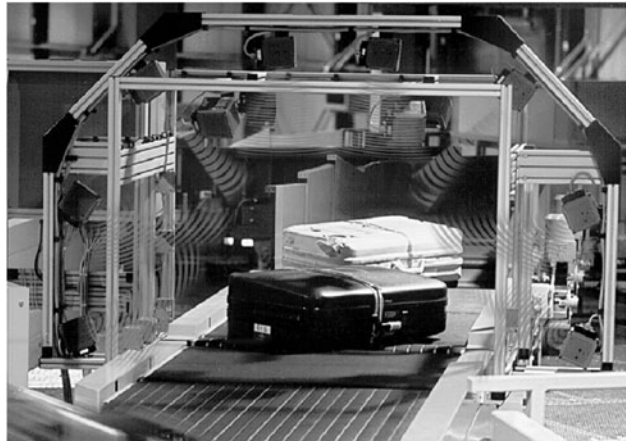


Abb. 2.8 Automatische Identifizierung



Zuordnungsregelung einer komplexen Strategie. Diese Zuordnungsstrategien werden in Abschn. 6.2.3 genauer betrachtet.

Nach der Identifizierung und Zuordnung muss gewährleistet werden, dass die Güter ihre Reihenfolge nicht mehr ändern, da nunmehr der Verteilförderer seine Aktorik lediglich zeitgesteuert betätigt. Vor der Einschleusung ist maximal lediglich eine Triggerung z. B. über eine Lichtschranke üblich, anschließend darf auch die Gutposition zum Fördermittel nicht mehr abweichen.

Alternativ kann die Identifizierung auch nach der Einschleusung auf dem Verteilförderer erfolgen. Hierzu muss zwischen dem Einschleus- und Endstellenbereich genügend Platz und Zeit vorhanden sein, um bereits in die erste Endstelle ausschleusen zu können.

2.4 Sortierung

Die Sortierung der Güter auf die Endstellen wird technisch durch den Sorter realisiert. Er besteht aus der Einschleusung, dem Verteilförderer und der Endstelle.

2.4.1 Einschleusung

Die Frage der Stückgutzuführung oder Einschleusung auf Stetigförderer ist nicht nur in der Sortierung, sondern generell in der gesamten Materialflusstechnik sehr komplex. Systeme unterschiedlicher Eigenschaften müssen miteinander verbunden werden und die Stückgüter mit minimalen Beanspruchungen und Übergabezeiten vom einen zum anderen System wechseln.

In der Einschleusung auf Sortern sind in der Regel Stetigförderer zu koppeln, die unterschiedliche Geschwindigkeiten und Geometrien an ihren Schnittstellen aufweisen. Stetigförderer für leichtes Stückgut erreichen typischerweise Fördergeschwindigkeiten von

einem Meter pro Sekunde, bei Verteilförderern werden Geschwindigkeiten zwischen 2 und 3,5 m/s erreicht.

Darüber hinaus kann nicht sichergestellt werden, dass jedes in der Einschleusung befindliche Stückgut sofort einen Platz auf dem Verteilförderer findet, da in der Regel verschiedene Einschleuseinrichtungen parallel arbeiten oder noch rezirkulierende Güter auf den Tragmitteln liegen. Die Sorter hingegen können ihre maximale Leistungsfähigkeit nur erreichen, wenn ihnen ein entsprechender Gutstrom zur Verfügung gestellt und jeder potenzielle Platz belegt wird. Hierdurch ergibt sich die Bedeutung der Einschleusung für den gesamten Sortiervorgang.

Während die eigentlichen Verteilförderer ein relativ hohes Entwicklungsniveau aufweisen, sind die Einschleuseinrichtungen häufig noch manuell ausgeführt, was in der oftmals komplexen Funktionsfolge begründet liegt. Die Güter sind nicht nur zu beschleunigen, sie müssen meist auch präzise an der richtigen Position und mit der richtigen Ausrichtung übergeben werden. Gleichzeitig sind die einwirkenden Kräfte zu minimal zu halten. Die Einschleusung ist weiterhin vom verwendeten Verteilförderer abhängig. Kippschalensorter, Schiebeschusorter, Fallklappensorter oder Drehsorter stellen gänzlich unterschiedliche Anforderungen an die Einschleusung.

Die Einschleusung lässt sich grob hinsichtlich ihrer Anordnung und ihres Automatisierungsgrades differenzieren.

2.4.1.1 Anordnungen der Einschleusung

In der Praxis werden derzeit drei Anordnungsvarianten für die Einschleusung eingesetzt. Die Auswahl wird weitestgehend durch den Verteilförderer vorgegeben.

- *Stirnseitig in Förderrichtung (Lineareinschleusung)*

Diese Einschleusung ist nur bei Verteilförderern in Linienstruktur (s. Abschn. 3.1) einsetzbar. Hierbei ist die Förderrichtung von Einschleusung und Sorter identisch. Diese Einschleusung ist relativ einfach zu realisieren, setzt jedoch eine entsprechende Vorverdichtung der Güter voraus, da sie meist die einzige Einschleusung ist und dementsprechend der Gutstrom für den Verteilförderer vollständig abgedeckt werden muss.

- *Vertikal in Förderrichtung (Vertikaleinschleusung)*

Die Förderrichtungen sind ebenfalls identisch, jedoch wird das Stückgut in einem spitzen Winkel von oben eingeschleust und bewegt sich den letzten Teil der Einschleusung im freien Fall entlang einer Wurfparabel. Der Abstand zwischen Unterkante der Einschleusung und Oberkante der Tragmittel stellt gleichzeitig die maximale Guthöhe dar. Dieses Verfahren ist nur bei besonderen Bedingungen zu empfehlen, da neben der begrenzten Guthöhe, der Gutbelastung durch den freien Fall auch die Gefahr des Kippens besteht.

- *Seitlich im spitzen Winkel zur Förderrichtung (Horizontaleinschleusung)*

Diese Einschleusung wird insbesondere bei Sortern in Ringstruktur (s. Abschn. 3.1) eingesetzt, bei denen eine stirnseitige Einschleusung nicht möglich ist. Sie ermöglicht auch bei hohen Geschwindigkeiten eine schonende Übergabe. Die Zuführgeschwindigkeit

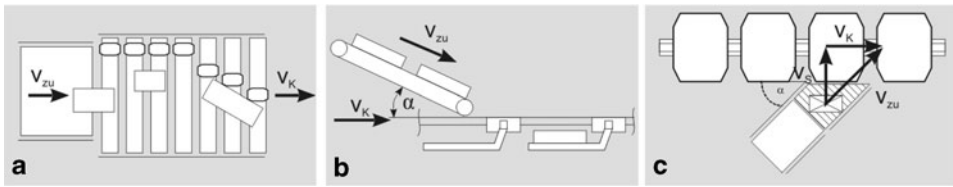


Abb. 2.9 Anordnungsvarianten der Einschleusung. **a** Linear, **b** Vertikal, **c** Horizontal

keit v_{zu} sollte so eingestellt sein, dass ihre in Förderrichtung weisende Komponente der Fördergeschwindigkeit v_k gleich ist (s. Abb. 2.9c).

Bei Einschleuswinkeln zwischen 20 und 45° ergeben sich bei einer Sortiergeschwindigkeit von beispielsweise 3,5 m/s Zuführgeschwindigkeiten zwischen knapp 4 und 7 m/s. Die Geschwindigkeitskomponente v_s senkrecht zur Förderrichtung erreicht Werte zwischen 1 und 3,5 m/s.

