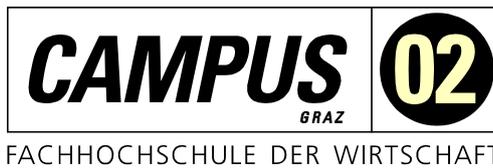


**Masterarbeit**

# **ENTWICKLUNG EINES STOPPERS**

ausgeführt am



Fachhochschul-Masterstudiengang  
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

**Ing. Stefan Strohmaier, BSc**

1610322005

betreut und begutachtet von  
Dipl.-Ing. (FH) Werner Frissenbichler

Graz, im Dezember 2017

.....  
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.

.....  
Unterschrift

## **DANKSAGUNG**

Recht herzlich bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei meiner Familie und im Besonderen bei meiner Lebensgefährtin Jennifer Werschitz, für die Unterstützung und dem entgegengebrachten Verständnis.

Bei der Erstellung von wissenschaftlichen Arbeiten, sind der fachliche Diskurs und die konstruktive Kritik wichtige Eckpfeiler. Daher möchte ich mich besonders bei meinem Vorgesetzten DI Michael Steingruber und Kollegen DI Thomas Zach bedanken.

Besonders möchte ich mich bei meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. (FH) Werner Frissenbichler, für die Hilfe und Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit bedanken.

## **KURZFASSUNG**

Das Unternehmen SSI SCHÄFER ist ein weltweit operierender Generalunternehmer im Bereich der Auslegung, Planung und Realisierung von schlüsselfertigen Logistikzentren. Eine zentrale Bedeutung in der Intralogistik spielt die Fördertechnik mit den entsprechenden Produktlösungen und Komponenten, zu denen auch der Stopper zählt. Im Wesentlichen wird der Stopper dazu verwendet, um das Fördergut auf der Fördertechnik exakt zu positionieren und am Absturz zu hindern. Realisiert werden diese Forderungen durch den Einsatz einer versenkbaren, mechanischen Barriere auf Basis eines pneumatischen Aktors.

Ziel dieser Arbeit war einen rein elektrisch funktionierenden Stopper zu konzipieren und zu konstruieren, der die Vorgaben hinsichtlich gleichbleibender Leistungsfähigkeit, nicht größer werdendem Bauraum und Einhaltung des Kostenziels erfüllt.

Die Auswahl des Konzeptes für den elektrischen Hubmechanismus fußt auf der Analyse der zuvor ausgearbeiteten Varianten. Im Anschluss erfolgten die Detailkonstruktion inklusive Auslegung des Antriebs sowie die Kalkulation der Baugruppe. Den Abschluss bildet ein Gesamtkostenvergleich der pneumatischen und elektrischen Ausführung mit dem Ergebnis, dass die Rentabilitätsschwelle erst nach einer Betriebsdauer von ca. 4,5 Jahren erreicht wird.

Das Resultat ist eine abgeschlossene Konstruktion, die eine um 20 % höhere Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Hubzeit aufweist und den Bauraum nicht relevant vergrößert. Einzig die kalkulierten Kosten überschreiten den Zielpreis um 10%.

Mit der Umsetzung eines Prototypen erfolgt eine Evaluierung der Konstruktion und in weiterer Folge eine Überprüfung des elektrischen Hubmechanismus im Dauertest. Die Erweiterung des Produktportfolios um den elektrischen Stopper bietet die Möglichkeit entweder Teilbereiche einer Anlage oder komplette Systeme gänzlich ohne Pneumatik zu realisieren.

## **ABSTRACT**

SSI SCHÄFER is a global player in the fields of planning, designing and implementing of turnkey logistic hubs. Within the intralogistics, the conveyor technique and its according products and components such as the stopper represent are vital elements. On the one hand the basic function of the stopper is to position the transported material in a definite way on the conveyor and on the other hand to prevent the conveyed material from dropping off the very same. In order to meet these requirements, a concealed rigid barrier is powered by a pneumatic cylinder.

The main purpose of this study was to design and to engineer a solution of the stopper where no pneumatic equipment is necessary. Concerning the specifications, the performance and the size of installation space are supposed to remain the same and, in addition, target costs have to be reached.

The chosen concept was the result of an analysis of several concepts which describes diverse lifting mechanisms. Subsequently the mechanical system was designed and calculated in detail. Moreover a rating of the electric drive was conducted. The final step was to compare the total costs of the pneumatically and electrically driven stoppers with the result that the break-even point is reached after about 4.5 years in service.

The outcome of this thesis is a concluded design that leads to an increase of 20% regarding the lifting time performance and does not affect the outer dimensions in a negative way. Only the calculated costs of the assembly exceeded the target costs by 10%.

In order to gain results regarding the suitability of both the general design and the electric lifting system, a prototype will be built and tested in a long-term test run.

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
1.1	Unternehmen SSI SCHÄFER .....	1
1.1.1	SSI SCHÄFER Fritz Schäfer .....	2
1.1.2	SSI SCHÄFER Automation.....	2
1.1.3	SSI SCHÄFER IT Solutions.....	2
1.2	Aufgabenstellung .....	3
1.3	Zielsetzung.....	4
2	Grundlagen der Logistik .....	5
2.1	Historie der Logistik .....	5
2.2	Begriffsdefinition Logistik .....	6
2.3	Logistikziele .....	7
2.4	Fachdisziplinen der Logistik.....	9
2.4.1	Beschaffungslogistik .....	10
2.4.2	Produktionslogistik.....	10
2.4.3	Distributionslogistik .....	10
2.4.4	Entsorgungslogistik.....	10
2.5	Logistikzentren.....	11
2.5.1	Logistikprozesse im Distributionszentrum .....	13
2.6	Materialfluss.....	15
2.7	Fördertechnik.....	17
2.7.1	Fördergut .....	17
2.7.2	Fördermittel.....	19
2.7.3	Durchsatz.....	21
2.8	Standard-Produktlösungen von SSI SCHÄFER Automation GmbH .....	22
2.8.1	Fördertechnikkomponenten .....	22
2.8.1.1	Rollenfördertechnik.....	24
2.8.1.2	Bandfördertechnik .....	29
2.8.2	Lagersysteme .....	31
2.8.3	Handling Systeme.....	32
2.8.4	Kommissionieren .....	34
2.9	Fördertechnikkomponente Stopper .....	35
2.9.1	Funktion .....	36
2.9.2	Einbau .....	37
2.9.3	Ausprägungen.....	40
2.9.3.1	Nennbreite .....	40
2.9.3.2	Hub .....	40
2.9.3.3	Typ.....	40
2.9.3.4	Baukastenbezeichnung .....	40
2.9.4	Aufbau.....	40

2.9.5	IST–Zustand .....	44
2.9.6	Ermittlung der Hubzeit .....	44
2.9.7	Berechnung der Hubzyklen und Laufleistung.....	45
3	Konzeptionierung der elektrischen Hubmechanik für den Stopper.....	46
3.1	Konzept 1: Schubkurbel.....	47
3.2	Konzept 2: Scotch Yoke (Kurbelschleife) .....	48
3.3	Konzept 3: Vertikale Spindel.....	50
3.4	Konzept 4: Zahnstange.....	51
3.5	Bewertung und Auswahl eines Konzeptes .....	52
3.5.1	Nutzwertanalyse .....	52
3.5.2	Aufbau der Nutzwertanalyse.....	54
3.5.3	Resultat der Nutzwertanalyse.....	55
4	Umsetzung des ausgewählten Konzeptes .....	56
4.1	Analyse der Hubbewegung.....	56
4.2	Antriebsauswahl.....	58
4.2.1	Erforderliche Drehzahl .....	58
4.2.2	Erforderliches Drehmoment.....	59
4.2.3	Anforderungen an den Antrieb.....	62
4.2.4	Beschreibung des gewählten Antriebs .....	62
4.3	Konstruktion .....	64
4.3.1	Hubmechanismus .....	64
4.3.2	Grundrahmen.....	66
4.3.3	Sensorik .....	67
4.3.4	Komplette Baugruppe .....	67
5	Rentabilitätsbetrachtung .....	69
5.1	Herstellkostenvergleich.....	69
5.2	TCO-Vergleich .....	70
5.2.1	Pneumatische Variante.....	71
5.2.2	Elektrische Variante.....	71
5.3	Gegenüberstellung der Kosten .....	72
6	Zusammenfassung und Ausblick .....	73
	Literaturverzeichnis .....	74
	Abbildungsverzeichnis.....	75
	Tabellenverzeichnis .....	78
	Abkürzungsverzeichnis.....	79

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Unternehmen SSI SCHÄFER

Fritz Schäfer gründete 1937 das gleichnamige Unternehmen zur fabrikmäßigen Herstellung von Blechwaren. Die Entwicklung des Lager-Fix-Kastens im Jahr 1953 markiert einen wichtigen Meilenstein in der Firmenhistorie und der Lagertechnik. Auch heute noch erfreut sich das stapelbare System großer Beliebtheit in der Intralogistik.



Abb. 1: Lager-Fix-Kasten Lagersystem, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.

Im Laufe der Jahrzehnte konnte sich das Familienunternehmen durch eine stetige Weiterentwicklung und strategische Erweiterung des Produktportfolios als global tätiger Anbieter von ganzheitlichen Logistiksystemen positionieren. Die Dimension der globalen Präsenz wird durch die Anzahl von 70 Niederlassungen, 10 Produktionsstandorten und 9.500 Mitarbeitern verdeutlicht.<sup>1</sup>

Die Unternehmensgruppe SSI SCHÄFER besteht aus folgenden Geschäftsbereichen:



Abb. 2: Übersicht Unternehmensgruppe SSI SCHÄFER, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.

---

<sup>1</sup> Vgl. SSI SCHÄFER Automation GmbH (2017), Online-Quelle [03.12.2017]

Die nachfolgenden Abschnitte erläutern die einzelnen Segmente des SSI SCHÄFER Logistikbereichs.

### **1.1.1 SSI SCHÄFER Fritz Schäfer**

Der Standort Neunkirchen (DE) ist der internationale Hauptsitz der Unternehmensgruppe SSI SCHÄFER und ist mit rund 3.000 Mitarbeitern gleichzeitig auch der größte Produktionsstandort. Die Kernkompetenzen liegen aufgrund der Serienfertigung von Regal- und Behältersystemen in den Bereichen Blechfertigung, Profilieren und Kunststoffspritzgießen.<sup>2</sup>

### **1.1.2 SSI SCHÄFER Automation**

Der Bereich Automation befasst sich mit die integrierten Automationssystemen und gliedert sich in die zwei Competence Center Giebelstadt (DE) und Graz (AT).

Der Standort Giebelstadt ist ein Generalunternehmen spezialisiert auf die Planung, Realisierung und After-Sales-Services von komplexen Logistiksystemen. Das Produktprogramm mit den Lösungen Regalbediengerät, Shuttle-System, Fördertechnik und De- und. Palettierroboter ist ausgerichtet auf das Lagern, Fördern und Handhaben von Paletten.

Der Standort Graz ist das weltweite Kompetenzzentrum für Fördertechnikanalgen und automatischen Kommissioniersystemen und vereint die Bereiche Entwicklung, Planung, Produktion, Realisierung und Montage an einem Standort. Die Produktlösungen sind zum einen auf Anwendungen mit Kleinladungsträger (Behälter, Table, Kartons) und zum anderen auf Hängeware (Kleidung, Büroartikel) abgestimmt.<sup>3</sup>

### **1.1.3 SSI SCHÄFER IT Solutions**

Am Standort Friesach (AT) werden auf den Kunden abgestimmte Softwarelösungen für Logistikanlagen realisiert. Der Leistungsumfang inkludiert die Beratung, Planung und Implementierung der spezifischen Lösungen. Mit der Logistiksoftware WAMAS bietet SSI SCHÄFER IT Solutions ein modulares System zur Lagerverwaltung abgestimmt auf die unterschiedlichen Intralogistikbranchen und den Automatisierungsgrad.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Vgl. SSI SCHÄFER Automation GmbH (2017), Online-Quelle [03.12.2017]

<sup>3</sup> Vgl. SSI SCHÄFER Automation GmbH (2017), Online-Quelle [03.12.2017]

<sup>4</sup> Vgl. SSI SCHÄFER Automation GmbH (2017), Online-Quelle [03.12.2017]

## 1.2 Aufgabenstellung

Obwohl die Häufigkeit der Verwendung in einer Anlage abnimmt, ist der Einsatz des Stoppers in speziellen Situationen unumgänglich und folglich eine wichtige Komponente im Produktportfolio der SSI SCHÄFER Automation GmbH. Reduziert auf die Funktion, ist das sichere Stoppen des Fördergutes (3), die grundlegende Aufgabe des Stoppers (1), wie in Abb. 3 dargestellt.

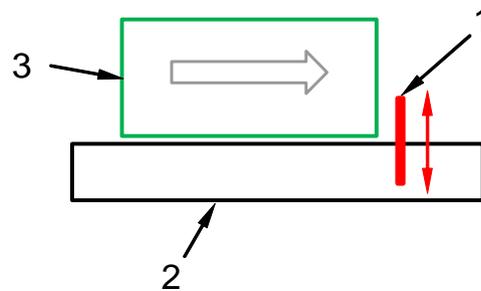


Abb. 3: Schematische Darstellung der Funktion; (1) Stopper, (2) Fördertechnik, (3) Fördergut, Quelle: Eigene Darstellung.

Wie in der nachfolgenden Abb. 4 ersichtlich, besteht die Funktionseinheit „Stopper“, im Wesentlichen aus drei Elementen:

- Stopperschwert
- Führung
- Pneumatischer Aktor

Soll das Fördergut gestoppt werden, erfolgt eine Hubbewegung vom Stopperschwert (1). Die Führung (2) stellt den vertikalen Bewegungsablauf sicher, welcher mittels Pneumatikzylinder (3) realisiert wird. Diese drei Basiselemente werden mit Hilfe eines Grundrahmen (4) an der Fördertechnikteillänge (5) des Fördertechniksystems „FT+“ montiert. Eine ausführlichere Erläuterung der Funktionseinheit Stopper erfolgt im Kapitel 2.9.

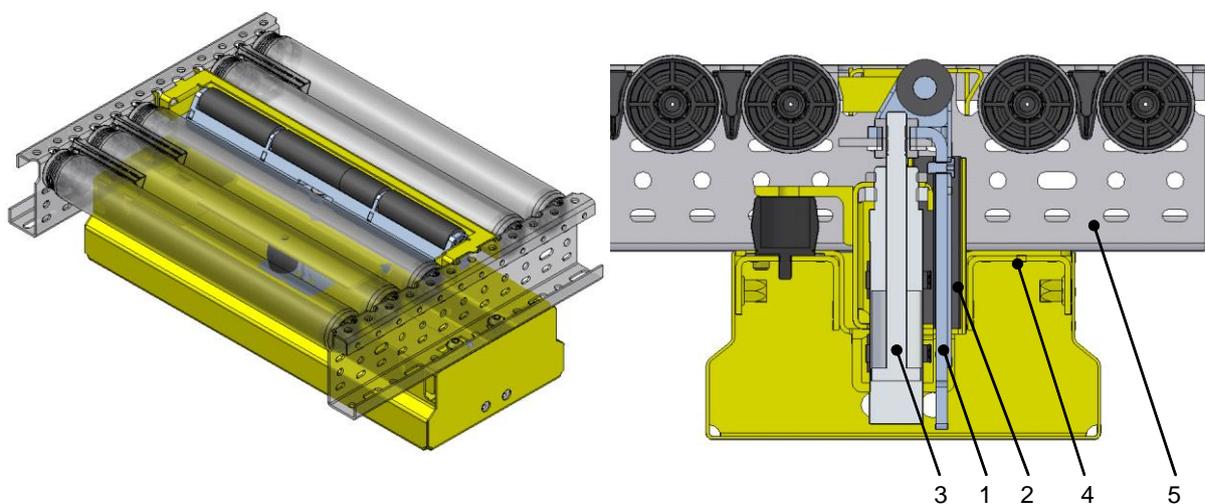


Abb. 4: Einbausituation und Schnittdarstellung eines Stoppers, Quelle: Eigene Darstellung.

Die primäre Problemstellung dieser Arbeit ist es, einen adäquaten, elektrisch betätigten Hubmechanismus als Ersatz für den gegenwärtig in Verwendung befindlichen Pneumatikzylinder zu finden.

Der theoretische Teilbereich der Arbeit behandelt das Fachgebiet der Logistik mit dem Fokus Intralogistik und die hierfür vorhandene Lösung, das Fördertechniksystem „FT+“ von SSI SCHÄFER Automation.

### **1.3 Zielsetzung**

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Stopper zu entwickeln, welcher keine Pneumatik-Infrastruktur benötigt. Im Zentrum des Konzepts stehen der Hubmechanismus und der entsprechende elektrische Antrieb. Der zur Verfügung stehende Bauraum basiert auf der aktuellen Ausprägung und darf sich nicht signifikant vergrößern. Eine wesentliche Vorgabe für die Entwicklung ist, dass sich die Leistungsfähigkeit hinsichtlich Aushubzeit nicht verringert.

Darüber hinaus war gefordert, dass sich der elektrische Stopper für alle definierten Nennbreiten von 275 mm bis 825 mm innerhalb der Systemgrenzen des übergeordneten Fördertechniksystems „FT+“ eignet. Idealerweise deckt der neue Stopper die folgenden Ausprägungen ab:

- Rollenstopper
- Sicherheitssperre
- 50FT+ Stopper für Fördergüter > 35 kg bis max. 50 kg

Das vorgegebene Kostenziel repräsentiert in den nachfolgenden Kapiteln den 100 %-Referenzwert.

Es ist nicht Zielsetzung der Arbeit die Funktionseinheit „Stopper“ bis zur Serienreife zu entwickeln oder einen Prototypen zu fertigen.

## 2 GRUNDLAGEN DER LOGISTIK

Die nachfolgenden Kapitel bilden eine Zusammenfassung der für die Arbeit relevanten Disziplinen der Logistik. Im Speziellen werden das Fachgebiet der Intralogistik und dessen untergeordneter Teilbereich der Fördertechnik betrachtet. Nachfolgend werden jene Standardkomponenten des Fördertechniksystems „FT+“ behandelt, welche für den Einsatz des Stoppers wesentlich sind. Die Analyse der Fördertechnikkomponente Stopper hinsichtlich Aufbau, Funktion und Leistungsfähigkeit ist zum einen der Abschluss der Grundlagen und zum anderen die Basis für Kapitel 3 „Konzeptionierung der elektrischen Hubmechanik für den Stopper“

### 2.1 Historie der Logistik

Der Begriff „Logistik“ leitet sich sprachlich aus dem griechischen Wort „lego“ für „Vernunft“ und vom französischen Ausdruck „logement“ für „Unterbringung“ ab. Historisch betrachtet, war die Logistik bis ins 17. Jahrhundert als praktische Rechenkunst bekannt. In der Mathematik beschreiben logistische Funktionen Wachstumsprozesse, die auf Exponentialfunktionen basieren.<sup>5</sup>

Die Gegenwärtige Interpretation der Logistik hat ihren Ursprung in der Kriegskunst des byzantinischen Reiches und beschreibt jene Tätigkeiten, die zur Unterstützung des Heeres notwendig sind. Im 19. Jahrhundert formuliert der erfahrene General Antoine-Henri de Jomini die für die Militärlogistik relevanten Aktivitäten. Im Wesentlichen betrifft es die Versorgung, Unterkünfte und Transporte der Truppen und des militärischen Geräts hinter dem Frontverlauf.<sup>6</sup>

Der Begriff „Logistik“ ist im wirtschaftlichen Kontext erst seit den 1950er-Jahren gebräuchlich. Durch die positive Entwicklung der Wirtschaft und der damit verbundenen Erschließung neuer Märkte und Produktionsstandorte hat die Logistik innerhalb der Industrie an Bedeutung zugenommen. Parallel dazu hat sich zum einen eine ganze Branche der Logistikdienstleistung gebildet und zum anderen ist die Logistik ein fixer Bestandteil der Lehre an vielen Hochschulen geworden.<sup>7</sup>

Abb. 5 zeigt einen Abriss der einzelnen Entwicklungsstufen welche die Logistik von der Antike bis heute durchlaufen ist.

---

<sup>5</sup> Vgl. Koch (2012), S. 1.

<sup>6</sup> Vgl. Koch (2012), S. 2.

<sup>7</sup> Vgl. Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 3.



Abb. 5: Entwicklung der Logistik, Quelle, Koch (2012), S. 7.

## 2.2 Begriffsdefinition Logistik

Reduziert auf die wesentlichen Aspekte der diversen Logistikformen, ergeben sich folgende Kernelemente der Logistik:<sup>8</sup>

- Logistische Prozesse
- Logistische Objekte
- Logistische Systeme

Hierbei repräsentiert der logistische Prozess den in der Praxis gebräuchlichen Begriff der Logistik. Kennzeichnend für diesen Prozess, ist die Gliederung der Aktivitäten in zwei Bereiche. Der operative Teil beinhaltet den Transport, das Lagern, das Umschlagen und das Kommissionieren der Ware. Um diese Abläufe effizient gestalten zu können, ist der koordinative Teilbereich mit der Planung, Steuerung, Durchführung und Kontrolle wesentlich. Schematisch betrachtet beschreiben diese Tätigkeiten alle Vorgänge die für den Transfer von „Objekten“ zwischen zwei Systemen erforderlich sind.

