktionsprozess (Rohmaterial-, Fertigwarenlager)
- Gefahrenklassen (Gefahrgut, Brandlasten)
- Art des Betriebes (Handel, Industrie)
- Funktion in der Distributionsstruktur

Die Definition weiterer Klassen ist möglich, und die Zuordnung eines spezifischen Lagers zu einer Klasse ist oftmals nur unscharf möglich.

#### 3.3.1 Systematisierung der Lagermittel

Eine Untergliederung der Läger in Abhängigkeit von den zum Einsatz kommenden Lagermitteln ist weit verbreitet und gestaltet sich wie folgt. Zunächst werden Läger mit und ohne Regal unterschieden. In Bodenlägern lagern die Güter ohne eine Regalkonstruktion direkt auf dem Boden, in Regallägern werden die Güter in unterschiedlichsten Formen von Regalkonstruktionen mit und ohne Ladehilfsmittel eingelagert. In beiden Fällen kann man die Ladeeinheiten wahlweise zu einem Block zusammenfassen und damit in einer Kompaktlagerung anordnen oder aber in Form von Zeilen mit Zwischenräumen als Bedienwege zu einer Zeilenlagerung konfigurieren. Verschiedene Fördermittel sind systembedingt neben ihrer Förderfunktion auch zur Lagerung geeignet. Sie bilden im Rahmen der vorgenommenen Systematisierung die Kategorie Lagerung auf Fördermitteln (z. B. Power-and-Free-Förderer, Trolleybahn).

Bei einer Bodenlagerung werden die Ladeeinheiten auf einer Ebene oder, sofern stapelbar, auf mehreren Ebenen gelagert. Bei der Regallagerung wird grundsätzlich in mehreren Ebenen gelagert. Während man die Bodenlagerung in der Regel als statische Lagerform vorfindet, kann man bei der Regallagerung zwischen statischen und dynamischen Lagermitteln unterscheiden.

Statisch werden Lagermittel genannt, wenn die Ladeeinheiten zwischen Einlagerung und Auslagerung an einem Platz im Lager verbleiben, d. h. keinerlei Ortsveränderung durchführen. Eine Umlagerung zur Optimierung von

**Tabelle 3.1.** Systematik der Lagermittel für Stückgut

Bodenlagerung		Regallagerung		statische Lagerung		dynamische Lagerung		Lagerung auf Fördermittel	
Block-lagerung	Zeilen-lagerung	Blockregal-lagerung	Zeilenregallagerung	feststehende Regale bewegte Ladeeinheiten	bewegte Regale, fest-stehende Ladeeinheiten	Stetig-förderer	Unstetig-förderer	Anhänger	Elektro-hängebahn
un- gestapelt	un- gestapelt	Einfahr-regal	Fach- bodenregal	Kragarm regal	Paletten- regal	Regal- bewegung mit Stetig- förderer	mit Unstetig- förderer	Verschiebe- regal (Zellen)	Trolley- oder Rollbahn
gestapelt	gestapelt	Durchfahr- regal	Schub- ladenregal	Hochregal	Waben- regal	Durchlauf- regal mit Rollenbahn	Umlauf- regal horizontal	Umlauf- regal vertikal	Elektro- Tragbahn
gestapelt			Lager mit Kanäle und Vereinfach- zeugen	Behälter- regal	Regal mit bewegl. Kragarmen	Einschub- regal mit Rollenbahn	Einschub- regal mit Rollunter- satz	...mit Ketten- förderer	Power- and Free- Förderer
						Behälter- regal	...mit Rölichen- bahn	Liftsystem	Shuttle- systeme

Zugriffszeiten etc., beispielsweise in einem einfachen Palettenregal, hat dabei keinen Einfluss auf diese Einteilung, da das einer Ein- oder Auslagerung gleichkommt.

Lagermittel werden hingegen als dynamisch bezeichnet, wenn die Ladeeinheiten nach dem Einlagern bewegt werden, wobei man zwischen einer Bewegung der Ladeeinheiten in feststehenden Regalen, einer Bewegung der Ladeeinheiten mit den Regalen und einer Bewegung der Ladeeinheiten auf Fördermitteln mit Lagerfunktion differenzieren kann. Unberührt bleibt davon die Lage des Ein- und Ausgabeortes. Diese können sowohl identische als auch unterschiedliche Stellen im Lager einnehmen. Bei der dynamischen Regallagerung ist die Unterscheidung in Block- und Zeilenlager nicht sinnvoll. Daher wird eine Differenzierung nach der vollzogenen Bewegung – bewegte Regale oder bewegte Ladeeinheiten – vorgenommen. In der Kategorie der dynamischen Regallagerung wird noch die Realisierung der Dynamik nach Stetig- und Unstetigförderern unterschieden.

### **3.3.2 Fördermittel im Lager**

Wie eingangs beschrieben, werden immer größere Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Materialflusssystemen gestellt, so dass die Lagermittel nicht isoliert betrachtet werden können, sondern immer mit der geeigneten Regalbedientechnik in Verbindung gebracht werden müssen. Die Mittel, die dazu zur Verfügung stehen, sind die in Kapitel 4 beschriebenen Fördermittel. In Anlehnung an ihre Bestimmung unterscheidet man vier Gruppen von Fördermitteln im Lager (vgl. Tabelle 3.2).

Die erste Gruppe bilden die Fördermittel als Bestandteil dynamischer Lagermittel. Hier sind jene Fördertechniken zusammengefasst, die innerhalb dynamischer Lagermittel die Bewegungsfunktion von Ladeeinheiten oder Regalen realisieren. Sie gliedern sich analog den Fördermitteln insgesamt (vgl. Abschn. 4.2) in stetige und unstetige sowie flurgebundene, aufgeständerte oder flurfreie Fördermittel. Aufgeständerte Stetigförderer beispielsweise findet man in Einschub- oder Durchlaufregallägern, flurfreie Stetigförderer (z. B. Kreisförderer) in horizontalen Umlaufregallägern, flurgebundene Unstetigförderer als Fahrschemel in Verschiebegereggallägern und aufgeständerte Unstetigförderer (z. B. Kanalfahrzeuge) in Kanalregallägern (vgl. Abschn. 3.18).

Die zweite und wichtigste Gruppe bilden die Fördermittel zum Ein- und Auslagern, die auch als Lagerbediengeräte bezeichnet werden. Ihre Untergliederung, analog zu den Fördermitteln insgesamt, ist ebenfalls Tabelle 3.2 zu entnehmen. Eine wichtige Untergruppe stellen die Fördermittel zum Verteilen, Kommissionieren usw. dar, die eine Teilmenge der Fördermittel zum Ein- und Auslagern bzw. der Fördermittel in der Lagervorzone bilden. In dieser Gruppe sollen besonders die verschiedenen Vertreter der Rollenbahnen und Bandförderer Erwähnung finden, die häufig zur Bereitstellung in der Kommissionierung verwendet werden (vgl. Abschn. 5.2, Kommissioniersysteme).

**Tabelle 3.2.** Zuordnung von Fördermitteln zu Lagerbereichen

Systematik der Fördermittel im Lager			
Fördermittel als Bestandteil dynamischer Lager	flurgebunden	aufgeständert	flurfrei
unstetig	Aufzug Senkrechtförderer	Verschiebewagen	—
stetig	—	Rollenbahn (angetrieben/ Schwerkraft) Röllchenbahn (Schwerkraft) Tragkettenförderer	Kreisförderer, Power-and-Free-Förderer
Fördermittel zum Ein- und Auslagern			
unstetig	Regalbediengerät Hochregalstapler Kommissionierstapler Gabelstapler Hochhubwagen Gabelhubwagen autom. Flurförderzeug	Aufzug Kanalfahrzeug Verteilfahrzeug Senkrechtförderer	Brückenkran Stapelkran Portalkrane ElektroHängebahn
stetig	—	Rollenbahn (angetrieben) Tragkettenförderer Bandförderer	—
Fördermittel in der Lagervorzone			
unstetig	Verschiebewagen Gabelhubwagen Gabelstapler Hochregalstapler autom. Flurförderzeug	Aufzug Kanalfahrzeug Verteilfahrzeug Senkrechtförderer	Brückenkran Stapelkran Portalkrane ElektroHängebahn
stetig	Unterflur-Schleppkettenförderer	Rollenbahn (angetrieben, Schwerkraft) Röllchenbahn (Schwerkraft) Tragkettenförderer Bandförderer S-/C-Förderer	Kreisförderer Power-and-Free-Förderer
Fördermittel mit Lagerfunktion			
unstetig	Wagen	—	Trolleybahn Rohrbahn Elektro-Hängebahn
stetig	—	Bandförderer Staubbandförderer Rollenbahn Staurollenbahn Staukettenförderer	Kreisförderer Power-and-Free-Förderer

**Tabelle 3.3.** Einsatz stetiger Fördermittel im Lager

Verwendungsübersicht der stetigen Fördermittel im Lagerbereich				
Fördermittel	als Bestandteil dynamischer Lager	zum Ein- und Auslagern	in der Lagervorzone	mit Lagerfunktion
flurgebunden				
Unterflurschlepp-kettenförderer			■	
aufgeständert				
Rollenbahn (angetrieben)	■	■	■	
Rollenbahn (Schwerkraft)	■		■	
Röllchenbahn	■		■	
Tragkettenförderer	■	■	■	
Stauförderer				■
Bandförderer		■	■	
S-/C-Förderer			■	
flurfrei				
Kreisförderer	■		■	■
Power-and-Free-Förderer			■	■

■ typischer Anwendungsbereich

Die dritte große Gruppe bilden die Fördermittel in der Lagervorzone. Als Schnittstelle zum angrenzenden Materialflusssystem bestimmen sie maßgeblich die ausgangsseitige Systemleistung (vgl. Abschn. 5.3, Intralogistische Systeme und Techniken zum Warenumschlag).

Die letzte Gruppe schließlich bilden die bereits bei der Systematik der Lagermittel angesprochenen Fördermittel mit Lagerfunktion, die keinen der vorgenannten Zwecke erfüllen, sondern selbst das Fördermittel sind. Sie finden vorrangig in der Funktion als Pufferlager Verwendung, die sie zu den Vertretern der reinen Förderer insofern abgrenzt, als dass die Förderfunktion prozessbedingt und geplant zum Lagern vorgesehen wird. Eine vergleichen-

**Tabelle 3.4.** Einsatz unstetiger Fördermittel im Lager

Verwendungsübersicht der unstetigen Fördermittel im Lagerbereich				
Fördermittel	als Bestandteil dynamischer Lager	zum Ein- und Auslagern	in der Lagervorzone	mit Lagerfunktion
<b>flurgebunden</b>				
Regalbediengerät		■		
Verschiebewagen	■		■	
Hochhubwagen		■	■	
Kommissionierfahrzeug			■	
Gabelstapler		■	■	
Hochregalstapler		■	■	
Automatisches Flurförderzeug		■	■	
<b>aufgeständert</b>				
Aufzug/Senkrechtförderer	■	■	■	
Kanalfahrzeug		■	■	
Verteilfahrzeug		■	■	
<b>flurfrei</b>				
Brücken-, Hänge-, Portalkran		■	■	
Stapelkran		■	■	
Trolley- oder Rohrbahn				■
Elektrohängebahn		■	■	■

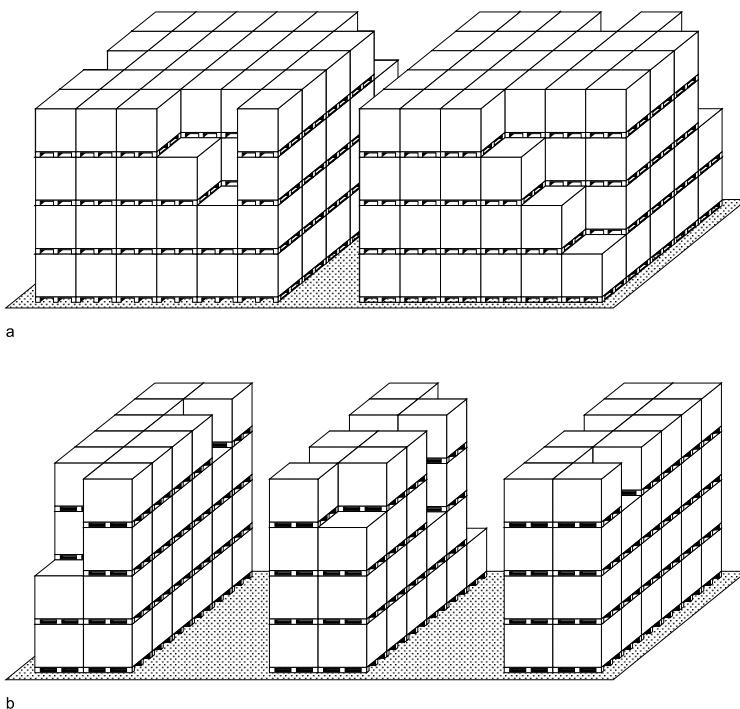
■ typischer Anwendungsbereich

de Übersicht, welche Fördermittel zu welchem Zweck im Lager eingesetzt werden, geben die Tabellen 3.3 und 3.4.

## 3.4 Lagermittel

### 3.4.1 Bodenlagerung

Die Bodenlagerung ist die älteste und simpelste Art der Lagerung, bei der das Lagergut einfach auf dem Boden abgestellt wird. Dabei kann ein Ordnungsschema eingeführt werden, indem die Lagergüter zu Blöcken oder zu Zeilen zusammengefasst werden. Zudem ist ein begrenztes Stapeln der Güter möglich. Die Stapelhöhe hängt u. a. von den Eigenschaften der Güter oder der eingesetzten Ladehilfsmittel (z. B. Gitterboxen, Gestelle), der Bedientechnik (z. B. Stapler oder Kran) und den räumlichen Gegebenheiten (z. B. Überdachung) ab.



**Abbildung 3.4.** Bodenlagerung a) Blocklagerung b) Zeilenlagerung

Diese einfache Form der Lagerung verursacht geringe Investitionskosten und ist flexibel an örtliche Gegebenheiten (Flächenzuschnitt und Gebäudeform) anpassbar. Bei ausreichend dimensionierten Gangbreiten kann durch eine entsprechende Anzahl von Fördermitteln eine relativ hohe Umschlagleistung realisiert werden. Aufgrund der schlechten Mechanisierbarkeit von Bodenlängern erfolgt die Bedienung meist manuell.

**Bodenblocklager** Das Lagergut wird zu einem kompakten Block angeordnet, d. h. unmittelbar über-, hinter- und nebeneinander gelagert. Dadurch lassen sich die höchsten Raumnutzungsgrade erzielen, allerdings ist der Zugriff nur auf die in vorderster Säule oben befindlichen Güter möglich. Aus diesem Grund ist diese Art der Lagerung nur dort praktikabel, wo eine LIFO-Strategie möglich ist. Dabei kann es sich einerseits um klassische monostrukturierte Läger (Getränke, Rohstoffe) oder andererseits um Pufferläger im Warenein-/ausgang handeln, sofern dort Ganzladungen oder ganze Chargen gepuffert werden.

**Bodenzeilenlager** Um einen gegenüber der Bodenblocklagerung besseren Zugriff auf einzelne Ladeeinheiten zu erhalten, werden die Artikel so angeordnet, dass jede Säule an einem Bediengang liegt. Folgerichtig sinkt der Raumnutzungsgrad, demgegenüber steigt die unmittelbar im Zugriff befindliche Artikelanzahl.

### 3.4.2 Statische Regallagerung

Bei der Entscheidung für den Einsatz von Regalen steht zumeist die Optimierung der Flächennutzung durch Einbeziehen der Höhendimension im Vordergrund. Bei der Nutzung eines Regals werden die Lagereinheiten in ein separates Fach oder an einen spezifizierten Ort eines Lagergestells platziert. Insbesondere können so auch nicht stapelfähige Güter effizient gelagert werden. Die mögliche Regalhöhe wird dabei im Wesentlichen von der gewählten Bedientechnik bestimmt. Entsprechend variieren die Regalhöhen von 2 m bei manueller Bedienung bis etwa 55 m beim Einsatz von Regalbediengeräten. Die meisten Regaltypen setzen einheitliche Güter mit standardisierten Ladehilfsmitteln voraus.

Neben der physischen Umsetzung der Lagerung führen aber auch Fragen der Lagerorganisation zur Auswahl von Regaltechniken. Wesentliche Vorteile der Nutzung von Regalen sind die Möglichkeit einer eindeutigen Zuordnung von Ladeeinheit und Lagerort und die weitgehende Umsetzbarkeit geforderter Strategien. Dadurch wird auch die wesentliche Basis zur Automatisierbarkeit von Lagerprozessen geschaffen (vgl. [tHS03]).

Regale werden in Zeilen oder Blöcken angeordnet. Regale in Zeilenanordnung (Zeilenregale) bieten beliebigen Zugriff auf einzelne Lagereinheiten. Blockregale bieten dagegen kompakte Lagerung und hohe Raumnutzung bei z. T. sehr hohen Durchsatzleistungen.

**Blockregallagerung, Kompaktlagerung** Zu dieser Kategorie zählen einige Vertreter der statischen und der dynamischen Lagerung. Diese Kategorie zeichnet sich durch den fehlenden Zugriff auf die einzelne Lagereinheit aus, ermöglicht jedoch eine hohe Raumnutzung. Aus den statischen Regalen gehören Einfahr- und Durchfahrrregale sowie satellitenbediente Kanallager zu

dieser Kategorie, aus den dynamischen Regalen sind dies die unterschiedlichen Spielformen der Einschub- und Durchlaufregale.

**Zeilenregale** Der Begriff Zeilenregal definiert, dass einzelne Fächer über- und nebeneinander angeordnet sind und die Ladeeinheiten unmittelbar an der Regalfront ein- und ausgelagert werden. Im meist verbreiteten Fall der einfachtiefen Lagerung kann somit auf jede Lagereinheit direkt zugegriffen werden. Entsprechend lassen sich alle möglichen Lagerstrategien problemlos anwenden, zumal sie nicht durch die physische Anordnung vorgegeben, sondern über die Lagerorganisation gesteuert werden. Neben der einfachtiefen Lagerung können bei Einsatz spezieller Bedientechniken die Ladeeinheiten auch zweifach oder dreifach hintereinander eingelagert werden. Hierdurch ergeben sich jedoch bei Zugriff auf hintere Einheiten notwendige Umlagerungen oder spezielle Lageroperationen, die den möglichen Durchsatz verringern.

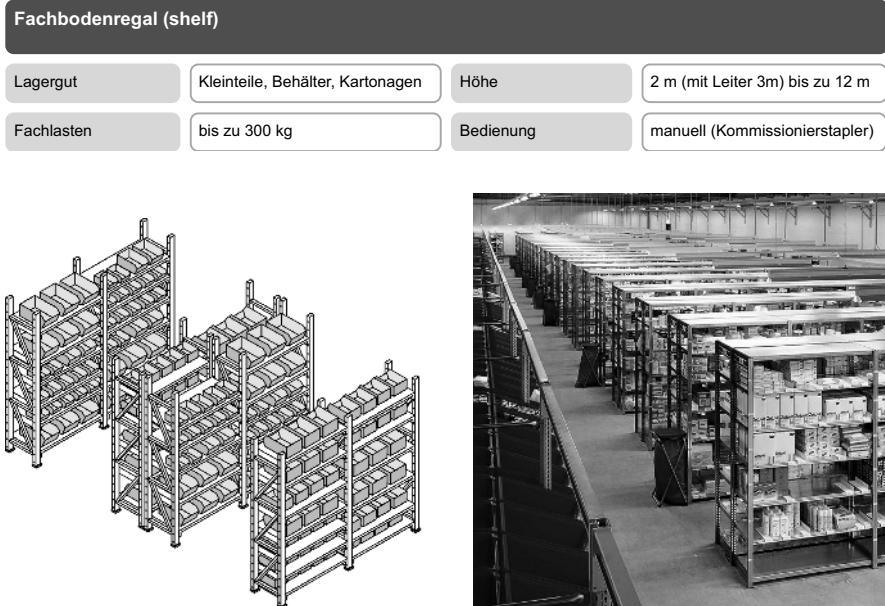
Je nach Lagergut ergeben sich spezielle Bauformen von Zeilenregalen, die in Anlehnung an den Ladehilfsmitteltyp (Palettenregal, Behälterregal) oder die Lagerbauform (Traversenregal, Kragarmregal, Wabenregal) benannt werden. Ein entscheidendes Merkmal ist dabei auch die Unterscheidung in Lagerung mit und ohne Ladehilfsmittel.

Die Gestaltung von Zeilenregalen variiert mit der Größe, Form und dem Gewicht des einzulagernden Gutspektrums, der gewählten oder möglichen Bedientechnik, der geforderten Ein-/Auslagerleistung und den räumlichen Gegebenheiten. Die einzelnen Fächer des Regals sind auf die maximalen Abmessungen einzulagernder Güter zuzüglich allseitiger Freiräume zur Handhabung und Gutübergabe auszulegen. Die Länge einzelner Lagergänge und die Anordnung der Bedien- und Gassenwechselwege werden im Wesentlichen durch die Anforderungen des Kommissioniersystems geprägt.

Die Regalbedienung von Zeilenregalen erfolgt bei schweren und großen Einheiten gängigerweise über Gabelstapler, Regalbediengeräte oder Krane, die die Lagereinheit durch vertikale Hubbewegungen absetzen bzw. aufnehmen. Vermehrt kommen Satellitenfahrzeuge zum Einsatz, die über Lastaufnahmemittel zur seitlichen Lastaufnahme verfügen. Bei leichten Einheiten ist auch die manuelle Bedienung üblich. In Abhängigkeit von der eingesetzten Bedientechnik variieren die erforderlichen Arbeitsgangbreiten und damit der realisierbare Raumnutzungsgrad.

### Fachbodenregal

In Fachbodenregalen lagert das Gut auf geschlossenen Fachböden aus Holz oder Stahl und ggf. auf Gittern in mehreren Ebenen übereinander. Die Fachböden können beispielsweise in einem Lochraster an den Stehern in verschiedenen Höhen befestigt werden. Die häufigste Bauart ist das handbediente Fachbodenregal mit Höhen bis ca. 2 m und bis zu 3 m bei Einsatz von Leitern oder Tritten. Zudem existieren mehrgeschossige Anlagen mit integrierten Treppen und Bewegungsgängen, um die Raumhöhe in manuellen Lägern zu



**Abbildung 3.5.** Fachbodenregal [Foto: Bito]

nutzen. Ausführungen bis ca. 12 m Höhe werden realisiert. Dabei wird die Einlagerung und Entnahme manuell mit Hilfe eines Kommissionierstaplers vorgenommen (vgl. Abb. 3.7).

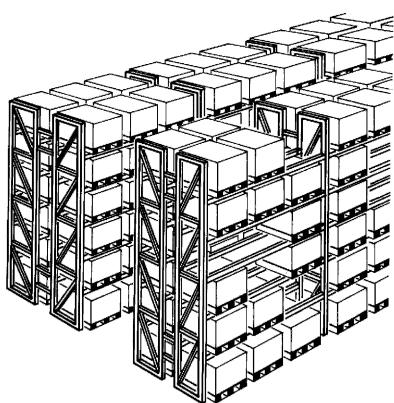
Durch eine Vielzahl an Zubehör lassen sich Fachbodenregale flexibel an die Lageranforderung anpassen und sind aufgrund ihrer einfachen Konstruktion leicht erweiterbar. In RAL-RG 614/1 sind die Güte- und Prüfbestimmungen für Fachbodenregale aufgeführt [RAL614].

Fachbodenregale ermöglichen die Lagerung des breitesten Spektrums von Gütern. So können nicht palettierte Artikel, Kleinteile, Kartonagen, Behälter, aber auch sperrige Teile und bei der Einrichtung eines hochflexiblen Lagers auch Paletten und Gitterboxen eingelagert werden. Eine manuelle Einzelentnahme ist sinnvoll und üblich. Eingesetzt werden Fachbodenregale zur Lagerung von kleinen bis mittleren Mengen pro Artikel bei großer Artikelanzahl und unterschiedlichstem Artikelspektrum. Ein wichtiges Einsatzfeld von Fachbodenregalen ist die manuelle Kommissionierung von nicht palettierten Artikeln oder Kleinteilen aus Behältern, wie sie z. B. im Versandhandel betrieben wird.

### **Palettenregal**

Palettenregale, die am häufigsten eingesetzten Lagermittel sind Lagermittel für eine Stückgutlagerung mit Ladehilfsmittel. Als Hochregale werden Palettenregale bezeichnet, die höher als 12 m sind (vgl. Abb. 3.8). Bei Hochregal-

<b>Palettenregal (pallet rack)</b>			
Höhe	bis zu 16 m	Lagergut	Paletten, Gitterboxen, Corletten
Fachlasten	max. 4.000 kg	Feldlasten	max. 24.000 kg
Regalbedienung	(Schmalgang-, Kommissionier-) Stapler	Stellplätze	2.000 – 50.000 (max. 100.000) Paletten

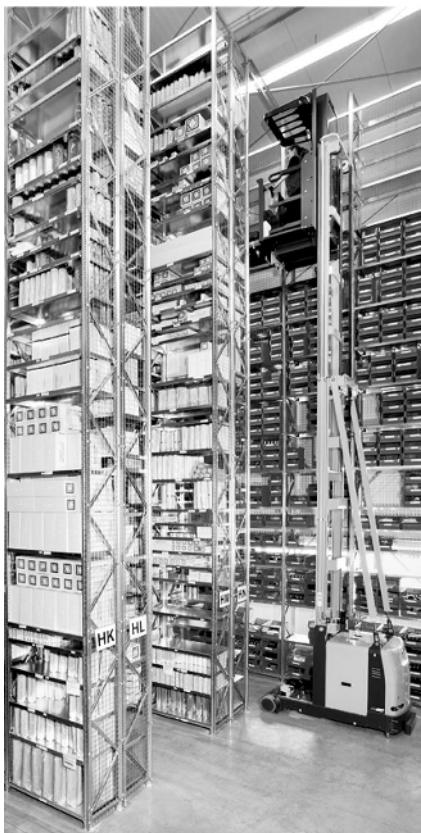


**Abbildung 3.6.** Palettenregal [Foto: META-Regalbau]

läfern in Silobaufbauform bilden Regale, Dach- und Wandelemente eine bauliche Einheit [JÜNE71]. Hochregale werden bis zu einer Höhe von 55 m gebaut. In RAL-RG 614/2 sind die Güte- und Prüfbestimmungen für Palettenregale bis zu einer Höhe von 12 m aufgeführt [RAL614].

Je nach Bauart der Palettenregale unterscheidet man Einplatz- und Mehrplatzsysteme sowie Längs- und Quereinlagerung (vgl. Abb. 3.9). Im Mehrplatzsystem erfolgt die Lagerung von mehreren Ladeeinheiten nebeneinander in einem Lagerfach. Die Ladeeinheiten stehen dabei auf zwei Auflageträgern oder Längstraversen. Im Einplatzsystem erfolgt die Lagerung von jeweils einer Ladeeinheit in einem Lagerfach, wobei die Ladeeinheiten auf zwei Quertraversen (an den Stehern angebrachte Winkelprofile) stehen. Die Einplatzlagerung ermöglicht die Lagerung von schweren Ladeeinheiten. Die Steher oder Stützen eines Palettenregals werden üblicherweise mit einem Lochraster ausgeführt, in welche die Längs- oder Quertraversen eingehängt werden. Die Lagerfachhöhen lassen sich dadurch beliebig einstellen. Ladeeinheiten werden grundsätzlich mit Ladehilfsmitteln gebildet, meistens mit Europaletten, Chemiepaletten, Corletten oder Gitterboxen.

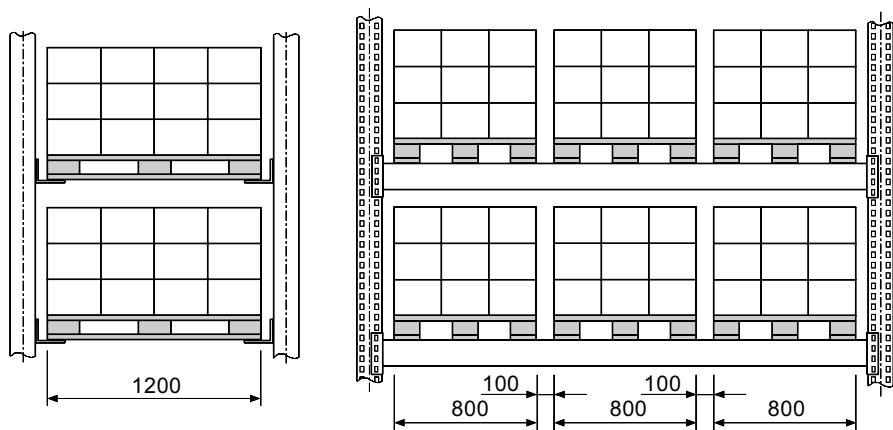
Abhängig von der Regalhöhe werden Palettenregale von verschiedenen Staplertypen oder von Regalbediengeräten bedient. Bis zu einer Regalhöhe



**Abbildung 3.7.** Hohes Fachbodenregal [Foto: META-Regalbau]



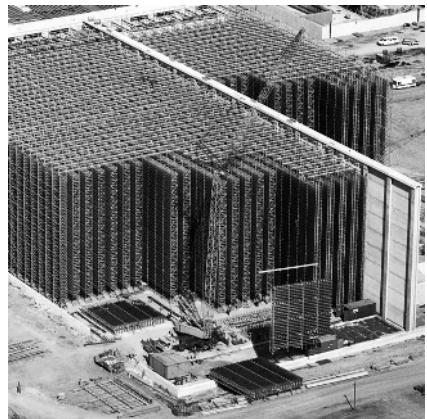
**Abbildung 3.8.** Hochregal [Foto: MLog]



**Abbildung 3.9.** Längs- und Quereinlagerung von Paletten



**Abbildung 3.10.** Bodenzeilenlagerung von Paletten [Foto: Viastore]



**Abbildung 3.11.** Aufbau eines Hochregals [Foto: SSI Schäfer]

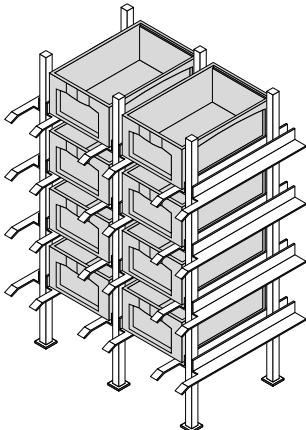
von max. 16 m ist eine manuelle Ein-/Auslagerung durch Hochregalstapler möglich. Für größere Höhen bis zu 55 m werden Regalbediengeräte eingesetzt.

Eine verbesserte Volumennutzung lässt sich durch eine doppeltniedige Einlagerung erzielen. Hierbei werden zwei Paletten hintereinander eingelagert. Da bei Ein- oder Auslagerung der hinteren Lage allerdings Umlagerungen notwendig sind, eignen sich solche Lösungen nur für bestimmte Anforderungsprofile. Anwendung findet diese Ausführung bei Lagern, in denen eine mittlere Anzahl Artikel mit großer Anzahl Lagereinheiten pro Artikel bevorzugt werden. Aufgrund der besseren Volumennutzung wird die mehrfach niedige Lagerung auch verwendet, wenn der Lagerraum relativ teuer ist (z. B. Tiefkühl Lager oder explosionsgeschütztes Lager). Bedient werden können solche doppeltniedigen Palettenregale z. B. mit Gabelstaplern, die zwei Paletten längs hintereinander mit einer doppeltniedigen Gabel aufnehmen können, jedoch sind diese Einsatzfälle sehr begrenzt verbreitet.

### Behälterregale

Die Lagerung sehr kleiner Artikel oder geringer Mengen macht oftmals die Wahl geringerer Lagereinheitabmessungen erforderlich, da das klassische Palettenmaß (800 mm x 1.200 mm) keine zufriedenstellende Raumnutzung liefert. Daher wird die Einlagerung kleinerer Ladeneinheiten in standardisierten Ladehilfsmitteln wie z. B. Behälter, Kästen, Kassetten oder Tablare bevorzugt (z. B. 400 mm x 600 mm). In der Mehrzahl der Einsatzfälle werden KLT als Lagerhilfsmittel verwendet. Behälterregale werden auch Kleinteilelager genannt und sind für die Lagerung von Ladehilfsmitteln dieser Größe und Anforderung konstruiert. Tablare sind Blechwannen mit einer stirnseitig angebrachten Eingriffsleiste.

<b>Behälterregal; AKL (container rack; automated small parts storage, mini-load)</b>			
Lagergut	Behälter, Kartonagen, Tablar	Höhe	7 – 18 m
Gewicht des Lagergutes	ca. 50 kg	Ein-/Auslagerleistungen	ca. 120 DS/h
Stellplätze	1.000 – 20.000 (max. 110.000)	Regalbedienung	RBG mit Behälter-LAM, Hubbalken



**Abbildung 3.12.** Behälterregal [Foto: Viastore]

Die Lagerung von Behältern oder ähnlichen Ladehilfsmitteln erfolgt aufgrund der geringen Stückgewichte auf Auflagekonsolen, die seitlich an den Lagerfächer angebracht sind, oder auf Fachböden in mehreren Ebenen übereinander (vgl. Abb. 3.12), in Ausnahmefällen bei Verwendung spezieller Lastaufnahmemittel auch doppeltief. Es werden Einplatz- und Mehrplatzsysteme realisiert (vgl. Abb. 3.9). Spezielle Lastaufnahmemittel erlauben auch bei doppeltiefer Einlagerung den direkten Zugriff auf jede Ladeeinheit. Behälterläger mit mehreren Behältertypen werden häufig in Felder mit gleichen Abmessungen unterteilt, in denen dann nur jeweils ein Typ lagert. Durch eine Anbringung der Konsolen in rasterförmig angeordneten Bohrungen an den Stehern oder an deren eingehängten Leitern können flexible Felder gebildet und so auf Schwankungen bei unterschiedlichen Behältertypen reagiert werden.

Die geringen Stückgutgewichte ermöglichen effektive Formen der Lagerfachbedienung, die zu speziellen Ausprägungen von Behälterregalen geführt haben. Durch das relativ geringe Stückgutgewicht und die Gleitreibung zwischen Lagereinheit und Regalauflagen ist es in vielen Fällen möglich, die Lagereinheit (Behälter, Kasten, Tablar) in das Lagerfach zu schieben bzw. bei der Auslagerung aus dem Fach zu ziehen. Das Lastaufnahmemittel greift dazu in die Leiste oder den Griff des Tablars oder durch einen Zangenmecha-

nismus seitlich am Behälter an. Durch den Einsatz solcher Ziehtechniken wird erstens eine kürzere Lastübergabezeit realisiert und zweitens reduzieren sich durch die automatische Positionierung die Sicherheitsabstände, so dass eine bessere Raumnutzung erfolgt. Weitere Techniken der Aufnahme von Behältern ist die Aufziehtechnik oder Aufwälztechnik, bei der das Lastaufnahmemittel unter den Behälter fährt und ihn reibschlüssig mit einem Gurtförderer bewegt. Diese Techniken sind ebenfalls für die Handhabung von Kartonagen zur Einlagerung in ein AKL verfügbar.

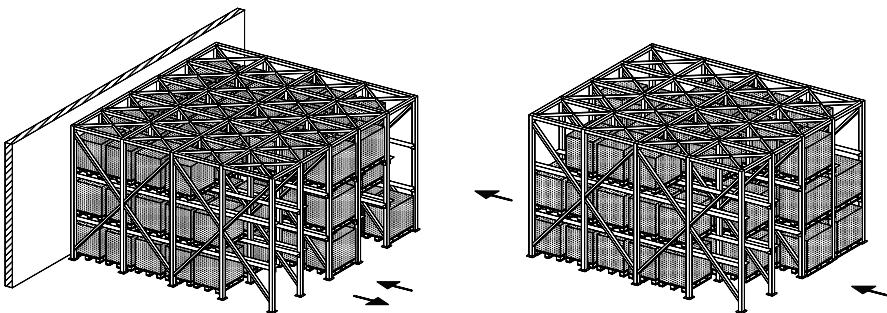
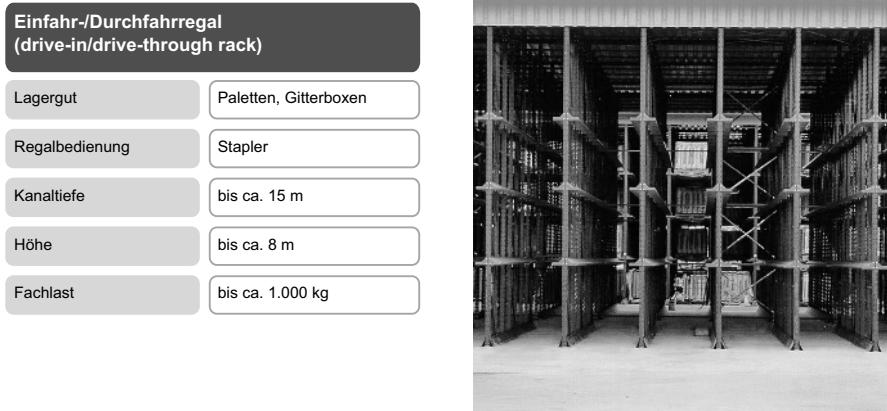
Behälterregale werden im Allgemeinen durch automatische Regalbediengeräte bedient und als Automatische Kleinteilelager (AKL) bezeichnet. Behälterregale und Automatische Kleinteilelager werden häufig zur Lagerung von Kleinteilen mit begrenzter Menge pro Artikel bei großer Artikelanzahl eingesetzt. Typische Einsatzfälle sind Kommissionierläger in der Distribution des Online-Endkundengeschäfts oder Ersatzteilläger in der Automobilindustrie.

### **Einfahr-/Durchfahrregale**

Einfahr- und Durchfahrregale sind Vertreter der einfachsten Form von Blockregallagerung. Sie besitzen entlang der Regalgasse mehrere Ladeeinheiten hohe Kanäle, in die Paletten quer eingelagert werden (vgl. Abb. 3.13). In die Tiefe sind Winkelprofile an den Regalstützen installiert, auf denen die Ladeeinheiten abgestellt werden, so dass eine druckfreie Einlagerung in der Höhe und eine staudruckfreie Einlagerung in der Tiefe ermöglicht wird. Aus der Lagerung ohne zusätzliche Bediengänge resultiert ein hoher Raumnutzungsgrad zu Lasten eines Zugriffs auf jede Palette. Die Breite der Kanäle richtet sich nach den Abmessungen der Ladeeinheiten.

Bedient werden die Regale über konventionelle Frontgabelstapler, die zum Ein- bzw. Auslagern in den Kanal hineinfahren, durch Bodenschienen in den jeweiligen Kanälen zur Fahrzeugführung seitlich zwangsgeführt werden und in ihrer Kontur der Form der Kanäle angepasst sein müssen. Die Ladeeinheiten werden beim Ein- und Auslagern ein wenig oberhalb der Tiefenauflagen bewegt.

In der Bedienung werden zwei Bewegungsformen unterschieden: Bei *Einfahrregalen* erfolgt die Ein- und Auslagerung von der gleichen Seite, woraus sich zwangsläufig eine LIFO-Strategie ableitet. Bei *Durchfahrregalen* ermöglichen zwei gegenüberliegende Bedienseiten eine FIFO-Strategie. Aufgrund der statischen Lagerung innerhalb der Kanäle ist der Füllungsgrad des Regals abhängig von der Ein- und Auslagerstrategie, da eine Umsetzung innerhalb eines Kanals nicht praktibel ist. Ein hoher Füllungsgrad kann daher nur bei hoher Ein- und Auslagerfrequenz größerer Pulks von Lagereinheiten und bei artikelreiner Belegung der Kanäle realisiert werden. Bei der Bedienung von Einfahr- und Durchfahrregalen ist zu beachten, dass für den Zugriff auf eine tiefer im Regal eingelagerte Säule von Lagereinheiten zuerst die davor plat-



**Abbildung 3.13.** Einfahr-/Durchfahrregal [Foto: Gehring]

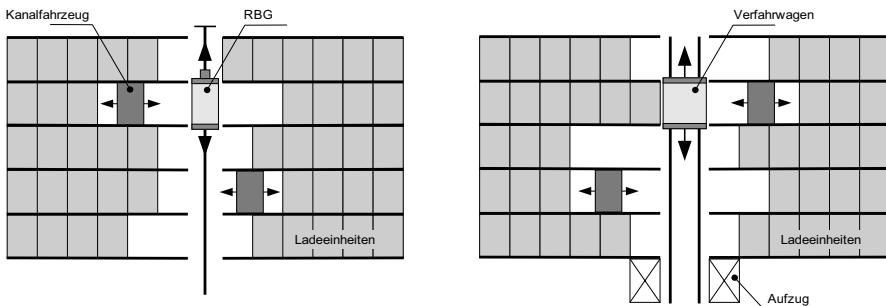
zierten Säulen ausgelagert werden müssen, damit der Stapler die Regalfelder zur Bedienung durchfahren kann.

Durch den Umstand der kanalweisen Belegung durch Ladeeinheiten eignen sich Einfahr- und Durchfahrtregale zur Lagerung von Massengütern der gleichen Art und Beschaffenheit mit einer hohen Umschlaghäufigkeit. Besonders geeignet sind Einfahr- und Durchfahrtregale daher für ein- und ausgehende Ladeeinheiten, die in großen Mengen artikel- oder chargenrein gepuffert werden müssen, z. B. in der Lebensmittelindustrie und im Baustoffhandel. Darüber hinaus eignen sie sich als Saisonlager oder als Puffer in der Produktion und beim Warenaumschlag.

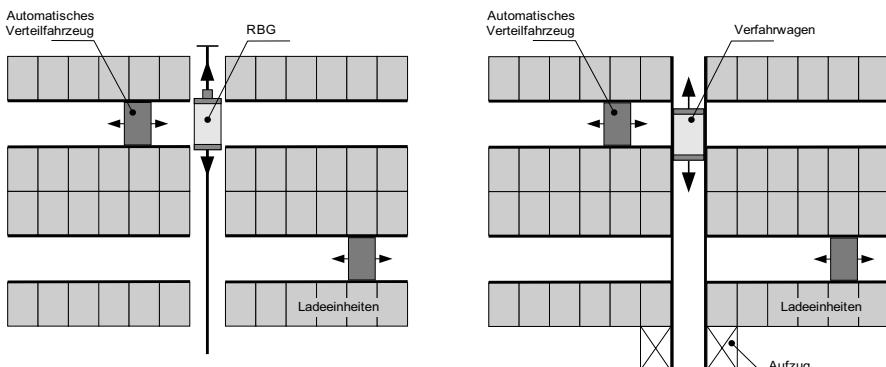
### Läger mit Kanal- und Verteilfahrzeugen

Läger mit Kanal- und Verteilfahrzeugen unterteilen sich in die statischen Blockregallager mit Kanalfahrzeug (vgl. Abb. 3.14) und die statischen Zeilenregallager mit automatischen Verteilfahrzeugen (vgl. Abb. 3.15). Der Begriff Satellitenlager ist ein geschützter Name der Firma Westfalia. Die beiden Varianten von Lägern mit Kanal- und Verteilfahrzeugen unterscheiden sich

sowohl in der Lagerkonstruktion als auch in der Lagerbedientechnik. Bei den statischen Blockregallagern mit Kanalfahrzeug handelt es sich um eine Blocklagerung, bei der Kanalfahrzeuge die Ein- und Auslagerungen durch Unterfahren des Lagergutes übernehmen. Bei den statischen Zeilenregallagern mit automatischen Verteilfahrzeugen handelt es sich um eine Zeilenlagerung, bei der automatische Verteilfahrzeuge neben dem Lagergut in separaten Gassen fahren und das Lagergut seitlich aufnehmen.



**Abbildung 3.14.** Statisches Blockregallager mit Kanalfahrzeug



**Abbildung 3.15.** Statisches Zeilenregal mit automatischen Verteilfahrzeugen

In Lägern mit Kanal- und Verteilfahrzeugen existieren grundsätzlich zwei Arbeitsräume. Der primäre Arbeitsraum wird gebildet durch die Gasse, in der das Trägerfahrzeug des Kanal- oder Verteilfahrzeugs verfährt, der sekundäre Arbeitsraum ist der Arbeitskorridor des Kanal- oder Verteilfahrzeugs. In der Abfolge der Bedienung wird zunächst Kanal- oder Verteilfahrzeug von einem Trägerfahrzeug im primären Arbeitsraum vor der vorgegebenen Regalzeile oder dem vorgegebenem Kanal positioniert. Dann bewegt sich das Kanal-

<b>Läger mit Kanal- und Verteilfahrzeugen (satellite storage system)</b>	
Lagergut	Behälter, Paletten
Stellplätze	40.000 – 80.000
Kanaltiefe	bis 10 Paletten
Ein-/Auslagerleistung	ca. 40 DS
Geschwindigkeit Fahrzeug	1,5 m/s
Lagergutlast	bis 1.250 kg



**Abbildung 3.16.** Kennwerte Lager mit Kanal- und Verteilfahrzeugen und Kanalfahrzeug im Einsatz [Foto: Still]

oder Verteilfahrzeug in den Arbeitskorridor hinein. Bei den Bewegungen in der Regalgasse ist das Kanal- oder Verteilfahrzeug passiv und wird vom Trägerfahrzeug bewegt, im Arbeitskorridor ist das Kanal- oder Verteilfahrzeug aktiv, das Trägerfahrzeug passiv oder für andere Aufgaben verfügbar.

Für die Übernahme der Funktion des Trägerfahrzeuges existieren zwei Varianten. Zum einen können die Kanal- oder Verteilfahrzeuge von einem Regalbediengerät sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung transportiert werden. Zum anderen können diese beiden Bewegungen entkoppelt werden, indem für den horizontalen Transport ein Verschiebewagen und für den vertikalen Transport des Lagergutes ein Vertikalförderer eingesetzt wird.

Wird ein Kanal- oder Verteilfahrzeug pro Ebene eingesetzt, kann ein Verschiebewagen in jeder Ebene die Umsetzvorgänge realisieren. Der Verschiebewagen transportiert in diesem Fall das Kanal- oder Verteilfahrzeug über den primären Arbeitsraum zu den Vertikalförderern. Die Ladeeinheit wird an den Vertikalförderer übergeben, der den Transport in die Ein- oder Auslagerebene durchführt. Müssen die Kanal- oder Verteilfahrzeuge auf mehreren Ebenen agieren, ist also nicht pro Ebene ein Kanal- oder Verteilfahrzeug vorhanden, sind Vertikalbewegungen dieser Kanal- oder Verteilfahrzeuge erforderlich. Bei Einsatz eines Verschiebewagens als Trägerfahrzeug müssen dann zum Ebenenwechsel zusätzlich Vertikalförderer für den Transport der Kanal- oder Verteilfahrzeuge eingesetzt werden.

Der Einsatz von Vertikalförderern entfällt, wenn Regalbediengeräte als Trägerfahrzeuge verwendet werden. Mit den Regalbediengeräten sind sowohl horizontale als auch vertikale Wechsel der Arbeitskorridore schnell realisierbar. Die Kanal- oder Verteilfahrzeuge werden vom Regalbediengerät vor dem Arbeitskorridor positioniert. Anschließend löst sich das Kanal- oder Verteilfahrzeug vom Regalbediengerät, fährt in den Arbeitskorridor ein und über-

nimmt die Ladeeinheit. Die Auf- und Abgabe der Ladeeinheit hängt davon ab, ob es sich um ein Zeilenregallager oder ein Blockregallager handelt.

Durch den Einsatz von autonomen Kanal- oder Verteilfahrzeugen, die auf keine Verbindung elektrischer oder steuerungstechnischer Natur mit dem Trägerfahrzeug angewiesen sind, kann das Trägerfahrzeug für mehrere Kanal- oder Verteilfahrzeuge verwendet werden (vgl. Abb. 3.16).

In statischen Blockregallägern mit Kanalfahrzeugen werden die Ladeeinheiten auf zwei waagerecht verlaufenden Schienen hintereinander in den Kanälen eingelagert. Die Lageroperationen erfolgen durch Kanalfahrzeuge, die in den Schienenprofilen verfahren und die Ladeeinheit durch Unterfahren aufnehmen. Durch die unterschiedliche Gestaltung der Kanaltiefen kann das Kanallager optimal an die verschiedensten Räumlichkeiten angepasst werden. Üblich ist die Anordnung der Kanäle in einem einzelnen großen Block oder in zwei durch eine Gasse getrennte Blöcke. Zudem sind die Kanäle sowohl ein- als auch beidseitig bedienbar. Bei der einseitigen Bedienung wird das LIFO-Prinzip durchgeführt, bei der beidseitigen Bedienung kann LIFO oder FIFO realisiert werden. Dies bezieht sich auf den jeweiligen Kanal. Durch Umlagerungen von Ladeeinheiten können die Systeme auch einen Zugriff auf eine bestimmte Ladeeinheit ermöglichen.

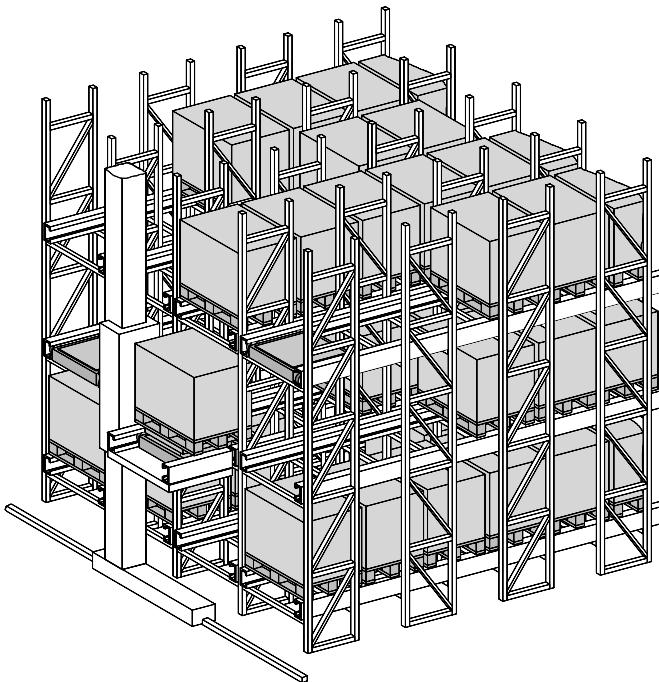
Analog zu der statischen Zeilenregallagerung mit Verteilfahrzeugen können auch hier für die Transporte der Kanalfahrzeuge von einem Kanal zum anderen sowohl Verschiebewagen in Kombination mit Vertikalförderern als auch Regalbediengeräte verwendet werden. Die Abbildungen 3.17 und 3.18 zeigen schematisch die beiden Realisierungsmöglichkeiten.

Systeme werden typischerweise mit 20 Paletten pro Kanal realisiert. Wird pro Lagerebene ein Kanalfahrzeug eingesetzt, sind Umschlagsleistungen von bis zu 40 Ein- und Auslagerungen pro Lagerebene und Stunde möglich.

Dem Füllgrad kommt bei Kanallägern eine besondere Bedeutung zu, da mit steigendem Füllgrad des Lagers die Wahrscheinlichkeit für Neueinlagerungen in einem artikelreinen Kanal immer geringer wird. Damit steigt aber auch die Wahrscheinlichkeit für Umlagerungen bei der Auslagerung und es entsteht wiederum eine Leistungsverringerung.

Der wesentliche Unterschied zwischen dem statischen Zeilenregallager mit automatischen Verteilfahrzeugen und dem statischen Blockregallager mit Kanalfahrzeugen besteht darin, dass das Zeilenregallager einen direkten Zugriff auf jede Ladeeinheit gewährleistet. Umlagerungen kommen nicht vor. Daher kann die Leistung dieser Systeme mit den bekannten Verfahren wie der VDI 3561 oder der FEM 9.851 ermittelt werden (vgl. [VDI 3561a, VDI 3561b, FEM 9.851]). Konstruktiv benötigen die Zeilenregallager Fahrschienen und evtl. Stromversorgung, damit sich das Verteilfahrzeug im Arbeitskorridor bewegen kann.

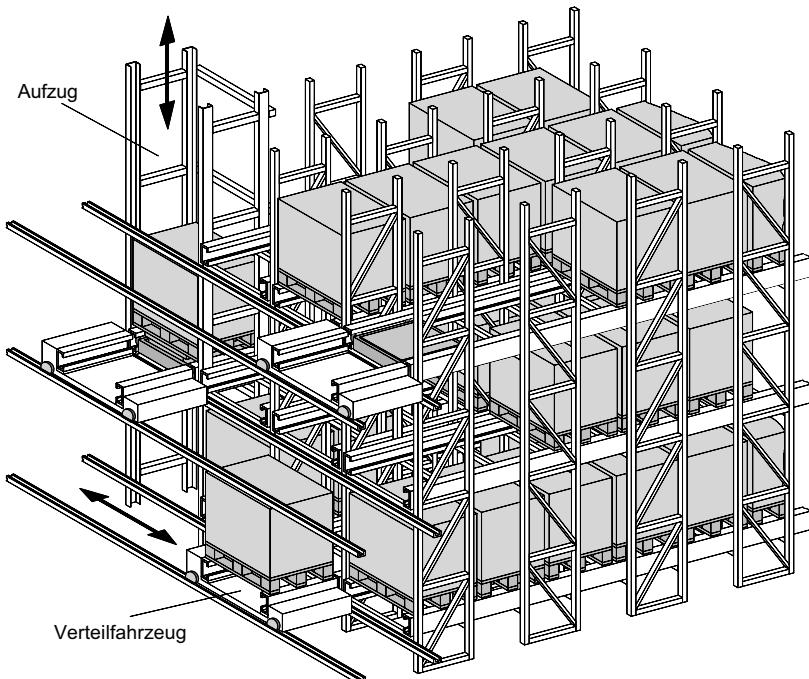
Der Einsatz von Verteilfahrzeugen, welche an den Gassenenden über Vertikalförderer umgesetzt werden (vgl. Abb. 3.18), ermöglicht eine vollkommene Entkopplung der einzelnen Ebenen. Der Vorteil dieser Systemvariante liegt



**Abbildung 3.17.** Bedienung eines Kanallagers mit Regalbediengerät

in der Unabhängigkeit der Verteilfahrzeuge bei der Arbeit in den verschiedenen Ebenen, d.h. es kann in jeder Regalebene ein Verteilfahrzeug Ein-, Aus- und Umlagerungen vornehmen, ohne für die horizontale Bewegung im primären Arbeitsraum auf ein Trägerfahrzeug angewiesen zu sein, das für die Zeit der Lageroperation andere Verteilfahrzeuge bewegen kann. Somit kann auf mehreren Ebenen parallel gearbeitet werden (vgl. Abschn. 3.4.2, Shuttle-Systeme). Die Begrenzung der Durchsatzleistung ist in diesem Fall hauptsächlich durch die Förderleistung des Vertikalförderers gegeben. Diese Vorteile lassen sich jedoch nur dann nutzen, wenn die Verteilfahrzeuge als autonome Fahrzeuge konzipiert sind.

Der entscheidende Nachteil dieser Variante besteht darin, dass die Umlagerungen nur innerhalb einer Ebene schnell realisiert werden können. Soll eine Umlagerung in einer anderen Ebene durchgeführt werden, muss dafür der Vertikalförderer genutzt werden. Dadurch ergeben sich sehr hohe Umlagerzeiten, die wiederum zur Einschränkung der Leistungsfähigkeit führen. Für solche Fälle werden wiederum Regalbediengeräte als Trägerfahrzeuge eingesetzt. Diese können der Forderung nach schnellen Umlagerungen im System nachkommen.



**Abbildung 3.18.** Bedienung eines Kanallagers mit Verschiebewagen

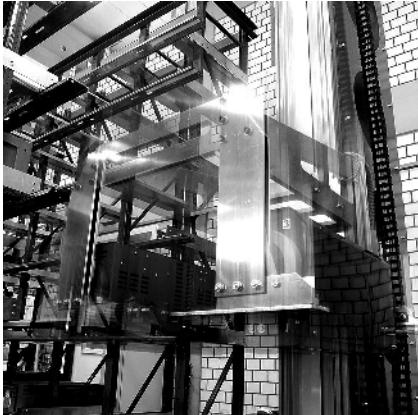
### Shuttle-Systeme

Die Shuttle-Systeme (unter anderem das dieser Beschreibung zu Grunde liegende Dematic MultiShuttle) sind statische Zeilenregallager, die von autonomen Fahrzeugen in den einzelnen Lagerebenen, vergleichbar den automatischen Verteilfahrzeugen, bedient werden. Den Transport zwischen den einzelnen Lagerebenen sowie die Anbindung an die Lagervorzone übernimmt ein Vertikalförderer.

Die Shuttle-Systeme sind in den Bereich der automatischen Kleinteilelager (AKL) einzuordnen und bieten eine hochdynamische Lösung.

Die Shuttle-Fahrzeuge werden von Elektromotoren, die über die Führungsschienen mit Energie versorgt werden, angetrieben (vgl. Abb. 3.19). Gesteuert werden sie über eine WLAN-Verbindung mit dem Leitrechner. Die Fahrzeuge sind gewichtsoptimiert konzipiert, d. h. es sind keine schweren Batterien und keine aufwändigen Steuerungseinheiten notwendig. Eine wichtige Komponente des Dematic Multishuttle-Systems bilden die multifunktionalen Schienen. Sie übernehmen mehrere Aufgaben, z. B. das Tragen und Führen der Fahrzeuge, die Positionserfassung und Feinpositionierung und eine zusätzliche Absicherung des Schienenendes.

Multishuttle	
Fördergut	Behälter
Nutzlast	30 kg
Fahrgeschwindigkeit	1,2 m/s
Lastübergabezeit	4 s
Fahrbeschleunigung	0,7 m/s <sup>2</sup>
Liftgeschwindigkeit	2 m/s
Liftbeschleunigung	6 m/s <sup>2</sup>



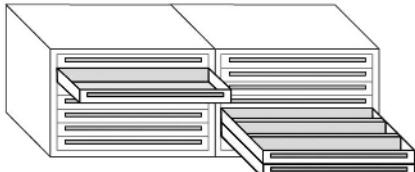
**Abbildung 3.19.** Shuttle-Fahrzeug des Dematic Multishuttle-Systems [Foto: Fraunhofer IML]

Die Lastaufnahme von beliebigen Behältern oder Kartonagen kann über unterschiedliche Lastaufnahmemittel, wie z. B. über Riemenförderer oder Ziehmechanismen erfolgen.

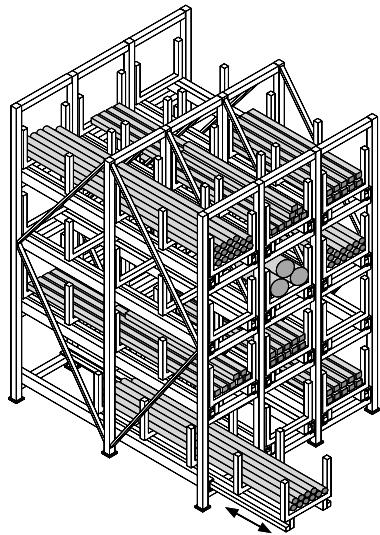
Vorteilhaft bei den Shuttle-Systemen ist die Möglichkeit, Bedarfsspitzen und sich verändernde Kapazitätsauslastungen durch die Anzahl der Shuttle-Fahrzeuge auszugleichen. Shuttle-Systeme sind im Lagerbereich für die Lagerung und Pufferung von Behältern und Kartonagen eine Alternative zu Regalbediengeräten und Hubbalkensystemen. Durch die Eigenschaft der Autonomie können sie im Gegensatz zu diesen gassengebundenen Geräten Aufgaben in verschiedenen Gassen und anderen, angrenzenden Bereichen des Materialflusssystems übernehmen. Wechselnde Kapazitätsanforderungen können über die Ausstattung der Anlage mit einem zweiten Lift pro Lagergasse und die Variation der Anzahl Shuttle-Fahrzeuge bewältigt werden. Ein typisches Einsatzfeld von Shuttle-Systemen ist die Kurzzeitlagerung von Auftragsbehältern oder Kartonagen vor der Auftragskonsolidierung.

### Schubladenregal

Das Gut lagert auf geschlossenen Fachböden aus Metall oder Holz in mehreren Ebenen übereinander. Die Böden sind seitlich gelagert und meist manuell aus dem Regal in die Bediengänge ausziehbar, was eine Beschickung und Entnahme des Lagergutes von oben ermöglicht. Aufgrund der häufigen Anordnung in Zeilen und der Tatsache des möglichen Zugriffs auf jeden beliebigen Lagerplatz werden Schubladenregale zu den Zeilenregalen gerechnet, obwohl das Lagergut zu einem Block zusammengefasst wird und aus diesem Umstand eine hohe Volumennutzung entsteht. Schubladenregale werden zur Lagerung von Kleinteilen, Werkzeugen, aber auch für Langgut von mehreren Tonnen je Schublade genutzt. Ausführungen als gekapselte Einheiten



**Abbildung 3.20.** Schubladenregal



**Abbildung 3.21.** Wabenregal

für die Entnahme von Kleinteilen mit integrierter Lagerverwaltungssoftware und Bedienfeld über Touchscreen kommen in der Produktion zum Einsatz und sind eine robuste, moderne Variante des klassischen Schubladenregals. Solche Schubladenautomaten können auch zur Fremdbewirtschaftung durch verschiedene Lieferanten genutzt werden, da über das LVS Zugriffe auf einzelne Lagerfächer gesperrt und freigegeben werden können.

### **Wabenregal**

Wabenregale werden überwiegend für die Lagerung von Langgut und Strangmaterial eingesetzt, selten auch für Tafelmaterial. Das Konstruktionsbild der Frontseite hat eine matrixförmige Struktur mit kleinen Feldhöhen und -breiten und nimmt in der Tiefe das Lagergut in Form eines Kanals auf. Je nach Anforderungsprofil weist das Wabenregal eine Tiefe von über 6 m auf. Die Lagerung erfolgt entweder ohne Ladehilfsmittel, dann ist evtl. eine Fördertechnik mit Teleskopfunktion zur Fachbedienung erforderlich, oder in Kassetten, die entweder mit dem Lagergut ausgelagert werden oder ausziehbar an der Regalkonstruktion befestigt sind. Bedient werden Wabenregale mit Kranen, Staplern oder Regalbediengeräten, die zur Bedienung der Fächer über ein Kettenförderersystem und ein Teleskop verfügen.

### **Kragarmregal**

Kragarmregale ermöglichen die Lagerung von Langgut, Tafelmaterial und allgemein sperrigem Material (vgl. Abb. 3.22). Sie bestehen aus einem Regalständer und aus ein- oder zweiseitig angebrachten, auskragenden Armen, die das Lagergut aufnehmen. Die Kragarme können starr oder beweglich ausge-

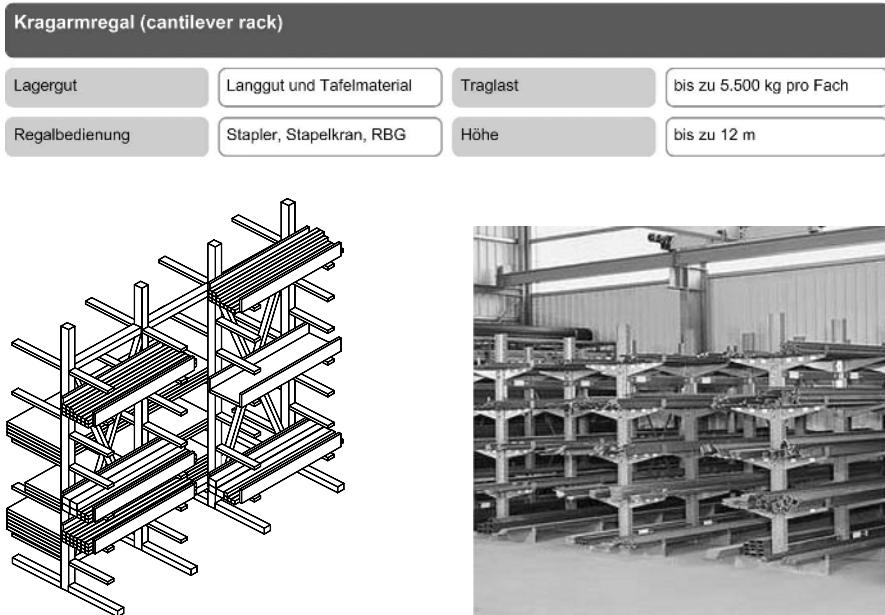


Abbildung 3.22. Kragarmregal [Foto: SV Regalsysteme]

führt und als Lastaufnahmemittel mit Kassetten oder Lagerwannen ausgestattet sein. Durch verstellbare Kragarme lassen sich die Regale an unterschiedliche Lagerhöhen und Belastungsanforderungen sowie an unterschiedliche Lagergüter anpassen. Bei stangen- oder rohrförmigem Material werden am Ende der Kragarme Abrollsicherungen angebracht. Zur Erhöhung der Steifigkeit einer Kragarmregalanlage werden besonders bei großen Lagerhöhen die einzelnen Regalzeilen am oberen Ende über Träger miteinander verbunden.

### Liftsysteme (Turmregale)

Liftsysteme bzw. Turmregale sind Bereitstellungssysteme zur Lagerung und Bereitstellung verschiedener Lagergüter wie Stückgüter, Kleinteile, Baugruppen und Werkzeugen, wobei Behälter, Paletten oder Gitterboxen als Lagerhilfsmittel eingesetzt werden können (vgl. Abb. 3.24).

Die Liftsysteme stellen die minimalisierte Form der Zeilenlagerung dar, indem lediglich zwei gegenüberliegende Lagersäulen gemeinsam von einem Lift bedient werden. Der zentral angeordnete Lift nimmt zu beiden Seiten mit einem speziellen Lastaufnahmemittel die Lagerhilfsmittel über eine Ziehtechnik auf und verfährt vertikal zwischen den Regalsäulen, um an der Zielposition das Lagerhilfsmittel in ein Regalfach einzulagern. Diese Lagerhilfsmittel sind als Tablare ausgeführt und nehmen die Ladeeinheiten auf, dabei können Stückgüter direkt auf den Tablaren bereitgestellt werden oder aber

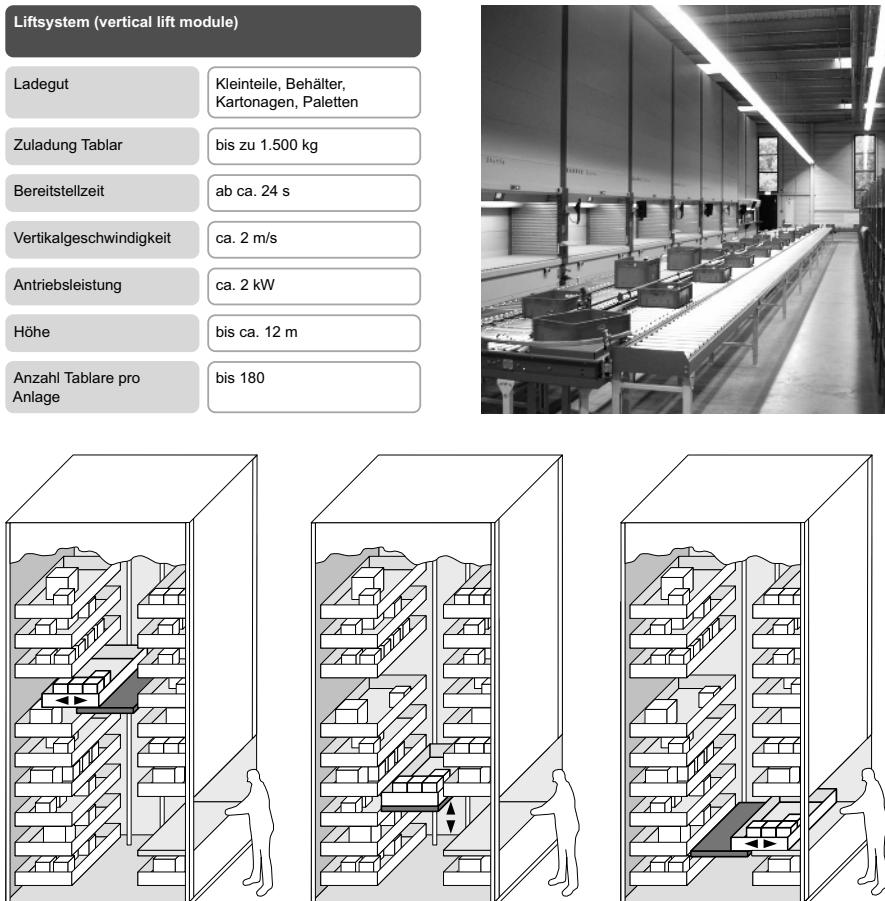


**Abbildung 3.23.** Kragarmregal als Verschieberegal [Foto: META-Regalbau]

es werden Ladehilfsmittel, in der Regel Behälter, auf den Tablaren gelagert. Sowohl die horizontale Bewegung der Tablare zur Auslagerung am Überga-beplatz als auch die vertikale Bewegung des Liftes erfolgen über Ketten, Seile oder Riemen.

Neben Systemen mit festen Fachhöhen innerhalb der Lagersäule werden Anlagen mit flexibel definierbaren Fachhöhen ausgeführt. Dazu wird anstelle fester Lagerfächer ein Aufnahmeraster von Auflagewinkeln für die Tablare mit einem Rastermaß von ca. 25 mm geschaffen, in das die Tablare eingeschoben werden. Nach Erfassung der Ladeeinheitenhöhe wird das Tablar eingelagert und die entsprechenden Rasterebenen werden für weitere Einlagerungen gesperrt. Dies ermöglicht eine Anpassung der Lagerfachhöhen an unterschiedliche Güter und somit eine Volumenoptimierung, insbesondere bei variierenden Ladeeinheitenhöhen. Eine Höhenmessung des Lagergutes erfolgt bei der Einlagerung über Sensoren. Die Gesamtzuladung beträgt in der Regel bis zu 60 t für das gesamte Gerät und bis zu 500 kg für die einzelnen Tablare.

Aufgrund der Konstruktion bieten Liftsysteme Schutz vor Staub. Mehrere Bedienöffnungen erlauben den Einsatz in Gebäuden mit Zugriff in jeder Etage. Liftsysteme werden vorwiegend zur Lagerung von B-Artikeln und in der Produktion zur dezentralen Lagerung von Produktiv- und Gemeinkostenmaterialien eingesetzt, wie z. B. für teilbearbeitete Produktionsgüter, Werkzeuge, Verbrauchs- und Ersatzteile. In der Kommissionierung finden Liftsysteme Anwendung in Verbindung mit automatisch auf eine Fördertechnik kommissionierenden Robotern und allgemein als Bereitstellsystem in manuellen Kommissionieranlagen. Zudem werden Schwerlastausführungen zur Lagerung von Tafelmaterial, wie z. B. Blechen, eingesetzt, die pro Tablar 3.000 kg bei einer gesamten Nutzlast der Anlage von bis zu mehreren hundert Tonnen lagern können.



**Abbildung 3.24.** Liftsystem [Foto: Kardex]

### 3.4.3 Dynamische Regallagerung

Regale werden aus verschiedenen Gründen dynamisch ausgeführt. Dabei werden die Lagergüter während des Lagerprozesses über Umlagerungen hinaus zwischen der Ein- und Auslagerung bewegt. Die Motivation und der erhoffte Nutzen sind

- Wegeinsparungen in der Kommissionierung und Erhöhung der Kommissioneerleistung,
- hohe Umschlagleistung bei kompakter Lagerung und
- Nutzung der Vorteile von Block- und Zeilenlagerung zugleich.

Bei der dynamischen Regallagerung werden zwei grundlegende kinematische Prinzipien unterschieden: *feststehende Lagereinheiten in bewegten Regalen*

und *bewegte Lagereinheiten in feststehenden Regalen*. Zu der ersten Gruppe werden Verschiebe- und Umlaufregale gezählt, zu der zweiten die verschiedenen Formen der Durchlaufregale.

### **Durchlauf-/Einschubregal**

Die Lagereinheiten werden auf geneigten Rollenförderern in Kanälen zumeist artikelrein gelagert. Beim Durchlaufregal wird am höher gelegenen Kanalende eingelagert und am niedrigeren entnommen, beim Einschubregal wird am niedrigeren Kanalende ein- und ausgelagert. Bei Entnahme einer Lagereinheit rückt der Pulk der nachfolgenden Einheiten automatisch bis zur Kanalfront vor, so bleibt eine einheitliche Entnahmefront bestehen. Beim Einschubregal muss das Fördermittel zur Ein- und Auslagerung den Staudruck des Pulks bei der Einlagerung überwinden. In Durchlaufregalen werden verschiedene Sicherheitssysteme eingesetzt. Bremsrollen verhindern zu hohe Geschwindigkeiten der Paletten in den Kanälen. Eine kontrollierte, konstante Geschwindigkeit ohne Beschleunigungen und das Auftreten hoher Kräfte ist insbesondere bei Durchlaufregalen notwendig, da eine Ladeeinheit im schlechtesten Fall den gesamten Kanal durchfahren kann. Bremsrollen regeln die Geschwindigkeit auf Schwerkraftrollenbahnen, indem sie das Fördergut auf konstanter Ablaufgeschwindigkeit (kleiner als 0,3 m/s) halten. Die Bremswirkung wird durch Wirbelstrom, Hydraulik oder Fliehkraft erzeugt, wobei sich die auf die Tragrollen aufgebrachte Bremskraft proportional zum aufgebrachten Bremsmoment verhält.

Bei schweren Gütern werden durchgehende Tragrollen eingesetzt, bei leichteren Gütern genügen Röllchenbahnen. Röllchenbahnen bieten darüber hinaus den Vorteil, dass sich die Kanalbreiten variabel einstellen lassen. Dadurch kann Änderungen in der Artikelstruktur Rechnung getragen werden. Für die einwandfreie Funktion ist die Rollfähigkeit der Behälter von entscheidender Bedeutung. Viele Kunststoffbehälter sind beispielsweise aufgrund gerippter Bodengestaltung für Standardröllchenbahnen ungeeignet.

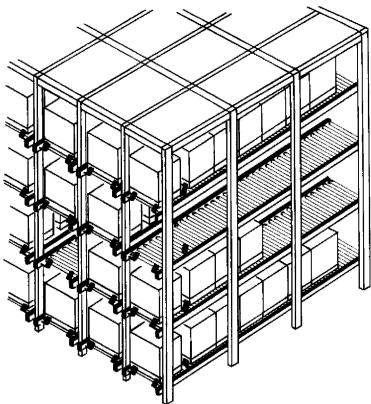
In Durchlauf-/Einschubregalen können mittlere und große Mengen pro Artikel bei kleiner bis mittlerer Artikelanzahl vor allem in Verteillägern eingelagert werden. Sie finden Einsatz in Lebensmittelzentrallägern und Warenverteilzentren. Dort werden sie häufig in Gestalt von so genannten Kommissioniertunnels eingesetzt, bei denen von den Seiten ein Nachschubvorgang mit Flurförderzeugen gesichert und die Entnahme im zentralen Kommissioniertunnel (Kommissioniergang) vorgenommen wird.

### **Durchlauf-/Einschubregal mit angetriebenen Stetigförderern**

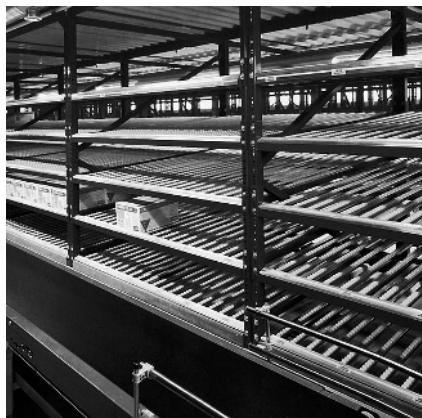
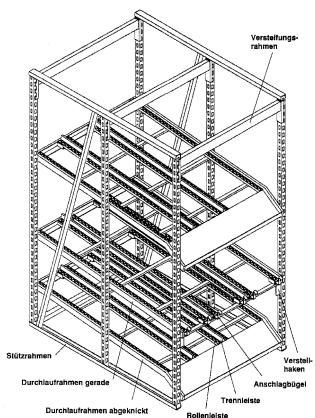
Die Ladeeinheiten werden auf in mehreren Ebenen übereinander horizontal angeordneten Rollenbahnen, Ketten- oder Bandförderern gelagert. Sobald eine Ladeeinheit entnommen wird, rücken die anderen über Stetigförderer nach. Der Antrieb kann fest mit dem Stetigförderer verbunden werden, was allerdings zu einem hohen geräte- und steuerungstechnischen Aufwand führt.

**Durchlauf-/Einschubregal (live storage rack)**

Lagergut	Paletten, Behälter, Kartonagen	Gefälle bei Schwerkraft	3-5%
Kanaltiefe	bis zu 25 Paletten	(Abroll-) Geschwindigkeit	0,2 – 0,3 m/s

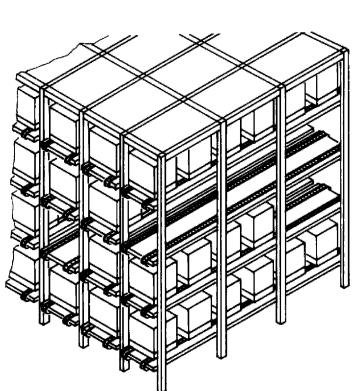


**Abbildung 3.25.** Schwerkraftdurchlaufregal (mit durchgehenden Tragrollen) [Foto: Bito]

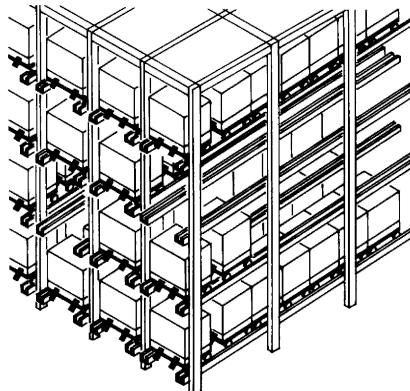


**Abbildung 3.26.** Durchlaufregal mit Röllchenbahn [Foto: Nedcon]

Alternativ dazu wird der Antrieb auf dem Regalbediengerät mitgeführt und nur bei der Bedienung eines Kanalganges mit dem Förderer verbunden. Oftmals geschieht dies in Form eines Reibrades, dass auf die erste Rolle eines Rollenförderers gedrückt wird. Der wesentliche Vorteil dieser Technik ist die Möglichkeit, auch schweres Gut staudrucklos in Kanälen zu lagern.



**Abbildung 3.27.** Angetriebenes Durchlaufregal

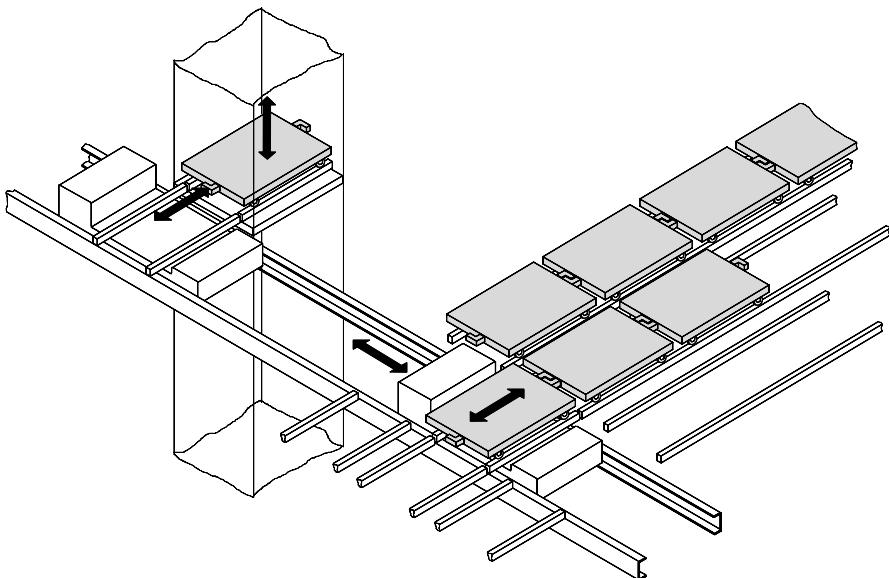


**Abbildung 3.28.** Rollpalettenlager

### Durchlauf-/Einschubregal mit Rollpalettentechnik

Läger dieser Bauweise besitzen Tragschienen für die Aufnahme von Paletten (wie Einfahr- und Durchfahrregale), jedoch werden Paletten mit Rolluntersätzen eingelagert, die eine Bewegung im Regal vollführen können. Diese Läger werden auch als Rollpalettenlager oder dynamische Blockläger bezeichnet. Die verwendeten Rolluntersätze oder Rollpaletten sind eigentlich keine Fördermittel, sondern Ladehilfsmittel. Sie nehmen in diesem Einsatzfall jedoch eine Förderfunktion wahr. Für die Bewegung der Rollpaletten im Kanalgang sind zwei Verfahren verbreitet: die Schwerkraft- und die Koppeltechnik. Im ersten Fall verfahren die Rolluntersätze auf geneigten Schienen in den Kanälen. Beim Durchlaufregallager wird wiederum am höheren Kanalende eingelagert, beim Einschubregallager erfolgen Ein- und Auslagerung am tieferen Ende. Die Bewegung der Ladeeinheiten wird ebenfalls mit Bremssystemen kontrolliert. Bei Entnahme einer Ladeeinheit am tieferen Ende rückt der Pulk der nachfolgenden, aufgestauten Einheiten automatisch nach. Der Staudruck wird von den Rollpaletten aufgenommen; die Ladeeinheiten werden also staudrucklos gelagert. Anstelle der Rolluntersätze auf Schienen wird in seltenen Fällen auch ein Aluminiumprofil mit kleinen Luftausströmdüsen und Gleitkörpern verwendet.

Im zweiten Fall, der Koppeltechnik, sind die Rolluntersätze durch geeignete Formgebung formschlüssig koppelbar (vgl. Abb. 3.29). Bei der Einlagerung werden die Rolluntersätze aneinander gekoppelt und somit zu einem Zug verbunden, der dann von der Einlagerseite aus verschoben werden kann. Bei der Ein- und Auslagerung wird der gesamte Zug um jeweils eine Rollpalettenlänge verschoben. Die Bedienung der Lagerkanäle erfolgt in beiden Fällen üblicherweise über horizontal verfahrende Verschiebewagen auf jeder Lagerebene. Die vertikale Anbindung erfolgt über Vertikalförderer, die so im



**Abbildung 3.29.** Rollpalettenlager mit Koppeltechnik

Lagergestell positioniert sind, dass sich die Fahrwege der Verschiebewagen minimieren. Dadurch lassen sich die Ebenen entkoppeln, und bei geeignetem Gutspektrum kann eine hohe Umschlagleistung erzielt werden. Alternativ ist auch eine Bedienung über ein Regalbediengerät möglich. Die Aufnahme der Rollpaletten auf das jeweilige Trägerfahrzeug erfolgt über ein Handlingsystem, das den Spalt zwischen Trägerfahrzeug und Regalkonstruktion mithilfe eines über einen Zahnstangenantrieb bewegten ausfahrbaren Kettenbalkens überwindet, in den Koppelmechanismus der Rollpalette eingreift und diese auf das Trägerfahrzeug zieht. Die Geschwindigkeit beim Auslagern beträgt ca. 0,4 m/s, beim Einlagern zur Kollisionsvermeidung auf den ersten Zentimetern ca. 0,05 m/s. Diese Bauweise von Durchlauf-/Einschubregalen wird als dynamisches Blocklager bezeichnet und vollautomatisiert ausgeführt. Bezuglich Bedienung und der im Weiteren behandelten Einsatzfälle sind dynamische Blockläger ähnlich den satellitenbedienten Kanallägern.

Aufgrund der Reduzierung der Bediengassen erlaubt das dynamische Blocklager die Lagerung vieler Einheiten auf engem Raum, bietet aber nur Zugriff auf die jeweils erste Einheit eines Lagerkanals. Diese Technik eignet sich daher insbesondere für ein Artikelspektrum, bei dem lange Kanäle sortenreiner Artikel gebildet werden können. Wird das Artikelspektrum aber größer als die Kanalanzahl, sind Umlagerungen notwendig. In bestimmten Fällen wird der Umlagerungsaufwand durch eine entsprechend angepasste Anzahl an Verschiebewagen in Kauf genommen. Bei dem Betrieb mit Mischkanälen ist in jedem Fall eine sehr sorgfältige Vorgehensweise bei Planung

und Gestaltung eines solchen Systems erforderlich. Neben der Bestimmung der Kanallänge ist dabei die eingesetzte Betriebsstrategie ein entscheidender Faktor für die Lagerleistung. Das dynamische Blocklager stellt eine Alternative zum automatischen Hochregallager dar. Neben besserer Volumennutzung, dem bei geeigneter Struktur (Artikelspektrum, Lagerorganisation usw.) erreichbaren hohen Durchsatz und der aufgrund der eingesetzten Rollpaletten Unabhängigkeit von der Form der Ladeeinheit zeichnet es sich durch günstige Möglichkeiten bei der Regalgestaltung aus.

Die Kanäle können unterschiedlich lang gestaltet werden, wodurch auch nicht rechtwinklige Lagerformen realisierbar sind. Vorhandene Gebäudestrukturen können somit effektiver genutzt werden. Weiterhin können die Bedien-gassen beliebig angeordnet werden und müssen nicht notwendigerweise übereinander liegen. Die Anzahl der Lagergassen kann auf den einzelnen Ebenen auch unterschiedlich sein. Die Lagerperipherie kann sowohl allseitig als auch unter dem Lager angeordnet sein, so dass sich ein sehr kompaktes Gesamtgebilde ergibt.

Durchlauf-/Einschubregale mit Rollpalettentechnik ermöglichen die Lagerung von mittleren bis großen Artikelmengen bei kleiner bis mittlerer Artikelanzahl. Dabei ist eine hohe Ein-/Auslagerleistung bei genauer Abstimmung des Systems auf die Auftragsstruktur realisierbar.

### **Umlaufregal**

Bauformen der Umlaufregale sind die horizontale und die vertikale Ausführung. Regalzeilen oder -spalten werden entlang einer Bahn mit Stetigfördertechnik geführt. Einsatzfälle der Umlaufregale sind Puffer hoher Leistung und Kommissioniersysteme nach dem Ware-zur-Person-Prinzip.

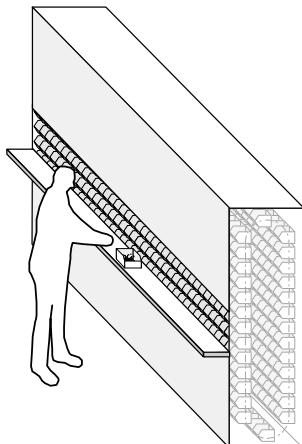
### **Vertikales Umlaufregal**

Vertikale Umlaufregale oder auch Paternosterregale sind Regalkonstruktionen, bei denen sowohl Lagergut als auch Regalfächer bzw. -felder eine Umlaubbewegung vollziehen. Regalböden oder Wannen sind an zwei vertikal umlaufenden, von Elektromotoren angetriebenen Ketten befestigt. Zum Zugriff auf ein Regalfach werden die Fachböden durch die Ketten bewegt, bis das entsprechende Regalfach im Zugriffsbereich ist. Der Zugriffsbereich erstreckt sich über eine oder mehrere Ebenen. Zur Durchsatzsteigerung gibt es Ausführungen mit mehreren Zugriffsbereichen.

Vertikale Umlaufregale eignen sich zur Einlagerung von Kleinteilen, Baugruppen, Behältern, Akten, Langgut, aber auch für Schüttgut, die in Ladehilfsmitteln wie Kartons und Behältern oder direkt auf dem Regalboden oder in Wannen eingelagert werden. Der Aufbau ermöglicht eine gute Lagerraumausnutzung, da sich auf geringer Standfläche durch Nutzung der Raumhöhe viele Artikel mit geringer oder mittlerer Menge pro Artikel einlagern lassen. Die Verkleidung des Systems zum Zwecke des Personen- und Diebstahlschutzes ermöglicht die Einlagerung hochwertiger Güter. Nachteilig ist die

**Vertikales Umlaufregal (vertical carousel)**

Lagergut	Kartonagen, Behälter, Einzelteile	Lagerplätze	50 – 2.000 pro Gerät
Umlaufgeschwindigkeit	0,1 – 0,2 m/s	Antriebsleistung	1 bis 3 kW
Trägerzuladung	bis ca. 700 kg (max. 60.000 kg)	Höhe	bis zu 12 m (mehrere Etagen)

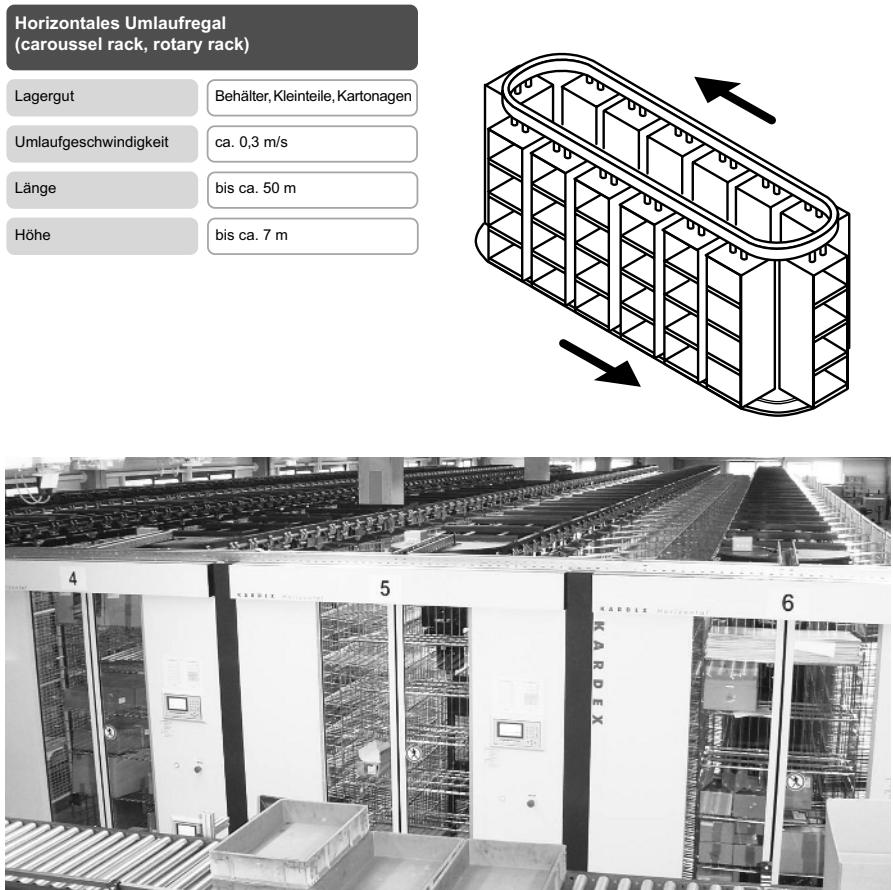


**Abbildung 3.30.** Vertikales Umlaufregal [Foto: Kardex]

geringe Flexibilität aufgrund der schlechten Ausbaufähigkeit. Die Leistung eines Systems hängt in hohem Maße von der Bauhöhe und dem Zugriffsverhalten auf die gelagerten Artikel ab. Typische Anwendungsbereiche sind das Puffern, Lagern und Kommissionieren von Werkzeugen, Kleinteilen und Akten. Zur Nutzung weiterer freier Räume können vertikale Umlaufregale in verschiedenen Ausführungen installiert werden. Als Einsatz an Orten mit flurgebundenem Verkehr werden T-förmige Umlaufregale eingesetzt, die eine ergonomische Entnahmeeöffnung besitzen und die Lagerfunktion in der Masse brückenförmig unter der Hallendecke übernehmen. Zudem kann der Verfahrweg der einzelnen Elemente schlingenförmig sein, so dass in einer mehrzügigen Anlage mehrfach tief eingelagert werden kann. Zur besseren Übersicht und für eine Beladung mit Kransystemen von oben können Umlaufregale mit einer vorgebauten Be- und Entladestation (so genannten Beladenasen) ausgeführt werden.

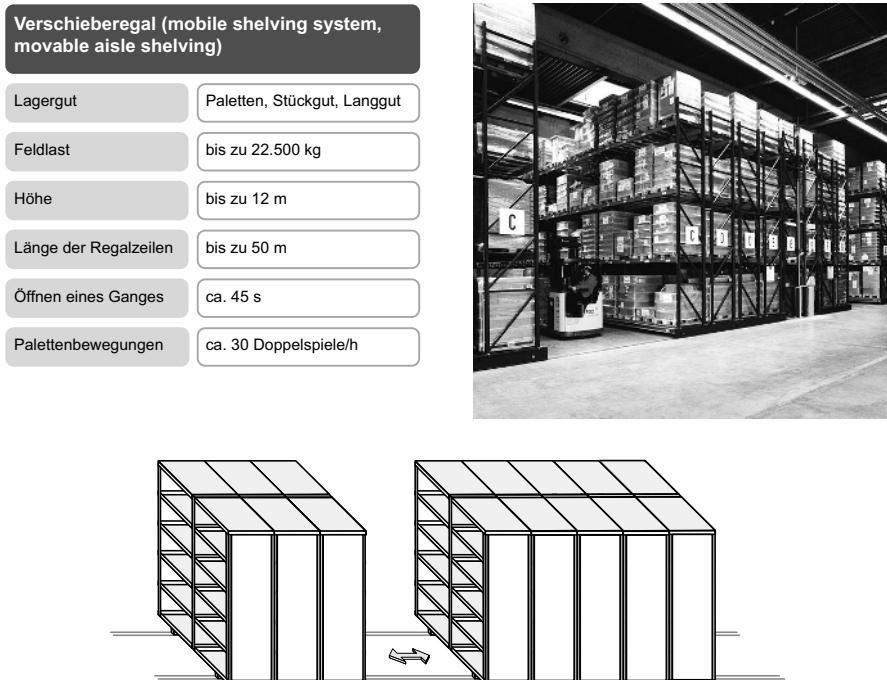
**Horizontales Umlaufregal**

Das Horizontal-Umlauflager oder auch Horizontal-Karussel oder Karussellager arbeitet nach dem Prinzip Ware-zur-Person. Es besteht entweder aus abgehängten oder durch Fahrwerke getragenen Regalen oder aus unabhängig von einander verfahrbaren Regalebenen. In beiden Fällen erfolgt der Antrieb



**Abbildung 3.31.** Horizontales Umlaufregal [Foto: Kardex]

zumeist über umlaufende Zugmittel (Ketten). Die Bedienung bzw. Entnahme durch den Kommissionierer erfolgt in der Regel am stirnseitigen Wendepunkt, wobei typischerweise mehrere Regale parallel angeordnet werden. Für ein anzusprechendes Lagerfach wird die Kette bewegt, bis sich die relevante Lagersäule bzw. das Regal am Entnahmepunkt befindet. Zur weiteren Flächeneinsparung können auch mehrere Regale übereinander gesetzt oder bei besonders hohen Ausführungen (bis ca. 7 m Bauhöhe) auch vertikal verfahrbare Plattformen eingesetzt werden. Der Betrieb in der Kommissionierung erfolgt analog zum Paternosterregal. Die großen Baulängen der Karussellräger von bis zu 50 m bieten jedoch erheblich höhere Lagerkapazitäten. Einsatz finden Karussellräger in der Kommissionierung nach dem Ware-zur-Person-Prinzip bei mittleren Entnahmemengen pro Artikel bei großem Artikelspektrum.



**Abbildung 3.32.** Verschieberegal [Foto: META-Regalbau]

Besonders hohe Ein-/Auslagerleistungen werden mit einer Variante der horizontalen Umlaufregale, den Behälter-Umlaufregalen mit separat angetriebenen Ebenen (engl. rotary rack) und gleichzeitiger Bedienung aller Ebenen erreicht. Die einzelnen Ebenen werden dabei derart gesteuert, dass alle Ein- und Auslagerpunkte in einer Achse vertikal übereinander liegen und gleichzeitig gewechselt werden können. Von einer zentralen Wechseinrichtung (Stufenlift mit Mehrfach-Greifeinrichtung) können alle Operationen in einem Arbeitsschritt durchgeführt werden. Während des folgenden Fahrzyklus werden die angeforderten Behälter von einer weiterführenden Fördertechnik abgefördert. Diese Systeme dienen in erster Linie der kurzzeitigen Pufferung, beispielsweise zur Konsolidierung von Teilaufträgen im Versandbereich, wobei oft Kartonagen gelagert werden. Eine hohe Umschlagleistung ist daher notwendig, da im Gegensatz zum klassischen Umlaufregal, bei dem in dem Regal einzelne Artikel oder Gebinde entnommen werden, der gesamte Behälter gewechselt wird.

### **Verschieberegal**

Verschieberegale weisen einen hohen Raumnutzungsgrad auf und ermöglichen eine Kombination aus Block- und Zeilenlagerung, bei der die einzelnen Regalzeilen horizontal verschoben werden.

Die Regalzeilen typischer Regalbauarten der Zeilenlagerung wie Fachböden-, Kragarm- oder Palettenregal können hierbei auf zwei Arten bewegt werden: zum einen auf Fahrschienen mit unter der Regalkonstruktion angebrachten Fahrschemeln und zum anderen auf rollenbestückten Fahrwagen mit einer Führung an der Rückwand.

Durch das blockweise Verschieben von Regalzeilen entsteht eine Gasse zwischen denjenigen Regalzeilen, in denen eine Bedienung erfolgen soll. Das Erscheinungsbild eines Verschieberegals zeigt zwei in der Regel unterschiedlich große Blöcke von Regalzeilen, die durch den aktuellen Bediengang getrennt sind. Vorgenommen wird der Verschiebevorgang entweder elektrisch durch Einzelantriebe oder manuell durch einen Sammelantrieb über Ketten und Mitnehmer.

Die Varianten von Verschieberegalen erstrecken sich von manuellen Systemen über die Bedienung mit Stapelkranen (zur Vermeidung von aufwändigen Schienenkonstruktionen bei Regalbediengeräten) bis hin zu vollautomatisierten Anlagen mit lasernavigierten Schmalgangstaplern und Transferplätzen.

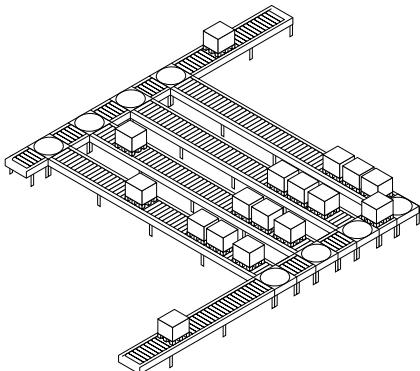
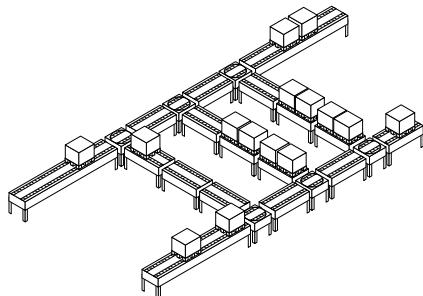
Verschieberegale werden aufgrund der kompakten Lagerbauweise in Archiven und bei langsam drehenden Artikeln eingesetzt. Durch die Bildung von kompakten Lagerblöcken lässt sich eine hohe Zugriffssicherheit erreichen.

### **3.4.4 Fördermittel mit Pufferfunktion**

In vielen Anwendungsfällen wie beispielsweise in Krankenhäusern, der Textilindustrie, der Automobilproduktion oder der Kühlhauslagerung verweilt das Lagergut nur eine kurze und definierte Zeit in Lägern. In diesen Fällen kommt von der Lagerfunktion der Teilaspekt Pufferung zur Anwendung, indem zur kurzfristigen Lagerung zwischen zwei Teilprozessen Fördermittel genutzt werden. Die Fördermittel werden hierbei analog der Fördermittelsystematik (vgl. Kap. 4) nach Stetigförderern mit Lagerfunktion und Unstetigförderern mit Lagerfunktion unterschieden.

Im industriellen Einsatz sind häufig Stetigförderer wie Rollenbahnen, Bandförderer oder Kettenförderer zu finden, die oftmals als Stauförderer ausgeführt sind, d. h. das Gut ohne oder unter geringem Staudruck aufstauen können. Außerdem werden Kreisförderer und Schleppkreisförderer (Power-and-Free-Förderer) eingesetzt.

Unstetigförderer wie Elektro-Hängebahnen, Rollständer (z. B. für hängende Kleidung), Trolleybahnen, Wagen oder automatische Flurförderzeuge, bei denen die Lagerfunktion durch eine Handhabungsfunktion erweitert ist, finden ebenfalls Verwendung. Besonders zu erwähnen sind auch die Verkehrsmittel des außerbetrieblichen Einsatzes wie Lkw-Anhänger, Wechselaufbauten und Eisenbahnwagen, die beispielsweise im Versandbereich häufig eine Pufferfunktion übernehmen.

**Abbildung 3.33.** Staurollenförderer**Abbildung 3.34.** Staukettenförderer

### 3.5 Regalkonstruktion

Für die Konstruktion eines Lagers gelten bestimmte Regeln, die eine sichere Lagererrichtung ermöglichen sollen. Dies betrifft neben dem Aufbau der Lagermittel auch die Beschaffung des Bodens und des Daches, folglich das gesamte Lagergebäude und dessen Einrichtung. Richtlinien und Regelwerke, die sich mit diesem Thema befassen, sind u. a. die VDI-Richtlinie 2686 und die Berufsgenossenschaftliche Richtlinie BGR 234. Die VDI-Richtlinie 2686 thematisiert die Anforderungen der Lagertechnik an die Baukonstruktion. Hierbei wird vorausgesetzt, dass Lagerart und -technik bereits bekannt sind und aufgrund dieser Angaben ein Lager konstruiert wird. In der BGR 234 werden berufsgenossenschaftliche Regeln für Lagereinrichtungen und -geräte gegeben. Im Speziellen werden hier u. a. die Standsicherheit und die zulässige Durchbiegung behandelt.

Beginnend mit der Bauweise eines Lagers ist festzustellen, dass Läger häufig in festen Gebäuden vorzufinden sind. Hier können grundlegend zwei verschiedene Gebäudeformen unterschieden werden: der Hallenbau und der Geschossbau. Ein Hallenbau mit einer Höhe von bis zu 7 m wird als Flachlager bezeichnet. Diese werden vorwiegend als Lager mit statischer Boden- oder Regallagerung betrieben, können aber auch mit dynamischen Lagermitteln ausgestattet sein. Hohe Flachläger sind Hallenbauten mit einer Bauhöhe zwischen 7 und 12 m. In der Regel sind hohe Flachläger statische oder dynamische Läger mit Regalen. Eine Bodenlagerung kommt dabei nicht zum Einsatz, da die Stapelfähigkeit der Ladeeinheiten und Ladehilfsmittel sowie ihre Standfestigkeit begrenzt sind und der Volumennutzungsgrad dann unwirtschaftlich wird.

Ein Geschossbau ergibt sich aus zwei oder mehr übereinander angeordneten Flachlägern. Sie sind grundsätzlich durch den Nachteil einer vertikalen Zu- und Abführung der Ladeeinheiten mit Vertikalförderern gekennzeichnet, woraus häufig Engpässe im Materialfluss resultieren. Durch die Begrenzung

der Bodentragfähigkeit von Geschossbauten sind zudem Restriktionen bei der Fördermittelauswahl gegeben. Geschossbauten existieren in gewachsenen Strukturen und erfordern den Einsatz von manuell bedienten Regalen. Gänzlich ungeeignet ist der Geschossbau für Läger mit RBG oder Kranbetrieb. Palettenlagerung ist innerhalb eines Geschossbaus auch möglich, allerdings wird sie bei hohen Gewichten einer Lagereinheit schnell unwirtschaftlich.

Läger mit einer Bauhöhe > 12 m werden als Hochläger bezeichnet und sind größtenteils mit einem RBG ausgestattet. Dies sind meist statische Läger, sie können aber auch dynamisch ausgeführt werden. Die höchsten bis dato realisierten HRL haben eine Bauhöhe von 55 m und werden in Silobauweise realisiert. Im Unterschied zu Lägern in festen Gebäuden trägt bei der Silobauweise die Regalkonstruktion Dach und Wände und bildet so einen reinen Einzweckbau, der nur die Lagerfunktion übernimmt. Andere Funktionsbereiche wie z. B. die Kommissionierung werden in angrenzenden Gebäudeteilen mit niedrigerer Bauhöhe angesiedelt. Neben den bereits aufgezeigten Gebäudeformen werden Läger in Traglufthallen (zumeist Bodenläger für die Stückgutlagerung), Bunker für eine Schüttgutlagerung und Freiläger für witterungsunempfindliche Güter eingesetzt.

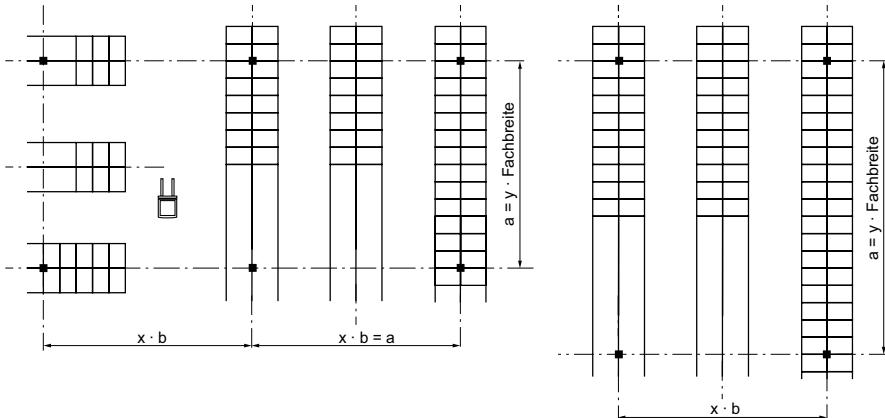
Die tatsächliche Raumhöhe eines Lagergebäudes hängt von mehreren Faktoren ab. Die innerbetrieblichen Gegebenheiten wie beispielsweise Regalhöhe, Bediensystem, Regalsystem und die Konstruktion des Lagermittels haben Auswirkungen auf die Raumhöhe. Außerbetriebliche Faktoren sind u. a. Bauordnung und Bebauungspläne sowie die Geschossflächenzahl, die Baumassenzahl oder Vorschriften der Flugsicherung [VDI 2686]. Angaben zu typischen Bauhöhen von verschiedenen Lagermitteln finden sich in den entsprechenden Kapiteln.

Entscheidend ist nicht nur die Gebäudeform, sondern auch der eingesetzte Baustoff. Die Baukonstruktion eines Lagers wird hauptsächlich durch die Brandlast bestimmt, die das eingelagerte Gut verursachen kann. Stahlbeton bietet dabei das breiteste Einsatzfeld, da dieser Baustoff bei allen Gebäudeformen eingesetzt werden kann. Aus brandschutztechnischen Gründen, d. h. wenn z. B. eine Feuerbeständigkeit der Gruppe F 90<sup>1</sup> gefordert wird, muss die Baukonstruktion aus Stahlbeton bestehen. Neben Stahlbeton wird auch Stahl als Baustoff eingesetzt. Dieser ermöglicht eine große Spannweite und kann sowohl bei Hallen- als auch Geschossbauten verwendet werden. Sind die Regalelemente aus Stahl, so sollten sie im Falle eines Einzweckbaus verzinkt sein, da eine Erneuerung des Anstrichs während des Lagerbetriebs nicht möglich ist. Holz als Baustoff kann für Dachkonstruktionen verwendet werden [VDI 2686].

Eine wichtige Rolle bei der Konstruktion eines Lagers spielt das Stützenraster. Die Gebäudestützen sind feste Punkte, die die Konstruktion tragen

---

<sup>1</sup> Bauteile, die der Feuerwiderstandsklasse F 90 angehören, sind nach DIN 4102-1 geprüft und widerstehen im Brandfall mindestens 90 Minuten der Einwirkung von Flammen und Hitze.



**Abbildung 3.35.** Quadratisches und rechteckiges Stützenraster

und die Raumnutzung vorgeben. Zu viele Stützen können zu einer unflexiblen Lagereinrichtung führen und ggf. die Kapazität einschränken. Aus diesem Grund sollte die Anzahl der Stützen so klein wie möglich gehalten werden. Grundsätzlich sind bei eindimensionaler Regalausrichtung folgende Punkte zu beachten: Das Stützenraster ergibt sich als ganzzahliges Vielfaches der Regalfachbreite ( $a = y \cdot \text{Fachbreite}$ ) und als ganzzahliges Vielfaches der Regalmodulbreite ( $x \cdot b$ ). Sind die Regale zweidimensional aufgestellt, so ist ein quadratisches Stützenraster zu wählen, aufgebaut auf der Regalmodulbreite  $b$  (Gassenbreite + 2 · Regalfachtiefe). Idealerweise sollten die Stützen innerhalb eines Regals liegen. Bei frei gespannten Hallen empfiehlt es sich, die Stützen als Außenstützen vor der Fassade anzurichten [VDI 2686]. Die Ausrichtung des Stützenrasters muss zudem an die gewählte Förder- und Lagertechnik angepasst werden. So werden die Stützenabstände bei Einsatz von Flurförderzeugen in Abhängigkeit von deren Arbeitsgangbreite und den Ladungsabmessungen festgelegt. Bei einem Lager mit Kranbetrieb werden die Standorte der Stützen in Abhängigkeit von Tragfähigkeit und Spannweite des Krans bestimmt.

Beim Aufbau von Lägern sind bei Bodenlagerung die Stapelhöhe und Standsicherheit sowie die einwirkende Last auf die Ladeeinheiten zu berücksichtigen. Dies sind gleichfalls Anforderungen an die Regallagerung. Zusätzlich müssen bei der Regallagerung Fachlasten und Durchbiegungen beachtet werden.

Grundsätzlich ist bei der Stapelung von Lasten darauf zu achten, dass die zulässigen Nutzlasten und Auflasten eines Lagerhilfsmittels nicht überschritten werden. Die erlaubte Stapelhöhe bei Bodenlagerung kann anhand der Standsicherheitsberechnung bestimmt werden. Die Berechnung der Standsicherheit bei Bodenlagerung (vgl. Abb. 3.36) wird mittels folgender Formel durchgeführt [BGR234]:

$$\frac{M_{St}}{M_K} = \frac{b}{h_j} \cdot \frac{n \cdot G_S}{(n-1) \cdot (2 \cdot H_Z + n \cdot H)} \geq \nu \quad (3.1)$$

mit

- $M_{St}$  : Standmoment
- $M_K$  : Kippmoment
- $b$ : Breite des Lagergerätes
- $n$ : Anzahl Lagergeräte im Stapel
- $h_j$  : Höhe des Lagergerätes
- $G_S$  : Gewichtskraft
- $H_Z$  : zusätzliche Horizontalkraft
- $H$ : Horizontalkraft
- $\nu$ : Standsicherheit

Die Gewichtskraft  $G_S$  lässt sich aus der Summe von Nutzlast und Eigengewicht je Lagergerät multipliziert mit der Erdbeschleunigung  $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  berechnen.

$$G_S = Q_S \cdot g = (Q + Q_G) \cdot g \quad (3.2)$$

mit

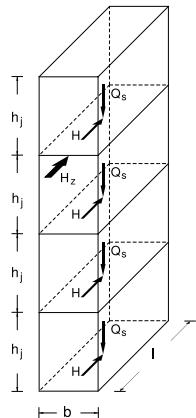
- $Q$  : Nutzlast je Lagergerät
- $Q_G$  : Eigengewicht je Lagergerät
- $Q_S$  : Summe aus Nutzlast und Eigengewicht

Neben der Last  $Q_S$  wirkt bei der Bodenlagerung auf jede Ladeeinheit eine Horizontalkraft  $H$ . Diese Kraft kann als  $\frac{1}{50}$  der Gewichtskraft  $G_S$  angenommen werden. Die zusätzliche Horizontalkraft  $H_Z$  bei Bodenlagerung beträgt mindestens 150 N.

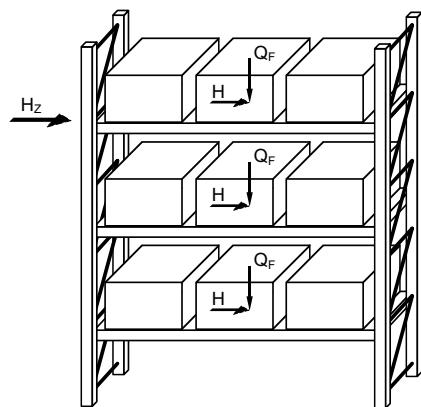
Im Falle einer Regallagerung ist  $Q_S$  durch die Last  $Q_F$  zu ersetzen. Diese ergibt sich aus der Summe der Fachlast und dem anteiligen Eigengewicht eines Lagergerätes. Bei der Regallagerung ergeben sich die Horizontalkräfte pro Lagerfach zu  $\frac{1}{200}$  der wirkenden Gewichtskraft  $G_S$ . Die zusätzliche Horizontalkraft ist bei Lagerung in einem Fachbodenregal mit mindestens 50 N zu veranschlagen. Liegt eine Palettenlagerung vor, dann beträgt die zusätzliche Horizontalkraft 350 N.

Der aus Formel 3.1 resultierende Wert wird als Standsicherheitsfaktor  $\nu$  bezeichnet und sollte  $\geq 2$  sein, andernfalls ist das Umkippen eines Stapels nicht auszuschließen. Die Stapelhöhe muss in diesem Fall reduziert werden.

Ein weiterer Faktor, der im Zusammenhang mit der Standsicherheit zu betrachten ist, ist die *Schlankheit* eines Stapels bei Bodenlagerung. Die Schlankheit ist definiert als das Verhältnis der Höhe zur Schmalseite der Grundfläche und darf in der Regel nicht größer als 6:1 sein [BGR234]. Falls sehr gute Lagerbedingungen herrschen, darf die Schlankheit in Ausnahmefällen auch größer



**Abbildung 3.36.** Stapelhöhe und Standsicherheit



**Abbildung 3.37.** Belastung eines Regals

gewählt werden. Die Einhaltung der Standsicherheit muss jedoch in jedem Fall gewährleistet bleiben.

Neben der Standsicherheit spielt bei der Regallagerung auch die Belastbarkeit der Regalkonstruktion eine wichtige Rolle. Die Lagerung in einem Fachbodenregal wird durch maximal zulässige Fachlasten beschränkt. Es existieren insgesamt drei Fachboden-Fachlast-Bereiche:

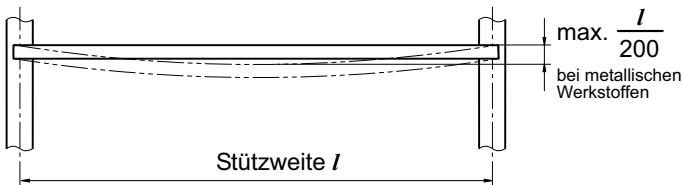
- für leichte Lasten um 125 kg
- für mittlere Lasten von etwa 200 - 250 kg
- für schwere Lasten von etwa 300 - 350 kg

Diese Lasten sind nicht als Punktlasten, sondern immer als gleichmäßig verteilte Lasten in Bezug auf das gesamte Fachbodenelement definiert. Zusätzlich wird von den Herstellern ein Sicherheitsfaktor gegen die Bruchgefahr der Fachböden integriert (üblicher Sicherheitsfaktor = 2). Bei der Palettenlagerung ist die erlaubte Fachlast den Herstellerinformationen zu entnehmen.

Die *Fachlast* ist die Last, die in ein Regalfeld eingebracht wird bzw. werden kann. Die *Feldlast* ist definiert als die Summe der Fachlasten in einem Regalfeld. Güter, die auf dem Boden gelagert werden, werden nicht berücksichtigt [BGR234].

Die zulässigen Feldlasten sind systemabhängig und müssen den Herstellerinformationen entnommen werden. Typische Werte zu den jeweiligen Regalsystemen sind in den Tabellen in den entsprechenden Abschnitten genannt.

Im Zusammenhang mit der Belastbarkeit eines Regals ist die zulässige Durchbiegung der tragenden Elemente unter ihrer Nutzlast zu berücksichtigen. Die Durchbiegung von metallischen Werkstoffen darf maximal  $\frac{l}{200}$  ihrer Stützweite betragen. Für Holz und Kunststoff gilt  $\frac{l}{150}$  [BGR234]. Als Stützweite wird der Abstand zwischen zwei benachbarten Regalstehern defi-



**Abbildung 3.38.** Zulässige Durchbiegung tragender Elemente unter ihrer Nutzlast

niert.