Die Einschleusung im spitzen Winkel erfordert besondere konstruktive Maßnahmen an der Übergabeschnittstelle. Wegen der hohen Genauigkeitsanforderungen bei der Übergabe kommen zunächst nur schlupffreie Förderer in Betracht. Schlupffreie Stetigförderer sind als Gurt- und Riemenförderer (Rundriemen und Flachriemen) aufgebaute Bandförderer. Die einzelnen, nebeneinander liegenden Riemen werden in gestufter Länge entsprechend des Übergabewinkels über die Förderbreite angeordnet und können so auch beliebig flächige Konturen, z. B. zur Anpassung an einen rotierenden Sorter, abbilden. Vorteil der Riemenförderer ist die geringe bewegte Masse, wodurch die Beschleunigungsfähigkeit unterstützt wird, nachteilig ist der hohe Aufwand für die einheitliche Spannung der Riemen, die zur gleichmäßigen Kraftübertragung notwendig ist. Daher sind für jeden Riemen eine eigene Spannstation und insgesamt eine aufwändige Justage notwendig. Für Fördergüter mit Schlaufen und Bändern besteht zudem die Gefahr des Verhakens in den Riemenzwischenräumen. Daher sollten diese abgedeckt werden. Flachriemenförderer werden bei schweren quaderförmigen Gütern eingesetzt, Rundriemenförderer eignen sich besonders für zylindrische Sortiergüter, die zwischen den Rundriemenprofilen besonders gut geführt werden. Als Alternative anstelle der Einzelriemen ist ein langer schraubenförmig über alle Riemenscheiben gewickelter Riemen zu verwenden. Hier ist nur eine Spannstation notwendig, da sich im Riemen eine weitestgehend gleichmäßige Spannung einstellt. Problematisch ist die komplizierte Wicklung der Riemen, die im Untertrum einen Schräganlauf und -ablauf der Rollen und eine Torsionsspannung im Riemen verursacht, weshalb diese Alternative nur für Rundriemen geeignet erscheint. Der Riemen in Abb. 2.10a ist als Endlosriemen gewickelt.

Die Weiterentwicklung der Gurtmaterialien ermöglicht es auch, Gurtförderer mit abgewinkelter Übergabe zu realisieren. Beim Schräggurtförderer in Abb. 2.10c wird der Gurt an der Übergabe über eine starre, hartverchromte und geschliffene Schrägumlenkung geführt. Anschließend durchläuft er eine zusätzliche Gurtumlenkung und wird im Untertrum über eine zweite Schrägumlenkung zur Antriebsstation geführt.

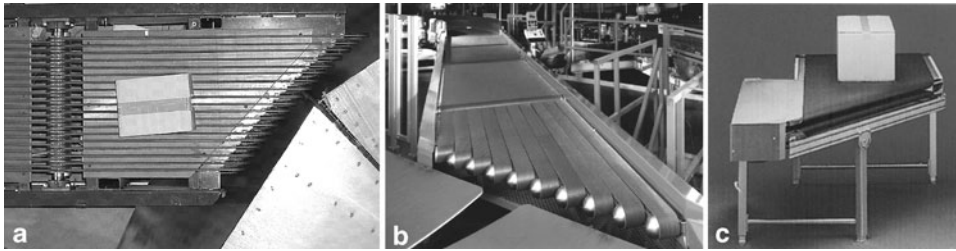


Abb. 2.10 Übergabeförderer. **a** Rundriemen, **b** Flachriemen, **c** Schräggurt

Mit diesem Förderer können auch kleine, von der Form her problematische Güter mit minimalem Übergabeabstand bei Geschwindigkeiten von bis zu 2,3 m/s funktionssicher übergeben werden [Tra04].

2.4.1.2 Automatisierungsgrad der Einschleusung

Die Gutzuführung ist ein komplexer Prozess, der anfänglich durchgängig manuell durchgeführt wurde. Erst mit leistungsfähiger Steuerungs-, Sensor- und Fördertechnik wurde eine Automatisierung möglich. Generell lassen sich drei Automatisierungsstufen in der Einschleusung unterscheiden, die zusätzlich in Abb. 2.11 dargestellt sind:

- manuell,
- teilautomatisiert und
- vollautomatisiert.

Bei der *manuellen* Einschleusung belädt ein Mitarbeiter den Sorter direkt von Hand mit dem Sortiergut. Dieser Vorgang, läuft zwar relativ langsam ab, beinhaltet jedoch eine sehr komplexe Funktionsfolge.

Der Mitarbeiter muss das nächste einzuschleusende Sortiergut entweder auf einer Palette, einem Förderer oder in einem Behälter lokalisieren. Anschließend soll er es passend ausrichten, ihm einen freien Platz auf dem Sorter zuordnen und durch eine Beschleunigung in Richtung der Sorterförderrichtung mit dieser synchronisieren und auf den Sorter übergeben. Die Identifizierung erfolgt entweder automatisch auf dem Sorter oder ebenfalls manuell durch den Mitarbeiter.

Den Vorteilen der geringen Investitionskosten stehen Nachteile, wie geringe und von der Mitarbeiterkonstitution abhängige Leistung, ungünstige Arbeitsplatzergonomie durch die Geräusche des Sorters und hohes Gefährdungspotenzial durch die unmittelbare Nähe zu den schnell bewegten Elementen gegenüber. Die mentale Belastung durch die feste Bindung an den „Sortertakt“ und die Aufgabe, das Gut auf einen schnell bewegten freien Platz zu übergeben, ist ebenfalls nachteilig für den Mitarbeiter und beeinflusst auf Dauer seine Einschleusleistung.

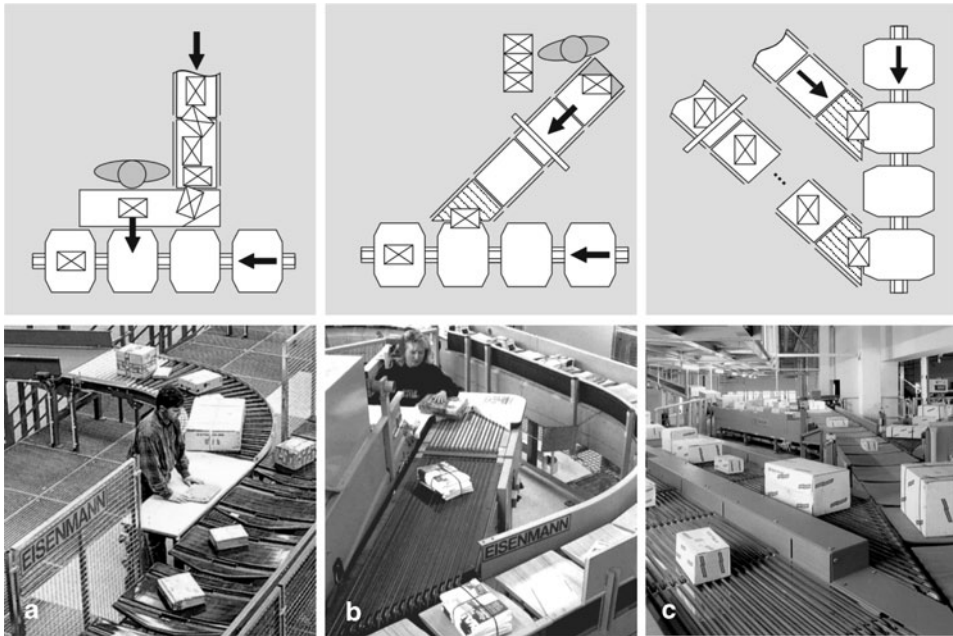


Abb. 2.11 Einschleusverfahren. **a** Manuell, **b** Teilautomatisiert, **c** Automatisiert

Die erzielbaren Leistungen sind sehr stark vom geforderten Funktionsumfang abhängig. Bei komplexem Funktionsumfang mit Identifizierung, Ausrichtung und Positionierung sind kaum mehr als 500 Teile/h erreichbar. Als Höchstleistungen wurden auch schon 3.500 Teile/h, allerdings unter Laborbedingungen genannt, wobei diese Leistung nur kurzfristig und für kleine Gewichte erzielbar ist [Föl03, S. 63].

