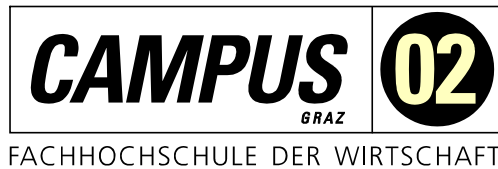


Masterarbeit

VORSTUDIE EINES MODULAREN SHUTTLE-SORTERS

ausgeführt am



Fachhochschul-Masterstudiengang
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

Ing. Hannes Hirtenfelder, BSc

1810322003

betreut und begutachtet von

Dipl.-Ing. Robert Hammer

Graz, im November 2019



Unterschrift

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters, positioned above a horizontal dotted line.

Unterschrift

DANKSAGUNG

Ein spezieller Dank ergeht an Herrn Dipl.-Ing. Robert Hammer für die Unterstützung und Betreuung dieses Werkes. Seine durchdachten Ratschläge und Anregungen vor und während der Erstellung der Arbeit waren eine große Hilfe.

Ein großer Dank ergeht ebenfalls an jene Arbeitskollegen, die durch ihren Einsatz zur Ermöglichung der Arbeit beigetragen haben. Ohne die Arbeit im Team und ohne die Ressourcen wäre die Ausführung beschwerlicher gewesen.

Nicht zuletzt gebührt der Dank meiner Partnerin für die sachliche sowie auch emotionale Unterstützung während der Arbeit und während des Studiums.

KURZFASSUNG

Klassische Sortiersysteme wie Quergurtsorter oder Kippschalensorter können tausende Ladeinheiten pro Stunde sortieren. Diese Systeme sind kostenintensiv und unflexibel.

Im Rahmen einer Konzeptstudie soll ein kostengünstiges System entworfen werden. Darüber hinaus sollte dieser Aufbau modular und flexibel gestaltet sein.

Zahlreiche bestehende Sortiersysteme werden auf ihre Leistung, Sortierfähigkeit, Investitionskosten und Flexibilität geprüft. Eines der Systeme wird ausgewählt, um als Grundlage für den Entwurf neuer Konzepte zu dienen. Anschließend werden drei Konzepte entworfen. Bewertungen zeigen, dass alle drei Systeme in Bezug auf die oben genannten Kriterien ähnlich sind. Dennoch wird für den Vergleich mit einem klassischen Quergurtsorter-System nur das am besten geeignete ausgewählt.

Die Vorteile des neuen Konzepts sind geringere Investitionskosten sowie höhere Flexibilität und Redundanz. Das entworfene Konzept dient als Grundlage für nachfolgende Entwicklungs- und Testphasen. Das in der Masterarbeit gesammelte Know-how kann in weitere Studien einfließen.

ABSTRACT

Classic sorting systems such as cross-belt sorters or tilt tray sorters are capable of sorting thousands of load units per hour. These systems are cost-intensive and inflexible.

As part of a concept study, an affordable system is to be drafted. Furthermore, this design ought to be modular and flexible.

Numerous existing sorting systems are examined concerning their performance, sorting capability, investment costs and flexibility. One of the systems is selected to serve as a basis for designing new concepts. Subsequently, three concepts are designed. Assessments demonstrate, that all three systems are similar in terms of the above-mentioned criteria. Nonetheless, only the most appropriate is selected to be compared to a classical cross-belt sorter system.

The benefits of the new concept are lower investment costs and higher flexibility and redundancy. The designed concept serves as a basis for subsequent phases such as development and testing. The know-how gathered within the master thesis can be applied in further studies.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
1.1	Umfeld.....	2
1.2	Problemstellung und Untersuchungsinteresse	2
2	Bestehende Lösungen	4
2.1	Allgemeines	4
2.2	Identifizierung.....	6
2.3	Einschleusung.....	7
2.3.1	Einschleusverfahren	7
2.3.2	Anordnungsvarianten.....	8
2.4	Ausschleusung.....	8
2.4.1	Übergabeeinrichtungen	9
2.4.2	Endstellen	9
2.5	Sorterlösungen.....	10
2.5.1	Konstruktiver Aufbau	10
2.5.2	Technikorientierte Systematik.....	10
2.5.3	Kippschalensorter	12
2.5.4	Quergurtsorter.....	13
2.5.5	Schuhsorter.....	14
2.5.6	Andere Sortertypen.....	15
2.6	Hängefördertechnik	17
2.6.1	Konstruktiver Aufbau	17
2.6.2	Verzweigungen	18
2.6.3	Hängebahn	18
2.6.4	Schleppkettenförderer	19
2.6.5	Kreisförderer	19
2.6.6	Power-and-Free-Förderer	19
2.6.7	Elektrohängebahn.....	20
2.6.8	Taschensorter	21
3	Materialfluss und Durchsatz	22
3.1	Allgemeines	22
3.2	Berechnung.....	22
3.2.1	Grenzdurchsatz.....	22
3.2.2	Partialströme	23
3.2.3	Durchschleusgrad	24
3.3	Anlagenkonzepte	24
3.3.1	Einfach- und Doppeleinschleusung	25
3.3.2	Doppelausschleusung	25
3.3.3	AB-Vorsortierung	26
3.3.4	Bypassstrecken.....	27

3.3.5	Matrixanordnung	27
3.3.6	Andere Maßnahmen	28
3.3.7	Endstellendichte	29
3.4	Verfügbarkeit und Ausfallsicherheit	30
3.5	Durchsatzwerte und Geschwindigkeiten	30
3.5.1	Sorter	30
3.5.2	Hängefördertechnik	32
3.6	Sortierguteignung	32
4	Kosten, Recherche und Bewertung der Systeme	34
4.1	Wirtschaftliche Betrachtung bestehender Systeme	34
4.2	Recherche	36
4.2.1	Markt	36
4.2.2	Patente	38
4.3	Vorauswahl	39
5	Konzepte	40
5.1	Ein- und Ausschleusung: Lösungen für das Shuttle	40
5.1.1	Unterflur verlaufendes Zugmittel	40
5.1.2	Überflur verlaufendes Zugmittel	41
5.1.3	Seitlich verlaufendes Zugmittel	41
5.2	Ein- und Ausschleusung: Lösungen für das Fördergut	42
5.2.1	Beladung der Shuttles von oben	42
5.2.2	Beladung der Shuttles von der Seite	43
5.3	Shuttle-Konzept 1: unterflur verlaufendes Zugmittel	44
5.3.1	Beschreibung der Ein- und Ausschleusung der Fördergüter	45
5.3.2	Beschreibung der Ein- und Ausschleusung der Shuttles	46
5.4	Shuttle-Konzept 2: überflur verlaufendes Zugmittel	47
5.4.1	Beschreibung der Ein- und Ausschleusung der Fördergüter	47
5.4.2	Beschreibung der Ein- und Ausschleusung der Shuttles	48
5.5	Shuttle-Konzept 3: seitlich verlaufendes Zugmittel	49
5.5.1	Beschreibung der Ein- und Ausschleusung der Fördergüter	49
5.5.2	Beschreibung der Ein- und Ausschleusung der Shuttles	49
5.6	Bewertung der Konzepte auf technischer Ebene	50
6	Modulare Lösungsansätze	51
6.1	Standard-Förderkreis	51
6.2	Anlagenkonzepte	52
6.2.1	Benachbarter Förderkreis	52
6.2.2	Mehrstufiger Sortierprozess	53
6.2.3	Übergabe des Sortiergutes	55
6.3	Alternativen	56
6.3.1	Sortiersystem mit Standard-Fördertechnik	56
6.3.2	Sortiersystem mit Standard-Shuttles	58
6.4	Wandelbare Materialflusssysteme	59

6.5	Redundanz und Flexibilität	61
7	Leistungsabschätzung.....	62
7.1	Leistungsabschätzung der Shuttle-Konzepte	62
7.1.1	Definition der Sortiergüter	62
7.1.2	Abmessungen der Shuttles.....	63
7.1.3	Definition der Geschwindigkeit	63
7.1.4	Theoretische Grenzdurchsätze.....	63
7.2	Leistungsüberblick der Shuttle-Konzepte	66
7.3	Leistungsabschätzung der modularen Anlagenkonzepte.....	66
7.3.1	Benachbarter Förderkreis	66
7.3.2	Mehrstufiger Sortierprozess.....	68
7.3.3	Übergabe des Fördergutes	70
7.4	Leistungsüberblick der modularen Konzepte	70
8	Kostenabschätzung.....	71
8.1	Beschreibung.....	71
8.1.1	Abschätzung der Kosten für die Shuttle-Konzepte.....	71
8.1.2	Abschätzung der Kosten der Anlagenkonzepte	71
8.2	Baugruppen und Bauteile der Shuttles.....	72
8.3	Beurteilung der Shuttle-Konzepte.....	74
8.3.1	Überflur-Konzept.....	74
8.3.2	Seiten-Konzept	75
8.4	Beurteilung der Anlagenkonzepte.....	75
8.4.1	Übertrag der Preise und Definition der Sortierkreise.....	75
8.4.2	Sortierkreise mit Überflur-Konzept.....	76
8.4.3	Sortierkreise mit Seiten-Konzept	76
8.5	Kostenüberblick	77
9	Bewertung und Auswahl	78
9.1	Gegenüberstellung der erarbeiteten Technologien	78
9.2	Gegenüberstellung von bestehender und gewählter Technologie	78
9.3	Gegenüberstellung der Anlagenkonzepte	79
9.4	Kostenvergleich mit einer Quergurtsorter-Anlage	80
10	Resümee	84
10.1	Weitere Schritte	84
10.2	Erkenntnisse und Empfehlungen.....	84
10.3	Ausblick.....	85
	Literaturverzeichnis	86
	Abbildungsverzeichnis.....	89
	Tabellenverzeichnis.....	93
	Anhang 1: Preisaufschlüsselung der Bauteile.....	95
	Anhang 2: Berechnung der Shuttle-Konzepte.....	99
	Anhang 3: Berechnung der Anlagenkonzepte.....	101

1 EINLEITUNG

Um den wachsenden Anforderungen weltweiter Beschaffungs- und Liefernetzwerken gerecht zu werden, müssen Hersteller von Sortier- und Verteilsystemen ständig neue und noch komplexere Systeme entwerfen. Im Handel führt diese sogenannte Atomisierung der Aufträge zu einem exponentiellen Anstieg der in den Netzwerken notwendigen Leistung. Der Grund dafür ist, dass heutzutage neben Wirtschaftsunternehmen praktisch auch alle Haushalte logistisch miteinander vernetzt sind. Das Resultat sind Millionen von Gütern, die täglich auf ihre Ziele sortiert werden müssen.¹

Um diese Mengen verarbeiten zu können, werden in der Intralogistik Sorter verwendet. Sie spielen eine zentrale Rolle und bilden in der Regel den Kernprozess des Gesamtsystems. Einige Hersteller haben sich in dieser Nische der Hochleistungssortiertechnik spezialisiert. Dementsprechend erfordert dieser Bereich spezifisches Detail-Know-how, das eben diese Unternehmen mit sich bringen.²

Sucht man nach Definitionen des Begriffs "sortieren", stößt man auf höchst unterschiedliche Ergebnisse.³ Was also versteht man darunter? Sortieren bedeutet im Kontext dieses Werkes, dass aus einer ungeordneten Menge von Objekten Teilmengen gebildet werden, deren Objekte zumindest ein gleiches Merkmal aufweisen. Ganz gleich, ob dieses Merkmal nun physikalisch, numerisch oder alphanumerisch ist. Um dieses Ziel zu erreichen, setzt der Mensch immer häufiger Maschinen ein, welche auch Bestandteil dieser Arbeit sind. Die folgende Abbildung zeigt die Umschlagstation eines Paketdienstleisters, in der die besagten Maschinen zum Einsatz kommen.⁴

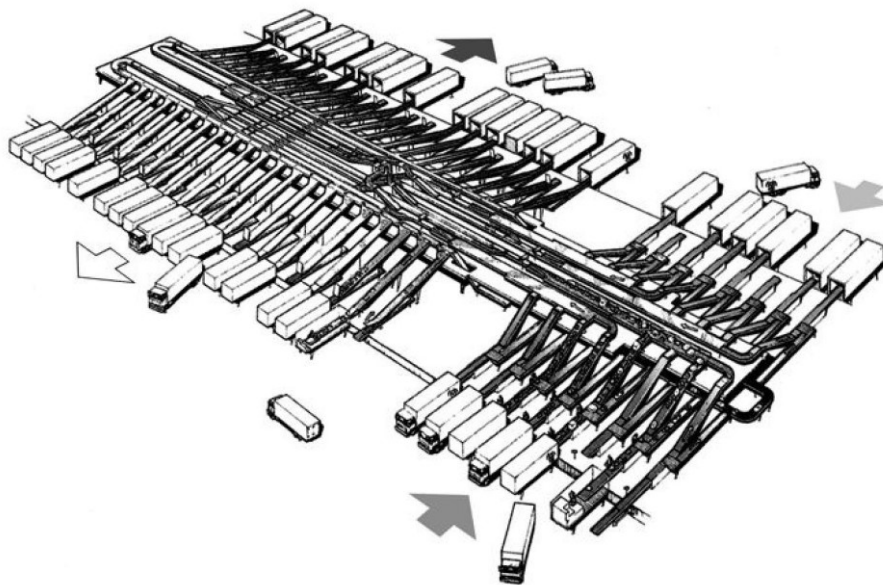


Abbildung 1: Umschlagstation eines Paketdienstleisters, Abbildung einer Sortieranlage der Firma VanderLande, Quelle: Gudehus (2005), S. 910.

¹ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 1.

² Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 139 f.

³ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 5.

⁴ Vgl. Arnold/Furmans (2009), S. 225.

1.1 Umfeld

Ein Sorter wird im Allgemeinen dazu verwendet, Fördergüter im Versandhandel oder in großen Verteilzentren aufzunehmen und diese an den dafür vorgesehenen Zielpunkten auszusortieren (Ein- und Ausschleusung). Sorter, egal ob es sich um Quergurtsorter, Kippschalensorter oder andere Technologien handelt, erreichen hohe Durchsatzzahlen und werden daher dementsprechend dort eingesetzt, wo viele Fördergüter ein- und ausgeschleust werden müssen.⁵

Bei einem Hängefördertechnik-System spricht man von Laufkatzen oder Gehänge mit unterschiedlichen Lastaufnahmemitteln, z.B. Hängetaschen, die an Fahrschienen über Kopf verfahren.⁶ Sie gehören zu jenen Kreisfördersystemen, bei denen das Zugmittel eine Kette oder ein endloses Seil sein kann, an dem die Lastaufnahmemittel befestigt sind. Das System verfügt ebenfalls über Auf- und Abgabestationen, an denen die Ladeeinheiten ein- und ausgeschleust werden können.⁷ Der nächste Punkt behandelt nun die Problemstellung und das Untersuchungsinteresse, dem diese beiden Techniken dienen.

1.2 Problemstellung und Untersuchungsinteresse

Es handelt sich bei einem Sorter in der Regel um ein zentrales Element, also eine in sich geschlossene Förderstrecke.⁸ Im Fokus des Untersuchungsinteresses stehen die Themen Ausfallsicherheit, Flexibilität und Leistungssteigerung. Hierfür soll eine Lösung gefunden werden.

Die Idee hinter der möglichen Lösung ist die Konzeption eines Shuttles für die Transportgüter, indem die Systeme Sorter und Hängefördertechnik kombiniert werden. Als Shuttle werden im Zusammenhang dieses Werkes die Fahrwägen bezeichnet, die die Fördergüter von A nach B bringen.⁹ Die Sorter-Systematik soll dabei zur Aufnahme der Fördergüter dienen, von der Hängefördertechnik kann das Kettensystem als Zugmittel für die Shuttles und die Weichenelemente übernommen werden. Die Fahrwägen verfügen im Gegensatz zum Drehteller, der eine Einzellösung für Dreh- und Ringsorter darstellt, über einen kostenintensiveren Aufbau.¹⁰ Es soll daher auch eine einfache, günstige Lösung angestrebt werden. Der erste Fokus des Werkes liegt somit auf der Findung geeigneter und günstiger technischer Konzepte für derartige Shuttles, sowie für passende Ein- und Ausschleusungen.

Der erweiterte Gedanke geht dann in Richtung eines modularen Systems, indem mehrere zentrale Sorter-Module miteinander verknüpft werden und so etwaigen Ausfällen entgegengewirkt wird. Ebenfalls würde dadurch eine Erhöhung der Flexibilität und eine Erhöhung der Leistung erreicht werden.¹¹

⁵ Vgl. Koether (2018), S. 148 f.

⁶ Vgl. Gudehus (2005), S. 839.

⁷ Vgl. Gudehus (2005), S. 831.

⁸ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 55.

⁹ Vgl. Günthner/ten Hompel/et al. (2010), S. 161 f.

¹⁰ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 108.

¹¹ Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 153 ff.

Um einen Richtungshinweis der Arbeit zu geben, sind hier die wesentlichen Aufgaben für den theoretischen sowie für den praktischen Teil aus der vorherigen Beschreibung zusammengefasst:

- Im theoretischen Abschnitt stehen in erster Linie die Findung und Sichtung bestehender Systeme sowie die Heranleitung an diese im Mittelpunkt. Aufbauend darauf sollen dann im praktischen Teil die Konzepte für die Shuttles und für die Ein- und Ausschleusungen gefunden werden. Im theoretischen Teil soll außerdem auch allgemein auf den Materialfluss und die Leistung eingegangen werden. Von bestehenden Systemen wären ebenfalls die Kosten interessant.
- Im praktischen Teil soll geklärt werden, wie die Shuttles, die Ein- und Ausschleusungen und die Verbindungen zu anderen Sortierkreisen aus technischer Sicht aussehen könnten und welche Konzepte sich gut und welche sich weniger gut eignen. Dabei gilt es, im praktischen Teil neben der technischen Ausführung auch die Leistung und die Kosten der Shuttles und der Anlagenkonzepte abzuschätzen.

Um einen Sorter überhaupt einsetzen zu können, wird einerseits die automatische Identifizierbarkeit des Fördergutes sowie dessen fördertechnische Eignung vorausgesetzt.¹² In Punkt 2.2 wird kurz auf das Thema Identifizierung eingegangen. Die folgende Abbildung zeigt die verschiedenen Sorteraufbauelemente.

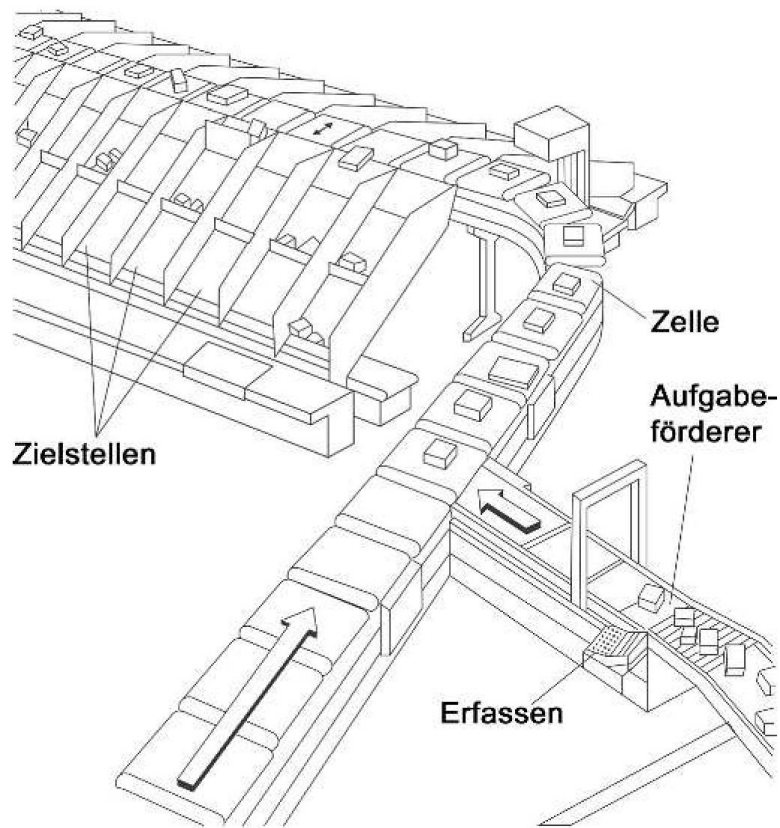


Abbildung 2: Sorteraufbauelemente, Quelle: ten Hompel/Heidenblut (2008), S. 269.

¹² Vgl. ten Hompel/Heidenblut (2008), S. 269.

2 BESTEHENDE LÖSUNGEN

In diesem Kapitel werden bestehende Systeme von Sortieranlagen und von Hängefördertechnik thematisiert. Um dem Leser und der Leserin einen genauen Einblick zu verschaffen, werden die Systeme detailliert beschrieben und durch Skizzen unterstützt.

2.1 Allgemeines

Eingeteilt werden Sortieranlagen grundsätzlich in fünf verschiedene Funktionsbereiche. In diesen Bereichen sind wiederum verschiedene Funktionen zusammengefasst. Auf einige wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels eingegangen, da sie auch für den praktischen Teil von Bedeutung sind. Abbildung 3 zeigt eine Übersicht über diese Funktionen sowie deren Anordnung im Materialfluss.¹³

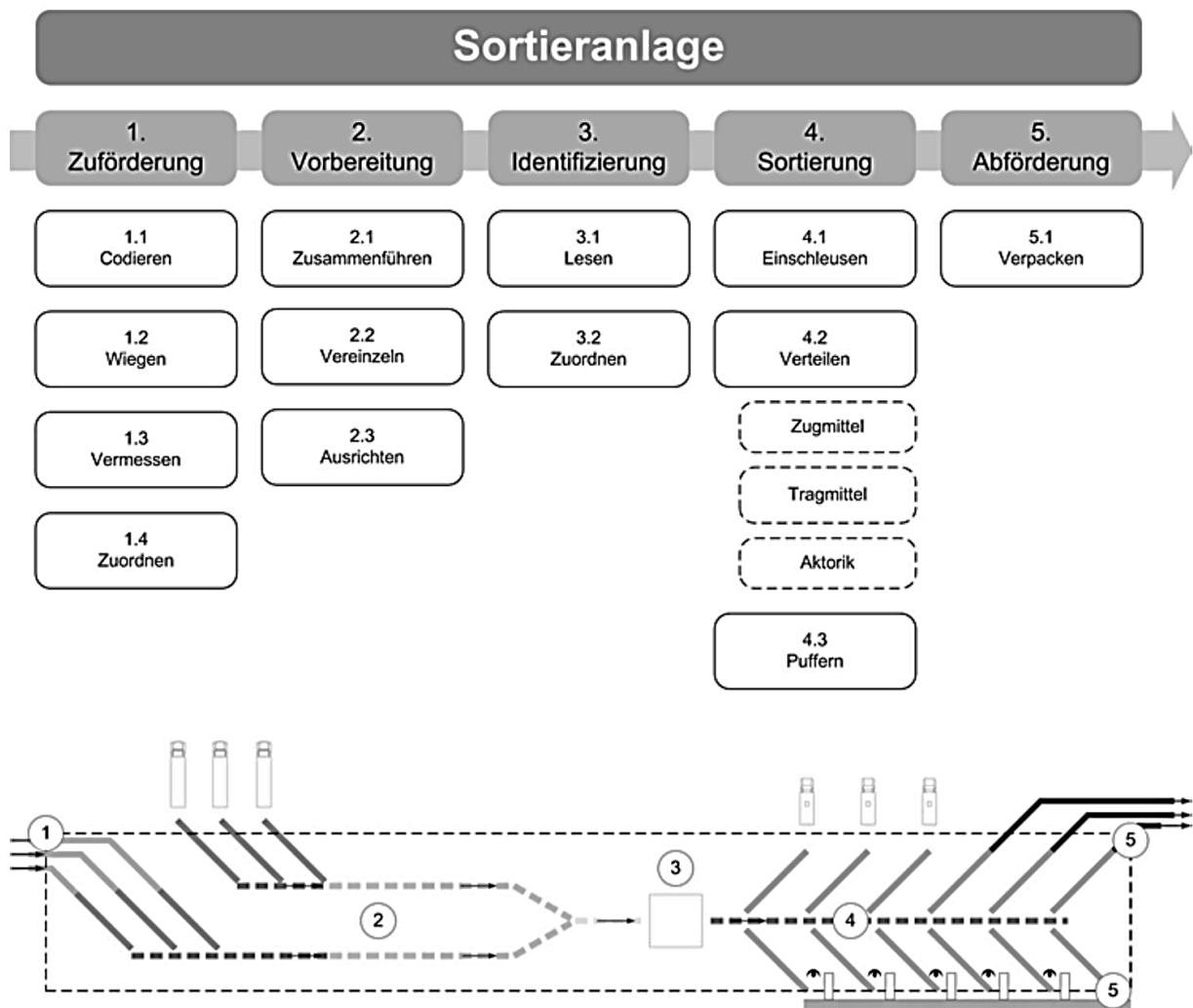


Abbildung 3: Aufbau einer Sortieranlage, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 26.

¹³ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 25.

Da das Werk vorwiegend den Sortiervorgang behandelt (Funktionsbereich 4 aus Abbildung 3), wird aufgrund dessen ein Überblick über den prinzipiellen Aufbau von Sortieranlagen gegeben. Die Kernmaschine ist der Sorter (auch Verteilförderer genannt). Er ist dafür verantwortlich, die Produkte über die ein- oder mehrfachen Einschleusungen aufzunehmen und diese in weiterer Folge wieder an den Ausschleusungen abzugeben. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über den Aufbau.¹⁴

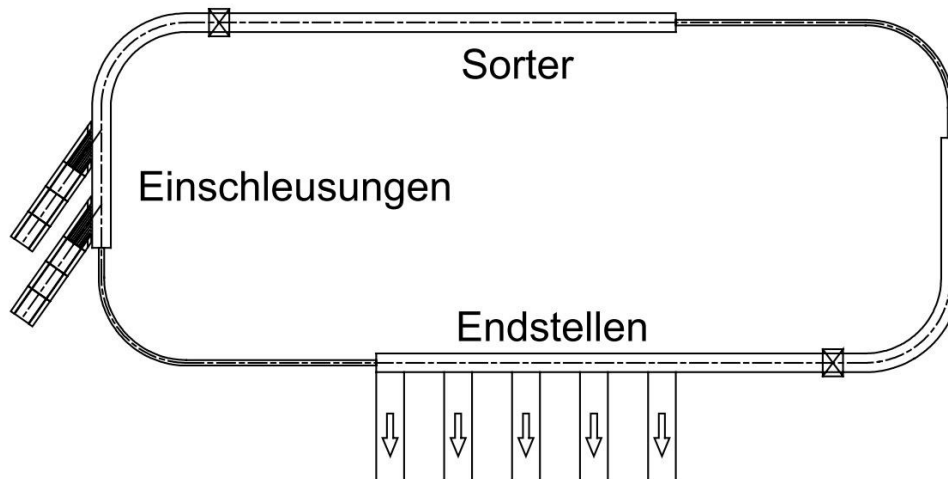


Abbildung 4: Prinzipieller Aufbau von Sortieranlagen, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 141.

Dem Aufbau zufolge kann ein Sortierförderer außerdem als Linien-, Rundlauf-, Ring- oder Kreisförderer ausgeführt sein. Diese Strukturen haben gewisse Unterscheidungsmerkmale: Liniensorter haben eher geringere Sortierleistungen, Ringsorter erzielen hingegen die höchsten Sortierleistungen und können beispielsweise sehr flexibel mit Steigungen, Neigungen, Rechts- und Linkskurven sowie mit mehreren Einschleusungen gestaltet werden. Die Kreissorter erzielen mittlere Sortierleistungen, sie weisen eine kompakte Bauweise sowie eine geringe Anzahl der Endstellen auf. Zum Thema Materialfluss und Durchsatz der Sortieranlagen siehe Kapitel 3.¹⁵

In den folgenden Unterpunkten wird nun spezifisch auf die Identifizierung, die Einschleusung, die Ausschleusung sowie auf die Verteilförderer und die Hängefördertechnik eingegangen.

¹⁴ Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 141.

¹⁵ Vgl. Martin (2014), S. 204.

2.2 Identifizierung

Die Identifizierung der Güter besteht zunächst aus der

- Lesung des Identcodes, und der anschließenden
- Zuordnung zu einer Endstelle

über den Rechner. Momentan werden die Identifikationen in über 70 % der Applikationen mittels Barcode durchgeführt. Die Auswahl des Identifikationssystems ist jedoch von unterschiedlichen Kriterien abhängig. Gerade die Transpondertechnologie RFID (Radio Frequency Identification) wird in Zukunft vermehrt zur Anwendung kommen. Hier ist u. A. kein Sichtkontakt wie beim optischen Scannen des Barcodes erforderlich (siehe folgende Abbildung).¹⁶

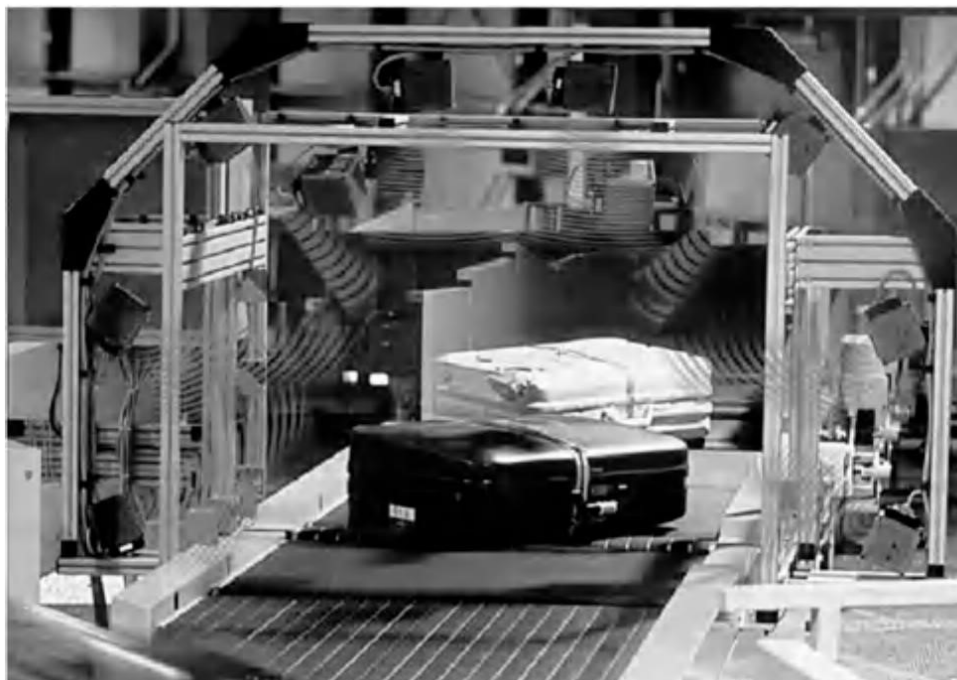


Abbildung 5: Automatische Identifizierung, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 33.

Der Sortierförderer betätigt seine Aktorik zeitgesteuert. Demzufolge darf das Gut nach der Identifizierung und Zuordnung zu einer Endstelle weder die Reihenfolge noch seine Gutposition zum Fördermittel ändern. Üblich ist lediglich eine Triggerung über eine Lichtschranke vor der Einschleusung. Es gibt Alternativen, wonach die Identifizierung auch nach der Einschleusung direkt auf dem Sorter realisiert wird. Allerdings muss in diesem Fall genügend Raum und Zeit zwischen dem Ein- und Ausschleusbereich vorhanden sein, damit auch in die erste Endstelle ausgeschleust werden kann.¹⁷

¹⁶ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 33.

¹⁷ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 34.

2.3 Einschleusung

Man unterscheidet bei Einschleusungen grundsätzlich zwischen manuellen und automatischen Systemen (mehr dazu unter Punkt 2.3.1). Den Einschleusungen wird die Aufgabe zuteil, die Sortiergüter zu vereinzeln und diese auf einen freien Platz am Sorter einzuschleusen.¹⁸

2.3.1 Einschleusverfahren

Anfänglich wurde die Gutzuführung durchgängig manuell durchgeführt. Eine Automatisierung wurde erst mit leistungsfähiger Steuerungs-, Sensor- und Fördertechnik möglich. Wie eingangs erwähnt unterscheidet man zwischen manuell und automatisch, konkret ist es die manuelle, die teilautomatisierte und die vollautomatisierte Einschleusung.¹⁹

Manuelle Einschleusung bedeutet, dass der Mitarbeiter oder die Mitarbeiterin die Güter von Hand direkt auf den Sorter legt. *Teilautomatisierte Einschleusung* besagt, dass der Mitarbeiter oder die Mitarbeiterin die Artikel auf das Einschleusband legt, welches die Ware dann in den Sorter einschleust. Spricht man von der *automatisierten Einschleusung*, so werden die Produkte ohne menschliche Mithilfe vom Einschleusband auf den Sorter befördert.²⁰

An der folgenden Darstellung lassen sich die Einschleusverfahren nachvollziehen.

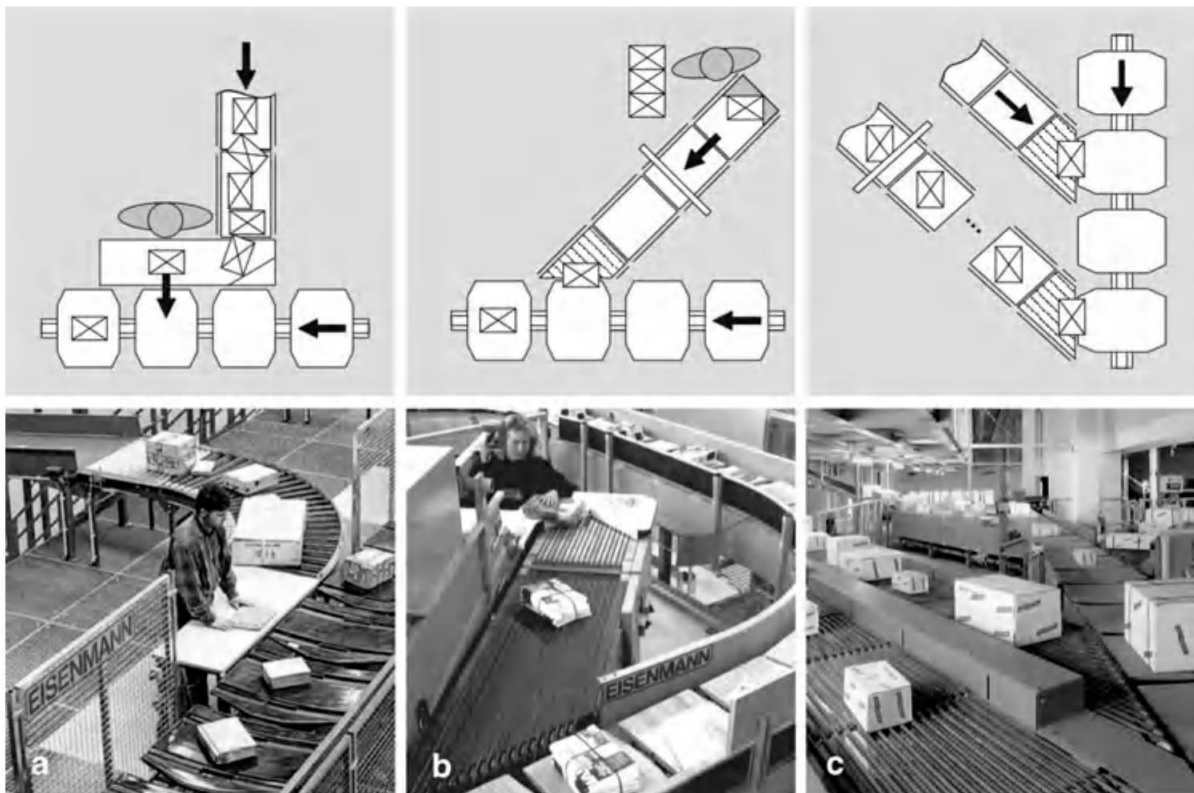


Abbildung 6: Einschleusverfahren. a Manuell, b Teilautomatisiert, c Automatisiert, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 37.

¹⁸ Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 141.

¹⁹ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 37.

²⁰ Vgl. Logistik KNOWHOW (2013), Online-Quelle [29.03.2019].

2.3.2 Anordnungsvarianten

Je nachdem welches Sortiersystem zum Einsatz kommt, wird bei den Anordnungsvarianten der Einschleusung zwischen der Lineareinschleusung, der Vertikaleinschleusung und der Horizontaleinschleusung unterschieden.²¹

Im Folgenden sind diese Varianten ausführlich beschrieben, in Abbildung 7 sind sie zudem schematisch dargestellt:²²

- Die *Lineareinschleusung* (stirnseitig in Förderrichtung) wird nur bei Sortern in Linienstruktur angewandt. Die Förderrichtungen der Einschleusung und des Sorters sind bei diesem Typ identisch. Sie ist relativ einfach zu realisieren, jedoch müssen die Güter entsprechend vorverdichtet werden, da diese Zuführung zum Verteilförderer auch die einzige ist und somit den gesamten Gutstrom abdecken muss.
- Bei der *Vertikaleinschleusung* (vertikal in Förderrichtung) sind die Förderrichtungen beider Komponenten ebenfalls identisch. Das Gut wird von oben in spitzem Winkel eingeschleust und fällt den letzten Teil in freiem Fall auf den Verteilförderer. Bei dieser Variante ist die maximale Guthöhe durch den Abstand der Unterkante der Einschleusung zur Oberkante des Tragmittels bestimmt. Es besteht zudem durch den freien Fall die Gefahr des Kippens.
- Eine *Horizontaleinschleusung* (seitlich im spitzen Winkel zur Förderrichtung) kommt insbesondere bei Sortern mit Ringstruktur zur Anwendung. Bei dieser Variante ist eine schonende Übergabe des Fördergutes auch bei hohen Geschwindigkeiten möglich. Es muss jedoch sichergestellt sein, dass die in die Förderrichtung des Sorters weisende Komponente der Zuführgeschwindigkeit gleich der Sortergeschwindigkeit ist, um eine sachgerechte Übergabe zu gewährleisten.

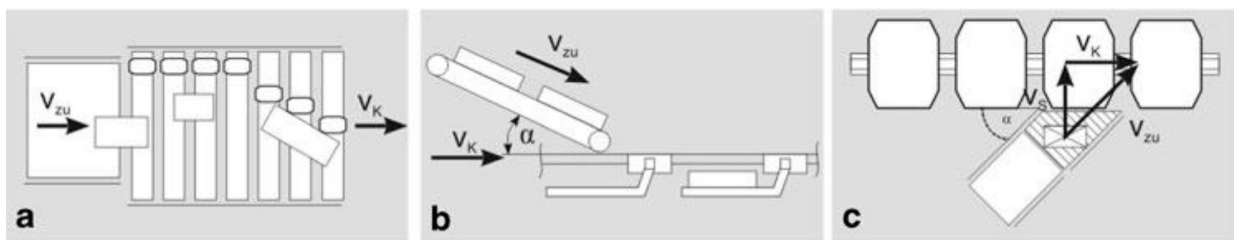


Abbildung 7: Anordnungsvarianten der Einschleusung. a Linear, b Vertikal, c Horizontal, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 35.

2.4 Ausschleusung

Der Ausschleusvorgang ist beim Sortierförderer im Transportmittel integriert und unlösbar damit verbunden. Das Transportmittel kann ein Tragkettenförderer, ein Gurtförderer oder ein Rollenförderer sein – wie beim Schuhsorter, beim Kippschalensorter oder beim Quergurtsorter (siehe Kapitel 2.5).²³

²¹ Vgl. Logistik KNOWHOW (2013), Online-Quelle [29.03.2019].

²² Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 35 f.

²³ Vgl. Martin (2014), S. 208.

2.4.1 Übergabeeinrichtungen

Im Gegensatz zum Sortierförderer können Übergabeeinrichtungen eingebaut oder auch nachträglich angebaut werden, je nachdem mit welchen Transportmitteln sie kombiniert werden. Diese auch als Ausschleuseeinrichtungen bezeichneten Komponenten können nach ihrem Arbeitsprinzip in

- den schiebenden, teilweise stoßenden Transfer quer zur Transportrichtung,
- den führenden Transfer durch seitliches Ablenken
- und den tragenden Transfer durch Erfassung des Transportgutes an dessen Laufseite

eingeteilt werden. Weiters unterscheidet man sie nach *angetriebenen* oder *nicht angetriebenen* (Schwerkraft) Übergabeeinrichtungen, *horizontale* oder *vertikale* Arbeitsweise, *linear* oder *rotierend* aufgebaut oder ob *mitgeführte Übergabeelemente* integriert sind.²⁴

Im allgemeinen Sprachgebrauch werden diese Komponenten etwa als Ausweiser, Ausschleuser, Weiche, Pusher, Transfer und dergleichen bezeichnet.²⁵

2.4.2 Endstellen

Als Endstelle wird die Verbindung zwischen dem automatisierten, schnell bewegten Verteilförderer und den zumeist manuellen Packplätzen oder der angeschlossenen Fördertechnik bezeichnet. Man unterscheidet zwischen drei Bereichen: Der *Übergangsbereich* als erster Teil ist die Schnittstelle zum Verteilförderer und beinhaltet die zuvor diskutierten Ausschleusungen und Übergabeeinrichtungen. Der zweite Bereich ist die *Förderstrecke*, welche in erster Linie Höhen- und Ortsunterschiede zwischen dem Sorter und dem Sammelbereich ausgleichen soll. Den letzten Bereich nennt man *Sammelbereich*, der als Schnittstelle zu den unter besonderen ergonomischen Anforderungen stehenden Packplätzen fungiert. Die folgende Darstellung zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Endstelle.²⁶

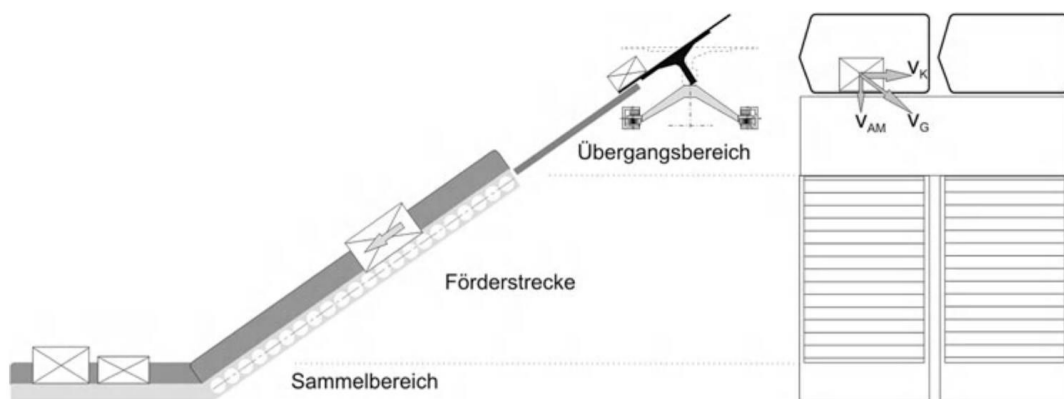


Abbildung 8: Prinzipieller Aufbau einer Endstelle, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 47.