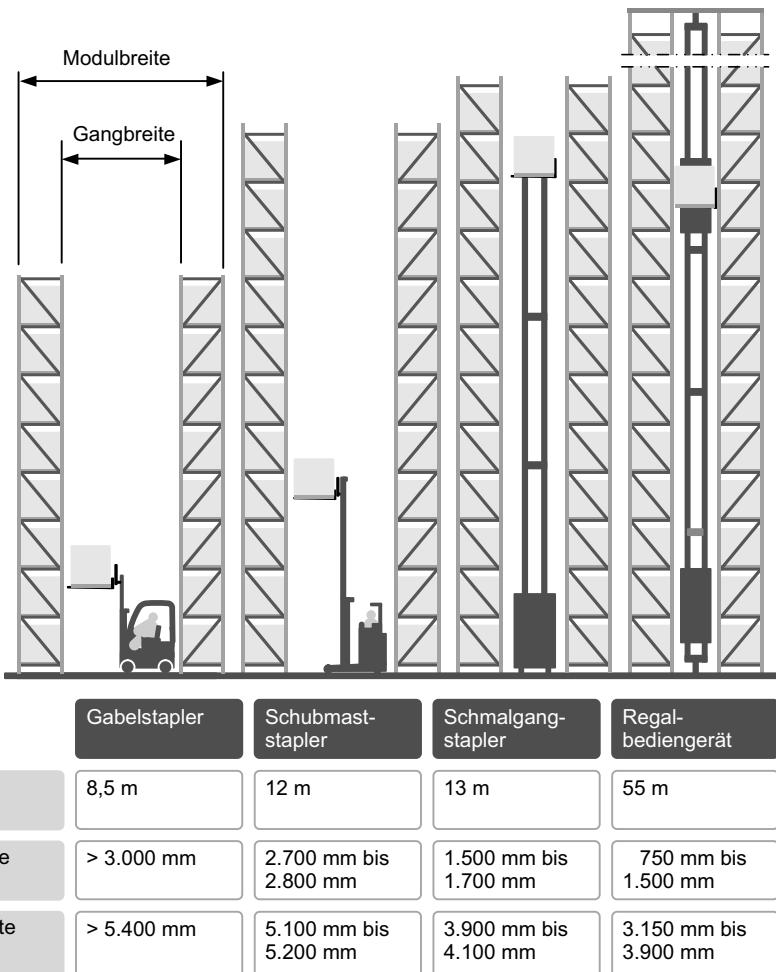
Bei der Anordnung der Regale im Lager sind weiterhin die zulässigen Arbeitsgangbreiten zu berücksichtigen. Diese hängen wesentlich von der verwendeten Fördertechnik ab. In Abbildung 3.40 sind verschiedene Gangbreiten für unterschiedliche Staplertypen und Regalbediengeräte abgebildet. Die genauen Arbeitsgangbreiten sind den Herstellerinformationen des verwendeten Flurförderzeugs zu entnehmen. In jedem Fall ist auf beiden Seiten eines manuell bedienten Fördermittels ein Sicherheitsabstand von ca. 0,5 m einzuplanen [BGR234]. Im Mittel liegen die Gangbreiten für folgende Flurförderzeuge bei folgenden Werten:

- Frontstapler: > 3 m
- Schubmaststapler: min. > 2,7 - 2,8 m
- Deichselfahrzeuge: min. > 2,3 - 2,4 m
- Schmalgangstapler: min. 1,5 - 1,7 m
- Hochregalstapler: min. 1,3 - 1,7 m
- RBG: min. 0,75 - 1,5 m

Bei manueller Bedienung der Regale ist eine Breite des Verkehrsweges mindestens mit 1,25 m anzunehmen. In Nebengängen muss die Mindestgangbreite 0,75 m betragen [BGR234].

Nachdem zuvor die Lastverteilung im Regal behandelt wurde, wird der Fokus nun auf die gesamte Bodentraglast gerichtet. Sie setzt sich aus der ständig wirkenden Last und der lotrechten Verkehrslast zusammen. Ständige Lasten sind proportionale Lasten, also das Gewicht der tragenden und unveränderlichen Bauteile. Neben der ständigen Last wirkt die lotrechte Verkehrslast auf den Boden. Verursacht wird die Verkehrslast durch bewegliche Lasten wie z. B. Flurförderzeuge. In Werkstätten, Fabriken und Lagerräumen mit mittlerem bis schwerem Betrieb ist eine Verkehrslast zwischen 7,5 kN/m<sup>2</sup> und 30 kN/m<sup>2</sup> typisch [DIN 1055-3]. Die Berechnung der Verkehrslast kann vereinfacht anhand folgender Formel durchgeführt werden:

$$\text{tatsächliche Verkehrslast} = \frac{\text{Gesamtgewicht (kN)}}{\text{Einzugsfläche (m}^2\text{)}} \quad (3.3)$$



**Abbildung 3.39.** Vergleich von Arbeitsgangbreiten und Lagerhöhen typischer Regalsysteme

Neben den hier vorgestellten Konstruktionsvorgaben sind in der RAL-RG 614 Güte- und Prüfbestimmungen für Lager- und Betriebseinrichtungen festgehalten [RAL614]. Die Richtlinie soll zur Sicherung der Qualität beitragen und dem Kunden ein Produkt liefern, das dem Stand der Technik entspricht und den Qualitätsanforderungen nachkommt. Dem Hersteller von Lagereinrichtungen wird nach erfolgreich bestandener Prüfung ein Gütesiegel verliehen. Firmen, die das Gütesiegel führen, unterliegen einer laufenden Überwachung ihrer Fertigung durch ein neutrales Institut, z. B. durch das Materialprüfungsamt. Die RAL-RG 614 macht Vorgaben für die an einem Lagermittel durchzuführenden Prüfungen, z. B. Standsicherheitsnachweis und Tragsicher-

heitsnachweis. Ebenso wird hier die Forderung nach Verwendung genormter Werkstoffe gestellt. Weitere Richtlinien betreffen die lotrechte Aufstellung eines Regals und die Einhaltung der erforderlichen Sicherheitsabstände und Toleranzen.

### **3.5.1 Vergleich unterschiedlicher Lagertypen**

Zur Verdeutlichung des Einflusses der Arbeitsgangbreite der Flurförderzeuge zur Regalbedienung sowie der maximalen Stapelhöhe sollen vier verschiedene Konfigurationen von Palettenregalen beispielhaft miteinander verglichen werden. Abbildung 3.40 zeigt, wie sich die Wahl des Flurförderzeugs bei gleicher zu lagernder Palettenzahl auf die Grundfläche des Lagers auswirkt. Dabei werden im Folgenden die Flächen von Palettenregalanlagen verglichen, die entweder mit Gehgabelhochhubwagen, Dreirad-Elektrostapler, Schubmaststapler oder Kommissionierstapler (vgl. Kap. 4) bedient werden. Die Abmessungen der Läger setzen sich aus der Grundfläche der benötigten Regalmodule, den Arbeitsgängen und einer drei Meter breiten Lagervorzone zusammen. Es werden jeweils drei Paletten nebeneinander längs in einem Regalmodul eingelagert. Die Abmessungen für ein Feld betragen somit 2700 x 1250 mm. Abhängig vom gewählten Flurförderzeug ergeben sich verschiedene Regalhöhen und Arbeitsgangbreiten. Ausgehend von Palettenhöhen nach CCG 1 von 1050 mm, können mit einem Gehgabelhochhubwagen drei Paletten, mit einem Elektrostapler acht Paletten, mit Schubmaststaplern elf Paletten und mit Kommissionierstaplern zwölf Paletten übereinander ein- bzw. ausgelagert werden. Die Gangbreiten liegen bei 1500 mm für Kommissionierstapler, 2700 mm für Schubmaststapler, 3200 mm bei 3-Rad-Staplern und 2250 mm für Gehgabelhochhubwagen.

### **3.5.2 Tiefkühlhäuser**

Ein Sondergebiet der Materialflusstechnik ist die Tiefkühlhäuser. In diesem Bereich werden außerordentliche Anforderungen sowohl an den Menschen als auch an die Technik gestellt. Standardisierte Lager- und Fördertechniken können nur in den seltensten Fällen ohne Funktionseinschränkung eingesetzt werden. Aus diesem Grunde muss eine Auswahl geeigneter Komponenten erfolgen (z. B. Gummi- statt PVC/PE-ummantelte Kabel, geeignete Schmierstoffe), die ggf. zu höheren Kosten der Anlage führen kann.

Zum Einsatz kommen Lager- und Fördertechniken im Tiefkühlbereich (TK-Bereich) hauptsächlich in der Lebensmittel- und Pharmabranche. Der Markt für Tiefkühlkost ist in den letzten 30 Jahren stark gewachsen und somit ist auch die Forderung nach geeigneten Techniken für den TK-Bereich gestiegen. Bei der Nahrungsmittellagerung herrschen im TK-Bereich Temperaturen um die -28 °C und eine Luftfeuchtigkeit zwischen 30 und 40%. Die Lagerung von Blutplasma wird sogar bei Temperaturen von bis zu -42 °C durchgeführt.

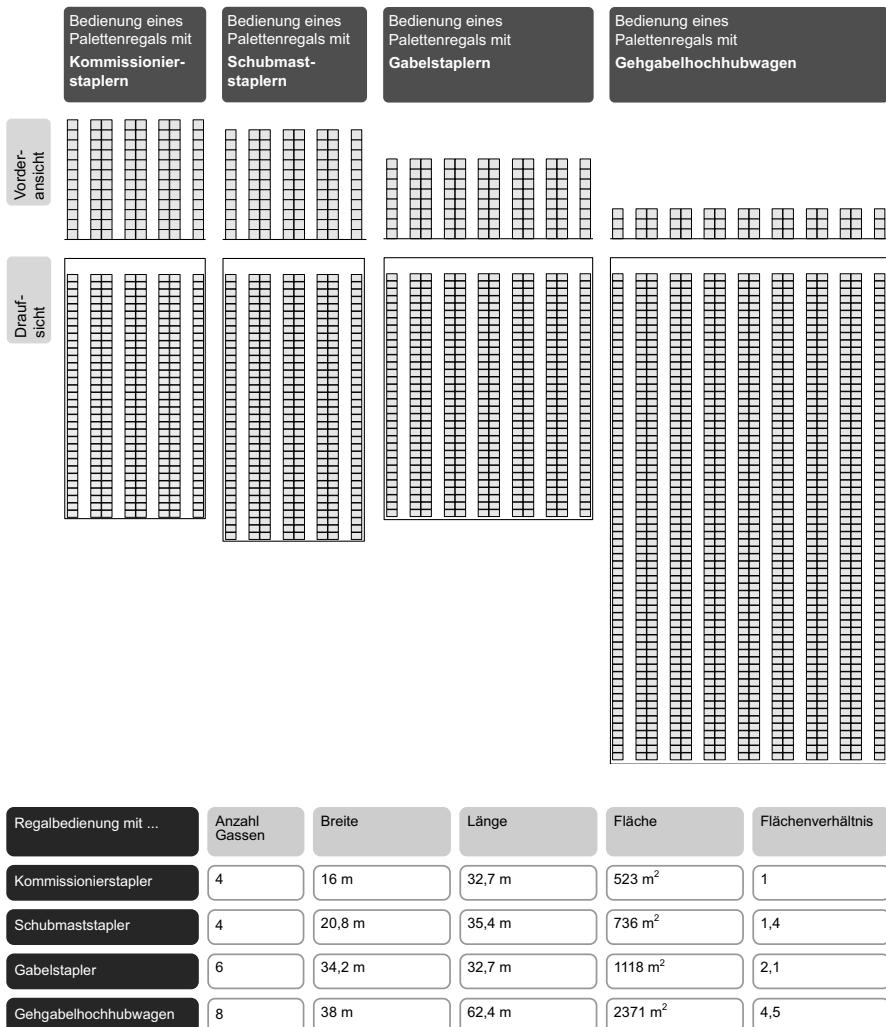


Abbildung 3.40. Vergleich unterschiedlicher Lagertypen

Durch die extremen Gegebenheiten treten im Tiefkühlbereich folgende Probleme auf, die bei der Planung eines Lagers beachtet werden sollten [PET02, SCH04]:

- Vereisung von Geräten und Bauteilen
- Gefahr von Korrosion durch Einwirkung von Feuchtigkeit
- Viskosität von Schmierstoffen
- Porosität von Kunststoffen und Gummi
- Bruchgefahr der Verkabelung
- Stromaufnahme

- geringere Batteriekapazität
- Wärmeentwicklung durch Antriebe und Elektronikelemente (dadurch Erhöhung der notwendigen Kühlleistung)
- Löschwasser/Sprinklerung/Brandschutz

Das oberste Prinzip bei der Lagerung von tiefgekühlten Produkten ist die Einhaltung einer ununterbrochenen Kühlkette. Dies muss bei der Lösung der oben aufgeführten Probleme stets berücksichtigt werden. Der Forderung einer gesicherten Kühlkette muss bereits bei der Bauweise eines Lagers nachgekommen werden. Tiefkühlläger können mit einer außenliegenden oder innenliegenden Isolierung verkleidet werden, wobei Lager in Silobauweise nur mit einer außenliegenden Isolierung errichtet werden können. Öffnungen zu angrenzenden, höher temperierten Bereichen sind jedoch nicht zu umgehen. Deshalb muss besonders an den Schnittstellen darauf geachtet werden, dass die erwärmte Luft nicht in den TK-Bereich gelangt und dadurch die Temperaturen ansteigen. Hier müssen angemessene Techniken eingesetzt werden, die eine Erwärmung verhindern und Temperaturunterschiede von bis zu 50 °C ausgleichen können. Dies können Kaltluftvorhänge, Thermoschleusen oder Luftschieber gewährleisten. An den Schnittstellen sind außerdem durchgehende Stetigförderer zu vermeiden [PET02].

Weiterhin besteht in Tiefkühllägern die Gefahr der Funktionseinschränkung durch Vereisung von Geräten. Um die Bildung einer Frostschicht zu vermeiden, wird die Luftfeuchtigkeit sehr niedrig gehalten. Ungeachtet dessen darf das Problem der Korrosion durch Feuchtigkeit nicht vernachlässigt werden. Aus diesem Grund sollten Regale aus Edelstahl verwendet werden.

Ein weiterer Punkt, der bei der Planung nicht entfallen darf, ist das Verhalten des eingesetzten Materials bei starker Abkühlung. Die Reaktion des Werkstoffes sollte im Vorfeld untersucht werden, um mögliche Schwierigkeiten bei der Inbetriebnahme zu vermeiden.

Grundsätzlich sind im TK-Bereich Schmierstoffe einzusetzen, die für sehr niedrige Temperaturen geeignet sind, so dass ein reibungsloser Lauf der Maschinen gewährleistet ist [SCH04]. Alle im Tiefkühllager zum Einsatz kommenden Kunststoff- und Gummiteile sollten aus hochwertigem Material gefertigt sein, um dem Risiko der Porosität entgegen zu wirken. Fördergurte beispielsweise müssen aus Polyurethan hergestellt werden [PET02]. Zur Kompensation der Wärmeentwicklung und Sicherstellung der Funktion müssen Elektronikbauteile mit einem Kunststoffgehäuse eingekapselt werden. Das Gehäuse sollte wasserundurchlässig und resistent gegen Korrosion sein. Um die Bruchgefahr von Kabeln zu verringern, müssen besondere Isationswerkstoffe eingesetzt werden.

Darüber hinaus ist bei der Dimensionierung eines Lagers darauf zu achten, dass ein Mindestabstand zwischen den Lagereinheiten eingehalten wird. Eine Blocklagerung birgt die Gefahr von Wärmenestern [PET02]. Auf der anderen Seite ist auf eine hohe Raumausnutzung zu achten, da so der Külaufwand und dadurch wiederum die Energiekosten gesenkt werden können.

Bei der Auswahl von Lagerhilfsmitteln sind bei Behältern und Paletten ebenfalls hochwertige Materialien zu wählen. Holzpaletten können zwar im TK-Bereich bedenkenlos eingesetzt werden, allerdings ist häufig aus hygienischen Gründen der Einsatz von Kunststoffpaletten empfehlenswert.

Neben den technischen Gesichtspunkten müssen bei der Konstruktion von Spezialbauteilen auch die ergonomischen Besonderheiten beachtet werden. Knöpfe und Griffe sollten auch mit Handschuhen ohne Probleme bedienbar sein. Ebenso gilt, es bei der Auswahl der Kommissioniertechnik die Handhabungsfreundlichkeit der Geräte zu berücksichtigen.

Bei der Planung und Inbetriebnahme eines Tiefkühlagers müssen außer der eingesetzten Technik auch die geltenden Hygieneanforderungen, Arbeitsschutzmaßnahmen und Brandschutzrichtlinien Berücksichtigung finden. Im anlagentechnischen Brandschutz ist insbesondere darauf zu achten, dass eine selbsttätige Sprinkleranlage mit einem Wasser-Glykol-Gemisch betrieben wird.

Der Nachweis einer durchgehenden Kühlkette kann heutzutage durch den Einsatz von RFID-Tags sichergestellt werden. Diese überwachen die Temperatur und können Informationen zu den einzelnen Einheiten speichern, so dass eine Rückverfolgbarkeit möglich ist.

Über die anlagentechnischen Randbedingungen muss der Faktor Mensch bei der Projektierung eines TK-Lagers berücksichtigt werden, z.B. muss eine Reglementierung der Arbeitszeiten und die maximale Aufenthaltsdauer im Kühlbereich beachtet werden. Zudem ist die Wirtschaftlichkeit bzgl. der Automatisierung von Tiefkühllagern anders zu bewerten als beim Aufbau eines nicht gekühlten Lagers.

### 3.5.3 Brandschutz im Lager

Ein eintretender Brandfall kann für einen Lagerbetrieb verheerende Folgen haben. Die Ware und das Lager können zwar versichert sein, der Kundenverlust jedoch nicht, was die gesamte Existenz eines Unternehmens bedrohen kann. Aus diesem Grund stellt die Einhaltung der Brandschutzvorschriften beim Bau eines Lagers oder während des Lagerbetriebs eine wichtige Aufgabe dar. Ziel ist es, durch entsprechende Maßnahmen einen Personen-, Sach- und Versicherungsschutz zu gewährleisten.

Grundsätzlich lässt sich eine Unterteilung in vorbeugenden und abwehrenden Brandschutz vornehmen. Letzterer wird im Brandfall durch die Feuerwehr ausgeführt. Im Folgenden wird auf diesen Bereich nicht weiter eingegangen. Der Fokus liegt vielmehr auf dem vorbeugenden Brandschutz. Dieser kann wiederum in baulichen, anlagentechnischen und betrieblich-organisatorischen Brandschutz gegliedert werden. Mehrere Richtlinien machen Vorgaben für vorzunehmende Brandschutzmaßnahmen. Hier sind vor allem die VdS 2199, die sich mit dem Brandschutz im Lager befasst, und die VDI-Richtlinie 3564 [VDI 3564] zu nennen, die Empfehlungen für den Brandschutz im HRL ausspricht.

Bereits bei der Standortwahl muss im Rahmen des *baulichen Brandschutzes* der Abstand zu angrenzenden Gebäuden berücksichtigt werden. Ebenso muss das Gelände für die Feuerwehr gut zugänglich sein. Bei der Konstruktion eines Lagers müssen aus brandschutztechnischer Sicht mehrere Punkte Beachtung finden. Neben der Größe des Lagers und der Abgrenzung zur Umgebung müssen das Brandverhalten des Lagergutes und die Brandbelastung beachtet werden. Wände und Decken eines Lagers müssen aus Baustoffen der Baustoffklasse A nach DIN 4101-1 erbaut werden. Hierbei handelt es sich um nicht brennbare Baustoffe. Die Ausdehnung des Lagerraumes wird durch die Einhaltung von Brandabschnitten begrenzt. Die Fläche eines Brandabschnittes im HRL darf einen Wert von  $6.000 \text{ m}^2$  nicht überschreiten. Eine Ausweitung der Fläche auf bis zu  $10.000 \text{ m}^2$  ist nur in Ausnahmefällen bei Einführung zusätzlicher Maßnahmen möglich. Die Trennung der einzelnen Brandabschnitte wird durch Brandwände vollzogen, die zur Verhinderung von Flammenüberschlag mindestens einen halben Meter über das Dach des Lagers hinausragen sollen. Grundsätzlich müssen zwischen angrenzenden Bereichen unterschiedlicher Funktion Trennwände aus feuerbeständigem Material eingebaut werden. Weitere bauliche Brandschutzmaßnahmen erfordern eine Rauch- und Wärmeabzugsanlage. Zudem müssen Rettungswege eingeplant werden, die im Brandfall einen Weg aus dem Gebäude weisen, der maximal 35 m betragen darf.

Aus *anlagentechnischer Sicht* muss im Rahmen der Regelungen der Länder zum Brandschutz eine Brandmeldeanlage installiert werden, welche die frühzeitige Erkennung von Brandherden ermöglicht. Darüber hinaus muss eine ausreichende Löschwasserversorgung gewährleistet sein. Ebenso müssen ein Löschwasserrückhaltesystem mit Rückhaltebecken sowie eine Sicherung der Kanalisation vorhanden sein. HRL müssen zudem über eine automatische Löschanlage verfügen. Dies können Sprinkler- oder Inertgaslöschanlagen sein. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Bodenschaumanlagen einzusetzen. Die Sprinkler einer Sprinkleranlage müssen so angeordnet sein, dass alle Punkte im Lager vom Löschwasser erreicht werden können. Darüber hinaus müssen Feuerlöscher griffbereit in jeder Regalgasse bereitstehen.

Der *vorbeugende Brandschutz* aus organisatorischer Sicht beinhaltet die Erstellung einer Brandschutzordnung und eines Feuerwehrplans mit regelmäßigen Feuerwehreinsatzübungen. Ebenso muss eine Unterweisung aller Betriebsangehörigen über die Vermeidung von Brandgefahren, den Umgang mit Feuerlöschanlagen, das Verhalten im Brandfall und Erste Hilfe erfolgen. Für die Steuerung von automatischen Fördermitteln sind die Ruhestellung und die Abschaltung im Brandfall festzulegen. Feuergefährliche Arbeiten dürfen nur mit Genehmigung durchgeführt werden. Im Lager ist ein Rauchverbot zu verhängen. Bei Änderung des Lagergutes ist zu überprüfen, ob die bisher getroffenen Brandschutzmaßnahmen ausreichen oder diese erweitert werden müssen. Im gesamten Lager sind Rettungswege, Feuerlöscher und Gefahrenstellen durch eine ausreichende Beschilderung zu markieren. Werden

alle Brandschutzhinweise eingehalten, ist ein hinreichender Schutz von Personen und Sachen sichergestellt.

Die hier aufgeführten Maßnahmen sollen lediglich einige Möglichkeiten zur Brandverhütung darstellen und haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Weitere Informationen zum Thema Brandschutz im Lager finden sich in den entsprechenden Richtlinien und Normen (z. B. VdS 2199 und VDI 3564). Um einen möglichst effizienten Brandschutz zu garantieren, ist ein auf den Gegenstand angepasstes Gesamtkonzept zu erstellen.

## 3.6 Lagerorganisation

Die Lagerorganisation beschreibt eine Vielzahl von Mechanismen, Regelungen, Vorschriften und Hilfsmitteln, welche die Erfüllung der Lageraufgaben (vgl. Kap. 3.1) zum Ziel haben. Die wichtigste Aufgabe der Lagerorganisation ist die Überwachung (Disposition) und Verwaltung (Buchung und Bestandsführung) aller Abläufe und Zustände im Lagerbereich (vgl. Tabelle 3.5). Eine unzureichende Lagerorganisation verursacht direkt und indirekt zusätzliche Kosten durch personellen, zeitlichen und materiellen Aufwand für Tätigkeiten wie beispielsweise Suche nach Artikeln, Umlagerungen, Zugangsbehinderungen, Schwund oder Verderb bzw. Warten auf Transportmittel. Eine gute Lagerorganisation gewährleistet eine unternehmensspezifisch optimale Lieferbereitschaft des Lagers auf einer wirtschaftlichen Grundlage. Die Lagerorganisation bestimmt also die Güte, in der Waren in der auftragsgemäß geforderten Zeit, Quantität und Qualität für die eigene Produktion oder für den Kunden bereitgestellt werden. Die folgenden Abschnitte dienen in diesem Buch als Überblick und Einstieg in die Thematik, werden detailliert in [tHS03] behandelt und sind zum Teil [DUBB05] entnommen.

### 3.6.1 Parameter der Lagerorganisation

Eine Vielzahl von Randbedingungen und Anforderungen beeinflusst und bestimmt die Lagerorganisation. Diese lassen sich über wichtige Kenngrößen bestimmen, die in ihrem Zusammenspiel ein Materialflusssystem charakterisieren und die Parameter bilden, die eine funktionierende Lagerorganisation maßgeblich beeinflusst. Diese Kenngrößen sind beispielhaft in Tabelle 3.6 aufgeführt und untergliedert. Sie lassen sich in statische und dynamische Größen und weiter in Zustands- und Bewegungsgrößen und in entsprechende Kostengrößen untergliedern. Zustandsgrößen sind statische Größen. Sie umfassen die Artikelstruktur und die Bestandsstruktur. Die Artikelstruktur setzt sich aus der Artikelanzahl und der Artikelverteilung in so genannte umschlagsabhängige A-, B- oder C-Klassen (A-Artikel sind Artikel mit dem höchsten Umschlag) zusammen (vgl. ABC-Analyse, Abschn. 6.3.2, S. 340). Die Bestandsstruktur wird aus dem durchschnittlichen Ladeeinheitenbestand pro Artikel

**Tabelle 3.5.** Ausgewählte Aufgaben der Lagerorganisation

Beispielhafte Aufgaben der Lagerorganisation	
Disposition	Buchung und Bestandsführung
Bestands- und Platzverwaltung	Fakturierung
Fördermittel- und Hilfsmittelverwaltung	Kostenstellenbelastung
Auftragsentgegennahme und -verwaltung	Statistik
Auftragsbildung und Batch-Berechnung	Inventur
Zuordnung von Aufträgen und Fördermitteln	Controlling
Auftragsübermittlung	

gebildet. Zu den Zustandsgrößen sind darüber hinaus auch die Lagerkapazität und die Lagerplatzkapazität zu rechnen.

Bewegungsgrößen sind dynamische Größen. Sie geben die Umschlagsstruktur wieder. Im Einzelnen sind dies die Warenein- und Warenausgänge pro Zeiteinheit sowie ihre Verteilung einschließlich Spitzenwerten, die lagerinternen Umlagerungen und der gemittelte Umschlag über einen längeren Zeitraum (typ. ein Jahr). Dieser gemittelte Lagerumschlag gibt an, wie häufig die Artikel im Mittel ausgetauscht werden. Der Kehrwert des Lagerumschlages ist die durchschnittliche Lagerreichweite. Gebräuchlicher ist im täglichen Betrieb die aktuelle Lagerreichweite (Artikelreichweite) eines Artikels oder Lagerbestandes, definiert als Quotient das aktuellem Bestand und aktuellem oder geplantem Warenabgang. Die Bewegungsgrößen geben darüber hinaus Aufschluss über die Auftragsstruktur. Diese setzt sich im Wesentlichen aus der Auftragsanzahl pro Tag, den Positionen (= Auftragszeilen) pro Auftrag und damit den Positionen pro Tag zusammen. Für Kommissionierläger sind außerdem der Kommissionieranteil, die Zugriffe oder Entnahmen pro Position, das Gewicht pro Zugriff sowie die Gesamtzahl der Artikel im täglichen Zugriff von Interesse (vgl. Abschn. 5.2: Kommissioniersysteme). Die Kostengrößen stellen mit einer Aussage über die ABC-Kostenverteilung, die durchschnittlichen Gesamtbestandskosten und durchschnittlichen Bestandskosten pro Artikel eine besondere Anforderung an die Lagerorganisation und ihre Wirtschaftlichkeit dar. Besonders zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang auch die Gesamtumschlagskosten sowie die Kosten pro Lagerbewegung, die wesentlich durch die Lagerorganisation geprägt werden und wesentliche Kenngrößen zu ihrer Bewertung darstellen.

Neben diesen wichtigen exemplarischen Kenngrößen stellt die Flexibilität, sei es bei Änderungen der Artikelstruktur, bei Änderungen der Umschlags-

**Tabelle 3.6.** Parameter zur Charakterisierung eines Materialflusssystems

Wichtige Kenngrößen der Lagerorganisation	
statische Größen	dynamische Größen
Artikelanzahl	Wareneingänge/Tag
ABC-Artikelverteilung	Warenausgänge/Tag
Gesamtdurchschnittsbestand	Umlagerungen/Tag
Anzahl Paletten/Artikel	Umschlag/Jahr
Anzahl Paletten/Packstücke	Lagerreichweite
Lagerkapazität	Auftragszahl/Tag
Lagerplatzkapazität	Positionen/Auftrag
Kosten/Artikel	Positionen/Tag
ABC-Kostenverteilung	Zugriffe/Positionen
Durchschnittliche Gesamtbestandskosten	Gewicht/Zugriff
Durchschnittliche Bestandskosten/Artikel	Gesamtzahl der Artikel im täglichen Zugriff
	Gesamtumschlagskosten
	Kosten/Lagerbewertung

struktur oder bei notwendigen Lagererweiterungen, die wohl größten Anforderungen an die Lagerorganisation. Hier gilt es, Faktoren zu berücksichtigen, die im Vorhinein schwierig oder gar nicht abzuschätzen sind. Gerade die Forderung nach Flexibilität hat weitreichende Auswirkungen auf die Wahl von Hard- und Software. Der Einsatz von standardisierter, modularer Software ist daher unabdingbar.

### 3.6.2 Ziele der Lagerorganisation

Gemäß dem logistischen Leitsatz müssen Information und Material unabhängig und parallel fließen. Das bedeutet, dass die Auftragsdaten dem Transport vorausseilen, begleitende Daten wie die Identifikation mit den Ladeeinheiten laufen und nach Auftragsdurchführung auswertbare Daten in Form von Statistiken vorliegen. Manuelle Eingriffe in die Datenverarbeitung (Erfassung, Bearbeitung und Weitergabe) müssen minimiert werden. In die Abläufe müssen Kontrollen wie Konturen- und Freiraumkontrollen von Ladehilfsmitteln und Ladeeinheiten, Überprüfung von Beleg- und Artikelnummern durch Prüf-

ziffern, Lesen von Barcode-Etiketten und Kontrollen zur Überwachung des Ladezustandes von Lastaufnahmemittel oder Lagerfach integriert werden.

### 3.6.3 Strategien zur Lagerbewirtschaftung

Die Effizienz eines Lagers wird im Zusammenspiel mit der für den gewünschten Einsatzzweck richtigen Auswahl der Lagermittel in besonderem Maße von den Strategien der Lagerplatzauswahl und -vergabe sowie der Ein- und Auslagerung bestimmt. Sie ermöglichen eine Minimierung der Lagerbedienwege, eine gleichmäßige Auslastung der vorhandenen Lagerkapazität, Vermeidung einer Überalterung der gelagerten Güter und insgesamt eine Betriebskostenminimierung. Ihrer unternehmensspezifischen Auswahl und Festlegung kommt daher eine große Bedeutung zu. Die Gestaltung des Lagers, d. h. die Auswahl und Dimensionierung der technischen Systemelemente, wird entscheidend durch die festgelegte Strategie geprägt. Von grundlegendem Einfluss auf die Lagerbewirtschaftungsstrategien ist die Wahl des Anlieferungs- und Abzugsortes (Einlagerungs-/Auslagerungsort) [SCHE73]. Diese sollten möglichst an derselben Lagerseite angeordnet sein, um unnötige Verfahrwege bei Doppelspielen zu minimieren. In seltenen Fällen werden aber diese Verfahrwege in Kauf genommen und die Einlagerungs- und Auslagerungsseite an gegenüberliegenden Enden einer Gasse installiert, um zusätzlich eine Transportfunktion zu erbringen oder einen gerichteten Materialfluss zu erzeugen. Die Lagerbewirtschaftungsstrategien werden differenziert nach Strategien zur Lagerplatzvergabe und Strategien zur Ein- und Auslagerung.

#### Lagerplatzvergabe

Die Vergabe eines Lagerplatzes für einen bestimmten zu lagernden Artikel erfolgt anhand einer Vielzahl von Kriterien. Einflüsse ergeben sich aus den physischen Anforderungen der Ladeeinheiten, aus der betriebstechnisch besten Lageroperation und aus sicherheitstechnischen und rechtlichen Restriktionen. Anforderungen bezüglich der physischen Lagergutabmessungen und -gewichte zielen auf eine Anpassung des Regalbaus an das Lagergutspektrum (Lagerfachdimensionen und Traglasten) ab. Eine häufige Maßnahme ist die Reduzierung der zulässigen Traglasten mit zunehmender Regalebene bzw. die Bildung entsprechender Lastbereiche. In der manuellen Kommissionierung wird aus ergonomischen Gründen in den oberen Lagerfächern die Einlagerung leichterer Einheiten angestrebt. Bei einigen Lagersystemen, bspw. Horizontal-Umlaufregalen, muss funktionsbedingt eine einseitige Belastung vermieden werden. Ein generelles Bestreben ist die möglichst gute Nutzung des vorhandenen Lagervolumens. Bei stark unterschiedlichen Höhen der Ladeeinheiten wird eine Stufung der Lagerfachhöhen angestrebt. Zur Optimierung der operativen Bedienprozesse eines Lagersystems existiert eine Reihe unterschiedlicher Strategien:

**Tabelle 3.7.** Lagerbewirtschaftungsstrategien

Lagerbewirtschaftungsstrategien				
Strategie	Lagerplatzvergabestrategien			
	feste Lagerplatz-vergabe	freie Lagerplatzvergabe innerhalb fester Bereiche		freie Lagerplatz-vergabe
	Festplatzlagerung	Zonung	Querverteilung	chaotische Lagerung
Kurzbeschreibung	fester Lagerplatz für jeden Artikel	Lagerung der Ladeeinheiten nach Umschlaghäufigkeit	Lagerung der Ladeeinheiten eines Artikels über mehrere Gänge	Lagerung der Ladeeinheiten auf beliebigen freien Lagerplätzen
Vorteile	Artikel können in einer Reihenfolge sortiert angeordnet werden (schwer nach leicht; Schrauben zu Muttern)	erhöhte Umschlagleistung	Zugriffssicherheit bei Auffall eines Fördermittels; höhere Leistung durch parallele Auslagerung	erhöhte Ausnutzung der Lagerkapazität; platzgenaue ABC-Zonung
Strategie	Ein- und Auslagerungsstrategien			
	Fifo	Mengenanpassung	wegoptimierte Ein- und Auslagerung	Lifo
Kurzbeschreibung	Auslagerung der zuerst eingelagerten Ladeeinheit eines Artikels	Auslagerung voller und angebrochener Ladeeinheiten jenach Auftragsmenge	Auslagerung der Ladeeinheiten des Artikels mit dem kürzesten Bedienweg	Auslagerung der zuletzt eingelagerten Ladeeinheit eines Artikels
Vorteile	Vermeidung von Alterung	erhöhte Raumnutzung weniger Rücklagerung	Fahrwegminimierung	Vermeidung von Umlagerungen bei bestimmten Lagertechniken
				nur ein angebrochenes Ladehilfsmittel; bessere Raumnutzung

*Festplatzlagerung:* Ein Artikeltyp erhält eine feste Zuordnung zu einem Lagerplatz (ursprünglich zur Sicherung der Lagerorganisation genutzt, heute vorteilhaft in manuellen Kommissioniersystemen (Verringerung von Suchzeiten durch Übungseffekt).

*Freie Lagerplatzvergabe (Chaotische Lagerung):* Jeder freie Lagerplatz kann beliebig für Artikel disponiert werden. Das Verfahren erlaubt die bestmögliche Nutzung vorhandener Lagerkapazitäten.

*Zonung:* Das Lager wird logisch in bestimmte Bereiche eingeteilt, die für Artikel mit einer bestimmten Eigenschaft reserviert sind. Häufig erfolgt eine solche Einteilung anhand der Umschlaghäufigkeit oder der Zugriffshäufigkeit von Artikel(-gruppen), um die durchschnittlichen Fahrwege zu minimieren. Eine Zone für Artikel mit hoher Umschlaghäufigkeit und hoher Zugriffshäufigkeit wird als Schnellläuferzone bezeichnet.

*Querverteilung:* Artikel werden grundsätzlich auf mehrere Lagergassen, Lagerbereiche oder Lagerkanäle verteilt, um die Artikelverfügbarkeit sicherzustellen und/oder die Lagerleistung durch paralleles Abarbeiten zu erhöhen.

**Teilefamilien (Clustering):** Kundenseitig häufig gemeinsam bestellte Artikel werden benachbart gelagert, um Anschlusswege zu minimieren.

Ferner wird wenn möglich durch die Trivialstrategie „Kürzester Fahrweg“ die jeweils nächstgelagerte freie Position angefahren. Sicherheitstechnische und rechtliche Vorgaben besitzen Priorität und gelten insbesondere im Gefahrgut- und Lebensmittelbereich.

### **Ein- und Auslagerstrategien**

Diese Strategien legen fest, in welcher Reihenfolge welche Ein- und Auslagerungen vom Fördersystem und von den Lagergeräten durchgeführt werden, damit unter Einhaltung vorgegebener Restriktionen eine möglichst hohe Einlager-, Auslager- oder Durchsatzleistung erreicht wird. Die Verwaltung der Auslagerungsaufträge erfolgt je nach Anwendungsfall für einen kürzeren oder längeren Zeitraum. Zunächst erfolgt eine Reservierung der auszulagernden Mengen und/oder Lagereinheiten, um Fehlmengen zum terminierten Auslagerzeitpunkt zu vermeiden. Die Disposition und Durchführung der Auslagerung erfordert die Berücksichtigung verschiedenster Zielvorgaben und wird unter Anwendung bestimmter Auslagerungsstrategien durchgeführt. Die bekanntesten Auslagerstrategien sind folgende:

**FIFO (First-In-First-Out):** Die älteste Ladeeinheit wird zuerst ausgelagert.

Die Strategie dient der Vermeidung der Überalterung und des Verfalls des Mindesthaltbarkeitsdatums sowie der Einhaltung von Chargen oder Sequenzen innerhalb eines Produktionsprozesses.

**LIFO (Last-In-First-Out):** Die jeweils jüngste Ladeeinheit eines Artikels wird zuerst ausgelagert. Bestimmte Lagertechniken (z. B. Kanallager) erfordern prinzipiell LIFO, um Umlagerungen zu vermeiden, andere Lagertechniken (z. B. Einfahrregale, Kanallager) lassen konstruktionsbedingt ausschließlich LIFO zu.

**Mengenanpassung:** Die Festlegung auszulagernder Ladeeinheiten erfolgt entsprechend den Mengenbedürfnissen des jeweils aktuellen Auftrags mit dem Ziel, Rücklagerungen zu minimieren. Es werden diejenigen Ladeeinheiten ausgelagert, die in Summe den geringsten Aufwand an Zugriffen und Rücklagerungen ermöglichen.

**Restmengenbevorzugung:** Es wird grundsätzlich die Ladeeinheit mit der kleinsten Restmenge ausgelagert, um insgesamt die Gesamtmenge eines Artikels auf möglichst wenige Ladeeinheiten zu konzentrieren und die Lagerkapazitäten ideal zu nutzen.

**Gassenwechselminimierung:** Die Sortierung der Auslagerreihenfolge erfolgt zunächst nach einzelnen Lagergassen, um bei bestimmten Systemen (z. B. Verschieberegalen) träge Umsetzvorgänge zu minimieren.

**Tourenorientiert:** Die Auslagerreihenfolge wird durch einen nachfolgenden Prozess (z. B. Lkw-Tour) bestimmt.

### Betriebliche Optimierung

Analog zur Einlagerung wird bei freier Wahl grundsätzlich der kürzeste Anschlussweg zur allg. Durchsatzoptimierung gewählt. Während die zuvor genannten Strategien jeweils die Bearbeitung einer einzelnen Auslagerung betrachten, erfordern Systeme mit Mehrfach-Lastaufnahmemitteln und Anwendungen in der Kommissionierung weiterreichende Strategien bzw. Algorithmen. Es sind nicht nur die entsprechenden Ladeeinheiten, sondern auch die ideale Reihenfolge der Auftragsabarbeitung bzw. die Reihenfolgeplanung auszuwählen. Aufgabenstellungen dieser Art werden im Rahmen der betrieblichen Optimierung bearbeitet. Viele dieser Aufgabenstellungen lassen sich auf das Travelling-Salesman-Problem (TSP) zurückführen. Zur Lösung solcher kombinatorischen Probleme kommen verschiedenste Verfahren zur Anwendung, u. a. folgende:

*Enumerierende Verfahren:* Alle Lösungen des Lösungsraumes (z. B. alle theoretisch möglichen Reihenfolgen) werden untersucht und dadurch wird die optimale Lösung ermittelt. Aufgrund der hohen Anzahl an Lösungen realer Probleme ist dieses Verfahren häufig nicht effizient einsetzbar bzw. nur durch Nutzung geeigneter Heuristiken (z. B. Branch&Bound) nutzbar.

*Kalkülbasierte Verfahren:* Ermittlung der optimalen Lösung durch ein Gradientenverfahren, das die Steigung der Zielfunktion in Abhängigkeit der Parameter untersucht (z. B. Hill-Climbing-Verfahren). Die Erreichung des globalen Optimums kann nicht garantiert werden, der Suchaufwand ist aber erheblich geringer als bei enumerierenden Verfahren.

*Zufallsgesteuerte Verfahren:* Iterativ werden zufällige Lösungen generiert, die bis zum Erreichen eines Abbruchkriteriums bewertet und verbessert werden (z. B. Monte-Carlo-Strategie, genetische Algorithmen).

Verschiedene Verfahren benötigen zudem eine Anfangslösung, die eine gültige, nicht optimale Lösung liefert. Geeignete Verfahren sind bspw. die *Streifenstrategie, bester Nachfolger*, das *Savings-Verfahren* oder das *Sweep-Verfahren*.

#### 3.6.4 Steuerung automatischer Lagersysteme

Lagersysteme in ihren vielfältigen Ausprägungen sind komplexe technische Systeme, die zielgerichtet geführt werden müssen. Im Gegensatz zu manuell bedienten Lagersystemen, die oft nur einfache artikel- und ortsbezogene Funktionen realisieren, können automatische Lagersysteme auch komplexe Anforderungen erfüllen. Automatische Lagersysteme werden durch den Einsatz einer Lagersteuerung (engl. Warehouse Control System, WCS) geführt. Hierdurch entsteht ein geschlossener Wirkungskreis: Ereignisse und Messgrößen führen zur Berechnung von Signalen und Stellgrößen, die ihrerseits das physische Lagersystem steuern.

Die Lagersteuerung beinhaltet ein meist partielles Modell des physischen Lagers. Dieses Modell dient der Berechnung von Steuerungsentscheidungen und muss während des Betriebes mit dem physischen Lager synchron gehalten werden.

**Betriebsmittel:** Zur Lösung der Aufgabe stehen einem Lagerverwaltungssystem (engl. Warehouse Management System, WMS<sup>2</sup>) aktive und passive Betriebsmittel zur Verfügung. Aktive Betriebsmittel werden vom Lagerverwaltungsrechner beauftragt, führen den Auftrag aus und melden sich anschließend im ungestörten Fall als betriebsbereit zurück. Beispiele für aktive Betriebsmittel sind Regalbediengeräte, Verteilwagen und Rollenbahnen. Passive Betriebsmittel sind beispielsweise Lagerorte und Ladungsträger. Diese können nicht beauftragt werden, stellen aber eine beschränkte Ressource dar, deren Kapazität nicht überschritten werden darf. Ein Lagerverwaltungssystem beinhaltet die Steuerung der aktiven Betriebsmittel und die Verwaltung der passiven Betriebsmittel.

**Randbedingungen:** Automatische Lagersysteme erfordern definierte Umgebungsbedingungen sowie intakte Ladungsträger und maschinengerechte Transporteinheiten. Beispielsweise können optische Sensoren bei starker Verschmutzung oder induktive Sensoren bei nicht vorgesehenem Transport von Metallteilen fehlerhafte Signale liefern. Defekte Ladungsträger mit überstehenden Kanten und Lastüberstände können zu mechanischen Störungen oder zu unbeabsichtigtem Auslösen eines Sensors führen. Aus diesem Grund sind Profilkontrollen am Lagereingang erforderlich.

**Synchronisation:** Eine Voraussetzung für den Betrieb von automatischen Lagersystemen ist ein korrektes Lagerabbild (Modellzustand). Das Abbild enthält sowohl die Lagerbestände als auch die Zustände der einzelnen Betriebsmittel und muss laufend mit dem Zustand des physischen Lagers synchronisiert werden.

Am Wareneingang findet eine initiale Synchronisation zwischen Daten und Gütern statt. Dieser Vorgang kann u. U. entfallen, wenn die Information physisch in Form eines Barcodes oder eines Transponders (RFID) fest mit dem Gut verbunden ist und von den Sensoren der (folgenden) Materialflusstechnik fehlerfrei gelesen werden kann. Diese permanente Synchronisation zwischen Daten und Material vermeidet potenzielle Fehler.

**Systemtechnik:** Automatische Lagersysteme werden, abhängig von ihrer Komplexität, durch eine Hierarchie von Steuerungen bedient, an deren Spitze sich der Lagerverwaltungsrechner (LVR) befindet, der wiederum von einem Auftrags-Verwaltungsrechner (z. B. ERP-System) seine Aufträge erhält. Die unterlagerten Steuerungen treffen ihre programmierten Steue-

---

<sup>2</sup> Ein WCS dient der Steuerung eines Lagers. Es verfügt über keine Bestandsführung. Diese Aufgabe übernimmt das WMS, das als übergeordnetes System sowohl die Bestandsführung und -organisation als auch die Steuerung von Lägern übernimmt.

rungentscheidungen ausschließlich aufgrund ihrer aktuellen Eingangsdaten. Sie benötigen kein Zustandsmodell der Anlage und damit auch keine sichere Speicherung von Daten. Typischerweise werden Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) oder spezifische Mikrocontrollersysteme verwendet. Der Lagerverwaltungsrechner erfordert dagegen die sichere Speicherung großer Datenmengen. Hierzu zählen im Wesentlichen die Bestands- und Bewegungsdaten der Lagereinheiten und die Zustandsinformationen der Betriebsmittel. Zur Lösung dieser Aufgabe sowie zum schnellen und selektiven Zugriff auf die Daten werden Datenbanken eingesetzt. Um einem Datenverlust vorzubeugen und um die Verfügbarkeit des Lagerverwaltungsrechners zu erhöhen, werden redundante Datenspeicher (z. B. RAID-Laufwerke), redundante Rechnersysteme (z. B. Spiegelsysteme) und unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) eingesetzt. Zumeist besteht die Ebene des Lagerverwaltungsrechners aus einem Client-Server-System, in dem die Verarbeitung einer Applikation (Programm) in einem Server-Teil und einem Client-Teil (Frontend) erfolgt. Beide Teile sind über ein Netzwerk miteinander verbunden zum Client-Server-System. Die Benutzerschnittstelle liegt auf dem Client (Rechner).

*Typ:* Client-Applikationen in der Logistik sind Browser, Visualisierungs- oder Datenbank-Tools, während die zentrale Datenbank der Lagerverwaltung auf dem Server läuft. Komplexe Systeme können mehrere Server und Hunderte von Clients enthalten.

### 3.7 Begriffe und Kennwerte

Jedes Lager besteht aus einer bestimmten Anzahl von Lagerplätzen. Ein Lagerplatz kann aus einem oder mehreren Stellplätzen bestehen. Jeder Stellplatz kann eine oder mehrere Ladeeinheiten aufnehmen.

Die *Lagerplatzkapazität* beschreibt die maximale Anzahl der auf einem Lagerplatz unterzubringenden Ladeeinheiten. Die Lagerkapazität ist die Anzahl der aufgrund der vorgegebenen Regalkonstruktion oder Bodenlagerfläche maximal in einem Lager unterzubringenden Ladeeinheiten (Paletten, Behälter, Gitterboxen, Kartonagen). Die Ermittlung einer erforderlichen Lagerkapazität hängt von verschiedenen Faktoren ab, z. B.:

- mittlerer Bestand und Umschlagrate
- Lagerplatzvergabestrategie
- saisonale und sonstige Einflüsse auf Bedarfsspitzen
- Aufgabe des Lagers und
- Artikelanzahl und Artikelstruktur.

Der Begriff *Lagerplatz* ist von der Regaltechnik unabhängig und beschreibt beim Regallager ein Lagerfach und beim Bodenlager eine Bodenfläche. Die Differenzierung zwischen Lagerplatz, Stellplatz und Ladeeinheiten

lässt sich anhand eines Durchlaufregallagers erläutern. Zwischen den Stehern befindet sich der Lagerplatz mit mehreren Stellplätzen (Kanälen), in denen hintereinander mehrere Ladeeinheiten stehen können. Auf diese Ladeeinheiten kann nicht wahlfrei zugegriffen werden. Beim Palettenregal mit einem Mehrplatzsystem werden in der Regel an einem Lagerplatz drei Ladeeinheiten auf jeweils einem Stellplatz gelagert.

Der *Lagerfüllgrad* setzt den dynamischen Wert der aktuell im Lager befindlichen Lagereinheiten in Bezug zur statischen Kennzahl Lagerkapazität.

$$\text{Lagerfüllgrad} = \frac{\text{Anzahl der belegten Lagerplätze}}{\text{Lagerkapazität}} \leq 1 \quad (3.4)$$

Dabei hängt die Möglichkeit, einen Ein- oder Auslagerauftrag auszuführen, nicht allein vom Lagerfüllgrad ab, sondern in erheblichem Maße auch von der Lagerverwaltung.

Die *Lagerreichweite* gibt an, wie lange eine Versorgungssicherheit durch die vorhandenen Bestände besteht. Dieser Kennwert gibt somit die Zeit an, für die der Lagerbestand bei einer durchschnittlichen oder geplanten Auftragslast ausreicht. Eine Verminderung der Lagerreichweite führt zu höheren Anforderungen an Betrieb, Disposition und Umschlag und kann zu einer sinkenden Lieferbereitschaft und damit zu Fehlmengenkosten führen. Eine Steigerung der Lagerreichweite führt zu unnötigen Lagerhaltungs- und Kapitalbindungskosten.

$$\text{Lagerreichweite} = \frac{\text{durchschnittlicher Lagerbestand}}{\text{durchschnittliche/geplante Lagerabgänge pro Zeitraum}} \quad (3.5)$$

Die *Umschlaghäufigkeit* gibt an, wie oft der Bestand eines Lagers innerhalb eines betrachteten Zeitraums erneuert wird, d. h. wie viele Füllungen eines Lagers innerhalb eines Zeitraums das Lager verlassen und durch neue Einlagerungen ersetzt werden. Die Umschlaghäufigkeit kann nach verschiedenen Kategorien ermittelt werden, z. B. nach Materialgruppe oder nach Lagerart, und kann Aufschlüsse über ABC-Verteilungen nach Umschlag geben.

$$\text{Umschlaghäufigkeit} = \frac{\text{Lagerabgänge pro Zeitraum}}{\text{durchschnittlicher Lagerbestand}} \quad (3.6)$$

Bei der Umschlaghäufigkeit werden somit die ausgelieferten Aufträge mit dem Lagerbestand in Beziehung gesetzt. Neben dieser mengenmäßigen Be-

trachtung des Lagerumschlages kann der mittlere Umschlag auch wirtschaftlich auf Basis der Umsätze beschrieben werden und ergibt sich als wertmäßiger Umschlag aus dem Quotienten des Umsatzes [EUR/a] und des durchschnittlichen Lagerbestandes [EUR]. Ziel einer guten Lagerorganisation ist es, die richtige Kombination von Lagerkenngrößen für eine bestehende Anwendung zu ermitteln, um eine geringe Kapitalbindung und eine gute Disposition der vorhandenen Kapazitäten zu erreichen.

Der Begriff *Arbeitsspiel* beschreibt bei allen Arten von Unstetigförderern den wiederkehrenden Bewegungsablauf, der bei jedem Fördergang durchlaufen wird, um den Förderauftrag zu erfüllen. Der Zeitbedarf dieses Vorgangs ist die Spielzeit. Diese Zeit kann sich aus produktiven (Fahrt mit der Last) und unproduktiven Zeitanteilen (Rückfahrt als Leerfahrt) zusammensetzen. Bei der Betrachtung eines Systems, bei dem wechselnde Positionen angefahren werden, werden ein mittleres Arbeitsspiel und eine mittlere Spielzeit definiert. Bei Materialflüssen zwischen einer Quelle und einer Senke mit nur einer Richtung vollführt ein unstetiges Fördermittel eine Pendelbewegung, bei der nur ein Teil des Arbeitsspiels unter Last vollführt wird. Dieses *Einzelspiel* beinhaltet somit eine Leerfahrt zurück zur Quelle, so dass sich das Arbeitsspiel in eine Lastfahrt und eine Leerfahrt aufgliedert. Kann durch eine gute Lagerorganisation eine Einlagerung über eine kurze Leerfahrt zu einem benachbarten Lagerplatz mit einer Auslagerung in einem *Doppelspiel* verbunden werden, entfällt ein Großteil der Leerfahrtanteile, je näher Ein- und Auslagerplatz zueinander liegen. Die Berechnungen mittlerer Spielzeiten häufiger Lagersysteme sind in VDI- und FEM-Richtlinien dokumentiert [FEM 9.851, VDI 3561b, VDI 3561d].

Die *artikel- oder sortimentsbezogene Verfügbarkeit* oder der verfügbare Bestand bezeichnet den Bestand am Lager, über den nach Berücksichtigung von Reservierungen, Sperrungen usw. noch verfügt werden kann.

$$\text{Verfügbarkeit}_{(\text{artikel- oder sortimentsbezogene})} = \frac{\text{verfügbarer Lagerbestand}}{\text{georderter Bestand}} \quad (3.7)$$

Die *technische Verfügbarkeit* beschreibt hingegen die Wahrscheinlichkeit, ein Element oder ein System zu einem vorgegebenen Zeitpunkt in einem funktionsfähigen Zustand anzutreffen [VDI 3649, S. 2, FEM 9.222, S. 3]. Die Verfügbarkeit betrachtet sowohl das Ausfall- als auch das Reparaturverhalten eines Systems. Der Schwerpunkt existierender Richtlinien aus dem deutschsprachigen Raum liegt im Bereich der Verfügbarkeitstests und -nachweise für bereits realisierte Materialflusssysteme ([FEM 9.221, FEM 9.222, VDI 3581, VDI 3649]).

$$\text{Verfügbarkeit}_{(\text{technische})} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTTR} + \text{MTBF}} \quad (3.8)$$

Dabei bezeichnen der Begriff Mean Time between Failures (MTBF) die mittlere störungsfreie Zeit und der Begriff Mean Time to Repair (MTTR) die mittlere Reparaturdauer.

### 3.8 Auswahlkriterien und Systemvergleich

Die wichtigsten Bestimmungsgrößen für eine Lagerauswahl sind die Eigenschaften der Güter, die Anzahl der zu lagernden Artikel, die Menge pro Artikel, die Gewichte und Abmessungen der Artikel sowie der Ladehilfsmittel und die Auftragslast, also die Zahl und der Verlauf der täglichen Ein- und Auslagerungen sowie die logistisch notwendigen Vorgänge wie z. B. das Kommissionieren. Entscheidend für die Auswahl der Lagermittel sind vor allem die erstgenannten. Die Frequenz und die Anforderungen der Ein- und Auslagerungsaufträge hingegen haben vorrangig Einfluss auf die Wahl einer geeigneten Lagerbedientechnik.

Die Matrix in Tabelle 3.8 soll als Orientierungshilfe und zur Unterstützung bei einer ersten Grobauswahl von Lagermitteln in Abhängigkeit von einigen wichtigen Kenngrößen dienen. Als Kenngrößen wurden die Anzahl der Ladeeinheiten pro Artikel, die Anzahl der verschiedenen Artikel sowie das Gewicht herangezogen. Die Unterscheidung in *gut geeignet*, *bedingt geeignet* oder *schlecht geeignet* ist als sehr grob zu werten und kann deshalb detailliertere Betrachtungen im Einzelfall nicht ersetzen. Sie erlaubt dementsprechend lediglich tendenzielle Aussagen, um eine systemtechnische Unterscheidung zu ermöglichen. Die Aussage schlecht geeignet bedeutet in diesem Zusammenhang nicht ungeeignet, sondern sie impliziert, dass ein Einsatz weniger sinnvoll ist. Dies ist am Beispiel eines sehr leichten Lagergutes nachzu vollziehen, welches man zwar in eine Regaltechnik in schwerer Ausführung einlagern kann, wobei die Funktionalität der Regaltechnik nicht mit den Anforderungen des Lagergutes korrespondiert. Um wichtige Vor- und Nachteile der verschiedenen Lagermittel einander vergleichend gegenüberstellen zu können, ist in den Tabellen 3.9 und 3.10 eine Übersicht der beschriebenen Lagermittel und eine (subjektive) Bewertung beispielhaft nach wichtigen Bestimmungskriterien dargestellt. Die Vorgehensweise entspricht dem Verfahren der Nutzwertanalyse und kann daher keinen allgemeinen Charakter aufweisen. Sie muss folglich im konkreten Fall nach diesem Muster vom Anwender selbst nachvollzogen werden, um den unterschiedlichen Bewertungen unter verschiedenen Aspekten Rechnung zu tragen. Sinnvollerweise wird die angegebene Matrix noch um eine Gewichtung der Bewertungskriterien ergänzt, die auf den konkreten Anwenderfall bezogen durchgeführt werden muss. Dadurch können besonders wichtige Überlegungen vorrangig und weniger wichtige Kriterien entsprechend geringer berücksichtigt werden, so dass eine erste Orientierung bei der Systemauswahl gelingt.

**Tabelle 3.8.** Lagermittelauswahl anhand wichtiger Kenngrößen

		Kenngrößen			Anzahl Ladeneinheiten pro Artikel			Artikelanzahl			Gewicht der Ladeneinheiten			
					groß	mittel	gering	groß	mittel	gering	groß	mittel	gering	
Regallagerung	statische Lagerung	Regal auf Flurförderzeug			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bodenlagerung	statische Lagerung	Verschieberegal (Zeilen)			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Verschiebeumlaufregal			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Block	Block	Umlaufregal vertikal			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
feststehende Regale, bewegte Ladeneinheiten (LE)	Bewegte Regale, feststehende LE	Umlaufregal horizontal			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Kanalregal Unstetigf. Antrieb			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Einschubregal Unstetigf. Schwerkraft			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Durchlaufregal Unstetigf. Schwerkraft			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Durchlaufregal Stetigförderer Antrieb			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Einschubregal Stetigförderer Schwerkraft			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Durchlaufregal Stetigförderer Schwerkraft			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Kragarmregal			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Behälterregal			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Paletten-/ Hochregal			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Schubladenregal			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Fachbodenregal			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Lager mit Kanal- u. Verladefahrzeugen			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zeilensystem	Zeilensystem	Einfahr-/ Durchfahrtregal			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	Block	gestapelt und ungestapelt			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	Block	gestapelt und ungestapelt			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

günstig     bedingt     ungünstig

Im Folgenden ist eine kurze Erläuterung der Bestimmungskriterien und ihres Einflusses auf die Wahl der Lagermittel aufgeführt.

Der *Automatisierungsgrad* ermöglicht eine Aussage über die Möglichkeit, Lagermittel in ein automatisches Materialflusssystem zu integrieren. Um ihn einschätzen zu können, müssen die geeigneten Lagerbedientechniken in die Betrachtung mit einbezogen werden.

Die *Flexibilität bei Artikelmengenänderung* ist im Gegensatz zur Flexibilität bei der Auftragslaständerung, die stark von der Lagerbedientechnik beeinflusst wird, abhängig von den gewählten Lagermitteln.

Der gleichfalls wichtigen *Flexibilität bei Änderung des Durchschnittsbestandes* wird mit dem Bestimmungskriterium *Erweiterungsfähigkeit* Rechnung getragen.

Das Bewertungskriterium *Direktzugriff* auf jede Ladeeinheit besagt, dass kein Umlagerungsaufwand erforderlich sein darf, um eine beliebige Ladeeinheit zu entnehmen. Diese Fähigkeit ist nicht bei allen Lagermitteln vorhanden. Ein Direktzugriff auf jede Artikelsorte ist abweichend davon auch für Bodenblocklager und Durchlauf-/Einschubregalläger möglich.

*First-In-First-Out (Fifo)* ist eine Lagerbedienstrategie, die sich ebenfalls auf die einzelnen Ladeeinheiten bezieht (vgl. Abschn. 3.6.3). Sie ist analog nicht für jedes Lagermittel realisierbar. Häufig ist jedoch ein eingeschränktes Fifo, bei dem Ladeeinheiten mit demselben Einlagerungsdatum oder derselben Charge in beliebiger Reihenfolge ausgelagert werden können, ausreichend. Dieses eingeschränkte Fifo kann beispielsweise auch mit Bodenblocklägern oder Einschubregallägern realisiert werden.

Eine *chaotische Lagerung* ist eine Lagerplatzvergabestrategie, der eine vollständig freie Platzvergabe zugrunde liegt (vgl. Abschn. 3.6.3, S. 105). Entsprechend lagern an einem Lagerplatz in zeitlicher Folge verschiedene Artikel. Eine chaotische Lagerung ist mit vielen Lagermitteln nicht zu realisieren. Bei Einsatz einer manuellen Lagerbedienung oder bei manueller Kommissionierung von ohne Ladehilfsmittel gelagertem Lagergut (z. B. beim Fachboden- oder Schubladenregal) wird sie ebenfalls nicht verwendet.

Die *Eignung für eine automatische Kommissionierung* gibt einen Anhaltswert, ob die verschiedenen Lagermittel sich für den Einsatz in automatischen Kommissioniersystemen eignen.

Die *Raumnutzung*, hier als Quotient von Lagergutvolumen (incl. Ladehilfsmittel) und Lagergesamtvolumen, gibt Aufschluss darüber, wie weitgehend ein vorgegebenes Gebäude genutzt wird. Die Raumnutzung wird dabei wesentlich durch die realisierbare Lagerhöhe bestimmt. Daher resultieren die häufig schlechten Werte beispielsweise bei der Bodenlagerung aus der begrenzten Stapelbarkeit der Ladeeinheiten und damit aus der unzureichenden Nutzung der Raumhöhe. Bei den Fachbodenregalen sind sie im Unterschied dazu eine Folge aus dem häufig ungünstigen Füllungsgrad der Fächer und entsprechend einer ungenügenden Nutzung der Fachhöhe.

**Tabelle 3.9.** Beispielhafte Bestimmungskriterien zur Bewertung häufig eingesetzter Lagermittel I

Beispielhafte Bewertung häufig eingesetzter Lagermittel anhand wichtiger Bestimmungskriterien								
Bodenlagerung		Regallagerung		Bestimmungskriterien				
statisch		statische Lagerung		bewegte Regale, feststehende LE	dynamische Lagerung	Automatisierungsgrad	Flexibilität bei Artikelmengenänderung	Direktzugriff auf jede Ladeneinheit
Verschiebe-regal (Zellen)				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Umlaufregal vertikal				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Umlaufregal horizontal				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Einschubregal Unstetigf. Schwerkraft				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Durchlaufregal Unstetigf. Schwerkraft				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Durchlaufregal Stetigförderer Antrieb				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Einschubregal Stetigförderer Schwerkraft				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Durchlaufregal Stetigförderer Schwerkraft				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Wabenregal				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kragarmregal				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Shuttle-Systeme				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Behälterregal				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Paletten-/ Hochregal				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schubladen-regal				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Fachboden-regal				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lager m. Kanal- u. Verteilfahrzeugen				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Einfahr-/ Durchfahrtregal				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
gestapelt und ungestapelt	Block	Zellen	Blockregal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
gestapelt und ungestapelt			Zeilenregal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
gestapelt und ungestapelt				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
first in – first out								
chaotische Lagerung								
Eignung für eine automatische Kommissionierung								
Raumnutzung = $\frac{\text{Lagevolumen}}{\text{Lagergesamtvolumen}}$								
Flächennutzung = $\frac{\text{Lagefläche}}{\text{Lagergesamtfläche}}$								

■ günstig   ■ bedingt   ■ ungünstig

**Tabelle 3.10.** Beispielhafte Bestimmungskriterien zur Bewertung häufig eingesetzter Lagermittel II

Beispielhafte Bewertung häufig eingesetzter Lagermittel anhand wichtiger Bestimmungskriterien									
Bodenliegenzg		Regallagerung		statische Lagerung		dynamische Lagerung		Bestimmungskriterien	
Bodenlage	Zeile	Block	Zeilenregal	Blockregal	Zeilensystem	feststehende Regale, bewegte Ladeneinheiten LE	bewegte Regale, feststehende LE	Organisation mit Datenverarbeitung	Erweiterungsfähigkeit
statisch						Verschieberegal (Zellen)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	Zeilen					Umlaufregal vertikal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Umlaufregal horizontal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Einschubregal Unstetigf. Schwerkraft	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Durchlaufregal Unstetigf. Schwerkraft	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Durchlaufregal Stetigförderer Antrieb	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Einschubregal Stetigförderer Schwerkraft	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Durchlaufregal Stetigförderer Schwerkraft	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Wabenregal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Kragarmregal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Shuttle-Systeme	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Behälterregal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Paletten-/ Hochregal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Schubladenregal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Fachbodenregal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Lager m. Kanalu. Verteilfahrzeugen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Block	gestapelt und ungestapelt					Einfahr-/ Durchfahrregal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
									<input type="checkbox"/> ungünstig
									<input checked="" type="checkbox"/> günstig
									<input checked="" type="checkbox"/> bedingt

Die *Flächennutzung*, hier als Quotient von Lagergutfläche und Lagergesamtfläche, gibt Aufschluss darüber, wie weitgehend eine vorgegebene Grundfläche genutzt wird. Sie wird wesentlich geprägt durch die Flächen, die zur Lagerbedienung benötigt werden und die als Verlustflächen gerechnet werden müssen. Eine wichtige Größe stellen in diesem Zusammenhang die Lagerbedienwege und deren Gangbreiten dar (vgl. Abschn. 4.4.1, S. 183). In [SCHE73] wird aufgezeigt, wie durch eine günstige Verteilung des Lagergutes unter Berücksichtigung der Bedienungshäufigkeit unproduktive Wegstrecken minimiert werden können.

Die *Flächennutzung* und die *Raumnutzung* stellen für den Planer zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit wichtige Größen dar [JÜNE71].

Der Kennwert *Organisation mit Datenverarbeitung* ermöglicht ähnlich dem Automatisierungsgrad eine Aussage über die Integrierbarkeit in automatische Materialflusssysteme und die Möglichkeit der Integration in ein Lagerverwaltungssystem mit den Strategien zur Ein- und Auslagerung sowie zur Lagerplatzvergabe.

Die *Erweiterungsfähigkeit* von Lagermitteln erlaubt eine Aussage bezüglich der Flexibilität bei Änderung des Durchschnittbestandes. Sie ist bei statischer Lagerung grundsätzlich gegeben. Bei dynamischer Lagerung hingegen ist sie bei Durchlauf- und Einschubregalen nur eingeschränkt und bei Umlauf- und Verschieberegalen gar nicht möglich. Eine Höhen- oder Längenbegrenzung ist zumeist durch eine begrenzte Stapelfähigkeit (Block-/Zeilenlager) oder durch begrenzte Staudruckfähigkeit (Durchlauf-/Einschubregalläger) der Ladeeinheiten bedingt (vgl. hierzu Abschn. 3.5).

Der Kennwert *zusätzlich benötigte Fördertechnik zum Ein- und Auslagern* soll verdeutlichen, dass durch den Einsatz dynamischer Läger der Einsatz von Fördermitteln für die Ein- und Auslagerung vermindert werden kann.

Bei den Bewertungen bezüglich des Notbetriebs bei Betriebsstörungen von Lagermitteln oder Lagerbedientechniken wird berücksichtigt, in welchen Lagersystemen bei Ausfall der Lagerbedientechnik oder der Antriebe des Lagermittels (dynamische Lagermittel) eine Möglichkeit zur Ein- und Auslagerung im Notbetrieb besteht.

Die Zugriffsduar schließlich gibt Aufschluss über die Spieldauer bei der Ein- und Auslagerung. Sie ist bei der Bodenlagerung und beim Einfahr-/Durchfahrregal vor allem dann groß, wenn Umlagerungen vorgenommen werden müssen.

Weitere wichtige Größen sind der Investitions- und Wartungsaufwand zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Lagers, die Störungsanfälligkeit und Unfallgefährdung sowie die Lagergutbelastung.

## 4. Fördersysteme

### 4.1 Aufgaben der Fördersysteme

Die Fortbewegung oder Ortsveränderung von Gütern oder Personen mit technischen Mitteln wird allgemein als Transport bezeichnet. Findet diese Ortsveränderung in einem räumlich begrenzten Gebiet wie beispielsweise innerhalb eines Betriebes oder Werkes statt, so wird dieser Vorgang durch den Begriff Fördern präzisiert. Das Fördern bzw. die Fördertechnik umfasst also das Bewegen von Gütern und Personen über relativ kurze Entfernungen einschließlich der dazu notwendigen technischen, organisatorischen und personellen Mittel. Demgegenüber wird der Transport über weite Entfernungen oder außerhalb eines Betriebes als Verkehr bezeichnet bzw. als Verkehrstechnik, sofern der Personenfußverkehr hier unberücksichtigt bleibt. Neben dieser Unterscheidung erfolgt zudem die Untergliederung nach dem innerbetrieblichen und außerbetrieblichen Transport. Die Intralogistik bezeichnet den Bereich des innerbetrieblichen Transport oder wie zuvor definiert das Fördern von Gütern innerhalb von Materialflusssystemen. Der außerbetriebliche Transport ist der Verkehrstechnik und den Überlegungen der Distributionslogistik unterworfen.

Im Einzelnen sind die wesentlichen Begriffe der Fördertechnik wie folgt festgelegt:

**Fördern:** Nach der VDI-Richtlinie 2411 [VDI 2411] ist Fördern das Fortbewegen von Arbeitsgegenständen in einem System.

**Fördertechnik:** Die Technik des Fortbewegens „von Gütern in beliebiger Richtung über begrenzte Entfernungen durch technische Hilfsmittel“, einschließlich der Lehre über die Fördermittel und ihrer durch sie aufgebauten Systeme.

**Fördermittel:** Hiermit werden die jeweiligen technischen Transportmittel beschrieben, die innerhalb von örtlich begrenzten und zusammenhängenden Betriebsbereichen (z. B. innerhalb eines Werkes) das Fördern bewerkstelligen. Transportmittel dienen nach [DIN 30781] zur Ortsveränderung von Gütern oder Personen.

**Quelle:** beschreibt den Aufkommensort eines Transportbedarfes, d. h. den Ursprung eines Fördervorgangs.

**Senke:** Beschreibt den Zielort eines Transportes und damit das Ende eines Fördervorgangs.

**Förderanlagen:** Dabei handelt es sich um Anlagen unterschiedlicher Komplexität mit örtlich begrenztem Arbeitsbereich, in denen Fördermittel gleicher oder verschiedener Ausführung die systemspezifischen Aufgaben erfüllen.

**Förderkette:** Eine Förderkette entsteht durch das Zusammenschalten mehrerer Fördermittel gleicher oder unterschiedlicher Art. Dabei können auch stetig und unstetig arbeitende Fördermittel verknüpft werden (hier analog zu *Transportkette*). Der Begriff Förderkette besitzt in der klassischen Fördertechnik eine andere Bedeutung als Antriebs- oder Tragmittel mit Förderfunktion.).

**Fördergutstrom:** eine Kenngröße zur Bestimmung der Fördermenge pro Zeiteinheit, gemessen an bestimmten Stationen oder in bestimmten Bereichen. Er ist abhängig von der Fördertechnik und von der Kapazität der Fördermittel.

Erst die Verknüpfung unterschiedlicher Fördermittel, die in verschiedenen funktionellen Bereichen eingesetzt werden, lässt in Verbindung mit Lager-, Kommissionier- und Sortier- und Verteilsystemen ein komplexes, intralogistisches Materialflussystem entstehen.

Fördermittel sind Arbeitsmittel für den innerbetrieblichen oder innerwerklichen Materialfluss. Neben dem reinen Güter- oder Personentransport besitzen die Fördermittel aber noch weitergehende Aufgaben. Fördermittel werden zum Verteilen, Sammeln (beim Kommissionieren), Sortieren und Puffern oder Zwischenlagern eingesetzt. Im Unterschied zu anderen Arbeits- oder Betriebsmitteln sind sie durch ihre Dynamik charakterisiert und erfüllen Aufgaben im Sinne einer Verkettung von funktional zusammenhängenden Bereichen wie beispielsweise Transporte zwischen einzelnen Arbeitsschritten, zwischen Lager und Produktion, von der Produktion zum Versand und andere mehr. Der Nachschub muss herantransportiert und verteilt werden, die Kommissionierer müssen transportiert werden, die kommissionierten Artikel müssen gesammelt, abtransportiert und sortiert werden oder die Ware muss zur Kommissionierung bereitgestellt werden (vgl. Kap. 5.2).

Das Verteilen – darunter wird die gezielte Verteilung von Fördergütern einer Quelle an mehrere Abgabestationen oder Senken verstanden – bildet eine Kernfunktion in Materialflusssystemen (z. B. bei der Batch-Kommissionierung (vgl. Kap. 5.2) oder in ein- und zweistufigen Cross-Docking-Anlagen (vgl. Abschn. 7.2). Die Fördermittel der Sortier- und Verteiltechnik werden gesondert in Abschn. 5.1 beschrieben. Das Sammeln stellt im Gegensatz dazu eine Zusammenführung von Gütern mehrerer Quellen dar und ist in der Regel dem Prozess des Verteilens vorangestellt. Das Sortieren beschreibt das Ordnen einer Anzahl von Gütern in eine vorgegebene Sequenz.

Eine weitere wichtige Aufgabe ist das Puffern oder Zwischenlagern von Ladeeinheiten (vgl. Abschn. 3.3), um technische Abläufe voneinander zu ent-

koppeln oder zu synchronisieren. Nur wenn Teilsysteme z. B. durch einen Puffer entkoppelt, unabhängig voneinander operieren können, ist in einem komplexen Gesamtsystem die optimale Leistung erreichbar. Als einfaches Beispiel kann hier die Verbindung eines Transportfahrzeugs mit einem Aufzug angeführt werden, die bei einer direkten Kopplung unweigerlich zum Warten eines der beiden Fördermittel führt. Die resultierende Förderleistung eines solchen Förderstranges wird nicht von den beteiligten Fördermitteln (Aufzug und Transportfahrzeug), sondern durch die Stochastik des Betriebsprozesses bestimmt sein. In einem solchen Fall ermöglicht der Prozess des Pufferns die Synchronisation unterschiedlicher Fördersysteme.

Eng mit dem Begriff Fördern ist das Terminieren verbunden, d. h. das Erbringen einer Förderleistung zu einem bestimmten Zeitpunkt. Gerade unter dem Eindruck sinkender Durchlaufzeiten und steigender Servicegrade gewinnt diese Aufgabe an Bedeutung. Nur durch geeignete Disposition und auf das Artikelspektrum zugeschnittene Fördermittel können, bei gleichzeitiger Minimierung der Bestände, die Artikel Just-in-Time bereitgestellt und gleichzeitig die Durchlaufzeiten verkürzt werden. Vor dem Hintergrund einer sich ständig verschärfenden Wettbewerbssituation ist dem Fördern daher ein besonders hoher Stellenwert zuzuordnen.

Charakterisiert werden Förderprozesse durch die unterschiedliche Fortbewegung des Fördergutes. Die Förderprozesse bewirkenden Fördermittel sind durch ihre Förderleistung gekennzeichnet, die häufig durch die Begriffe Fördermenge, -masse oder -volumen beschrieben wird und nach [SCHE73] genauer durch die Bezeichnung Massen- oder Fördergutstrom gekennzeichnet wird. Man unterscheidet dabei in Abhängigkeit von der Fortbewegung des Gutes zwischen einem kontinuierlichen Fördergutstrom (Schüttgut auf Stetigförderern), einem diskret kontinuierlichen Fördergutstrom (Stückgut auf Stetigförderern) und einem unterbrochenen, diskreten Fördergutstrom (Schütt- oder Stückgut auf Unstetigförderern). In diesem Buch wird ausschließlich die Fördertechnik zur Stückgutförderung behandelt. In Anlehnung an die Unterteilung nach kontinuierlichem und diskontinuierlichem Förderstrom wird die Beschreibung der fördertechnischen Elemente in Abschn. 4.2 in Stetigfördertechnik und Unstetigfördertechnik gegliedert.

In vielen Bereichen der Materialflusstechnik kommen zusammengesetzte Systeme zum Einsatz, in denen die Fördertechnik verschiedene Aufgaben erfüllt. Sie kann Teil eines Verpackungs-, Lager-, Handhabungs-, Umschlags-, Kommissioniersystems, eines Produktionssystems oder eines anderen technologischen Prozesses sein. Gleichzeitig werden beispielsweise Handhabungs- oder Umschlagsfunktionen in Fördersysteme integriert. Eine klare Abgrenzung zwischen diesen Bereichen ist aufgrund des stark integrativen Charakters der Teilaufgaben eines Fördersystems nicht immer möglich.

## 4.2 Systematik der Fördermittel

Ein häufig zu findender Ansatz zur Klassifizierung von Fördermitteln berücksichtigt die Bauformen, also den technischen Aufbau des jeweiligen Gerätes [SCHE73, SCHE94, PFEI84, HOKS85, DIN 15201]. Andere Gliederungen gehen von Leistungsmerkmalen wie Förderstromcharakteristika und Förderleistungen aus. Der wesentliche Nachteil dieser Darstellungen ist das eingeschränkte Sichtfeld, kombiniert mit Details, die einen Überblick und die strukturelle Anpassung bei Neuentwicklungen erschweren.

In diesem Buch wird zum Aufstellen einer Systematik für Fördermittel ein Mehr-Ebenen-Modell im Sinne der klassischen Konstruktionssystematik präsentiert, das bei einer Entscheidungsfindung im Rahmen einer innerbetrieblichen Planung übersichtlich und nachvollziehbar Entscheidungspfade zur Auswahl adäquater Fördermittel für die Stückgutförderung vorgibt und einsichtig aufschlüsselt (vgl. Abb. 4.3).

Zur Bestimmung der Gliederungskriterien müssen einige generelle Zielrichtungen für die Gestaltung zukünftiger Fördersysteme Berücksichtigung finden. Von größter Bedeutung ist neben der Leistungsfähigkeit und den Kosten die Flexibilität der Fördermittel. Dabei zeichnen sich Unstetigförderer im Vergleich zu stetiger Fördertechnik im Allgemeinen durch eine höhere Flexibilität aus.

Um auf mögliche Änderungen von Fertigungsverfahren, baulichen Umgebungen, Produktionsstrukturen usw. flexibel und kosteneffizient reagieren zu können, werden insbesondere bei Neuplanungen verstärkt Unstetigförderersysteme eingesetzt. Im Gegensatz dazu werden bei Systemen mit hoher Leistung, bekanntem Layout und standardisierten Ladehilfsmitteln häufiger Stetigförderersysteme eingesetzt. Die jeweiligen inhärenten Vorteile der Systeme werden im Folgenden und in den einleitenden Abschnitten der entsprechenden Kapitel genannt.

Vor dem beschriebenen Hintergrund soll als grundlegendes Unterscheidungsmerkmal der kontinuierliche oder unterbrochene Fördergutstrom durch stetige oder unstetige Fördermittel Verwendung finden.

Stetigförderer (z. B. Rollenbahnen, vgl. Abb. 4.1) erzeugen einen kontinuierlichen (Schüttgut) oder diskret kontinuierlichen (Stückgut) Fördergutstrom und arbeiten während eines längeren Zeitabschnittes, wobei ihre Antriebe, falls vorhanden, im stationären Dauerbetrieb laufen und ihre Tragorgane nicht einzeln angetrieben werden. Ihre Be- und Entladung erfolgt während des Betriebs, ihre Lastaufnahmemittel sind dabei stets (Rollenbahnen, Bandförderer etc.) oder nahezu stets (Kreisförderer, Schleppkreisförderer etc.) aufnahme- oder abgabebereit. Stetigförderer sind grundsätzlich mit ortsfesten Einrichtungen wie Führungen und Ständerwerk o. ä. versehen, was ihre Flexibilität einschränkt und für andere Arbeitsmittel häufig ein Hindernis darstellt. Grundsätzlich kann jedoch ein größerer Durchsatz als bei Unstetigförderern erreicht werden.



**Abbildung 4.1.** Rollenbahn als Beispiel stetiger Fördertechnik [Foto: TGW]



**Abbildung 4.2.** Stapler als Beispiel unstetiger Fördertechnik [Foto: Still]

Unstetigförderer (z. B. Gabelstapler, vgl. Abb. 4.2) hingegen erzeugen einen unterbrochenen Fördergutstrom und arbeiten in einzelnen Arbeitsspielen mit definierten Spielzeiten [GROS84]. Zeitanteile für Lastfahrten, Leerfahrten, Anschlussfahrten und Stillstandszeiten unterschiedlicher Längen wechseln einander ab. Ihre Antriebe laufen im Aussetz- oder Kurzzeitbetrieb. Ihre Be- und Entladung erfolgt im Stillstand. Entsprechend sind ihre Lastaufnahmemittel häufig nur an bestimmten Stellen lastaufnahmefähig und -abgabebereit. Dafür sind sie in der Lage zumeist mehrere Quellen und Senken wahlfrei zu bedienen. Unstetigförderer können ortsfest oder frei verfahrbar ausgeführt werden und weisen dementsprechend Unterschiede in der Flexibilität und im Grad ihrer Hindernisbildung auf. Eine Annäherung an die Durchsatzleistungen der Stetigförderer kann durch Veränderung der Anzahl einzelner Unstetigförderer in einem System und durch Bildung größerer Ladeeinheiten erreicht werden. Damit verschwimmen die Leistungsgrenzen zwischen stetiger und unstetiger Fördertechnik zunehmend.

Als *flurgebunden* werden Fördermittel bezeichnet, wenn sie Verkehrswege am Boden nutzen oder über Einrichtungen verfahren, die im Boden eingelassen sind (z. B. Unterflur-Schleppkettenförderer). Der Boden ist dabei in der Regel sowohl Verfahrebene als auch Förderebene für das Gut, welches sich oberhalb oder seitlich des Fördermittels befindet. Im Normalfall resultieren keinerlei Hindernisse für andere Fördermittel durch ortsfeste Einrichtungen, wenn sich das Fördermittel selbst an einem anderen Ort befindet. Jedoch zählen auch schienengeführte Fördermittel (z. B. Regalbediengeräte, Verschiebewagen) zu dieser Gruppe, obwohl die Schienen, falls sie gegenüber dem Boden erhaben sind, gewisse Hindernisse für andere Fördermittel darstellen können.

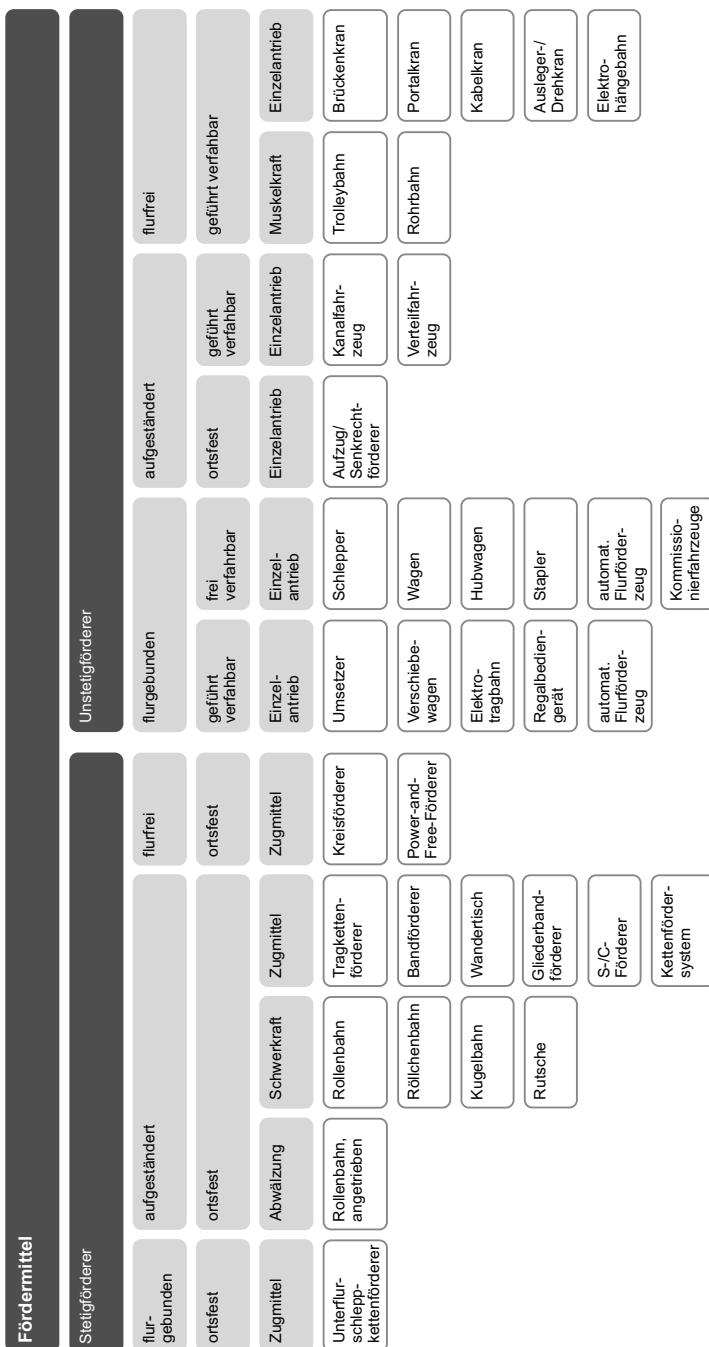


Abbildung 4.3. Systematik der Fördermittel für die Stückgutförderung

Fördermittel, die sich in definierter Höhe über dem Boden mit Stützen aufgeständert befinden (Stetigförderer) oder in aufgeständerten Schienen verfahren (Unstetigförderer), werden als *aufgeständert* bezeichnet. Sie verfahren und operieren grundsätzlich in einer definierten Höhe über dem Hallenboden, wobei sich das Fördergut in der Regel oberhalb (wie z. B. bei Rollenbahn oder Bandförderer) des Fördermittels befindet. Sie sind durch ortsfeste Einrichtungen gekennzeichnet und bilden stets ein Hindernis für andere Fördermittel oder Personen. Sie können auf verschiedenen Höhenniveaus angeordnet sein, um kreuzende Materialflüsse zu queren.

*Flurfreie Fördermittel* sind schließlich an der Hallendecke befestigt (Stetigförderer, z. B. Kreisförderer, Schleppkreisförderer), verfahren auf an der Hallendecke befestigten Schienen (Unstetigförderer, z. B. Elektro-Hängebahn, Hängekran), auf mit wenigen Stützen an der Hallenwand angeordneten Schienen (z. B. Brückenkran) oder auf Schienen, die mit wenigen Stützen auf dem Boden aufgeständert sind. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass die Förderebene oberhalb der eigentlichen Arbeitsebene in einer Fabrik oder einem Materialflusssystem angeordnet ist.

Für die Verfahrebene gilt in der Regel das Gleiche. Ein Gegenbeispiel sind Portalkrane. Portalkrane sind zwar über die Stützen des Portals auf dem Boden aufgeständert, die Verfahrebene der Katze und die bevorzugte Förderebene sind jedoch flurfrei angeordnet, weshalb Portalkrane als flurfrei klassifiziert werden.

Flurfreie Fördermittel sind ausnahmslos durch ortsfeste Einrichtungen gekennzeichnet, bilden aber dennoch nur in Ausnahmefällen Hindernisse (z. B. Elektro-Hängebahnschienen für einen Kraneinsatz oder bei Absenken an einer Arbeitsstation).

Der Bedienraum der Fördermittel wird durch die möglichen und nicht gesperrten Bewegungssachsen des Fördermittels beschrieben. Er kann eindimensional (geführt verfahrbare Fördermittel ohne Hubeinrichtung, wie Verschiebewagen), zweidimensional mit vertikaler Ausrichtung (geführt verfahrbare Fördermittel mit Hubeinrichtung, wie Regalbediengeräte), zweidimensional mit horizontaler Ausrichtung (frei verfahrbare Fördermittel ohne Hubeinrichtung, z. B. Schlepper, Elektrotragbahn) und dreidimensional (frei verfahrbare Fördermittel mit Hubeinrichtung, z. B. Stapler) ausgeführt sein.

Fördermittel, die prinzipiell zwei- oder dreidimensionale Bewegungssachsen besitzen, lassen sich u. U. durch Sperrung einzelner Achsen in niederdimensionale Einrichtungen umwandeln. Ein Beispiel hierfür sind Handgabelhubwagen, die von einem Unterflur-Schleppkettenförderer bewegt werden.

Bedienräume werden wie die korrespondierenden Fördermittel durch die Bezeichnungen *ortsfest*, *geführt verfahrbar* und *frei verfahrbar* klassifiziert. Der daran abzulesende Grad der Beweglichkeit ist ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung einzelner Fördermittel hinsichtlich ihrer Flexibilität und Hindernisbildung. Er differenziert Fördermittel, die ortsfest sind und somit lediglich einen eng begrenzten Wirkungsraum abdecken können, und Fördermittel, die

geführt verfahrbar oder frei verfahrbar sind. Geführte verfahrbare bzw. linienverfahrbare Fördermittel sind vor allem für Streckenverbindungen geeignet und weisen einen eindimensionalen Bedienraum oder einen zweidimensionalen Bedienraum mit vertikaler Ausrichtung auf. Frei verfahrbare Fördermittel sind besonders für einen flächendeckenden Einsatz geeignet. Sie besitzen einen zweidimensionalen Bedienraum mit horizontaler Ausrichtung oder einen dreidimensionalen Bedienraum.

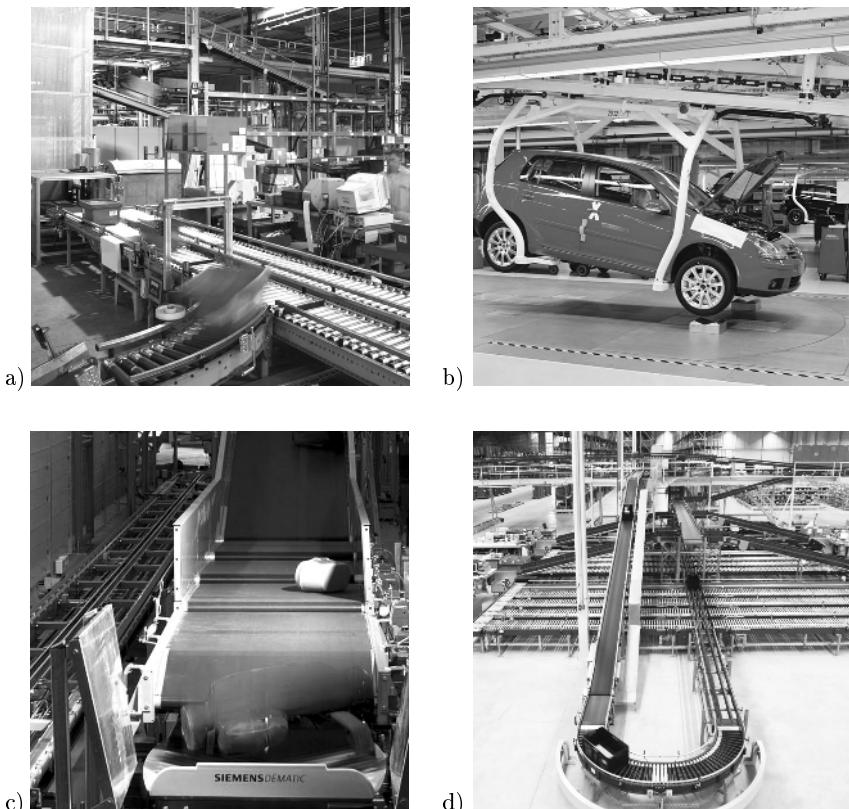
Wesentlich für den Planer von Materialflusssystemen und für die Integrierbarkeit in automatische Systeme ist die Steuerbarkeit der Fördermittel, die eng mit der *Antriebsart* und der *Charakteristik der Kraftübertragung* verknüpft ist. So kann grundsätzlich hinsichtlich der Antriebsart zwischen motorischem Antrieb, Schwerkraftantrieb und Muskelkraftantrieb, unterschieden werden.

Stetigförderer werden in der Regel mit motorischem Antrieb (meistens Elektromotoren) angetrieben. Parallel dazu werden Stetigförderer mit Schwerkraftantrieb realisiert, vor allem wenn es sich um kurze Verbindungsbahnen oder parallele Stichbahnen zur Pufferung handelt. Hinsichtlich der Charakteristik der Kraftübertragung ist das die Bewegung erzeugende *Wirkprinzip* das wesentliche Kriterium. Demnach lassen sich Stetigförderer einteilen in Kraftübertragung mittels Abwälzung, Oszillation (nur für die Förderung von Schüttgut von Bedeutung), Fördermedium, Schwerkraft und Zugmittel.

Durch diese Unterteilung lassen sich vor allem Stetigförderer voneinander abgrenzen. Da Unstetigförderer normalerweise über mehrere Einzelantriebe verfügen, ist die Unterteilung für Unstetigförderer von untergeordnetem Interesse. Eine Ausnahme bilden Schlepper, da ihre Anhänger nicht angetrieben sind. Unstetigförderer sind nur in Ausnahmefällen durch Muskelkraft angetrieben (z. B. Trolleybahn).

Von systemtechnischem Interesse bei der Lastübergabe und bei Umschlagvorgängen (vgl. Abschn. 5.3) ist eine Unterscheidung des Verhaltens der Fördermittel in aktiv und passiv. *Aktiv* ist ein Fördermittel dann, wenn es mit seiner integrierten Lasttragfunktion einen eigenständigen Lastwechsel ohne Zuhilfenahme einer separaten Einrichtung durchführen kann. Eine hierzu notwendige Vorrichtung wird als Lastaufnahmemittel (LAM) bezeichnet. Stetigförderer können aktiv oder passiv sein. Im aktiven Fall kann die stetige Arbeitsfunktion für eine aktive Übergabe genutzt werden. Ansonsten benötigen sie zusätzliche Einrichtungen, wie Greifvorrichtungen oder Ausschleuser, um Lastübergaben automatisiert und unabhängig vom Bedienpersonal durchführen zu können. Unstetigförderer sind typischerweise mit aktiven Lastübergabevorrichtungen ausgerüstet. Je nach Aufgabenstellung und Schnittstellengestaltung sind die LAM unterschiedlich komplex aufgebaut. Sie prägen entscheidend die konstruktive Gestalt und letztendlich die Leistungsfähigkeit des Fördermittels.

In den folgenden Kapiteln werden auf der Basis der beschriebenen Fördermittelsystematik verschiedene Fördermittel für Stückgüter vorgestellt und



**Abbildung 4.4.** Beispiele stetiger Fördertechnik: a Rollenförderer [Foto: Viastore] b Power-and-Free-Förderer [Foto: Siemens] c Wannenfördertechnik [Foto: Dematic] d Gurt- und Rollenfördertechnik [Foto: Viastore]

ihren wichtigsten Einsatzgebieten zugeordnet. Im Abschn. 4.5 werden häufig eingesetzte Fördermittel anhand wesentlicher Bestimmungskriterien wie Automatisierbarkeit, Flexibilität oder Hindernisbildung beispielhaft verglichen.

### 4.3 Stetigförderer

Stetigförderer erzeugen einen kontinuierlichen oder diskret kontinuierlichen Fördergutstrom. Die im Folgenden vorgestellten Stetigförderer beziehen sich im Wesentlichen auf die Stückgut-Stetigförderer zur Erzeugung eines diskret kontinuierlichen Fördergutstromes in Form eines konstanten Stromes einzelner Fördereinheiten, der durch Fördergutlänge, Fördergutabstand und die Transportgeschwindigkeit beschrieben wird (vgl. Abb. 4.4).

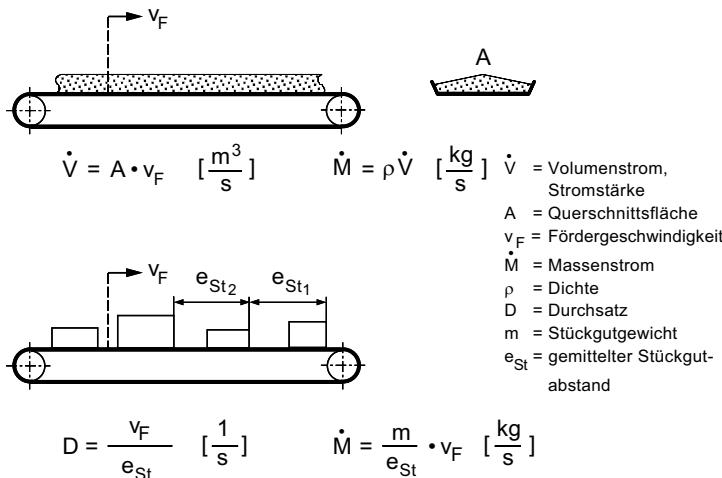


Abbildung 4.5. Volumenstrom und Durchsatz von Stetigförderern

Der Fördergutstrom wird dabei im Allgemeinen linienförmig in waagerechter, geneigter oder senkrechter Richtung bewegt. Stetigförderer werden in allen Bereichen in Industrie und Handel und dort in allen Funktionsbereichen intralogistischer Materialflusssysteme eingesetzt. Ihre große Verbreitung hat verschiedene Gründe. Durch ihren einfachen Aufbau, die hohe Betriebssicherheit, den geringen Bedienungsaufwand und das Vermögen, große Mengen zu befördern, stellen sie in vielen Fällen die geeignete Lösung für eine Fördereraufgabe dar. Durch das günstige Verhältnis von Eigengewicht zur geförderten Nutzlast (Totlast zu Nutzlast) ergeben sich ein geringer Energiebedarf und schließlich, sofern eine entsprechende Auslastung vorhanden ist, niedrige Betriebskosten. Aufgrund der einfachen und definierten Bewegungsabläufe sind Stetigförderer mit relativ geringem Aufwand automatisierbar. Oftmals werden Stetigförderer in die technologischen Prozesse eines Betriebes eingebunden (z. B. Lackieren, Trocknen, Kühlen), wodurch sich nicht nur eine Verbesserung der Prozessqualität ergibt, sondern auch eine Verringerung der Herstellkosten, da Kosten verursachende Zusatzprozesse (mehrfacher Transport, Schnittstellen oder Umschlag) vermieden werden.

Ein wesentlicher Vorteil liegt letztlich in der systemimmanenten Pufferfähigkeit. Diese Pufferfunktion ergibt sich oft topologiebedingt durch lange Förderwege, insbesondere aber durch das gezielte Vorsehen einer Pufferfähigkeit durch antriebslose Teilstücke oder Sammelstrecken eines Fördersystems. Dies kann beispielsweise in Form so genannter Staufenförderer geschehen, die in verschiedenen Ausführungsformen realisiert werden (z. B. als Staurollenförderer, Staubandförderer, Staukettenförderer, Power-and-Free-Förderer).

Durch ihre ortsfeste Installation besitzen Stetigförderer eine geringe Flexibilität gegenüber Layoutänderungen (Kursänderung oder Änderung der Zahl

der Haltestellen). Hier sind fast immer umfangreiche Maßnahmen bei Bauwerken, im Maschinenbau bzw. bei der Steuerungshardware und -software erforderlich. Zur Verbesserung der Flexibilität werden stetige Fördermittel meist modular, mit einheitlichen Schnittstellen gestaltet. Hierdurch wird die Inbetriebnahme eines Fördersystems nach einer Layout-Änderung wesentlich vereinfacht. Darüber hinaus stellen Stetigförderer, insbesondere aufgeständerte Stetigförderer, oftmals eine Behinderung für andere Flurfördermittel, Arbeitsmittel und Personen dar. Stetigförderer in ortsveränderlicher Ausführung ergeben sich lediglich als Kombination mit Unstetigförderern (z. B. Rollenbahn auf Verschiebewagen oder Gurtförderer auf Kanalfahrzeugen). Problematisch ist mitunter die Gestaltung von bereichsübergreifenden Förderabschnitten, die im Brandfall die Unterbrechung eines Überganges erfordern (so genannte Brandabschnitte). Derartige Anforderungen lassen sich häufig nur durch Sonderanpassungen erfüllen.

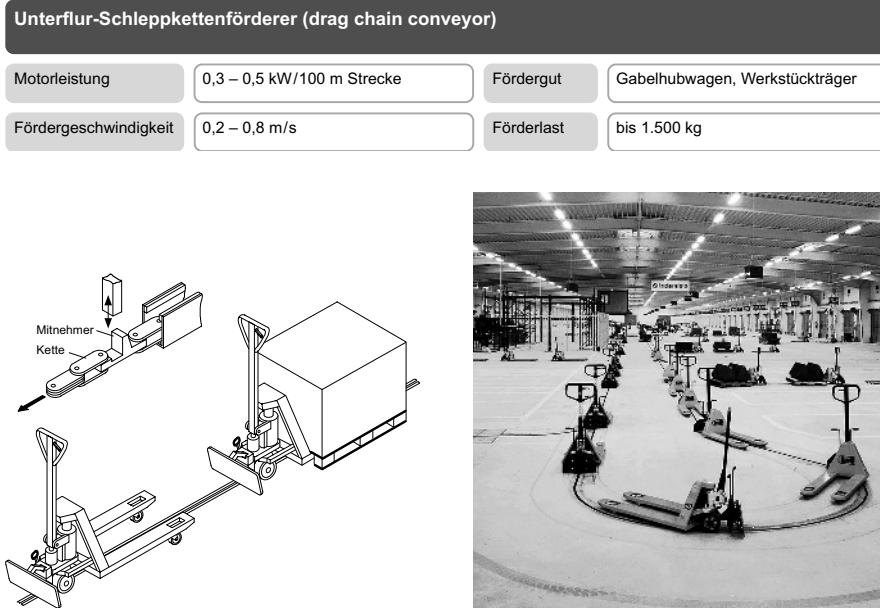
Sofern das Gut in Förderrichtung auf- oder abgegeben wird (Hauptbewegungsrichtung des Förderers), erfolgt die Gutübergabe aktiv, respektive automatisch. Wenn sie aber senkrecht dazu erfolgt (Querabgabe), ist ein zusätzlicher Mechanismus (z. B. Abweiser) oder ein Umschlagmittel erforderlich. Bei leichten Fördergütern ist die manuelle Entnahme an beliebigen Stellen möglich. Bei schweren Fördergütern oder in automatisierten Systemen sind definierte Lastübergabestationen entlang der Förderstrecke erforderlich. Ferner ist eine aktive Gutabgabe durch Kombination verschiedener, ineinander greifender (passiver) Stetigförderer möglich (z. B. Kettenausschleuser als Kombination von Rollenförderer und Tragkettenförderer, wobei der Tragkettenförderer die Gutabgabe vom einen auf den anderen Rollenförderer ermöglicht).

Die Auslegung der Stetigförderer erfolgt nach Durchsatz (Stückgutstetigförderer) bzw. Stromstärke (Schüttgutstetigförderer, vgl. Abb. 4.5). Die theoretisch maximale Förderleistung eines Stetigförderers wird als *Grenzleistung* bezeichnet.

### **Unterflur-Schleppkettenförderer**

Unterflur-Schleppkettenförderer sind Stetigförderer, bei denen eine endlose, angetriebene Schleppkette in einer im Boden eingelassenen Schiene umläuft (vgl. Abb. 4.6). An diese Schleppkette können auf Bodenebene geschleppte Wagen über spezielle Zapfen in Mitnehmer oder entsprechende Aussparungen der Kette eingekoppelt werden.

An der Zielstelle werden die Wagen manuell oder durch Weichen, welche zumeist durch einfache Mittel (Schaltstifte oder Magnete) gesteuert werden, von der Schleppkette getrennt. Durch den Einsatz mehrerer Kettenstränge sind auch Fördersysteme mit verschiedenen Routen realisierbar. Die Laufebene der Kette kann ringförmig auf dem Boden ausgeführt sein oder aber linear, wobei die Rückführung der Kette in einem zweiten Kanal unterhalb des oben offenen Kanals erfolgt und die Wagen entlang der Wegstrecke ggf.



**Abbildung 4.6.** Unterflur-Schleppkettenförderer [Foto: Garbe Logistic AG]

von unterschiedlichen Kettensträngen gefördert werden. Die Wagen sind im Allgemeinen an ihrer Frontseite mit einem Auffahrtschutz versehen, der bei Betätigung den Zapfen sofort außer Eingriff bringt. Die Schiene wird ebenerdig in den Boden eingebracht. Da die Schiene nur einen schmalen Schlitz aufweist, ist sie einfach zu überfahren. Der Unterflur-Schleppkettenförderer ist somit in allen Bereichen einsetzbar. Üblich sind Fördergeschwindigkeiten bis ca. 0,5 m/s. Die Förderleistung wird neben der Fördergeschwindigkeit von der Länge der eingesetzten Wagen und dem Abstand der Mitnehmer in der Schleppkette bedingt.

Ideale Anwendungsfälle sind Transportaufgaben mit geraden, langen Wegen. Eine Modifikation eines einmal festgelegten Fahrkurses bedeutet aber teilweise erheblichen Umbauaufwand (Verlegung neuer Schienen, Antriebs- und Umlenkstationen, Reinigungskästen für die Kette). Die Systeme sind damit unflexibel gegenüber Fahrkursänderungen. Je nach eingesetzter Schleppkette sind auch Steigungsstrecken möglich. Zu beachten ist allerdings, dass ein unplanmäßiges Auskoppeln der im Allgemeinen ungebremsten Wagen ein Sicherheitsrisiko darstellt.

Unterflur-Schleppkettenförderer sind sehr robust und werden in Sonderbauformen auch für Schwerlasten in Verbindung mit Rollenbahnen eingesetzt. Weitere Schleppkettenförderer sind in [VDI 2332] definiert. Unterflur-Schleppkettenförderer bieten sich insbesondere in Verbindung mit Handgabelhubwagen (vgl. Abb. 4.36) zur manuellen Lastaufnahme und -abgabe bei

Angetriebene Rollenbahn (driven roller conveyor)			
Motorleistung	0,12 – 0,75 kW	Fördergut	Paletten, Behälter, Kartonagen
Fördergeschwindigkeit	typisch: 0,3 – 0,5 m/s (0,1 – 2 m/s)	Förderlast	25 – 2000 kg/m

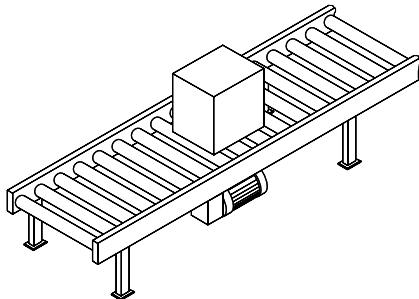


Abbildung 4.7. Angetriebene Rollenbahn [Foto: TGW]

automatischem Transport zur Warenverteilung in Speditionsbetrieben und Umschlagshallen von Paketdienstleistern an. Dort verbinden sie über einen Kreislauf Eingangs- und Ausgangstore und übernehmen sowohl Transport- als auch Sortier- und Pufferaufgaben. Die Wagen werden eingangsseitig aufgegeben und am Tor der Zielrelation von der Kette abgekoppelt.

Der Unterflur-Schleppkettenförderer eignet sich darüber hinaus zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen, da die Antriebe außerhalb angeordnet werden können.

### Angetriebene Rollenbahn

Rollenbahnen [VDI 2319, DIN 15291] werden ausschließlich zum Stückguttransport verwendet. Sie bestehen aus vielen hintereinander angeordneten, frei drehbaren, zwischen zwei Profilen befestigten Tragrollen. Die Tragrollen müssen einen Achsabstand von weniger als der Hälfte der Stückgutlänge aufweisen, damit zu jedem Zeitpunkt deren Auflage auf mindestens zwei Rollen gewährleistet ist. Die Gleichförmigkeit der Förderung steigt mit der Anzahl der tragenden Rollen. Rollenbahnen werden mit und ohne Antrieb ausgeführt. Bei den hier betrachteten angetriebenen Rollenbahnen übernehmen die Rollen sowohl Antriebs- als auch Tragfunktionen. Sie lassen sich nach dem zu befördernden Stückgutgewicht in Bauformen für leichtes Stückgut (bis ca. 50 kg, im Wesentlichen Behälter und Pakete) und den Schwerlastbereich (z. B. Europaletten bis 1 t und darüber hinaus) unterteilen.

Rollenbahnen werden fast ausnahmslos nach dem Baukastenprinzip gefertigt und in kompletten Baugruppen geliefert. Sie setzen sich aus den Funktionsgruppen Rollkörper (Achsen, Lagerung, Abdichtung), Träger- bzw. Rahmenkonstruktion und Aufständerung bzw. Aufhängung und Antrieb zusammen.

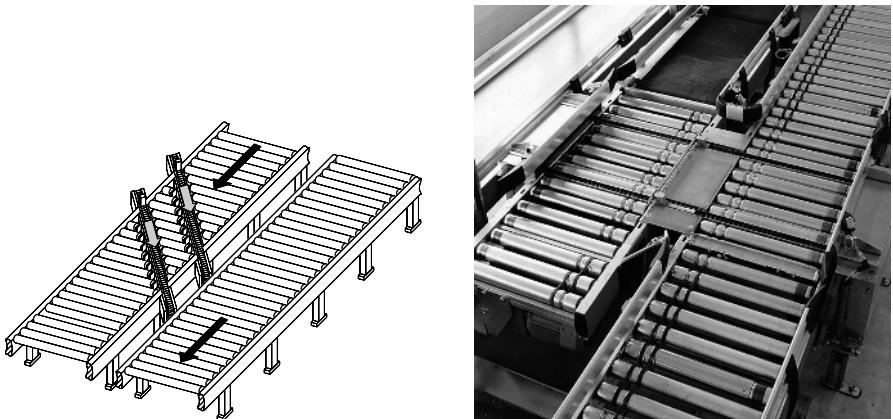
Rollenbahnen für leichtes Stückgut werden im Allgemeinen kraftschlüssig über Riemen angetrieben, wobei nicht zwangsläufig jede Rolle angetrieben sein muss. Beim Untergurtantrieb wird der Riemen durch Druckrollen an die Unterseite der Tragrollen gepreßt. Bei Keilriemenantrieb werden die Rollen mit Keilriemenscheiben oder Nuten versehen. Die einfach aufgebauten Tragrollen verfügen über eine verschiebbare Achse oder eine gesteckte Achsaufnahme und können dadurch sehr einfach montiert werden. Üblich sind Fördergeschwindigkeiten von 0,3 m/s bis 1,0 m/s, in Ausnahmefällen auch bis zu 2 m/s. In sehr seltenen Fällen werden Fördergeschwindigkeiten von 5-7 m/s erreicht. Auf Grund der hohen Lärmbelastung werden Fördergeschwindigkeiten oberhalb von 2 m/s nur in abgeschlossenen Bereichen verwendet (Verbindungstunnel).

Schwerlastrollenbahnen werden üblicherweise über Ketten angetrieben. Die Lagerung der Rollen und Antriebselemente ist dabei entsprechend aufwändiger. Üblich sind Fördergeschwindigkeiten bis zu 0,3 m/s.

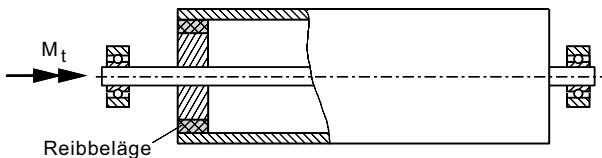
Für beide Ausführungen existieren darüber hinaus so genannte Trommelmotoren, die über einen in die Rolle integrierten Elektroantrieb verfügen und so auch staub- und wasserdicht gekapselt ausgeführt werden können. Für den extremen Schwerlastbereich oder für Reversierbetrieb werden Rollgänge eingesetzt, deren Rollen formschlüssig mit Einzelantrieben angetrieben werden.

Seit ca. 5 Jahren bildet sich ein neuer Trend im Aufbau von Rollenförderern heraus – die 24/48 V-Rollenförderer. Dabei wird ein Förderabschnitt in kleine Segmente von ca. 4-5 Rollen aufgeteilt, die über einen Trommelmotor angetrieben werden. Eine Rolle treibt somit die anderen Rollen im Segment über Gurte in Form eines Überwurfs an. Die einzelnen Antriebe werden über ein Feldbusssystem verbunden und sind somit von der Steuerung direkt steuerbar. Diese Modulbauweise ermöglicht neben dem Vorteil des geringen Aufwandes für Verkabelung eine automatische Stauffunktion.

Zur Änderung der Förderrichtung werden in Rollenförderanlagen Rollenkurven eingesetzt, die im Allgemeinen mit konischen Rollen ausgeführt sind, um die unterschiedlichen Geschwindigkeitskomponenten des Fördergutes bei der Kurvenförderung zu kompensieren. Dadurch lassen sich je nach Kurvenradien Rollenstärke von 1-2 m (Innenradius des Förderers) realisieren. Zur Fördergutabgabe bzw. -aufnahme werden Kombinationen unterschiedlicher Stetigförderer in Form von Ein- und Ausschleusweichen, Drehtischen, Verschiebewagen und Hub-, Absenk- sowie Transfereinrichtungen eingesetzt. Wie beispielhaft in Abb. 4.8 dargestellt, kommen dabei insbesondere Band- und Kettenförderer zum Einsatz. Viele dieser Techniken werden auch in Sortier-



**Abbildung 4.8.** Kettentransfer zur Verbindung zweier paralleler Rollenförderer  
[Foto: TGW]



**Abbildung 4.9.** Friktions-Stauförderrolle

und Verteilsystemen eingesetzt, welche in Abschn. 5.1 (Transfers) beschrieben werden.

Wenn die auf einem Förderabschnitt zu- und abfließenden Ströme unterschiedlich sind, werden Pufferkapazitäten erforderlich. Dazu eignen sich Sonderformen der Stetigförderer, die so genannten Stauförderer, insbesondere die Staurollenförderer. Im einfachsten Fall werden Standardrollenbahnen mit *Friktionsrollen* oder anderen *Stauförderrollen* eingesetzt. Der Antrieb der Rollen erfolgt über die Rollenachse oder seitliche Antriebsscheiben (Kette oder Keilriemen) und wird über Reibbeläge oder Rutschkupplungen auf den Rollenmantel und damit auf das Fördergut übertragen. Diese Technik ist also nur dann einsetzbar, wenn der Antrieb nicht direkt auf den Rollenmantel erfolgt. Während des Staubetriebs dreht sich die (angetriebene) Welle in der blockierten Rolle (vgl. Abb. 4.9). Solche Systeme werden als *staudruckarme* Staurollenbahnen bezeichnet, da sie während des Stauvorganges einen Restdruck auf das Fördergut ausüben. Dieser Restdruck hängt vom Gewicht des Fördergutes ab, da das Kraftniveau zur Auslösung der Staufunktion so bemessen sein muss, dass nicht blockiertes Fördergut in jedem Fall sicher angetrieben wird. Stauförderer mit Stauförderrollen sind daher nur für wenig empfindliche Güter und ein homogenes Gutspektrum geeignet [VDI 3611].

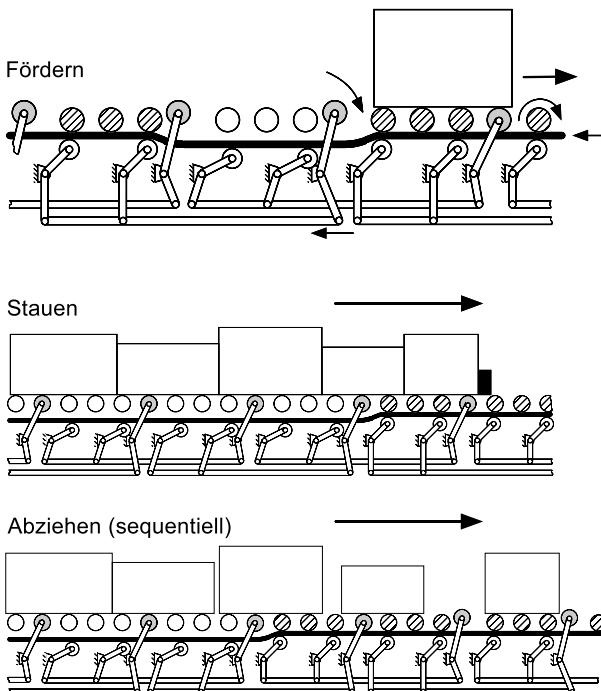


Abbildung 4.10. Mechanisch gesteuerter Staurollenförderer

Nach [DIN 15201] werden als *staudrucklos* solche Förderer bezeichnet, bei denen das Fördergut mit Abstand, also ohne jeglichen Druck, gestaut wird. Die Systeme basieren im Allgemeinen auf dem Untergurtantrieb, bei dem der Andruck des Antriebsgurtes abschnittsweise gesteuert werden kann. Werden die Abschnitte länger als das Fördergut, arbeitet der Staurollenförderer staudrucklos, da das Fördergut dann mit Abstand gepuffert wird. Im Allgemeinen sind allerdings zusätzliche Bremsvorrichtungen erforderlich, welche die Rollen abbremsen und so die kinetische Energie des Fördergutes abfangen.