Die *teilautomatische* Einschleusung ist ein Kompromiss, der die jeweiligen Vorteile des automatischen und des manuellen Verfahrens nutzt, aber einige Nachteile umgeht. Das Sortiergut wird manuell auf einen Förderer übergeben, der dieses dann dem Sorter automatisiert übergibt. Die technisch aufwändigen Funktionen werden weiterhin manuell ausgeführt, wodurch die Investitionskosten im Vergleich zu vollautomatischen Systemen erheblich sinken.

Der Mitarbeiter ist jedoch räumlich vom Sorter entfernt und zeitlich von diesem entkoppelt, was den ergonomischen Aspekten des Arbeitsplatzes zugutekommt.

Werden mehrere teilautomatische Zuführstationen parallel betrieben, lassen sich hohe Systemleistungen erreichen sowie Durchsatzschwankungen ausgleichen. Wird die Einschleusung direkt mit der zufördernden Fördertechnik verbunden und sind alle Funktionen automatisiert, liegt eine *automatische* Einschleusung vor.

Die vollständige Automatisierung der Funktionen sowie die Synchronisation der Zufördertechnik mit dem schnellen Sorter stellen hohe Anforderungen an die Systemtechnik. Hierin begründen sich höhere Investitionskosten sowie ein höherer Platzbedarf als bei manuellen und teilautomatischen Systemen. In den automatischen Einschleusungen werden drei verschiedene Förderbereiche unterschieden:

- Die Takt- oder Pufferbänder übernehmen die vereinzelt und identifizierten Güter aus dem Vorbereitungsbereich.
- Das Beschleunigungsband oder die Beschleunigungsbänder beschleunigen die Güter auf die Übergabegeschwindigkeit. Für einen kontrollierten Einschleusprozess sind die Schlupf- und Kippbedingungen einzuhalten (s. Abschn. 5.3).
- Die Übergabeförderer laufen kontinuierlich mit Übergabegeschwindigkeit und dienen der Anpassung an die Sorterform (s. Abb. 2.10).

Es kommen zwei Verfahren zum Einsatz, die Stop-and-Go-Einschleusung und die Durchlauf einschleusung.

Bei der *Stop-and-Go-Einschleusung* warten die vereinzelt Artikel vor dem Beschleunigungsband, bis eine freie Sorterposition gefunden ist und werden dann eingeschleust (vgl. Straßenverkehr: Verhalten am Stoppschild). Hierzu wird das Fördergut zunächst aus dem Pufferband auf die Beschleunigungsstrecke getaktet. Sobald das zugewiesene Tragmittel eine bestimmte Position erreicht wird das Sortiergut auf kurzem Weg auf die Geschwindigkeit des Verteilförderers beschleunigt und eingeschleust.

Eine Variante der Stop-and-Go-Einschleusung ist die Buseinschleusung. Die Buseinschleusung erlaubt es bei Sortern mit Einzelplatzbelegung mehrere aufeinander folgende Plätze zu belegen. Hierzu müssen mehrere Pufferbänder hintereinander angeordnet werden oder die Sortiergüter im richtigen Abstand zueinander auf dem Pufferband liegen. So können gleich mehrere Güter hintereinander über das Beschleunigungsband auf den Sorter übergeben werden.

Bei der *Durchlauf einschleusung* wird durch mehrere, einzeln regelbare Förderer das betreffende Gut auf die Geschwindigkeit der Sortierstrecke gebracht, ohne selbst oder den nachfolgenden Förderstrom anzuhalten (vgl. Straßenverkehr: Verhalten an einer Autobahnauffahrt). Mittels eines Sensors (z. B. Lichtschranke) wird die Position des Sortierguts erfasst. In Abhängigkeit von der vorgesehen Position auf dem Sorter wird die Gutposition anschließend über den regelbaren Antrieb des Förderers korrigiert. Durch den mehrteiligen Aufbau der Förderstrecke mit bis zu zehn geregelten Einzelförderern lassen sich entsprechend kurze Fördergutabstände umsetzen und die Durchsatzleistung erhöhen.

In beiden Verfahren reicht die Leistung einer einzelnen Einschleuslinie nicht aus, um einen Hochleistungssorter zu bedienen. Laut VDI-Richtlinie 3312 sind mindestens zwei Durch Lauf einschleuslinien oder vier bis fünf Stop-and-go-Einschleuslinien erforderlich [VDI3312, S. 8–9]. Diese Einschleuslinien können nicht unabhängig voneinander arbeiten, sondern unterliegen einer gegenseitigen Beeinflussung.

Über einen Platz, der bereits für eine Einschleusung reserviert wurde, kann eine weitere Einschleuslinie nicht verfügen. Damit nicht nur die an erster Position liegende Einschleusung die zur Verfügung stehenden Plätze belegt, sind hier entsprechende Strategien in der Steuerung zu hinterlegen. Die Strategien sind ebenfalls in Abschn. 6.2 dargestellt.

Tabelle 2.1 zeigt typische Merkmale von Förderern im Einschleusbereich auf. Die Basisfördermittel sind demnach für verschiedene Funktionen einsetzbar, insbesondere die Bandförderer (Riemen, Gurt, ...) haben einen sehr breiten Einsatzbereich. Der Richtungs-

Tab. 2.1 Merkmale technischer Gewerke im Einschleusbereich. [Hir04, S. 43]

Merkmale technischer Gewerke im Einschleusbereich				
Funktion	Basisfördermittel	Richtungswechsel des Fördergutes	Maximale Leistung in Stück/h	Erforderlicher Gutabstand
Übergeben	Bandriemenförderer	längs - längs diagonal - längs	< 6 000	groß
	Rundriemenförderer	längs - längs diagonal - längs	< 6 000	groß
	Gurtförderer	längs - längs diagonal - längs	< 15 000	groß
	Schräggurtförderer*	diagonal - längs	< 3 000	groß
Zusammenführen/ Verdichten	Gurtförderer (Mergestation)	längs - längs	< 6 000	klein
	Gurtförderer**	diagonal - längs	3 000 - 6 000	mittel
	Schwenkrollenförderer (Hochleistungsweiche)	längs - längs	< 6 000	mittel
	Gurtförderer (Vertikalweiche)	längs - längs	3 000 - 4 000	mittel
Ausrichten	Schräggrollenförderer (Ausrichtstation)	längs - längs	< 6 000	klein
	Gurtförderer** (Orientierungsübergabe)	diagonal - längs	3 000 - 6 000	klein

Fördergut: Größe 200 x 300 mm, max. Gewicht 30 kg

* Je nach Belastungsfall und Einsatzdauer sind geringere Leistungen möglich

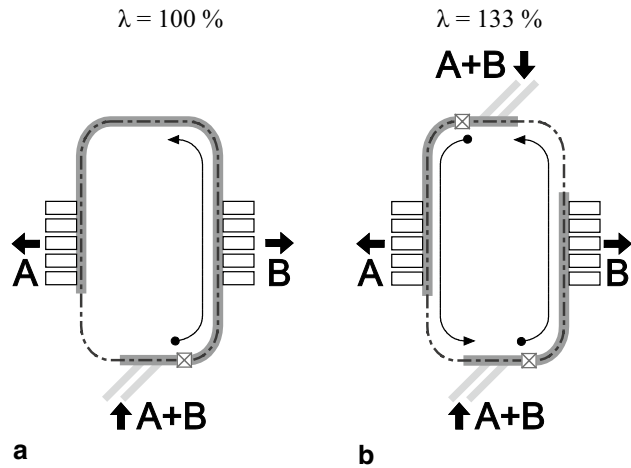
** Weiterhin sind die unter der Funktion „Übergeben“ aufgeführten Förderer einsetzbar

wechsel bezieht sich hauptsächlich auf den Einschleuswinkel, der, wie bereits ausgeführt, linear oder in einem Winkel unterhalb 45° erfolgt. Der erforderliche Gutabstand ist von weiteren Parametern abhängig und kann daher hier nur grob unterschieden werden.