²⁴ Vgl. Martin (2014), S. 208.

²⁵ Vgl. Martin (1978; korrigierter Nachdruck 1992), S. 86.

²⁶ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 47 ff.

2.5 Sorterlösungen

Dieses Unterkapitel leitet den Leser und die Leserin an die unterschiedlichen Thematiken und Lösungen für den Verteilförderer heran. Bereits im Jahr 1982 wurde ein erster automatischer Sorter realisiert, ein Kippschalensorter von der Firma Crisplant.²⁷

2.5.1 Konstruktiver Aufbau

Je nach Anforderung gestalten sich die Lösungen der Verteilförderer unterschiedlich, weshalb auch viele verschiedene technische Ausführungen vorhanden sind. Nichtsdestotrotz lässt sich ein prinzipieller Aufbau aus den Grundelementen

- Fördermittel,
- Tragmittel und
- Ausschleusmechanismus

abbilden, welche sich bei allen Verteilförderern wiederfinden. Abbildung 9 stellt die Grundelemente eines Verteilförderers dar. Im linken Teil dieses Bildes handelt es sich um einen Verteilförderer mit diskreter Belegung, in der rechten Hälfte des Bildes ist ein Verteilförderer mit kontinuierlicher Belegung dargestellt. Mehr zu den Belegungsarten findet sich in Kapitel 2.5.2.²⁸

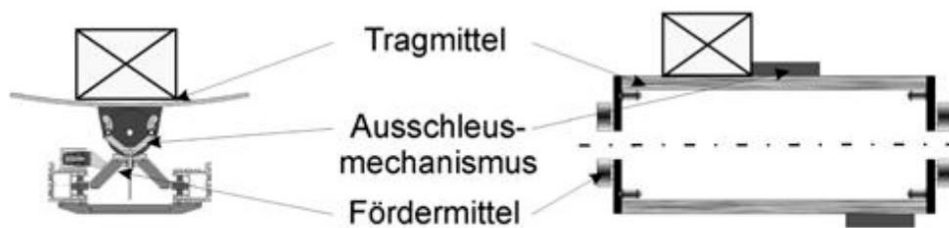


Abbildung 9: Grundelemente eines Verteilförderers, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 43.

2.5.2 Technikorientierte Systematik

Belegungsart

Bei der *Einzelplatzbelegung (diskrete Belegung)* besitzen die Verteilförderer Gutaufnahmen wie Schalen, Platten oder Wannen. Somit gibt es hier eine eindeutige Gutposition, als nachteilig erweist sich aber der feste Abstand der Güter zueinander. Sorter mit *freier Belegung (kontinuierlicher Belegung)* hingegen weisen als Gutaufnahme ein durchgehendes Band auf, sodass die Platzierung am Verteilförderer beliebig gewählt und hinsichtlich des Gutabstandes optimiert werden kann. Diese eindeutige Zuordnung bedingt aber freilich mehr technischen Aufwand.²⁹

²⁷ Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 45.

²⁸ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 44.

²⁹ Vgl. ten Hompel/Schmidt/Nagel (2007), S. 234.

Wirkprinzip der Ausschleusung

Des Weiteren können Verteilförderer nach dem Wirkprinzip der Ausschleusung eingeteilt werden. Man unterscheidet hier zwischen *Kraftschluss*, *Formschluss* und *Kraftfeld* (siehe Abbildung 10). Abfördernde Systeme (Kraftschluss) tragen das Gut auf dem Ausschleusfördermittel und schleusen es durch die aktive Bewegung aus. Abweisende Systeme (Formschluss) besitzen vom Sorter getrennte Elemente, die aktiv in den Materialfluss eingreifen und somit die Fördergüter abweisen oder abschieben. Bei Systemen, die auf die Wirkung eines Kraftfeldes vertrauen, kommen Schwerkraft oder Zentrifugalkräfte zur Aussortierung des Gutes zur Anwendung.³⁰

In der folgenden Abbildung ist die Systematik der Verteilförderer nach Belegungsart und Ausschleusungsprinzip dargestellt. Bei den Tragmitteln (Belegungsart) spricht man im Gegensatz zu den vorhin diskutierten Begriffen (Einzelplatzbelegung und freie Belegung) auch von *segmentierten* und *durchgängigen Tragmitteln*.³¹



Abbildung 10: Technikorientierte Systematik der Verteilförderer, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 59.

Im weiteren Verlauf des Abschnitts werden nun die unterschiedlichen Lösungen für Verteilförderer diskutiert.

³⁰ Vgl. ten Hompel/Schmidt/Nagel (2007), S. 234.

³¹ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 58 f.

2.5.3 Kippschalensorter

Ein Kippschalensorter besitzt Transportschalen, die das Fördergut zu den vorhergesehen Zielen befördern und dieses dort nach rechts oder links durch Schrägstellung der Kippschalen abwerfen (die Schrägstellung beträgt dabei etwa 35°). Der Antrieb erfolgt entweder durch Linearmotoren an den Transportschalen, oder die Transportschalen werden über eine angetriebene, umlaufende Kette gezogen.³²

Abgeleitet wurde die Entwicklung des Kippschalensorters vom Schwenklappensorter (siehe Kapitel 2.5.6). Eine Sonderbauform des Kippschalensorters sind in Förderrichtung parallel angeordnete Schalen. Dadurch kann die Leistungsfähigkeit erhöht werden, jedoch sinkt die Flexibilität, da die Schalen die Fördergüter nur auf eine Seite kippen können.³³

Am ehesten verwendet wird dieser Sortertyp zur Gepäcksortierung in mittelgroßen und großen Flughäfen. Die Vorteile aus technischer Sicht sind hierbei die variable Linienführung, die vielfältigen Ein- und Ausschleusstrategien und eine zuverlässige und große Einsatzerfahrung. Die klassische Kippauslösung ist mechanisch, es gibt mittlerweile aber auch elektrische Lösungen.³⁴

Kippschalensorter werden den Systemen mit Einzelplatzbelegung zugeordnet und sind prinzipiell mit dem Quergurtsorter vergleichbar. Beide Systeme bestehen aus einzelnen Fahrwerken und werden über einen geschlossenen Schienenparcours geführt. Für größere Güter, die länger als eine Kippchale sind, können Fahrwerke mit zwei Schalenelementen benutzt werden.³⁵

Im folgenden Bild ist das Prinzip und ein Fahrwagen eines Kippschalensorters dargestellt.

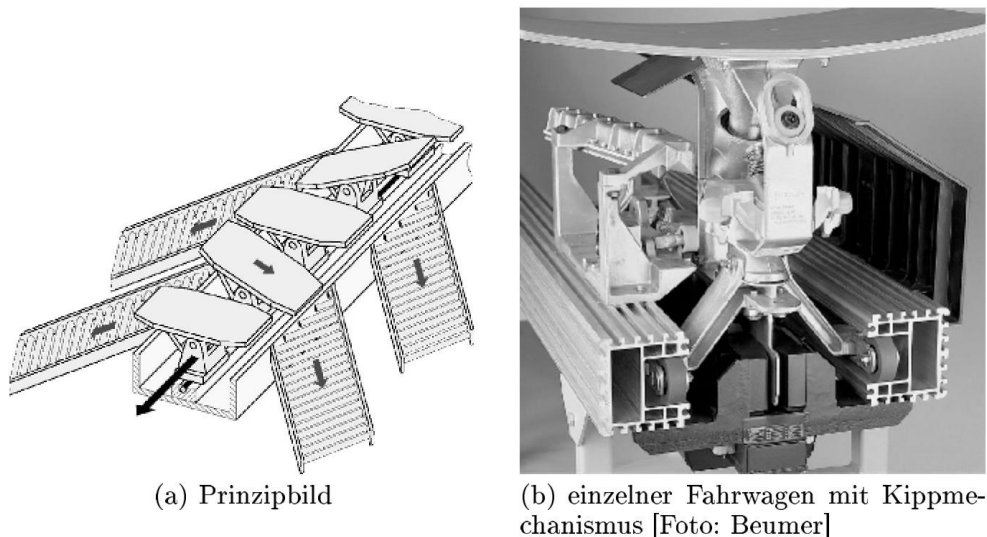


Abbildung 11: Kippschalensorter, Quelle: ten Hompel/Schmidt/Nagel (2007), S. 240.

³² Vgl. Martin (2014), S. 204.

³³ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 76 f.

³⁴ Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 117 f.

³⁵ Vgl. ten Hompel/Schmidt/Nagel (2007), S. 239 f.

2.5.4 Quergurtsorter

Beim sogenannten Quergurtsorter (engl. cross-belt sorter) sind einzelne Verfahrwagen miteinander gekoppelt. Quer zur Förderrichtung weisen diese Verfahrwägen Gurtförderer auf, wodurch sie in der Lage sind, die Sortiergüter aufzunehmen und wieder abzugeben. Durch den Gurt wird eine schlupffreie Gutaufnahme und -abgabe gewährleistet, wodurch Cross-belt sorter für ein großes Artikelspektrum eingesetzt werden können.³⁶

Die Wagen sind wie beim Kippschalensorter in einer endlosen Wagenkette angeordnet. Im Gegensatz zum Kippschalensorter wird der Quergurtsorter allerdings auch bei geringer Hallen- bzw. Deckenhöhe eingesetzt, da gerade der Kippschalensorter durch den Kippprozess mehr "Höhe" benötigt.³⁷ Die Quergurte der Wagen werden mit Gleichstrommotoren angetrieben (am Markt gibt es Anbieter mit anderen Lösungen, siehe dazu Kapitel 4.2.1). Zugeteilt werden die Stückgüter über eine unter 45 ° zum Sorter ausgerichtete Einschleusung.³⁸

Der Quergurtsorter wird zu den Sortersystemen mit Einzelplatzbelegung gezählt, da grundsätzlich nur ein Stückgut auf jedem Verfahrwagen zum Liegen kommt. Durch die Gutausschleusung über die Gurtbewegung lässt er sich außerdem der Ausschleusung nach in die abfördernden Systeme einteilen. Eine Sonderbauform des Quergurtsorters bildet der Doppelstocksorter, bei dem zwei Gurtförderer übereinander angeordnet sind. Hierzu braucht es allerdings für jede Ebene eine Einschleusung, die beispielsweise durch eine Vertikalweiche verbunden werden.³⁹

Die folgende Abbildung zeigt den modularen Aufbau eines Quergurtelementes.

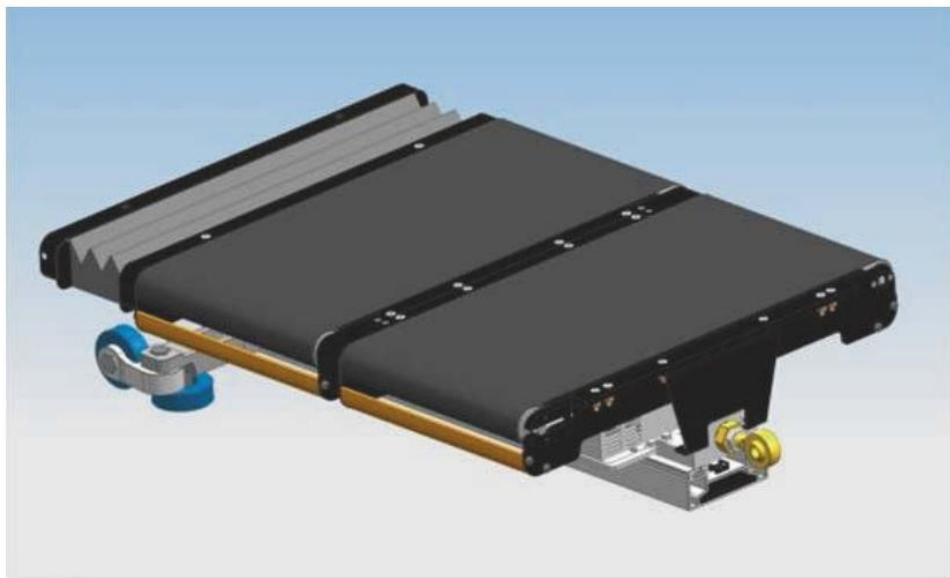


Abbildung 12: Quergurtelement eines Quersorters (www.dematic.com/de/crossbelt-sorter), Quelle: Martin (2014), S. 206.

³⁶ Vgl. ten Hompel/Heidenblut (2008), S. 229.

³⁷ Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 119.

³⁸ Vgl. Martin (2014), S. 205.

³⁹ Vgl. ten Hompel/Schmidt/Nagel (2007), S. 235 ff.

2.5.5 Schuhsorter

Der sogenannte Schuhsorter besteht aus einem umlaufenden lamellenartigen Tragplattenband, auf welchem die Fördergüter befördert und zur Seite abgeschoben werden können. Bewirkt wird dies durch die Ausschleusschuhe, die die Güter unter einem Winkel von 20 ° oder 30 ° ausschleusen. Sie verlaufen kulissengeführt zwischen den Tragplatten und sorgen für ein schonendes Abschieben von Kartons, Paketen, Schachteln oder Behältern.⁴⁰

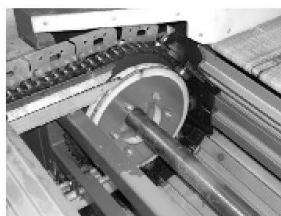
Als Zugmittel dienen zwei parallele, vertikal umlaufende Ketten, zwischen denen die zuvor erwähnten Tragplatten befestigt sind (siehe Abbildung 14). Die Platten haben eine Breite von ca. 100 bis 150 mm und weisen einen Abstand von 10 bis 20 mm auf. Abbildung 13 veranschaulicht diesen Sachverhalt.⁴¹



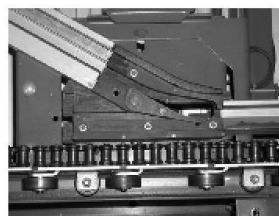
Abbildung 13: Tragplattenband: Ausschleusen von Paketen mit Ausschleusschuhen nach einer Seite, Quelle: Martin (2014), S. 205.

Der Schiebeschuhsorter wird im Gegensatz zum Kippschalensorter oder Quergurtsorter zu den Systemen mit freier Belegung gezählt, da die Güter auf der gesamten Länge des Tragplattenbandes zum Liegen kommen können. Die Schienen, in welchen die Schuhe laufen, sind links und rechts in Förderrichtung angeordnet. An jeder Endstelle gibt es zusätzlich eine diagonal im Ausschleuswinkel verlaufende Schiene, in die die Schuhe durch Betätigung einer pneumatisch oder elektrisch angesteuerten Weiche gelangen.⁴²

In der unten angeführten Abbildung sind die Weichen und die diagonalen Schienen zu erkennen.



(a) Umlenkung mit Führung



(b) pneumatische Weiche



(c) Schienenführung zur Endstelle

Abbildung 14: Führung der Schiebeschuhe, Quelle: ten Hompel/Schmidt/Nagel (2007), S. 243.

⁴⁰ Vgl. Martin (2014), S. 204.

⁴¹ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 91.

⁴² Vgl. ten Hompel/Schmidt/Nagel (2007), S. 241 f.

2.5.6 Andere Sortertypen

Schwenklappensorter

Der Schwenklappensorter besitzt als Tragmittel eine v-förmige Schale (deswegen wird er auch als "Gull-Wing-Sorter" bezeichnet). Diese Schalen werden wie beim Kippschalensorter an den Ausschleusungen nach unten gekippt, mit dem Unterschied, dass jeweils nur die auswurfseitige Kippklappe dies tut. Das Fördergut fällt sodann durch die Schwerkraft in die Endstelle. Aufgrund der v-förmigen Schale wird auch ein sicherer Transport von runden und zylindrischen Produkten gewährleistet. In Abbildung 15 ist ein Schwenklappensorter abgebildet.⁴³



Abbildung 15: Schwenklappensorter im DPD-Depot 160 in Raunheim. a Endstellen, b Abwurfstellung, c Transportstellung, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 75.

Pushersorter und Drearmsorter

Ein Pushersorter besitzt einen Schieber (Pusher), durch den das Fördergut seitlich zum Verteilband auf eine Befüllklappe abgeschoben wird. Durch Öffnen der Klappe gelangt das Gut dann in einen Karton.⁴⁴

Eine Sonderform des Pushersorters ist der sogenannte Drearmsorter. Dabei wird das Sortiergut an der Endstelle durch rotatorische Bewegungen des Drearms ausgeschleust. Bezüglich der Gutbelastung erweist sich dieser Sortertyp als vorteilhaft, da das Gut nicht quer zur Hauptbewegung, sondern schonend entlang einer Kreisbahn mit einer Bewegungskomponente in Förderrichtung abgeschoben wird.⁴⁵ Man nennt ihn auch Drehschubsorter oder Rotationspusher. Im nächsten Bild ist ein Drearmsorter sowie seine Bewegungsphasen und ein Einsatzbeispiel dargestellt.⁴⁶



Abbildung 16: Drearmsorter. a Skizze, b Bewegungsphasen, c Einsatzbeispiel, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 96.

⁴³ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 75.

⁴⁴ Vgl. Martin (2014), S. 206.

⁴⁵ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 96.

⁴⁶ Vgl. ten Hompel/Heidenblut (2008), S. 62.

Tragschuhsorter

Der Tragschuhsorter ähnelt vom Aufbau her sehr dem bereits in Punkt 2.5.5 beschriebenen Schiebeschuhsorter, er weist jedoch einige Unterschiede auf. Zum einen ist das Tragmittel nicht das Tragmittelband, sondern die Schuhe selbst (daher der Name Tragschuhsorter). Des Weiteren können die Sortiergüter nicht nach links oder rechts, sondern lediglich an der Stirnseite des Förderers ausgeschleust werden, da die Schuhe nur innerhalb des Plattenbandes verfahrbar sind. Somit gelangen die Fördergüter zum Einschleusen auf die Tragschuhe, diese verschieben sich je nach Ziel nach links oder rechts und geben dann die Güter an die nachfolgenden Förderbänder ab. In Abbildung 17 erkennt man ein Einsatzbeispiel.⁴⁷

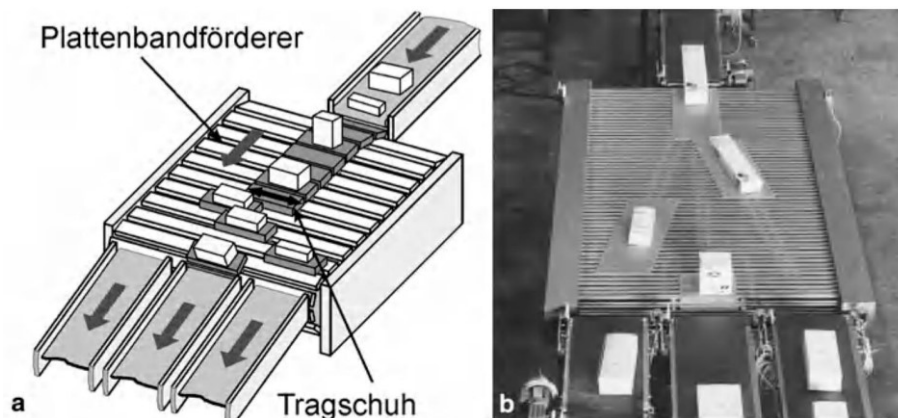


Abbildung 17: Tragschuhsorter. a Prinzipskizze, b Einsatzbeispiel, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 66.

Fallklappensorter

Beim Fallklappensorter sind entlang der Förderstrecke Wannen angeordnet, die einen abklappbaren Boden (mittig geteilt) aufweisen. Befindet sich eine Wanne über der zugeordneten Endstelle, so öffnet sich die Klappe und das Transportgut wird kontrolliert abgelegt. Man kann zwischen Einfach-, Zweifach- und Vierfachklappenschalen unterscheiden. Die folgende Abbildung zeigt eine Prinzipskizze und ein Praxisbeispiel eines Fallklappensorters.⁴⁸

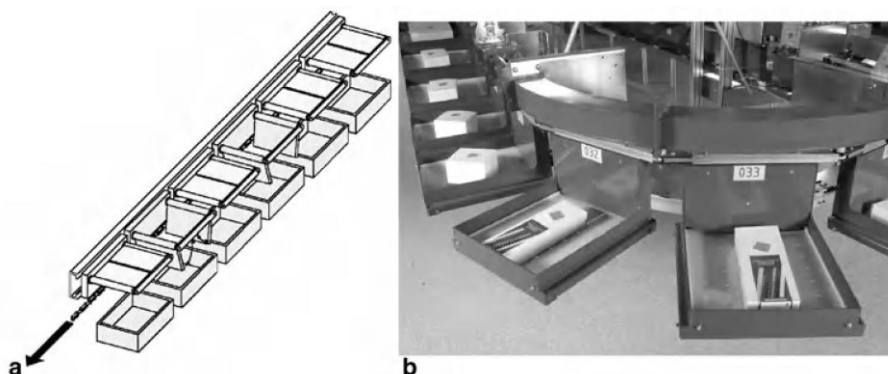


Abbildung 18: Fallklappensorter. a Prinzipskizze, b Realisierungsbeispiel, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 72.

⁴⁷ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 65.

⁴⁸ Vgl. Martin (2014), S. 207.

2.6 Hängefördertechnik

Mit einer Hängefördertechnik kann Hängeware befördert werden (beispielsweise Oberbekleidung), die wegen Beschädigungsgefahr oder aus Qualitätsgründen hängend transportiert und gelagert wird.⁴⁹

2.6.1 Konstruktiver Aufbau

Allen Hängeförderern gemein ist also eine Lastaufnahme unterhalb einer oder mehrerer Laufschiene(n). Die Schienen sind entweder an der Hallendecke befestigt oder werden von Stützen getragen.⁵⁰ Ein Vorteil von Hängeförderern ist unter anderem eine freie Bodenfläche, was eine große Bewegungsfreiheit für die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen ermöglicht. Somit bietet sich auch eine ungehinderte Zugänglichkeit für automatisierte und manuelle Arbeitsprozesse. Weiters lassen sich die Fördergüter auf diese Weise schonend transportieren (z. B. empfindliche Bauteile oder frisch lackierte Karosserieteile).⁵¹

Um auch geringere Lasten transportieren zu können wurden Trolleysysteme entwickelt (siehe Pkt. 2.6.8). Diese weisen z. B. andere Schienenquerschnitte auf und arbeiten nach unterschiedlichen Prinzipien. Mit einem Transferförderer (Schrägförderer) lassen sich Höhenunterschiede überbrücken. Der Transport in der Waagrechten erfolgt entweder manuell, mittels Ketten (motorisch) oder durch Schwerkraft.⁵²

Die Linienführung der Systeme lässt sich durch Geradstücke, Bogenstücke, Weichen, Schwenkscheiben, Absenkstationen und horizontalen Versetzstationen dem Ablauf gut anpassen. Bei den Weichen gibt es *einfache Abzweigungen* sowie *mehrfache Abzweigungen*. In den folgenden Abbildungen sind eine Deckenaufhängung einer Laufschiene und die Linienführung einer Anlage inklusive ihrer Verzweigungen dargestellt.⁵³

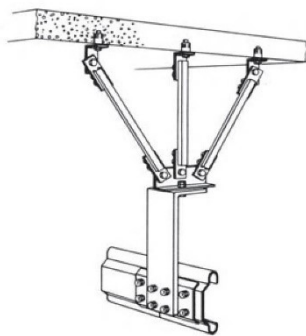


Abbildung 19: Deckenaufhängung einer Sonderlaufbahn (Stahlblech zum Wulstprofil gekantet), Quelle: Martin (1978; korrigierter Nachdruck 1992), S. 178.

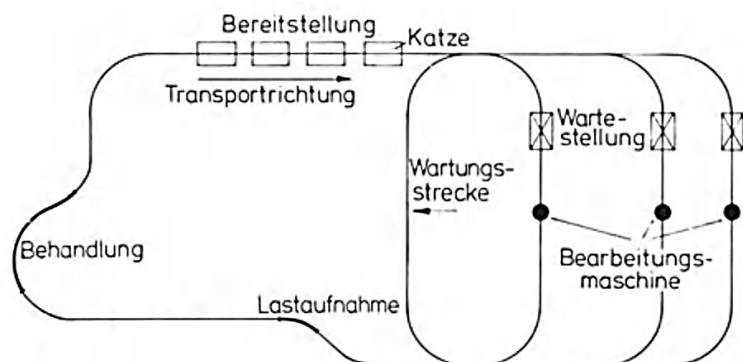


Abbildung 20: Ringbahnanlage mit Verzweigungen, Quelle: Martin (1978; korrigierter Nachdruck 1992), S. 110.

⁴⁹ Vgl. ten Hompel/Heidenblut (2008), S. 115.

⁵⁰ Vgl. Martin (1978; korrigierter Nachdruck 1992), S. 108.

⁵¹ Vgl. Arnold/Isermann/et al. (2008), S. 629.

⁵² Vgl. Martin (2014), S. 220.

⁵³ Vgl. Martin (1978; korrigierter Nachdruck 1992), S. 108 f.

2.6.2 Verzweigungen

Die Verzweigungen dienen dem Übergang der Lastaufnahmemittel auf verschiedene Bahnen und der Implementierung von Speicherstrecken.⁵⁴ Für Verzweigungs- und Zusammenführungselemente gibt es verschiedene technische Ausführungen, im Grundaufbau und in der Funktion sind sie sich jedoch ähnlich und werden hier nur grundlegend beschrieben.⁵⁵

Man kann zwischen Bahnverzweigungen mittels Drehkreuz, Zweiweg- und Dreiwegweichen (Verschiebeweichen) und Fahrzeugumsetzung mittels Parallelweiche und Drehscheibe unterscheiden.⁵⁶

Die Verschiebeweichen weisen einen verschiebbaren Rahmen auf, an dem entweder zwei oder manchmal auch drei kurze Bahnstücke befestigt sind. Auch die Parallelweichen bestehen aus einem Verschieberahmen, an dem normalerweise ein Schienenstück befestigt ist, welches die Länge des längsten Fahrzeuges aufweist. Drehscheiben hingegen haben einen Drehkranz, an dem eine Laufschiene befestigt ist. In Durchgangsrichtung können die Fahrzeuge die Schiene passieren. Wenn ein Fahrzeug ausgeschleust werden soll, wird es auf dem Schienenstück zuerst zentriert positioniert. Danach dreht sich die Schiene in die jeweilige Richtung und das Fahrzeug kann die Drehscheibe verlassen.⁵⁷

Abbildung 21 zeigt schematisch die diskutierten Verzweigungselemente.

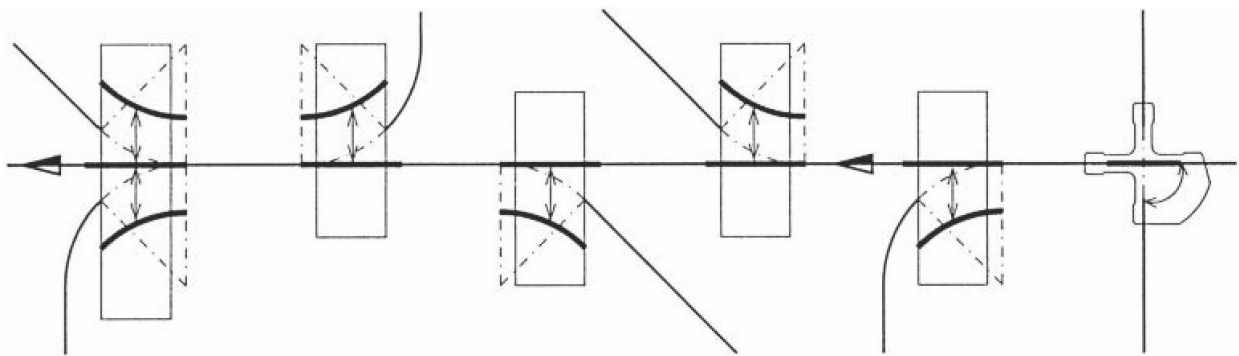


Abbildung 21: Verzweigungselemente, Quelle: Martin (2014), S. 219.

2.6.3 Hängebahn

Die Hängebahn besitzt eine Einschienenlaufkatze, beispielsweise mit Elektrofahwerk direkt auf der Kranschiene. Diese Laufkatze kann für kurze Fahrwege auch manuell durch Drücken fortbewegt werden, für längere Fahrwege werden die Elektrofahrantriebe verwendet. Kleinschleifleitungen sorgen für die notwendige Stromversorgung.⁵⁸

⁵⁴ Vgl. Griemert/Römisches (2015), S. 247.

⁵⁵ Vgl. Arnold/Isermann/et al. (2008), S. 632.

⁵⁶ Vgl. Martin (2014), S. 219.

⁵⁷ Vgl. Arnold/Isermann/et al. (2008), S. 632.

⁵⁸ Vgl. Griemert/Römisches (2015), S. 139.

Von diesem Typ existiert auch die sogenannte Handhängebahn. Bei dieser Variante erfolgt der Antrieb - wie es der Name bereits errahnen lässt - i. d. R. manuell. Die Handhängebahn ist deshalb auch nur für Traglasten bis zu 500 kg geeignet.⁵⁹

2.6.4 Schleppkettenförderer

Der Schleppkettenförderer als Stückgutförderer besitzt Ein- oder Zweistrangkettensysteme als Zugmittel sowie Aufnahmen für die am Fördergutträger angebrachten Mitnehmer.⁶⁰ Während bei Hängeförderern die Laufschiene (wie bereits zu Beginn des Kapitels erwähnt) über Kopf verläuft, wird beim Schleppkettenförderer die Kette meist in einer unter Flur liegenden Laufbahn verlegt.⁶¹ Die nachfolgende Illustration zeigt den Schleppkettenantrieb.

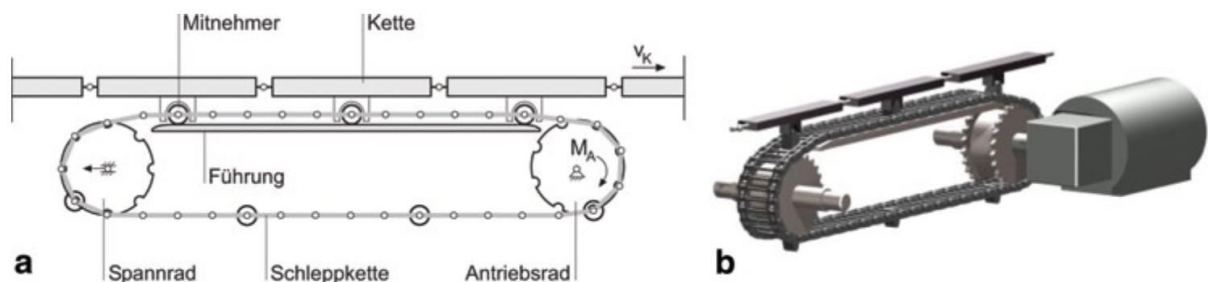


Abbildung 22: Schleppkettenantrieb. a Seitenansicht (nach [Wil98, S. 38]), b räumlicher Aufbau, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 116.

2.6.5 Kreisförderer

Einer der wichtigsten Stückgutförderer für den innerbetrieblichen Transport ist der sogenannte Kreisförderer. Die Lastlaufwerke werden von einer endlosen, raumbeweglichen Kette vorwärts gezogen. Die Laufwerke laufen dabei auf den Unterflanschen von Doppel-T- oder Sonderprofilen. Man unterscheidet beim Kreisförderer zwischen Einbahn- und Zweibahnsystemen. Das *Einbahnsystem* ist dadurch gekennzeichnet, dass das Lastlaufwerk fest mit der umlaufenden Kette verbunden ist. Die Lastabgabe erfolgt von Hand oder selbsttätig, die Lastabgabe kann selbsttätig durch Kippen, durch Abstreifen oder durch Absetzen erfolgen. Das *Zweibahnsystem* wird auch als "Power-and-Free-Förderer" bezeichnet.⁶²

2.6.6 Power-and-Free-Förderer

Der in anderen Quellen auch als „Zweischienenförderer“⁶³ bezeichnete Überkopfförderer ist aus zwei getrennten Schienensträngen aufgebaut. Im oberen Teil (Power-Strang) ist das Zugmittel, die endlose

⁵⁹ Vgl. Arnold/Isermann/et al. (2008), S. 629.

⁶⁰ Vgl. ten Hompel/Heidenblut (2008), S. 254.

⁶¹ Vgl. Pfeifer (1989), S. 256.

⁶² Vgl. Griemert/Römisch (2015), S. 245 ff.

⁶³ Vgl. Arnold/Isermann/et al. (2008), S. 630.

und ständig umlaufende Kette mit den Laufwerken, untergebracht. Der untere Schienenstrang (Free-Strang) nimmt die Lastlaufwerke auf. Diese können über steuerbare Nocken mit den Mitnehmern der Kette gekoppelt und so an beliebige Stellen transportiert werden. Dort können sie von Ausschleuseinrichtungen von der Kette getrennt werden. Durch die Weichenelemente ist wiederum ein Stauen, Lagern, Ordnen, Sortieren, Ausreihen der Gehänge oder Überwechseln in andere Transportsysteme möglich. Die Zeichnung unten zeigt den Mitnahmemechanismus des Power-and-Free-Förderers (P&F-Förderer).⁶⁴

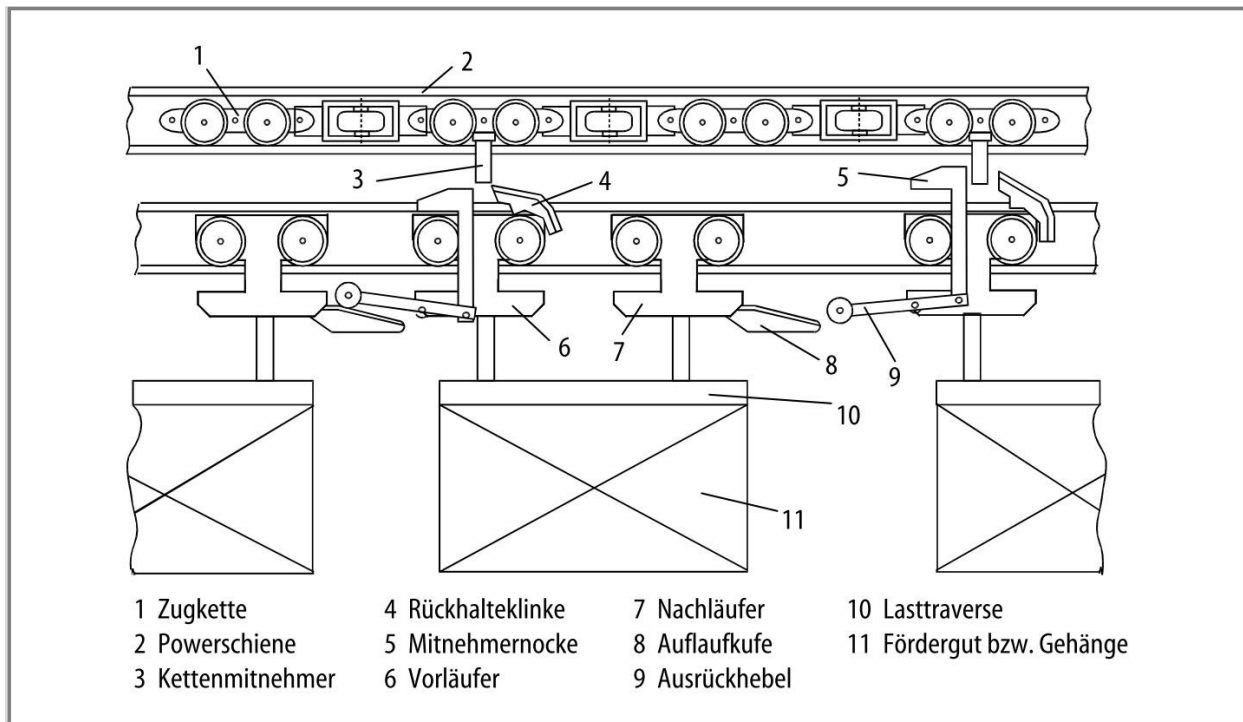


Abbildung 23: Mitnahmemechanismus von Power-and-Free-Förderern, Quelle: Arnold/Isermann/et al. (2008), S. 630.

2.6.7 Elektrohängebahn

Bei den Elektrohängebahnen (EHB) haben die Gehänge im Gegensatz zu den Kreis- und P&F-Förderern einen eigenen Antrieb und sind voneinander unabhängig.⁶⁵ In der einfachsten Ausführung besteht die EHB aus folgenden Baugruppen:⁶⁶

- aus einer einseitig aufgehängten Laufschiene, die auf der anderen Seite Schleifleitungen aufnimmt, und
- aus nichtangetriebenen Lauf- und aus angetriebenen Fahrwerken, wobei ein Lauf- und ein Fahrwerk das Lastaufnahmemittel (Gehänge) aufnimmt.

Die EHB hat wegen der Flexibilität hinsichtlich Spurführung, Lasthandling, Steuerung und hoher

⁶⁴ Vgl. Martin (2014), S. 160.

⁶⁵ Vgl. Martin (2014), S. 217 f.

⁶⁶ Vgl. Arnold/Isermann/et al. (2008), S. 630.

Verfügbarkeit eine große Anwendungsbreite erreicht.⁶⁷ Meist wird sie aber zur Teilezuführung für die Produktion (z. B. in der Automobilindustrie) oder auch in Lagervorzonnen eingesetzt.⁶⁸ In Abbildung 24 lässt sich das gerade Gelesene studieren.



Abbildung 24: Fahrwerktypen für Elektrohängebahn
(www.eisenmann.com), Quelle: Martin (2014), S. 218.

2.6.8 Taschensorter

Ein Taschensorter besitzt einzelne Taschen, welche Bodenklappen zum kontrollierten Abwurf (Ausschleusung) des Fördergutes aufweisen. Die Carrier werden durch eine vertikal umlaufende Kette oder einen Riemen gezogen und sind auf diese Weise auch miteinander verbunden. Generell ist ein Taschensorter für die Sortierung flacher Güter geeignet. Er vereint präzise Abwürfe, schonenden Guttransport und eine sehr kompakte Bauweise. Im folgenden Bild ist ein Sortersystem mit derartigen Hängetaschen zu sehen.⁶⁹



Abbildung 25: Taschensorter mit vollautomatischer Taschenentladung, Quelle: psb intralogistics GmbH (o.J.), Online-Quelle [29.03.2019]

⁶⁷ Vgl. ten Hompel/Heidenblut (2008), S. 77.

⁶⁸ Vgl. Günthner/ten Hompel/et al. (2010), S. 253.

⁶⁹ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 74.

3 MATERIALFLUSS UND DURCHSATZ

Dieser Abschnitt dient zur Veranschaulichung der wichtigsten Informationen bezüglich des Materialflusses und des Durchsatzes eines Sortiersystems. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden gewisse Formeln angewandt, die auch in diesem Abschnitt behandelt werden.

3.1 Allgemeines

Der Materialfluss ist definiert als die physische Bewältigung von Warenbewegungen aller Art als Teil einer logistischen Aufgabe.⁷⁰ Beim Durchsatz spricht man vom mittleren Stückgutstrom, der einerseits in das Lager hinein und andererseits aus dem Lager herausführt.⁷¹

3.2 Berechnung

Um eine Sortieranlage projektieren und betreiben zu können sind grundlegende Berechnungen notwendig. Es handelt sich hierbei um die übergreifenden Berechnungsvorschriften, im Wesentlichen geht es um den Durchsatz.⁷²

3.2.1 Grenzdurchsatz

Die *technische Grenzleistung* eines Verteilförderers wird als der maximale Durchsatz $\lambda_{Sort,max}$ bezeichnet. Er wird durch die Beziehung

$$\lambda_{Sort,max} = \frac{v_K \cdot c \cdot 3.600}{s_{Sort,min}} \quad (3.1)$$

bestimmt und in *Stück/h* ausgewiesen. v_K ist die Fördergeschwindigkeit des Verteilförderers in *m/s*, c gibt die Anzahl der parallelen Tragmittel an und $s_{Sort,min}$ steht für den minimalen Sortiergutabstand in *m*. Von diesen Größen wird der technische Durchsatz beeinflusst.⁷³

Gutabstand bei segmentiertem und durchgehendem Tragmittel

Bei segmentierten Tragmitteln ist der Abstand zur Durchsatzberechnung nur von der Teilung der Tragmittel abhängig und somit konstruktiv festgelegt, weshalb er sich zu

$$s_{Sort,min} = p_T \quad (3.2)$$

ergibt, wobei p_T die Teilung (pitch) der Tragmittel in *m* ist. Bei den Verteilförderern mit durchgehendem Tragmittel finden die Transportgüter hingegen in jeder ausreichend großen Lücke Platz, wodurch der Gutabstand nicht vom Verteilförderer abhängig ist. Dies kann ein Vor- und gleichzeitig ein Nachteil sein, da bei Sortern mit durchgehenden Tragmitteln der hausinterne Gutmix von entscheidender Bedeutung für

⁷⁰ Vgl. ten Hompel/Heidenblut (2008), S. 181.

⁷¹ Vgl. ten Hompel/Heidenblut (2008), S. 66.

⁷² Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 169.

⁷³ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 169.

die Leistung ist. Das Schaubild unten zeigt den Durchsatz in Abhängigkeit vom Abstand der Güter und der Geschwindigkeit.⁷⁴

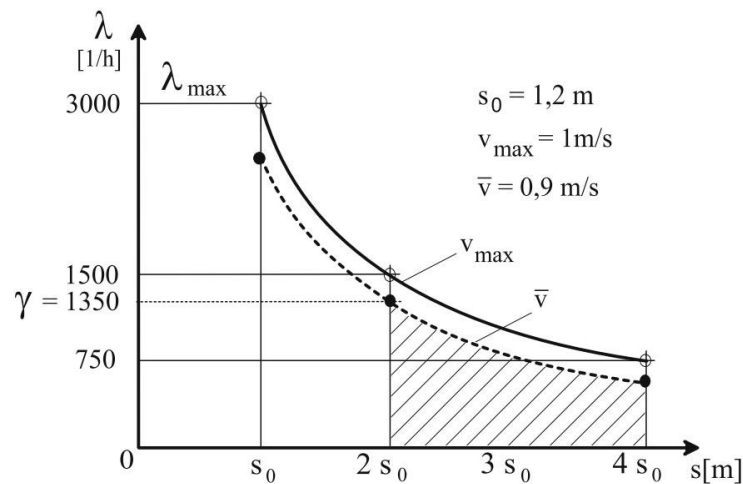


Abbildung 26: Durchsatz λ von Fördereinheiten auf einer Förderstrecke in Abhängigkeit vom Abstand s und der Geschwindigkeit v , Quelle: Arnold/Furmans (2009), S. 12.