Zu den logistischen Objekten zählen nicht nur konventionelle Sachgüter wie Rohmaterial, Halbfertigprodukte, Konsumgüter und Produktionsmittel sondern auch Personen und Informationen.<sup>9</sup>

Das dritte Kernelement der Logistik, das logistische System, inkludiert alle Prozesse, Objekte und Strukturen die zur Realisierung notwendig sind. Die Systemgrenzen ermöglichen eine definierte Trennung

<sup>8</sup> Vgl. Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 3.

<sup>9</sup> Vgl. Gudehus (2012), S. 1.

zwischen den einzelnen Systemen bzw. der Umwelt und somit eine Abgrenzung in Sub- und Supersysteme.<sup>10</sup>

Der Systemgedanke ermöglicht die ganzheitliche Betrachtung der Logistikkosten und das Aufzeigen von Einsparungspotentialen innerhalb eines Unternehmens, sowie auch die Analyse einer kompletten Logistikkette bestehend aus mehreren Unternehmen. Aus Sicht der Organisation besteht die Hauptaufgabe der Logistik in der Unterstützung der wertschöpfenden Prozesse und ist somit ein weiterer Parameter um den Unternehmenserfolg positiv zu beeinflussen.

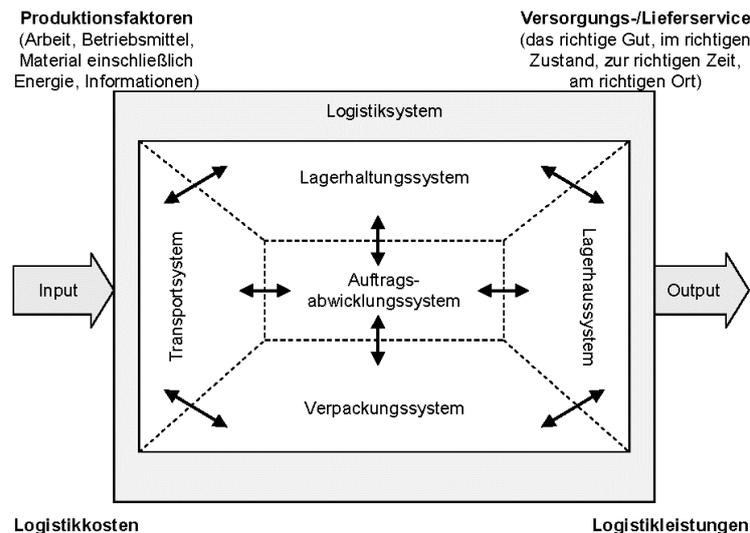


Abb. 6: Logistisches System, Quelle: Pfohl (2010), S. 20.

Vereinfacht dargestellt ist die Logistik wie folgt definiert:

*„Effizientes Bereitstellen der geforderten Mengen benötigter Objekte in der richtigen Zusammensetzung zur rechten Zeit am richtigen Ort“.*<sup>11</sup>

## 2.3 Logistikziele

Aus den Bedingungen der „7 R“-Regel lassen sich die Grundaufgaben bzw. Ziele der Logistik ableiten:<sup>12</sup>

- Das richtige logistische Objekt,
- in der richtigen Quantität,
- am richtigen Ort,
- zum richtigen Termin,
- in der richtigen Qualität,
- zu den richtigen Kosten,
- mit der richtigen Information.

<sup>10</sup> Vgl. Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 3.

<sup>11</sup> Gudehus (2012), S. 1.

<sup>12</sup> Vgl. Koch (2012), S. 10.

Wie bereits im Kapitel 2.2 erörtert, ist die Leistungsfähigkeit der Logistik wesentlich für den unternehmerischen Erfolg. Um diesen Anspruch nachhaltig sicherzustellen, sind eine kontinuierliche Optimierung der Prozesse und die Minimierung der Kosten bei gleichbleibender Qualität erforderlich. Abb. 7 veranschaulicht diese Kausalitäten.

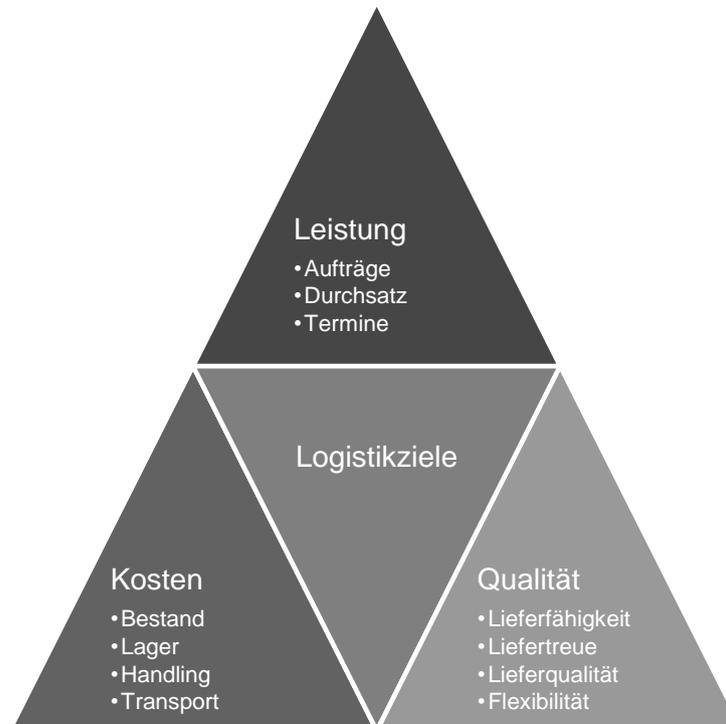


Abb. 7: Ziele der Unternehmenslogistik, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Zielgrößen, Logistikservice und Logistikkosten, dienen zur objektiven Beurteilung der Logistikleistung. Der Begriff Lieferservice gliedert sich in folgende Unterpunkte:<sup>13</sup>

- Die Lieferbereitschaft definiert die Fähigkeit Kundenbestellungen zeitlich sowie auch inhaltlich unmittelbar zu bedienen.
- Die Lieferflexibilität beschreibt die Qualifikation kurzfristig auf kundenspezifische Anforderungen hinsichtlich der Lieferart, des Termins und bspw. der Auftragserteilung zu reagieren.
- Die Lieferzuverlässigkeit erfasst die Anzahl und/oder den Anteil der nicht termingerechten Lieferungen. Im Bedarfsfall ist eine Betrachtung der Fehlmengen von Lieferungen in gleicher Weise möglich.
- Die Lieferqualität ist ein Maß für die Konformität der Lieferung bezogen auf die in der eingegangenen Order vermerkten Information wie Artikel und Liefermenge, sowie der Zustand der Ware bei der Anlieferung.

---

<sup>13</sup> Vgl. Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 8.

Unter dem Oberbegriff der Logistikkosten sind die Aufwände der nachfolgenden Prozesse zusammengefasst:<sup>14</sup>

- Transport
- Handling
- Lager
- Bestand
- System

Die Abb. 8 unten verdeutlicht die Zielkonflikte, die durch die gegenseitigen Abhängigkeiten der logistischen Größen in der Praxis entstehen.



Abb. 8: Magisches Viereck der Logistik, Quelle: Eigene Darstellung.

## 2.4 Fachdisziplinen der Logistik

Die Unternehmenslogistik umfasst die innerbetrieblichen sowie auch die außerbetrieblichen Logistikprozesse eines Unternehmens. Ein wesentliches Element hierbei ist die Produktionslogistik oder Intralogistik, die als Bindeglied zwischen den externen Abläufen der Beschaffungs- und Distributionslogistik dient. Parallel zu dieser Logistikkette verläuft die Entsorgungslogistik.

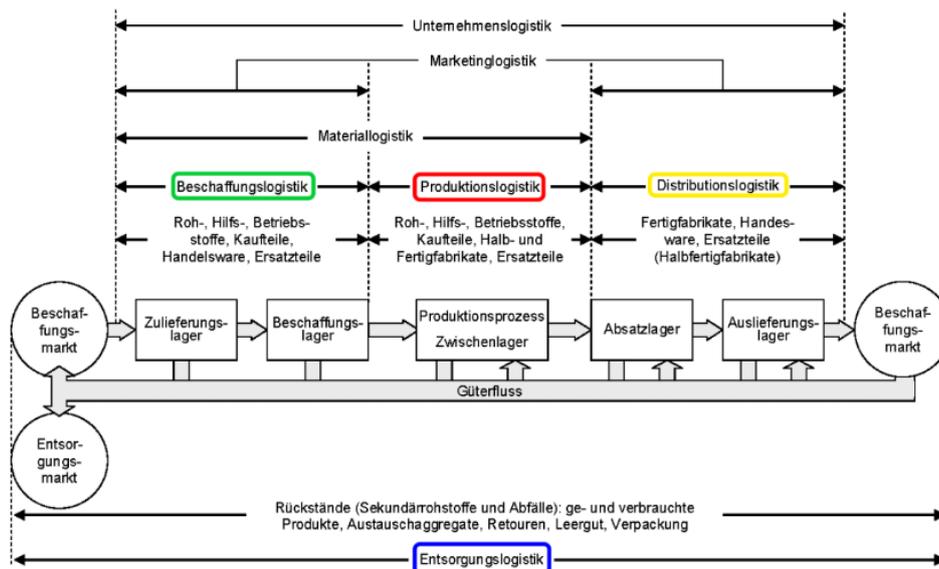


Abb. 9: Fachdisziplinen der Logistik, Quelle: Pfohl (2010), S.19, (leicht modifiziert).

<sup>14</sup> Vgl. Heiserich/Helbig/Ullmann (2011), S. 20.

### **2.4.1 Beschaffungslogistik**

Die Beschaffungslogistik umfasst alle logistischen Aufgaben, welche die Bereitstellung für die Leistungserbringung eines Unternehmens notwendigen Sachgütern sicherstellen. Startpunkt der Prozesskette ist der Transport vom Lieferanten über den Wareneingang bis hin ins Rohwarenlager bzw. direkt in die Fertigung. Die direkte Bereitstellung in Form der Just-in-Time-Anlieferung führt zu reduzierten Lagerbeständen und Durchlaufzeiten. Speziell bei dieser Bereitstellungsstrategie ist eine enge Zusammenarbeit mit den Zulieferfirmen essentiell, da sich zeitliche, quantitative und qualitative Abweichungen der Lieferungen unmittelbar auf die Produktion auswirken.<sup>15</sup>

### **2.4.2 Produktionslogistik**

Die Produktionslogistik beinhaltet alle Abläufe, die für die Realisierung der Produktion notwendig sind. Hierbei liegt der Fokus am bedarfsgerechten Warenfluss von Eigenprodukten, Kaufteilen, Baugruppen, Betriebs- und Hilfsstoffen, die über die einzelnen Fertigungsstufen an den entsprechenden Arbeitsplätzen bzw. Montagepositionen benötigt werden. Über eventuell notwendige Zwischenlager bildet der Versand die Schnittstelle zur Distributionslogistik.<sup>16</sup>

### **2.4.3 Distributionslogistik**

Die grundlegende Aufgabe der Distributionslogistik ist die bedarfsgerechte Versorgung der Abnehmer/Konsumenten mit den Handelsgütern. Der Waren-, Material- und Informationsfluss endet nicht im Warenausgang, sondern bildet eine definierte Schnittstelle zum Kunden. Durch diese Interaktion und das Angebot optionaler Tätigkeiten wie bspw. das kundenspezifische Kommissionieren oder Verpacken, wird der Lieferservicegrad erhöht. Zusätzlich zum klassischen Absatzmarkt, befasst sich die Distributionslogistik auch mit der Bedienung des Ersatzteilmarkts. Die Distributionslogistik hat einen maßgeblichen Anteil an den Logistikgesamtkosten.<sup>17</sup>

### **2.4.4 Entsorgungslogistik**

Die Entsorgungslogistik beschreibt alle koordinativen und operativen Tätigkeiten, die sich mit der Entsorgung von Reststoffen über die komplette Logistikkette befassen. In Kombination mit der vorwärts gerichteten Logistikkette (Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik) bildet die Entsorgungslogistik einen Kreislauf, der den Ansatz „Vermeiden vor Verwerten und Verwerten vor Beseitigen“ verfolgt. Durch die abfallrechtlichen Vorschriften wird das Ausmaß der Entsorgung maßgeblich beeinflusst. Das hat zur Folge, dass Reststoffe einer Verpackung nicht deponiert oder verwertet werden dürfen, sondern im Gegenteil die Forderung, die Materialien dem Recycling-Prozess sortenrein zuzuführen, erfüllt werden muss.

---

<sup>15</sup> Vgl. Martin (2014), S. 6.

<sup>16</sup> Vgl. Martin (2014), S. 6.

<sup>17</sup> Vgl. Martin (2014), S. 6f.

Die Kosten für die Entsorgung können durch folgende Methodik vermindert werden:<sup>18</sup>

- Abfallvermeidung (intensive Verwendung von recyclingfähiger Verpackung)
- Abfallreduktion
- Weiterverwendung, z. B. wiederbefüllbare Getränkeverpackung
- Wiederverwendung, z. B. Glas
- Weiterverwertung, z. B. als Ersatzbrennstoff

## 2.5 Logistikzentren

Der Fokus von einem Logistikzentrum, liegt in der Bündelung diverser logistischer Tätigkeiten an einem Standort. Diese Spezialisierung ermöglicht die Installation einer effizienten Prozesskette und folglich niedrigere Logistikkosten. Grundsätzlich gibt es drei Typen von Logistikzentren: die offenen, die geschlossenen und die Güterverkehrszentren (GVZ).

Beim offenen Logistikzentrum sind mehrere Gebäudekomplexe direkt an die unterschiedlichen Transportnetze, wie Straße, Schiene, Luft und Wasser angebunden. Diese Struktur verbindet die internen Logistikunternehmen von Firmen, Speditionen und andere Logistikdienstleistern. Typischerweise sind Bahnhöfe, Flughäfen und Binnen- bzw. Seehäfen Modelle von offenen Logistikzentren.

Die Güterverkehrszentren liegen üblicherweise im Umland von Ballungszentren und Großstädten und haben die Aufgabe alle Transportaktivitäten, die das Ballungszentrum betreffen, zusammenzufassen.

Im Gegensatz zum offenen Logistikzentrum sind beim geschlossenen Logistikzentrum alle leistungserbringenden Stellen in einen zusammenhängenden Gebäudekomplex integriert. Typischerweise verfügen die geschlossenen Logistikzentren über eine Anbindung an das Transportnetz der Straße und in Ausnahmefällen auch einen Zugang zum Schienennetz. Beispielhaft für geschlossene Logistikzentren sind Distributions-, Versand-, Lager-, Warenverteil-, Versorgungs- und Umschlagszentren.

Abhängig vom business model werden Dienstleistungen entweder exklusiv für einen oder für mehrere Kunden durchgeführt. Diese Ausrichtung hat signifikanten Einfluss auf die Flexibilität der erforderlichen Lagertechnik. Folgende logistische Leistungen sind ein grundlegender Bestandteil der geschlossenen Logistikzentren:

- Lagern diverser Sachgüter
- Kommissionieren der Aufträge
- Umschlagen von Transferware

Die Kernkompetenz des geschlossenen Logistikzentrums wird durch das Angebot von zusätzlichen Dienstleistungen ausgebaut:

- Qualitätssicherung
- Reklamationsbearbeitung
- Montagearbeiten

---

<sup>18</sup> Vgl. Martin (2014), S. 8.

- Retourenbearbeitung
- Entsorgung
- Ver- und Entpackung

In Abb. 10 wird der Ablauf der logistischen Standard- und Zusatzleistungen innerhalb eines Verteilerzentrums dargestellt.<sup>19</sup>

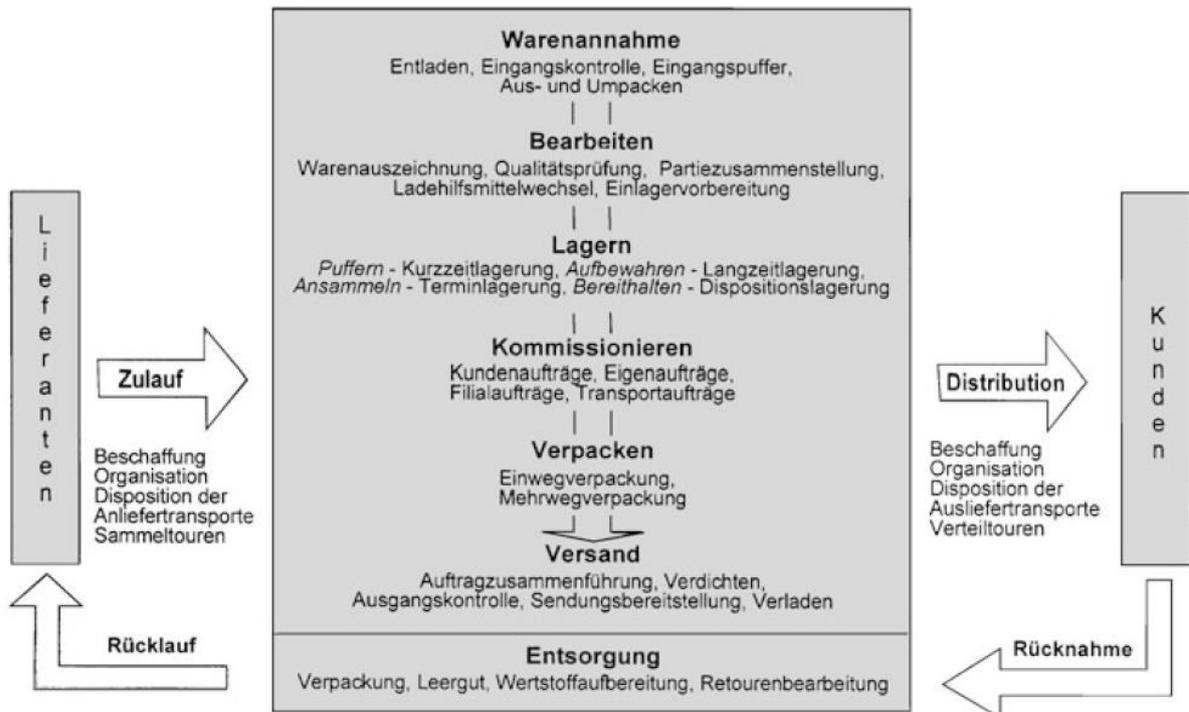


Abb. 10: Funktionen eines Logistikzentrums, Quelle: Gudehus (2012), S. 20.

Ein führender Systemanbieter von schlüsselfertigen Logistikzentren ist die SSI SCHÄFER Automation GmbH. Das in der Abb. 11 dargestellte Logistikzentrum zeigt ein Modell aus der Planungsphase, in dem die zuvor beschriebenen logistischen Leistungen bzw. deren Bereiche schematisch angedeutet sind. Die Abb. zeigt auf der linken Seite im hinteren Bereich der Anlage ein automatisiertes Hochregallager, in welchem die Ware direkt vom Wareneingang übernommen wird. Zusätzlich zum Hochregallager zeigt die Abb. rechts oben einen weiteren Lagerbereich. Nach dem Kommissionieren gelangt die Ware in die Versandvorbereitung (rechts unten) von der sie in weiterer Folge über den Wareneingang auf die LKWs verteilt wird. In der rechten unteren Ecke ist eine Presse für die Entsorgung von Altkartons positioniert.

<sup>19</sup> Vgl. Gudehus (2012), S. 19f.

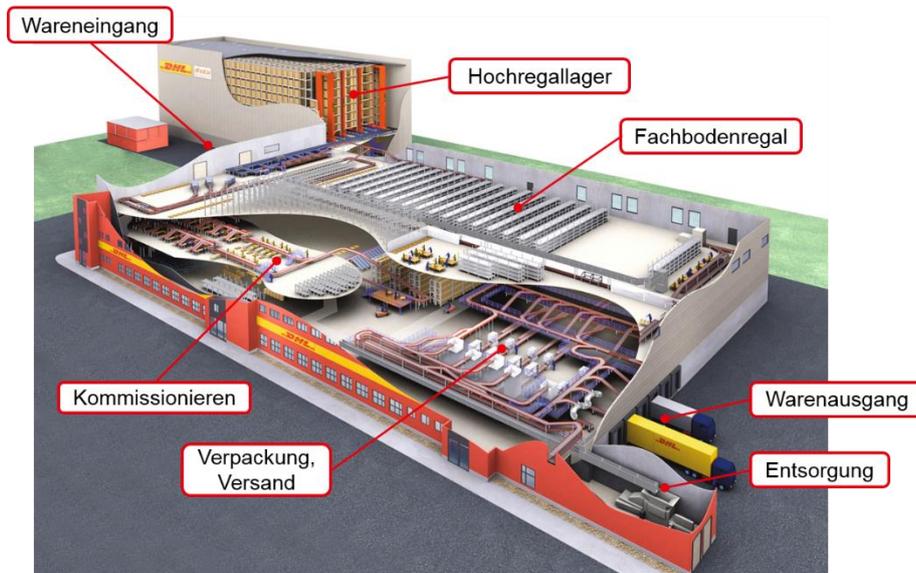


Abb. 11: Modell eines Logistikzentrums, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.