Neben mechanisch gesteuerten, federbelasteten Systemen (vgl. Abb. 4.10) existieren pneumatische und elektromagnetische Varianten. Bei diesen Systemen erfolgt die Abschaltung des Antriebsriemens über Schaltweichen oder Lichtschranken, die zwischen oder neben den Rollen angeordnet sind. Die mechanischen Systeme besitzen den einfachsten Aufbau, allerdings ist ein bestimmtes Mindestgewicht zum Niederdrücken der Schaltweichen erforderlich. Bei einem großen Gewichtsspektrum sind daher pneumatisch und elektromagnetisch gesteuerte Systeme vorteilhafter. Es existieren verschiedenste Bauformen, auf die hier nicht näher eingegangen wird, da sie alle in ähnlicher Weise ihre Funktionalität erbringen.

Je nach eingesetztem Prinzip lässt sich das aufgestaute Gut nacheinander auflösen (*Sequenzieller Abzug*, vgl. Abb. 4.10) oder als Block weiterfordern

(*Gruppenabzug*). Alternativ werden Stauketten- und Staubandförderer angeboten. Wesentliches Merkmal aller Stauförderer bis auf die 24/48 V-Förderer ist, dass der Hauptantrieb ausgekuppelt wird und während des Stauvorganges weiterläuft.

Aufgrund des einfachen Aufbaus, der Robustheit und der geringen Investitions- und Betriebskosten sind Rollenbahnen als Stetigfördermittel weit verbreitet. Rollenbahnen eignen sich nur für den Transport von Stückgütern mit mindestens einer festen und ebenen Fläche, da sonst kein störungsfreier Ablauf gewährleistet ist. Aufgeständerte Rollenbahnen werden in der Lagervorzone, in Kommissionierbereichen, in der Produktion, im gesamten Betrieb beispielsweise bei Arbeiten nach dem Fließprinzip für eine stetige Stückgutbewegung und zum Be- und Entladen von Verkehrsmitteln eingesetzt.

Die nicht angetriebenen Rollenbahnen werden – als aufgeständerte Stetigförderer unter Nutzung der Schwerkraft – nachfolgend weiter beschrieben. Rollenbahnen sind meistens aufgeständert, können aber auch flurfrei unter der Hallendecke hängend angebracht werden.

### **Schwerkraftrollenbahn, Scheibenrollenbahn, Röllchenbahn, Kugelbahn**

Nicht angetriebene Rollenbahnen oder Schwerkraftrollenbahnen sind aufgebaut wie angetriebene Rollenbahnen, aber ohne Antriebe und ohne Kraftübertragungselemente (Ketten, Riemen) ausgeführt (vgl. Abbildungen 4.14 und 4.21). Röllchenbahnen weisen anstelle von durchgehenden Tragrollen entweder an den Seitenprofilen angebrachte Scheiben- oder Spurkranzrollen auf (hier müssen sämtliche Stückgüter die gleiche Breite aufweisen) oder bestehen aus vielen quer zur Fahrbahn auf Achsen einzeln gelagerten, gegebenenfalls versetzt angeordneten Scheibenröllchen (vgl. Abbildung 4.11). Spurkranzrollenbahnen führen das Fördergut nahezu reibungsfrei (vgl. Abbildung 4.12). Röllchenbahnen zeichnen sich durch einen geringen Laufwiderstand der Rollen und geringe Investitionskosten aus und fördern leichte Stückgüter, während Rollenbahnen auch für schwere Güter geeignet sind. Der geringe Laufwiderstand wirkt sich insbesondere bei kurvengängigen Förderern positiv aus, da die durch die Kurvenbewegung erzeugte Reibung bei Röllchenförderern vernachlässigbar ist.

Die Neigung der Schwerkraftrollenbahnen soll einerseits ein sicheres Anlaufen an jeder Stelle gewährleisten, andererseits eine zu hohe Fördergutgeschwindigkeit ausschließen. Die richtige Neigung hängt von einer Vielzahl von Parametern (Rollenreibung, Trägheitskräfte von Gut und Rolle) und insbesondere dem Gut (Gewicht, Material, Bodenbeschaffenheit) ab. Oftmals kann der Rollwiderstand nur durch Versuche exakt ermittelt werden. Eine genaue Angabe ist daher kaum möglich. Die Neigung beträgt ca. 2-5 %. Insgesamt bleibt die sichere Beherrschung der Bewegungsabläufe bei schwerkraftbetriebenen Rollförderern problematisch. Bei einem Mischbetrieb von leichten und

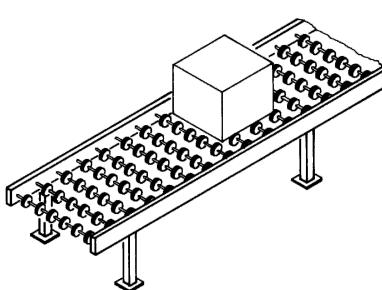


Abbildung 4.11. Röllchenbahn

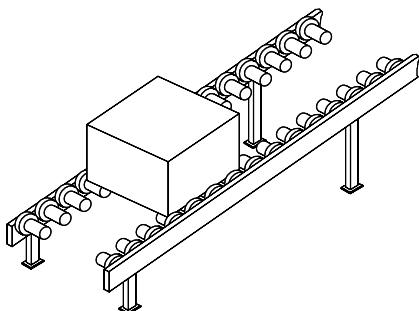


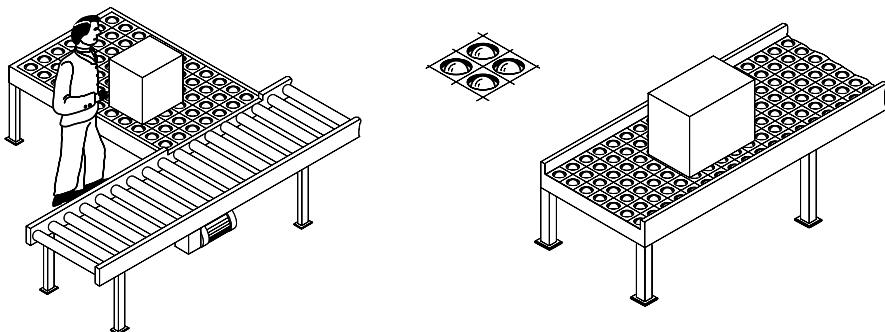
Abbildung 4.12. Spurkranzrollenbahn

Abbildung 4.13. Kettenausschleuser  
[Foto: TGW]

Abbildung 4.14. Kugelbahnen und Rollenbahnen im Kommissionierbereich [Foto: Viastore]

schweren Fördergütern ist ein Stehenbleiben oder aber ein Zusammenprallen der Güter nicht immer auszuschließen. Als Fördermittel in automatischen Anlagen mit langen Förderwegen sind sie deshalb ungeeignet. Demgegenüber ist der Einsatz bei Förderaufgaben mit begrenzten Wegen, bei denen die aufgezeigten Probleme von vornherein ausgeschlossen sind, weit verbreitet (z. B. in Durchlaufregalanlagen, Sorterendstellen). Alternativ besteht die Möglichkeit, die Fördergeschwindigkeit durch spezielle Bremsrollen (Fliehkraftbremse/Hydrodynamische Bremse) einzustellen. Alle schwerkraftbetriebenen Rollenförderer kommen darüber hinaus horizontal montiert in manuell bedienten Systemen ohne Nutzung der Schwerkraft zum Einsatz, so z. B. in manuellen Person-zur-Ware Kommissioniersystemen. Dort werden die Kommissionierbehälter während des Entnahmevergangs auf Rollenbahnen bewegt.

Kugelbahnen oder auch Kugellentische bestehen aus vielen hinter- und nebeneinander angeordneten, auf einem Blech zwischen zwei Stahlprofilen



**Abbildung 4.15.** Kugelbahnen

gelagerten, beliebig verdrehbaren Kugeln und erlauben daher beliebige Förderrichtungen (vgl. Abbildung 4.15). Je nach Ausführung besitzen die Kugelbahnen sehr hohe Tragkräfte und werden hauptsächlich für das manuelle Ausschleusen oder den Transport während eines Kommissionievorganges für glattflächige Fördergüter eingesetzt (vgl. Abbildung 4.14, S. 136: Einsatz im Kommissionierbereich in Kombination mit Rollenbahnen).

Rollenbahnen und Röllchenbahnen sind zur Förderung von Fördergut mit ebenen und hinreichend festen Auflageflächen geeignet. Sie werden unter Nutzung der Schwerkraft in Durchlauf- und Einschubregallägern (vgl. Abb. 3.25) sowie im Montagebereich, Verpackungsbereich, Warenausgang und Be- und Entladebereich eingesetzt. Röllchenbahnen finden vorzugsweise in Durchlaufregalen Verwendung, da sich damit die Kanäle in beliebiger Breite gestalten lassen und die zur Verfügung stehende Regalfrontfläche effizient genutzt werden kann (vgl. Abb. 3.26). Rollenbahnen finden in ihren unterschiedlichen Ausführungsformen in allen Branchen und an nahezu allen Stellen des Materialflusses Verwendung, Kugelbahnen werden vordringlich beim Sortieren und Kommissionieren, im Versandbereich oder in der Peripherie von Handarbeitsplätzen eingesetzt.

### Rutsche, Wendelrutsche, Fallrohr

Bei diesen Stetigförderern gleitet das Fördergut durch die Schwerkraft auf einer Förderbahn. Rutschen sind offene oder geschlossene Rinnen mit rechteckigem oder abgerundetem Querschnitt, Fallrohre sind als geschlossene Rohre ausgebildet. Rutschen können gerade oder wendelförmig ausgeführt werden. Sowohl Rutschen als auch Fallrohre können teleskopierbar gestaltet werden.

Für die Rutschen gelten die Ausführungen hinsichtlich des schwierig zu bestimmenden Bewegungsverhaltens der Schwerkraftrollenbahnen (s. o.) in verstärkten Maße, da die Reibungskomponente nun einen erheblich größeren Einfluss besitzt. Obwohl sie zu den einfachsten und kostengünstigsten Fördermitteln gehören, führt dieser Umstand im Bereich der Stückgutför-

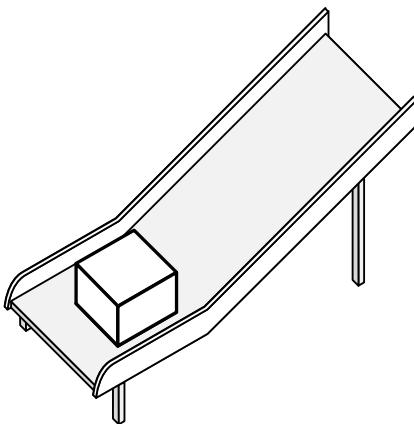


Abbildung 4.16. Rutsche

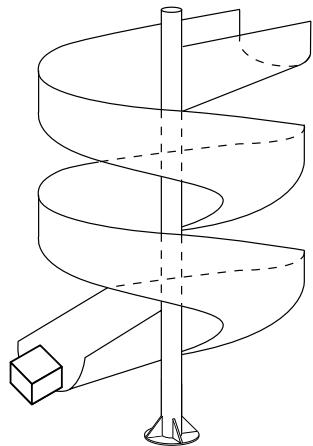


Abbildung 4.17. Wendelrutsche

dertechnik nur relativ selten zu ihrem Einsatz, zumindest in Bezug auf die geraden Rutschen.

Es ist die Variation der Gleiteigenschaften unterschiedlicher Güter einerseits und das temperatur- und luftfeuchtigkeitsabhängige Verhalten andererseits, die eine präzise Auslegung verhindern. Die in der Literatur durch Auflösen der Energiebilanz häufig zu findende Gleichung zur Berechnung der Endgeschwindigkeit

$$v_E = \sqrt{2gh(1 - \mu \cot \delta)} \quad (\text{für } v_A = 0) \quad (4.1)$$

führt durch die schwierig zu fassende Reibungszahl  $\mu$  daher nur zu ungenauen Ergebnissen. Dieser Umstand führt letztendlich dazu, dass gerade Rutschen nur in begrenzter Länge, z. B. als Endstelle von Sortern, eingesetzt werden (im Allgemeinen < 5 m).

Im Gegensatz zur geraden Rutsche besitzen Wendelrutschen eine geschwindigkeitsbegrenzende Eigenschaft durch Reibungserhöhung infolge der Fliehkraft, die das Gut mit zunehmender Geschwindigkeit weiter nach außen drückt. Dazu kommt bei Fördergütern mit geraden stabilen Böden eine Keilwirkung (bei erhöhter Rutschgeschwindigkeit liegt das Gut an zwei abgewinkelten Seiten auf, deren Reaktionskräfte seitlich auf das Gut wirken und damit zusätzliche Reibkräfte erzeugen). Wendelrutschen stellen daher für die Abwärtsförderung eine häufig eingesetzte Variante dar.

Es sei betont, dass sich obige Ausführungen auf den Einsatz zum Transport von Stückgütern beziehen. Im Bereich der Schüttgutförderung stellen sich die Eigenschaften dieses Fördermittels gänzlich anders dar.

Einsatzfälle: Wendelrutschen werden zum Vertikaltransport bei der Kommissionierung im Lager (in Verbindung mit Regalbediengeräten) oder von einem Stockwerk in ein darunterliegendes (z. B. für Sackgut) eingesetzt. Gerade Rutschen zur geneigten Abwärtsförderung finden beispielsweise hinter

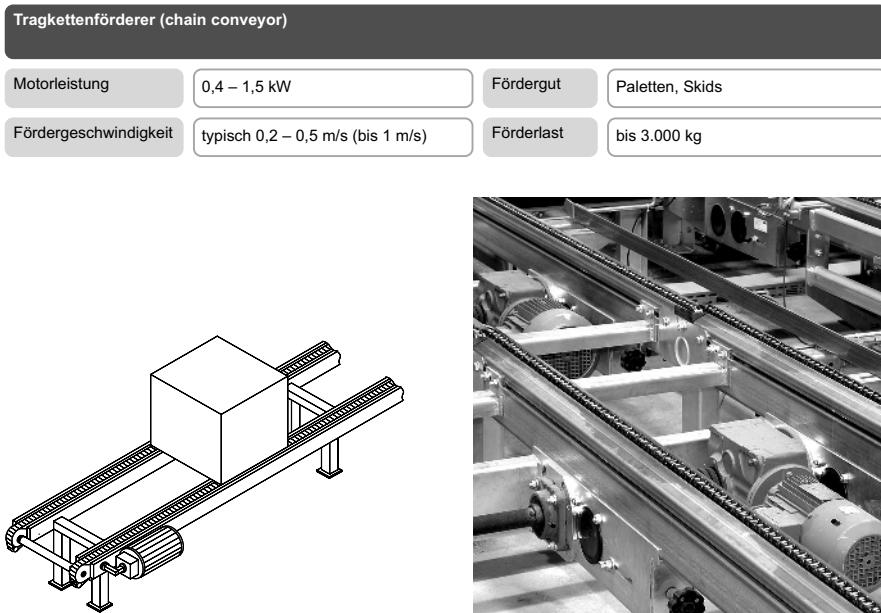


Abbildung 4.18. Tragkettenförderer [Foto: BSS Materialflussgruppe]

Sortieranlagen als kostengünstige Sammelstellen (so genannte Endstellen) Verwendung. Bevorzugtes Fördergut sind Päckchen und Pakete beispielsweise in Sortieranlagen der Post. Fallrohre und geschlossene Rutschen werden selten zum Stückguttransport, sondern in der Regel zum Schüttguttransport eingesetzt.

### Tragkettenförderer

Tragkettenförderer sind robuste Stückgutförderer, deren Ketten als lasttragendes Element und zugleich als Zugmittel dienen. Zur Förderung von Kleinteilen oder Schüttgut werden Tragkettenförderer mit Mitnehmern bestückt. Tragkettenförderer sind je nach Ausführung für eine waagerechte bis senkrechte Förderung auch von langen oder sperrigen Gütern geeignet.

In der Regel sind Tragkettenförderer aus zwei oder drei längs verlaufenden Stahlprofilen aufgebaut, auf denen die Ketten als Zug- und Tragorgan in speziell geformten Schienen (Stahl oder Kunststoff) laufen. Je nach Form der Schienen gleiten die Ketten auf den Laschen (gleitende Abtragung) oder rollen auf ihren Gelenken (rollende Abtragung, im Allgemeinen werden ohnehin Rollenketten eingesetzt) ab. Der Antrieb erfolgt formschlüssig über Kettenräder.

Tragkettenförderer sind sehr robust und eignen sich zum Transport unterschiedlichster Güter, die dieselbe Auflagebreite besitzen. Aus diesem Grund werden Tragkettenförderer in der Regel für die Querförderung (und weni-

ger üblich Längsförderung) von Paletten eingesetzt. Sie können nur geradeaus fördern und benötigen zur Richtungsänderung einen Drehtisch oder eine unterlagerte Hubsenkstation mit um 90° gedreht angeordneten Ketten. Bei schweren Gütern sind Fördergeschwindigkeiten bis 0,2 m/s üblich, bei leichten Gütern und rollender Abtragung auch bis zu 1 m/s. Aufgrund ihrer Robustheit können Tragkettenförderer bei hoher Umgebungstemperatur und durch Aufschweißen von geeigneten Mitnehmern bei Teiletemperaturen von über 1000°C eingesetzt werden. Die Antriebsleistung von Tragkettenförderern errechnet sich nach folgender Formel:

$$P_m = \frac{F_U \cdot v}{\eta_A} = \frac{\mu_k \cdot (G_S + G_K) \cdot L \cdot v}{\eta_A} \quad (4.2)$$

mit

$P_m$  : Antriebsleistung Tragkettenförderer

$F_U$  : Umfangskraft am Kettenritzel

$v$  : Geschwindigkeit der Kette

$\eta_A$  : Wirkungsgrad des Antriebs

$G_S, G_K$  : Metergewicht Stückgut, Kette

$L$  : Länge des Tragkettenförderers

$v$  : Fördergeschwindigkeit

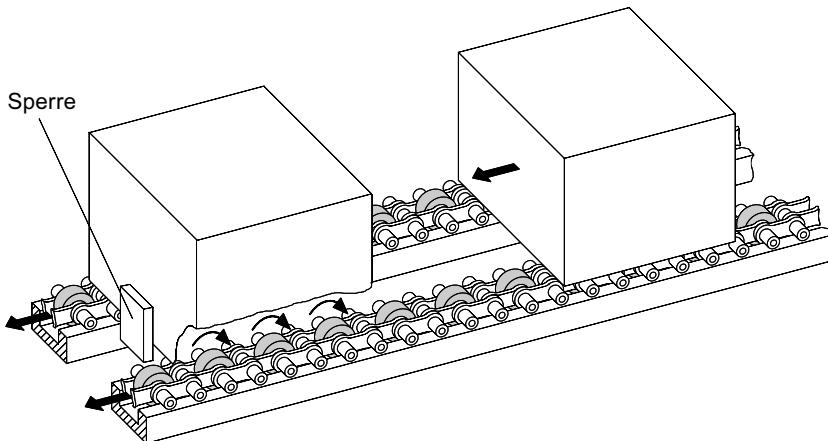
$\mu_k$  : Reibfaktor zwischen Kette und Gleitschiene,

Richtwert  $0,15 < \mu_k < 0,25$

Neben dem reinen Transport finden Tragkettenförderer Anwendung bei der Maschinenverkettung in der Produktion und als Hubtransferkettenförderer zum Ausschleusen von Paletten aus Rollenbahnen auf Hub- und Drehstationen. Dabei ermöglichen sie die Umsetzung des Fördergutes auf parallele Rollenbahnen (vgl. Abschn. 5.1.3, Transfers, S. 243).

Früher unterschied man Tragkettenförderer mit Trag- oder Schubarmen, Tragkettenförderer mit Tragstäben (Stabkettenförderer) und Rollenbandförderer. Rollenbandförderer sind Staurollenförderer, bei denen das Gut auf Rollen steht, die translatorisch an Ketten bewegt werden und sich nicht drehen. Bei Anhalten des Fördergutes drehen sich die Rollen unter dem Fördergut und lassen nur einen sehr geringen Staudruck entstehen.

Anstelle der früher üblichen Rollenbandförderer, die heute aus Kostengründen nicht mehr eingesetzt werden, kommen Staukettenförderer, eine spezielle Bauform der Rollenförderkette, zum Einsatz. Die Ketten verfügen zusätzlich über frei drehbare Rollen, auf denen das Fördergut steht. Sobald das Fördergut auf ein Hindernis trifft, drehen sich die Rollen und die Kette rollt



**Abbildung 4.19.** Staukettenförderer

auf dem nun stillstehenden Gut ab. Alternativ kann auf die Staufenfunktion verzichtet werden und die Abstützung der Tragrollen auf dem Boden erfolgen. In diesem Fall erreicht das Fördergut die doppelte Geschwindigkeit der Förderkette. Stabkettenförderer finden heute als Sonderbauform eine Verwendung als so genannte Schiebeschuhsorter (vgl. Abschn. 5.1.3, S. 241).

### **Bandförderer, Gurtförderer**

Bandförderer [VDI 2326, DIN 22101] sind nach [DIN 15201] Stetigförderer mit Bändern (Gurt, Stahlband, Drahtgurt, Seile, Riemen), die zugleich Trag- und Zugfunktionen übernehmen. Die Bänder werden von geraden Tragrollen getragen oder gleiten auf einer glatten Unterlage. Entsprechend werden Roll- und Gleitabtragung unterschieden. In Sonderfällen wird das Band von einer Kombination aus Rollen und Gleitfläche getragen und in diesem Fall als Roll-Gleitabtragung bezeichnet. Schüttgut-Bandförderer arbeiten dagegen mit muldenförmig angeordneten Tragrollen, die auch zur Bandführung genutzt werden.

Die Bänder laufen über mindestens zwei Trommeln, von denen eine mit einem Antrieb und die zweite mit einer Spannvorrichtung versehen sein muss. Die mögliche Kraftübertragung wird durch die Euler-Eytelweinsche Gleichung beschrieben:

$$F_1 = F_2 \cdot e^{\mu_0 \cdot \alpha} \quad (4.3)$$

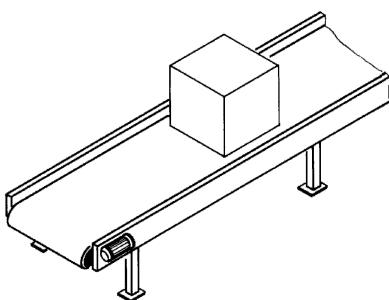
mit



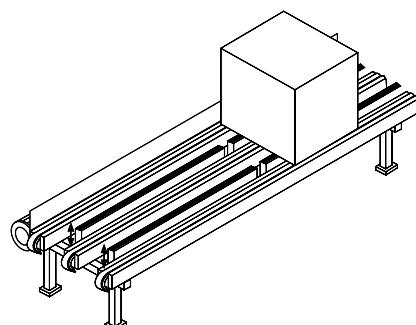
**Abbildung 4.20.** Bandförderer - Zusammenführung von Stückgut [Foto: TGW]



**Abbildung 4.21.** Rollenbahn und Konturenkontrolle [Foto: BSS Materialflussgruppe]



**Abbildung 4.22.** Bandförderer



**Abbildung 4.23.** Staubandförderer

$F_1$  : Kraft am ablaufenden Trum

$F_2$  : Kraft am auflaufenden Trum

$\mu_0$  : Haftreibungskoeffizient

$\alpha$  : Umschlingungswinkel

Eine höhere Zugkraft (im Fall von Formel 4.3 ist dies  $F_1$ ) zur Bewältigung einer größeren Last bedingt daher auch eine höhere Vorspannung (die notwendige Kraft zur Vorspannung ist gemäß Formel 4.3  $F_2$ ; der Umschlingungswinkel  $\alpha$  entspricht dem Bogenmaß des Bandes an der Spannrolle). Dies wirkt sich wiederum nachteilig auf die Rollenbelastung und Bandbelastung aus. Ein Trum ist der freie Abschnitt eines (Riemen-) Triebes (Bandförderer oder aber auch Kettenförderer). Unter Belastung ergibt sich ein ziehender (Lasttrum) und ein gezogener Trum (Leertrum). Im Fall der Stetigförderer entspricht der Obertrum dem Lasttrum und der Untertrum dem Leertrum.

Die Bandbreite ist in der Regel größer als die Fördergutbreite. Riemenförderer stellen eine Sonderform des Bandförderers mit mehreren, parallel angeordneten, schmalen Bändern dar. Im Bereich der Schüttgutförderung sind Gurtförderer das am meisten eingesetzte Stetigfördermittel.

Große Bedeutung im Bereich der Umschlagtechnik besitzen die teleskopierbaren Bandförderer, beispielsweise bei der Lkw-Beladung und -Entladung. Eine spezielle Gurtführung ermöglicht einen stufenlos verstellbaren Achsabstand. In Kombination mit Unstetigförderern (Verschiebewagen) werden solche Umschlagseinrichtungen auch verfahrbar (vgl. Kap. 5.3).

Daneben existieren Staubandförderer auf Basis von Riemenförderern, die eine Kombination aus Bandförderer und Hubbalken darstellen (vgl. Abb. 4.23). Die Hubbalkenförderung ist ein sehr altes Förderkonzept mit einem sich periodisch bewegenden Balken, der das Fördergut aufnimmt, in Förderrichtung bewegt und wieder absetzt. Beim Prinzip des Staubandförderers wird entweder der das Fördergut transportierende Riemen abgesenkt oder aber ein Hubbalken (entspricht dem Haltebalken) angehoben, der das Fördergut vom Riemen abhebt. Das Fördergut verliert also den Kontakt zum eigentlichen Fördermittel. Dieses recht aufwändige Prinzip erlaubt sowohl eine Staufförderung auf geneigter Förderstrecke, was bei anderen Staufförderern nur sehr eingeschränkt möglich ist, als auch eine reversierbare Förderung (durch Drehrichtungsumkehr bei angehobenem Gut). Je nach Ausführung ergeben sich Restriktionen an das beförderbare Gut hinsichtlich Bodenform und Steifigkeit.

Das Prinzip des Riemenförderers ermöglicht bei unterschiedlich lang geführten Riemens die schräge Ankopplung an andere Fördermittel (so genannte Aufschießbänder). Die einzelnen Riemens sind auch bei hoher Fördergeschwindigkeit sehr gut zu führen. Daher eignet sich der Riemenförderer auch für sehr schnell laufende Förderstrecken, wie sie beispielsweise bei Zuführelementen von Sortieranlagen erforderlich sind.

Bandförderer zeichnen sich durch eine geringe Geräuschentwicklung während des Betriebes aus, da es zu keiner Relativbewegung zwischen Fördergut und Band kommt. Der feste Kontakt wirkt sich ebenfalls positiv bei der Kurvenförderung aus. In so genannten Gurtkurven (vgl. Abb. 4.24) können die Güter ohne Relativgeschwindigkeit und damit ohne Reibung gefördert werden (Ein- und Auslauf vernachlässigt). Je nach Ausführung können sehr enge Kurvenradien, bei Standardlösungen bis ca. 180°, realisiert werden.

Bandförderer finden im gesamten Bereich der Intralogistik Verwendung. Auf ihnen können zahlreiche verschiedene Stückgüter mit geringem bis mittlerem Gewicht transportiert werden, wie z. B. Kartonagen und Behälter. Sie werden für waagerechte oder leicht geneigte geradlinige und kurvengängige Fördervorgänge eingesetzt. Für Steilförderung werden profilierte Gurte, Spezialgurte und Deckbänder benutzt. Bandförderer mit Stahlband werden eingesetzt, wenn besondere chemische oder hygienische Ansprüche des Fördergutes vorliegen (z. B. in der Lebensmittelindustrie), wenn harte Gegenstände

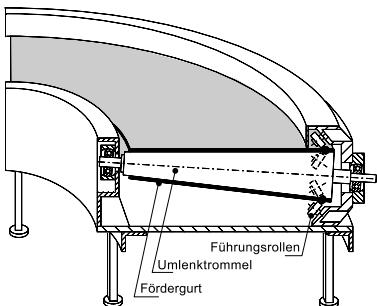


Abbildung 4.24. 90°-Gurtkurve

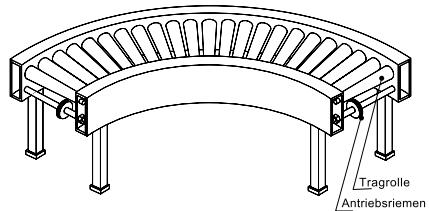


Abbildung 4.25. 90°-Rollenkurve

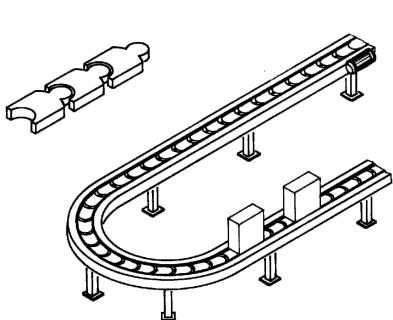
in Bädern oder Trockenöfen oder zähe, klebrige Güter befördert werden. Ferner kommen sie bei hohen Anforderungen an die Haltbarkeit der Anlagen und in Sortieranlagen, die eine seitliche Belastung des Bandes bewirken, zum Einsatz. Drahtgurt-Bandförderer finden Verwendung für sehr heißes Fördergut, für Kühl-, Wasch- und Entwässerungsaufgaben sowie zum Transport von Lebensmitteln.

### Gliederbandförderer

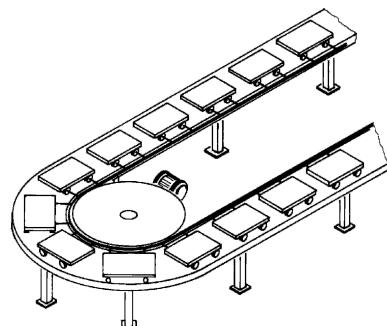
Gliederbandförderer sind Fördermittel, die aus einer Kette als Zugorgan und an der Kette befestigten, stumpf verbundenen oder sich überdeckenden Platten, Trögen oder Kästen als Tragorganen (vgl. Abb. 4.26) bestehen.

Durch eine direkte Kopplung der genannten Tragorgane kann die Kette als Zugorgan auch entfallen. Als Zugmittel werden Laschen- oder Buchsenketten mit Tragrollen und Laschen zur Befestigung der Tragorgane verwendet. Die Tragorgane werden wegen ihres Gewichtes häufig über die Kettenrollen oder über an der Tragkonstruktion befestigte Zusatzrollen abgestützt. Angetrieben werden Gliederbandförderer durch Getriebemotoren über Kettenräder oder -sterne, wobei bei längeren Bändern auch mehrere Antriebe eingesetzt werden. Durch mittig angeordnete Ketten oder Verbindungsglieder der Platten lassen sich große Freiheitsgrade in der Linienführung erreichen und Förderstrecken mit nahezu beliebigen Raumkurven realisieren.

Im Bereich der Intralogistik sind die wichtigsten Bauformen Gliederbandförderer mit Platten (Plattenbandförderer) für die Gepäckförderung im Flughafen, für schwere oder heiße Stückgüter, für Förderstrecken mit zahlreichen Kurven (z. B. Fließfertigung). Verstärkt kommen auch Kunststoffketten oder -bänder als kostengünstige Variante für leichte Güter zum Einsatz. Ausführungen der Gliederbandförderer, die wendelförmig im Raum ansteigen, werden als Spiralförderer bezeichnet und erlauben den vertikalen Transport von Stückgütern, besonders von Paketen und Gebinden. Spiralförderer ermöglichen ähnlich den S-Förderern einen Stockwerkswechsel, besitzen aber im Gegensatz zu diesen eine große Speicherkapazität.



**Abbildung 4.26.** Gliederbandförderer



**Abbildung 4.27.** Wandertischförderer

### Wandertische

Wandertische sind eine Sonderform der Gliederbandförderer (vgl. Abb. 4.27). Sie weisen als Glieder starre Plattformen auf. Die Plattformen sind nicht überdeckend und nicht direkt gekoppelt, sondern an dem kontinuierlich umlaufenden Zugmittel (Ketten) angebracht. Beim Wandertisch wird das Fördergut häufig mit Pushern auf quer zur Förderrichtung verlaufende Bahnen befördert.

Die Wandertische bilden außerdem die Basis für eine Reihe moderner Verteilanlagen (so genannte Sorter), bei denen durch eine speziell gestaltete Platte das Fördergut an beliebigen Stellen entlang der Förderstrecke abgegeben und somit eine gezielte Verteilung der Güter erreicht werden kann. Da bei diesen Anlagen die Verteilfunktion im Vordergrund steht, werden sie ausführlich in Abschn. 5.1 behandelt.

Wandertische werden in ihrer Ausführung als fördertechnisches Element hauptsächlich in der Fließfertigung als Montage- oder Zubringförderer zur Verkettung einzelner Arbeitsstationen eingesetzt. Da die Platten oftmals auf Stützrollen gelagert werden, eignen sie sich ebenfalls für den Transport schwerer Güter.

### Kettenförderersystem (Kettentransportsystem)

Kettenförderersysteme (vgl. Abb. 4.28) werden zum Transport bzw. zur Zuführung von Stückgütern in Produktionslinien, zur Abfüllung sowie zur Verpackung eingesetzt und sind Gliederbandförderer mit einer vergleichsweise schmalen, aber sehr flexiblen Förderkette. Produkte nahezu beliebiger Formen bis hin zur Größe eines großen KLT ( $400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ ) können gefördert werden, hauptsächlich Flaschen, Dosen, Verkaufsverpackungen und Maschinenteile von einzelnen Verpackungseinheiten und Einzelteilen bis hin zu Großhandelsverpackungen.

Kettenförderersysteme (chain conveyor system)	
Antriebsleistung	0,09 – 0,75 kW
Fördergeschwindigkeit	1 – 100 m/min
Kettenzugkräfte	bis 1.250 N
Kettenbreiten	65 – 320 mm
max. Förderlast	ca. 200 kg
max. Förderlänge	ca. 30 m
Umgebungstemperatur	-20 bis +80 °C



**Abbildung 4.28.** Kettenförderersystem [Foto: Schüco Design Industrieautomation]

Die den Aufbau eines Kettentransportsystems bestimmenden Komponenten sind Antriebe, Streckenprofile, Gleitleisten, Seitenführungen, Bogenräder und Förderketten. Die Förderketten, meist Kunststoff-, teilweise auch Stahlketten, dienen als Zugorgan und Transportmittel. Die Kettenglieder sind durch Stahlbolzen flexibel miteinander verbunden, so dass eine variable Streckenführung mit horizontalen und vertikalen Kurven möglich wird. Zur Minimierung der Reibung wird die Kette auf einer Gleitleiste im Streckenprofil geführt. Bei Förderlängen bis zu 30 m pro Antrieb und maximalen Zugkräften bis ca. 2.000 N beträgt die Kettenbreite je nach Einsatzfall ca. 20 bis 320 mm.

Seitenführungen in Form von an das Fördergut angepassten Aluminiumprofilen verhindern das Herunterfallen des Transportgutes. Verschiedene Kettenausführungen ermöglichen die Anpassung an verschiedene Transportgüter und Streckenprofile:

- Flachförderkette (Standardausführung) zum waagerechten Transport
- Mitnehmer, Mitnehmerrolle, Gripper oder Reibbeläge zur Ermöglichung von Steigungen im Streckenprofil
- Förderketten mit Stahlbelägen zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit
- antistatische Kettenausführungen, z. B. zum Elektronikbauteiletransport
- beschichtete Oberflächen zur Schonung des Transportgutes
- Staurollen zur Minimierung der Reibung im Staubetrieb

Der Antrieb der Kette erfolgt entweder über einen Getriebemotor oder einen indirekten Antrieb mit Kettenantrieb (Schleppketten- oder Caterpillar'antrieb). Abhängig von der Streckenlänge und den zu fördernden Lasten, maximal 15 kg pro Gut und 200 kg pro Förderabschnitt, beträgt die Motorleistung zwischen 0,12 und 0,75 kW pro Antrieb bei Fördergeschwindigkeiten zwischen 1 und 100 m/min.

Bei Kettenförderersystemen lassen sich zwei verschiedenen Formen des Kettenumlaufs realisieren. Zum einen kann die Kette auf der Unterseite des Streckenprofils zurückgeführt werden. Hierbei kommen Kopf- oder Mittenantriebe zum Einsatz. Zum anderen lassen sich horizontale Umläufe realisieren. In diesem Fall werden Verbindungsantriebe oder Kurvenradantriebe eingesetzt. Zur horizontalen Richtungsänderung bis zu  $180^\circ$  werden Bogenräder verwendet. Ketten mit speziellen Reiblamellen erlauben eine mehrseitig geführte Förderung des Gutes, dabei wird das Produkt zwischen mehreren Lamellen reibschlüssig gehalten und für Handhabe- oder Fügevorgänge fixiert.

Der Aufbau eines Kettentransportsystems ist mit wenig Aufwand zu realisieren. Die einzelnen Komponenten werden modular angeboten und können sehr gut kombiniert werden. Steile Steigungen sind ebenso möglich wie enge Kurven. Umbauten sind einfach zu bewerkstelligen, da die gesamte Konstruktion verschraubt und über Profile auf dem Boden aufgestellt ist. Der Wechsel eines Werkstückes von einer Förderstrecke auf eine daneben liegende wird einfach über Abweiser realisiert.

Aufgrund der Möglichkeit einer flexiblen Streckenführung in Kombination mit reinraumfähigen, lebensmittelechten und antistatischen Ausführungen sowie Umgebungstemperaturen zwischen  $-20^\circ$  und  $+80^\circ\text{C}$  existieren verschiedenste Anwendungsmöglichkeiten für (Kunststoff-) Kettenförderersysteme.

Typische Anwendungsgebiete sind die Verkettung verschiedener Arbeitsplätze bei der Produktion von Elektronikbauteilen oder Metallwerkstücken, die Zuführung zur Abfüllung oder Verpackung von Farben, Kosmetika oder Lebensmitteln oder der Transport von Umverpackungen.

### **Skid-Fördertechnik**

Skid-Fördersysteme sind Schwerlastförderer mit einer Kombination aus unterschiedlichen Stetigförderern als Tragmitteln und speziellen Lastaufnahmemitteln, den Skids, für die Aufnahme von Modulen, Baugruppen und Produkten. Skid-Fördersysteme haben sich als Transportsystem für den schrittweisen oder kontinuierlichen Vorschub von Baugruppen oder Karosserien in der Fertigung und Montage von Automobilen etabliert. Skids sind aus einem Stahlrahmen bestehende Werkstückträger mit zwei Kufen und einer Aufnahme für Karosserien oder Karosserieteile, und sind meist länger und schmäler als die zu transportierende Karosserie. Skid-Fördersysteme lassen sich in die Skid-Rollenbahnen und die Schub-Skid-Förderer unterteilen.

Die Skid-Rollenbahnen bestehen ähnlich wie normale Rollenbahnen aus einem Traggestell und Achsen, die die Tragrollen zum Transport der Skids tragen. Die Skids liegen somit nicht flächig in ihrer Breite auf Rollen auf, sondern liegen nur mit den Kufen auf den Tragrollen auf. Die Laufflächen der Rollen sind elastisch beschichtet. Die Förderung der Skids erfolgt reibschlüssig über die Rollen, die über Zahnriemen oder Ketten angetrieben werden.

Skid-Fördertechnik (skid conveyor systems)	
Nutzlast	bis zu 5.500 kg
Fördergeschwindigkeit	bis zu 2 m/s
Steigung	bis zu 3 °
Bahnbreite	800 – 2.000 mm
Rollendurchmesser	100 – 150 mm
Belastung pro Rolle	ca. 400 – 800 kg
Antrieb	Riemen, Kette



**Abbildung 4.29.** Skid-Fördersystem, hier im Zusammenwirken mit einer EHB in der Pkw-Montage [Foto: AFT]

Die Schub-Skid-Fördertechnik oder auch Schubpalettenfördertechnik wird vorwiegend in der Pkw-Endmontage eingesetzt (vgl. Abb. 4.29). Dabei werden Plattformen (ebenfalls oft als Skids bezeichnet), die meist rundum ca. 1 m breiter und länger sind als die Karosserie, im Schubverband auf (Frikitions-) Rollenförderern über Reibradantriebe kontinuierlich gefördert. Das Montagepersonal wird auf den Plattformen mittransportiert.

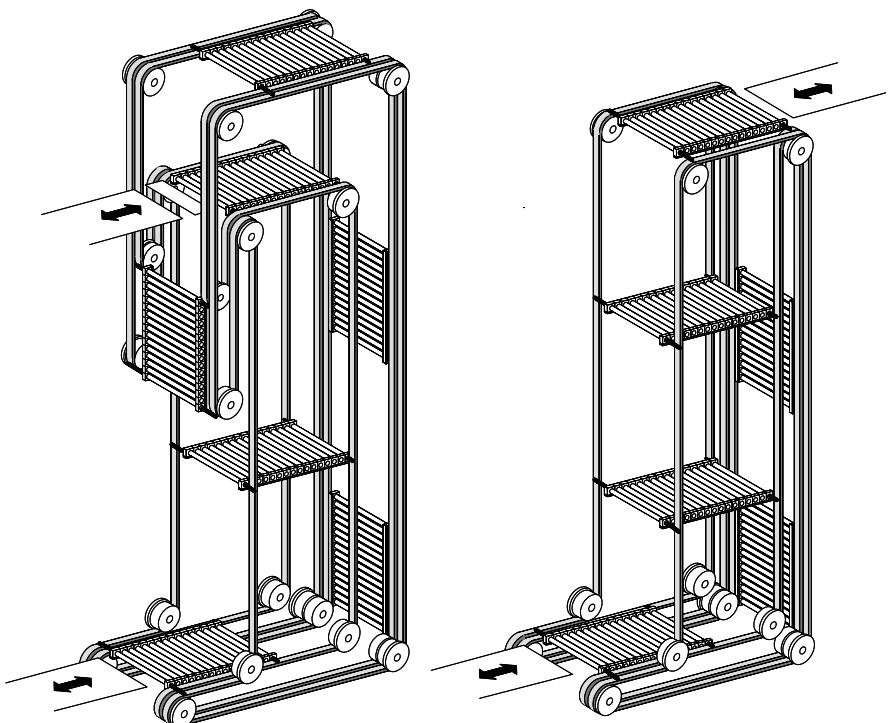
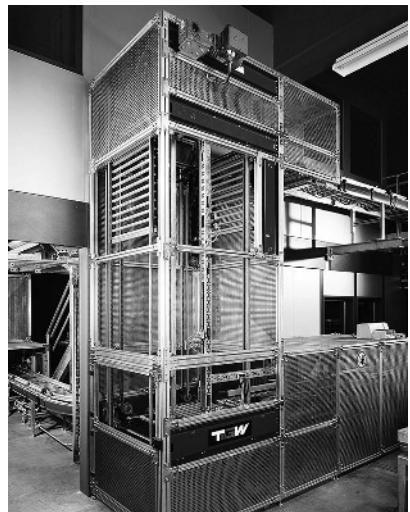
Ebene Böden und Kufen lassen einen Vergleich zu dem Transport von Behältern und Gitterboxen auf einer Fördertechnik herstellen. Damit die Skids nicht von den Rollen gleiten und in der Spur bleiben, ist in der Regel eine der beiden Rollen pro Achsen mit einer beidseitigen Führung versehen. Zum Aufbau eines Skid-Fördersystems kommen weitere Funktionselemente hinzu, wie z. B. Quergurt oder Kettenförderer und Drehtische oder Kurvenwagen für einen Querversatz oder Richtungswechsel.

### S- und C-Förderer

S- und C-Förderer sind Stückgutförderer zum Transport zwischen zwei Ebenen mithilfe von Plattformen, welche in einer Richtung biegsam sind und umgelenkt werden können, während sie in der anderen Richtung steif sind und sich so für die Aufnahme einzelner Stückgüter eignen. Die Plattformen sind an zwei parallel verlaufenden Kettensträngen befestigt und so geführt, dass sie in der Förderrichtung des Fördergutes stets in der Horizontalen verbleiben (vgl. Abbildung 4.30). Die Hauptförderrichtung ist senkrecht. Durch die Rückführung der Plattformen in der Vertikalen benötigt der Förderer nur wenig Bauraum.

**S- und C-Förderer (s- and c-shaped conveyors, vertical conveyors)**

Fördergut	Paletten, Behälter, Gepäck
Traglast	bis zu 2.000 kg
Durchsatz Paletten	bis zu 400 Paletten/h
Durchsatz Behälter	bis zu 3.000 Behälter/h
Hubgeschwindigkeit	ca. 0,5 – 1m/s
Hubhöhen	bis zu 40 m

**Abbildung 4.30.** S- und C-Förderer [Foto: TGW]

Paletten, Behälter, Trays oder Kartons werden über eine zuführende Fördertechnik für die Auf- oder Abwärtsbewegung in den S-Förderer eingetaktet, dabei muss zuvor eine Vereinzelung stattfinden. Das Fördergut wird daraufhin von einer Plattform aus Kunststoffstäben oder Stahlprofilen übernommen und an der Abgabestelle an den Auslaufförderer übergeben.

Die Bezeichnung S- und C-Förderer basiert auf der unterschiedlichen Gestaltung der Zu- und Abführseite der Förderers. Beim S-Förderer sind Zu- und Abführung gegenüberliegend angeordnet, beim C-Förderer auf derselben Seite (analog werden auch die Bezeichnungen Z- und U-Förderer verwendet, vgl. auch [VDI 3583]).

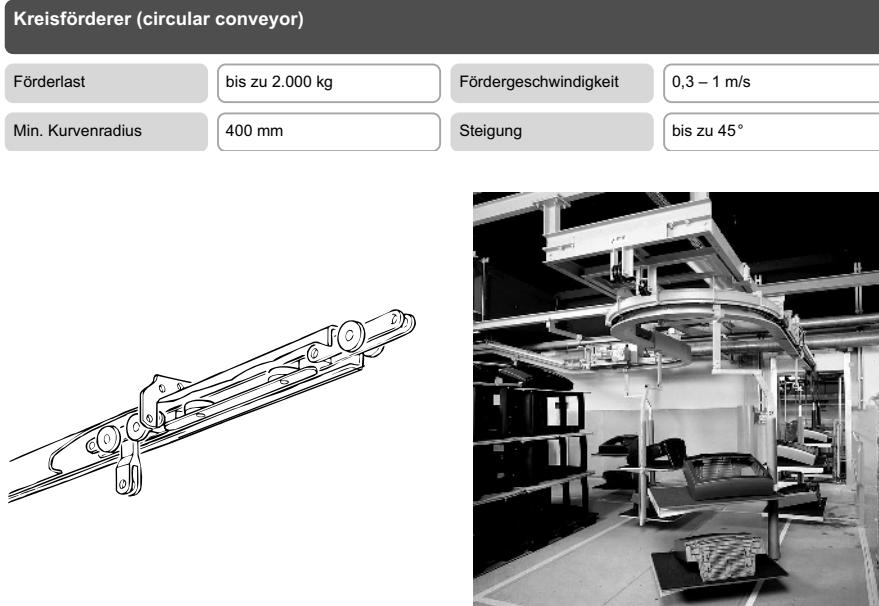
Die Förderleistung wird neben der Fördergeschwindigkeit bestimmt durch die Länge der Plattform und die Höhe des Fördergutes. Bei üblichen Fördergeschwindigkeiten bis zu etwa 1 m/s werden Förderleistungen bis zu 3.000 Stück/h erreicht. Bauartbedingt kreuzt beim C-Förderer die Förderstrecke im Bereich der Gutabgabe die Rückführung der Plattformen. Die hierzu erforderliche Synchronisierung verringert die Förderleistung gegenüber dem S-Förderer.

Einsatz finden S-Förderer neben klassischen Anwendungen zum vertikalen Transport von Paletten, Behältern und Paketen in Post- und Versandzentren, in der Automobilindustrie, in Druckereien, der Nahrungsmittelindustrie und im Flughafenbereich. Dort werden sie für den Transport von Gepäck, Trolleys, Paletten und Essenscontainern eingesetzt. Ihre Konstruktion erlaubt auch das Fördern von Schrumpffoliengebinden, Weichverpackungen, Säcken und unverpackten Produkten.

### Kreisförderer

Kreisförderer [VDI 2328] sind flurfreie Hängeförderer, die anwendungsspezifisch als Stückgutstetigförderer kontinuierlich oder im Takt gesteuert werden können. Das Fördergut wird von Gehängen getragen, die entweder an Rollenlaufwerken, die mit Ketten fest verbunden sind, oder an einer mit Rollen versehenen Einstrang-Kette befestigt sind (vgl. Abb. 4.31). Die Rollenlaufwerke nehmen dabei neben dem Gehänge mit dem Fördergut auch das Gewicht der Kette auf. Die Rollen laufen auf L-, U-, T-Profilen oder in Schlitzrohren und sind zur Vermeidung von Laufgeräuschen aus Kunststoff oder mit Kunststoffbelag versehen. Man unterscheidet dabei zwischen Außenlaufwerken, bei denen die Rollen außerhalb, und Innenlaufwerken, bei denen die Rollen innerhalb der Laufbahn geführt werden. Die Laufbahn ist in der Regel aus Stahl, nur in Sonderfällen aus Aluminium oder Kunststoff. Sie wird über Zugstäbe an der Deckenkonstruktion abgehängt oder durch Stützen getragen, falls die Deckenkonstruktion für die Last ungeeignet ist.

Als Zugmittel finden in der Regel Kardangelenkketten, aber auch geschmiedete Steckketten, Stahlbolzenketten, langgliedige Rundstahlketten und Buchsenketten und darüber hinaus Seile oder Stahlbänder Verwendung. Ihr Antrieb erfolgt alternativ an einer horizontalen Ablenkstelle mit Ketten-



**Abbildung 4.31.** Kreisförderer [Foto: AFT]

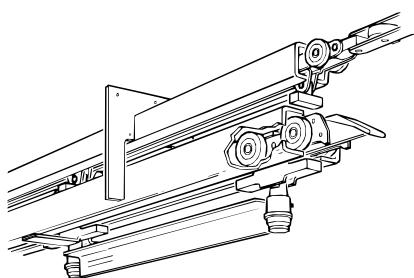
rädern (Seilscheiben etc.) oder an Geraden über kurze Schleppketten, deren Mitnehmer in die Lastkette eingreifen und diese vorwärts bewegen (so genannte Caterpillarantriebe). Die Förderbahn kann horizontal, ansteigend oder vertikal verlaufen, wobei Förderer mit größerer Länge oder zur Überwindung größerer Höhen häufig mit mehreren Antrieben ausgerüstet werden. Entsprechend ermöglichen Kreisförderer eine nahezu beliebige Linienführung.

Schräg verlaufende Streckenführungen wirken sich allerdings nachteilig auf den erreichbaren Durchsatz aus, da die Auslenkung der frei pendelnden Gehänge einen größeren Abstand erfordert. Bei mehreren Antrieben ist die Länge des Kreisförderers nahezu unbegrenzt.

Die Gehänge zur Aufnahme des Fördergutes können vielgestaltig sein und werden dem Fördergut angepasst. Sie werden über eine Aufhängegabel mit den Lastgliedern der Zugkette verbunden und sind als Plattformen, Schalen, Behälter, Gabeln, Haken u.ä. ausgeführt. An den Gutaufnahme- und Gutabgabestellen wird die Laufbahn nach unten gezogen, während sie sonst in der Regel oberhalb des Arbeitsfeldes läuft und somit keine Bodenfläche beansprucht. Die Fördergutaufnahme kann durch manuelle Beschickung oder auch selbsttätig erfolgen, indem das Fördergut beispielsweise von einer am Boden angeordneten Staurollenbahn durch Ein- oder Unterfahren des Gehänges aufgenommen wird. Die Abgabe kann selbsttätig durch Kippen des Gehänges, durch Abstreifen des Fördergutes an Anschlägen oder manuell erfolgen.

**Power-and-Free-Förderer, Schleppkreisförderer, Zweibahn-Kreisförderer  
(overhead power-and-free-conveyor)**

Förderlast	bis zu 1.000 kg (bis zu 5 t)	Gutlänge	30 cm bis 18 m
Temperaturbereich	-10 bis 250 °C	Streckenlast	bis zu 150 kg/m
Min. hor./vert. Radius	600 mm/1600 mm	Steigungsfähigkeit	bis zu 60° (selten 90°)



**Abbildung 4.32.** Power-and-Free-Förderer [Foto: psb]

Die erreichbare Fördergeschwindigkeit wird durch eine Vielzahl unterschiedlicher Parameter (Fördergutgewicht, Streckenführung, Art der Auf- und Abgabestellen) bestimmt. Eine pauschale Angabe ist daher nicht möglich. Typische Werte liegen zwischen 0,3 und 1,0 m/s.

Der feste Abstand der Gehänge voneinander bedingt den Einsatz von Kreisförderern als Verkettung von Produktionsschritten oder auch als prozessbedingte Pufferstrecke (z. B. im Trocknungsprozess). Sie finden Verwendung für Förderaufgaben in der Verfahrenstechnik (chemische Industrie), in Produktionswerken vor allem in rauer und aggressiver Umgebung wie bei der Spritz-, Tauch- und Wärmebehandlung (Kühlstrecken, Lackieranlagen) sowie in Montagewerken, beispielsweise der Automobilindustrie zum Bereitstellen von Anbauteilen. Sie werden weiterhin in Lager- und Versandhäusern als Umlaufpuffer mit zyklischem Zugriff auf die einzelnen Fördereinheiten und zur Leergutrückführung eingesetzt sowie in der Textilindustrie und im Handel für die Förderung von hängender Kleidung (vgl. Abschn. 4.4.3, Trolleybahn, S. 213).

#### **Power-and-Free-Förderer (Schleppkreisförderer)**

Power-and-Free-Förderer [VDI 2334] sind Stückgutförderer, bei denen das Fördergut von Gehängen oder auch Laufwagen getragen wird, die an Rollen-

laufwerken befestigt sind (vgl. Abb. 4.32). Im Unterschied zum Kreisförderer laufen diese Lastlaufwerke in einer unterhalb der Kreisförderbahn getrennt angeordneten zweiten Lastlaufbahn. Sie werden ein- und auskuppelbar über Mitnehmernocken an der Kardan-Gelenk-Zugkette bewegt, die in Mitnehmerklinken an den Laufwerken greifen und eine formschlüssige, jederzeit trennbare Verbindung herstellen. Die Lastlaufbahn trägt also nur das Gewicht der Gehänge mit dem Fördergut und nicht das Gewicht der Kette. Dieses wird von den Kettenlaufwerken auf der Kreisförderbahn aufgenommen. Die Rollen der Laufwerke sind bei geringeren Traglasten häufig kunststoffbeschichtet, um die Arbeitsgeräusche zu vermindern.

Die oben liegende Kreisförderbahn und die darunter liegende (selten auch daneben liegende) Führungs- oder Lastlaufbahn bilden eine Einheit. Die Laufbahnen bestehen aus I-, C- oder Sonderprofilen wie beispielsweise Schlitzrohren. Ihre Abhängung erfolgt wie bei den Kreisförderern. Als Zugmittel finden bei kleinen und mittleren Förderlasten und -strecken Rundstahlketten und ansonsten Steckbolzen- oder Kreuzgelenkketten Verwendung. Ihr Antrieb erfolgt wie bei den Kreisförderern über verzahnte Kettenräder an Umlenkstellen oder durch Schleppkettenantriebe. Lange und schwer belastete Power-and-Free-Förderer werden mit mehreren Antrieben ausgerüstet, wobei deren gleichmäßige Belastung problematisch sein kann.

Die Gehänge bestehen zumeist aus einem Laufwerk mit zwei Wagen, dem Stapel- und dem Distanzwagen, verbunden durch eine auf das Fördergut abgestimmte Traverse (vgl. Abb. 4.32). Der Stapelwagen ist der Hauptlaufwagen eines Laufwerkes. Er ist ausgerüstet mit einer Antriebsklinke, die mit dem Mitnehmer der Förderkette eine Wirkverbindung eingeht und an jeder beliebigen Stelle des Schienenvorlaufes wieder getrennt werden kann, so dass die Mitnehmer der Powerkette berührungslos darüber hinweggleiten. Der Distanzwagen besitzt als wichtigstes Funktionselement eine Auflaufkufe, die beim Auflaufen auf ein vorderes Gehänge durch Betätigung der Antriebsklinke am Stapelwagen das staudrucklose Aufstauen von Gehängen ermöglicht. Eine Rücklaufsperrre an den Laufwerken verhindert ein unkontrolliertes Rücklaufen der Gehänge an Steigungsstrecken.

Der Ein- und Auskuppelvorgang der Laufwerke geschieht alternativ über das örtliche Anheben oder Absenken der Lastlaufbahn, durch zeitliches Herausfahren über Weichen oder durch ausklappbare Sperrhebel zwischen der Power- und der Free-Schiene.

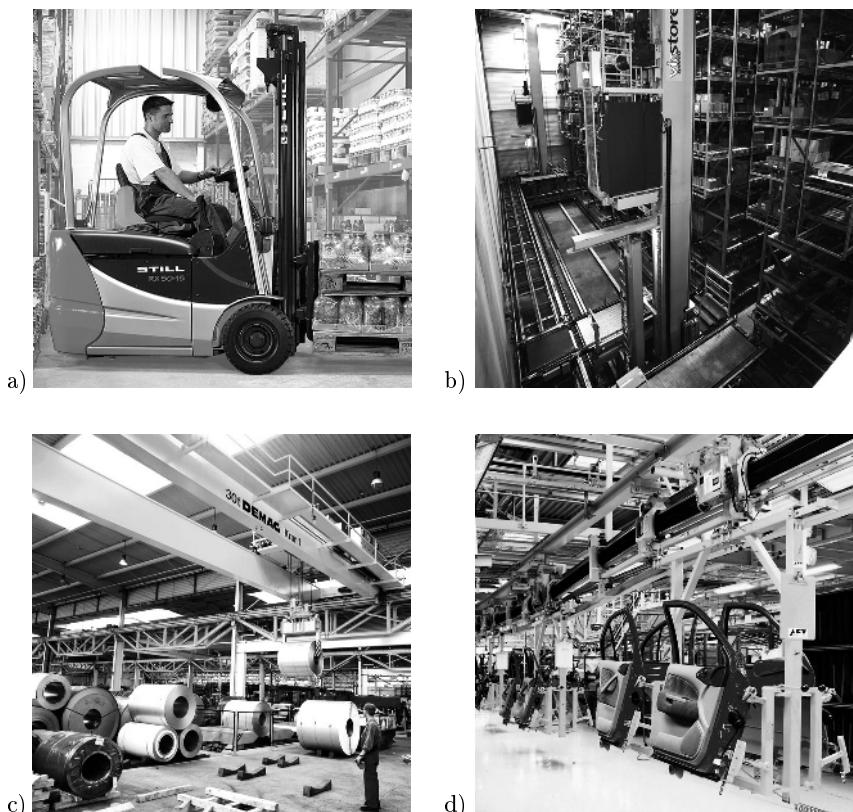
Power-and-Free-Förderer lassen wie die Kreisförderer eine hohe Flexibilität in der Linienführung zu. Sie können, anders als Kreisförderer, mit Weichen ausgeführt sein. Sie ermöglichen damit den Übergang der Laufwerke auf mehrere Förderkreisläufe oder auf antriebslose Pufferbahnen. Damit können einerseits aufwändige Netzwerke realisiert werden und andererseits durch das wahlweise An- bzw. Abkoppeln Abstandsänderungen der Laufwerke gesteuert werden, was beispielsweise in Spritz- und Trockenkabinen (Einsatz bis 250 °C möglich) erwünscht ist. Nicht angekoppelte Laufwerke können mit Hub- und

Senkstationen auf einer kurzen Strecke der Führungsbahn auf verschiedene Höhenniveaus befördert werden. Dies kann beispielsweise an Arbeitsstationen erforderlich sein, wenn die oberhalb des Arbeitsfeldes verfahrenden Einheiten durch Absenken auf Flurniveau gebracht werden können und so eine Abnahme von den Gehängen entfallen kann.

Power-and-Free-Förderer ermöglichen den flurfreien, diskontinuierlichen Transport von Stückgütern bei vielen Variationen der Linienführung als Puffer- und Verteilsystem für unterschiedlichste Anwendungen. Sie sind besonders für Förderaufgaben unter schwierigen Umgebungseinflüssen (Schmutz, hohe Temperaturen, aggressive Umgebungen) geeignet. Vorrangig werden sie wegen der hervorragenden Pufferfähigkeit in der Konsumgüter-, Maschinenbau- und Automobilindustrie eingesetzt, als (sortenreiner) Sortierspeicher zur Beschickung von Montagelinien, zur Versorgung von Produktionsinseln, zur Realisierung von Pufferzonen, in der Oberflächentechnik und zur Verbindung von Fertigung und Montage. Dabei werden von Platinen in der Elektroindustrie über hängende Kleidung Felgen, Reifen, Heizkörper und Kühlschränke bis hin zu ganzen Karossen in der Automobilindustrie gefördert. Darüber hinaus werden Power-and-Free-Förderer in der Lebensmittelindustrie zum Transport im Produktionsprozess (Nahrungsmittel in Behältern zur Weiterverarbeitung oder zur prozessbedingten Reifung), in Krankenhäusern zum Transport von Catering-Behältern zwischen Reinigung, Speicherung und Beladung sowie im Versandhandel zum Palettentransport und zur Kommissionierung hängender Kleidung eingesetzt.

## 4.4 Unstetigförderer

Unstetigförderer sind durch eine intermittierende Förderung gekennzeichnet. Der Förderprozess vollzieht sich in einzelnen *Arbeitsspielen*, wobei im Allgemeinen unterschiedliche *Spielzeiten* für Last- und Leerfahrten unterschieden werden [GROS84]. Unstetigförderer zeichnen sich durch eine hohe Anpassungsfähigkeit an zahlreiche Förderaufgaben aus. Durch eine entsprechende Dimensionierung des Fördermittels und Wahl eines geeigneten Lastaufnahmemittels können nahezu beliebige Förderaufgaben realisiert werden. Wie bereits in Abschn. 4.2 angeführt, lassen sich auch große Transportmengen durch Bildung größerer Ladeeinheiten und den Einsatz einer Vielzahl von Fördermitteln bewältigen. Eine große Auswahl an Zusatzgeräten, insbesondere im Bereich der Flurförderzeuge, lässt Unstetigförderer zu universellen Arbeitsmitteln werden. Das Verhältnis von Eigengewicht zur beförderten Nutzlast



**Abbildung 4.33.** Beispiele unstetiger Fördertechnik: a) Stapler [Foto: Still] b) Regalbediengerät [Foto: Viastore] c) Kran [Foto: Dematic] d) Elektro-Hängebahn [Foto: AFT]

ist dagegen ungünstiger als bei den Stetigförderern und deutlich größer als eins.

Unstetigförderer sind selten ortsfest, sondern meistens geführt oder frei verfahrbar. Sie weisen daher größere Arbeitsräume als Stetigförderer auf. Da ihre Lastaufnahme und -abgabe in der Regel aktiv ausgeführt wird (eine Ausnahme bilden z. B. Schlepper), sind keine zusätzlichen Arbeitsmittel für den Umschlag erforderlich. Sie sind daher in der Lage, mehrere Quellen und Senken frei zu bedienen. Dementsprechend weisen sie auch eine große Flexibilität gegenüber Layoutänderungen auf. Während die Systemleistung bei Stetigförderern im Allgemeinen fest definiert ist, lässt sie sich bei Unstetigförderern durch Variation der Anzahl der eingesetzten Geräte flexibel gestalten und so einem momentanen Transportbedarf anpassen. Die hohe örtliche und leistungsbezogene Flexibilität größerer Unstetigförderersysteme bedingt aber letztendlich auch einen erhöhten Aufwand im Bereich der dispositiven Steuerung (Zuweisung von Transportaufträgen zu einzelnen Einheiten). Vorteilhaft bei der Wartung von Unstetigförderersystemen ist oftmals die Möglichkeit, einzelne Fahrzeuge aus dem laufenden Betrieb auszuschleusen und Wartungsarbeiten ohne Systemunterbrechung durchzuführen. Derselbe Umstand bedingt auch z. T. eine höhere Systemverfügbarkeit, da trotz Ausfalls einzelner Elemente eines solchen Unstetigförderersystems die Funktionalität, gegebenenfalls bei verringriger Leistung, aufrechterhalten werden kann. Im Vergleich dazu erfordert die redundante Auslegung von Stetigförderersystemen einen wesentlich höheren Aufwand.

Aufgrund ihrer Ortsveränderlichkeit bilden sie in weit geringerem Ausmaß Hindernisse für andere Fördermittel oder Personen (eine Ausnahme bilden aufgeständerte Unstetigförderer). Es besteht allerdings auch eine inhärente Kollisionsgefahr, die einen bestimmten Bedarf an geeigneter Schulung, Beschilderung oder, im Falle automatischer Systeme, fahrzeugbezogener Sensorik erfordert. Der hohe steuerungstechnische Aufwand wird auch dadurch bedingt, dass jedem Fahrzeug eine Bedienperson oder eigene Steuerung zugeordnet werden muss, was sich letztlich in entsprechend hohen Betriebs- oder Investitionskosten niederschlägt. Die Automatisierung ist deutlich schwieriger zu realisieren als bei den Stetigförderern. Die erreichten Fortschritte im Bereich der Sensor- und Steuerungstechnik und ein Absinken von Hard- und Softwarekosten begünstigen jedoch eine Automatisierung.

#### 4.4.1 Flurgebundene Unstetigförderer

##### **Flurförderzeuge**

Flurförderzeuge [VDI 3586, VDI 2198] sind gleislose, überwiegend innerbetrieblich verwendete Fahrzeuge mit oder ohne Einrichtungen zum Heben oder Stapeln von Lasten. Sie stellen die im innerbetrieblichen Einsatz bekannteste und am weitesten verbreitete Form der Fördertechnik dar. Sie zeichnen

sich insbesondere durch ihre hohe Flexibilität beim Einsatz in unterschiedlichen Bereichen und Aufgaben und ihre gute Manövrierfähigkeit aus. Demgegenüber stehen ein hoher Bedienungsaufwand und ein zum Teil erheblicher Wartungsaufwand.

Die Bedienung erfolgt zumeist manuell und durch die Entwicklung Automatischer Flurförderzeuge (vgl. Abschn. 4.4.1, Automatische Flurförderzeuge, S. 195) zunehmend auch automatisiert. Hinsichtlich des Antriebs sind Flurförderzeuge zum Teil mitgängergeführt und von Elektro-, Diesel- und Gasmotoren angetrieben. Beim Transport innerhalb von Gebäuden stehen die elektrisch angetriebenen Flurförderzeuge im Vordergrund. Bei kombiniertem Innen-Außeneinsatz finden auch gasangetriebene Stapler Verwendung. Außerhalb von Gebäuden werden vornehmlich dieselbetriebene Flurförderzeuge eingesetzt.

Entsprechend ihrer Bauart werden Flurförderzeuge nach unterschiedlichen Kriterien gegliedert. Dabei wird die hauptsächliche Bewegungsrichtung unterschieden, die Hubfähigkeit, die Art des Antriebs, die Stapelfähigkeit und die Position des Bedieners. Herstellerabhängig werden unterschiedliche Namen für das gleiche Gerät sowie gleiche Namen für unterschiedliche Geräte verwendet. Der daraus entstehenden Inhomogenität bei der Benennung versucht die DIN ISO 5053 entgegenzuwirken, indem sie Klassen von Flurförderzeugen definiert. Diese Einteilung zeigt Tabelle 4.1. Im Rahmen dieses Buches werden die typischen Bauformen beschrieben, unabhängig von Bezeichnungen der Hersteller. Dabei steht besonders die Funktionalität innerhalb intralogistischer Systeme im Vordergrund.

Zur Spielzeitermittlung wichtiger Flurförderzeuge kann die VDI-Richtlinie 2391 [VDI 2391] hinzugezogen werden, die Zeitrichtwerte für einzelne Arbeitsspiele und Grundbewegungen von Flurförderzeugen liefert.

Flurförderzeuge werden zum horizontalen und ggf. auch vertikalen Stückguttransport und für Stapelarbeiten in Wareneingang, Produktion, Lager, Lagervorzone und Versand von Produktionsbetrieben und Warenverteilzentren eingesetzt. Bevorzugt werden sie bei kleinen und mittleren Entfernungen, großen Trag- oder Schlepplasten und bei geringem bis mittlerem Durchsatz unterschiedlicher Fördergüter auf Ladehilfsmitteln wie Paletten und Behältern eingesetzt.

## Schlepper

Schlepper dienen zum Horizontaltransport von Anhängern (vgl. Abb. 4.35). Sie haben keine eigene Lastplattform und kommen mit dem Fördergut nicht direkt in Berührung. Sie bestehen aus einem Rahmen, der die Antriebe und Räder, die Batterie und gegebenenfalls die Steuerung aufnimmt. Im Vergleich zu anderen Flurförderzeugen weisen Schleppverbände eine geringe Wendigkeit auf und benötigen somit bei Kurvenfahrten mehr Platz. Bei der Be- und Entladung sind Schlepper auf Personal oder andere Fördertechniken angewiesen. An die Schlepper werden über Kupplungen mehrere Anhänger ge-

**Tabelle 4.1.** Vorschlag zur Benennung von Flurförderzeugen

Benennungen von Flurförderzeugen nach DIN ISO 5053		
ISO Code	DIN-ISO 5053	Englisch
3.1.1	Plattformwagen	Fixed platform truck
3.1.2.1	Industrieschlepper	Industrial towing tractor
3.1.2.2	Schubschlepper	Pushing tractor
3.1.3.1.1	Gabelstapler	Counterbalanced lift truck
3.1.3.1.2	Schubstapler (Mast/Gabel)	Reach truck (mast/fork)
3.1.3.1.3	Spreizenstapler	Straddle truck
3.1.3.1.4	Gabelhochhubwagen	Pallet stacking truck
3.1.3.1.5	Hochhubwagen	Platform stacking truck
3.1.3.1.6	Hochhubwagen, man-up	High-lift man-up truck
3.1.3.1.7	Querstapler (nur eine Seite)	Side loading truck
3.1.3.1.8	Geländegängiger Stapler	Rough terrain lift truck
3.1.3.1.9	Seitenstapler (beidseitig)	Lateral stacking truck
3.1.3.1.10	Dreiseitenstapler	Lateral and front stacking truck
3.1.3.1.11	Portalstapler	High-lift straddle truck
3.1.3.2.1	Gabelhubwagen	Pallet truck
3.1.3.2.2	Plattformhubwagen	Stilago (platform) truck
3.1.3.2.3	Portalstapler	Low-lift straddle carrier
3.1.3.3	Kommissionierstapler	Order picking lift truck

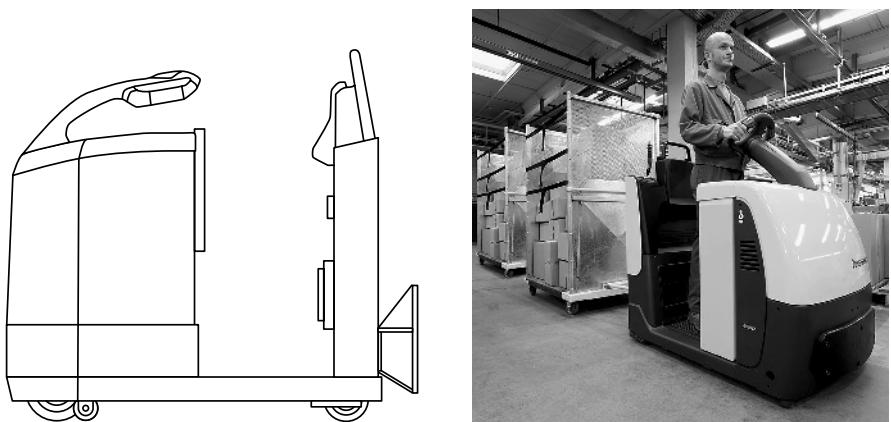
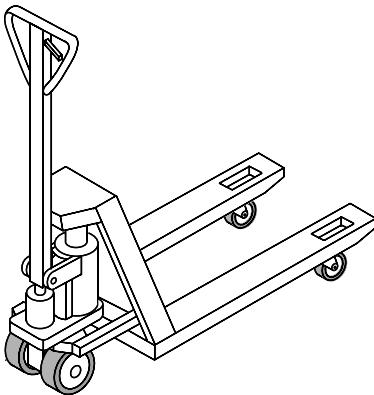


Abbildung 4.34. Schlepper [Foto: Jungheinrich]



Abbildung 4.35. Wagen mit Anhängern [Foto: Linde]

hängt, so dass ein Zug entsteht. Anhänger sind zumeist Plattformwagen oder Handgabelhubwagen (vgl. Abschn. 3.4.4: Fördermittel mit Pufferfunktion). Elektrisch betriebene Schlepper können Züge von bis zu fünf Tonnen Gesamtgewicht ziehen. Schlepper werden zum horizontalen Transport von laufend anfallendem Fördergut über lange Strecken mit wenigen Haltestellen im inner- und zwischenbetrieblichen Einsatz benutzt. Einsatzgebiete sind z. B. die Versorgung des Versandes mit zusammengestellten Aufträgen aus dem Kommissionierbereich oder die Beförderung von Trolleys im Flughafenbereich. Wenn Schlepper eine Plattform zur Beförderung von Gütern besitzen, werden sie als Wagen bezeichnet.

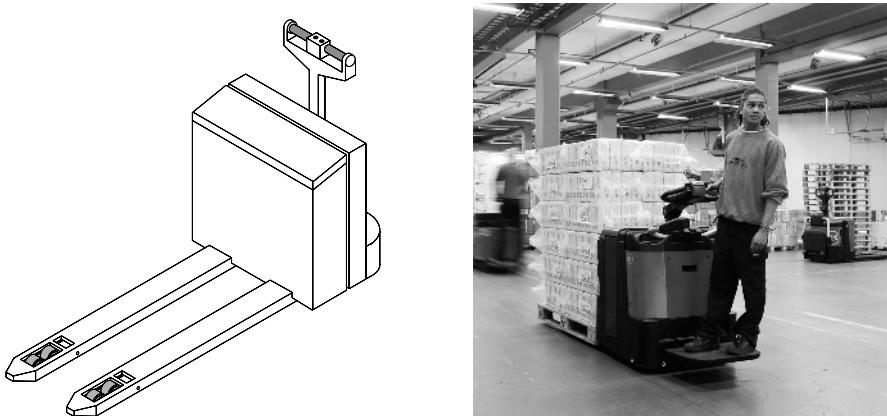


**Abbildung 4.36.** Handgabelhubwagen [Foto: Crown]

### Gabelhubwagen

Gabelhubwagen sind Umschlaggeräte mit Transportfunktion, die für einen Horizontaltransport von auf dem Boden stehenden Ladeeinheiten mit Ladehilfsmitteln wie Europaletten, Chemiepaletten, Gitterboxen, Rollcontainern (vgl. Abschn. 2.4: Ladeeinheitenbildung) oder Ähnlichem geeignet sind (vgl. Abbildung 4.36). Dabei können die Ladehilfsmittel über einen mechanisch oder hydraulisch erzeugten Hub vom Boden aufgenommen werden. Gabelhubwagen bestehen aus zwei Gabeln, die jeweils mit einer nicht angetriebenen, nicht gelenkten Rolle abgestützt sind und einem Rahmen, welcher die Mechanik oder Hydraulik für den Hubvorgang, den Antrieb, die Lenkung, evtl. die Batterie sowie im automatisierten Fall die Steuerung aufnimmt. Gabelhubwagen sind ausnahmslos Dreiradfahrzeuge. Die motorisch angetriebenen Varianten besitzen aber teilweise zusätzliche Stützrollen seitlich des Antriebsrades. Zur Gutaufnahme wird das Ladehilfsmittel unterfahren und um ca. 100 mm angehoben, so dass das Ladehilfsmittel während des Transports den Boden aufgrund von Unebenheiten nicht berührt. Die Lasten können grundsätzlich nur vom Boden aufgenommen und auf den Boden abgesetzt werden, wobei sie innerhalb der Radbasis getragen werden. Man unterscheidet eine manuell bediente Version von Gabelhubwagen mit mitgehender oder mitfahrender Person, die den Wagen über eine Deichsel lenkt, und eine automatische Version. Gabelhubwagen können vorwärts und rückwärts fahren. Sie nehmen in der Regel nur eine Palette auf, können jedoch durch Verwendung verlängerter Gabeln auch zwei Paletten gleichzeitig befördern.

Gabelhubwagen in ihrer manuell bedienten Ausführung sind vom kleinen Betrieb bis zum großen Distributionszentrum weit verbreitete Flurförderzeuge. Begünstigt durch niedrige Investitionskosten erlauben sie große Flexibilität im Einsatz bei der Erfüllung von Transport- und Verladeaufgaben



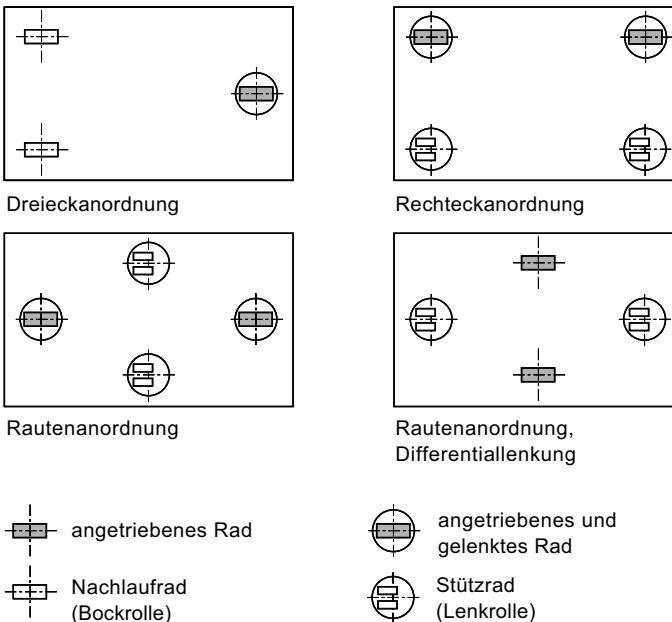
**Abbildung 4.37.** Niederhubwagen mit Fahrerstand [Foto: BT]

in nahezu allen Bereichen, in denen einfache, mobile und flexible Fördermittel spezialisierten Varianten vorgezogen werden. So werden sie zum horizontalen Stückguttransport bei kurzen Transportwegen und mittlerer Transportfrequenz auf Bodenniveau im gesamten Betrieb eingesetzt. Ein bevorzugter Einsatz ist der Palettentransport zwischen Arbeitsplätzen und bei beengten Platzverhältnissen (z. B. bei der Be- und Entladung von Containern, Lkw oder Eisenbahnwagen). Bei längeren Transportstrecken können Gabelhubwagen auch in Verbindung mit Unterflur-Schleppkettenförderern als Transportelement eines Stetigförderersystems (vgl. Abschn. 4.3: Unterflur-Schleppkettenförderer) eingesetzt werden. Die elektrische Variante in Form von Niederhubwagen oder auch Deichselhubwagen (vgl. Abb. 4.37) erschließt neue Einsatzfelder des klassischen Fördermittels. So werden Niederhubwagen in Verbindung mit Bedienerplattformen zum Flurförderzeug für einen längeren Horizontaltransport zur Verbindung verschiedener Funktionsbereiche im Lager. Sie übernehmen z. B. umfangreiche Transportaufgaben in Wareneingang und -ausgang oder in Bodenlägern.

### Stapler – Gemeinsame Grundlagen

Stapler sind Fördermittel mit einer Hubfunktion, die für eine Lastaufnahme bzw. -übergabe von bodeneben gelagertem Fördergut ebenso geeignet sind wie für die Handhabung von Fördergut, das in Regalen gelagert oder übereinander gestapelt ist. Stapler stellen die am meisten verbreitete Form der Flurförderzeuge dar. Sie nehmen über ein Lastaufnahmemittel, das voll auskragend bis nicht auskragend am Fahrzeug angebracht ist, nahezu alle Lagergüter und Ladehilfsmittel auf.

Stapler verfügen über ein Drei- oder Vierradfahrwerk (vgl. Abb. 4.38). Dreiradfahrwerke sind sehr wendig, erfordern allerdings glatte Böden und sind daher nur für den Inneneinsatz geeignet. Vierradfahrwerke besitzen eine

**Abbildung 4.38.** Beispielhafte Radanordnungen

höhere seitliche Kippstabilität (kleinerer wirksamer Hebelarm) und eignen sich daher sowohl für den Außeneinsatz als auch für höhere Traglasten.

Aufgrund der bei manchen Staplerbauformen vorhandenen auskragenden Lastaufnahme muss die Standsicherheit des Fahrzeugs durch besondere Maßnahmen gewährleistet werden. Die Standsicherheit ist ein Maß gegen das Kippen eines Staplers. Sie ist vorhanden, wenn die Summe der Standmomente größer ist als die Summe der Kippmomente, bezogen auf den Kippunkt bzw. die Kippachse.

Die Vierradbauweise eines Staplers ist gekennzeichnet durch eine starre Vorderachse mit den Antriebsrädern und eine lenkbare Hinterachse, die pendelnd in der Mitte der Fahrzeuglängsachse aufgehängt ist (dadurch ergibt sich ein statisch bestimmtes System). Die Aufhängung und Federung der Achse beeinflussen die Standsicherheit des Staplers. Das Standdreieck des Staplers ergibt sich aus der Achsaufhängung und den Antriebsrädern.

Die Dreiradbauweise hat zwei starr aufgehängte Vorderräder und ein gelenktes, oft auch angetriebenes Hinterrad. Sie ergibt ein statisch bestimmtes System. Die Verbindungen der Radaufstandsflächen ergeben drei Kippachsen. Bezogen auf die Vorderachse eines Dreirad- oder Vierradstaplers definiert sich die Kippsicherheit  $\nu$  zu

$$\nu = \frac{G_{\text{Stapler}} \cdot b}{G_{\text{Last}} \cdot a} \geq 1,4 \quad (4.4)$$

mit

- $\nu$  : Kippsicherheit von Staplern
- $G_{\text{Stapler}}$  : Eigengewicht des Staplers
- $G_{\text{Last}}$  : Gewichtskraft der Last
- $a, b$  : Schwerpunktabstände

Bei einem Wert für  $\nu \geq 1,4$  ist die Standsicherheit eines Staplers gewährleistet. Stapler können über einen Einrad- bis Vierradantrieb bewegt und mit Diesel-, Elektro- oder Gasmotoren angetrieben werden.

Kennzeichnendes Merkmal vieler Staplertypen ist das vertikale Hubgerüst, an dem die geschmiedeten Gabeln oder andere Lastaufnahmemittel angebracht sind [VDI 3615]. Das Hubgerüst, auch Hubmast genannt, dient zur vertikalen Bewegung der Hublast und ist somit ein wesentlicher Bestandteil aller Flurförderzeuge mit Hochhubeinrichtung. Es bildet mit dem Lastaufnahmemittel und dem Antrieb das Hubwerk. Es existieren folgende Ausführungsformen von Hubgerüsten (Benennungen nach VDI 3586):

- Einfach-Hubgerüst (EF)
- Zweifachteleskop-Hubgerüst ohne/mit niedrigem Freihub (ZT)
- Dreifachteleskop-Hubgerüst ohne/mit niedrigem Freihub (DT)
- Zweifachteleskop-Hubgerüst mit vollem Freihub (ZZ)
- Dreifachteleskop-Hubgerüst mit vollem Freihub (DZ)
- Vierfachteleskop-Hubgerüst ohne/mit niedrigem Freihub (VT)
- Vierfachteleskop-Hubgerüst mit vollem Freihub (VZ)

Um eine große Hubhöhe bei gleichzeitig kleiner Fahrzeughöhe zu erlangen, ist das Hubgerüst in der Regel teleskopierbar und besteht aus zwei oder drei Segmenten (Duplex- oder Triplexmaste). Die Hubbewegung wird durch die Kombination eines Hydraulikzylinders mit Kettenzügen nach dem Flaschenzugprinzip realisiert. Das Hubgerüst wird weiterhin durch den so genannten Freihub charakterisiert, das ist die maximale Hubhöhe der Gabeln ohne Ausfahren des Hubmastes (entspricht der Hubhöhe beim Einfachhubgerüst). Bei einem teleskopierbaren Hubgerüst beträgt der Normalfreihub ca. 150 mm. In bestimmten Fällen ist jedoch ein größerer Hub bei eingefahrenem Hubgerüst erforderlich (z. B. gleichzeitige Stapelarbeiten innerhalb eines Containers und einer Regalanlage). In diesen Fällen kommen Spezialkonstruktionen zum Einsatz, die den erforderlichen Freihub („Sonderfreihub“) erbringen und die erste Maststufe voll ausnutzen.

Ein Hubgerüst besteht aus einem äußeren Standmast, in dem sich unmittelbar der Gabelträger bewegt (Einfach-Hubgerüst) oder einem Standmast und einem bzw. mehreren inneren Fahrmasten (Zweifach-, Dreifach-, Vierfachhubgerüst), einem oder mehreren Hubzylindern, Hubketten, Neigzylin dern, Gabelträgern und den Gabelzinken. Der Antrieb erfolgt hydraulisch über den Hubzylinder.

Charakterisieren lässt sich das Hubgerüst durch die Bauhöhe des Hubmastes, die Hubhöhe der Gabel, die Tragfähigkeit, die Hubgeschwindigkeit und den Freihub. Der Freihub bezeichnet die Hubhöhe, die ohne Änderung der Bauhöhe zu erreichen ist. Er ist vor allem beim Stapeln in niedrigen Räumen, Containern usw. von erheblicher Bedeutung.

In seiner einfachsten Ausführung, dem Einfach-Hubgerüst, wird der Rahmen häufig ohne Neigezylinder, fest an der vorderen Stirnseite des Staplers angebracht. Der vertikal verfahrbare Hubschlitten wird von einem Hubzylinder, der etwa halb so hoch wie der Rahmen ist, bewegt. Die Hubketten (Laschen-, Buchsen- und Rollketten) sind zum einen am Hubschlitten, zum anderen am Fahrzeugrahmen befestigt und werden über eine mit dem Hubzylinder verbundene Rolle umgelenkt. Durch diese Anordnung wird erreicht, dass die Hubgeschwindigkeit das Doppelte der Auffahrgeschwindigkeit des Hubkolbens beträgt. Einfachhubmaste sind in der Praxis relativ selten anzutreffen, da sie ein ungünstiges Verhältnis zwischen Hub- und Bauhöhe aufweisen. Die Hubhöhen von Einfachhubgerüsten betragen etwa 75% der Bauhöhe, sie liegen im Allgemeinen zwischen 1,5 m und 1,7 m.

Bei Zweifach-Hubgerüsten ist im äußereren, unten am Fahrzeugrahmen gelenkig gelagerten Rahmen ein senkrecht verschiebbarer innerer Rahmen angebracht, in dem der Gabelträger senkrecht bewegt wird. Ein Hubzylinder schiebt über den Gabelträger zunächst um den Freihub nach oben, bis der am Kopf des Hubkolbens liegende Nocken auf den Verbindungssteg des inneren Rahmens trifft (vgl. prinzipiell auch Abb. 4.39 und Abb. 4.40). Von dieser Hubhöhe an bewegt der Kolben den inneren Rahmen und zugleich, mit doppelter Geschwindigkeit, den Gabelträger. Die über Umlenkrollen geführten Ketten sind zum einen am Hubschlitten und zum anderen am oberen Ende der Hubzylinder befestigt. Über einen Neigezylinder können in der Regel Neigungswinkel des Hubgerüsts zur Senkrechten zwischen 5 und 8° vorwärts und 5 und 12° rückwärts eingestellt werden. Die Neigung nach vorne dient der besseren Lastaufnahme, die Neigung nach hinten der Laststabilisierung während des Transports. Unterscheiden lassen sich Zweifach-Hubgerüste in Hubgerüste mit Normal- und Sonderfreihub sowie Freisicht-Hubgerüste. Während der Freihub normaler Hubgerüste ca. 0,1 m bis 0,2 m beträgt, besitzen Sonderfreihub-Gerüste einen erweiterten Freihub von ca. 1 m bis 2,7 m, abhängig von der Bauhöhe des Hubgerüsts. Der erweiterte Freihub ist durch getrennte Hubzylinder zu erreichen, dieses Konzept ist natürlich mit höherem Aufwand verbunden. Da die Sicht der Fahrer durch den Hubmast häufig sehr eingeschränkt wird, wurden Freisicht-Hubgerüste entwickelt. Hierbei wird der einzelne zentrale Hubzylinder durch zwei parallel arbeitende, in die seitlichen Mastprofile integrierte Hubzylinder ersetzt oder ein niedrigerer Hubzylinder verwendet. Dies hat den Vorteil der wesentlich besseren Sicht nach vorne durch den Mast. Dieses Konzept hat sich trotz der doppelten Anzahl an Hubzylindern auch bei den Doppel- und Dreifachhubmästen durchgesetzt. Doppelhubmästen, die auch als Einfach-Teleskopmästen oder

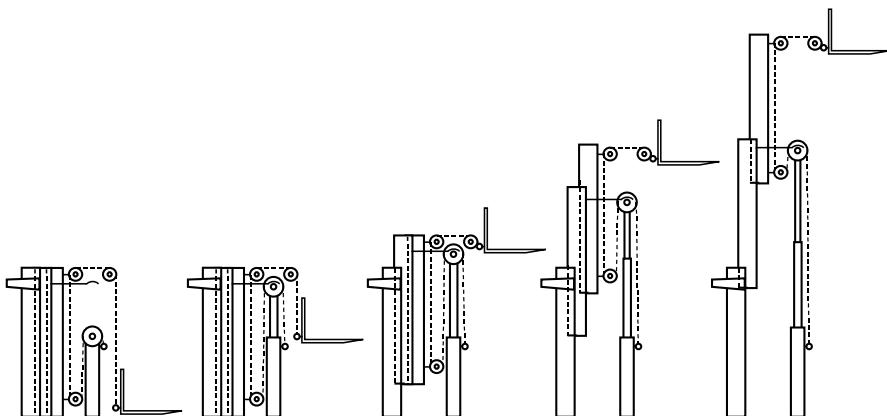


Abbildung 4.39. Prinzipieller Aufbau eines Dreifachhubmastes

Duplex-Hubgerüste bezeichnet werden, stellen die am häufigsten verwendete Bauart dar. Die Hubhöhen von Zweifach-Hubgerüsten betragen in der Regel zwischen 2,3 m und 5 m, bei Bauhöhen zwischen 2 m und 4 m.

Der Dreifachhubmast (vgl. Abb. 4.39 und Abb. 4.40), auch Triplex-Hubgerüst genannt, ist dem Aufbau des Doppelhubmastes ähnlich, er besitzt jedoch zwei Fahrmaстen mit Hubzylinдern. Der Hubkolben am Standmast drückt die beiden Fahrmaстen hoch, während der zweite Hubkolben den inneren Hubmast und den Hubschlitten anhebt. Mehrfach teleskopierbare Maстen ermöglichen große Hubhöhen bei relativ kleiner Freihubhöhe. Wegen der erforderlichen Standsicherheit reduziert sich jedoch die maximale Traglast. Es existieren Bauhöhen von Dreifach-Hubgerüsten zwischen 1,8 m und 3,4 m, wobei Ausführungen mit maximalen Hubhöhen bis etwa 13 m existieren. Vierfachhubgerüste sind bisher nur vereinzelt bekannt geworden und werden vor allem in Kühlhäusern angewendet.

Alternativ zum Hubgerüst werden auch teleskopierbare Ausleger (Teleskopstapler, vgl. S. 182) oder vertikal verfahrbare Lastträger (Portalstapler, vgl. S. 182) eingesetzt.

Die Hubbewegung erfolgt in der Regel hydraulisch. Bei elektromotorisch angetriebenen Staplern ist ein getrennter Antriebsmotor für die Hydraulikanlage vorgesehen, der nur bei der Hubbewegung eingeschaltet wird. Bei Staplern mit verbrennungsmotorischem Antrieb ist die Hydraulikpumpe mit dem Fahrzeugmotor gekoppelt und läuft ständig mit. Dazu wird, wenn keine Hubbewegung erfolgt, der Druckkreislauf kurzgeschlossen. Die leistungsstarken Dieselmotoren ermöglichen dabei eine höhere Hubgeschwindigkeit als die batteriebetriebenen Antriebe, vor allem bei großen Hublasten.

Seit einiger Zeit werden Systeme mit Energierückgewinnung beim Senken unter Last (Nutzhub) bei batteriebetriebenen Staplern angeboten. Entsprechendes gilt für die so genannte Nutzbremsung. Der Einsatz von umrichterge-



**Abbildung 4.40.** Aufbau eines Drei-fachhubmastes [Foto: Crown]



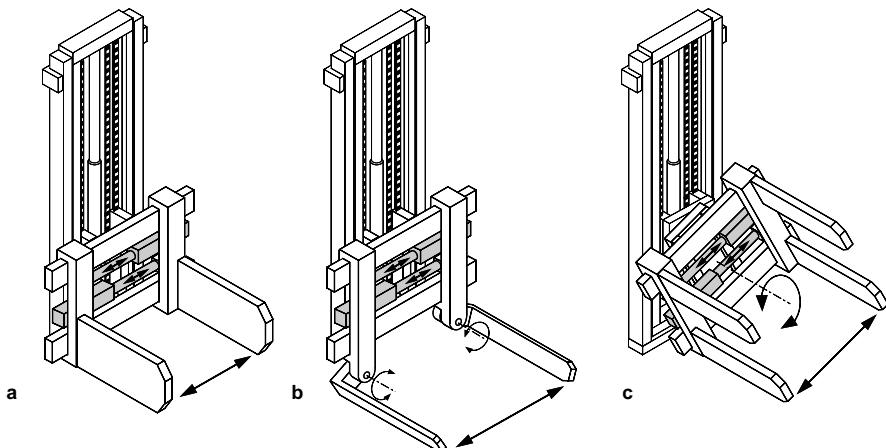
**Abbildung 4.41.** Stapler mit Drehkabine [Foto: Jungheinrich]

speisten Drehstromantrieben verspricht im Vergleich zu den herkömmlichen Gleichstromantrieben eine deutlich bessere Dynamik und einen geringeren Wartungsaufwand (keine Kohlebürsten oder Kollektoren).

Neben der allgemein üblichen Ausführung eines Gabelstaplers mit zwei Gabelzinken für die Aufnahme einer einzelnen Palette existieren vielfältige Anbaugeräte, die für spezielle Anwendungen einsetzbar sind. Die universelle Einsetzbarkeit des Staplers stellt hier zwar einen erheblichen Vorteil dar, jedoch muss berücksichtigt werden, dass neben erhöhten Investitionskosten beispielsweise die Sichtverhältnisse beeinträchtigt, die Nutzlast des Staplers durch das Gewicht des zusätzlichen Gerätes vermindert und die Standfestigkeit verschlechtert werden, falls das Transportgut sehr weit außerhalb der Fahrzeuggradbasis gehoben wird.

Für den Transport einiger nichtpalettierter Güter mittels Stapler lassen sich Klammern verwenden. Dabei wird die Last durch eine kraftschlüssige Verbindung zweier horizontal beweglicher Klammern aufgenommen (vgl. Abb. 4.42 a). Bei dieser Art der Lastaufnahme können nur solche Güter gegriffen werden, die durch die Druckkräfte nicht beschädigt werden. Klammern eignen sich zum Greifen von Fässern, Ballen oder Kisten. Abbildung 4.42 b zeigt eine kombinierte Bauform, bei der die Gabelzinken zusätzlich drehbar angeordnet sind, so dass sie je nach aufzunehmender Last als Klammer oder aber auch für das Unterfahren zur Aufnahme von Paletten eingesetzt werden können.

Weitere Sonderlösungen werden zum Transport spezieller Güter wie z. B. Langholz, Schrott, Papierrollen, Teppiche u. Ä. eingesetzt. Sollen größere Umschlagleistungen erzielt werden, bietet sich der Einsatz von Gabelstaplern mit Mehrfachgabeln an. Sie werden in starrer oder horizontal verstellbarer Ausführung eingesetzt, bei der zwischen der Aufnahme einer oder mehrerer Pa-



**Abbildung 4.42.** Anbaugeräte: Gabelklammer ohne (a) und mit (b) integrierter Zinkendrehvorrichtung, drehbare Gabelklammer (c)

letten gewählt werden kann und die Zinken auf die unterschiedliche Lage der Paletten angepasst werden. Verlängerte Zinken sind in der Lage, zwei Paletten hintereinander aufzunehmen, so dass in Verbindung mit Mehrfachgabeln entweder zwei oder vier Paletten gleichzeitig umgeschlagen werden können. Die Methode wird oftmals zur Be- und Entladung von Lkw eingesetzt. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die zu diesem Zweck eingesetzten Gabelstapler erheblich größere Abmessungen und Wenderadien aufweisen, was ggf. zu größeren Arbeitsgangbreiten und einer Verschlechterung der Lagerflächennutzung führt.

Weiterhin können Anbaugeräte verwendet werden, mit denen man die aufgenommene Last zusätzlich noch manipulieren kann. Durch eine entsprechende Vorrichtung kann das Gut bzw. die Palette gedreht werden, um es so in eine geeignete Lage zu bringen oder um einen Behälter auszukippen (vgl. Abb. 4.42 c).

Stapler bedürfen, da sie heute noch weitgehend manuell bedient eingesetzt werden, einer konstruktiven Gestaltung unter ergonomischen Gesichtspunkten. Dies gilt vor allem für die Sitzposition des Fahrers und die Sichtverhältnisse, die nur in möglichst geringem Umfang durch die vor dem Fahrer angeordnete Mastkonstruktion beeinträchtigt werden dürfen. Unter dem Einfluss des Faktors Ergonomie wurde von der Fa. Jungheinrich ein Gabelstapler mit Drehkabine entwickelt, der über eine  $180^\circ$  drehbare Kabine mit automatischer Umschaltung von Lenksinn und Fahrtrichtung ein ergonomisches Rückwärtsfahren ermöglicht (vgl. Abb. 4.41).

Im Unterschied zu anderen Fördermitteln für die Lagerbedienung (z. B. Regalbediengeräten) können Stapler das Lager verlassen. Ihr Arbeitsbereich umfasst auch die Lagervorzone und die Produktion. Dadurch können Um-

schlagvorgänge eingespart werden. Restriktionen bei der Layoutplanung sind hierbei, dass Türen und Tore auf die Staplerhöhe ausgerichtet sein müssen. Größere Steigungen sind zu vermeiden, da dies die Batterie der Elektro-Stapler sehr stark belastet. Neben einem Einsatz in der Produktion können Stapler auch im Versand zur Be- und Entladung von Lkw und Eisenbahnwagen Verwendung finden. Dies geschieht sowohl von der Seite auf Flurniveau als auch durch Befahren des Lkw bzw. Eisenbahnwagens über Rampen. Entsprechend müssen Tragfähigkeit und Laderraumabmessungen des Verkehrsmittels und Staplergewichte und -abmessungen in Einklang gebracht werden.

Ein Problem stellt häufig die Koordination großer Staplerflotten dar. Die herkömmliche Art der Steuerung mit Auftragslisten auf Papier wird schnell sehr unüberschaubar und reagiert unflexibel auf plötzliche Änderungen. Aus diesem Grund werden Stapler in automatische Staplerleitsysteme mit einem zentralen Steuerungsrechner und mobilen Terminals (Funkterminals mit WLAN) auf den Staplern eingebunden. Vorteilhaft sind dabei sowohl die Art der Informationsübertragung (Übertragungssicherheit) als auch die Möglichkeiten auf der dispositiven Seite. Durch eine entsprechende Verwaltung und Optimierung der Fahraufträge können die einzelnen Fahrzeuge nach entsprechenden Strategien optimiert eingesetzt werden (z. B. kürzeste Anschlusswege, Gleichauslastung der Flotte).

Stapler existieren in zahlreichen Ausführungen, von denen Gabelstapler, Teleskopstapler, Spreizenstapler, Schubgabelstapler, Schubmaststapler, Quergabelstapler, Vierwegestapler, Teleskopstapler, Gelenkstapler, Portalstapler, Hochregalstapler und Kommissionierstapler im Folgenden betrachtet werden.

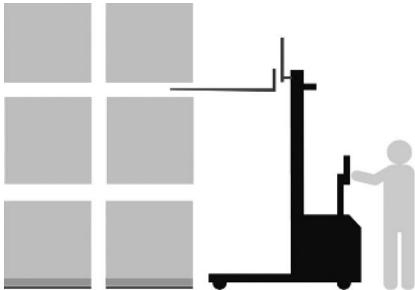
### **Hochhubwagen/Elektrohochhubwagen**

Hochhubwagen sind angetriebene Flurförderzeuge mit einer Hubeinrichtung, die ein Stapeln ermöglicht (vgl. Abb. 4.43). Im Hochhubwagen sind die Elemente eines Gabelhubwagens mit denen eines Staplers vereint.

Dabei können sie als deichselgeführtes Mitgängerfahrzeug oder als Fahrzeug mit Fahrerstandplattform ausgeführt sein. Die als Schalen ausgebildeten Gabelzinken liegen auf einem starken, von Laufrollen gestützten Gabelträger auf und werden von einem Hubgerüst bis auf 5,5 m Höhe gehoben. Das Hubgerüst entspricht dem eines Gabelstaplers, ist allerdings nicht neigbar, sondern starr gelagert. Die Tragfähigkeiten erreichen bis zu 3,2 Tonnen. Die Unterfahrhöhen entsprechen denen der Gabelhubwagen. Hochhubwagen verfügen über zwei getrennte Hubeinrichtungen. Zum einen besitzen sie den Radarmhub und zum anderen den Masthub. Durch den Radarmhub können Bodenunebenheiten, Überfahrbleche, Rampen und Ladebrücken analog zu den Hubwagen überwunden und befahren werden. Der Masthub ermöglicht die Stapelung von bis zu fünf Paletten übereinander in einem Regal. Die beiden Hubeinrichtungen arbeiten getrennt voneinander und ermöglichen somit einen Doppelstocktransport von zwei Paletten gleichzeitig. Neben der Stapel-

**Hochhubwagen (pedestrian pallet stacker)**

Fahrgeschwindigkeit	6 km/h	Hubhöhe	bis ca. 5,5 m
Hubgeschwindigkeit	0,03 – 0,07 m/s	Tragfähigkeit	1 – 3,2 t
Antriebsleistung	2 – 6 kW	Stapelhöhe (CCG I/CCG II)	6 und 3 Paletten

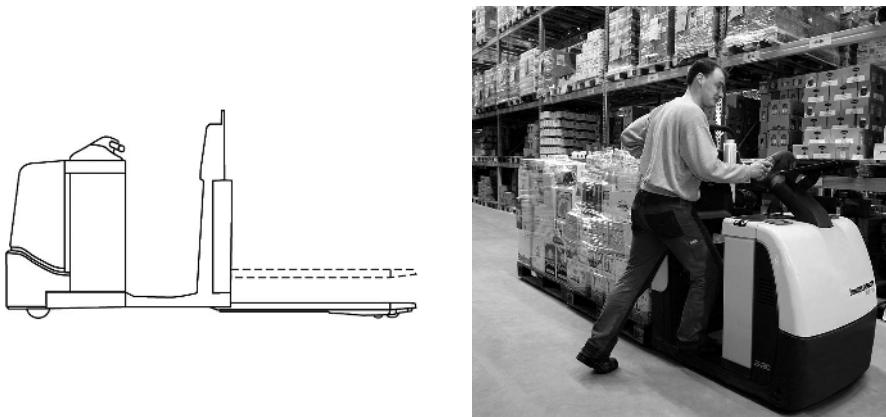


**Abbildung 4.43.** Hochhubwagen [Foto: Crown]

fähigkeit können Hochhubwagen auch für Kommissioniertätigkeiten wie das Einsortieren von Ware in ein Regal oder das Zuführen von Material an eine Maschine eingesetzt werden, da die Hubeinrichtungen ein ergonomisches Greifen der Ware ermöglichen. Zunehmend werden Hochhubgeräte für Horizontaltransporte in der Intralogistik zwischen Wareneingang und Lager und bei der Verladung eingesetzt, da durch die Kapazitätserhöhung aufgrund des Doppelstocktransports eine höhere Leistung bei den oftmals langen Wegen in Wareneingang/-ausgang erreicht wird. Besonders die Be- und -Entladung von Lkw kann, im Fokus kürzerer Verladezeitfenster, schneller abgewickelt werden.

### Horizontal-Kommissionierfahrzeug

Horizontal-Kommissionierfahrzeuge (vgl. Abb. 4.44) sind angetriebene Flurförderzeuge für den Mitfahr- oder Mitgängerbetrieb die aufgrund ihrer Hubhöhen Ladeeinheiten aufnehmen aber nicht stapeln können. Sie ermöglichen dem Kommissionierer die Entnahme von Artikeln aus der ersten oder zweiten Palettenebene und eine schnelle Horizontalfahrt zwischen den einzelnen Entnahmepositionen. Sie können eine oder zwei Paletten (hintereinander) aufnehmen und sind als Steuerung mit einer Deichsellenkung für den Mitgängerbetrieb oder mit einer Lenkradlenkung für den Mitfahrbetrieb



**Abbildung 4.44.** Horizontal-Kommissionierfahrzeug [Foto: Jungheinrich]

ausgestattet. Der Fokus bei der Entwicklung dieser Fahrzeuge liegt in der optimalen Unterstützung des Kommissionierungsvorgangs der Person-zur-Ware-Kommissionierung in Palettenlägern. Horizontal-Kommissionierfahrzeuge können mit einem Zusatzhub von ca. 700 mm realisiert sein, um dem Kommissionierer ein Palettieren in ergonomischer Höhe zu ermöglichen. Horizontal-Kommissionierfahrzeuge erweitern die Funktionen der weitverbreiteten Gabelhubwagen um die Kommissioniererunterstützung und die schnelle Anbindung an den Warenausgang.

### Vertikal-Kommissionierfahrzeug

Ein Vertikal-Kommissionierfahrzeug (vgl. Abb. 4.46) oder auch Hochhub-Kommissionierfahrzeug ist eine Kombination aus einem Hochhubwagen mit einem Horizontal-Kommissionierfahrzeug auf dem Weg zum Kommissionierstapler. Im Vergleich zur horizontalen Variante ist ein Hubmast installiert, der sowohl Bediener als auch Palette anheben kann und ein Kommissionieren aus der sechsten bis hin zur zehnten Palettenebene ermöglicht. Die Gabel ist starr ausgeführt, dient nur dem Ablegen der kommissionierten Artikel und das Fahrzeug übernimmt keine Ein- oder Auslageraufgaben. Die Kommissionierfahrzeuge übernehmen nur Entnahmearbeiten, die Nachschubversorgung der Regale erfolgt über Stapler. Mit gesteigerter Hubhöhe und der Ausstattung mit einer Schwenkschubgabel sowie den nötigen konstruktiven Änderungen wird prinzipiell aus einem Vertikal-Kommissionierfahrzeug ein Kommissionierstapler, der somit auch ganze Paletten ein- und auslagern kann.

### Gabelstapler

Gabelstapler nehmen das Fördergut freitragend, außerhalb ihrer Radbasis, mit frontal an einem Hubgerüst befestigten Gabeln auf und heben es an (vgl.



**Abbildung 4.45.** Horizontal-Kommissionierfahrzeuge [Foto: Jungheinrich]



**Abbildung 4.46.** Vertikal-Kommisionierfahrzeug [Foto: Jungheinrich]

Abbildung 4.47). Um die Lastaufnahme zu erleichtern, wird das Hubgerüst hierzu um  $3^\circ$  nach vorn geneigt. Im angehobenen Zustand wird das Hubgerüst um  $8^\circ$  bis  $10^\circ$  nach hinten geneigt, um ein Abrutschen des Fördergutes während der Fahrt zu vermeiden.

Da das Hubgerüst mit der Last vor den Vorderrädern der Stapler angeordnet ist, sind Gabelstapler am hinteren Fahrzeugende mit einem Gegengewicht versehen. Um ein möglichst hohes Nutzgewicht zu erzielen wird dies erforderlich, damit der Stapler beim Bremsen nicht kippt und die Antriebsräder nicht zu sehr entlastet werden.

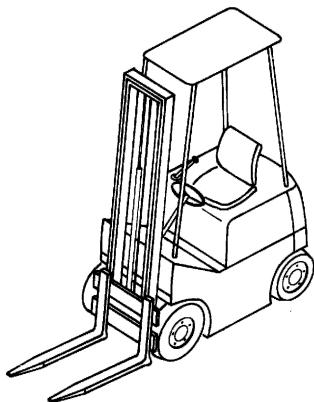
Gabelstapler weisen auf der dem Hubgerüst zugewandten Vorderseite starre ungelenkte Räder auf und an der Heckseite die Lenkung entweder als Einzelrad oder als Achse mit zwei gelenkten Rädern, die als Drehschemel- oder Achsschenkellenkung ausgeführt ist.

Gabelstapler sind in der Standardausführung mit geschmiedeten Gabeln ausgerüstet. Ihr großer Vorteil ist, dass sie mit zahlreichen alternativen Lastaufnahmemitteln (Anbaugeräten, nach [DIN 15136] oder [VDI 3578]) einer sehr großen Anzahl von Einsatzfällen angepasst werden können. Für besondere Einsatzfälle werden Gabelstapler in Schwerlastausführung eingesetzt. Dies ist beispielsweise in Containerterminals erforderlich, wo Containerstapler 40-Fuß-Container transportieren und stapeln. Gabelstapler werden sowohl manuell als auch automatisiert ausgeführt.

Für Lasten bis 5 t und in geschlossenen Räumen werden vor allem Elektrostapler eingesetzt. Für größere Lasten werden diesel- oder treibgasbetriebene Stapler eingesetzt. Bei Groß- bzw. Containerstaplern liegt die maximale Hublast bei bis zu 52 t. Die Hubhöhen liegen, je nach Ausführungsform des

**Gegengewichtstapler (fork lift truck/counterbalanced lift truck)**

Fahrgeschwindigkeit	9 – 35 km/h	Hubhöhe	bis ca. 9 m
Hubgeschwindigkeit	0,23 – 0,65 m/s	Tragfähigkeit	1 – 16 t
Antriebsleistung	4 – 120 kW	Stapelhöhe (CCG I/CCG II)	8 und 5 Paletten



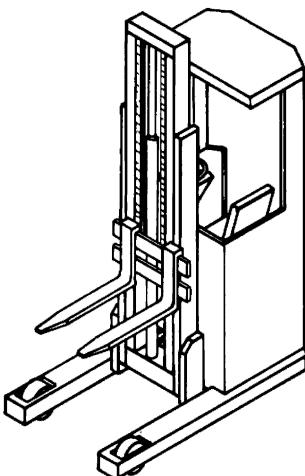
**Abbildung 4.47.** Gegengewichtstapler (Gabelstapler) [Foto: Still]

Hubgerüsts (Einfach-, Zweifach- oder Dreifachhubgerüst) zwischen 2 m und 8 m, bei Containerstaplern bei etwa 15 m.

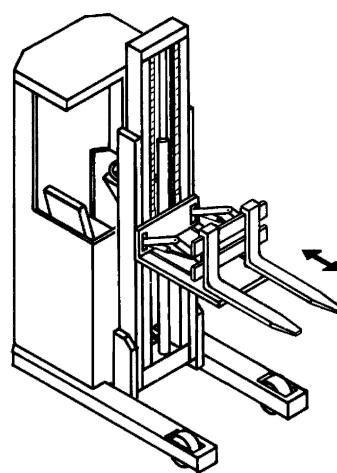
Gabelstapler finden in intralogistischen Systemen als flexibles Arbeitsmittel an zahllosen Stellen Einsatzmöglichkeiten aus einer Kombination von horizontalem Stückguttransport mit Stapelarbeiten. Gefördert werden dabei in der Mehrzahl Güter auf Ladehilfsmitteln wie Euro-, Chemiepaletten, Gitterboxen oder Einzelteile bzw. bei anderen Anbaugeräten die spezifischen Güter (z. B. Fässer).

**Spreizenstapler/Radarmstapler**

Spreizenstapler nehmen das Fördergut mit starren Gabeln, die an einem nicht neigbaren Hubmast befestigt sind, so auf, dass der Schwerpunkt innerhalb ihrer Radbasis liegt (vgl. Abbildung 4.48). Durch die verringerte Kippgefahr können sie sehr kurz ausgeführt werden und erfordern daher nur geringe Arbeitsgangbreiten im Lager. Dieser Vorteil wird durch die im Allgemeinen seitliche Sitzanordnung begünstigt. Die seitliche Sitzanordnung ermöglicht gleichzeitig eine gute Sicht sowohl nach vorn als auch nach hinten. Da weiterhin auf der Staplerrückseite eine ungehinderte Sicht besteht, werden Spreizenstapler während des Transports zumeist rückwärts verfahren, was sich



**Abbildung 4.48.** Spreizenstapler



**Abbildung 4.49.** Schubgabelstapler

im Zusammenspiel mit der üblichen Dreiradanordnung auf die Fahrstabilität positiv auswirkt.

Die Vorderräder sind in seitlich am Fördergut vorbeikragenden Spreizen (Radarme mit 900, 1100 oder 1300 mm Innenabstand) starr, nicht angetrieben und nicht gelenkt angebracht. Spreizenstapler sind daher bei einer Bodenaufnahme oder -abgabe lediglich für Ladeeinheiten, welche zwischen die vorgezogenen Spreizenfüße passen, geeignet. Dies sind zum Beispiel längsstehende Europaletten, während querstehende Europaletten nicht aufgenommen werden können. Bei Bodenlagerung und bei Regallagerung muss für das Einfahren der Füße zum Aufnehmen oder Abgeben der Last auf der Flurebene ein entsprechender Raum von etwa 200 mm zwischen den Ladeeinheiten vorhanden sein. Die Antriebsachse der üblicherweise dreirädrigen Ausführung liegt stets auf der lastabgewandten Seite.

Spreizenstapler werden in ihrer grundsätzlichen Ausführung nur noch selten eingesetzt, da sie von den mit verschiebbarem Mast ausgestatteten und ansonsten baugleichen Schubmaststaplern aufgrund der umfangreicheren Einsatzmöglichkeiten abgelöst wurden.

### **Schubgabelstapler**

Schubgabelstapler sind ähnlich aufgebaut wie Spreizenstapler. Mit im Prinzip gleich aufgebautem Fahrwerk und Rahmen besitzen sie ebenfalls einen starren, nicht neigbaren Mast. Sie sind jedoch anstelle der starren Gabeln mit einer zumeist hydraulisch betätigten Teleskopgabel ausgerüstet (vgl. Abbildung 4.49). Sofern der Innenabstand der Spreizen (Radarme) größer als 800 mm ist, können sie längsstehende Paletten vom Boden aufnehmen und zwischen die Spreizen ziehen. Querstehende Paletten müssen zunächst mit

ausgefahrener Schubgabel außerhalb der Radbasis je nach Staplerbauform um ca. 300 bis 350 mm angehoben werden. Erst dann können sie mit der Schubgabel über die Spreizen zumindest teilweise in die Radbasis hineinbewegt werden.

Schubgabelstapler sind in Deutschland nur noch selten im Einsatz, im Gegensatz zu Großbritannien. Die Geräte werden bevorzugt bei der Stapelung im Blocklager und für die Be- und Entladung von Lkw bzw. Eisenbahnwagen eingesetzt. Eine Einlagerung ist bei diesen Flurförderzeugen auch ohne Einfahrräume für die Spreizen möglich. Falls Einfahrräume vorhanden sind, ist die Lagerung in der zweiten Reihe sowie mittiges Absetzen auf dem Lkw möglich.