Es ist außerdem festzuhalten, dass der maximale Durchsatz, also der *technische Grenzdurchsatz* $\lambda_{\text{Sort,max}}$ vom *betrieblichen Durchsatz* abweicht, da für letzteren auch noch andere Faktoren ausschlaggebend sind. Es wird auf dieses Thema allerdings nicht näher eingegangen, da für die Vorstudie und Konzeptfindung vorerst die überschlagsmäßige Berechnung ausreichend ist.⁷⁵

3.2.2 Partialströme

Von Partialströmen spricht man, wenn *Verzweigungselemente* mit einem Eingang und zwei Ausgängen den einlaufenden Strom (Einlaufstrom) λ_E in zwei partielle Auslaufströme λ_{A1} und λ_{A2} aufteilen. Das Pendant zu den Verzweigungselementen bilden die *Zusammenführungselemente*, welche zwei partielle Einlaufströme λ_{E1} und λ_{E2} wieder zu einem Auslaufstrom λ_A vereinigen. Dies wird durch die Bezüge

$$\text{für Verzweigungselemente} \quad \lambda_E = \lambda_{A1} + \lambda_{A2} \quad (3.3)$$

$$\text{und für Zusammenführungselemente} \quad \lambda_A = \lambda_{E1} + \lambda_{E2} \quad (3.4)$$

abgebildet. In Abbildung 27 ist die Angelegenheit bildlich dargestellt.⁷⁶

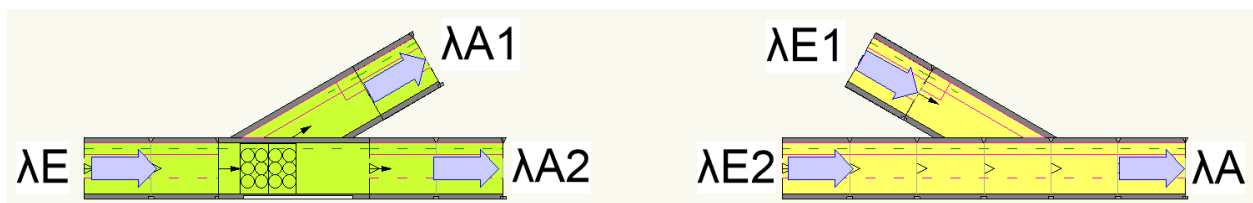


Abbildung 27: Darstellung von ein- und auslaufenden Strömen an Fördertechnik-Elementen, Quelle: Eigene Darstellung.

⁷⁴ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 170 ff.

⁷⁵ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 174 f.

⁷⁶ Vgl. Gudehus (2005), S. 489 f.

3.2.3 Durchschleusgrad

Manchmal kann es notwendig sein, Fördergüter nach Ihrem Durchschleus- bzw. Ausschleusverhältnis zu bewerten, wenn mehrere Einschleusbereiche vorkommen. Für diese Berechnungen kann der Durchschleusgrad herangezogen werden.

Es wird dabei davon ausgegangen, dass jeder Einschleusbereich in der Lage ist, genau jede vorbeifahrende Position des Verteilförderers zu belegen. Wenn mit zwei Einschleusbereichen kalkuliert wird, gibt der Durchschleusgrad DG_a die vom Einschleusbereich E_1 eingeschleusten Güter an, die erst hinter dem Einschleusbereich E_2 , also im Ausschleusbereich B ausgeschleust werden. Ist der $DG = 0$, bedeutet das, dass alle bei E_1 eingeschleusten Güter vor E_2 wieder ausgeschleust wurden. Ist hingegen $DG = 1$, heißt das, dass alle Güter erst hinter E_2 ausgeschleust werden können. Analog dazu gibt DG_b die vom Einschleusbereich E_2 eingeschleusten Güter an, die erst hinter E_1 , also im Ausschleusbereich A , ausgeschleust werden können. Daraus kann geschlossen werden, dass die Leistung des Verteilförderers bei zwei Einschleusbereichen zwischen 100 % und 200 % schwanken kann, je nachdem, wie sich die Durchschleusgrade verhalten. Abbildung 28 spiegelt das soeben Beschriebene wider.⁷⁷

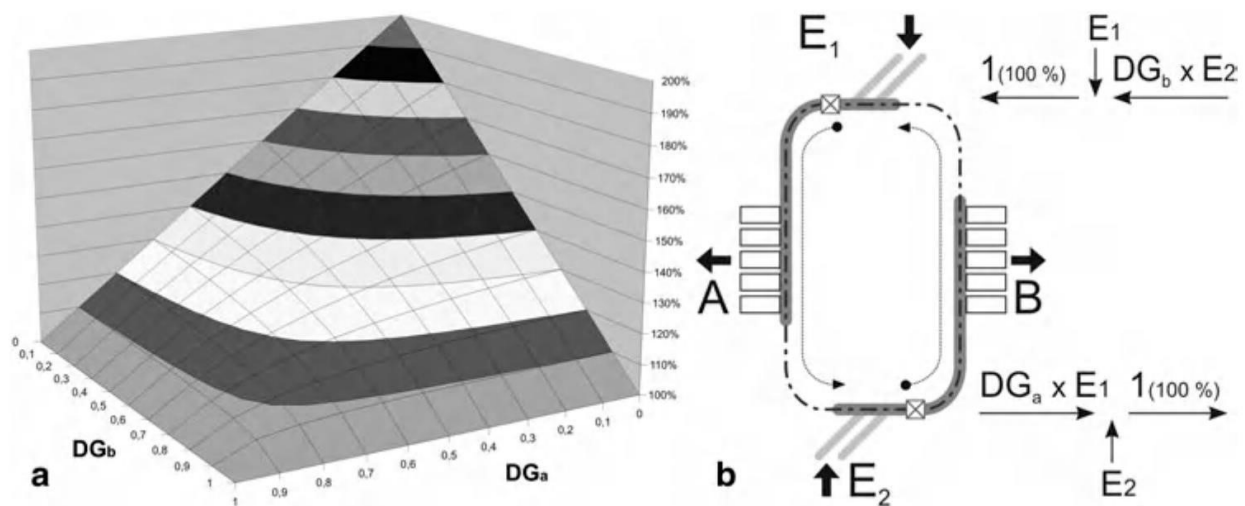


Abbildung 28: Leistungssteigerung durch einen zweiten Einschleusbereich. a Leistungskennfeld, b Situation an den Einschleusungen, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 41.

3.3 Anlagenkonzepte

Um eine Leistungserhöhung bei Sortiersystemen zu erreichen gibt es eine Reihe von Maßnahmen. Eine davon ist die Durchsatzsteigerung durch geschickte Anlagenkonzepte. Diese sind allerdings immer vom Layout der Gesamtanlage, von der Identifizierungstechnik und nicht zuletzt von den Kundenprozessen abhängig. Die gängigsten dieser Konzepte werden in diesem Abschnitt thematisiert.⁷⁸

⁷⁷ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 41 f.

⁷⁸ Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 152.

3.3.1 Einfach- und Doppeleinschleusung

Eine Möglichkeit dabei ist es, von nur einem Einschleusbereich (vergleiche Abbildung 4, S. 5) auf mehrere Einschleusbereiche umzusteigen. Grundsätzlich legt man maximal zwei Einschleusbereiche in diagonalen Anordnung an. Der Gedanke dahinter ist, einen Platz auf dem Sorter während eines Umlaufs mehrfach zu belegen. Dazu muss das Fördergut allerdings vor dem Erreichen des zweiten Einschleusbereiches wieder ausgeschleust worden sein. Aus diesem Grund kann auch nicht davon ausgegangen werden, dass ein zweiter Einschleusbereich eine Verdoppelung der Leistung mit sich bringt. Diese ist von den Ausschleus- oder Durchschleusgraden abhängig (siehe hierzu auch Punkt 3.2.3). Nimmt man an, dass im Mittel 50 % der Sortiergüter jeweils vor dem nächsten Einschleusbereich ausgeschleust werden (entspricht einem Durchschleusgrad von $DG = 0,5$), so bringt dies lediglich eine Leistungssteigerung von 33 %. Die untenstehende Skizze zeigt einen Sorterkreislauf mit zwei Einschleusbereichen.⁷⁹

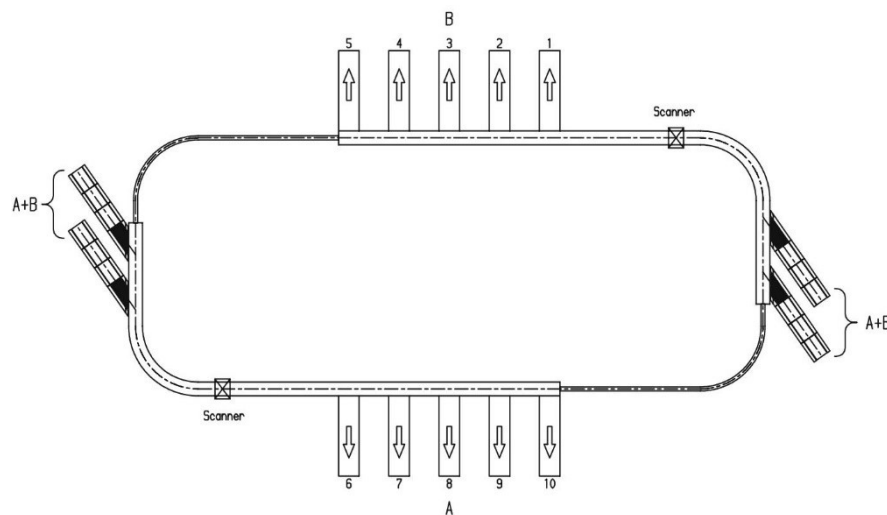


Abbildung 29: Mehrere Einschleusbereiche zwischen den Endstellen, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 152.

3.3.2 Doppelausschleusung

Mit zwei Einschleusbereichen und zwei Endstellenbereichen erreicht man also maximal das Doppelte des nominalen Durchsatzes, vorausgesetzt es ist an jedem Endstellenstrang jedes Ziel als Ausschleusung vorhanden.⁸⁰

Daraus folgend werden nun Konzepte interessant, die ein gezieltes Zusteuern der Güter zu den Einschleusungen oder den Ausschleusbereichen ermöglichen. Eines davon ist die doppelte Ausschleusung. Bei dieser können alle Endstellen entweder direkt vom Sorter oder über eine Querverbindung aus dem anderen Ausschleusbereich erreicht werden. Somit ist gewährleistet, dass alle Sortiergüter in jedem Ausschleusbereich (A oder B) ausgeschleust werden können und die Gesamtleistung dadurch auf 200 % steigt. Zu Bedenken ist dabei, dass die Querverbindungen mit der

⁷⁹ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 41.

⁸⁰ Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 153.

Endstellenanzahl ebenfalls steigen. Abbildung 30 zeigt den Sorterkeislauf mit seinen Querverbindungen.⁸¹

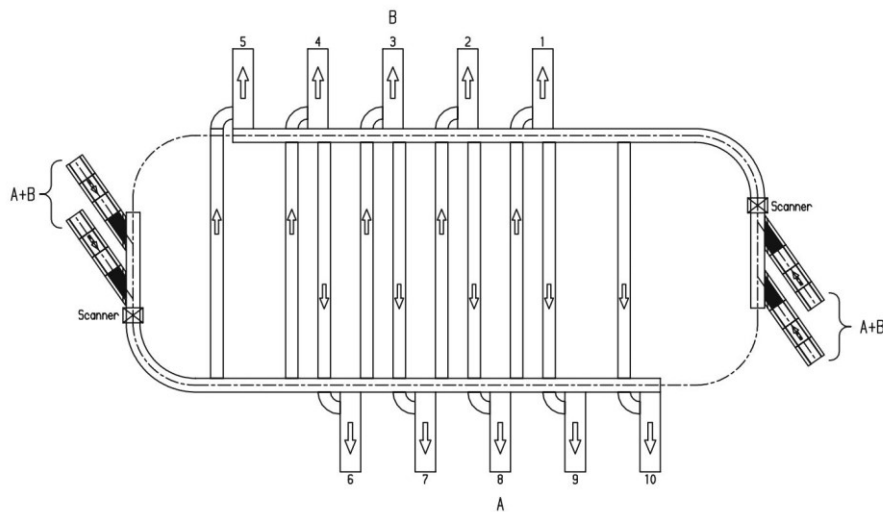


Abbildung 30: Verbindung jeder Endstellenstränge, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 153.

3.3.3 AB-Vorsortierung

Um diesen vorprogrammierten Investitionen der steigenden Endstellenanzahl entgegenzuwirken, bietet sich ein Sorterkonzept mit AB-Vorsortierung an. Die Stückgüter werden hierbei bereits im Bereich der Zuführung identifiziert und auf den jeweiligen Einschleusbereich vorsortiert. Gewissermaßen teilt man durch diese Maßnahme den physischen Sorter in zwei logische Sorter für A- und B-Stückgüter auf und erreicht dadurch bei Gleichverteilung der Güter den doppelten Durchsatz. Das folgende Bild zeigt die beschriebene Vorsortierung.⁸²

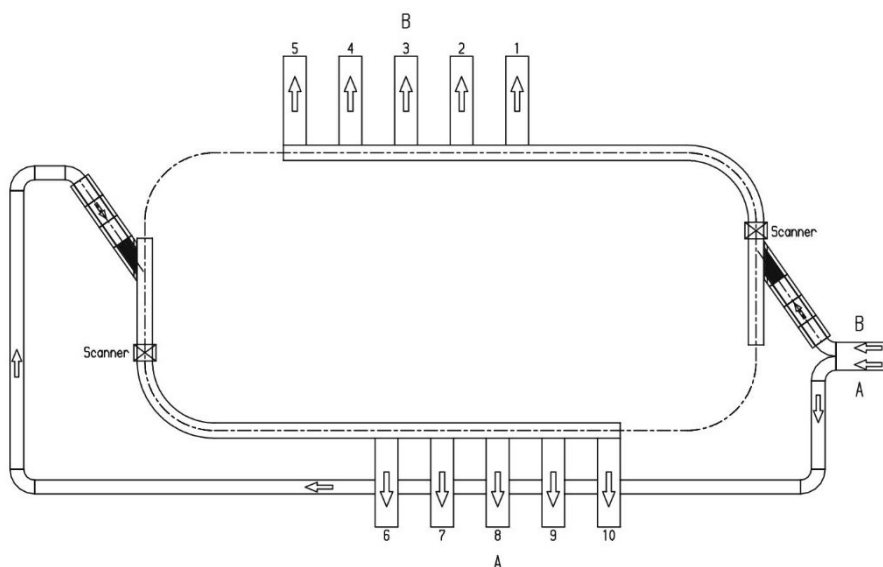


Abbildung 31: AB-Vorsortierung, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 154.

⁸¹ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 43.

⁸² Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 153.

3.3.4 Bypassstrecken

Um die AB-Vorsortierung zu vermeiden, kann ein Sorterkeislauf mit Bypassstrecken eingesetzt werden. Hierbei gelangen die Sortiergüter über die Einschleusbereiche zunächst unsortiert zu den jeweils ersten Scannern auf dem Sorter. Dort werden diese identifiziert und alle, die nicht für den nächsten Endstellenbereich vorgesehen sind, gelangen über die jeweilige Bypassstrecke zum anderen Endstellenbereich und werden dort dem Sorter wieder zugeführt.⁸³

Es ist bei dieser Lösung allerdings zu berücksichtigen, dass unter Umständen 50 % des Sorterdurchsatzes über die Bypassstrecke laufen muss. Diese ist daher auch dementsprechend zu dimensionieren oder doppelt auszuführen.⁸⁴

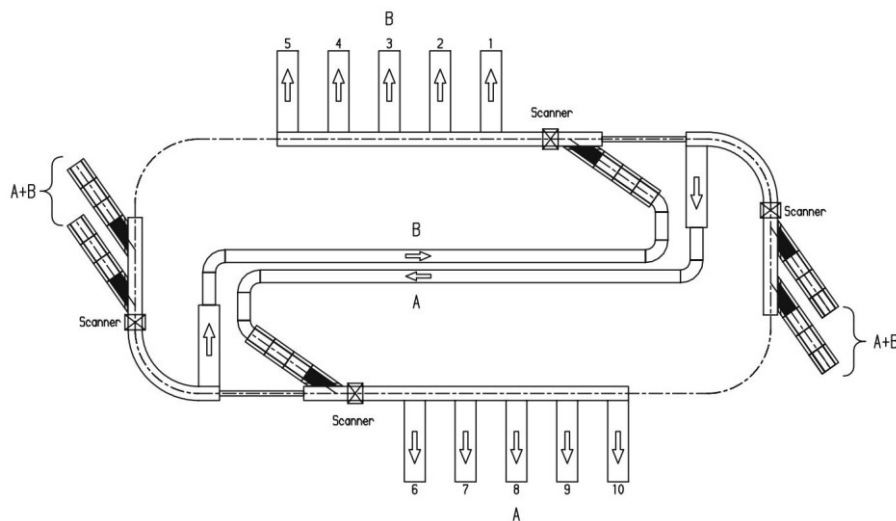


Abbildung 32: AB-Vorsortierung am Sorter mit Bypassstrecken, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 154.

3.3.5 Matrixanordnung

Um sehr hohe Sortierleistungen realisieren zu können, benötigt es sogenannte Matrixsorterkonzepte, da bei den beschriebenen Einsorterkonzepten die Leistungen häufig nicht mehr ausreichen. Zum Einsatz kommen derartige Konzepte speziell in den großen Hubs der Kurier- und Paketdienste, da diese wegen des engen Sortierzeitfensters auf extrem hohe Durchsätze ausgelegt sein müssen. Die Ausschleusungen der Sorter werden dabei häufig auf gemeinsame, über Fördertechnik miteinander verbundene Endstellen zusammengefasst. Der Name Matrixsorterkonzept leitet sich von der Anordnung der Fördertechnik ab, die in diesem Fall quer zur Laufrichtung der Sorter liegt. Abbildung 33 zeigt die parallele Verarbeitung auf mehreren Sortern.⁸⁵

⁸³ Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 153.

⁸⁴ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 44.

⁸⁵ Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 153 ff.

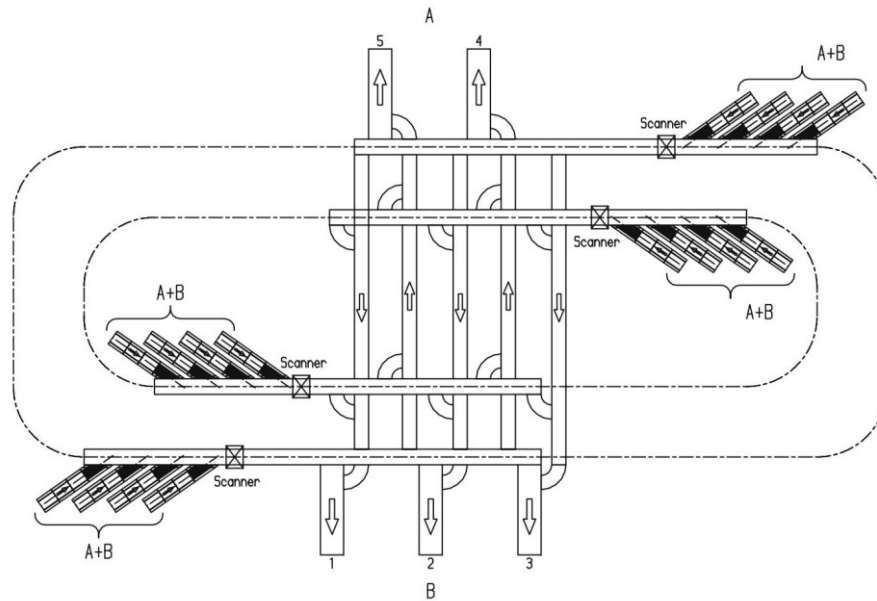


Abbildung 33: Matrixsorterkonzept, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 155.

Diese Matrixanordnungen erreichen dann Sortierleistungen von mehreren 100.000 Paketen. Als Aushängeschild ist das Hochleistungssortiersystem von UPS zu nennen. Dieses wurde bereits mehrfach erweitert und erstreckt sich über eine Fläche von 483.600 m². Es werden Systemleistungen von 416.000 Einheiten/h mit diesem System erreicht.⁸⁶

3.3.6 Andere Maßnahmen

Durchsatzerhöhung über Geschwindigkeit und Schalenteilung

Der Faktor Geschwindigkeit wurde in der Vergangenheit quasi kontinuierlich erhöht, was allerdings auch durch den Entwicklungsprozess von so mancher Komponente bestimmt wurde. Konventionelle Kippschalensorter weisen heute beispielsweise Geschwindigkeiten von bis zu 2,3 Meter pro Sekunde auf. Noch schneller zu werden ist jedoch nicht mehr so einfach, da man einerseits den Geräuschpegel der Anlage zu sehr in die Höhe treiben würde und andererseits etwa bei Kippschalensortern an physikalische Grenzen stößt (durch hohe Fliehkräfte in den Kurven können die Produkte verrutschen und im schlimmsten Fall sogar von der Schale gleiten). Eine weitere Möglichkeit wäre die Schalenteilung so zu bemessen, dass das größte zu befördernde Produkt immer gerade noch auf die Schale passt. Bei einem sehr unterschiedlichen Produktspektrum macht dies aber wiederum wenig Sinn.⁸⁷

Durchsatzerhöhung durch konstruktive Maßnahmen

Auch konstruktive Maßnahmen können zur Leistungserhöhung beitragen. Oft kommt es vor, dass bei den Sortieranlagen häufig auch der Platzbedarf eine Rolle spielt. Für derartige Anwendungen und zur Leistungserhöhung können Sorter verwendet werden, die zwei Förderplatzelemente – also Schalen oder Quergurte – übereinander besitzen. Durch diese Nutzung verdoppelt sich der Durchsatz. Als Beispiel sei

⁸⁶ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 51.

⁸⁷ Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 148 f.

der Quergurtsorter genannt, bei dem Quergurte sowohl nebeneinander als auch übereinander zum Einsatz kommen. Der klassische *Doppelstocksorter* besitzt zwei übereinander angeordnete Quergurtelemente, wobei der Höhenabstand so gewählt ist, dass das höchste Gut unter dem oberen Element ausreichend Platz hat. Für dieses Prinzip sind Einschleusungen und Ausschleusungen auf zwei Ebenen notwendig (Einschleusung z. B. mittels Vertikalweiche). Von der Firma BEUMER gibt es einen derartigen Doppelstockquergurtsorter, der zu einem „Multi Level Belt Tray Sorter“ weiterentwickelt wurde und dank seines Hubwerks auf vier Ebenen ausschleusen kann. Die folgende Abbildung zeigt dieses Prinzip. Dadurch ergeben sich vier Mal so viele Endstellen wie bei herkömmlichen Sortern.⁸⁸

BEUMER Multilevel Belt Tray Sorter



Abbildung 34: Doppelstockquergurtsorter von BEUMER, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 151.

3.3.7 Endstellendichte

Endstellen können bis zu 50 % des Gesamtinvestments in die Mechanik und 60 – 70 % des Flächenbedarfs ausmachen. Zugleich haben sie einen wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Systems. Bei der Planung sollte daher ein dementsprechendes Augenmerk auf die Ausführung der Endstellen gelegt werden. Die Sortieraufgabe bestimmt die Größe und Anzahl der Endstellen. Ein Sortiersystem, das viele Aufträge mit aber nur geringen Auftragsmengen verarbeiten muss, benötigt folglich auch eine große Anzahl an Endstellen. Derartige Systeme verarbeiten (in Kombination mit einer davor angesiedelten ersten Kommissionierstufe) täglich mehr als 100.000 Aufträge mit einem Durchschnitt von ein bis vier Artikeln pro Auftrag. Andere Sortiersysteme kommen mit weniger Endstellen aus, benötigen dafür aber Funktionen und Prozesse, die ihrerseits wieder Platz benötigen. Genannt seien hier beispielsweise Gepäckförder- und -sortieranlagen in Flughäfen oder Versandsorter, die an ihren Endstellen Touren bereitstellen oder Fahrzeuge beladen. Dasselbe gilt für Kurier-, Express- und Paketdienste sowie für kleinere Waren- und Versandhäuser.⁸⁹

⁸⁸ Vgl. Arnold/et al. (2006), S. 150 f.

⁸⁹ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 45 f.

3.4 Verfügbarkeit und Ausfallsicherheit

Die Verfügbarkeit ist eine Kenngröße einer Leistungskette oder eines Systems. Sie ist in weiterer Folge definiert als die Wahrscheinlichkeit, dass das Element, die Kette oder das System während der planmäßigen Betriebszeit solange in betriebsfähigem Zustand anzutreffen ist, dass eine störungsfreie und korrekte Ausführung der betreffenden Funktionen möglich ist.⁹⁰

Für den Anlagenlieferanten und für den Anlagenkäufer kommen nun zur Bestimmung der Kenngröße Systemverfügbarkeit

- analytische Berechnungsverfahren
- und Simulationsverfahren

in Betracht.⁹¹

Beim Thema Verfügbarkeit einer Sortieranlage handelt es sich um ein komplexes Kriterium. Es genügt auch nicht für eine definierte Betriebsdauer festzulegen, welchen Anteil die Ausfallzeit haben darf. Vergleicht man eine Betriebszeit von 16 Stunden mit 20 Störungen, die jeweils eine Minute dauern, macht dies wohl weniger Probleme als eine Störung, die 20 Minuten andauert.⁹²

Für Förderer werden grundsätzlich Verfügbarkeiten mit einem Faktor von 0,9995 und mehr gefordert und realisiert.⁹³

3.5 Durchsatzwerte und Geschwindigkeiten

Dieses Unterkapitel nimmt Bezug auf die Durchsatzwerte und die Fördergeschwindigkeiten der gängigsten Sortertechnologien und der Hängefördertechnik.

3.5.1 Sorter

In der nachstehenden Tabelle sind die Leistungsmerkmale bei segmentiertem und durchgängigem Tragmittel zusammengefasst. Es wird in der linken Spalte ein Bereich für die Grenzdurchsätze genannt, die rechte Spalte weist die Fördergeschwindigkeiten der Gewerke aus. Die drei hauptsächlich zitierten Sortertypen *Quergurtsorter*, *Kippschalensorter* und *Schiebeschuhsorter* weisen hier Nenndurchsätze bis zu 26.000 Einheiten/h und Fördergeschwindigkeiten bis über 3 m/s auf. Die Tabelle ist ein Auszug aus Tabellen, die Jodin/ten Hompel in ihrem Werk abgebildet haben. Dabei sind in der Quelle nicht für alle Sortertypen Geschwindigkeiten angegeben.⁹⁴

⁹⁰ Vgl. Gudehus (2005), S. 524 f.

⁹¹ Vgl. Griemert/Römisches (2015), S. 343 f.

⁹² Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 21.

⁹³ Vgl. Griemert/Römisches (2015), S. 341.

⁹⁴ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 103 f.

		Max. Nenndurchsatz Einheiten/h von ... bis	Fördergeschwindigkeit m/s von ... bis
Segmentiertes Tragmittel	Kippschalensorter	6.000 ... 24.000	1,0 ... 3,0
	Quergurtsorter	12.000 ... 26.000	2,0 ... 3,0
	Schwenklappensorter	9.000 ... 9.000	2,0 ... 2,0
	Tragschuhsorter	8.000 ... 15.000	
	Fallklappensorter	7.200 ... 10.000	1,0 ... 1,0
Durchgängiges Tragmittel	Schuhsorter	8.000 ... 15.000	1,0 ... 3,3
	Pushersorter	1.500 ... 8.000	
	Dreharmsorter	3.300 ... 6.000	

Tabelle 1: Maximaler Nenndurchsatz und Fördergeschwindigkeit von Sortern, Quelle: Eigene Darstellung.

3.5.2 Hängefördertechnik

Übliche Fahrgeschwindigkeiten von Hängebahnen sind etwa 40 m/min, auf die Sekunde gerechnet sind dies 0,67 m/s.⁹⁵ Heinrich schreibt von Werten zwischen 10 und 100 m/min, was umgerechnet wiederum Werten zwischen 0,167 und 1,667 m/s entspricht.⁹⁶

Laut Jodin/ten Hompel werden bei den Taschensortern Nennleistungen von 50.000 Ladeeinheiten pro Stunde erreicht. Erwähnt sei der "Bomb Bay"-Sorter mit einer minimalen "Endstellenbreite" von 89,9 mm.⁹⁷

Wendet man hier die Formel (3.1) mit diesen Werten an, so erhält man folgende Ergebnisse:

$$\lambda_{Sort,min} = \frac{v_{Kmin} \cdot c \cdot 3.600}{s_{Sort,min}} = \frac{0,167 \frac{m}{s} \cdot 1 \cdot 3.600}{0,0899 m} = 6.687 \text{ Stück/h} \quad (3.5)$$

$$\lambda_{Sort,max} = \frac{v_{Kmax} \cdot c \cdot 3.600}{s_{Sort,min}} = \frac{1,667 \frac{m}{s} \cdot 1 \cdot 3.600}{0,0899 m} = 66.754 \text{ Stück/h} \quad (3.6)$$

Damit kann für die Hängefördertechnik die nachstehende Tabelle gebildet werden (gerundete Werte).

	Max. Nenndurchsatz	Fördergeschwindigkeit
	Einheiten/h	m/s
	von ... bis	von ... bis
Hängefördertechnik/Taschensorter	6.700 ... 66.800	0,2 ... 1,7

Tabelle 2: Maximaler Nenndurchsatz und Fördergeschwindigkeit von Hängefördertechnik, Quelle: Eigene Darstellung.

3.6 Sortierguteignung

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Sortierguteignung am Verteilförderer. Angegeben sind jeweils der niedrigst und der höchst genannte Wert der jeweiligen Abmessung. Bei Längenangaben über 1.000 mm kann davon ausgegangen werden, dass vom Fördergut zwei Gutaufnahmen belegt werden. Bei Betrachtung der Werte lässt sich die große Bandbreite der Anforderungen erkennen. Die Tabelle ist ein Auszug aus Tabellen, die Jodin/ten Hompel in ihrem Werk abgebildet haben. Wiederum sind in der Quelle nicht für alle Sortertypen Werte angegeben.⁹⁸

⁹⁵ Vgl. Griemert/Römisch (2015), S. 119.

⁹⁶ Vgl. Martin (1978; korrigierter Nachdruck 1992), S. 109.

⁹⁷ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 74.

⁹⁸ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 105.

		Gutabmessungen			Gutgewicht / kg
		Länge / mm	Breite / mm	Höhe / mm	
Segmentiertes Tragmittel	Kippschalensorter	50 ... 1.800	50 ... 1.000	5 ... 900	75,0
	Quergurtsorter	100 ... 1.500	150 ... 800	5 ... 800	0,1 ... 50,0
	Schwenklappensorter	2.000	800	600	0,2 ... 55,0
	Tragschuhsorter				
	Fallklappensorter	150 ... 800	150 ... 600	200 ... 400	5,0
Durchgängiges Tragmittel	Schuhsorter	75 ... 2.300	75 ... 1.000	6 ... 2.300	0,1 ... 90,0
	Pushersorter	600			34,0
	Dreharmsorter	150 ... 1.400	80 ... 850	5 ... 860	0,1 ... 35,0

Tabelle 3: Sortierguteignung am Verteilförderer hinsichtlich Gutabmessung und Gutgewicht, Quelle: Eigene Darstellung.

4 KOSTEN, RECHERCHE UND BEWERTUNG DER SYSTEME

Um einen wirtschaftlichen Bezug zum Thema zu erhalten, thematisiert dieses Kapitel in erster Linie die Kosten, die für eine Sortieranlage aufgebracht werden müssen. Des Weiteren findet auch eine Markt- und Patentrecherche statt.

4.1 Wirtschaftliche Betrachtung bestehender Systeme

Stückgüter zu sortieren stellt in der Logistik einen der teuersten Arbeitsvorgänge dar. Um wirtschaftlich zu bleiben, ist zudem aufgrund der hohen Investitionskosten stets ein großer Minstdurchsatz erforderlich.⁹⁹ Liniensorter etwa benötigen weniger Stellfläche als Kreissorter und erfordern auch geringere Investitionskosten, erreichen dafür aber auch nicht die hohen Sortierleistungen von Kreissortern.¹⁰⁰

Grundsätzlich sind für den Betreiber des Sortiersystems nicht nur die *Beschaffungskosten*, sondern auch die *laufenden Betriebskosten* und *Instandhaltungskosten* ausschlaggebend. Für einen Kostenvergleich sollte daher eigentlich der gesamte Lebenszyklus der Anlage berücksichtigt werden. Die Abhandlung dieser Arbeit beschränkt sich jedoch auf die Investitionskosten und listet nachfolgend Laufmeterpreise und Kosten für diverse Anbaukomponenten auf.¹⁰¹

Die nachstehende Liste zeigt eine Aufstellung über diese diversen Anbaukomponenten. Dabei muss angemerkt werden, dass die Preise in der Originalquelle in Dollar und pro Fuß angegeben sind und dementsprechend in Euro (mit Faktor 0,9 vom 08.09.2019) und Laufmeter umgerechnet wurden. Die Quelle stammt zudem aus dem Jahre 2010.¹⁰²

	Kippschalensorter		Quergurtsorter		Schuhsorter	
	von	bis	von	bis	von	bis
Laufmeterkosten	9.744 €	17.717 €	11.811 €	17.717 €	10.630 €	10.630 €
Kosten pro Endstelle (Rutsche inkl. Umlenkung)	4.950 €	19.350 €	6.210 €	19.350 €	2.340 €	4.680 €
Kosten pro Einschleusung	76.500 €	90.000 €	76.500 €	90.000 €	-	-

Tabelle 4: Kostenvergleich verschiedener Sorter-Technologien, Quelle: TranSystems (Edition 11-2010), E-Paper [08.09.2019]

⁹⁹ Vgl. Arnold/Furmans (2009), S. 226 f.

¹⁰⁰ Vgl. Koether (2018), S. 149.

¹⁰¹ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 20.

¹⁰² Vgl. TranSystems (Edition 11-2010), E-Paper [08.09.2019].

Um vergleichbare Zahlen zu erzielen, werden die Werte zusätzlich mit den Inflationswerten der vergangenen Jahre auf das Jahr 2019 hochgerechnet. Der Gesamtfaktor zur Umrechnung wurde aus den Faktoren der einzelnen Jahre berechnet (die dazugehörige Quelle findet sich in der Fußzeile) und beläuft sich auf etwa 1,1242. In der folgenden Tabelle sind die Zahlen dokumentiert.¹⁰³

	Jahr	Kippschalensorter		Quergurtsorter		Schuhsorter	
		von	bis	von	bis	von	bis
Laufmeterkosten	2010	9.744 €	17.717 €	11.811 €	17.717 €	10.630 €	10.630 €
	2019	10.954 €	19.917 €	13.278 €	19.917 €	11.950 €	11.950 €
Kosten pro Endstelle (Rutsche inkl. Umlenkung)	2010	4.950 €	19.350 €	6.210 €	19.350 €	2.340 €	4.680 €
	2019	5.565 €	21.753 €	6.981 €	21.753 €	2.631 €	5.261 €
Kosten pro Einschleusung	2010	76.500 €	90.000 €	76.500 €	90.000 €	-	-
	2019	86.002 €	101.179 €	86.002 €	101.179 €	-	-

Tabelle 5: Kostenvergleich verschiedener Sorter-Technologien 2010 und 2019, Quelle: TranSystems (Edition 11-2010), E-Paper [08.09.2019]

¹⁰³ Vgl. inflation.eu (2019), Online-Quelle [30.10.2019].

4.2 Recherche

4.2.1 Markt

Am Markt existieren zahlreiche Sortieranlagen und Hängeförderer. Einige Fabrikate diverser Hersteller werden im Folgenden kurz betrachtet.

Kippschalensorter

Die Firma *Beumer* weist in ihrem Portfolio einen Kippschalensorter auf und verspricht dabei eine Geschwindigkeit von bis zu 3 m/s. Die maximalen Abmessungen der Sortiergüter in Länge und Breite betragen je 1.000 mm, das Maximalgewicht 50 kg. Außerdem sollen Steigungen und Gefälle des Sorters von bis zu 10 ° sowohl auf geraden Stücken als auch in Kurven möglich sein.¹⁰⁴

Quergurtsorter

Ebenfalls ist ein Quergurtsorter aus dem Hause *Beumer* zu erwähnen. Auch dieser erreicht Geschwindigkeiten bis zu 3 m/s und befördert Güter mit einem Maximalgewicht von 30 kg, in Ausnahmefällen auch mit 50 kg. Die maximale Länge ist mit 1.400 mm und die maximale Breite der Güter mit 800 mm angegeben. Gleich wie beim Kippschalensorter sind hier Neigungen bis zu 10 ° möglich.¹⁰⁵

Die *Dematic Unternehmensgruppe* kann mit ihrem Querband-Sorter durch geschickte Anordnungen der Systeme Sortierleistungen von bis zu 80.000 Artikeln pro Stunde erreichen. Das Produktspektrum reicht von Kunststoffbehältern, Kartons und Trays bis hin zu Umverpackungen und Plastikbeutel. Die beförderbaren Gewichte liegen zwischen 20 g und 75 kg, die Produktabmessungen zwischen 50 x 50 x 1 mm³ und 1500 x 800 x 800 mm³.¹⁰⁶

Das Unternehmen *Interroll* befördert mit seinem Quergurtsorter Behälter, Kartons, Pakete, Großbriefe und Briefbunde. Das Maximalgewicht liegt bei 50 kg, als untere Grenze gibt *Interroll* jedoch 35 kg an. Bei den Durchsatzraten liegt der Sorter zwischen 2.000 und 15.000 Stück pro Stunde. Auf Steigungen und Gefällen ist der Sorter ebenso verlässlich wie in Kurven. An Abbildung 35 kann der patentierte mechanische Antrieb der Quergurtwagen studiert werden.¹⁰⁷

Schuhsorter

Das Produktportfolio der *Dematic* beinhaltet auch einen Schuhsorter. Dieser befördert Produkte beginnend bei 150 mm und 50 g und endend bei über einem Meter und 50 kg. Die Sortierleistungen betragen dabei laut Hersteller 9.000 bis 24.000 Stück pro Stunde.¹⁰⁸

¹⁰⁴ Vgl. BEUMER Group (o.J.-o.J.), E-Paper [30.08.2019].

¹⁰⁵ Vgl. BEUMER Group (o.J.-o.J.), E-Paper [30.08.2019].

¹⁰⁶ Vgl. DEMATIC (o.J.), Online-Quelle [08.09.2019b].

¹⁰⁷ Vgl. Interroll Holding AG (o.J.), Online-Quelle [19.08.2019].

¹⁰⁸ Vgl. DEMATIC (o.J.), Online-Quelle [08.09.2019a].

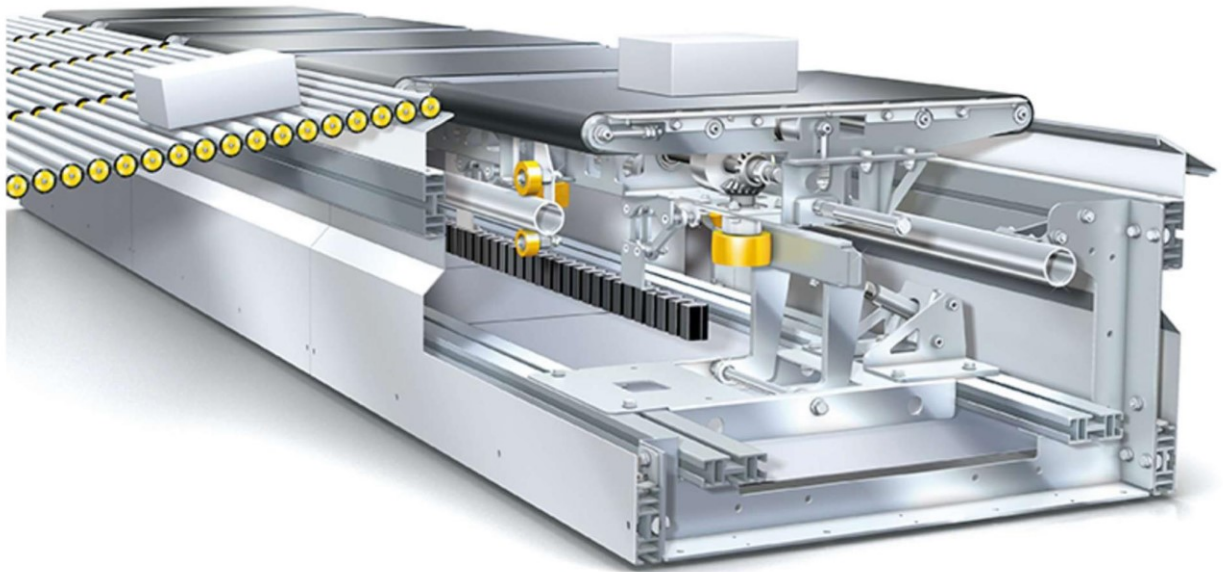


Abbildung 35: Interroll Quergurtsorter, Quelle: Interroll Holding AG (o.J.), Online-Quelle [19.08.2019]

Beim sogenannten Matrix-Sorter aus dem Hause *TGW* handelt es sich ebenfalls um einen Schuhsorter. Das Gewerk befördert Produkte mit einer maximalen Geschwindigkeit von 2,6 m/s und erreicht dabei Leistungen bis zu 12.000 Kartons bzw. Behälter pro Stunde. Beim Produktspektrum werden die kleinsten Produkte mit 100 x 100 mm² und die größten Produkte mit 1.500 x 1.000 mm² angegeben. Bis zu 50 kg sollen zudem mit dem Sorter befördert werden können.¹⁰⁹

Taschensorter

Bei den Hängeförderern bietet die Firma *SSI Schäfer* den sogenannten Taschensorter „SSI Mover“ an, der Einzelprodukte mit einem Gewicht von bis zu 10 kg aufnehmen kann. Bei Umlaufgeschwindigkeiten von 0,8 m/s werden Durchsätze von bis zu 10.000 Teilen pro Stunde versprochen.¹¹⁰

Die *Dürkopp Fördertechnik GmbH* bietet als Teil der *Knapp Gruppe* eine Sortertasche, die an einem Rolladapter befestigt ist. In den Taschen befindet sich immer nur ein Stück, durch Pufferung und mehrstufiger Reihenfolgesortierung kann eine perfekte Sequenz der Artikel hergestellt werden.¹¹¹

Ähnlich verhält sich die Tasche der Firma *TGW*. Dieses System erzielt durch einen Matrixsorter eine hochgenaue Sequenz und damit eine filialgerechte Sortierung der Artikel.¹¹²

Die Taschen aller Anbieter zeichnen sich durch einen hohen Durchsatz, durch kurze Auftragsdurchlaufzeiten sowie durch leistungsstarke Hängeförderanlagen aus.

¹⁰⁹ Vgl. *TGW Logistics Group* (o.J.), Online-Quelle [29.03.2019].

¹¹⁰ Vgl. *SSI Schäfer* (o.J.), Online-Quelle [08.09.2019].

¹¹¹ Vgl. *Dürkopp Fördertechnik GmbH* (o.J.), Online-Quelle [08.09.2019].

¹¹² Vgl. *TGW Logistics Group* (o.J.), Online-Quelle [08.09.2019].