### 2.5.1 Logistikprozesse im Distributionszentrum

Die Distributionslogistik bildet die Schnittstelle zwischen dem produzierenden Unternehmen und dem Absatzmarkt in dem sie alle Aufgaben und Maßnahmen für die Planung und Umsetzung der Warenverteilung gewährleistet. Wie in Abb. 12 dargestellt, gliedert sich die Distributionslogistik in die Elemente Auftragsabwicklung, Lagerhaltung und Transport. In den nachfolgenden Abschnitten werden diese Kernelemente detaillierter behandelt.

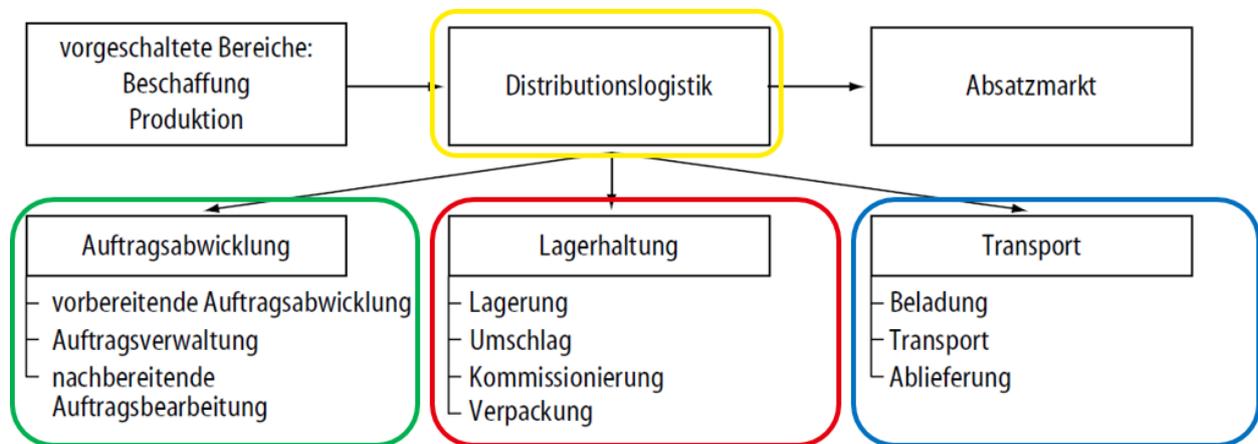


Abb. 12: Elemente der Distributionslogistik, Quelle: Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 406, (leicht modifiziert).

#### Auftragsabwicklung

Die Funktionen der Auftragsabwicklung beschreiben die Erfassung, Aufbereitung, Umsetzung, Weitergabe und Dokumentation der Auftragsdaten sowie den Informationsaustausch und die Kommunikation zwischen Kunde und internen Bereichen. Entscheidend für eine optimale Abwicklung ist ein dem Materialfluss vorausgehender, begleitender und nachfolgender Informationsfluss. Um redundante Datensätze innerhalb des Distributionsprozesses und in weiterer Folge fehlerhafte Lieferungen zu verhindern, ist ein bereichsübergreifendes EDV-System Voraussetzung. Mit einem Anteil von bis zu 75 % an der

Gesamtlieferzeit erfordert eine effiziente Auftragsabwicklung neben den technischen auch organisatorische Strukturen.<sup>20</sup>

### Lagerhaltung

Die Lagerhaltung als Überbegriff beschreibt alle Tätigkeiten die im Zusammenhang mit dem Ein- und Auslagern, Bereithalten, Kommissionieren und Verpacken der Fertigprodukte relevant sind.

Ein volatiles Kaufinteresse und anonyme Konsumenten erfordern ökonomisch sinnvolle Losgrößen im Produktionsprozess mit dem Resultat, dass der Zeitpunkt der Fertigstellung und der Zeitpunkt der Nachfrage häufig verschieden sind. Das *Lager* übernimmt in diesem Zusammenhang die ausgleichende Funktion.<sup>21</sup>

Die entscheidenden Parameter für die Dimensionierung des Lagers sind der Durchsatz (Menge/Zeit) und der Sicherheitsbestand, wobei letzterer maßgeblich den laufenden Lagerbestand beeinflusst.

Das auftragspezifische Gruppieren von Fertigfabrikaten in entsprechende Versandeinheiten wird als *Kommissionieren* bezeichnet. Die Anzahl der Kommissioniervorgänge resultiert aus den Aufträgen pro Zeitraum, der Anzahl der Positionen pro Auftrag und der Anzahl der Einheiten pro Position.

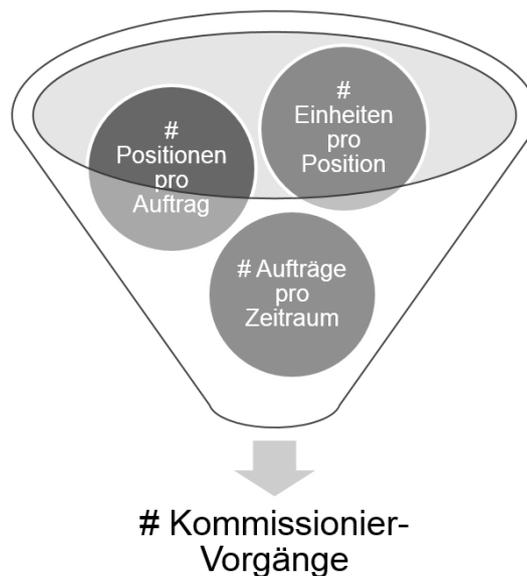


Abb. 13: Kommissionierfrequenz Quelle: Eigene Darstellung.

Bei der *Verpackung* handelt es sich um eine lösbare Umhüllung eines Produktes, dass die Lager-, Transport- und Umschlagstätigkeit wesentlich vereinfacht, den Verpackungsinhalt vor Qualitätsminderung schützt und die Identifikation des Fördergutes sicherstellt, wobei letzteres durch das Anbringen von Barcodes auf der Verpackung eine Lokalisierung des Fördergutes und Ermittlung des entsprechenden

---

<sup>20</sup> Vgl. Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 406 f.

<sup>21</sup> Vgl. Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 406.

Verpackungsinhaltes innerhalb der Logistikkette ermöglicht. In zweiter Instanz dient die Verpackung als Designelement um die Wiedererkennung und das Kaufinteresse bei den Endkunden zu steigern.<sup>22</sup>

## Transport

Die notwendige Raumausgleichsfunktion in der Distributionslogistik, aufgrund der für gewöhnlich vorhandenen räumlichen Trennung zwischen Produktionsstandort und Absatzmarkt, wird mit den geeigneten Transportmitteln und Verkehrsträgern realisiert.<sup>23</sup>

Abhängig von der räumlichen Dimension der Lieferkette, kommen unterschiedliche Kombinationen, der für den Gütertransport geeigneten Verkehrsträger LKW, Eisenbahn, Schiff und Flugzeug zum Einsatz.

Die Anforderung Waren von unterschiedlichen Lagerstandorten an individuelle Lieferziele zeitlich flexibel zu verteilen, ist der Hauptgrund warum der LKW als Transportmittel eine wesentliche Größe in der Lieferkette darstellt. Nicht termingerechte Lieferungen aufgrund von Verkehrsstörungen und die begrenzte Transportkapazität sind die Schwachpunkte des LKWs.

Der Transport mit der Eisenbahn ermöglicht im Vergleich zum LKW deutlich größere Einzelladungsgewichte sowie eine höhere Planungssicherheit bei der Terminierung. Nachteilig auf die Bedienung unterschiedlicher Nachfrageorte wirkt sich die fehlende Flexibilität im Schienennetz aus.

Bei zeitkritischen Lieferungen über große Distanzen ist das Flugzeug das ideale Verkehrsmittel. Die Nachteile der Fluglieferung sind jedoch die relativ hohen Kosten pro Einheit und das verhältnismäßig grobe Verkehrsnetz.

Der signifikante Vorteil des Verkehrsträgers Schiff liegt in den äußerst geringen Transportkosten pro Einheit, die sich aus den immensen Transportkapazitäten ableiten. Als ungünstig für eine flexible Planung und Belieferung erweisen sich eine lange Transportzeit, sowie das Hafennetz mit den anschließenden Wasserstraßen.<sup>24</sup>

## 2.6 Materialfluss

Gemäß der VDI-Richtlinie 3300 beschreibt der Materialfluss die zeitliche, örtliche und organisatorische Verkettung jener Vorgänge, die innerhalb eines definierten Systems, bei der Gewinnung, Bearbeitung und Verteilung von Gütern notwendig sind.<sup>25</sup>

Aus der Sicht des Unternehmens kann prinzipiell zwischen einem externen Warenfluss und einem internen Materialfluss differenziert werden. Bezogen auf den innerbetrieblichen Materialfluss ergeben sich in Abhängigkeit der Betrachtungstiefe verschiedene Systemgrenzen. Auf oberster Ebene bilden beispielsweise der Beschaffungs- bzw. der Absatzmarkt die Schnittstellen des Materialflusses. Im Vergleich

---

<sup>22</sup> Vgl. Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 407.

<sup>23</sup> Vgl. Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 408.

<sup>24</sup> Vgl. Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 408 f.

<sup>25</sup> Vgl. Martin (2014), S. 22.

dazu repräsentiert ein Arbeitsgang innerhalb eines Arbeitsplatzes einen Systembereich der untersten Ebenen. Nachfolgende Elemente können Teil des Materialflusses sein:<sup>26</sup>

- Objekte, deren Systemzustand verändert wird:
  - Waren
  - Personen
  - Informationen
  - Energie
- Arbeitsmittel, die notwendig sind um den Wandel herbeizuführen:
  - Materialflussmittel
  - Produktionsmittel
  - Informationsflussmittel
  - Infrastruktur

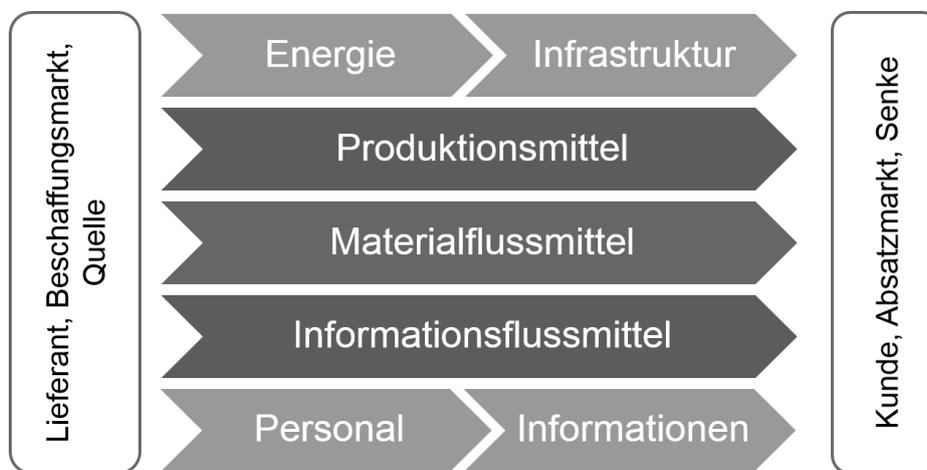


Abb. 14: Elemente des Materialflusses, Quelle: Eigene Darstellung.

Eine sequentielle Anordnung von mindestens zwei Elementen, stellt die einfachste Form eines Materialflusssystems dar. In Bezug auf die Logistik bedeutet das eine Modifikation der Attribute Zeit, Ort, Menge, Zusammensetzung und Qualität.

Im unternehmerischen Umfeld obliegt dem Materialfluss die Aufgabe die einzelnen Prozessschritte der Fertigung und Montage zu vernetzen und die bedarfsgerechte Versorgung sicherzustellen. Für einen optimalen Materialfluss ist die Materialflusstechnik ein wichtiger Faktor, um die folgenden Tätigkeiten effizient durchzuführen.<sup>27</sup>

- Lagern (Pufferung, Langzeitübevorrat)
- Prüfen (ohne den Fluss zu unterbrechen)
- Transportieren
- Kommissionieren
- Bilden von Ladeeinheiten

---

<sup>26</sup> Vgl. Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 371.

<sup>27</sup> Vgl. Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 371f.

Abgesehen von den bereits angeführten Tätigkeiten ist es ebenfalls Aufgabe des Materialflusses Engpass-Stellen aufzuzeigen.

In den nachfolgenden Kapiteln liegt der Fokus auf der in der Materialflusstechnik eingegliederten Fördertechnik.

## 2.7 Fördertechnik

Die Fördertechnik ist für die Realisierung des Materialflusskonzeptes essentiell. Per Definition beschreibt die Fördertechnik den richtungsunabhängigen Transfer von Waren über beschränkte Distanzen durch technische Einrichtungen. Als Teil der Transporttechnik liegt der Fokus der Fördertechnik auf der Entwicklung und Konstruktion der für den innerbetrieblichen Transport benötigten Fördermittel. Werden mehrere Fördermittel miteinander gekoppelt, handelt es sich um ein Fördersystem. Bestimmend für die Auslegung und den Aufbau eines Fördersystems, sind in erster Linie das Fördergut, der Fördervorgang und das Fördermittel unter der Berücksichtigung der ökonomischen und technischen Anforderungen. Für die Beschreibung der Leistungsfähigkeit des Fördersystems ist der Durchsatz die maßgebende Kenngröße.<sup>28</sup>

In den nachfolgenden Kapiteln, werden die charakterisierenden Größen (Fördergut, Fördermittel, Durchsatz) des Fördersystems erörtert.

### 2.7.1 Fördergut

Im Kontext der Intralogistik ist die Gliederung der Fördergüter in die Kategorien Stückgut und Schüttgut zweckmäßig. Beispiele der einzelnen Klassen sind in der Tab. 1 angeführt.

Stückgut	Schüttgut
<ul style="list-style-type: none"><li>• Karton</li><li>• Behälter</li><li>• Palette</li><li>• Container</li><li>• Flaschen</li><li>• Kleidungsstück</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sand</li><li>• Getreide</li><li>• Kohle</li><li>• Zement</li><li>• Sägespäne</li><li>• Mehl</li></ul>

Tab. 1: Beispiele von Stück- bzw. Schüttgut, Quelle: Eigene Darstellung.

---

<sup>28</sup> Vgl. Klaus/Krieger (2008), S. 419 ff.

Für die Konzeption, Auslegung, Planung und den Betrieb der Fördertechnik sind die Eigenschaften des Fördergutes elementar.

Einzelelemente, die während des Transports ihre Form nicht ändern und als Einheit manipuliert werden können, werden als Stückgut deklariert. Eine Spezifizierung kann anhand folgender Kriterien vorgenommen werden:

- Geometrie (Aussenabmessungen, Form, Bodenstruktur)
- Physikalische Eigenschaften (Gewicht, Material, brennbar, zerbrechlich)
- Spezifische Eigenschaften (stapelbar, nestbar, temperaturempfindlich)

Das Schüttgut hingegen ändert üblicherweise während des Transports aufgrund der vorhandenen Fließfähigkeit seine Gestalt. Für die Herstellung einer Einheit ist ein zusätzliches Hilfsmittel notwendig, da es als stückiges, körniges oder staubiges Massengut vorhanden sein kann. Eine Klassifizierung erfolgt anhand folgender Parameter:<sup>29</sup>

- Böschungswinkel  $\beta_R/^\circ$
- Schüttdichte  $\rho_s/t\ m^{-3}$
- Korngröße  $a'/mm$

Für die nachfolgenden Themengebiete ist das Stückgut aufgrund seiner Relevanz in der Intralogistik das Fördergut auf dem der Fokus liegt. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass es sich beim betrachteten Fördertechnikbaukasten „FT+“ um Kleinteileförderertechnik für Behälter, Kartons und Tablete in verschiedenen Größen und Formen (kubisch/konisch) bis zu einem maximalen Fördergutgewicht von 35 kg bzw. 50 kg in der Ausprägung „50FT+“ handelt.

---

<sup>29</sup> Vgl. Martin (2014), S. 59ff.

## 2.7.2 Fördermittel

Der Begriff Fördermittel beschreibt alle technischen Hilfsmittel, die für die Umsetzung des innerbetrieblichen Materialflusses notwendig sind. Im Konkreten geht es um die logistischen Funktionen Fördern, Umschlagen, Puffern, Lagern und Kommissionieren. Eine prinzipielle Unterteilung nach dem Arbeitsprinzip ist in Abb. 15 dargestellt. Das Arbeitsprinzip bezieht sich auf den Fördervorgang des Fördermittels.<sup>30</sup>



Abb. 15: Einteilung Fördermittel, Quelle: Eigene Darstellung.

Der **Stetigförderer** realisiert einen kontinuierlichen Fördergutfluss über eine längere Zeitdauer hinweg. Die Förderrichtung wie auch der Transportweg sind hierbei fest vorgegeben. Für den Be- und Entladevorgang ist es nicht erforderlich den Fördergutfluss zu unterbrechen. Zusätzlich ist möglich entlang der gesamten Förderstrecke die Be- und Entladung durchzuführen. Aufgrund dessen, dass für den Betrieb des Förderers keine personellen Ressourcen notwendig sind, ist die Automatisierbarkeit in hohem Maße gegeben. Mit Hinblick auf eine Änderung der Transportaufgabe oder einer Steigerung der Leistungsfähigkeit ergeben sich konzeptbedingt Schwierigkeiten. Grundsätzlich gibt es je nach Fördergut-Kategorie unterschiedliche Ausprägungen von Stetigförderern.<sup>31</sup> Für den Bereich der Logistikzentren und den Verlauf der Arbeit ist jedoch der stetige Stückgutförderer relevant.

Der **Unstetigförderer** transportiert das Fördergut diskontinuierlich zwischen der Aufgabe- u. Abgabestelle, wobei dies nur an definierten Standorten mit einem geeigneten Lastaufnahmemittel erfolgen kann. Die Fördertätigkeit besteht im Wesentlichen aus einem Last- und Leerspiel und aus Stillstandszeiten für den Be- und Entladevorgang. Die universelle Verwendbarkeit wirkt sich bei einer häufig auftretenden Änderung

<sup>30</sup> Vgl. Martin (2014), S. 99.

<sup>31</sup> Vgl. Martin (2014), S. 132.

der Transportaufgabe positiv aus. Im Vergleich mit dem Stetigförderer ist ein automatisierter Arbeitsablauf nur mit hohem Aufwand realisierbar. Zusätzlich wirkt sich für die Bedienung notwendiges Personal negativ auf die Betriebskosten aus.<sup>32</sup>

Bei der Auswahl des Fördermittels sind die grundlegenden Ansprüche der Anwendung, wie beispielsweise Varianz des Fördergutes, Be- und Entladung, Durchsatzraten, Erweiterbarkeit, Automatisierungsgrad und Integrationsfähigkeit des Systems, maßgebend zu berücksichtigen. Die für die Investitionsentscheidung erforderliche Rentabilität wird durch die Flexibilität dieser Kriterien erhöht.

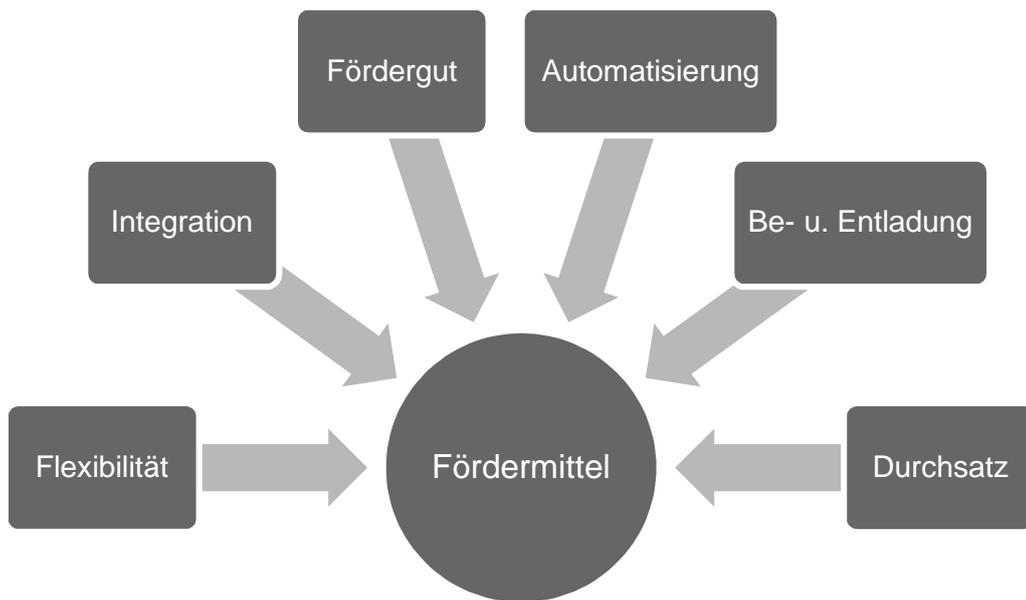


Abb. 16: Einflussfaktoren für die Auswahl des Fördermittels, Quelle: Eigene Darstellung.