Hirschmüller führt zu den angegebenen Leistungsgrenzen aus, dass sie weniger durch die eingesetzten Fördertechniken, als vielmehr durch verschiedene Randbedingungen wie

- Belegungsgrad,
- Belegungsstrategie,
- Anförderleistung,

Abb. 2.12 Systemdurchsatz in Abhängigkeit der Einschleusung. **a** Eineinschleusung, **b** Doppelseinschleusung



- Guteigenschaft und
- Steuerung.

festgelegt werden [Hir04, S. 42–43].

2.4.1.3 Mehrere Einschleusbereiche

Die bisherigen Betrachtungen gingen von einem Einschleusbereich mit einer oder mehreren Einschleuslinien aus. Zur Erhöhung des Durchsatzes können allerdings auch mehrere Bereiche realisiert werden. Typischerweise werden maximal zwei Einschleusbereiche in diagonalen Anordnung realisiert. Der Vorteil ergibt sich durch die Möglichkeit, einen Platz auf dem Sorter während eines Umlaufs mehrfach zu belegen, sofern das Sortiergut vor dem Erreichen des nächsten Einschleusbereiches ausgeschleust wurde.

Die Skizzen in Abb. 2.12 zeigen mögliche Varianten der Einschleusung und den theoretisch erzielbaren Leistungszuwachs der Doppelseinschleusung. Werden zwei unabhängige Einschleusbereiche installiert, bedeutet dieses noch keine Verdoppelung der Systemleistung. Die maximale Leistung ist von den Ausschleus- oder Durchschleusgraden abhängig. Können als erste grobe Annahme im Mittel 50 % der Sortiergüter jeweils vor dem anderen Einschleusbereich ausgeschleust werden, erhält man lediglich eine Leistungssteigerung von 33 %. Der Faktor der im jeweiligen Einschleusbereich ausgeschleusten Güter ist der Durchschleusgrad DG und beträgt hier 0,5.

Folgende Überlegung in Verbindung mit einer Betrachtung von Abb. 2.13b ermöglicht die Berechnung des Leistungsgewinns für beliebige Kombinationen an Durchschleusgraden:

- Jeder Einschleusbereich E_1 und E_2 sei in der Lage, genau jede vorbeifahrende Position des Verteilförderers zu belegen.
- Der Durchschleusgrad DG_a gibt die vom Einschleusbereich E_1 eingeschleusten Güter an, die erst hinter E_2 , also im Ausschleusbereich B , ausgeschleust werden können. Ein

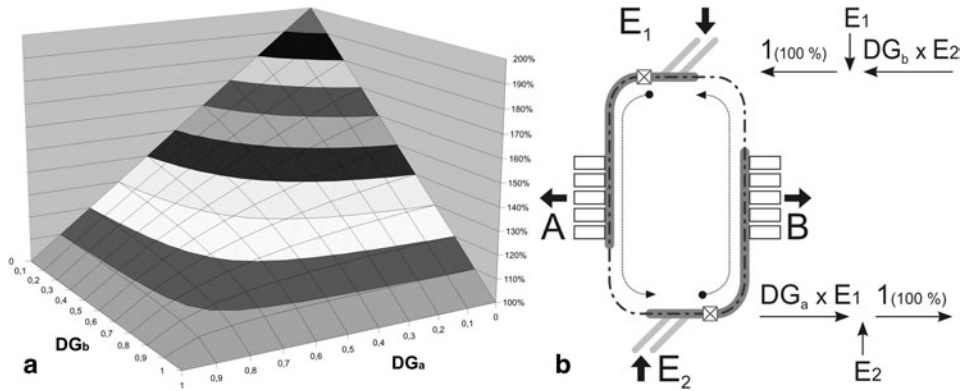


Abb. 2.13 Leistungssteigerung durch einen zweiten Einschleusbereich. **a** Leistungskennfeld, **b** Situation an den Einschleusungen

Durchschleusgrad von 0 besagt, dass alle bei E_1 eingeschleusten Güter vor E_2 wieder ausgeschleust wurden. Der Durchschleusgrad von 1 bedeutet, dass alle Güter erst hinter E_2 ausgeschleust werden können, so dass an E_2 keine freien Plätze für zusätzliche Einschleusungen vorhanden sind.

- Der Durchschleusgrad DG_b gibt die vom Einschleusbereich E_2 eingeschleusten Güter an, die erst hinter E_1 , also im Ausschleusbereich A, ausgeschleust werden können.

Die maximale Einschleusleistung liegt, sofern die Güter jeweils vor der nächsten Einschleusung ausgeschleust wurden, bei 200 %. Für den theoretischen Fall, dass alle Sortiergüter einer Einschleusung erst hinter der nächsten Einschleusung ausgeschleust werden, liegt die Leistung bei 100 %, da die zweite Einschleusung keine freien Positionen auf dem Verteilförderer vorfindet. Zwischen diesen beiden Extremen kann sich der Leistungsgewinn durch einen zweiten Einschleusbereich bewegen.

Hieraus kann man die folgenden Zusammenhänge herleiten.

$$DG_a \cdot E_1 + E_2 = 1 \rightarrow E_2 = 1 - DG_a \cdot E_1 \quad (2.1)$$

$$DG_b \cdot E_2 + E_1 = 1 \rightarrow E_1 = 1 - DG_b \cdot E_2 \quad (2.2)$$

Gleichung 2.2 in Gl. (2.1) einsetzen

$$E_2 = 1 - DG_a \cdot (1 - DG_b \cdot E_2) \rightarrow E_2 = \frac{1 - DG_a}{1 - DG_a \cdot DG_b} \quad (2.3)$$

Für E_1 ergibt sich

$$E_1 = 1 - DG_b \cdot \left(\frac{1 - DG_a}{1 - DG_a \cdot DG_b} \right) \quad (2.4)$$

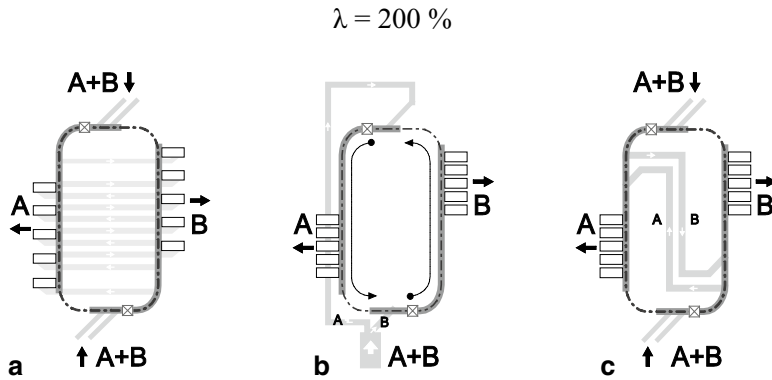


Abb. 2.14 Anlagenkonzepte zur Verdopplung des Durchsatzes. **a** doppelte Ausschleusungen, **b** A/B Vorsortierung, **c** Bypass-Strecken