4.2.2 Patente

Im Folgenden wird auf einige Patente für die behandelten Lösungen verwiesen. Als technisches Schutzrecht ist das Patent das mit Abstand wichtigste Schutzrecht für Innovationen.¹¹³

Kippschalensorter

Die Firma *Siemens* hält ein Patent für einen Kippschalensorter, bei dem die Abwurfbewegung der Kippschale über einen Riemen erfolgt, der von einer zentral gelagerten Walze unter der Kippschale angetrieben wird.¹¹⁴

Quergurtsorter

Für Quergurtsorter gibt es beispielsweise von *Dematic* ein Patent. Die Wagen des Verteilförderers sind auf Schienen mit einem kreisförmigen Querschnitt geführt, wodurch selbst eine spiralförmige Anordnung der Schienen ermöglicht wird (siehe Abbildung 36).¹¹⁵

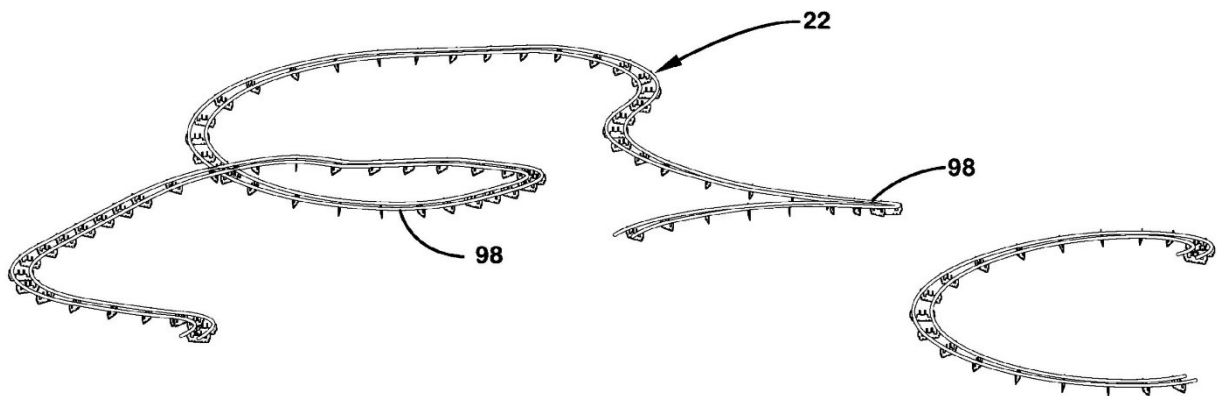


Abbildung 36: Spiralförmige Führung der Schienen, Quelle: Pilarz/Schuitema/et al. (2014), Schutzrecht US20140014468A1

Schuhsorter

Das Patent des Unternehmens *Intelligrated* beinhaltet den typischen Verlauf der Sorterschuhe eines Schuhsorters zum schonenden Abtransport der Fördergüter in die Endstelle.¹¹⁶

Taschensorter

Die *Dürkopp Adler AG* hat für ihr Taschen-System (Rolladapter) ebenfalls ein Patent angemeldet. Die Halteelemente der Hängeware werden dabei von bolzenförmigen Mitnehmern der Antriebs-Kette mitgenommen. Über spezielle Weichenelemente können diese Rolladapter auf andere Bahnen ausgeschleust werden. In Abbildung 37 ist eine solche Weiche abgebildet.¹¹⁷

¹¹³ Vgl. Disselkamp (2012), S. 231.

¹¹⁴ Vgl. Vitalini (2011), Schutzrecht US8727103B2.

¹¹⁵ Vgl. Pilarz/Schuitema/et al. (2014), Schutzrecht US20140014468A1.

¹¹⁶ Vgl. Neiser/Zimmer/et al. (2009), Schutzrecht US7516835B2.

¹¹⁷ Vgl. Janzen/Wend (2007), Schutzrecht EP1690811A1.

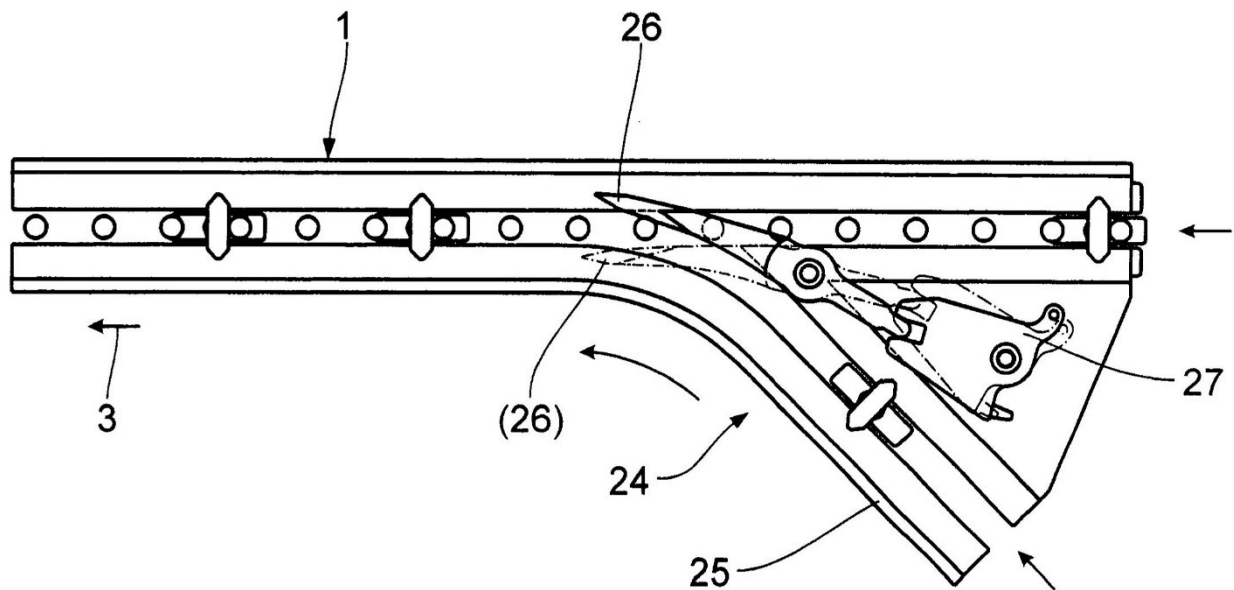


Abbildung 37: Weichenelement des Taschensorters, Quelle: Janzen/Wend (2007), Schutzrecht EP1690811A1

4.3 Vorauswahl

Im Folgenden werden die Systeme vergleichend bewertet und eine Vorauswahl getroffen. Diese definiert, auf welcher Technologie die Konzepte aufbauen werden. Es handelt sich dabei um eine Einzelbewertung, wobei für die Kriterien Punkte von 0 bis 10 vergeben werden. 0 beschreibt den schlechtesten, 10 den besten Zustand. Der Bewertung liegt außerdem eine Gewichtung zugrunde, da sich die Kriterien in ihrer Wichtigkeit unterscheiden. So ist eine zu erreichende Leistung und eine große Bandbreite von beförderbaren Sortiergütern ein wenig wichtiger zu bewerten als die Investitionskosten. Als Bewertungsgrundlage dienen die Tabellen in den Kapiteln 3.5.1, 3.5.2, 3.6 und 4.1.

Kriterium	Gewichtung	Kippschalensorter		Quergurtsorter		Schiebeschuhsorter	
		Punkte	Bewertung/%	Punkte	Bewertung/%	Punkte	Bewertung/%
Leistung	45 %	9,25	41,63	10,00	45,00	5,75	25,88
Sortierguteignung	35 %	8,00	28,00	8,25	28,88	8,50	29,75
Investitionskosten	20 %	10,00	20,00	8,25	16,50	9,25	18,50
Σ / %			89,63		90,38		74,13

Tabelle 6: Vergleich der bestehenden Systeme, Quelle: Eigene Darstellung.

Durch die farbliche Abstufung der Zellen wird leicht erkennbar, welche Technologie wie bewertet wurde. Als die am besten bewertete Technologie wird in diesem Fall der Quergurtsorter als Vorlage zur Konzeptfindung im weiteren Verlauf des Werkes verwendet. Die Ziele werden hierbei sein (angelehnt an die definierten Ziele aus Kapitel 1.2), dass erstens die gleiche oder eine bessere Leistung angestrebt wird, zweitens möglichst alle verschiedenen Transportgüter mit der Lösung befördert werden können und zu guter Letzt die Kosten der Komponente in Schach gehalten wird.

5 KONZEPTE

Im folgenden Abschnitt erfolgt die Behandlung unterschiedlicher Konzepte. Dies betrifft einerseits das Shuttle-Gerät an sich und andererseits die Technologie der Ein- und Ausschleusungen für das Shuttle und für die Fördergüter.

5.1 Ein- und Ausschleusung: Lösungen für das Shuttle

Um später einen modularen Aufbau der Sortieranlagen verwirklichen zu können, müssen Ein- und Ausschleusungen für die Shuttle-Fahrwagen konzipiert werden.

5.1.1 Unterflur verlaufendes Zugmittel

Wenn man davon ausgeht, dass das Shuttle auf Fahrschienen fährt und das Zugmittel des Shuttles in unterflur geführten Schienen verläuft (auch später bei den Shuttle-Konzepten neben anderen Ausführungen ersichtlich), so ergibt sich ein Problem im Kreuzungsbereich der Weiche. Das Shuttle sei über einen Stift, der vom Zugmittel gezogen wird, mit diesem verbunden. An Kreuzungsbereichen gibt es ein zweites Zugmittel, das in die ausschleusende Strecke führt. Egal, ob nun das geradeaus verlaufende Zugmittel oder das auskrenzende Zugmittel den Stift zieht, muss dieser immer die jeweilige Fahrschiene kreuzen, wodurch diese wiederum immer eine Freistellung in diesem Bereich benötigt. Dasselbe Problem tritt bei den einkreuzenden Zugmitteln auf. Diese Freistellungen wirken sich mit einiger Sicherheit auf die Laufeigenschaften der Shuttles aus, da die Fahrräder im Bereich der Freistellung bei jeder Überfahrt einem Stoß ausgesetzt sind. Die nachfolgende Skizze zeigt dieses Problem. Die Bereiche, die eine Freistellung benötigen würden, sind rot gekennzeichnet. Das Zugmittel verlief jeweils in der Mitte zwischen den Fahrschienen. Beim Shuttle-Konzept 1 wird auf dieses Problem nochmal Bezug genommen (Punkt 5.3).

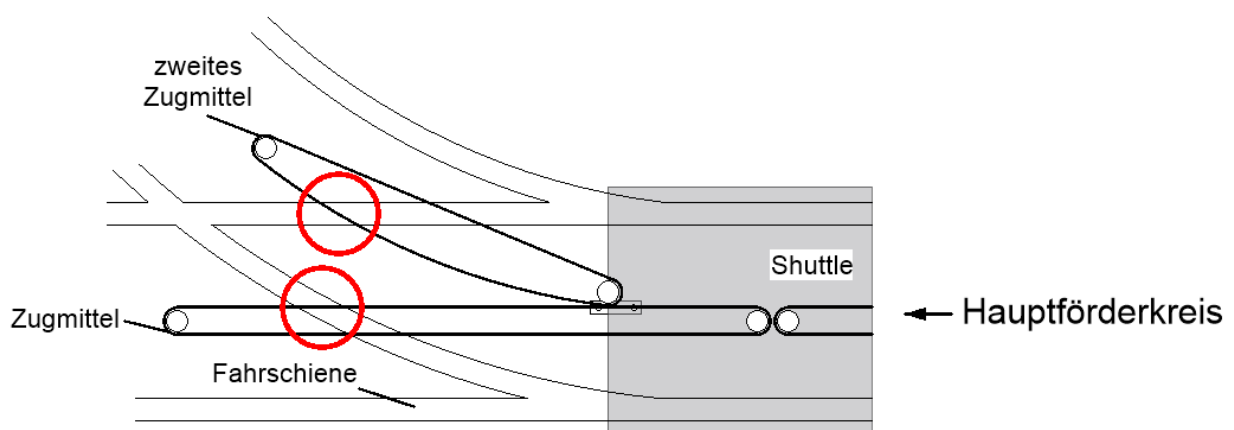


Abbildung 38: Weichenabschnitt mit Überschneidungspunkten, Quelle: Eigene Darstellung.

Eine Möglichkeit dieses Problem zu umgehen, wäre die Anwendung von Weichenelementen. Ähnlich wie bei der Weiche des Taschensorters in Abbildung 37 ist das Weichenelement hier im Schnittpunkt der Kreuzung gelagert und verändert seine Stellung je nach der vorgesehenen Fahrtrichtung des Shuttles. Bei eher kleinen Konstruktionen, wie etwa dem Taschensorter, lassen sich diese Elemente mitunter schnell schalten. Im vorliegenden Anwendungsfall handelt es sich aber um größere Bauteile, weshalb man in diesem Zusammenhang auch an die Trägheit dieser Elemente denken muss. Es ist davon auszugehen, dass unter anderem stärkere Antriebe erforderlich und längere Schaltzeiten der robusten Teile zu erwarten sind, welche sich direkt auf den Grenzdurchsatz des Verteilförderers auswirken. Am folgenden Bild kann der Schaltvorgang der Weichenzunge studiert werden.

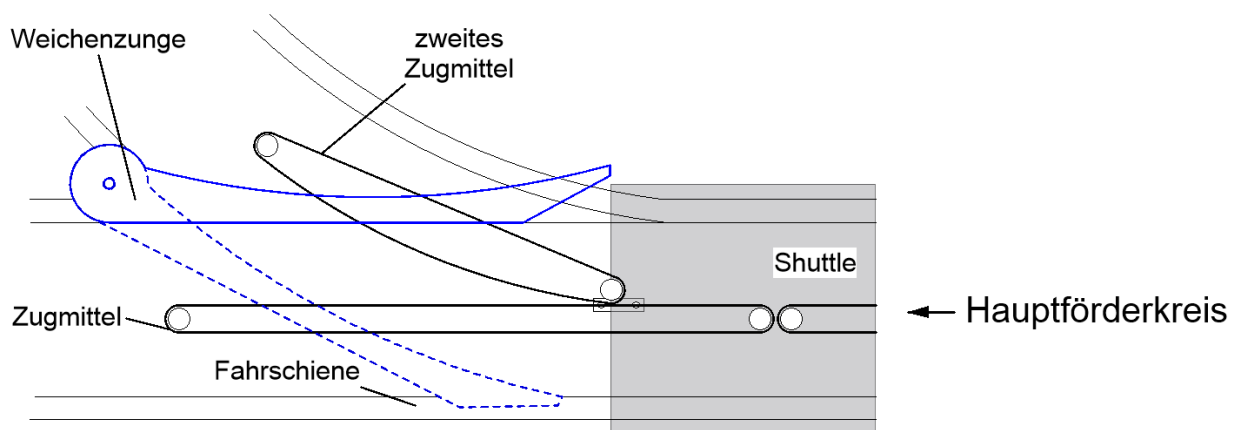


Abbildung 39: Weichenabschnitt mit Weichenzunge, Quelle: Eigene Darstellung.

5.1.2 Überflur verlaufendes Zugmittel

Eine andere Variante ist eine überflur verlaufende Kette. Durch diese Maßnahme umgeht man die Überschneidung der Zugstifte mit den Fahrschienen. Eine detaillierte Beschreibung ist bei den Ausführungen der Shuttle-Konzepte (Punkt 5.4) zu finden.

5.1.3 Seitlich verlaufendes Zugmittel

Die dritte Option ist ein seitlich verlaufender Antrieb. Der Eingriff erfolgt dabei aufgrund der seitlichen Anordnung nicht durch bolzenförmige Mitnehmer, sondern über ein herkömmliches Zahnrad mit integriertem Freilauf. Eine genaue Beschreibung findet sich ebenfalls bei den Shuttle-Konzepten (Punkt 5.5).

5.2 Ein- und Ausschleusung: Lösungen für das Fördergut

Bei der Ein- und Ausschleusung der Fördergüter lässt sich ein Zusammenhang auf die im Theorieteil erwähnten Anordnungsvarianten erkennen (Punkt 2.3.2).

5.2.1 Beladung der Shuttles von oben

Angedacht wird eine Beladung von oben auf eine zum Hauptförderkreis benachbarte, parallele Förderstrecke, auf die die Shuttles zuvor ausgeschleust werden. Neben der Hauptförderstrecke existieren mehrere dieser parallelen Förderstrecken, weshalb darauf mit geringerer Geschwindigkeit und damit einhergehend geringerem Durchsatz gefahren werden kann. Für die vertikale Beladung wird dies als Voraussetzung angenommen, da nicht im vollen Fluss bei hoher Geschwindigkeit von oben sicher und schadensfrei beladen werden kann. Realisieren könnte man eine solche Einschleusung mittels spitz zulaufenden Gurtschienen wie in der unteren Abbildung ersichtlich. Für eine etwaige Entladung bzw. Ausschleusung müssten die Bauteile um 180 ° gedreht verbaut werden. Allerdings müssten dafür noch keilförmige Trennelemente, welche das Sortiergut vom Shuttle „trennen“, konstruiert werden. Zur Ausschleusung in die Endstelle kann bei Verwendung eines Quergurtsorters der Gurt als Auswurfelement herangezogen werden (siehe auch Abbildung 41).

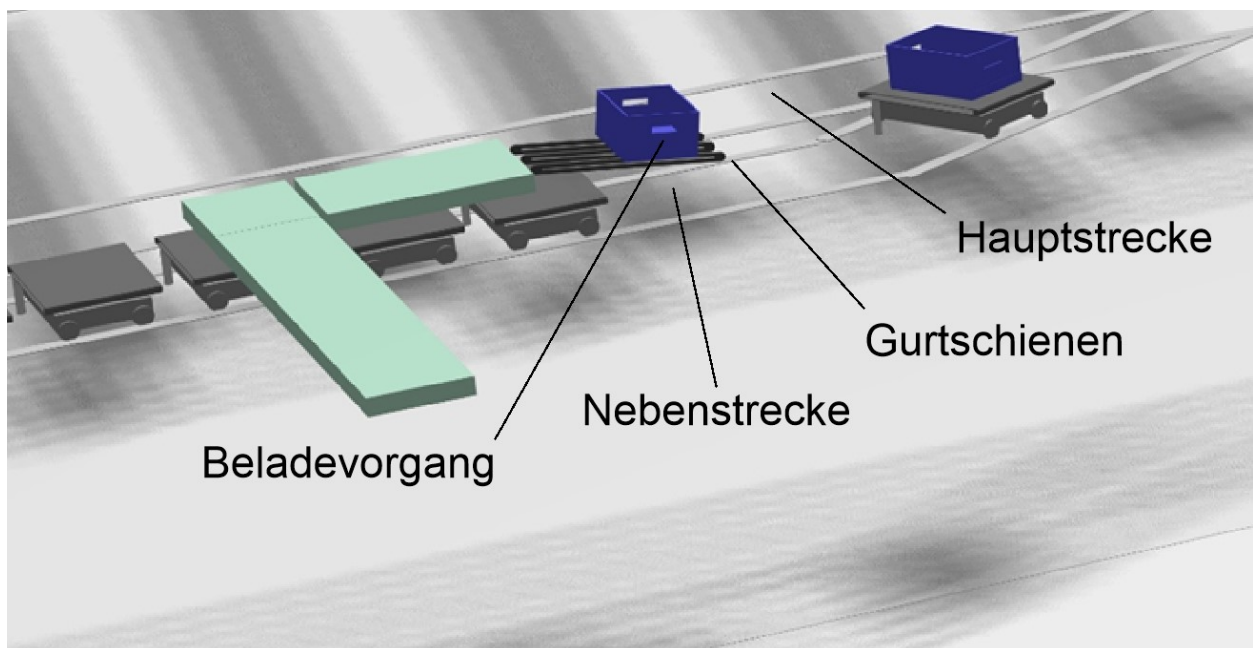


Abbildung 40: Beladung von oben auf einer Nebenstrecke, Quelle: Eigene Darstellung.

5.2.2 Beladung der Shuttles von der Seite

Anders als bei einer vertikalen Beladung könnte die seitliche Beladung (Horizontaleinschleusung) direkt auf den Hauptförderkreis erfolgen, auch bei hoher Geschwindigkeit und hohem Durchsatz. Wie bei einer Parallelwinkелеinschleusung werden die Transportgüter zunächst auf ein Einschleusband zugeführt. Dieses taktet und beschleunigt das Gut anschließend mit immer schneller laufenden Gurtbändern in den Hauptstrom auf ein freies Shuttle ein. Diese Art der Beladung kann beispielsweise bei Quergurtsortern angewandt werden. Die Ausschleusung erfolgt in weiterer Folge über den Quergurt in die Endstelle. Die folgende Darstellung zeigt einen Verteilförderer mit den Parallelwinkелеinschleusungen und den Endstellen.¹¹⁸

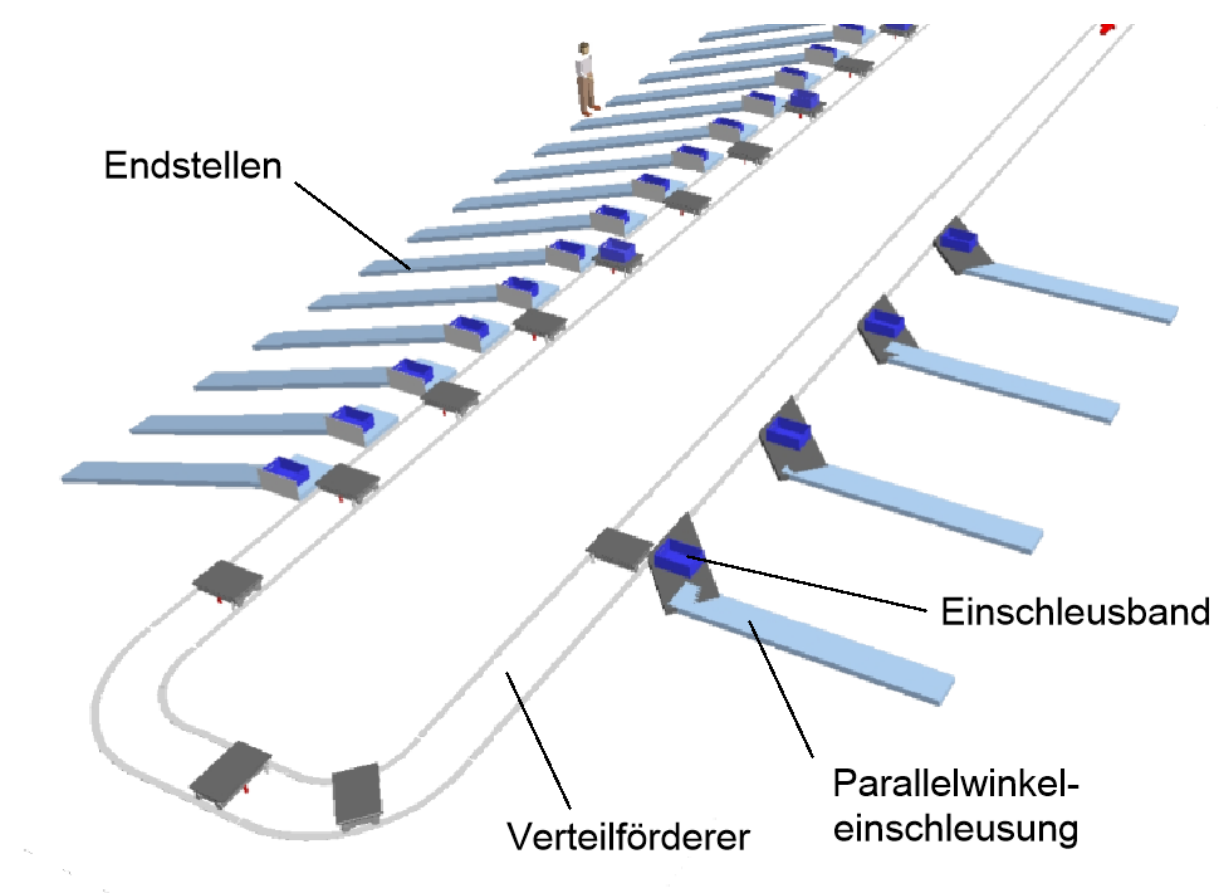


Abbildung 41: Beladung von der Seite in den Hauptstrom, Quelle: Eigene Darstellung.

¹¹⁸ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 31.

5.3 Shuttle-Konzept 1: unterflur verlaufendes Zugmittel

Ein erstes Konzept vereint die beiden Technologien Sorter und Hängefördertechnik folgendermaßen: Das Zugmittel wird, wie auf dem folgendem Bild ersichtlich, unterflur geführt. Zugstifte, die am Shuttle befestigt sind, greifen in regelmäßigen Abständen in das Zugmittel ein, wodurch das Shuttle gezogen wird. Das Shuttle läuft zudem links und rechts auf Fahrrädern, die auf Schienen verlaufen. Darüber befindet sich das Aufnahmemittel für die Sortiergüter.

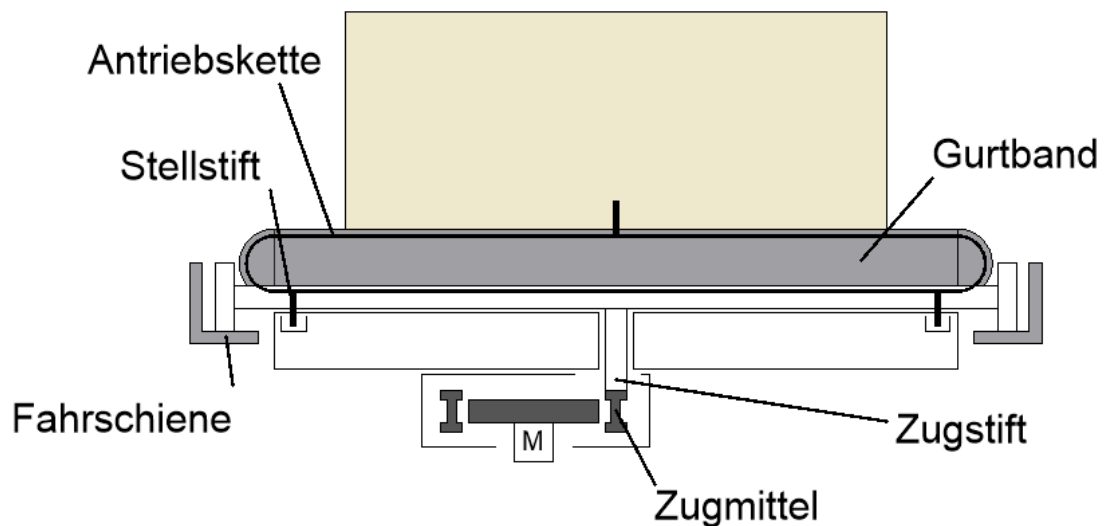


Abbildung 42: Konzeptzeichnung mit unterflur verlaufendem Zugmittel, Quelle: Eigene Darstellung.

Ein derartiges Shuttle könnte aus einem Gurtbandförderer als Querfördermittel bestehen. Am hinteren Ende des Fahrzeugs (in Förderrichtung gesehen) ist eine umlaufende Kette befestigt, die über eine Welle den Antrieb des Gurtes gewährleistet. Des Weiteren sind an drei Kettengliedern Stellstifte befestigt, die in unterflur verlaufenden Schienen (Abbildung 46) geführt werden und so die Bewegungen des Gurtes steuern können, wodurch dieser die Ein- und Ausschleusvorgänge bewirken kann. Am vorderen Ende des Fahrzeugs befindet sich der Zugstift. Die folgende Konzeptskizze zeigt eine 3D-Ansicht. In den weiterfolgenden Bildern sind Grund-, Auf- und Seitenrisse dargestellt.

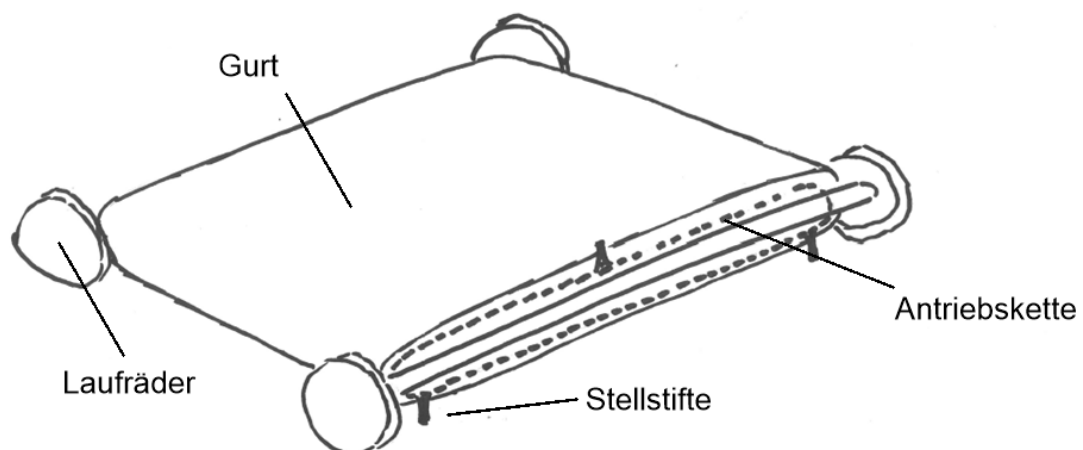


Abbildung 43: 3D-Ansicht des Gurtband-Shuttles, Quelle: Eigene Darstellung.

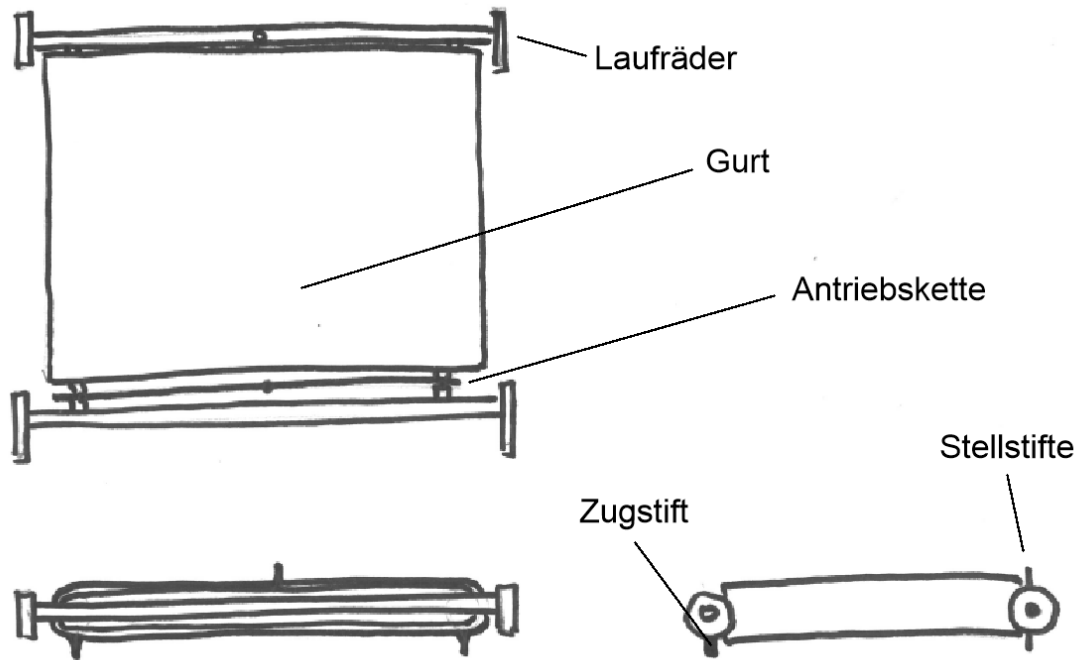


Abbildung 44: Risszeichnungen des Gurtband-Shuttles, Quelle: Eigene Darstellung.

5.3.1 Beschreibung der Ein- und Ausschleusung der Fördergüter

Durch Anwendung eines Gurtes kann bei der Einschussstelle wie beim Quergurtsorter an ein Taktband gedacht werden. Wie zuvor angemerkt verfügt die am hinteren Ende umlaufende Kette über Bolzen, welche in Schienen geführt sind. An den Aufnahmestellen sowie an den Endstellen verlaufen diese Schienen in die jeweils entgegengesetzte Richtung und kreuzen sich dabei in der Mitte. Stellzylinder an den jeweiligen Schienenabschnitten weisen den entsprechenden Bolzen bei einem Ausschleusvorgang sodann in die vorgesehene Schienenrichtung ab. Durch diesen Vorgang wird die Kette über die Bolzen in Bewegung versetzt, was folgend auch die Bewegung des Gurtes auslöst und somit die Gutaufnahme als auch die Gutabgabe ermöglicht. Am konkreten Beispiel wechselt also Bolzen Nummer 2 die Seite, Bolzen Nummer 1 nimmt dadurch den Platz von Bolzen Nummer 2 ein. Erfolgt wiederum ein Ausschleusvorgang in die gleiche Richtung, wechselt Bolzen Nummer 1 die Seite und Bolzen Nummer 3 gelangt in eine der Schienen. Abbildung 45 soll diesen Ablauf etwas verdeutlichen.

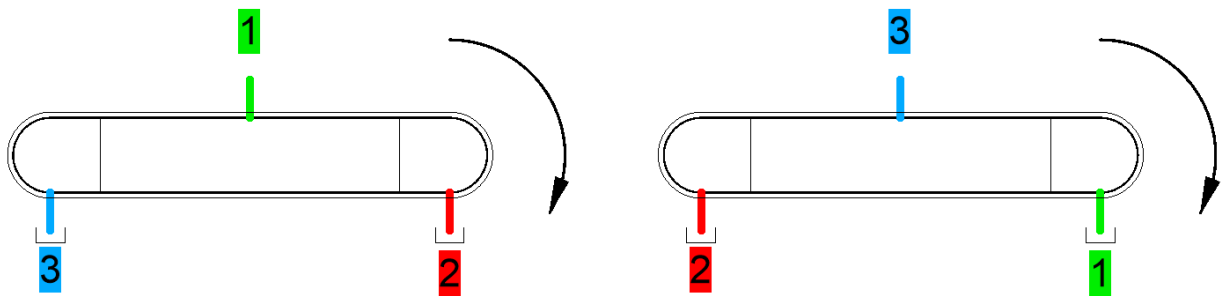


Abbildung 45: Stellung der Bolzen im Schienensystem, Quelle: Eigene Darstellung.

Ebenfalls muss für den am Shuttle befestigten Stift, der in die unterflur geführte Antriebskette eingreift, über die ganze Länge eine Freistellung vorhanden sein. Dies bedeutet, dass die im Endstellenbereich sich kreuzenden Schienen auch diese Freistellung kreuzen. Um ein Weggleiten der Bolzen in einen anderen Schienenbereich in diesem Kreuzungspunkt zu verhindern, muss die hier entstandene Lücke ebenfalls durch Stellzylinder geschlossen werden. Dies ist möglich, weil der Zugstift bereits vor den Stellbolzen die Kreuzungsstelle passiert hat, da er am vorderen Ende des Shuttles angebracht ist. In der nachfolgenden Abbildung ist der angedachte Verlauf der Schienen dargestellt.

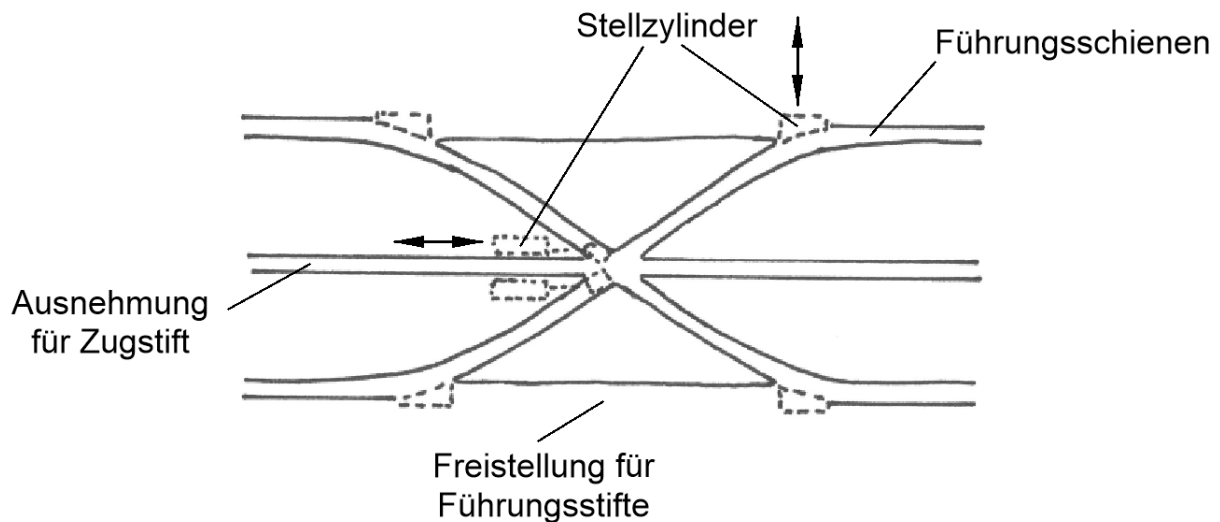


Abbildung 46: Draufsicht des Schienensystems, Quelle: Eigene Darstellung.

5.3.2 Beschreibung der Ein- und Ausschleusung der Shuttles

Der Zugstift, der im Zugmittel eingreift, führt wie bereits erwähnt das Shuttle. An Kreuzungsbereichen gibt es zudem ein zweites Zugmittel, das in die ausschleusende Strecke führt. Wenn ein Shuttle ausgeschleust werden soll, schaltet eine Weichenzunge den Zugstift in das zweite Zugmittel, wodurch das Shuttle ausgeschleust wird (wie bei Abbildung 37). Die Abbildung 49 zeigt den Verlauf. Ein Problem lässt sich jedoch bei diesem Konzept nicht umgehen: Da die Schiene mit dem Zugmittel in der Mitte zwischen den Fahrschienen verläuft, ergibt sich das in Punkt 5.1.1 beschriebene Problem der Überschneidung der Verläufe von Zugstift und Fahrschiene beim Aus- und Einschleusen der Shuttles.

5.4 Shuttle-Konzept 2: überflur verlaufendes Zugmittel

Um dieser Komplikation Abhilfe zu verschaffen, wird im nun folgenden Konzept die Zugkette in einem überflur verlaufendem Profil installiert. Dazu muss das Profil in regelmäßigen Abständen von einer Brückenkonstruktion – etwa einem wie auf dem unteren Bild ersichtlichen auskragendem Arm – getragen werden. Abermals sind Bolzen im Zugmittel eingeklinkt, wodurch das Fahrzeug vorwärts bewegt wird. Als Aufnahmemittel für die Transportgüter wird erneut auf eine Gurtplattform zurückgegriffen.

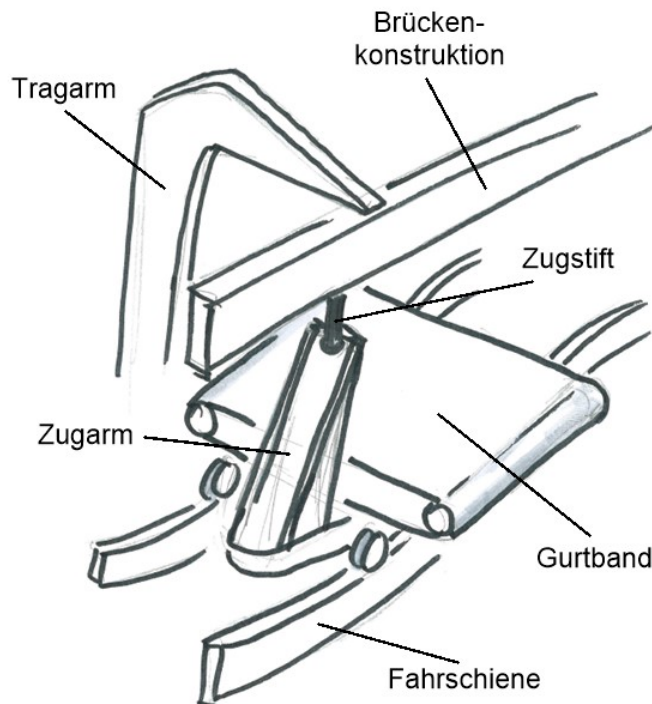


Abbildung 47: 3D-Ansicht mit überflur verlaufendem Zugmittel, Quelle: Eigene Darstellung.

5.4.1 Beschreibung der Ein- und Ausschleusung der Fördergüter

Durch Anwendung eines Gurtes als Tragmittel kann bei der Einschussstelle wie beim vorigen Konzept an ein Taktband gedacht werden, welches die Sortiergüter auf das Shuttle einschießt. An den Ausschleusstellen befinden sich in der Unterkonstruktion verstellbare Hebel, die bei Bedarf angesteuert und hochgeklappt werden können. Das Gurtband sei über eine Kegelrad-Konstruktion mit einem unterflur liegenden Reibrad verbunden. Dieses Reibrad rollt sodann an dieser Hebelkonstruktion ab, sofern diese hochgeklappt wird. Dadurch wird an der Oberseite die Bewegung des Gurtes realisiert. Die Umsetzung einer solchen Konstruktion bedarf zuvor allerdings einer genauen technischen und rechtlichen Inspektion, da die Firma *Interroll* scheinbar ein Patent auf einen derartigen Antrieb hält. Abbildung 48 stellt den Fahrwagen im Querschnitt dar.¹¹⁹

Anmerkung: es wäre hier auch möglich, den Ansatz mit den Führungsschienen aus Konzept 1 zu wählen, bei dem die Bolzen in die Schienen eingreifen und so den Antrieb des Gurtes ermöglichen.

¹¹⁹ Vgl. Droste/Eisinger (2018), Schutzrecht US10099860B2.

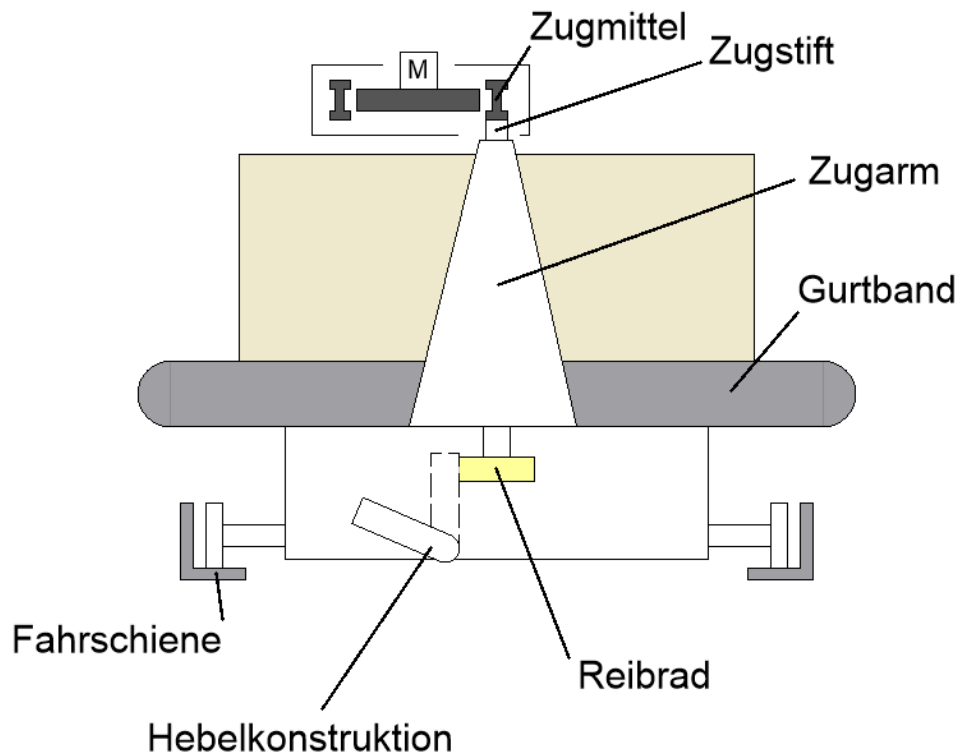


Abbildung 48: Konzeptzeichnung mit überflur verlaufendem Zugmittel, Quelle: Eigene Darstellung.