---

<sup>32</sup> Vgl. Martin (2014), S. 215.

### 2.7.3 Durchsatz

Der Durchsatz ist eine signifikante Kenngröße in der Planung und Auslegung von Intralogistikanlagen. Dementsprechend groß ist der Einfluss zum einen auf die Art der Fördertechnik und zum anderen auf die benötigte Fläche.

Der Durchsatz  $\lambda$  ist definiert als Anzahl der transportierten Fördergüter pro Zeiteinheit. Im Falle der Stückgutförderung folgen mehrere Ladungsträger mit der Länge  $l$  in einem Abstand  $s$  bei einer konstanten Fördergeschwindigkeit  $v$ . Diese Forderung wird von staudrucklosen Stetigförderern besser erfüllt als von Unstetigförderern. Die Bewegungsrichtung ist hierbei nicht relevant.

Mit der Anforderung, dass Fördergüter mit unterschiedlichen Längen auf der gleichen Fördertechnik transportiert werden, ändert sich auch die Berechnung des Durchsatzes. Hierbei wird der Einfluss der individuellen Fördergutlängen  $l_i$  und des Fördergutabstands  $s_i$  bei einer mittleren Fördergeschwindigkeit  $\bar{v}$  berücksichtigt.<sup>33</sup>

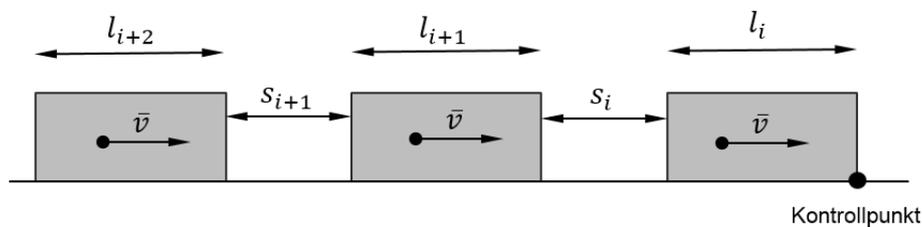


Abb. 17: Schematische Darstellung zur Durchsatzberechnung, Quelle: Eigene Darstellung.

$$\lambda = \frac{n}{ZE} = \frac{v}{s} = \frac{n * \bar{v}}{\sum_{i=1}^n (l_i + s_i)} \quad (2.1)$$

$\lambda/h^{-1}$	Durchsatz
$n/1$	Anzahl der Elemente
$ZE/h$	Zeiteinheit
$v/m \text{ s}^{-1}$	Fördergeschwindigkeit
$s/m$	Abstand
$\bar{v}/m \text{ s}^{-1}$	mittlere Fördergeschwindigkeit
$l_i/m$	Länge des Fördergutelements
$s_i/m$	Abstand zwischen den Fördergutelementen

Abhängig vom Anwendungsfall und der entsprechend verwendeten Fördertechnik sind unterschiedliche Durchsatzraten in der Intralogistik, wie in Tab. 2 dargestellt, möglich bzw. notwendig. Mit Blick auf die Technik erfordern hohe Durchsätze eine besondere Berücksichtigung in der Auslegung.

<sup>33</sup> Vgl. Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 615.

Fördertechnik	Durchsatz	Branche / Bereich
Hängefördertechnik	9000 Stk./ h	Fashion
Sorter	6000 Stk./ h	Versandzentrum
Fördertechnik	1200 Stk./ h	Kleinladungsträger
Shuttle-System	400 Stk./ h	Regallager
Regalbediengerät	200 Stk./ h	Hochregallager

Tab. 2: Übersicht Durchsatzraten, Quelle: Eigene Darstellung.

## 2.8 Standard-Produktlösungen von SSI SCHÄFER Automation GmbH

Die Realisierung von ganzheitlichen Logistiksystemen erfordert aufgrund der unterschiedlichen logistischen Aufgaben im innerbetrieblichen Materialfluss ein vielseitiges Produktportfolio. Abb. 18 zeigt eine Übersicht des Leistungsspektrums mit teilweise spezifischen Produktlösungen. Die kostengünstige und fristgerechte Installation dieser Systeme setzt eine Standardisierung hinsichtlich Mechanik, Elektrik und Steuerung voraus.



Abb. 18: Übersicht SSI Produktlösungen, Quelle: Eigene Darstellung.

### 2.8.1 Fördertechnikkomponenten

Das Fördertechnik-Baukastensystem „FT+“ für Karton, Behälter und Tablette von SSI SCHÄFER Automation unterscheidet zwei Varianten der stetigen Stückgutförderer. Abhängig vom Fördergut und von der Förderaufgabe kommt entweder die Rollen- oder Bandfördertechnik zum Einsatz.

Beide Typen sind für ein maximales Fördergutgewicht von 50 kg ausgelegt. Zusätzlich beinhaltet das Produktspektrum die Möglichkeiten, Funktionen der Fördertechnik zum einem in der Tiefkühlumgebung bis  $-28^{\circ}\text{C}$  und zum anderen als „low-noise“ Ausführung bei 58 dbA, zu gewährleisten.

Unabhängig von der technischen Ausführung definiert die Fördergutabmessung die erforderliche Nennbreite des Fördertechniksystems. Die Nennbreite beschreibt die lichte Weite in mm zwischen den zwei Seitenteilen der Fördertechnik wie in Abb. 19 und Abb. 20 dargestellt. Standardmäßig sind die Fördertechnikkomponenten in den Nennbreiten N275, N325, N425, N525, N625, N725 und N825 verfügbar.

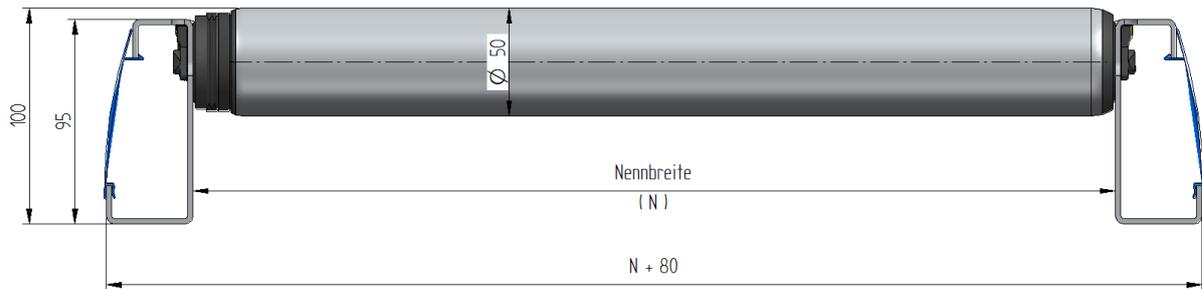


Abb. 19: Profil der Rollenfördertechnik von SSI SCHÄFER Automation, Quelle: Eigene Darstellung.

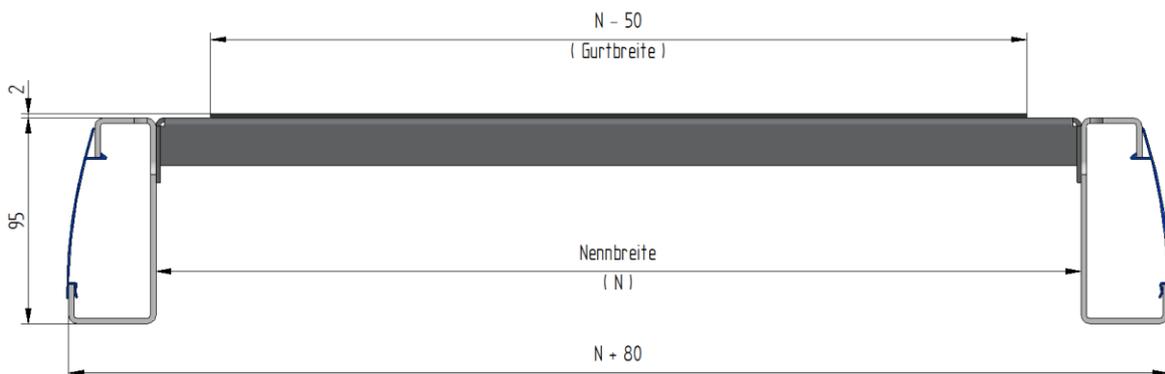


Abb. 20: Profil der Bandfördertechnik von SSI SCHÄFER Automation, Quelle: Eigene Darstellung.

Der Fördertechnikbaukasten erfordert aufgrund der Modularität die Einhaltung von Randbedingungen wie bspw. das Sicherstellen eines minimalen Abstandes von Fördertechnikoberkante (FOK) zu Untergrund oder die Umsetzung einer konsequenten Gleichteilepolitik. Diese Forderungen sind für alle Fördertechnikkomponenten gültig und beeinflussen maßgeblich die technische Ausführung. Abb. 21 zeigt schematisch den zur Verfügung stehenden Bauraum und veranschaulicht den Bezugspunkt der FOK.

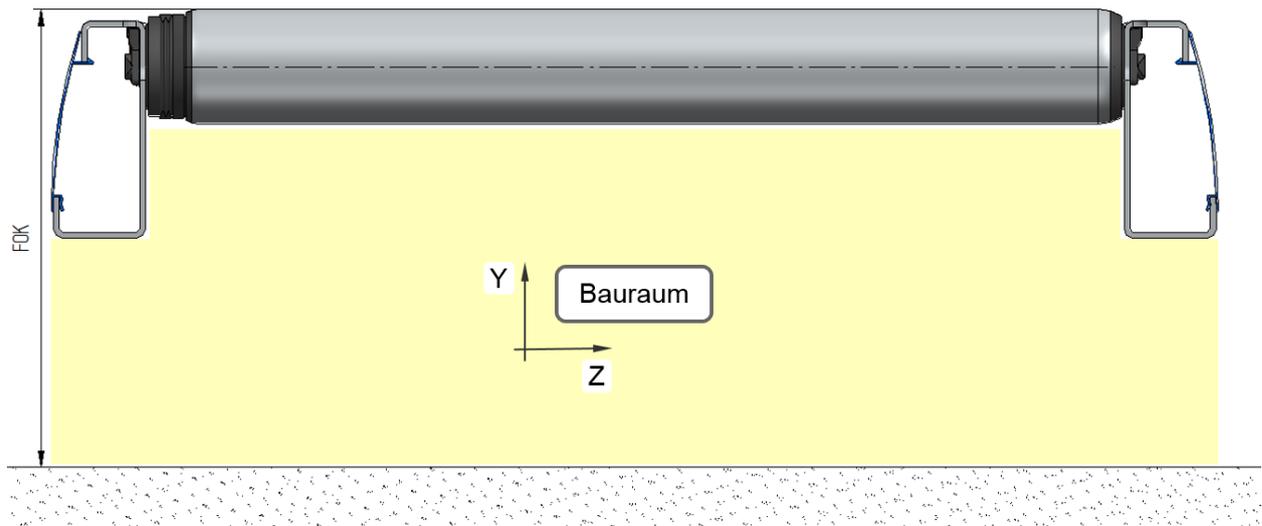


Abb. 21: Fördertechnikoberkante, Quelle: Eigene Darstellung.

Eine breite Auswahl an unterschiedlichen Fördergeschwindigkeiten von 0,3 m/s bis 1,2 m/s, steigert die Skalierbarkeit des Systembaukastens und ermöglicht einen kundenspezifischen Zuschnitt der Lösung.

In den folgenden Unterkapiteln werden die relevanten Standardkomponenten des Fördertechniksystembaukastens detaillierter beschrieben.

### 2.8.1.1 Rollenfördertechnik

Die Rollenfördertechnik wird anhand der Charakteristika Staudruck und Antrieb untergliedert. Wie aus Abb. 22 hervorgeht, verfügen die Rollenförderer mehrheitlich über einen Antrieb. Mit der Forderung das Fördergut schonend zu transportieren kommen die staudrucklosen Förderer vermehrt zum Einsatz. Außerdem bietet diese Ausprägung der Förderstrecke die Option als dynamischer Puffer zwischen Quelle und Senke zu fungieren.

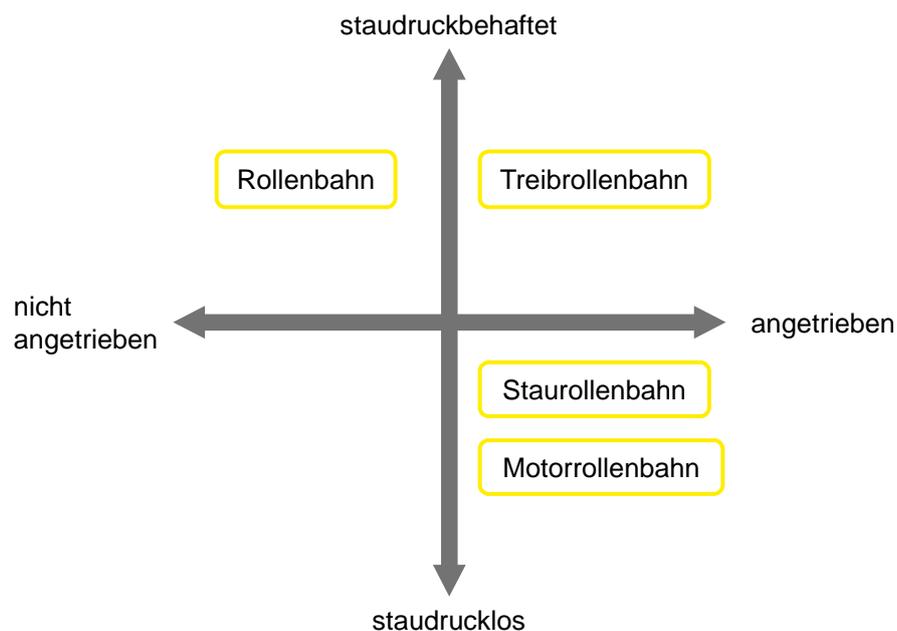


Abb. 22: Unterteilung der Rollenfördertechnik, Quelle: Eigene Darstellung.

Mit der Unterteilung der Rollenfördertechnik in einzelne Segmente, sogenannte Stauplätze (Abb. 23), wird der staudrucklose Betrieb realisiert. Durch diese Segmentierung entsteht ein getakteter Fördergutfluss, bei dem die individuellen Fördergutlängen  $l_i$  nicht relevant sind. Das längste Fördergut definiert die einheitliche Stauplatzlänge  $s_i$  in dem der maximalen Fördergutlänge  $l_i$  ein entsprechender Abstand addiert wird. Der Abstand setzt sich aus der Fördergutgeschwindigkeit und der Rollenteilung zusammen.

Die Rollenteilung (RT) variiert abhängig von der Fördergutlänge zwischen 60 und 90 mm.

$$\lambda = \frac{n * \bar{v}}{\sum_{i=1}^n s_i} \quad (2.2)$$

$\lambda/h^{-1}$	Durchsatz
$n/1$	Anzahl der Elemente
$\bar{v}/m \text{ s}^{-1}$	mittlere Fördergeschwindigkeit
$s_i/m$	Stauplatzlänge

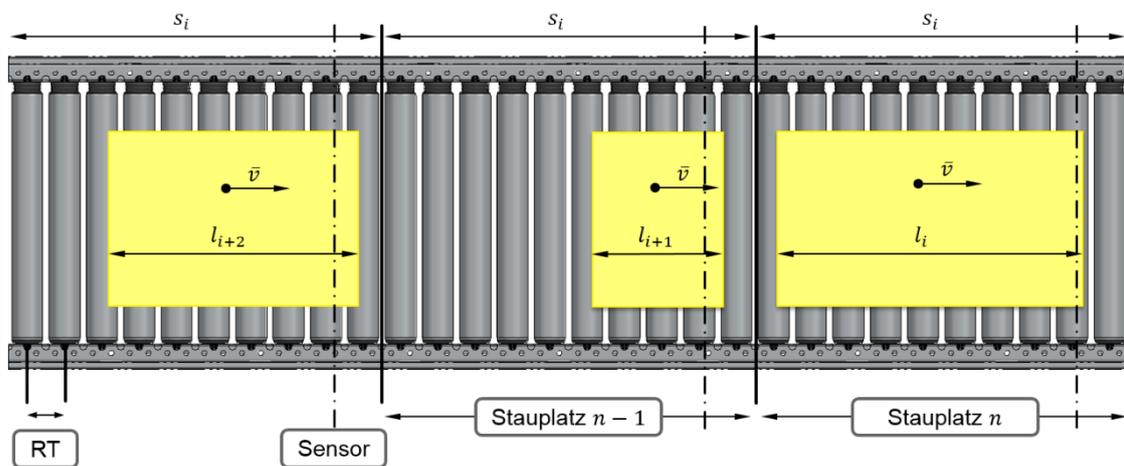


Abb. 23: Schematische Darstellung der Stauplatz Unterteilung, Quelle: Eigene Darstellung.

Für die Umsetzung des staudrucklosen Transports ist der entsprechende mechanische Aufbau ebenso erforderlich wie die Sensorik und Logik. Das primäre Ziel der **Staufunktion** ist eine Kollisionsverhinderung der einzelnen Fördergüter am Förderer und in zweiter Instanz, die Realisierung einer an den Bedarf angepassten Leistungsaufnahme. Die Logik verknüpft die Information der Sensorik vom Stauplatz  $n$  direkt mit der Aktorik vom Stauplatz  $n - 1$  und steuert dadurch die Bewegung der Fördergüter. Der konzeptionelle Ablauf ist in der Abb. 24 als Flussdiagramm dargestellt.

Erkennt die Sensorik, dass der aktuell betrachtete Stauplatz und der Stauplatz davor nicht belegt sind, werden die entsprechenden Laufrollen nicht angetrieben.

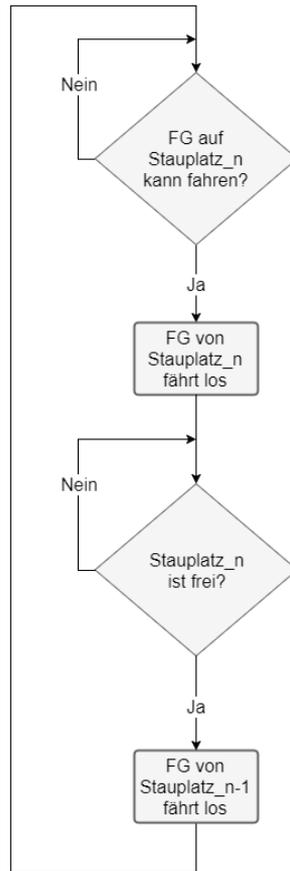


Abb. 24: Flussdiagramm der Staufunktion, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Länge der Fördertechnikstrecke ist ausschlaggebend für die Wahl des Zugmittels und im weiteren Schritt für den Typ des Rollenförderers. In der Rollenförderertechnik wird zwischen zwei Arten von Zugmittel unterschieden:

- Geteilt (MRB)
- Durchgehend (TRB, SRB, etc.)

Bei der Überbrückung von größeren Distanzen ist der Einsatz von Förderern mit durchgehendem Zugmittel aufgrund des höheren Wirkungsgrads optimal. Vorteile des geteilten Zugmittels sind die höhere Wirtschaftlichkeit bei kurzen Längen und die Montage in beengten Einbausituationen, da mehrere Antriebskomponenten entfallen. Darüber hinaus lässt sich mithilfe der MRB eine niedrigere FOK realisieren, da kein zusätzlicher Bauraum für Störkonturen unterhalb der Fördertechnik berücksichtigt werden muss.

### Rollenbahn (RBT)

Die Rollenbahn zählt zu den nicht angetriebenen, staudruckbehafteten Förderertypen. Für den Betrieb ist weder Spannungs- noch Druckluftversorgung notwendig. Die verwendete Technik ist vergleichsweise einfach und kostengünstig aufgebaut. Typische Anwendungen sind die manuelle Aufgabe des Fördergutes im Kommissionierbereich oder in geneigter Ausrichtung als Gefällerrollenbahn im Versandbereich.

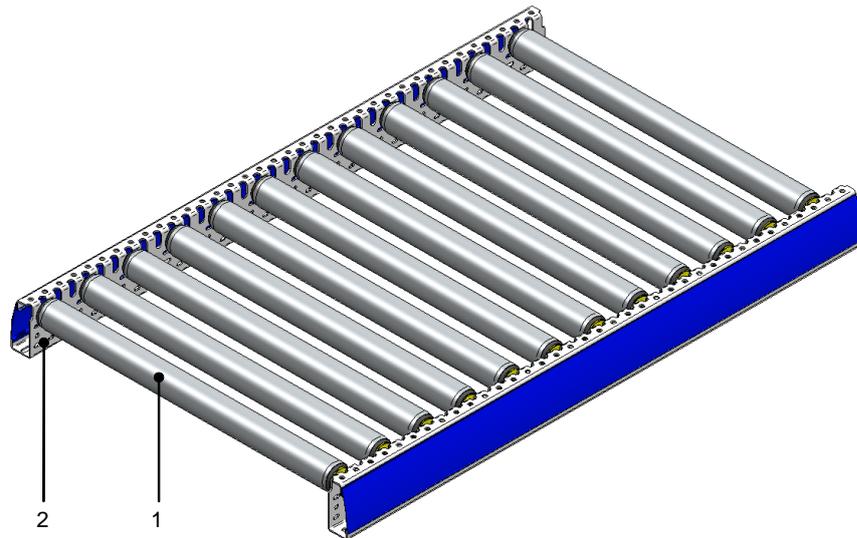


Abb. 25: Rollenbahn: (1) Laufrolle, (2) Seitenteil, Quelle: Eigene Darstellung.