### **Schubmaststapler**

Schubmast- oder Schubrahmenstapler (vgl. Abbildung 4.50) gleichen ebenfalls den Spreizenstaplern. Sie sind in intralogistischen Systemen weitverbreitet. Mit im Prinzip gleich aufgebautem Fahrwerk und Rahmen besitzen sie einen längsverschiebbaren, teilweise auch neigbaren Schubmast mit starren Gabeln oder aber einen starren Schubmast mit neigbaren Gabeln. Zur Lastaufnahme oder -abgabe wird der gesamte Mast über Rollen in den Spreizen (Radarmen) hydraulisch nach vorn geschoben, bis sich die Gabeln unter der Ladeeinheit befinden. Bei Längseinlagerung von Paletten ist eine Bodenlagerung möglich, bei Quereinlagerung von Paletten muss die Ladeeinheit ebenfalls zuerst um 300 bis 350 mm angehoben werden, um über die Spreizen gezogen werden zu können. Im Standard-Palettenregal mit einfachtiefer Einlagerung besitzen sie die gleiche Funktionalität wie die im Abschnitt zuvor beschriebenen Schubgabelstapler. Schubmaststapler sind Hauptbestandteil der meisten intralogistischen Systeme und vereinen die Vorteile zweier Staplerbauarten – das stabile und wendige Fahrverhalten der Hubwagen für den Horizontaltransport mit der flexiblen Lastaufnahme der Gegengewichtsstapler.

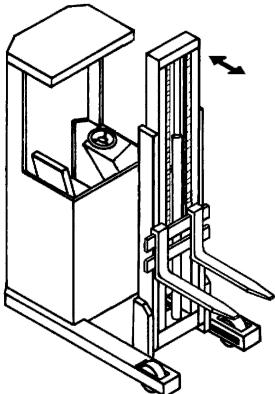
### **Hochregalstapler**

Hochregalstapler sind Stapler mit nicht negbarem, teleskopierbarem Hubmast, an den verschiedene Lastaufnahmemittel angebracht sein können (vgl. Abb. 4.51). Durch ihre konstruktive Gestaltung sind sie in der Lage, Regale bis zu einer Höhe von ca. 12 m zu bedienen. Kennzeichnendes Merkmal ist die seitliche Lastaufnahme, wodurch nur schmale Lagergassen erforderlich sind, da der Stapler zur Lastaufnahme keine Drehung vollziehen muss (vgl. [VDI 3577]). Aus Gründen der Sicherheit und um den Fahrer zu entlasten, sind sie im Regalgang zwangsgeführt oder -gelenkt (mechanische oder induktive Seitenführung).

Im manuell bedienten Fall werden Hochregalstapler zur Unterstützung des Fahrers für die Horizontalfahrt mit Markierungen am Boden und an den Regalen und für die Vertikalfahrt mithilfe von Marken am Hubmast positioniert.

**Schubmaststapler (reach mast truck)**

Fahrgeschwindigkeit	7 – 14 km/h	Hubhöhe	bis ca. 12 m
Hubgeschwindigkeit	0,15 – 0,5 m/s	Tragfähigkeit	1 – 2,5 t
Antriebsleistung	5 – 20 kW	Stapelhöhe (CCG I/CCG II)	12 und 7 Paletten



**Abbildung 4.50.** Schubmaststapler [Foto: Hyster]

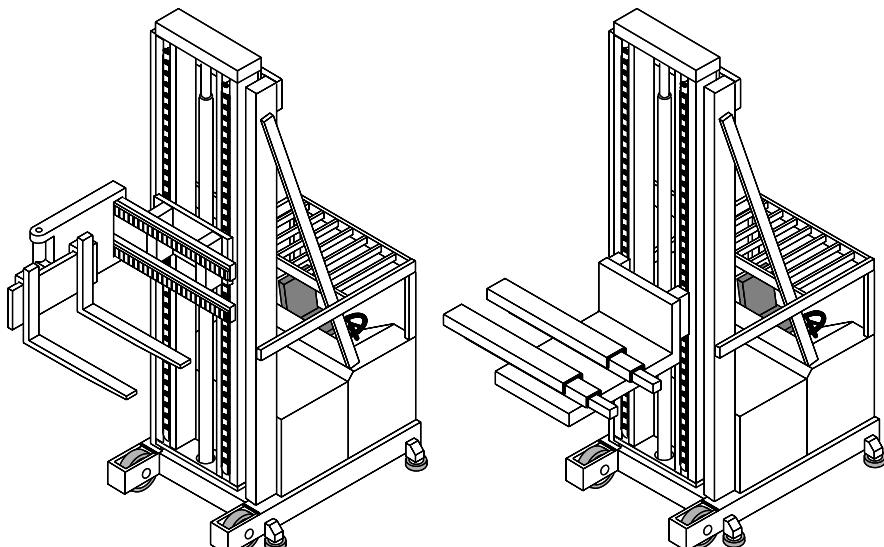
Darüber hinaus existieren automatische Höhenvorwahlsysteme. Da bei großen Hubhöhen der Ein- und Auslagerungsvorgang schwierig zu überwachen ist, kommen unterschiedliche Hilfsmittel wie Kameraüberwachung oder kippbare Fahrerkabinen zum Einsatz. Zur Erhöhung der Umschlagsleistung bei Diagonalfahrt wird auch eine hubhöhengesteuerte Fahrgeschwindigkeitsanpassung vorgenommen (bei großen Hubhöhen sind Fahrgeschwindigkeit und Beschleunigung begrenzt). Da der Bediener während der Lageroperationen auf Flurniveau verbleibt, werden die Hochregalstapler auch als Man-Down-Geräte bezeichnet.

Hochregalstapler werden in Zeilenregalen für Paletten bei einer Stapelhöhe bis zu 13 m (vgl. Abschn. 3.3) zum Ein- und Auslagern ganzer Ladeeinheiten eingesetzt, wenn mittlere bis schwere Gewichte (max. bis ca. 1,25 t) bei relativ geringer Umschlagsleistung mit ein oder zwei Geräten aus mehreren Gassen ein- bzw. ausgelagert werden sollen und eine Verfahrbarkeit der Lagerbediengeräte in die Lagervorzone oder in die Produktion gewünscht ist. In bestimmten Leistungsbereichen stellen sie also eine Konkurrenz zu Regalbediengeräten dar. Die wichtigsten Lastaufnahmemittel sind Teleskopgabeln und Schwenkschubgabeln.

In der Ausführung mit einer Schwenkschubgabel wird der Hochregalstapler auch als Dreiseitenstapler bezeichnet. Eine Schwenkschubgabel lässt sich

**Hochregalstapler (narrow-aisle truck, bi- and tri-lateral stacker)**

Fahrgeschwindigkeit	9 km/h	Hubhöhe	bis ca. 13 m
Hubgeschwindigkeit	0,3 – 0,4 m/s	Tragfähigkeit	1 – 1,25 t
Antriebsleistung	15 – 17 kW	Stapelhöhe (CCG I/CCG II)	13 und 7 Paletten



**Abbildung 4.51.** Hochregalstapler mit Schwenkschubgabel und mit Teleskopgabel

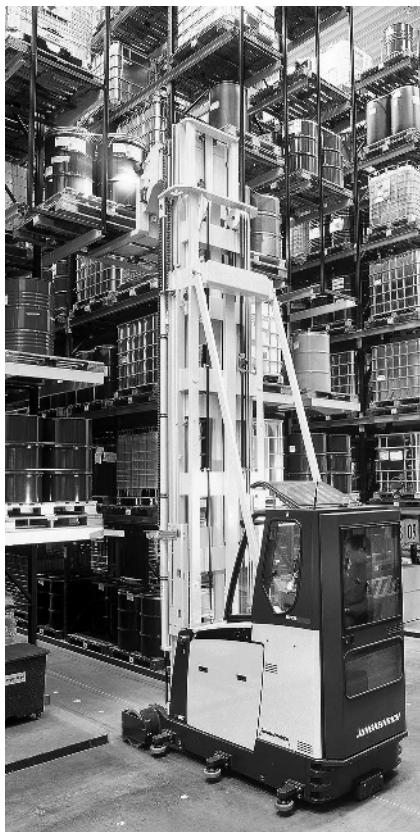
seitlich bewegen und um  $90^\circ$  aus der Mittelstellung (Gabel in Fahrtrichtung) seitlich schwenken. Beim Ein- und Auslagern schwenkt die Gabel zunächst in Richtung auf das jeweilige Lagerfach (vgl. Abb. 4.51). Dann verfährt sie seitlich vollständig in Gabelrichtung, so dass sie sich in dem gewünschten Fach befindet. Durch Heben (beim Auslagern) oder Senken (beim Einlagern) des gesamten Lastaufnahmemittels wird das Gut angehoben oder abgesetzt. Die Schwenkbarkeit der Gabeln ermöglicht sowohl eine Ein- und Auslagerung in Fahrtrichtung als auch eine Ein- und Auslagerung auf den einander gegenüberliegenden Regalseiten. Bei ausreichend breiten Lagergassen kann der Schwenkvorgang in der Gasse erfolgen, so dass Umlagerungen in den einander gegenüberliegenden Lagerzeilen möglich sind.

In der Ausführung mit einer Teleskopgabel wird der Hochregalstapler auch als Zweiseitenstapler bezeichnet. Eine Teleskopgabel ist quer zur Fahrtrichtung vorn am Fahrzeug als Lastaufnahmemittel am Hubmast angebracht und lässt sich nach beiden Seiten ausfahren. Dies bedingt, dass diese Stapler ge-

genüber Staplern mit Schwenkschubgabel in schmalen Lagergassen verfahren, aber keine Bodenaufnahme der Ladeeinheiten durchführen können (vgl. Abb. 4.51).



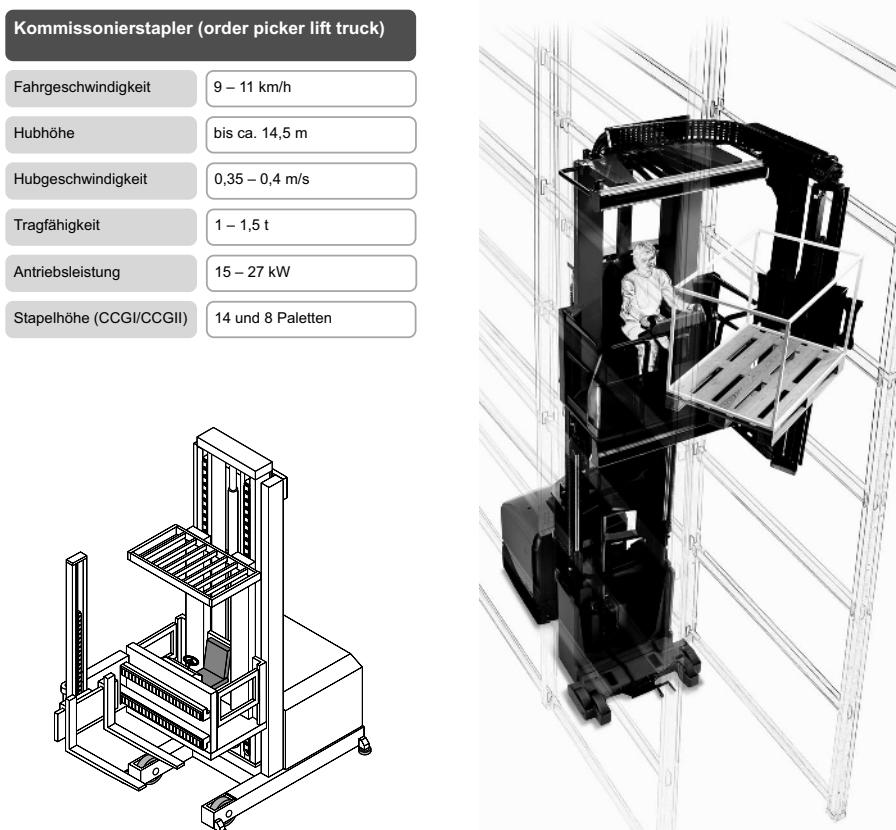
**Abbildung 4.52.** Zusammenspiel zwischen verschiedenen Unstetigförderern  
[Foto: Still]



**Abbildung 4.53.** Hochregalstapler  
[Foto: Jungheinrich]

### Kommissionierstapler

Kommissionierstapler (vgl. Abb. 4.54) besitzen einen Bedienstand, der gemeinsam mit dem Lastaufnahmemittel an einem Hubgerüst vertikal verfahrbar ist (Primärhub). Oftmals ist das Lastaufnahmemittel relativ zur Fahrbereichskabine zusätzlich verfahrbar (Sekundärhub), um so dem Kommissionierer das Ablegen der Ware bzw. das Aufbauen einer palettierten Ladeeinheit zu erleichtern. Das Lastaufnahmemittel befindet sich zu Beginn eines Kommissionierauftrages in der obersten Stellung des Sekundärhubes. Es wird bei

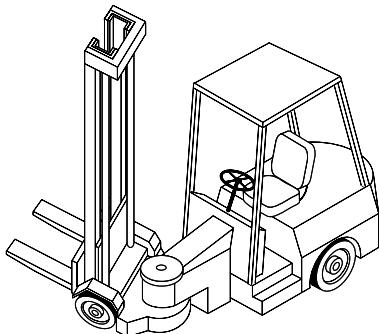


**Abbildung 4.54.** Kommissionierstapler [Abb.: Crown]

fortschreitender Kommissionierung mit steigender Lagenhöhe auf der Palette relativ zur Fahrerkabine abgesenkt.

Wenn bei der Kommissionierung sowohl Teilmengen als auch ganze Ladeeinheiten entnommen werden, kommen Geräte mit einer seitlichen Lastaufnahme zum Einsatz (i. Allg. ist dies eine Schwenkschubgabel, vgl. Abb. 4.54). In vielen Fällen werden bei der Kommissionierung aber nur Teilmengen entnommen. In diesen Fällen werden Kommissionierstapler mit einer starren Frontgabel, mit oder ohne Zusatzhub, eingesetzt. Die Versorgung mit neuen Ladeeinheiten erfolgt dann beispielsweise mit herkömmlichen (Hochregal-) Staplern.

Wie die Hochregalstapler werden auch Kommissionierstapler im Regalgang zwangsgeführt oder -gelenkt (mechanische oder induktive Spurführung). Zur Sicherheit des Kommissionierers werden zusätzlich doppelte Hubketten, Ausstiegsmöglichkeiten bei gehobener Kabine und verschiedene andere Vor-



**Abbildung 4.55.** Gelenkstapler



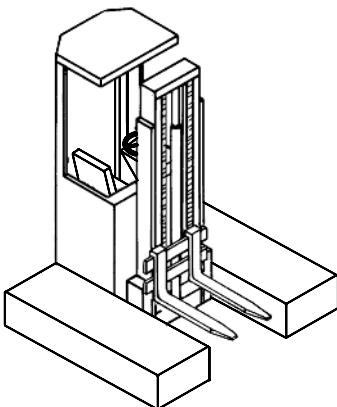
**Abbildung 4.56.** Kommissionierungsvorgang auf dem Kommissionierstapler [Foto: BT]

richtungen eingesetzt. Zur Leistungserhöhung kommt ebenfalls die hubhöhen-gesteuerte Fahrgeschwindigkeitsanpassung zum Einsatz.

Kommissionierstapler werden oft in Lagersystemen zum Zusammenstellen von Kommissionen eingesetzt. Der Vorteil dieser Variante liegt darin, dass die Lagereinheit nicht aufwändig ausgelagert, gefördert, abkommissioniert und wieder eingelagert werden muss. Die herausragende vorteilhafte Eigenschaft eines Kommissionierstaplers ist die Möglichkeit, Einlagerung und Kommisionierung mit einem Gerät und wenn möglich in kombinierten Spielen zu verbinden. Die Geräte können in mehreren Gassen operieren und sind regalunabhängig. Diese Art der Kommissionierung direkt im Lager ist jedoch nur bei mittelschnell oder langsam drehenden Artikeln möglich. Als Ausführungsform werden in der Regel Kommissionierstapler mit Schwenkschubgabel eingesetzt. Kommissionierstapler erreichen Hubhöhen von bis zu 14,5 m.

### Vierwegestapler

Vierwegestapler sind im Prinzip Schubmaststapler, bei denen sich jedoch alle vier Räder um 90° drehen lassen (Abb. 4.57). Aufgrund der Lenkung aller vier Räder sind die Radarme breiter als bei Schubmaststaplern ausgeführt. Vierwegestapler sind auf der Stelle drehbar und können auch als Quergabelstapler Verwendung finden, jedoch im Gegensatz zu diesen zu beiden Seiten Last abgeben. Die Stapler werden in der Lagergasse oft über Rollen, die sich an den Regalen abstützen, geführt. Durch ihre Radgeometrie und Lenkbarkeit sind sie sehr wendig, können auf der Stelle drehen und seitlich verfahren. Für das Handhaben von Paletten werden diese Stapler aufgrund der aufwändigen Konstruktion selten eingesetzt. Sie finden eher Einsatz für Spezialanwendungen.



**Abbildung 4.57.** Vierwegestapler [Foto: BP]

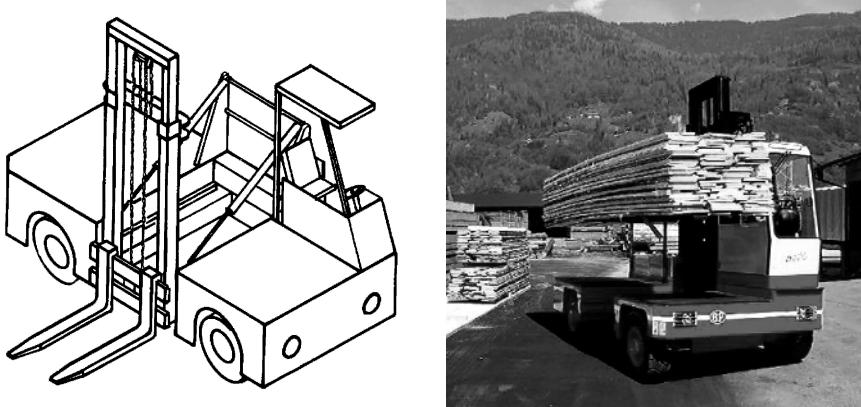
### Quergabelstapler

Quergabelstapler sind eine Kombination eines Plattformwagens mit schmaler Fahrerkabine und eines mittig in Fahrtrichtung, quer zur Fahrzeulgängsachse eingebauten Schubmastes (vgl. Abb. 4.58). Sie werden auch als Seitenstapler bezeichnet, was jedoch eine Bezeichnung für Hochregalstapler mit seitlicher Lastaufnahme ist. Zur Lastaufnahme fährt der Stapler in Vorwärtsfahrt bündig neben die aufzunehmende Ladeeinheit, fährt den Schubmast rechtwinklig zur Fahrtrichtung in abgesenkter Stellung seitlich heraus, bis sich die Gabel unter der Ladeeinheit befindet, hebt diese an und zieht sie im angehobenen Zustand mit dem Mast wieder zurück. Beim Transport liegt das Fördergut in Fahrzeulgängsrichtung auf der Plattform und stützt sich auf der gesamten Ladefläche ab. Die Gutaufnahme kann nur auf einer Seite erfolgen. Quergabelstapler sind in der Regel vierrädrig und können vorwärts und rückwärts fahren.

Quergabelstapler werden für das seitliche Be- und Entladen von Lkw und offenen Eisenbahnwagen eingesetzt. Zudem finden sie häufig Einsatz zur Ein- und Auslagerung sowie zum Transport von Langgut wie z. B. Rohren und Holz in Freilägern. Es können Güter auf Ladehilfsmitteln wie z. B. Paletten gefördert werden, das in der Regel transportierte Lagergut ist jedoch loses Langgut oder Langgut in Kassetten.

### Portalstapler

Portalstapler oder Portalhubwagen nehmen das Fördergut von oben innerhalb ihrer Radbasis auf, wobei Portalstapler durch ihre Höhe eine im Allgemeinen zweifache Stapelmöglichkeit gestatten (Abb. 4.60). Das Gut wird mit Greifern (Spreadern) aufgenommen und hängt beim Transport zwischen den Rädern. Zur Lastaufnahme oder -abgabe fahren sowohl Portalstapler als



**Abbildung 4.58.** Quergabelstapler [Foto: BP]

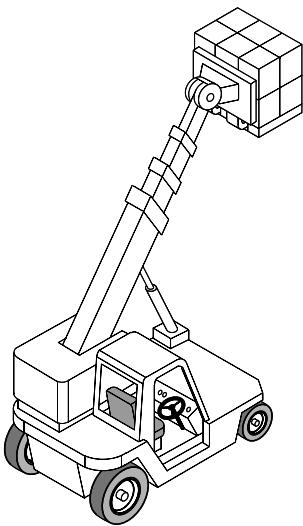
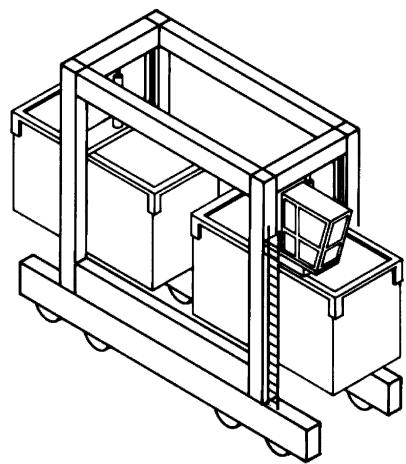
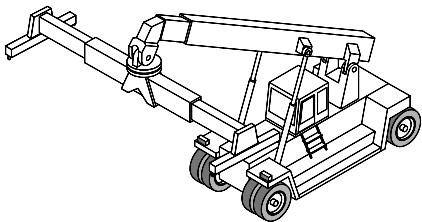
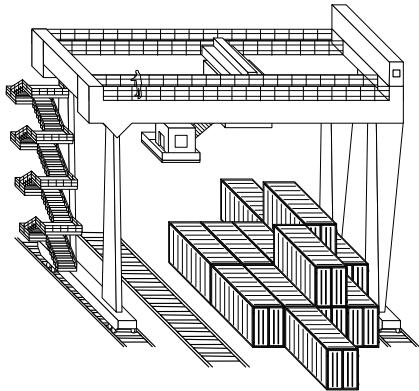
auch Portalhubwagen über das Fördergut. Die Fahrzeuge sind vierrädrig und häufig mit Allradantrieb und vier gelenkten Rädern ausgerüstet.

Portalstapler sind lediglich in dem Sinne als intralogistische Fördermittel zu bezeichnen, als ihre Einsatzfelder Freiläger und Hafenbereiche zu den intralogistischen Systemen gezählt werden können. In diesen Systemen übernehmen Portalstapler den horizontalen Stückguttransport bei der Sortierung und dem Transport von ISO-Containern. Zudem werden Güter auf Spezialpaletten, große und sperrige Lasten oder Langgut transportiert.

### Teleskopstapler

Teleskopstapler (vgl. Abb. 4.59) werden auch als Flurförderzeuge mit veränderlicher Reichweite bezeichnet. Sie besitzen anstelle eines Hubgerüstes einen ausfahrbaren Tragarm. Durch eine Vielzahl alternativer Anbaugeräte werden sie zu Universalgeräten, sie weisen jedoch gegenüber normalen Gabelstaplern ein ungünstigeres Verhältnis von Fahrzeuglänge zu Hubhöhe und -last auf. Zu beachten ist die mit zunehmender Teleskopierung abnehmende zulässige Traglast. Teleskopstapler für die Handhabung von Paletten können prinzipiell in allen Bereichen eines Materialflusssystems zur Stapelung von Paletten eingesetzt werden, sind aber aufgrund der fehlenden Notwendigkeit ihrer Fähigkeiten in Lagersystemen wenig verbreitet, werden eher im Baubetrieb eingesetzt.

Als besondere Variante wurden Schwerlast-Teleskopstapler für den Containerumschlag (sog. Reach-Stacker, vgl. Abb. 4.61) entwickelt. Sie zeichnen sich einerseits durch bis zu sechsfache Stapelhöhe aus, andererseits durch die Fähigkeit, Container auch aus zweiter und dritter Reihe zu handhaben (dann allerdings bei veränderter Hubhöhe und Traglast). Diese Fördermittel finden ebenso wie die Portalstapler Einsatz in Häfen und Außenlägern.

**Abbildung 4.59.** Teleskopstapler**Abbildung 4.60.** Portalstapler**Abbildung 4.61.** Reach-Stacker  
(Containerstapler)**Abbildung 4.62.** Portalkran

### Gelenkstapler

Eine weitere wenig verbreitete Lösung zur Erreichung eines schmalen Arbeitsganges stellen die Gelenkstapler dar, die fahrwerksbezogen ähnlich den Knickladern aufgebaut sind, wie sie zum Schüttgutumschlag eingesetzt werden. Das Hubgerüst kann wie eine Schwenkschubgabel aus einer Mittelstellung um jeweils  $90^\circ$  geschwenkt werden. Dadurch ergeben sich sehr geringe Arbeitsgangbreiten, allerdings ist die Steuerung gegenüber anderen Staplern erheblich anspruchsvoller. Hochregalstapler und Kommissionierstapler

mit den Lastaufnahmemitteln Schwenkschubgabel und Teleskopgabel sowie Schubmaststapler für niedrigere Stapelhöhen sind in Deutschland wesentlich weiter verbreitet.

### **Einfluss der Staplerbauart auf die Arbeitsgangbreite**

Die vorgenannten Staplertypen werden eingesetzt, um Lagereinheiten aus Regalen oder vom Boden aufnehmen oder absetzen zu können. Dazu sind bei vielen Staplern Fahrtrichtungsänderungen um  $90^\circ$  notwendig, während einige Modelle die Ladeeinheiten durch geeignete Lastaufnahmemittel ohne Änderung der Fahrtrichtung übernehmen können (vgl. dazu die jeweiligen Elementbeschreibungen). Die resultierende erforderliche Arbeitsgangbreite ist entsprechend für die verschiedenen Stapler sehr unterschiedlich. Sie ist für die Größe der Verlustfläche bzw. des Verlustvolumens beispielsweise im Lager von großer Bedeutung und bestimmt direkt den Flächennutzungsgrad bzw. Volumennutzungsgrad.

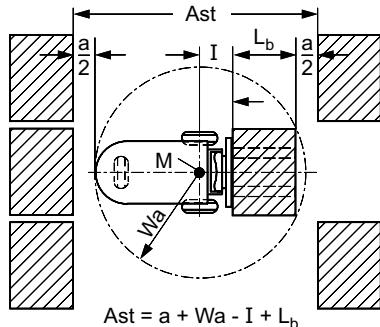
In Abbildung 4.63 und Abbildung 4.64 sind der Einfluss der Staplerbauweise auf die Arbeitsgangbreiten ( $A_{st}$ ) für verschiedene Staplerbauarten dargestellt (z. T. der [VDI 2198] entnommen). Die exakten Arbeitsgangbreiten für einzelne Staplermodelle können dem für jeden Fahrzeugtyp vorhandenen Typenblatt nach [VDI 2198] bzw. den jeweiligen Herstellerangaben entnommen werden. Gabelstapler in Dreirad- und in Vierradausführung, Spreizenstapler, Schubgabel- und Schubmaststapler müssen zur Lastübernahme oder -abgabe im Arbeitsgang in der Regel eine  $90^\circ$ -Drehung vollführen. Ihre Arbeitsgangbreiten unterscheiden sich infolge der Fahrwerks- und Lenkgeometrie in Abhängigkeit von den verschiedenen Wenderadien ( $Wa$ ).

Vierwegestapler, Kommissionierstapler und Hochregalstapler können eine Lastübernahme bzw. -übergabe ohne Fahrtrichtungsänderung durchführen (die Gelenkstapler stellen hier einen Sonderfall dar). Sie zeichnen sich durch eine durchweg geringere erforderliche Arbeitsgangbreite aus und werden daher in so genannten Schmalgangslägern eingesetzt, bei denen die Gangbreite lediglich von der Breite des Staplers oder der Ladeeinheit bestimmt wird. Sie werden daher auch oft als Schmalgangstapler bezeichnet.

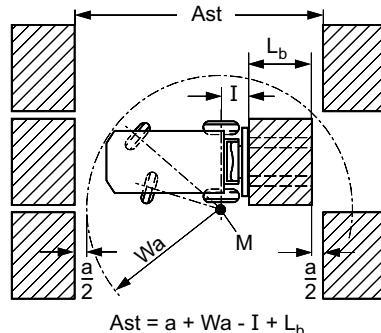
Vierwegestapler weisen jedoch wiederum in der Regel eine höhere erforderliche Arbeitsgangbreite als Kommissionier- und Hochregalstapler auf, da bei ihnen die Ladeeinheiten neben dem Fahrerstand/-sitz angeordnet sind. Bei Kommissionierstaplern und Hochregalstaplern wird die Arbeitsgangbreite im Wesentlichen durch die Breite der Ladeeinheiten zuzüglich eines Sicherheitsabstandes von je 100 mm beidseitig bestimmt. Lediglich beim Hochregalstapler mit Schwenkschubgabel kommen noch geringe systemtechnisch bedingte, für den Schwenkvorgang benötigte Freiräume hinzu, womit er eine etwas größere Arbeitsgangbreite als der Hochregalstapler mit Teleskopgabel besitzt.

Bei dieser Betrachtung muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Volumennutzung zwar ein wichtiges, aber nicht notwendigerweise das ent-

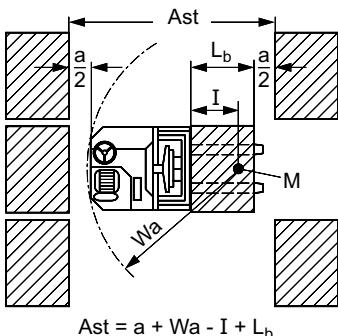
### Stapler, die zur Lastübernahme eine 90°-Drehung durchführen



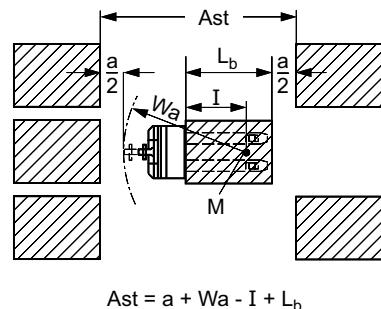
Gabelstapler in Dreiradausführung



Gabelstapler in Vierradausführung



Spreizen-, Schubgabel- oder Schubmaststapler



Gabelhubwagen

Ast = Arbeitsgangbreite

M = Drehpunkt

Wa = Wenderadius

I = Abstand Drehpunkt - Staplerfront

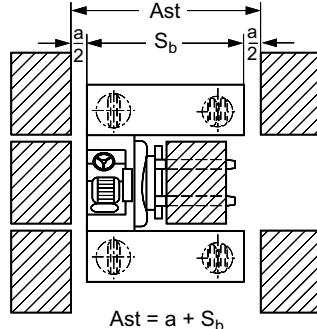
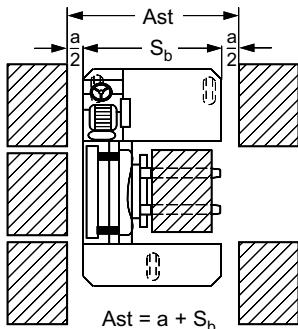
a/2 = Sicherheitsabstand

L<sub>b</sub> = Breite der Ladeeinheit

**Abbildung 4.63.** Einfluss der Staplerbauart auf die Arbeitsgangbreite von Standard-Staplern

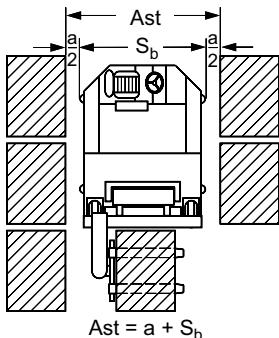
scheidende Bewertungskriterium für ein staplerbedientes Lagersystem ist. In Schmalgangländern ist während des laufenden Betriebes aufgrund des fehlenden Sicherheitsabstandes kein Fußgängerverkehr (z. B. zur manuellen Kommissionierung in der untersten Lagerebene) möglich. In Lägern, in denen sowohl Fußgänger als auch Stapler parallel operieren, sind spezielle Gangabsi-

### Stapler, die eine Lastübernahme ohne Fahrtrichtungsänderung durchführen

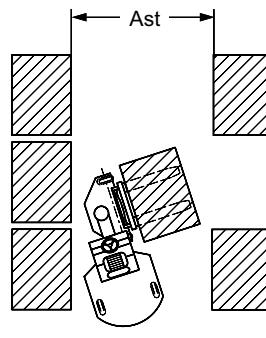


Seitenstapler in Dreiradausführung

Vierwegestapler in Vierradausführung



Kommissionier- und Hochregalstapler



Gelenkstapler

Ast = Arbeitsgangbreite

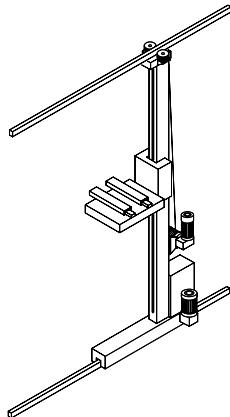
a/2 = Sicherheitsabstand

S<sub>b</sub> = Staplerbreite

**Abbildung 4.64.** Einfluss der Staplerbauart auf die Arbeitsgangbreite bei Schmalgangstaplern

cherungen erforderlich. Zudem kommen auch aktive Sicherheitsmechanismen an den Fahrzeugen zum Einsatz, welche die Fahrzeuge stillsetzen, sobald sie ein Hindernis (Person) detektieren. In jedem Fall sind bei kombinierter Bedienung einer Lagergasse umfangreiche Genehmigungsverfahren notwendig.

<b>Regalbediengerät (stacker crane, storage/retrieval system – S/RS)</b>	
Fördergut	Paletten, Behälter (Stückgüter)
Förderlast	1.500 kg (bis zu 40 t)
Fahrgeschwindigkeit	bis 4 und 6 m/s (Pal. / Beh.)
Hubgeschwindigkeit	bis 2 und 3 m/s (Pal. / Beh.)
Höhe	12 – 50 m
Beschleunigung	Bis zu 3 m/s <sup>2</sup>
Gangbreite	1.050 mm bis 1.500 mm

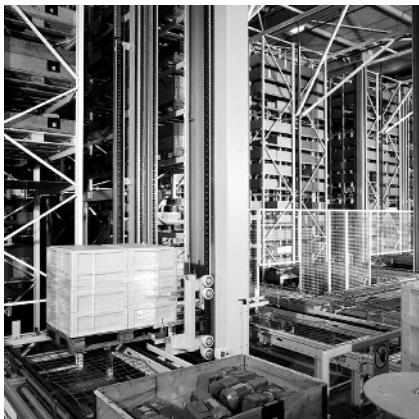


**Abbildung 4.65.** Automatisches Regalbediengerät

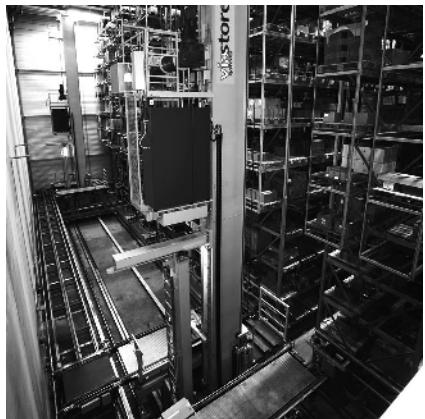
Aber auch ohne die Fußgängerproblematik stellt sich das Problem, dass die realisierbare Ein-/Auslagerungsleistung in einem Schmalganglager relativ klar begrenzt ist, da Gegenverkehr oder ein Überholen verschiedener Stapler nicht möglich sind. Der inhärente Systemvorteil der hohen Leistungsflexibilität von Unstetigförderern wird dadurch eingeschränkt. Die Systemgestaltung ist daher sehr vielschichtig und umfangreich und hängt letztlich vom speziellen Einsatzfall ab. Schmalgangläger mit den oben beschriebenen Bediengeräten eignen sich daher für Fälle mit der passenden Systemanforderung und einer hohen Planungssicherheit. Als Kompromisslösung werden aber auch oft Systeme mit Schubmaststaplern realisiert, die sowohl einen relativ schmalen Arbeitsgang als auch eine hohe Flexibilität und hohe Ein-/Auslagerungsleistungen pro Regalgang besitzen.

### Regalbediengerät

Regalbediengeräte (RBG, [VDI 2361a]) sind Fördermittel zur manuellen oder automatischen Bedienung von Regalfächern einer Regalanlage (vgl. Abb. 4.65). Sie sind in der Regel bodenverfahrbar und schienengeführt. Lediglich in Ausnahmefällen, vornehmlich in älteren Anlagen, sind sie hängend oder an den Regalen verfahrbar angebracht (die Regalbediengeräte sind aus den Stapelkranen hervorgegangen, vgl. Abschn. 4.4.3). In jedem Fall müssen sie an der Regaloberkante oder an der Decke geführt werden. Regalbediengeräte werden zur Regalbedienung in Zeilenregalen eingesetzt. Durch den Einsatz von Regalbediengeräten wurde die Bauhöhe von Palettenregalen gesteigert, so dass die Flächennutzung wesentlich gesteigert werden konnte und Hochregalanlagen von bis zu 55 m Höhe und über 150 m Länge gebaut werden.



**Abbildung 4.66.** Übernahme einer Palette durch ein Regalbediengerät in der Vorzone [Foto: psb]



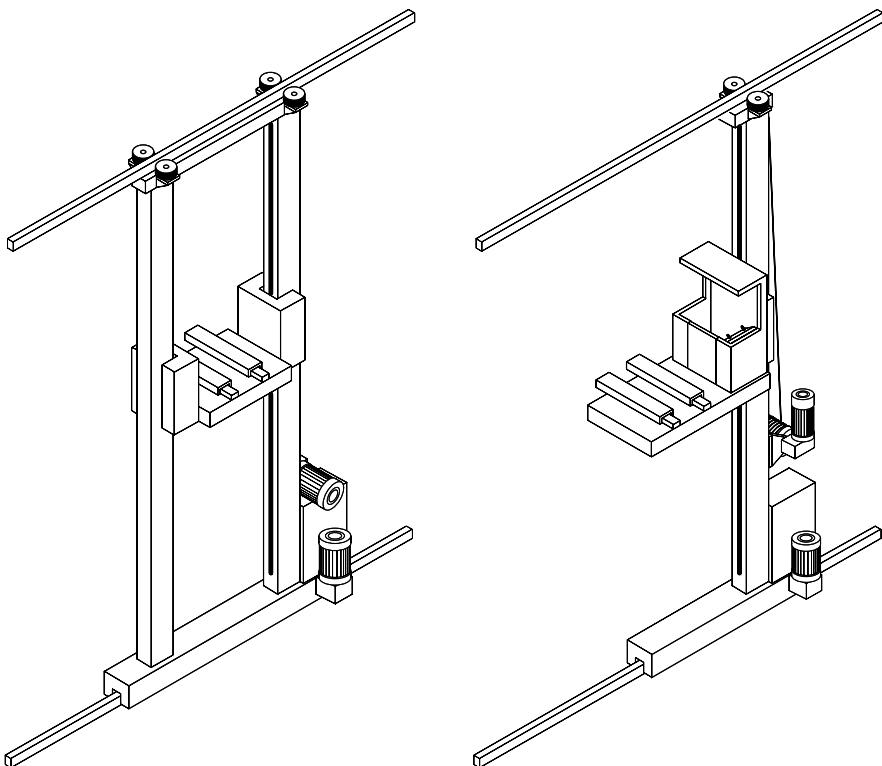
**Abbildung 4.67.** Regalbediengerät mit Umsetzer im Hochregal [Foto: Via-store]

Sie sind entsprechend in hohem Maße in Gebäude integriert. Eine Verfahrbarkeit in angrenzende Bereiche oder die Produktion ist nicht gegeben und auch nicht sinnvoll (ungünstiges Verhältnis von Eigengewicht und Nutzlast). Regalbediengeräte werden in ihrer Bauart nach der Anzahl der Masten in Ein- oder Zweimastgeräte (vgl. Abb. 4.68) untergliedert. Ihr Antrieb ist elektrisch, wobei die Stromzuführung über Schleppkabel oder über Schleiffleitungen erfolgt. Regalbediengeräte bestehen aus den Hauptbaugruppen Mast, Fahrwerk, Hubwagen, Lastaufnahmemittel und Steuerung. Die Masten werden im Allgemeinen als Kastenprofil ausgeführt. In Leichtbaukonstruktionen zur Förderung von leichten Behältern werden auch stranggepresste Aluminiumprofile eingesetzt.

Das Fahrwerk setzt sich aus den Laufrädern, Führungsrollen und dem Fahrantrieb zusammen. Auf dem Mast verfährt der Hubwagen vertikal und wird über ein Hubwerk, das wie die Steuerung aus wartungstechnischen Gründen im unteren Mastbereich angebracht ist, angetrieben. Der Hubwagen trägt das Lastaufnahmemittel und im Fall der manuellen Bedienung die Fahrkabine.

Regalbediengeräte werden zur Ein- und Auslagerung von Gütern auf möglichst genormten Ladehilfsmitteln, bevorzugt Europaletten, Chemiepaletten, Gitterboxen, Kartonagen oder Behälter, die in einem Palettenregal-, Hochregal-, Fachbodenregal- oder Behälterregallager stehen, eingesetzt. Darüber hinaus finden sie Einsatz in Kommissionierlägern nach dem Prinzip Person-zur-Ware.

Für die Ein- und Auslagerung dieser unterschiedlichen Ladehilfsmittel und Lagergüter werden Regalbediengeräte mit den entsprechenden Lastaufnahmemitteln ausgestattet. Die Art und Anzahl der auf dem Hubwagen be-

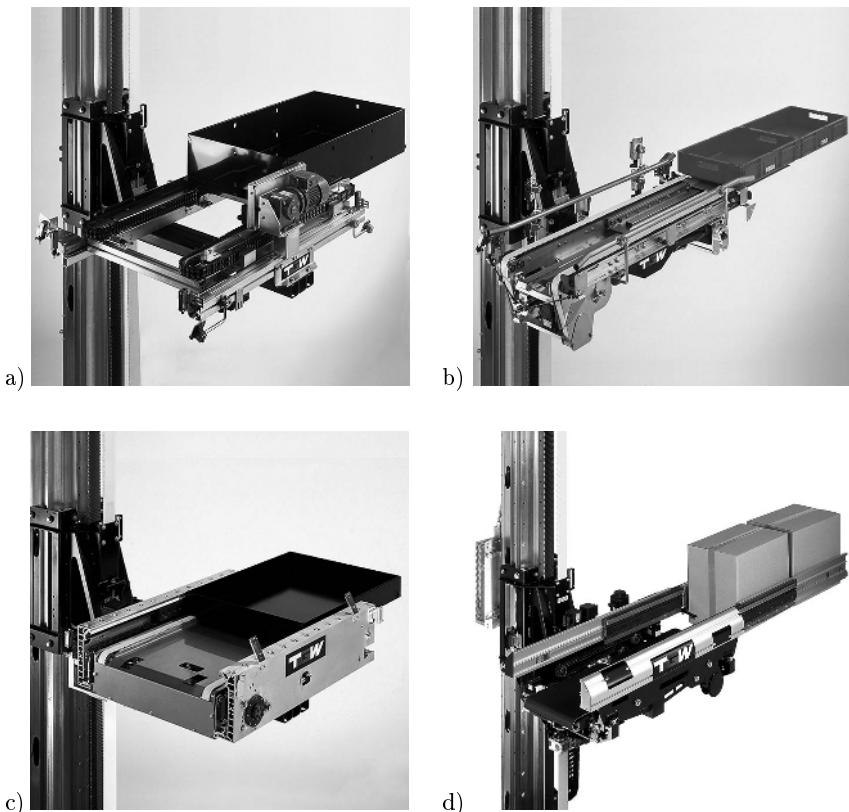


**Abbildung 4.68.** Regalbediengerät in Zweimastbauweise

**Abbildung 4.69.** Manuell bedientes Regalbediengerät

findlichen Lastaufnahmemittel beeinflussen in großem Maße Leistung und Arbeitsweise des Systems sowie die erforderliche Gestaltung der Schnittstellen zur Lagervorzone. Das grundlegende Prinzip der Lastübergabe wird durch Form und Gewicht der Ladeeinheit bestimmt. Im Bereich der Handhabung von Paletten (Lasten größer als 300 kg) wird die Last in der Regel mittels Teleskopgabel in das Lagerfach gesetzt. Dadurch tritt keine Relativbewegung zwischen Fach und Lagereinheit auf, so dass die Regalkonstruktion keine horizontalen Kräfte aufnehmen muss. Dieser Prozess erfordert allerdings durch sequenzielle Bewegungsabläufe (Positionierung vor Lagerfach – Gabel ausfahren – Kurzhub des Hubwagens – Gabel einfahren) und damit verbundene Positionierzeiten relativ lange Lastübergabezeiten.

Bei speziellen Lagereinheiten im Schwerlastbereich, die einer kontinuierlichen und großflächigen Unterstützung bedürfen (Papierrollen und insbesondere Luftfrachtpaletten (Unit Load Devices)), ist das Prinzip der Teleskopgabel aufgrund der linienförmigen Lastunterstützung nicht einsetzbar. Dazu werden Rollenförderer sowohl auf dem Lastaufnahmemittel als auch im



**Abbildung 4.70.** Lastaufnahmemittel von Regalbediengeräten zur Handhabung von Behältern, Tablaren und Kartonagen: **a** Ziehvorrichtung **b** Unterfahrteleskop **c** Reibriemen **d** Greifer [Fotos: TGW]

Lagerfach eingesetzt, was unter anderem kürzere Lastübergabezeiten ermöglicht, aus Kostengründen jedoch nur bei genannten Lagereinheiten ohne ausreichend steifes Ladehilfsmittel oder anders nicht greifbares Lagergut zum Einsatz gelangt.

Im Bereich der leichten Stückgüter (Behälter, Tablare, Kartonagen) ergeben sich weitere vielfältige Gestaltungsformen der Lastübergabe, da u. a. ein Ziehen der Einheiten unproblematisch ist (entsprechend glatte und ebene Böden der Lagereinheit und reibarme Regalaufnahmen vorausgesetzt). So lassen sich Tablare und Behälter ziehen und alle Lagereinheiten greifen, unterfahren und reibschlüssig aufziehen sowie seitlich über Reibschluss ziehen. Verschiedene Formen der Lastaufnahmemittel dieser Gruppe zeigt Abb. 4.70.

Regalbediengeräte werden hauptsächlich zur Bedienung von Hochregallägern eingesetzt. Darüber hinaus finden sie Einsatz in Kanallägern und statischen Zeilenregallägern mit Bedienung über automatische Verteilfahrzeuge

als Transportmittel für die autonomen Lagerfahrzeuge im primären Arbeitsraum. Leichte und hochdynamische Regalbediengeräte werden in modernen, dynamischen Behälterlängern (AKL, vgl. Abschn. 3.4.2) eingesetzt.

Die Steuerung von Regalbediengeräten kann manuell von einer mitfahrenden Bedienperson oder vollautomatisch erfolgen. Die Datenübertragung erfolgt über Datenfunk, Schleppkabel, Schleifleitungen oder Infrarot und in Ausnahmefällen auch induktiv. Besonders beim Einsatz in Kommissionierländern werden die Verfahr- und auch Kommissionieraufträge der Bedienperson zum Regalbediengerät visuell auf Terminals übertragen. Das Regalbediengerät wird in diesem Fall automatisch verfahren und positioniert. Lediglich der Entnahmevergang selbst wird manuell durchgeführt. Durch diese Kombination können die hervorragenden sensomotorischen Fähigkeiten des Menschen gut genutzt werden. Vollautomatische Kommissionieranlagen bedürfen dagegen einer aufwändigen Sensorik und Greiftechnik bzw. einer definierten Bereitstellung im Fach.

Üblich sind Traglasten bis 1.000 kg, es werden auch Ausführungen bis 5.000 kg und darüber hinaus Sonderbauformen mit über 40.000 kg Traglast realisiert. Standardgeräte erreichen je nach Anwendungsfall und Ausführung Fahrgeschwindigkeiten bis ca. 240 m/min (Paletten) und 360 m/min (Behälter), Hub-/Senkgeschwindigkeiten bis ca. 80 m/min (Paletten) und 120 m/min (Behälter), Fahrbeschleunigungen von etwa  $1 \text{ m/s}^2$  (Paletten) und  $3 \text{ m/s}^2$  (Behälter) und Hubbeschleunigungen von ca.  $2 \text{ m/s}^2$ . Eine Grenze für die realisierbaren Beschleunigungen stellen insbesondere die Ladeeinheiten selbst dar, da bei höheren Beschleunigungen ein Verrutschen der Lagergüter auf den Ladeeinheiten nicht ausgeschlossen werden kann. Um solche Fahrleistungen zu erreichen, verfügen diese Regalbediengeräte über mehrere Antriebe („Allradkonzepte“). Insbesondere in der Behälterfördertechnik haben Leichtbaukonzepte Einzug gehalten.

Die Leistung eines Regalbediengerätes wird aber neben den Fahrleistungen von einer Vielzahl weiterer Parameter beeinflusst. Dazu gehören insbesondere die eingesetzten Bedienstrategien, die u. a. einen möglichst hohen *Doppelspielanteil* erreichen sollen (jeder Einlagerung schließt sich unmittelbar eine Auslagerung an), wobei das begrenzende Element die betrieblichen Systemanforderungen sind. So liegt der Doppelspielanteil oftmals unter 20 % (vgl. [VDI 3561a, VDI 3561b, VDI 3561d] oder [FEM 9.851]). Neben Lastaufnahmemitteln, die genau eine Ladeeinheit aufnehmen können, werden Mehrfachlastaufnahmemittel mit einer Kapazität von zwei bis drei Ladeeinheiten (Palettentransport) bzw. sechs oder mehr Ladeeinheiten (Sonderlösungen für den Behältertransport) eingesetzt, deren nutzbringende Wirkung allerdings in hohem Maße von der eingesetzten Lagerplatzvergabe abhängt. Die Effizienz eines Regalbediengerätes misst sich auch an den realisierbaren Anfahrmaßen, d. h. die auf die Verfahrwege bezogenen minimal und maximal erreichbaren Ein- und Auslagerungspunkte. Die Anfahrmaße haben ebenfalls Einfluss auf den Volumennutzungsgrad einer Regalanlage. Bei der Dimensio-

nierung von Regalanlagen müssen unteres Anfahrmaß (Höhe, in der die erste Palette aufgenommen werden kann), oberes Anfahrmaß (durch die Führung des Regalbediengerätes an der Decke bedingter Abstand der obersten Palette zur Deckenkonstruktion) und seitliches Anfahrmaß (Abstand der letzten Palette einer Gasse zur Wand aufgrund der Maße von Schaltschrank und Antrieb des Regalbediengerätes) berücksichtigt und von dem nutzbaren Lagervolumen abgezogen werden. Die Entwicklung geht daher dahin, die Fahrwerkabmessungen, die diesbezüglich den wesentlichen Einfluss haben, zu minimieren. Bei Zugmittelantrieben kommen sowohl stationäre Riemen und mitbewegte, auf dem Fahrwerk montierte Antriebe als auch stationäre, extern angeordnete Antriebe und bewegte, am Regalbediengerät angeschlagene Riemen zum Einsatz. Die Länge der Zugmittelantriebe ist jedoch aus Schwingungsgründen auf mittlere Gassenlängen begrenzt. Bei hochdynamischen Geräten wird ggf. ein zusätzlicher Antrieb an der oberen Führungsschiene vorgesehen.

**Leistungsberechnung und Richtlinien:** Eine exakte Leistungsberechnung von RBG-Systemen ist vielschichtig, da sie insbesondere von der Artikelstruktur, den darauf basierenden Lagerplatzvergabestrategien und nicht zuletzt vom Füllungsgrad des Lagers abhängt. Zur näherungsweisen Berechnung stehen aber verschiedene Verfahren zur Verfügung, mit der sich Leistungswerte ermitteln und vergleichen lassen. Die klassische Spielzeitberechnung nach [VDI 3561a] oder nach [FEM 9.851] wird oftmals für Standardeinsatzfälle herangezogen. Umfassender versucht [VDI 4480a] die Leistung als Durchsatz eines Gesamtsystems zu bestimmen.

Generelles Ziel dieser Richtlinien ist es, einheitliche Abläufe für Vergleich und Abnahmetests einzelner Lagertechniken zu definieren. Exakte Aussagen für die Leistung eines komplexen Lagersystems sind kaum analytisch vorzusehen. Für solche Fälle bieten sich Simulationstechniken an, die sowohl verschiedene Bedienstrategien als auch unterschiedliche Systemlasten berücksichtigen können. Allgemeine Planungsgrundlagen liefern darüber hinaus [VDI 2697] und [VDI 3627].

Ähnlich den Regalbediengeräten, jedoch nur in kleinen Lagersystemen einsetzbar, sind die *Hubbalkensysteme*, die im Prinzip ein um 90° gedrehtes Regalbediengerät darstellen. Der Mast in Form eines horizontalen Hubbalkens ist seitlich an vertikalen Schienen geführt, auf dem Balken bewegt der Hubwagen analog zu einer Kratze das Lastaufnahmemittel. Durch diese Bauform können die mitbewegten Antriebe reduziert und die Dynamik des Systems erhöht werden.

Im Standardfall wird die Leistung einer Regalanlage mit Regalbediengeräten derart bemessen, dass die geforderte Ein-/Auslagerungsleistung pro Lagergasse von genau einem Regalbediengerät erbracht wird und daher pro Gasse ein Regalbediengerät installiert wird. In bestimmten Anwendungsfällen ist aber die reale Systemlast pro Gasse wesentlich geringer als die theoretische Leistung eines Regalbediengeräts. Gründe dafür sind beispielsweise Layout-

vorgaben oder Lagermodernisierungen mit Einsatz neuer und damit oft auch leistungsfähigerer Regalbediengeräte. In diesen Fällen bietet sich die Nutzung eines Regalbediengeräts in mehreren Lagergassen an. Dazu stehen kurvengängige Regalbediengeräte sowie Umsetzer für Standard-Regalbediengeräte zur Verfügung. Die Leistungsfähigkeit solcher Systeme hängt neben den allgemeinen Einflussgrößen insbesondere von der für die Gangwechsel benötigten Zeit oder anders ausgedrückt, von der Anzahl der Ein-/Auslagerungen zwischen den Gassenwechseln ab. Sie wird damit wesentlich von den eingesetzten Ein-/Auslagerungsstrategien bestimmt. Daher müssen solche Systeme gründlich auf den anvisierten Einsatzfall, gegebenenfalls unter Zuhilfenahme von Simulationen, geprüft werden. Allgemeine Hinweise zur Spielzeitermittlung liefert [VDI 3561b].

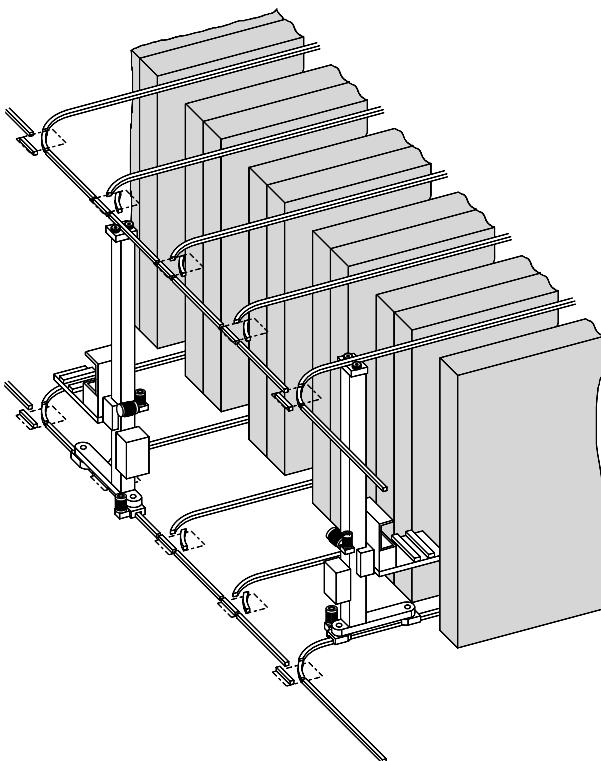
### Kurvengängige Regalbediengeräte

Kurvengängige Regalbediengeräte werden im Gegensatz zur gassengebundenen Variante mit Fahrwerken ausgestattet, die so gelagert sind, dass sie kurvenförmigen Schienenverläufen folgen und Weichen passieren können (vgl. Abb. 4.71). Dabei muss die an der Decke oder der Oberkante der Regale befindliche Führung in die Lagervorzone hinein erweitert und mit Weichen ausgestattet werden. Andere Ausführungen haben den Raum für den Gasenwechsel auf der der Lagervorzone abgewandten Seite der Regalanlage. Dabei muss das Regalbediengerät jedoch die gesamte Gasse zum Gassenwechsel durchfahren, so dass Strategien zur Lagerverwaltung, wie z. B. die ABC-Verteilung, konterkariert werden. Kurvengängige Regalbediengeräte werden eingesetzt, wenn sie mit der Bedienung einer einzelnen Gasse nicht ausgelastet sind. Bei der Einführung eines solchen Gerätes müssen die verlängerten Spielzeiten sowie der hohe Verlust an für die Lagerung genutztem Volumen in Betracht gezogen werden.

### Regalbediengeräte mit Umsetzer

Eine andere Möglichkeit, Regalbediengeräte in mehreren Gassen einzusetzen zu können, bieten Umsetzer (vgl. Abb. 4.72). Umsetzer nehmen ein komplettes Regalbediengerät auf, welches aus der Gasse herausfährt, und verfahren es an der Regalfront entlang vor eine andere Gasse. Um die Ein-/Auslagerungsleistung der Systeme zu steigern, sind die Umsetzer zum Teil mit Kettenförderern ausgestattet, so dass sie während eines Umsetzvorganges Ladeeinheiten übergeben können. Diese Kettenförderer ermöglichen während des Gassenwechsels eine Lastübergabe und darüber hinaus einen Gassenwechsel mit mehreren Paletten. So können Umlagerungen zwischen den Gassen mit höheren Kapazitäten durchgeführt werden und die Auf- und Abgabespiele in die Spielzeit des Gassenwechsels verlagert werden.

Umsetzer können flurgebunden und flurfrei ausgeführt sein und arbeiten in der Regel automatisch. Sie sind schienengebunden und weisen eine recht-



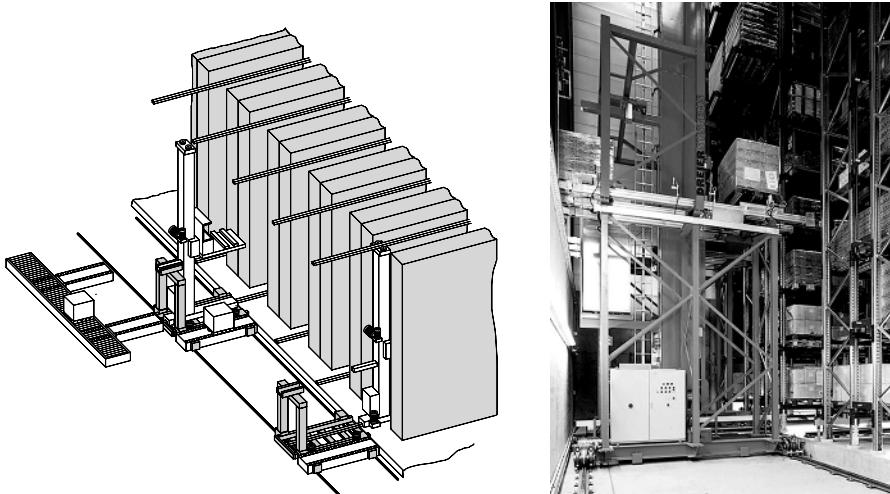
**Abbildung 4.71.** Kurvengängiges Regalbediengerät

winklig zu ihrer Verfahrachse verlaufende weitere Schiene zur Aufnahme des Regalbediengerätes auf.

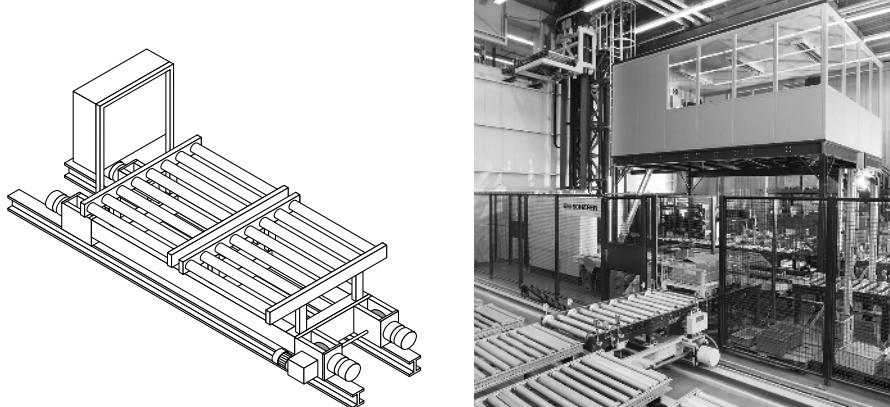
### Verschiebewagen

Verschiebewagen dienen in der Regel dem Palettentransport und verbinden als Unstetigförderer mehrere Fördertechniken miteinander. Sie sind ähnlich wie Umsetzer in der Lagervorzone vor der Regalfront von Regallägern angeordnet, transportieren jedoch keine Fördermittel, sondern Fördergut. Verschiebewagen bestehen aus einem Rahmen, der die Räder und Antriebe trägt, und einem Lastaufnahmemittel (vgl. Abb. 4.73). Sie verfahren auf Schienen. Die Wahl des Lastaufnahmemittels richtet sich nach der angrenzenden Fördertechnik und kann als Rollenbahn, Kettenförderer oder Teleskopgabel ausgeführt sein.

Verschiebewagen werden nahezu ausschließlich in der Lagervorzone eines Regallagers eingesetzt. Dort verteilen oder sammeln sie Ladeeinheiten mit Ladehilfsmitteln auf einzelne oder von einzelnen Lagergassen. Darüber hinaus können sie zum Transport innerhalb der Produktion eingesetzt werden. Typi-



**Abbildung 4.72.** Regalbediengerät mit Umsetzer [Foto: AFT]



**Abbildung 4.73.** Verschiebewagen [Foto: SSI Schäfer]

scherweise verbinden sie in der Lagervorzone Stetigförderer wie Rollenbahnen oder Kettenförderer und übernehmen das Übersetzen von Stückgütern zwischen einzelnen Förderern. Dabei übernehmen sie eine Verteilfunktion zwischen dem Lagerbereich und dem Kommissionier- und Versandbereich.

### **Elektrotragbahn (ETB)**

Die Elektrotragbahn besteht aus einer oder mehreren auf dem Boden verlegten Schienen und darauf verfahrenden, automatisch geführten Fahrzeugen. In ihrem konstruktiven Aufbau gleicht sie einer auf dem Boden montierten Elektro-Hängebahn (vgl. Abschn. 4.4.3, S. 220) und ähnelt einem Verschie-

bewegen. Für die Einsatzfälle zur Förderung von Paletten wird sie oft auch als Elektropalettenbahn bezeichnet [VDI 4422]. Die Elektrotragbahn zeichnet sich durch hohe und variable Geschwindigkeiten (bis ca. 2,5 m/s) und hohe Traglasten (bis ca. 3.000 kg) aus. Durch die automatische Fahrzeugführung und ein entsprechendes Schienensystem lässt sich eine Verteil- und Kommissionierungsfunktion realisieren. Der prinzipielle Aufbau besteht aus Schiene, Fahrrahmen mit Fahrwerk, Antrieb, Steuerung sowie Lastaufnahmemittel. Die einspurige Elektrotragbahn stellt eine auf Flurniveau montierte Elektro-Hängebahn mit modifiziertem Tragwagen dar, die auf dem Obergurt des Profils laufen (vgl. Abb. 4.74). Sie sollen hier nicht weiter betrachtet werden, da alle Eigenschaften denen der Elektro-Hängebahn entsprechen.

Eine besondere Lösung stellt dagegen die zweispurige Elektrotragbahn dar, die im Allgemeinen über vier lenkbare Radsätze verfügt und bei Verwendung so genannter Quattroweichen eine Fahrtrichtungsänderung ohne Drehung des Wagens vollziehen kann (vgl. Abb. 4.75). Durch eine spezielle Fahrbahngeometrie sind auch Kurvenstrecken (mit allerdings verringriger Geschwindigkeit) möglich. Die Energie- und Datenübertragung erfolgt über Schleifleitungen an der Schiene. Zur Lastaufnahme kommen je nach Nutzlast Standard-Lastaufnahmemittel wie Rollenbahn, Tragkettenförderer oder Hubtische zum Einsatz. Die Fahrzeugsteuerung erfolgt wie bei der Elektrohängebahn über Blockstrecken- oder Sensorsteuerung. Vorteilhaft gegenüber der Elektrohängebahn sind in Abhängigkeit vom Einsatzfall die ebenerdige Technik und der Verzicht auf Stützen oder stabile Gebäudelemente, nachteilig dagegen ist die erhöhte Hindernisbildung. Eine weitere Ausführungsform der Elektrotragbahn sind Destination Coded Vehicles (DCV). Sie fahren in der Regel auf Leichtbauschienen und werden im Gepäckförderbereich eingesetzt, in dem sie mit Wannen für die Aufnahme von Gepäckstücken ausgeführt sind. Destination Coded Vehicles erreichen im Flughafenbereich Geschwindigkeiten bis zu 12 m/s.

Einsatz finden Elektrotragbahnen beim Transport unterschiedlicher Lastgewichte bei geringen bis mittleren Durchsätzen entlang aller Funktionen in Materialflusssystemen, jedoch besonders in der Lagervorzone. Zudem können sie die Aufgaben Verteilen oder Sammeln von Ladeeinheiten in verzweigten Systemen oder über lange Strecken übernehmen. Diese Fähigkeit zeichnet sie auch für einen verbreiteten Einsatz in Produktionsprozessen der Automobilindustrie aus. Dort werden sie, mit speziellen Werkstückträgern ausgestattet, zur Verkettung einzelner Bearbeitungs- oder Montagestationen eingesetzt. Ihr Vorteil liegt in der Möglichkeit der stabilen Aufnahme und Bewegung großer Massen, so dass z. B. Motorblöcke transportiert und auf der Elektrotragbahn bearbeitet werden können (vgl. Abb. 4.74).

### **Automatische Flurförderzeuge**

Automatische Flurförderzeuge bilden Fahrerlose Transportsysteme (FTS) (vgl. auch [VDI 2510]), verschiedene Ausprägungen sind in den Abbildungen

**Elektrotragbahn (electric conveying track)**

Geschwindigkeit

bis ca. 2,5 m/s

Traglast

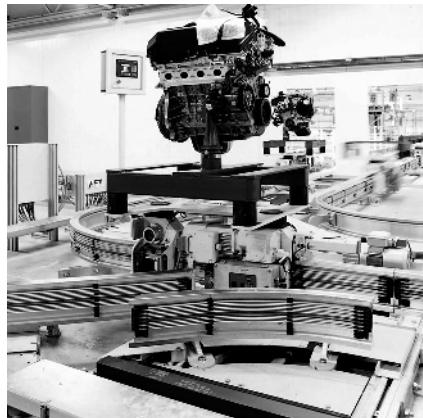
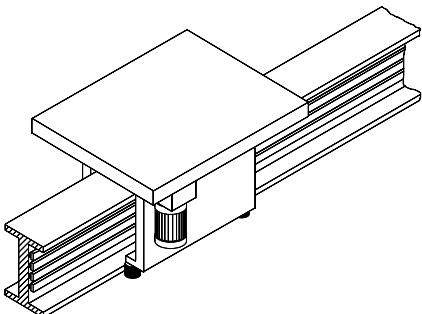
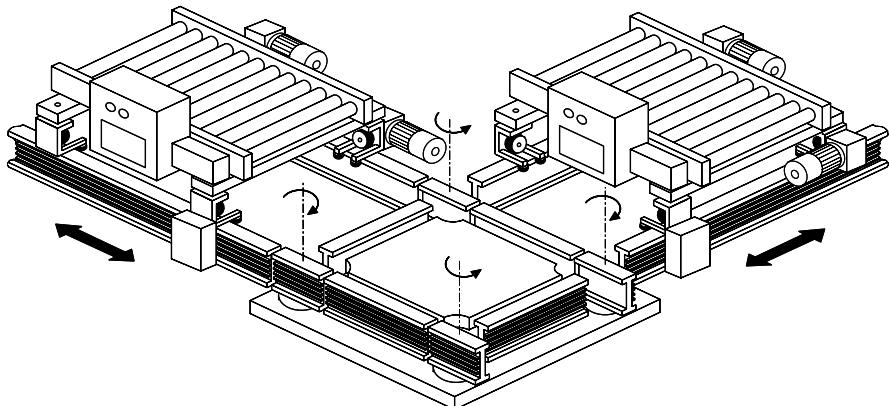
bis 3.000 kg

Steigungsfähigkeit

bis 45 °

Fahrzeuge pro Anlage

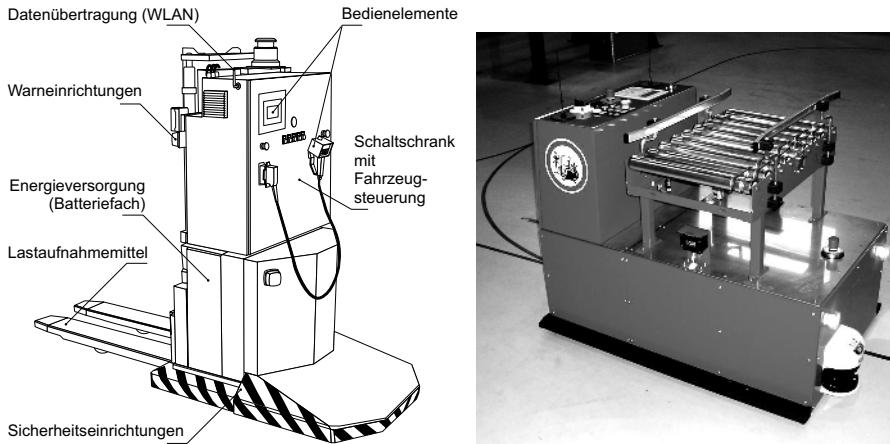
bis ca. 100

**Abbildung 4.74.** Elektrotragbahn [Foto: AFT]**Abbildung 4.75.** Zweispurige Elektrotragbahn

4.76 und 4.77 dargestellt). Alternativ werden sie auch als Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) oder als Automated Guided Vehicles (AGV) bezeichnet. Sie sind automatisch geführt und bewegen sich ohne direktes menschliches Einwirken je nach Führungsprinzip entlang physischer oder virtueller Leitlinien fort. Häufig werden sie durch einen übergeordneten Rechner gesteuert, disponiert und verwaltet. Sie werden in Form von Schleppern, Wagen oder Gabelhubwagen für Transportvorgänge, in Form von „rollenden Werkbänken“

**Fahrerlose Transportfahrzeuge (automated guided vehicles)**

Anzahl FTF je System	1 – 10 (bis zu 50)	Tragfähigkeit	bis zu 50 t
Fahrgeschwindigkeit	typischerweise 1 m/s	Fahrkurslänge	wenige Meter bis 10 km



**Abbildung 4.76.** Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) [Foto: Fraunhofer IML]

für Montagevorgänge und in Form von Staplern für Stapel- und Transportvorgänge gebaut.

Die FTS-Technik entwickelte sich in den 70er und 80er Jahren des 20. Jahrhunderts sehr rasant, hat aber in den 90er Jahren einen starken Rückgang der Installationen erlebt. Die Gründe dafür waren vielschichtig und lagen nicht notwendigerweise in den Investitionskosten. Einerseits hat in der Automobilindustrie, dem klassischen Großabnehmer der FTS, eine Sättigung eingesetzt, andererseits hatte die europaweite Rezession seit Ende der 80er Jahre sicherlich einen Anteil. Dennoch schreitet die Entwicklung auf diesem Gebiet voran, so dass seit der Jahrtausendwende durch das verbreitete Angebot betriebssicherer Anlagen die Zahl der Installationen wieder ansteigt. So ist die Anzahl der FTS-Neuanlagen pro Jahr seit Mitte der 1990er Jahre bis heute um 50 % gestiegen. Neuere Entwicklungen führen zu so genannten Low-Cost-Fahrzeugen, wobei die Begriffsdefinition nicht immer eindeutig ist. Einerseits werden damit Fahrzeuge mit deutlich geringeren Leistungsdaten hinsichtlich Fahrgeschwindigkeit und insbesondere Traglasten bezeichnet, andererseits ganze Anlagen mit reduzierten Systemleistungsmerkmalen, vornehmlich einem geringeren Automatisierungsgrad. Beispielhaft seien hier FTS mit manuell durchgeföhrter Lastaufnahme genannt, die nicht nur fahrzeugseitig erhebliche Einsparungen bewirken, sondern auch die Peripherie des Systems (z. B. Lastübergabestationen) wesentlich kostengünstiger gestalten.

Insgesamt bleibt das Ziel, u. a. durch standardisierte Fahrzeuge (modifizierte manuell bediente Serienfahrzeuge) die Kosten zu senken und die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen.

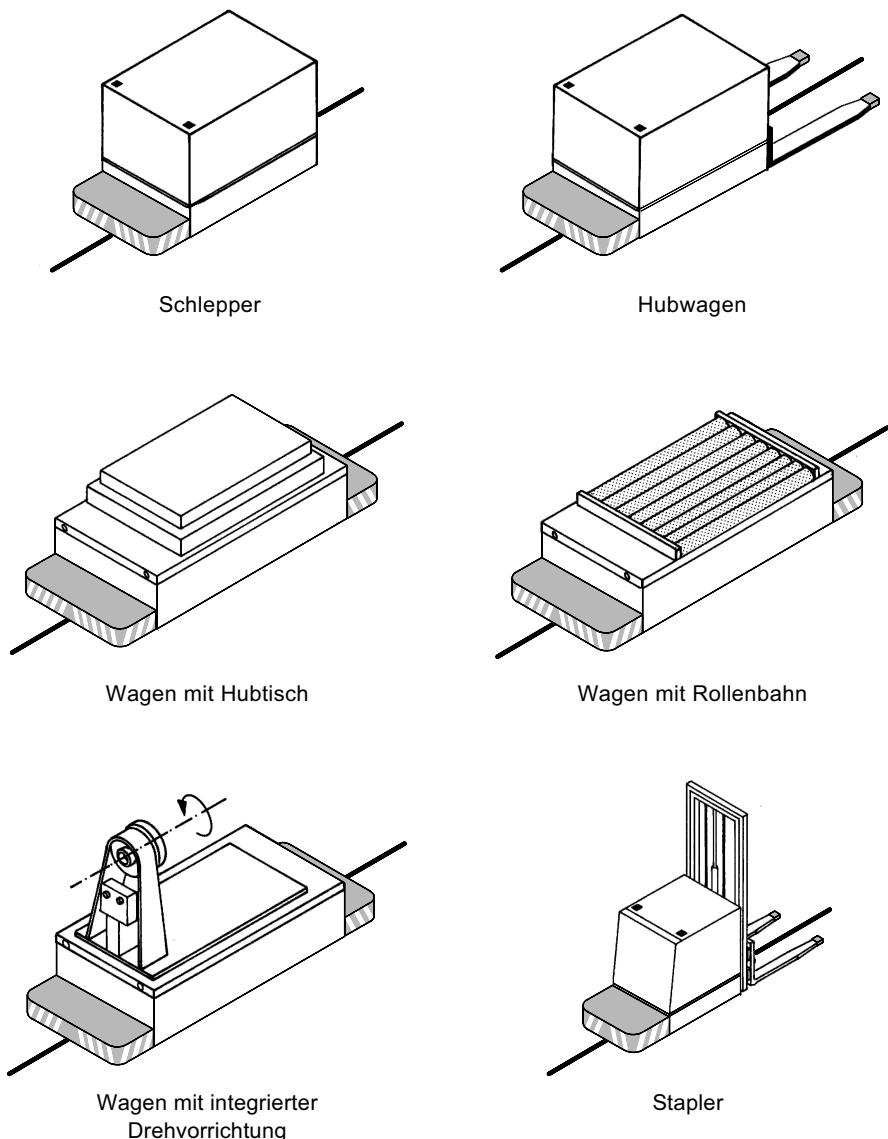


Abbildung 4.77. Beispielhafte Darstellung einiger Fahrerloser Transportfahrzeuge

**Tabelle 4.2.** Führungstechniken automatischer Flurförderzeuge

Führungstechniken						
reale Leitlinie				virtuelle Leitlinie		
magnetische Führung	induktive Führung	optische Führung	Koppelnavigation (Odometrie)	Trägheitsnavigation	Laserscanner und Positions-baken	Umwelt-abbildung
passive Leitspur	wechselstromdurch-flossener Draht	Kontrast: Tageslicht und Kamera			Bildverarbeitung	
aktive Leitspur		Reflexion: Infrarot und geeigneter Sensor			Ultraschall	
					Laser-scanner	

## Fahrzeugführung

Das wesentliche Merkmal der FTS-Technologie ist die Art der Führung der einzelnen Fahrzeuge in einer Anlage. Es existieren zwei Hauptprinzipien der automatischen Führung von Flurförderzeugen: Die Führung kann entweder anhand einer realen Leitlinie, d. h. entlang von auf dem Parcours angebrachten oder im Boden verlegten Leitlinien, oder anhand einer so genannten virtuellen Leitlinie, d. h. entlang programmierte Fahrwege mithilfe von im Fahrzeugrechner softwaremäßig abgelegten Umweltmodellen (vgl. Tabelle 4.2) geschehen.

Zu den Verfahren mit physischer Leitlinie zählen die induktive Führung, die optische Führung und die magnetische Führung. Die Fahrzeuge orientieren sich an festen Linien oder Markierungen, die im Bereich der Fahrbahn installiert werden.

Beim zweiten Prinzip erfolgt die Bahnbeschreibung anhand eines Programms. Die Fahrzeuge fahren zwischen Referenzpunkten unter Nutzung von Entfernungstabellen und Zielortinformationen, die im Bordcomputer gespeichert sind, und extrapolieren ihre Bewegung bis zum nächsten Referenzpunkt. Die Positionsbestimmung (*Orientierung, Lokalisation*) der Fahrzeuge kann nach dem Verfahren der Koppelnavigation oder der Trägheitsnavigation erfolgen. Weiterhin kommt die Führung mit scannenden Lasern und Positions-baken, die Führung mit Lasern und die Führung mit Bildverarbeitungssystemen zum Einsatz. Diese Führungsprinzipien nutzen programmierte Fahrwege oder im Fahrzeugrechner gespeicherte Modelle der Umwelt. Dabei wird grundsätzlich mit einer Kombination eines absoluten Messsystems wie Laser oder Bildverarbeitungssystem und eines relativen Messsystems gear-

beitet. Letzteres kann beispielsweise nach dem Prinzip der Koppelnavigation arbeiten, bei der die zurückgelegte Strecke und der Lenkwinkel aufgenommen werden, oder nach dem Prinzip der Trägheitsnavigation, bei der Translations- und Rotationsbeschleunigungen gemessen werden. Die Steuerungsverfahren auf Basis der virtuellen Leitlinie werden umfassend in [VÖGL93] behandelt.

Die überwältigende Mehrzahl aller realisierten Anlagen greift auf das induktive Führungsprinzip zurück. Die weltweiten Bemühungen auf dem Gebiet alternativer Führungstechniken und die ihnen in Zukunft zweifelsohne zukommende Bedeutung erfordern in diesem Rahmen weitere Betrachtungen. Die Wahl der Führungstechnik hängt dabei nicht nur von der geforderten Flexibilität ab, sondern insbesondere auch von der Anzahl der Fahrzeuge innerhalb des Gesamtsystems. Die stationäre Führungstechnik von Systemen mit einer realen Leitlinie bedingen im Allgemeinen höhere anlagenbezogene Kosten (Erstellung der Leitlinie und deren Wartung) und geringere Kosten für den fahrzeugbezogenen Teil. Eine Entscheidung zwischen stationärer oder mobiler Führungstechnik kann daher nur auf Basis vollständiger Systembe trachtung sinnvoll getroffen werden. Eine wichtige Größe in diesem Zusammenspiel ist der Fahrweg pro Fahrzeug in einem System.

### **Koppelnavigation (Odometrie, Dead Reckoning)**

Die Koppelnavigation ist ein relatives Messverfahren. Die Position wird aus einer bekannten Startposition und der gemessenen Bewegung ermittelt. Bei Fahrzeugen kann der zurückgelegte Weg durch Messung der Umdrehungen eines Rades, dessen Durchmesser bzw. Umfang bekannt ist, und die Fahrtrichtung durch Messung des/der Lenkwinkel bestimmt werden.

Die Genauigkeit der Koppelnavigation ist stark von der Bodenqualität, dem Abnutzungs- oder Verschmutzungsgrad der Räder und insbesondere von der Radlast abhängig, da diese über die Veränderung des Raddurchmessers einen unmittelbaren Einfluss auf die Radumdrehungen hat. Da aber üblicherweise stark unterschiedliche Lastzustände vorliegen (Lastfahrt/Leerfahrt, unterschiedliche Lasten), bedarf dieser Faktor besonderer Berücksichtigung. Sofern wenige und bekannte Lastzustände vorliegen, kann der Einfluss der Durchmesservariation des Rades durch Testfahrten gemessen und in der Steuerungssoftware entsprechend berücksichtigt werden. Sind die Lastzustände nicht im Voraus zu bestimmen, können zusätzliche Messräder mit konstan tem Anpressdruck eingesetzt werden. Messräder sind jedoch problematisch hinsichtlich Fahrtrichtungswechsel (vorwärts/rückwärts). Daher sind in der Regel zusätzliche absolute Stützpunkte (Referenzpunkte) erforderlich, die auf dem Parcours angebracht sind. Ein gängiges Prinzip ist der Einsatz von Transpondern, die in den Boden eingebracht werden. Dabei handelt es sich im Allgemeinen um eindeutig codierte Datenträger, die über ein elektromagnetisches Feld aktiviert werden (Sender am Fahrzeug) und daraufhin einen Code abstrahlen. Mit Hilfe einer Referenztabelle kann dann aus dem Code die exakte Position ermittelt werden. Bei der Inbetriebnahme der Fahrzeuge ist

eine aufwändige Kalibrierung für das Wegmesssystem und die Nullpunkteinstellung des Lenkwinkels erforderlich.

### **Induktiv, Leitdraht**

Die Fahrzeuge folgen im Boden verlegten, wechselstromdurchflossenen Leitern, indem sie die resultierenden Magnetfelder mit einer unter dem Fahrzeug angeordneten Antenne aufnehmen. Die Antenne besteht aus zwei Spulen. Die in den Spulen induzierten Spannungen werden verglichen und mittels einer Regelungselektronik wird bei Spannungsunterschieden eine Lenkbewegung initiiert, so dass die Mitte der Antenne über dem Draht geführt wird. Die Kommunikation zum Leitrechner erfolgt oftmals über ebenfalls im Boden verlegte Drahtschleifen. Bei Anlagen mit mehreren Fahrzeugen werden die abzweigenden Drähte zur einfachen Wegfindung an Weichen häufig mit verschiedenen Frequenzen betrieben (Mehrfrequenzsteuerung), so dass die Strecken von den Fahrzeugen unterschieden werden können. Induktive Systeme können im Notfall durch Deaktivierung des Leitdrahts sofort gestoppt werden. Das bedeutet im Vergleich zu verschiedenen anderen System einen deutlichen Sicherheitsvorteil.

### **Optisch, Linien auf dem Boden**

Die Fahrzeuge folgen auf dem Boden aufgetragenen oder aufgeklebten Farb- oder Metallstreifen, indem sie entweder deren Farbkontrast zum Boden oder deren Reflexionsfähigkeit von normalem Licht bzw. ultravioletter Bestrahlung zur Bahnführung nutzen. Die Leitlinien sind unter Umständen starkem Verschleiß oder Verschmutzung durch andere Fahrzeuge wie z. B. Stapler ausgesetzt, weshalb sich dieses Führungsprinzip nicht für raue Umgebungen eignet.

### **Optisch, Raster**

Auf dem Boden sind schachbrettartig Platten mit verschiedenen Farben fest verlegt, die ein Raster bilden. Die Fahrzeuge sind mit inkrementalen Weg- und Winkelaufnehmern ausgerüstet und verfahren nach dem Prinzip der Koppeleingabe mit einem relativen Messsystem. Die relativ durch das Zählen der Inkremente bestimmte Position wird an den Rasterpunkten jeweils abgeglichen und korrigiert. Auch dieses Führungsprinzip ist wegen der optischen Abtastung für rau/schmutzige Einsatzumgebungen eher nicht geeignet.

### **Magnetisch**

Die magnetische Fahrzeugführung kann mit einer passiven oder aktiven Leitspur erfolgen. Die Fahrzeuge verfahren entlang von auf dem Boden aufgebrachten oder eingelassenen Streifen, die entweder Permanentmagnete oder ein magnetisierbares Material (i. Allg. Eisenpulver) enthalten. Falls Eisenpulver eingesetzt wird, müssen sich an den Fahrzeugen Magnetisierspulen zum Aktivieren der Streifen befinden. Hinter den Magnetisierspulen rechts

und links des Streifens sind Lesespulen zur Bahnführung angeordnet. Ähnlich wie beim induktiven Verfahren wird über die in den Lesespulen induzierten Spannungen durch einen Spannungsabgleich und eine entsprechende Regelungstechnik das Fahrzeug auf dem Fahrkurs gehalten. Vorteilhaft bei diesem System gegenüber der induktiven Führung ist die Ausführung der Bodenanlage, die nicht stromdurchflossen oder geschaltet ist. Vorteilhaft gegenüber der optischen Führung mit auf dem Hallenboden aufgeklebten Streifen ist die größere Robustheit.

### **Trägheitsnavigation**

Bei der Trägheitsnavigation wird die Lageänderung mit Gyroskopen (Sensoren zur Aufnahme von Beschleunigungen um verschiedene Achsen) gemessen. Kursabweichungen können sehr genau erkannt und die aktuelle Position relativ zur Ideallinie abgeleitet werden. Die Trägheitsnavigation ist ein relatives Navigationsverfahren und wird in der Regel einem absoluten Messsystem unterlagert.

Da die Messgeräte relativ kostspielig sind, wird die Trägheitsnavigation im Allgemeinen mit der Koppelnavigation kombiniert, wobei nur die Beschleunigung um die Hochachse des Fahrzeuges gemessen wird. Die hohe Präzision der Trägheitsnavigation erlaubt dabei eine wesentlich bessere Bestimmung der Fahrtrichtung eines Fahrzeuges als die alleinige Messung des Lenkwinkels. Neben mechanischen Sensoren (Kreisel) werden optische (Faserkreisel) und mikromechanische (Vibrationskreisel) Systeme eingesetzt.

### **Scannende Laser und Positions baken**

Auf dem Fahrzeug ist ein Laser angebracht, der über eine rotierende Optik einen Strahl aussendet. Entlang des Parcours sind Reflektoren angeordnet, die je nach eingesetztem Verfahren codiert oder uncodiert sind. Wenn der Laserstrahl auf einen Reflektor trifft, wird er zurückgeworfen und in der integrierten Messeinheit ausgewertet. Zur Auswertung wird die Winkelmessung, die Laufzeitmessung oder eine Kombination aus Winkel- und Laufzeitmessung eingesetzt.

Bei der reinen Winkelmessung wird ein konstanter Strahl ausgesendet und der Winkel relativ zum Sensor/Fahrzeug zum Zeitpunkt der Reflexion ausgelesen. Codierte Reflexmarken besitzen ein bestimmtes Muster von reflektierenden Streifen und vereinfachen so die Zuordnung der Messwinkel zur Marke.

Im Stillstand des Fahrzeugs ist zur Bestimmung von Position und Orientierung die Reflexion von mindestens drei Marken erforderlich, während der Fahrt sind dagegen nur zwei Reflexionen erforderlich, sofern die Fahrbewegung entsprechend ausgewertet wird. Das Verfahren ist zwar sehr genau, erfordert aber z. T. einen erheblichen Rechenaufwand. Um das Verfahren zu beschleunigen, wird daher oftmals über ein relatives Messverfahren eine Schätzposition vorgegeben.

Bei der Laufzeitmessung werden Laserimpulse ausgesendet, die Zeitdauer bis zur Reflexion gemessen und daraus die Entfernung zwischen Sensor und Reflektor errechnet. Die Laufzeitmessung wird oft in Verbindung mit der Winkelmessung eingesetzt. Das Verfahren ist aber sehr aufwändig (die Zeiten liegen im Piko-Sekundenbereich) und erbringt eine geringere Winkelauflösung und damit geringere Positioniergenauigkeit.

### **Bildverarbeitungssystem**

Zur Führung mittels Bildverarbeitungssystemen kommen heute im Wesentlichen zwei Verfahren zum Einsatz. Beim ersten Verfahren erstellen die Fahrzeuge periodisch ein aktuelles Bild ihrer Umgebung, vergleichen es mit dem in ihrem Bordcomputer gespeicherten Soll-Bild und führen eine Abgleichung zur Bestimmung der Fahrzeugposition durch. Im bordeigenen Rechner wird dazu aus den aufgenommenen Daten ein stark vereinfachtes Umweltabbild generiert und mit einem abgespeicherten Umweltabbild, welches auf einer Lernfahrt gelehrt wurde, verglichen (Mustererkennung). Der Fahrzeugrechner kann entsprechend die aktuelle Position bestimmen. Ein anderes Verfahren arbeitet mit einem Bilderkennungssystem, das in Richtung der Hallendecke ausgerichtet ist und markante Objekte der Hallendecke (im Allgemeinen Leuchtbänder oder Strahler) aufnimmt. Die Positionsbestimmung erfolgt wie zuvor über eine Mustererkennung mit dem fahrzeugseitig gespeicherten Bild.

In einem zweiten Verfahren orientiert sich das Fahrzeug über sein Bildverarbeitungssystem an Markierungen auf oder neben der Fahrbahn, die aus einem breiten durchgezogenen Strich zur Fahrzeugführung und einer Art Barcode in bestimmten Abständen zur absoluten Positionsbestimmung bestehen. Beide Verfahren sind absolute Navigationsverfahren (vgl. [JÜBE98, MÜLL92]).

### **Entfernungs bildverarbeitung**

Ein Beispiel für dieses Verfahren ist das sogenannte LADAR. Das LADAR basiert auf einem Laserscanner und nutzt die Arbeitsweise der Radarauswertung (LAser-RaDAR).

Bei der Entfernungs bildverarbeitung werden Lasersysteme zur Abstandsmessung eingesetzt. Die Fahrzeuge senden während der Fahrt Laserimpulse aus und nehmen deren Reflexionen von bekannten, im Bordrechner gespeicherten Referenzflächen (Wand, Maschine etc.) auf. Durch die Hinzunahme einer Schätzposition auf Basis der Koppelnavigation und den Abgleich mit einer fahrzeugseitig gespeicherten Karte der Umgebung kann dieses Verfahren zu einem absoluten System erweitert werden. Die Entfernungs bildverarbeitung kann für die Zukunft als interessante Alternative zum Leitdraht betrachtet werden.

## Vor- und Nachteile der Führungstechnologien

Die Vor- und Nachteile der vorgenannten Führungstechnologien sind in Tabelle 4.3 anhand einiger wichtiger Bestimmungskriterien aufgeführt.

- Die *Einsetzbarkeit in komplexen Systemen* gibt Aufschluss über die Verwendungsmöglichkeit der Führungstechnologie in Systemen mit vielen Fahrzeugen und komplizierten Fahrkursen.
- Die *Flexibilität bei Layoutänderungen* macht eine Aussage, mit welchem Aufwand Änderungen der Fahrkurse bei den jeweiligen Führungstechnologien verbunden sind.
- *Sensitivität gegenüber Störungen* kennzeichnet die Störempfindlichkeit gegenüber Gegenständen, die beispielsweise eine Sichtverbindung zwischen Fahrzeug und optischem Sender unterbrechen, oder Gegenständen, die auf dem Boden liegen und eine optische Führungslinie verdecken, sowie Störungen, die durch Verschmutzung der Fahrbahn und/oder Leitspur bewirkt werden.
- *Restriktionen durch Gebäude* sind Auswirkungen auf und Anforderungen an Gebäude wie Fräsnuten im Boden und Bodenbeschaffenheit (Bodeninstallatoren), die vor allem bei induktiv geführten Fahrzeugen zu beachten sind.
- Unter *Ausfallsicherheit* wird die Sicherheit gegenüber Störungen, die einen partiellen oder totalen Systemausfall zu Folge haben können, verstanden.
- Mit dem Begriff *Beständigkeit gegen Abnutzung* wird die Notwendigkeit einer häufigen Parcourerneuerung infolge von Verschleiß sowie die Empfindlichkeit und die Zerstörungsgefahr von Einzelkomponenten des Fahrzeug-Führungssystems beschrieben.
- Der Begriff *Positioniergenauigkeit* kennzeichnet, ob sich ein Steuerungsverfahren neben der Steuerung während der Fahrt auch zur Positionierung des Fahrzeuges eignet.

## Systemsteuerung

Zu den Aufgaben der Systemsteuerung gehören die Fahrzeugdisposition, Wahl der Warteposition für nicht beladene Fahrzeuge, Kommunikation mit den Fahrzeugen, Ansteuern der Lastübergabestationen, Batterie-Management, die Verkehrskontrolle und -lenkung sowie die Kommunikation mit dem Zentralrechner (Host).

Eine wichtige Aufgabe kommt in diesem Zusammenhang der Blockstreckensteuerung zu. Die Blockstreckensteuerung dient einerseits der Kollisionsvermeidung zwischen Fahrzeugen. In Anlagen mit mehreren Fahrzeugen, die auf zusammenführenden oder sich kreuzenden Strecken verfahren, dient sie andererseits der Verkehrslenkung. Die wesentliche Aufgabe ist die Vermeidung von Deadlock-Situationen an den zusammenführenden Stellen. Die Blockstrecke kann dabei sowohl ein realer Abschnitt eines induktiv geführten Systems als auch ein virtueller Abschnitt der Anlage bei einem System mit

**Tabelle 4.3.** Vergleichende Gegenüberstellung wichtiger Führungstechniken für Automatische Flurförderzeuge

Vergleich Führungstechniken FTS							
	induktiv	optisch	magnetisch	Trägheitsnavigation	scannende Laser und Positionsaken	Umweltabbildung mit Bildverarbeitung	Umweltabbildung mit scannendem Laser
Einsetzbarkeit in komplexen Systemen	□	■	■	■	■	■	■
Flexibilität bei Layoutänderungen	□	■	□	■	■	■	■
Sensibilität gegenüber Störungen	■	■	■	■	■	■	■
Restriktionen durch Gebäude	□	■	■	■	■	■	■
Ausfallsicherheit	■	■	■	■	■	■	■
Beständigkeit gegen Abnutzung	■	■	■	■	■	■	■
Positioniergenauigkeit	■	■	■	■	■	■	■

■ günstig   
 ■ bedingt   
 □ ungünstig

Funk- oder Infrarotdatenübertragung darstellen. Die technische Ausgestaltung ist also in diesem Fall nicht relevant.

### Auftragsgenerierung

Man unterscheidet zwischen manuell und automatisch generierten Transportaufträgen. Manuelle Beauftragung ist dadurch gegeben, dass die Eingabe der Transportaufträge vom Bediener am fahrzeugeigenen Tastenfeld oder mittels Ruftastern, die entlang des Fahrkurses angeordnet sind, erfolgt. Automatische Beauftragung bedeutet entweder, dass die Aufträge von einer zentralen Leitwarte gegeben werden oder dass die Fahrzeuge bei Bedarf von den Quellen gerufen werden.

## Datenübertragung

Die Datenübertragung erfolgt entweder über Kommunikationsschleifen, die an bestimmten Stellen (z. B. parallel zum Leitdraht) im Boden verlegt sind, oder mittels Infrarot oder Datenfunk. Derzeit erfolgt die Datenübertragung meistens über WLAN.

Weiterhin werden zwei Arten der Kommunikation unterschieden: die Kommunikation an bestimmten Orten und die Kommunikation an jedem Ort zu jeder Zeit. Im ersten Fall können die Fahrzeuge die Informationen nur an definierten Datenübertragungspunkten, beispielsweise über Bodeneinrichtungen erhalten. Im zweiten Fall sind die Fahrzeuge durchgängig erreichbar über den Leitdraht, Infrarot oder Funk. Dabei werden nach dem Polling-Prinzip die Teilnehmer von der Zentrale nacheinander zyklisch abgefragt.

## Sicherheit

Da Automatische Flurförderzeuge dieselben Wege nutzen wie auch andere Fördermittel und Personen, gelten für sie besondere Sicherheitsbestimmungen, die in der Richtlinie [ZH 1/473] festgelegt sind. Man differenziert allgemein zwischen fahrzeugbezogenen und anlagenbezogenen Sicherheitskomponenten.

Die wichtigste fahrzeugseitige Komponente bilden die Auffahrtsicherungen oder *Bumper*, die an denjenigen Seiten des Fahrzeuges angebracht sind, in die Fahrtbewegungen ausgeführt werden. Sie sind üblicherweise als Notstoppbügel mit Seilzügen und mechanischen oder optischen Schaltern oder als Kontaktleisten mit Schaumstoff (Soft bumper), in verschiedenen Ausführungen auch als Lichtwellenleiter in Schaumstoffstoffsängern ausgebildet. Alle Typen müssen so dimensioniert sein, dass das Fahrzeug innerhalb der Knautschzone zum Stillstand kommt.

Alternativ können auch virtuelle Bumper in Form von Lichtschranken, Ultraschall- und Laserscannern eingesetzt werden. Allen Systemen gemein ist, dass sie durch die Berufsgenossenschaften über Baumusterprüfungen ihre Zulassung für den Einsatz in automatischen Systemen erhalten haben.

Bei Staplern oder Gabelhubwagen befindet sich üblicherweise nur an der lastabgewandten Seite ein Bumper, wohingegen an der Gabelseite bei Gabelhubwagen beispielsweise nur eine Kontaktplatte ohne größere Knautschzone angebracht ist, weshalb die Fahrgeschwindigkeit in Lastaufnahmerichtung stark reduziert werden muss. Dies hat u. U. sehr große Lastübergabezeiten von bis zu einer Minute zur Folge. Für Kurvenfahrten oder Seitwärtsfahrten müssen die Fahrzeuge mit seitlichen Kontaktleisten versehen sein. Um in engen Arbeitsgängen operieren zu können, sind diese erheblich schmäler als die Bumper vorn und hinten ausgeführt. Daher wird bei Kurven- oder Seitwärtsfahrten ebenfalls die Geschwindigkeit reduziert.

Weitere fahrzeugbezogene Komponenten sind Notstopptasten, eine Fahrberichtsanzeige, Fahrtrichtungsanzeiger und akustische Signalgeber. Anlagenbezogene Sicherheitskomponenten sind seitliche Freiräume, 100 mm im

automatischen System ohne Personenverkehr, 500 mm einseitig bei gleichzeitigem Personenverkehr, darüber hinaus Fahrbahnmarkierungen und Ampel-einrichtungen.

## Förderleistungen

Die Förderleistungen innerbetrieblich eingesetzter FTS sind im Wesentlichen durch die Sicherheitserfordernisse geprägt. Aufgrund der Notwendigkeit, die Fahrzeuge innerhalb der Bumperlänge zum Stehen zu bringen und andererseits die Abmessungen der FTS in vernünftigen Grenzen zu halten, erfolgt oftmals eine Begrenzung der Fahrgeschwindigkeit auf ca. 1,0 m/s, in Ausnahmefällen auch auf 1,3 m/s. Typische Lastgewichte solcher FTS liegen bei 1,5 bis 2 t. Die im Außenbereich eingesetzten FTS operieren dagegen überwiegend in abgesperrten Bereichen, so dass hier wesentlich höhere Geschwindigkeiten erreicht werden. Es werden bspw. FTS im Containertransport eingesetzt, die bei 30 t Lastgewicht Geschwindigkeiten bis zu 10 m/s erreichen.

### 4.4.2 Aufgeständerte Unstetigförderer

#### Aufzüge

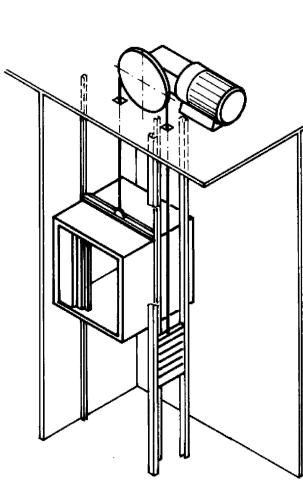
Aufzüge oder Etagenförderer sind ortsfeste, mechanisierte oder automatisierte Hebezeuge zum vertikalen oder schrägen Transport von Lasten oder Personen. Im Gegensatz zu Kranen wird die Last stets auf einer Plattform oder in einem Gefäß befördert, welches mit den Tragmitteln ständig verbunden ist und sich über die gesamte Fahrbahn in festen Führungen bewegt. Im Rahmen dieses Buches werden ausschließlich Lastenaufzüge behandelt. Beim Lastentransport existieren verschiedene Bauformen wie Seil-, Ketten- oder Hydraulikaufzüge sowie Spezialaufzüge für die Bauindustrie. Weiteres Unterscheidungsmerkmal von Aufzügen ist die Art der beförderten Lasten und der zur Bedienung zugelassene Personenkreis. Man unterscheidet Lastenaufzüge, die zum Be- und Entladen betreten werden dürfen und eine Mitfahrt des Bedienpersonals teilweise gestatten, vereinfachte Lastenaufzüge bzw. Kleinlastenaufzüge, bei denen ein Betreten verboten ist und Vertikal- oder Senkrechtförderer für Stückgüter, Behälter und Paletten, die nur diese Objekte transportieren können. Aufzüge müssen mit vielfacher Sicherheit ausgelegt werden und unterliegen zahlreichen Regelungen (z. B. Aufzugsverordnung (AufzV) [BMW] sowie Sicherheitsvorschriften nach [DIN EN 81]).

#### Seil-, Ketten- und Hydraulikaufzüge

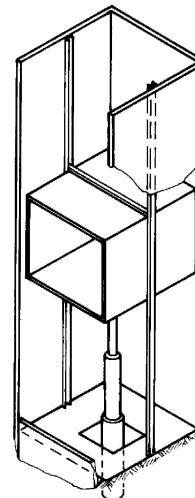
Bei Seil- oder Kettenaufzügen befindet sich in der Regel ein Antrieb mit mehrrilliger Treibscheibe in einem Maschinenraum über einem geschlossenen Aufzugsschacht. Die Treibscheibe nimmt mehrere Seile auf, an deren beiden freien Enden der Fahrkorb sowie ein Gegengewicht befestigt sind, die in Führungsschienen im Aufzugsschacht verfahren. Bei Seilaufzügen werden Litzenseile als Tragmittel eingesetzt, da sie eine gute Umlenkung ermöglichen.

<b>Aufzüge (lift/elevator)</b>			
Nutzlast	bis ca. 20.000 kg	Hubhöhe (hydraulisch)	bis ca. 18 m
Hubgeschwindigkeit	0,3 – 4 m/s	Hubhöhe (Seilaufzug)	> 100 m

**Abbildung 4.78.** Ausgewählte typische Kennwerte von Aufzügen



**Abbildung 4.79.** Seilaufzug



**Abbildung 4.80.** Hydraulikaufzug

Zum Transport schwerer Lasten werden anstelle der Seile auch Stahlgelenkketten eingesetzt, die allerdings auf niedrige Geschwindigkeiten und geringe Hubhöhen begrenzt sind.

Die maximale Traglast von Seilaufzügen beträgt etwa 10 t bei Betriebsgeschwindigkeiten zwischen 0,3 und 4 m/s. Für den Fall einer unzulässigen Geschwindigkeitserhöhung des Fahrkorbs durch Ausfall der Bremse, Getriebeschaden, Seirlutsch auf der Treibscheibe oder Überlastung sind Fangvorrichtungen vorgesehen. Diese können durch sofort wirkende Sperrvorrichtungen oder durch Gleitfangvorrichtungen, die auf einem längeren Weg wirken, realisiert werden. Geschwindigkeitsbegrenzer bewirken das Auslösen der Fangvorrichtung. Sie können als Pendel- und als Fliehkraftbegrenzer ausgeführt sein. Die Fahrbahn von Fahrkorb und Gegengewicht muss am unteren Ende des Fahrstuhlschachtes durch Puffer begrenzt sein. Darüber hinaus sind Notendschalter vorzusehen, die sofort nach Durchfahren der Endkontaktstellen ansprechen müssen. Anwendung finden Seil- oder Kettenaufzüge in Gebäuden zur Verbindung verschiedener Stockwerke oder verschiedener übereinander liegender Förderstrecken. Des Weiteren werden sie im Bergwerk zur

Grubenbefahrung und in Verbindung mit speziellen Gefäßen zur Förderung von Schüttgut eingesetzt. Bei Hydraulikaufzügen wird die Hub- und Senkbewegung anstatt mit einem Seil oder mit Ketten von oben hydraulisch mit einem Teleskopzylinder über einen Motor und einer Pumpe von unten bewirkt. Die Plattform oder Kabine (anstelle eines Fahrkorbes) ist geführt, ein Gegengewicht ist nicht erforderlich. Vorteilhaft bei Hydraulikaufzügen sind ihre Regelbarkeit, die ein sanftes Anfahren erlaubt, sowie ihre geringe Geräuschentwicklung. Der Schacht kann in Leichtbauweise errichtet werden, da er keine vertikalen Stützkräfte aufzunehmen hat. Typischerweise werden hydraulische Aufzüge für hohe Traglasten bei geringen Förderhöhen eingesetzt. Zunehmend werden sie auch als Personenaufzüge bevorzugt bei Gebäuden mit Flachdächern verwendet, da über dem Schacht kein Maschinenraum erforderlich ist, oder beim Einbau in bestehende Gebäude, deren Tragkonstruktion keine Belastung durch einen Seilzug gestattet. Die maximalen Traglasten von Hydraulikaufzügen betragen bis etwa 40 t bei Betriebsgeschwindigkeiten ebenfalls zwischen 0,3 und 4 m/s. Bei Schrägaufzügen werden die Lastaufnahmemittel auf geneigten Bahnen geführt. Als Zugmittel werden Seile oder Ketten verwendet. Sofern die Aufzüge eine Schrägapabweichung von mehr als 30 % aus der Vertikalen aufweisen, fallen sie nicht mehr unter die Aufzugsverordnung. Sie werden ausschließlich zum Lastentransport eingesetzt, vor allem außerhalb von Gebäuden, beispielsweise auf Baustellen zum schrägen Transport von Baumaterialien auf Häuserdächer oder in obere Stockwerke.

### **Senkrecht-/Vertikalförderer**

Senkrecht- bzw. Vertikalförderer übernehmen ähnliche Aufgaben wie Aufzüge, indem sie Güter in einer Ebene aufnehmen, vertikal in eine andere Ebene heben oder senken, dort wieder abgeben und somit mehrere fördertechnische Ebenen miteinander verbinden. Ihr konstruktiver Aufbau ist der eines Aufzuges, der jedoch abgestimmt ist auf den Transport eines bestimmten Fördergutes, z. B. auf Paletten oder Behälter.

Sie unterscheiden sich gegenüber Güteraufzügen dahingehend, dass sie automatisch be- und entladen werden und damit nicht unter die Bestimmungen der Aufzugsrichtlinie fallen. Konstruktiv bestehen Senkrecht- bzw. Vertikalförderer als tragendes Konstruktionselement aus einem Tragwerk aus Aluminium- oder Stahlprofilen, das über eine Konsole mit dem Boden verankert oder an die Gebäudekonstruktion angebracht ist (vgl. Abb. 4.81). Die Hubbewegung erfolgt über eine motorisch angetriebene Antriebstrommel oder über Treibscheiben, die das Zugmittel – einen Riemen, ein Seil oder eine Kette – bewegen. An den Enden des Zugmittels ist als Lastaufnahmemittel ein Hubwagen und am anderen Ende ein Gegengewicht befestigt. In seltenen Fällen erfolgt der Antrieb über Zahnstangen, ohne Gegengewicht. Der Hubwagen besteht meist aus Lastgabeln, die mit angetriebenen Rollenbahnen, Ketten- oder Gurtförderern bestückt sind, um die Güter automatisch an die anschließende Fördertechnik abgeben zu können. Zur Beschickung des För-

<b>Senkrechtförderer (vertical conveyor)</b>	
Fördergut	Behälter, Paletten, Gebinde
Nutzlast	bis ca. 3.000 kg
Hubgeschwindigkeit	0,5 – 2 m/s (bis zu 6 m/s)
Hubhöhe	bis ca. 30 m



**Abbildung 4.81.** Senkrechtförderer [Foto: Ryll]

derers sind im Einlaufbereich eine Vereinzelung der Güter sowie eine Konturenkontrolle notwendig. Durch die beliebige Ausstattung des Hubwagens mit fördertechnischen Elementen können Senkrechtförderer in jede Förderstrecke integriert werden. Dies können Rollenbahnen, Ketten- oder Gurtförderer sein, aber auch fahrerlose Transportsysteme, welche die Beschickung und Entladung der Senkrechtförderer übernehmen. Vertikalförderer werden für alle Arten von Stückgütern benutzt (Kartonagen, Behälter, Gepäck, Paletten). Die Nutzlasten liegen zwischen 5 kg und 3.000 kg bei Hubhöhen bis zu 30 m. Die Antriebsleistungen betragen je nach Hubhöhe und Nutzlast zwischen 1 und 30 kW. Es sind Hubgeschwindigkeiten von bis zu 6 m/s möglich, wobei sie in der Regel zwischen 0,5 und 2 m/s liegen. Abhängig von den Hubhöhen bzw. Hubgeschwindigkeiten ergeben sich maximale Durchsätze von bis zu mehreren hundert Stück pro Stunde. Ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich von Vertikalförderern sind integrierte Regalsysteme, in denen Vertikalförderer den Ebenenwechsel der autonomen Lagerfahrzeuge sowie den Abtransport der Behälter übernehmen (vgl. Abschn. 3.4.2, Shuttle-Systeme), Kanallager, in denen die Kanalfahrzeuge über Verfahrwagen und Vertikalförderer zu den Stellplätzen gelangen (vgl. Abschn. 3.4.2, Läger mit Kanal- und Verteilfahrzeugen) und auch Liftsysteme, in denen die Tablare von Vertikalförderern bewegt werden (vgl. Abschn. 3.4.2, Liftsystem).

### Satellitenfahrzeuge<sup>©</sup>

Satellitenfahrzeuge sind elektrisch angetriebene fahrerlose Fahrzeuge, die in zwei parallelen, horizontal angeordneten Schienen verfahren können und Laderaufgaben in Zeilen- oder Blockregalen übernehmen. Zu der Familie der Satelliten – besser Satellitenfahrzeugen – werden Kanalfahrzeuge und Automatische Verteilfahrzeuge gezählt. Um den angewiesenen Lagerplatz zu erreichen, sind Satellitenfahrzeuge grundsätzlich auf ein Drittfördermittel, ein so

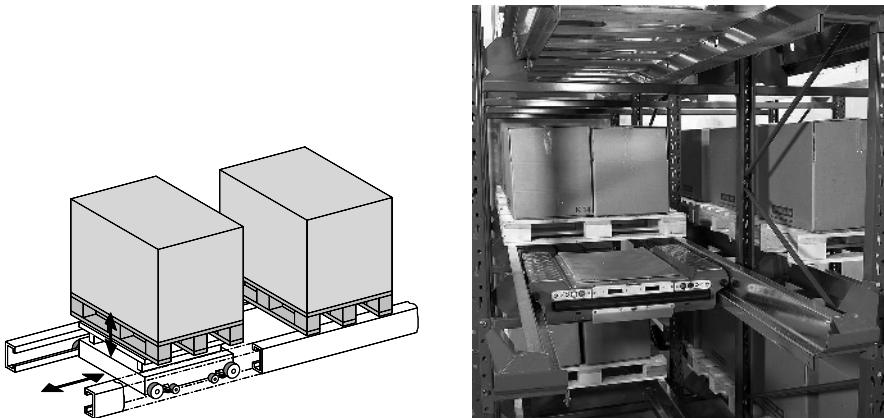
genanntes Trägerfahrzeug, angewiesen. Von diesem werden sie in ihre Schienen eingesetzt und können dort nur geradeaus verfahren. Fahrtrichtungsänderungen finden nicht in den Regalsystemen, sondern nur in der Vorzone statt und müssen mit Drehweichen und Umsetzvorgängen bewirkt werden. Der Umsetzvorgang zwischen parallelen Gängen innerhalb eines Regals wird mit Verschiebewagen realisiert. Höhenunterschiede sind mithilfe von Senkrechtförderern zu überbrücken. Muss der Satellit häufig die Einsatzebenen wechseln, werden Regalbediengeräte als Trägerfahrzeuge eingesetzt, die die Funktionen des Verschiebewagens und des Senkrechtförderers übernehmen. Je nach Regalsystem befinden sich ein oder mehrere Satellitenfahrzeuge in einem Lagerblock.

Die Satellitenfahrzeuge sind zur Energieversorgung und Datenübertragung durch ein Schleppkabel mit dem Trägerfahrzeug verbunden. Dadurch ist das Trägerfahrzeug während der Operationen des Satelliten in der Position vor dem Kanal gebunden. Alternativ werden Satelliten auch autonom, d. h. mit separater Steuerung und Energieversorgung über Batterie oder Schleifleitung betrieben, so dass dem Trägerfahrzeug weitere Bewegungsmöglichkeiten während der durch den Satelliten vorgenommenen Ein- oder Auslagervorgänge ermöglicht werden (vgl. Abschn. 3.4.2, Läger mit Kanal- und Verteilfahrzeugen, S. 70). Der Einsatz von autonomen Satelliten wirkt sich erheblich zugunsten der erreichbaren Umschlagsleistung eines Systems aus.

### **Kanalfahrzeuge**

Kanalfahrzeuge sind Schienenfahrzeuge mit einer vertikalen Lastaufnahme und einer sehr flachen Bauhöhe. Sie bestehen aus einem Rahmen, welcher Steuerung, Antriebe und evtl. die Batterie aufnimmt, und einem Lastaufnahmemittel, das zumeist aus einer oder mehreren Hubplattformen besteht. Allgemein können sie in Schienen in beliebiger Höhe über dem Boden verfahren und sind mit acht oder mehr Rädern, von denen in der Regel mindestens vier angetrieben sind, ausgeführt. Damit können sie beim Überwechseln vom Trägerfahrzeug in den Lagerkanal den Spalt zwischen Regal und Trägerfahrzeug überwinden.

Zur Lastaufnahme gibt es drei Varianten. Bei der ersten fahren die Kanalfahrzeuge unter die Lagereinheit, welche auf ihren Schienen steht, und heben sie über eine integrierte Hubeinrichtung an (vgl. Abb. 4.82). Eine zweite Möglichkeit zur Übernahme der Lagereinheit entsteht durch den Einsatz von Trage- und Verschieberollen. Zusätzlich zu den Antriebsrollen für die Fahrbewegung im Kanal wird das Kanalfahrzeug mit angetriebenen Trage- und Verschieberollen ausgestattet. Nachdem das Kanalfahrzeug vom Trägerfahrzeug in den Kanal eingefahren ist, schiebt es sich unter die Palette und zieht diese über die Rollen im Kraftschluss oder über einen integrierten Gurtförderer auf das Fahrzeug. Bei der dritten Variante von Kanalfahrzeugen wird eine frontale Lastaufnahme mit Hubgabel realisiert. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Ausführungen von Kanalfahrzeugen, die die Lagereinheit



**Abbildung 4.82.** Kanalfahrzeug mit Hubfunktion [Foto: BT]

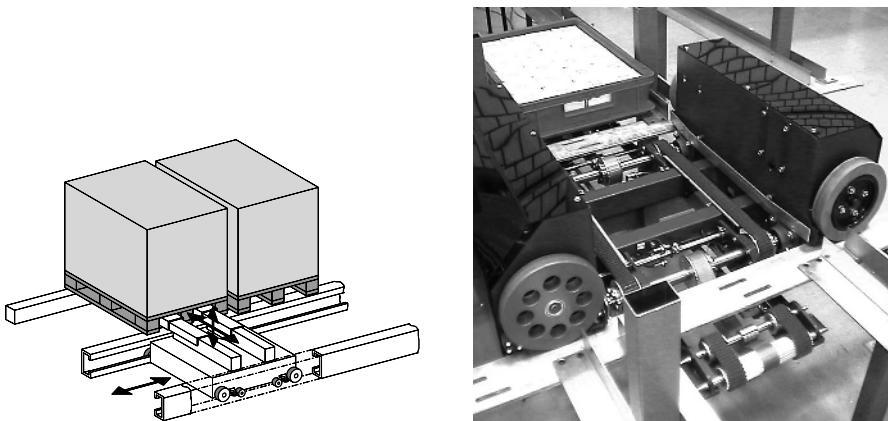
unterfahren, bleibt dieses Fahrzeug wie ein Gabelstapler vor der Ladeeinheit stehen und übernimmt die Lagereinheit durch das Anheben der Gabelzinken. Die dabei entstehenden Lastmomente müssen durch das Regal aufgefangen werden. Diese Bauform eignet sich daher nur für leichte Lagereinheiten, da ansonsten die ins Regal eingeleiteten Kräfte zu groß werden. Diese Kanalfahrzeuge werden von Flurförderzeugen in der Regalanlage positioniert.