5.4.2 Beschreibung der Ein- und Ausschleusung der Shuttles

Wie beim Shuttle-Konzept 1 gibt es an den Kreuzungsbereichen ein benachbartes Zugmittel, welches in die ausschleusende Strecke führt. Mittels der Weichenzunge wird der Zugstift dann wieder in dieses benachbarte Zugmittel geschaltet (Abbildung 49). Konzept 2 löst also zumindest die Problematik der Überschneidung von Zugmittelstift und Fahrschienen. Bei einer überflur angeordneten Antriebseinheit ist allerdings auch an die Beschränkung der maximalen Höhe der Sortiergüter zu denken, da davon auszugehen ist, dass eine solche Konstruktion aufgrund der Verwindungssteifigkeit nicht sehr hoch gebaut werden kann.

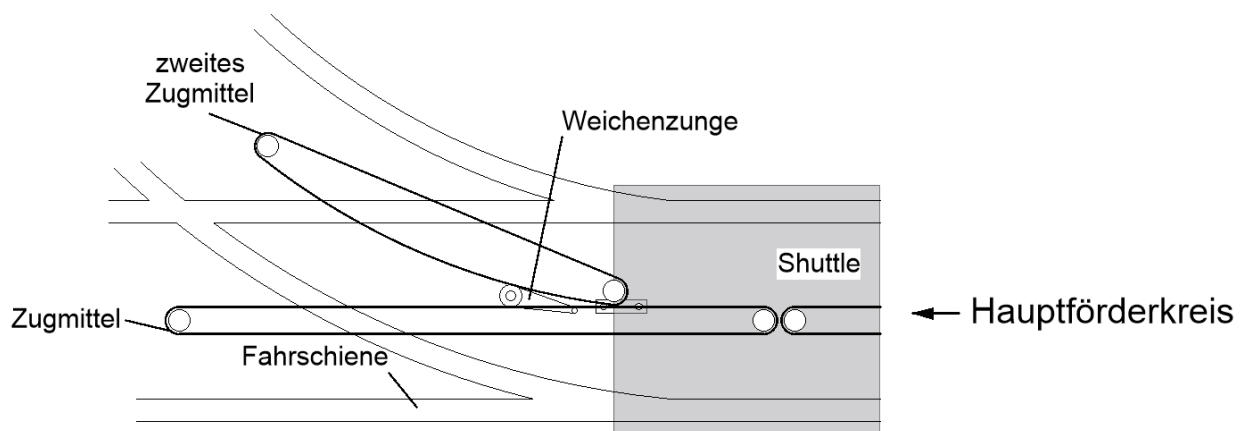


Abbildung 49: Ein- und Ausschleusmechanismus von Konzept 1 und 2, Quelle: Eigene Darstellung.

5.5 Shuttle-Konzept 3: seitlich verlaufendes Zugmittel

Das dritte Konzept im Bunde fokussiert daher einmal mehr auf die Eliminierung der problematischen Umstände. Eine Anordnung seitlich des Fahrwagens wird wie folgt angedacht: In horizontaler Ausführung ist die Kette als Zugmittel seitlich montiert. Ein am Shuttle befestigtes Zahnrad verfügt über einen eingebauten Freilauf, der die Bewegung des Zahnrades in Förderrichtung sperrt, damit die Vorwärtsbewegung gewährleistet werden kann. Das Shuttle selbst läuft wiederum auf oben offenen Fahrprofilen, als Lastaufnahmemittel kommt auch hier ein Gurtband zur Anwendung (Abbildung 50).

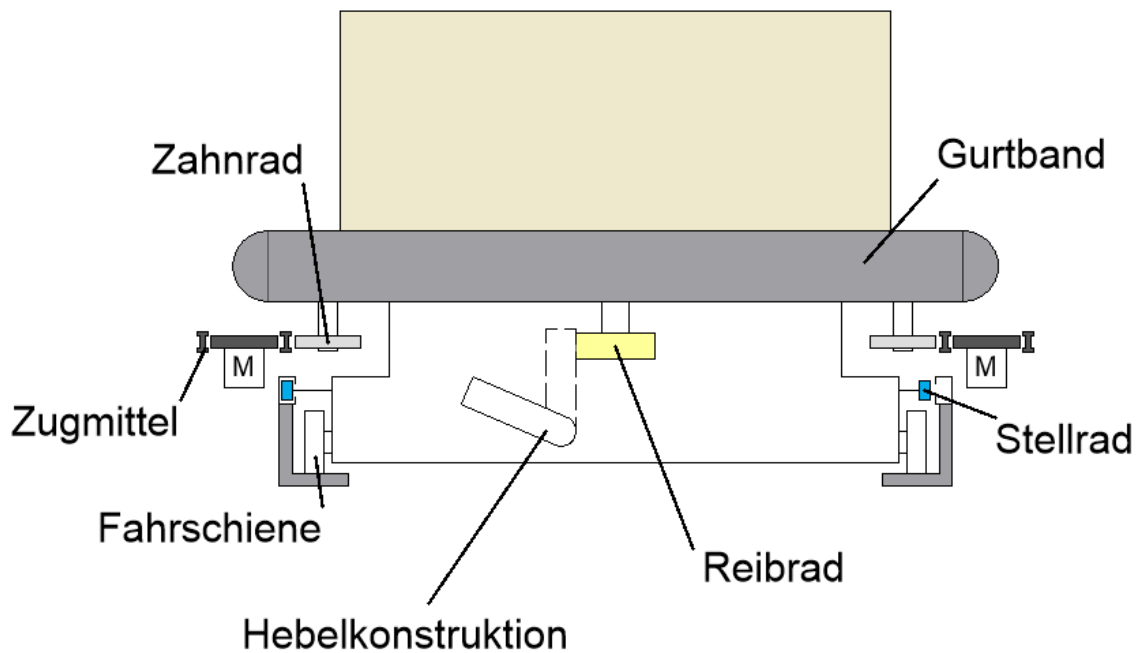


Abbildung 50: Konzeptzeichnung mit seitlich verlaufenden Zugmitteln, Quelle: Eigene Darstellung.

5.5.1 Beschreibung der Ein- und Ausschleusung der Fördergüter

Beim Ein- und Ausschleusen der Ladeinheiten können dieselben Verfahren wie bei den Konzepten zuvor zur Anwendung kommen. Einschuss durch ein Taktband, sowie Ausschleusung durch die unten liegende Hebelkonstruktion. Letztere bedarf wie zuvor erwähnt einer technischen und rechtlichen Inspektion, weshalb auch der Ansatz mit den Führungsschienen aus Konzept 1 realisiert werden könnte.

5.5.2 Beschreibung der Ein- und Ausschleusung der Shuttles

Das Interessante an dieser Variante ist die Ein- und Ausschleusung der Fahrwagen. Diese Beschreibung wird, wie vorhin in Punkt 5.1.3 erwähnt, hier vollzogen. Das Konzept verfügt – zumindest im Ein- und Ausschleusbereich – über zwei Zugmittel. Die eine Kette, die das Shuttle im Hauptförderkreis zieht, ist auf der Innenseite befestigt. An der Außenseite des Fahrwagens befindet sich im Ein- und Ausschleusbereich zudem eine zweite Kette, die mit geringerer Geschwindigkeit läuft. Zusätzlich werden zwei Stellräder benötigt (Abbildung 50), die bei Bedarf in an den Fahrprofilen befestigten Führungsschienen eingreifen können. In weiterer Folge wird nun zwischen zwei Zuständen unterschieden:

Zustand 1: Das Shuttle fährt gerade aus

In diesem Fall sind die erwähnten Stellräder auf der innenliegenden Fahrschiene im Eingriff. Das Shuttle kann, da der Freilauf im Zahnrad in Förderrichtung sperrt, von der innenliegenden Kette gerade weitergezogen werden und berührt die außen liegende Kette somit nicht.

Zustand 2: Das Shuttle wird aus- oder eingeschleust

Hier werden die Stellräder umgeschaltet, sodass diese auf der außen liegenden Fahrschiene im Eingriff sind, die nach außen hin wegführt. Das Zahnrad am innen liegenden Zugmittel wird nun von diesem gelöst, da das Zahnrad am außen liegenden Zugmittel jetzt das Shuttle führt. Auf diese Weise wird es aus dem Hauptförderkreis ausgeschleust. Durch die geringere Geschwindigkeit am außen liegenden Zugmittel kann das Zahnrad geschmeidig abrollen, bis der Freilauf wieder eingreift und die Geschwindigkeit kontrolliert. Bei der Wiedereinschleusung kommt der gleiche Vorgang einfach in umgekehrter Reihenfolge zur Anwendung. In Abbildung 50 und Abbildung 51 kann die gesamte Angelegenheit nachvollzogen werden.

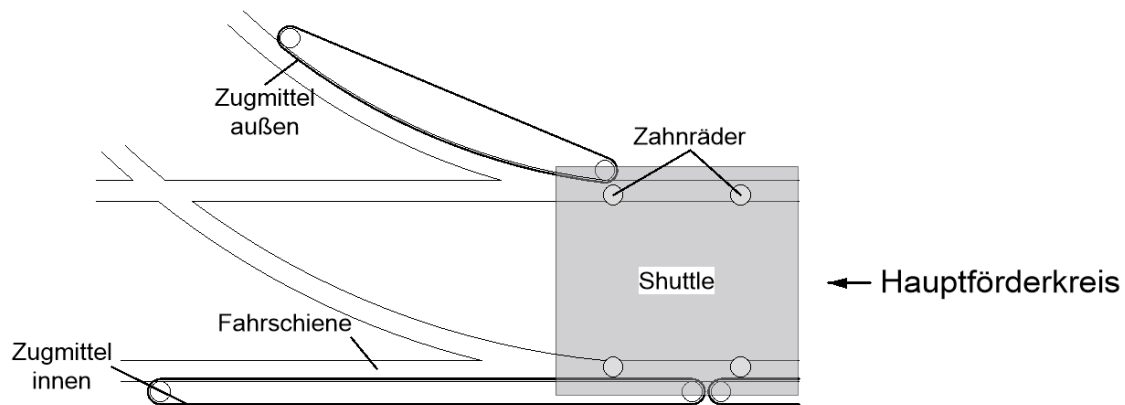


Abbildung 51: Ein- und Ausschleusmechanismus von Konzept 3, Quelle: Eigene Darstellung.

5.6 Bewertung der Konzepte auf technischer Ebene

Vor der *Leistungs- und Kostenbewertung* soll hier in einem ersten Schritt kurz die technische Bewertung erfolgen. Dazu wird auf die Sortierguteignung sowie auf mögliche KO-Punkte Wert gelegt.

Da die Lastaufnahmemittel in den Konzepten grundsätzlich mit Quergurtförderern ausgestattet wurden, kann der Punkt Sortierguteignung allerdings sofort als erledigt angesehen werden. Die Entscheidung des Quergurtsorters als beste Technologie wurde bereits in einem früheren Kapitel gefällt (siehe Punkt 4.3). Das einzige kleine Manko ist die etwaige Höhenlimitierung bei Konzept 2.

Als wirkliche technische Schwäche bei den drei beschriebenen Konzepten ist jedoch die Überschneidung der Zugstifte mit den Fahrschienen zu nennen. Mit Konzept 2 und 3 ist es gelungen, diese Problematik in den Griff zu bekommen, mit Konzept 1 nicht. Aus diesem Grund scheidet das Konzept 1 vorzeitig aus den weiteren Bewertungen aus.

In der Leistungs- und Kostenabschätzung (Kapitel 7 und 8) werden neben den hier thematisierten Shuttlekonzepten auch die Anlagenkonzepte aus Kapitel 6 bewertet. Folglich wird daher das Augenmerk zunächst auf diese Systeme gelenkt.

6 MODULARE LÖSUNGSANSÄTZE

Wie bereits mehrfach zitiert, bestehen Sortiersysteme in der Regel aus einer Einschleusung zur Gutaufnahme und einer Ausschleusung zur Verteilung der Fördergüter an die richtige Endstelle. Diese Passage behandelt nun modulare Lösungsansätze und zeigt auf, auf welche Weise Sortiersysteme kombiniert werden können, um deren Leistung zu steigern. Auch die Themen *Redundanz* und *Flexibilität* werden in diesem Zusammenhang später diskutiert.

6.1 Standard-Förderkreis

Wie in Punkt 5.2.1 geschildert, können Shuttles auf den Nebenstrecken von oben beladen werden. Diese Methode wird für die im Folgenden beschriebenen Anlagenkonzepte verwendet.

Zunächst wird der Standard-Förderkreis beschrieben, dieser stellt die Ausgangsbasis für die später folgenden Anlagenkonzepte dar. Wie bereits erwähnt können mehrere Einschleusungen parallel zum Hauptförderkreis angeordnet sein. Dies ist unter anderem davon abhängig, welche Leistung auf dem Förderkreis gefahren wird. Installiert man zwei unabhängige Einschleusungen bedeutet dies aber bei Weitem noch keine Verdoppelung der Systemleistung, da diese wiederum auch von dem in Punkt 3.2.3 zitierten Aus- bzw. Durchschleusgrad abhängig ist.¹²⁰

Wie im folgenden Bild ersichtlich werden die Shuttles in den Nebenstrecken mit Sortiergütern beladen, und sodann in den Hauptförderkreis eingeschleust. Auf der anderen Seite befinden sich die Endstellen, in die die Sortiergüter wieder vom Shuttle abgeladen werden. Letztendlich kehrt das Shuttle wieder in den Bereich der Nebenstrecken zurück und ist für den nächsten Auftrag bereit. Im linken Bereich der Abbildung ist auch eine Verbindung zu einem zweiten Förderkreis angedeutet, die von den Shuttles wahlweise benutzt werden kann.

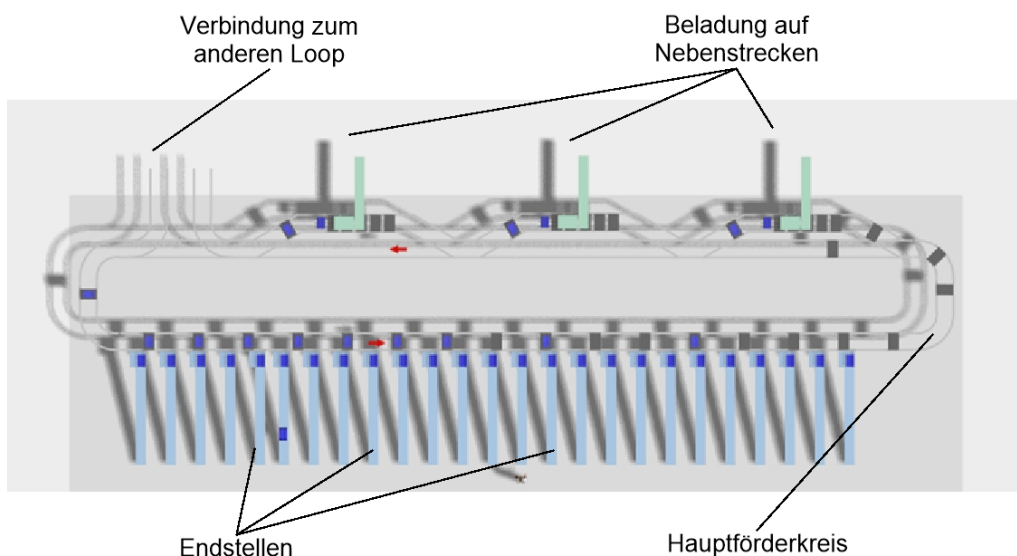


Abbildung 52: Standard-Förderkreis als Ausgangsbasis, Quelle: Eigene Darstellung.

¹²⁰ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 41.

6.2 Anlagenkonzepte

Um nun die Leistung, aber auch die Ausfallsicherheit der Anlagen zu erhöhen, werden diverse Kombinationen des Standard-Förderkreises angedacht. Sinnvollerweise wird hier ein modularer Aufbau der Anlagen verfolgt, damit bestehende Förderkreise auch leicht erweiterbar sind und so die Flexibilität der Systeme ermöglicht wird.

6.2.1 Benachbarter Förderkreis

Die einfachste Methode ist ein benachbarter Förderkreis. Es wird dabei eine Verbindung zwischen einem ersten und einem zweiten Förderkreis geschaffen. Durch die in Kapitel 5.1 erschaffenen Weichenkonzepte wird es den Fahrwagen ermöglicht, auf den Verbindungsstrecken zwischen den beiden Förderkreisen hin und her zu wechseln. Somit können im ersten Förderkreis aufgenommene Fördergüter im zweiten Förderkreis erst wieder abgegeben werden und umgekehrt. Ähnlich der in Abschnitt 3.3.3 beschriebenen AB-Vorsortierung kann man sich hier aber auch vorstellen, dass die Güter vorsortiert werden und in diesem Zustand dann bereits an den richtigen Beladungsbereich angedient werden. Diese Vorgehensweise begünstigt den Leistungszuwachs und würde zudem auch eine bessere Umverteilung der Last ermöglichen.¹²¹ In Abbildung 53 können die Bewegungen der Shuttles analysiert werden.

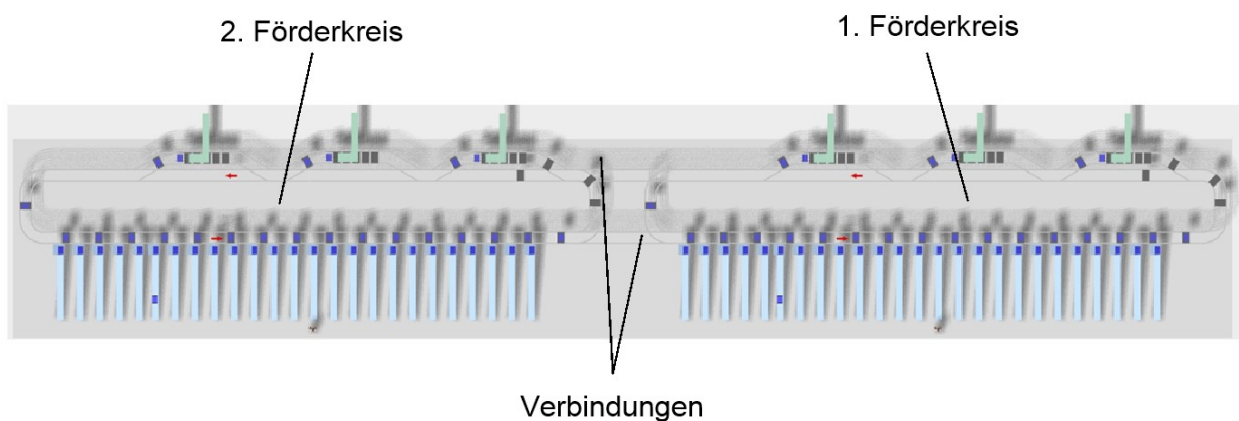


Abbildung 53: Benachbarte Förderkreise, Quelle: Eigene Darstellung.

¹²¹ Vgl. Jodin/ten Hompel (2012), S. 43.

6.2.2 Mehrstufiger Sortierprozess

Eine weitere Möglichkeit ist es, den Sortierprozess mehrstufig auszuführen. Auch die vorangegangene Variante könnte theoretisch mittels AB-Vorsortierung so ausgeführt sein, bei diesem Konzept wird der Vorgang allerdings etwas deutlicher sichtbar. Hat man also eine große Anzahl an Zieladressen, kann der Prozess zuerst mittels einer Grobsortierung an die Einschleusungen der einzelnen Förderkreise erfolgen. Diese übernehmen dann wiederum die Feinsortierung und befördern das jeweilige Sortiergut an die richtige Endstelle. Das folgende Bild gibt einen Überblick über den hier als "Modulverteiler" bezeichneten Förderkreis.¹²²

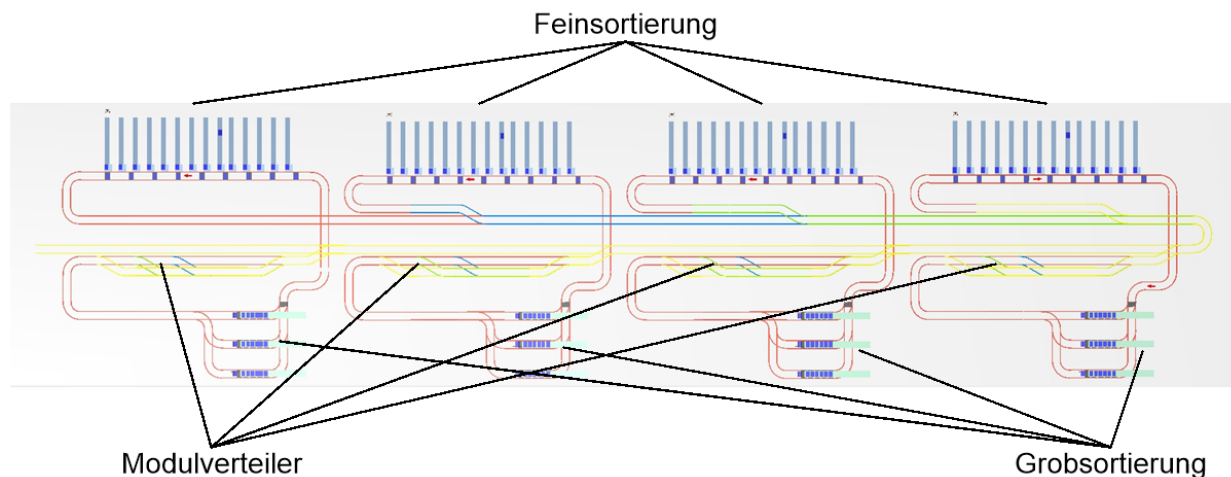


Abbildung 54: Mehrstufiger Sortierprozess mittels Modulverteiler, Quelle: Eigene Darstellung.

Zur Verdeutlichung soll der Weg eines Sortiergutes sogleich anhand der folgenden 3D-Grafik (Abbildung 55) erläutert werden. Betrachtet wird in diesem Fall die gelbe Sortierstrecke, die in die hellrote Abgabestrecke mündet.

Ein Sortiergut wird nun in einem der vier Förderkreise (mit jeweils drei Beladestellen) bereits vorsortiert auf ein Shuttle eingeschleust, welches seinen Weg in Richtung Zieladresse (auf der gelben Strecke) startet. Über dem Endstellenbereich gelangt das Shuttle dann über eine Rampe hinunter zu der hellroten Strecke, an der die Endstellen angebunden sind. Auf der Zielgeraden werden die Transportgüter dann ausgeschleust und das Shuttle wird wieder zurück zur Aufgabestelle gebracht.

Theoretisch ist es dem Shuttle nach der Beladung mit dem Fördergut auch möglich, auf die grüne, blaue oder rote Strecke zu wechseln und auf diese Weise in einen anderen Sortierkreis zu gelangen. Gäbe es beispielsweise eine Fehlzuzuweisung bei der Vorsortierung, so kann dieses Missgeschick durch die Verteilung der Shuttles auf andere Strecken und damit andere Sortierkreise behoben werden. Dieser Umstand sollte allerdings nur in Ausnahmefällen auftreten, da ja mit der Vorsortierung sinngemäß eine Gleichverteilung der Shuttles umgesetzt werden soll.

¹²² Vgl. Arnold/Furmans (2009), S. 225.

In der nachstehenden Abbildung sind nun die verschiedenen Bereiche und Förderstrecken und somit auch der Weg der Güter zu erkennen.

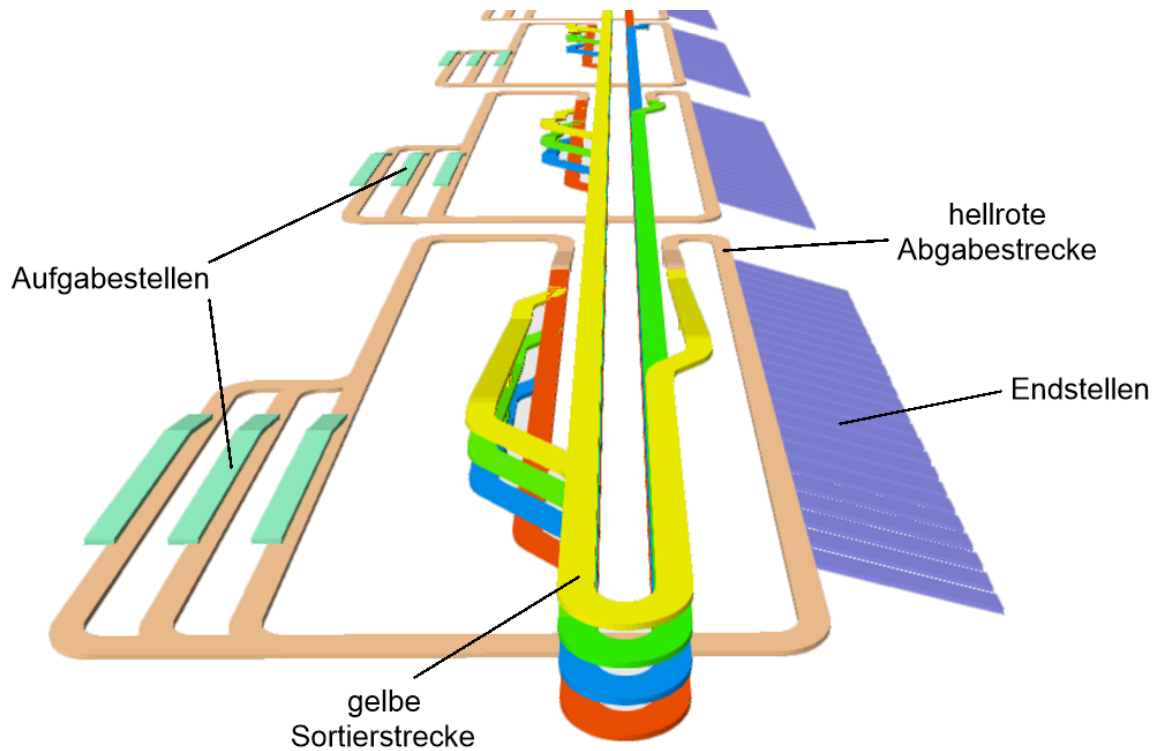


Abbildung 55: 3D-Grafik des Modulverteilers, Quelle: Eigene Darstellung.

Anmerkung: Wenn man den Ablauf nun genauer unter die Lupe nimmt, lässt sich auch ein Zusammenhang zwischen der AB-Vorsortierung (Punkt 3.3.3) und dem Bypassstrecken-System (Punkt 3.3.4) erkennen: Ein Transportgut wird (wie beschrieben) in der Regel vorsortiert an einen Förderkreis übergeben und grundsätzlich am Ende desselben ausgeschleust. Im Falle des Falles (bei einer Fehlzuzuweisung) kann das Shuttle aber auch über eine Bypassstrecke in einen anderen Förderkreis wechseln.

6.2.3 Übergabe des Sortiergutes

Um Aus- und Einschleusungen der Shuttles in andere Förderkreise zu vermeiden, könnte auch das Sortiergut an einen weiteren Förderkreis übergeben werden. Da die spezifizierten Shuttles einem Quergurtsorter ähneln, sollte dies, zumindest mechanisch, kein Problem sein.

In einem ersten Sortierkreis würde also das Fördergut auf ein Shuttle aufgegeben werden. Dieses fährt die Runde und gibt das Fördergut an der vorgesehenen Endstelle wieder ab. Falls nötig, kann es das Gut aber auch an der Passierstelle zwischen Förderkreis 1 und Förderkreis 2 auf ein freies Shuttle aus Förderkreis 2 übergeben. Dieses Shuttle wiederum weist das Gut dann im Förderkreis 2 an die richtige Zieladresse zu, oder übergibt es, wenn notwendig, an ein Shuttle aus Förderkreis 3. Dieses Spiel kann beliebig in jede Richtung erfolgen, es bleibt allerdings die Sinnhaftigkeit dabei zu hinterfragen. Denn wie bei den zuvor beschriebenen Konzepten käme auch hier eine AB-Vorsortierung zur Anwendung, wodurch sich das Fördergut dann bereits im richtigen Förderkreis befinden sollte. Dennoch erweist sich diese Methode als sinnvoll, da wiederum Fehlzweisungen entgegengewirkt werden könnte. In der folgenden Skizze sind die nebeneinander angeordneten Förderkreise zu begutachten.

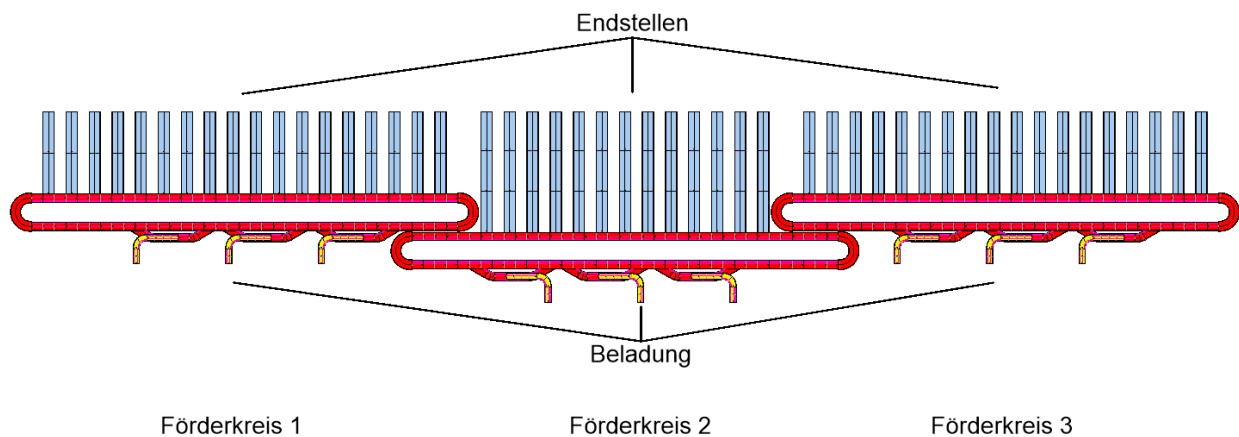


Abbildung 56: Übergabe des Sortiergutes auf benachbarte Förderkreise, Quelle: Eigene Darstellung.

Was allerdings nicht außer Acht gelassen werden darf, ist die Steuerung einer solchen Anlage. Wenn ein Shuttle ein Fördergut auf ein im benachbarten Förderkreis befindliches Shuttle übergibt, muss dieses auf jeden Fall frei sein. Auch die jeweilige Endstelle im benachbarten Förderkreis darf zumindest nicht überfüllt sein, sodass das Sortiergut ausgeschleust werden kann. Dies müsste bereits vor der Einschleusung in den ersten Förderkreis bekannt sein, außer man installiert zusätzliche Identifikationssysteme zwischen den Förderkreisen. Um Wartezeiten durch belegte Shuttles an der Übergabestelle zu vermeiden, sollte außerdem eine parallele Pufferstrecke vorgesehen werden, die Leershuttles bereitstellt. Wenn also kein Shuttle ein ankommendes Fördergut übernehmen kann, sollte es zumindest möglich sein, dieses auf ein Leershuttle in der Pufferstrecke auszusteuern, um die Leistung am Hauptförderkreis nicht zu beeinträchtigen. Steuerungstechnisch dürfte sich hier also ein etwas höherer Aufwand ergeben.

6.3 Alternativen

Die folgenden Konzepte zielen auf eine komplett konträre Vorgehensweise als bisher ab. Es wird hier nicht wie im bisherigen Werk von klassischen Sortiergeräten als optimale Lösungsstrategie ausgegangen, sondern das zu lösende Problem wird vielmehr als Black Box¹²³ betrachtet. Somit gibt es einen Förderstrom, der in das System (in diesem Fall die Black Box) hineinführt, und einen Förderstrom, der wieder herausführt. Folgend wird versucht, das Sortiergeschehen in der Black Box mit anderen, alternativen Methoden abzubilden (Abbildung 57). Diese Methoden und Konzepte werden in der späteren Bewertung und Auswahl (Kapitel 9) nicht berücksichtigt.

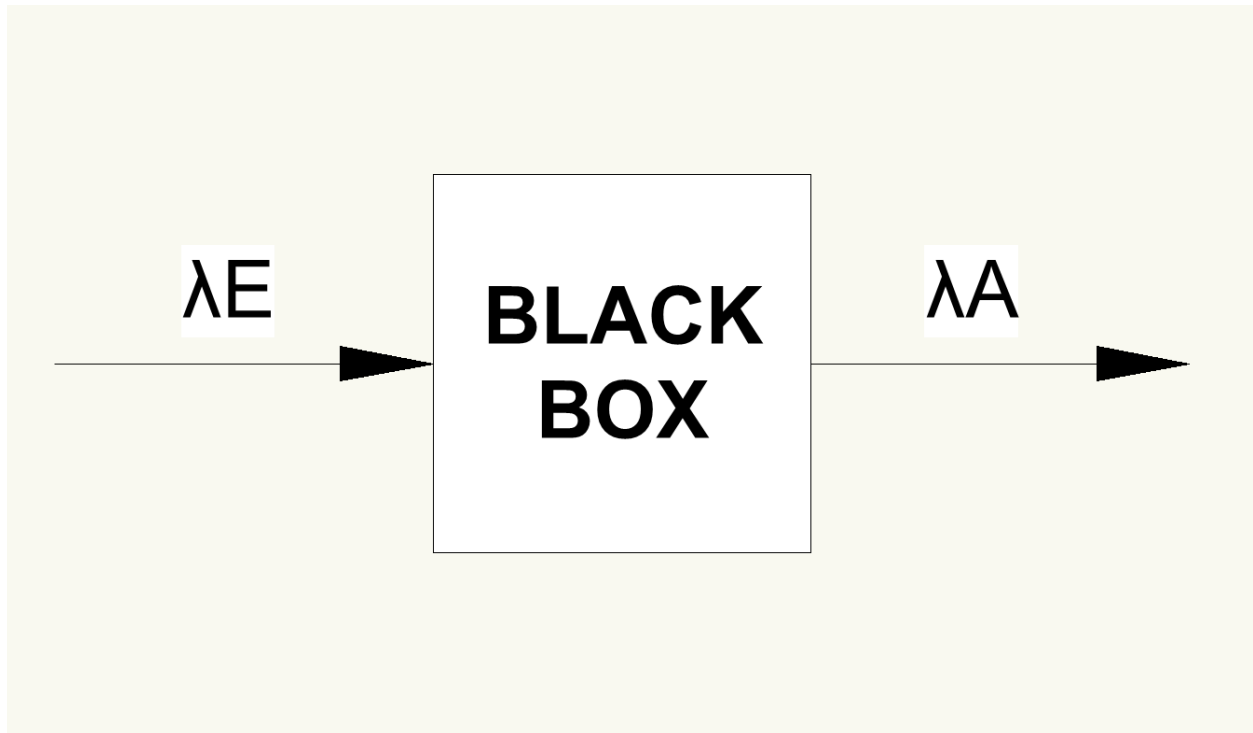


Abbildung 57: Black Box Modell, Quelle: Eigene Darstellung.

6.3.1 Sortiersystem mit Standard-Fördertechnik

Realisierbar wäre dies unter anderem mit standardisierten, optimierten (und daher günstigen) Fördertechnik-Elementen und mehreren Sortierstufen. Je nachdem, welche Leistung man durch das Sortiersystem durchschicken möchte, wird man den einlaufenden Strom erstmal separieren müssen, um einzelne Strecken und Elemente leistungstechnisch effizient nutzen zu können. Die Anordnung der Fördertechnik kann dabei entweder nebeneinander oder wahlweise auch übereinander erfolgen, um Platz zu sparen. Mittels Elementen wie Rollenförderer, Rollenkurven, Gurttransfer oder Staurollenförderer lässt sich baukastenartig ein derartiges Sortiersystem zusammenstellen. Gemäß den Anforderungen an das System besitzt dieses dann durch die genannten Komponenten mehr oder weniger parallele

¹²³ Vgl. Günthner/ten Hompel/et al. (2010), S. 252.

Förderstrecken, in denen Aufträge gepuffert und vorsortiert werden können. Die nächste Abbildung zeigt einen groben Aufbau.¹²⁴

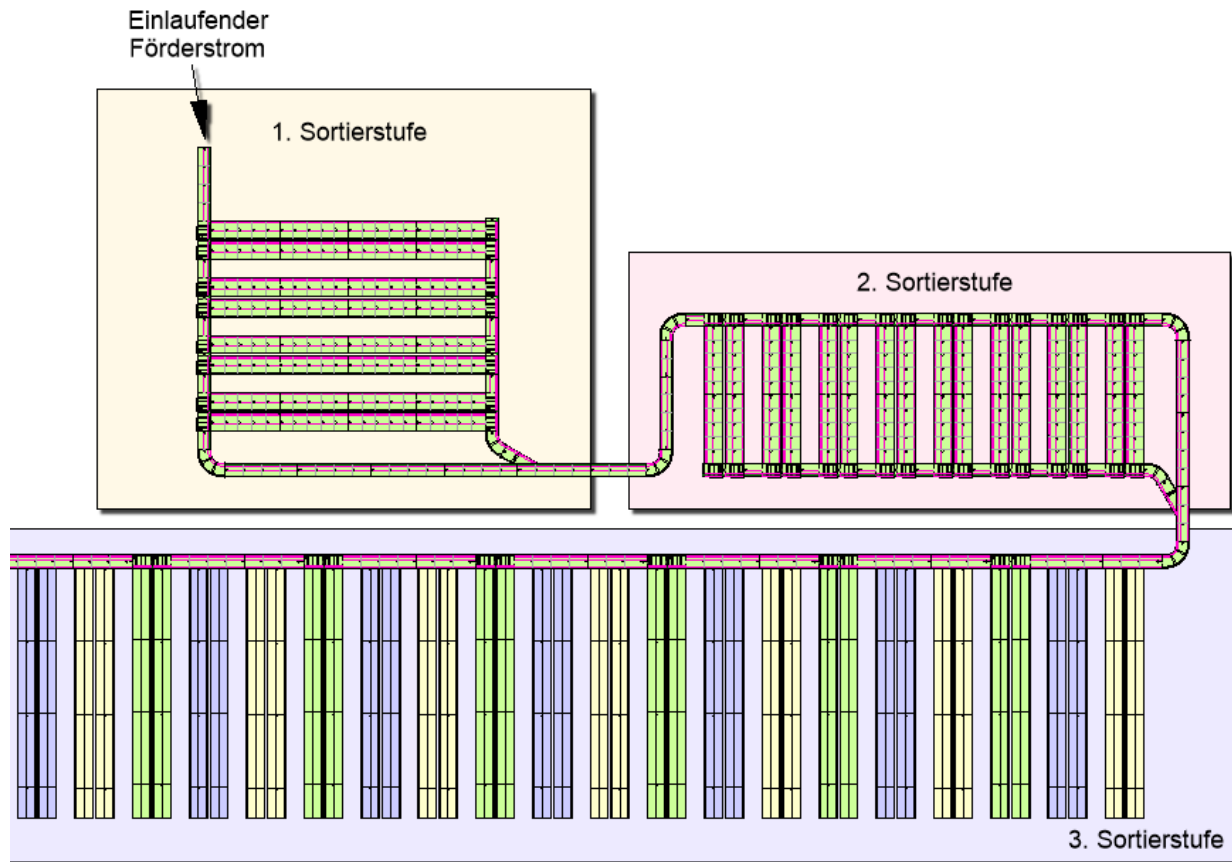


Abbildung 58: Sortiersystem mit Standard-Fördertechnik (mehrstufige Sortierung), Quelle: Eigene Darstellung.

Bei diesem Beispiel seien die Förderstrecken übereinander auf mehreren Ebenen angeordnet (siehe dazu Abbildung 59). Betrachtet man nun eine Ebene und denkt dabei an ein Postverteilzentrum, so könnte die erste Sortierstufe die Sortiergüter beispielsweise nach der Postleitzahl ordnen. In der nächsten Sortierstufe würden die Güter dann etwa den Fahrzeugen und in der dritten und letzten Sortierstufe dann gegebenenfalls der Vormittags- bzw. Nachmittagsfuhre zugeordnet werden. Man könnte auch noch einen Schritt weitergehen: wenn man die Route der Fahrzeuge kennt, ist es auch möglich, die Sequenz der Entladung abzubilden. D. h., dass die Sortiergüter dann bereits in der Reihenfolge aufgeladen werden, wie sie der Postbote später wieder ablädt (ähnlich dem LIFO-Prinzip¹²⁵ – Last-In-First-Out).

Um die Leistung zu skalieren, bietet sich wie bereits erwähnt eine Anordnung der Förderstrecken auf mehreren Ebenen oder nebeneinander an. Es ist jedoch auch ersichtlich, dass in einem derartigen Fall einige Laufmeter an Fördertechnik anfallen, weshalb es sich unter Umständen als vorteilhaft erweisen würde, die Fördertechnik-Komponenten auf das Wesentliche zu reduzieren. Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau in dreidimensionaler Darstellung.

¹²⁴ Vgl. Martin (2014), S. 161 ff.

¹²⁵ Vgl. ten Hompel/Schmidt/Nagel (2007), S. 107.

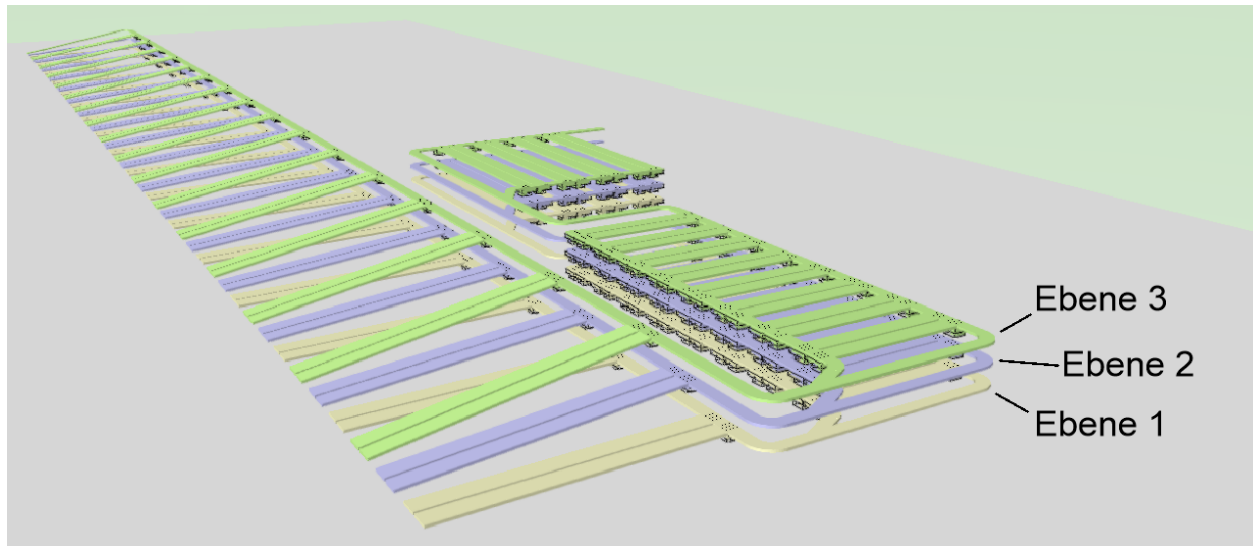


Abbildung 59: Sortiersystem mit Standard-Fördertechnik; 3D-Darstellung, Quelle: Eigene Darstellung.