### Treibrollenbahn (TRB)

Die Treibrollenbahn wird primär für die Überbrückung größerer Distanzen, die sich zwischen einzelnen Gebäudekomplexen oder logistischen Funktionsbereichen bilden, eingesetzt. Für den Transportvorgang in dieser Anwendung, ist ein unidirektionaler, staudruckbehafteter Antrieb ausreichend. Das Antriebssystem der Treibrollenbahn wie in Abb. 26 und Abb. 27 dargestellt, besteht aus den Komponenten Antrieb (1), Tangentialriemen (2), Riemenumlenkung (3), Riemenspanner (4), Segmentierung (5), Keilrippenriemen (6) und Laufrolle (7).

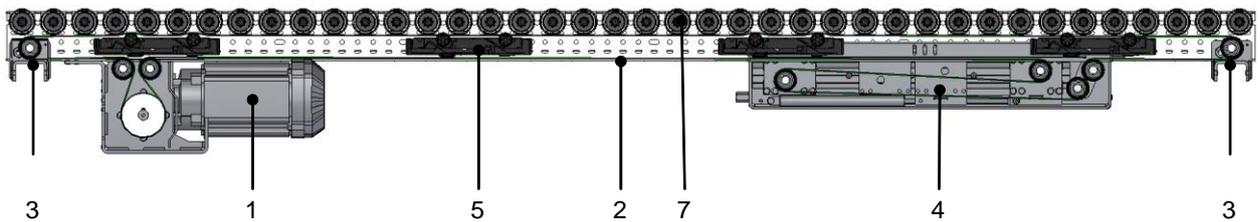


Abb. 26: Schnitt Treibrollenbahn, Quelle: Eigene Darstellung.

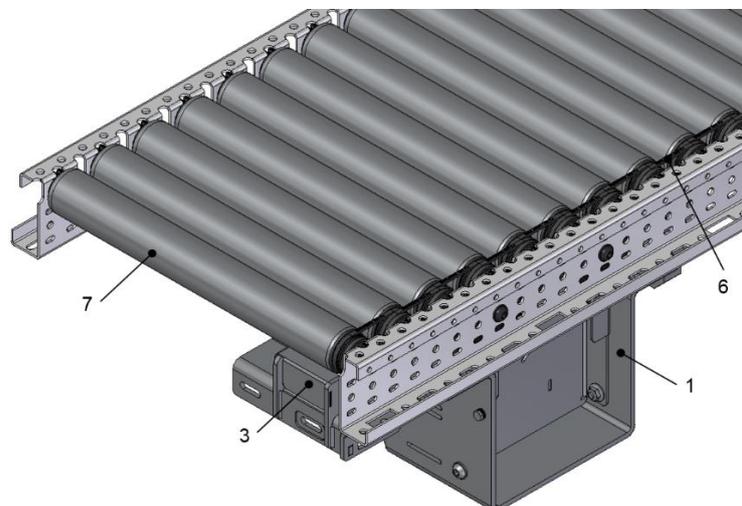


Abb. 27: Iso-Ansicht Detail Treibrollenbahn, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Übertragung der mechanischen Leistung vom elektrischen Antrieb auf die Laufrollen erfolgt nach dem Reibschlussprinzip. Wesentlich dabei sind die Komponenten Tangentialriemen, Segmentierung und Keilrippenriemen, wobei die Segmentierung den Riemen an die Laufrollen drückt und diese somit in Rotation versetzt. Im Betrieb werden alle Laufrollen des Förderers als Kollektiv über den Motor gesteuert. Aus diesem Grund benötigt die Treibrollenbahn keine pneumatische Infrastruktur und keine zusätzliche Sensorik am Förderer.

### Staurollenbahn (SRB)

Die Staurollenbahn basiert technisch auf der Treibrollenbahn mit dem Unterschied, dass die Förderstrecke in Segmente unterteilt ist, um den staudrucklosen Fördervorgang zu gewährleisten (Abb. 28). Diese zusätzliche Funktionalität wird durch einen pneumatischen Aktor in der Komponente „Segmentierung“ realisiert. Dabei werden in Abhängigkeit der Staufunktion die Laufrollen angetrieben oder gebremst. Die Steuerung der einzelnen Stauplätze übernimmt ein Lichttaster (1), dessen Signal direkt mit dem Magnetventil des Pneumatikzylinders verknüpft ist.

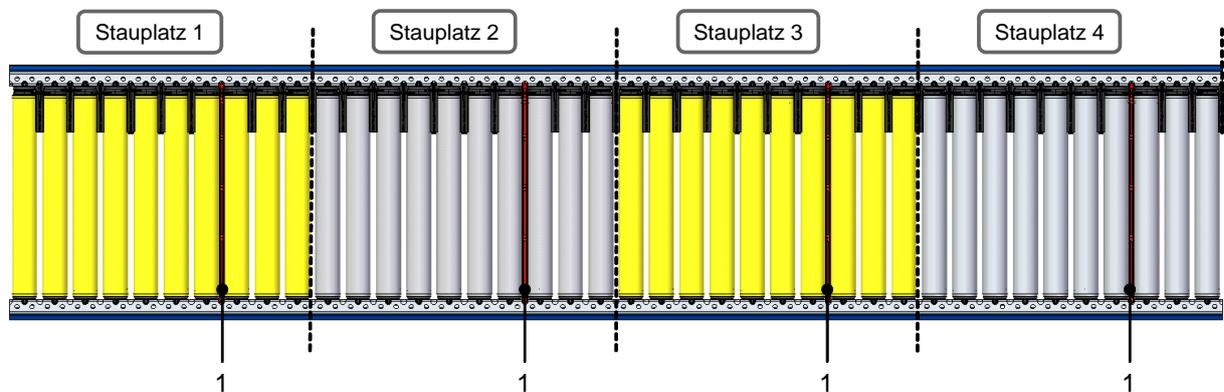


Abb. 28: Stauplatzeinteilung einer SRB, Quelle: Eigene Darstellung.

### Motorrollenbahn (MRB)

Die Motorrollenbahn hat die gleiche Funktionalität wie die zuvor beschriebene SRB. Das Antriebssystem unterscheidet sich jedoch deutlich. Zum einen erfolgt bei der MRB die Leistungsübertragung über ein geteiltes Zugmittel (4) und zum anderen wird jeder Stauplatz über einen separaten Trommelmotor (3) angetrieben. Dadurch entfallen alle für den Tangentialriementrieb benötigten Komponenten und ermöglichen somit einen ausschließlich elektrisch betriebenen Förderer. Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist die kompakte Bauweise des Trommelmotors der sich in den Außenabmessungen nicht von einer herkömmlichen Laufrolle (1) unterscheidet. Abhängig vom Fördergutgewicht können auch mehrere Trommelmotoren pro Stauplatz notwendig sein. Aufgrund der Tatsache, dass jeder einzelne Stauplatz der MRB über einen eigenen Antrieb in Form eines Trommelmotors verfügt, ist die SRB ab einer gewissen Fördererlänge die kostengünstigere Lösung.

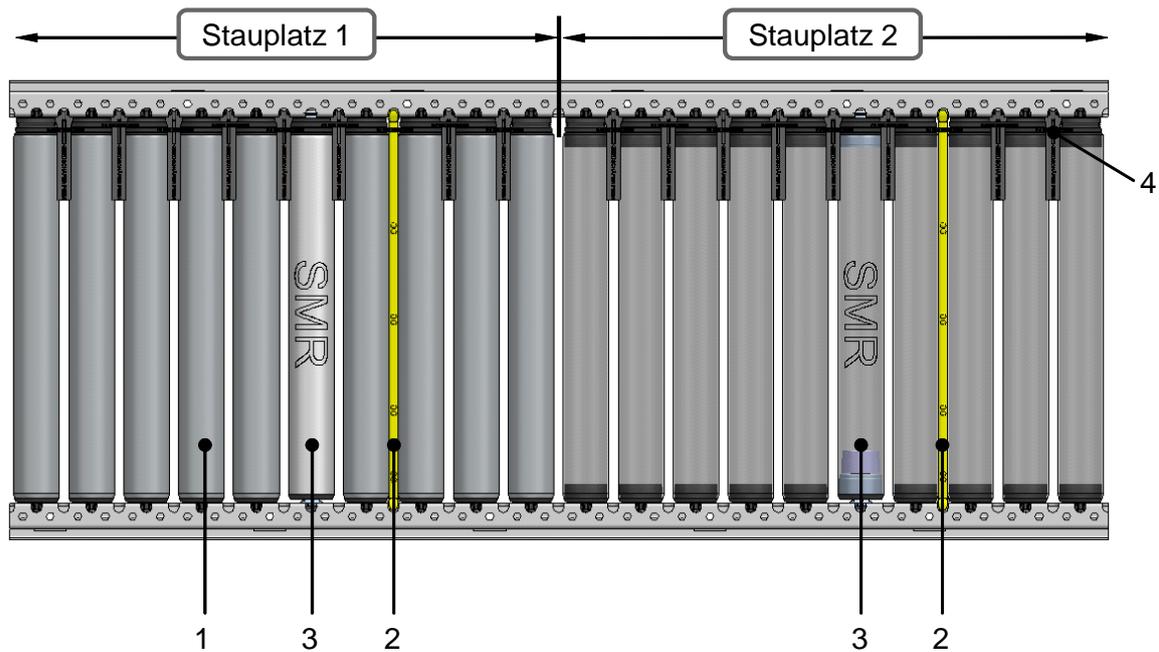


Abb. 29: Draufsicht MRB: Laufrolle (1), Lichttaster (2), Trommelmotor (3), Keilrippenriemen (4), Quelle: Eigene Darstellung.

### 2.8.1.2 Bandfördertechnik

Die primäre logistische Aufgabe der Bandfördertechnik in Logistikzentren ist der stetige, staudruckbehaftete Transport über größere Distanzen und über unterschiedliche Höhenniveaus. Kennzeichnend für den technischen Aufbau ist einerseits die Verwendung eines endlosen Gurtes als Zug- und Tragmittel und andererseits dessen gleitende oder rollende Abtragung. Abhängig von der Anwendung kommen verschiedene Gurttypen zum Einsatz:

- der Glattgurt für den horizontalen Transport
- der Rau- oder Rillengurt für den Transport über Steigungen und Gefälle
- der Stollengurt beim Transport von kleinen und rotationsymmetrischen Fördergütern

Infolgedessen bestehen keine speziellen Anforderungen an das Fördergut hinsichtlich Geometrie und Beschaffenheit.

Aufgrund des relativ einfachen Aufbaus erlaubt der Bandförderer die kostengünstige Umsetzung mittlerer und längerer Förderstrecken.

#### Förderband (FB)

Das Förderband besteht aus den Hauptbaugruppen Antriebseinheit, wobei hier abhängig von der Fördererlänge zwischen Front- und Mittenantrieb (1) unterschieden wird, Umlenkung (2), Gurt (3) und Teillänge (4), wie in Abb. 30 dargestellt. Eine direkt mit dem elektrischen Motor verbundene Antriebstrommel überträgt die Leistung per Reibschluss auf den Gurt, wobei die hierfür erforderliche Vorspannung mit der integrierten Spannvorrichtung aufgebracht wird. Die Fördergeschwindigkeit variiert je nach Anwendung zwischen 0,3 und 1,2 m/s.

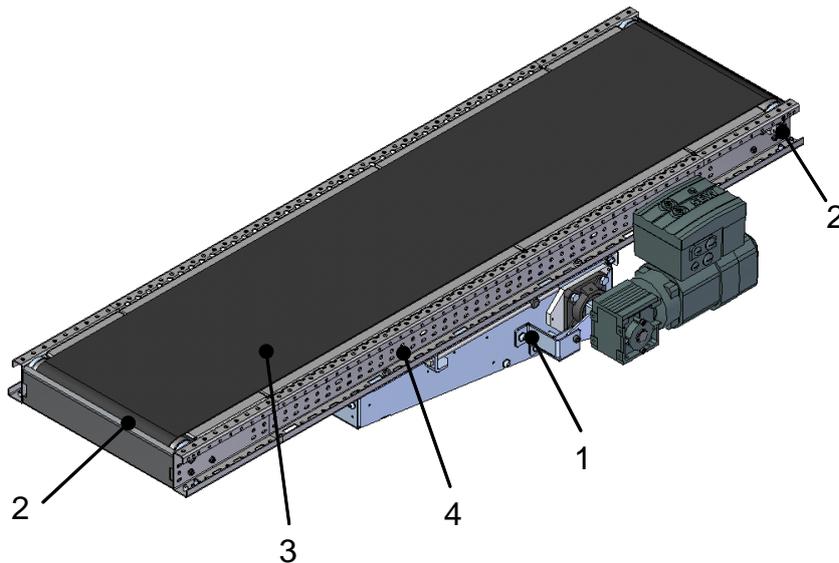


Abb. 30: Förderband, Quelle: Eigene Darstellung.

### **Accumulation Belt Conveyor (ABC)**

Eine Sonderform in der Bandfördertechnik ist der staufähige ABC-Bandförderer mit der Bezeichnung Accumulation Belt Conveyor. Die technische Basis bildet die MRB, bei welcher die Laufrollen eines Stauplatzes anstelle der einzelnen Keilrippenriemen durch einen Gurt miteinander verbunden sind. Der Antrieb erfolgt durch den Trommelmotor der auch gleichzeitig als Umlenkung fungiert. Die Kombination der beiden Fördertechniktypen ermöglicht den staudrucklosen Transport von Fördergütern unabhängig von der geometrischen Form, die Überwindung von eingeschränkten Höhenniveaus und die individuelle Anpassung der Fördergeschwindigkeit am Stauplatz. Der direktproportionale Zusammenhang zwischen der Anzahl der Antriebe und der Anzahl der Stauplätze sowie die Einschränkung des maximalen Fördergutgewichtes in Abhängigkeit der gewählten Neigung sind in der Auswahl zu berücksichtigen.

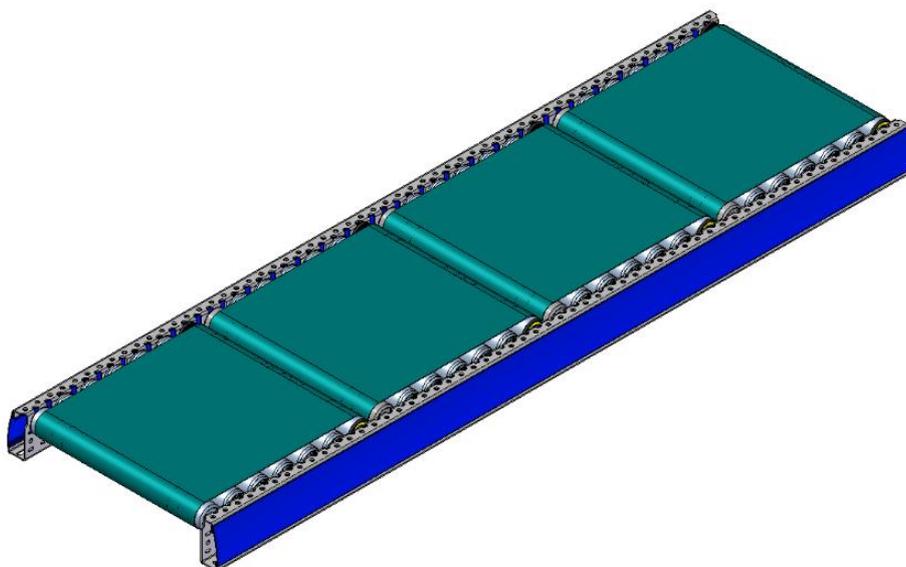


Abb. 31: ABC-Bandförderer mit 4 Stauplätzen, Quelle: Eigene Darstellung.

### Altkarton-Bandförderer

Dieser Förderer wird ausschließlich für den Transport von Kartonagen, Papier und ähnlichen Verpackungsmaterialien eingesetzt. Die Streckenführung beginnt im Wareneingang, in dem bspw. die Überverpackung der angelieferten Waren entfernt wird, führt anschließend in den Kommissionierbereich, in dem leere Lagerkartons manuell aufgegeben werden und endet an einer Kartonpresse.

Grundsätzlich erfordert der Anwendungsfall keine Fördergutgeschwindigkeiten größer 0,3 m/s, stattdessen aber größere Nennbreiten wie N600, N800 und N1000.

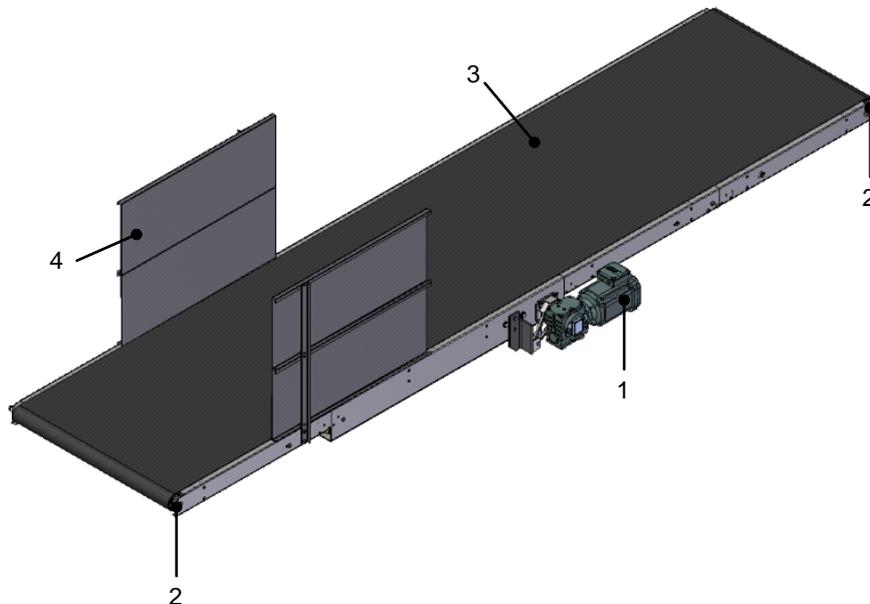


Abb. 32: Bandförderer für Altkartontransport: (1) Antrieb, (2) Umlenkung, (3) Gurt, (4) Geländer, Quelle: Eigene Darstellung.

## 2.8.2 Lagersysteme

Die Lagersysteme gliedern sich in Abhängigkeit des zu transportierenden Fördergutes in folgende Gruppen:

- Großladungsträger
- Kleinladungsträger

Der Bereich der Großladungsträger umfasst das Lagern und Manipulieren von Paletten mit einer Grundfläche von 1,2 m x 0,8 m und einem Gewicht von mehr als 1000 kg bei einer Regalhöhe von bis zu 45 m. Bei den Kleinladungsträgern bilden Fördergüter mit 50 kg und einer Grundfläche von 0,8 m x 0,6 m gemeinsam mit einer maximalen Regalhöhe von 24 m die obere Grenze des Einsatzgebietes. Ein effizienter Lagerprozess erfordert neben leistungsstarken, automatisierten Regalbediengeräten auch eine optimal auf das System abgestimmte Fördertechnik für die Zu- und Abführung. Die in Kapitel 2.8.1 beschriebene Fördertechnik vernetzt bspw. die einzelnen Bereiche im Logistikzentrum mit dem vollautomatischen Regalbediengerät Schäfer Miniload Crane (SMC).

In dem in Abb. 33 gezeigten Lagersystem ist ein doppeltiefes Behälterregal, ein SMC zum Be- und Entladen, und die vorgelagerte Fördertechnik für den Zu- und Abtransport der Waren dargestellt. Um einen

Absturz des Fördergutes in die SMC-Fahrgasse sicher zu verhindern, ist eine versenkbare, mechanische Barriere (Stopper) erforderlich.



Abb. 33: Lagersystem SCHÄFER Miniload Crane, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.

### 2.8.3 Handling Systeme

Das Spektrum der Handling Systeme, das mit der Fördertechnik aus dem Baukastensystem „FT+“ kombinierbar ist, wird in folgende Kategorien unterteilt:

- Papierhandling
- Behälterhandling
- 100 %-Kontrolle

Der Prozess des Papierhandlings umfasst alle Tätigkeiten, die für die auftragspezifische Beigabe von Rechnungen, Belegen, Adressen und Etiketten notwendig sind. Die Problematik, dass unterschiedliche Ladungsträger manipuliert werden müssen, erfordert eine definierte Positionierung zum Handling System wie in Abb. 34 ersichtlich. Erfüllt wird diese Forderung mithilfe eines Stoppers in der Fördertechnik, der im versenkten Zustand eine problemlose Überfahrt des Fördergutes ermöglicht.