Die erreichbare Gesamtleistung ergibt sich aus der Summe von E_1 und E_2 .

$$\lambda_{\max} = \lambda \cdot \left[1 - (DG_b + 1) \cdot \left(\frac{1 - DG_a}{1 - DG_a \cdot DG_b} \right) \right] \quad (2.5)$$

Mit der Einführung des Einschleusungsfaktors f_E

$$f_E = \left[1 - (DG_b + 1) \cdot \left(\frac{1 - DG_a}{1 - DG_a \cdot DG_b} \right) \right] \quad (2.6)$$

ergibt sich die Gesamtleistung zu

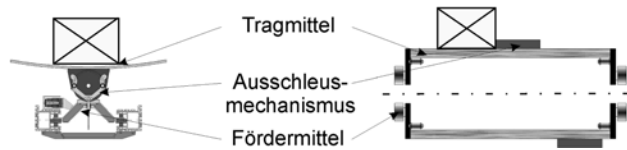
$$\lambda_{\max} = \lambda \cdot f_E [\text{Stück/h}] \quad (2.7)$$

Hieraus lässt sich das in Abb. 2.13a gezeigte Leistungskennfeld herleiten. Aus diesem Kennfeld kann man für beliebige Kombinationen die erreichbare Einschleusleistung zwischen 100 und 200 % ablesen. Man erkennt: je mehr Güter direkt nach ihrer Einschleusung ihre Zielstelle erreichen, desto höher wird der Leistungszuwachs.

Aus dieser Erkenntnis heraus werden Maßnahmen interessant, die Sortiergüter den Einschleusungen oder den Ausschleusbereichen gezielt zuzusteuern. Hierzu existieren verschiedene Möglichkeiten unterschiedlichen Aufwands, die in Abb. 2.14 gegenübergestellt werden.

Bei der doppelten Ausschleusung (Abb. 2.14a) sind alle Endstellen entweder direkt vom Sorterkreislauf oder über einen Querförderer aus dem anderen Ausschleusbereich erreichbar. So können alle Güter in jedem Ausschleusbereich (A oder B) ausgeschleust werden und die Gesamtleistung steigt auf 200 % (allerdings bei hohem förderer-technischen Zusatzaufwand, der mit der Endstellenzahl steigt).

Abb. 2.15 Grundelemente eines Verteilförderers



Weniger aufwändig ist eine Vorsortierung, bei der die Güter über einen Vorsorter direkt dem richtigen Endstellenbereich zugeordnet werden. Der Vorsorter bildet hier aber in Bezug auf Verfügbarkeit und Leistung einen kritischen Engpass, so dass die Bypass-Lösung nach Abb. 2.14c mit internen Förderstrecken flexibler und funktionssicherer erscheint. Bei derartigen Lösungen ist jedoch zu berücksichtigen, dass unter Umständen 50 % des Sorterdurchsatzes über die Bypass-Strecke laufen muss. Daher ist sie entsprechend zu dimensionieren oder doppelt auszuführen.

2.4.2 Verteilen

Die Funktion des Verteilens wird durch den Verteilförderer realisiert, der das eigentliche Kernelement des Sortiersystems darstellt. Die wesentlichen Merkmale und Eigenschaften sowie die Bezeichnung des Gesamtsystems werden durch die Gestaltung und Konstruktion des Verteilförderers geprägt. Wie in Kap. 3 gezeigt wird, wurden entsprechend den unterschiedlichen Anforderungen sehr verschiedene technische Lösungen entwickelt. Dennoch kann ein prinzipieller Aufbau aus Grundelementen der Verteilförderer festgemacht werden, der bei den verschiedenen Realisierungen wiederkehrt.

In Abb. 2.15 ist links ein Verteilförderer mit diskreter Belegung und rechts mit kontinuierlicher Belegung dargestellt (Zu den Belegungsarten s. Kap. 3). Die Bewegungsfähigkeit erhalten beide durch das Zugmittel. Die Belegung des Traggittels erfolgt dementsprechend kontinuierlich oder (bei der Einzelplatzbelegung) diskret.

Die Aktorik zur Ausschleusung kann alternativ auch an der Endstelle fest installiert sein. Sie gehört jedoch systemtechnisch zum Verteilförderer.

Die drei Grundelemente

- Fördermittel,
- Traggittel und
- Ausschleusmechanismus.

finden sich in allen Verteilförderern wieder, wobei sie dann spezielle Ausprägungen annehmen können.

Eine systematische Darstellung und Beschreibung der auf diesen Grundelementen aufbauenden technischen Lösungen der Verteilförderer ist in Kap. 3 vorhanden.

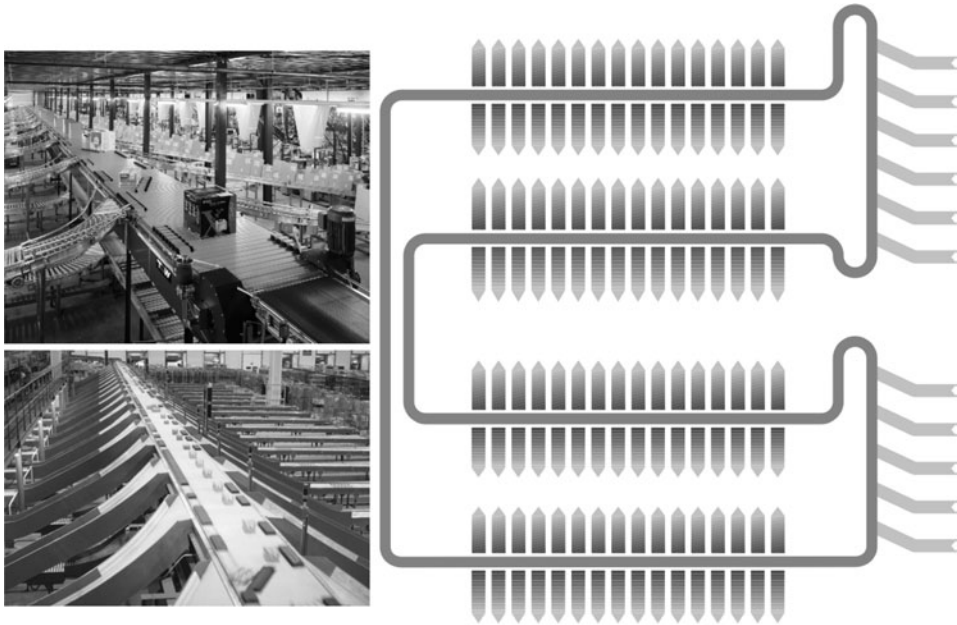


Abb. 2.16 Sorter mit hoher Endstellendichte

2.4.3 Endstellen

Je nach Sortiersystem können die Endstellen 50 % des Gesamtinvestments in die Mechanik und 60–70 % des Flächenverbrauchs ausmachen wie es Abb. 2.16 eindrucksvoll darstellt. Weiterhin haben die Endstellen und ihre Gestaltung einen wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems.