6.3.2 Sortiersystem mit Standard-Shuttles

Die zweite Alternative ist eine Anlage, die aus zahlreichen Shuttles besteht, die normalerweise in einem Shuttle-Regal zum Einsatz kommen. Ein derartiges Shuttle kann jeweils ein Sortiergut zum gleichen Zeitpunkt aufnehmen. Der Aufbau besteht aus mehreren Ebenen. In jeder der Ebenen verkehren mehrere Shuttles. Der einlaufende Strom wird auch in diesem Fall vorerst auf die Shuttle-Ebenen aufgeteilt, um von den Shuttles verarbeitet werden zu können. Bei den Eingängen können, falls erforderlich und sofern die Leistung abführbar bleibt, auch mehrere Strecken vorgesehen werden. Während des Sortiervorganges werden die Fördergüter dann von den Shuttles an mehrere Ausgänge zugeteilt, um von dort weiterverarbeitet werden zu können. Abbildung 60 zeigt einen möglichen Aufbau eines solchen Systems (hier ist jeweils nur ein Eingang und ein Ausgang abgebildet).

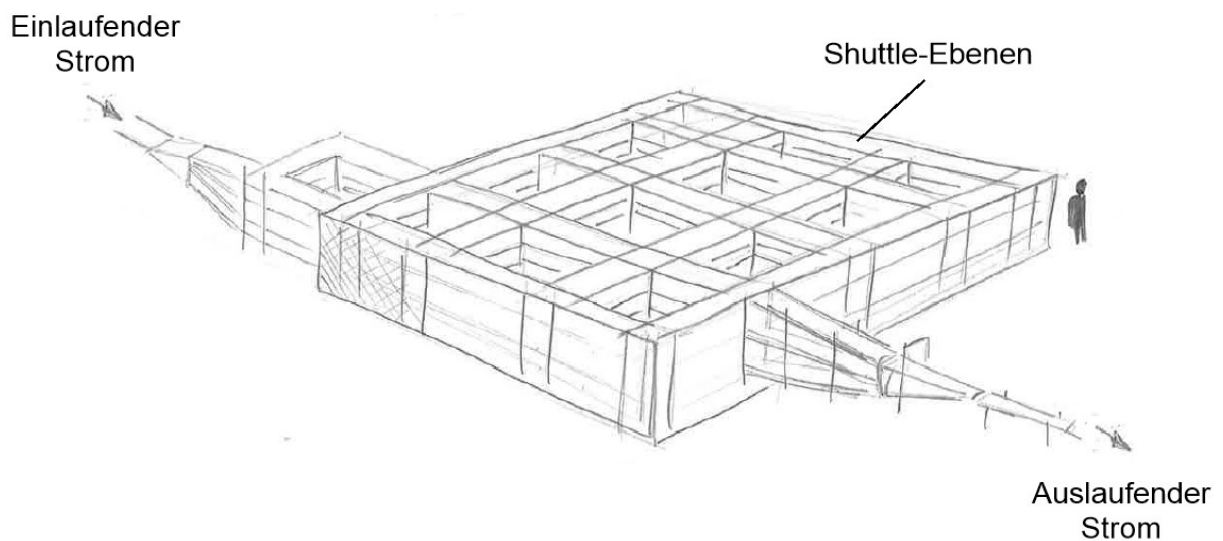


Abbildung 60: Sortierung mit Standard-Shuttle, Quelle: Eigene Darstellung.

Somit kann das System einerseits zur Vorsortierung und Sequenzierung (wie das System in Punkt 6.3.1) verwendet werden. Möglich wäre es aber auch, bereits direkt an die Ausgänge die Endstellen anzubinden. Grundsätzlich soll das Sortiergut immer am Shuttle verbleiben und direkt an einen der Ausgänge zugeteilt werden. Wenn aus Sequenzgründen eine Zwischenpufferung erforderlich ist, muss diese ebenfalls vorgesehen werden. An Abbildung 61 kann ein grober Materialfluss des Systems (hier mit mehreren Ein- und Ausgängen) beobachtet werden.

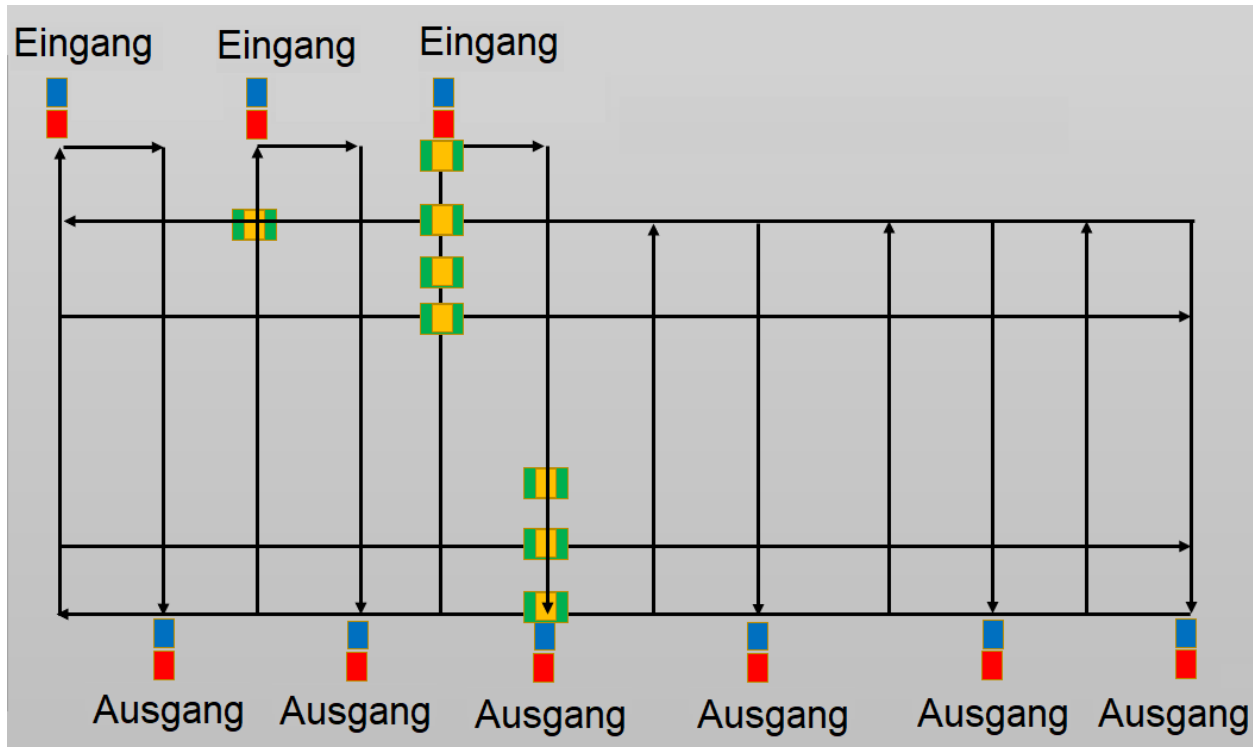


Abbildung 61: Sortierung mit Standard-Shuttle – Materialfluss, Quelle: Eigene Darstellung.

6.4 Wandelbare Materialflusssysteme

Um einen leichteren Bezug zur Flexibilität herstellen zu können, wird hier noch an die Wandelbarkeit der Materialflusssysteme appelliert. Diese wird insbesondere dann benötigt, wenn sich Anlagen an schnell veränderte Produktionsbedingungen und -abläufe oder auch an veränderte Auftragsstrukturen anpassen müssen. Zusätzlich sollten wandelbare Systeme auch bestens geeignet sein, um auf ungeplante Ereignisse reagieren zu können. Die Wandelbarkeit kann man dabei in

- die Fördergutflexibilität,
- die Layoutflexibilität und
- die Durchsatzflexibilität

unterteilen. Die *Fördergutflexibilität* spezifiziert das System hinsichtlich der Fähigkeit, unterschiedlichste Produkte zu transportieren, unabhängig von deren Abmessung und Gewicht. Die *Layoutflexibilität* sagt aus, dass sich ein Materialflusssystem schnell auf veränderte Materialflüsse einstellen kann und dass jeder Ort im Warenlager bedient werden kann. Die *Durchsatzflexibilität* bezeichnet die Eigenschaft eines Systems, sich an die Leistungsänderungen im laufenden Betrieb – beispielsweise Auftragsmengenschwankungen – anpassen zu können. Da es technisch und wirtschaftlich nicht

realisierbar ist, diese drei Flexibilitätsanforderungen vollständig zu erfüllen, so gilt es zumindest, ein sinnvolles Maß derer zu erreichen. Die folgende Abbildung stellt den Zusammenhang grafisch dar.¹²⁶

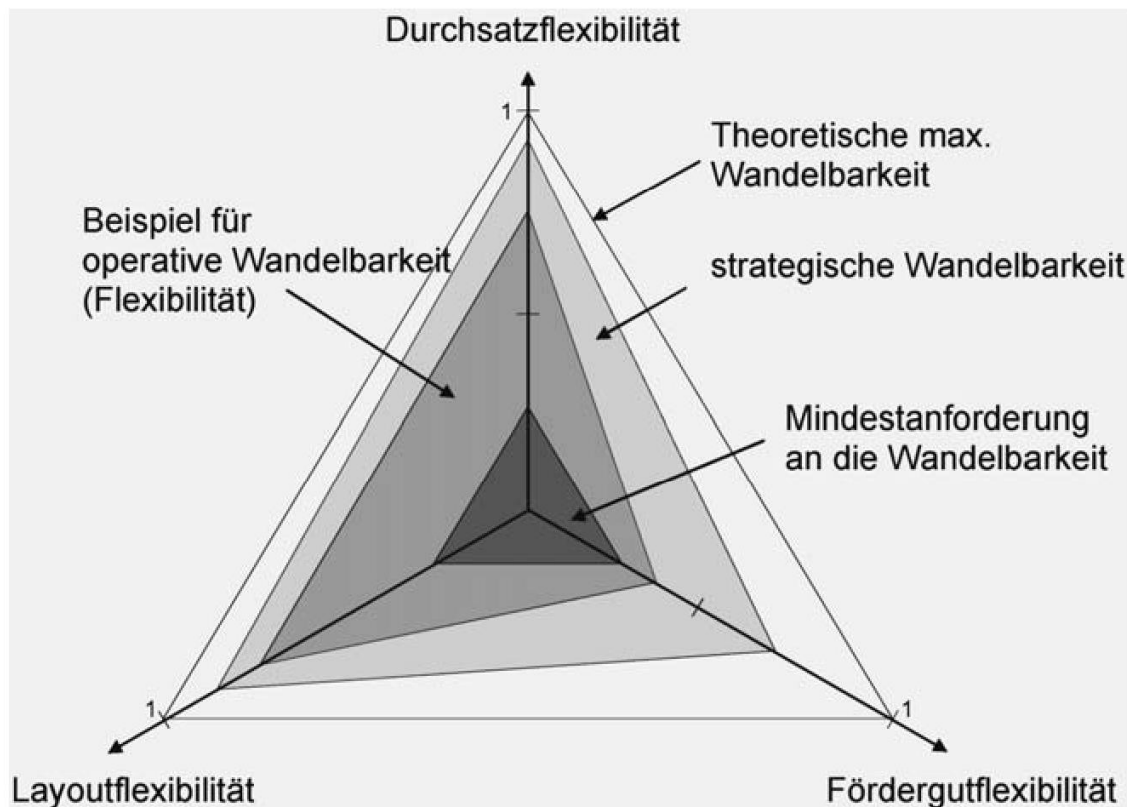


Abbildung 62: Beurteilung der Wandelbarkeit eines Materialflusssystems, Quelle: Lindemann/Reichwald/et al. (2006), S. 79.

Dies erfordert aber auch, dass ein solches Materialflusssystem den Leitmotiven

- Erweiterungsfähigkeit,
- Integrationsfähigkeit und
- Lernfähigkeit

gerecht wird. Mit der *Erweiterungsfähigkeit* ist die Erweiterung eines bestehenden Materialflusssystems durch Hinzufügen von systemeigenen Modulen gemeint. Dadurch können z. B. neue Lagerbereiche erschlossen und auch bedient werden. Die *Integrationsfähigkeit* beschreibt die Eignung, ein Materialflusssystem auf steuerungstechnischer Seite zu integrieren. Des Weiteren gibt sie auch eine Aussage über die Fähigkeit, technische und steuerungstechnische Verkettungen mit anderen Materialflusssystemen einzugehen. Es ist somit notwendig, dass einzelne Systeme über offene, erweiterungsfähige, mechatronische Schnittstellen und Kommunikationsfähigkeiten verfügen, um die Integrationsfähigkeit zu gewährleisten. *Lernfähigkeit* letztendlich bezeichnet die Fertigkeit der Systeme, die aus bereits erledigten Aufgaben gewonnenen Erkenntnisse entsprechend zu verwerten und sie in neue Aufträge mit einzubeziehen. Durch diese drei Fähigkeiten ist es den Materialflusssystemen möglich, auf vorab nicht geplante Änderungen reagieren zu können.¹²⁷

¹²⁶ Vgl. Lindemann/Reichwald/et al. (2006), S. 78 f.

¹²⁷ Vgl. Lindemann/Reichwald/et al. (2006), S. 79 f.

6.5 Redundanz und Flexibilität

Es ist anzunehmen, dass Redundanz und Flexibilität eines Systems in Zukunft immer wesentlichere Rollen spielen. Anlagen sollen möglicherweise flächenmäßig beliebig skalierbar, Systeme leistungstechnisch willkürlich erweiterbar, und Förderströme ausfallsicher und redundant aufgebaut sein. Zudem ist es denkbar, dass natürlich die Kosten einer Anlage transparent gestaltet sein sollen und klein gehalten werden können.

Mit allen auf den letzten Seiten behandelten Systemen werden diese Ziele verfolgt. Möchte ein Kunde beispielsweise eine Anlage erwerben, hat aber nicht das nötige Budget, mit dem er sich sofort das Gesamtsystem leisten könnte, kann er z. B. mit einem Sortierkreis beginnen und zu einem späteren Zeitpunkt einen weiteren nachrüsten. Denkbar wäre auch, dass ein Sortierkreis zu Beginn nicht mit der vollen Anzahl an Shuttles ausgerüstet wird, sondern erst bei Bedarf nachbestückt wird. Somit spart man anfänglich Kosten und hat gleichzeitig ein flexibles System, welches sich leicht erweitern lässt. Das Gleiche gilt auch, falls der Flächenbedarf im Gebäude zu Beginn begrenzt sein sollte.

Hinsichtlich der Leistung sind die erstellten modularen Systeme auch vorteilhafter. Während ein Quergurtsorter (wie in Punkt 3.5.1 erwähnt) eine Leistung von 12.000 bis 26.000 Einheiten/h abdecken kann, ist es doch möglich, dass ein Kunde beim Hochlauf der Anlage diese enorme Leistung noch gar nicht benötigt. Aus diesem Grund ist es von Vorteil, wenn sich Kunden für den Anfang einen Sortierkreis mit etwas weniger Leistung anschaffen können, aber dieses System dann modular erweiterbar ist, wenn der Leistungsbedarf steigt. Ebenfalls sollte man hier auch wieder an eine potentielle anfängliche Minderbestückung mit Shuttles denken.

Als weiterer Vorteil ist die Redundanz zu nennen. Während bei nur einem Sortierkreis die Ausfallsicherheit eher gering ist, steigt diese zweifelsohne, wenn mehrere Förderkreise aneinander gefügt werden. Sollte es bei einem Einzelkreis zu einem Ausfall kommen, führt dies zu einem Stillstand des Systems. Durch ein modulares System kann diesem Umstand entgegengewirkt werden, da die Shuttles auf anderen Förderkreisen weiterhin verfügbar sind und ihrer Sortiertätigkeit nachkommen können.

Schließlich ist noch anzunehmen, dass mithilfe multipler Transportkreise eine ausgeglichene Lastverteilung angestrebt werden kann. Sollte ein Förderkreis also beinahe an seine Grenzleistung stoßen, während aber zwei andere gerade unterlastet sind, könnte die Leistung auf diese beiden verteilt werden. Allerdings ist hier auch an eine aufwändigere Ablaufsteuerung zu denken, da durch die Identifikation der Sortiergüter deren Ziele bestimmt werden. Bei einer Umverteilung muss also auch gewährleistet sein, dass das jeweilige Sortiergut sein Ziel letztendlich erreichen kann.

7 LEISTUNGSABSCHÄTZUNG

Dieser Bereich deckt die abzuschätzenden Leistungen der Konzepte aus den Kapiteln 5 und 6 ab. Bestenfalls sollen annähernd die Werte der bestehenden Lösungen, welche in Abschnitt 3.5 thematisiert wurden, erreicht werden. An dieser Stelle muss aber festgehalten werden, dass es sich bei sämtlichen Ausgangswerten um reine Annahmen handelt. Durch diese Annahmen werden dann die theoretischen Leistungen berechnet, die ihrerseits als Entscheidungsgrundlage zur Auswahl des Konzeptes dienen. Dieses gewählte Konzept (im Kapitel 9) muss dann einer detaillierten Entwicklungsphase und Tests unter realen Bedingungen unterzogen werden, die nicht Teil des Werkes sind.

7.1 Leistungsabschätzung der Shuttle-Konzepte

Zu Beginn wird unter diesem Punkt die Leistungsabschätzung der Shuttle-Konzepte vollzogen. Diese kann dann später bei den modularen Konzepten als Ausgangsbasis verwendet werden.

7.1.1 Definition der Sortiergüter

Um dies zu erreichen, werden in erster Linie die Sortiergüter definiert, die von den Shuttles befördert werden sollen. Angelehnt an die unter Punkt 3.6 aufgelisteten Sortiergut-Abmessungen für den Quergurtsorter werden die folgenden Abmessungen in Millimeter definiert (Länge x Breite x Höhe):

- minimale Abmessungen: 100 x 150 x 5
- maximale Abmessungen: 1.500 x 800 x 800

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über diese Sortiergüter.

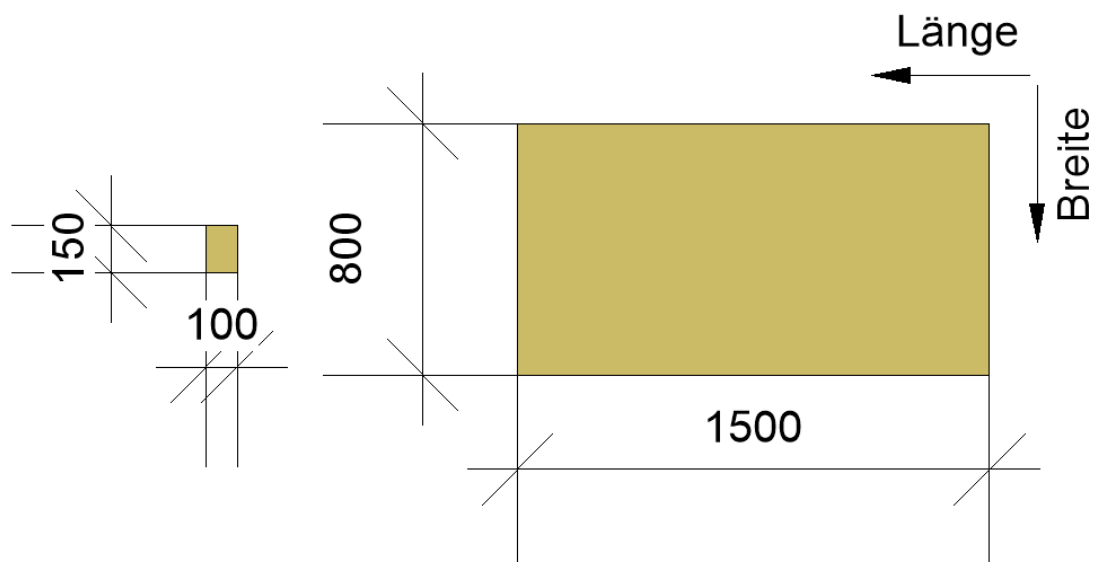


Abbildung 63: Definierte Sortiergüter, Quelle: Eigene Darstellung.

7.1.2 Abmessungen der Shuttles

Ausgehend von diesen Gutabmessungen ergeben sich die Abmessungen der Shuttles. Um einen geringeren Shuttle-Abstand und somit später einen höheren Grenzdurchsatz zu erreichen, wird für die Güter *Quertransport* definiert. Das Ladehilfsmittel hat dabei einen Überstand von 100 mm, jeweils an der Vorderseite und an der Hinterseite. Mit 800 mm maximaler Gutbreite ergibt sich damit eine Shuttle-Länge von 1.000 mm. Links und rechts in Förderrichtung ist der Überstand aufgrund der Gurtumlenkungen mit jeweils 150 mm etwas größer, wodurch sich bei einer maximalen Gutlänge von 1.500 mm eine Shuttle-Breite von 1.800 mm ergibt. Abbildung 64 zeigt skizzenhaft die Abmessungen.

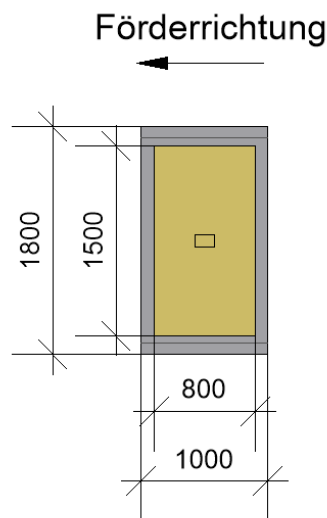


Abbildung 64: Shuttle-Abmessungen, Quelle: Eigene Darstellung.

7.1.3 Definition der Geschwindigkeit

Als nächstes sei die Geschwindigkeit der Zugmittel definiert. Bezugnehmend auf die in Punkt 3.5 aufgelisteten Geschwindigkeiten für den Quergurtsorter, die zwischen 2 m/s und 3 m/s liegen, wird für die theoretischen Berechnungen der Shuttle-Konzepte die Geschwindigkeit für v_K mit 2,5 m/s angenommen. Antriebe und Zugmittel sind in einer späteren Entwicklungsphase selbstredend auf diese Geschwindigkeit auszulegen und zu berechnen.

7.1.4 Theoretische Grenzdurchsätze

Im nun folgenden Schritt werden die theoretischen Grenzdurchsätze der Shuttle-Lösungen anhand der soeben definierten Parameter berechnet. Zuvor muss noch die minimale Teilung der Tragmittel $s_{sort,min}$ errechnet werden. Der Abstand zwischen den Shuttles wird in einem ersten Schritt mit 500 mm angenommen, um die Shuttles auch in Kurvenabschnitten ohne Kollision bewegen zu können. Zusammen mit der Shuttle-Länge von 1.000 mm ergibt sich für $s_{sort,min}$ damit eine Teilung von 1.500 mm. Die nachstehende Abbildung zeigt die Teilung der Shuttles.

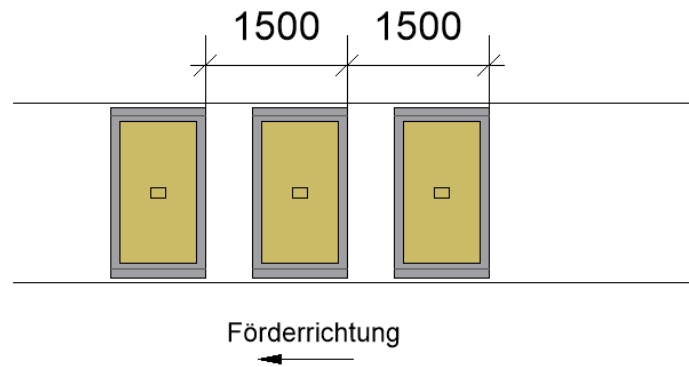


Abbildung 65: Minimale Teilung der Shuttles, Quelle: Eigene Darstellung.

Der Faktor c für parallele Strecken sei stets mit 1 angenommen. Angelehnt an Formel (3.1) ergibt sich für den Grenzdurchsatz

$$\lambda_{Sort,max,SK} = \frac{2,5 \text{ m/s} \cdot 1 \cdot 3.600}{1,5 \text{ m}} = 6.000 \text{ Stück/h} \quad (7.1)$$

Ohne Ein- und Ausschleusung der Shuttles wäre diese Berechnung annehmbar. Es muss nun aber bedacht werden, dass die Shuttles im vorliegenden Fall sehr wohl ein- und ausgeschleust werden sollen. Dies hat zur Folge, dass ein Shuttle öfters das Zugmittel eines Förderkreises verlassen wird und von einem Zugmittel in einem anderen Förderkreis wieder aufgenommen wird. Es ist davon auszugehen, dass die Shuttles, speziell bei den Einschleusungen, etwas an Platz benötigen werden. Schließlich möchte man genau eine Lücke zwischen zwei Shuttles treffen und dabei nicht mit den anderen Shuttles kollidieren. Darum, und um etwaiges Spiel in den Zugmitteln zu berücksichtigen, erweist es sich also als sinnvoll, die Teilung der Shuttles für die weiterführenden Berechnungen etwas größer zu wählen.

Überflur verlaufendes Zugmittel

Um sicher zu gehen, dass die Shuttles bei der Einschleusung aufgrund der Schrägstellung nicht kollidieren, wird eine kurze, geometrische Überprüfung dahingehend durchgeführt. In Abbildung 66 kann das Ergebnis begutachtet werden.

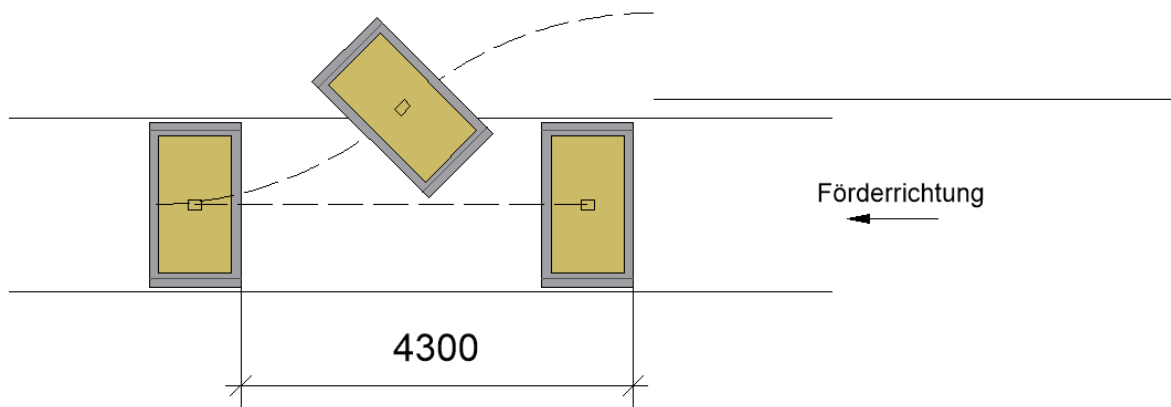


Abbildung 66: Überprüfung auf Kollision bei der Einschleusung, Quelle: Eigene Darstellung.

Nach dieser Überprüfung kann $s_{sort,min}$ nun mit 2.150 mm neu festgelegt werden, wie die folgende Abbildung erkennen lässt.

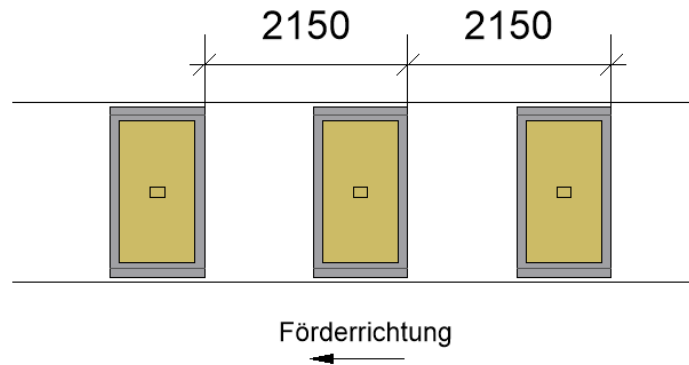


Abbildung 67: Teilung der Shuttles bei überflur angeordnetem Zugmittel, Quelle: Eigene Darstellung.

Mit diesen Ausgangswerten ergibt sich ein theoretischer Grenzdurchsatz von

$$\lambda_{Sort,max,SK2} = \frac{2,5 \text{ m/s} \cdot 1 \cdot 3.600}{2,15 \text{ m}} = 4.186 \text{ Stück/h} \quad (7.2)$$

für das Shuttle-Konzept mit dem überflur verlaufendem Zugmittel.

Seitlich verlaufendes Zugmittel

Für das Konzept mit dem seitlich verlaufendem Zugmittel wird nun dieselbe Übung durchgeführt. Aufgrund der Tatsache, dass das Shuttle hierbei vier Zahnräder aufweist (wie bereits in Abbildung 51 ersichtlich), ist dessen Unterbau etwas größer. Dadurch erhöht sich die Shuttle-Länge und $s_{sort,min}$ um 100 mm und ist letztendlich mit 2.250 mm für dieses Konzept anzunehmen. Der Umstand ist im folgenden Bild ersichtlich.

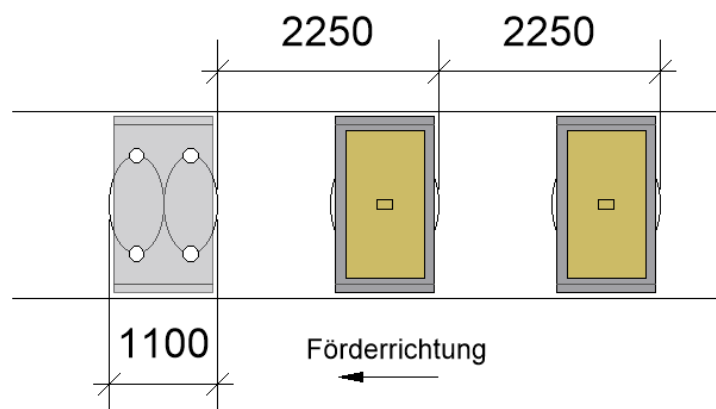


Abbildung 68: Teilung der Shuttles bei seitlich angeordnetem Zugmittel, Quelle: Eigene Darstellung.

Setzt man ein weiteres Mal in die Gleichung ein, erhält man für das Konzept mit dem seitlich verlaufendem Zugmittel einen Grenzdurchsatz von

$$\lambda_{\text{Sort,max,SK3}} = \frac{2,5 \text{ m/s} \cdot 1 \cdot 3.600}{2,25 \text{ m}} = 4.000 \text{ Stück/h} \quad (7.3)$$

7.2 Leistungsüberblick der Shuttle-Konzepte

Als Zusammenfassung sind unter diesem Abschnitt die errechneten Leistungen der Shuttle-Konzepte tabellarisch aufgelistet und zusammengestellt.

	<i>Teilung der Shuttles</i>	<i>Errechneter Grenzdurchsatz</i>
	mm	Einheiten/h
$\lambda_{\text{Sort,max,SK}} - \text{Minimale Teilung}$	1.500	6.000
$\lambda_{\text{Sort,max,SK2}} - \text{Überflur verlaufendes Zugmittel}$	2.150	4.186
$\lambda_{\text{Sort,max,SK3}} - \text{Seitlich verlaufendes Zugmittel}$	2.250	4.000

Tabelle 7: Leistungsüberblick der Shuttle-Konzepte, Quelle: Eigene Darstellung.

7.3 Leistungsabschätzung der modularen Anlagenkonzepte

Als nachfolgender Schritt wird nun die Leistungsabschätzung der modularen Anlagenkonzepte durchgeführt. Zu diesem Zweck wird ausschließlich auf die Shuttle-Leistungen für das überflur und seitlich verlaufende Zugmittel zurückgegriffen, da bei den Anlagenkonzepten die Ein- und Ausschleusungen unumgänglich sind und daher verwendet werden.

Aus den zuvor durchgeführten Berechnungen ging hervor, dass das Konzept mit dem überflur verlaufendem Zugmittel eine leicht höhere Grenzleistung als das Konzept mit dem seitlich verlaufendem Zugmittel erreicht. Da diese Leistungen annähernd gleich sind, wird aufgrund der einfacheren Rechenweise die Grenzleistung mit 4.000 Stück/h für die nachfolgenden Berechnungen herangezogen (wohl aber in dem Wissen, dass mit dem Überflur-Konzept eine geringfügig höhere Leistung erzielt werden kann).

7.3.1 Benachbarter Förderkreis

Blickt man nochmal zurück auf das in Punkt 6.2.1 aufgestellte Anlagenkonzept mit dem benachbarten Förderkreis, welches auf dem Standard-Förderkreis aus 6.1 aufbaut, so hatte dieses an jedem Hauptförderkreis drei Beladestrecken. In jedem Hauptförderkreis sei die erreichbare Leistung nun mit den zuvor errechneten 4.000 Stück/h angenommen. Jede Beladungsstrecke muss also ein Drittel der Leistung an den Förderkreis andienen, was in diesem Fall 1.333 Stück/h entspricht. Wie die Formeln (3.3) und (3.4) zeigen, können Materialströme einfach aufgeteilt und wieder zusammengeführt werden. Somit ergibt sich direkt nach den Kreuzungen zu den Beladungsstrecken jeweils eine verminderte Leistung von etwa 2.667 Stück/h, wenn man von einer Gleichverteilung der Last ausgeht. Da es sich im

konkreten Beispiel nun um zwei Förderkreise handelt, ergibt sich letztendlich eine Gesamtleistung von $\lambda_{\text{Sort,max,AK1}} = 8.000$ Stück/h für das gesamte System (8.372 Stück/h für das Überflur-Konzept). Ebenfalls wichtig dabei ist, dass die Ströme zwischen den Förderkreisen gleichmäßig verschoben werden (sofern dies notwendig ist, denn Hauptaugenmerk sollte, wie bereits bei den Konzepten erwähnt, eine Vorsortierung sein). D. h., wenn 2.000 Stück/h von Förderkreis 1 in Förderkreis 2 wechseln, sollte dies umgekehrt auch passieren, da sonst die Gesamtleistung des Systems sinkt (siehe Abbildung 69).

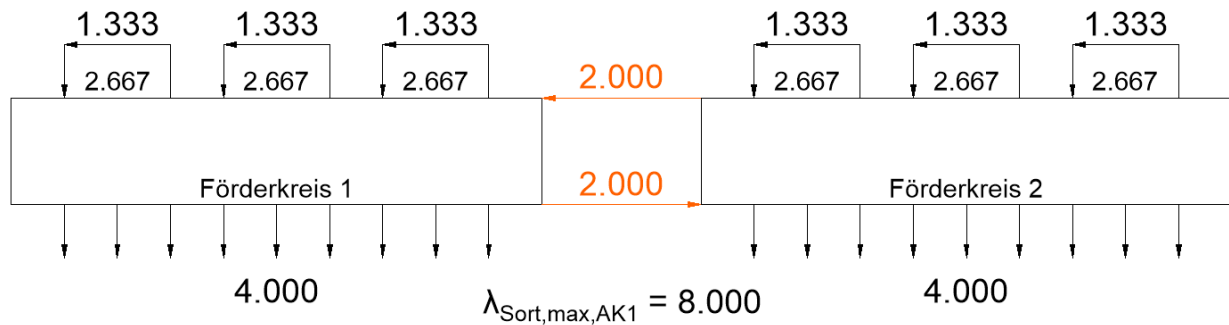


Abbildung 69: Theoretische Grenzleistung bei einem benachbarten Förderkreis, Quelle: Eigene Darstellung.

Diese Lastverteilung sollte also ausgeglichen sein. Man könnte nun noch mehrere Förderkreise aneinander reihen, um die Leistung noch weiter zu steigern. Allerdings gestaltet sich die Lastverteilung dann etwas schwieriger als bei zwei Förderkreisen.

Nehmen wir als folgendes Beispiel ein System mit vier Förderkreisen. Die Leistung in jedem Förderkreis sei wie zuvor 4.000 Stück/h, was zu einer Gesamtleistung von $\lambda_{\text{Sort,max,AK1}} = 16.000$ Stück/h führt (16.744 Stück/h für das Überflur-Konzept). Die Annahmen bezüglich der Verteilung seien wie folgt:

- Förderkreis 1 verteile 1.000 Stück/h an Förderkreis 2
- Förderkreis 2 verteile 2.000 Stück/h an Förderkreis 3
- Förderkreis 3 verteile 2.000 Stück/h an Förderkreis 4
- Förderkreis 4 verteile 3.000 Stück/h an Förderkreis 3
- Förderkreis 3 verteile 3.000 Stück/h an Förderkreis 2
- Förderkreis 2 verteile 2.000 Stück/h an Förderkreis 1

Mit unterstützender Betrachtung des nachfolgenden Bildes wird ersichtlich, dass es bei einer ungleichmäßigen Verteilung kurzzeitig zu Leistungseinbußen einzelner Förderkreise und damit zu einer Minderung der Leistung des Gesamtsystems kommen kann. Hier passiert dies im konkreten Fall deswegen, weil der Förderkreis 2 nach rechts und der Förderkreis 4 nach links mehr Stück/h als notwendig abgeben, wodurch die Lasten von den folgenden Förderkreisen auch weitergegeben werden müssen und dies in einer Leistungsminderung von Förderkreis 1 resultiert. Der Eingangsstrom in diesen Förderkreis muss gedrosselt werden, da eine höhere Leistung als 4.000 Stück/h technisch nicht möglich ist. Als Konsequenz sinkt die Gesamtleistung des Systems. Sofern möglich, sollte also ein Förderkreis immer nur so viel Leistung wie notwendig an den weiterführenden Förderkreis abgeben. Möglich wäre eine derartige Anordnung der Förderkreise also, es bedarf jedoch einer exakten Ablaufsteuerung, die in diesem Werk nicht thematisiert wird.

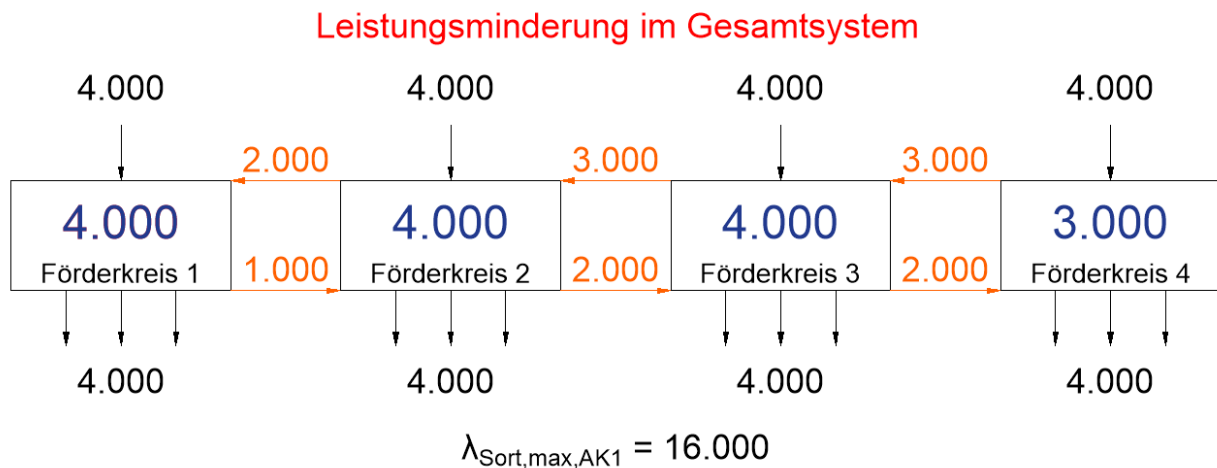


Abbildung 70: Theoretische Grenzleistung bei vier benachbarten Förderkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.

7.3.2 Mehrstufiger Sortierprozess

Für das mehrstufige Sortierkonzept aus Punkt 6.2.2 werden die Leistungen für die Beladungsstrecken ebenfalls mit 1.333 Stück/h angenommen, was wiederum zu einer maximalen Leistung von 4.000 Stück/h für den gesamten Förderkreis führt. Über den „Modulverteiler“ können die Shuttles – wie in der Konzeptbeschreibung vermerkt – für den Fall der Fälle und unabhängig davon, in welchem Sortierkreis sie sich befinden, nun die rote, die blaue, die grüne oder die gelbe Strecke befahren. Wenngleich dies durch die Vorsortierung vermieden werden sollte, ist dies doch ein Vorteil dieses Systems und wird für die folgenden Beispiele auch so gezeigt.

Angenommen wird dabei eine Gleichverteilung der Leistung von 1.000 Stück/h auf jeden Modulverteiler. Durch die weitere Annahme, dass diese Gleichverteilung in jedem Förderkreis dieselbe ist, ergibt sich somit auf jedem Modulverteiler eine Leistung von 4.000 Stück/h, die direkt den Endstellen zugeführt werden kann. Bei vier Förderkreisen ergibt sich damit wieder eine Gesamtleistung des Systems von $\lambda_{\text{Sort,max,AK2}} = 16.000$ Stück/h (und 16.744 Stück/h für das Überflur-Konzept). Der Materialfluss kann in Abbildung 71 begutachtet werden.

Erweitert man das System nun zum Beispiel um zwei weitere Förderkreise, wozu man auch zwei weitere Modulverteiler-Strecken benötigt, sieht die Lage wie folgt aus: Wieder von einer Gleichverteilung der Leistung ausgehend, entfällt auf jeden Modulverteiler dieselbe im Ausmaß von 667 Stück/h. Jeder Förderkreis teilt dies zu gleichen Teilen, wodurch abermals auf jedem Modulverteiler 4.000 Stück/h fließen, die direkt an den Endstellen angedient werden können. Bei nunmehr sechs Förderkreisen ergibt sich daher eine Gesamtleistung von $\lambda_{\text{Sort,max,AK2}} = 24.000$ Stück/h (und 25.116 Stück/h für das Überflur-Konzept). In Abbildung 72 kann der Materialfluss studiert werden.