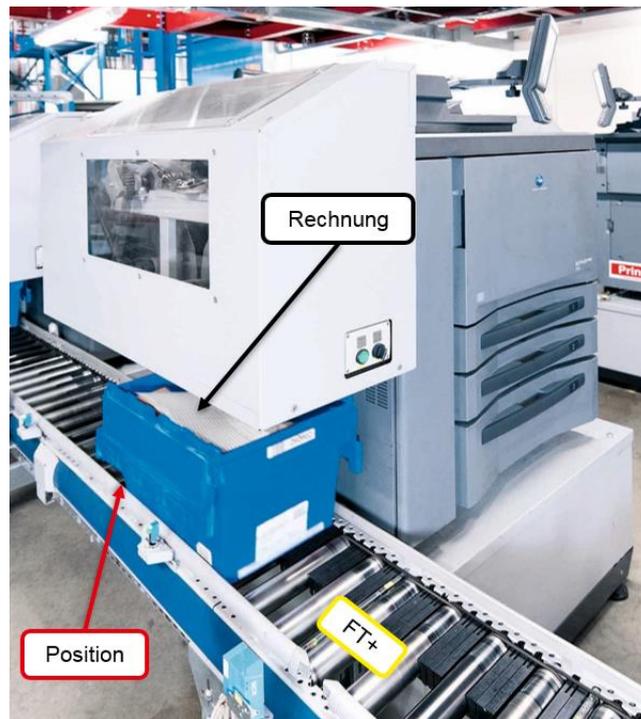


Abb. 34: Rechnungsbeigabe, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.

Abb. 35 zeigt mit dem automatisierten Aufbringen von Labels, einen typischen Arbeitsschritt der Versandvorbereitung, bei dem eine exakte Ausrichtung der Ladungsträger notwendig ist. Zusätzlich zur Positionierung in Förderrichtung werden verdrehte Ladungsträger plan am Stopper ausgerichtet.

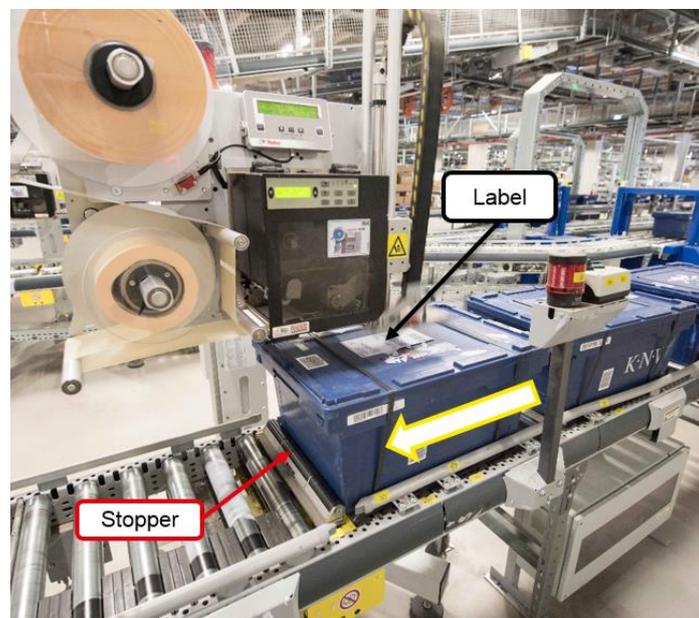


Abb. 35: Labeljet, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.

Zu den typischen Aufgaben des Behälterhandlings zählen das Stapeln und Entstapeln von Behältern und Tablaren, das Schließen und Aufbringen von Deckeln sowie das Be- und Entladen von Tablaren. Im letzten Anwendungsfall (Abb. 36) ist ebenfalls eine exakte Positionierung und Ausrichtung des Ladungsträgers notwendig, um ein zuverlässiges Be- und Entladen mit unterschiedlichen Einzelwaren sicherzustellen.

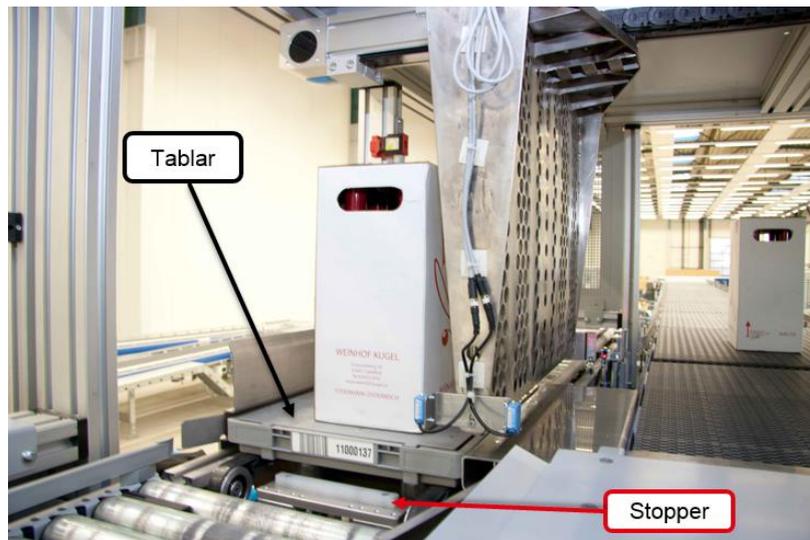


Abb. 36: Tray Loading Station, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.

Die strengeren gesetzlichen Vorgaben hinsichtlich Rückverfolgbarkeit von sensiblen Waren sowie die steigenden Qualitätsstandards bezogen auf die Anzahl der fehlerhaften Kommissionierungen erfordern eine automatisierte 100 %-Kontrolle. Diese Systeme nutzen für die Identifikation unterschiedliche Technologien wie Bildverarbeitung, Scanner und RFID-Reader, die den Produkten und den hohen Fördergeschwindigkeiten angepasst sind.

#### 2.8.4 Kommissionieren

Der Kommissioniervorgang zählt zu den arbeitsintensivsten und in weiterer Folge zu den kostenintensivsten Tätigkeiten in einem Logistikzentrum. Die Produktlösungen passen sich dem jeweiligen Automatisierungsgrad des Distributionszentrums in folgenden Stufen an:

- manuell
- halbautomatisch
- vollautomatisch

Die manuelle Kommissioniertätigkeit folgt dem Person-zur-Ware-Prinzip, bei welchem dem Bedienpersonal die benötigte Information visuell oder auditiv übermittelt wird. Sind höhere Kommissionierleistungen erforderlich, kommt das Ware-zur-Person-Prinzip zum Einsatz. Bei diesem halbautomatischen Kommissioniervorgang werden die Förderstrecken der Bereiche Lager und Versand durch das halbautomatische Kommissioniersystem Pick to Tote miteinander gekoppelt. Die Bedienperson kommissioniert in einer ergonomisch optimierten Umgebung direkt aus dem Lagerladungsträger in einen der Auftragsladungsträger. Um effektiven Personaleinsatz sicherzustellen, ist ein hoher Durchsatz der Fördertechnik und aufgrund dessen eine Positionierhilfe (Stopper) für das Ausschleusen der Ladungsträger in den Slot erforderlich, wie in Abb. 37 dargestellt.



Abb. 37: Kommissionierarbeitsplatz Pick to Tote, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.

Die vollautomatisierten Lösungen sind primär für die Abdeckung von Leistungsspitzen und Gesamttagesleistungen von bis zu 40.000 Stück.

## 2.9 Fördertechnikkomponente Stopper

Wie aus dem Kapitel 2.8 hervorgeht kommt die Fördertechnikkomponente Stopper in unterschiedlichen Bereichen der Intralogistik, in denen eine versenkbare Barriere erforderlich ist, zur Anwendung. Reduziert auf das Resultat des Stoppvorgangs, ergeben sich folgende Gründe für den Einsatz eines Stoppers:

- Positionierung
- Sicherheit

Der Jahresbedarf für den Stopper liegt im hohen dreistelligen Bereich und muss als Element des Baukastensystems „FT+“ die damit einhergehenden Anforderungen erfüllen.



Abb. 38: Beispiele einer Anwendung in der Fördertechnik, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.

## 2.9.1 Funktion

Wie bereits eingangs erwähnt, besteht die prinzipielle Aufgabe des Stoppers darin das Fördergut an einer definierten Position auf der Förderstrecke zu stoppen, ohne dabei die Funktionalität des Transportvorganges zu beeinträchtigen. Die dafür notwendige mechanische Barriere wird über einen vertikal angeordneten Pneumatikzylinder aus- und eingefahren, wobei wesentlich ist, dass sich das Stopperschwert in der unteren Endlage immer unter der Fördertechnikoberkante (FOK) befindet, wie in Abb. 39 dargestellt. In der oberen Endlage hingegen trifft im ungünstigsten Fall das Fördergut ungebremst auf das Stopperschwert auf mit dem Resultat, dass zunächst die Bewegung abrupt gestoppt und in zweiter Konsequenz eine mögliche Schrägstellung des Förderguts korrigiert wird.

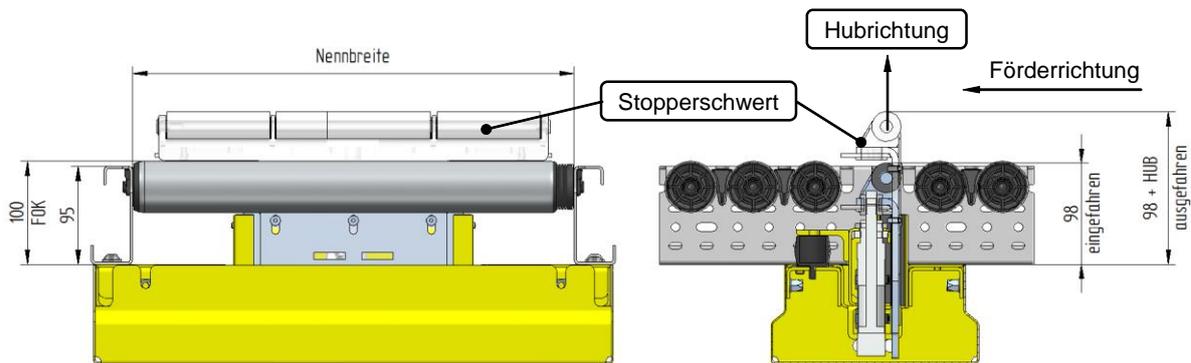


Abb. 39: Darstellung der zwei Hubpositionen, Typ Rollenstopper, Quelle: Eigene Darstellung.

Entscheidend für die auftretenden Kräfte und in weitere Folge für den mechanischen Aufbau des Stoppers ist die vorhandene Fördergeschwindigkeit, die je nach Förderstrecke zwischen 0,3 und 1,2 m/s variieren kann. Ein weiterer wichtiger Aspekt in diesem Zusammenhang ist das Fördergutgewicht, da Fördergüter, die zwischen 35 kg und max. 50 kg Fördergutgewicht aufweisen, einen speziell abgestimmten Stoppertyp erfordern.

Das primäre Einsatzgebiet des Stoppers ist das exakte Positionieren, um Belege und Labels definiert beizulegen bzw. aufzubringen und die Gesamtpositionierzeit bei zeitkritischen Ausschleusevorgängen zu minimieren.

Der wesentliche Unterschied bei der Verwendung als Sicherheitssperre, liegt in der grundsätzlichen Intention etwaige negative Folgen einer Fehlfunktion zu verhindern und ist daher nicht zum permanenten Ausrichten des Fördergutes geeignet.

## 2.9.2 Einbau

Aus den Standard-Einbausituationen leiten sich folgenden drei Grundtypen des Stoppers ab:

- **Rollenstopper**

Beim Einbau des Rollenstoppers gibt es keine Einschränkung hinsichtlich der Position auf der Fördertechnik oder der Art der Rollenfördertechnik von SSI SCHÄFER Automation, jedoch ist eine Rollenteilung von 60 mm notwendig, um die sicherheitstechnischen Anforderungen einzuhalten.

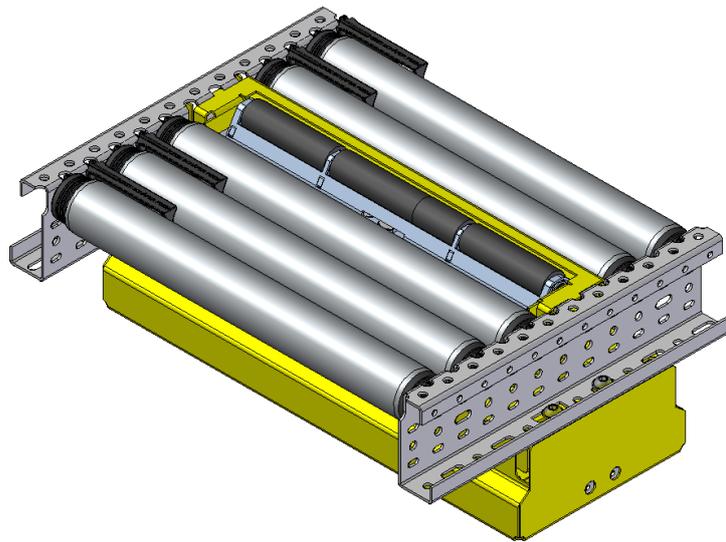


Abb. 40: Einbausituation Rollenstopper, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Abb. 41 zeigt den Einsatz eines Rollenstoppers, der ermöglicht Etiketten in einem definierten Randabstand auf Kartons aufzubringen.

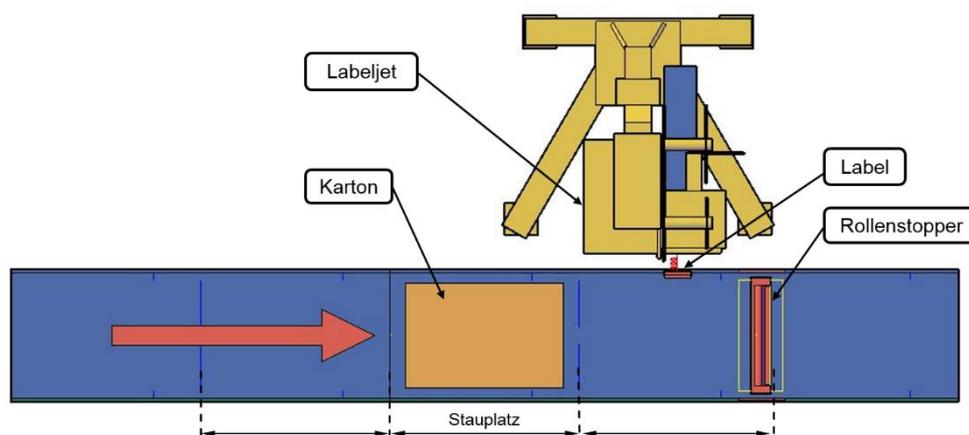


Abb. 41: Einbausituation eines Rollenstoppers im Versandbereich, Quelle: Eigene Darstellung.

▪ **Schwertstopper**

Bei der Verwendung des Schwertstoppers ist es nicht notwendig eine der Laufrollen zu entfernen, da das Schwert im 10 mm breiten Spalt zwischen zwei Laufrollen verfährt.

Dieser Stoppertyp ist in der Variante „50FT+“ auch für Fördergüter schwerer als 35 kg bis maximal 50 kg geeignet, jedoch ändert sich hierbei die erforderliche Rollenteilung auf 90 mm.

Im nachfolgenden Praxisteil dieser Arbeit werden die speziellen konstruktiven Anforderungen des Schwertstoppers und dessen „50FT+“-Variante aufgrund der geringen Stückzahlen ausgenommen.

▪ **Sicherheitssperre**

In der Anwendung als Sicherheitssperre ist eine kompakte Bauweise, bei der die Fördertechnik die Ausprägung des Stoppers in X-Richtung begrenzt, erforderlich. Die Störkontur des RBG resultiert aus den zwei Bewegungsrichtungen, die für das Ein- und Auslagern notwendig sind. Wie in Abb. 42 dargestellt, müssen durch die spezielle Einbausituation zwei Laufrollen der gewählten Nennbreite am Ende des Rollenförderers entfernt werden.

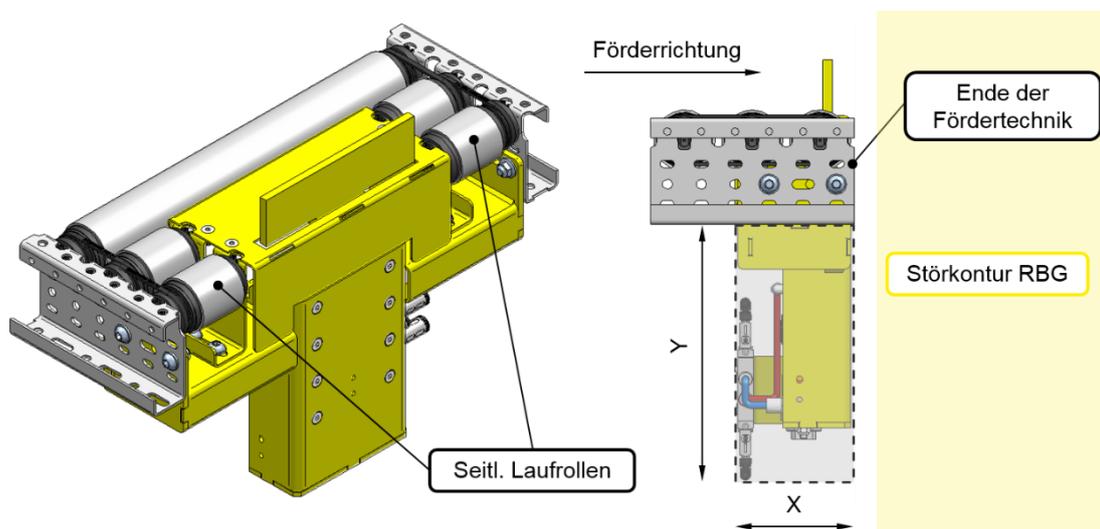


Abb. 42: Einbausituation Sicherheitssperre ausgefahren, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Abb. 43 zeigt eine Anordnung von mehreren Fördertechnikkomponenten (Sicherheitssperre, Riemenausschieber, MRB), die für den Ein- und Auslagervorgang vom RBG das Fördergut an einer definierten Position bereitstellen und abholen.

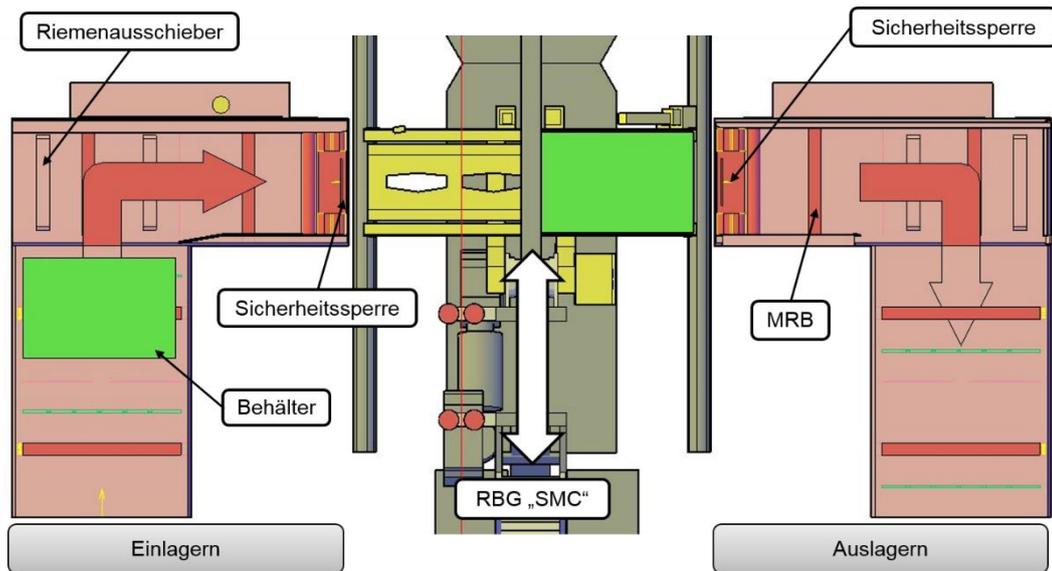


Abb. 43: Layoutausschnitt als Sicherheitsperre, Draufsicht, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.

Die Anordnung der Fördertechnikkomponente Stopper auf dem Rollerförderer mit der vor- und nachgelagerten Sensorik der einzelnen Stauplätze beschreibt die Struktur der Stopperstation.

In Abb. 44 ist das Zusammenspiel der mechanischen und elektrischen Komponenten mit der Steuerung als Ablaufdiagramm vereinfacht dargestellt.