Kanalfahrzeuge können in den ersten beiden Ausführungen im unbeladenen Zustand unter anderen Ladeeinheiten hindurchfahren. Die Bauform der Kanalfahrzeuge hängt davon ab, ob eine Quer- oder Längseinlagerung von Paletten realisiert werden soll. Transportiert werden Kanalfahrzeuge in der Lagervorzone durch Regalbediengeräte, Senkrechtförderer oder Verschiebewagen. Kanalfahrzeuge werden in Blockregalen eingesetzt.

### Automatische Verteilfahrzeuge

Automatische Verteilfahrzeuge (AVF) (auch als Autonome Lagerfahrzeuge (ALF) bezeichnet) sind ähnlich wie Kanalfahrzeuge flach ausgeführt und setzen sich aus einem Rahmen, welcher Steuerung, Antriebe und evtl. die Batterie aufnimmt, und aus einem Lastaufnahmemittel für das jeweilig eingesetzte Ladehilfsmittel zusammen (vgl. Abb. 4.83). Im Gegensatz zu den Kanalfahrzeugen werden sie in Zeilenregalen eingesetzt und verfahren neben den in Regalen gelagerten Lagereinheiten.

Sie können in Lagergassen von Behälterregalen, Palettenregal- oder Hochregallägern sowie Verschiebereggallägern einfahren, wenn die gassenseitigen Lasttraversen der Ladeeinheiten als Schienen ausgeführt sind. Zur Lastaufnahme und -abgabe positionieren sie sich in der Gasse vor der Lagereinheit und holen bzw. übergeben sie bei der Handhabung von Paletten wie bei einem Regalbediengerät mit den seitlich herausfahrenden Teleskopgabeln oder mit speziellen Greif- und Ziehtechniken bei der Handhabung von Kartonagen.



**Abbildung 4.83.** Automatisches Verteilfahrzeug (AVF), Multi-Shuttle [Foto: Fraunhofer IML]

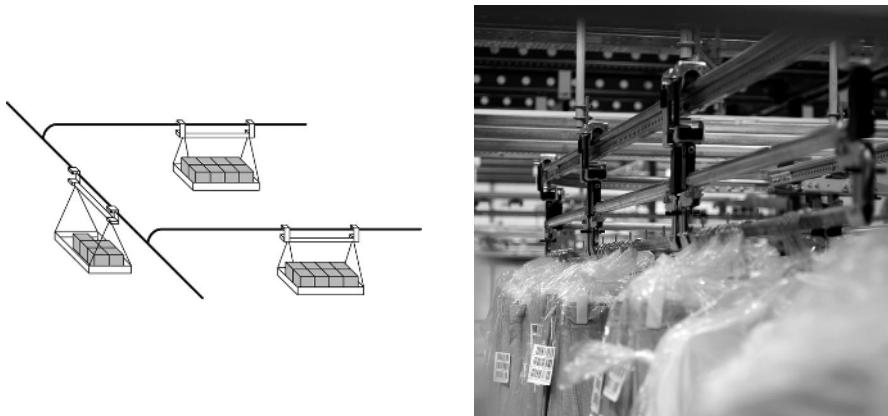
und Behältern aus dem bzw. in das Lagerfach. Sie können somit auch im beladenen Zustand andere Ladeeinheiten passieren. Transportiert werden sie wie Kanalfahrzeuge von Regalbediengeräten oder von Verschiebewagen und Senkrechtförderern. Verstärkt finden Autonome Lagerfahrzeuge Einsatz in Regalanlagen zur Behälterlagerung, in denen sie in den Regalzeilen über die Fahrtraversen mit Energie versorgt und mithilfe von Senkrechtförderern zwischen den einzelnen Ebenen sowie der Vorzone bewegt werden (vgl. Shuttle-Systeme, S. 75).

#### 4.4.3 Flurfreie Unstetigförderer

##### Trolleybahn, Rohrbahn

Unter der Decke ist ein Netz von zum Teil parallel verlaufenden und durch Abzweigungen verknüpften Laufbahnelementen, bei der Trolleybahn (vgl. Abb. 4.84) als Winkel- oder I-Profil und bei der Rohrbahn als Rundprofil, angebracht. An diesen Laufbahnen werden nicht angetriebene Lastgehänge bewegt. Die Gehänge können mit Rollen (Trolleybahn und Rohrbahn) oder mit Gleitelementen (Rohrbahn) versehen sein. Parallel verlaufende Trassen zur Pufferung sind häufig zur Schwerkraftnutzung geneigt ausgeführt, während die zumeist rechtwinklig dazu angeordneten Abzweigungs- und Verbindungstrassen horizontal verlaufen. Hier werden die Gehänge im Allgemeinen manuell verschoben. Beide Förderer können durch Power-and-Free-Förderer oder Kreisförderer (vgl. Abschn. 4.3, ab S. 150) mit Mitnehmern teilautomatisiert werden.

Die Trolleybahn und die Rohrbahn sind eine Kombination von Lager- und Fördersystem für hängende Ware und fallen unter die Gruppe der Förder-



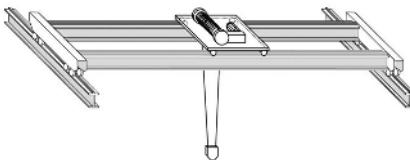
**Abbildung 4.84.** Trolleybahn für hängende Ware [Foto: psb]

mittel mit Pufferfunktion (vgl. Abschn. 3.4.4). Trolleybahnen werden häufig in der Bekleidungsindustrie und -spedition eingesetzt. Dort werden die Kleidungsstücke einzeln im gesamten Materialflusssystem von der hängenden Lagerung in speziellen Hochregalen bis hin zum Lkw-Versand hängend bewegt. Rohrbahnen finden Einsatz in Kühlhäusern für den Transport von Tierhälften.

### Krane

Krane zählen zu den klassischen Umschlagmitteln im Materialfluss. Sie werden vorzugsweise zum Fördergutwechsel zwischen Transportmitteln und zur Handhabung schwerer Lasten eingesetzt. Ein wesentliches Merkmal aller Kranbauformen ist der flurfreie Transport in nahezu beliebiger Richtung ohne Inanspruchnahme von Verkehrswegen. Hinsichtlich der Bauform lassen sich linear verfahrbare Krane mit quaderförmigem Arbeitsraum und Drehkrane mit zylindrischem Arbeitsraum unterscheiden. Sie werden in der Regel in Montage-, Fertigungs- und Lagerhallen sowie in Gießereien, aber auch zum Be- und Entladen von Eisenbahnwagen und Lkw eingesetzt. Im außerbetrieblichen Einsatz befinden sich daneben verschiedene Formen von Fahrzeugkränen, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll. Ebenfalls an dieser Stelle lediglich erwähnt werden sollen die Kabelkrane, die im Baubetrieb oftmals die einzige Möglichkeit sind, in unwegsamem Gelände zu agieren und die (Portal-) Drehkrane, die Einsatz zum Umschlag im Hafenbereich und in Produktionsbetrieben finden. Neuere Entwicklungen zielen auf eine Automatisierung der Krane, die dann sehr ähnliche Eigenschaften wie Portalroboter erhalten. Für automatische Krane wurden spezielle Verfahren entwickelt, die das Pendeln des am Seil hängenden Lastaufnahmemittels ausgleichen (Pendelkompensation) und ein genaues Positionieren in kurzer Zeit ermöglichen.

<b>Brückenkran (bridge crane)</b>	
Traglast	bis zu 500 t
Spannweite	5 – 80 m
Hubhöhe	bis zu 80 m
Krangeschwindigkeit	40 m/min
Katzgeschwindigkeit	30 m/min
Hubgeschwindigkeit	12 m/min



**Abbildung 4.85.** Brückenkran

Auch bei manuell bedienten Kranen werden solche Systeme eingesetzt, um den Bediener zu unterstützen.

### Brückenkran

Brückenkrane (vgl. Abb. 4.85) bestehen im Grundaufbau aus der Brückekonstruktion, dem Hubwerk, den Antrieben und weiteren elektrischen Einrichtungen. Die Brückenträger stützen sich an beiden Enden über Kopfträger, in denen die Laufräder und Fahrantriebe des Kranfahrwerkes gelagert sind, auf an den Wänden oder auf Stützen fest angebrachten Kranlaufbahnen ab (vgl. Abb. 4.85). Die Brückenträger befinden sich oberhalb der Kranlaufbahnen und erstrecken sich von einer Laufbahn zur anderen über die gesamte Fabrikhalle. Sie tragen eine Laufkatze, die das Hubwerk und den Antrieb zum Verfahren der Laufkatze umfasst.

Insgesamt ist das Arbeitsfeld des Kranes in allen drei Dimensionen durch Anfahrmaße eingeschränkt. Diese Einschränkung resultiert in Längs- und Querrichtung durch die Abmaße von Laufkatze, Kranbrücke, Kranfahrwerken und Kranbahnen. Sie ist beim Hub durch die Höhenkonstruktion von Kran und Seilantrieb sowie durch die Hakenhöhe begrenzt.

Brückenkrane können keine Lasten in andere Hallenschiffe übersetzen, da die Laufkatzen nicht auf andere Krane überwechseln können. Es müssen daher für den Wechsel einer Ladeeinheit zwischen verschiedenen Hallenschiffen zusätzliche Fördermittel, beispielsweise in Form von flurgebundenen Unstetigförderern (vgl. Abschn. 4.4.1) oder Drehlaufkatzen, eingesetzt werden. Eine dritte Möglichkeit zur Verbindung paralleler Hallen stellt ein Querschiff dar, in dem ein zusätzlicher Kran auf hochgesetzter Fahrbahn quer zur Fahrtrichtung der anderen Krane arbeitet. Dieses bedingt allerdings einen zweifachen Umschlag.

Brückenkrane existieren als Einträger- und Zweitträgerbrückenkrane. Einträgerkranbrücken in Walzprofil- oder Kastenträgerausführung werden für geringe Traglasten (bis etwa 10 t) und geringe Spannweiten (bis etwa 20 m),

Zweiträgerkranbrücken, ausgebildet als Profilträger-, Fachwerkträger- oder Kastenträgerbrücken, für größere Traglasten und Spannweiten eingesetzt. Aufgrund des hohen fertigungstechnischen und konstruktiven Aufwandes werden Fachwerkträgerbrücken praktisch nicht mehr hergestellt. Aus Transportgründen werden die Zweiträgerbrücken trennbar produziert und am Einsatzort an den Kopfträgern miteinander verschraubt. Die Stirnseiten der Kopfträger sind mit Puffern versehen.

Man unterscheidet Einschienen-, Zweischielen-, Führerstands-, Drehlauf- und Seilzuglaufkatzen [PFLK95]. Ein- bzw. Zweischielenlaufkatzen werden entsprechend bei Ein- bzw. Zweiträgerbrücken verwendet. Oft bestehen sie aus Elektrofahrwerken mit Elektrozügen. Elektrozüge sind standardisierte, in geschlossenen Gehäusen untergebrachte Hubwerke aus Trommel, Verschiebeankermotor mit Kegelbremse und Getriebe. Sie besitzen begrenzte Traglasten. Für spezielle Einsatzfälle und hohe Lasten werden offene Windwerke verwendet. Sie werden, entsprechend dem jeweiligen Anwendungsfall, für unterschiedlichste Geschwindigkeiten und Lasten ausgelegt.

Bei Führerstandslaufkatzen ist die Kabine für den Bediener direkt an der Laufkatze befestigt und verfährt mit dieser. Drehlaufkatzen sind zur Erweiterung des Arbeitsbereiches mit einem Drehkran versehene Laufkatzen, deren Drehbereich unterhalb der Kranbrücke angeordnet ist. Bei Seilzuglaufkatzen wird das Hub- und Fahrwerk von der Laufkatze räumlich getrennt, weshalb sie auch als Ferntrieblaufkatzen bezeichnet werden [PFLK95]. Als Fahrschienen für die Laufkatzen werden Flachstahlschienen auf die Kranbrückenträger geschweißt.

Die Kranbrücke stützt sich über mindestens vier Laufräder (jeweils zwei pro Kopfträger) auf den Kranlaufbahnen ab. Bei Kranen für große Lasten werden jeweils zwei Laufräder pro Fahrschemel angeordnet, so dass der Kran auf acht Laufrädern verfährt. Der Geradelauf der Brücke auf der Kranlaufbahn wird über Spurführungsrollen, die seitlich auf den Kranlaufbahnen laufen und über ein festes Verhältnis von Brückenspannweite zu Kopfträgerbreite (i. Allg. 7:1 bis 4:1) gewährleistet. Neuere Krane werden zusätzlich mit elektronischen Geradelaufregelungen ausgerüstet, welche die Position der beiden Brückenenden erfassen und die Antriebe entsprechend nachregeln. Am Ende der Kranbahnen sind Sicherheitsendschalter angebracht, welche die Kranantriebe bei schnell fahrenden Krane bereits vor Erreichen der Fahrbahnanschläge abschalten, um die Wucht eines möglichen Aufpralls gegen die Endanschläge zu mindern.

Brückenkranne weisen ein dreidimensionales Arbeitsfeld auf und werden für unterschiedlichste Transport- und Stapelarbeiten mit ständig wechselnden Quell- und Zielorten und für Gewichte bis zu 400 t in Fabrikhallen verwendet. Sie bedienen dabei vorwiegend Räume, in denen sich gleichermaßen die Quellen und Senken von Gütern befinden, so dass zusätzliche Umschlagvorgänge entfallen. Sie eignen sich zur Bedienung von Lägern (vgl. Abschn. 3.3) und zur Ver- und Entsorgung von Maschinen und Anlagen in der Produktion.



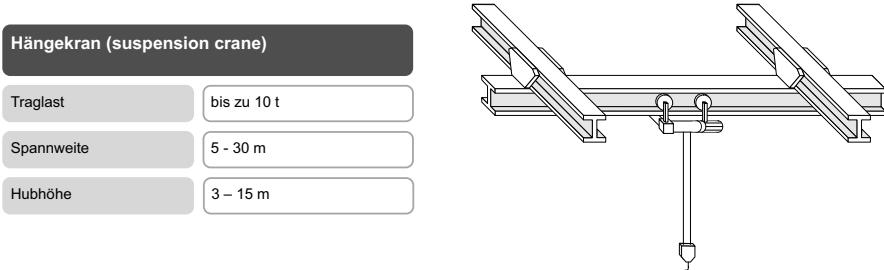
**Abbildung 4.86.** Brückenkran [Foto: Demag]

Ihre Einsatzgebiete betreffen hauptsächlich Lager und Produktionsstätten, in denen schwere und großvolumige Güter gehandhabt werden. So werden Brückenkräne oft in der stahlverarbeitenden Industrie eingesetzt, z. B. bei der Lagerung und dem Versand von Stahlcoils, in Gießereien und im Anlagenbau.

### Hängekran

Hängekrane sind Brückenkrane in Ein- und Zweiträgerausführungen, deren Laufbahnen (z. B. I- oder Stegblechträger mit zwei Winkelprofilen) über Zuganker an der Decken- oder Dachkonstruktion der Halle aufgehängt werden (vgl. Abb. 4.87). Sie sind teilweise lediglich in Längsrichtung versteift und können in Querrichtung pendeln. Die Kranbrücke ist unterhalb der Kranlaufbahnen angeordnet und trägt ebenfalls eine verfahrbare Laufkatze. Hängekrane können Lasten in benachbarte Hallenschiffe oder parallele Kranbahnen befördern, da die Laufkatze von einem Träger auf den Träger des Nachbarkranes überwechselt kann. Das Überwechseln erfolgt direkt, wenn beide Krane in einem Hallenschiff verfahren.

Verfahren die Krane in unterschiedlichen, durch Pfeiler getrennten Hallenschiffen, erfolgt das Überwechseln indirekt über ortsfest auf Höhe der Träger montierte Schienenstücke. Die konstruktive Ausführung von Hängekranken erlaubt den Aufbau von komplexen flurfreien Fördersystemen mit Kurven, Weichen und Pufferstationen, die mit Elektro-Hängebahnsystemen kombiniert werden können. Die Laufkatzen von Hängekranken können auf Elektro-Hängebahnschienen verfahren und somit alle Elemente von Elektro-Hängebahnanlagen nutzen. Dadurch lässt sich mit einem Kransystem ein Fördersystem ohne zusätzlich notwendige Umschlagvorgänge realisieren. Hängekrane eignen sich auch für nicht rechtwinklige Gebäude und Rundbauten.



**Abbildung 4.87.** Hängekran

Die Einzelaufhängung der Laufbahnen an der Deckenkonstruktion bietet die Möglichkeit einer Höheneinstellung auf dem Gewindeteil der Hängestange. Dies ist besonders bei unterschiedlichen Setzvorgängen von Gebäuden vorteilhaft, da Nachjustierungen problemlos vollzogen werden können. Eine pendelnde Lagerung der Laufbahn ermöglicht Kurvenfahrten des gesamten Hängekranes, wenn die Kranfahrmotoren auf verschiedene Geschwindigkeiten im Verhältnis zu den Schienenradien umschaltbar sind.

Die Kranbrücke der Hängekrane ist meistens als Stegblech- oder Kastenträger in Ein- oder Zweitträgerbauweise ausgeführt. An ihr verfährt eine Unterflanschlaufkatze auf an der Unterseite angeschweißten Laufbahnen. Ihr Antrieb erfolgt alternativ durch Elektrofahrwerke oder durch Reibradantriebe, wobei bei letzteren ein Getriebebremsmotor ein mit Gummi oder Kunststoff (Vulkolan) beschichtetes Reibrad antreibt. Für das Hubwerk werden oft Elektrozüge eingesetzt.

Vorteilhaft gegenüber Brückenkranen sind die geringere Eigenmasse und Bauhöhe der Hängekrane. Infolge der seitlichen Pendelmöglichkeit der Kranbahnen weisen sie ohne konstruktiven Mehraufwand bessere Führungseigenschaften auf. Durch den Wegfall der schweren Kranstützen wird die Hallenkonstruktion trotz erhöhter Deckenbelastung leichter und damit preiswerter. Ein Vorteil ist auch der hohe Standardisierungsgrad der Hängekrane. Fahrwerke für Laufkatze und Kran bestehen oft aus identischen Elementen und alle Laufräder weisen gleiche Durchmesser auf. Nachteilig sind die begrenzte Tragfähigkeit und Geschwindigkeit sowie der größere Verschleiß der Hängekrane.

Hängekrane werden in Werkstätten, Lägern, Flugzeughallen und in der Montage zum Transport kleiner bis mittlerer Mengen/Lasten (1-2 t) verwendet. In Kombination mit Elektrohängeschränen sind sie Bestandteile komplexer Fördersysteme in Lägern und in Produktionssystemen.

### Stapelkran

Die bei herkömmlichen Seilhubwerken nachteiligen Eigenschaften wie Lastpendeln und Ausschlag bei außermittiger Lastaufnahme werden bei Stapelkränen durch eine biegesteife Hubsäule kompensiert. Sie sind in Brücken-

oder auch in Hängebauweise meistens als Zweitträgerbrücke ausgeführt. An der Laufkatze (häufig eine Untergurtlaufkatze, die sich zwischen den beiden Brückenträgern befindet) ist eine drehbar gelagerte, starre oder teleskopierbare Stapelsäule befestigt, an der das Lastaufnahmemittel (Greifer oder Gabelzinken) mithilfe von Seilen, Ketten oder hydraulischen Zylindern vertikal bewegt wird. Eine starre Stapelsäule verhindert eine gleichzeitige Durchfahrt von anderen Arbeitsmitteln (z. B. Flurförderzeuge) und beschränkt die Verfahrbarkeit auf definierte Fahrwege. Eine teleskopierbare Stapelsäule vermeidet diese Problematik und erleichtert darüber hinaus eine Fahrzeugbeladung. Neben drehbaren Säulen kommen auch Teleskopgabeln oder Schwenkschubgabeln zum Einsatz (vgl. Abschn. 4.4.1 – Hochregalstapler), um das sonst notwendige Drehen der Stapelsäule bei der Ein- und Auslagerung im Regalgang zu vermeiden. Wegen der klar zu bestimmenden Fahrbewegungen eignen sie sich sowohl für den Mitfahrbetrieb als auch zur Automatisierung.

Stapelkrane sind die Vorläufer der Regalbediengeräte (vgl. Abschn. 4.4.1). Die wesentlichen Nachteile gegenüber Regalbediengeräten sind die geringe Ein-/Auslagerungsleistung, da mehrere Lagergassen überspannt und durch ein einzelnes Gerät bedient werden, und die bei festen Regalen geringere Raumnutzung (Raumhöhe) durch die Bauhöhe der Kranbrücke. Andererseits besitzen sie als flurfreie Fördermittel aber den Vorteil der fehlenden Qualitätsanforderungen an den Hallenboden und erübrigen aufwändige Schienensysteme zum Wechseln der Regalgänge bei regalgangunabhängigen Systemen (siehe auch *Regalgangunabhängige Regalbediengeräte*, S. 186). Sie kommen beispielsweise in Verschieberegallägern oder zur Lagerbedienung von Bodenlägern zum Einsatz. Als Lagerbedientechnik in Verschieberegallen für Paletten finden Stapelkrane in jüngster Zeit neue Einsatzfelder in kompakten Lagersystemen für mittelschnell drehende Artikel.

### **Portalkran**

Im Unterschied zu Brückenkranen verfahren Portalkrane über eigene Stützen auf dem Boden. Brücke und Stützen bilden hierbei ein Portal (vgl. Abb. 4.62). Um eine Ausdehnung der Brücke aufgrund von Wärmeeinwirkung sowie Schienenungenauigkeiten zu kompensieren, wird bei größeren Spannweiten und Traglasten eine Stütze als Pendelstütze ausgeführt. Obwohl sie auf Flurniveau verfahren, gelten sie als flurfrei, da ihre bevorzugte Förderebene flurfrei und oberhalb der eigentlichen Arbeitsebene erfolgt. Sie können auch als Halbportalkrane – eine Kombination eines Brückenkranes und eines Portalkranes – ausgeführt sein, wobei sich eine Seite des Krans auf einer Hallenwand abstützt. Die wichtigsten Bauformen sind Bockkrane und Verladekrane. Aufgrund des hohen Gewichts des Portals und der höheren Investitionskosten im Vergleich zu Brückenkranen werden sie im innerbetrieblichen Bereich nur eingesetzt, wenn eine Abstützung der Kranbrücke über das Gebäude nicht möglich ist. Typischer Anwendungsbereiche ist der Umschlag an Umschlagterminals und Häfen, z. B. zum Containerhandling.

### **Elektro-Hängebahn (EHB)**

Elektro-Hängebahnsysteme (EHB, [VDI 2345]) bestehen aus einem vernetzten, flurfreien Schienensystem, an dem über die Schiene mit Energie versorgte individuell angetriebene Fahrzeuge fahren. Sie bestehen aus einem von der Hallendecke abgehängten oder an aufgeständerten Stützen befestigten Schienennetz mit Geraden, Kurven, Weichen, Kreuzungen, Drehscheiben, Hub- und Senkstationen, Steigungen und Gefällen, aus zahlreichen Einzelfahrwerken und der Systemsteuerung. Durch spezielle Gestaltung der Lauf- und Gegendruckrollen können Steigfahrten bis zu 90° durchgeführt werden. Die Schienen werden in der Regel als Spezialprofil ausgeführt (vgl. Abb. 4.88). Man unterscheidet Innen- und Außenläuferprofile mit ebener oder profiliertter Lauffläche sowie Obenläufer. Innenläufer verfahren in Profilen, die nur eine Öffnung auf der Unterseite besitzen. Die Fahrwerke werden teilweise oder ganz vom Profil umschlossen. Entsprechend befinden sich die Laufräder und Führungsrollen innerhalb der Profile. Außenläufer umschließen die Laufschienen und laufen auf dem Untergurt des Profilträgers. Obenläufer laufen auf dem Obergurt des Profilträgers. Bei ebenen Laufflächen werden zylindrische Laufrollen in den Fahrwerken, bei profilierten Laufflächen wird eine konvex/konkave Laufrad-Schiene-Kombination eingesetzt.

Die Schienen können aus kaltgewalztem Stahl oder stranggepresstem Aluminium ausgeführt sein. Stahlschienen können höhere Gewichte tragen, erlauben entsprechend eine größere freitragende Länge und bedürfen daher einer geringeren Anzahl von Abhängevorrichtungen von der Hallendecke. Ihre größere Masse bedingt allerdings eine aufwändigere Tragkonstruktion. Aluminiumschienen können in beliebigen Querschnittsformen mit hoher Genauigkeit hergestellt werden.

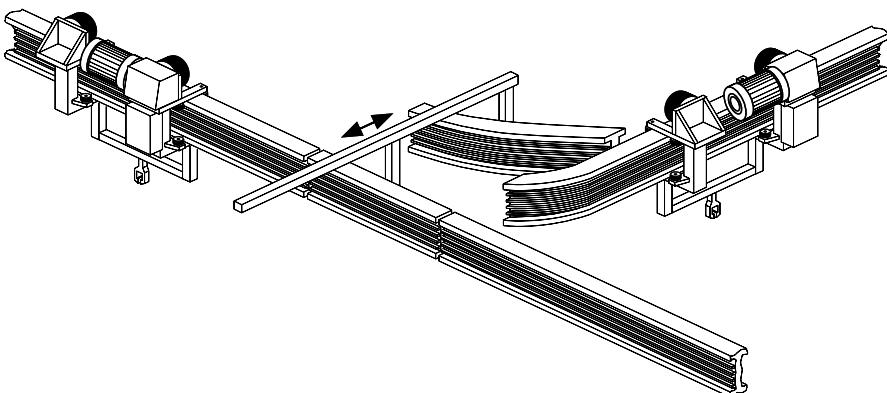
Die Energiezuführung erfolgt über am Schienenprofil angebrachte Schleifleitungen, die bei Innenläfern innerhalb und bei Außenläfern außerhalb der Fahrschienenprofile angeordnet sind. Durch die Speisung mit Energie über die Schiene lassen sich mit den Fahrzeugen Zusatzfunktionen wie zum Beispiel Heben, Senken, Drehen und Greifen erbringen, die von den übrigen Hängefördern nicht erbracht werden können.

Auf Initiative der Automobilindustrie wurde mit dem Ziel der Kompatibilität ein Obenläufersystem mit einem Traglastbereich von 500 kg definiert (vgl. [VDI 3643]), das sehr weite Verbreitung gefunden hat. Der entscheidende Vorteil dieses Systems ist die Möglichkeit, die Fahrzeuge unterschiedlicher Hersteller über einheitliche Schienen zu führen und so auch Erweiterungen von und Durchschleusungen in vorhandenen Elektro-Hängebahnsystemen realisieren zu können.

Die Einzelfahrwerke sind aus einem Fahrgestell mit Laufrädern und Führungsrollen, einem Getriebemotor und einer Steuerung aufgebaut.

In der Standardversion besteht ein Elektrohängebahnhofahrzeug aus einem solchen angetriebenen Fahrwerk und einem nicht angetriebenen Nachläufer, die durch eine drehbar gelagerte Traverse verbunden sind. Direkt unter-

<b>Elektrohängelbahn (electric monorail system)</b>	
Geschwindigkeit	ca. 1 m/s
Traglast	bis 1.500 kg pro Fahrzeug
Steigungsfähigkeit	bis 90°
Fahrzeuge pro Anlage	mehrere hundert

**Abbildung 4.88.** Elektro-Hängelbahn [Foto: AFT]

halb der Traverse werden unterschiedliche Lastaufnahmemittel angehängt. Bei besonders schweren oder langen Lasten werden über Traversen mehrere Einzelfahrwerke miteinander verbunden. Für geringe Lasten kommen verstärkt Einzelfahrwerke ohne Nachläufer zum Einsatz. Die Fahrwerke können bei entsprechender Gestaltung des Kranbrückenträgers auf dem Untergurt der Brücke von Hängekranen verfahren. Als Lastaufnahmemittel finden je nach Einsatzfall Lasthaken, Greifer, Schaukeln, Plattformen und Gondeln Verwendung. Darüber hinaus kommen zahlreiche Sonderkonstruktionen wie beispielsweise elektrische Hubwerke für den Montageeinsatz zur Anwendung.

Elektro-Hängelbahnen sind universelle Fördermittel und einsetzbar in allen Unternehmensbereichen vom Wareneingang, Lager, Kommissionierbereich bis zum Versand, wo keine Gefahrgüter (explosive oder aggressive Stoffe) verarbeitet werden. Sie dienen zur Ver- und Entsorgung von Produktions- und Lagersystemen, zur Verbindung von Produktionsbereichen und zur Verknüpfung mehrerer unabhängiger Transportkreisläufe. Ihr Haupteinsatzfeld ist

auf Fahrstrecken mit geringen bis mittleren Durchsatzleistungen, die schnell überwunden werden müssen. Besonders lange, eingleisige Strecken mit geringer Transportfrequenz sind realisierbar, in denen sie in Konkurrenz zu Flurförderzeugen für die Übernahme von Horizontaltransporten stehen. Elektro-Hängebahnen werden in der Elektro-, Textil- und Lebensmittelindustrie sowie in Krankenhäusern für den Transport von Essens- und Wäschecontainern und in der Automobilindustrie in nahezu allen Montage- und Produktionsbereichen verwendet.

## 4.5 Auswahlkriterien und Systemvergleich

Beim Aufbau eines Materialflusssystems ist die Zahl der Parameter zur Fördermittelauswahl der einzelnen fördertechnischen Elemente sehr umfangreich. Übergeordnete Entscheidungskriterien sind die Investitions- und Betriebskosten einer Variante, die jedoch nicht pauschal angegeben, sondern nur im konkreten Anwendungsfall bestimmt werden können. Auf eine ungenaue Angabe von Kosten wurde deshalb verzichtet. Voraussetzungen für eine Auswahl des adäquaten Fördermittels oder der geeigneten Kombination sind eine detaillierte Transporthäufigkeitsmatrix mit einer Aufstellung aller Haltepunkte, eine Schnittstellen- und Topologiebeschreibung sowie eine Auflistung der Gebäuderestriktionen (z. B. Deckenträgfähigkeit). Darüber hinaus bedarf es zahlreicher weiterer Größen wie Gewicht und Abmessungen der Ladeeinheiten, der notwendigen Transportleistung und nicht zuletzt einer Festlegung, wie exakt der Fördervorgang einzelner Stückgüter verfolgt werden muss. Aus dem Zusammenspiel dieser Faktoren formiert sich die richtige Auswahl von fördertechnischen Elementen zur Durchführung einer Materialflussaufgabe.

Trotz der Vielzahl an Einflussgrößen und Restriktionen wird für die Fördermittel eine Möglichkeit gegeben, wichtige Vor- und Nachteile der einzelnen Fördertechniken einander vergleichend gegenüberzustellen. Dazu sind in den Tabellen 4.4 und 4.5 wichtige Bestimmungskriterien und eine subjektive Bewertung häufig eingesetzter Fördermittel beispielhaft aufgelistet.

Die Vorgehensweise entspricht dem Verfahren der Nutzwertanalyse. Die Beurteilungen zu den aufgeführten Bestimmungskriterien haben keinen allgemeingültigen Charakter, sondern dienen als Muster. Sie müssen im konkreten Fall vom jeweiligen Anwender nachvollzogen werden, um den unterschiedlichen Bewertungen unter verschiedenen Aspekten Rechnung zu tragen. Es empfiehlt sich dabei, im Rahmen der Planung eines Materialflusssystems zusätzlich eine Gewichtung der verschiedenen Bestimmungskriterien vorzunehmen, um ihrer unterschiedlichen Bedeutung zur Zielerreichung mit dem geplanten System gerecht zu werden.

Im Folgenden wird eine kurze inhaltliche Darstellung der Bestimmungskriterien vorgenommen. Der Automatisierungsgrad ermöglicht eine Aussage über das notwendige Maß manuellen Eingreifens und den damit verbundenen Personalaufwand. Er erlaubt weiterhin eine Aussage über die Möglichkeiten einer kontrollierten Materialflussverfolgung der einzelnen Stückgüter.

Die Integrierbarkeit in automatische Materialflusssysteme hängt eng mit dem Automatisierungsgrad zusammen. In der Regel gilt, je höher der Automatisierungsgrad, desto besser ist die Integrierbarkeit der Fördermittel. Doch auch Fördertechniken mit einem niedrigen Automatisierungsgrad (z. B. Rutschsen) können integrierbar sein. Schwierig ist bei ihnen lediglich die Verfolgung und genaue Ortung sowie die Detektierung der Ausrichtung der einzelnen Ladeeinheiten oder Packstücke. Manuell bediente Fördermittel wie Krane oder Flurförderzeuge können zumindest teilweise integriert werden,

wenn die Fahrer beispielsweise durch Datenkommunikation Fahranweisungen erhalten.

Die Flexibilität bei Layoutänderung ermöglicht eine Aussage, welcher Aufwand für die Änderungen der Topologien oder der Fahrwege betrieben werden muss.

Die Flexibilität bei Änderung der Förderleistung zeigt auf, welche Fördertechniken problemlos, beispielsweise durch Zukauf eines weiteren Gerätes, auch größere Stückzahlen pro Zeiteinheit bewältigen können und welche – einmal ausgelegt – nur schwierig auf Steigerungen des Güteraufkommens reagieren können.

Die Kenntnis des Flächenbedarfs für Transportstrecken ermöglicht eine Aussage, wieviel der Hallenfläche ausschließlich oder teilweise von der Fördertechnik belegt wird. Bei der Bewertung dieses Kennwertes sind die flurfreien Fördermittel im Vorteil. Zudem geht in die Bewertung gemäß diesem Kriterium eine eventuelle Mehrfachnutzung von Wegen wie beispielsweise bei dem Einsatz von Flurförderzeugen ein.

Der Grad der Hindernisbildung verdeutlicht, inwieweit die Fördertechniken nicht nur auf Bodenniveau, sondern auch im Raum Hindernisse für andere Fördertechniken oder Arbeitsmittel bilden.

Mit der umkehrbaren Förderrichtung soll kenntlich gemacht werden, ob es sich bei den Fördertechniken um Einbahnstraßen handelt oder ob auf einer Trasse in beide Richtungen gefördert werden kann.

Die Fähigkeit zum Überwinden von Steigungen kann vor allem in mehrgeschossigen Gebäuden von großem Interesse sein und macht ansonsten häufig zusätzlich erforderliche Vertikalförderer oder Aufzüge überflüssig, die in der Regel einen Sprung in der Systemleistung bewirken. Aber auch die Fähigkeit zu einer ansteigenden Verfahrbewegung auf mehrere Höhen niveaus innerhalb einer Halle (niedrig an den Maschinen, hoch über Verfahrwegen) kann von Vorteil sein, wenn dadurch Hubstationen eingespart werden können.

Ein geringer Aufwand bei Verzweigungen ist vornehmlich bei komplexen Systemen wichtig. Benachteiligt sind hier beispielsweise auch die flurfreien Stetigförderer (Kreisförderer, Schleppkreisförderer), da sie ein umlaufendes Zugmittel haben und für Verzweigungen erheblicher Mehraufwand betrieben werden muss, da z. B. an Verzweigungen Zusatzantriebe installiert werden müssen. Die Stau- und Pufferfähigkeit der Fördermittel gibt Aufschluss, inwieweit sie als Fördermittel mit Pufferfunktion (vgl. Abschn. 3.4.4) eingesetzt werden können.

Die Aussage, ob eine Lastübergabe an der gesamten Transportstrecke möglich ist, stellt ein Auswahlkriterium der Fördermittel in Abhängigkeit von der Transporthäufigkeitsmatrix und der Zahl der Haltestellen dar. Anforderungen an den Baukörper können ein Erfordernis besonderer Bodenqualitäten (z. B. bei Automatischen Flurförderzeugen), besonderer Tragfähigkeiten der Stützen (z. B. bei Brückenkränen) oder besonderer Tragfähigkeit der

Dachkonstruktion (z. B. bei Hängekranen und Elektro-Hängebahnen) oder Ähnliches mehr darstellen.

Der Personalbedarf gibt einerseits Aufschluss über den Automatisierungsgrad und andererseits über die zu erwartenden Betriebskosten. Er ermöglicht darüber hinaus eine Aussage über die Abhängigkeit vom Faktor Arbeitspersonal (Krankheit, Fehlbedienung).

Der Steuerungsaufwand zeigt den Komplexitätsgrad der Anlage auf und gibt darüber hinaus einen Hinweis auf die benötigte Steuerungshardware und -software. Eine günstige Bewertung bedeutet in diesem Zusammenhang geringen Steuerungsaufwand.

Die Möglichkeit der Organisation mit Datenverarbeitung hingegen verdeutlicht, inwieweit die Fördertechnik automatisch zu steuern bzw. inwieweit der Mensch als Steuerungsglied erforderlich ist. Als günstig wird eine weitgehende Möglichkeit der Organisation mittels Datenverarbeitung betrachtet.

Mit dem Begriff Erweiterungsfähigkeit wird ausgesagt, wie einfach eine bestehende Fördertechnik auf angrenzende Bereiche ausgedehnt werden kann. Hier müssen Maschinenbau und Steuerungstechnik beachtet werden. Fördertechniken sind schlecht erweiterbar, wenn ein komplettes, neues Fördermittel neben das bestehende zu installieren ist.

Der Notbetrieb bei Störungen ist von wesentlichem Einfluss auf die Verfügbarkeit der Fördertechnik und ermöglicht, dass auch in automatischen Systemen eine gewisse Grundlast im Notfall gefahren werden kann.

Investitionsbedarf und Wartungsaufwand bestimmen die Wirtschaftlichkeit der Fördermittel.

Eine wesentliche Bedeutung kommt weiterhin der Eignung der Fördermittel für unterschiedliche Fördergüter zu. In den Tabellen 4.7 und 4.8 wird daher in Abhängigkeit von charakteristischen Fördergutformen und -eigenschaften die Verträglichkeit bzw. Eignung mit bzw. für gängige Fördermittel dargestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einige Fördermittel, insbesondere die Unstetigförderer, durch die Wahl eines geeigneten Lastaufnahmemittels den Anforderungen nahezu eines jeden Stückgutes angepasst werden können. Bei den Stetigförderern ist diese Tauglichkeit dagegen durch das Funktionsprinzip zumeist fest definiert. Weiterhin gilt zu beachten, dass zu einer Fördermittelauswahl weitere Systemanforderungen wie Durchsätze, bauliche Restriktionen etc. einbezogen werden müssen.

**Tabelle 4.4.** Beispielhafte Bewertung häufig eingesetzter Fördermittel anhand wichtiger Bestimmungskriterien, Stetigförderer

		Stetigförderer											
		Unterflurschleppkettenförderer	Rollenbahn, angelieben	Schwerkraft-Rollenbahn	Förläuferbahn	Kugelbahn	Rutsche	Tragkettenförderer	Band- und Gliederförderer	Kettenförderersystem	S/C-Förderer	Kreisförderer	Power-and-Free-Förderer
Bestimmungskriterien													
Automatisierungsgrad		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Integrierbarkeit in automatische Materialflusssysteme		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Flexibilität bei Layoutänderung		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Flexibilität bei Änderung der Förderleistung		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Flächenbedarf für Transportstrecken		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Hindernisbildung		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Umkehrbare Förderrichtung		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Überwinden von Steigungen		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Aufwand bei Verzweigungen		■	■	■	■	■	■	■	■	■	—	■	■
Stau- und Pufferfähigkeit		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Lastübergabe an gesamter Transportstrecke möglich		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Anforderungen an den Baukörper		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Organisation mit Datenverarbeitung		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Investitionsbedarf		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Wartungsaufwand		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ günstig ■ durchschnittlich □ ungünstig — nicht möglich

**Tabelle 4.5.** Beispielhafte Bewertung häufig eingesetzter Fördermittel anhand wichtiger Bestimmungskriterien, Unstetigförderer I

**Tabelle 4.6.** Beispielhafte Bewertung häufig eingesetzter Fördermittel anhand wichtiger Bestimmungskriterien, Unstetigförderer II

		Unstetigförderer (Teil 2)								
Bestimmungskriterien		Umsetzer	FTS	Aufzug/ Senkrechtförderer	Kanal-/ Verteilfahrzeug	Trolley-/ Rohrbahn	Brücken-/ Hänge-/ Stapelkran	Portalkran	Automatischer Kran	Elektro-Hängesiebahn
Automatisierungsgrad		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Integrierbarkeit in automatische Systeme		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Flexibilität bei Layoutänderung			<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Flexibilität bei Änderung der Förderleistung			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
Flächenbedarf für Transportstrecken			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Hindernisbildung				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Umkehrbare Förderrichtung		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Überwinden von Steigungen				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Aufwand bei Verzweigungen		-	<input checked="" type="checkbox"/>	-		<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Stau- und Pufferfähigkeit						<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>
Lastübergabe an gesamter Transportstrecke möglich				<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Anforderungen an den Baukörper		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Organisation mit Datenverarbeitung		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Investitionsbedarf		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>				
Wartungsaufwand		<input checked="" type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	günstig	<input type="checkbox"/>	durchschnittlich	<input type="checkbox"/>	ungünstig	<input type="checkbox"/>	nicht möglich	

**Tabelle 4.7.** Eignung verschiedener Stetigförderer für unterschiedliche Fördergut-anforderungen

		Fördergut												
		Bodenform				Beschaffenheit		Gewicht						
Stetigförderer		quer	längs	LHM mit Kufen z.B. Europalette	LHM mit Füßen z.B. Gitterboxpaletten	LHM mit glattem Boden, „Behälter“	LHM mit geripptem Boden	Biegsteif	Bieggeschlaff	bis 25 kg	25 bis 50 kg	bis 500 kg	> 500 bis 1000 kg	>> 1000 kg
	Rollenbahn													
Schwerkraftrollenbahn														
Schwerkraftröllchenbahn														
Schwerkraftkugelbahn														
Rutsche														
Tragkettenförderer														
Bandförderer														
Wandertisch														
S-/C-Förderer														
Kreisförderer														
Power-and-Free-Förderer														
		<span style="background-color: black; color: white;">■</span> günstig	<span style="background-color: #e0e0e0;">□</span> durchschnittlich	<span style="border: 1px solid black;">□</span> ungünstig	<span style="border: 1px solid black;">□</span> nicht möglich									

**Tabelle 4.8.** Eignung verschiedener Unstetigförderer für unterschiedliche Fördergutanforderungen

		Fördergut				Beschaffenheit				Gewicht			
		Bodenform		LHM mit Kufen z.B. Europalette	LHM mit Füßen z.B. Gitterboxpaletten	LHM mit glattem Boden, „Behälter“	LHM mit geripptem Boden	Biegestif	Biegenschlaff	bis 25 kg	25 bis 50 kg	bis 500 kg	> 500 bis 1000 kg
Unstetigförderer	quer	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	lang	■	■	■	■	■	■	—	—	■	■	■	■
	Regalbedien-gerät	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Stapler	■	■	■	■	■	■	—	—	■	■	■	■
	Verschiebewagen	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Elektrotragbahn	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Elektro-hängebahn	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Krane	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Kanalfahrzeug/ Verteilfahrzeug	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

günstig  
  durchschnittlich  
  ungünstig  
  nicht möglich

# 5. Teilfunktionen in Materialflusssystemen

## 5.1 Stückgutsortiersysteme

Das Sortieren großer Sortimente mit hohen Geschwindigkeiten gehört zu den anspruchsvolleren Aufgaben der Logistik. Die Anforderungen weltweiter Beschaffungs- und Liefernetzwerke haben die Ansprüche an die Warenverteilung, aber auch an die Leistungsfähigkeit der Sortier- und Verteilsysteme deutlich gesteigert. Die so genannte Atomisierung der Aufträge im Handel führt zu einem vielfachen Anstieg der in den Netzwerken fließenden Stückgüter und der möglichen Zielstellen. Die Logistik verbindet nicht mehr nur die Wirtschaftsunternehmen, sondern theoretisch sind heutzutage weltweit alle Haushalte miteinander vernetzt. In den Netzketten müssen täglich Millionen von unterschiedlichen Gütern auf ihre Ziele sortiert werden.

Das zu sortierende Gutspektrum reicht von Kartonagen mit biegefests Böden und Seiten über Gepäckstücke bis hin zu biegeweichen Textilien und Papierwaren oder Abfallstoffen. Gleichzeitig stellt das Sortieren neben dem Kommissionieren den kostenaufwändigsten Arbeitsvorgang in der Logistik dar.

Aus diesem Grund nehmen Stückgutsortiersysteme in der Materialflusstechnik eine wichtige Rolle ein. Die hier integrierten Systemelemente sind zwar weitestgehend aus der Förder-, Identifikations- und Steuerungstechnik bekannt, doch sind sie hier auf die spezielle Aufgabe hin angepasst und leistungsoptimiert worden. Sie befinden sich in allen Disziplinen auf einem sehr hohen technischen Niveau.

### 5.1.1 Aufbau von Sortiersystemen

Ein *Sortiersystem* umfasst mehr Elemente als den eigentlichen Sorter. Die in Abbildung 5.1 gezeigten Elemente des Sortiersystems werden entweder aus technologischen Gründen oder aus Aspekten der Sichtweise (technikorientiert, allgemein, ...) in den grau hinterlegten Hauptelementen zusammengefasst.

Der *Verteilförderer* besteht aus dem Fördermittel mit den Gutaufnahmen zum Transport auf der Sortierstrecke und den Mechanismen zur Ausschleusung der Sortiergüter.

Zum *Sorter* gehören neben dem Verteilförderer noch die Einschleusung und die Endstellen. Die Differenzierung zwischen Sorter und Verteilförderer

ist eher systemtechnisch bedingt, da vom Namen her gleiche Sorter durchaus unterschiedliche Endstellen haben können. Der Name eines Sorters wird grundsätzlich durch den Verteilförderer geprägt.

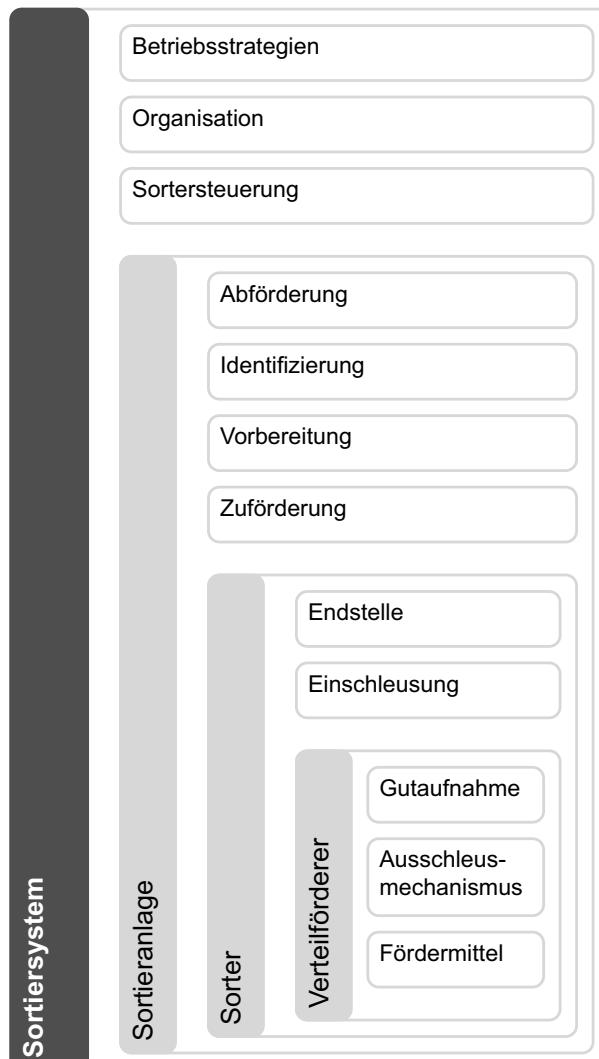


Abbildung 5.1. Aufbau eines Sortiersystems

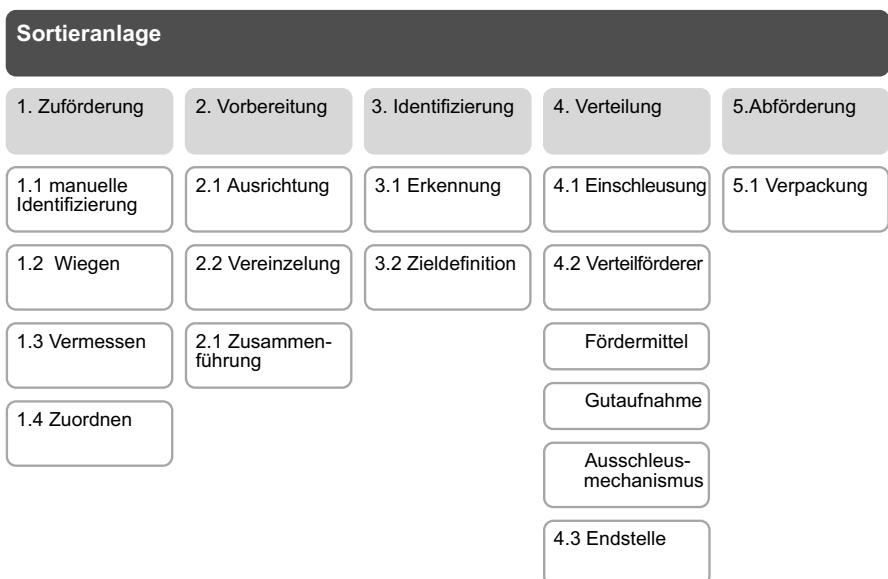
Eine *Sortieranlage* kann aus mehreren Sortern bestehen. Ebenso können mehrere (auch unterschiedliche) Sorter miteinander gekoppelt werden und so eine Sortieranlage bilden.

Die in der Fachwelt nicht durchgängig verwendete Unterscheidung zwischen *Sortiersystem* und *Sortieranlage* ist insbesondere für eine technikorientierte Betrachtung sinnvoll. So umfasst der Aufbau einer Sortieranlage den Maschinen- und Stahlbau, die Elektrotechnik mit den Antrieben und weiteren Akten und Sensoren sowie die Identifikationstechnik.

Das *Sortiersystem* besteht darüber hinaus aus den Systemelementen Steuerung, Betriebsstrategie und Organisation.

### 5.1.2 Aufbau einer Sortieranlage

Sortieranlagen teilen sich in fünf verschiedene Funktionsbereiche auf, die jeweils verschiedene Funktionen zusammenfassen und in Abbildung 5.2 dargestellt sind. Der Materialfluss verläuft von der linken Seite nach rechts, von der Zuförderung aus vorgelagerten Systemen bis zur Abförderung in nachfolgende Systeme.



**Abbildung 5.2.** Aufbau einer Sortieranlage

Es handelt sich in der Abbildung zunächst um eine logische Aufteilung in Funktionsbereiche und Funktionen. Je nach Realisierung und Anlagengröße können die Funktionen örtlich an einer Stelle oder auch in einer anderen Reihenfolge realisiert werden. Teilweise wird das Sortergut erst auf dem Sorter identifiziert, oder Funktionen wie die manuelle Identifizierung oder die Zuordnung auf verschiedene Sorter werden überhaupt nicht realisiert. Den-

noch sind die aufgeführten Funktionsbereiche generell für alle Sortieranlagen typisch.

### 5.1.3 Sortier- und Verteilförderer

Für eine strukturierte Betrachtung bieten sich systematisch aufgebaute Klassifizierungen an. Diese Klassifizierungen können je nach Blickwinkel und Anforderung nach verschiedenen Kriterien (Struktur, Leistung, Technik, ...) erfolgen. Für die weitere Betrachtung bietet sich die häufig verwendete technikorientierte Klassifizierung an.

Aus der Literatur sind verschiedene technikorientierte Klassifizierungen für Sorter bekannt (vgl. [VDI 3312, JS99, BÖCK96]). Weit verbreitet ist eine Klassifizierung in die Kriterien „Belegungsart“ und „Wirkprinzip der Ausschleusung“.

#### 1. Belegungsart

Bei Sortern mit *Einzelplatzbelegung* erfolgt der Transport in diskreten Gutaufnahmen wie Schalen, Platten oder Wannen. Der Vorteil ist die eindeutige Gutposition, nachteilig ist der feste Abstand der Güter zueinander. Bei der *freien Belegung* ist die Gutaufnahme des Verteilförderers beliebig zu belegen und kann daher insbesondere bei sehr unterschiedlichen Gutgrößen hinsichtlich des Gutabstandes optimiert werden. Andererseits muss hier mehr technischer Aufwand in die eindeutige Zuordnung des Gutes gesteckt werden.

#### 2. Wirkprinzip der Ausschleusung

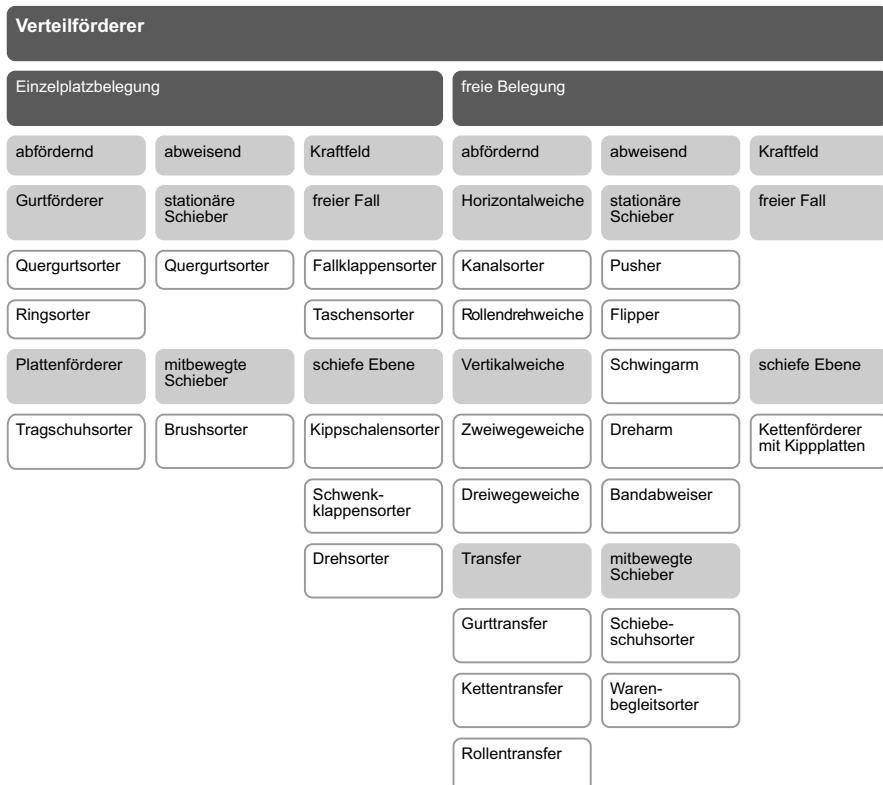
Bei *abfördernden Systemen* liegt das Gut auf einem Ausschleusfördermittel und wird durch seine aktive Bewegung ausgeschleust. In *abweisenden Systemen* wird das Gut durch ein separates Element, welches in den Gutstrom einschwenkt und das betreffende Stückgut passiv abweist oder aktiv abschiebt, ausgeschleust. Systeme, die auf der Wirkung eines *Kraftfeldes* basieren, nutzen zur Ausschleusung die Schwerkraft oder Zentrifugalkräfte.

Fügt man diesen beiden Kriterien das „Fördertechnische Prinzip“ des Ausschleusmechanismus als weiteres Kriterium hinzu, kann das Verhalten der Förderer ebenfalls für die Zuordnung und die Auswahl geeigneter Systeme herangezogen werden.

#### 3. Fördertechnisches Prinzip

Die Systeme werden hinsichtlich der verwendeten fördertechnischen Basiselemente eingeordnet. Diese Basiselemente fassen in der Regel bestimmte Eigenschaften bei der Kraftübertragung und der Bewegung zusammen.

Die in Abbildung 5.3 dargestellte Systematik führt unterhalb der dritten Ebene die derzeit im Bereich der Stückgutsortiersysteme bekannten Verteilförderer und Sorter auf.

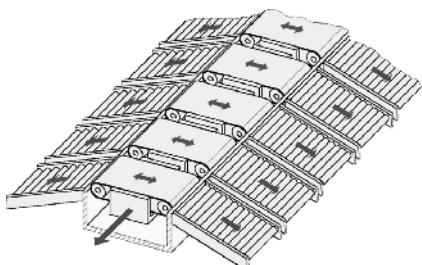


**Abbildung 5.3.** Systematik der Verteilförderer [JtH05]

### Quergurtsorter

Der Quergurtsorter gehört zu den Systemen mit Einzelplatzbelegung und abfördernder Ausschleusung. Der Verteilförderer besteht aus orthogonal zur Förderrichtung angebrachten kurzen Gurtförderern, die einzeln oder zu mehreren, oberhalb oder unterhalb des Fahrwagens montiert sind, die zu einer umlaufenden Kette verbunden sind (s. Abbildung 5.4). Die Güter werden an den Einschleusungen und Ausschleusstellen durch Bewegung des Quergurtes aufgenommen bzw. abgefördert. Die Quergurte sind somit zugleich die Gutaufnahme und der Ausschleusmechanismus.

Die Quergurtsorter unterscheiden sich hinsichtlich des Zugelementes in Systeme mit horizontal und vertikal umlaufenden Ketten. Die *horizontal geführten Kettenzüge* sind in der Regel raumgängig, so dass die Verteilförderer den betrieblichen Gegebenheiten gut anpassbar sind und komplexe Linienführungen aufweisen können.



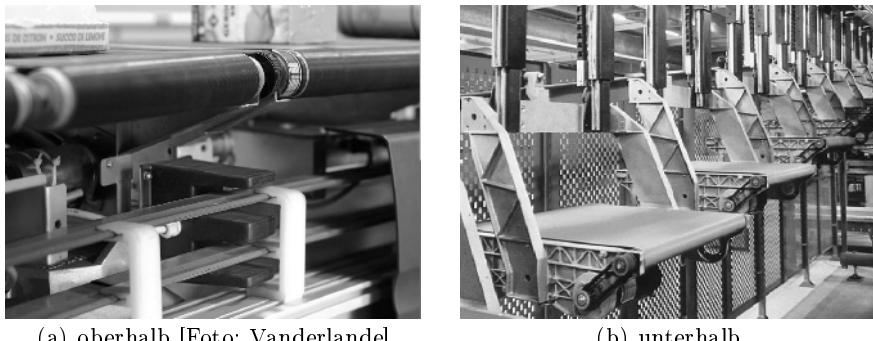
(a) Prinzipbild einstöckig

(b) Realisierungsbeispiel doppelstöckig  
[Foto: Siemens]**Abbildung 5.4.** Quergurtsorter mit horizontaler Kettenführung

Die *vertikal geführten Systeme* sind in der Regel kompakter und können leichter modularisiert werden. Diese Eigenschaften prädestinieren sie für kleinere bis mittlere Einsatzfälle hinsichtlich Endstellenanzahl und Sortierleistung.

Die Quergurtförderer sind in der Regel auf den Fahrwagen angeordnet, bei einigen Bauformen aber auch darunter. Bei dem in Abbildung 5.5(b) abgebildeten Verteilförderer befinden sich die Quergurte unterhalb der Fahrwagen und sind außerdem auf insgesamt vier unterschiedlichen Ebenen zu verfahren, woraus sich die Möglichkeit ergibt, pro Ausschleusposition mehrere Zielstellen zu platzieren. Ein weiterer Vorteil ist, dass herabfallende Güter oder Gutteile nicht in den Verteilförderer und die Führungen fallen und dort zu Störungen oder Zerstörungen führen. Die Systeme mit oberhalb der Fahrwagen installierten Quergurtförderern sind hingegen kompakter und mechanisch stabiler zu realisieren.

Der relativ hohe technische Aufwand ermöglicht gleichzeitig die besondere Leistungsfähigkeit der Quergurtsorter. Durch die Trennung von Fahr- und Abwurfbewegung erfolgt die Gutabgabe schonend und mit hoher Präzision. Bei flexibel steuerbaren Gurtantrieben kann darüber hinaus die Abgabeposition innerhalb der Ausgabestelle beeinflusst werden. Durch seine Bauart erreicht der Quergurtsorter eine sehr hohe Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig geringer Endstellenbreite und eignet sich für nahezu alle Güter. Einschränkungen bestehen bei Gütern mit hoher Schwerpunktlage wegen der Kippgefahr. Das Prinzip eignet sich uneingeschränkt zur beidseitigen Abgabe. Die Technik ist insbesondere bei linear motorisch angetriebenen Versionen geräuscharm (< 65 dB(A)).



**Abbildung 5.5.** Anordnungsvarianten der Quergurte

Quergurtsorter sind technisch relativ aufwändig und somit schwierig erweiterbar und vergleichsweise wartungsintensiv und störanfällig, was durch den hohen Entwicklungsstand heutzutage aber praktisch an Bedeutung verloren hat.

Das Einsatzspektrum von Quergurtsortern ist recht breit. Besonders vorteilhaft gegenüber vielen anderen Techniken ist die Tatsache, dass das Fördergut während der Ausschleusung keine Relativbewegung gegenüber der Auflagefläche (dem Gurt) ausführt. So können selbst Güter mit haftendem Untergrund (z. B. Kataloge in Schrumpffolie) oder Beutelware gefördert werden.

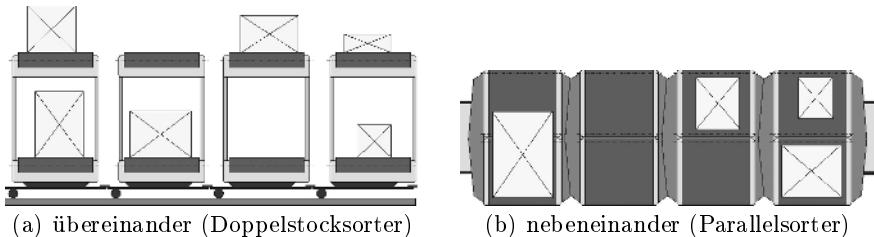
Die typischen Kenndaten der Quergurtsorter sind ohne weiteres nicht vergleichbar. Je nach Abmessungen und Maximalgewichten der Güter werden beispielsweise sehr unterschiedliche Werte für den Durchsatz erreicht ([JtH05], S. 114).

### Mehrfache Ausschleusemechanismen

Der Wunsch nach steigenden Sortierleistungen und mehr Endstellen auf wenig Raum führte zu Lösungen mit mehreren Ausschleusmechanismen pro Ausschleusposition.

Entweder werden an den Fahrwagen zwei übereinanderliegende Quergurtförderer installiert, die pro Endstelle zwei Zielstellen in zwei Ebenen bedienen, oder die Quergurtförderer werden nebeneinander angebracht.

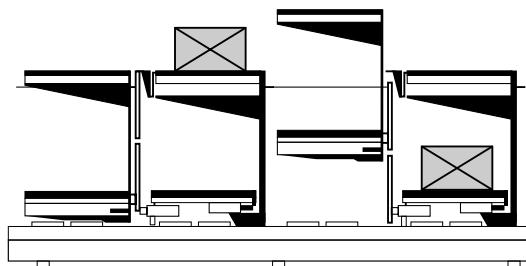
Systemtechnisch kann eigentlich von zwei eigenständigen Sortern mit gleicher Linienführung gesprochen werden. Die vorteilhaften Unterschiede sind jedoch der verringerte Platzverbrauch und Einsparungen beim Führungs- und Antriebssystem gegenüber mehreren eigenständigen Sortern. Nachteilig ist die fehlende Redundanz. Gelingt es, im Einschleusbereich alle Gurte zu belegen, lässt sich die Sortierleistung gegenüber einem einfachen Quergurtsorter verdoppeln.



**Abbildung 5.6.** Mehrfachanordnungen der Quergurtförderer

Beim *Doppelstocksorter* werden die zwei Quergurtförderer horizontal übereinander auf einem Fahrwagen so angeordnet, dass zwischen ihnen genügend Platz für die Sortiergüter bleibt. Diese Anordnung erfordert für jede Ebene eine Einschleusung, die beispielsweise mittels einer Vertikalweiche von einem Einschleusband bedient werden könnte. Die Endstellen bestehen ebenfalls aus zwei in gleichem Abstand angeordnete Zielstellen.

Wird zusätzlich jedes zweite Doppelstockelement mit einem motorisch angetriebenen Hubwerk ausgestattet, welches es ermöglicht, beide Quergurtförderer um ihren halben Abstand nach oben zu bewegen, entstehen weitere Möglichkeiten. Durch das Hubwerk entstehen bei zwei Einschleusebenen insgesamt vier Ausschleusebenen, so dass insgesamt vier Zielstellen pro Endstelle bedienbar sind.



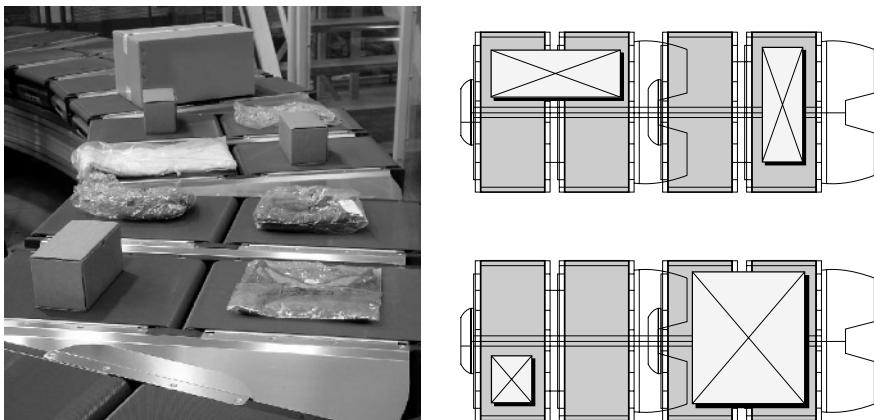
**Abbildung 5.7.** Doppelstocksorter mit Hubeinrichtung

Neben der bei entsprechender Beschickung doppelten Sortierleistung ist der Verteilförderer im Endstellbereich bei gleichzeitiger Reduzierung der Fördererlänge sehr kompakt im Vergleich zu anderen Bauarten mit gleicher Ausschleusleistung. Sowohl die Energieversorgung der Hubwerke und Quergurtförderer als auch die Datenübertragung erfolgen berührungslos [WIE05].

Beim *Parallelsorter* werden zwei Gurtförderer so installiert, dass sich auf jeweils einer Seite des Fahrwagens ein Gurtförderer befindet (s. Abbildung 5.6(b)). Sofern es steuerungstechnisch gelingt, immer zwei Sortiergüter in der richtigen Reihenfolge einzuschleusen und das hintere Gut über den ers-

ten Quergurt hinweg zu fördern, so dass jedes Gut zum Ausschleusen auf der richtigen Seite liegt, kommt man mit einer einseitigen Einschleusung aus. Höhere Leistungen sind jedoch nur bei einer zweiseitigen Ausschleusung erreichbar.

Werden zwei dieser Doppelgurteinheiten hintereinander auf einem Fahrwagen installiert, kommt man zu einer Vierfachanordnung, die unter der Bezeichnung „Quad-Sorter“ realisiert wurde.

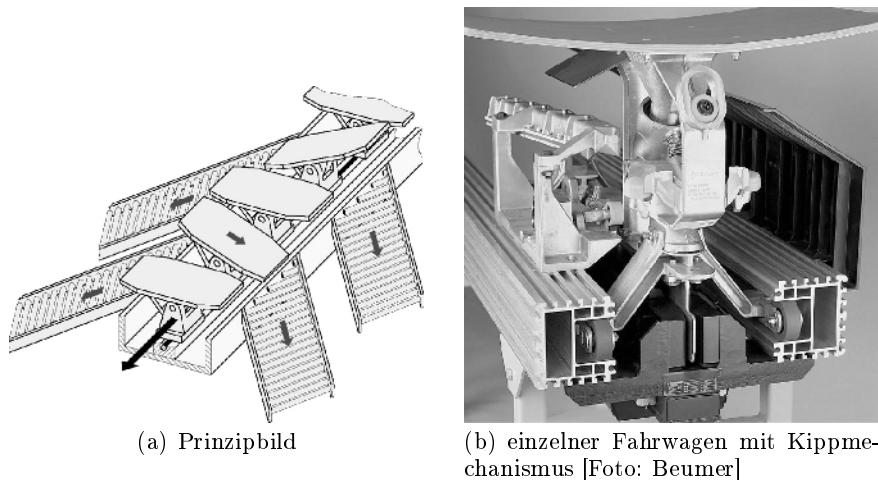


**Abbildung 5.8.** Quad-Sorter [Foto: Dematic]

Es können einer, zwei oder vier Quergurte mit einem Sortiergut belegt werden, weiterhin ist das Durchfördern von Gütern über nebeneinanderliegende Förderer möglich. Durch diese Flexibilität ist eine große Bandbreite an förderfähigen Gutgrößen bei gleichzeitig guter Ausnutzung des Förderers gegeben. Es können vier kleine oder zwei mittlere oder ein mittelgroßes und zwei kleine oder ein großes Gut mit insgesamt maximal 100 kg Gewicht pro Fahrwagen transportiert werden. Durch eine beidseitige Einschleusung und die gleichzeitig beidseitige Ausschleusung können Sortierleistungen von bis zu 41.000 Einheiten pro Stunde erreicht werden.

### Kippschalensorter

Kippschalensorter gehören ebenfalls zu den Systemen mit Einzelplatzbelegung, die Abförderung erfolgt aber über die schiefe Ebene einer gekippten Schale. Der Verteilförderer des Kippschalensorters gleicht prinzipiell dem des Quergurt sorters. Er besteht ebenfalls aus einzelnen Fahrwerken, die auf einem geschlossenen Schienenparcours rollengeführt verfahren. Diese Fahrwerke sind, wie in Abbildung 5.9 erkennbar, gelenkig miteinander verbunden. Angetrieben wird der Endloszug formschlüssig, reibschlüssig oder mit einem



**Abbildung 5.9.** Kippschalensorter

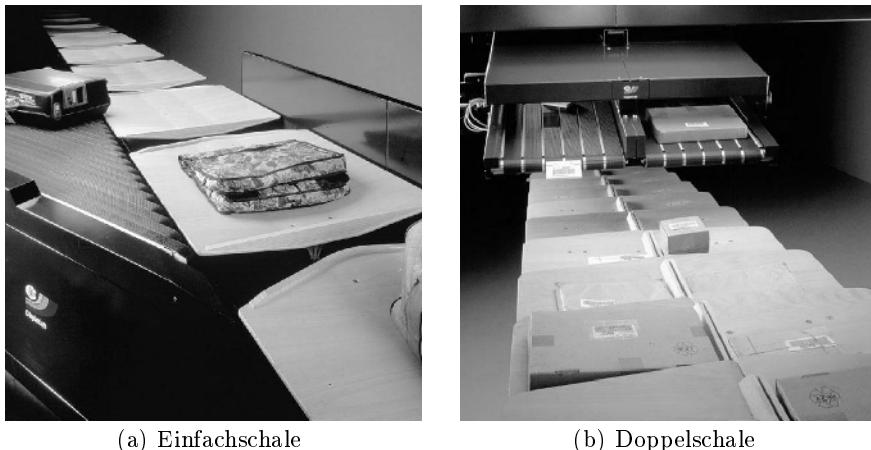
Linearmotor. Auf den Fahrwerken befinden sich als Gutaufnahme beidseitig kippbare Tragelemente (Schalen), auf denen die Güter transportiert werden.

Häufig sind auf einem Fahrwerk zwei solcher Tragelemente hintereinander angebracht. Daher können ebenfalls Güter sortiert werden, die länger als eine einzelne Schale sind, da auch bei Kurvenfahrt keine Relativbewegung zwischen den Tragelementen eines Fahrwerks stattfindet und daher die Güter auf zwei Schalen liegen können.

Die Schalen sind zum Einschleusen und beim Transport in waagerechter Stellung verriegelt. An der entsprechenden Endstelle wird ein Mechanismus betätigt, der das Kippen der Schalen auslöst. Während anfänglich ein freies Kippen durch die Schwerkraft erfolgte, wird die Schalenbewegung heutzutage durch eine Kulissenführung gesteuert oder erfolgt durch einen elektrischen Antrieb. Da dieser Vorgang im Bereich von Millisekunden stattfindet und gleichzeitig relativ hohe Massen (Gut plus Schale plus Teile des Kippmechanismus) beschleunigt werden, kommt der Kippmechanik eine besondere Bedeutung zu.

Bei geeigneter Lagerung der Schalen ist auch die Überwindung von Steigungs- und Gefällestrecken möglich. Als Variante gibt es auch Kippschalensorter mit zwei parallelen Schalen wie in Abbildung 5.10(b) gezeigt. Die Kippschalen können in diesem Fall nur zu einer Seite kippen, und die Güter müssen, den Endstellen zugeordnet, auf die linke oder rechte Schale geschleust werden. Die Nennleistung lässt sich hierdurch verdoppeln, wobei häufig die Traglast der einzelnen Schale reduziert werden muss, sofern die Fahrwagen nicht für die doppelte Belastung ausgelegt sind.

Bei Geschwindigkeiten zwischen 1,0 und 3,5 m/s und Schalenteilungen von ca. 600 mm sind theoretische Sortierleistungen von 6.000 bis 21.000 Einheiten



**Abbildung 5.10.** Varianten des Kippschalensorters [Foto: FKI]

pro Stunde möglich. Durch eine Veränderung der Ket tengeschwindigkeit kann die Leistung an die Anlagenbelastung angepasst werden, so dass insgesamt das Geräusch- und Verschleißverhalten verbessert wird.

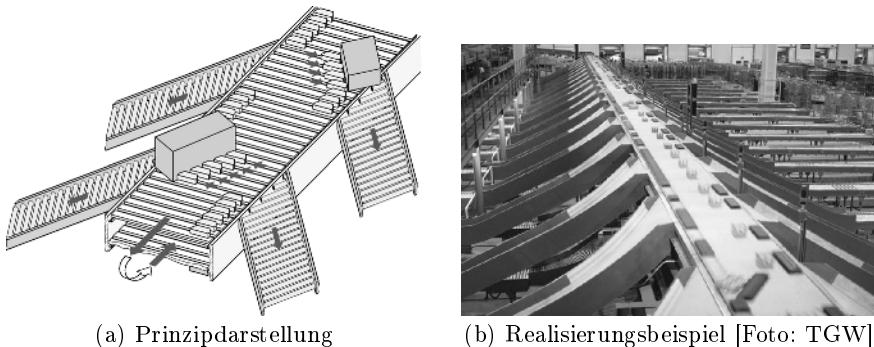
Der Kippschalensorter eignet sich für Güter unterschiedlicher Größe, Gewicht und Form. Entsprechend dem Gutspektrum können die Kippschalen in Größe, Form und Material angepasst werden. Die Sortierung langer Stückgüter (bis zu 2.000 mm) ist über die Belegung von zwei Schalen möglich, die – wie bereits ausgeführt – jedoch auf einem Fahrwagen montiert sein müssen, um Gut und Sorter beeinträchtigende Relativbewegungen bei Kurvenfahrten zu vermeiden.

Da der Ausschleusvorgang hauptsächlich durch ein äußeres Kraftfeld (Schwerkraft) erfolgt und die Güter über die Schale abgleiten müssen, ergeben sich Einschränkungen bei Gütern mit hohem Schwerpunkt und/oder haftenden Oberflächen. Dafür ist der Kippschalensorter für forminstabile und biege weiche Güter wie Gepäck, Sack- und Beutelwaren und verpackte Textilien gut geeignet. Durch die Schalenform werden der Transport und die Ausschleusung der Güter unterstützt, durch die Kippmechanik kann die Abwurfbeschleunigung beeinflusst werden. Typische Einsatzfelder für Kippschalensorter sind Umschlagzentren von Paketdiensten, Distributionszentren oder Verteilanlagen für Fluggepäck.

### Schiebeschuhsorter

Der Schiebeschuhsorter gehört zu den Systemen mit freier Belegung, die Ausschleusung erfolgt abschiebend mit mitbewegten Schiebern. Das Fördermittel des Schiebeschuh sorters ist ein Plattenbandförderer. Er gehört zur Gruppe der Gliederbandförderer. Plattenbandförderer sind Kettenförderer mit zwei parallelen, vertikal umlaufenden Ketten. Als Tragelemente befinden sich zw

schen diesen Ketten Metallprofile mit einer Breite von ca. 100 bis 150 mm und einem Abstand von 10 bis 20 mm. An den Profilen werden die Abweiselemente (Schiebeschuh) orthogonal zur Förderrichtung beweglich geführt. Im Gegensatz zum Tragschuhsorter liegen die Güter aber nicht auf diesen Elementen, sondern werden von ihnen seitlich vom Fördermittel geschoben, wie in Abbildung 5.11 gut erkennbar ist.



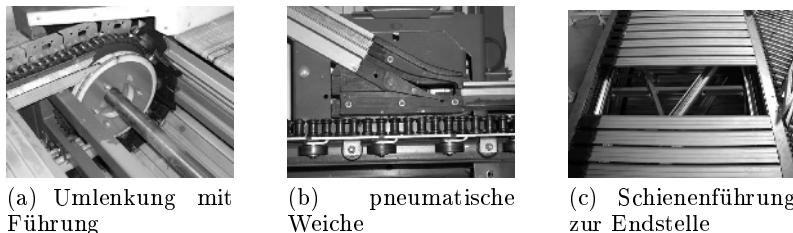
**Abbildung 5.11.** Schiebeschuhsorter

Die Schiebeschuh besitzen an ihrer Unterseite Führungszapfen, mit denen sie in einem Schienensystem zwangsgeführt sind, welches sich innerhalb des Kettenovals jeweils auf der Unterseite der Tragelemente und Ketten befindet.

Das Schienensystem besteht im Obertrum aus zwei rechts und links in Förderrichtung längs verlaufenden Schienen. An jeder Endstelle ist zusätzlich eine weitere diagonal im Ausschleuswinkel verlaufende Schiene von der einen zur anderen Sorterseite installiert. Im Ausgangszustand gleiten die Schuhe in den seitlichen Schienen. Zur Ausschleusung wird an der betreffenden Endstelle eine pneumatisch oder elektrisch angesteuerte Weiche (s. Abbildung 5.12(b)) betätigt, und die der Gutabmessung entsprechende Anzahl Schiebeschuh werden in die Diagonalführung ausgelenkt. Hierdurch werden die betreffenden Güter durch die nunmehr quer zur Hauptförderrichtung bewegten Schiebeschuh in die Endstelle geschoben.

Soll ein Gut in eine rechtsseitige Endstelle ausgeschleust werden, so sind bereits vor der Einschleusung auf die Sortierstrecke die entsprechenden Abweiselemente auf die linke Seite des Förderers zu bringen und umgekehrt. Hierzu befinden sich in den unteren Schienen jeweils eine Querverbindung zu jeder Seite, um die Schiebeschuh am Anfang der Verteilstrecke an eine beliebige Seite des Verteilförderers positionieren zu können.

Da bereits vor der Einschleusung das Sortierziel bekannt sein muss, der Schiebeschuhsorter die Anzahl der für die Ausschleusung zu verschiebenden Schiebeschuh der Länge des Gutes anpasst und die Schiebeschuh bei beid-



**Abbildung 5.12.** Führung der Schiebeschuhre

seitiger Ausschleusung sich auf der richtigen Seite befinden müssen, unterscheidet sich der Vorbereitungsbereich von dem anderer Sorter. Im Vorbereitungsbereich muss eine Gutlängenmessung erfolgen. Sie muss zusammen mit der Identifizierung in ausreichendem Abstand vor der eigentlichen Einschleusung durchgeführt werden, damit noch genügend Zeit bleibt, die zugeordneten Abweiselemente auf die korrekte Seite zu verschieben. Die eigentliche Einschleusung erfolgt linear.

Die Ausschleusung erfolgt schonend und das Gut wird in der zur Endstellausrichtung korrespondierenden Orientierung zwischen  $25^\circ$  und  $40^\circ$  um die Hochachse abgeschoben. Schiebeschuhsorter werden durch ihre robuste, wartungsarme Konstruktion und die Vorteile bei einem Gutspektrum mit stark variierenden Gutlängen häufig eingesetzt.

Durch die vielen bewegten Teile (Kettenglieder und Weichenzungen) und die Schwingungen der langen Kettenstäbe und der Kette steigt das Geräuschniveau bei hohen Kettengeschwindigkeiten deutlich an. Daher werden Schiebeschuhsorter für maximale Sortierleistungen von 9.000 bis 12.000 Einheiten pro Stunde ausgelegt. Gutförderfähig sind lagestabile Güter unterschiedlicher Abmessungen und Gewichte bis 50 kg.

### Transfers

Als Transfer werden Elemente der Standard-Stetigförderertechnik bezeichnet, die in einen anderen Förderer integriert sind, bei Aktivierung aus der Hauptfördererebene heraustrreten und die darüber befindlichen Güter in einen Nebenförderstrom ableiten. Sie gehören zu den Systemen mit freier Belegung und einer abfördernden Ausschleusung. Als Transferförderer sind die klassischen Elemente der bereits in Abschn. 4.3 vorgestellten Stetigförderer Gurt, Kette, Rolle und Röllchen (Scheiben) geeignet. Der Ausschleuswinkel beträgt typisch zwischen  $30^\circ$  und  $90^\circ$ .

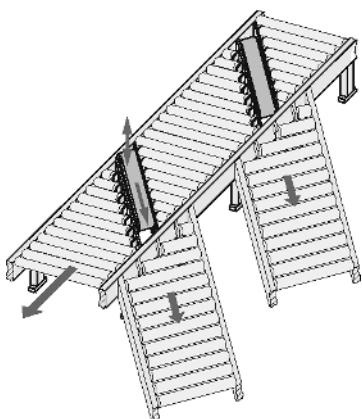
Beim Ketten- und Gurttransfer durchschneidet der Transferförderer das Fördermittel im entsprechenden Ausschleuswinkel. Dazu müsste beim Einsatz eines Gurtbandes ein Schräggurtförderer verwendet werden. Dessen Gurtführung ist allerdings aufwändig und teuer, so dass in diesen Fällen meist Rollenförderer als Fördermittel verwendet werden. Lediglich der Rollentransfer kann auch bei Ausschleuswinkeln unter  $90^\circ$  im rechten Winkel in

den Hauptförderer integriert werden, so dass hier ebenso Bandförderer als Fördermittel einsetzbar sind. Dieser Umstand ist aufgrund der weiter oben beschriebenen Schlupffreiheit vorteilhaft für den Sortievorgang.

### Gurttransfers

Die Gurtransfers können wiederum unterschieden werden in stationäre und mitbewegte Gurtransfers. Der stationäre Gurttransfer funktioniert nur über den Reibschluss des unter dem Sortiergut laufenden Gurtes.

Das darauf folgende Gut darf die Ausschleusstelle erst passieren, wenn der Ausschleusvorgang vollständig abgeschlossen wurde und der Gurtförderer wieder abgesenkt ist. Daher sind relativ große Gutabstände notwendig. In Kombination mit den Schaltzeiten sind daher nur Sortierleistungen von ca. 2.000 Einheiten pro Stunde üblich. Es können sowohl Behälter als auch Kartons ausgeschleust werden.



**Abbildung 5.13.** Gurttransfer



**Abbildung 5.14.** Kettentransfer mit Mitnehmerkette [Foto: TGW]

Der mitbewegte Gurttransfer ist von der Bauform dem Tragschuh- und Schiebeschuhsorter ähnlich. Das Fördermittel ist ein Plattenbandförderer. Die zwischen den Ketten liegenden Gurtförderer sind ca. 100 mm breit. Die Gurte haben auf der Unterseite wie die Trag- und Schiebeschuh eine einen Mitnahmestift, der in einem Schienensystem mit elektrisch betriebenen Weichen geführt ist. Hierüber werden die quer verlaufenden Gurte bewegt. Die Bewegungsenergie wird so dem Plattenförderer entzogen.

Der Sorter kann zu beiden Seiten ausschleusen und wird häufig in Breiten von 560 mm, 710 mm und 865 mm angeboten. Das Bauprinzip für das Fördermittel, der Plattenförderer mit zwei parallelen Ketten, verhindert Kurvenführungen, so dass der Sorter für ein Layout in Linienstruktur prädestiniert



**Abbildung 5.15.** Linear Belt Sorter [Foto: FKI]

ist. Der Ausschleusmechanismus Bandförderer, der gleichzeitig die Gutauflage darstellt, ermöglicht ein breites Spektrum an sortierfähigen Gütern. Von flachen CDs bis zu großen Kartons sind viele Güter förderfähig.

### Kettentransfers

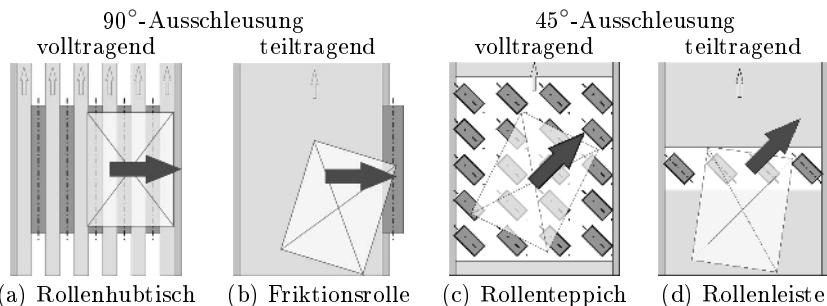
Der Kettentransfer kann das Sortergut entweder als Hubkettentransfer per Reibschluss oder als Mitnehmerkettentransfer per Formschluss ausschleusen. Beim zweiten Fall bleibt die Kette immer unterhalb der Förderebene. Hierdurch kann der Gutabstand geringer und die Ausschleusleistung höher werden, allerdings sind wegen der ungünstigen Krafteinleitung Kartons nicht mehr ohne weiteres auszuschleusen. Die Ausschleusleistung kann bis zu 3.000 Einheiten pro Stunde erreichen.

### Rollentransfers

Die Rollentransfers sind in mehreren Varianten realisiert, die sich allgemein in der Art und Anordnung der Rollen unterscheiden. Systematisch kann man zunächst zwischen Systeme, die nur im  $90^\circ$ -Winkel ausschleusen und solche, die kleinere Winkel, meist  $45^\circ$ , zulassen, unterscheiden. Eine weitere Unterteilung erfolgt in Systeme, bei denen das Gut während der Ausschleusung vollständig getragen wird und jene, bei welchen nur ein Teil des Gutes vom Fördermittel abgehoben und dann vom Fördermittel gezogen wird. Demzufolge ergeben sich vier Hauptvarianten, die in Abbildung 5.16 dargestellt sind. Die dunkelgrau eingezzeichneten Rollen sind angetrieben und haben einen Belag mit hohem Reibwert.

### Rollenhubtisch

Der Rollenhubtisch basiert auf zwei oder mehr parallelen Gurten, zwischen denen zylindrische Rollen installiert sind. Die Rollen befinden sich im Ausgangszustand unterhalb des Förderniveaus der Gurte, so dass die Güter ohne



**Abbildung 5.16.** Ausprägungen der Rollentransfers [JtH05]

Probleme darüber hinweg gefördert werden. Zum Ausschleusen werden die Rollen über das Gurtniveau gehoben und angetrieben, so dass ein sich darauf befindliches Gut je nach Rollendrehrichtung im Winkel von  $90^\circ$  vom Fördermittel ausgesleust wird. Der Rollenhub kann elektrisch wie auch pneumatisch erfolgen. Der Rollenantrieb erfolgt über einen separaten Getriebemotor.

Das Transportprinzip des Bandförderers erlaubt mit 50 kg relativ hohe Gutgewichte bei gleichzeitig schonender Handhabung der Güter und geringer Geräuschentwicklung. Durch den schlupffreien Transport ergibt sich außerdem eine hohe Abwurfgenaugkeit.



**Abbildung 5.17.** Rollenhubtisch [Foto: Vanderlande]

Nachteilig sind das im Vergleich zu anderen Sortern eingeschränkte Gutsspektrum sowie die relativ geringe Sortierleistung von 2.000 Stück pro Stunde bei einer Fördergeschwindigkeit von einem Meter pro Sekunde. Wegen der Lücken zwischen den Riemenscheiben sind Kleinverpackungen kritisch oder überhaupt nicht zu transportieren.



**Abbildung 5.18.** Frikitionsrolle [Foto: Vanderlande]

### Frikitionsrolle

Der Einsatz seitlich angebrachter Frikitionsrollen erlaubt zunächst eine höhere Gurtgeschwindigkeit und höhere Sortierleistungen von bis zu 10.000 Einheiten pro Stunde, allerdings bei geringeren Gutgewichten zwischen 0,45 und 5 kg. Die Ausschleusung erfolgt nur zu einer Seite (vgl. Abbildung 5.18). Die Güter müssen hierzu an der entsprechenden Seite ausgerichtet sein und werden dann durch die Frikitionsrolle angehoben und in die Endstelle ausgeschleust.

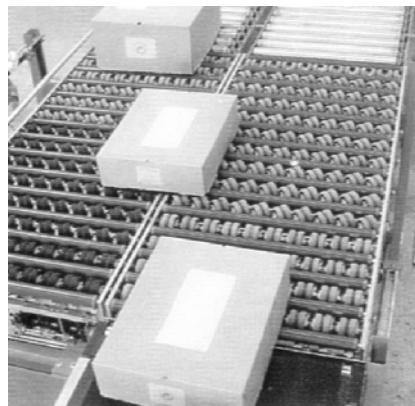
Die Gutausschleusung erfolgt in einem Winkel von  $90^\circ$ . Als Güter sind quaderförmige Packstücke mit glattem Boden geeignet. Ein typisches Einsatzgebiet ist die Sortierung von Schuhkartons.

Zur *Ausschleusung* mit einer Rolle in Winkeln *unterhalb von  $90^\circ$*  müsste die Rolle das Fördermittel im gleichen Winkel schneiden, was nicht oder nur aufwändig möglich ist. Daher werden bei Ausschleuswinkeln unter  $90^\circ$  mehrere kurze Rollen verwendet, die im Ausgangszustand entweder unterhalb des Fördermittelniveaus liegen oder deren Mittelachsen auf einer Linie liegen. Die Rollen fördern dann in die Richtung des Fördermittels.

Zur Ausschleusung werden die Rollen angehoben und gegebenenfalls geschwenkt, so dass sie anschließend im Ausschleuswinkel oberhalb des Fördermittelniveaus das darüber befindliche Gut ausschleusen. Bei nur einer oder zwei hintereinander liegenden Einheiten spricht man von einer Rollenleiste, ansonsten von einem Rollenteppich, der das Gut vollständig abhebt. Ist der Winkel der Rollen fest eingestellt und wird die Funktion durch das Anheben ausgelöst, so spricht man von Hubrollen. Sind die Rollen darüber hinaus schwenkbar, beispielsweise um insgesamt  $90^\circ$  ( $45^\circ$  links, geradeaus,  $45^\circ$  rechts), sind es Schwenkrollen.

### **Rollenteppich**

Beim Rollenteppich sind mehrere Rollenleisten hintereinander angeordnet. Die relativ geringen Massen der Rollenleisten erlauben kurze Schaltzeiten, so dass mit der gezeigten Lösung über 6.000 Einheiten pro Stunde verteilt oder auch zusammengeführt werden können.



**Abbildung 5.19.** Rollenteppich

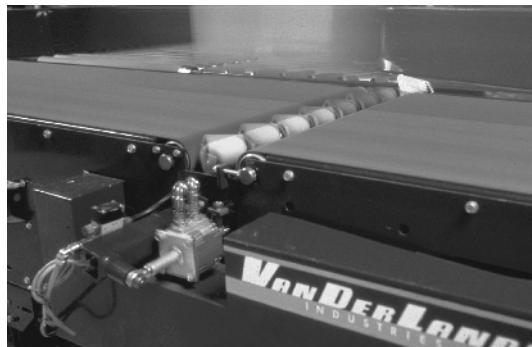
Hier sind folgende Variationsmöglichkeiten vorhanden: zwei Förderströme auf zwei Linien verteilen, zwei Förderströme auf eine Linie zusammenführen oder einen Förderstrom auf zwei Linien verteilen. Wegen der Abstände und Lücken zwischen den Rollen dürfen minimale Gutabmessungen nicht unterschritten werden. Das Gewicht der Güter kann zwischen 300 g und 35 kg liegen.

### **Schwenkrollensorter**

Der Schwenkrollensorter ist eine Sonderform der *Rollenleiste*. Bei der Rollenleiste besteht die Ausschleuseeinrichtung aus einer Reihe einzelner Rollen, die aus der Förderebene heraus angehoben werden können.

Diese Rollen sind angetrieben und schräg angestellt, so dass sie das Fördergut, wenn es sich über sie hinweg bewegt, seitlich ablenken und in die Abgabestelle ausschleusen.

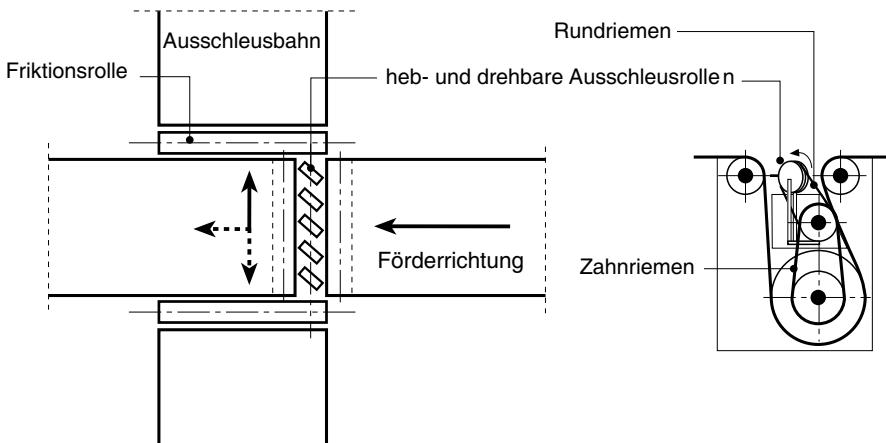
Soll das Fördergut beidseitig ausgeschleust werden, so sind die Rollen zusätzlich schwenkbar auszuführen. In diesem Fall spricht man vom Schwenkrollensorter. Um eine schnelle und sichere Abgabe zu gewährleisten, sollte bereits bei der Einschleusung auf die Sortierstrecke eine Ausrichtung der Teile auf die entsprechende Seite durchgeführt werden. In einigen Ausführungen können an den Abgabestellen zusätzliche Frikitionsrollen angebracht sein, die



**Abbildung 5.20.** Schwenkrollensorter [Foto: Vanderlande]

mit einer Geschwindigkeit von ca. 20 % über der Fördererergeschwindigkeit die Güter vom Förderer *abziehen*.

Zwischen den Rollenleisten an den Ausschleuspositionen befinden sich Rollen- oder Gurtförderer. Der Gurtförderer würde dann häufig und technisch aufwändig unterbrochen. Entweder müssen zwischen den Endstellen einzelne Gurtförderer mit eigenen oder gekoppelten Antrieben eingesetzt werden oder man muss den Gurt wie in Abbildung 5.21 gezeigt unter dem Schwenkrollsatz durchführen.



**Abbildung 5.21.** Prinzipdarstellung des Schwenkrollensorter

Wegen ihres einfachen Aufbaus aus technisch ausgereiften Komponenten zeichnet sich diese Sortiertechnik durch eine hohe Verfügbarkeit bei geringem Wartungsaufwand aus. Die Sortierstrecke ist problemlos erweiterbar. Einschränkungen hinsichtlich der bedienbaren Güter ergeben sich aus der

Anforderung nach stabilen, glatten Böden, damit beim Anheben der Rollenleiste ein Großteil des Gutes vom Hauptförderer abgehoben wird und die Reibkräfte in Hauptförderrichtung unterbrochen werden. Beutel oder Güter mit überhängenden Schlaufen sind für den Sortievorgang mit dieser Technik ungeeignet.

Die typische Ausschleusleistung der Schwenkrollensorter beträgt 7.500 Einheiten pro Stunde. Als Sortiergut eignen sich Kartonagen, Behälter mit glattem Boden, Päckchen, Pakete oder Trays. Die zulässigen Gewichte variieren zwischen einem und 50 Kilogramm.

## 5.2 Kommissioniersysteme

Die Kommissionierung nimmt in Materialflusssystemen eine herausragende Position ein, da ihre Funktion die anforderungsgerechte Verbindung zwischen der Lagerfunktion und der Verbrauchsfunktion (Produktion, Montage, Versand) einzelner Artikel herstellt. Die Kommissionierung ist für die Intralogistik im Allgemeinen und speziell für die Distribution ein zentraler wertschöpfender Prozess, dessen Wirksamkeit und Effizienz besondere Beachtung verlangt<sup>1</sup>.

Allgemein wird die Zusammenstellung einer kundengerechten Bedarfsmenge eines oder mehrerer Artikel als *Kommission*, der dazugehörige Prozess als *Kommissionierung* bezeichnet. Die Kommissionierung beschreibt damit die Zusammenstellung von Artikeln für einen Kundenauftrag, d. h. die Entnahme von Teilmengen größerer Einheiten einzelner Artikel und deren Zusammenführung und Bereitstellung für die Versendung. In der VDI-Richtlinie 3590, Blatt 1 (vgl. [VDI 3590a]) wird der Vorgang des Kommissionierens wie folgt definiert:

*Kommissionieren hat das Ziel, aus einer Gesamtmenge von Gütern (Sortiment) Teilmengen (Artikel) auf Grund von Anforderungen (Aufträge) zusammenzustellen.*

Den klassischen Anwendungsfall für die Kommissionierung stellt die Distribution im Versandhandel dar. In dessen Warenverteilzentren verfolgt die Kommissionierung das Ziel, die Positionen der Kundenaufträge fehlerfrei aus dem Sortiment zusammenzustellen und dem Kunden zusammen mit einer möglichst schnellen Bearbeitung einen hohen Servicegrad zu garantieren.

Im Rahmen der Produktionslogistik stellt die Kommissionierung die Versorgung des Produktionsprozesses sicher und ist hierzu in vielen Fällen zwischen Lager und Produktion eingegliedert. Ziel der Kommissionierung ist es in diesem Fall, eine losgrößengerechte Materialbereitstellung für die Produktion zu sichern und dadurch Unterbrechungen im Fertigungsablauf zu vermeiden.

Eine weitere Möglichkeit zur Einordnung der Kommissionierung in eine Lieferkette ist das so genannte Cross-Docking. Dabei werden die Waren von verschiedenen Zulieferern in einer Cross-Docking-Station angeliefert und ohne Zwischenlagerung direkt auftragsgemäß kommissioniert und an die Kunden ausgeliefert. Diese Vorgehensweise wird in vielen Fällen dort eingesetzt, wo verderbliche Güter in kurzer Zeit umgeschlagen werden sollen. Ziel hierbei ist, neben der Erreichung kurzer Durchlaufzeiten und einer geringen Kapitalbindung, durch eine filialgerechte Anlieferung der Waren unnötige Prozesse in den meist kleinen Geschäftsfilialen zu vermeiden.

---

<sup>1</sup> Teile dieses Abschnittes sind dem Buch [tHS03] entnommen. Die Organisation und Steuerung von Kommissioniersystemen manifestiert sich in adäquaten Warehouse Management Systemen, deren Aufbau und Betrieb in [tHS03] behandelt wird.



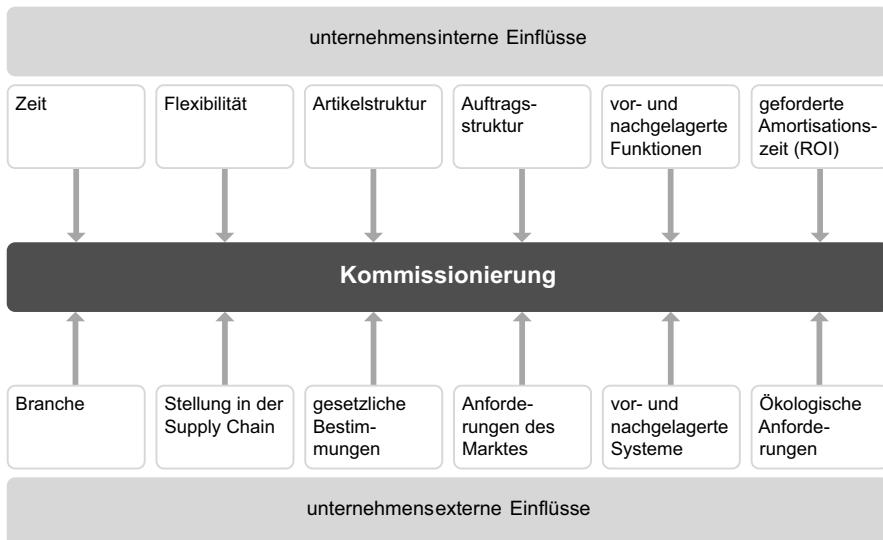
**Abbildung 5.22.** Manuelle Entnahme zur Kommissionierung

In Kommissioniersystemen kommen sowohl gängige als auch spezialisierte Lager- und Fördertechnikelemente zum Einsatz. Aufgrund der guten sensorischen Fähigkeiten des Menschen und seiner hervorragenden Eignung für die Vereinzelung von Artikeln ist die Kommissionierung häufig auch ein sehr manuell geprägter Funktionsbereich. In den meisten Fällen ist die Kommissionierung eine wertschöpfende aber auch kostenintensive Funktion der Intralogistik. Daraus folgt unmittelbar die Notwendigkeit zur genauen Analyse der bestimmenden Einflussgrößen für die Gestaltung eines Kommissioniersystems.

### Einflussgrößen

Die Auswahl und die Dimensionierung eines Kommissioniersystems sind stark von äußeren Einflussfaktoren geprägt, in denen sich die von der Umwelt an das System gestellten Anforderungen widerspiegeln. Diese qualitativen und quantitativen Kriterien geben Rahmenbedingungen für die Systemgestaltung vor und müssen bereits bei der Planung eines Kommissioniersystems berücksichtigt werden. Die folgenden Betrachtungen erläutern zunächst mögliche externe Einflüsse auf die Kommissionierung, wobei das Kommissioniersystem selbst als Black-Box angesehen wird.

Da sich Einflussfaktoren von Fall zu Fall ändern, kann es keine Verallgemeinerung bei der Auswahl von Kommissioniersystemen geben (vgl. [SCHU93]; S.190). Erst unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen und Einflussgrößen kann das „optimale“ Kommissioniersystem ausgewählt werden. Bleiben die von Außen gestellten Anforderungen unberücksichtigt, kann es leicht zu einer falschen Systemauslegung kommen. Das Risiko von Fehlinvestitionen aufgrund hoher Betriebskosten ist dann sehr ausgeprägt.



**Abbildung 5.23.** Einflussgrößen auf Kommissioniersysteme

Zu den externen Faktoren, die auf die Kommissionierung wirken, zählen u. a. die Anforderungen des Marktes, die Anforderungen von vor- und nachgelagerten Systemen, die Stellung der Kommissionierung in der Supply Chain, gesetzliche Bestimmungen, geforderte Amortisationszeiten und die Branche, in der ein Unternehmen tätig ist (vgl. Abb. 5.23).

Die *Anforderungen des Marktes* an ein Kommissioniersystem werden durch den Wettbewerb zwischen den Unternehmen und dem Kaufverhalten der Kunden geprägt. Dies führt zu unterschiedlichen Erwartungen hinsichtlich Servicegrad, Leistung, Kosten, Qualität und Reaktionszeit an das System. Bei Änderungen des Marktes und demzufolge Änderungen der Unternehmensstruktur spielt die Flexibilität eines Kommissioniersystems eine wichtige Rolle. In den letzten Jahren hat sich ein Wandel vom Anbietermarkt zum Käufermarkt vollzogen, bei dem der Kunde zum zentralen Element wurde. Der Verkäufermarkt war durch eine Verknappung des Angebotes und einen hohen Bedarf geprägt. Der wesentliche Erfolgsfaktor war dabei der Produkt-nutzen. Im Gegensatz zum Anbietermarkt ist der Käufermarkt durch eine Bedarfssättigung und eine Globalisierung der Märkte geprägt. Hier steht der Käufernutzen im Mittelpunkt (vgl. [POTY95], S. 3). Dies führt zu kunden-spezifischen Produktions- und Vertriebsmethoden.

Die *Stellung der Kommissionierung in der Supply Chain* hat Einfluss auf die Anforderungen, die an das System gestellt werden. Wie bereits in den oben stehenden Beispielen erläutert, kann ein Kommissioniersystem an unterschiedlichen Stellen in der Wertschöpfungskette angesiedelt sein, wodurch sich starke Unterschiede bei der Art der Aufträge und den durchschnittlichen

Bestellmengen ergeben. Wird durch das Kommissioniersystem unmittelbar der Endkunde beliefert, so sind meist kurze Lieferzeiten, große Artikelsortimente und kleine Auftragsmengen die Folge. Es zeigt sich, dass auch bei gleichmäßiger Nachfrage des Endkunden in Richtung der Zulieferer immer stärkere Nachfrageschwankungen mit gleichzeitig immer größeren Auftragsmengen auftreten. Aus diesen wiederum ergeben sich vollständig andere Anforderungen an das Kommissioniersystem. Es wird deutlich, dass neben der Stellung der Kommissionierung innerhalb der Wertschöpfungskette auch die unterschiedlichen *vor- und nachgelagerten Systeme* einen Einfluss auf den Aufbau eines Kommissioniersystems ausüben.

Auch die *Branche*, in der ein Unternehmen tätig ist, wirkt sich auf die Gestaltung des Kommissioniersystem aus. Jede Branche stellt andere Anforderungen hinsichtlich zu erbringender Leistung, Auftragsdurchlaufzeit, Reaktionszeit, Flexibilität, Qualität und sonstigen Serviceleistungen gegenüber dem Kunden. Diese unterschiedlichen Anforderungen der Branchen an ein Kommissioniersystem werden u. a. begründet durch unterschiedliche Artikelspektren, die sich in ihrer Größenordnung erheblich unterscheiden. Im Buchhandel spricht man erst ab einer Anzahl von 50.000 Artikeln von einem großen Sortiment, im Fachhandel bereits bei einigen hundert Artikeln (vgl. [POTY95], S. 44). Auch die geforderten Auftragsdurchlaufzeiten unterscheiden sich in Abhängigkeit von der Branche. Im Bereich des Pharmahandels werden heute Durchlaufzeiten von unter einer Stunde realisiert, in der Automobilbranche kommt es bei Ersatzteillieferungen zu Zeitspannen von mehreren Tagen aufgrund von Übersee-Transporten.

Obwohl beide Branchen ähnliche Vertriebskanäle nutzen und sich im gleichen Kundensegment bewegen können, verdeutlicht ein Vergleich zwischen Versandhandel und E-Business, wie flexibel und wie spezifisch die Kommissionierung als zentrales logistisches Element den Gegebenheiten anzupassen ist. Den Bereich des Versandhandels kennzeichnet eine statische Artikelstruktur, begleitet von einer starken Bindung des Kundenstamms an das Unternehmen. Im E-Business-Sektor ist hingegen eine dynamische Artikelstruktur und ein Kundenstamm mit geringer Kundenbindung (vgl. [DULL00], S. 120) festzustellen. Für beide Branchen stellt jedoch die Kommissionierung ein zentrales Element der betrieblichen Abläufe dar. Deshalb müssen die bezeichneten strukturellen Unterschiede und Gemeinsamkeiten bei der Planung von Kommissioniersystemen für diese Unternehmen besondere Berücksichtigung finden.

Auch der Faktor *Zeit* spielt eine immer größere Rolle für die Kommissionierung. Kurze Auftragsdurchlaufzeiten, schnelle Transportzeiten, eine geringe Datenübertragungszeit, die Einhaltung der Termintreue sowie eine kurze Lagerdauer sind Forderungen, die den Aufbau eines Kommissioniersystems beeinflussen.

Darüber hinaus begrenzen *gesetzliche Bestimmungen, geforderte Amortisationszeiten* und *ökologische Anforderungen* möglicherweise die Freiheit bei

**Tabelle 5.1.** Kenngrößen für die Analyse und Gestaltung von Kommissioniersystemen (angelehnt an [VDI 3590a] )

Kenngrößen von Kommissioniersystemen		
Auftragsstruktur	Artikelstruktur	Kommissionier- / Lagertechnik
Entnahmemenge pro Position	Größe des Artikelstamms (Artikelanzahl)	Informationsbereitstellung (Terminal, Pickliste ...)
Anzahl der Positionen pro Auftrag	Gewicht pro Entnahmeeinheit	Fläche pro Ladeeinheit
Anzahl der Aufträge pro Zeiteinheit	Abmessung pro Entnahmeeinheit	Höhe pro Ladeeinheit
Auftragsvolumen	Umschlaghäufigkeit (Gängigkeit)	Art der Ladehilfsmittel
Auftragsgewicht	Oberfläche der Artikel	Art der Lagermittel
Wiederholhäufigkeit	Chargen	Möglichkeiten des Zugriffs
Kontinuität des Auftragseingangs	Verfallbarkeit	Abmessungen (Gangbreite etc.)
Auftragsdurchlaufzeit	Gefahrgut	Greiftiefe
Terminierung der Aufträge  (Beispiele: Express, Abholer, Terminauftrag)	...	Greifhöhe
...		Anzahl der Entnahmeeinheiten pro Ladeeinheit
		Anzahl der Zugriffe pro Ladeeinheit
		...

der Auswahl eines geeigneten Kommissioniersystems und sollten schon zu Beginn des Planungsprozesses entsprechend berücksichtigt werden. Des Weiteren führt die Suche nach Synergien zur europaweiten Zentralisierung von Distributionszentren und damit mittelbar zur Beeinflussung der Dimensionierung von Kommissioniersystemen. Aus dieser Entwicklung resultieren höhere Lagermengen und größere Sortimente.

### Kenngrößen der Kommissionierung

Die unmittelbar an ein Kommissioniersystem gestellten Anforderungen resultieren einerseits aus den Vorgaben und Zielsetzungen der direkten Systemumgebung im Unternehmen und andererseits mittelbar aus den zuvor dargestellten externen Einflussgrößen. Konkretisiert und von der Umgebung losgelöst stellen diese Anforderungen in der Regel quantifizierbare Kenngrößen dar, die als operative Steuergrößen oder als Vergleichszahlen im Controlling Anwendung finden. In diesen Kenngrößen spiegeln sich einerseits die dominanten

wirtschaftlich getriebenen Anforderungen eines Unternehmens zur Erfüllung des Geschäftszweckes und zum effizienten Betrieb wider. Andererseits zeigen sich darin auch die durch den Wettbewerb induzierten servicerelevanten Anforderungen, die auf Zeit- und Qualitätsziele bezogen sind. Andere Kenngrößen resultieren aus der Struktur der Kommissionierung und den für die Abwicklung eingesetzten Hilfsmitteln. In Tabelle 5.1 sind verschiedene Kenngrößen in drei Kategorien aufgeführt. Für die meisten dieser Kenngrößen der Kommissionierung gilt, dass sie sowohl in Bezug auf spezifische Artikel oder Aufträge als auch im zeitlichen Verlauf ihres Auftretens variierende Ausprägungen aufweisen können. Es sind deterministische (vorhersagbare) Kenngrößen ebenso wie stochastische (zufällig verteilte) oder dynamische Variablen zu berücksichtigen. Dies führt dazu, dass die Auslegung von Kommissioniersystemen nur in seltenen Fällen mit den Methoden der analytischen Mathematik durchzuführen ist.

### 5.2.1 Systematik der Kommissionierung

Um die komplexe Aufgabe der Planung und Auslegung von Kommissioniersystemen zu vereinfachen und zu strukturieren, wurden Grundfunktionen und Standardabläufe definiert, die eine systematische Vorgehensweise bei der Planung und Organisation eines Kommissioniersystems ermöglichen sollen [VDI 3590b, VDI 3590c]. Bei der Betrachtung von Kommissioniersystemen werden hierbei üblicherweise die drei Bereiche

- Materialflusssystem,
- Organisation und
- Informationsfluss

unterschieden.

#### **Materialflusssystem**

Bei der Gestaltung des Materialflusses eines Kommissioniersystems steht zunächst die Frage im Vordergrund, wie Kommissionierer und Artikel zur Durchführung der Vereinzelung räumlich und zeitlich effizient zusammengeführt werden können und in welcher Form die einzelne Entnahmeeinheit bzw. die Sammel- oder Kommissioniereinheit weiter gefördert wird.

Nur in wenigen Fällen findet keine unmittelbare Bewegung statt, da die Vereinzelung – analog zur Funktionsweise eines Zigarettenautomaten – innerhalb der Maschine selbst erfolgt und von dort zur Sammelstelle gefördert wird (z. B. bei automatischen Kommissionieranlagen wie Schachtkommissionierern). Die physische Kommissionierung setzt sich systematisch betrachtet aus folgenden materialflusstechnischen Grundfunktionen zusammen:

- Bewegung der Güter zur Bereitstellung,
- Bereitstellung,

- Fortbewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung,
- Entnahme der Güter durch den Kommissionierer,
- Transport der Entnahmeeinheit zur Abgabe,
- Abgabe der Entnahmeeinheit,
- Transport der Kommissioniereinheit zur Abgabe,
- Abgabe der Kommissioniereinheit,
- Rücktransport der angebrochenen Ladeeinheit.

Anhand des in Tabelle 5.2 dargestellten morphologischen Kastens lassen sich durch vertikale Kombination der einzelnen Elemente Strukturen und Lösungen für Kommissioniersysteme erarbeiten bzw. beschreiben. Dabei ist darauf zu achten, dass zur Zusammenführung von Kommissionierer und Bereitstelleinheit entweder der Kommissionierer oder die Bereitstelleinheit eine Bewegung durchführen muss. Ebenso muss entweder die Entnahmeeinheit oder die Kommissioniereinheit einen Transport durchführen, um den Kommissionervorgang abzuschließen. Bei dem „Kommissionierer“ kann es sich bei dieser Betrachtung sowohl um einen Menschen als auch um eine Maschine (z. B. Kommissionierroboter) handeln.

Die Bedeutung einer Reihe von Klassifizierungen erfordert dabei besondere Beachtung. Insbesondere die Anwendung der Bezeichnungen „statisch“ und „dynamisch“ erfolgt in der Praxis und der Literatur uneinheitlich. Die klassische und auch in der Lagertechnik verwendete Definition sieht vor, dass bei statischer Bereitstellung eine Einheit zwischen Ein- und Auslagerung am selben Ort verbleibt (vgl. z. B. [GUIDE73]), d. h. der Artikel stationär, beispielsweise in einem Regalfach, zur Entnahme bereitsteht. Analog muss bei dynamischer Bereitstellung die Bereitstelleinheit des gewünschten Artikels zum Entnahmeverort befördert und gegebenenfalls nach erfolgter Entnahme zurückgelagert werden.

In jüngeren Publikationen wird dagegen die Bezeichnung auf den Entnahmevergang konzentriert. Nach dieser Definition befinden sich bei statischer Bereitstellung die zu greifenden Teile in Ruhe, bei dynamischer Bereitstellung erfolgt der Entnahmevergang auf das *bewegte* Teil.

Eng mit dieser Problematik ist die Differenzierung in *zentrale* und *dezentrale* Bereitstellung verknüpft. Unter *zentraler Bereitstellung* wird dabei die Bereitstellung und Entnahme an einem örtlich festen Punkt verstanden oder zumindest an räumlich stark begrenzten Punkten (z.B. zwei bis drei nebeneinanderliegenden Palettenübergabeplätzen oder Kommissionierung aus mehreren Horizontal-Umlaufregalen (s. Abschn. 3.4.3, S. 86)). Die Bereitstelleinheiten werden sequenziell an diesem zentralen Punkt bereitgestellt. Nur auf diese bereitgestellten Einheiten kann zugegriffen werden. Demgegenüber erfolgt bei *dezentraler Bereitstellung* die Entnahme an unterschiedlichen Punkten, zu denen sich der Kommissionierer bewegen muss.