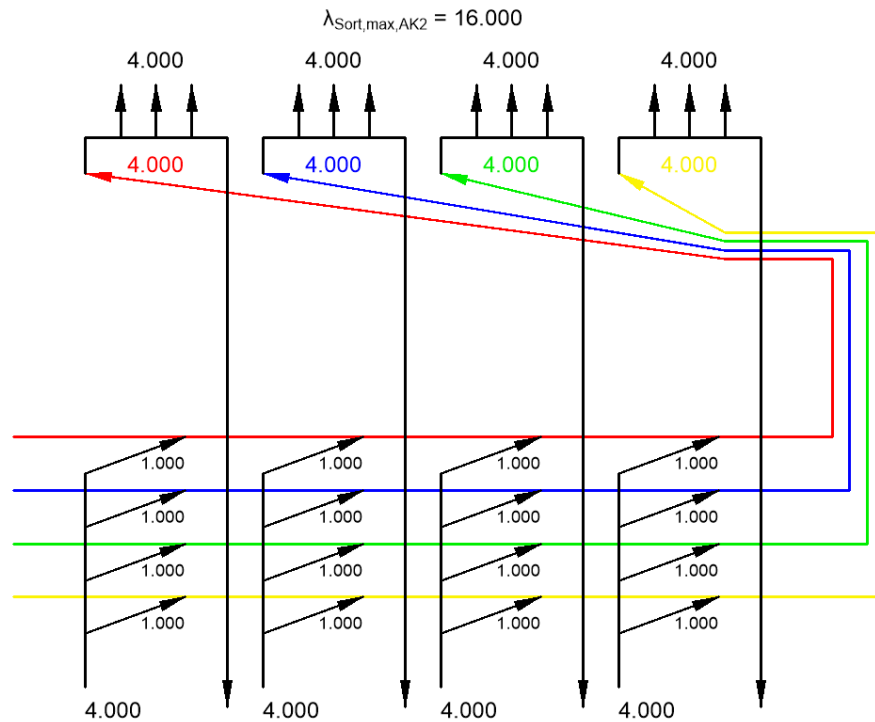


Abbildung 71: Theoretische Grenzleistung mittels Modulverteiler bei vier Förderkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.

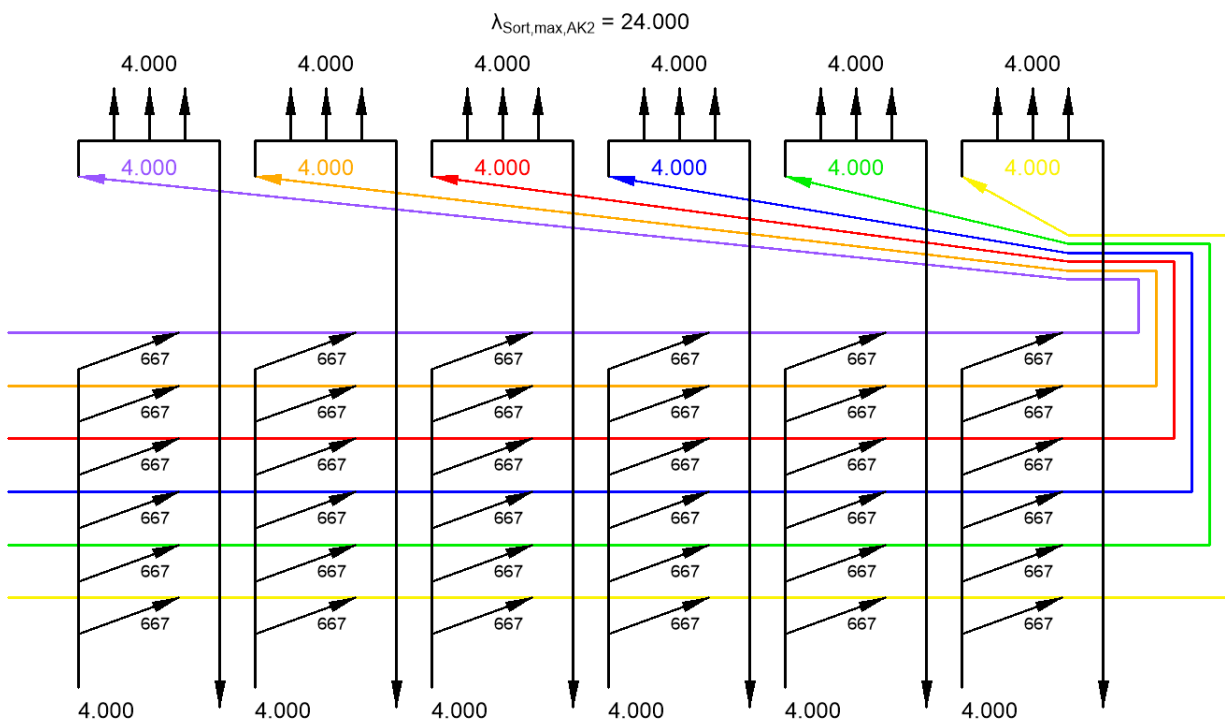


Abbildung 72: Theoretische Grenzleistung mittels Modulverteiler bei sechs Förderkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.

Dem aufmerksamen Leser und der aufmerksamen Leserin wird ersichtlich, dass auch dieses Konzept über eine exakte Ablaufsteuerung verfügen muss. Der leichte Vorteil zum vorigen Konzept besteht darin, dass Shuttles bei einer Fehlzuweisung beispielsweise von Sortierkreis 1 direkt in Sortierkreis 4 wechseln können. Ohne den Modulverteiler-Strecken wäre dieser Vorgang nicht möglich.

7.3.3 Übergabe des Fördergutes

Wie bei den vorangegangenen Konzepten wird auch das Konzept mit der Übergabe des Fördergutes hier hinsichtlich der Leistung betrachtet. Grundsätzlich verhält es sich gleich wie das Konzept mit dem benachbarten Förderkreis. Der einzige Unterschied liegt darin, dass anstatt der Shuttles die Sortiergüter in den nächsten Sortierkreis übergeben werden. Bezüglich der Leistungsbetrachtung können somit dieselben Annahmen, dieselben Ergebnisse und dieselben Gedanken hinsichtlich der Ablaufsteuerung wie unter Punkt 7.3.1 festgehalten werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Materialfluss für zwei Förderkreise.

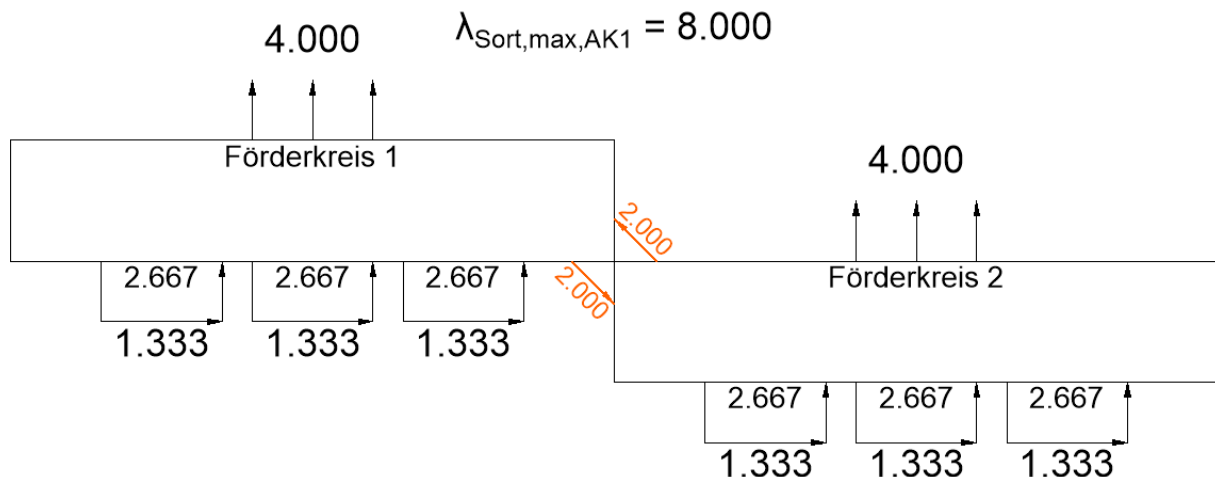


Abbildung 73: Theoretische Grenzleistung bei Übergabe des Fördergutes, Quelle: Eigene Darstellung.

7.4 Leistungsüberblick der modularen Konzepte

Im Folgenden findet wieder eine Zusammenfassung der errechneten Leistungen statt. Da die Systeme grundsätzlich beliebig erweiterbar sind, sind die Leistungen eingetragen, die mit vier Förderkreisen erreicht werden können. Für das Überflur-Shuttle-Konzept ist die zu erreichende Leistung stets um 4,65 % höher. Zusätzlich dazu sind Unterschiede der einzelnen Konzepte vermerkt.

	<i>Erreichbare Leistung</i>		Unterschied
	Einheiten/h		
	Zugmittel seitlich	Zugmittel überflur	
Benachbarter Förderkreis	16.000	16.744	Kein direkter Wechsel in jeden Förderkreis
Mehrstufiger Sortierprozess	16.000	16.744	Direkter Wechsel in jeden Förderkreis
Übergabe des Fördergutes	16.000	16.744	Kein direkter Wechsel in jeden Förderkreis

Tabelle 8: Leistungsüberblick der Anlagenkonzepte, Quelle: Eigene Darstellung.

8 KOSTENABSCHÄTZUNG

Um die Konzepte auch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit zu durchleuchten, wird in diesem Kapitel die Bewertung in finanziellem Sinne versucht. Auch in diesem Kapitel muss notiert werden, dass es sich bei den Zahlen um Abschätzungen handelt, die lediglich als Entscheidungsgrundlage in Kapitel 9 herangezogen werden können. In einer folgenden, detaillierteren Konzept- und Testphase sollten diese Kosten jedenfalls regelmäßig überprüft und auch den Werten der bestehenden Konzepte aus Abschnitt 4.1 erneut gegenübergestellt werden, um der Wettbewerbsfähigkeit gerecht zu werden. Diese Detailphase ist jedoch nicht Teil der Arbeit und wird hier nicht näher ausgeführt.

8.1 Beschreibung

Die Herangehensweise sieht vor, dass einerseits die Kosten für die Shuttles pro Laufmeter und andererseits die Kosten für die Anlagenkonzepte je Sortierkreis abgeschätzt werden.

8.1.1 Abschätzung der Kosten für die Shuttle-Konzepte

Konkret werden bei den Shuttles seit dem Punkt 5.6 nur mehr das Überflur-Konzept und das Seiten-Konzept unter die Lupe genommen. Um eine möglichst detailgetreue Preisauflistung zu generieren, zerlegt man die Shuttles in ihre einzelnen Baugruppen und diese weiter in die jeweiligen Einzelteile. Für die Shuttle-Konzepte werden jeweils die Preise auf den Laufmeter berechnet. Für Einschleusungen und Endstellen wird sich der Preise aus Punkt 4.1 bedient.

An dieser Stelle muss festgehalten werden, dass in der momentanen Phase technische Details, wie beispielsweise die erforderliche Motorleistung, die Stärke der Laufschiene oder etwa Querschnitte einzelner Trägerkonstruktionen, noch nicht ausspezifiziert sind und daher Annahmen getroffen werden müssen. Die Preise beziehen sich zudem nur auf die mechanischen Bauteile und werden mit einem Faktor hochgerechnet (siehe 8.3). Des Weiteren handelt es sich bei den Preisen um Werte für jeweils ein Stück und nicht um gestaffelte Mengenpreise. Eine detaillierte Aufschlüsselung der Baugruppen und der Bauteile findet sich in Punkt 8.2, die zugehörigen Preise und Quellen sind im Anhang hinterlegt.

8.1.2 Abschätzung der Kosten der Anlagenkonzepte

Für die Anlagekonzepte sollen die jeweiligen Kosten für einen Sortierkreis berechnet werden, um dadurch einen Vergleich herstellen zu können. Es werden also Werte hinsichtlich der Länge der Sortierkreise, der Anzahl der Einschleusungen und Anzahl der Endstellen definiert. Diese können anschließend mit den errechneten Werten pro Laufmeter respektive den hinterlegten Werten aus Punkt 4.1 hochgerechnet werden.

8.2 Baugruppen und Bauteile der Shuttles

Die folgende Tabelle zeigt eine Aufschlüsselung der Baugruppen und Bauteile der Shuttles in alphabetischer Reihenfolge.

BAUGRUPPE	STK.	BEMERKUNG	VERWENDUNG BEI	
BAUTEIL/UNTERBAUGRUPPE			ÜBERFLUR	SEITLICH
Brückenkonstruktion/Zugmittelschiene	1	pro lfm		
Aluminium Hohlprofil Querschnitt L = 200, B = 50	1			
Führungsschiene für Stellstifte	1	pro lfm		
C Profil 30/30/30/10/2	1			
Getriebemotor (Kegelradgetriebemotor)	1	pro Antriebslänge		
Getriebemotor (Kegelradgetriebemotor) - 2,2 kW	1			
Gurt	1	pro Shuttle		
Fördergurt verschweißt L = 3714, B = 1000	1			
Lauftrad	4	pro Shuttle		
Reibrad Da = 100, B = 30	1			
Rillenkugellager 6004 2RS 20x42x12 mm	1			
Achse D20, L = 100	1			
Laufschiene	1	pro lfm		
WinkelST37 warmgewalzt, 100 x 75 x 9 mm	2	beidseitig		
Rahmenkonstruktion Shuttle	1	pro Shuttle		
Stirnseitiges Blech, L = 1000, B = 200, D = 10	2			
Seitliches Blech, L = 1000, B = 100, D = 10	2			
Reibradkonstruktion	1	pro Shuttle		
Reibrad Da = 100, B = 30	2			
Rillenkugellager 6004 2RS 20x42x12 mm	2			
Achse D30, L = 100	2			
Kegelzahnrad 2 Stk. Da = 88, Di = 26	1			
Stellstift	2	pro Shuttle		
Laufrolle Ø 19mm I-Typ Nut 5 (inkl. Wälzlager)	1			
Schrittmotor	1			
Trägerarm der Brückenkonstruktion	1	pro Abstand		
Aluprofil 60x60L I-Typ Nut 6 L = 500	1			
Aluprofil 60x60L I-Typ Nut 6 L = 1000	1			

(FORTSETZUNG) BAUGRUPPE		STK.	BEMERKUNG	VERWENDUNG BEI	
BAUTEIL/UNTERBAUGRUPPE				ÜBERFLUR	SEITLICH
Trägerkonstruktion Gurt		1	pro Shuttle		
Aluprofil 45x45L B-Typ Nut 10 L = 1000		3			
Gleitblech, L = 800, B = 1000, D = 2		2			
Umlenkwalze Gurt		2	pro Shuttle		
Rundrohr aus Aluminium D = 100, B = 20, L = 1000		1			
Rillenkugellager 6010 2RS 50x80x16 mm		2			
Präzisionswelle D = 50, L = 1000		1			
Unterbau		1	pro Abstand		
Aluprofil 80x160 L I-Typ Nut 8 L = 1980		2			
Aluprofil 80x80 L I-Typ Nut 8 L = 1000		2			
Abdeckung aus Blech, L = 1000, B = 1000, D = 2		8			
Zahnräder und Motorwelle für Zugmittelumlenkung		1	pro Antriebslänge		
Kettenrad 10B-1, Z=29, vorgeb. D = 154		2			
Motorwelle D = 40		1			
Zahnrad zur Führung		4	pro Shuttle		
Kettenrad 10B-1, Z=19, vorgeb. D = 103		1			
Hülsenfreilauf Da = 37, Di = 30, B = 30		1			
Achse D30, L = 100		1			
Zugarm		1	pro Shuttle		
Aluprofil 45x45L B-Typ Nut 10 L = 500		1			
Zugmittel		1	pro lfm		
Rollenkette/rollerchain 10B-2 DIN 8187		2	Last- und Leertrum		
Zugstift		2	pro Shuttle		
Achsbolzen D = 12, L = 46		1			

Tabelle 9: Baugruppen und Bauteile der Shuttles, Quelle: Eigene Darstellung.

8.3 Beurteilung der Shuttle-Konzepte

Anhand der soeben erfolgten Aufschlüsselung der Shuttle-Bauteile können die Shuttles nun beurteilt werden. Die detaillierte Preisaufschlüsselung hierzu findet sich, wie in Punkt 8.1.1 erwähnt, im Anhang. Dazu sei gesagt, dass die Preise mit einem Abstandsteiler¹²⁸ auf den Laufmeter heruntergerechnet werden müssen (dies ist ebenfalls in der Aufschlüsselung im Anhang einzusehen). Folgende Schritte werden zusätzlich unternommen:

- Für nicht kalkulierte Befestigungselemente werden 20 % des Mechanik-Preises kalkuliert
- Für etwaige Nachbehandlungen der Bauteile und Zusammenbau werden 30 % kalkuliert
- Für Risiko wird 20 % kalkuliert
- Da es sich bei der Preisaufstellung rein um mechanische Elemente handelt, muss der Preis für Positionen wie Elektrik, Steuerung, Installation, Projektmanagement und dergleichen zusätzlich mit einem Faktor beaufschlagt werden. Der Prozentsatz für Mechanik-Elemente lässt sich mit etwa 38 % festsetzen. Dementsprechend werden die Shuttle-Preise dann durch 0,38 dividiert.¹²⁹
- Schlussendlich können die Shuttles noch mit einer Gewinnmarge beaufschlagt werden. Im konkreten Fall wird diese mit 10 % festgesetzt.

8.3.1 Überflur-Konzept

Für das Überflur-Konzept ergibt sich der folgende Preis auf dem Laufmeter.

POSITION	PREISE ANTEILIG
Shuttle inkl. Anbau	
Shuttle	894,93 €
Laufmeterware (Schienen, Zugmittel, etc.)	159,89 €
Antrieb und Anbau	581,54 €
Sonstiges	
Sonstiges (Nachbehandlung, Zusammenbau, Risiko)	1.145,45 €
Positionen außer Mechanik	
Differenz auf Zwischensumme für Mechanik (38 % der Gesamtsumme)	4.538,75 €
Gewinnmarge	
Differenz auf Zwischensumme ohne Gewinnmarge (Gewinnmarge 10 %)	732,06 €
GESAMTSUMME	8.052,62 €

Tabelle 10: Laufmeter-Preis für das Überflur-Konzept, Quelle: Eigene Darstellung.

¹²⁸ Nicht jedes Bauteil ist Laufmeterware, und somit auch nicht auf jedem Laufmeter vorhanden (zumindest physikalisch nicht). Die Abstände der Shuttles betragen beispielsweise 2.150 mm beim Überflur-Konzept und 2.250 mm beim Seiten-Konzept. Motoren werden schätzungsweise z. B. nur alle zehn Meter benötigt, die Trägerarme der Brückenkonstruktion etwa jeden fünften Meter, usw. Dementsprechend sind also gewisse Bauteile auf jeden Laufmeter nur anteilig zu rechnen.

¹²⁹ Vgl. TranSystems (Edition 11-2010), E-Paper [08.09.2019].

8.3.2 Seiten-Konzept

Für das Seiten-Konzept ergibt sich der folgende Preis auf dem Laufmeter.

POSITION		PREISE ANTEILIG
Shuttle inkl. Anbau		
	Shuttle	999,77 €
	Laufmeterware (Schienen, Zugmittel, etc.)	187,10 €
	Antrieb und Anbau	574,20 €
Sonstiges		
	Sonstiges (Nachbehandlung, Zusammenbau, Risiko)	1.232,74 €
Positionen außer Mechanik		
	Differenz auf Zwischensumme für Mechanik (38 % der Gesamtsumme)	4.884,63 €
Gewinnmarge		
	Differenz auf Zwischensumme ohne Gewinnmarge (Gewinnmarge 10 %)	787,84 €
GESAMTSUMME		8.666,27 €

Tabelle 11: Laufmeter-Preis für das Seiten-Konzept, Quelle: Eigene Darstellung.

8.4 Beurteilung der Anlagenkonzepte

Aufbauend auf den erfolgten Ermittlungen soll nun auch versucht werden, die Anlagenkonzepte preislich zu bewerten. Dazu wird jeweils ein Sortierkreis kalkuliert.

8.4.1 Übertrag der Preise und Definition der Sortierkreise

Für die Laufmeterpreise wird auf die soeben ermittelten Preise der Shuttle-Konzepte zurückgegriffen. Bezüglich der Preise für Einschleusungen und Endstellen wird auf die Tabelle in Punkt 4.1 verwiesen. Von diesen Zahlen werden jeweils die Mittelwerte berechnet (im konkreten Fall für den Quergurtsorter und für das Jahr 2019). Da zusätzlich bei den erstellten Anlagenkonzepten eine Beladung von oben erfolgt (ähnlich einer Traybeladung) und diese nicht derselben Einschleusung wie in Punkt 4.1 entspricht (seitliche Einschleusung), muss hier abermals eine Annahme getroffen werden, die zu weit geringeren Kosten pro Einschleusung führt. Der Umrechnungsfaktor wird mit etwa 0,2 angenommen (siehe auch Kapitel 9.4).

	Shuttle pro Laufmeter	Einschleusung pro Stk.	Endstelle pro Stk.
Überflur-Konzept	8.052,62 €	18.718,10 €	14.367,00 €
Seiten-Konzept	8.666,27 €	18.718,10 €	14.367,00 €

Tabelle 12: Übertrag der Preise für Shuttle, Einschleusung und Endstelle, Quelle: Eigene Darstellung.

Es werden weiters Annahmen hinsichtlich der Länge der Förderkreise angestellt (siehe dazu Abbildung 53, Abbildung 54 und Abbildung 56). Die Anzahl der Einschleusungen ist jeweils mit drei zu beziffern, bei den Endstellen wird von 30 Stück pro Sortierkreis ausgegangen.

	Länge/m	Anzahl Einschleusungen	Anzahl Endstellen
Benachbarter Förderkreis	75	3	30
Mehrstufiger Sortierprozess	130		
Übergabe des Fördergutes	75		

Tabelle 13: Definition der Länge und Anzahl der Einschleusungen und Endstellen, Quelle: Eigene Darstellung.

8.4.2 Sortierkreise mit Überflur-Konzept

Hochgerechnet ergeben sich für die spezifizierten Sortierkreise mit dem Überflur-Konzept die folgenden Preise.

ÜBERFLUR-KONZEPT	Laufmeterkosten gesamt	Kosten Einschleusungen	Kosten Endstellen	GESAMT
Benachbarter Förderkreis	603.946,29 €	56.154,30 €	431.010,00 €	1.091.110,59 €
Mehrstufiger Sortierprozess	1.046.840,24 €			1.534.004,54 €
Übergabe des Fördergutes	603.946,29 €			1.091.110,59 €

Tabelle 14: Preise für die spezifizierten Sortierkreise mit Überflur-Konzept, Quelle: Eigene Darstellung.

8.4.3 Sortierkreise mit Seiten-Konzept

Hochgerechnet ergeben sich für die spezifizierten Sortierkreise mit dem Seiten-Konzept die folgenden Preise.

SEITEN-KONZEPT	Laufmeterkosten gesamt	Kosten Einschleusungen	Kosten Endstellen	GESAMT
Benachbarter Förderkreis	649.970,49 €	56.154,30 €	431.010,00 €	1.137.134,79 €
Mehrstufiger Sortierprozess	1.126.615,52 €			1.613.779,82 €
Übergabe des Fördergutes	649.970,49 €			1.137.134,79 €

Tabelle 15: Preise für die spezifizierten Sortierkreise mit Seiten-Konzept, Quelle: Eigene Darstellung.

8.5 Kostenüberblick

Um einen leichten Überblick über die errechneten Kosten zu bekommen, sollen diese hier nochmal zusammengefasst werden.

	Überflur-Konzept	Seiten-Konzept
Shuttle-Kosten		
pro Laufmeter	8.052,62 €	8.666,27 €
Kosten pro spezifiziertem Sortierkreis		
Benachbarter Förderkreis	1.091.110,59 €	1.137.134,79 €
Mehrstufiger Sortierprozess	1.534.004,54 €	1.613.779,82 €
Übergabe des Fördergutes	1.091.110,59 €	1.137.134,79 €

Tabelle 16: Zusammenfassung der Kosten für die Shuttles und die spezifizierten Sortierkreise, Quelle: Eigene Darstellung.

9 BEWERTUNG UND AUSWAHL

Im Hinblick auf die weitere Vorgehensweise in diesem Projekt soll aus den behandelten Konzepten das Beste ausgewählt werden. Bei der Bewertung kommt eine Einzelbewertung zur Anwendung, wobei für die Kriterien wieder Punkte von 0 bis 10 vergeben werden. 0 beschreibt den schlechtesten, 10 den besten Zustand. Der Bewertung liegt außerdem eine Gewichtung zugrunde, da sich die Kriterien in ihrer Wichtigkeit unterscheiden. Als Bewertungsgrundlage dienen die errechneten Leistungen und Kosten aus den Kapiteln 7 und 8 sowie die Sortierguteignung für Quergurtsorter aus Kapitel 3.6 und Kapitel 5.6.

9.1 Gegenüberstellung der erarbeiteten Technologien

Kriterium	Gewichtung	Überflur-Konzept		Seiten-Konzept	
		Punkte	Bewertung/%	Punkte	Bewertung/%
Leistung	45 %	10,00	45,00	9,50	42,75
Sortierguteignung	35 %	8,50	29,75	10,00	35,00
Investitionskosten	20 %	10,00	20,00	9,25	18,50
Σ / %			94,75		96,25

Tabelle 17: Vergleich und Auswahl der erarbeiteten Technologien, Quelle: Eigene Darstellung.

Zuerst erfolgt die Bewertung der erarbeiteten Shuttle-Konzepte. Die Leistung der Shuttles ist nahezu gleich, obwohl die Konzepte eine leichte Differenz in der Teilung aufweisen. Dementsprechend fällt auch die Bewertung relativ ausgeglichen aus. Bei der Sortierguteignung hinkt das Überflur-Konzept aufgrund der Höhenlimitierung etwas nach. Dafür schneidet es aber bei den Kosten wieder etwas besser ab, da das Seiten-Konzept einige Bauteile mehr aufweist. Aufgrund der Gewichtung der einzelnen Kriterien ergibt sich jedoch ein leichter Vorteil für das Seiten-Konzept, weshalb dieses die Gegenüberstellung mit 96,25 Prozent gewinnt.

9.2 Gegenüberstellung von bestehender und gewählter Technologie

Kriterium	Gewichtung	Quergurtsorter		Seiten-Konzept	
		Punkte	Bewertung/%	Punkte	Bewertung/%
Leistung	45 %	10,00	45,00	1,50	6,75
Sortierguteignung	35 %	10,00	35,00	10,00	35,00
Investitionskosten	20 %	6,50	13,00	10,00	20,00
Σ / %			93,00		61,75

Tabelle 18: Vergleich der bestehenden mit der gewählten Technologie, Quelle: Eigene Darstellung.

Dieses Konzept wird nun auch bestehenden Quergurtsorter-Technologien gegenübergestellt. Aufgrund der immensen Leistung des Quergurtsorters mit 26.000 Einheiten/h (siehe Kapitel 3.5.1) schneidet dieser bei der Leistung natürlich um einiges besser ab als das Seiten-Konzept. Bei der Sortierguteignung ergeben sich bei beiden Technologien keine Unterschiede. Aufgrund der Investitionskosten gewinnt das Seiten-Konzept wieder ein paar Punkte dazu, ist jedoch nicht mehr in der Lage, den Rückstand aufzuholen.

Hierbei ist anzumerken, dass die in diesem Werk erstellten Konzepte allerdings modular aufgebaut werden können und dadurch eine Leistungssteigerung erfahren können, wodurch eine Konkurrenzfähigkeit wiederum durchaus gegeben ist.

9.3 Gegenüberstellung der Anlagenkonzepte

Kriterium	Gewichtung	2. Förderkreis		Mehrstufig		Gutübergabe	
		Punkte	Bewertung/%	Punkte	Bewertung/%	Punkte	Bewertung/%
Leistung	35 %	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	35,00
Sortierguteignung	25 %	10,00	25,00	10,00	25,00	10,00	25,00
Eignung zur Modul-Bauweise	25 %	8,00	20,00	10,00	25,00	8,00	20,00
Investitionskosten	15 %	10,00	15,00	7,00	10,50	10,00	15,00
Σ / %			95,00		95,50		95,00

Tabelle 19: Vergleich und Auswahl der behandelten Anlagenkonzepte, Quelle: Eigene Darstellung.

Schließlich soll nun auch bei den Anlagenkonzepten eine Bewertung erfolgen. Bei diesen wird außerdem die Eignung zur Modul-Bauweise in die Bewertung mit aufgenommen.

Hinsichtlich der Leistung sind hier alle Konzepte gleich, da sich die Sortierkreise ja beliebig erweitern lassen. Auch bei der Sortierguteignung schneiden alle Konzepte gleich gut ab, weil immer mit dem gleichen Shuttle-Konzept kalkuliert wird. Die Eignung zur Modul-Bauweise ist beim mehrstufigen Konzept höher, da der Wechsel in jeden Sortierkreis direkt möglich und dies ein wesentlicher Vorteil ist. Bezüglich der Investitionskosten erweisen sich die beiden anderen Konzepte als deutlich besser, da die Sortierkreise wesentlich kürzer sind.

Im Allgemeinen ist erkennbar, dass die Anlagenkonzepte grundsätzlich alle nahezu gleich gut abschneiden. Die Entscheidung der Verwendung eines bestimmten Konzeptes wird also nicht alleine von dieser Bewertung abhängen, sondern vielmehr von der allgemeinen Situation. Werden beispielsweise nur zwei Sortierkreise und dadurch kein direkter Wechsel in jeden Sortierkreis benötigt, bieten sich auch die Konzepte mit benachbartem Förderkreis und Gutübergabe an, da diese im Vergleich zum mehrstufigen Sortierprozess kostentechnisch weniger intensiv ausfallen.

9.4 Kostenvergleich mit einer Quergurtsorter-Anlage

Abschließend wird versucht, einen Kostenvergleich zu einer klassischen Quergurtsorter-Anlage herzustellen. Verwendet wird dabei das zuvor gewählte Seiten-Konzept. Bei diesem Vergleich sollen einerseits die gesamten Investitionskosten für die jeweiligen Anlagen aufgestellt, andererseits sollen aber auch die Kosten pro sortiertem Stück berechnet werden. Die Eckdaten werden wie folgt angenommen:

Kriterium	Quergurtsorter	Seiten-Konzept
Laufmeter	130 m	130 m
Anzahl der Einschleusungen	2	3
Art der Einschleusung	von der Seite	von oben
Anzahl der Endstellen	30	30

Tabelle 20: Eckdaten für den Kostenvergleich zwischen Quergurtsorter-Anlage und Seiten-Konzept, Quelle: Eigene Darstellung.

Es wird vermutet, dass für eine Quergurtsorter-Anlage nur zwei Einschleusungen von der Seite benötigt werden, von den bei den behandelten Konzepten dargestellten Beladungen (von oben) jedoch drei Stück notwendig sind. Wie schon in Punkt 8.4.1 erwähnt, wird geschätzt, dass diese nur etwa 20 % der Kosten einer seitlichen Beladung ausmachen. Außerdem kann für den Shuttle-Sorter angenommen werden, dass bei der Erweiterung des modularen Konzepts um weitere Sortierkreise der Anteil für Steuerung, Rechner und zugehörige Hardware teilweise wegfällt. Die Laufmeterkosten für weitere Sortierkreise werden daher nur mehr mit 85 % der Ausgangskosten beziffert.

Sämtliche der oben erwähnten Eckdaten und Annahmen fließen in die folgenden Berechnungen ein. Aufgestellt werden die Kosten jeweils für billige und teure Varianten der Systeme (beim Shuttle-Sorter gibt es auch eine Variante mit Mittelwerten). Hierbei sei wieder auf die in Punkt 4.1 angeführten Kostenbereiche verwiesen. Im Folgenden werden zunächst die Preise für die Einzelkomponenten gelistet.

Konfiguration	Shuttle pro Laufmeter	Einschleusung pro Stk.	Endstelle pro Stk.
Quergurtsorter billig	13.278,00 €	86.002,00 €	6.981,00 €
Quergurtsorter teuer	19.917,00 €	101.179,00 €	21.753,00 €
Shuttle-Sorter billig	8.666,27 €	17.200,40 €	6.981,00 €
Shuttle-Sorter mittel	8.666,27 €	18.718,10 €	14.367,00 €
Shuttle-Sorter teuer	8.666,27 €	20.235,80 €	21.753,00 €

Tabelle 21: Kosten der Einzelkomponenten für Quergurtsorter und Shuttle-Sorter, Quelle: Eigene Darstellung.

Für weitere Sortierkreise beim Shuttle-Sorter ergeben sich die Laufmeterkosten mit nunmehr 85 % zu 7.366,33 €. Durch Hochrechnung über die Laufmeter respektive über die Anzahl der Einschleusungen und Endstellen können die Kosten je Sortierkreis aufgestellt werden. Die folgende Tabelle enthält die Preise für den jeweils *ersten Sortierkreis* einer Anlage.

Erster Sortierkreis	Laufmeterkosten gesamt	Kosten Einschleusungen	Kosten Endstellen	GESAMT
Quergurtsorter billig	1.726.140,00 €	172.004,00 €	209.430,00 €	2.107.574,00 €
Quergurtsorter teuer	2.589.210,00 €	202.358,00 €	652.590,00 €	3.444.158,00 €
Shuttle-Sorter billig	1.126.615,52 €	51.601,20 €	209.430,00 €	1.387.646,72 €
Shuttle-Sorter mittel	1.126.615,52 €	56.154,30 €	431.010,00 €	1.613.779,82 €
Shuttle-Sorter teuer	1.126.615,52 €	60.707,40 €	652.590,00 €	1.839.912,92 €

Tabelle 22: Anlagenkosten für den ersten Sortierkreis, Quelle: Eigene Darstellung.

Wird eine Anlage erweitert, so können gewisse Kosten, wie vorhin erwähnt, als nichtig betrachtet werden. Die folgende Tabelle zeigt die Kosten, die ab dem *zweiten Sortierkreis* für alle weiteren Sortierkreise je Anlage zu berechnen sind.

Weitere Sortierkreise	Laufmeterkosten gesamt	Kosten Einschleusungen	Kosten Endstellen	GESAMT
Quergurtsorter billig	1.726.140,00 €	172.004,00 €	209.430,00 €	2.107.574,00 €
Quergurtsorter teuer	2.589.210,00 €	202.358,00 €	652.590,00 €	3.444.158,00 €
Shuttle-Sorter billig	957.623,19 €	51.601,20 €	209.430,00 €	1.218.654,39 €
Shuttle-Sorter mittel	957.623,19 €	56.154,30 €	431.010,00 €	1.444.787,49 €
Shuttle-Sorter teuer	957.623,19 €	60.707,40 €	652.590,00 €	1.670.920,59 €

Tabelle 23: Anlagenkosten ab dem zweiten Sortierkreis, Quelle: Eigene Darstellung.

Fasst man die Kosten nun in einer weiteren Tabelle zusammen und rechnet sie auf eine Gesamtanlage hoch, ergeben sich die folgenden Preise.

ANLAGENPREISE						
Anzahl Sortierkreise	Leistung LE/h	Quergurtsorter billig	Quergurtsorter teuer	Shuttle-Sorter billig	Shuttle-Sorter mittel	Shuttle-Sorter teuer
1	4.000	2.107.574,00 €	3.444.158,00 €	1.387.646,72 €	1.613.779,82 €	1.839.912,92 €
2	8.000	4.215.148,00 €	6.888.316,00 €	2.606.301,11 €	3.058.567,31 €	3.510.833,51 €
3	12.000	6.322.722,00 €	10.332.474,00 €	3.824.955,50 €	4.503.354,80 €	5.181.754,10 €
4	16.000	8.430.296,00 €	13.776.632,00 €	5.043.609,89 €	5.948.142,29 €	6.852.674,69 €
5	20.000	10.537.870,00 €	17.220.790,00 €	6.262.264,28 €	7.392.929,78 €	8.523.595,28 €
6	24.000	12.645.444,00 €	20.664.948,00 €	7.480.918,67 €	8.837.717,27 €	10.194.515,87 €

Tabelle 24: Gesamtkosten für Anlagen abhängig von der Anzahl an Sortierkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.

Betrachtet man die grafische Darstellung, so lässt sich bereits erkennen, dass eine Quergurtsorter-Anlage um einiges teurer einzuschätzen ist als die entworfenen Shuttle-Sorter-Anlagen (Abbildung 74). Das Investment lässt sich bereits mit dem ersten Sortierkreis unter dem eines Quergurtsorters halten. Die Gesamtkosten sind als K_{ges} ausgewiesen.

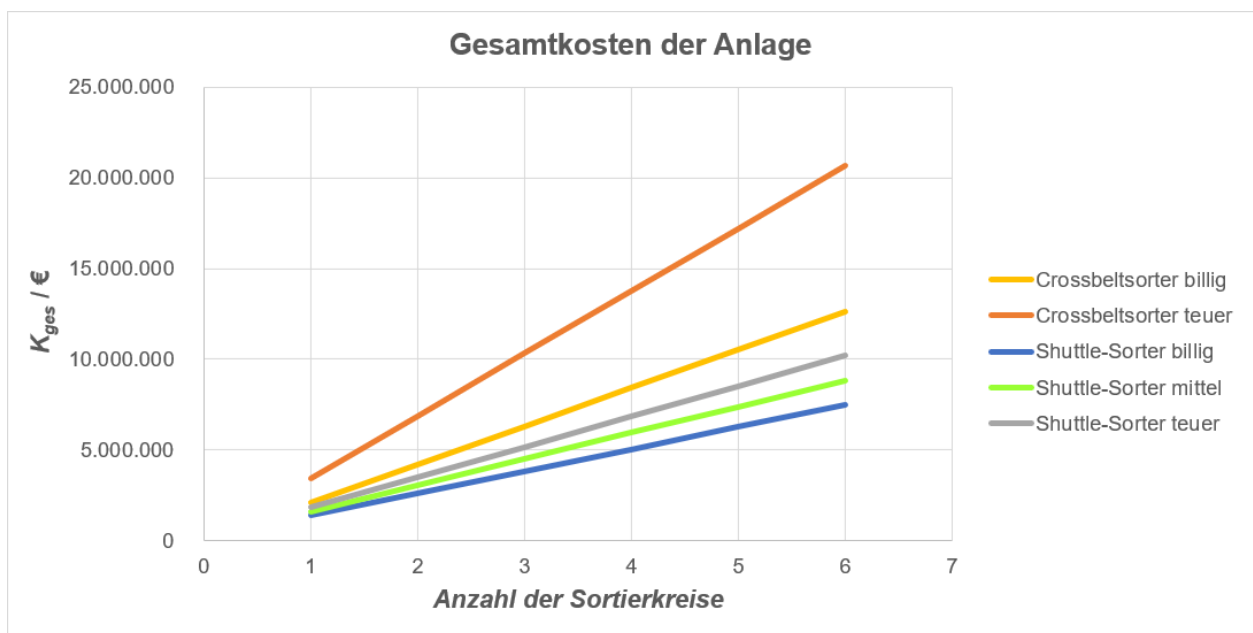


Abbildung 74: Gesamtkosten für Anlagen abhängig von der Anzahl an Sortierkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.

Dividiert man die Anlagenkosten nun noch durch die jeweilige erreichbare Maximalleistung je Sortierkreis, erhält man die Kosten pro sortiertem Stück.

KOSTEN PRO SORTIERTEM STÜCK						
Anzahl Sortierkreise	Leistung LE/h	Quergurtsorter billig	Quergurtsorter teuer	Shuttle-Sorter billig	Shuttle-Sorter mittel	Shuttle-Sorter teuer
1	4.000	526,89 €	861,04 €	346,91 €	403,44 €	459,98 €
2	8.000	526,89 €	861,04 €	325,79 €	382,32 €	438,85 €
3	12.000	526,89 €	861,04 €	318,75 €	375,28 €	431,81 €
4	16.000	526,89 €	861,04 €	315,23 €	371,76 €	428,29 €
5	20.000	526,89 €	861,04 €	313,11 €	369,65 €	426,18 €
6	24.000	526,89 €	861,04 €	311,70 €	368,24 €	424,77 €

Tabelle 25: Kosten pro sortiertem Stück abhängig von der Anzahl an Sortierkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.

Wertet man auch diese Berechnungen grafisch aus, ergibt sich das folgende Schaubild. Die Kosten pro sortiertem Stück sind als K_{sort} bezeichnet, die Leistung als λ_{sort} .

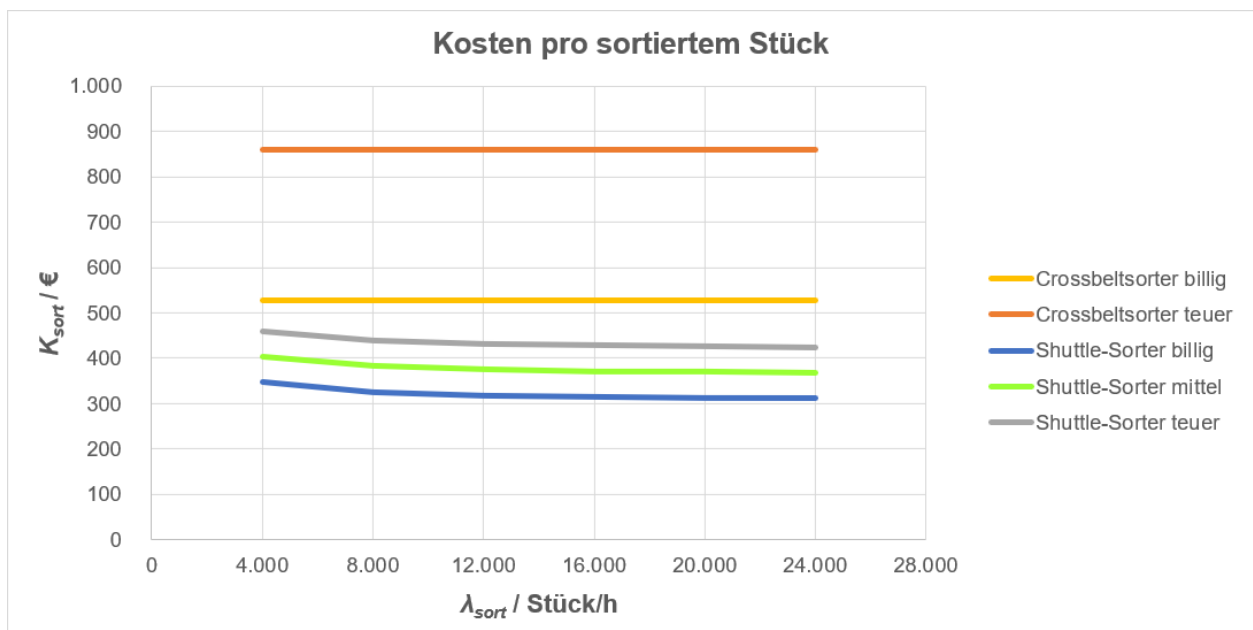


Abbildung 75: Gesamtkosten für Anlagen abhängig von der Anzahl an Sortierkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der konzipierte Shuttle-Sorter mit all den Annahmen, die getroffen wurden, erheblich billiger erscheint als eine Quergurtsorter-Anlage. Indem es möglich ist, bei Erweiterungen einige Bauteile zu sparen, senken sich auch die Kosten pro sortiertem Stück, je mehr Sortierkreise in einer Anlage verbaut werden.