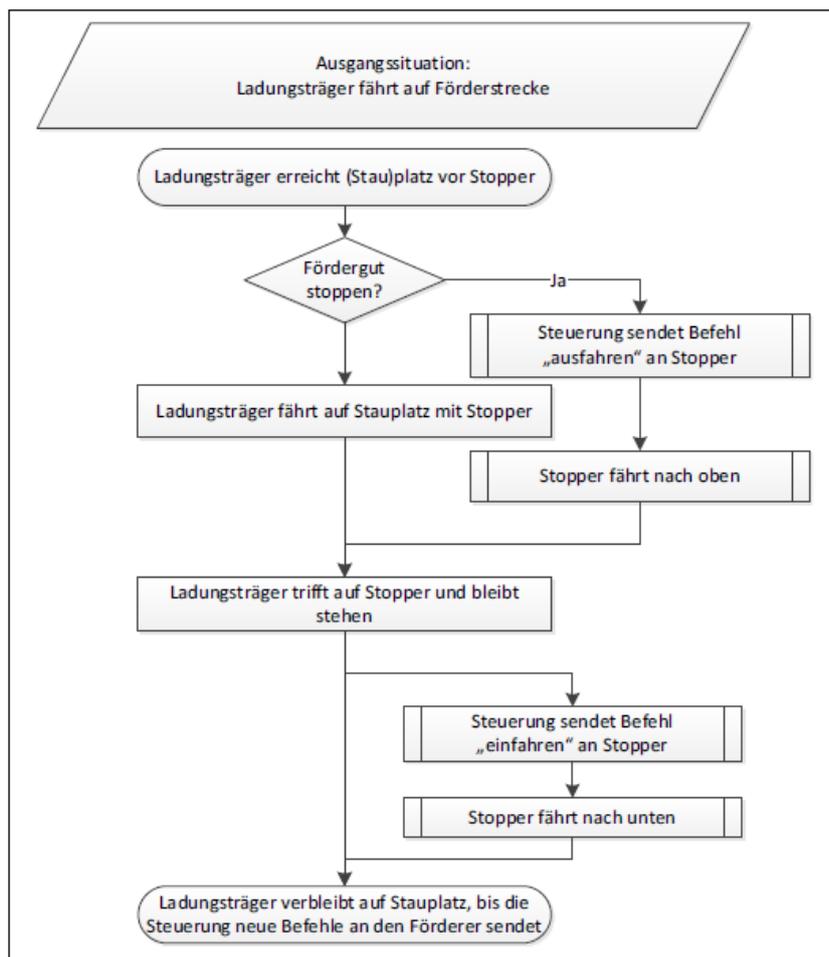


Abb. 44: Vereinfachtes Ablaufdiagramm einer Stopperstation, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.

### **2.9.3 Ausprägungen**

Die nachfolgenden Charakteristika beschreiben die realisierbaren Varianten des Stoppers.

#### **2.9.3.1 Nennbreite**

Die Auswahlmöglichkeit beschränkt sich aufgrund der identischen Nennbreiten von Fördertechnik und Stopper auf die Standardwerte aus dem Kapitel 2.8.1.

#### **2.9.3.2 Hub**

Im Standard sind folgende zwei Hubhöhen verfügbar:

- 40 mm
- 50 mm

#### **2.9.3.3 Typ**

Der Typ leitet sich vom Anwendungsfall ab und definiert in weiterer Folge den konstruktiven Aufbau des Stoppers. Basierend auf der im Kapitel 2.9.2 erörterten Einbausituationen resultieren folgende Auswahloption:

- Rollenstopper
- Schwertstopper
- Sicherheitssperre

#### **2.9.3.4 Baukastenbezeichnung**

Die Auswahlmöglichkeiten im Bereich der Baukastenbezeichnung beschreiben die unten angeführten Aspekte:

- FT+...geeignet für ein maximales Fördergutgewicht von 35 kg und einen Temperaturbereich 4°C bis 40°C
- 50FT+ ...geeignet für Fördergutgewicht von größer 35 kg bis 50 kg
- TKFT+...geeignet für Temperaturbereiche bis -28°C

### **2.9.4 Aufbau**

Um der Forderung von niedrigen Herstellkosten und kurzen Produktionszeiten zu entsprechen, ist ein modularer Aufbau und aufgrund dessen die Verwendung von Gleichteilen notwendig. Die Gliederung erfolgt in folgende Hauptelemente (Abb. 45):

- Grundrahmen
- Schwert
- Führung
- Antrieb
- Dämpfer

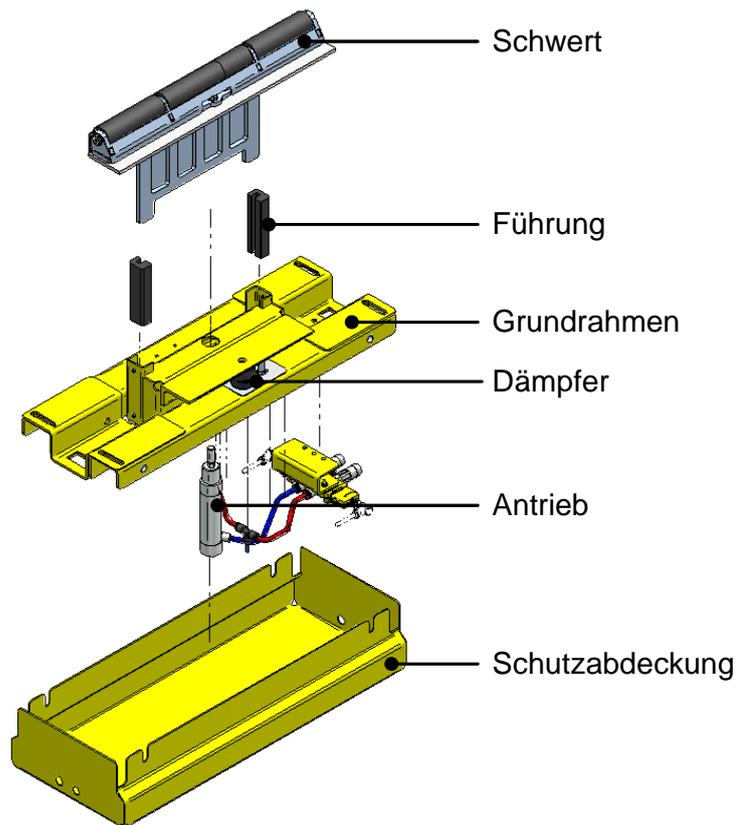


Abb. 45: Explosionsdarstellung Rollenstopper, Quelle: Eigene Darstellung.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Hauptkomponenten detailliert beschrieben.

### Grundrahmen

Der geschraubte oder geschweißte Grundrahmen bildet die Basis für die Montage der restlichen Komponenten des Stoppers. Beide Stoppertypen werden direkt mit den Seitenteilen der Fördertechnik verschraubt und leiten über die Montageflächen (1) die auftretenden Kräfte in den Förderer ein. Die für die vertikale Führung des Stopperschwertes benötigten Bauteile werden an den entsprechenden Flächen (2) mit dem Grundrahmen verschraubt. Der für den Hubvorgang relevante Pneumatikzylinder ist am Grundrahmen gelagert (3). Die Realisierung einer für die Dämpfung notwendigen Schwenkbewegung wird durch die Lagerung im Drehpunkt (4) ermöglicht. Diese Ausführung wird aufgrund der Anwendung nur bei den Typen Rollenstopper und der 50FT+ Variante verwendet.

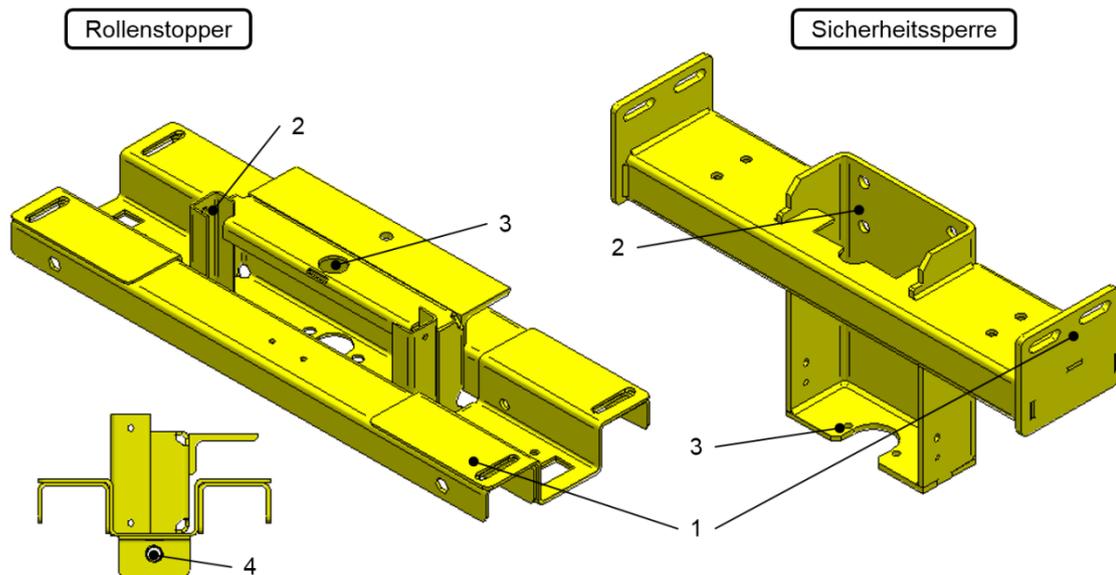


Abb. 46: Hauptelement Grundrahmen: (1) Anschraubflächen an der Fördertechnik, (2) Befestigungsfläche der Führung, (3) Lagerung für Pneumatikzylinder, (4) Lagerung für Schwenkbewegung, Quelle: Eigene Darstellung.

### Stopperschwert

Der relevante Teil der mechanischen Barriere ist bei beiden Stoppertypen das Schwertblech (1), das direkt über den Anlenkpunkt (2) mit dem Pneumatikzylinder verbunden ist. Beim Rollenstopper erfordert die Einbausituation eine zusätzliche Unterstützung (3) des Fördergutes sowie darüber hinaus Bauteile (4) die den direkten Eingriff verhindern.

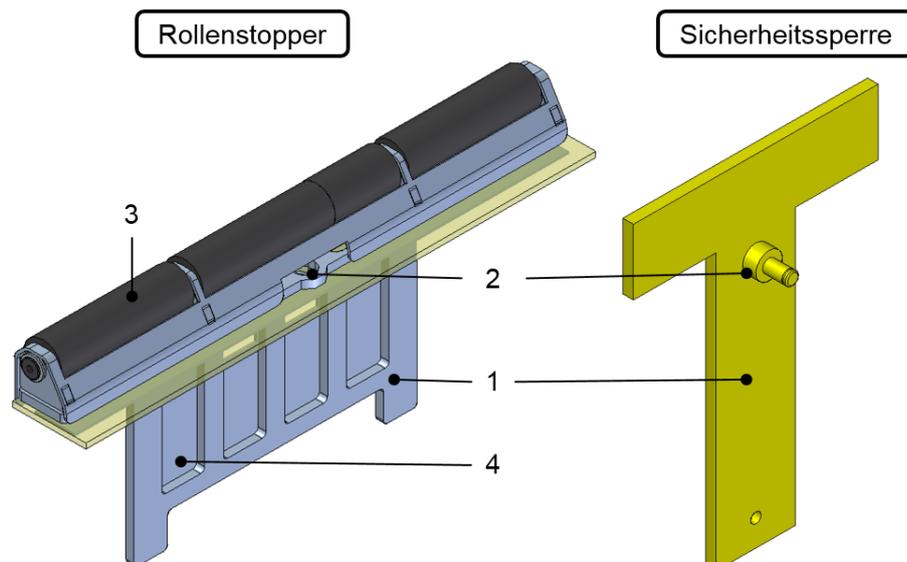


Abb. 47: Hauptelement Stopperschwert: (1) Schwertblech, (2) Anlenkpunkt Pneumatikzylinder, (3) Rolle, (4) Eingriffsschutz, Quelle: Eigene Darstellung.

## Führung

Die Führung besteht aus zwei seitlich am Schwertblech angeordneten Gleitleisten (1), die nur eine lineare Bewegungsrichtung erlauben.

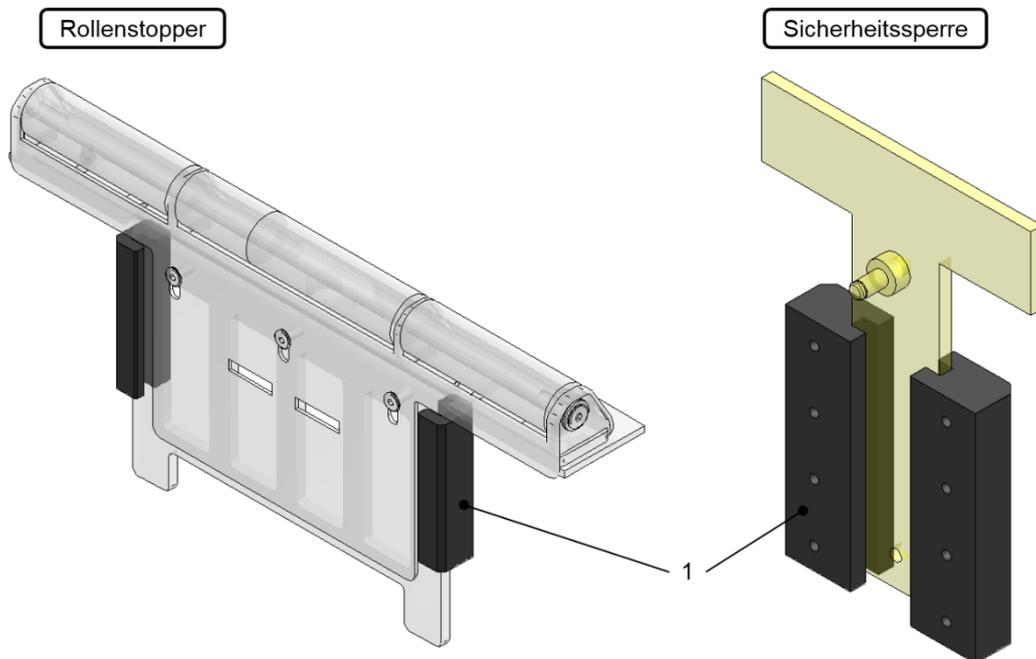


Abb. 48: Hauptelement Führung: (1) Gleitleiste, Quelle: Eigene Darstellung.

## Antrieb

Der lineare Hubvorgang wird mit einem doppelwirkenden Pneumatikzylinder (1) und einem 5/2-Wegeventil (2) bewerkstelligt.

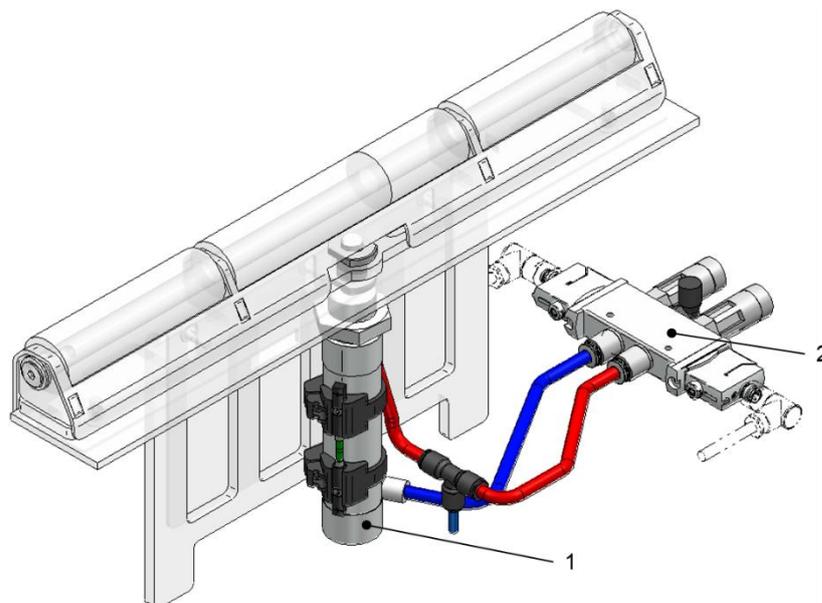


Abb. 49: Hauptelement Antrieb: (1) Pneumatikzylinder, (2) 5/2-Wegeventil, Quelle: Eigene Darstellung.

## Dämpfer

Der Dämpfer (1) ist direkt mit dem Grundrahmen verschraubt und reduziert die stoßartigen Belastungen, die beim Auftreffen des Förderguts am Stopperschwert auftreten, entscheidend.

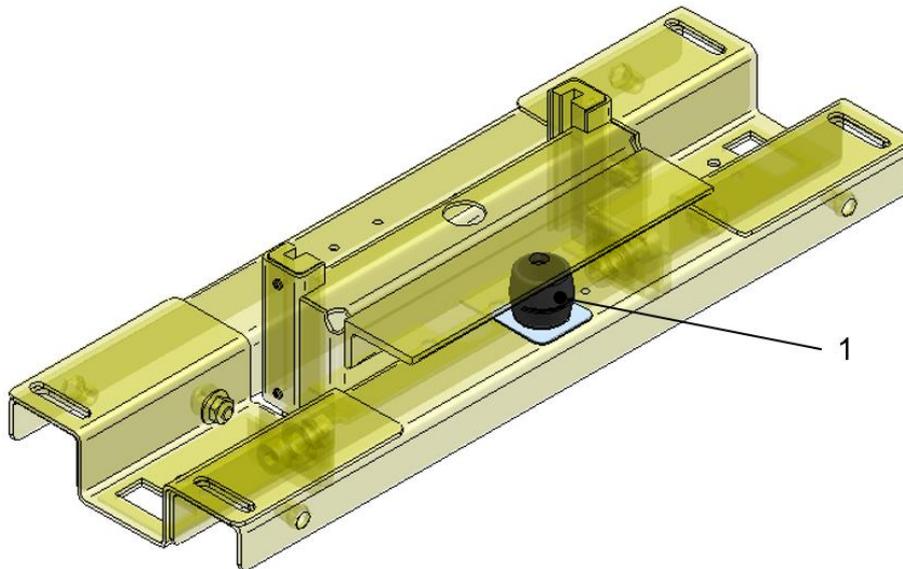


Abb. 50: Hauptelement Dämpfer: (1) Tubus-Dämpfer, Quelle: Eigene Darstellung.

### 2.9.5 IST-Zustand

Das Referenzsystem ist ein Rollenstopper mit einer Nennbreite von 425 mm. Der pneumatische Aktor ist ein doppeltwirkender Zylinder mit einem Kolbendurchmesser von 25 mm und einem Hub von 40 mm. Ein monostabiles 5/2-Wegeventil steuert die Aus- u. Rückhubbewegung. Die relevanten Parameter für die Dimensionierung des Hubmechanismus sind die Hubzeit und die Anzahl der Gesamtzyklen, welche in den nachfolgenden Unterpunkten ermittelt werden.

### 2.9.6 Ermittlung der Hubzeit

Aus der Datenanalyse einer Messreihe, in der die Zeitdauer vom Schaltzeitpunkt des Magnetventils bis zum Erreichen der oberen Endposition des Stopperschwerts dokumentiert ist, resultiert eine Hubzeit von 0,25 Sekunden.

Sind keine Messdaten vorhanden, bietet das pneumatische Simulationstool der Fa. Festo GmbH die Möglichkeit den Anwendungsfall zu simulieren. Anhand der Angabe der Orientierung des Zylinders, der bewegten Masse, des Luftdrucks, der Leitungslänge zwischen Ventil und Zylinder, der Kolbendurchmesser, des Hubs, etc. wird das Szenario definiert. Die Orientierung des Zylinders in der Anwendung ist als 90° vertikal definiert. Der verfügbare Pneumatikdruck am Zylinder beträgt  $6 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ . Das für die Auslegung relevante Maximalgewicht von 8 kg basiert auf der größten Nennbreite des Stopperschwertes. Abb. 51 zeigt, dass das Ergebnis der Simulation auf Basis der zuvor angeführten Parameter die Analyse der Messwerte bestätigt.

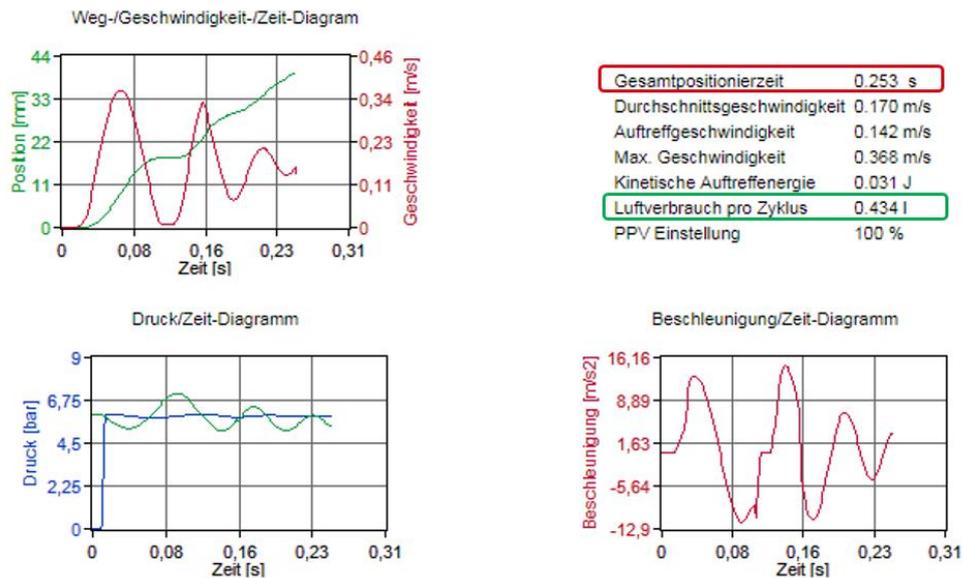


Abb. 51: Simulation der Hubbewegung, Quelle: Pneumatisches Simulationstool Fa. Festo GmbH, (leicht modifiziert).