Abwechselnd werden in der Literatur ferner die statische oder die dezentrale Bereitstellung mit dem Prinzip *Person-zur-Ware* und die dynamische

**Tabelle 5.2.** Grundfunktionen des Materialflusssystems

Grundfunktionen Materialfluss	Realisierungsmöglichkeiten		
Bewegung der Güter zur Bereitstellung	keine Bewegung	Bewegung 1-dimensional manuell	2-dimensional mechanisiert 3-dimensional automatisiert
Bereitstellung		statisch zentral geordnet	dynamisch dezentral teilgeordnet ungeordnet
Fortbewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung	keine Fortbewegung	Fortbewegung 1-dimensional manuell	2-dimensional mechanisiert 3-dimensional automatisiert
Bereitstellung		manuell Einzelstückgut	mechanisiert Sammelstückgut automatisiert
Transport der Entnahmeeinheit zur Abgabe	kein Transport	Transport Kommissionierer 1-dimensional manuell	Fördermittel 2-dimensional mechanisiert 3-dimensional automatisiert
Abgabe der Entnahmeeinheit		statisch zentral geordnet	dynamisch dezentral teilgeordnet ungeordnet
Transport der Kommissioniereinheit zur Abgabe	kein Transport	Transport Kommissionierer 1-dimensional manuell	Fördermittel 2-dimensional mechanisiert 3-dimensional automatisiert
Abgabe der Kommissioniereinheit		statisch zentral geordnet	dynamisch dezentral teilgeordnet ungeordnet
Bewegung der Güter zur Bereitstellung	keine Bewegung	Rücktransport ins Lager 1-dimensional manuell	Rücktransport ins Anbruchlager 2-dimensional mechanisiert 3-dimensional automatisiert



**Abbildung 5.24.** Kommissionierung aus dynamisch bereitgestelltem Behälter [Foto: Viastore]

oder die zentrale Bereitstellung mit dem Prinzip *Ware-zur-Person* gleichgesetzt.

Angesichts der Tatsache, dass die Unterscheidung „zentral – dezentral“ jedoch nicht alle Gestaltungsformen abdecken kann und Kommissionierverfahren, bei denen eine Entnahme eines in Bewegung befindlichen Gutes erfolgt praktisch nicht bekannt sind, wird folgende Bedeutung zugrunde gelegt:

Die Differenzierung in *statische* und *dynamische* Bereitstellung klärt, ob die Bereitstelleinheit zur Durchführung einer Entnahme förder-technisch bewegt werden muss<sup>2</sup>.

Und:

Die Differenzierung in *zentrale* und *dezentrale* Bereitstellung definiert den Ort der Durchführung der Entnahme. Bei der zentralen Bereitstellung findet die Entnahme an einem räumlich festen Punkt, bei der dezentralen Entnahme an verschiedenen räumlichen Punkten statt.

Zur Verdeutlichung dieser Unterscheidungen dienen die Beispiele in Tabelle 5.3. Wie diese Auflistung zeigt, ist die statische Bereitstellung nicht gleichbedeutend mit der Bewegung des Kommissionierers zur Ware (*Person-zur-Ware*, (PzW)), da diese im Fall des Kommissionierestes auch zentral erfolgen kann. Demgegenüber ist auch bei der dynamischen Bereitstellung gegebenenfalls eine Bewegung des Kommissionierers erforderlich. In diesen Fällen verschwimmt die Bezeichnung *Ware-zur-Person* (WzP) und es kann nicht mehr eindeutig nach WzP bzw. PzW differenziert werden.

---

<sup>2</sup> Diese Festlegung folgt auch der Definition der statischen und dynamischen Lagerung. Nach [tHH06] werden unter dynamischen Lägern diejenigen verstanden,

**Tabelle 5.3.** Beispiele zur Bereitstellung

Bereitstellung		
	statisch	dynamisch
dezentral	Fachbodenregalanlage	Regalfront an AKL
	<p>Die Bereitstellung erfolgt in einem Fachbodenregal, der Kommissionierer bewegt sich entlang der Regalfront und entnimmt entsprechend der Bedarfsinformationen einzelne Einheiten. Es werden nur die Bereitstelleinheiten angesprochen, für die Bedarf vorliegt. Dieser Ablauf wird auch als das Prinzip „Person-zur-Ware“ verstanden.</p>	<p>Die Bereitstelleinheiten befinden sich beispielsweise in einem automatischen Kleinteilelager (AKL). Die Kommissionierung erfolgt an der bodenebenen Regalebene, seitlich des AKL. Die Bereitstelleinheiten werden in unterster Regalhöhe dynamisch bereitgestellt, allerdings werden verschiedene Plätze angefahren, so dass sich der Kommissionierer wie im Fall des Fachbodenregs vor der Regalzeile bewegen muss.</p>
zentral	Kommissioniernest	Hochregallagervorzone
	<p>Es wird eine Regalanordnung geschaffen (zumeist U-förmige Anordnung), in deren Mitte der Kommissionierer steht und alle Artikel in Reichweite hat. Der Kommissionierer erreicht durch Wegfall sämtlicher Weganteile sehr hohe Kommissionierleistungen (bis zu 1000 Teile/ h). Die Anwendung ist auf die Kommissionierung einer begrenzten Anzahl kleinvolumiger Artikel beschränkt.</p>	<p>Die Bereitstelleinheiten befinden sich in einem automatischen Hochregal oder Kleinteilelager und müssen zur Entnahme an einen zentralen Übergabepunkt befördert werden. Die Lagereinheiten werden nach Auslagerung aus dem Regalfach zumeist über Stetigfördertechnik zum Kommissionierplatz gefördert und anschließend wieder eingelagert. Eine Anordnung dieser Art wird auch als „Kommissionier-U“ bezeichnet und der Ablauf als das Prinzip „Ware-zur-Person“ verstanden.</p>

Bei der Abgabe der kommissionierten Einheiten erfahren die Unterscheidungsmerkmale zum Teil eine andere Bedeutung. Im Fall der Abgabe der Entnahmeeinheit oder der Kommissioniereinheit bezieht sich die Unterscheidung in statische oder dynamische Abgabe auf das abzugebende Fördermittel bzw. die Sammeleinrichtung. Befindet sich das Fördermittel in Bewegung (Stetigförderer), liegt eine dynamische Abgabe vor; wird dagegen auf eine unbewegte Sammeleinrichtung abgegeben, liegt eine statische Abgabe vor. Hinsichtlich der Unterscheidung in zentrale und dezentrale Abgabe verhält sich die Unterscheidung analog zur Entnahme: Wird z. B. eine Sammeleinrichtung mitgeführt, erfolgt die Abgabe der Entnahmeeinheiten an unterschiedlichen Orten, also dezentral; eine Abgabe an einen fest installierten Abgabepunkt ist dagegen zentral. Beispiele für verschiedene Ausprägungsformen liefert Tabelle 5.4.

Weitere Unterscheidungsmerkmale betreffen die Form der Bewegung, die Art der Entnahme und die Ordnung der bereitgestellten oder abgegebenen Güter. Die Bewegung kann in der Kommissionierung ein-, zwei- oder dreidi-

---

bei denen sich die Lagereinheiten während des Verweilprozesses aufgrund von Ein- und Auslagerungen bewegen. Dies ist z. B. beim Durchlaufregal der Fall.

**Tabelle 5.4.** Beispiele zur Abgabe der Entnahmeeinheit

Abgabe der Entnahmeeinheit			
	statisch	dynamisch	
dezentral	Pick-to-Box	Pick-to-Belt	
	<p>Der Kommissionierer legt die Einheiten in einen mitgeführten Behälter („Kommissionierwanne“) ab. Dabei bewegt er sich mit dem Behälter zwischen den Entnahmenstellen.</p> <p>Stellt der Behälter gleichzeitig die zum Kunden gehende Versandeinheit dar, wird das Prinzip als „Pick&amp;Pack“ bezeichnet.</p>	<p>Der Kommissionierer legt die Entnahmeeinheiten direkt nach der Entnahme auf ein parallel zur Regalfront angeordnetes, zumeist angetriebenes Förderband ab. Anschließend bewegt er sich zum nächsten Entnahmestandort.</p>	
zentral	Ware-zur-Person / Kommissionier-U	Ware-zur-Person / Paternosterregal mit Rollenbahn	
	<p>Die an der Entnahmestelle entnommenen Einheiten werden auf eine bereitgestellte Sammeleinheit (Palette oder Behälter) abgegeben und ggf. dort gestapelt.</p>	<p>Die dem Paternosterregal entnommenen Einheiten werden auf einen davor installierten Bandförderer abgegeben. Der Kommissionierer legt keine Wege zurück.</p>	

dimensional erfolgen. Bewegt sich der Kommissionierer ebenerdig entlang einer Regalfront, liegt eindimensionale Bewegung vor. Die zweidimensionale Bewegung kann beispielsweise mittels Regalbediengerät oder Kommissionierstapler, die dreidimensionale mittels Kran erfolgen.

Die Entnahme erfolgt zum überwiegenden Teil manuell, bei schweren oder unhandlichen Gütern auch mechanisiert über entsprechende Hilfsmittel (z. B. Manipulatoren) und bei geeigneten Gut- und Auftragsspektren auch zunehmend automatisiert über Kommissionierroboter oder Schachtkommissionierer in der Pharmazie. Eng mit der Eignung zur Automatisierung ist schließlich auch die Frage des Ordnungszustandes bei der Bereitstellung und Abgabe der Einheiten verknüpft. Die automatische Kommissionierung ist umso einfacher bzw. effizienter realisierbar, je höher der Ordnungszustand der Einheiten ist.

Mit der vorausgegangenen Klassifizierung können einige grundsätzliche Aspekte bei der Planung von Kommissioniersystemen abgeleitet werden. Die Entscheidung, welches System für einen gegebenen Anwendungsfall optimal ist, ist jedoch praktisch nur im Einzelfall im Rahmen einer Systemplanung zu treffen.

## Organisationsformen

Einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz und damit auch auf die Systemwahl besitzt die Organisation des Kommissioniersystems, d. h. die Wahl der Struktur und Steuerung der Abläufe innerhalb des Kommissioniersystems. Gängigerweise werden dabei die *Aufbauorganisation*, d. h. die Struktur der



**Abbildung 5.25.** Kommissionierzone mit Behälterfördertechnik [Foto: Knapp]

Anordnung der Lagerbereiche, und die *Ablauforganisation*, d. h. die Abwicklung des Kommissionierprozesses, unterschieden.

**Aufbauorganisation** Die Aufgabe der Aufbauorganisation besteht in der Definition einer geeigneten Struktur für ein Kommissioniersystem. Dabei steht die Frage im Vordergrund, welche Bereitstellsysteme für unterschiedliche Artikel gewählt werden. In jedem Fall setzt dieser Schritt eine sorgfältige Analyse des Sortimentes und der Auftragsstruktur voraus. Üblicherweise leiten sich daraus variierende Anforderungen an Kapazität, Leistung und Eigenschaften des Bereitstellsystems ab. Solche Anforderungen (vgl. hierzu auch Tabelle 5.1) resultieren u. a. aus

- Volumina, Gewichten und Abmessungen der Bereitstelleinheiten,
- Umschlaghäufigkeiten bzw. Zugriffshäufigkeiten pro Artikel,
- mittleren Entnahmemengen pro Artikel pro Zeiteinheit, pro Zugriff,
- häufigen Kombinationen einzelner Artikel,
- Sicherheitsanforderungen (hochwertige Güter) und
- Temperatur- und Sicherheitsanforderungen.

Da die Bereitstellsysteme sich jeweils durch besondere Eignungsschwerpunkte auszeichnen (vgl. Kap. 3), ist gegebenenfalls die Nutzung unterschiedlicher Systeme sinnvoll. Deshalb werden gängigerweise dezidierte *Zonen* für unterschiedliche Artikeltypen gebildet. Aber auch innerhalb eines Bereitstellsystems kann durch eine logische Zonung (vgl. Abb. 5.39) eine Optimierung erzielt werden.

**Ablauforganisation** Die Produktivität eines Kommissionierers ist geprägt durch die:

- Basiszeit (z. B. Übernahme des Auftrags, Sortieren von Belegen, Aufnahme von Kommissionierbehältern, Abgabe von Ware und Kommissionierbehältern, Weitergabe bzw. abschließende Belegbearbeitung)
- Greifzeit (Hinlangen, Aufnehmen, Befördern und Ablegen der Entnahmeeinheit)
- Totzeit (z. B. Lesen, Aufreißen von Verpackungen, Suchen und Identifizieren, Kontrollieren und Reagieren)
- Wegzeit (Bewegung (Fahren oder Gehen) des Kommissionierers zwischen Annahmestelle – Entnahmestelle – Abgabestelle)

Die Summe dieser Zeitanteile wird als Kommissionierzeit bzw. als *mittlere Kommissionierzeit* bezeichnet, sofern die gemittelten Zeitanteile berücksichtigt werden. Sie wird einerseits durch die Auftragsstruktur und im Wesentlichen von der mittleren Anzahl der Zeilen (Auftragspositionen) pro Auftrag bestimmt. Andererseits hängt sie auch in starkem Maße von der Systemstruktur und der Organisation der zu entnehmenden Einheiten und Entnahmestellen ab. Während die Basis- und Totzeitanteile u. a. durch Wahl eines geeigneten Informationssystems beeinflusst werden können (s. S. 266), stehen die Greif- und Wegzeit im Fokus der Ablauforganisation.

Im einfachsten Fall wird der Kundenauftrag durch *einen* Kommissionierer bearbeitet, der diesen Auftrag vollständig abschließt und anschließend den nächsten Auftrag bearbeitet. Das Prinzip wird als *einfache, auftragsweise Kommissionierung* bezeichnet. Dieser Ablauf kann beim Prinzip Person-zur-Ware durchaus dort sinnvoll sein, wo die durchschnittliche Auftragsmenge die Transportkapazität des Kommissionierers ausfüllt. Sie bietet außerdem den Vorteil eines geringen Aufwandes zur Vorbereitung. Im Minimalfall wird direkt der eingehende Kundenauftrag als Kommissionierliste verwendet. Der Kommissionierer legt dadurch aber lange Wege zurück, da die Kommissionierfolge unmittelbar durch den Auftrag vorgegeben wird, wodurch das Prinzip auf kleine Aufträge und Systeme beschränkt ist.

Die erste Optimierungsmöglichkeit besteht in der gleichzeitigen Sammlung und Bearbeitung mehrerer Kundenaufträge, was als *auftragsparalleles Kommissionieren* oder *Sortieren während der Kommissionierung* bezeichnet wird. Durch Anstieg der Entnahmepunktdichte reduziert sich die mittlere Wegzeit pro Auftrag. Dabei ist der Kommissionierer derart durch das System zu führen, dass er automatisch zum nächsten Entnahmestelle geführt wird und somit lange Totzeiten (Identifizierung des nächstliegenden Artikels) oder Zurückgehen vermieden werden.

In großen Systemen ist es wenig sinnvoll, dass ein Kommissionierer mit dem Auftrag das gesamte Kommissioniersystem durchläuft. In diesem Fall müsste er sich nicht nur in allen Bereichen gleichermaßen auskennen, sondern auch zwangsläufig sehr lange Wegstrecken zurücklegen. Gleichzeitig würde ein

sehr großes Verkehrsaufkommen mit einem nahezu unkoordinierbaren Ablauf entstehen. Aus diesem Grund werden die Bereiche in einzelne Sektionen geteilt, in denen jeweils ein oder wenige Kommissionierer aktiv sind und einen Teil des Kundenauftrags bearbeiten. Nach Abarbeitung der in der jeweiligen Zone befindlichen Artikel werden die Sammeleinheiten in die folgende Sektion weitergereicht. Dieses Verfahren wird als Kommissionieren in *seriellen Zonen* bezeichnet. Vorteilhaft ist dabei insbesondere, dass einzelne Zonen durch Fördertechnik überbrückt werden können, sofern keine Artikel in diesen Zonen zu entnehmen sind.

Alternativ dazu können auch die Kundenaufträge in Teilaufträge zerlegt werden, die jeweils zeitgleich in einzelne Zonen eingeschleust und dort parallel kommissioniert werden, was insbesondere zu einer Verkürzung der Durchlaufzeit der Aufträge führt. Dieses Verfahren wird als parallele bzw. exakter als *zonenparallele Kommissionierung* bezeichnet. Dem möglichen Zeitgewinn stehen wiederum der Aufwand der Vorbereitung der Aufträge und die Notwendigkeit der Zusammenführung der Teilaufträge entgegen. Während die Auftragsaufbereitung weitgehend rechnergestützt ablaufen kann, sind zur Zusammenführung der Teilaufträge ggf. Puffer-, Sammel- oder Verteilsysteme erforderlich (s. Abschn. 5.2.4, S. 286).

Bei allen vorgenannten Verfahren ist die Bindung eines Artikels an den dazugehörigen Auftrag jederzeit ersichtlich. Diese Verfahren werden als *einstufig* bezeichnet, da Entnahme und Zuordnung zum Kundenauftrag in einem Schritt durchgeführt werden. Die Wegzeitreduzierung durch auftragsparalleles Kommissionieren (gleichzeitiges Ansteuern gleicher oder nahe zusammenliegender Artikel bzw. Bereitstelleinheiten) lässt sich dabei jedoch nur bis zu einem bestimmten Grad durchführen, da jeweils eine direkte Trennung in einzelne Aufträge erfolgen muss. Bei der *artikelorientierten Kommissionierung* werden dagegen die Prozesse der Entnahme und der Zusammenstellung der Kundenaufträge voneinander getrennt und in zwei separaten Schritten oder *zweistufig* durchgeführt. Durch diese Maßnahme können alle in einer größeren Auftragsmenge auftretenden identischen Artikel in einem Kommissionierungsvorgang gepickt werden, d. h. die Bereitstelleinheit ist nur einmal anzusteuern bzw. zum Entnahmepunkt zu befördern. Es können sowohl die Wegzeiten als auch die Greifzeiten erheblich reduziert werden.

Dieser Vorgang setzt die Sammlung mehrerer Kundenaufträge in so genannten Auftragsstapeln oder *Batches* voraus, weshalb dieses Prinzip auch als *Batchkommissionierung* bezeichnet wird. Nachdem die gesamten im Auftragsstapel entnommenen Einheiten gesammelt wurden, erfolgt im zweiten Schritt die Verteilung einzelner Entnahmeeinheiten auf die Kundenaufträge. Zur Durchführung dieses zweiten Schrittes stehen verschiedene Sortier- und Verteilanlagen oder Sorter zur Verfügung (vgl. Abschn. 5.1). Die Batchkommissionierung erfordert einen hohen Systemaufwand zur Auftragsvorbereitung, zum Transport der Entnahmeeinheiten und zur Verteilung auf Kunden-

aufträge, wodurch sich dieses Prinzip für kleine Systeme mit einem geringen Auftragsvolumen weniger eignet.

Die artikelorientierte Kommissionierung (Batchkommissionierung, zweistufige Kommissionierung) erbringt eine hohe Kommissionierleistung, setzt allerdings folgende Eigenschaften voraus:

- gute Förderfähigkeit der Entnahmeeinheiten mit ähnlichen Dimensionen und Handhabungseigenschaften,
- rechnergestützte Auftragsaufbereitung und Zusammenführung zur Sortierung der Entnahmeeinheiten und Zuteilung auf Kundenaufträge (Batchberechnung) und
- ausreichende Verdichtungsmöglichkeit des Auftragseingangs, d. h. eine ausreichende Menge an Aufträgen zur Stapelbildung mit weitgehend gleicher Priorität.

**Betriebsorganisation/Steuerungsstrategien** Der Betrieb eines Kommissioniersystems bedarf verschiedener Regeln, Strategien und flexibler Verhaltensmuster, um den im Tagesbetrieb variierenden Systemanforderungen gerecht zu werden. Dementsprechend ist die Betriebsorganisation eines Kommissioniersystems eine Sammlung an die speziellen Anforderungen eines Systems angepasster organisatorischer Regeln, die sowohl Teil des Warehouse Managementsystems als auch statisch etablierte Regeln sein können. Darunter fallen beispielsweise Tätigkeiten wie

- Einlastung bzw. Behandlung von Fixtermin- und Eilaufträgen,
- Auftragseinschleusung in Abhängigkeit momentan verfügbarer Kommissionierleistung, des aktuellen Arbeitsfortschritts oder des Systemstatus,
- Zuteilung von Kommissionierern zu Zonen oder Tätigkeiten (Ressourcenmanagement) und
- Auslösung des Nachschubs.

### Informationsverarbeitung

Die Aufgabe der Informationsverarbeitung besteht in der Erfassung, Aufbereitung und Verarbeitung der zur Durchführung der Kommissionierung erforderlichen Informationen. Dazu zählen im Einzelnen (vgl. [JS99, VDI 3590a])

- die Erfassung der Kundenaufträge unter Berücksichtigung des Servicegedankens gegenüber dem Kunden,
- die Aufbereitung und Organisation eingehender (Kunden-) Aufträge in einem auf das spezifische Kommissioniersystem angepassten Format,
- die Führung der Kommissionierer durch dynamische Zuweisung von Entnahmestandort und -menge und
- die Kontrolle des Prozessablaufes.

**Auftragsaufbereitung** Die erfassten Kundenaufträge sind zur Durchführung einer effizienten Kommissionierung, mit wenigen Ausnahmen bei sehr kleinen Systemen, ungeeignet. In Abhängigkeit des gewählten Organisations- typs der Kommissionierung fallen folgende Tätigkeiten an:

- Vervollständigen der Aufträge mit den zur Kommissionierung relevanten Informationen (Lagerort, Artikelnummer, Sammelbehälter),
- Sortieren der Positionen in der Reihenfolge der Anordnung im Regal,
- Zerlegen der Aufträge in Teilaufträge, die in verschiedenen Zonen abgearbeitet werden,
- Zusammenführen der Aufträge zu einem gemeinsam abzuarbeitenden Auftragsstapel (Batch),
- Filterung von Aufträgen mit gleicher Priorität, Versandart oder gleichem Zieltermin,
- Filterung von Aufträgen unterschiedlicher Behandlung (z. B. Einpositionen- Aufträge).

### Informationsmanagement<sup>3</sup>

**Kommissioniererführung** In praktisch jedem Kommissioniersystem gelangt der Mensch, häufig durch Technik unterstützt, als Kommissionierer zum Einsatz. Im Folgenden soll die Führung von Menschen zur Durchführung der Kommissionierung im Vordergrund stehen. Der Einsatz automatischer Kommissioniersysteme konzentriert sich dagegen auf bestimmte Sortimentsbereiche, in denen die speziellen Vorteile automatischer Systeme zum Tragen kommen. Beim Einsatz automatischer Systeme sind in jedem Fall spezialisierte, an das System angepasste Steuerungen erforderlich.

Die Hauptaufgabe der Kommissioniererführung ist die Übermittlung der relevanten Entnahmeforinformationen mit der generellen Zielsetzung einer maximalen Kommissionierleistung und der Minimierung möglicher Pickfehler. Die Verfahren der Weitergabe der Entnahmeforinformationen an die Kommissionierer lassen sich grundsätzlich in papier- oder belegbehaftete Verfahren und papier- oder beleglose Verfahren unterscheiden.

Fehlerhafte Kommissionervorgänge untergraben nicht nur das Vertrauen der Kunden in die logistische Leistungsfähigkeit des Lieferanten, sie bedeuten in der Regel auch erhebliche finanzielle Verluste und stellen dadurch eine kritische Systemgröße dar. Um die Fehler zu reduzieren, erfolgt eine Kontrolle an verschiedenen Punkten entlang des Kommissionierprozesses. Es bieten sich verschiedene Verfahren der Kontrolle des Kommissionervorganges an,

---

<sup>3</sup> Nicht zu verwechseln mit dem gleichnamigen Begriff aus der Informationstechnologie. Als Informationsmanagement wird im Rahmen der Kommissionierung im Wesentlichen die Art und Weise verstanden, in der (Auftrags-) Information aufbereitet, organisiert und an das Kommissioniersystem bzw. an die Menschen in der Kommissionierung übertragen werden.

die im Wesentlichen von der eingesetzten Form der Kommissioniererführung bestimmt werden.

Neben der Vermeidung von Kommissionierfehlern sollen durch diese Maßnahmen der Systemstatus und die abgeschlossenen Aufträge erfasst werden, um darauf aufbauend Folgeaufträge einzuschleusen. Deshalb wird der Abschluss des Prüfvorgangs auch als *Quittierung* des Auftrags bzw. der Entnahmeeinheit bezeichnet.

**Kommissioniererführung mit Pickliste** Die papierbehaftete Version stellt die klassische Lösung der Kommissioniererführung dar. Der Kommissionierer erhält einen Papierbogen mit den Entnahmeeinformationen. Die Pickliste ist prinzipiell für alle Kommissionierverfahren einsetzbar, bei Verfahren mit automatischer Unterstützung (automatisch gesteuerte Ware-zur-Person-Systeme) ist der Einsatz jedoch wenig sinnvoll, da die Informationen zur Steuerung der Anlagen (z. B. horizontale oder vertikale Umlaufregale) ohnehin elektronisch aufbereitet vorliegen.

Entscheidend für die Kommissionierleistung ist die Reihenfolge der Entnahmeeinformationen auf der Liste. Diese sollte der Reihenfolge der Artikel in der Regalzeile entsprechen. In größeren System mit volumen- und wegoptimierter Anordnung der Entnahmeeinheiten ist die Pickliste gegenüber dem Auftragseingang, der typischerweise kunden-, alphabetisch- oder artikelnummernorientiert erfolgt, zu reorganisieren. Diese Funktionalität kann sinnvoll nur durch rechnergestützte Verwaltungssysteme erfolgen.

Vorteilhaft bei der Pickliste sind sowohl die relativ günstige Vorbereitung und Ausfertigung als auch die einfache Umsetzung des Prinzips. In geeigneten Fällen können auch Nebenfunktionen ausgeführt werden. Eine gängige Anwendung ist die Pickliste in Form von Klebeetiketten (Label), bei der die Entnahmeeinheiten mit verschiedensten Informationen (u. a. auch Preisauszeichnung) versehen werden können. Dadurch können wiederum Arbeitsschritte eingespart werden.

Eine Selbstkontrolle des Kommissionierers wird oft durch Abhaken der einzelnen Positionen einer Pickliste und die Quittierung beispielsweise durch Abzeichnen der abgeschlossenen Kommissionierliste realisiert. Eine weitere Kontrolle bei der Kommissionierung mit Pickliste lässt sich aber nur durch nachfolgende 100%-Kontrolle des komplettierten Kundenauftrags vornehmen.

**Papierlose Führung und Kontrolle des Kommissionervorganges**  
Nachteile der Pickliste bestehen in dem hohen Totzeitanteil zur Identifizierung der nächsten Entnahmeposition, der Handhabung der Liste und insbesondere in der großen Inflexibilität. Die Vorbereitung und der Ausdruck der Listen benötigen nicht reduzierbare Grundzeiten, kurzzeitige Änderungen sind nur problematisch einzuführen. Dies zeigt sich insbesondere bei auftretenden Fehlmengen, die gemeldet und manuell verarbeitet werden müssen. Aus diesen Gründen ist die Pickliste bei Verfahren, die eine sehr schnelle

**Tabelle 5.5.** Papierlose Verfahren der Kommissioniererführung

Verfahren der Kommissioniererführung	
Bezeichnung	Funktion
Mobiles Terminal	Der Kommissionierer erhält die Entnahmeeinformation online (via Infrarot oder Funk), in anderen Fällen auch offline (via Dockingstations), visuell über LCD-Anzeigen oder akustisch (Pick-by-Voice).
Stationäres Terminal	Festinstallierte Monitore zeigen (online) die Entnahmeeinformationen an; häufiger Einsatz an zentralen Kommissionierstellen, z. B. an Ware-zur-Person-Kommissionierstationen
Pick-by-Light	Optische Anzeigen an Regelflächen zeigen die anzusprechenden Bereitstellungseinheiten und die jeweils zu entnehmende Menge an; häufiger Einsatz an Durchlauf- oder Fachbodenregalen.

**Abbildung 5.26.** Pick-by-Light Panel für die manuelle Kommissionierung [Foto: Hörmann]

Adaption des Kommissionierverhaltens auf wechselnde Systemzustände erfordern (dazu zählen dynamische Batchsteuerungsverfahren in der zweistufigen Kommissionierung), nicht einsetzbar.

Daher kommen alternativ zur Pickliste verschiedene papierlose Verfahren zum Einsatz (s. Tabelle 5.5). Diese Online-Verfahren bieten die Möglichkeit der Erfassung des Bearbeitungsfortschrittes und so die Grundlage zur Anpassung der Auftragssteuerung an das Systemverhalten (Systemlast und -kapazität). Außerdem sind Bestandsabweichungen dabei durch EDV-gestützte Inventurverfahren unmittelbar erfassbar und können kurzfristig in den Kommissionierprozess eingepflegt werden (vgl. z. B. [tHS03]).

Die papierlosen Verfahren bieten bessere Möglichkeiten der Quittierung eines Auftrags. Sofern die Weitergabe der Entnahmepositionen jeweils einzeln erfolgt<sup>4</sup>, lässt sich jede Entnahmeeinheit oder jede Position separat überprüfen bzw. quittieren. Allerdings ist auch der damit verbundene Zeitaufwand zu beachten, der insbesondere bei der Quittierung der einzelnen Entnahmeeinheit sehr hoch ist. Ein klassisches Problem besteht bei der Pick-by-Light-

<sup>4</sup> Dies geschieht zwangsläufig bei Pick-by-Voice und den meisten mobilen Terminals; Verfahren wie Pick-by-Light ermöglichen die Weitergabe mehrerer Kommissionierpositionen gleichzeitig.

**Tabelle 5.6.** Durchschnittliche Fehlerraten unterschiedlicher Kommissioniersysteme nach [LOLL03]

Fehlerraten	
Technisches Hilfsmittel	Durchschnittliche Fehlerrate
Pick-by-Voice	0,08%
Beleg	0,35%
Etiketten	0,37%
Pick-by-Light	0,40%
mobile Terminals	0,46%
mobile Terminals und Etiketten	0,94%

Kommissionierung indes darin, dass Kommissionierer in der Praxis dazu tendieren, die Quittierungstaste *vor* dem Pick zu betätigen, woraus üblicherweise Zählfehler resultieren.

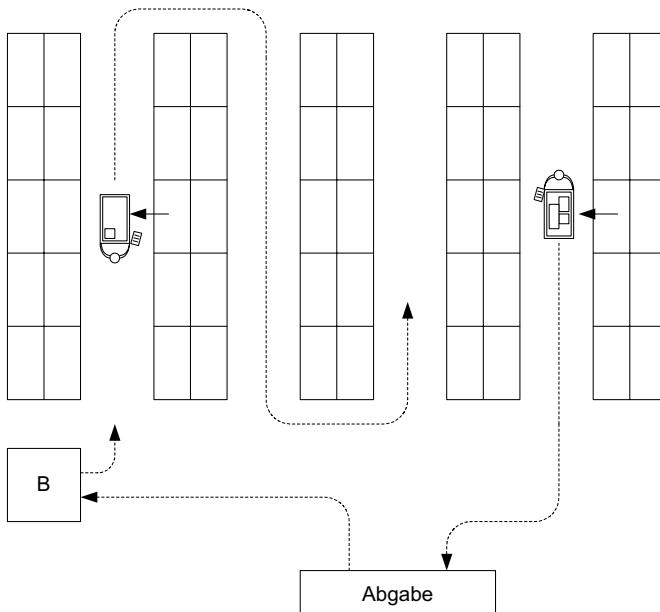
Durchaus weitergehende Kontrollmöglichkeiten bieten Terminal-basierte Verfahren. Verschiedene Prüfungen erfolgen durch Einsatz von Barcode-Handscannern, mit denen beispielsweise die Fachnummer oder auch jede Entnahmeeinheit gescannt werden muss. Pick-by-Voice-Systeme fragen analog Prüfnummern ab, die der Kommissionierer sprechen muss.

Trotz unterschiedlicher Kontrollmöglichkeiten ist die Ableitung unmittelbarer Zusammenhänge auf die Fehlerresistenz bei unterschiedlichen Übermittlungsverfahren nicht möglich. Einer Untersuchung der Kommissionierfehler zufolge ist die Kommissionierung per Pickliste („Beleg“) nicht zwingend ungünstiger als andere Verfahren ([LOLL03] und Tabelle 5.6).

Insbesondere bei sehr hohen Kommissionierleistungen in einem dynamischen Umfeld können erfahrungsgemäß bei der papiergebundenen Kommissioniererführung relativ gesehen mehr Fehler entstehen. Insgesamt ist festzuhalten, dass Führungstechniken in erster Linie Hilfen für den Kommissionierer sind, welche die Einweisung, Mitwirkung und Motivation der Mitarbeiter nicht ersetzen können.

### 5.2.2 Ausprägungsformen der Kommissionierung

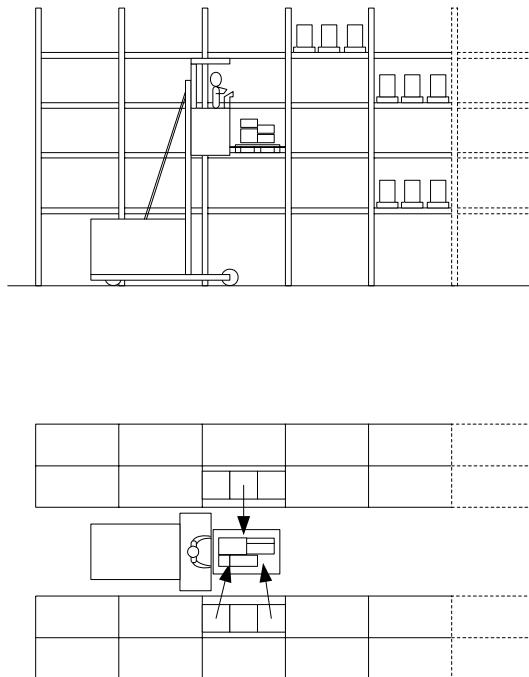
Der Grundtyp der Kommissionierung ist in Abb. 5.27 dargestellt. Der Kommissionierer bewegt sich mit einem Wagen entlang der Regalfront (Durchlauf-, Paletten- oder Fachbodenregal) und greift die Einheiten entsprechend der Entnahmeeinformationen einer Pickliste. Auf dem Wagen werden ein oder



**Abbildung 5.27.** Einstufiges Kommissioniersystem Person-zur-Ware

mehrere Auftragsbehälter mitgeführt, die zur Aufnahme der getrennt nach Kundenauftrag entnommenen Einheiten dienen. Ausgehend von einer Basisstation B, an der leere Kundenauftragsbehälter und die Pickliste(n) aufgenommen werden, beginnt der Kommissionierer den Rundgang und übergibt nach abgeschlossenem Rundgang die gefüllten Behälter an der Schnittstelle zum Versand. Dabei bewegt er sich schleifen- oder *mäanderförmig* durch die Regalanordnung (Schleifenstrategie). Je nach Pickliste können auch einzelne Gassen übersprungen oder die Gassen nur zu einem Teil begangen werden (Stichgangstrategie). Entsprechend der zuvor definierten Terminologie liegt damit eine einstufige, auftragsparallele Kommissionierung nach dem Person-zur-Ware-Prinzip mit eindimensionaler Fortbewegung des Kommissionierers vor. Die Bereitstellung ist statisch-dezentral, die Abgabe der Entnahmeeinheiten statisch-dezentral und die Abgabe der Kommissionierer-einheiten statisch-zentral.

Bei sehr großen Sortimenten bietet sich alternativ die in Abb. 5.28 dargestellte Variante an. Während der prinzipielle Ablauf gleich der zuvor vorgestellten Variante ist, findet die Kommissionierung nun in der Regalfläche eines Hochregals statt. Dadurch ergibt sich eine bessere Raumnutzung und im Allgemeinen ein geringerer Wegzeitanteil durch die höhere Bewegungsdynamik des Kommissionierstaplers oder Regalbediengerätes und damit eine höhere Kommissionierleistung. Ein elementarer leistungsbestimmender Faktor ist die Gestaltung der Fachreihenfolge, in der die Entnahmepositionen

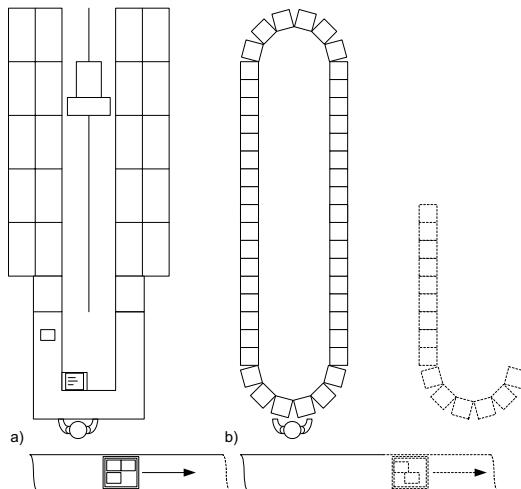


**Abbildung 5.28.** Person-zur-Ware im Hochregal

angefahren werden. Es existieren verschiedene Verfahren dieser so genannten Trioptimierung, die in Abschnitt 5.2.3 behandelt werden. Üblicherweise erfolgt die Kommissioniererführung dabei durch ein auf dem Bediengerät installiertes Terminal.

In Abb. 5.29 sind zwei gängige Systeme für das Prinzip Ware-zur-Person dargestellt. Im ersten Fall (Abb. 5.29, a) steht der Kommissionierer an der Stirnseite eines Automatischen Kleinteilelagers (AKL). Die artikelreinen Behälter werden über eine U-förmige Fördertechnik (Rollen- oder Kettenförderer) zur Entnahme bereitgestellt. Die Anordnung wird als *Kommissionier-U* bezeichnet. Im zweiten Beispiel (Abb. 5.29, b) befindet sich der Kommissionierer an der Stirnseite eines horizontalen Umlaufregales, bei dem die gewünschten Fächer zur Entnahme an der Stirnseite positioniert werden. Oftmals werden dabei mehrere Umlaufregale (ca. drei) durch einen Kommissionierer gleichzeitig bedient. Die Bereitstellung erfolgt in diesen Fällen zentral-dynamisch, die Abgabe von Entnahmeeinheit und Kommissioniereinheit zentral-statisch. Zur Kommissionierführung werden üblicherweise stationäre Terminals genutzt. Die Systeme können sowohl in einstufigen als auch in zweistufigen Kommissioniersystemen eingesetzt werden.

Im vierten Beispiel (s. Abb. 5.30) ist ein zweistufiges Kommissioniersystem dargestellt. Die Kommissionierung erfolgt an Durchlaufregalen. Nachschub



**Abbildung 5.29.** Einstufiges Kommissioniersystem Ware-zum-Person

und Entnahme der Einheiten sind in diesem Fall zwangsläufig getrennt. Der Kommissionierer erhält die Entnahmeeinformationen über ein Pick-by-Light-System. Die entnommenen Einheiten werden direkt an ein Förderband oder einen Rollenförderer übergeben (Pick-to-Belt). Die Entnahme erfolgt somit dezentral-statisch, die Abgabe der Entnahmeeinheit dezentral-dynamisch. Die entnommenen Einheiten werden in der zweiten Stufe auf einen Sortierkreislauf gefördert und auf Kundenaufträge verteilt.

Eine Umkehrung des herkömmlichen Kommissionierablaufes stellt das Beispiel in Abb. 5.31 dar. Während im herkömmlichen Fall Waren aus einem Regal entnommen und zur Abgabe transportiert werden, sind in diesem Fall in einem Regal Kundenauftragsbehälter angeordnet. Artikelreine Behälter werden aus einem entfernten Lagerbereich zum Entnahmeplatz transportiert und zur Entnahme bereitgestellt (dezentral-dynamische Bereitstellung). Die Abgabe erfolgt in die im Regal befindlichen Kundenauftragsbehälter, die nach Vervollständigung des Auftrags durch weitere Mitarbeiter zum Versand befördert werden (statisch-dezentrale Abgabe der Entnahmeeinheit und statisch-zentrale Abgabe der Kommissioniereinheit).

Das Verfahren wird als *Inverse Kommissionierung* bezeichnet und findet in den letzten Jahren insbesondere im E-Commerce-Bereich zunehmend Bedeutung (sehr großes Sortiment und viele kleine Aufträge). Gelangt eine optische Führung der Kommissionierer zum Einsatz, wird das Prinzip als *Pick-to-Light* oder auch als *Put-to-Light* bezeichnet.

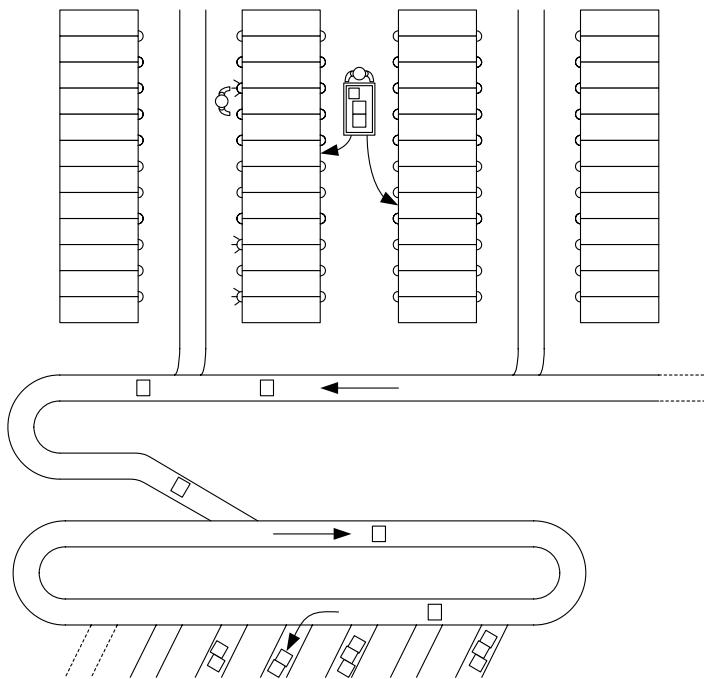


Abbildung 5.30. Zweistufiges Kommissioniersystem mit Sorter

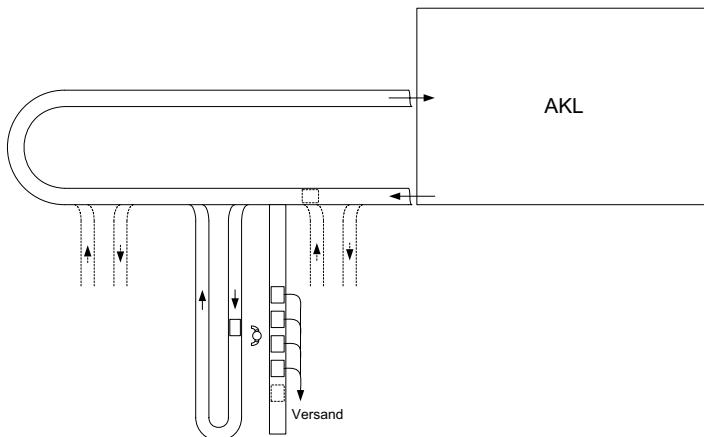


Abbildung 5.31. Inverse Kommissionierung

### Nachshubsteuerung

Die Verfügbarkeit der Artikel an den Entnahmestellen ist von entscheidender Bedeutung für einen reibungslosen und schnellen Ablauf in der Kommissionierung.

nierung. Insbesondere in batchorientierten Kommissioniersystemen können erforderliche Nachkommissionierungen zu Verzögerungen einer Vielzahl von Aufträgen, respektive zu unvollständigen Einzelaufträgen führen. Daher ist die Überwachung der Bereitstellmengen und die rechtzeitige Auslösung des Nachschubes ein wichtiger Faktor im Kommissionierablauf.

### 5.2.3 Leistung von Kommissioniersystemen

Bei einer anforderungsgerechten Planung und Optimierung von Kommissioniersystemen stellt die Leistung ein wichtiges Zielkriterium dar. Sie wird maßgeblich durch das Materialflusssystem, den Informationsfluss und die Organisation beeinflusst, genau so wie durch die spezifischen Kenngrößen (vgl. Tabelle 5.1). Auch die individuellen Artikel- und Auftragsgrößen wirken sich auf die spezifische Systemleistung aus.

Die Kommissionierleistung  $P_K$  ergibt sich aus dem Kehrwehrt der Kommissionierzeit für eine Position  $t_K$ . Üblicherweise wird die Leistung in Positionen pro Stunde angegeben. Es gilt

$$P_K = \frac{1}{t_K} \quad \left[ \frac{\text{Pos}}{\text{h}} \right] \quad (5.1)$$

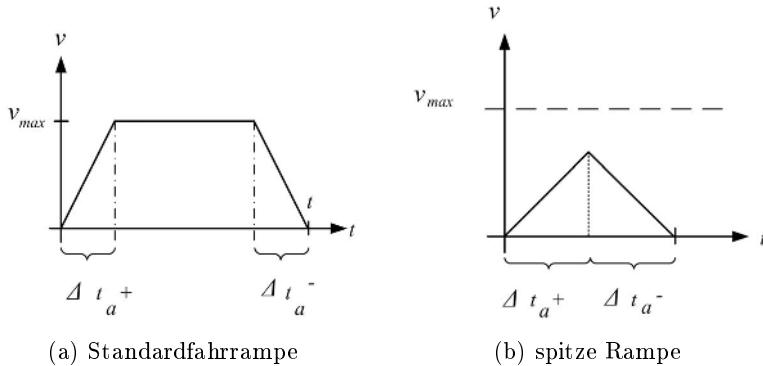
Damit ist die Leistung eines Systems von der mittleren Kommissionierzeit für eine Position abhängig.

**Ansatz zur Berechnung von Kommissionierzeiten** In jedem Kommissioniersystem können zwei wesentliche Prozesse identifiziert werden. Zunächst erfolgt die *Zusammenführung* von Kommissionierer und einem Artikel in der gewählten Bereitstellungsform (vgl. Tabelle 5.3). Der zweite Prozess beinhaltet alle Tätigkeiten, die an einem festen Ort durchgeführt werden. Hierzu zählen die Auftragsübernahme, das Vorbereiten des Sammelbehälters, das Entnehmen (Pickeln) von Teilmengen eines Artikels von der Ladeeinheit bzw. das Aufteilen (Sortieren) von Teilmengen eines Artikels auf Kundenaufträge sowie die Abgabe des Sammelbehälters. Diese Tätigkeiten werden im Weiteren als *Bearbeitungsprozess* bezeichnet.

Die Leistung eines Kommissioniersystems ist nur von der Zusammenführungszeit  $t_Z$  und der Bearbeitungszeit  $t_B$  abhängig. Je nach Realisierung des Kommissioniersystems werden der Zusammenführungsprozess und der Bearbeitungsprozess hintereinander, also seriell ausgeführt (Person-zur-Ware), oder die Prozesse laufen gleichzeitig, also parallel ab (Ware-zur-Person)<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Der Berechnungsansatz ist geeignet, um verschiedenartige ein-, aber auch mehrstufige Kommissioniersysteme zu berechnen. Eine vertiefende Betrachtung hierzu liefert das Buch "Planung und Berechnung von Kommissioniersystemen", das in der Reihe Intralogistik erscheinen wird.



**Abbildung 5.32.** Fahrrampen

Bei serieller Bearbeitung setzt sich die Kommissionierzeit  $t_K$  einer Auftragsposition aus der Summe von Zusammenführungszeit  $t_Z$  und Bearbeitungszeit  $t_B$  zusammen. Können die Prozesse hingegen parallel ablaufen, wird die Kommissionierzeit durch das Maximum aus  $t_Z$  und  $t_B$  bestimmt. Es gilt

$$t_K = \begin{cases} t_Z + t_B & \text{für PzW} \\ \max(t_Z; t_B) & \text{für WzP} \end{cases} \quad (5.2)$$

In einem PzW-System (vgl. Abb. 5.27) entspricht die Zusammenführungszeit  $t_Z$  der Wegzeit  $t_s$ , die der Kommissionierer durchschnittlich für die Bearbeitung einer Auftragsposition zurücklegen muss. In WzP-Systemen ergibt sich  $t_Z$  aus dem Maximum der Zwischenankunftszeit des Bereitstellsystems  $t_{ZAZ-B}$ , das in der Regel durch ein Lager repräsentiert wird, und der Zwischenankunftszeit  $t_{ZAZ-FT}$ , welche durch die verbindende Fördertechnik determiniert ist, da die Auslagerung aus dem Lager und der Transport parallel durchgeführt werden. Für die Zusammenführungszeit  $t_Z$  gilt entsprechend

$$t_Z = \begin{cases} t_s & \text{für PzW} \\ \max(t_{ZAZ-B}; t_{ZAZ-FT}) & \text{für WzP} \end{cases} \quad (5.3)$$

Mit Einsetzen von (5.3) in (5.2) ergibt sich die Kommissionierzeit zu

$$t_K = \begin{cases} t_s + t_B & \text{für PzW} \\ \max(t_{ZAZ-B}; t_{ZAZ-FT}; t_B) & \text{für WzP} \end{cases} \quad (5.4)$$

**Zusammenführungszeit im PzW-System** Die Zusammenführungszeit  $t_Z$  in PzW-Systemen stellt den Zeitanteil dar, den ein Kommissionierer im Mittel benötigt, um sich von einem Entnahmestandort zum nächsten zu bewegen. Die dafür benötigte Zeit ist von der Länge der Wegstrecke  $s_n$ , der Geschwindigkeit  $v$  und der Beschleunigung  $a$  des Kommissionierers abhängig. Bei der Berechnung des Zeitbedarfs werden zwei Geschwindigkeit-Zeit-Profile unterschieden (Abb. 5.32). Bei der *Standardfahrrampe* beschleunigt der Kommissionierer bis auf die maximale Geschwindigkeit  $v_{max}$  und behält diese so lange bei, bis der Bremsvorgang eingeleitet wird. Bei der *spitzen Rampe* wird die maximale Geschwindigkeit nicht erreicht. Der Bremsvorgang muss bereits vorher eingeleitet werden, um am Zielort in den Stillstand zu gelangen. Bei den weiteren Betrachtungen wird eine Standardfahrrampe vorausgesetzt, bei der der Kommissionierer auf dem Weg zu einem Entnahmestandort seine maximale Geschwindigkeit erreicht. Die Berechnung der Wegzeiten für die Standardfahrrampe ergibt sich nach physikalischen Gesetzen zu:

$$t = \underbrace{\frac{d}{v}}_{t_c} + \underbrace{\frac{v}{a}}_{t_a} \quad (5.5)$$

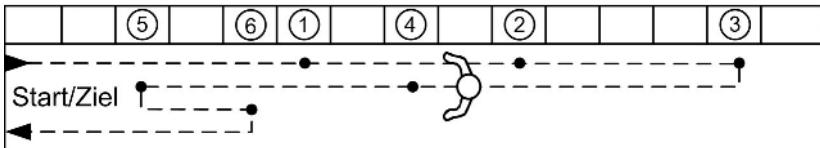
Der Kommissionierer muss innerhalb einer vorgegebenen Strecke  $s_n$  insgesamt  $n_a$  Mal beschleunigen und bremsen, um  $n$  Positionen zu picken. Die Zusammenführungszeit  $t_Z$  ist die Summe aus der Zeit  $t_c$ , die man zum Durchfahren der Wegstrecke mit maximaler Geschwindigkeit benötigt, und dem  $n_a$ -fachen des Beschleunigungszeitanteils  $t_a$ :

$$t_Z = \underbrace{\frac{s_n}{v}}_{t_c} + n_a \cdot \underbrace{\frac{v}{a}}_{t_a} \quad (5.6)$$

Die mittlere Fahrzeit  $t_s$ , die für eine Position zu veranschlagen ist, ergibt sich aus dem Quotienten der Gesamtzeit  $t_Z$  und der Anzahl der dabei bearbeiteten Positionen  $n$ :

$$t_s = \frac{t_Z}{n} \quad (5.7)$$

**Bearbeitungszeit im PzW-System** Der Bearbeitungsprozess beinhaltet alle Tätigkeiten, die der Kommissionierer oder die Maschine im Stillstand durchführen. Je nach Anwendungssystem sind unterschiedliche Zeitanteile zu berücksichtigen. Im einem PzW-System mit manueller Kommissionierung werden die Basiszeit, die Greifzeit und die Totzeit unterschieden [vgl. Abschn. 5.2.1]. Die Bestimmung der Bearbeitungszeit  $t_B$  kann in manuellen Sys-



**Abbildung 5.33.** Zufällige Reihenfolge der Auftragspositionen bei der Kommissionierung in einer Gasse

temen auf zwei Wegen erfolgen. Entweder wird im Unternehmen eine Zeitaufnahme durchgeführt, oder man verwendet Systeme vorbestimmter Zeiten zur Zeitermittlung.

**Beispielhafte Berechnung der Zusammenführungszeit** Um an dieser Stelle einen Einblick in die Leistungsberechnung von Kommissioniersystemen zu geben, wird der oben beschriebene Berechnungsansatz auf den in Abb. 5.27 abgebildeten Grundtyp der Kommissionierung übertragen. Die Berechnung beschränkt sich auf die Bestimmung der Zusammenführungszeit  $t_Z$ . Die Bearbeitungszeit  $t_B$  ist in der Praxis durch die oben genannten Möglichkeiten der Zeitaufnahme im Unternehmen oder durch die Verwendung von Systemen vorbestimmter Zeiten zu ermitteln. Das hier dargestellte Szenario wird darüber hinaus vereinfacht, indem die Betrachtung auf eine Regalgasse reduziert wird.

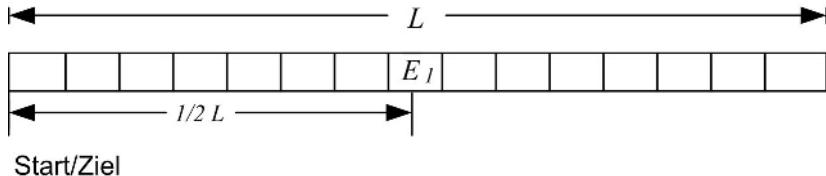
Der Kommissionierer startet vom Gassenanfang in eine Gasse und entnimmt dort den Regalfächern die geforderten Artikelmengen. Diese werden in einem mitgeführten Kommissionierbehälter gesammelt. Die Reihenfolge, in der die einzelnen Positionen des Kommissionierauftrags bearbeitet werden, ist dabei zufällig und nicht geordnet. Nach Bearbeitung aller Positionen kehrt der Kommissionierer wieder zum Gassenanfang zurück (Abb. 5.33). Der mittlere Weg  $s_n$ , den der Kommissionierer während einer Auftragsbearbeitung zurücklegt, lässt sich in drei Teilwege gliedern:

- den Weg  $s_{nA}$  vom Gassenanfang zum ersten Entnahmestandort,
- den Weg  $s_{nB}$  zwischen zwei Entnahmestandorten und
- den Weg  $s_{nC}$  vom letzten Entnahmestandort zurück zum Gassenanfang.

Enthält der Kommissionierauftrag  $n$  Positionen, so muss der Kommissionierer  $n - 1$  mal den mittleren Weg  $s_{nB}$  zwischen zwei Entnahmestandorten zurücklegen. Damit ergibt sich für den Weg  $s_n$  des Kommissionierers:

$$s_n = s_{nA} + (n - 1) \cdot s_{nB} + s_{nC} \quad (5.8)$$

Die Anzahl der Beschleunigungs- und Bremsvorgänge  $n_a$  ergibt sich bei einem Auftrag mit  $n$  Positionen durch  $n$  Beschleunigungs- und Bremsvorgänge



**Abbildung 5.34.** Mittlerer Weg vom Gassenanfang zum ersten Entnahmepunkt

an den Entnahmepunkten. Zusätzlich beschleunigt der Kommissionierer zu Beginn des Kommissionierweges am Gassenanfang und bremst nach Entnahme der entsprechenden Teilmenge dort auch wieder ab. Es gilt

$$n_a = n + 1 \quad (5.9)$$

Zur Ermittlung der mittleren Wegstrecke  $s_n$  muss die Zugriffshäufigkeit auf die einzelnen Lagerfächer berücksichtigt werden. Im zuvor dargestellten Szenario bleibt sie jedoch unberücksichtigt, da von einer gleichverteilten Zugriffshäufigkeit auf die Lagerplätze ausgegangen wird.

Diese Gleichverteilung der Entnahmepunkte bewirkt, dass der erste Entnahmepunkt  $E_1$  des Kommissionierauftrags im Mittel genau auf der Hälfte der Regallänge  $L$  liegt (Abb. 5.34). Dieses lässt sich mit dem Erwartungswert der Gleichverteilung begründen. Für das Intervall  $[0, L]$  zwischen Anfang und Ende des Kommissionierregals gilt

$$E_1 = \frac{(0 + L)}{2} = \frac{L}{2} \quad (5.10)$$

Damit beträgt der mittlere Weg  $s_{nA}$  vom Gassenanfang zum ersten Entnahmepunkt  $E_1$  genau  $\frac{1}{2} \cdot L$ . Ebenso lässt sich der mittlere Weg  $s_C$  vom letzten Entnahmepunkt zurück zum Gassenanfang bestimmen. Es gilt

$$s_{nA} = s_C = \frac{1}{2} \cdot L \quad (5.11)$$

Die einzelnen Positionen des Kommissionierauftrags werden in ungeordneter Reihenfolge abgearbeitet. Daher entspricht der mittlere Weg  $s_{nB}$  dem Abstand zwischen zwei zufälligen Entnahmepunkten in der Gasse. Die mittlere Lage der beiden Entnahmepunkte  $E_i$  und  $E_{i+1}$  kann aufgrund der gleichverteilten Zugriffshäufigkeiten auf die einzelnen Regalfächer als gleichmäßig verteilt über die Regallänge  $L$  dargestellt werden (Abb. 5.35). Der Entnahmepunkt  $E_i$  liegt damit im Mittel bei  $\frac{1}{3} \cdot L$ , der Entnahmepunkt  $E_{i+1}$  bei  $\frac{2}{3} \cdot L$  (vgl. [ARN05]; S. 220). Für den mittleren Weg  $s_{nB}$  zwischen zwei Entnahmepunkten  $E_i$  und  $E_{i+1}$  ergibt sich damit

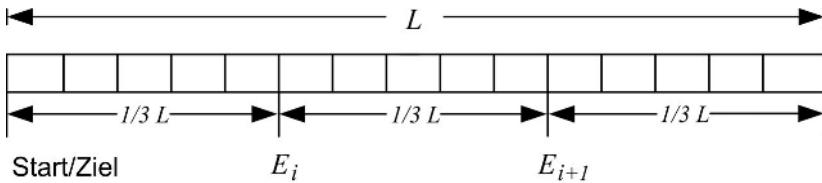


Abbildung 5.35. Mittlerer Weg zwischen zwei Entnahmestellen

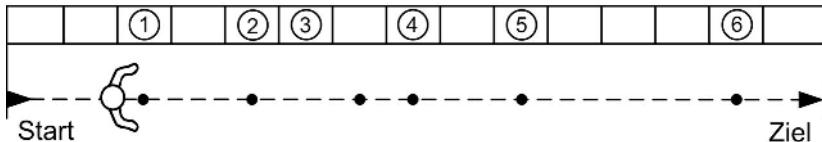


Abbildung 5.36. Sortierte Reihenfolge der Auftragspositionen bei der Kommissionierung in einer Gasse

$$s_{nB} = |E_1 - E_2| = \frac{1}{3} \cdot L \quad (5.12)$$

Die Wege für  $s_{nA}$ ,  $s_{nC}$  und  $s_{nB}$  sind über die Gleichungen (5.11) und (5.12) bestimmt. Durch Einsetzen dieser Wege in die Gleichung (5.8) kann der Weg  $s_n$  des Kommissionierers bestimmt werden:

$$s_n = \frac{1}{2} \cdot L + (n - 1) \cdot \frac{1}{3} \cdot L + \frac{1}{2} \cdot L = L + (n - 1) \cdot \frac{1}{3} \cdot L \quad (5.13)$$

Die mittlere Zusammenführungszeit  $t_Z$ , welche der Kommissionierer zur Bearbeitung eines Auftrags benötigt, lässt sich durch Einsetzen von (5.9) und (5.13) in (5.6) berechnen:

$$t_Z = \frac{L}{v} + (n - 1) \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{L}{v} + (n + 1) \cdot \frac{v}{a} \quad (5.14)$$

Mit einem einfachen Optimierungsansatz, der die Sortierung der Auftragspositionen entsprechend der aufsteigenden Entfernung des angesprochenen Artikels vom Gassenanfang erfordert, kann der Kommissionierer durch einmaliges Ablaufen der Gasse alle Positionen des Auftrags kommissionieren (Abb. 5.36). Liegt der Zielort am Ende der Gasse, ergibt sich die Wegstrecke  $s_n$ , die beim Kommissionieren der  $n$  Positionen zurückgelegt wird, durch die Länge der Gasse.

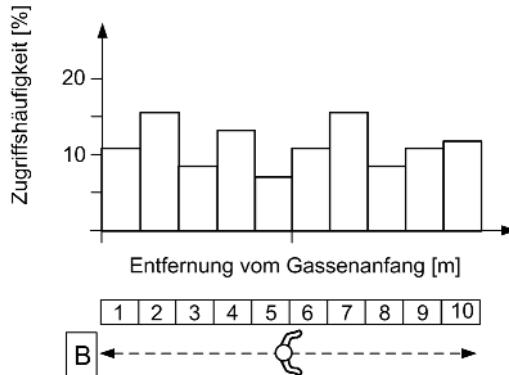


Abbildung 5.37. Zufällige Fachbelegung

$$s_n = L \quad (5.15)$$

Die Zusammenführungszeit  $t_Z$  ergibt sich durch Einsetzen von (5.9) und (5.15) in (5.6)

$$t_Z = \frac{L}{v} + (n + 1) \cdot \frac{v}{a} \quad (5.16)$$

Durch die Ordnung der Reihenfolge von Auftragspositionen und die “anforderungsgerechte“ Lage von Auftragsannahme und -abgabe wird die Reduktion der Zusammenführungszeit  $t_Z$  um die Differenz  $\Delta t_Z$  von (5.14) und (5.16) ermöglicht:

$$\Delta t_Z = (n - 1) \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{L}{v} \quad (5.17)$$

### Optimierungsmöglichkeiten zur schnelleren Zusammenführung

Leistung und Effizienz eines Kommissioniersystems sind von seinen Bearbeitungs- und Zusammenführungsprozessen abhängig und werden im Wesentlichen über die Zeitbedarfe für diese beiden Prozesse bestimmt. Hierauf ausgerichtet existieren verschiedene Möglichkeiten, um die Bearbeitungszeit  $t_B$  und die Zusammenführungszeit  $t_Z$  zu senken. Im Folgenden werden zwei unterschiedliche Optimierungsansätze vorgestellt, deren Ziel es ist, durch die unmittelbare Reduzierung des Kommissionierweges  $s_n$  mittelbar auch die Zusammenführungszeit  $t_Z$  zu verringern. Dies kann einerseits über die Fachbelegung nach Zugriffshäufigkeit und andererseits durch die Bearbeitungsreihenfolge der Positionen realisiert werden.

Weitere Ansätze zur Optimierung von Kommissioniersystemen richten sich an den in Tabelle 5.1 aufgeführten Kenngrößen aus. Dabei wird beispielsweise angestrebt,

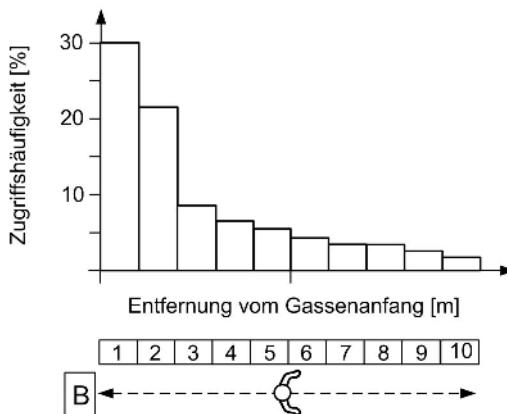
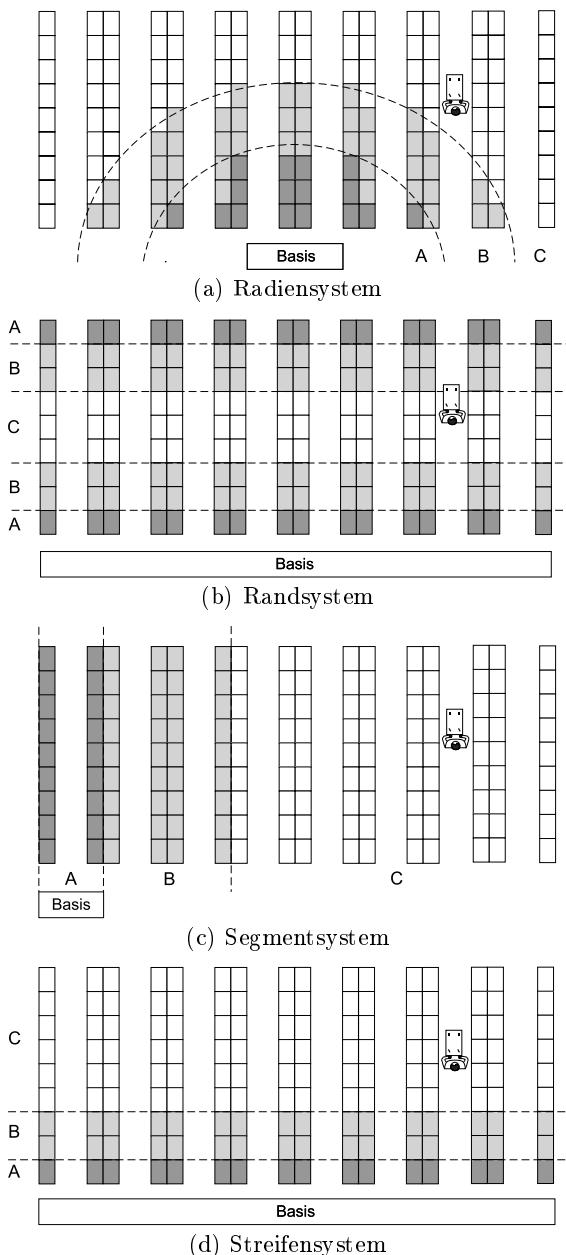


Abbildung 5.38. Geordnete Fachbelegung

- mit organisatorischen Maßnahmen die Auftrags- und Artikelstruktur grundlegend zu beeinflussen,
- mit technischen Hilfsmitteln die Abläufe anforderungsgerecht zu unterstützen und
- mit mathematischen Verfahren die Bildung von Gruppen und Sequenzen für die effizientere Bearbeitung zu erreichen.

**Fachbelegung nach Zugriffshäufigkeit** Die Zuordnung von Artikeln zu den Lagerfächern eines Bereitstellsystems hat einen entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des gesamten Kommissioniersystems. Bei der ungeordneten Fachzuordnung der Artikel kann von einer Gleichverteilung der Entnahmeorte innerhalb der Gasse ausgegangen werden (Abb. 5.37). Durch die optimierte Belegung der Fächer mit Artikeln soll eine Grundlage geschaffen werden, um im Betrieb die unproduktiven Wegzeiten zu minimieren. Dazu muss die Fachbelegung entsprechend den Zugriffshäufigkeiten der einzelnen Artikel erfolgen, indem häufig zugegriffene Artikel am Gassenanfang und seltener nachgefragte Artikel am Gassende gelagert werden (Abb. 5.38). Für den Kommissionierer kann diese Fachbelegung nach Zugriffshäufigkeiten die zurückzulegende Wegstrecke deutlich reduzieren, da die Wahrscheinlichkeit für Entnahmeorte nah am Gassenanfang viel höher ist als bei gleichverteilter Zugriffshäufigkeit auf die Fächer.

Eine weit verbreitete Strukturierung für die effiziente Fachbelegung nach Zugriffshäufigkeit ist die ABC-Zonung des Kommissionierlagers. Als Ergebnis einer ABC-Analyse werden drei Artikelkategorien gebildet, wobei die Zugriffshäufigkeiten idealtypischerweise Pareto-verteilt sind. Demnach bilden 20 % der Artikel die A-Kategorie mit 80 % der Zugriffe während in der B-



**Abbildung 5.39.** Varianten der Anordnung von ABC-Zonen

Kategorie 15 % der Zugriffe auf 30 % der Artikel und die restlichen 5 % der Zugriffe auf die verbleibenden 50 % der Artikel entfallen. In Abhängigkeit von der Branche eines Unternehmens kann diese Verteilung flacher oder steiler ausfallen. Während im Einzelhandel beispielsweise ein größerer Anteil A-Artikel einen flacheren Anstieg der Verteilungsfunktion hervorruft, ist dieser für die Hersteller technischer Produkte steiler ausgeprägt, da diese in der Regel einen Fokus auf wenige spezifische Produkte haben und sich die verbleibende Anzahl der Artikel aus Sonderbauformen und Ersatzteilen mit geringerem Mengenumsatz bezieht.

Um also die Wege der Kommissionierer zu verringern und damit die Leistung eines Kommissioniersystems zu verbessern, werden schnell erreichbare Fächer mit A-Artikeln belegt. Fächer, die weit vom Startpunkt des Kommissionierwegs entfernt liegen, sind hingegen den C-Artikeln zuzuteilen. Für die Realisierung einer ABC-Zonung eines Kommissionierlagers gibt es mehrere Möglichkeiten, wie in Abb. 5.39 dargestellt. Die Auswahl einer geeigneten ABC-Zonung muss einerseits im Zusammenhang mit Form und Lage der Kommissionierbasis erfolgen und andererseits die Anzahl der im System eingesetzten Kommissionierer berücksichtigen, um beispielsweise wechselseitige Blockierungen der Kommissionierer in einer einzelnen Gasse für A-Artikel zu vermeiden.

**Wegstrategien** Die zu Beginn des Kapitels 5.2.3 erläuterten Grundlagen zur Weg- und damit Zeitersparnis durch eine sortierte Auftragsreihenfolge lassen sich prinzipiell, wie bereits durch die in Abb. 5.39 dargestellten Varianten angedeutet, auf Kommissionierlagersysteme mit mehreren Gassen übertragen, wie sie für den Bereich der manuellen Kommissionierung typisch sind (vgl. Abb. 5.3). In solchen Systemen erfolgt in der Praxis der Einsatz von Wegstrategien, um einen möglichst geringen Kommissionierweg  $s_n$  zu erreichen.

Wegstrategien sind heuristische Verfahren zur Lösung des Tourenplanungsproblems, welches die Frage nach einer optimalen Bearbeitungsreihenfolge von einzelnen Positionen eines Kommissionierauftrags formuliert. Zur Lösung des Tourenplanungsproblems werden Heuristiken verwendet, da für die Bearbeitung praxisrelevanter Problemgrößen die Laufzeit exakter Algorithmen (vollständige Enumeration) zu groß ist. Gängige Wegstrategien (vgl. Abb. 5.40) für die manuelle Kommissionierung sind

- Mäander-Heuristik
- Stichgang-Heuristik
- Mittelpunkt-Heuristik
- und Largest-Gap-Heuristik.

Allgemein können diese heuristischen Verfahren danach unterschieden werden, ob ein Durchlaufen der Gänge stattfindet (Mäander-Heuristik) oder ob in dem aktuellen Gang umgekehrt wird (Stichgang-, Mittelpunkt- oder Largest-Gap-Heuristik). Bei der Mäander-Heuristik durchläuft der Kommis-

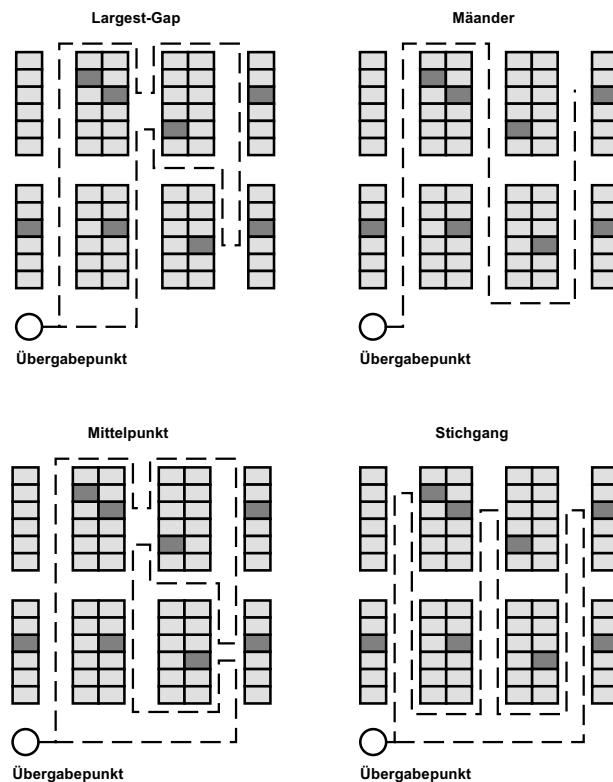


Abbildung 5.40. Wegstrategien für die manuelle Kommissionierung

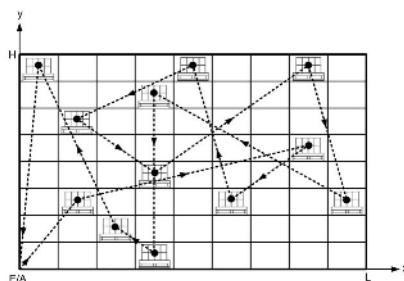


Abbildung 5.41. Zweidimensionales Kommissionieren ohne Strategie

sionierer den Gang, wenn er mindestens ein anzulaufendes Fach enthält. Die Gänge werden in einer vorher festgelegten Reihenfolge von links nach rechts oder umgekehrt durchlaufen.

Falls mehr als ein Fach pro Gang abzuarbeiten ist, stellt die Mittelpunktheuristik eine Alternative dar. Hier wird jeder Gang in zwei Teile aufgeteilt, die Fächer der oberen Hälfte werden von dem oberen Gang erreicht, die der

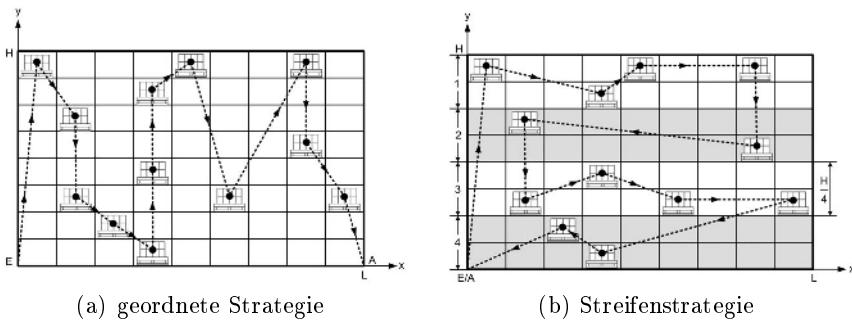


**Abbildung 5.42.** Zweidimensionale Kommissionierung mit RBG [Foto: Viamore]

unteren Hälfte von dem unteren. Der Kommissionierer verlässt den aktuellen Gang auf der Seite, auf der er ihn betreten hat.

Eine weitere Verbesserung stellt die Largest-Gap-Heuristik dar. Im Gegensatz zur Mittelpunkt-Heuristik wird der Gang hier bis zum Largest Gap (bis zur größten Lücke) durchlaufen. Eine Lücke ist die Entfernung zweier benachbarter Fächer, die anzulaufen sind bzw. der Weg vom Gang zum nächsten Fach. Die größte Lücke ist der Teil des Ganges, der nicht durchlaufen wird.

**Fahrstrategien in der zweidimensionalen Kommissionierung** Bisher wurde ausschließlich der Fall einer eindimensionalen Kommissionierung betrachtet. Aber auch in der zweidimensionalen Kommissionierung gibt es die Möglichkeit, mit Hilfe von Wegstrategien die Leistung zu steigern. Ein typischer zweidimensionaler Anwendungsfall ist das Kommissionieren an einer Regalwand mit RBG. Die dabei entstehende Form der Fortbewegung wird als Chebychev-Metrik bezeichnet, deren charakteristisches Merkmal das simultane Ausführen der Fahrbewegung in horizontaler und vertikaler Richtung ist [BOSS90]. Für die benötigte Zusammenführungszeit  $t_Z$  ist der größere Fahrzeitanteil der beiden überlagerten Bewegungen in x- und in y-Richtung maßgebend. Dabei hängt der Fahrweg des RBG, wie auch im eindimensionalen Fall, von der Anfahrtsreihenfolge der Entnahmorte ab. Werden diese in einer beliebigen Sequenz angesteuert, so erfolgt ein Kommissionieren ohne Strategie (Abb. 5.41). Wegzeitverkürzungen gegenüber diesem Fall lassen sich durch die Anwendung einer Fahrstrategie erzielen. Bekannte Strategien sind u. a. die geordnete Strategie und die Streifenstrategie. In Abbildung 5.43 sind diese zwei Fahrstrategien beispielhaft dargestellt. Bei der geordneten Strategie werden die Entnahmorte aufsteigend nach ihrer Position auf der x-Achse sortiert und in dieser Reihenfolge angefahren. Die Streifenstrategie unterteilt die Regalwand in eine gerade Anzahl (bei Start- und Endpunkt an demselben



**Abbildung 5.43.** Zweidimensionale Kommissionerrundfahrten am Beispiel verschiedener Fahrstrategien

Gassenende) gleichhoher horizontaler Streifen, die in gegenläufiger Richtung durchfahren werden. Die Anzahl der Streifen orientiert sich dabei an den Größenverhältnissen für die Geometrie der Regalwand und die horizontale wie auch die vertikale Geschwindigkeitskomponente im Vergleich zur Anzahl der Kommissionierpositionen auf einer Sammelfahrt. Ziel der Streifenstrategie ist es, für die Fahrt zwischen zwei Entnahmestellen im Mittel das günstige Geschwindigkeitsverhältnis eines RBG nutzen zu können. Üblicherweise erfolgt die Anwendung dieser Strategie mit zwei oder vier Streifen, wobei auch eine höhere Streifenanzahl bei hoher Positionsanzahl des Sammelauftrags und ungünstigen Verhältnissen für Geometrie und Geschwindigkeiten des Lagersystems denkbar sind.

#### 5.2.4 Assoziierte Funktionen der Kommissionierung

Die Verpackung und der Versand sind insbesondere bei der Kommissionierung in Distributionszentren eng mit den Strukturen und Abläufen der Kommissionierung verbunden. Aufgrund der Prüffunktion für die Kommissionieraufträge oder die Entkoppelung der Abläufe mittels Puffereinrichtungen ist es erforderlich, dass diese Teilstrukturen gemeinsam mit der Kommissionierung betrachtet werden.

##### Verpackung

Im Bereich der *Verpackung* werden die bereitgestellten oder kommissionierten Güter nach bestimmten Kriterien zusammengeführt, auf Vollständigkeit geprüft, für anstehende Transportvorgänge verpackt und schließlich dem Versand zugeführt.

In größeren Lagersystemen setzen sich Kundenaufträge üblicherweise aus Teilmengen unterschiedlicher Lagerbereiche zusammen. Da eine sekunden-genaue Zusammenführung solcher Teilmengen für den Versand in der Regel nicht möglich ist, wird in einem ersten Schritt eine Auftragskonsolidie-

rung durchgeführt, um die Transport-/Versandeinheiten zu bilden. Dieser Prozess wird oftmals durch Auftragssortierpuffer (hochdynamische Pufferlager) wie beispielsweise Durchlaufregale (vgl. Abschn. 3.4.3) oder Behälter-Umlaufregale (vgl. Abschn. 3.4.3) technisch unterstützt.

Im Hinblick auf eine Versandkostenoptimierung müssen Sendungen u. a. volumenoptimiert gebildet werden. Viele Unternehmen setzen bei diesem Schritt auf die Fähigkeiten und die Erfahrung des Packpersonals, für eine vorliegende Verpackungsmenge die richtige Verpackungseinheit (z. B. Kartongröße) zu bestimmen. In der Praxis ist jedoch häufig auch ein mehrfaches Umpacken zu beobachten, das entsprechend ineffizient ist. Daher wird eine solche Funktionalität auch zunehmend in WMS integriert, die, basierend auf einer Volumenberechnung des Kundenauftrags, geeignete Versandgrößen ermitteln. Insbesondere bei umfangreicheren Verpackungs- und Ladeeinheitenbildungsprozessen ist der Mensch schnell überfordert. Auf dem Markt wird eine Reihe von rechnergestützten Optimierungswerkzeugen, beispielsweise zur Packmustergenerierung bei Palettierungsaufgaben, angeboten.

Schließlich erfolgt bei diesem Schritt eine Warenausgangsprüfung mit der Prüfung auf Vollständigkeit des Kundenauftrags und auf Qualität und Beschaffenheit der Transport-/Versandeinheiten. Hilfreich ist dabei oftmals eine Konsolidierung und Prüfung der Kommissionierung durch Erfassung des Auftragsgewichtes als Summe der Artikel- bzw. Positionsgewichte. Dies setzt allerdings hinreichend genaue Artikelstammdaten sowie ein annähernd homogenes Gewichts- und Artikelspektrum voraus.

Informationstechnisch erfolgt abschließend die Aktualisierung des Auftragsstatus mit der Fortschreibung des Status des Auslagerauftrags und gegebenenfalls eine Ergänzung der transport- und versandtechnischen Daten.

## **Versand**

Oberflächlich betrachtet, besteht die Aufgabe des Versands lediglich in der Zusammenstellung der Versandeinheiten entsprechend den Aufträgen und der Verladung der Waren in ein Transportmittel.

Abgesehen von den physischen Abläufen in der Versandzone gehört zur Durchführung dieser Tätigkeiten auch eine Reihe an Organisations- und Kontrollfunktionen. Sofern noch nicht durch den Auftrag vorgegeben, ist zunächst die optimale Versandart bzw. das Transportmittel zu bestimmen. Dieser Prozess ist durch die Verschiedenheit der Preisgestaltung der Spediteure und KEP-Dienstleister nicht trivial. Eine kostenoptimierte Versandformwahl setzt daher eine genaue Recherche der Versandmengen (Volumina und Gewichte) und der Transportziele sowie -frequenzen voraus. Auf dieser Basis lassen sich dann die optimalen Transportdienstleister für einzelne Transportauftragstypen bestimmen. Im gleichen Schritt sind auch Touren zu planen, wobei für den jeweiligen Kundenauftrag die Dringlichkeit der Lieferung, die Verfügbarkeit der bestellten Waren, zuvor verhandelte Lieferfrequenzen usw. zu

berücksichtigen sind. Je nach Lagerform variieren die Anforderungen dabei erheblich und sind in die Strategien einzubeziehen.

Während die vorgeschalteten Lager- und Kommissionierbereiche im Allgemeinen durch eine gleichmäßige Arbeitsleistung geprägt sind, konzentriert sich die Verladung in Transportmittel oft auf relativ kurze Zeitfenster, was beispielsweise durch nachgeschaltete Konsolidierungen der Ladungen in Hubs bedingt ist. So ergeben sich typischerweise verschiedene Arbeitscharakteristiken von Zu- und Ablauf, die durch die Versandzone ausgeglichen, d. h. *gepuffert*, werden müssen. Dazu sind vor der Verladung die Versandkommissionen zusammenzustellen und für die Verladung bereitzuhalten. Beim Versand palettierter oder anderer größerer Einheiten werden die Ladungen gängigerweise auf Bodenstellplätzen vor den Versandtoren bereitgestellt. Daneben kommen beim Stückgutversand kleinerer Einheiten auch hochdynamische Lagertechniken (s. bspw. Abschn. 3.4.3) zum Einsatz. Die Raumsituation an den Versandtoren ist in der Praxis wiederum ein klassischer Engpass, so dass die Organisation der Versandzone eine kontinuierliche Optimierung erfordert.

Zur Verladung sind schließlich Transport-/Versandpapiere (tourenbezogene Ladelisten, Frachtdaten) zu erstellen. Durch eine Scannung der verladenen Einheiten kann die Transparenz der Lieferkette sichergestellt werden. Damit wird der Auftragsabschluss quittiert und die Rückmeldung an die Auftragsverwaltung bzw. das Auftragsmanagement garantiert.

## 5.3 Intralogistische Systeme und Techniken zum Warenumschlag

### 5.3.1 Aufgaben und Systematik von Umschlagsystemen

Auf dem Weg vom Produzenten zum Endverbraucher durchlaufen Güter und Produkte entlang der Wertschöpfungs- und Logistikkette eine unterschiedliche Anzahl an Stationen, in denen sie gelagert, befördert, bearbeitet oder gehandhabt werden. Um den Warenfluss zwischen zwei räumlich getrennten Orten zu realisieren, bedarf es dazu in der Regel mehrerer verschiedener Transportmittel. Diese Form des in mehrere Abschnitte unterteilten Materialflusses wird unter dem Begriff Transportkette (vgl. Abb. 5.44) zusammengefasst. Der Wechsel der unterschiedlichen Arbeitsmittel innerhalb der Transportkette wird als Umschlagen bezeichnet. Umschlagvorgänge finden in der gesamten Transportkette sowohl im innerbetrieblichen als auch im außerbetrieblichen Bereich sowie an deren Schnittstellen statt. Dabei erfolgt ein Wechsel zwischen den Arbeitsmitteln

- Lagermittel (LM),
- Fördermittel (FM),
- Handhabungsmittel (HM),
- Verkehrsmittel (VM) und
- Produktionsmittel (PM).

In [DIN 30781] wird Umschlagen wie folgt definiert: „Der Umschlag ist die Gesamtheit der Förder- und Lagervorgänge beim Übergang der Güter auf ein Transportmittel, beim Abgang der Güter von einem Transportmittel und wenn Güter das Transportmittel wechseln.“

Bei der Abgrenzung der Begriffe Lagern und Transport kann man den Umschlag zum einen als Unterbegriff des Transports auffassen. Demgegenüber steht die Betrachtungsweise der TUL-Prozesse (Transport-Umschlag-Lagern), in der Lagern und Umschlag als gleichwertige Bereiche neben dem Transport stehen.

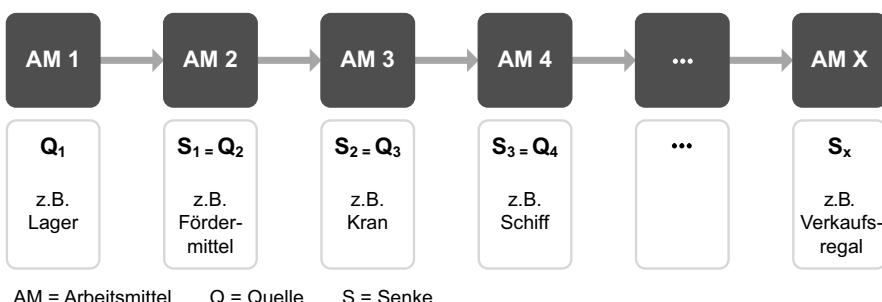
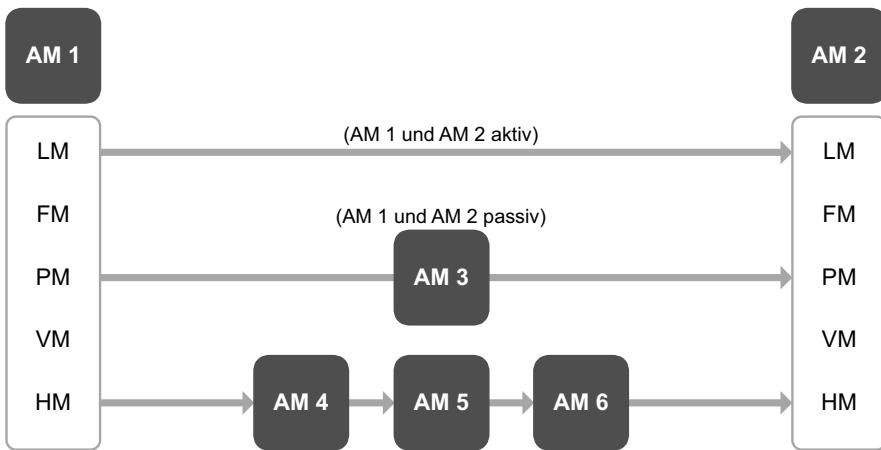


Abbildung 5.44. Umschlagoperationen entlang der Transportkette



**Abbildung 5.45.** Systematik von Umschlagoperationen

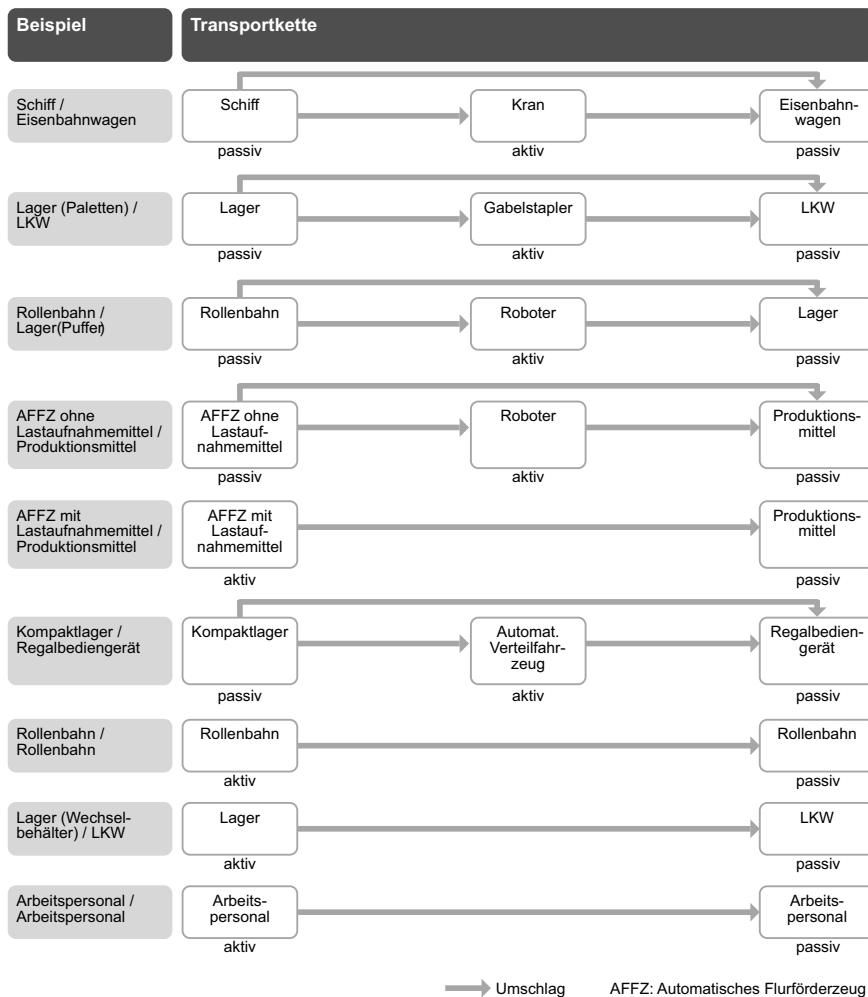
In Anlehnung an [ZIEM73] wird die folgende Begriffsbestimmung zugrunde gelegt: „Umschlagen ist das Überwechseln von Gütern von einem Arbeitsmittel auf ein anderes Arbeitsmittel, wobei entweder ein Arbeitsmittel aktiv sein muss oder, wenn beide passiv sind, ein drittes aktives Arbeitsmittel eingesetzt werden muss.“

Die Zusammenhänge sind in Abb. 5.45 veranschaulicht. Der Arbeitsmittelwechsel erstreckt sich im einfachsten Fall auf zwei Arbeitsmittel. Sofern diese beiden Arbeitsmittel jedoch passiv sind, ist der Einsatz eines dritten Arbeitsmittels bzw. einer Kombination mehrerer weiterer Arbeitsmittel erforderlich, um den Umschlag zu bewerkstelligen. Im Folgenden werden die Begriffe aktiv und passiv anhand von Beispielen erläutert (vgl. Abb. 5.46).

### 5.3.2 Innerbetriebliche Umschlagsysteme

Bei Hebezeugen (z. B. Kranen) wird die Förderleistung durch die Zeiten für die Lastaufnahme bzw. Lastabgabe wesentlich beeinflusst (etwa 20 % der Einzelspielzeit beim Stückgutumschlag). Daher werden folgend alternative Lastaufnahmemittel (LAM) vorgestellt, die u. a. ein rasches Anschlagen und Absetzen der Last ermöglichen. Weitere Anforderungen an LAM sind der schonende Umgang mit den Fördergütern und ein möglichst geringes Eigen Gewicht, um eine große Nutzlast zu erreichen.

Die Handhabung einer Lastaufnahmeeinrichtung kann entweder manuell, selbsttätig oder ferngesteuert sein. Ein wichtiger Aspekt dabei ist, dass der Arbeitsbereich des Anschlägers (Person, die die Last mit der Lastaufnahmeeinrichtung verbindet) bei manueller Handhabung unter Umständen mit



**Abbildung 5.46.** Beispiele von Umschlagoperationen

schwerer körperlicher Arbeit und einem relativ hohen Unfallrisiko verbunden ist. Selbsttätig greifende Lastaufnahmeeinrichtungen sind in der Lage, die Last ohne Hilfe eines Anschägers aufzunehmen bzw. abzugeben. Bei ferngesteuerten Geräten kann eine Bedienperson, zum Beispiel im Führerstand eines Krans, die Lastaufnahmeeinrichtung von einer nicht unmittelbar angrenzenden Position bedienen.

Für den Umschlag von Stückgütern gelangen unterschiedliche Geräte zum Einsatz, z. B. Lasthaftgeräte, kraft- und formschlüssige Geräte, Körbe, Ladenetze und -geschirre und Traversen. Bei den Lasthaftgeräten erfolgt die

Lastaufnahme durch Haftkräfte, die entweder magnetisch oder pneumatisch erzeugt werden. Beiden Methoden gemeinsam ist, dass sie eine ferngesteuerte und schnelle Lastaufnahme bzw. -abgabe ermöglichen, wodurch die Umschlagleistung stark erhöht werden kann. Nachteilig sind die prinzipielle Gefahr des Lastabsturzes und die begrenzte Eignung für verschiedene Fördergüter.

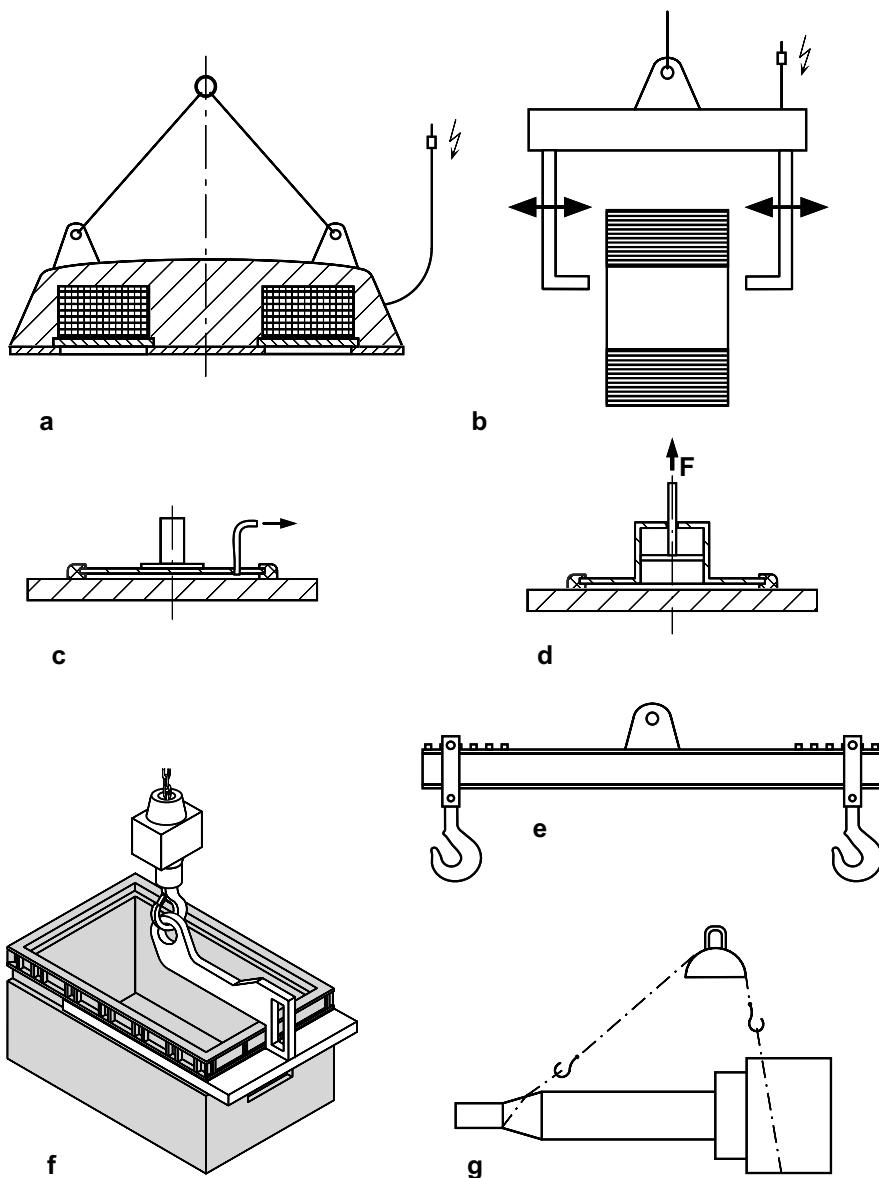
### Lastaufnahmeeinrichtungen

Das Standardlastaufnahmemittel für den innerbetrieblichen Umschlag mit Kranen ist die Kombination aus Kranhaken und Anschlagmittel, welches die Verbindung zwischen Tragmittel und Fördergut herstellt. Anschlagmittel können mit Ringen oder Haken ausgerüstet sein.

Hauptsächlich werden sie als Ketten oder Seile verwendet. Daneben werden Anschlagbänder und Ausgleicher eingesetzt. Ketten lassen sich auf vielfältige Weise als Anschlagmittel einsetzen. Es besteht die Möglichkeit, die Last mit einer Kette zu umschlingen (Schling- oder Kranzketten) oder aber sie direkt mithilfe einer oder mehrerer Ring- oder Hakenketten anzuhängen. Anschlagseile aus Stahl oder Kunststoff werden analog den Ketten eingesetzt. Für das Einhängen in den Lasthaken können Haken, Klauen und Ösen verwendet werden.

Anschlagbänder (sog. Schlups) bestehen aus Rund- oder Flachseilen mit einer Gummi- oder Kunststoffumhüllung, die örtliche Pressungen am Fördergut und korrosive Einflüsse an den Seilen verhindern soll. Durch die breite Auflagefläche der Last ist eine einsträngige Lastaufnahme möglich. Außerdem wird ein Kippen oder Drehen der Last weitgehend vermieden. Bei zweisträngiger Lastaufhängung ist die Verwendung eines Ausgleichers vorteilhaft. Mit seiner Hilfe kann die Lage der Last und die Verteilung der Belastung auf die einzelnen Stränge eingestellt und gegebenenfalls korrigiert werden. Diese Art der Lastaufnahme ist einfach und universell, aber auch langsam und z. T. gefährlich für den Bediener.

Lasthebemagneten (vgl. Abb. 5.47a) können als Permanentmagnet oder als Elektromagnet ausgeführt sein. Solche mit Elektromagneten werden überwiegend als Rundmagnete ausgeführt und hauptsächlich in der Stahlindustrie verwendet bzw. dort, wo große Mengen an ferromagnetischem Material bewegt werden sollen. Problematisch bei dieser Variante ist die Gefahr des Lastabsturzes bei Stromausfall, weswegen eine Pufferbatterie zwischen geschaltet werden muss. Die zweite Bauform der Lasthebemagneten besteht aus einer Gruppe von Permanentmagneten, welche zur Auf- und Abgabe der Last über eine Verdrehung gegeneinander gesteuert werden. Die gezielte Verdrehung der Magnete lenkt die magnetischen Feldlinien auf die Magnetpole und die Last oder wird im Magnetgehäuse so umgelenkt, dass die Pole nicht magnetisch sind. Werden die Feldlinien über die Pole durch die Last geleitet, wird der Lastmagnet aktiv; sind die Pole neutral, ist er passiv. Durch den permanenten Magneten ist beim Handhaben der Last eine erhöhte Sicherheit gewährleistet. Es können ferromagnetische Materialien mit sowohl planer als



**Abbildung 5.47.** Verschiedene Lastaufnahmemittel: **a** Lasthebemagnet **b** Motorzange **c** Vakuumheber (Vakuumpumpe) **d** Vakuumheber (Volumenvergrößerung) **e** Traverse **f** Ladegeschirr für Kleinbehälter **g** Ausgleicher

auch gewölbter Oberfläche gehoben werden, bei runden Materialien reduziert sich jedoch die Hebekraft. Traglasten von bis zu 2.000 kg sind üblich.

Ein Vakuumheber erzeugt die Haftkräfte durch Druckreduktion gegenüber dem Umgebungsmedium (i. Allg. Luft). Der benötigte Unterdruck, um die Last anzuheben bzw. festzuhalten, wird entweder durch Volumenvergrößerung erzeugt oder durch den Anschluss an eine Vakuumpumpe (vgl. Abb. 5.47c und d). Die Voraussetzung für eine korrekte Lastaufnahme ist ein dichter Abschluss am Werkstück, daher sollte die Oberfläche glatt und eben sein. Vakuum-Lastaufnahmemittel werden hauptsächlich zur Aufnahme von Glas, Kunststoffen und Kartons verwendet. Oftmals wird die zulässige Tragkraft durch Gruppierung mehrerer Vakuum-Hebeelemente erreicht. Vorteilhaft gegenüber einem Lasthebmagneten sind die Eignung zum Transport auch nicht magnetischer Stoffe und die Schonung der Gutoberfläche. Allerdings werden an letztere verhältnismäßig hohe Ansprüche gestellt, denn sie darf weder uneben noch porös sein. Die Sicherheit gegen Absturz hängt in erster Linie von der Oberflächenbeschaffenheit der Last und der Qualität und dem Zustand der Dichtung ab.

Zu der Gruppe der kraft- und formschlüssigen Geräte gehören unter anderem Klemmen, Klauen und Zangen. Bei einer kraftschlüssigen Verbindung zum Beispiel durch eine Schrauben-, Keil- oder Hebelwirkung ist die Sicherheit wegen des Reibschlusses geringer als bei Haken oder Schäkeln, jedoch ist die Anschlagzeit in der Regel wesentlich geringer.

Es gibt viele verschiedene Ausführungen von Zangen. Die Lastaufnahme kann sowohl über Kraftschluss oder Formschluss erfolgen, der zwischen den Greiforganen (Zangenarme, Druckstücke, Spitzen) wirkt. Es werden z. T. sehr große Kräfte auf das Gut übertragen werden. Daher ist darauf zu achten, dass keine unzulässig Oberflächenbeschädigungen durch die Zangen entstehen. Der Scherengreifer besteht aus zwei Zangenarmen, die scherenförmig angeordnet sind. Diese Zangenarme schließen beim Anheben des Greifers durch das Eigengewicht der Last. Der resultierende Anpressdruck erzeugt den Kraftschluss oder Formschluss an festen Materialien. Die Funktionen Greifen und Halten sind rein mechanisch. Das System eignet sich speziell für unterschiedliche, häufig variierende und robuste Umschlaggüter. Voraussetzung ist hierbei, dass die Oberfläche konsistent ist, da sonst kein Halten der Ware möglich ist. Neben mechanisch betätigten werden elektrisch betriebene Zangen eingesetzt, dabei wird die Zange über ein eingebautes Zangenschließwerk geöffnet und geschlossen. Die Greifkraft erzeugt in diesem Fall ein Elektroantrieb, der die Kraft durch einen Spindelantrieb auf das Gut aufbringt. Aufgrund der elektrischen Steuerbarkeit werden Motorzangen auch vermehrt in automatischen Systemen eingesetzt.

Ladegesirre dienen zum Transport von Ladeeinheiten (Ladegut + Ladehilfsmittel) mit einem Kran. So lassen sich beispielsweise Container und Paletten mit einem Containergeshirr oder auch Spreader bzw. einem Palettengeshirr transportieren. Ladegesirre werden auch für die Handhabung kleinerer Behälter verwendet, die im innerbetrieblichen Materialfluss einge-

**Tabelle 5.7.** Eignung unterschiedlicher Lastaufnahmemittel für die Handhabung typischer Lasten

Last	Anschlagketten, Anschlagseile	Traversen	Gabeln	Klemmen, Zangen	Klammern, Greifer	Spreader	Elektromagnete*	Vakuumhaftgeräte **
Kisten, Schachteln	■							
Säcke, Ballen	■				■			
Trommeln, Fässer	■							
Kannen, Flaschen					■			
Kleinbehälter	■					■		
Pakete, Bündel					■			
Paletten			■					
Container						■		
Langgut		■			■			
Tafelmaterial		■			■		■	■

■ günstig      
  □ durchschnittlich      
  ○ ungünstig

\* nur bei ferromagnetischen Stoffen    \*\* nur bei geeigneter Oberfläche

setzt werden. Die Handhabung eines KLT-Behälters mit einem gabelförmigen Lastaufnahmegerät ist in Abb. 5.47 f dargestellt.

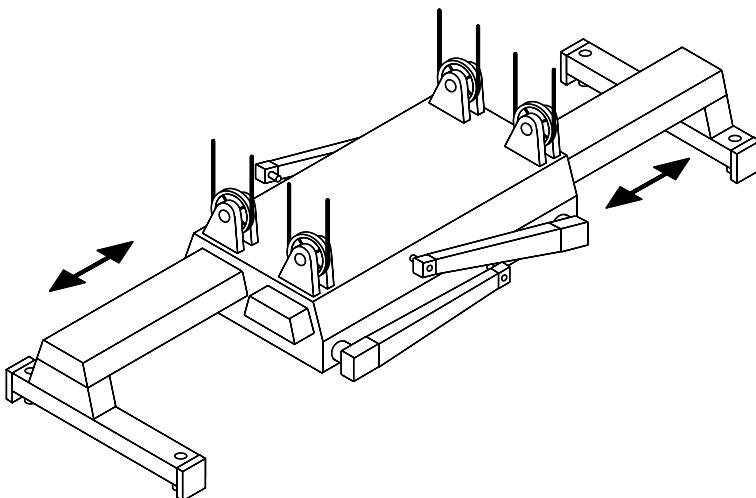
Traversen oder Tragbalken werden verwendet, wenn größere sperrige Lasten ohne Spreizung der Anschlagmittel bewegt werden sollen (vgl. Abb. 5.47 e).

Weiterhin können mit ihrer Hilfe mehrere gleichartige Lasten eingehängt werden, um die Tragfähigkeit des Krans besser auszulasten oder bei sehr hohen Lasten das Gewicht auf mehrere Hebezeuge zu verteilen. Hierbei können unterschiedliche Tragfähigkeiten durch eine unsymmetrische Hakenanordnung ausgeglichen werden. Durch ihre Kombinierbarkeit mit verschiedenen Lastaufnahmemitteln sind sie vielseitig einsetzbar. So können beispielsweise Lasthebmagnete, Zangen oder einfache Lasthaken angehängt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, ein Drehwerk zu verwenden. Abb. 5.47 g zeigt eine Traverse mit verstellbaren Aufhängepunkten der Lastaufnahmemittel. Transversen bilden überdies das Lastaufnahmemittel an Power-and-Free-Förderern und an Elektro-Hängebahnen.

Zur Handhabung von Containern sind spezielle LAM notwendig. Die Wahl des geeigneten Lastaufnahmemittels richtet sich in erster Linie nach der Art des Containers. Weitere wichtige Faktoren sind die Art des Fördermittels, der Ladezustand der Container (leer/voll) und die geforderte Einsatzkapazität. Zusätzliche Drehvorrichtungen ermöglichen die Drehung der Container in die richtige Lage, wenn die jeweiligen Transportmittel nicht genau ausgerichtet sind oder die Türen der Container nicht in der geeigneten Lage sind. [ISO3874] regelt die Handhabung und Befestigung der Container und Wechselbehälter beim Transport.

Als Lastaufnahmemittel für Container dient in den meisten Fällen ein Spreader. Er wird in den Ausführungen als Seiten-, Stirnseiten- und Top-Spreaders eingesetzt, wobei der Stirnseitenspreader lediglich für den Leertransport geeignet ist. Das Prinzip der Lastaufnahme beim Spreader liegt in der formschlüssigen Verbindung an vier Eckbeschlägen (abhängig vom jeweiligen Spreadertyp) zwischen Container und Spreader mittels einer mechanischen Verriegelung (Twist-Locks). Der große Vorteil des Spreaders gegenüber anderen Lastaufnahmemitteln besteht in der kurzen Anschlagzeit. Dies liegt unter anderem an der mechanischen Positionierhilfe und einem elektrischen Verriegelungs-Kontrollsysteem. Hydraulische Einrichtungen oder kurze Ketten ermöglichen Ausgleichbewegungen und verhindern Lastspitzen. Zum Transport unterschiedlicher Containergrößen eignen sich Spreader in Teleskopausführung oder mit Mehrfachdrehzapfen für alle Containergrößen. Bei Letzterem werden die Drehzapfen entweder eingeklappt, oder sie liegen für die kleineren Container in Vertiefungen, um den Umgang mit Größeren nicht zu behindern.

Greifzangengeschirre können prinzipiell alle Containertypen transportieren und werden vor allem bei Mischbetrieb von Containern und Wechselbrücken eingesetzt, die nicht durch normale Spreader bewegbar sind. Ferner werden sie eingesetzt, wenn Wechselbehälter oder kranbare Sattelanhänger umgeschlagen werden müssen. Hierbei greifen die Greifzangen um den Container herum und fassen ihn an den eigens dafür vorgesehenen Greifkanten an der Unterseite.



**Abbildung 5.48.** Kombinierter Spreader und Zangengeschirr

Abbildung 5.48 zeigt einen kombinierten Spreader. Hierbei handelt es sich um einen Spreader mit zusätzlichen Greifzangen. Mit diesem Gerät können praktisch alle Ladeeinheiten im außerbetrieblichen Umschlag gehandhabt werden. Bei geringen Umschlagleistungen besteht ferner die Möglichkeit, Container über Seilgeschirre umzuschlagen. Die Seile werden mittels Haken, Schäkeln oder Ähnlichem an den Eckbeschlägen der Container befestigt und können somit über spezielle Rahmen oder Bügel beispielsweise per Kran transportiert werden.

### Fördermittel

Der Umschlag von Lagergütern und Lagereinheiten kann mit einer Vielzahl unterschiedlicher Fördermittel bewerkstelligt werden. Dazu gehören unter anderem die in Kap. 4 vorgestellten Fördermittel Krane und Stapler. Der Umschlag im innerbetrieblichen Bereich geschieht in der Regel mechanisiert, aber selten vollautomatisiert. In diesem Kapitel wird auf ihre Funktion im innerbetrieblichen Umschlag eingegangen.

### Krane

Krane sind die am meisten bekannten und am weitesten verbreiteten Umschlagmittel. Sie werden besonders für den Umschlag von Großladungsträgern im außerbetrieblichen Bereich zwischen den verschiedenen Verkehrsträgern eingesetzt, so z. B. als Verlade- oder Containerbrücken in Seehafenterminals oder als Portalkrane im Umschlag Schiene-Straße im Kombinierten Verkehr. Im innerbetrieblichen Bereich werden Krane in ihrer Ausführung als Brücke- oder Hängekrane zur Bedienung von Lägern oder zur Verkettung von Produktionsinseln eingesetzt. In Außenlädern in Form von Blocklädern werden



**Abbildung 5.49.** Umschlag einer Lkw-Ladung mit Flurförderzeugen [Foto: Jungheinrich]

zudem auch Portalkrane zum Umschlag eingesetzt, z. B. in der stahlverarbeitenden Industrie zum Handhaben von Coils oder in Baustoffgroßhandeln zum Handhaben von Langgütern. Als Stapelkrane werden Krane als integrierter Bestandteil eines kompakten Lagersystems eingesetzt

### Flurförderzeuge

In intralogistischen Systemen findet hauptsächlich ein Umschlag aus Lager- oder Produktionssystemen heraus in Lkw statt. Dieser wird in der Regel von Flurförderzeugen durchgeführt, die eine oder mehrere Paletten aus dem Versandbereich in den Lkw verladen können. Neben dem für diese Aufgabe weit verbreitet eingesetzten Gabelstapler sind einige andere Flurförderzeuge beim Umschlag gebräuchlich. Dazu zählen beispielsweise Wagen, Anhänger, Schlepper, Gabelhubwagen, Deichselhubwagen oder Hochhubwagen. Diese Fahrzeuge übernehmen sowohl den Transport in Wareneingang und -ausgang als auch die Beladung der Verkehrsmittel.

Für den Containerumschlag werden Stapler in den Ausführungen Frontgabel-, Quergabel- und Portalstapler eingesetzt. In der Regel werden heute bei allen Ausführungen kombinierte Greifzangengesirre eingesetzt, um alle gängigen Ladeeinheiten umschlagen zu können. Die *Frontstapler* gleichen bautechnisch herkömmlichen Gabelstaplern. Daneben finden insbesondere Teleskopstapler breite Anwendung (vgl. Abschn. 4.4.1 – Reach Stacker). Mit diesem Fördermittel ist heute eine sechsfache Stapelung realisierbar.

Der Quergabelstapler (vgl. Abb. 4.58 – auch Seitenstapler) ist zumeist mit einem Top-Spreader ausgerüstet. Mittels eines Schubmastes kann der Container auf dem Fahrzeug abgesetzt und danach gesichert werden. Dadurch lassen sich bei längeren Überführungen im weiteren Bereich des Terminals höhere Fahrgeschwindigkeiten realisieren. Ein Quergabelstapler stellt ein Universalgerät dar, das für den Umschlag und Transport gleichermaßen geeignet ist.

Durch die Aufnahme des Containers längs zur Fahrtrichtung kann der Quer-gabelstapler in engeren Gängen operieren als der Frontstapler.

Portalstapler (vgl. Abschn. 4.4.1 – auch Straddle Carrier) besitzen einen ähnlichen Aufbau wie Portalkrane, sind aber luftbereift und wesentlich schmäler ausgeführt und können daher nur eine Containerreihe bedienen. Sie können zum Be- und Entladen von Lkw und Eisenbahnwaggons sowie zum Sortieren von Containern im gesamten Terminalbereich eingesetzt werden. Zur Aufnahme eines Containers fahren sie über diesen, um ihn dann mittels eines Spreaders aufzunehmen. Ein weiterer Vorteil des Portalstaplers ist seine Beweglichkeit in engen Stapelreihen, wodurch Rangierfläche im Terminal eingespart werden kann.

Die Aufgabe von *Überführungsfahrzeugen* besteht im horizontalen Transport der Container. Sie sind nicht in der Lage, Container zu stapeln, können sie aber etwas anheben, um sie zu transportieren. Einerseits besteht die Möglichkeit, zum Verfahren von Wechselbehältern Rangierer auf Basis eines Lkw-Gestelles zu verwenden (sog. Platz-Taxis). Die Aufnahme erfolgt durch Unterfahren des Wechselbehälters mit anschließender Aufnahme. Des Weiteren werden Bügelhubwagen eingesetzt, die für normale Container geeignet sind. Der Container wird dabei von dem Bügel umschlossen und über die vier unteren Eckbeschläge angehoben. Dadurch ist auch das Umschlagen von Containern und Wechselbehältern auf Lkw möglich. Portalhubwagen sind prinzipiell aufgebaut wie Portalstapler, allerdings können sie Container nur so weit anheben, dass sie verfahrbar sind.

## **Hebeteknik**

Hubtische bilden die einfachste Form der manuellen Handhabungseinheiten zum manuellen Warenumschlag und ermöglichen eine Niveauänderung des Ladegutes. Die Arbeitsplattform ist i. Allg. auf einer scherenartigen Stahlkonstruktion montiert. Diese Konstruktion wird durch eine horizontale Verschiebung der Verstrebungen in der Höhe variiert. Der Antrieb erfolgt hydraulisch oder elektrisch. Hubtische ermöglichen dem Arbeiter eine optimale Arbeitshöhe. Sie eignen sich für eine manuelle Stückgutverladung, z. B. für eine Verladung von Corletten.