Daher ist bereits bei der Planung eines Sortiersystems ein besonderes Augenmerk auf die Gestaltung der Endstellen zu legen. Trotz vieler standardisierter Elemente sind die Endstellen in der Regel individuell dem Gutspektrum und den Platzverhältnissen angepasste Lösungen, die durch den Hersteller in Zusammenarbeit mit dem Betreiber und/oder dem Anlagenplaner entwickelt, konstruiert und nach einer Erprobung realisiert werden.

Für die Größe und Anzahl der Endstellen ist die jeweilige *Sortieraufgabe* maßgeblich. Dabei hängt das Fassungsvermögen der Endstellen im Wesentlichen von der Auftragsstruktur und den Artikelabmessungen ab. Die Anzahl der Endstellen ergibt sich darüber hinaus aus der vorgegebenen Systemleistung und der verwendeten Steuerungsstrategie.

Viele Aufträge mit geringen Auftragsmengen erfordern eine große Zahl an Endstellen. Beispiele findet man in Logistikzentren, in denen durch die Bündelung viele Aufträge mit wenigen Positionen und Entnahmemengen entstehen. In Kombination mit einer davor befindlichen ersten Kommissionierstufe werden in solchen Systemen täglich über 100.000 Aufträge mit im Durchschnitt ein bis vier Artikeln sortiert.

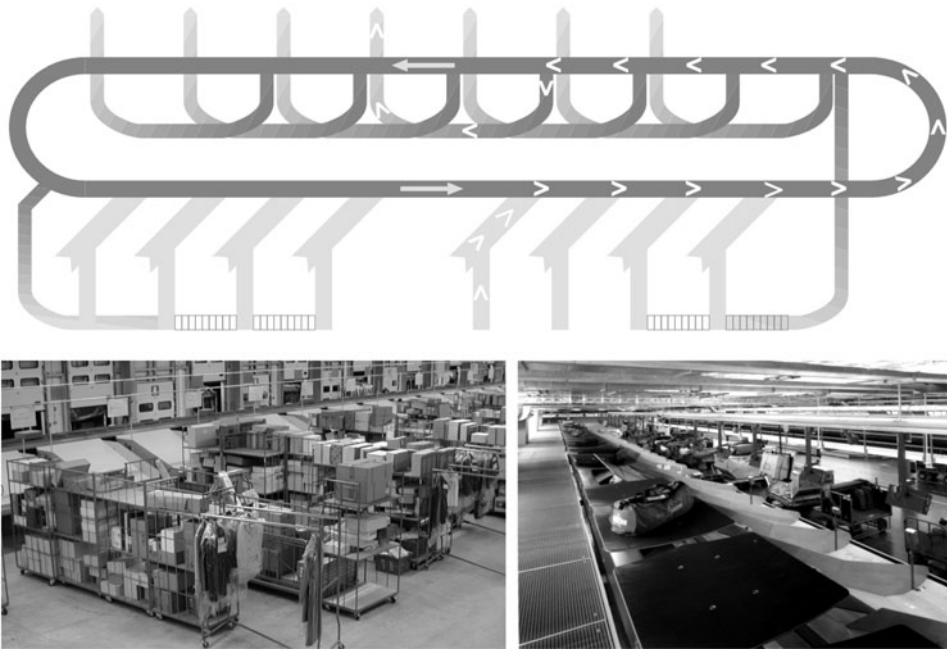


Abb. 2.17 Sorter mit geringer Endstellendichte

In anderen Sortiersystemen werden weniger Endstellen benötigt, dafür sind zusätzliche Funktionen notwendig, die ihrerseits Platz und weitere Technik benötigen. Beispiele hierfür sind Gepäckförder- und -sortieranlagen in Flughäfen, bei denen die Endstellen zu Gepäckbändern mit manueller Entnahme werden oder Versandsorter, an deren Endstellen Touren bereitgestellt oder Fahrzeuge beladen werden (Abb. 2.17).

Bei den Kurier-, Express- und Paketdiensten ist die Endstellenzahl durch die Fahrziele der Verteilfahrzeuge begrenzt, die sich in jeweils wenige Nah-, Fern- und Exportrelationen aufteilen. Das Gleiche gilt für kleinere Waren- und Versandhäuser, die nur auf wenige Ausliefertouren sortieren müssen.

2.4.3.1 Aufgabe und Aufbau der Endstellen

Die VDI-Richtlinie 3312 definiert vier wesentliche Aufgaben, die für die Ausführung der Endstelle maßgebend sind:

- die schonende und zuverlässige Abförderung des Sortiergutes vom Sorter,
- die manuelle Entnahme der Sortiergüter aus dem Sortierprozess,
- die automatische Übergabe an weiterführende Förder- oder Verarbeitungsprozesse und
- das Aufspeichern des Sortiergutes [VDI3312].

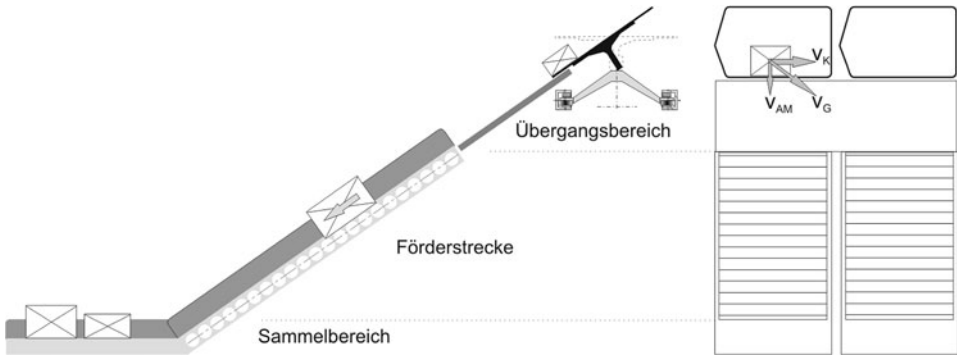


Abb. 2.18 Prinzipieller Aufbau einer Endstelle

Hierbei kommt zur zuverlässigen Abförderung noch ein Sicherheitsaspekt hinzu, da eine Fehlfunktion durch Rückstaubildung zu nachhaltigen Störungen und Beschädigungen des Verteilförderers führen kann.

Die Beherrschung des Ausschleusvorgangs in die Endstelle ist darüber hinaus auch für die Optimierung und Leistungssteigerung des Gesamtsystems von großer Bedeutung. Droste hat die Bewegungsverläufe der Ausschleusung vom Kippschalensorter untersucht [Dro95], Böcker hat sich auf die Bahnkurven auf der Sorterrutsche konzentriert [Böc96], Schmidt auf die rotierenden Schalen des Drehsorters [Sch00].

Allen Ausschleusprinzipien gemein ist die Überlagerung mehrerer Geschwindigkeitsvektoren (s. Abb. 2.18). Der Geschwindigkeitsvektor des Gutes v_G zum Ausschleusbeginn setzt sich aus der Fördergeschwindigkeit des Verteilförderers v_K , sowie der Geschwindigkeit des Ausschleusmechanismus (Gurt, Pusher, ...) v_{AM} zusammen. Die resultierende Austrittsgeschwindigkeit ist in jedem Fall höher, als die Geschwindigkeit des Verteilförderers und bewirkt eine Bewegungsänderung des Sortiergutes. Die sich ergebende Bahnkurve ist parabelförmig. Die Form der Parabel hat Auswirkungen auf die Gestaltung der Endstelle. Demzufolge wird man versuchen, die Parabelform hinsichtlich einer optimalen Endstelle zu beeinflussen. Hierzu sind weitere wissenschaftliche Untersuchungen notwendig, die zum Ziel haben, die Kinematik des kompletten Bewegungsablaufs unter verschiedenen Parametern zu analysieren und so zu verlässlichen Prognosen hinsichtlich der Bewegungsbahnen in der Endstelle und dadurch zu kompakteren Bauformen zu kommen [HoJ04a; HoJ04b].