10 RESÜMEE

Nach der erfolgreichen Bearbeitung der definierten Problemstellung des Werkes bleiben manche Punkte offen, die bei Weiterführung des Projektes in jedem Fall zu beachten sind. Diese und andere Erkenntnisse werden in diesem letzten Kapitel erläutert. Sie werden aufgrund des begrenzten Rahmens nur hier erwähnt und in der Arbeit nicht ausführlich behandelt.

10.1 Weitere Schritte

Einer der soeben geschilderten offenen Punkte ist z. B. eine vertiefende Entwicklung des ausgewählten Shuttle-Konzeptes. Es sind Aufgaben wie etwa die Leistungsauslegung des Antriebes, die Querschnittsberechnung des Zugmittels, jene der Laufschiene oder die Berechnung der Laufräder ausständig. Diese und einige weitere Auslegungen sind definitiv noch in einer detaillierten Konzeptphase zu erledigen.

Darauf aufbauend sind Prototypen-Tests und vor allem auch Dauertests unter realen Einsatzbedingungen notwendig. Zum einen liefern diese Tests Erkenntnisse, die in der Entwicklung nicht vorhergesehen werden können, zum anderen bieten sie sich auch für eine reale Leistungsbetrachtung der Konzepte bestens an. Dazu können Messungen mit verschiedenen Randbedingungen (etwa verschiedene Fördergüter) durchgeführt werden. Erweiternd empfiehlt es sich dabei noch, diese Tests und Messungen unter sich ändernden Umgebungsbedingungen durchzuführen.

Ein weiterhin essentielles Thema ist die Kostenbetrachtung. Sind die Bauteile erst einmal detaillierter definiert, muss umgehend eine neuerliche Kostenbewertung stattfinden, um das Shuttle-Konzept ein weiteres Mal kostentechnisch zu validieren. Es sollten dabei bereits Staffelpreise angefragt werden. Wichtig ist auch, dass sämtliche Kleinteile wie etwa Befestigungselemente, und auch der Arbeitsaufwand für die etwaige Nachbehandlung diverser Komponenten, mitberechnet werden. Nicht zu vergessen sind hierbei erste Abschätzungen bzw. Berechnungen der zusätzlichen Kostenpositionen wie Elektrik, Steuerung, Inbetriebnahme oder Projektmanagement.

Auch bei den Anlagenkonzepten können weitere Schritte unternommen werden. Es empfiehlt sich beispielsweise die Linienführung der Sortierkreise zu optimieren, um dadurch Laufmeter einzusparen und Wegstrecken kürzer zu gestalten.

10.2 Erkenntnisse und Empfehlungen

Selbst wenn die Konzepte aus technischer Sicht mit bestem Wissen und Gewissen ausgeführt wurden, bleibt noch ein Wermutstropfen, den es zu beachten gibt. Wie sich aus Kapitel 4.2 erkenntlich zeigt, gibt es einige Hersteller im Markt, die bereits über vielfältige Sorter-Technologien und teilweise auch über Patente dieser Technologien verfügen. Daraus kann die Annahme abgeleitet werden, dass eben diese Technologien einen gewissen Reifegrad aufweisen, was nicht zuletzt auf die langjährige Erfahrung mancher Hersteller zurückzuführen ist.

Das Problem läge fortan in der Konkurrenzfähigkeit der erstellten Konzepte. Da diese zwar technisch durchdacht sind, aber dennoch die notwendige Erfahrung auf diesem Sektor fehlt, wäre ein Restrisiko nicht zu vermeiden. Eine weise Vorgehensweise könnte daher eine zu jenen alternativen Lösungen sein, welche in Kapitel 6.3 beschrieben wurden. Dabei handelt es sich grundsätzlich um bestehende Produkte, in denen einiges an Know-how steckt. Zudem können diese Komponenten einen jahrelangen Einsatz unter realen Bedingungen aufweisen.

Parallel zu den weiteren Schritten, die beim ausgewählten Shuttle-Konzept anfallen, empfiehlt es sich also, die Zusammenstellung praxiserprobter Komponenten zu alternativen Sortierlösungen zu überlegen und auszuführen.

10.3 Ausblick

Es bleibt momentan noch offen, ob schlussendlich das Shuttle-Konzept, eine Alternativ-Lösung oder möglicherweise sogar beide Konzepte ein neues Produkt im Portfolio darstellen werden. Wenngleich eine endgültige Entscheidung noch nicht gefallen ist, empfiehlt es sich jedenfalls, die Konzepte auch hinsichtlich einer möglichen Patentanmeldung zu durchleuchten. Dies betrifft neben dem Shuttle-Konzept und den Alternativ-Lösungen auch die Anlagenkonzepte. Es wäre jedenfalls bedauerlich, wenn es eine derartige Gelegenheit gibt, diese aber nicht genutzt wird.

LITERATURVERZEICHNIS

Gedruckte Werke (15)

- Arnold, Dieter; et al. (2006): *Intralogistik: Potentiale, Perspektiven, Prognosen*, 1. Auflage, Springer-Berlin Heidelberg.
- Arnold, Dieter; Furmans, Kai (2009): *Materialfluss in Logistiksystemen*, 6. Auflage, Springer-Berlin Heidelberg.
- Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; et al. (2008): *Handbuch Logistik*, 3. Auflage, Springer-Berlin Heidelberg.
- Disselkamp, Marcus (2012): *Innovationsmanagement: Instrumente und Methoden zur Umsetzung im Unternehmen*, 2. Auflage, Springer Gabler-Wiesbaden.
- Griemert, Rudolf; Römisch, Peter (2015): *Fördertechnik: Auswahl und Berechnung von Elementen und Baugruppen*, 11. Auflage, Springer Vieweg-Wiesbaden.
- Gudehus, Timm (2005): *Logistik: Grundlagen, Strategien, Anwendungen*, 3. Auflage, Springer-Berlin Heidelberg.
- Günthner, Willibald; ten Hompel, Michael; et al. (2010): *Internet der Dinge in der Intralogistik*, 1. Auflage, Springer-Berlin Heidelberg.
- Jodin, Dirk; ten Hompel, Michael (2012): *Sortier- und Verteilsysteme: Grundlagen, Aufbau, Berechnung und Realisierung*, 2. Auflage, Springer Vieweg-Berlin Heidelberg.
- Koether, Reinhard (2018): *Distributionslogistik: Effiziente Absicherung der Lieferfähigkeit*, 3. Auflage, Springer Gabler-Wiesbaden.
- Lindemann, Udo; Reichwald, Ralf; et al. (2006): *Individualisierte Produkte: Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion*, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg-Berlin Heidelberg.
- Martin, Heinrich (1978; korrigierter Nachdruck 1992): *Förder- und Lagertechnik*, 1. Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH-Braunschweig/Wiesbaden.
- Martin, Heinrich (2014): *Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik*, 9. Auflage, Springer Vieweg-Wiesbaden.
- Pfeifer, Heinz (1989): *Grundlagen der Fördertechnik*, 5. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn-Braunschweig/Wiesbad.
- ten Hompel, Michael; Heidenblut, Volker (2008): *Taschenlexikon Logistik: Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik*, 2. Auflage, Springer Berlin Heidelberg-Berlin Heidelberg.
- ten Hompel, Michael; Schmidt, Thorsten; Nagel, Lars (2007): *Materialflusssysteme: Förder- und Lagertechnik*, 3. Auflage, Springer-Berlin Heidelberg.

Online-Quellen (10)

DEMATIC (o.J.a): *Linear Sorters*, <https://www.dematic.com/en-us/products/products-overview/sortation-systems/linear-sorters> [Stand: 08.09.2019].

DEMATIC (o.J.b): *Querband-Sorter*, <https://www.dematic.com/de-de/produkte/produktueberblick/sortiersysteme/rundlaufsorter/querband-sorter> [Stand: 08.09.2019].

Dürkopp Fördertechnik GmbH (o.J.): *Sorter Tasche*, <http://www.duerkopp.com/de/produkt-sortertasche.php> [Stand: 08.09.2019].

inflation.eu (2019): *Historische harmonisierte Inflation Europa – HVPI*, <https://de.inflation.eu/inflationsraten/europa/historische-inflation/hvpi-inflation-europa.aspx> [Stand: 30.10.2019].

Interroll Holding AG (o.J.): *Quergurtsorter*, <https://www.interroll.at/produkte/foerderer-sorter/sorter/> [Stand: 19.08.2019].

Logistik KNOWHOW (2013): *Sorter: Ein- und Ausschleusen*, <https://logistikknowhow.com/materialfluss-und-transport/ein-und-ausschleusen/> [Stand: 29.03.2019].

psb intralogistics GmbH (o.J.): *Hängefördersysteme*, <https://www.psb-gmbh.de/systeme/haengefoerdersysteme/> [Stand: 29.03.2019].

SSI Schäfer (o.J.): *SSI Mover*, <https://www.ssi-schaefer.com/de-at/produkte/foedern-transportieren/haengefoerdertechnik/ssi-mover--48286> [Stand: 08.09.2019].

TGW Logistics Group (o.J.): *Das Zero-Touch Pocket Sorter-System*, <https://www.tgw-group.com/de/loesungen/omnipick> [Stand: 08.09.2019].

TGW Logistics Group (o.J.): *Natrix-Sorter*, <https://www.tgw-group.com/de/produkte/behaelter-und-kartonfoerdersysteme/sorter/sorter> [Stand: 29.03.2019].

Patentschriften (5)

Droste/Eisinger (2018): *Connecting device, conveying carriage and conveying installation*, Interroll Holding AG, Schutzrecht US10099860B2.

Janzen/Wend (2007): *Transport-System für hängende Gegenstände*, Duerkopp Adler AG (Anmelder), Schutzrecht EP1690811A1.

Neiser/Zimmer/et al. (2009): *Sortation conveyor, Intelligrated Headquarters LLC (Anmelder)*, Schutzrecht US7516835B2.

Pilarz/Schuitema/et al. (2014): *Crossbelt sorter system and method of sorting articles*, Dematic Corp. (Anmelder), Schutzrecht US20140014468A1.

Vitalini (2011): *Tilt tray sorter conveyor*, Siemens AG (Anmelder), Schutzrecht US8727103B2.

E-Paper (3)

BEUMER Group (o.J.-o.J.): *LS-4000CB Cross-Belt Sorter*,

https://www.beumergroup.com/uploads/tx_bbbrochures/BEUMER_LS-4000CB_Cross-Belt_Sorter_01.pdf

[Stand: 30.08.2019].

BEUMER Group (o.J.-o.J.): *LS-4000E Tilt-Tray Sorter*,

https://www.beumergroup.com/uploads/tx_bbbrochures/BEUMER_LS-4000E_Tilt-Tray_Sorter.pdf [Stand:

30.08.2019].

TranSystems (Edition 11-2010): *Rules of Thumb*, <https://studylib.net/doc/8725585/rules-of-thumb> [Stand:

08.09.2019].

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Umschlagstation eines Paketdienstleisters, Abbildung einer Sortieranlage der Firma VanderLande, Quelle: Gudehus (2005), S. 910.	1
Abbildung 2: Sorteraufbauelemente, Quelle: ten Hompel/Heidenblut (2008), S. 269.	3
Abbildung 3: Aufbau einer Sortieranlage, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 26.	4
Abbildung 4: Prinzipieller Aufbau von Sortieranlagen, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 141.	5
Abbildung 5: Automatische Identifizierung, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 33.	6
Abbildung 6: Einschleusverfahren. a Manuell, b Teilautomatisiert, c Automatisiert, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 37.	7
Abbildung 7: Anordnungsvarianten der Einschleusung. a Linear, b Vertikal, c Horizontal, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 35.	8
Abbildung 8: Prinzipieller Aufbau einer Endstelle, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 47.	9
Abbildung 9: Grundelemente eines Verteilförderers, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 43.	10
Abbildung 10: Technikorientierte Systematik der Verteilförderer, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 59.	11
Abbildung 11: Kippschalensorter, Quelle: ten Hompel/Schmidt/Nagel (2007), S. 240.	12
Abbildung 12: Quergurtelement eines Quersorters (www.dematic.com/de/crossbelt-sorter), Quelle: Martin (2014), S. 206.	13
Abbildung 13: Tragplattenband: Ausschleusen von Paketen mit Ausschleusschuhen nach einer Seite, Quelle: Martin (2014), S. 205.	14
Abbildung 14: Führung der Schiebeschuhe, Quelle: ten Hompel/Schmidt/Nagel (2007), S. 243.	14
Abbildung 15: Schwenklappensorter im DPD-Depot 160 in Raunheim. a Endstellen, b Abwurfstellung, c Transportstellung, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 75.	15
Abbildung 16: Dreharmsorter. a Skizze, b Bewegungsphasen, c Einsatzbeispiel, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 96.	15
Abbildung 17: Tragschuhsorter. a Prinzipskizze, b Einsatzbeispiel, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 66.	16
Abbildung 18: Fallklappensorter. a Prinzipskizze, b Realisierungsbeispiel, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 72.	16
Abbildung 19: Deckenaufhängung einer Sonderlaufbahn (Stahlblech zum Wulstprofil gekantet), Quelle: Martin (1978; korrigierter Nachdruck 1992), S. 178.	17
Abbildung 20: Ringbahnanlage mit Verzweigungen, Quelle: Martin (1978; korrigierter Nachdruck 1992), S. 110.	17

Abbildung 21: Verzweigungselemente, Quelle: Martin (2014), S. 219.	18
Abbildung 22: Schleppkettenantrieb. a Seitenansicht (nach [Wil98, S. 38]), b räumlicher Aufbau, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 116.....	19
Abbildung 23: Mitnahmemechanismus von Power-and-Free-Förderern, Quelle: Arnold/Isermann/et al. (2008), S. 630.....	20
Abbildung 24: Fahrwerktypen für Elektrohängebahn (www.eisenmann.com), Quelle: Martin (2014), S. 218.....	21
Abbildung 25: Taschensorter mit vollautomatischer Taschenentladung, Quelle: psb intralogistics GmbH (o.J.), Online-Quelle [29.03.2019]	21
Abbildung 26: Durchsatz λ von Fördereinheiten auf einer Förderstrecke in Abhängigkeit vom Abstand s und der Geschwindigkeit v , Quelle: Arnold/Furmans (2009), S. 12.	23
Abbildung 27: Darstellung von ein- und auslaufenden Strömen an Fördertechnik-Elementen, Quelle: Eigene Darstellung.	23
Abbildung 28: Leistungssteigerung durch einen zweiten Einschleusbereich. a Leistungskennfeld, b Situation an den Einschleusungen, Quelle: Jodin/ten Hompel (2012), S. 41.	24
Abbildung 29: Mehrere Einschleusbereiche zwischen den Endstellen, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 152.	25
Abbildung 30: Verbindung jeder Endstellenstränge, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 153.	26
Abbildung 31: AB-Vorsortierung, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 154.	26
Abbildung 32: AB-Vorsortierung am Sorter mit Bypassstrecken, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 154.....	27
Abbildung 33: Matrixsorterkonzept, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 155.	28
Abbildung 34: Doppelstockquergurtsorter von BEUMER, Quelle: Arnold/et al. (2006), S. 151.....	29
Abbildung 35: Interroll Quergurtsorter, Quelle: Interroll Holding AG (o.J.), Online-Quelle [19.08.2019] ...	37
Abbildung 36: Spiralförmige Führung der Schienen, Quelle: Pilarz/Schuitema/et al. (2014), Schutzrecht US20140014468A1	38
Abbildung 37: Weichenelement des Taschensorters, Quelle: Janzen/Wend (2007), Schutzrecht EP1690811A1	39
Abbildung 38: Weichenabschnitt mit Überschneidungspunkten, Quelle: Eigene Darstellung.	40
Abbildung 39: Weichenabschnitt mit Weichenzunge, Quelle: Eigene Darstellung.	41
Abbildung 40: Beladung von oben auf einer Nebenstrecke, Quelle: Eigene Darstellung.	42
Abbildung 41: Beladung von der Seite in den Hauptstrom, Quelle: Eigene Darstellung.	43
Abbildung 42: Konzeptzeichnung mit unterflur verlaufendem Zugmittel, Quelle: Eigene Darstellung.....	44
Abbildung 43: 3D-Ansicht des Gurtband-Shuttles, Quelle: Eigene Darstellung.....	44

Abbildung 44: Risszeichnungen des Gurtband-Shuttles, Quelle: Eigene Darstellung.....	45
Abbildung 45: Stellung der Bolzen im Schienensystem, Quelle: Eigene Darstellung.....	45
Abbildung 46: Draufsicht des Schienensystems, Quelle: Eigene Darstellung.	46
Abbildung 47: 3D-Ansicht mit überflur verlaufendem Zugmittel, Quelle: Eigene Darstellung.	47
Abbildung 48: Konzeptzeichnung mit überflur verlaufendem Zugmittel, Quelle: Eigene Darstellung.	48
Abbildung 49: Ein- und Ausschleusmechanismus von Konzept 1 und 2, Quelle: Eigene Darstellung.	48
Abbildung 50: Konzeptzeichnung mit seitlich verlaufenden Zugmitteln, Quelle: Eigene Darstellung.	49
Abbildung 51: Ein- und Ausschleusmechanismus von Konzept 3, Quelle: Eigene Darstellung.	50
Abbildung 52: Standard-Förderkreis als Ausgangsbasis, Quelle: Eigene Darstellung.	51
Abbildung 53: Benachbarte Förderkreise, Quelle: Eigene Darstellung.....	52
Abbildung 54: Mehrstufiger Sortierprozess mittels Modulverteiler, Quelle: Eigene Darstellung.	53
Abbildung 55: 3D-Grafik des Modulvertailers, Quelle: Eigene Darstellung.....	54
Abbildung 56: Übergabe des Sortiergutes auf benachbarte Förderkreise, Quelle: Eigene Darstellung....	55
Abbildung 57: Black Box Modell, Quelle: Eigene Darstellung.	56
Abbildung 58: Sortiersystem mit Standard-Fördertechnik (mehrstufige Sortierung), Quelle: Eigene Darstellung.	57
Abbildung 59: Sortiersystem mit Standard-Fördertechnik; 3D-Darstellung, Quelle: Eigene Darstellung. .	58
Abbildung 60: Sortierung mit Standard-Shuttle, Quelle: Eigene Darstellung.....	58
Abbildung 61: Sortierung mit Standard-Shuttle – Materialfluss, Quelle: Eigene Darstellung.	59
Abbildung 62: Beurteilung der Wandelbarkeit eines Materialflusssystems, Quelle: Lindemann/Reichwald/et al. (2006), S. 79.	60
Abbildung 63: Definierte Sortiergüter, Quelle: Eigene Darstellung.	62
Abbildung 64: Shuttle-Abmessungen, Quelle: Eigene Darstellung.	63
Abbildung 65: Minimale Teilung der Shuttles, Quelle: Eigene Darstellung.	64
Abbildung 66: Überprüfung auf Kollision bei der Einschleusung, Quelle: Eigene Darstellung.	64
Abbildung 67: Teilung der Shuttles bei überflur angeordnetem Zugmittel, Quelle: Eigene Darstellung. ...	65
Abbildung 68: Teilung der Shuttles bei seitlich angeordnetem Zugmittel, Quelle: Eigene Darstellung.	65
Abbildung 69: Theoretische Grenzleistung bei einem benachbarten Förderkreis, Quelle: Eigene Darstellung.	67
Abbildung 70: Theoretische Grenzleistung bei vier benachbarten Förderkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.	68

Abbildung 71: Theoretische Grenzleistung mittels Modulverteiler bei vier Förderkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.	69
Abbildung 72: Theoretische Grenzleistung mittels Modulverteiler bei sechs Förderkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.	69
Abbildung 73: Theoretische Grenzleistung bei Übergabe des Fördergutes, Quelle: Eigene Darstellung.	70
Abbildung 74: Gesamtkosten für Anlagen abhängig von der Anzahl an Sortierkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.	82
Abbildung 75: Gesamtkosten für Anlagen abhängig von der Anzahl an Sortierkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.	83

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Maximaler Nenndurchsatz und Fördergeschwindigkeit von Sortern, Quelle: Eigene Darstellung.	31
Tabelle 2: Maximaler Nenndurchsatz und Fördergeschwindigkeit von Hängefördertechnik, Quelle: Eigene Darstellung.	32
Tabelle 3: Sortierguteignung am Verteilförderer hinsichtlich Gutabmessung und Gutgewicht, Quelle: Eigene Darstellung.	33
Tabelle 4: Kostenvergleich verschiedener Sorter-Technologien, Quelle: TranSystems (Edition 11-2010), E-Paper [08.09.2019]	34
Tabelle 5: Kostenvergleich verschiedener Sorter-Technologien 2010 und 2019, Quelle: TranSystems (Edition 11-2010), E-Paper [08.09.2019].....	35
Tabelle 6: Vergleich der bestehenden Systeme, Quelle: Eigene Darstellung.	39
Tabelle 7: Leistungsüberblick der Shuttle-Konzepte, Quelle: Eigene Darstellung.	66
Tabelle 8: Leistungsüberblick der Anlagenkonzepte, Quelle: Eigene Darstellung.....	70
Tabelle 9: Baugruppen und Bauteile der Shuttles, Quelle: Eigene Darstellung.....	73
Tabelle 10: Laufmeter-Preis für das Überflur-Konzept, Quelle: Eigene Darstellung.	74
Tabelle 11: Laufmeter-Preis für das Seiten-Konzept, Quelle: Eigene Darstellung.	75
Tabelle 12: Übertrag der Preise für Shuttle, Einschleusung und Endstelle, Quelle: Eigene Darstellung. .	75
Tabelle 13: Definition der Länge und Anzahl der Einschleusungen und Endstellen, Quelle: Eigene Darstellung.	76
Tabelle 14: Preise für die spezifizierten Sortierkreise mit Überflur-Konzept, Quelle: Eigene Darstellung.	76
Tabelle 15: Preise für die spezifizierten Sortierkreise mit Seiten-Konzept, Quelle: Eigene Darstellung. ..	76
Tabelle 16: Zusammenfassung der Kosten für die Shuttles und die spezifizierten Sortierkreise, Quelle: Eigene Darstellung.	77
Tabelle 17: Vergleich und Auswahl der erarbeiteten Technologien, Quelle: Eigene Darstellung.....	78
Tabelle 18: Vergleich der bestehenden mit der gewählten Technologie, Quelle: Eigene Darstellung.	78
Tabelle 19: Vergleich und Auswahl der behandelten Anlagenkonzepte, Quelle: Eigene Darstellung.	79
Tabelle 20: Eckdaten für den Kostenvergleich zwischen Quergurtsorter-Anlage und Seiten-Konzept, Quelle: Eigene Darstellung.....	80
Tabelle 21: Kosten der Einzelkomponenten für Quergurtsorter und Shuttle-Sorter, Quelle: Eigene Darstellung.	80
Tabelle 22: Anlagenkosten für den ersten Sortierkreis, Quelle: Eigene Darstellung.	81

Tabelle 23: Anlagenkosten ab dem zweiten Sortierkreis, Quelle: Eigene Darstellung.	81
Tabelle 24: Gesamtkosten für Anlagen abhängig von der Anzahl an Sortierkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.	82
Tabelle 25: Kosten pro sortiertem Stück abhängig von der Anzahl an Sortierkreisen, Quelle: Eigene Darstellung.	83

ANHANG 1: PREISAUFSCHLÜSSELUNG DER BAUTEILE

Dieser Anhang beinhaltet eine detaillierte Preisaufschlüsselung aller Shuttle-Bauteile. Jene Tabellen (siehe auf den nächsten Seiten) wurden zur Berechnung der Shuttle-Kosten herangezogen. Der Stand aller Quellen ist der 03.11.2019. Der Umrechnungsfaktor von Schweizer Franken in Euro datiert ebenfalls vom 03.11.2019 und betrug zu diesem Zeitpunkt: 1 Schweizer Franken = 0,91 Euro.

Anhang 1: Preisaufschlüsselung der Bauteile

BAUGRUPPEN (IN ALPHABETISCHER REIHENFOLGE) UNTERBAUGRUPPE/BAUTEIL	STK	EINZEL	GESAMT	VERWENDET BEI ÜBERFLUR SEIT	QUELLE [STAND ALLER QUELLEN: 03.11.2019]
Brückenkonstruktion/Zugmittelschiene Aluminium Hohlprofil Querschnitt L = 200, B = 50	1	62,09 €	62,09 €	✓	https://www.aluminium-online-shop.de/de/shop-aluminium-kleinstmengen/-Rechteckrohr---Vierkantrohr-_20/index.html 01
Führungsschiene für Stellschiffe C Profil 30/30/30/10/2	1	27,21 €	27,21 €	✓	Preis durch 100 m dividiert, S.96 in Quelle http://grosschaedlpreisliste.epaperplus.at/epaper/Gesamtpreisliste.pdf
Getriebemotor (Kegelradgetriebemotor) Getriebemotor (Kegelradgetriebemotor) - 2,2 kW	1	944,59 €	944,59 €	✓	https://www.js-technik.de/produkte/getriebe-getriebemotoren/ 02 https://www.js-technik.de/produkte/getriebe-getriebemotoren/kegelradgetriebemotoren-k-serie/11682/js-kv373-100-4-2-2-kw-23-u/min-kegelradgetriebemotor?c=251
Gurt Fördergurt verschleißt L = 3714, B = 1000	1	572,52 €	572,52 €	✓	https://foerdergurt24.com/foerderderbaender/3/foerderderband-ex-10/2-0-10-schwarz-as-fr?c=6 03
Laufgrad Reibrad Da = 100, B = 30 Rillenkugellager 6004 2RS 20x42x12 mm Achse D20, L = 100	1 1 1	63,63 € 1,39 € 2,25 €	63,63 € 1,39 € 2,25 €	✓	von CHF in EURO umgerechnet (Faktor 0,91; 03.11.2019) https://www.apsoparts.com/isshop/de-CH/Antriebstechnik/Kupplungen%20und%20Getriebe/Rutschnaben,%20Reibr%C3%A4der/Reibrad%20ROTAFRIX/product/node/14985/product/09.1080.01.xhtml?sessionid=C33BF8271ECD9EA4FFAC5A12A0F487E4 04 https://www.kugellager-express.de/rillenkugellager-60_20_1 05 https://www.cncshop.at/linearwelle-Praezisionswelle-R-20-mm-gehaertet-millimetergenauer-Zuschnitt 06
Laufschiene WinkelST37 warmgewalzt, 100 x 75 x 9 mm	2	39,00 €	78,00 €	✓	https://www.fixmetall-shop.com/netGen/netGen.pl?lang=de&action=shop_kat&kategorie=68&produkttyp=winkelprofil 07
Rahmenkonstruktion Shuttle Stirnseitiges Blech, L = 1000, B = 200, D = 10 Seitliches Blech, L = 1000, B = 100, D = 10	2 2	77,42 € 41,71 €	154,84 € 83,42 €	✓	https://www.fixmetall-shop.com/netGen/netGen.pl?lang=de&action=shop_kat&kategorie=29&produkttyp=blech 08 https://www.fixmetall-shop.com/netGen/netGen.pl?lang=de&action=shop_kat&kategorie=29&produkttyp=blech 09

BAUGRUPPEN (IN ALPHABETISCHER REIHENFOLGE) UNTERBAUGRUPPE/BAUTEIL	STK	EINZEL	GESAMT	VERWENDET BEI ÜBERFLUR SEIT	QUELLE [STAND ALLER QUELLEN: 03.11.2019]
Reibradkonstruktion			185,12 €	✓	von CHF in EURO umgerechnet (Faktor 0,91; 03.11.2019) https://www.apsoparts.com/ishop/de-CH/Antriebsstechnik/Kupplungen%20und%20Getriebe/Rutschnaben,%20Reibr%20C%44der/Reibrad%204 OROTAFRIX/product/node/14985/product/09.1080.01.xhtml?sessionid=c339f8271ecd9e44ffac5a12a0f487e4
Reibrad Da = 100, B = 30	2	63,63 €	127,25 €	✓	04
Rillenkugellager 6004 2RS 20x42x12 mm	2	1,39 €	2,78 €	✓	05
Achse D30, L = 100	2	3,85 €	7,70 €	✓	10
Kegelzahnrad 2 Stk. Da = 88, Di = 26	1	47,39 €	47,39 €	✓	11
Stellstift			45,75 €	✓	https://www.motedis.at/shop/Dynamik-Basiselemente/Laufrollen/Laufrolle-%D8-19mm-i-Typ-Nut-5-99999763.html https://www.cncshop.at/Schrittmotor-10-Nm_1
Laufrolle Ø 19mm i-Typ Nut 5 (inkl. Wälzlager)	1	2,25 €	2,25 €	✓	12
Schrittmotor	1	43,50 €	43,50 €	✓	13
Trägerarm der Brückenkonstruktion			36,72 €	✓	https://www.motedis.at/shop/Aluprofile/30-i-Typ-Nut-6/Aluprofil-60x60L-i-Typ-Nut-6-999991178.html https://www.motedis.at/shop/Aluprofile/30-i-Typ-Nut-6/Aluprofil-60x60L-i-Typ-Nut-6-999991178.html
Aluprofil 60x60L i-Typ Nut 6 L = 500	1	12,24 €	12,24 €	✓	14
Aluprofil 60x60L i-Typ Nut 6 L = 1000	1	24,48 €	24,48 €	✓	15
Trägerkonstruktion Gurt			142,80 €	✓	https://www.motedis.at/shop/Aluprofile/45-4060-B-Typ-Nut-10/Aluprofil-45x45L-B-Typ-Nut-10-99999416.html https://www.fixmetall-shop.com/netGen/netGen.pl?lang=de&action=shop_kat&kategorie=29&produkttyp=blech
Aluprofil 45x45L B-Typ Nut 10 L = 1000	3	10,46 €	31,38 €	✓	16
Gleitblech, L = 800, B = 1000, D = 2	2	55,71 €	111,42 €	✓	17
Umlenkwalze Gurt			252,00 €	✓	https://www.fixmetall-shop.com/netGen/netGen.pl?lang=de&action=shop_kat&kategorie=29&produkttyp=rundrohre-nahtlos https://www.kugellager-express.de/rillenkugellager-60__80_14 https://www.cncshop.at/Linearwelle-Präzisionswelle-R-50-mm-je-m-gehaertet
Rundrohr aus Aluminium D = 100, B = 20, L = 1000	1	159,82 €	159,82 €	✓	18
Rillenkugellager 6010 2RS 50x80x16 mm	2	2,89 €	5,78 €	✓	19
Präzisionswelle D = 50, L = 1000	1	86,40 €	86,40 €	✓	20

BAUGRUPPEN (IN ALPHABETISCHER REIHENFOLGE) UNTERBAUGRUPPE/BAUTEIL	STK	EINZEL	GESAMT	VERWENDET BEI ÜBERFLUR SEIT	QUELLE [STAND ALLER QUELLEN: 03.11.2019]
Unterbau Aluprofil 80x160 L I-Typ Nut 8 L = 1980 Aluprofil 80x80 L I-Typ Nut 8 L = 1000 Abdeckung aus Blech, L = 1000, B = 1000, D = 2	2 2 8	163,69 € 34,06 € 68,14 €	940,62 € 327,38 € 68,12 € 545,12 €	✓ ✓ ✓ ✓	https://www.motedis.at/shop/index.php https://www.motedis.at/shop/Aluprofil/40-I-Typ-Nut-8/Aluprofil-80x160-L-I-Typ-Nut-8-99999861.html https://www.motedis.at/shop/Aluprofil/40-I-Typ-Nut-8/Aluprofil-80x80-L-I-Typ-Nut-8-99999405.html https://www.fixmetalil-shop.com/netGen.pl?lang=de&action=shop_kat&kategorie=29&produkttyp=blech
Zahnrad und Motorwelle für Zugmittelumlenkung Kettenrad 10B-1, Z=29, vorgeb. D = 154 Motorwelle D = 40	2 1	21,32 € 51,62 €	94,26 € 42,64 € 51,62 €	✓ ✓ ✓	https://www.kettentechnik-shop.de/kettenraeder/kettenraeder-mit-nabe/einfach-kettenraeder/kettenrad-10b-1/1074/kettenrad-10b-1-z-29-vorgeb.?c=140 https://www.js-technik.de/produkte/zubehoer-getriebemotoren/kegelradgetriebe-k-serie/12001/js-kv-37x-ausgangswelle
Zahnrad zur Führung Kettenrad 10B-1, Z=19, vorgeb. D = 103 Hülsenfreilauf Da = 37, Di = 30, B = 30 Achse D30, L = 100	1 1 1	10,35 € 47,35 € 3,85 €	61,55 € 10,35 € 47,35 € 3,85 €	✓ ✓ ✓	https://www.kettentechnik-shop.de/kettenraeder/kettenraeder-mit-nabe/einfach-kettenraeder/kettenrad-10b-1/1068/kettenrad-10b-1-z-19-vorgeb.?c=140 http://www.mercateo.at/p/2692-506590/Huelsenfreilauf_HFL3030_L564_INA.html https://www.cncshop.at/Linearwelle-Präzisionswelle-R-30-mm-gehaertet-millimetergenauer-Zuschnitt
Zugarm Aluprofil 45x45L B-Typ Nut 10 L = 500	1	5,23 €	5,23 €	✓	https://www.motedis.at/shop/Aluprofil/45-4060-B-Typ-Nut-10/Aluprofil-45x45L-B-Typ-Nut-10-99999416.html
Zugmittel pro lfm (ACHTUNG: doppelt kalkulieren, da Last- und Leertrum) Rollenkette/rollerchain 10B-2 DIN 8187	2	9,90 €	19,80 €	✓ ✓	https://www.kettentechnik-shop.de/ketten/rollenkette/nach-din-8187/zweifach-rollkette/20/rollenkette/rollerchain-10b-2-din-8187c=61
Zugstift Achsbolzen D = 12, L = 46	1	3,55 €	3,55 €	✓	https://www.norelem.de/de/Produkte/Produkt%C3%84bersicht/Flexibles-Normteilsystem/Spanneisen-Spannelemente/Exzentranspanner/Achsbolzen.html

ANHANG 2: BERECHNUNG DER SHUTTLE-KONZEPTE

Dieser Anhang beinhaltet die detaillierte Aufschlüsselung der Berechnung der Shuttle-Kosten, anteilig auf den Laufmeter.

Überflur-Konzept

Überflur-Konzept	Abstands- teiler*	Stk	Faktor	Baugruppenpreis	Gesamtpreis pro lfm und AT
SHUTTLE					
Gurt (1 Stk pro AT)	2,15	m	1	572,52 €	266,29 €
Laufräder (4 Stk pro Shuttle bzw pro AT)	2,15	m	4	67,27 €	125,15 €
Rahmenkonstruktion Shuttle (1 Stk pro AT)	2,15	m	1	238,26 €	110,82 €
Reibradkonstruktion (1 Stk pro Shuttle bzw pro AT)	2,15	m	1	185,12 €	86,10 €
Trägerkonstruktion Gurt (1 Stk pro Shuttle bzw pro AT)	2,15	m	1	142,80 €	66,42 €
Umlenkwalze Gurt (2 Stk pro Shuttle bzw pro AT)	2,15	m	2	252,00 €	234,42 €
Zugarm (1 Stk pro Shuttle bzw pro AT)	2,15	m	1	5,23 €	2,43 €
Zugstifte (2 Stk pro Shuttle bzw pro AT)	2,15	m	2	3,55 €	3,30 €
LAUFMETERWARE					
Brückenkonstruktion/Zugmittelschiene pro lfm	1,00	m	1	62,09 €	62,09 €
Laufschienen pro lfm	1,00	m	1	78,00 €	78,00 €
Zugmittel pro lfm	1,00	m	1	19,80 €	19,80 €
ANTRIEB UND ANBAU					
Getriebemotor (1 Stk pro AT)	10,00	m	1	944,59 €	94,46 €
Zahnräder und Motorwelle für Zugmittelumlenkung (1 Stk pro AT)	10,00	m	1	94,26 €	9,43 €
Trägerarm der Brückenkonstruktion (1 Stk pro AT)	5,00	m	1	36,72 €	7,34 €
Unterbau (1 Stk pro AT)	2,00	m	1	940,62 €	470,31 €
ZWISCHENSUMME					1.636,36 €
SONSTIGES					
Befestigungselemente: 20 % vom Gesamtpreis			0,20		327,27 €
Nachbehandlung und Zusammenbau: 30 % vom Gesamtpreis			0,30		490,91 €
Risiko: 20 % vom Gesamtpreis			0,20		327,27 €
ZWISCHENSUMME MECHANIK					2.781,81 €
FAKTOR ZUR BERÜCKSICHTIGUNG VOM COST BREAKDOWN					
Mechanical Hardware = 38 %			0,38		7.320,56 €
GESAMTSUMME OHNE SK					7.320,56 €
GEWINNSPANNE					
SK			1,10		8.052,62 €
GESAMTSUMME MIT SK					8.052,62 €

Seiten-Konzept

Seit-Konzept	Abstands- teiler*	Stk	Faktor	Baugruppenpreis	Gesamtpreis pro lfm und AT
SHUTTLE					
Gurt (1 Stk pro AT)	2,25	m	1	572,52 €	254,45 €
Laufräder (4 Stk pro Shuttle bzw pro AT)	2,25	m	4	67,27 €	119,59 €
Rahmenkonstruktion Shuttle (1 Stk pro AT)	2,25	m	1	238,26 €	105,89 €
Reibradkonstruktion (1 Stk pro Shuttle bzw pro AT)	2,25	m	1	185,12 €	82,28 €
Stellstifte (2 Stk pro Shuttle bzw pro AT)	2,25	m	2	45,75 €	40,67 €
Trägerkonstruktion Gurt (1 Stk pro Shuttle bzw pro AT)	2,25	m	1	142,80 €	63,47 €
Umlenkwalze Gurt (2 Stk pro Shuttle bzw pro AT)	2,25	m	2	252,00 €	224,00 €
Zahnräder zur Führung (4 Stk pro Shuttle bzw pro AT)	2,25	m	4	61,55 €	109,42 €
LAUFMETERWARE					
Brückenkonstruktion/Zugmittelschiene pro lfm	1,00	m	1	62,09 €	62,09 €
Laufschienen pro lfm	1,00	m	1	78,00 €	78,00 €
Zugmittel pro lfm	1,00	m	1	19,80 €	19,80 €
Führungsschiene Stellstifte pro lfm	1,00	m	1	27,21 €	27,21 €
ANTRIEB UND ANBAU					
Getriebemotor (1 Stk pro AT)	10,00	m	1	944,59 €	94,46 €
Zahnräder und Motorwelle für Zugmittelumlenkung (1 Stk pro AT)	10,00	m	1	94,26 €	9,43 €
Unterbau (1 Stk pro AT)	2,00	m	1	940,62 €	470,31 €
ZWISCHENSUMME					1.761,06 €
SONSTIGES					
Befestigungselemente: 20 % vom Gesamtpreis			0,20		352,21 €
Nachbehandlung und Zusammenbau: 30 % vom Gesamtpreis			0,30		528,32 €
Risiko: 20 % vom Gesamtpreis			0,20		352,21 €
ZWISCHENSUMME MECHANIK					2.993,80 €
FAKTOR ZUR BERÜCKSICHTIGUNG VOM COST BREAKDOWN					
Mechanical Hardware = 38 %			0,38		7.878,43 €
GESAMTSUMME OHNE SK					7.878,43 €
GEWINNSPANNE					
SK			1,10		8.666,27 €
GESAMTSUMME MIT SK					8.666,27 €

ANHANG 3: BERECHNUNG DER ANLAGENKONZEPTE

Dieser Anhang beinhaltet die Aufschlüsselung der Berechnung der Anlagenkosten.

ANNAHMEN

=> Ein Crossbelt-Sorter braucht bei einer Leistung von 4.000 LE/h in etwa 2 Inducts

=> Der SORTER_NEU braucht bei einer Leistung von 4.000 LE/h in etwa 3 Inducts

Die Beladung von oben (Traybeladung) ist bei weitem billiger wie ein Sorter-Induct mit Taktband

Wert vom Sorter-Induct in Prozent (geschätzt)	0,20	20%
---	------	-----

Durchgeführt wird der Kostenvergleich mit

=> einem Sorterkreis mit einer Länge von 130 Metern

=> dem gewählten Shuttle-Konzept (seitlich verlaufendes Zugmittel)

Weitere Annahme:

Bei Erweiterung um einen Sortierkreis fällt der Anteil für die Steuerungs-Hardware beim modularen Shuttle-Sorter weg (Rechner, Verteiler, anderweitige Hardware)

Reduktion der Laufmeterkosten (geschätzt)	0,85	85%
---	------	-----

Sorter Konfiguration

	lfm	Einschleusung	Endstelle
Crossbeltsorter billig	13.278,00 €	86.002,00 €	6.981,00 €
Crossbeltsorter teuer	19.917,00 €	101.179,00 €	21.753,00 €
Shuttle-Sorter billig	8.666,27 €	17.200,40 €	6.981,00 €
Shuttle-Sorter mittel	8.666,27 €	18.718,10 €	14.367,00 €
Shuttle-Sorter teuer	8.666,27 €	20.235,80 €	21.753,00 €

Shuttle-Sorter lfm ab dem 2. SK	7.366,33 €
---------------------------------	------------

Definition der Sortierkreise

	Länge/m	Anzahl Einschleusungen	Anzahl Endstellen
Crossbeltsorter	130	2	30
Shuttle-Sorter		3	

Anlagenpreise für den 1. Sortierkreis

	lfm	Einschleusung	Endstelle	GESAMT
Crossbeltsorter billig	1.726.140,00 €	172.004,00 €	209.430,00 €	2.107.574,00 €
Crossbeltsorter teuer	2.589.210,00 €	202.358,00 €	652.590,00 €	3.444.158,00 €
Shuttle-Sorter billig	1.126.615,52 €	51.601,20 €	209.430,00 €	1.387.646,72 €
Shuttle-Sorter mittel	1.126.615,52 €	56.154,30 €	431.010,00 €	1.613.779,82 €
Shuttle-Sorter teuer	1.126.615,52 €	60.707,40 €	652.590,00 €	1.839.912,92 €

Anlagenpreise ab dem 2. Sortierkreis

	lfm	Einschleusung	Endstelle	GESAMT
Crossbeltsorter billig	1.726.140,00 €	172.004,00 €	209.430,00 €	2.107.574,00 €
Crossbeltsorter teuer	2.589.210,00 €	202.358,00 €	652.590,00 €	3.444.158,00 €
Shuttle-Sorter billig	957.623,19 €	51.601,20 €	209.430,00 €	1.218.654,39 €
Shuttle-Sorter mittel	957.623,19 €	56.154,30 €	431.010,00 €	1.444.787,49 €
Shuttle-Sorter teuer	957.623,19 €	60.707,40 €	652.590,00 €	1.670.920,59 €