Scherenhebebühnen werden hingegen beim Lkw-Umschlag und bei der Beladung von Flugzeugen eingesetzt, indem sie das Ladeniveau zwischen Verladefläche und Transportmittel ausgleichen. Die Scherenhebebühne ist im abgesenkten Zustand nahezu auf Bodenhöhe und wird je nach Anforderung abgesenkt oder gehoben. Ein auf Laufrollen gelagerter Scherenarm, der aus einer Stahlkonstruktion besteht, ermöglicht den Hebemechanismus. Die Querverstrebungen werden durch einen elektrisch betriebenen Hydraulikantrieb in der Horizontalen bewegt, wodurch die Bühne in der Höhe verstellt wird. Alternativ können Scherenhebebühnen in einer Tandem-Anordnung ausgeführt werden. Hierbei werden zur Erhöhung der Hublast zwei oder mehrere identische Hebebühnen nebeneinander angeordnet und damit mechanisch parallel

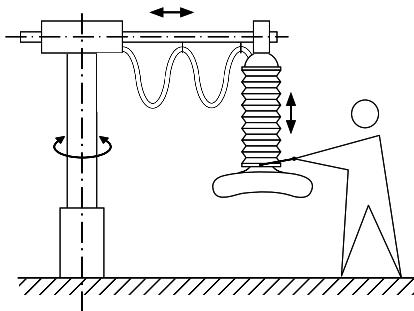


Abbildung 5.50. Ausgleichsheber

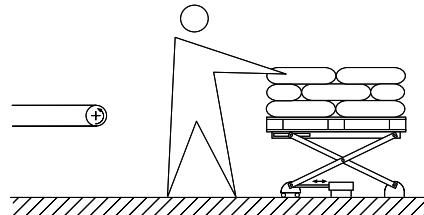


Abbildung 5.51. Hubtisch

geschaltet. Doppelscherenhebebühnen als Variante hingegen erhöhen die Teleskopierbarkeit der Bühne, sind somit mechanisch seriell geschaltet und erreichen die doppelte Hubböhe bei gleicher Last. Die Traglast von Scherenhebebühnen schwankt zwischen 1 t und 200 t. Die übliche Plattformlänge variiert zwischen 1 m und 30 m, die Arbeitshöhen können hingegen bis zu 15 m erreichen. Hubbühnen finden häufig Einsatz beim Be- und Entladen von Flugzeugen, um das Niveau von Flugfeld und Flugzeug auszugleichen.

Hydraulisch angetriebene Hebebühnen verändern geringfügig ihre Position unter Last. Um dieses zu verhindern, kann eine Schubkette als Antrieb eingesetzt werden. Als starres Glied verhindert die Kette ein Absenken und stellt eine präzise Positionierung sicher. Beim Einsatz der Scherenhebebühne als Umschlagmittel wird das Ladegut mit der Bühne auf die Höhe der Ladefläche oder des Frachtraums gebracht und kann dann auf die Ladefläche befördert werden. Als Variante besteht die Möglichkeit, einen gesamten Lkw abzusenken und ihn so auf Verladeneuau zu bringen. Dieses ist zwar weitaus aufwändiger und kapitalintensiver, da erheblich höher dimensionierte Hebebühnen benötigt werden, dennoch ist die einfache und dadurch schnellere Be- und Entladung ein erheblicher Zeit- und Kostenvorteil, da auf diese Weise keine Spielzeitunterbrechung des Fördermittels durch die Hebebewegung der Bühne entsteht.

### Manuelle Tätigkeiten beim Umschlag

Da der Mensch auch in der Lage ist, durch seine Muskelkraft Güter manuell umzuschlagen, besitzt er eine wichtige Rolle in der Umschlagtechnik. Trotz immer weiter voranschreitender Automatisierung und Mechanisierung besitzt der Mensch in Umschlagsystemen immer noch einen hohen Stellenwert, da sich eine Vielzahl von Umschlagvorgängen nicht unter einem vertretbaren Aufwand automatisieren lässt (z. B. Be- und Entladen eines Lkw mit Paketen).

Speziell im innerbetrieblichen Umschlag ist vergleichsweise häufig der manuell durchgeführte Umschlag anzutreffen. Da er zum Teil mit erheblicher

körperlicher Anstrengung verbunden ist, werden Hilfsmittel wie beispielsweise Ausgleichsheber eingesetzt. Diese Geräte realisieren das Halten und das Heben der Last, so dass sie von der Bedienperson nur noch unter relativ geringem körperlichem Aufwand manuell geführt werden muss. Abbildung 5.50 zeigt exemplarisch für Ausgleichsheber einen pneumatischen Greifer zur Handhabung von Säcken. Bei dieser Bauform wird gleichzeitig durch den Schlauch und den Greifer Luft gesaugt. Bei Kontakt des Greifers mit einer Last wird diese gehalten und zugleich im Schlauch ein Unterdruck erzeugt, der zum Halten oder Heben der Last eingesetzt wird.

Eine alternative Realisierungsmöglichkeit für einen Umschlagvorgang besteht in der Verwendung eines Teleoperators (Manipulators). Hierbei handelt es sich um Geräte, bei denen das Greifen und Bewegen der Last vom Menschen ferngesteuert wird. Die Last kann entweder unmittelbar oder über eine Fernsteuerung von der Bedienperson geführt werden. Teleoperatoren werden dem gegebenen Anwendungsfall angepasst und sind nur unter hohem Aufwand umrüstbar.

Um den Menschen bei manuellen Umschlagvorgängen zu entlasten, ist außerdem die Berücksichtigung der richtigen Arbeitshöhe wichtig. Hubtische (vgl. Abb. 5.51) stellen hier geeignete Mittel dar.

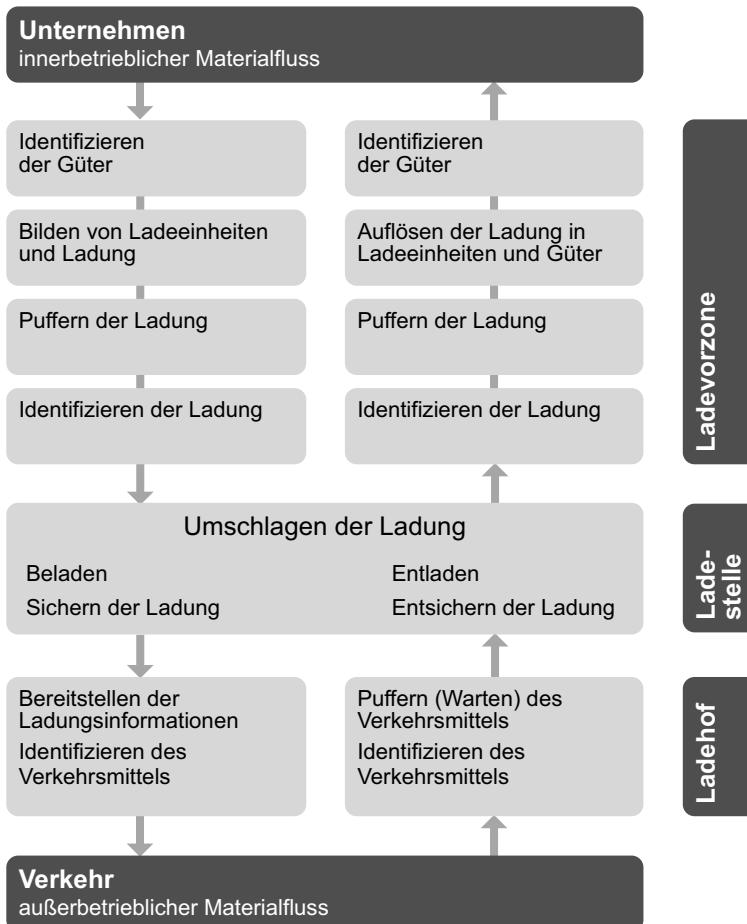
### **5.3.3 Ladezone als Schnittstelle zwischen innerbetrieblichem und außerbetrieblichem Materialfluss**

Das Umschlagsystem bildet die Verbindung zwischen innerbetrieblichem und außerbetrieblichem Materialfluss. Ziel und Aufgabe ist es, bestehende physikalische und organisatorische Unterschiede zu kompensieren und einen nahtlosen Umschlag zu gewährleisten. Hauptaufgaben des Umschlages sind hierbei die Bildung und Auflösung von Ladeeinheiten sowie die Bereitstellung für den anschließenden Transport. Die Bereiche, die bei der Betrachtung des Umschlages an der Schnittstelle zwischen innerbetrieblichem und außerbetrieblichem Materialfluss liegen, sind der Anlieferungsbereich und der Versand. Dort finden Warenvereinnahmung und Bereitstellung von Gütern statt.

Unter Bereitstellung der Güter versteht man die Pufferung und die Vorbereitung der Ladeeinheiten für den Transport. Die Aufgaben und die Ablaufstruktur der Ladezone sind in Abb. 5.52 dargestellt.

Bei der Gestaltung dieses Umschlagbereiches sind viele Einflussfaktoren zu berücksichtigen, um die Ladezone möglichst optimal an die unternehmensspezifischen Gegebenheiten anzupassen. Die Gestaltung bezieht sich dabei auf den technischen und organisatorischen Bereich. Tabelle 5.8 kennzeichnet wichtige Einflussgrößen, die bei der Planung zu berücksichtigen sind. Sollte die Ladezone bei der Planung nicht auf die konkreten Einflussgrößen ausreichend abgestimmt sein, so besteht die Gefahr von Störungen in Form von verlängerten Wartezeiten.

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Gestaltung ist die Verteilung der Ladezonen im Unternehmen. Die zentrale Ladezone stellt einen einzelnen,



**Abbildung 5.52.** Die Aufgabe der Ladezone als Schnittstelle zwischen dem innerbetrieblichen und außerbetrieblichen Materialfluss

nicht weiter unterteilten Bereich dar. Diese Lösungsmöglichkeit bietet sich besonders bei geringeren Verladekapazitäten an. Der Vorteil besteht in der Platzeinsparung, da Zu- und Abfahrtsbereich sowie Pufferflächen gemeinsam genutzt werden können. Ferner wird dadurch eine bessere Ausnutzung des Personals und der technischen Ausrüstung realisiert.

Neben der zentralen Ladezone besteht die Möglichkeit einer räumlichen Trennung von Anlieferung und Abholung sowie einer dezentralen Verteilung. Besonders bei höherem Transportaufkommen wirkt sich der Vorteil der getrennten Materialflüsse positiv aus. Eine Trennung der entgegengesetzten Warenströme verhindert Überschneidungen zwischen diesen Materialflüssen, wodurch ein störungsfreier Verkehrs- und Transportfluss gewährleistet wird.

**Tabelle 5.8.** Einflussfaktoren auf die Ladezone

Lade- oder Umschlageinheiten	Material Verpackung Abmessungen, Gewicht Empfindlichkeit mit oder ohne Ladehilfsmittel
Leistungsgrößen	Ankunftsarten, Fahrzeuge/h Lademenge / Fahrzeug Mengenströme und deren zeitliche Verläufe* Zeithorizont / Avis der Anlieferung geforderte Pufferkapazitäten Spitzenlast / zeitliche Schwankungen
Innenbetriebliche Faktoren	Automatisierungsgrad Art der Fördertechnik (z.B. Rollenbahnen, Gabelstapler, Handhubwagen)
Außenbetriebliche Faktoren	Art der zu be- und entladenden Verkehrsmittel (z.B. Lkw, Sattelaufzieger, Wechselaufbauten, Eisenbahnwaggons, etc.) Eigenschaften der Verkehrsmittel (z.B. Höhe, Wendekreis, etc.)
Bauliche Randbedingungen	Flächenangebot Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz Brandschutzbestimmungen mögliches Gebäudeaster

\* zeitliche Charakteristik der Lieferströme (Tagesganglinie)

stet wird. Systeme mit getrenntem Wareneingang und Warenausgang lassen einen streng dem Materialfluss folgenden Aufbau der Funktionsbereiche in einem Materialflusssystem zu.

Die Ladezone lässt sich in die Funktionsbereiche Ladenvorzone, Ladestelle und Ladehof unterteilen. Die Ladenvorzone ist das Bindeglied zwischen der eigentlichen Ladestelle und dem Produktions- und Lagerbereich. Zu ihrer Funktion gehören die Bereitstellung und die Identifikation der zu verladenen bzw. zu entladenden Güter. Hier erfolgt auch zumeist eine Verteilung der entladenen Ladeeinheiten an die unterschiedlichen Bereiche des Betriebs. Die Ladestelle liegt zwischen der Ladenvorzone und dem Ladehof und ist der

physische Ort des Warenaumschlags. Von besonderer Bedeutung für die Gestaltung der Ladestelle ist die Art der Be- und Entladung der Lkw, insbesondere die Durchführung des Transportes der Ladeeinheiten vom Produktions- und Lagerbereich in das Verkehrsmittel mit oder ohne Rampe. Die dabei eingesetzten Techniken des Warenaumschlags in ihren unterschiedlichen Ausprägungen werden in Abschn. 5.3.4 vorgestellt. Der Ladehof beinhaltet die Verkehrsflächen der Fahrzeuge. Die Fahrzeugstandfläche ist dabei der Bereich des Ladehofes, an dem die eigentliche Be- oder Entladung der Lkw stattfindet.

### **Organisation der Ladezone**

Neben der baulichen Gestaltung der Ladezone ist die Organisation von entscheidender Bedeutung für einen reibungslosen Ablauf des Umschlags. Sie ermöglicht einen optimalen Einsatz von Personal und technischen Einrichtungen sowie von Pufferflächen. Durch die Disposition wird dem Ladezonpersonal mitgeteilt (z. B. mittels eines Warenerwartungsscheines oder über das Warehouse Managementsystem), wann und an welcher Ladestelle neue Güter angeliefert werden bzw. bereitgestellt werden müssen. Auf diese Weise kann schon im Voraus Pufferfläche zur Verfügung gestellt und das benötigte Personal und die Geräte eingeteilt werden, damit sie zum Zeitpunkt der Anlieferung bereitstehen und keine weiteren Wartezeiten auftreten. Man unterscheidet vier verschiedene Organisationsformen der Ladezone:

- Verladung ohne Bereitstellung,
- Bereitstellung der Ladung,
- Bereitstellung der Ladefläche und
- die Produktion in den Container.

Bei der Verladung ohne Bereitstellung werden die Güter direkt aus der Produktion, dem Lager oder dem Sortier- und Verteilbereich zur Ladezone transportiert. Dies erfordert in der Regel eine größere Anzahl an Ladestellen bzw. eine längere Wartezeit der zu beladenden Fahrzeuge.

Bei der Verladung mit Bereitstellung werden die Güter schon vor dem Eintreffen des Lkw in der Ladevorzone gesammelt und zwischengelagert, um dann sofort ohne weitere Verzögerungen auf den Lkw verladen zu werden. Diese Organisationsform wird besonders in Cross-Docking-Systemen angewendet. Dort ist für jedes Warenausgangstor eine Endstelle des Sortier- und Verteilsystems vorhanden, auf der die gesamte Ladung für den Lkw (der z. B. Ladung filialrein abholt) gepuffert wird.

Eine ähnliche Organisationsform stellt die Bereitstellung der Ladefläche dar. Die Ladung wird hierbei zuvor in einem Wechselaufbau bereitgestellt und dann komplett von einem Lkw aufgenommen. Das ermöglicht eine Reduzierung der Bereitstellfläche in der Halle. Allerdings werden ein entsprechend größerer Ladehof sowie Umsetzfahrzeuge benötigt.

Bei der Organisationsform Produktion in den Container wird der Container bzw. Wechselaufbau direkt durch kunden- oder tourenreine Produktion im Fertigungsbereich beladen.

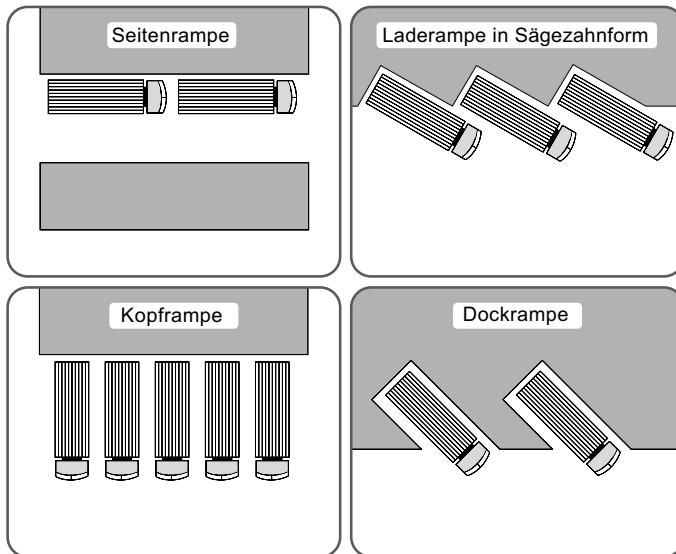
Die Optimierung von Lade- und Transporteinheiten erfolgt in zunehmendem Maße EDV-unterstützt. Ausgehend von Kunden- und Versandaufträgen, ergänzt um die Stammdaten der Artikel, Lade- und Transporthilfsmittel, berechnet ein Programm anhand von Algorithmen automatisch die optimale Anordnung sämtlicher Artikel und jeder Lade- und Transporteinheit. Optimierte wird die Volumennutzung auf Basis der vorliegenden Abmessungen der Ladeeinheiten. Durch dieses Verfahren kann nicht nur eine wesentliche Zeit- und Kostenersparnis erreicht werden, sondern auch eine höhere Exaktheit bzgl. Ladungssicherung und Planungssicherheit. Neben der Programmunterstützung erfolgen beim Umschlag eine roboterunterstützte Palettierung und eine Lkw-Doppelstockverladung. Eine solche Software wählt für eine Lieferung die günstigsten Transportmittel schon im Vorfeld anhand von Restriktionen aus. Dabei werden automatisch Randbedingungen wie die erlaubte Anordnung von Packstücken und Ladeeinheiten, zulässige Achslasten, die Stapelbarkeit oder die Tourstopp- oder Ladereihenfolge berücksichtigt.

### Gestaltung der Ladezone

Durch die bauliche Gestaltung wird die Ladezone an die konkreten Einflussgrößen angepasst, sofern diese während der Planungsphase bereits bekannt sind. Insbesondere die Rampen- und Ladehofgestaltung sind wichtige bauliche Elemente, die wesentlich für den reibungslosen Umschlagbetrieb sind. Verschiedene Rampenformen bieten die Möglichkeit, die Ladestelle mit dem Ladehof zu verbinden, um den Umschlag reibungslos zu gewährleisten. Dazu werden gängige Rampen- und Torvarianten vorgestellt, die Ausführungen von Verladeschleusen und die Sicherungssysteme für Lkw.

### Rampen

Grundsätzlich muss zwischen dem Umschlag mit und ohne Rampe unterschieden werden. Die Rampengestaltung bezieht sich vor allem auf Art und Form der Rampe sowie die Anzahl der Ladestellen. Das Hauptproblem beim Be- und Entladevorgang ohne Rampe besteht im Vertikaltransport der Ladeeinheiten auf das Niveau der Ladefläche des Lkw. Dadurch entstehen unter anderem Verzögerungen beim Umschlagvorgang durch den Vertikaltransport und ein erhöhter Energieverbrauch bzw. schwere körperliche Arbeit bei manuell durchgeföhrtem Umschlag. Zur Realisierung des Umschlags ohne Rampe existieren verschiedene Möglichkeiten. Mittels eines Gabelstaplers (nur bei seitlicher Be- und Entladung) oder eines Krans lassen sich die Ladeeinheiten auf die Ladefläche heben. Letzteres ist besonders bei sperrigen Gütern sehr nützlich, da der Lkw einfach von oben be- und entladen werden kann, wobei das Fahrzeug dabei von oben zugänglich sein muss. Des Weiteren ist es



**Abbildung 5.53.** Eingesetzte Rampenformen für die Lkw-Be- und -Entladung

möglich, die Güter über eine Hebebühne anzuheben oder den Lkw über eine Absenkxbühne abzusenken, um so den Niveaualausgleich herzustellen.

Eine Hebebühne kann auch direkt in die Ladebordwand integriert sein. Es existiert ferner die Möglichkeit, einen so genannten Ladekran direkt am Fahrzeug zu installieren oder einen Gabelstapler mitzuführen. Durch diese beiden Realisierungsmöglichkeiten des Verticaltransports muss am Quell- bzw. Zielort nicht notwendigerweise ein aktives Umschlaggerät oder eine Rampe vorhanden sein. Beim Niederflurumschlag besteht ferner die Möglichkeit, mobile Rampen einzusetzen, die auf dem Ladehof zu dem entsprechenden Lkw gefahren werden und als Auffahrrampe für Stapler dienen. Mobile Rampen ermöglichen sowohl Heck- als auch Seitenumschlag. Sicherheitsmaßnahmen wie z. B. Kontaktsensorleisten, Bremskeile und Geländer können zur Arbeitssicherheit installiert sein. Veränderte Gegebenheiten während des Verladevorganges wie die Gewichtsverlagerung, welche ein Absenken des Lkw bei der Beladung bewirken, können durch flexible Rampen aufgefangen werden.

### Rampenformen

Es existieren vier verschiedene Rampenbauformen (vgl. Abb. 5.53):

- Seitenrampe,
- Kopframpe,
- Dockrampe und
- Laderampe in Sägezahnform.

Während bei Seiten- und Kopframpen nur von einer Seite be- und entladen werden kann, besteht bei der Dockrampe und der Laderampe in Sägezahnform die Möglichkeit, gleichzeitig von der Seite und vom Heck auf die Ladefläche zugreifen zu können. Dabei benötigen sie aber auch mehr Anstellfläche am Gebäude. Die Laderampe in Sägezahnform eignet sich besonders, wenn wenig Platz zum Rangieren vorhanden ist. Dockrampen existieren in den Ausführungen als Schräg- oder Kopfform, jedoch werden sie aufgrund der Kosten heute nur noch selten realisiert. Bei beiden Rampenformen ist eine Hebebühne oder Hubeinrichtung an der Ladepritsche notwendig, um den Niveaualausgleich beim Be- und Entladen zu gewährleisten. Unabhängig von der jeweiligen Rampenbauform sollte die Höhe ca. 1,25 bis 1,30 m betragen.

Allen Rampenvarianten gemeinsam ist, dass sie eine niveaugleiche Güterübergabe ermöglichen. Bei einigen Ramparten ist der Umschlag auf Wechselaufbauten oder Bahnwaggons ebenfalls prinzipiell möglich.

Bei der Gestaltung muss auf eine Vielzahl von Vorschriften und Richtlinien Rücksicht genommen werden. Einige wichtige Gesetze und Richtlinien für die Gestaltung und den Betrieb von Laderampen sind ArbStättV §21, VBG (UVV) §32, VDI 2199 sowie ZH 1 156.

Rampen werden weiterhin in Außen- und Innenrampen unterschieden. Außenrampen sind meistens als Längsrampen für Seiten- und Heckumschlag ausgebildet. Obwohl sie ein Vordach haben, schützen sie dennoch nicht vollständig vor Witterungseinflüssen.

Innenrampen bieten für das Bedienpersonal und das Ladegut einen besseren Schutz vor Witterungseinflüssen. Ein weiterer Vorteil ist die bessere Überwachungsmöglichkeit. Eine Be- und Entladung kann erst durchgeführt werden, nachdem das Tor geöffnet wurde, so dass beispielsweise eine eigenmächtige Entladung des Lkw durch den Fahrer ohne Erledigung der notwendigen Formalitäten unterbunden wird.

Eine Spezialform der Innenrampe ist die so genannte Ladeluke. Hierbei handelt es sich um Ladestellen für den heckseitigen Umschlag eines einzelnen Lkw. Vorteilhaft bei Ladeluken ist die separate Verwendung eines Tores und einer Torabdichtung. Durch eine Torabdichtung zwischen Lkw und Gebäude werden der Energieverlust durch Wärmeaustausch mit der Außenumgebung erheblich reduziert und Temperaturschwankungen im Gebäude verringert. Des Weiteren treten keine Zuglufterscheinungen auf und der Zugang in das Gebäude kann nicht mehr über das Tor, sondern nur noch über leicht kontrollierbare Türen erfolgen. Im Bereich der Ladeluke werden häufig Anfahrhilfen eingerichtet, die dem Lkw-Fahrer das Andocken erleichtern sollen. Dazu gehören im einfachsten Fall farbliche Markierungen auf dem Boden zur Lenkhilfe des Fahrers. Eine konstruktive Anfahrhilfe besteht in einer starren Führung, die den Lkw beim Zurücksetzen genau vor der Öffnung positioniert. Insbesondere wenn es auf eine möglichst exakte Ausrichtung der Ladefläche ankommt, z. B. bei einigen Komplettumschlagsystemen mit Stetigfördertechniken (vgl. Abschn. 5.3.4), werden solche Systeme eingesetzt. Ladeluken sind

die typischen Schnittstellen zur Lkw-Verladung in Distributionszentren, Paketverteilzentren und Cross-Docking-Anlagen.

### **Ausgleich zwischen Ladefläche und Rampe**

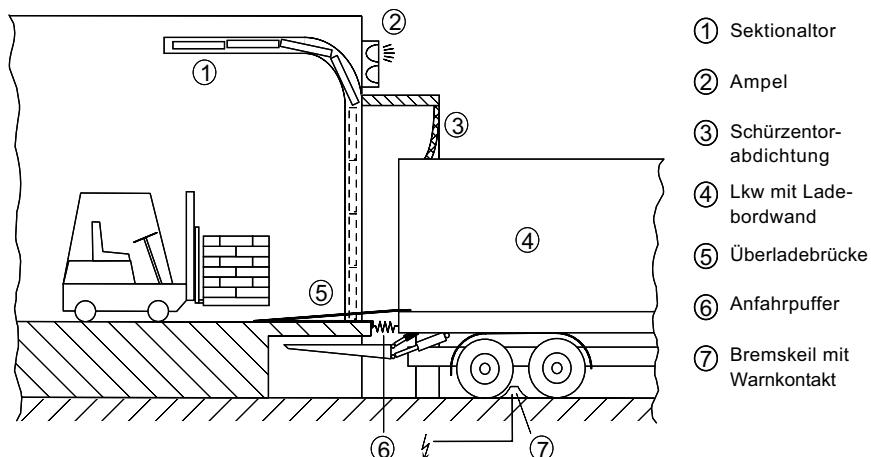
Bei Rampen ist zu beachten, dass zwischen der Ladefläche und der Laderampe ein Niveauunterschied besteht, der zusätzlich während des Be- und Entladevorgangs durch die wechselnde Gewichtsbelastung und die daraus resultierende Höhenänderung des Lkw variiert. Um diesen Höhenunterschied auszugleichen, können Überladebleche, Überladebrücken und Hebebühnen eingesetzt werden.

Sind die Variationen der Höhenunterschiede zwischen Ladefläche und Rampe klein (z. B. bei Bahnwaggons), so genügt ein Überladeblech. Hierbei handelt es sich oft um ein einfaches Stahlblech, das auf Rampe und Ladefläche gelegt wird. Häufig befinden sich noch Vorrichtungen am Überladeblech, die gegen Verrutschen während des Betriebs sichern.

Überladebrücken sind prinzipiell ähnlich den Überladeblechen, allerdings werden sie im Allgemeinen fest installiert und sind schwenkbar oder an Schienen verfahrbar. Eine lamellenverstärkte, aus Aluminium bestehende Überfahrbrücke bildet eine einfache Verbindung zwischen Ladedock und Lkw. Die profilierte Oberfläche verbessert die Rutschhaftung. Die die Ladeflächen berührende Seite der Rampe ist zur Verringerung des Kantewiderstandes stark abgeflacht. An der Dockseite der Rampe befindet sich eine bewegliche Schiene, welche in die dafür vorgesehene Nut am Dock lose eingehängt wird. Über einen manuellen Seilzug kann die Rampe vertikal positioniert werden. Es werden auch zum Teil Überladebrücken eingesetzt, die hydraulisch oder elektromotorisch hebbar sind. Bei diesen beiden letzten Realisierungsmöglichkeiten besteht eine große Unfallgefahr durch ein vorzeitiges Abfahren der Lkw mit aufgelegter Überladebrücke und evtl. darauf arbeitendem Personal. Für diese Problemstellung wurden Einzellösungen entwickelt. Neigungswinkel dürfen nach gesetzlichen Vorschriften nicht größer als  $7^\circ$  sein, bei Befahren mit manuell bedienten Transportmitteln sollten sie jedoch  $3^\circ$  nicht übersteigen.

Hebebühnen ermöglichen das Heben oder Senken des Fahrzeugs (entweder Lkw oder Umschlagmittel wie z. B. Gabelhubwagen) auf die geforderte Höhe. Derartige Arbeitsmittel sind allerdings zum Teil mit erheblichen Investitionskosten verbunden, da aufwändige Konstruktionen aufgrund der hohen Fahrzeuggewichte erforderlich sind. Hierbei besteht auch Unfallgefahr durch frühzeitiges Hochfahren der Hebebühne bei unkorrekter Position des Fahrzeugs.

Tieframpen werden ebenfalls im Bereich der Ladezone eingesetzt. Hierbei haben Hoffläche und Hallenboden gleiches Niveau. Der Lkw fährt über eine geneigte Zufahrt in eine Mulde im Boden, um so einen niveaugleichen Umschlag zu gewährleisten. Die Tieframpe lässt sich somit nicht eindeutig zu den Umschlagverfahren mit oder ohne Rampe zählen, da es sich einerseits



**Abbildung 5.54.** Gestaltungsbeispiel einer Ladeluke

um einen Umschlag mit einer Rampe handelt, aber andererseits zwischen Hallenboden und Ladehof kein Niveaunterschied besteht.

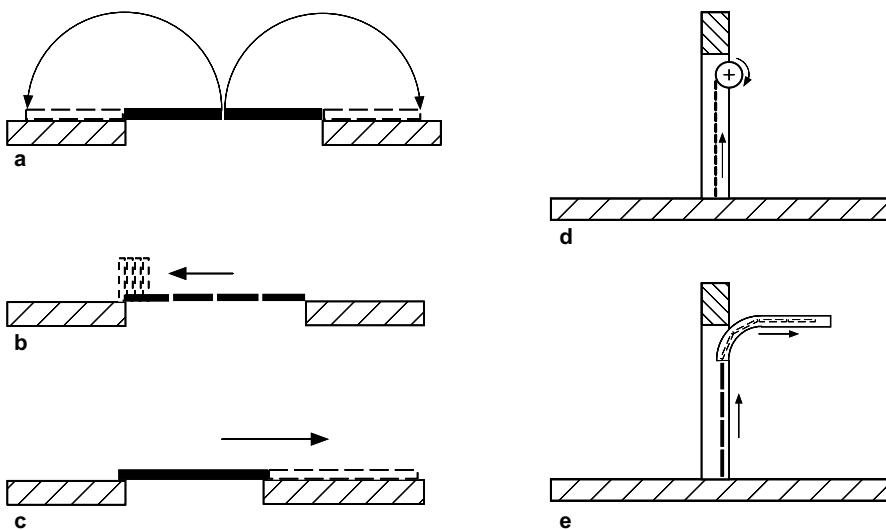
Abbildung 5.54 zeigt ein typisches Realisierungsbeispiel einer Ladeluke. Die Rampe ist für Lkw mit Ladebordwand unterfahrbar gestaltet. Der Niveaunausgleich zwischen Rampe und Ladefläche wird mittels einer einfachen Überladebrücke hergestellt. Zum Schutz gegen das vorzeitige Abfahren des Lkw wird ein Bremskeil untergelegt.

Dieser Bremskeil ist mit einem elektrischen Warnkontakt gekoppelt, der ein unplanmäßiges Entfernen signalisiert. Eine Ampel an der Ladestelle informiert den Lkw-Fahrer darüber, ob er von der Luke abfahren bzw. andocken darf. Der Anfahrpuffer dient zu Dämpfung des Andockstoßes des Lkw beim Zurücksetzen. Als Tor dient ein Sektionaltor, das mit einer Schürzenabdichtung gegenüber der Außenumgebung abgedichtet ist.

### Torgestaltung

Es existiert eine große Anzahl unterschiedlicher Torbauformen, die in der Praxis eingesetzt werden. Welche Torform im konkreten Fall eingesetzt wird, richtet sich nach den baulichen Gegebenheiten und den gewünschten Eigenschaften wie Schnelligkeit oder Sicherheit.

Drehtüren, -tore oder Schwenktore existieren in ein- oder zweiflügeliger Ausführung, wobei die Tore nach außen oder innen geschwenkt werden können. Die Tore sind oben und unten mit Bolzen und Scharnierbändern befestigt. Sie werden meist per Hand bedient, können aber alternativ einen elektrischen sensorgesteuerten Toröffner haben. Für den Schwenkvorgang muss ausreichend Freiraum vorgesehen werden. Sie gehören zu den einfachen und preisgünstigen Torbauformen und sind für größere Tore weniger geeignet, da daraus schwere Torflügel resultieren.



**Abbildung 5.55.** Torbauformen. a Drehtor b Falttor c Schiebetor d Rolltor e Sektionaltor

Falttore sind ein- oder beidseitig an der Wand angeschlagen und haben in der Regel sechs bis acht Flügel. Bei ausreichender Größe der Flügel können kleinere Türen integriert werden, damit Personen das Tor passieren können, ohne einen der schweren Torflügel bewegen zu müssen.

Bei Schiebetoren sind die Türflügel auf Rollen oder Laufschienen gelagert. Die Torelemente werden seitwärts verschoben. Im offenen Zustand des Schiebetors befindet sich das Tor vor der Wand. Somit ist ein deutlich geringerer Platzbedarf in die Halle hinein notwendig, jedoch muss seitlich genügend Platz vorhanden sein. Der Antrieb kann manuell, pneumatisch oder elektrisch erfolgen. Es gibt drei verschiedene Varianten von Toren: einflügelig, zweiflügelig oder als Teleskopausführung. Eingesetzt werden die Tore zumeist bei wenig frequentierten Durchfahrten.

Rolltore (Schnelllaufturen) benötigen weder in der Tiefe noch seitlich Gebäuderäum. Es gibt Varianten aus Stahl und aus Kunststoffgewebe. Stahl-Rolltore können vielfältig eingesetzt werden. Anwendungsgebiete sind vor allem Toröffnungen an Rampen oder Bürgersteigen. Die Torelemente aus Stahl oder Kunststoff sind auf einer Aufrollwelle aufgehängt und laufen in Führungsschienen. Mit leistungsstarken Motoren besteht die Möglichkeit, das Tor in wenigen Sekunden (Rollgeschwindigkeit von ca. 4 m/s) zu öffnen oder zu schließen. Deswegen eignet es sich für Durchfahrten zwischen Produktionshallen und für Rampen. Wärmeaustausch oder Luftzirkulationen können durch den Einsatz von Rolltoren vermieden werden.

Auf Führungsschienen bewegte Sektionaltore werden seitlich in das Gebäude geschoben. Sie ähneln dem Rolltor und haben ungefähr gleich schnelle



**Abbildung 5.56.** Beladen eines Lkw an einer Verladeluke, Einsatz einer Überladebrücke und eines Sektionaltors [Foto: Still]



**Abbildung 5.57.** Seitliche Beladung eines Lkw mit einem Gabelstapler mit doppeltlanger Gabel [Foto: Still]

Öffnungs- und Schließzeiten, besitzen aber wesentlich größere Torelemente. Diese Elemente bieten die Möglichkeit, volltransparente Fenster zur besseren Übersicht einzubauen.

Für Ladeluken werden aufgrund des Platzvorteils bevorzugt Roll- und Sektionaltore verwendet. Darüber hinaus ist nur mit diesen beiden Ausführungen die Verwendung einer Torabdichtung möglich.

### Torabdichtungen

Die Aufgabe der Torabdichtung ist die Abdichtung der Halle gegen die Außenumgebung bei der Be- und Entladung einer Ladefläche, um den Wärmeaustausch und damit den Energieverlust zu unterbinden.

Ein Luftvorhang sorgt für eine klimatische Trennung zweier Bereiche, z. B. zwischen der Ladehalle und der Umwelt oder auch zwischen einem Frischebereich und einem Bereich mit üblicher Raumtemperatur. Dabei wird eine ca. 30 cm breite Luftsäule vertikal von oben nach unten ausgeblasen. Luftstrahlen mit hoher Geschwindigkeit errichten eine Strömungsbarriere, durch welche äußere Einflüsse wie z. B. kalte Luft oder Gerüche an einem Eintreten gehindert werden, so dass u. a. eine thermische Abschottung entsteht. Diese Luftvorhänge können einen Temperaturunterschied von bis zu 27 °C abschotten.

Schmale Kunststoffstreifen, welche über dem Türrahmen befestigt sind, bilden einen dichten Vorhang. Streifenvorhänge werden je nach Belastungsart und abhängig von Umweltbedingungen und Torgröße aus unterschiedlichen Kunststoffverbindungen gefertigt. Hierbei variieren sowohl das Material, die Befestigungsart als auch die Materialstärke.

Ummantelte PVC-Kissen können für eine Abdichtung während der Lkw-Be- und -Entladung sorgen. Dabei gibt es zwei unterschiedliche Ausführungen. Die Kissen sind entweder dauerhaft mit Spezialschaumstofffüllungen gefüllt oder alternativ als Ballonkissen mit Pressluft aufgeblasen. Die durch den rückwärts fahrenden Lkw angepressten Kissenelemente bilden einen luftdichten Abschluss.

An der Oberkante der Ladeluke und an den Seiten angebrachte Kunststoffschrüzen sorgen für einen allseitigen Abschluss, wenn ein Lkw zur Verladung mit der Rückseite an das Verladetor herangefahren ist. Der Vorteil von Schrüssen-Torabdichtungen liegt in der Flexibilität und Robustheit der Schrüssen. Ein schräges Heranfahren oder ein leichter Versatz des Lkw kann durch die Schrüssen ausgeglichen werden.

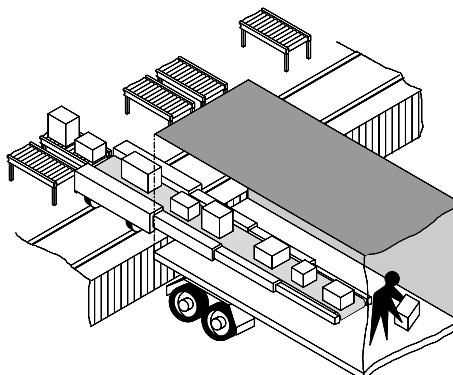
### 5.3.4 Systeme zur Be- und Entladung von Lkw

#### Manuelle Lkw-Beladung

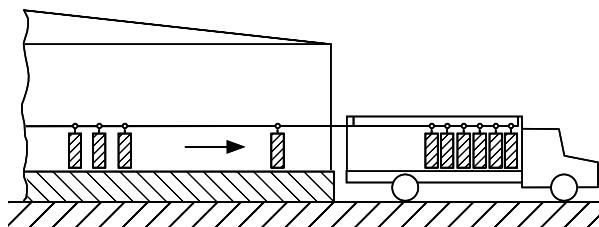
Bei den Umschlagtechniken muss zunächst zwischen Komplett- und Teilverladung unterschieden werden. Bei einer Komplettverladung wird die gesamte Ladung eines Fahrzeugs in einem Arbeitsspiel umgeschlagen. Dies bedeutet aber auch, dass es in der Regel nicht möglich ist, kleinere Mengen der Ladung zu bewegen. Bei der Teilverladung besteht der Verladeprozess aus mehreren Arbeitsspielen. Die Anzahl der Arbeitsspiele ist abhängig von der Anzahl der pro Arbeitsspiel umgeschlagenen Ladeeinheiten und der insgesamt gewünschten Menge. Es ist hierbei im Gegensatz zur Komplettverladung nicht die gesamte, sondern lediglich ein Teil der Ladung umzuschlagen. Weiterhin ist zu unterscheiden, ob zumeist Stückgüter oder palettiertes Gut umgeschlagen werden. Der Vorteil des unpalettierten Stückgutes liegt in der besseren Laderaumausnutzung.

Sofern die Umschlagmengen an einzelnen Zielorten des Transportmittels verhältnismäßig klein sind, ist die Ladeeinheitenbildung nicht notwendigerweise sinnvoll. Ein Beispiel dafür sind die Paketdienstleister. Das Be- und Entladen eines Lkw oder eines Transporters der KEP-Dienstleister mit nicht palettiertem Stückgut kann beispielsweise mit den in Abb. 5.58 dargestellten Arbeitsmitteln erfolgen. Bei dieser Umschlagtechnik ragt der teleskopierbare Stetigförderer in den Laderaum des zu be- oder entladenden Lkw hinein. Ein Vorteil dieser Verladetechnik besteht in der Möglichkeit, ein innerbetriebliches Stetigförderersystem relativ einfach anzuschließen. Im Laderaum befindet sich eine Bedienperson, die die Ladeeinheiten dem Stetigförderer entnimmt bzw. ihm zuführt. Über eine Steuerung kann die Bedienperson den Stetigförderer positionieren.

Da diese Verladetechnik mit einem hohen Investitionsaufwand verbunden ist, empfiehlt es sich, den Stetigförderer senkrecht zur Förderrichtung beweglich zu installieren, so dass Lkw an verschiedenen Positionen mit einem



**Abbildung 5.58.** Teleskopbandförderer zur Be- und Entladung eines Lkw mit unpalettiertem Stückgut



**Abbildung 5.59.** Hängeförderer für die Lkw-Be- und -Entladung

Bediengerät be- und entladen werden können. Mit diesem Umschlagsystem können auch Container oder Wechselaufbauten be- und entladen werden.

Beim Transport hängend gelagerter Ladeeinheiten, wie beispielsweise in der Bekleidungsindustrie, empfiehlt sich der Einsatz eines Hängeförderersystems (vgl. Abschn. 4.2 – Trolleybahn). Eine günstige Möglichkeit, den Umschlag solcher Güter in einen Lkw zu realisieren, besteht in dem Transport der Ladeeinheiten bis in das Fahrzeug, in welchem ebenfalls entsprechende Führungsschienen installiert sind (vgl. Abb. 5.59). Die Verbindung zwischen innerbetrieblichem Fördersystem und Lkw kann mittels eines einzusetzenden Verbindungsstückes oder einer teleskopierbaren Schiene realisiert werden. So kann die Förderung von Hängeware mit geringem Handhabungsaufwand durch ein gesamtes Materialflusssystem realisiert werden.

Der Großteil der beim Umschlag zu handhabenden Güter besteht aufgrund der bereits aufgezeigten Vorteile aus palettierten Ladeeinheiten (vgl. Abschn. 2.4). Im einfachsten Fall erfolgt der Umschlag mithilfe von Flurförderzeugen (vgl. Abschn. 4.4.1 und Abschn. 5.3.2). Dabei sollte ein Befahren des Lkw zum Be- und Entladen nicht mit einem verbrennungsmotorisch angetriebenen Gabelstapler erfolgen, da die Abgase das Transportgut stark verunreinigen können und eine Gefahr für den Bediener darstellen.

Insbesondere bei schweren oder sperrigen Gütern (z. B. Coils oder Langgut) werden die Ladeeinheiten auch direkt und ohne Ladehilfsmittel auf der Ladefläche abgelegt.

### **Automatisierte Lkw-Verladung**

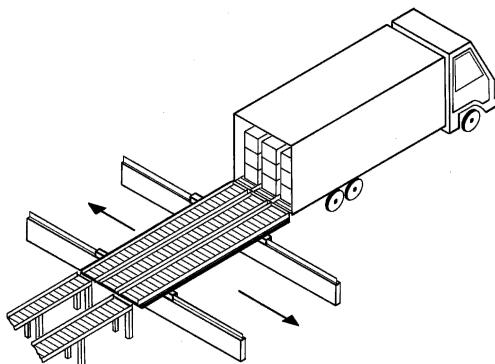
Umschlagvorgänge sind in verschiedenen Stufen der Technisierung realisiert. Neben dem manuell durchgeföhrten Umschlag existieren vollständig automatisierte Be- und Entladesysteme sowie eine Vielzahl von Zwischenstufen bezüglich des Automatisierungsgrades.

Da viele automatische Umschlagsysteme nur für spezielle Bereiche anwendbar sind, finden sie keine weite Verbreitung. Des Weiteren sind hierbei Verladegeräte und teilweise auch Ladeflächenaurüstungen auf den Verkehrsmitteln notwendig, die mit relativ hohen Investitionskosten verbunden sind. Darüber hinaus müssen sie meistens zu den Umschlageinrichtungen am Bestimmungsort kompatibel sein, damit eine automatische Be- oder Entladung durchgeführt werden kann. Spediteure rüsten aus diesen Gründen nur selten ihre Lkw mit Ladefächentechniken aus, da der Investitionsaufwand im Vergleich zu dem erreichbaren Nutzen zu hoch ist. Außerdem wird durch die Ladeflächenaurüstung die maximal mögliche Zuladung geringer, und die Ladung unterliegt Beschränkungen bezüglich ihrer physikalischen Eigenschaften wie Abmessungen und Gewicht. Ein weiterer großer Nachteil ist dadurch gegeben, dass während der Fahrt die Ladeeinheiten verrutschen und die Ladefächentechnik beschädigen können. Deswegen ist eine sorgfältige Ladungssicherung notwendig, da mitunter schon eine Ladeeinheitenverschiebung von wenigen Zentimetern eine Komplettverladung bei einigen Umschlagsystemen unmöglich macht.

Zum Einsatz kommen diese Verladetechniken jedoch häufig im Linienverkehr von Unternehmen, wenn der Transport der Güter mit werkseigenen Fahrzeugen, die an die jeweilige Verladetechnik am Quellen- und Senkenort angepasst sind, in einem paarigen Pendelverkehr realisiert wird. In diesem Fall wird der Zeitvorteil, der durch diese Verladetechniken erreicht werden kann voll ausgeschöpft.

Aus den gleichen Gründen sind Frachtflugzeuge mit Rollenteppichen als Ladefächentechnik ausgerüstet. Da die Verladung im Luftfrachtbereich ausschließlich manuell erfolgt und die ULD keine Vorrichtungen zur Aufnahme durch ein Fördermittel besitzen, ist dies zudem die einzige Möglichkeit, die Luftfrachtpaletten und -container im Frachtraum zu bewegen (vgl. Abschn. 2.4.4).

Bei einer Komplettverladung wird die gesamte Ladung eines Lkw in einem Arbeitsspiel umgeschlagen. Eine vorherige Bereitstellung der gesamten Ladung bei der Beladung ist dabei unverzichtbar, da sonst der Zeitvorteil durch den schnell ausführbaren Umschlag wegen der langen Transportzeiten



**Abbildung 5.60.** Umschlagsystem mit Rollenbahn

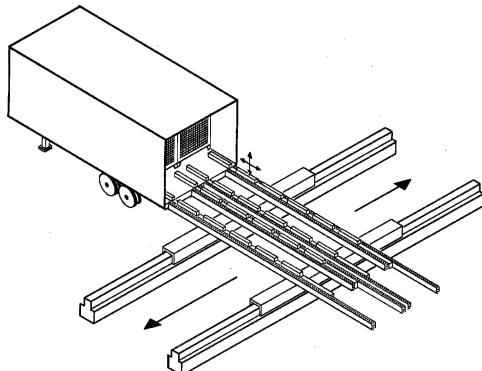
der Ladeeinheiten aus dem Lager verloren geht. Bei Komplettverladungen kommen häufig Stetigfördertechniken zum Einsatz, wodurch eine Anbindung an den innerbetrieblichen Materialfluss erreicht wird, sofern dieser auf einem kompatiblen Fördersystem beruht.

Beim Umschlag mit Komplettumschlagsystemen erfolgt die Rückfahrt meistens ohne Ladung. Daher macht sich eine Zeitersparnis besonders bei kurzen Entfernungen (< 75 km) bemerkbar. Die Zeitersparnis beim Be- und Entladen von Lkw mit Umschlagsystemen ist sehr hoch. Während der gesamte Entladevorgang eines Lkw mit 20 t Ladung (palettierte Ladeeinheiten) zwischen 60 und 200 Minuten in Anspruch nehmen kann, erfolgt er bei Systemen mit Komplettverladung in nur wenigen Minuten.

Beispielhaft werden einige Teil- und Komplettverladetechniken für Lkw von der Seite und vom Heck vorgestellt. Darüber hinaus wird eine Vielzahl weiterer Techniken eingesetzt, die aber hier nicht vollständig aufgeführt werden können. Für weitere Beispiele siehe [VDI 4420].

### **Umschlagsystem mit Rollenbahn**

Aus der Kommissionierzone laufen die Ladeeinheiten über Rollenbahnen auf drei auf einem quer verschiebbaren Wagen nebeneinander angeordnete Rollenbahnen und werden dort gesammelt. Durch ein Verfahren des Verschiebewagens werden die einzelnen Rollenbahnsegmente nacheinander mit stationär angebrachten Rollenbahnen verbunden. Ist die Ladung komplett bereitgestellt, wird der verschiebbare Wagen vor die Ladefläche eines Lkw bewegt. Dann fördern die angetriebenen Rollenbahnen die Ladung auf die Ladefläche des Lkw, die ebenfalls mit angetriebenen Rollenbahnen ausgestattet ist. Die Entladung erfolgt im umgekehrten Sinne. Die Rollenbahnen im Lkw und auf dem Verschiebewagen werden in Betrieb gesetzt und fördern die Ladeeinheiten auf den Verschiebewagen, der sie dann über weitere Rollenbahnen bis ins Lager umschlagen kann (vgl. Abb. 5.60).



**Abbildung 5.61.** Umschlagsystem mit Hubkettenförderer

### Umschlagsystem mit Hubkettenförderer

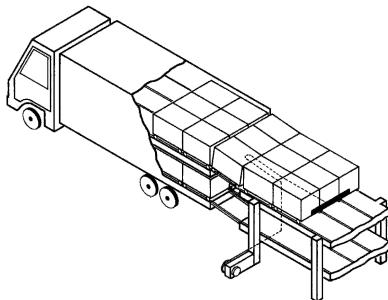
Auf einem quer verschiebbaren Wagen befinden sich Kettenförderer, die sich aus Trag- und Hubkettenförderern zusammensetzen. Durch Querfahren kann der Wagen verschiedene Übergabestationen anfahren und Ladeeinheiten aufnehmen. Ist die Ladung komplett, fährt der verschiebbare Wagen vor die Ladefläche des Lkw.

Auf dem Wagen sind (je nach Anzahl der nebeneinander zu stauenden Ladeeinheiten) zwei oder drei Kettenförderer installiert. Zwischen den einzelnen Kettenförderern befinden sich zwei Förderketten, so genannte Hubketten. Diese Hubketten sind so flach gebaut, dass sie in die Hohlräume von Kufenpaletten (z. B. Europaletten) passen. Ist eine komplette Ladung auf den Kettenförderern bereitgestellt, werden die Hubketten durch eine pneumatische Hubeinheit angehoben und mittels der in den Hubketten eingebauten Tragketten über den Boden der Ladefläche in den Laderraum eingefahren.

Danach werden die Hubeinheiten gelüftet, die Ladeeinheiten senken sich auf den Laderraumboden ab und die Hubketten fahren auf den Verteilwagen zurück. Eine Entladung erfolgt in umgekehrter Reihenfolge (vgl. Abb. 5.61). Bei unterschiedlichen Lkw-Ladehöhen werden Überladebrücken verwendet, um die Niveauunterschiede zwischen Ladefläche und Verteilwagen auszugleichen. Das System bedarf keiner Ladeflächentechnik und ist darüber hinaus voll automatisierbar. Dieses Umschlagsystem stellt aber besondere Ansprüche an die Qualität der Ladefläche hinsichtlich Ebenheit und Druckfestigkeit.

### Umschlagsystem mit Rollpaletten

Die Ladeeinheiten werden auf Rollpaletten auf einem Gestell bereitgestellt, das ungefähr die Größe der Lkw-Ladefläche besitzt. In dem Gestell stehen die Rollpaletten in Schienen. Ist die Ladung komplett, wird die gesamte Ladung mit einem rückwärtig angebrachten Mitnehmer über einen elektrischen



**Abbildung 5.62.** Umschlagsystem mit Rollpaletten

Seilzug in den Laderaum des Lkw gezogen. Der Abstand der Schienen verjüngt sich in Richtung des Verkehrsmittels, so dass eine Komprimierung der Ladung erfolgt. Nachteilig an diesem System ist die Notwendigkeit von Rollpaletten oder von Rolluntersätzen, wodurch dieses Umschlagsystem nur dort eingesetzt wird, wo grundsätzlich Rollpaletten im Einsatz sind. Zudem muss an dem Lkw und an der Ladestelle eine Zentriervorrichtung installiert sein (z. B. Zentrierdorn), damit ein passgenaues Andocken realisiert werden kann. Dieses System arbeitet ebenfalls voll automatisch (vgl. Abb. 5.62).

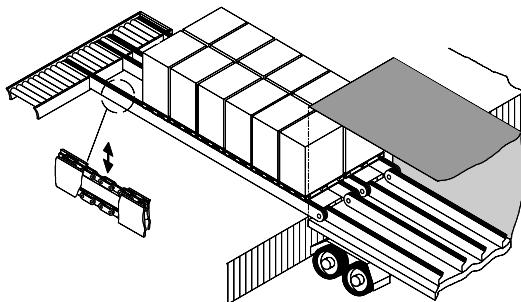
### **Umschlagsystem mit Tragkettenförderer**

In der Ladevorzone werden über einen Rollenförderer Paletten zusammengestellt und für die Verladung bereitgestellt (vgl. Abb. 5.63). Ist die Ladung komplett, werden die Tragkettenleisten hydraulisch oder pneumatisch angehoben und die Ladeeinheiten in den Lkw transportiert, in dem ebenfalls ein Tragkettenförderer installiert ist. Der Antrieb erfolgt hierbei elektrisch oder elektro-hydraulisch. Nach Beendigung der Beladung werden die Leisten wieder abgesenkt und die Ladeeinheiten stehen sicher auf der Ladefläche, so dass in der Regel keine weitere Ladungssicherung mehr notwendig ist. Bei diesem Verladesystem ist eine relativ genaue Positionierung des Fahrzeuges an der Rampe erforderlich, um einen korrekten Anschluss der Tragkettenförderer aneinander zu gewährleisten. Das System ist robust und besitzt vergleichsweise geringe Investitionskosten.

#### **5.3.5 Auswahlkriterien und Systemvergleich**

##### **Lastaufnahmemittel**

Die Wahl des einzusetzenden Lastaufnahmemittels richtet sich in erster Linie nach dem zu handhabenden Gut. Abb. 5.7 zeigt eine Gegenüberstellung einiger der gängigsten Lastaufnahmeeinrichtungen und typischer Lasten. Die Eignung eines Lastaufnahmemittels hängt aber auch von anderen Einflussgrößen ab. Wesentlich ist die Berücksichtigung der Umschlagleistung, um



**Abbildung 5.63.** Umschlagsystem mit Tragkettenförderer

sicherzugehen, dass die Lastaufnahme auch unter zeitlichen Gesichtspunkten wirtschaftlich durchzuführen ist. So ist beispielsweise der Umschlag von Containern mittels Anschlagseilen bei einer hohen Umschlagmenge theoretisch durchführbar, aber wirtschaftlich nicht zu vertreten, da das Anschlagen der Last zu viel Zeit in Anspruch nimmt.

### **Umschlagtechniken in der Ladezone**

Die geforderte Umschlagmenge und -leistung stellt das wichtigste Kriterium für die Gestaltung der Ladezone und die Wahl der Umschlagtechnik dar. Verladesysteme mit hohen Umschlagleistungen sind in der Regel auch mit hohen Investitionskosten verbunden. Deshalb ist vorher zu prüfen, ob eine derartige Investition in Anbetracht der geforderten Leistungsgrößen notwendig ist oder ob vielleicht ein anderes, preiswerteres System eingesetzt werden kann.

Tabelle 5.9 vergleicht unterschiedliche Umschlagsysteme bezüglich ihrer Kompatibilität mit verschiedenen Gestaltungsmerkmalen bereits bestehender oder in der Planung befindlicher Ladezonen. Darüber hinaus werden die einzelnen Umschlagtechniken hinsichtlich einiger Kriterien wie Flächen-, Investitions- und Personalbedarf sowie Arbeitssicherheit miteinander verglichen.

Das Gestaltungsmerkmal *Rampenform* gibt an, ob der Einsatz eines Umschlagsystems an einer der verschiedenen Rampen möglich ist. Ferner wird gezeigt, welche Art von Ladegut umgeschlagen werden kann und von welcher Richtung die Be- oder Entladung auf den Lkw erfolgt. Einige Verladesysteme sind in der Lage, die Ladefläche komplett zu be- und entladen, jedoch nicht lediglich einen Teil der Ladung umzuschlagen. Diesem Aspekt wird in dem Punkt Verladungsart Rechnung getragen.

Das Kriterium *Flächenbedarf* gibt an, wieviel Platz benötigt wird, um den Umschlag durchzuführen. Festinstallierte Einrichtungen, die einzig dem Umschlag dienen, haben den Nachteil, dass diese Fläche im Gegensatz zu Fahrflächen (z. B. beim Gabelstapler) prinzipiell nicht anderweitig genutzt werden kann.

Ein Vergleich der Höhe der Anschaffungskosten ist im Punkt *Investitionsbedarf* angegeben. Der *Personalbedarf* spiegelt wider, wie hoch der Arbeitsaufwand für den Umschlag in Bezug auf den Einsatz von Personal und dessen Ausbildung ist.

Die möglichen Gefahrenquellen für die Mitarbeiter bei der Verladung sind bei jedem Verladungssystem unterschiedlich. Die Arbeit an den Spezialsystemen für die Lkw-Be- und Entladung beinhaltet nur die Tätigkeit an einem Steuerpult, weshalb die *Arbeitssicherheit* dort wesentlich höher ist als bei dem Umschlag mittels Gabelstapler, wo die Gefahr unmittelbar durch den Stapler selbst, aber auch durch herabstürzende Güter u. Ä. besteht.

Bei einigen Umschlagsystemen müssen *Ladeflächentechniken* auf dem jeweiligen Verkehrsmittel installiert werden, um die Verladung durchzuführen. Dies stellt einen erheblichen Nachteil dar, weil diese Ladeflächentechniken aufgrund der Vielzahl der Fahrzeuge kostenintensiv sind, die maximale Laderaumausnutzung reduziert wird und das Fahrzeug nicht mehr für andere Ladungen geeignet ist. Der Punkt Verladung ohne Ladeflächentechnik kennzeichnet die Umschlagsysteme, die diesen Nachteil nicht aufweisen.

Die Leistungsgrößen im Bereich der konventionellen Systeme wurden mittels Messungen, Berechnungsverfahren nach VDI 2391 sowie Erfahrungswerten bestimmt. Als Grundlage diente die Beladung einer Wechselbrücke mit 32 Europaletten (1200 mm × 800 mm × 800 mm) beziehungsweise 256 Paketen (600 mm × 400 mm × 400 mm), was dem gleichen Volumen entspricht, um eine Vergleichbarkeit der Systeme zu gewährleisten.

Sofern Wege der Umschlaggeräte oder des Personals bei der Beladung auftraten, wurden diese im Mittel auf 15 m festgelegt. Der Umschlag wurde in allen Fällen von nur einer Bedienperson durchgeführt. Bei dem Umschlagsystem Hängeförderer ist kein direkter Leistungsvergleich bezüglich der Zeit für den Umschlag einer Ladung zu den anderen Umschlagtechniken möglich, da die Dauer stark von den umzuschlagenden Ladeeinheiten bzw. der Anzahl der Arbeitsspiele abhängt. Lediglich die Anzahl der Ladeeinheiten pro Stunde konnte nach den oben genannten Gegebenheiten bestimmt werden. Für die Beladung eines Lkw mittels Kran existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Möglichkeiten. In diesem Fall wurde zur besseren Vergleichbarkeit mit den anderen Umschlagsystemen die Beladung eines Lkw mit Paletten gewählt. Die Ausführung des Krans ist dabei von untergeordneter Bedeutung, denn es sind sowohl Dreh-, Portal- sowie Brückenkrane prinzipiell in gleicher Weise geeignet. Bedient wird der Kran von einer Bedienperson mittels einer Steuerflasche. Zur Aufnahme der Paletten dient eine C-Gabel.

Die Zeiten pro Ladung bei den Spezialumschlagsystemen wurden nicht berechnet, sondern stammen aus Herstellerangaben und Erfahrungswerten. Dabei muss erwähnt werden, dass das Andocken des Lkw an die Rampe erheblich länger dauern kann als bei den konventionellen Systemen, da die Ladefläche bei einigen Umschlagsystemen genau ausgerichtet werden muss.

**Tabelle 5.9.** Bewertung häufig eingesetzter Umschlagtechniken anhand wichtiger Kriterien

Umschlagsystem														
	konventionelle Systeme					dynamische Lagerung								
	manuell	Teleskopbandförderer	Hängeförderer	Handgabelhubwagen	Gabelstapler	Gabelstapler mit Mehrfachgabel	Kran	Rollenbahn-Umschlagsystem	Rollenkipf-Beladungssystem	Hubkettenförderer-Umschlagsystem	Rollpaletten-Umschlagsystem	Portal-Umschlagsystem	Traktkettenförderer-Umschlagsystem	
Rampenform	keine	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Kopframpe	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Seitenrampe	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Dockrampe	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Rampe in Sägezahnform	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ladegutart	Paletten	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	unpalettiertes Stückgut	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Sperr-/Langgut	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	seitlich	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Verladungsprinzip	heckseitig	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	von oben	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Teilverladung möglich	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Komplettverladung möglich	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Verladungsart	Flächenbedarf	■	■	■	■	■	■*	■	■	■	■	■	■	■
	Investitionsbedarf	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Personalbedarf	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Arbeitssicherheit	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sonstiges	Verladung ohne Ladeflächentechnik	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Ladeeinheiten/h	70,7	483	88**	24,7	48,1	144,2	36	—	—	—	—	—	—
	Zeit/Ladung (min)	217	32	—	78	40	13	54	1,5	2	1,5	5	5	2

■ günstig

■ durchschnittlich

□ ungünstig

\*Aufgrund der eingesetzten Arbeitsweise

\*\*Pulks/h

# **6. Planung von Materialflusssystemen**

## **6.1 Einführung**

Allgemein umfasst der Begriff der Planung einen systematischen Prozess, bei dem Ziele und die zur Erreichung der Ziele notwendigen künftigen Handlungen festgelegt werden. Ausgangspunkt für die Materialflussplanung können die verschiedensten Motive und anzustrebenden Ziele sein. Die Gründe für einen Planungsanstoß sind vielfältiger Natur und im Einzelnen eng mit den allgemeinen logistischen Zielsetzungen verbunden. Zu unterscheiden sind äußere Gründe, die eine Planung erforderlich machen (wie z. B. Gesetze oder behördliche Auflagen) und innere Gründe, beispielsweise der stete Zwang zur Optimierung der eigenen Prozesse. Weitere Gründe für einen Planungsanstoß können sein:

1. Reduzierung gebundenen Kapitals, z. B. durch Bestandsminimierung,
2. Personal(kosten)reduzierung,
3. Ablauf-, Organisations- und Strukturoptimierung,
4. Modernisierung von Anlagen,
5. Verbesserung des Kundenservice (z. B. Lieferzeit, Auftragsdurchlaufzeit, Servicegrad),
6. Erhöhung der Zuverlässigkeit und Sicherheit von Betriebsanlagen,
7. Expansion, Vergrößerung, Geschäftsfelderweiterung,
8. Anpassung der internen/externen Firmenpolitik und -struktur,
9. neue Regulierungs- oder Gesetzesauflagen.

Eine erfolgreiche Planung basiert auf verschiedenen Planungsgrundlagen . Zu diesen gehören neben den Grundsätzen und Axiomen der Logistikplanung (siehe Kapitel 6.1.1) die eindeutige Festlegung der Zielsetzung, die Berücksichtigung des Planungsumfeldes, die Anwendung/Berücksichtigung etablierter Planungsprinzipien und eine systematische Vorgehensweise bei der Planung.

### **6.1.1 Grundsätze und Axiome der Logistikplanung**

In der Logistikplanung existieren Grundsätze und Axiome, welche die Funktion der Planung auf wesentliche Merkmale präzisieren. Neben der „6r“-Regel

sind allgemein die permanente Planungsbereitschaft, die Koordination von Material- und Datenfluss sowie die Beachtung des Lebenszeitzyklus und Entsorgungskreislaufs von Produkten zu beachten. Nur die kontinuierliche und vollständige Berücksichtigung dieser Bausteine führt oft zu einem zufrieden stellenden Planungsergebnis.

1. Die „*6r*“-Regel der Logistik fasst die Hauptaufgaben der Logistik in einer einfachen Merkregel zusammen und definiert die Hauptziele jeglichen logistischen Handels, wobei es insbesondere darum geht,

- die richtige Ware
- zur richtigen Zeit
- am richtigen Ort
- in der richtigen Menge
- in der richtigen Qualität und
- zu den richtigen Kosten zur Verfügung zu stellen.

Mit der Erfüllung dieser Bedingungen durch das reibungslose Zusammenspiel der verschiedenen Einflussfaktoren, – beispielsweise der Eigenschaften der zu transportierenden Güter, der spezifischen Charakteristika der Transport- und Betriebsmittel, der Daten- und Informationsflüsse oder des ausführenden Personals – ist eine logistische Aufgabe im Allgemeinen erfolgreich gelöst.

2. Das Konzept der *permanenten Planungsbereitschaft* beschreibt die Analogie einer kontinuierlichen Planung zu einem Regelkreis. Die ständige Messung und Überwachung der relevanten Kenngrößen dient einerseits der Steuerung eines logistischen Systems im laufenden Betrieb. Andererseits muss die ständige Bereitschaft vorliegen, durch eine äußere Regelung in Form eines Planungsanstokes die Modifikation des betrachteten Systems herbeizuführen. Das Benchmarking und die Führung/Ermittlung aussagekräftiger Kennzahlen spielen in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle, insbesondere weil die Prozesse einem schnellen Wandel unterliegen.
3. Systembezogene Betrachtungsweise: Die Logistik lässt sich in die Kategorien Verkehrslogistik, Beschaffungslogistik, Produktionslogistik, Entsorgungslogistik und Distributionslogistik einteilen. Die *Verkehrslogistik* umfasst die Planung von Touren und Routen sowie Konzepte zur Verkehrslenkung und -steuerung. Die *Beschaffungslogistik* beinhaltet Strategien zur Versorgung des Produktionsprozesses mit Rohmaterialien sowie Halb- und Fertigwaren vom Beschaffungsmarkt. Die *Produktionslogistik* hat die Layoutplanung von Produktionsstätten und die Gestaltung der notwendigen Material- und Informationsflüsse zur Aufgabe. Sie steuert den Güterfluss durch den Produktionsprozess. Aufgaben der *Entsorgungslogistik* sind die Gestaltung von Recyclingkonzepten sowie die Sammlung, der Transport und der Umschlag von Abfällen. Unter *Distributionslogistik* schließlich ist die Zusammenstellung und die Verteilung von Waren vom Unternehmen zum Abnehmer auf dem Absatzmarkt zu verstehen.

verstehen. Diese fünf Teilbereiche der Logistik müssen in einem erfolgreichen Industrieunternehmen reibungslos ineinander greifen. Im Rahmen der Planung sind daher die Abhängigkeiten der angrenzenden Systeme besonders zu beachten.

4. Nicht erst mit der Verabschiedung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG, 1996) kommt dem Recycling von ausgedienten Produkten mehr als eine rein umwelttechnische Bedeutung zu. Die Aufbereitung und Wiederverwendung bzw. die umweltschonende stoffliche oder energetische Verwertung ist unter Umständen auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten lukrativ. So stellt die Anforderung an Sammelmethoden neue Herausforderungen an die Planung. Dem Lebenszyklus eines Produktes ist daher im Rahmen des Planungsvorgangs auch im Hinblick auf die Gestaltung von Recycling- und Entsorgungskreisläufen Rechnung zu tragen.

Ferner gelten grundsätzlich einige allgemeine Planungsgrundsätze, die nicht nur in der Logistikplanung große Bedeutung besitzen:

- Idealkonzept als erste Zielgröße: Ausgangspunkt der Planung ist eine Ideallösung, auf deren Grundlage Kompromisse geschlossen werden um eine Realisierungslösung zu erarbeiten.
- Variantenbetrachtung: Es werden mehrere Alternativen betrachtet und geschaffen, woraus anschließend aus den besten Varianten die Gesamtlösung ausgewählt wird.
- Kostenbetrachtung: Berücksichtigung des grundlegenden Zielkonfliktes von Aufwand und Nutzen, getreu der Devise: „So genau wie nötig, so grob wie möglich“ (siehe auch Kapitel 6.1.2).
- Zukunftsbezogenheit: Das System muss so ausgelegt werden, dass es zukünftige Anforderungen erfüllt. Daher müssen die Planungsgrößen auf die Zukunft ausgerichtet sein bzw. mittels Prognosen ausgelegt werden.
- Zeitpunkt der Entscheidungsfindung: Da die Entscheidungsfindung in der Realität nicht in jedem Fall zu einem beliebigen Zeitpunkt möglich ist, wird bei diesem Prinzip darauf gesetzt, durch Verzögerung oder Schaffung von vollendeten Tatsachen zu geeignetem Zeitpunkt die richtige Entscheidung herbeizuführen.

### 6.1.2 Planungsziele

Da die Planung zumeist den Anspruch einer Verbesserung des Ist-Zustandes beinhaltet, respektive dadurch ein definierter Soll-Zustand erreicht werden soll, wird die Mindestforderung an die Planung durch folgende Prinzipien definiert: Jede Planung sollte *langfristig* angelegt sein, um nicht nach kurzer Zeit vor einem neuen Planungsanstoß zu stehen. Um eine langfristige Planung zu erreichen, sind Trends und Entwicklungen des Unternehmens und des Umfelds zu berücksichtigen. Darüber hinaus sollte die Planung *anpassungsfähig*

und *vollständig* sein. Die Stabilität von Prozessen innerhalb des Unternehmens muss ebenfalls Ziel jeder Planung sein, ebenso wie die *Verbindlichkeit* und *Kontrollierbarkeit*. Zur erfolgreichen Umsetzung einer Planung hat die *Realisierbarkeit* der Prozessschritte Priorität.

## 6.2 Zielsetzungen und Randbedingungen

### 6.2.1 Zielkonflikte

Mehrere Faktoren fließen in die Festlegung der Ziele eines Planungsprojektes ein. Eine erfolgreiche Logistikleistung zeichnet sich durch Effizienz, Kundennutzen sowie durch eine geschickte Positionierung im Wettbewerb aus. Eine effiziente Logistikleistung verspricht die Wirtschaftlichkeit des Planungsobjektes. Je mehr die Kunden von der Logistiklösung profitieren, desto besser wird die Kundenbindung. Wird durch die Planung eine bessere Positionierung im Wettbewerb erreicht, so schließt das eine Zukunftssicherung mit ein. Somit lautet das Erfolgstriplett der Logistik:

- Wirtschaftlichkeit
- Kundenzufriedenheit
- Zukunftssicherheit

Diese Ziele bedingen sich gegenseitig. Durch eine Gewichtung der einzelnen Ziele kann dieser Zielkonflikt gelöst werden. Stehen sich z. B. kosten- und leistungsbezogene Ziele gegenüber, müssen diese im Einzelnen auf ihre Unverträglichkeit untersucht werden, da sich auch nur scheinbare Konflikte dahinter verbergen können. Je nach Branche, Firmenstruktur, Produkten oder Kundenwünschen sind die Rahmenbedingungen und Einflussgrößen unterschiedlich ausgeprägt. Somit fallen auch die Lösungen unterschiedlich aus, da keine Aufgabenstellung exakt der anderen gleicht. Eine sorgfältige Planung muss daher alle Rahmenbedingungen umfassend berücksichtigen, um zu einer optimalen Lösung zu gelangen.

### 6.2.2 Planungsprobleme

Die Zielerreichung lässt sich technisch durch kurze Durchlaufzeiten, niedrige Bestände und eine gute Qualität erreichen. Eine erfolgreiche Logistiklösung zeichnet sich des Weiteren durch einen marktgerechten Lieferservice und einen geringen Aufwand für Lagerung, Transport und Umschlag aus. Aufgrund verschiedener Ursachen lassen sich diese Ziele nicht ohne weiteres erreichen. Oftmals erschweren fehlende Analysekonzepte und -instrumente die Planung. Je nach Größe des Projektteams kann die hohe Arbeitsteiligkeit dazu führen, dass die einzelnen Projektarbeiten kein schlüssiges Gesamtkonzept bilden. Aufgrund der Komplexität der Aufgabenstellung wird zusätzlich

von jedem einzelnen Projekt beteiligten zunehmend Systemdenken erfordert. Häufig steht jedoch ausgeprägtes Bereichsdenken im Vordergrund, was für die Logistik als bereichsübergreifende Disziplin kontraproduktiv ist. Der Umgang mit den Planungsdaten kann zu einer unzureichenden Planung führen, wenn zum einen die Informationssysteme nicht die benötigten Daten und Informationen liefern und zum anderen zeitintensive Analysen nicht die gewünschte, aktuelle Planungsbasis erbringen. Daneben kann ein schlechtes Planungsergebnis auch aus mangelnder Erfahrung der Projektbeteiligten resultieren. Außer durch die Planungsbeteiligten können auch durch das auftraggebende Unternehmen Planungsprobleme entstehen.

Die sich schnell ändernden Anforderungen innerhalb eines Unternehmens erfordern kurze Planungszyklen. Weitere Schwierigkeiten ergeben sich durch feste Strukturen und existierende Unternehmensorganisationen. In kleinen und mittleren Unternehmen gibt es nicht zwingend Abteilungen bzw. Mitarbeiter, die sich mit der Planung von Materialflüssen beschäftigen oder für die anfallenden Fragen, Aufgaben und Tätigkeiten ausreichend freigestellt sind.

### **Planungsumfeld**

Zur Unterstützung der Planung stehen zahlreiche Hilfsmittel zur Verfügung, die sich in die Hauptgruppen der mathematischen, betriebswirtschaftlichen, grafischen und EDV-gestützten Verfahren einteilen lassen (siehe Abbildung 6.1). Die Auswahl des geeigneten Werkzeuges und die Zuordnung zu den einzelnen Planungsphasen richtet sich unter anderem nach dem Verhältnis zwischen Aufwand bzw. Kosten und Nutzen des Einsatzes, nach der Qualität der zur Verfügung stehenden Ausgangsdaten und nach der gewünschten Güte der zu erwartenden Ergebnisse.

#### **6.2.3 Planungskriterien**

Da nicht nur in unterschiedlichen Bereichen und aus unterschiedlichen Anlässen, sondern auch auf den verschiedenen Ebenen geplant wird, kann in Unternehmen nicht schlechthin von *der* Planung die Rede sein. Folglich werden Planungen nach verschiedenartigen Kriterien eingeteilt, so dass es letztendlich verschiedene Planungsarten gibt. Üblicherweise erfolgt die Planung im Unternehmen nach folgenden Kriterien, die im Weiteren detailliert betrachtet werden [EHR99].

- Planung nach dem hierarchischen Überordnungsverhältnis der Planungsstufen,
- Planung nach dem Bereich,
- Planung nach dem Integrationsgrad,
- Planung nach der Datensituation,
- Planung nach dem Inhalt sowie
- Planung nach dem Zeitraum.

## Planungshilfsmittel

### Mathematische Hilfsmittel

- Kombinatorik
- Entscheidungsbaumverfahren
- Matritzenberechnung
- Analytische Verfahren
- Spielzeitberechnung
  - Einzelspiele
  - Doppelspiele
- Durchsatzberechnung
- Statistik

### Betriebswirtschaftliche Hilfsmittel

- Statische Investitionsrechnung
  - Kostenvergleichsrechnung
  - Gewinnvergleichsrechnung
  - Rentabilitätsrechnung
  - Amortisationsrechnung
- Dynamische Investitionsrechnung
  - Kapitalwertmethode
  - Methode des internen Zinsflusses

### Grafische Hilfsmittel

- Zeichnungen
- Materialflusspläne
- Sankey-Diagramme
- Histogramme/Balkendarstellung

### EDV- gestützte Hilfsmittel

- Simulation
- Hypermedien
- Neuronale Netze
- Fahrzeuganzahlberechnung
- Expertenberechnung
- Layoutprogramme

Abbildung 6.1. Planungshilfsmittel

**Hierarchische Planung:** Die Planung nach dem hierarchischen Überordnungsverhältnis der Planungsstufen wird unterschieden in folgende Planungsarten:

**Strategische Planung:** Diese Planungsart befasst sich mit den Erfolg bewirkenden Tätigkeiten eines Unternehmens und legt die Strategie für bestimmte Geschäftsbereiche für einen längeren Zeitraum fest (fünf bis zehn Jahre).

**Operative Planung:** Aufgabe der operativen Planung ist es, die Vorgaben der strategischen Planung zu realisieren. Die Führungsebene der Geschäftsbereiche verantwortet üblicherweise die operative Planung, deren Zeitfenster bei typisch fünf Jahren liegt.

**Taktische Planung:** Auf einer unteren hierarchischen Planungsstufe wird die taktische Planung durchgeführt, wobei sie von einer höheren Führungsebene gesteuert wird.

**Planung in unterschiedlichen Bereichen:** Eine mögliche Kategorisierung ergibt sich durch den Unternehmensbereich, der geplant wird. Die Planung nach dem Bereich kann wie folgt eingeteilt werden:

- Beschaffungsplanung
- Lagerplanung
- Produktionsplanung
- Absatzplanung
- Finanzplanung
- Kostenplanung
- Ergebnisplanung
- Personalplanung

Während eine klare Abgrenzung der Tätigkeitsinhalte aufgrund der bereichsübergreifenden Bedeutung der Logistik oft nicht möglich ist, dient diese Einteilung im Wesentlichen einer Hervorhebung der generellen Zielsetzung des Planungsprojektes.

**Integrationsgradabhängige Planung:** Im Hinblick auf den Integrationsgrad wird unterschieden zwischen der integrierten Gesamtplanung und der nicht-integrierten Teilplanung. Während bei der integrierten Gesamtplanung die Planung sämtlicher Unternehmensbereiche unter gegenseitiger Abstimmung in sachlicher und zeitlicher Hinsicht erfolgt, liegt eine nicht-integrierte Teilplanung vor, wenn die Planung der einzelnen Unternehmensbereiche isoliert vorgenommen wird.

**Einfluss der Datenqualität:** In Abhängigkeit der vorliegenden Datensituation kann eine Planung auf Basis einer sicheren oder auch unsicheren Datenlage beruhen. Im Falle einer klaren Ausgangssituation kann ein entsprechend konkretes Planungsergebnis anvisiert werden. Im Rahmen einer Planung bei Unsicherheit müssen unterschiedliche Szenarien einkalkuliert werden, die ggf. auch verschiedenartige Planungsmethoden erfordern. Diesem Umstand kann der Planer durch die Ausgestaltung verschiedener Varianten oder durch die Anpassung des Detaillierungsgrades der Planung begegnen.

**Zeitraumbezogene Planung:** Die Planung nach dem Zeitraum, der so genannte *Planungshorizont*, drückt die Fristigkeit der Planung aus, d. h. den

Zeitraum, für den die Planung Gültigkeit haben soll. Da sich Planungen auf zukunftsbezogene Ereignisse beziehen, sind sie auch stets mit Unsicherheiten verbunden, wobei die Unsicherheit mit zunehmendem Planungshorizont wächst. Der Planungshorizont darf nur so weit gestreckt werden, dass die Auswirkungen noch überschaubar sind. Anhaltswerte für die Klassifizierung einer Planung nach ihrem Planungshorizont sind typischerweise:

1. langfristige Planung: eine Planung für Zeiträume über fünf Jahre
2. mittelfristige Planung: eine Planung für Zeiträume von einem bzw. zwei bis fünf Jahren
3. kurzfristige Planung: eine Planung für Zeiträume, die in der Regel bis zu einem Jahr gehen

#### **6.2.4 Definitionen**

##### **Planung**

Es existieren verschiedenste Planungsdefinitionen. Dazu zählen:

Planung zielt auf die optimale Lösung eines Problems in befristeter, meist vorgegebener Zeit unter Berücksichtigung aller wesentlichen Einflussgrößen und Faktoren ab. [VDI 2385]

Planung ist die Auswahl, Organisation, Dimensionierung und Optimierung der Prozesse, Netzwerke und Ressourcen zur Erfüllung zukünftiger Leistungsanforderungen. [Gudehus]

Planung von Materialflusssystemen ist die gedankliche und modellmäßige Gestaltung der zur Lösung einer entsprechenden Aufgabenstellung einzurichtenden Arbeitsprozesse einschließlich der hierfür einzusetzenden Arbeitsmittel und Anlagen. [Jünemann]

Die genannten Definitionen regeln den allgemeinen Sprachgebrauch des Planungsbegriffes. Hervorzuheben ist die Bedeutung des Faktors „Zeit“. [VDI 2385] verweist auf die für den eigentlichen Planungsvorgang begrenzt verfügbare Zeit, wohingegen die Definition nach Gudehus auf die zukünftige Ausrichtung des Planungsergebnisses abzielt.

##### **Projekt**

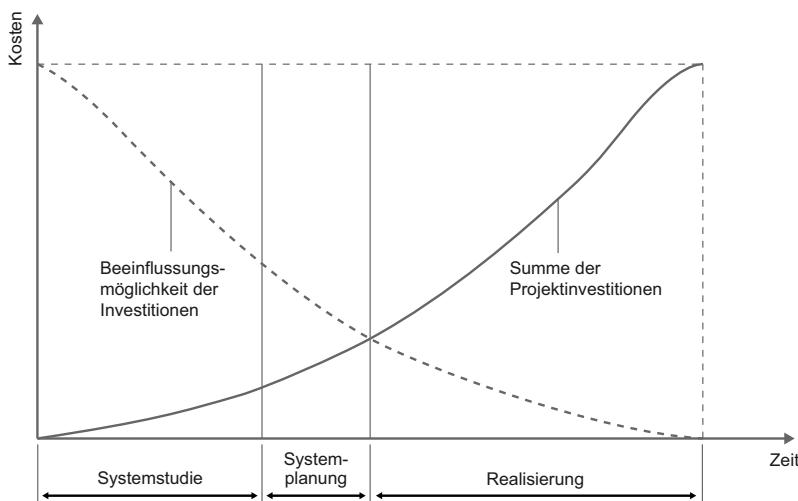
Da die Durchführung einer Planung im Rahmen eines Projekts geschieht, werden im Folgenden einige Projektdefinitionen aufgeführt:

[DIN 69901] Vorhaben, das im Wesentlichen durch die *Einmaligkeit* der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet ist, wie z. B. Zielvorgabe, zeitliche, finanzielle, personelle und andere Begrenzungen; Abgrenzung gegenüber anderen Vorhaben; projektspezifische Organisation

Eine vorübergehende Anstrengung zur Erzeugung eines einmaligen Produktes, Dienstes oder Ergebnisses [Project Management Body of Knowledge des amerikanischen Project Management Institut]

Ein zeit- und kostenbeschränktes Vorhaben zur Realisierung einer Menge definierter Ergebnisse entsprechend vereinbarer Qualitätsstandards und Anforderungen (Erfüllung der Projektziele)... [International Competence Baseline der International Project Management Association]

Die Summe der Projektinvestitionen und die Beeinflussungsmöglichkeit der Investition verhalten sich gegenläufig mit fortschreitender Zeit: während die Projektinvestitionen von der Systemstudie über die Systemplanung und die anschließende Realisierung stetig steigen, sinken gleichzeitig die Möglichkeiten zur Beeinflussung des Projektergebnisses (siehe Abb. 6.2).



**Abbildung 6.2.** Kostenverlauf und Kostenbeeinflussbarkeit im Projekt

### 6.3 Methodisches Vorgehen: Stufenmodelle der Planung

Grundsätzlich gibt es mehrere gestufte Planungsansätze, von denen im Folgenden einige vorgestellt werden. Im weiteren Verlauf wird die Planungssystematik in sieben Stufen eingehend erklärt.

Es existieren zahlreiche Ansätze in der industriellen Praxis, das zielgerichtete Vorgehen vom Ausgangspunkt einer Planung bis hin zur Realisierung

in Form einer allgemein gültigen Planungssystematik zu beschreiben. Diese unterscheiden sich insbesondere in der Anzahl und im Detaillierungsgrad der einzelnen Planungsschritte. Der 5-stufige Vorgehensansatz umfasst die Schritte Planungsbasis, Vorplanung, Systemplanung, Detailplanung und Ausschreibung. Ein weiteres Beispiel für eine Planungssystematik aus der industriellen Praxis ist der 10-Stufenplan, der die einzelnen Planungsschritte von der Aufgabenstellung bis zur Realisierung der Lösungsvariante über die Schritte „Präzisierung der Aufgabenstellung“, „Entwurf von funktionellen Alternativen“, „Entwurf von technischen Alternativen“, „Dimensionierung der Mittel oder technischen Alternativen“, „Funktionsnachweis der technischen Alternativen“, Variantenvergleich“ und „Detaillierung der Lösungsvariante“ beschreibt.

### Die Planungssystematik in 7 Stufen

Nach der 7-Stufen-Planungssystematik ist zunächst die Aufgabe zu definieren. Dies beinhaltet sowohl die Festlegung der Ziele und der Prioritäten als auch der Planungsweite und -tiefe und vor allem die Organisation (Zeitplan, Aufgaben, Zuteilung der Aufgaben). Die anschließende Planungsdatenanalyse umfasst Tätigkeiten wie die Erhebung, Aufbereitung und Analyse relevanter Daten und Kennzahlen (IST-Aufnahme + Ableitung von Solldaten). Auf dieser Grundlage werden erste Prozessvarianten entworfen (Arbeitsgangfolgen, Materialflussoperationen, Transportketten). Die Varianten werden im nächsten Schritt um den Entwurf von Arbeitsmittelvarianten detailliert. Es werden qualitativ Arbeitsmittel und Teillösungen erarbeitet, die den einzelnen Materialflussoperationen zugeordnet werden. Es schließt sich die Dimensionierung, Überprüfung und Bewertung von Varianten an, es geschieht also eine quantitative Einbindung der Arbeitsmittel, Funktionen werden nachgewiesen (rechnerisch oder simulativ) und die beste Variante ausgewählt. In der Phase der Feinplanung geschieht die Festlegung letzter Details und Feindimensionierungen, als Ergebnis wird eine Grundlage zur letztendlichen Realisierung erhalten. Die Realisierung selbst ist dann nur noch bedingt Teil der Planung. Die Beschreibung der einzelnen Stufen der Planung in Sequenzen soll nicht darüber hinweg täuschen, dass der Vorgang der Planung vielmehr ein iterativer Prozess ist. Nach vermeintlichem Abschluss einer Stufe kann sich im weiteren Verlauf der Planung in einer späteren Stufe eine Änderung oder eine neue Erkenntnis ergeben, die dazu führt, dass zu der vorherigen Stufe oder sogar noch weiter zurückgekehrt werden muss und die dort erbrachten Ergebnisse überarbeitet werden müssen. Je später im Planungsverlauf eine eventuelle Notwendigkeit zur Änderung festgestellt wird, desto aufwendiger und meistens auch desto kostspieliger ist der zu betreibende Änderungsaufwand. Deshalb empfiehlt es sich, besonders die ersten Phasen eines Projektes intensiv zu bearbeiten und ausreichenden Arbeitsaufwand an dieser Stelle einfließen zu lassen.

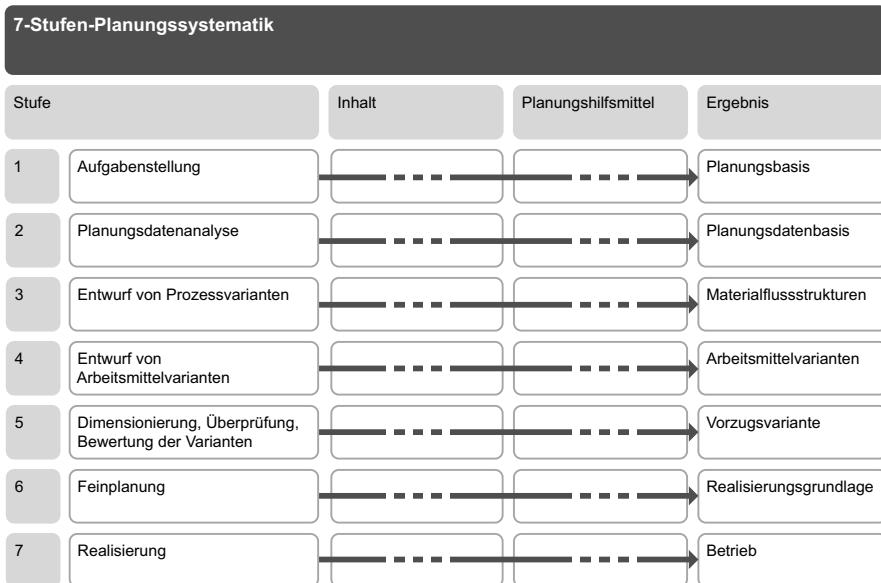


Abbildung 6.3. 7-Stufen-Planungssystematik

### 6.3.1 Planungsaufakt und Zieldefinition

Den Ausgangspunkt einer Planung nach der Planungssystematik in sieben Stufen bildet zunächst die exakte Formulierung der Aufgabenstellung. Dazu müssen die zu erreichenden Ziele fixiert und die Grenzen des betrachteten Systems festgelegt werden. Des Weiteren werden die zu berücksichtigenden Randbedingungen und Restriktionen erfasst und anschließend die Prioritäten für die Umsetzung der Planungsziele definiert. Zur Festlegung der Planungsorganisation gehört die Bestimmung der Mitglieder des Planungsteams. Typisches Hilfsmittel dazu ist das Organigramm. Die Netzplantechnik dient der Visualisierung der zeitlichen Abfolge des Projektes. Ziele dieser Planungsstufe sind die Definition des konkreten Planungsauftrags und ggf. Vorlage eines Angebots eines Dienstleisters (siehe Abb. 6.4).

#### Ziele der Planung

Konkrete Zielvorstellungen und Zielformulierungen sind für ein erfolgreiches betriebliches Arbeiten unumgänglich. Die Ziele einer Planung können ökonomischer, sozialer, technologischer und ökologischer Natur sein, wobei es sich jeweils um Haupt- oder Unterziele handeln kann. Als weitere Zielsetzungen kann die z. B. in Zeiten des Internethandels häufig vorkommende Veränderung des Artikelspektrums angeführt werden. Wichtig ist, dass auch kurzfristig anvisierte Planungsziele den langfristigen Unternehmenszielen dienen.

Stufe 1: Aufgabenstellung		
Inhalt	Planungshilfsmittel	Ergebnis
<ul style="list-style-type: none"> <li>Feststellung des Planungsziels</li> <li>Feststellung der Planungstiefe/ Planungsweite</li> <li>Abgrenzung des zu betrachtenden Systems (Schnittstellen definieren)</li> <li>Erfassung der Restriktionen</li> <li>Feststellung von Prioritäten</li> <li>Feststellung der Planungsorga- nisation (Planungsteam, Zeitplan, Aufgaben,...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Organigramm</li> <li>Netzplantechnik</li> </ul>	Planungsbasis

Abbildung 6.4. Die Stufe 1 der Planungssystematik

## Planungsarten

*Neuplanung:* Können Rationalisierungs- und Erweiterungsplanungen nicht mehr die gewünschten Effekte erbringen oder können die notwendigen Erweiterungsmaßnahmen aufgrund von Platzmangel, rechtlichen Vorschriften usw. nicht durchgeführt werden, so bedarf es einer Neuplanung. Ebenso wird bei neuen Standorten oder neuen Geschäftsbereichen eine Neuplanung durchgeführt. Die Neuplanung gewährt, unter Berücksichtigung der Aufgabenstellung, eine größtmögliche Planungsfreiheit, wobei zu beachten ist, dass eine hohe Flexibilität erreicht wird und künftige Erweiterungsmöglichkeiten eingeplant werden. Neuplanungen sind mit erheblichen Investitionen verbunden. Die Zielsetzung im Rahmen der Neuplanung liegt in der Realisierung langfristiger Unternehmenskonzepte.

*Erweiterungsplanung:* Anstoß zur Erweiterungsplanung geben häufig der Ausbau der vorhandenen Kapazitäten sowie die damit verbundene Erweiterung der bestehenden Produktions- und Lagergebäude zur Deckung des wachstumsbedingten Kapazitätsbedarfs. Aufgabe der Erweiterungsplanung ist die optimale Zuordnung neuer Produktions- und Lagerstätten zu bestehenden Produktions- und Lagerbereichen. Eine Erweiterungsplanung umfasst wie auch die Rationalisierungsplanung sind i. d. R. sehr anspruchsvolle Planungsaufgaben, da restriktive Gegebenheiten wie beispielsweise vorhandene Bauten, beengte Platzverhältnisse oder Produktionsverfahren zu berücksichtigen sind.

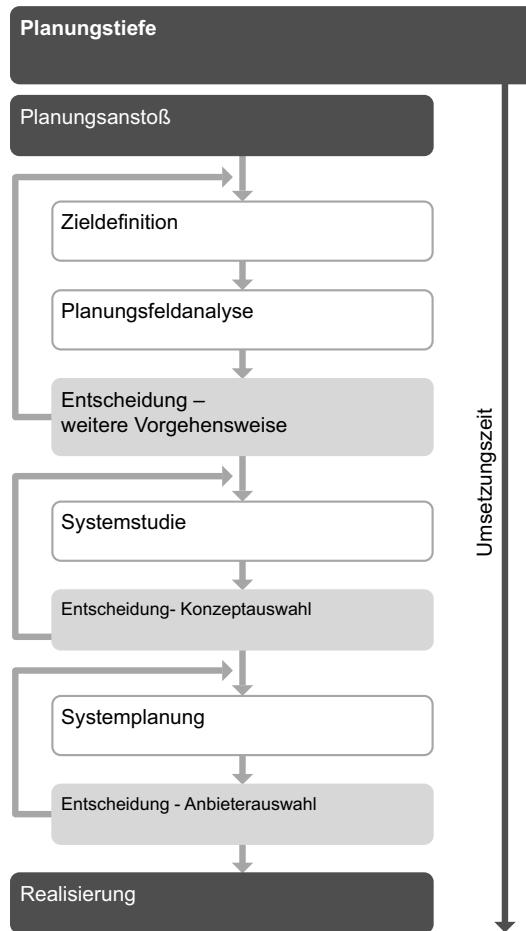
*Umlanung:* Wie bei der Erweiterungsplanung sind auch bei der Umlanung die gegebenen Gebäudestrukturen sowie die Schnittstellen zum benachbarten Planungsumfeld in besonderer Weise zu berücksichtigen. Bei der Umlanung handelt es sich jedoch in erster Linie um qualitative An-

passungen an veränderte Rahmenbedingungen im Gegensatz zur reinen Kapazitätserweiterung bei der Erweiterungsplanung.

*Rationalisierungsplanung:* Zielsetzung der Rationalisierungsplanung ist die Aufwands- und Kostensenkung. Eine Rationalisierungsplanung ist auch dann sinnvoll, wenn Anpassungen an dynamische Entwicklungen notwendig sind, welche nicht durch eine Erweiterungsplanung möglich sind. Im Rahmen der Rationalisierungsplanung werden einzelne vorhandene Anlagen bzw. betriebliche Abläufe den momentanen betrieblichen Forderungen angepasst, was zu Produktivitätssteigerungen, technischen Verbesserungen sowie Produktverbesserungen führt. Da Rationalisierungsplanungen einen sehr hohen Planungsaufwand erfordern und häufig unter dem Zeitdruck der momentanen Erfordernisse stehen, ist das Ergebnis technisch und ökonomisch oft nur bedingt optimal (vgl. [BER70], [AGG90], [DOWA81]).

### Festlegung der Planungstiefe/-weite

Die Planungstiefe beschreibt den Aufwand einer Planung. Je ausführlicher und detaillierter eine Planung ablaufen soll, umso höher die Planungstiefe. Die Planungsweite beschreibt den Umfang und die Ausdehnung eines Planungsprojektes in Bezug auf das von der Planung betroffene Unternehmen. So kann eine Planung konzernweit erfolgen oder sich lediglich auf ein einzelnes Förder- oder Lagersystem beschränken. Mögliche Zwischenformen sind die fabrik-, produktbereich- oder auch die werkstattbezogene Planung. Obwohl die Planungstiefe oder auch der Detaillierungsgrad der Planung von der Fristigkeit der Planung zu unterscheiden ist, besteht ein enger inhaltlicher Zusammenhang zwischen diesen, da in der Regel der Detaillierungsgrad mit abnehmender Fristigkeit zunimmt. Hingegen wird eine *Großplanung* bei langfristigen Planungen eingesetzt. Zum einen bestimmt die Planungstiefe entscheidend die Aussagefähigkeit sowie die Qualität einer Planung und zum anderen den erforderlichen Arbeitsaufwand. Die Bestimmung einer optimalen Planungstiefe für eine Planung soll dazu dienen, Fehlplanungen, welche durch Unter- oder Überplanung entstehen, zu vermeiden. Zudem hängt die Planungstiefe davon ab, ob es sich bei der Planung um eine Ausführungsplanung oder um eine Konzeptplanung handelt, denn der optimale Planungsaufwand liegt bei einer Ausführungsplanung in einer höheren Planungstiefe als bei einer Konzeptplanung. Ein relevantes Kriterium der Planungstiefe ist die Nachvollziehbarkeit sowie die Lückenlosigkeit einer Planung. Dabei ist unter Nachvollziehbarkeit die Belegung aller wichtigen Aussagen und unter Lückenlosigkeit die Erfassung der wichtigen Merkmale und Kosten zu verstehen. Aufgrund der Tatsache, dass die Effizienz einer Planung, das Verhältnis zwischen Planungsaufwand und Ergebnis, nicht direkt messbar ist, ist die optimale Planungstiefe auch recht schwer zu bestimmen ([SCH98], [AGG90]).



**Abbildung 6.5.** Planungstiefe

### Restriktionen einer Planung

Hinsichtlich der Planungsrestriktionen lassen sich frei bestimmbare und fest vorgegebene Planungsparameter unterscheiden. Beispielsweise gehört die Vereinheitlichung von Gütern zu Ladeeinheiten zu den frei bestimmbaren Planungsparametern, wenn sie zwar vorteilhaft z. B. hinsichtlich der Handhabung und Raumnutzung ist, jedoch nicht unter allen Umständen zur Funktionsfähigkeit des zu planenden Systems erforderlich ist. Zu den bestimmbaren Restriktionen gehören neben der Vereinheitlichung von Gütern zu Ladeeinheiten die Wahl des Ladehilfsmittels sowie des Verkehrsmittels und die Bewertung von Zielen, Prioritäten etc. Dagegen zählen Gesetze und Verordnun-

gen zu den zwingend einzuhaltenden Randbedingungen. Weitere vorgegebene Restriktionen sind:

**Tabelle 6.1.** Beispiele vorgegebener Restriktionen einer Planung

<b>Beispiele vorgegebener Restriktionen einer Planung</b>		
Güter	Umgebung	Gesetze und Verordnungen
Beschaffenheit	Platzverhältnisse	Normen (DIN, CE, etc.)
Empfindlichkeit	Ergonomie	Richtlinien (VDI, VDE, FEM, BG)
Größe, Form	Restriktionen vor- und nachgeschalteter Prozesse	Arbeitsschutzbestimmungen
		Bauverordnungen

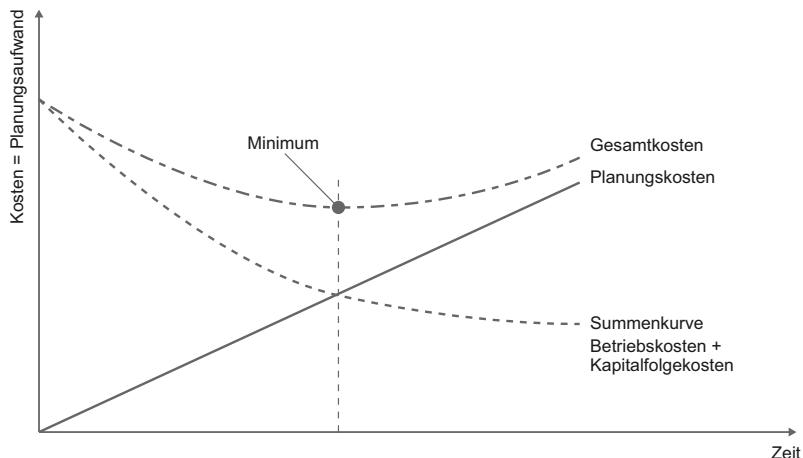
### Planung im Gesamtkostenminimum

Die Bestimmung des optimalen Planungszeitpunktes bzw. Zeitraumes stellt sich als Optimierungsaufgabe dar: Gesucht ist der Punkt der minimalen Gesamtkosten, bestehend aus den Planungskosten und der Summe von Betriebs- und Kapitalfolgekosten. Während die Planungskosten zumeist einen relativ linearen Anstieg über die Zeit verzeichnen, sinken die Betriebskosten und Kapitalfolgekosten degressiv. Zu Optimierung des Planungszeitpunktes werden die Gesamtkosten als Summe der Planungskosten und der Betriebs- und Kapitalfolgekosten aufgetragen, an deren Minimum der optimale Planungszeitpunkt bestimmbar ist (siehe Abb.6.6). Obwohl der prinzipielle Zusammenhang völlig unstrittig ist, wird eine präzise Vorherbestimmung in vielen Fällen sehr aufwändig und häufig nicht im Vorhinein zu ermitteln sein.

#### 6.3.2 Planungsdatenanalyse

##### Ist- und Solldaten

Die zweite Stufe der 7-Stufen-Systematik ist die Planungsdatenanalyse. Sie besteht aus der Ermittlung des Ist-Zustandes und der Hochrechnung der Ist-Daten auf den zu erreichenden Soll-Zustand. Ausgangspunkt ist eine mehr oder weniger umfangreiche Datenerhebung mit anschließender Datenaufbereitung und -analyse. Dazu kommen verschiedene Datenerhebungsmethoden



**Abbildung 6.6.** Optimierung der Planungskosten

(z. B. die Multimomentaufnahme oder die Interviewmethode), Analysewerkzeuge (z. B. zur rechnergestützen Datenbankauswertung) sowie Darstellungsmethoden zur Visualisierung der Ergebnisse (z. B. Sankey-Diagramme) zum Einsatz. Das Ergebnis der Planungsdatenanalyse ist die Planungsdatenbasis, die gemeinsam von Auftraggeber und Auftragnehmer verabschiedet und anschließend der Planung zugrunde gelegt wird.

Stufe 2: Planungsdatenanalyse		
Inhalt	Planungshilfsmittel	Ergebnis
Datenerhebung Datenaufbereitung Plausibilitätsprüfungen Verdichtung Datenanalyse Ermittlung von Kennzahlen Hochrechnen der Ist-Daten aufgrund von: - (Absatz-)Prognosen - (geplanten) Veränderungen - Zielsetzung	Zeitaufnahmen Multimomentaufnahmen Interviewmethoden ABC-/XYZ-Analysen Stücklisten-, Arbeitsplan-, Absatzstatistikauswertung statistische Verfahren Sankey-Diagramme Zeichnungen, Materialflusspläne rechnergestützte Datenauswertung (Excel, Access, dBase...)	Planungsdatenbasis

**Abbildung 6.7.** Die Stufe 2 der Planungssystematik in sieben Stufen

### Statische und dynamische Daten

Bei der Datenerhebung werden *statische* und *dynamische Daten* ermittelt:

**Statische Daten:** Diese Daten charakterisieren sich dadurch, dass sie über einen längeren Zeitraum konstant sind, z. B. Artikelanzahl, Artikelmengen oder Artikeleigenschaften (siehe Abb. 6.8). Darüber hinaus sind die Daten unabhängig von Kundenaufträgen.

<b>Beispiele statischer Daten</b>	
Betrachtungsbereich	exemplarische Daten
Artikelstruktur	Artikelanzahl Artikelmengen Artikeleigenschaften
Ladehilfsmittelstruktur	Arten und Anzahl eingesetzter Ladehilfsmittel Abmessungen und Gewichte der Ladehilfsmittel
Verpackungsstruktur	Verpackungseinheiten pro Artikel Verpackungsabmessungen pro Artikel
Förder- und Lagermittel	Stapleranzahl und -arten Regalfächer
Flächen- und Raumstruktur	Kapazität Flächenrestriktionen Volumenrestriktionen Flächennutzungsgrad Volumennutzungsgrad
Bestandsstruktur	Durchschnittsbestand Anzahl Paletten / Artikel
Personalstruktur	Anzahl Mitarbeiter Arbeitszeitregelung Ausbildungsstand
Organisationsstruktur	Lagerplatzvergabestrategie Ein-/ Auslagerstrategie

**Abbildung 6.8.** Statische Daten

**Dynamische Daten:** Bei den dynamischen Daten handelt es sich um auftrags- und zeitbezogene Daten, z. B. Anzahl Aufträge/Tag (siehe Tab. 6.9). Anhand der dynamischen Daten lassen sich Bewegungen abzeichnen. Im Gegensatz zu den statischen Daten sind die dynamischen Daten von der Auftragsstruktur abhängig.

<b>Beispiele dynamischer Daten</b>	
Betrachtungsbereich	exemplarische Daten
Ein-/ Auslagerungsstruktur	Wareneingänge / Tag Warenausgänge / Tag Einlagerungen / Tag Auslagerungen / Tag Umlagerungen / Tag Umschlag / Jahr Doppelspielanteil / Tag Anteil kompletter Ladeeinheiten
Kommisionierstruktur	Anzahl Aufträge / Tag Anzahl Positionen / Auftrag Anzahl Griffe / Position Anzahl Aufträge / pro Artikel
Kostenstruktur	Kostenverteilung auf Artikel Durchschnittliche Bestandskosten Kosten / Auftrag

**Abbildung 6.9.** Dynamische Daten

### Datenbasis aus Materialflussicht

Die folgende Auflistung (siehe Abb. 6.10) zeigt eine Auswahl an Parametern, die bei der Ist-Aufnahme zu berücksichtigen sind, und auch die Datenquelle für die Ermittlung der erforderlichen Planungsdaten. Die Betrachtung erfolgt aus Materialflussicht und umfasst überwiegend technische Informationen.

### Die Gewinnung der relevanten Daten

Jede Planung ist auf Informationen angewiesen. Zur Gewinnung der für eine Planung erforderlichen Daten steht der Weg der direkten und der indirekten Analyse zur Verfügung. Im Rahmen der indirekten Analyse werden Dokumente und Unterlagen (z. B. Pläne und Zeichnungen) ausgewertet. Die direkte Analyse umfasst eigene Befragungen und Beobachtungen. Die Abb. 6.11 zeigt verschiedene Informationsquellen für die indirekte und direkte Analyse, erläuternd zur direkten Analyse sind beispielsweise folgende Einzelaspekte zu untersuchen:

- Fertigungsverfahren und -systeme: Liegt eine Einzel-, Reihen- oder Massenfertigung bzw. Baustellen-, Werkstatt- oder Fließfertigung vor?
- Eigenschaften des Fördergutes: Größe, Gewicht, chemische/physikalische Eigenschaften des Gutes? Sind genormte Ladeeinheiten verwendet worden?
- Transportmengen: Welche Mengen an welchen Orten zu welchen Zeiten?

<b>Quellen statischer und dynamischer Daten</b>	
<b>Quellen</b>	<b>Exemplarische Daten</b>
Daten des Materials (Artikelstammdaten)	Abmessungen, Volumina, Gewichte, Mengen (z.B. betrieblicher Durchsatz, Ankunftsralten) Materialmerkmale Ladungsträger, Möglichkeiten der Stapelbildung
Daten vorhandener Fördermittel und Lageranlagen	Kapazität Taktzeiten, Spielzeiten, Bedienzeiten Durchsätze (z.B. Grenzdurchsatz, Lagerumschlag) Flächen- und Raumbedarf Personalbedarf
Produktions- technische Daten	Produkte (z.B. Stückzahlen, Losgrößen) Produktion (Fertigungstechnik, Fertigungsorganisation) Personaleinsatz DV-Technik und Schnittstellen zum Materialfluss
Daten des externen Warentransportes	Lieferanten-/ Kundenbeziehungen (z.B. Mengen, Entferungen, Verkehrsmittel) Physische und DV-Schnittstellen im Wareneingang- und -ausgang

**Abbildung 6.10.** Quellen statischer und dynamischer Daten

- Bauliche Gegebenheiten: Entsprechen die Gebäudeformen den Anforderungen des Materialflusses? Wo bestehen Engpässe? Sind Räume und Flächen ungenügend oder unzweckmäßig genutzt?
- Fördermittel: Kapazität, Zustand? Besteht Unfallgefahr?
- Personal: Welche und wie viele Personen führen Transportaufgaben aus? Besteht die Möglichkeit zur Automatisierung?
- Leistungen und Kosten: Kennwerte in Bezug auf Fördermittel und Personal?

### Datengewinnung aus indirekter und direkter Analyse

Indirekte Analyse durch Sichten und Auswerten von Unterlagen

Direkte Analyse durch Befragung und Beobachtung aus  
- internen Quellen  
- externen Quellen

- Organisationspläne
- Lage- und Bebauungspläne
- Einrichtungszeichnungen
- Produktionsprogramm
- Stücklisten
- Arbeits- und Fertigungspläne
- Materialbezugs- und Lieferscheine  
(Materialentnahmescheine, Begleitkarten)
- Lagerkarten
- Inventurbestandlisten
- Lohnbelege
- Betriebsberechnungsbogen

- Fertigungsverfahren und -systeme
- Eigenschaften der Güter
- Transportmengen
- bauliche Gegebenheiten
- Förder- und Lagermittel
- Personal
- Leistungen und Kosten

**Abbildung 6.11.** Datengewinnung aus direkter und indirekter Analyse

## ABC-/XYZ-Analyse

### ABC-Analyse

Die ABC-Analyse ist ein Verfahren zur klassifizierenden Dreiteilung (A-B-C) von Artikeln nach der Wichtigkeit anhand bestimmter Merkmale. Darüber hinaus ist die ABC-Analyse ein wichtiges Instrument zur Ist-Analyse und Rationalisierung und lässt sich in allen Funktionsbereichen des Unternehmens einsetzen. Sie hilft, das Wesentliche vom Unwesentlichen zu unterscheiden. Die Vorteile der ABC-Analyse liegen besonders in der einfachen Anwendbarkeit, der sehr übersichtlichen graphischen Darstellung der Ergebnisse sowie in der Möglichkeit zur Analyse komplexer Probleme mit einem vertretbaren Aufwand durch die Beschränkung auf die wesentlichen Faktoren. Bei der ABC-Analyse wird gewöhnlich eine Beurteilung in drei Kategorien vorgenommen. Jedoch ist eine Erweiterung der Kategorien (eine ABCDE-Analyse etc.) problemlos möglich. Im Rahmen der ABC-Analyse werden zunächst der Mengenanfall nach Merkmalsausprägung erfasst und die korrespondierenden Werte festgestellt. Daraufhin wird die Rangfolge der Werte ermittelt. Folglich werden die Werte nach dem Rang aufgestellt und Rangklassen aus der Kumulierung der absoluten und relativen Daten gebildet. Anschließend werden

die ermittelten Daten zu den einzelnen Rangklassen zugeordnet. Die Ziele der ABC-Analyse sind,

- das Wesentliche vom Unwesentlichen klar zu unterscheiden,
- Aktivitäten schwerpunktmäßig auf den Bereich hoher wirtschaftlicher Bedeutung (A-Artikel) zu lenken sowie den
- Aufwand für die übrigen Bereiche (B- und C-Artikel) durch Vereinfachung zu senken.

### Vorgehensweise

1. Auswahl des Klassifizierungsmerkmals (einzigartiges Wertkriterium wie z. B. Durchsatz, Umschlag, Reichweite, Zugriffshäufigkeit)
2. Ermittlung (Berechnung) des Kriteriums für jeden Artikel
3. Ordnen der Artikel nach Ausprägung des Merkmals
4. Ermittlung des prozentualen Anteils der Artikel am Gesamtmerkmal (Gesamtumsatz, -umschlag)
5. Addition der prozentualen Anteile nach aufsteigender Merkmalsausprägung (Summenbildung)
6. Definition von Klassengrenzen
7. Graphische Darstellung der ermittelten Zahlen in Form einer empirischen Verteilungsfunktion

### Grafische Darstellung der ABC-Analyse

Es gibt bei den meisten Untersuchungsgegenständen einen relativ kleinen Mengenanteil einer Gesamtheit, dem ein relativ hoher Wertanteil entgegensteht (Pareto-Prinzip). Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ist diesen so genannten A-Artikeln erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen. Üblich ist die Einteilung des Artikelsortimentes in drei Kategorien:

- A-Güter: Wertanteil 80 % – Mengenanteil 20 %
- B-Güter: Wertanteil 15 % – Mengenanteil 10 %
- C-Güter: Wertanteil 5 % – Mengenanteil 70 %

Diese Grenzen der Faustformel (so genannte 80/20-Regel) sind typisch für viele Unternehmen. Die grafische Darstellung der Ergebnisse der ABC-Analyse erfolgt in Koordinatensystemen durch die Lorenz-Kurve. Auf der Abszisse wird der mengenmäßige Anteil der Materialpositionen aufgetragen (Anzahl Artikel), auf der Ordinate der kumulierte Wertanteil (Merkmalsausprägung). Nach der erfolgten ABC-Analyse wird im Artikelstammsatz jeder Artikel mit einem ABC-Kennzeichen versehen.

### Die XYZ-Analyse

In der Regel reicht die Klassifizierung nach der ABC-Analyse noch nicht aus, um eine differenzierte Entscheidung bzgl. der individuellen Behandlung eines

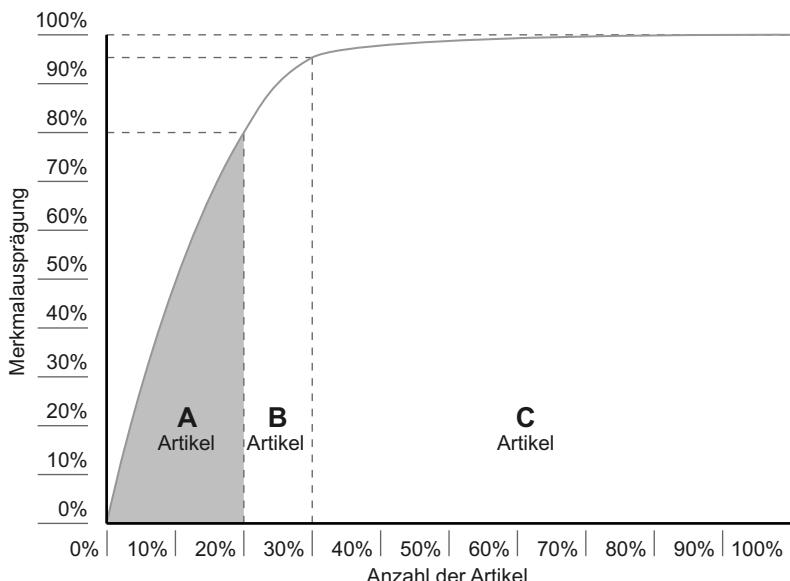


Abbildung 6.12. Grafische Darstellung der ABC-Analyse

Artikels treffen zu können. Ergänzend wird häufig eine XYZ-Analyse durchgeführt, deren Ziel es ist, die Vorhersagegenauigkeit des Verbrauchs eines Artikels aufzuzeigen. Dies bedeutet, dass die XYZ-Analyse die Zielsetzung verfolgt, Hinweise bezüglich der Verlässlichkeit der Verbrauchsprognosen zu geben, bestehende Risikopotenziale aufzuzeigen sowie Empfehlungen für die Lösungswahl zu geben. Die Vorgehensweise ist die gleiche wie bei der ABC-Analyse. Auch hier wird der Anteil von Elementen an der Grundgesamtheit in Relation zu dem zu untersuchenden Merkmal gesetzt. Dabei kann das Merkmal die Vorhersagegenauigkeit oder die Verbrauchsschwankung sein.

### XYZ-Analyse – die Artikelklassen

Die X-Güter zeigen eine hohe Konstanz des Verbrauchsverlaufs auf, daher haben sie eine hohe Vorhersagegenauigkeit und geringe Verbrauchsschwankungen. Die Y-Elemente der Klasse besitzen einen trendmäßig steigenden oder fallenden Verbrauch. Aus diesem Grund weisen sie eine mittlere Vorhersagegenauigkeit auf und unterliegen geringen Verbrauchsschwankungen. Die Z-Güter weisen einen recht unregelmäßigen Verbrauch auf und haben eine geringe Vorhersagegenauigkeit.