Eine weitere Maßnahme zur Platzeinsparung und besseren Auslastung der Endstellen ist deren Unterteilung in verschiedene Zielstellen. Wie in Kap. 4.5 in ihrer technischen Ausführung dargestellt, können Klappen und Weichen mehrere übereinander- und nebeneinander liegende Zielstellen die Anzahl der gleichzeitigen Aufträge pro Zielstelle vervierfachen.

Die Endstelle verbindet die automatisierte und schnell bewegte Verteiltechnik mit den zumeist manuellen Packplätzen oder der angeschlossenen Fördertechnik. Sie lässt sich funktional als eigenständiges Fördermittel betrachten, welches seinerseits wieder aus einzelnen Funktionsbereichen mit speziellen Anforderungen und Aufgaben besteht. Entsprechend Abb. 2.18 lassen sich drei Bereiche unterscheiden:

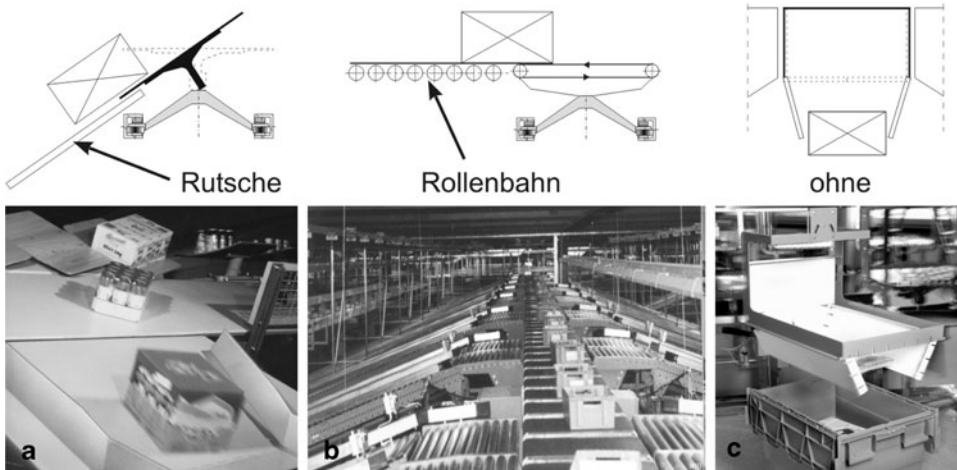


Abb. 2.19 Ausschleusung. **a** Kippschalen-, **b** Quergurt- und **c** Fallklappensortier

- der Übergangsbereich,
- die Förderstrecke und
- der Sammelbereich.

Der *Übergangsbereich* stellt die Schnittstelle zum Verteilförderer dar und ist demzufolge daran anzupassen. Aus Sicherheitsgründen ist dieser Bereich meist nicht entsprechend der Endstellenteilung segmentiert. Hierdurch sollen Verklemmungen zwischen bewegten Elementen des Verteilförderers und festen Anlagenkomponenten durch Rückstau oder nicht vollständig übergebene Sortiergüter vermieden werden.

Es lassen sich prinzipiell die drei in Abb. 2.19 gezeigten Bauformen des Übergangs in Abhängigkeit des Verteilförderers unterscheiden.

Beim Kippschalensortier wird das Gut durch seitliches Abkippen in Richtung Endstelle beschleunigt und zum Rutschen gebracht, um mit einem definierten Höhenunterschied auf den ähnlich geneigten Übergang zu gleiten. Quergurttörderer beschleunigen das Sortiergut auf Ausschleusgeschwindigkeit und können es nahezu waagrecht übergeben, trotzdem werden auch bei Quergurtsortern Rutschen als Übergang eingesetzt.

Der Fallklappensortier benötigt keinen Übergangsbereich, das Gut gelangt durch den freien Fall direkt in den Sammelbereich. Teilweise werden jedoch Leitelemente als Führungshilfen verwendet, die prinzipiell ebenfalls als Übergang bezeichnet werden könnten.

Die *Förderstrecke* der Endstelle soll zunächst Höhen- und Ortsunterschiede zwischen Verteilförderer und der Sammelbereich überbrücken. Sie muss auf der einen Seite ein schnelles und sicheres Abfordern der Güter aus dem Übergangsbereich gewährleisten und auf der anderen Seite deren schonenden Transport mit einer möglichst geringen Endgeschwindigkeit in den Sammelbereich ermöglichen. Die Förderstrecke dient ebenfalls als Puffer für Spitzenbelastungen. Basierend auf einer Systematik von Böcker, welche die ge-

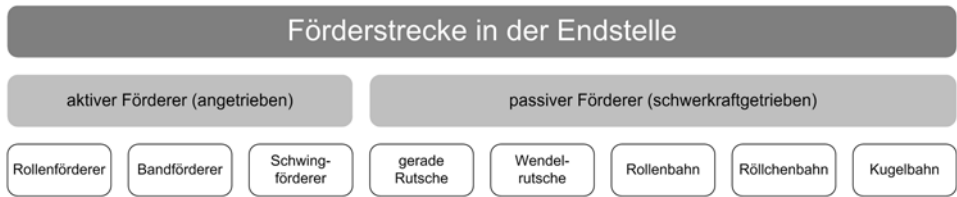


Abb. 2.20 Systematik der Endstellenförderstrecken

samte Endstelle umfasst [Böc96, S. 3], können für die Förderstrecke zunächst zwei Prinzipien, der aktive und der passive Förderer unterschieden werden (Abb. 2.20).

Die angetriebenen aktiven Förderer sind hinsichtlich der Investitions- und Wartungskosten in der Regel aufwändiger, dafür ist das Bewegungsverhalten besser zu kontrollieren und sie sind in ihrer Funktion insgesamt zuverlässiger. Weniger Kostenaufwand erzeugen die passiven Rollen-, Röllchen- und Kugelbahnen. Die schwierigere Bewegungskontrolle lässt sich bei ihnen teilweise durch Zusatzeinrichtungen verbessern. Derartige Maßnahmen, wie etwa stärker geneigte Rollenbahnen mit Bremsrollen, führen ihrerseits wiederum zu höheren Kosten.

Bei den Rollenbahnen sind allgemein besondere Anforderungen an die Gutbeschaffenheit mit ebenen, tragfähigen Unterseiten und bestimmten Mindestabmessungen zu stellen, die das sortierfähige Gutspektrum einschränken. Die preiswerteste, technisch einfachste und hinsichtlich der geeigneten Gutstruktur universelle Lösung ist die Rutsche, die als Wendelrutsche zudem noch sehr Platz sparend ist. Durch die komplexen Reibungsverhältnisse ist die Rutsche hinsichtlich der Funktion aber auch die kritischste. Auf der einen Seite soll an jeder Stelle für jedes Gut ein selbständiger Bewegungswiederbeginn möglich sein, auf der anderen Seite darf die Geschwindigkeit beim Eintritt in den Sammelbereich nicht zu hoch sein. Bei der Wendelrutsche werden diese Bedingungen relativ gut erfüllt.

Der *Sammelbereich* der Endstelle stellt gleichzeitig die Schnittstelle zu den Packplätzen des Verpackungsbereiches dar und unterliegt daher auch besonderen ergonomischen Anforderungen. Derzeit überwiegt zwar die manuelle Entnahme durch Packpersonal, aber der hohe Kostendruck bewirkt intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf diesem Gebiet. Die steigende Leistungsfähigkeit von Bilderkennungsverfahren und der Sensorik insgesamt, in Kombination mit preiswerten Robotern oder Handhabungsautomaten wird bald die Wirtschaftlichkeit und Funktionssicherheit der automatischen Endstellenentleerung ermöglichen. Die Hauptfunktion des Sammelbereiches ist das Zwischenspeichern der Sortiergüter bis zu deren Entnahme. Daher ist neben der Ergonomie die Kapazität des Sammelbereiches ein weiteres wichtiges Kriterium.

Der Sammelbereich besteht in der Regel aus nicht angetriebenen passiven Elementen (s. Abb. 2.21). Die Güter gelangen in diesen Bereich und werden anschließend lediglich durch nachfolgende Güter oder die Schwerkraft bewegt und dabei meist enger aufeinander verdichtet. Die manchmal bis zur Entnahme reichenden angetriebenen Gurtförderer gehören nicht zum Sammelbereich sondern gehören zur Förderstrecke der Endstelle.

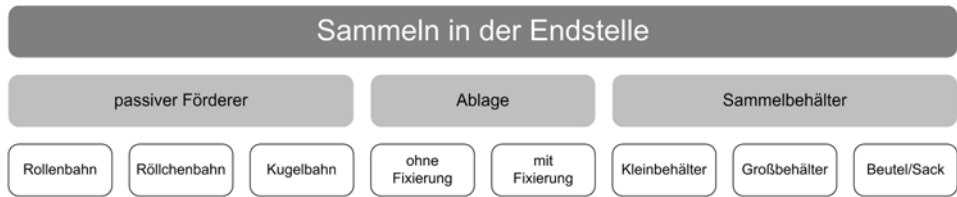


Abb. 2.21 Möglichkeiten der Sammelbereichsgestaltung

Die Ablagen sind meist ähnlich den Rutschen aufgebaut, allerdings ohne Neigung. Teilweise werden zusätzlich Fixiereinrichtungen integriert, welche die Güter in eine bestimmte Orientierung bringen, um beispielsweise eine automatische Entnahme zu ermöglichen. Beim Sammeln in Behältern sind tragbare Kleinbehältern, rollfähige oder per Flurförderzeug zu bewegendes Großbehälter, sowie weiche Umverpackungen wie Beutel und Säcke voneinander zu unterscheiden.

Zur Gestaltung stehen also verschiedenste Grundelemente zur Verfügung, die miteinander kombiniert und individuell angepasst zu anforderungsgerechten Endstellen aufgebaut werden können.

2.4.3.2 Gekoppelte Endstellen

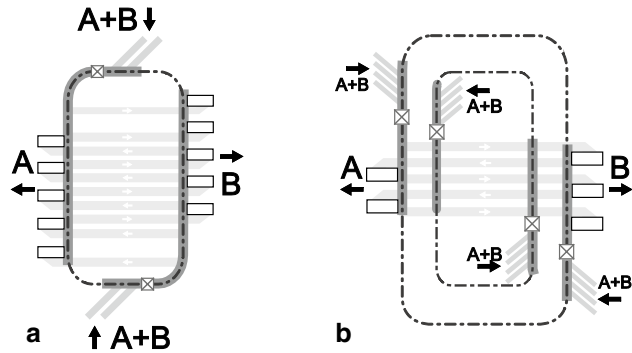
Durch eine Kopplung von Endstellen lassen sich gegebenenfalls weitere Vorteile im Zusammenhang mit dem Gesamtsystem erzielen. Unter einer Kopplung ist zu verstehen, dass eine Endstelle prinzipiell von zwei oder mehreren Abwurfpositionen über zusätzliche Förderstrecken erreicht werden kann.

Insbesondere bei mehreren Einschleusbereichen könnten so die A/B-Vorsortierung oder die Bypassförderer entfallen. Allerdings ist der fördertechnische Aufwand höher, da zwischen allen Endstellen des A- und des B-Bereiches Förderer benötigt werden.

Ein weiteres Ziel der Endstellenkopplung besteht darin, mehrere Sorter miteinander zu verbinden, um die Nennsortierleistung zu erhöhen. Eingangs wurde dargestellt, dass speziell in den Mega-Hubs der KEP-Dienstleister die benötigten Leistungen erheblich über dem Leistungspotenzial einzelner Sorter liegen, so dass hier mit einer matrixartigen Kopplung mehrerer Sorter die benötigten Leistungen von über 300.000 Sortierungen/h darstellbar sind. In Abb. 2.22b ist eine Matrix-Anordnung mit zwei Sortern dargestellt. Man erkennt das Prinzip, dass jedes Gut im nächsten Ausschleusbereich ausgeschleust werden kann und trotzdem über die externe Fördertechnik jeder Endstelle zugeführt werden kann, so dass sich die Leistung der Sorter addieren lässt.

Ungeachtet des hohen fördertechnischen Aufwands steigt die technische Grenzleistung der dargestellten Kombination deutlich an. Für n derart gekoppelte Sorter ergibt sich folgender Zusammenhang:

Abb. 2.22 Gekoppelte Endstellen. **a** Doppelte Ausschleusung, **b** Sorterkopplung



$$\lambda_{Matr, max} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \lambda_{Sort, i, max} \text{ [Stück/s]} \quad (2.9)$$

- $\lambda_{Matr, max}$ = maximaler Durchsatz der Sortermatrix [Stück/s]
- i = Laufvariable [-]
- n = Anzahl der Sorter [-]
- $\lambda_{Sort, i, max}$ = maximaler Durchsatz des Sorters i [Stück/s]

Über solche Matrixanordnungen lassen sich dann Sortierleistungen von mehreren 100.000 Paketen erreichen. Das in Abschn. 7.2 dargestellte Beispiel zeigt ein Hochleistungssortiersystem von UPS. Das in Abb. 7.6 im Layout gezeigte Sortiersystem wurde mittlerweile mehrfach erweitert und erstreckt sich in der zweiten Ausbaustufe seit 2010 über eine Fläche von 483.600 m². Die Matrixanordnung der Sorter lässt sich sehr gut erkennen und erreicht eine Systemleistung von 304.000 Einheiten/h, nach der Erweiterung 416.000 [UPS11b].

2.5 Abförderung

Die Abförderung ist materialflusstechnisch der letzte Funktionsbereich in der Sortieranlage. Entweder werden die sortierten Güter aus den Endstellen direkt in die folgenden Materialflussbereiche gefördert oder die Endstellen werden über manuelle oder automatische Packarbeitsplätze geleert, welche die Sortiergüter mit entsprechenden Begleitinformationen und Verpackungsmaterialien zu versandfähigen Packstücken verarbeitet. Die Abförderung der Packstücke aus dem Packbereich gehört dann nicht mehr zum Sortiersystem.

2.5.1 Verpackungsbereich

Leistung und Organisation des Packbereiches haben entscheidenden Einfluss auf die Gesamtleistung und sind gleichzeitig wegen der zumeist manuellen Bedienung den ergonomischen Grundlagen der Arbeitsplatzgestaltung anzupassen.

Sortier- und Verteilsysteme

Grundlagen, Aufbau, Berechnung und Realisierung

Jodin, D.; Hompel, M.

2012, XX, 242 S. 185 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-642-31289-2