Die Klasseneinteilung wird häufig analog zur ABC-Analyse vorgenommen: Bei X-Gütern machen 10–20 % der Elemente ungefähr 70 % an der Merkmalsausprägung aus, 20–40 % der Elemente umfassen ca. 20 % der Merkmalsausprägung und 40–70 % entfallen auf ca. 10 % der Ausprägung. Zusammenfassend lässt sich festhalten:



Abbildung 6.13. Kombination der Analyseverfahren

- X – hoher Wert = hohe Vorhersagegenauigkeit
- Y – mittlerer Wert = mittlere Vorhersagegenauigkeit
- Z – niedriger Wert = niedrige Vorhersagegenauigkeit

### Kombination der Analyseverfahren

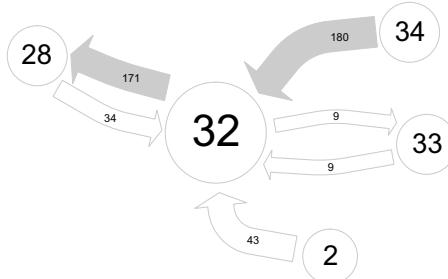
Die Zusammenführung der Ergebnisse der ABC- und XYZ-Analyse führt zu einer Matrix mit neun verschiedenen Artikelklassen. Es wird damit eine für jede Materialklasse spezifische Vorgehensweise im Rahmen des Bestandsmanagements ermöglicht (siehe Abb.6.13). Erfahrungen der Praxis zeigen, dass dadurch erhebliche Rationalisierungspotenziale aufgedeckt werden. Anhand dieses Schemas kann entschieden werden, welche Beschaffungs- und Versorgungsstrategien für einzelne Kombinationen (z. B. die besonders „kritische“ Kombination AZ) zu entwickeln sind. Derartige mehrdimensionale Kriterien vereinfachen die Lösung materialwirtschaftlicher Zielkonflikte.

### Ergebnisdarstellung: Sankey-Diagramm

Ein *Sankey-Diagramm* ist die grafische Darstellung der Materialflüsse zur Plausibilitätsprüfung. Die Flüsse werden gewöhnlich als Pfeile dargestellt. Dabei ist die Breite des Pfeils proportional zur Stärke des repräsentierten Flusses. Im Rahmen der Sankey-Diagramme können auch komplexe Netzwerke bzw. Rückkopplungen im System dargestellt werden.

#### 6.3.3 Entwurf von Prozessvarianten

Eine Gefahr der logistischen Planung liegt in der zu frühen Wahl einer bestimmten technischen Lösung, wodurch nicht nur eine Zementierung bestimmter Abläufe und Prozesse geschieht, sondern auch vielversprechende Alternativen unberücksichtigt bleiben. Als Strategie empfiehlt sich daher die

**Abbildung 6.14.** Sankey-Diagramm

sorgfältige Analyse von Prozessalternativen vor der Prüfung technischer Umsetzung, was in der 7-Stufen-Methodik daher als separater Planungsschritt ausgeführt ist.

Inhalte dieses Arbeitsschrittes sind die gedankliche und methodische Umsetzung und Gestaltung der Abläufe und die Strukturierung des Gesamtsystems. Aufgrund der Vielfalt der denkbaren Gestaltungsformen existieren keine generellen Vorgehensweisen, jedoch sind allgemeine Strategien verfügbar.

- Klassifizierung/Segmentierung
- Abgleich Spezialisierung – Vereinheitlichung
- Gegenüberstellung Investition – Betriebskostenoptimierung
- Ordnen – Bündeln – Sichern (generelles Prinzip)

### Prozessgestaltung

Auf Grundlage der Planungsdatenbasis können die Prozessvarianten entwickelt werden. Der Entwurf dieser Varianten soll den in der Aufgabenstellung definierten Endzustand durch die Verknüpfung der einzelnen Arbeitsoperationen herbeiführen. In dieser Phase der Planungssystematik werden Prozesse geplant, wie bspw. Arbeitsfolgen, Folgen von Materialflussoperationen und Transportketten. Als Ergebnis dieses Planungsschrittes werden die Materialfluss-, Werkstatt- und Lagerstrukturen eines Betriebs erhalten.

### Prozessdarstellung

Für die Prozessdarstellung gelten folgende allgemein anerkannten Regeln:

1. Festlegung der operativen und administrativen Prozesselemente (Leistungsstellen)
2. Spezifikation der ein- und ausgehenden Material- und Datenflüsse
3. Ermittlung des Durchsatzes
4. Darstellung in
  - Strukturdiagramm (räumlich organisatorische Struktur eines Systems)

Stufe 3: Entwurf von Prozessvarianten		
Inhalt	Planungshilfsmittel	Ergebnis
Planung von Arbeitsgangfolgen Folgen von Materialflussoperationen Transportketten	Flussdiagramm Prozesskettenmodulation (LogiChain) rechnergestütztes Layout-Planungssystem (LAPLAS-2,...) Puffermodelle Brainstorming	Materialflusstrukturen

**Abbildung 6.15.** Die Stufe 3 der Planungssystematik

- Prozessketten (räumlich und zeitliche aufeinanderfolgende Elemente eines Geschäftsprozesses)
- Ablaufdiagramm (zeitlicher Ablauf und logische Verknüpfungen von Vorgängen)
- Matrizen (mit dem System oder Prozess verbundene Mengenströme)

### Prozessanalyse

Bevor die Prozessvarianten aufgestellt werden, gilt es, die vorhandenen Prozesse zu analysieren. Dabei sollen die Abläufe transparent gemacht werden. Sehr komplexe Systeme mit zahlreichen Zusammenführungen und Verzweigungen und parallelen, ähnlichen Prozessketten weisen dabei oft auf Optimierungspotenziale hin.

### Prozesskettenmodellierung

Mittels der Prozesskettenelemente können die notwendigen Material- und Informationsflüsse übersichtlich und effektiv abgebildet werden. Durch die erreichte Übersichtlichkeit können die notwendigen Material- und Informationsflüsse vereinfacht werden (siehe Abb.6.16 – 6.17, Quelle: [KUH95]).

### Strategien zur Prozessgestaltung

Logistikprojekte sind geprägt von einer Vielzahl unterschiedlicher Anforderungen durch Artikel, Prozesse und Mengenströme. Die Generierung von Lösungsvarianten ist daher eine schwierige Tätigkeit. Aus der Erkenntnis, dass die Bearbeitung von abgegrenzten Problemstellungen in der Regel eine wesentlich einfachere Aufgabe darstellt, ist eine grundlegende Lösungsstrategie daher die Aufteilung eines sehr umfangreichen Probletraumes in einzelne Arbeitspakete. Zur Prozessgestaltung gibt es mehrere Möglichkeiten der Segmentierung und Klassifizierung.

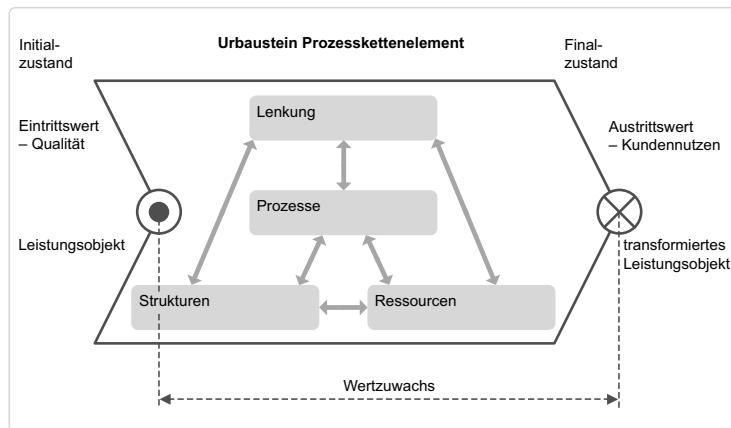


Abbildung 6.16. Prozesskettenelement zur Abbildung von Prozessen

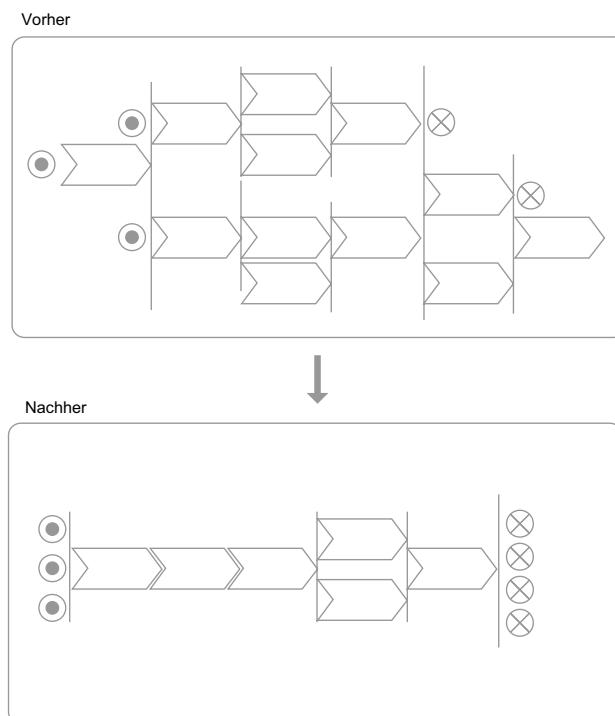


Abbildung 6.17. Vereinfachung von Prozessen

- Sortimentseinteilung: Einteilung des Artikelspektrums nach ähnlichen Eigenschaften
  - Lager-/Bestellware
  - Herstellung oder Beschaffung
  - Konstanter Verbrauch oder Aktionsware
- Auftragssegmentierung: Analyse der Systemlast nach Auftragstypen
  - Normal-/Expressaufträge
  - Klein-/Mittel-/Großaufträge
  - Einpositionen-/Mehrpositionenaufträge
  - Standard order/Express order
- Bestandsegmentierung
  - Bestandshöhe
  - Volumen
  - Lageranforderungen (Kühlware, Kleinteile, Langgut)
- Sendungssegmentierung
  - Dringlichkeit
  - Sendungsgröße
  - Versandart
- Transportklassifizierung
  - Ladungsträger
  - Zielland
  - Regel-/Sondertransporte
  - Transportmittel und Verkehrsträger

Zu den allgemeinen Strategien (benannt nach ihrer jeweiligen Zielfunktion) gehören neben der Systemkomplexität die Systemleistung, die Kostenstruktur und die Prozesshandhabung. Bei der Strategie der Systemkomplexität wird bei der Entwicklung der Prozessvariante zwischen spezialisierten Techniken für einzelne Gruppen gegenüber einheitlichen Systemen abgewogen. Zwischen der Effizienz und Flexibilität wird bei der Systemleistung entschieden. Die Kostenstruktur führt die Investitionshöhe gegenüber dem Gewinn bzw. der Einsparung und die Prozesshandhabung beschreibt, inwieweit Prozessschritte minimiert werden können.

### **Hilfsmittel und Methoden für den Entwurf von Prozessvarianten**

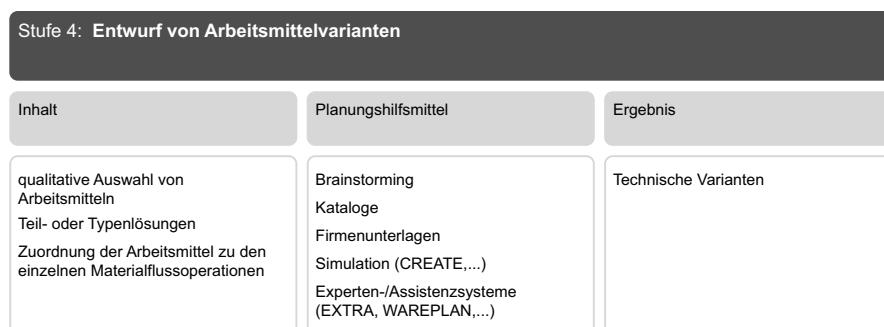
Um Prozessvarianten gestalten zu können, müssen verschiedene Lösungsprinzipien gefunden werden. Hierzu stehen verschiedene Methoden zur Verfügung.

- Konventionelle Hilfsmittel: Zu diesen Hilfsmitteln gehören die Literaturrecherche und die Analyse technischer Systeme. Bei der Literaturrecherche bilden Fachzeitschriften, Bücher, Patente und Veröffentlichungen die Grundlage für die Lösungsfindung. Systeme von Wettbewerbern, eigene ältere oder ähnliche Produkte werden bei der Analyse technischer Systeme auf logische, physikalische und gestalterische Zusammenhänge hin untersucht.

- Intuitive Methoden: Zu rein intuitiven Methoden zählen Brainstorming, Methode 635, Delphi-Methode und die Synektik. Beim Brainstorming sammeln max. 15 Personen verschiedener Fachrichtungen, aber gleicher Hierarchiestufen max. eine Stunde lang Ideen. Dabei ist Kritik jeglicher Art verboten, phantastische oder unrealistische Lösungen sind als Anregung durchaus erwünscht. Die Methode 635 sieht vor, dass 6 Personen jeweils 3 Vorschläge entwickeln, die von den anderen 5 Personen weiterverfolgt und ergänzt werden. Aufwändige, schriftliche Befragungen von Fachleuten werden bei der Delphi-Methode durchgeführt. Innerhalb von drei Bewertungsrounden werden die Vorschläge immer weiter eingegrenzt. Bei der Synektik werden Analogien aus dem halb- und nichttechnischen Bereich verwendet, um Lösungsprinzipien zu finden.
- Diskursive Methoden: Diese Methoden beschäftigen sich mit Konstruktionskatalogen, Morphologischen Kästen und der Untersuchung des physikalischen Geschehens. Die Konstruktionskataloge beinhalten eine Sammlung bekannter und bewährter Lösungen und dienen als Grundlage für die Lösungsfindung des spezifischen Problems. Beim Morphologischen Kasten wird das Problem in Teillaktionen untergliedert, für die jeweils verschiedene Lösungsprinzipien gefunden werden. Fast beliebige Kombination der Teillösungen sind zur Gesamtlösung möglich. Bei der Untersuchung des physikalischen Geschehens wird der physikalische Zusammenhang formalmäßig erfasst und Lösungen werden durch Variation der Parameter abgeleitet.

#### 6.3.4 Entwurf von Arbeitsmittelvarianten

In dieser Phase der Planung wird eine qualitative Auswahl von Arbeitsmitteln durchgeführt und es erfolgt die Zuordnung der jeweiligen Arbeitsmittel zu den einzelnen Materialflussoperationen. Bei der Auswahl gilt es wichtige Planungskriterien zu beachten.



**Abbildung 6.18.** Die Stufe 4 der Planungssystematik

- Einfachheit
- Wirtschaftlichkeit
- Sicherheit
- Menschlichkeit und Ergonomie
- Umweltverträglichkeit
- Klarheit und Eindeutigkeit
- Flexibilität
- Energieeffizienz
- Wartbarkeit und Instandhaltbarkeit
- Information und Dokumentation

### 6.3.5 Dimensionierung, Überprüfung, Bewertung der Varianten

Die Stufe 5 der Planungssystematik beschreibt die Dimensionierung, Überprüfung und Bewertung der Varianten. In dieser Phase werden die einzelnen Konzeptvarianten bewertet und die beste Variante wird ausgewählt. Hierzu

Stufe 5: Dimensionierung, Überprüfung, Bewertung der Varianten		
Inhalt	Planungshilfsmittel	Ergebnis
quantitative Einbindung der Arbeitsmitteln in den Materialflussprozess Funktionsnachweis der Arbeitsmittel Bewertung der Varianten nach qualitativen und quantitativen Kriterien Auswahl der bestgeeigneten Variante	Leistungsberechnungen Fahrzeuganzahlberechnungen Spielzeitberechnung Simulation (FAD, INPAS, PERFECT) Nutzwertanalysen Investitionsrechnung Prozesskostenrechnung	Vorzugsvarianten

**Abbildung 6.19.** Die Stufe 5 der Planungssystematik

muss es eine Definition einheitlicher Bewertungsmaßstäbe und -kriterien geben. Die entsprechenden Verfahren dienen dazu, Entscheidungen abzusichern und den Einfluss persönlicher Vorlieben zu minimieren. Die Methoden sind z. B. die Nutzwertanalyse (NWA), die Wirtschaftlichkeitsanalyse und die Risikoanalyse. Wegen ihrer großen Bedeutung bei der Logistikplanung wird die NWA nachfolgend eingehend vorgestellt.

#### Nutzwertanalyse

Definition der NWA nach Zangemeister: Die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen (Planungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems (Bewertungskriterien) zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe von Nutzwerten der Alternativen.

Eine NWA eignet sich sowohl für quantifizierbare als auch nicht oder nur schlecht quantifizierbare Bewertungskriterien. Die Durchführung basiert auf dem Beurteilungsvermögen der verantwortlichen Personen. Dabei dient die NWA in erster Linie zum Vergleich von kostenseitig gleichwertigen Alternativen. Die NWA findet neben der klassischen Frage nach Standorten mehrere Anwendungsbereiche, wie z. B. die Beurteilung eines Gesamtbauplans oder die Auswertung von Layoutalternativen.

### Ablauf der NWA

Zur Vereinfachung einer NWA sind zunächst diejenigen Alternativen auszuschließen, die Muss-Anforderungen der Anforderungsliste nicht erfüllen. Anschließend wird wie folgt verfahren:

1. Bestimmung der Bewertungskriterien
2. Gewichten der Bewertungskriterien
3. Bewerten der Kriterienerfüllung
4. Berechnung des Gesamtnutzwertes
5. Sensitivitätsanalyse des Gesamtnutzwertes

Abschließend werden die verschiedenen Alternativen hinsichtlich ihrer Kosten miteinander verglichen.

### Bestimmung der Bewertungskriterien

Bei der Bewertung der Varianten sollte zu Beginn eine Auswahl sinnvoller Bewertungskriterien erfolgen. Diese Kriterien sollten voneinander unabhängig sein und alle Anforderungen an die Planungsvarianten abdecken. Zur Vereinfachung sollten die Kriterien leicht überblickbar und abgrenzbar gestaltet werden und komplizierte Zusammenhänge in kleinere Teile untergliedert werden. Bei der NWA sollten in der Regel keine Kosten als Kriterium herangezogen werden, da die NWA dazu dient, den subjektiven „Nutzwert“ verschiedener Alternativen zu vergleichen.

### Gewichten der Bewertungskriterien

Da nicht jedes Kriterium gleichwichtig bei der Bewertung der Varianten ist, werden die Kriterien zu Beginn der NWA gewichtet. Dabei wird die Wichtigkeit der einzelnen Bewertungskriterien relativ zu den anderen festgelegt. Die Größe der Gewichtungsfaktoren ( $G_i$ ) ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig wie generelle Unternehmensphilosophie, technische oder ergonomische Gesichtspunkte.

$$\sum_i G_i = 1$$

Bei komplexeren Zusammenhängen ist eine schrittweise Gewichtung sinnvoll, dabei besteht ein sinnvolles und allgemein übliches Gewichtungssystem in der Vergabe von Prozentangaben.

### Bewertung der Kriterienerfüllung

Bei der Bewertung der Kriterienerfüllung wird der Erfüllungsgrad der Bewertungskriterien der einzelnen Planungsvarianten bestimmt. Durch Vergabe von Noten oder Punkten ( $P_{ij}$ ) erfolgt die Festlegung. Dabei liegen übliche Noten oder Punktsysteme im Bereich von 1 bis 5 oder 1 bis 10. Die Zuordnung einer Bewertung ist bei quantifizierbaren Bewertungskriterien (z. B. Abmessungen) relativ problemlos, während bei nicht quantifizierbaren Subjektivität einfließt. Zur Vergabe von Erfüllungsgraden können Kennlinien verwendet werden (siehe Abb. 6.20).

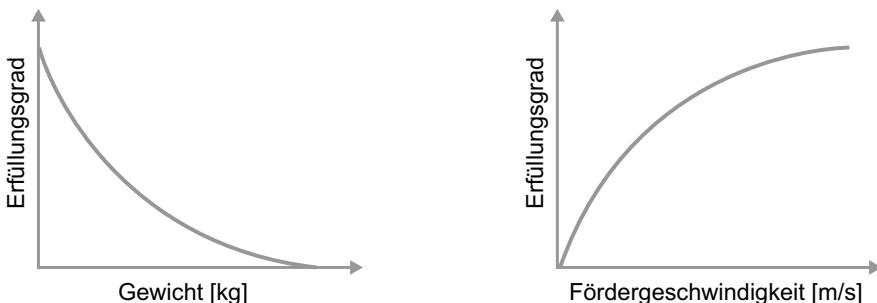


Abbildung 6.20. Kennlinien zur Darstellung des Erfüllungsgrades

### Berechnung des Gesamtnutzwertes

Die Nutzwerte der Planungsvariante errechnen sich durch

$$N_j = \sum_{i=1}^n G_i \cdot P_{ij}$$

mit

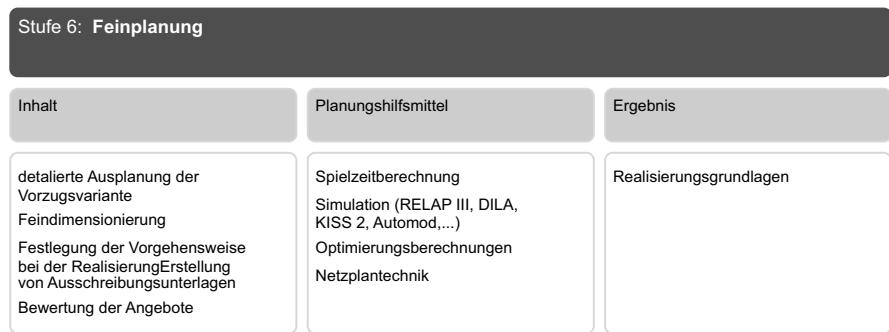
$N_j$ : Nutzwert der Planungsvarianten

$G_i$ : Gewichtungsfaktor des Bewertungskriteriums

$P_{ij}$ : Bewertung der Planungsalternative in Bezug auf das jeweilige Bewertungskriterium

### Sensitivitätsanalyse des Gesamtnutzwertes

Die Sensitivitätsanalyse ist erforderlich bei geringem Unterschied des Nutzwertes der besten Lösungen. Dabei wird die Änderung des Gesamtnutzwertes bei Variation der Gewichtung und der Benotung analysiert. Die Veränderungen müssen sich in einem realistischen Bereich abspielen. Ergibt die Sensitivitätsanalyse, dass schon bei einer geringen Veränderung verschiedener



**Abbildung 6.21.** Die Stufe 6 der Planungssystematik

Gewichtungsfaktoren und Bewertungen einer anderen Variante als beste Alternative hervortritt, sind derartige Varianten als gleichwertig zu betrachten. Weitere Anwendungsmöglichkeiten der NWA sind:

- Eine NWA eignet sich nicht nur zur Bewertung kompletter Planungsvarianten, sondern auch zur Bewertung unterschiedlicher Teilbereiche, wie Technik oder Ergonomie, um den Teilnutzen der Varianten zu bestimmen.
- Es ist auch aus technischer Sicht eine Bewertung verschiedener Baugruppen möglich, mit dem Ziel, die gesamte Anlage mit den besten Baugruppenalternativen zusammenzusetzen.

Folgende Einschränkungen gelten für die NWA:

- Eine Nutzwertanalyse darf nur als Entscheidungshilfe angesehen werden; sowohl fachliche Kompetenz und unternehmerischen Weitblick sowie auf rechnerischen Wegen beruhende, exakte Bewertungsverfahren kann sie nicht ersetzen
- Gefahr der Subjektivität bei der Durchführung
- großer Einfluss von Vorurteilen und von persönlichen Erfahrungen sowie Gewohnheiten und Interessenlagen
- Schwierigkeiten der Definition voneinander unabhängiger Kriterien
- Bei einer unsachgemäßen Durchführung kann die optimale Lösung bereits im Vorfeld ausgeschlossen werden.

Um die Subjektivität bei der Durchführung der NWA zu vermindern, empfiehlt es sich in einem Team zu arbeiten. Das Team sollte aus Mitgliedern aller Bereiche bestehen, die mit dem Planungsobjekt in Berührung kommen.

### 6.3.6 Feinplanung

Die Feinplanung ist die Ausarbeitung und Ausplanung der Vorzugsvariante. Die Feindimensionierung umfasst z. B. die Auswahl von Betriebsstrategie und -algorithmen oder die Zuweisung von Einlagerungsstrategien, Zonen und

Fachrastern. In dieser Phase werden die Detailzeichnungen und -pläne erstellt. Weitere Schritte sind die Detaillierung der Bodenlasten bzw. Sicherheitsmechanismen, Kontaktaufnahme mit Herstellern und Behörden, Erstellung des Lastenhefts und die Durchführung der Ausschreibung. Das Ziel der Ausschreibung ist es, die richtigen Partner für die Realisierung des geplanten Systems auszuwählen. Die Ausschreibung umfasst folgende Arbeitsschritte:

- Festlegung des Vorgehens
- Auswahl qualifizierter Anbieter
- Ausarbeitung der Ausschreibungsunterlagen
- Angebotsausarbeitung durch die Bieter und Angebotsabgabe
- Auswertung, Vergleich und Bewertung der Angebote
- Auftragsverhandlungen mit ausgewählten Anbietern
- Konzeption der Leistungs- und Qualitätsvergütung
- Festlegung der wesentlichen Abnahmekriterien
- Vertragsentwurf und Vertragsverhandlungen
- Vergabeentscheidung und Vertragsabschluss

Das *Lastenheft* ist nach der VDI-Richtlinie 3694 eine Zusammenstellung aller Anforderungen des Auftraggebers hinsichtlich des Liefer- und Leistungsumfangs. Das Lastenheft

- beschreibt die Anforderungen aus Anwendersicht einschließlich aller Randbedingungen (welche quantifizierbar und prüfbar sein sollten),
- legt fest WAS, WOFÜR zu lösen ist,
- wird vom Auftraggeber oder in dessen Auftrag erstellt,
- dient als Ausschreibungs-, Angebots und/oder Vertragsgrundlage.

## **Simulation**

Die Simulation ist ein wichtiges Instrument bei der Planung von Materialflusssystemen. Sie findet in vier der sieben Stufen der hier vorgestellten Planungssystematik Anwendung. Da die Simulation insbesondere auch zur Bewertung von Planungsvarianten verwendet wird, wird sie an dieser Stelle näher beleuchtet.

Oftmals ist die Komplexität von Abläufen und stochastischen Verhalten so groß, dass eine analytische Berechnung und Vorhersage nicht möglich ist. In einem solchen, in der intralogistischen Planung häufig vorkommenden Fall, ist die Simulation ein geeignetes Mittel, Planungsergebnisse und -varianten abzusichern.

## **Definitionen**

Simulation ist die Nachbildung eines dynamischen Prozesses in einem Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind [VDI 3633].

Simulation ist der Prozess der Modellbeschreibung eines realen Systems und das anschließende Experimentieren mit diesem Modell mit der Absicht, entweder das Systemverhalten zu verstehen oder verschiedene Strategien für die Systemoptimierung zu entwickeln (Shannon).

Simulation ist die Repräsentation des dynamischen Verhaltens eines Systems, während es von einem Zustand zum nächsten bewegt wird, unter Berücksichtigung von genau definierten Operationsregeln (Pritsker).

Nachdem in der Feinplanungsphase die Entscheidung für eine Variante gefallen ist, kann nun durch Simulation die Funktionsfähigkeit überprüft werden. Die Simulation ist ein experimentelles Verfahren, wobei in der Regel ein Modell auf Rechnern mit Hilfe von Programmen abgebildet wird. Der zu modellierende Gegenstand wird je nach Untersuchungsziel abstrahiert bzw. detailliert.

### Einsatzkriterien für Simulationsverfahren

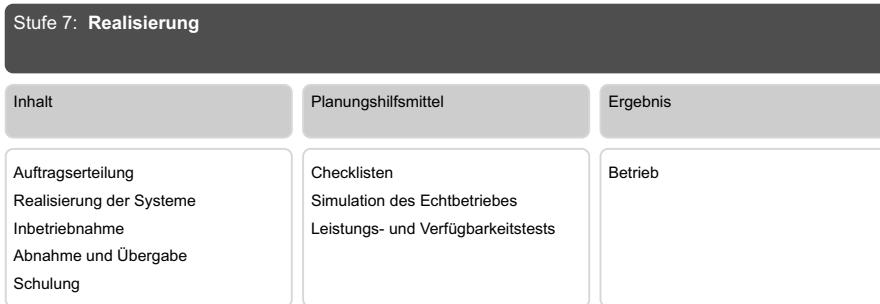
Für den Einsatz der Simulation lassen sich klar umrissene Argumente nennen, die den Kosten für eine Simulationsstudie eine adäquate Nutzenerwartung gegenüberstellen. Dagegen sollte die Simulation nicht eingesetzt werden, falls sich eine analytische Lösung für das Problem bestimmen lässt. Wie bereits zuvor erwähnt, handelt es sich bei der Simulation um ein experimentelles Verfahren, wodurch sich nicht zwangsläufig unmittelbar eine optimale Lösung ergibt. Diese optimale Lösung kann lediglich angenähert werden, wobei die Güte der Lösung unbekannt bleibt. Mit einem analytischen Verfahren lässt sich im Allgemeinen hingegen eine optimale Lösung bestimmen. Erst wenn die Grenzen der analytischen Methode erreicht ist, sollte die Simulation eingesetzt werden. Daneben sollte auf Simulationsmethoden zurückgegriffen werden, wenn die Aufgabenstellung zu komplex für die menschliche Vorstellungskraft wird oder Neuland beschritten wird. Auch ist in einigen Bereichen das Experimentieren am realen Modell nicht möglich bzw. zu kostenintensiv. Ebenso wird die Simulation eingesetzt, um das zeitliche Ablaufverhalten einer Anlage oder das Störverhalten eines Systems zu untersuchen.

#### 6.3.7 Realisierung

In diesem siebenten Schritt wird die Auftragserteilung und Inbetriebnahme der ausgearbeiteten Systeme vorgenommen. Der Aufbau des Systems, wie auch von Teilanlagen findet in mehreren Arbeitsschritten statt, die sich zeitlich teilweise überschneiden:

- Projektmanagement
- Umsetzungs- und Ausführungsplanung
- Konstruktion der Teilgewerke

- Pflichtenhefterstellung
- Probebetrieb
- Mitarbeitereineinstellung



**Abbildung 6.22.** Die Stufe 7 der Planungssystematik

**Projektmanagement** Das *Projektmanagement* umfasst eine eindeutige Definition der Projektziele. Genaue Eckdaten der Gesamt- und Teilprojekte legen die Aufgabenumfänge präzise fest. Für eine kontinuierliche Projektorganisation und Projektsteuerung werden Kontrollinstanzen eingerichtet. Weitere Aufgaben des Projektmanagements sind

- die Bestimmung von Projektdauer, Effizienz und Güte eines Projekts sowie
- kurze Innovationszeiten und damit schnelle Nutzung der Unternehmenslogistik durch effiziente Projektplanung und Projektrealisierung.

**Ausführungsplanung** Bei der *Ausführungsplanung* liegen die Hauptziele in der Termineinhaltung, Vermeidung von Budgetüberschreitungen und in der Sicherung der geforderten Qualität. Dafür werden beispielsweise in Listen die einzelnen Phasen der Ausführungsplanung festgelegt, mit einer Beschreibung des Arbeitsaufwands und des prozentualen Arbeitsanteil an der gesamten Ausführungsplanung.

**Konstruktion** Die Konstruktion der Teilgewerke umfasst im Sinne der Planung die Fertigung, Lieferung und Montage der Logistikgewerke

**Pflichtenheft** Das Pflichtenheft ist nach der VDI-Richtlinie 3694 die Beschreibung der Realisierung aller Anforderungen des Lastenheftes. Das Pflichtenheft

- enthält das Lastenheft: Anwendervorgaben werden detailliert und Realisierungsanforderungen beschrieben;
- beschreibt, WIE, WOMIT sind die Anforderungen zu realisieren sind;
- wird durch den Auftragnehmer und evtl. unter Mitwirkung des Auftraggebers erstellt;

- beschreibt, wie die vereinbarten Leistungen abgenommen werden (inkl. Vorgehensweise bei Leistungstest und Abnahme);
- bedarf der Genehmigung durch den Auftraggeber und wird danach die verbindliche Vereinbarung für die Realisierung und Abwicklung des Projektes für Auftraggeber und Auftragnehmer.

**Probetrieb** Sind alle Einzel- und Teilfunktionen überprüft und als funktionsfähig begutachtet worden, folgt ein Test des Zusammenspiels aller Funktionsbereiche in einem mindestens vierzehntägigen automatischen *Probetrieb* unter simulierten Realbedingungen. Der Probetrieb dient zur Erkennung von Mängeln und zur Stabilisierung der Gesamtanlage, damit der folgende Leistungstest und Verfügbarkeitsnachweis erfolgreich durchgeführt werden kann.

**Leistungs- und Verfügbarkeitsnachweis** Der Leistungstest umfasst einen (meist mehrtägigen) zusammenhängenden Betrieb unter Realbedingungen und Volllast. Hierbei ist die vereinbarte Verfügbarkeit der Gesamtanlage (üblich: mindestens 95 %) nachzuweisen. Der Verfügbarkeitsnachweis erfolgt entsprechend der VDI-Richtlinie 3649. Eine Unterbrechung des Leistungsbetriebes im Zusammenhang mit Störungen von Anlagenteilen bedingt eine Wiederholung des Test. Während dieser Zeit führt der Betreiber ein Störungsprotokoll. In einem Übergabeprotokoll werden dem Auftraggeber alle Mängel, die in angemessener Zeit zu beheben sind, angezeigt. Der Auftragnehmer hat eine Behebung dieser Mängel unverzüglich durchzuführen. Dem Auftraggeber entstehen hierdurch keinerlei Kosten.

**Abnahme** Ein erfolgreich durchgeföhrter Leistungs- und Verfügbarkeitstest führt zur Abnahme durch den Auftraggeber. Die Kriterien der Abnahme sind ebenso wie die vereinbarten Leistungen im Pflichtenheft fixiert. Der Auftraggeber darf die Abnahme im Allgemeinen nur aus wichtigem Grund verweigern.

**Gefahrenübergang** Mit der endgültigen förmlichen Abnahme der Gesamtanlage gemäß §12 VOB Teil B und VDMA erfolgt der Gefahrenübergang vom Auftragnehmer an den Auftraggeber und die bei Auftragsvergabe vereinbarte Gewährleistungszeit.

**Mitarbeitereinweisung** Für die erfolgreiche Realisierung gilt es abschließend die Mitarbeiter zu schulen und einzulehren, sofern dies nicht schon zur Durchführung der Leistungstests und Abnahme notwendig war.

## 6.4 Materialflussrechnung

Eine systematische Betrachtung von Materialflüssen ist die Grundvoraussetzung für eine durchgängige Erfassung von Transportprozessen, die Schaffung von Transparenz und damit der Möglichkeit zur Optimierung von Prozessen und letztendlich für den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens. Die

analytischen Methoden der Materialflussrechnung werden in der Phase der Grobplanung von Prozessen eingesetzt und dienen mit ihren statistischen Annahmen der Ermittlung von mittleren Durchsatzraten, mittleren Warteschlangenlängen und Durchlaufzeiten. Um eine Problemstellung in Materialflusssystemen zu lösen, werden zunächst Modelle erstellt, indem reale Systeme in ihre Elemente zerlegt werden. Daraufhin werden aus dem Modell mit den jeweiligen für die Problemstellungen geeigneten Methoden charakteristische Größen errechnet. In einem dritten Schritt werden durch Variation von Parametern Strategien ermittelt und optimiert. Drei wichtige Methoden für die analytische Berechnung von Materialflussproblemen sind die klassische Durchsatzberechnung, die Grenzleistungsrechnung und die Bedienungstheorie, die im Folgenden vorgestellt werden (vgl. zu den Methoden und Berechnungsverfahren [GROS84, ARN05, GUD05]). Für weitergehende und spezielle Problemstellungen gibt es in diesen Bereichen dezidiert formulierte Optimierungsansätze. Bei der Betrachtung von Steuerungsproblemen, der Integration von Betriebsdaten in ein Modell und bei komplexen, analytisch nicht berechenbaren Modellen wird das Hilfsmittel Simulation eingesetzt (vgl. Abschn. 6.3.6).

#### 6.4.1 Klassische Durchsatzberechnung

Zur Berechnung von Materialflussproblemen werden bei der klassischen Durchsatzberechnung vernetzte innerbetriebliche Materialflusssysteme graphisch abgebildet und auf dieser Grundlage Verfahren und Methoden angewendet, die z. T. der klassischen Mathematik und z. T. dem Operations Research entnommen sind. Mit diesen Methoden und Verfahren können Fragestellungen nach der Größe von Förderströmen (wie z. B. die Anzahl von Paketen über eine Förderstrecke pro Zeiteinheit) beantwortet werden.

In Materialflusssystemen bewegen sich Objekte entlang von Verbindungs-elementen von einer Quelle über Puffer oder Stationen zu einer Senke und nutzen auf diesem Weg materialflusstechnische Ressourcen. Objekte können Güter, Transportmittel oder Ladehilfsmittel sein, die Verbindungselemente sind z. B. Förderbänder oder Staplerwege. Stationen auf diesem Weg sind z. B. Läger, Produktionspuffer oder Bearbeitungsinseln.

Der Materialfluss lässt sich aus einer Menge aus Knoten und Kanten als gerichteter Graph darstellen oder als Sankey-Diagramm, bei der die Stärke des Materialflusses durch die Breite der die einzelnen Knoten innerhalb des Materialflusssystems verbindenden Pfeile dargestellt wird. Um den Materialfluss innerhalb eines Systems darzustellen, wird zunächst eine Netz- oder Verbindungs-matrix aufgestellt, in der die Verbindungen zwischen allen Knotenpunkten im betrachteten System eingetragen werden. In Verbindung mit der Gütermenge auf den bestehenden Verbindungen entsteht die Materialflussmatrix. In solchen Materialflussmatrizen lassen sich Topologie und Durchflussrichtungen von Materialflusssystemen rechneraffin darstellen und

speichern, um Stromstärken und Durchsätze bewerten zu können. In Kombination mit der Ergänzung von Daten bezüglich Entfernung, Kosten und Zeiten lassen sich Bewertungen von Materialflusssystemen vornehmen.

Darüber hinaus gehören in diese Sparte der Materialflussrechnung die Methoden der Spielzeitberechnung, bei denen Spielzeiten von Fördermitteln berechnet werden (vgl. hierzu Abschn. 3.7, Spielzeit).

#### 6.4.2 Grenzleistungsrechnung

Die Grenzleistungsrechnung ermöglicht die Berechnung der Auslastung eines Knotens im Materialflusssystem über das allgemeine Materialflussgesetz. Ein irreduzibler Transportknoten innerhalb eines Materialflusssystems hat einen oder mehrere Ein- und Ausgänge und bildet das kleinste Element innerhalb eines Materialflusssystems (z. B. eine Weiche einer Elektrohängeliftbahn, ein Drehtisch, ein Verteilwagen oder ein Kettenausschleuser). Diese Knoten lassen sich in Sammel- und Verteilelemente und nach ihrer Bauart und der Betriebsstrategie unterscheiden. Als Bauarten existieren stetige (Objekte können den Knoten ohne vorheriges Anhalten passieren, z. B. Eisenbahnweiche), halbstetige (Objekte können mindestens in einer Richtung den Knoten ohne Anhalten passieren, z. B. EHB-Weiche) und unstetige Knoten (Unterbrechung des stetigen Flusses ist systembedingt, z. B. Kettenausschleuser). Die Abfertigungsstrategien teilen sich in die stochastische Abfertigung (Prinzip des FIFO), die schubweise Abfertigung (Zuteilung einer Zeitspanne für eine Richtung nach unterschiedlichen Kriterien) und die Abfertigung nach Vorfahrtsregeln.

Durch die Ein- und Ausgangsströme an einem Knoten entsteht im Materialfluss ein Konfliktbereich, da die Ströme unterschiedlicher Herkunft und Richtung diesen Knoten gemeinsam nutzen. Bauart und Betriebsstrategien haben Einfluss auf den Durchsatz des Knotens. Die Einflüsse auf die Leistung eines Knotens wird über das allgemeine Materialflussgesetz berechnet.

Die partielle Grenzleistung  $\mu$  eines Stromes  $i$  ist definiert als die theoretische maximale Anzahl Objekte, die einen Knoten durchlaufen können, wenn sich dieser für den gesamten Betrachtungszeitraum in der Betriebsart  $i$  befindet. Die tatsächliche Materialstromstärke  $\lambda$  beschreibt den erwünschten Wert für einen Strom. Mit diesen Werten ergibt sich das allgemeine Materialflussgesetze als Summe der Auslastungen über alle den Knoten durchfließenden Ströme zu:

$$\frac{\lambda_1}{\mu_1} + \dots + \frac{\lambda_k}{\mu_k} \leq 1 \quad (6.1)$$

Ist ein Knoten unstetig, so muss in Abhängigkeit von der Betriebsstrategie zwischen dem Wechsel zweier aufeinander folgender Ströme ein Umschaltvorgang (Zeitanteil  $f$ ) des Konfliktbereiches erfolgen, der die maximal mögliche Leistung des Knotens reduziert:

$$\frac{\lambda_1}{\mu_1} + \dots + \frac{\lambda_k}{\mu_k} + f \leq 1 \quad (6.2)$$

Die Leistung eines Knotens hängt somit von der Anzahl der Umschaltvorgänge (und damit von der Abfertigungsstrategie), der Umschaltzeit und der Stärke der verschiedenen Materialströme ab.

#### 6.4.3 Bedienungstheorie

Die Bedienungstheorie oder auch Warteschlangentheorie ist ein Teilgebiet der Wahrscheinlichkeitstheorie bzw. des Operations Research und wird zur mathematischen Analyse von Systemen genutzt, in denen Aufträge von Bedienstationen bearbeitet werden. In der Intralogistik ist das Bediensystem ein Modell zur Beschreibung von Materialflusssystemen, bei dem Aufträge (z. B. Transportaufträge für einen Stapler oder Auslageraufträge für ein Regalbediengerät) von Bedienstationen (z. B. Fördermittel oder Montagestation) bearbeitet werden. Solche Problemstellungen ergeben sich in innerbetrieblichen Materialflusssystemen zwangsläufig, da die Ankunftsrraten ( $\lambda$ ) und Bedienraten ( $\mu$ ) an jeglichen Bedienstationen stochastisch sind. Das Bedienungsmodell wird eingesetzt, um durchschnittliche Wartezeiten und durchschnittliche Warteschlangenlängen auszurechnen und so z. B. Pufferkapazitäten zu dimensionieren.

Ein Bediensystem besteht aus einer Quelle, einem Warteraum, einer Bedienanlage und einer Senke. In der Quelle entstehen Forderungen, die eine Bedienung durch die Bedienanlage verlangen. Die Bedienanlage kann aus mehreren parallelen Bedienstationen bestehen. Im Warteraum halten sich die eintreffenden und bei aktuell nicht freien Bedienstationen auf eine Bearbeitung wartenden Objekte auf. Abgefertigte Objekte verlassen das Bediensystem. Der Durchlauf eines Objektes durch ein Bediensystem gliedert sich somit in den Ankunftsprozess, den Verweilprozess und den Bedienprozess.

Die von einer Quelle ausgesandten Objekte (Fördermittel, Pakete, Aufträge, etc.) treffen mit zufällig streuenden Zwischenankunftszeiten  $t_a$  im System ein. Dabei beschreibt der Erwartungswert der Zwischenankunftszeiten  $E(t_a)$  die Zahl der im System pro Zeiteinheit ankommenden Objekte über die Ankunftsrate  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{1}{E(t_a)} \quad (6.3)$$

Der Erwartungswert der Verweilzeit in der Bedienstation  $E(t_b)$  beschreibt die Zahl der aus dem System austretenden Objekt über die Bedienrate  $\mu$ :

$$\mu = \frac{1}{E(t_b)} \quad (6.4)$$

Der Auslastungsgrad eines Bediensystems bildet sich danach zu:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \leq 1 \quad (6.5)$$

Je mehr sich der Auslastungsgrad eines Bediensystems dem Wert  $\rho=1$  nähert, desto länger wird die Warteschlange.

Bediensysteme lassen sich in offene und geschlossene Systeme untergliedern. Bei offenen Systemen verlassen die Objekte nach einer Bearbeitung das System, wohingegen sie bei den geschlossenen Systemen wieder an der Quelle in das Bediensystem eintreten. In der Intralogistik finden sich oft geschlossene Systeme, da z. B. Ladehilfsmittel, Werkstückträger oder Fördermittel umlaufen und keine unbegrenzten Ressourcen der Quelle darstellen.

Aus der Warteschlangentheorie entwickelt sich eine wichtige Gesetzmäßigkeit – der Satz von Little. Dieser besagt, dass die durchschnittliche Anzahl Objekte in einem Warteschlangenmodell in seinem stabilen Zustand gleich dem Produkt ihrer durchschnittlichen Ankunftsrate und ihrer durchschnittlichen Verweildauer ist:

$$L = \lambda \cdot W \quad (6.6)$$

Aus dem Satz von Little lässt sich folgern, dass bei bekannter Ankunftsrate zur Berechnung der mittleren Verweilzeit die Berechnung der mittleren Anzahl von Objekten im System genügt, zur Berechnung der mittleren Wartezeit die Berechnung der mittleren Anzahl von Objekten in der Warteschlange genügt und zur Berechnung der mittleren Bedienungszeit die Berechnung der mittleren Anzahl Objekte in den Bedienstationen genügt.

# 7. Systembeispiele des Materialflusses

## 7.1 Distributionssystem

### 7.1.1 Distributionslogistik

Die Distributionslogistik ist die Verbindung des Beschaffungsmarktes mit dem Absatzmarkt. Sie steuert mit ihren Konzepten und Verfahren den Absatz der Produkte und die Verteilung auf dem Absatzmarkt. Die Distributionslogistik befasst sich mit allen physischen, dispositiven und administrativen Prozessen der Warenverteilung von einem Industrie- oder Handelsunternehmen zur nachgelagerten Wirtschaftsstufe bzw. zum Konsumenten.

### 7.1.2 Warenverteilzentrum

Innerhalb der logistischen Kette stellt ein Warenverteilzentrum einen wichtigen physischen und funktionalen Knotenpunkt in Distributionsnetzwerken dar. Ein Warenverteilzentrum ist eine örtliche und funktionale Zusammenfassung von dezentral operierenden Verteillägern (Sammel- und Verteillager). Es ist somit das zentrale Glied in der Distributionskette und somit maßgeblich für einen effizienten und schnellen Materialfluss vom Unternehmen zum Kunden verantwortlich. Die Funktion liegt dabei in der Verbindung der Produktion des Unternehmens mit dessen Kunden und umfasst alle Aktivitäten, die mit der Belieferung der Kunden mit Industrieerzeugnissen und Handelswaren in Zusammenhang stehen. Beim gut organisierten Einsatz eines Distributionszentrums ergeben sich Vorteile wie Kostenersparnis, effizienteres Warenhandling aufgrund kürzerer Durchlaufzeiten, Verringerung der Lagerbestände, Aufrechterhaltung der Warenverfügbarkeit und schnellere Belieferungszeiten, so dass die Transportkosten-Steigerungen in Relation zu den Einspareffekten in vielen Fällen geringer ausfallen und sich Zentralisierungsmaßnahmen in kurzer Zeit rentieren. In einem Warenverteilzentrum finden sich je nach Aufgabenbereich unterschiedlichste Einrichtungen, die ein weites Spektrum intralogistischer Systeme abdecken. Dazu gehören:

- Lagersysteme,
- Fördersysteme,
- Kommissioniersysteme,

- Verpackungssysteme,
- Sortier- und Verteilsysteme,
- Steuerungstechnik und
- Warehouse Management.

### **7.1.3 Hilti Warenverteilzentrum: Systembeschreibung**

Die Hilti AG ist ein Hersteller von Werkzeugen und Befestigungstechnik mit Sitz in Liechtenstein. Sie beschäftigt weltweit über 15.000 Mitarbeiter und unterhält Niederlassungen in rund 120 Ländern. Der Umsatz beträgt für das Jahr 2005 etwa 2,2 Mrd. Euro. Der deutsche Markt, der im internationalen Vergleich zu den größten Absatzmärkten zählt, besteht aus rund 100 Hilti-Zentren mit Verkaufsstellen. Die Versorgung des gesamten deutschen Marktes übernimmt das Distributionszentrum in Oberhausen. Dort werden mehr als 6.000 Artikel, wie z. B. schwere Bohr- und Trennschleifmaschinen, Werkzeuge, Hilfsmittel und Kleinteile gelagert.

Das zentrale Warenverteilzentrum von Hilti in Oberhausen besteht aus dem Wareneingang, mehreren Lagerbereichen, die der Bevorratung des Nachschubs und der Kommissionierung von Langsamdrehern dienen, einem Kommissionierbereich mit Paletten-Durchlaufregalen und AKL für die Schnell-dreher, Packbereichen für Kartons und Paletten, einem Warenausgangspuffer und dem Warenausgang.

Der Kommissionierbereich ist zweigeschossig, der Lager- und Verteilbereich dreigeschossig. Zum Einsatz kommen stetige Fördertechniken für Kartons, Behälter und Paletten, Unstetigförderer in Form von Regalbediengeräten, Vertikalförderern und Flurförderzeugen. Täglich werden in dem Warenverteilzentrum im Zweischichtbetrieb ca. 2.500 Aufträge bearbeitet. Dies entspricht einem Durchsatz von 12.000 Kommissioniereinheiten, 120 Paletten und 3.500 Paketen.

Das Warenverteilzentrum besitzt insgesamt 7 Tore für den Wareneingang und den Warenausgang. Die Waren werden auf Paletten oder in Behältern angeliefert. Die ankommenden Paletten werden im Wareneingang (1) gepuffert und von hier aus in die verschiedenen Bereiche transportiert. Sie können entweder als Ganzpaletten eingelagert werden oder zum AKL im Kommissionierbereich gefördert, dort aufgebrochen und eingelagert werden. Die Förderung von Behältern und Paletten läuft zum Großteil über Stetigfördertechniken. Zur Lagerung des Nachschubs für den Kommissionierbereich stehen 5.496 Palettenstellplätze (2) zur Verfügung. Dieses Nachschublager wird von Regalbediengeräten bedient. Es werden entweder ganze Paletten für den Nachschub des Palettendurchlaufregals ausgelagert oder es erfolgt in der Anlage ein Kommissionieren in Auftragsbehälter. Die Paletten und Behälter werden daraufhin zum Kommissionierbereich gefördert und im Palettendurchlaufregal (3) oder im AKL (4) eingelagert. Der zur Kommissionierung der Langsamdreher verwendete Lagerbereich umfasst 4.490 Palettenstellplätze.



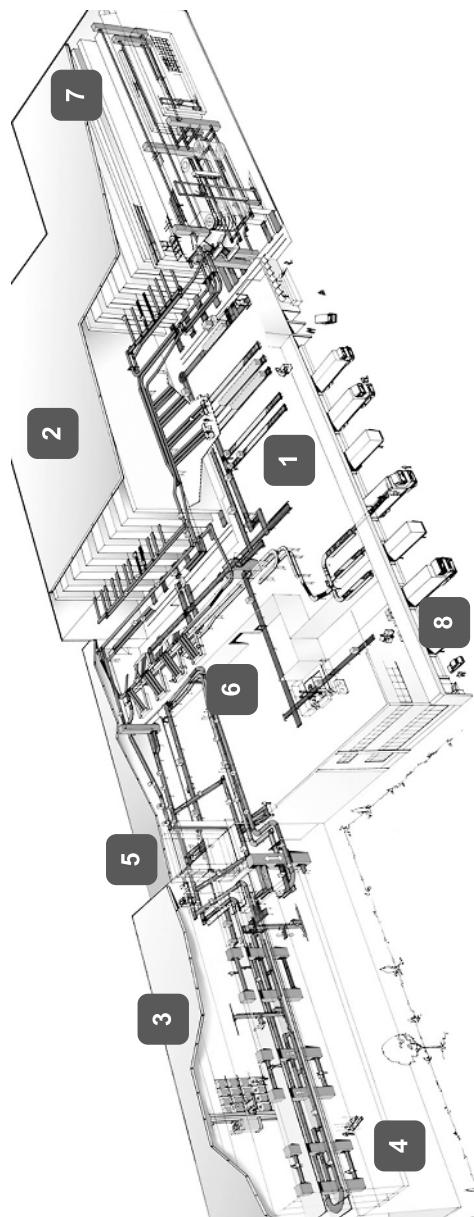
**Abbildung 7.1.** Kommissionierungsbereich mit Pick-by-Light im AKL und Versandbereich [Fotos: Vanderlande]

Aufträge werden hier direkt aus dem Lager kommissioniert. Die Umschlagsleistung dieser Bereiche liegt bei durchschnittlich 230 Positionen pro Stunde. Neben dem Lagerbereich angeordnet liegt der Warenausgangspuffer (7). Er besteht aus einem horizontalen Umlaufregal und einem AKL. Hier stehen 2.353 Behälterstellplätze zur Pufferung fertiger Aufträge zur Verfügung. Die Auslagerleistung dieses Puffers liegt bei etwa 50 Auftragsbehältern pro Stunde im Durchschnitt, maximal bei 70 Behältern pro Stunde.

Das Kommissioniersystem ist fördertechnisch an das Lagersystem angeschlossen. Der Transport zwischen den Geschossen erfolgt durch Senkrechtförderer oder Steigungen der Behälter- bzw. Palettenfördertechnik. Das Kommissioniersystem, in dem schnelldrehende Artikel kommissioniert werden, besteht aus einem Palettendurchlaufregal und einem AKL, wobei jeweils in Kommissioniertunneln in zwei Ebenen übereinander kommissioniert wird. Beide Ebenen sind mit Fördertechnik (Senkrechtförderer und Behälterfördertechnik) miteinander verbunden. Im Palettendurchlaufregal (3) können insgesamt 1.200 Paletten in 10 Ebenen übereinander bevorratet werden. Die Umlagerungen, Auslagerungen und der Nachschub erfolgen mithilfe eines Regalbediengeräts. In beiden Kommissionierebenen besitzt das Palettenregal an jedem Entnahmepunkt auf der untersten Ebene Schwerkrafttrolleybahnen, auf welche vom Regalbediengerät ausgelagerten Paletten für die Kommissionierer bereitgestellt werden. Insgesamt existieren 64 Entnahmepunkte. Nach einem ähnlichen Prinzip erfolgt auch die Bereitstellung der Güter am AKL (4). Pro Kommissionierebene und Entnahmepunkt befinden sich hier zwei Schwerkrafttrolleybahnen übereinander, auf denen die ausgelagerten Behälter abgestellt und für die Kommissionierung bereitgestellt werden. Bei den im AKL realisierten 10.000 Behälterstellplätzen sind 360 Entnahmepunkte vorhanden. Vor dem AKL befindet sich ein Behälterpuffer, der eine Optimierung des Nach-

schubs des AKL ermöglicht. Zur Steigerung des Durchsatzes arbeiten zwei voneinander unabhängige Regalbediengeräte übereinander. Die Kommissionierung erfolgt nach den Prinzipien Pick-by-Light und Pick-to-Belt. Dabei werden dem Kommissionierer die zu entnehmenden Artikel und Menge am Lagerfach angezeigt. Nach der Entnahme wird die Ware auf einer Fördertechnik, die in der Mitte der Regalgasse verläuft, in Behältern abgelegt und über Senkrechtförderer zu den Packplätzen gefördert (6). Die Kommissionierleistung beträgt durchschnittlich 220 (maximal 290) Positionen pro Stunde am Palettenregal und durchschnittlich 140 Positionen (maximal 190) pro Stunde am AKL, so dass sich eine Gesamtleitung des Kommissioniersystems von 5.400 Positionen pro Tag ergibt.

Nach dem Kommissionieren werden die Auftragsbehälter in den Auftragspuffer (5) in Form eines Hubbalkenlagers gefördert. Dort werden sie auftragsgerecht sortiert, anschließend zu den Packplätzen transportiert und über Rutschen ausgeschleust. An den Packplätzen werden die Waren von Mitarbeitern in Kartons verpackt und auf einer Rollenbahn abgestellt. Es folgt der Transport in den Warenausgang oder in den Warenausgangspuffer. Im Warenausgang stehen drei parallele Förderstrecken zur Verfügung, auf welche die Kartons zu den Ausgangstoren ausgeschleust werden (8). Des Weiteren existiert eine Förderstrecke für den Transport von kompletten Paletten in den Warenausgang.



**Abbildung 7.2.** Distributionszentrum [Grafik: Vanderlande] 1 Wareneingang 2 Palettenlager für Nachschub 3 Palettendurchlaufregal im Kommissionierbereich 4 AKL im Kommissionierbereich 5 Auftragspuffer 6 Packplätze 7 Warenausgangspuffer 8 Warenausgang

## 7.2 Cross-Docking-Terminal

### 7.2.1 Cross-Docking

Cross-Docking ist ein Prozess innerhalb der logistischen Kette, bei dem die Anlieferung der Waren an den Cross-Docking-Punkt und die Auslieferung an die Empfänger zeitlich oder mengenmäßig so koordiniert werden, dass Einlagerungsprozesse und die zugehörigen Aktivitäten eines typischen Bestandslagers entfallen. So entsteht ein Warenaumschlag ohne Lagerung. Das dabei verfolgte Ziel ist es, Bestände zu reduzieren, Belieferungszeiten zu verkürzen und Transporte zu bündeln, um somit die Kosten zu senken. Cross-Docking existiert in zwei verschiedenen Ausführungsformen. Beim einstufigen Cross-Docking kommissioniert der Absender bezogen auf den Endempfänger, so dass Mischpaletten im Cross-Docking-Terminal tagesgenau und zielrein ankommen. Innerhalb des Verteilzentrums findet nur eine empfängerbezogene Konsolidierung, z. B. von kompletten Paletten zu versandfertigen Einheiten, statt. Beim zweistufigen Cross-Docking, welches in dieser Fallstudie Anwendung findet, kommissioniert der Absender bezogen auf den Cross-Docking-Punkt, das heißt, es werden in der Regel artikelreine Paletten angeliefert. Diese Ladeeinheiten werden im Cross-Docking-Punkt aufgebrochen, und mittels einer geeigneten Verteil- bzw. Sortiertechnik werden kundenspezifische Ladeeinheiten zusammengestellt. Diese werden anschließend an den Endempfänger weitergeleitet. Im Fall des Cross-Docking-Prozesses im Einzelhandel wird das Warenausverteilzentrum von Großhändlern und Produzenten mit Ware in Form von Ganzladungen beliefert und ausgangsseitig filialgerecht zusammengestellt.

### 7.2.2 Ausgangssituation

Wal-Mart Stores Inc. ist ein weltweit tätiger US-amerikanischer Einzelhandelskonzern und mit einem Umsatz von 305 Mrd. USD (2005) das umsatzstärkste Einzelhandelsunternehmen der Welt. Bis zu seinem Rückzug vom deutschen Markt betrieb Wal Mart in Deutschland 88 Supermärkte. Die Waren hierfür wurden in den Logistikzentren in Kempten und Bingen kommissioniert und von dort zu den Filialen gebracht. Während Kempten generell die norddeutschen Läden belieferte, war Bingen für die süddeutschen Supermärkte zuständig. Beide Warenaumschlagszentren waren durch einen Shuttleverkehr verbunden, da sie unterschiedliche Artikelgruppen beherbergten.

### 7.2.3 Cross-Docking-Terminal von Wal-Mart: Systembeschreibung

Für das Cross-Docking-Terminal in Bingen wurde auf 26.500 m<sup>2</sup> ein Materialflusssystem mit einer Stückgutsortieranlage, 19 Wareneingangstoren, 28 Warenausgangstoren, einem Palettenlagerbereich und einem manuellen Kommissionierbereich realisiert. In dem System werden Unstetigförderer in Form



**Abbildung 7.3.** Infeed mit Depalettierstation und Endstellen am Sorter [Fotos: Vanderlande]

von Staplern und Gabelhubwagen, ein Quergurt-Sorter für die Sortierung sowie Paletten- und Kartonfördertechnik eingesetzt. Bei den umzuschlagenden Waren handelt es sich hauptsächlich um Lebensmittel in Kartons oder Gebinden. Im Warenverteilzentrum Bingen werden im Wareneingang (1) durchschnittlich 2 Lkw pro Stunde mit jeweils 30 Paletten entladen, dies entspricht etwa 110.000 bis 120.000 Verpackungseinheiten (Kolli) pro Tag. Es werden sowohl sortenreine Europaletten, als auch Sandwich-Paletten angeliefert. Bei Sandwich-Paletten befinden sich unterschiedliche Produkte zwar jeweils sortenrein auf einer Europalette, es können aber bis zu 4 Paletten übereinander angeordnet sein. Im Wareneingang werden ca. 25 Mitarbeiter an den 19 Toren benötigt. Die gesamte Ladung eines ankommenden Lkw wird im Wareneingang gepuffert, von wo aus die Paletten entweder in das Palettenregal eingelagert oder dem Sortier- und Verteilsystem zugeführt werden. Es besteht außerdem die Möglichkeit Batchpaletten vorzukommissionieren, welche anschließend den Depalettierstationen zugeführt werden.

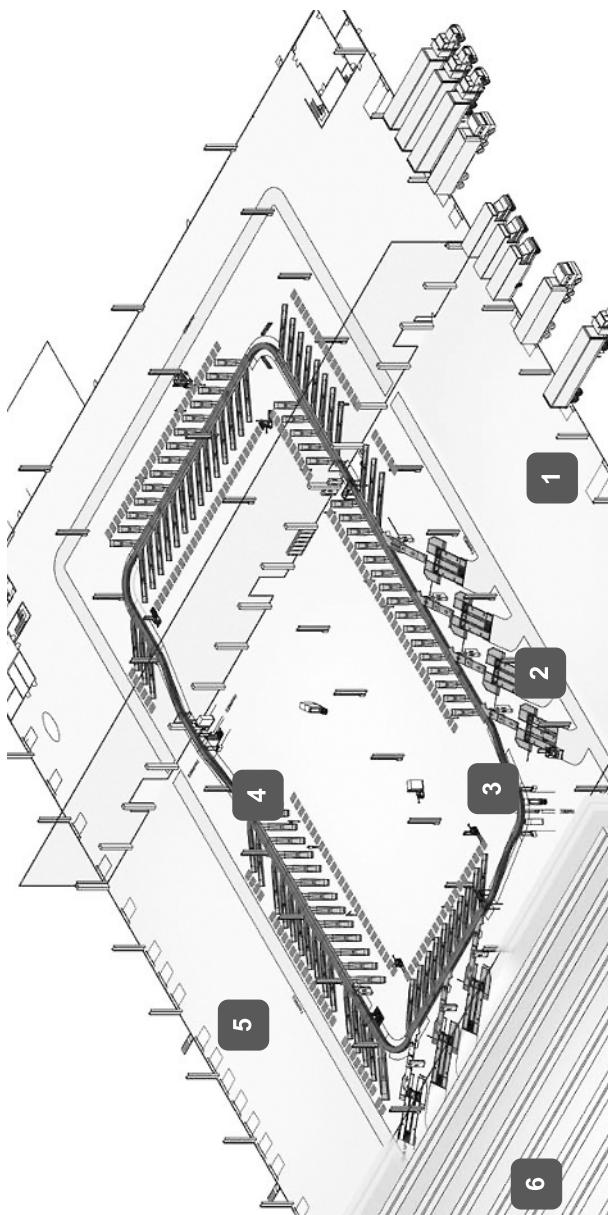
Da es sich um ein Verteilzentrum nach dem Prinzip des zweistufigen Cross-Dockings handelt, weist das Verteilzentrum nur einen relativ kleinen Lagerbereich mit 7.839 Palettenstellplätzen(6) auf. Die Einlagerung der Paletten erfolgt durch Schubmaststapler, wobei von einer durchschnittlichen Leistung von 25 Paletten pro Stunde ausgegangen wird. Kernaufgabe des vorgestellten Systems ist die filialbezogene Kommissionierung von 1.800 verschiedenen Artikeln und die Versendung konsolidierter, filialgerechter Ladeeinheiten. Täglich werden 85.000 Kolli sortiert, davon der Großteil von einem 267 m langen Quergurt-Sorter. Der Sorter läuft mit einer Geschwindigkeit von 1,7 m/s und besteht aus 174 Quergurten, die für die Sortierung genutzt werden, sowie aus 58 Quergurten, die für eine Leistungssteigerung des Systems vorgesehen sind.



**Abbildung 7.4.** Sortiersystem und Warenausgang [Foto: Vanderlande]

Mit diesem Sorter kann eine Nettosortierleistung von ca. 8.000 Kartons pro Stunde erreicht werden.

Die Beschickung des Sorters erfolgt über sechs so genannte Infeeds (Lastübergabestellen auf den Sorter) mit einer Leistung von 1.500 Kartons pro Stunde, an welche insgesamt 12 manuelle Depalettierstationen (2) angebunden sind. Die Paletten werden an der Eingangsseite des Sortiersystems mit Flurförderzeugen auf einer Fördertechnik abgestellt und automatisch zu einer Depalettierstation gefördert. Dort wird die Ladeeinheit von einem Mitarbeiter aufgebrochen und auf jedes Kollo ein Barcodelabel aufgebracht. Das Kollo wird auf einem Gurtförderer abgestellt und auf den Quergurt-Sorter eingeschleust (3). Die Leistung beträgt etwa 450 Kolli pro Personenstunde, leere Paletten werden automatisch abtransportiert. Auf dem Sorter wird der Barcode ausgelesen und entsprechend den Informationen an der Zielstelle ausgeschleust. Für jeden Markt ist eine eigene Zielstelle reserviert. Außerdem existieren weitere Zielstellen, etwa für Ausgleichstransporte zwischen den Verteilzentren Bingen und Kempten, so dass der Sorter insgesamt 100 Endstellen (4) besitzt. Die Endstellen bestehen aus 6 m langen Schwerkraftrollenbahnen, die mit jeweils drei Bremsfeldern versehen sind, so dass vor allem zerbrechliche Waren schonend ausgeschleust und mit geringem Staudruck entnommen werden können. Dabei werden, durch Lichtschranken gesteuert, einzelne Kolli durch Bandförderer gebremst und vereinzelt. Aus den ausgeschleusten Kolli werden filialbezogene Ladeeinheiten gebildet und dem Warenausgang (5) zugeführt. Zur Kommissionierung/Konsolidierung von Ganzpaletten oder von Gütern die sich nicht für ein automatisiertes Handling eignen, stehen 1.959 Palettenstellplätze für die manuelle Kommissionierung im Innenraum des Quergurt-Sorters zur Verfügung. Die Förderfähigkeit des Sorters beträgt 95 %. Die durchschnittliche Gesamtkommissionierleistung des Systems beträgt 104 Kolli pro Personenstunde.



**Abbildung 7.5.** Cross-Docking-Terminal [Grafik: Vanderlande] **1** Wareneingang  
**2** Depalettierstationen und Infeeds **3** Sorter **4** Endstellen **5** Warenausgang **6** Palettenlager

## 7.3 Produktionsver- und -entsorgung

### 7.3.1 Just-in-Time

Das Prinzip Just-in-Time (JIT) bezeichnet die zeitgenaue produktionssynchrone oder kundenbedarfsorientierte Anlieferung von Gütern. Dabei wird in Produktionssystemen durch die Einführung von JIT der Konflikt zwischen der Beschaffung auf Vorrat und der Beschaffung im Bedarfsfall gelöst. Ein Nachteil der Beschaffung auf Vorrat besteht in der hohen Kapitalbindung durch Lagerbestände, ein Nachteil der Einzelbeschaffung in der Gefahr von Mehrkosten durch zu spätes Eintreffen des benötigten Materials. Das Prinzip der produktionssynchronen Beschaffung (JIT) versucht, diese Nachteile auszuschließen. Mit den Lieferanten wird eine Liefervereinbarung über einen längeren Zeitraum getroffen, die diese verpflichtet, die benötigten Materialien jeweils zu den vom Produktionsprozess benötigten Terminen anzuliefern. Die Anlieferung wird also durch den Bedarf der Produktion bestimmt. Lagerhaltung findet nur in Form von kurzfristigen Puffern statt. Ausgangspunkt für die Entwicklung des Just-In-Time-Konzepts war die Überlegung, den veränderten Anforderungen der Absatzmärkte wie wachsendem Konkurrenzdruck, steigender Variantenzahl der Produkte bei gleichzeitig kürzer werdenden Produktlebenszyklen und einem schwer vorhersehbaren Bestellverhalten der Abnehmer durch eine Umgestaltung der logistischen Kette zu begegnen. Der angestrebte Idealzustand des Prinzips Just-In-Time ist die bestandslose Fertigung.

### 7.3.2 Ausgangssituation

Mit einem jährlichen Umsatz von 1.765 Mrd. USD trägt die Automobilindustrie ca. 15 % zum Welt-Bruttonsozialprodukt bei und ist damit einer der wichtigsten Industriezweige der Welt [DUD01]. Unter Berücksichtigung aller Zuliefer- und Dienstleistungsbetriebe hängt jeder achte Arbeitsplatz von der Automobilindustrie ab. In der Automobilindustrie ergeben sich hohe Anforderungen an die Logistik, die im Zusammenspiel zwischen Hersteller (Original Equipment Manufacturer – OEM) und Zulieferer in Form von Modul- und Systemlieferanten vorzugsweise durch den Einsatz von Just-in-Time Logistikkonzepten gelöst werden. Dabei werden fertige Baugruppen funktionsfähig und einbaufertig an den Montageort des Automobilherstellers geliefert.

Ein Vertreter dieser Modullieferanten ist die Modine Manufacturing Company, welche weltweit Kühl- und Heizsysteme produziert. Die Tochtergesellschaft Modine Montage GmbH in Wackersdorf fertigt Kühler-Module und Komponenten für die Automobilindustrie. Auf dem 10.500 m<sup>2</sup> großen Gelände der Modine Montage GmbH werden im Zweischichtbetrieb täglich 3.300 Kühlsysteme in 35 verschiedenen Varianten, produziert. Insgesamt sind 78 Mitarbeiter an dem Standort beschäftigt.

### 7.3.3 Modine JIT-Montagewerk zur Kühlerproduktion: Systembeschreibung

Das JIT-Montagewerk besteht aus den Bereichen Wareneingang, Wareneingangspuffer, Kommissionierung, Montage, Sequenzpuffer und Warenausgang.

Der Wareneingang verfügt über zehn Ladeluken, an denen die Lkw entladen werden können (1). Die Ladeluken sind mit Sektionaltoren, Torabdichtungen und unterfahrbaren Überladebrücken sowie Sicherheits- und Rangierseinrichtungen ausgestattet. Alle Waren werden in Gitterboxpaletten angeliefert. Der Transport erfolgt mit so genannten Jumbo- bzw. Megatrailern, in deren Laderäumen die Güter höher als 2,7 m gestapelt werden können. Die Gitterboxpaletten werden dreifach gestapelt angeliefert. Um zu verhindern, dass kleine oder spitze Teile die Gittermaschen durchdringen, werden die Gitterwände mit stabilen Kartonagen versehen. Für die Entladung der Lkw kommen, aufgrund von Gewichten der Gitterboxstapel bis zu 3,3 Tonnen, Vierrad-Elektrostapler zum Einsatz. Die Ladungsträger werden auf einer Aufgabenrollenbahn abgesetzt und horizontal, auf einer aufgeständerten, angetriebenen Rollenbahn zu einer Entstapelungseinrichtung transportiert. Dort werden die Gitterboxpaletten vereinzelt und anschließend auf Schäden und korrekten Inhalt überprüft. In der Entstapelungseinrichtung wird die Stapelhöhe ermittelt, die oberen Gitterboxpaletten angehoben und die unterste Palette durch eine angetriebene Rollenbahn abgezogen. Anschließend wird der Stapel abgesetzt und die verbleibende Höhe neu ermittelt. Wenn die letzte Gitterboxpalette die Entstapelungseinrichtung verlassen hat, kann der nächste Palettenstapel zugefordert werden. Die Konturenkontrolle ermöglicht das Erfassen von Schäden. Alle Ladungsträger werden bereits bei den Zulieferern mit Barcodes versehen, die einen Rückchluss auf den Inhalt und die Soll-Menge ermöglichen. Durch das Wiegen, das parallel zur Konturenkon-



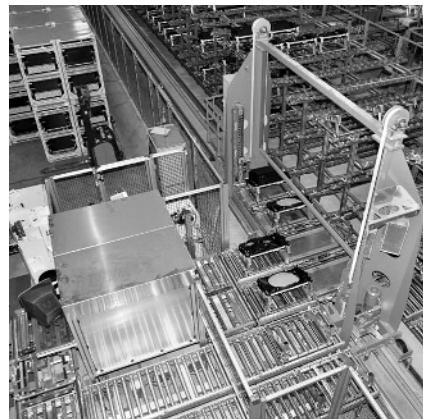
**Abbildung 7.6.** Wareneingang und Wareneingangspuffer [Foto: Hörmann]



**Abbildung 7.7.** EHB-Fahrzeuge zur Kommissionierung [Foto: Hörmann]



**Abbildung 7.8.** Montage der Kühler und Ablegen auf den Werkstückträgern  
[Foto: Hörmann]



**Abbildung 7.9.** Sequenzbildung und Verladung der Kühlermodule in die Transportgestelle im Warenausgang  
[Foto: Hörmann]

trolle durchgeführt wird, kann das Soll- mit dem Ist-Gewicht verglichen und gegebenenfalls die Artikelmenge reklamiert werden.

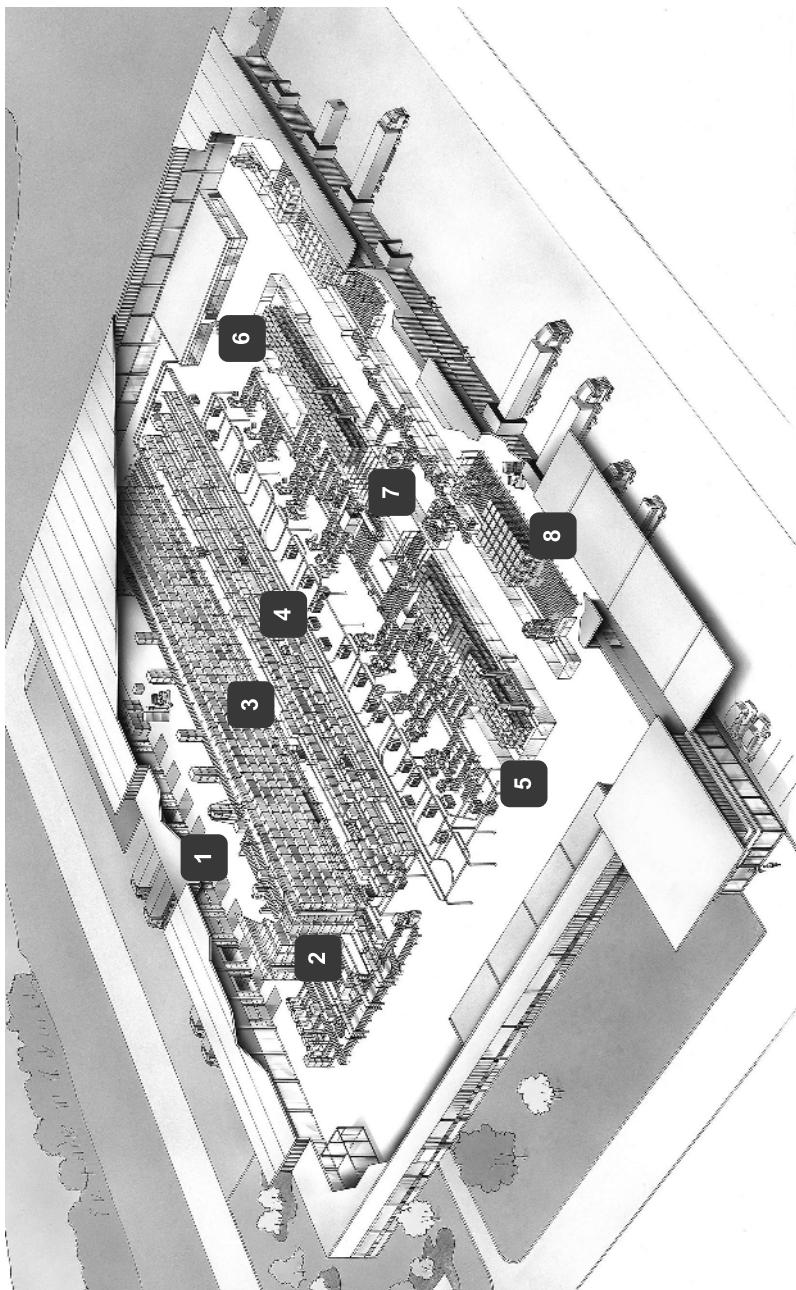
Schließlich werden die Gitterboxpaletten mit einer angetriebenen Rollenbahn zu einem vollautomatischen Wareneingangspuffer mit ca. 1.200 Stellplätzen (2) transportiert. Die Lagerposition in dem Puffer wird von dem Warehouse Management System bestimmt, das alle Artikel im Werk verwaltet. Der Wareneingangspuffer besteht aus sechs Palettenregalen, die zu drei Gassen angeordnet sind. In jeder Gasse wird jeweils ein Regalbediengerät für den Warenumschlag eingesetzt. In jedem Fach können drei Gitterboxpaletten auf zwei Längstraversen zwischengelagert werden (Längseinlagerung). Jedes der sechs Palettenregale besteht aus elf Feldern mit jeweils sechs Ebenen. Durch Sensoren kann das Materialflussteuerungssystem die Position jeder Gitterboxpalette auf der Förderstrecke eindeutig bestimmen und in die vom WMS festgelegte Gasse ausschleusen. Mit Hilfe einer Hubstation werden die Ladeeinheiten zu einer der drei Gassen des Wareneingangspuffers gefördert. Nachdem die Ladeeinheiten vom Kettenförderer bis zum Lastübergabepunkt transportiert wurden, nimmt das Regalbediengerät diese auf und transportiert sie zu der festgelegten Position. Neben dem Transport fungieren die Kettenförderer gleichzeitig als Puffer für die jeweiligen Gassen. Je nach Bedarf in der Kommissionierung werden die Ladeeinheiten automatisch aus dem Wareneingangspuffer ausgelagert. Bei der Auslagerung werden die Gitterboxpaletten an die angetriebene Rollenbahn abgegeben. Dort übernehmen Vierrad-Stapler die Gitterboxen und transportieren sie in den Kommissionierbereich (3). Die Fahrer der Gabelstapler erhalten den Fahrauftrag per Touchscreen-Terminal im Fahrzeug. Die richtige Zuordnung von Gitterbox und Regalfach wird über Transponder kontrolliert, die im Boden vor jedem Regalfeld ein-

gelassen sind. Die Gitterboxpaletten werden in vier Palettenregalen in zwei Ebenen gelagert. Jeweils zwei Palettenregale bilden eine Gasse, in deren Mitte Elektrohängeliftwagen verfahren. Die Beschickung der Regale durch Gabelstapler erfolgt über die Rückseite. Auf diese Weise werden die Verkehrswägen für Menschen und Flurförderzeuge getrennt und somit Unfälle vermieden. Die untere Ebene der Palettenregale wird für die Kommissionierung genutzt. Die obere Ebene dient als Zwischenlager für Kommissioniergut. Bei Bedarf erfolgt mit Gabelstaplern eine Umlagerung der Gitterboxen von der oberen in die untere Ebene. Die Kommissionierung erfolgt nach dem Prinzip Person-zur-Ware unter Verwendung von Pick-by-Light. Die Anzeigen befinden sich an den 45 Elektrohängeliftfahrzeugen, die in den zwei Kommissioniergasen fahren. In jeden Elektrohängeliftwagen können die Einzelteile für bis zu drei Module bzw. Baugruppen kommissioniert werden. Das WMS gibt über die Anzeigen Lagerort, Stückzahl und Art der zu kommissionierenden Artikel an. Die Werkstücke werden nach Baugruppen getrennt in die Elektrohängeliftwagen gelegt. Nachdem der betreffende Artikel in der richtigen Menge in den Elektrohängeliftwagen gelegt wurde, bestätigt der Kommissionierer mittels Quittiertaste. Durch die Anbindung an das WMS können die zu kommissionierenden Mengen kurzfristig geändert werden. Nachdem die Einzelteile in die Elektrohängeliftwagen kommissioniert wurden, werden die Wagen einem der zehn Montageplätze zugeordnet (4). Jeder Wagen ist mit einem RFID-Transponder ausgestattet, der die eindeutige Identifizierung des Wagens und dessen Inhalts ermöglicht.

Am Montageplatz angelangt, wird der Transponder ausgelesen, und das zu produzierende Modul wird dem betreffenden Mitarbeiter auf einem Bildschirm angezeigt. Nach der Fertigstellung werden alle Daten des Produktionsverlaufes auf einen RFID-Tag übertragen, der im Werkstück integriert ist. Dieser ermöglicht die eindeutige Identifizierung und Rückverfolgbarkeit des Werkstücks. An jedem Montageplatz stehen bis zu drei Elektrohängeliftwagen in Wartestellung. Dieser Material- und Auftragspuffer stellt sicher, dass es infolge von Störungen, z. B. in der Kommissionierung oder bei der Fördertechnik, zu keinen Verzögerungen der Produktion kommt. Die Kühlsystem-Module werden auf Werkstückträgern zusammengesetzt, so dass ein Transport mit konventioneller Fördertechnik ermöglicht wird. Die Transportgestelle werden auf angetriebenen Rollenbahnen zuerst durch verschiedene Prüfstationen mit individuellen Prüfprogrammen und schließlich in den Warenausgang transportiert. Fehlerhafte Werkstücke werden an zwei Arbeitsplätzen (5) nachbearbeitet. Sobald die Kühlsystem-Module die Prüfstationen passiert haben, werden sie mit zwei Verteilwagen in den Sequenzpuffer transportiert. Im Sequenzpuffer lagern die Kühlsysteme typenrein zu je vier Stück auf Röllchenbahnen (6). Zum Transport werden die Kühlsystem-Module in Ladungsträger eingehängt. Dafür nehmen am Ende der Schwerkraftröllchenbahnen zwei Verteilwagen die Werkstückträger sequenzgerecht auf, transportieren sie zu den Umschlagstationen und legen sie dort auf angetriebenen Rollenbahnen ab. In

den Umschlagstationen heben Mitarbeiter die Kühlsysteme von den Werkstückträgern und bestücken sequenzgenau die Transportgestelle (7). Mit Hilfe eines Scanners wird abschließend kontrolliert, ob das richtige Kühlsystem dem richtigen Platz im Transportgestell zugeordnet wurde. Die Werkstückträger stehen jeweils auf einem Scherenhubtisch mit Rollenbahn. Nach dem Warenumschatz werden die leeren Werkstückträger mit einer angetriebenen Rollenbahn abgefördert. Ein Verteilwagen nimmt die leeren Werkstückträger auf und transportiert sie zu einer Schwerkraftröhlenbahn, die als Puffer dient. Bei Bedarf versorgen die beiden anderen Verteilwagen die Montageplätze mit den leeren Werkstückträgern.

Nachdem die Transportgestelle mit Kühlersystem-Modulen bestückt wurden, werden sie auf einer angetriebenen Rollenbahn weitergefördert. Zwei Verteilwagen stapeln vollautomatisch jeweils zwei Transportgestelle aufeinander und transportieren sie in den Warenausgang. Dort werden die Stapel, nach Aufträgen bzw. Auftragsnummer getrennt, auf Schwerkraftrollenbahnen gepuffert. Schließlich erfolgt die Verladung per Stapler in die Lkw (8).



**Abbildung 7.10.** Montagewerk zur Kühlerproduktion [Grafik: Hörmann]  
**1** Wareneingang **2** Wareneingangspuffer **3** Kommissioniergassen **4** Montageplätze  
**5** Prüfstationen **6** Sequenzpuffer **7** Bestückung der Ladungsträger **8** Versand

# Literaturverzeichnis

- [AGG90] Aggteleky B (1990) Fabrikplanung, Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung 2. Auflage.
- [ARN05] Arnold D; Furmans K (2005) Materialfluss in Logistiksystemen. Reihe: VDI-Buch, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [BER70] Berg R (1970) Systematische Büro- und Verwaltungsbau-Planung.
- [BGR234] Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVGGB)(Hrsg.) (2006) Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, BGR 234 - Lagereinrichtungen und -geräte
- [BMW95] Bundesminister für Wirtschaft mit Zustimmung des Bundesrates (1995) Verordnung über Aufzugsanlagen (Aufzugsverordnung - AufzV). In: BGBI. I S.836, geänd. Juni 1995
- [BÖCK96] Böcker T (1996) Auslegung von Rutschen an Sorterendstellen unter besonderer Berücksichtigung der Gleitreibungsbedingungen von Stückgütern. Dissertation, Universität Dortmund
- [BOSS90] Bozer YA, Schorn EC, Sharp GP (1990) Geometric Approaches to solve the Chebychev Traveling Salesman Problem. In: IIE Transactions, Vol. 22, Nr. 3, S. 238-254
- [BRAN97] Brandes T (1997) Betriebsstrategien für Materialflusssysteme unter besonderer Berücksichtigung automatischer Lager. Shaker Verlag, Aachen
- [BUCH96] Buchner N (1996) Ansprüche und Beanspruchungen beim Verpacken. In: Fraunhofer Gesellschaft e.V. (Hrsg.) Verpackungstechnik. Mittel und Methoden zur Lösung der Verpackungsaufgabe. Hüthig Verlag, Heidelberg
- [DILI85] Dietz G, Lippmann R (1985) Verpackungstechnik. Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg
- [DIN 1055-3] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1971) Lastannahmen für Bauten - Verkehrslasten. Beuth Verlag, Berlin
- [DIN 15136] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1957). DIN 15136 - Anbaugeräte für Stapler und Lader - Benennungen. Beuth Verlag, Berlin Köln
- [DIN 15141] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1986) DIN 15141 - Paletten. Beuth Verlag, Berlin
- [DIN 15142] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1973) DIN 15142 - Boxpaletten und Rungenpaletten - Hauptmaße und Stapelvorrichtungen. Beuth Verlag, Berlin Köln
- [DIN 15145] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1987) DIN 15145 - Paletten - Systematik und Begriffe für Paletten mit Einfahröffnungen. Beuth Verlag, Berlin Köln
- [DIN 15146] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1983) DIN 15146, Teil 2 - Vierwege-Flachpaletten aus Holz - 800 mm × 1200 mm. Beuth Verlag, Berlin Köln

- [DIN 15155] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1986) DIN 15155 - Paletten - Gitterboxpalette mit 2 Vorderwandklappen. Beuth Verlag, Berlin Köln
- [DIN 15190] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1991) DIN 15190 - Binnencontainer. Beuth Verlag, Berlin
- [DIN 15201] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1994) DIN 15201 - Stetigförderer - Benennungen. Beuth Verlag, Berlin
- [DIN 15291] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1951) DIN 15291 - Stetige Förderer - Rollenbahnen - Tragrollen. Beuth Verlag, Berlin Köln
- [DIN 22101] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1982) DIN 22101 - Gurtförderer - Berechnungsgrundlagen. Beuth Verlag, Berlin Köln
- [DIN 30781] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1989) DIN 30781 - Transportkette Teil 1 und 2. Beuth Verlag, Berlin
- [DIN 30790] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1991) DIN 30790 - Rollbehälter. Beuth Verlag, Berlin
- [DIN 55405] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1988-1993) DIN 55405 - Begriffe für das Verpackungswesen Teil 1-7. Beuth Verlag, Berlin
- [DIN 55468] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1987) DIN 55468 - Packstoffe - Wellpappe . Beuth Verlag, Berlin
- [DIN 55510] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1991) DIN 55510 - Modulare Koordination im Verpackungswesen. Beuth Verlag, Berlin
- [DIN 55511] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1984) DIN 55511 - Schachten aus Voll- und Wellpappe abgestimmt auf 600 mm × 400 mm (Flächenmodul). Beuth Verlag, Berlin
- [DIN 69901] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1987) DIN 69901 - Projektmanagement, Begriffe. Beuth Verlag, Berlin
- [DIN EN 81] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1986) DIN EN 81 - Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Personen- und Lastenaufzügen sowie Kleingüteraufzügen, Teil 1. Elektrisch betriebene Aufzüge. Beuth Verlag, Berlin Köln
- [DIN EN 283] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1991) DIN EN 283 - Wechselbehälter. Beuth Verlag, Berlin
- [DIN EN 284] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1992) DIN EN 284 - Wechselbehälter der Klasse C. Beuth Verlag, Berlin
- [DIN EN 452] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1995) DIN EN 452 - Wechselbehälter der Klasse A. Beuth Verlag, Berlin
- [DIN EN 13199-1] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.) (1995) DIN EN 452 - Verpackung - Kleinladungsträgersysteme - Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren. Beuth Verlag, Berlin.
- [DOWA81] Dolezalek C M, Warnecke H J (1981) Planung von Fabrikanlagen 2. Auflage.
- [DUBB05] Beitz W, Grote KH (Hrsg.) (2005) Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau, 20. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [DUD01] Duddenhöfer F (2001) Trends der Automobilwirtschaft. Ein neues Branchenbild entsteht. Fahrzeugkonzepte für das 2. Jahrhundert Automobiltechnik. Tagung der VDI-Ges. Fahrzeug- und Verkehrstechnik. Wolfsburg 21.-23.11.2001. Artikel in: VDI-Berichte, Düsseldorf, Band 1653 2001, S. 12-34.
- [DULL00] Dullinger KH (2000) Logistik - Leitfaden für die Praxis. Vanderlande Industries, Mönchengladbach
- [EHR99] Ehrmann H (1999) Kompendium der praktischen Betriebswirtschaft, 3. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [FEM 9.221] Fédération Européenne de la Manutention (FEM) (1981) FEM 9.221 Leistungsnachweis für RBG/Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit.

- [FEM 9.222] Fédération Européenne de la Manutention (FEM) (1989) FEM 9.222 Regeln über die Abnahme und Verfügbarkeit von Anlagen mit Regalbediengeräten und anderen Gewerken
- [FEM 9.851] Fédération Européenne de la Manutention (FEM) (1978) FEM 9.851 - Leistungsnachweis für Regalbediengeräte. Spielzeiten. VDMA, Frankfurt
- [FINK96] Fink P (1996) Verpackungsbeurteilung mittels Ökobilanzen. In: Fraunhofer Gesellschaft e.V. (Hrsg.) Verpackungstechnik. Mittel und Methoden zur Lösung der Verpackungsaufgabe. Hüthig Verlag, Heidelberg
- [GROS84] Großschallau W (1984) Materialflußrechnung. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo
- [GUDE73] Gudehus T (1973) Grundlagen der Kommissioniertechnik. Verlag W. Girardet, Essen
- [GUD05] Gudehus T (2005) Logistik - Grundlagen Strategien Anwendungen, 3. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
- [HEIN96] Heinrichs J (1996) Papier, Karton, Pappe. In: Verpackungstechnik. Mittel und Methoden zur Lösung der Verpackungsaufgabe. Hüthig Verlag, Heidelberg
- [HOKS85] Hoffmann K, Krenn E, Stanker G (1985) Fördertechnik, Band 2. R. Oldenbourg Verlag, Wien München
- [ISO 668] International Organisation for Standardization (ISO) (Hrsg.) (1995) ISO 668 - Series 1 freight containers - Classification, dimensions and ratings. ISO, Genf
- [ISO 3874] International Organisation for Standardization (ISO) (Hrsg.) (1997) ISO 3874 - Series 1 freight containers - Handling and securing. ISO, Genf
- [JABU98] Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (1998) Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland. Metzler-Poeschel Verlag, Stuttgart
- [JÜBE98] Jünemann R, Beyer A (1998) Steuerung von Materialfluß und Logistiksystemen. Springer-Verlag, Heidelberg
- [JÜNE71] Jünemann R (1971) Systemplanung für Stückgutläger. Krausskopf-Verlag, Mainz
- [JS99] Jünemann R, Schmidt T (1999) Materialflußsysteme - Systemtechnische Grundlagen, 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
- [JtH05] Jodin D, ten Hompel M (2005) Sortier- und Verteilsysteme - Grundlagen, Ausführungen, Berechnung und Einsatz. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- [KEST82b] Kesten J (1982) Sichern der Ladung auf der Palette. Schriftenreihe Material- und Warenfluß, Band 771. Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft (RKW), Eschborn
- [KUH95] Kuhn A (1995) Prozessketten in der Logistik. Verlag Praxiswissen, Dortmund
- [LABR95] Lange V, Brachetti C (1995) Mehrweg-Transport-Systeme. Verlag Praxiswissen, Dortmund
- [LOLL03] Lolling A (2003) Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten. Shaker, Aachen
- [MAR99] Martin H (1999) Materialfluß- und Lagerplanung. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
- [MERT84] Mertel R (1984) Höhenmaße für Ladeeinheiten. Schriftenreihe Material- und Warenfluß, Band 876. Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft, Eschborn
- [MORG55] Morgenstern O (1955) Note on the Formulation on the Theory of Logistics. In: Naval Reserach Logistics Quarterly Review, (1955) Nr.2, Washington, pp 129-136

- [MÜLL92] Müller E (1992) Ein Konzept zur Steuerung Fahrerloser Transportfahrzeuge mit Bildverarbeitungssensoren. Institut für Fördertechnik, Karlsruhe
- [PET02] Peilsteiner J Truskiewitz G (2002) Handbuch temperaturgeführte Logistik. B. Behr's Verlag GmbH & Co., Hamburg
- [PFEI84] Pfeifer H (1984) Grundlagen der Fördertechnik. Verlag Vieweg & Sohn, Braunschweig Wiesbaden
- [PFKL95] Pfeifer H, Kabisch G, Lautner H (1995) Fördertechnik: Konstruktion und Berechnung. Vieweg, Braunschweig Wiesbaden
- [PFOH96] Pfohl HC (1996) Logistiksysteme, 5. Auflage. Springer-Verlag, Berlin
- [POTY95] Potyka S (1995) Systematik zur Selektion von Kommissioniersystemen in der Planung. Verlag Praxiswissen, Dortmund
- [RAL614] RAL - Ausschuß für Lieferbedingungen und Gütesicherung (1985) RAL-RG 614 - Lager und Betriebseinrichtungen. Gütesicherung. Beuth Verlag, Berlin
- [RGV98] Rationalisierungs-Gemeinschaft Verpackung im RKW (Hrsg.) (1998) Verpackungsstatistik 1996/1997, Produktionsmenge und Produktionswert der Verpackungsindustrie in der Bundesrepublik Deutschland. Rationalisierungs-Gemeinschaft Verpackung im RKW, Düsseldorf
- [RGV81] Rationalisierungs-Gemeinschaft Verpackung im RKW (Hrsg.) (1981) Modul-Empfehlung. RGV-Schriften für die Verpackungswirtschaftspraxis, Merkblatt 187. Rationalisierungs-Gemeinschaft Verpackung im RKW, Berlin
- [RKW81] Rationalisierungskuratorium der Deutschen Wirtschaft (RKW) (Hrsg.) (1981) RKW-Handbuch Logistik, Band 2. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [SCHE73] Scheffler M (1973) Einführung in die Fördertechnik. Technik-Tabellen-Verlag Fikentscher u. Co, Darmstadt
- [SCHE94] Scheffler M (1994) Grundlagen der Fördertechnik - Elemente und Triebwerke. Verlag Vieweg & Sohn, Wieboden
- [SCH98] Schönsleben P (1998) Integrales Logistikmanagement, Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen Band 12.
- [SCH04] Schlenkrich E (2004) Automatisierung im Tiefkuhl Lager. In: dhf, 12/2004, S. 10-13
- [SCHU93] Schulte J (1993) Praxis des Kommissionierens. Königsbrunner Seminare GmbH, Augsburg
- [SSRG71] Schweizerische Studiengesellschaft für rationellen Güterumschlag (Hrsg.) (1971) Empfehlung 231. Höhenmaße für Packstücke und Ladungen. Schweizerische Studiengesellschaft für rationellen Güterumschlag (SSRG), Bern
- [tHH06] ten Hompel M, Heidenblut V (2006) Taschenlexikon Logistik. Springer, Berlin, Heidelberg
- [tHS03] ten Hompel M, Schmidt T (2003) Warehouse Management. Springer, Berlin, Heidelberg
- [VDI 2198] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1994) VDI 2198 - Typenblätter für Flurförderzeuge. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 2319] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1971) VDI 2319 - Angetriebene Rollenbahnen. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 2326] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1979) VDI 2326 - Gurtförderer für Stückgut. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 2328] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1981) VDI 2328 - Kreisförderer. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 2332] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1976) VDI 2332 - Schleppkettenförderer. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 2334] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1988) VDI 2334 - Schleppkreisförderer. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 2345] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1987) VDI 2345 - Hängbahnen. Beuth Verlag, Berlin

- [VDI 2361a] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1993) VDI 2361 Blatt 1 - Regalförderzeug (regalabhängig). Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 2385] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1989) VDI 2385 - Leitfaden für die materialflüg gerechte Planung von Industrieanlagen. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 2391] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1982) VDI 2391 - Zeitrichtwerte für Arbeitsspiele und Grundbewegungen von Flurförderzeugen. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 2411] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1970) VDI 2411 - Begriffe und Erläuterungen im Förderwesen. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 2510] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1992) VDI 2510 - Fahrerlose Transportsysteme (FTS). Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 2686] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1993) VDI 2686 - Anforderungen der Lagertechnik an die Baukonstruktion. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 2697] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1972) VDI 2697 - Hochregalanlagen mit regalabhängigen Förderzeugen - Planungsstufen. VDI-Verlag, Düsseldorf 1972
- [VDI 2700] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1990) VDI 2700 - Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 3312] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (2003) VDI 3312 - Sortieren im Logistischen Prozess. Beuth-Verlag, Berlin
- [VDI 3561a] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1973) VDI 3561 - Testspiele zum Leistungsvergleich und zur Abnahme von Regalförderzeugen. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 3561b] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1995) VDI 3561 Blatt 2 Entwurf - Spielzeitermittlung von regalgangunabhängigen Regalbediengeräten. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 3561d] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1996) VDI 3561 Blatt 4 Entwurf - Spielzeitermittlung von automatischen Kanallager-Systemen. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 3564] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1996) VDI 35644 - Empfehlungen für Brandschutz in Hochregalanlagen. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 3577] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1995) VDI 3577 - Entwurf - Flurförderzeuge für die Regalbedienung - Beschreibung und Einsatzbedingungen. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 3578] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1996) VDI 3578 - Entwurf - Anbaugeräte für Gabelstapler (Lastaufnahmemittel). Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 3581] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (2004) VDI 3581 - Verfügbarkeit von Transport- und Lageranlagen sowie deren Teilsysteme und Elemente. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 3583] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1976) VDI 3583 - Übersichtsblätter Stetigförderer - Umlauf-S-Förderer. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 3586] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1996) VDI 3586 - Flurförderzeuge - Begriffe, Kurzzeichen. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 3590a] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1994) VDI 3590 Blatt 1 - Kommissioniersysteme - Grundlagen. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 3590b] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1976) VDI 3590 Blatt 2 - Kommissioniersysteme - Aufbau- und Ablauforganisation. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 3590c] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1977) VDI 3590 Blatt 3 - Kommissioniersysteme - Entscheidungsfindung. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 3598] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1974) VDI 3598 - Tragkettenförderer. VDI-Verlag, Düsseldorf 1974

- [VDI 3611] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1981) VDI 3611 - Staurollenförderer - Stauröllchenförderer - angetrieben, staudrucklos. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 3615] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1978) VDI 3615 - Hubgerüst-Konstruktionen (und Benennungen) für Gabelstapler. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 3627] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1985) VDI 3627 - Regalförderzeuge - Empfehlungen für den Angebotsvergleich. VDI Verlag, Düsseldorf
- [VDI 3633] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (2003) VDI 3633 Blatt 11 - Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen - Simulation und Visualisierung. VDI Verlag, Düsseldorf
- [VDI 3636] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1984) VDI 3636 - Hilfsmittel zur rationellen Lastenbewegung mit Flurförderzeugen. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 3643] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1994) VDI 3643 - Elektro-Hängebahn - Obenläufer, Traglastbereich 500 kg - Anforderungsprofil an ein kompatibles System. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 3649] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1992) VDI 3649 - Anwendung der Verfügbarkeitsrechnung für Förder- und Lagersysteme. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 3968] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1994) VDI 3986 Blatt 1-6 - Sicherung von Ladeeinheiten. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 4407] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1996) VDI 4407 - Entscheidungskriterien für die Auswahl mehrwegfähiger Ladungsträger in Form von Transportverpackungen. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 4420] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1996) VDI 4420 - Automatisches Be- und Entladen von Stückgütern auf Lastkraftwagen. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [VDI 4422] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1996) VDI 4422 Entwurf - Elektropalettenbahn. Beuth Verlag, Berlin
- [VDI 4480a] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1998) VDI 4480 Blatt1 - Durchsatz von automatischen Lagern mit gassengebundenen Regalbediengeräten. Beuth Verlag, Berlin
- [VÖGL93] Vögler H (1993) Steuerungsverfahren zur leitdrahtlosen Führung fahrerloser Transportfahrzeuge. Verlag Praxiswissen, Dortmund
- [WIE05] Wiesmann T. (2005) VDI-Berichte Nr. 1882, 14. Deutscher Materialflusskongress, Hochleistungsstückgutsortierung - Trends und Entwicklungen. VDI-Verlag, Düsseldorf
- [ZH 1/428] Berufsgenossenschaft der Banken, Versicherungen, Verwaltung, freier Berufe und besonderer Unternehmen (1978) ZH 1/428 - Richtlinien für Lagereinrichtungen und -geräte. Carl Heymanns Verlag, Köln
- [ZH 1/473] Berufsgenossenschaft der Banken, Versicherungen, Verwaltung, freier Berufe und besonderer Unternehmen (1972) ZH1/473 - Sicherheitsbestimmungen für Flurförderzeuge. Carl Heymanns Verlag, Köln
- [ZIEM73] Ziems D (1973) Probleme und Methoden der Projektierung von Fördersystemen. 2. und 3. Lehrbrief. VEB Verlag Technik, Berlin

# Index

- ‘6r’-Regel, 322
- ABC-Analyse, 340
  - Darstellung, 341
  - Vorgehensweise, 341
- Abzug
  - Gruppen-, 135
  - sequentiell, 134
- AGV, 196
- Anbaugeräte, 166
- Anfahrmaß, 190
- Anfahrmaß, 190
- Anschlagband, 292
- Arbeitsgangbreite, 95, 183
- Arbeitsspiel, 112, 155
- Auffahrsicherung, 206
- Auftragsgenerierung, 205
- Auftragskonsolidierung, 287
- Aufzug
  - Hydraulik-, 207
  - Ketten-, 207
  - Seil-, 207
- Ausführungsplanung, 355
- Ausfallsicherheit, 204
- AVF, 212
- Bahnbeschreibung, 199
- Banderolieren, 42
- Basiszeit, 263
- Batchkommissionierung, 264
- Bedarf
  - Flächen-, 318
  - Investitions-, 319
  - Personal-, 319
- Bedienraum, 125
- Bedientheorie, 359
- Behälter, 27
  - Roll-, 28
- Belegungsart, 234
- Bereitstellung
  - dezentral, 259
  - dynamisch, 259
  - statisch, 259
  - zentral, 259
- Beschaffungslogistik, 322
- Beständigkeit, 204
- Bodenlagerung, 61
- Bodentragslast, 95
- Brandabschnitte, 129
- Brandschutz, 100
- Bumper, 206
- Clustering, 107
- Container, 29
  - Binnen-, 31
  - Flach-, 26
  - Lower-Deck-, 33
  - Luftfracht-, 33
  - Main-Deck-, 33
- Corlette, 29
- Cross-Docking, 366
- Daten
  - dynamische, 337
  - statische, 337
- Destination Coded Vehicles, 195
- Distributionslogistik, 322, 361
- Doppelspiel, 190
- Doppelstocksorter, 238
- Dreharmwickler, 43
- Drehstapelbehälter, 19
- Duplexmast, 163
- Durchsatz, 129
- Durchsatzberechnung, 357
- EHB, 220
- Einschienen-Hängebahn, 220
- Einzelplatzbelegung, 234
- Elektro-Hängebahn, 220
- Elektrotragbahn, 194
- Elektrozug, 216
- Entsorgungslogistik, 322
- Eytelwein, 141

- Förderanlage, 120
- Förderer
  - Band-, 141
  - C-, 148
  - Gliederband-, 144
  - Gurt-, 141
  - Hubbalken-, 143
  - Kreis-, 150
  - Plattenband-, 144
  - Power-and-Free-, 152
  - Riemen-, 143
  - Rollenband-, 140
  - S-, 148, 150
  - Schleppkreis-, 152
  - Senkrecht-/Vertikal-, 209
  - Skid-, 147
  - Spiral-, 144
  - Stabketten-, 140
  - Stau-, 133
  - Stauband-, 143
  - Stauketten-, 140
  - Staurollen-, 133, 140
  - Stetig-, 122
  - teleskopierbarer Band-, 143
  - Tragketten-, 139
  - U-, 150
  - Unstetig-, 123
  - Unterflur-Schleppketten-, 129
- Förderer-Riemen-, 143
- Fördergutstrom, 120, 121
- Förderkette, 120
- Fördermittel, 119
  - aufgeständert, 125
  - flurfrei, 125
  - flurgebunden, 123
- Fördermittelauswahl, 223
- Fördern, 119
- Fördertechnik, 119
- fördertechnisches Prinzip: Transfer, 243
- Füll- und Polstermaterialien, 15
- Fachlast, 94
- Fahrerloses Transportsystem, 195
- Fahrzeugführung
  - Bildverarbeitungssystem, 203
  - Dead Reckoning, 200
  - induktiv, 201
  - Koppelnavigation, 200
  - Laser, 202
  - magnetisch, 201
  - Odometrie, 200
  - optisch, 201
  - Trägheitsnavigation, 202
- Fallrohr, 137
- Fehlerraten, 269
- Feinplanung, 352
- Feldlast, 94
- Festplatzlagerung, 105
- FIFO, 107
- Flat, 26
- Flexibilität, 204
- Flurförderzeug, 156
  - automatisch, 195
  - Fahrzeugführung, 199
  - Sicherheit, 206
  - Systemsteuerung, 204
- freie Belegung, 234
- Freie Lagerplatzvergabe, 106
- Freihub, 163
- Frikitionsrolle, 133, 247
- Gabel
  - Schwenkschub-, 175
  - Teleskop-, 175
- Gangabsicherung, 185
- Gassenwechselminimierung, 107
- Geschossbau, 90
- Greifzeit, 263
- Grenzleistung, 129
- Grenzleistungsrechnung, 358
- Grundmodul, 19
- Gruppenabzug, 135
- Gurtkurve, 143
- Gurttransfer: mitbewegt, 244
- Gurttransfer: stationär, 244
- Gutbeanspruchungen, 13
- Gyroskop, 202
- Handgabelhubwagen, 130
- Hebebühne, 299
- Hubbalkensystem, 191
- Hubgerüst, 163
  - Einfach-, 164
  - Zweifach-, 164
- Hubmast
  - Dreifach-, 165
  - Hubtisch, 299
  - Hubwagen
    - Gabel-, 160
    - Hochhub-, 168
    - Nieder-, 161
- Just-in-Time, 370
- Kanalfahrzeug, 70, 211
- Keilriemenantrieb, 132
- Kettenförderersystem, 145
- Kettentransfer, 245

- Kippschalensorter, 239
- Kleinladungsträger, 28
- KLT, 28
- Kommissionier-U, 271
- Kommissionierfahrzeug
  - Horizontal-, 169
  - Vertikal-, 170
- Kommissionierung, 251
  - Ablauforganisation, 263
  - auftragsparallel, 263
  - auftragsweise, 263
  - einfache, 263
  - einstufige, 264
  - inverse, 272
  - Organisation, 262, 265
  - Strategien, 265
  - zonenparallele, 264
  - zweistufige, 264
- Kommissionierzeit, 263
- Komplettverladung, 312, 314
- Kran
  - Brücken-, 215
  - Hänge-, 217
  - Portal-, 219
  - Stapel-, 218
- Kranbrücke, 216
- Krane
  - allgemein, 214
- Kugelbahn, 135
- Ladeeinheiten, 10
- Ladeeinheitsbildung, 8, 11, 23
- Ladeeinheitensicherungsmittel, 11
- Ladeflächenausrüstung, 314
- Ladegeschirr, 294
- Ladezone, 301
- Ladung, 10
- Ladungsträger, 10
- Lager
  - Boden-, 55
  - Bodenblock-, 62
  - Bodenzeilen-, 62
  - Flach-, 90
  - Hochregal-, 91
  - Karussel, 86
  - Kleinteile-, 67
  - Puffer-, 52
  - Regal, 55
  - Satelliten-, 70
  - Schmalgang-, 183
  - Tablar-, 67
  - Tiefkühl, 97
  - Verteil-, 52
  - Vorrats-, 52
- Lagerfüllgrad, 111
- Lagerfahrzeuge
  - autonom, 212
- Lagern, 49
- Lagerplatz, 110
- Lagerplatzkapazität, 110
- Lagerreichweite, 111
- Lagerung
  - doppeltief, 67
- Langgutkassetten, 29
- Lastübergabe, 187
- Lastaufnahmeeinrichtungen, 292
- Lastaufnahmemittel
  - Mehrfach-, 190
- Lastenheft, 353
- Lasthebemagneten, 292
- Laufkatze, 216
- Leitlinie, 199
  - physisch, 199
  - virtuell, 199
- LIFO, 107
- Liftsystem, 78
- Loose Fill, 17
- Luftvorhang, 311
- Man-Down-Gerät, 175
- Materialflussrechnung, 356
- Mehrwegsysteme, 20
- Mengenpassung, 107
- Modularisierung, 19
- nestbar, 19
- Nutzbremsung, 165
- Nutzhub, 165
- Nutzwertanalyse, 349
- Packgut, 9
- Packhilfsmittel, 9
- Packmittel, 9, 17
- Packmustergenerierung, 34
- Packstück, 9
- Packstoff, 9
- Palette, 24
  - Box-, 26
  - Chemie-, 24
  - Düsseldorfer, 24
  - Einweg-, 25
  - Euro-, 24
  - Luftfracht-, 25
  - Roll-, 25
  - Rungen-, 25
  - Vierwege-, 25
  - Zweiwege-, 25

- Palettierer, 35
- Palettierung, 34
- Parallelsorter, 238
- Pendelkompensation, 214
- Pendellastdämpfung, 214
- Person-zur-Ware, 259
- Pflichtenheft, 355
- Pick-to-Belt, 272
- Pickliste, 267
- Planung, 321
  - Arten, 332
  - Datenanalyse, 335
  - Definitionen, 328
  - Grundlagen, 321
  - Grundsätze, 323
  - Kosten, 335
  - Kriterien, 325
  - Probleme, 324
  - Restriktionen, 334
  - Stufenmodelle, 329
  - Systematik, 330
  - Ziele, 323
- Planungsbereitschaft
- permanente, 322
- Plattenbandförderer, 241
- Poolsysteme, 20
- Portalhubwagen, 180
- Positioniergenauigkeit, 204
- Primärhub, 177
- Produktionslogistik, 322
- Projekt
  - Definitionen, 328
- Projektmanagement, 355
- Prozesse
  - Darstellung, 344
  - Gestaltung, 344
  - Varianten, 343
- Prozessketten, 345
- Puffern, 120
- Put-to-Light, 272
- PzW, 259
- Quad-Sorter, 239
- Quelle, 119
- Quergurtsorter, 235
- Querverteilung, 106
- Quittierung, 268
- Röllchenbahn, 135
- Rampe, 305
- RBG, 186
- Reach-Stacker, 181
- Realisierung, 354
- Reckgrad, 43
- Regal
  - - Paletten-, 64
  - Behälter-, 67
  - Behälter-Umlauf-, 88
  - Durchlauf-/Einschub-, 81
  - Einfahr-/Durchfahr-, 69
  - Fachboden-, 63
  - Hoch-, 64
  - horizontaler Umlauf, 86
  - Kragarm-, 77
  - Paternoster-, 85
  - Schubladen-, 76
  - Turm-, 78
  - Verschiebe-, 88
  - vertikaler Umlauf, 85
  - Waben-, 77
  - Zeilen-, 63
- Regalbediengerät, 186
  - regalgangunabhängig, 192
- Restmengenbevorzugung, 107
- Roboter
  - Knickarm-, 37
  - Palettier-, 36
  - Portal-, 36
  - SCARA-, 37
- Rohrbahn, 213
- Rollenbahn, 131
  - Scheiben-, 135
  - Schwerkraft-, 135
  - Spurkranz-, 135
- Rollenhubtisch, 245
- Rollenkurven, 132
- Rollenleiste, 248
- Rollenteppich, 248
- Rollentransfer, 245
- Rutsche, 137
  - Wendel-, 137
- Säulenstapelung, 35
- Sankey-Diagramm, 343
- Satellitenfahrzeuge, 210
- Schalenteilung, 240
- Scherengreifen, 294
- Schiebeschuhe, 242
- Schiebeschuhsorter, 241
- Schlankheit, 93
- Schlepper, 157
- Schrumpfen, 40
- Schwenkrollensorter, 248
- Sekundärhub, 177
- Senke, 120
- Sensitivität, 204

- Sensitivitätsanalyse, 351
- sequentieller Abzug, 134
- Shuttle-Systeme, 75
- Silobauweise, 91
- Simulation, 353
  - Definitionen, 353
  - Einsatzkriterien, 354
- Sorter, 231
- Sortieranlage, 233
- Sortieren, 120
- Sortiersystem, 231
- Spielzeit, 123, 155
  - -berechnung, 191
  - -ermittlung, 157
- Spreader, 180, 296
- Standsicherheit, 92, 162
- Stapler, 161, 298
  - Anbaugeräte, 171
  - Dreiradbauweise, 162
  - Dreiseiten-, 175
  - Frontgabel-, 170
  - Gabel-, 170
  - Gegengewicht-, 170
  - Gelenk-, 182
  - Hochregal, 183
  - Hochregal-, 174
  - Kommissionier-, 177, 183
  - Portal-, 180, 299
  - Quergabel-, 180, 298
  - Radarm-, 172
  - Regal-, 174
  - Schmalgang, 183
  - Schubgabel-, 173
  - Schubmast-, 174
  - Schubrahmen-, 174
  - Seiten-, 180
  - Spreizen-, 172
  - Teleskop-, 181
  - Vierradbauweise, 162
  - Vierwege-, 179, 183
  - Zweiseiten-, 176
- Staplerleitsystem
  - automatisch, 168
- Stauförderrollen, 133
- Stetigförderer
  - allgemein, 127
- Straddle Carrier, 299
- Stretchen, 41
  - Hauben-, 42
  - Spiral-, 42
  - Vollbahn-, 42
  - Vorhang-, 42
- Stromstärke, 129
- Systembeispiel
  - Cross-Docking, 366
  - JIT-Montagewerk, 370
  - Warenverteilzentrum, 362
- Tablar, 67
- Teilverladung, 312
- Teleoperator, 301
- Teleskoplader, 181
- Terminieren, 121
- TEU, 30
- Tor, 309
  - Dreh-/Schwenk-, 309
  - Falt-, 310
  - Roll-, 310
  - Schiebe-, 310
  - Sektional-, 310
- Totzeit, 263
- Tragelement, 240
- Transport, 119
  - Transportverpackung, 11
  - Traverse, 295
  - Triplexmast, 163
  - Trolleybahn, 213
  - Trommelmotor, 132
  - TUL, 289
  - Twenty Feet Equivalent Unit, 30
- ULD, 33
- Umreifen, 39
- Umschlag, 289
- Umschlagen, 289
- Umschlaghäufigkeit, 111
- Umschlagsystem
  - automatisch, 314
  - Umsetzer, 192
- Umverpackung, 11
- Unstetigförderer
  - allgemein, 155
- Untergurtantrieb, 132
- Vakuumheber, 294
- Verbundstapelung, 34
- Verfahren
  - enumerierend, 108
  - kalkülbasierend, 108
  - zufallsgesteuert, 108
- Verkaufsverpackung, 11
- Verkehrslast, 95
- Verkehrslogistik, 322
- Verpacken, 7
- Verpackung, 9
- Verpackungsabfälle, 5
- Verpackungsmaschinen, 21

- Verpackungsverfahren, 8  
Verschiebewagen, 193  
Verteilen, 120  
Verteilförderer, 231  
Verteilfahrzeug, 70, 212  
Wandertisch, 145  
Ware-zur-Person, 259  
Warenverteilzentrum, 361  
Warteschlangentheorie, 359  
Wechselaufbauten, 32  
Wegzeit, 263  
WzP, 259  
XYZ-Analyse, 341  
Zeitrichtwerte, 157  
Zonung, 106