### 2.9.7 Berechnung der Hubzyklen und Laufleistung

In der Anwendung stoppt der Stopper das Fördergut und gibt es anschließend für den Weitertransport wieder frei. Dieser Bewegungsablauf entspricht per Definition einem Zyklus und umfasst einen Aufwärts- und einen Rückhub.

Unter Annahme eines Durchsatzes von 1200 Fördergütern/ h führt der Stopper 2400 Einzelhübe/ h aus. Dieser Wert entspricht 1200 Zyklen/ h. Aus der Anforderung die theoretische Lebensdauer der Komponenten auf 50.000 h auszulegen resultiert eine Anzahl von 60.000.000 Zyklen, die ein Stopper ausführen muss.

Umgelegt auf die Laufleistung ergibt sich bei einem Hub von 40 mm eine Strecke von 4.800 km, wobei der Weg für einen vollständigen Zyklus 80 mm entspricht.

### 3 KONZEPTIONIERUNG DER ELEKTRISCHEN HUBMECHANIK FÜR DEN STOPPER

Der praxisrelevante Teil dieser Arbeit befasst sich eingangs mit der Ideenfindung, wie ein elektrischer Hubmechanismus im Hinblick auf die gegebenen Anforderungen, machbar wäre. Die Herausforderung besteht darin den erforderlichen Bauraum nicht ausschlaggebend zu vergrößern und gleichzeitig die ermittelte IST-Hubzeit nicht zu überschreiten oder im Idealfall zu unterbieten.

Der morphologische Kasten bietet eine analytische Methode um vielfältige Lösungsansätze zu generieren. Dabei repräsentieren die Merkmale die Kernpunkte der Anwendung und die Ausprägungen die entsprechenden unterschiedlichen Varianten der Merkmale.

Merkmals	Ausprägung				
Technologie	Schrittmotor	Hubmagnet	Linearmotor	BLDC	Drehmagnet
Mechanik	Schubkurbel	Scotch Yoke	Zahnstange	Spindel vertikal	Spindel horizontal
Bewegung Hubmechanik	linear		Kurve / rotatorisch		
Sicheres Halten in der Endlage	Selbsthemmung	Motorbremse	mech. Begrenzung		zusätzlicher Aktor

Tab. 3: Morphologischer Kasten für Konzeptauswahl, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Tab. 4 zeigt die verschiedenen Lösungspfade, deren Funktionsweisen sowie Vor- und Nachteile in den folgenden Kapiteln detaillierter beschrieben werden.

Merkmals	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3	Konzept 4
Technologie	BLDC	BLDC	BLDC	Schrittmotor
Mechanik	Schubkurbel	Scotch Yoke	Spindel vertikal	Zahnstange
Bewegung Hubmechanik	Kurve / rotatorisch	Kurve / rotatorisch	linear	linear
Sicheres Halten in der Endlage	Selbsthemmung	Selbsthemmung	Motorbremse	Motorbremse

Tab. 4: Übersicht der gewählten Varianten, Quelle: Eigene Darstellung.

- Konzept 1: Hub über Exzenter und Schubstange; Antrieb mittels BLDC; Fixierung in der Endlage über dem Totpunkt des Exzenters
- Konzept 2: Hub über Exzenter und Kulissee; Antrieb mittels BLDC; Fixierung in der Endlage über die Form der Kulissee
- Konzept 3: Hub über eine vertikale Spindel und Bewegungsmutter; Antrieb über Schrittmotor; Fixierung in der Endlage mittels Motorbremse
- Konzept 4: Hub über eine Zahnstange; Antrieb über Schrittmotor; Fixierung in der Endlage mittels Motorbremse

### 3.1 Konzept 1: Schubkurbel

Das Konzept der Schubkurbel, setzt die Drehbewegung des Motors (3) durch die Verwendung einer Exzenterscheibe (1) kombiniert mit einer Schubstange (2) in eine Linearbewegung um. Der Hubvorgang wird durch eine 180°-Drehbewegung umgesetzt, wobei der lineare Hubweg direkt proportional zur Exzentrizität der Exzenterscheibe ist. Aufgrund der vertikalen Lage der Schubstange in der unteren sowie auch in der oberen Endposition ist auch bei einem Spannungsabfall ein sicheres Halten der Position gewährleistet. Für den Rückhub ist keine Drehrichtungsumkehr notwendig, da die Mechanik eine idente Bewegung in beide Drehrichtungen ermöglicht. Der BLDC-Motor ist direkt am Grundträger befestigt. Dabei auftretende Fluchtungsfehler werden durch die sphärischen Lager in der Schubkurbel ausgeglichen.

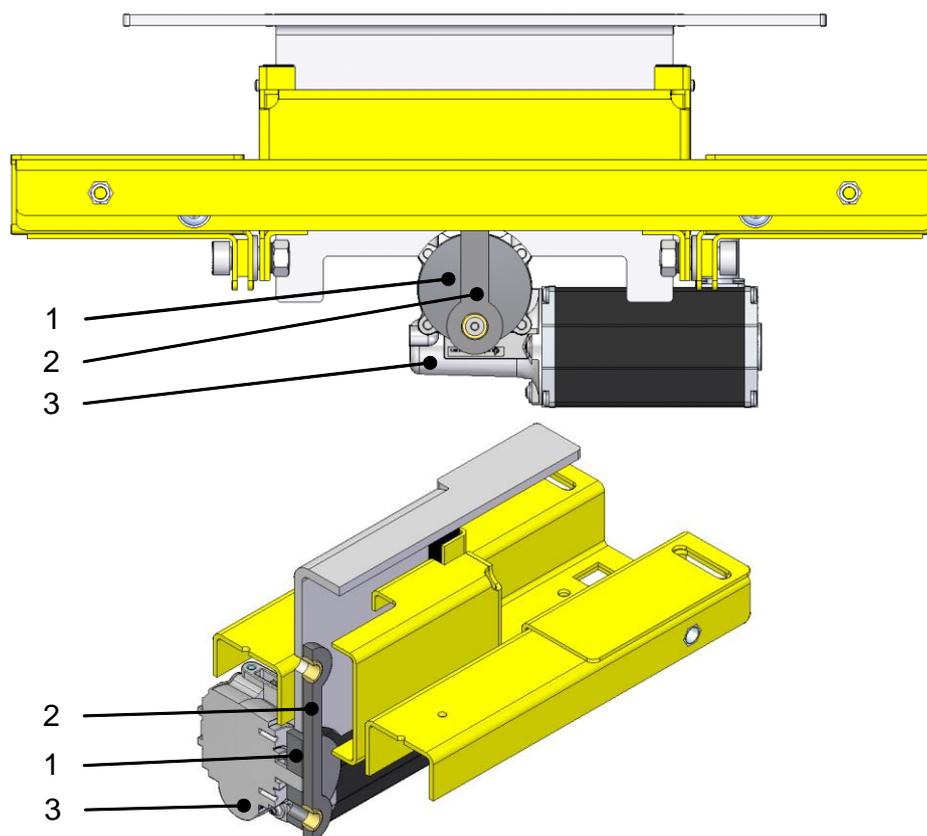


Abb. 52: Konzept 1: (1) Exzenterscheibe, (2) Schubstange, (3) Motor, Quelle: Eigene Darstellung.

Vorteile

- Kompakte Bauweise
- Ein geringes technisches Risiko, da Bauteile bereits in anderen Fördertechnikkomponenten im Einsatz sind
- Marginaler Eingriff in das bestehende Konzept
- Geeignet für die Typen Rollenstopper und Sicherheitssperre

Nachteile

- Krafteinleitung erfolgt nicht ausschließlich in Bewegungsrichtung
- Nur eine Hubhöhe realisierbar

In einer ersten überschlägigen Kostenschätzung werden die bekannten Kosten der Bauteile, die durch die Elektrifizierung entfallen, den Aufwänden der neuen Hubmechanik bestehend aus Motor und Mechanik, gegenübergestellt. Die Kostenschätzung der neuen Bauteile basiert auf Referenzteilen bzw. bereits vorhandenen Artikeln. Der daraus resultierende Preisunterschied zwischen der pneumatischen und elektrischen Variante ist anteilmäßig vom vorgegeben Zielpreis, der 100% markiert in Tab. 5 dargestellt.

neu		entfällt	
Komponente	%	Komponente	%
Motor inkl. Controller u. Kabel	40,7 %	Pneumatikzylinder	3 %
Hubmechanik	4,7 %	Ventil inkl. Zubehör	9,2 %
Differenz	+33,3 %		

Tab. 5: Kostenvergleich Konzept Schubkurbel, Quelle: Eigene Darstellung.

### 3.2 Konzept 2: Scotch Yoke (Kurbelschleife)

Dieses Konzept nutzt einen BLDC-Motor als Antrieb (4), der wie im Konzept 1 am Grundträger montiert wird. Die Hubbewegung erfolgt über eine 80°-Drehung der Exzenterkurbel (1), wobei in der oberen Endlage die Kurbel vertikal ausgerichtet ist und somit eine Tendenz hinsichtlich sicheren Haltens aufweist. Das Stopperschwert (2) beinhaltet eine langlochähnliche Kulissee, welche die Drehbewegung der Exzenterkurbel in einen linearen Hub transformiert. Diese Ausführung erfordert aber einen Drehrichtungswechsel aufgrund der horizontalen Ausnehmung. Die mechanische Kopplung der Exzenterkurbel mit dem Stopperschwert erfolgt durch einen drehbar gelagerten Bolzen (3).

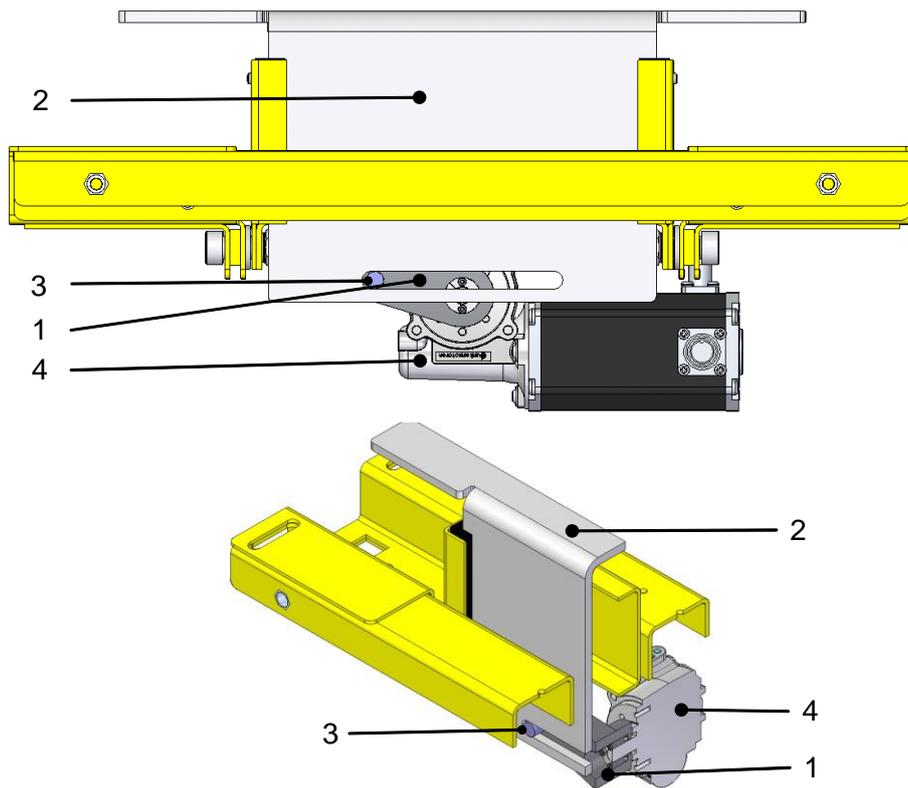


Abb. 53: Konzept 2: (1) Exzenterkurbel, (2) Stopperschwert, (3) Bolzen, (4) Motor, Quelle: Eigene Darstellung.

Vorteile

- kleiner Drehwinkel
- Geringe Anzahl von Bauteilen

Nachteile

- Führung in der Kulisse
- Toleranzausgleich
- Relativ hohe horizontale Kräfte
- Nur eine Hubhöhe realisierbar

Die Kostenschätzung erfolgt analog zur Kostenschätzung von Konzept 1 mit dem Ergebnis, dass sich die Kosten der mechanischen Komponenten geringfügig unterscheiden.

neu		entfällt	
Komponente	%	Komponente	%
Motor inkl. Controller u. Kabel	40,7 %	Pneumatikzylinder	3 %
Hubmechanik	6,8 %	Ventil inkl. Zubehör	9,2 %
Differenz	+35,4 %		

Tab. 6: Kostenvergleich Konzept Scotch Yoke, Quelle: Eigene Darstellung.

### 3.3 Konzept 3: Vertikale Spindel

In diesem Konzept wird der erforderliche lineare Hub durch eine vertikal angeordnete, feststehende Gewindespindel realisiert. Die Rotation des Antriebs, der axial mit der Spindel verbunden ist, wird über eine am Stopperschwert befestigte Bewegungsmutter in Translation umgewandelt. Ein sicheres Halten des Stopperschwertes in der oberen Endlage ist aufgrund der erforderlichen Gewindesteigung nur durch eine zusätzliche Motorbremse möglich. Der lineare Aufbau bewirkt, dass die Einsatzmöglichkeit bei einer geforderten minimalen FOK von 300 mm nicht gewährleistet werden kann.

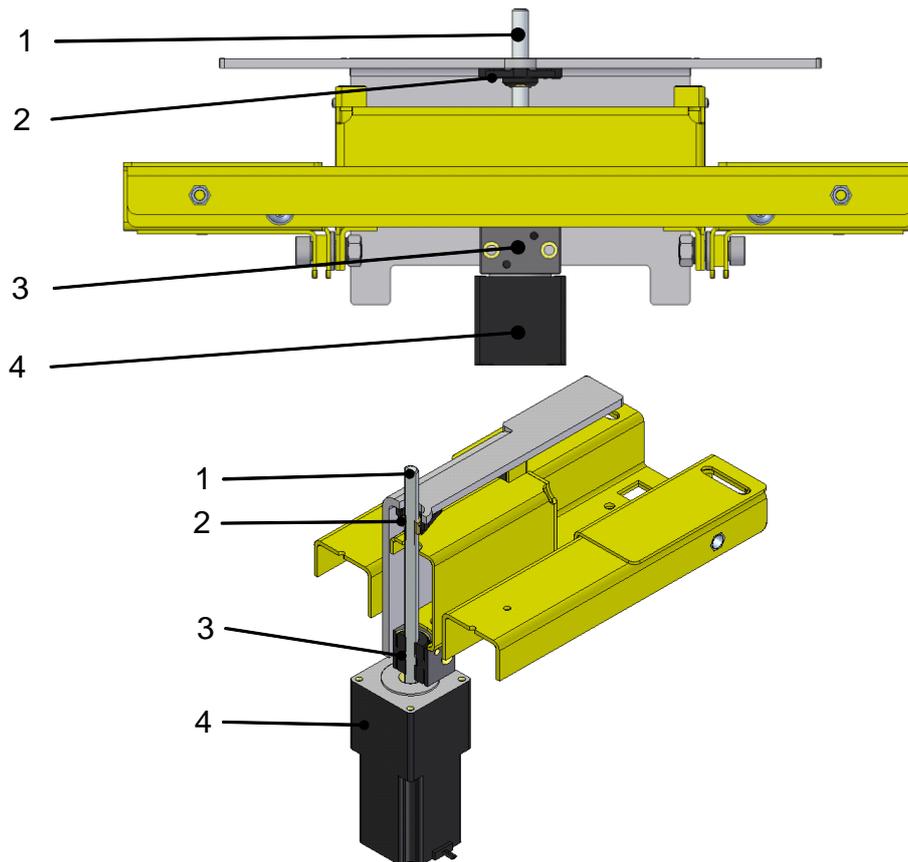


Abb. 54: Konzept 3: (1) Spindel, (2) Mutter, (3) Lagerung, (4) Motor, Quelle: Eigene Darstellung.

#### Vorteile

- Lineare Kräfteinleitung
- Einfacher Aufbau
- Unempfindlich gegen Fluchtungsfehler
- Unterschiedliche Hubhöhen realisierbar

#### Nachteile

- FOK 300 mm nicht realisierbar
- Lebensdauer von 50.000 h nicht möglich
- Motorbremse für das sichere Halten in der Endlage notwendig

Bei der Kostenschätzung sind neben den Kosten für Antrieb und Mechanik auch zusätzliche Aufwände für eine längere Montagezeit von ca. 1,3 % gegenüber der pneumatischen Variante zu berücksichtigen.

neu		entfällt	
Komponente	%	Komponente	%
Motor inkl. Controller u. Kabel	44,4 %	Pneumatikzylinder	3 %
Hubmechanik	14,5 %	Ventil inkl. Zubehör	9,2 %
Montagezeit	1,3 %		
Differenz	+48,1 %		

Tab. 7: Kostenvergleich Konzept vertikale Spindel, Quelle: Eigene Darstellung.

### 3.4 Konzept 4: Zahnstange

In diesem Konzept wird die Hubbewegung über eine mit dem Stopperschwert verschraubte Zahnstange (1) und dem entsprechenden Zahnrad (2), welches direkt an der Abtriebswelle des Motors (3) platziert ist, realisiert. Die Befestigung des Antriebs erfolgt am Grundträger. Das Wirkprinzip hat zur Folge, dass zum einen der Einfluss von Fluchtungsfehlern nur unzureichend kompensiert wird und zum anderen ein sicheres Halten der oberen Endlage nur durch eine Motorbremse möglich ist.

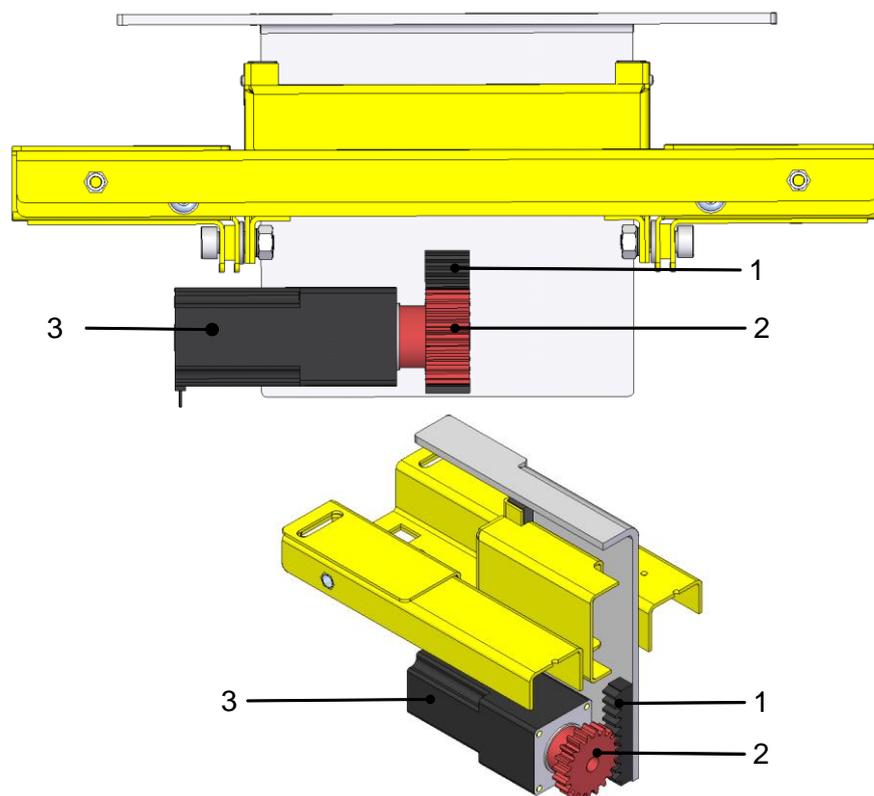


Abb. 55: Konzept 4: (1) Zahnstange, (2) Zahnrad, (3) Motor, Quelle: Eigene Darstellung.

Vorteile

- Lineare Krafteinleitung
- Unterschiedliche Hubhöhen realisierbar

Nachteile

- Lebensdauer von 50.000 h nicht möglich
- Motorbremse für das sichere Halten in der Endlage notwendig
- Kein Ausgleich von Fertigungstoleranzen und Fluchtungsfehlern

Die Grobkostenanalyse berücksichtigt wie schon bei Konzept 3 eine zusätzliche Montagezeit von 1,3 % sowie einen etwas höheren Anteil an Mechanikkosten.

neu		entfällt	
Komponente	%	Komponente	%
Motor inkl. Controller u. Kabel	44,4 %	Pneumatikzylinder	3 %
Hubmechanik	7,9 %	Ventil inkl. Zubehör	9,2 %
Montagezeit	1,3 %		
Differenz	+41,5 %		

Tab. 8: Kostenvergleich Konzept Zahnstange, Quelle: Eigene Darstellung.

### 3.5 Bewertung und Auswahl eines Konzeptes

Um eine transparente Entscheidungsfindung auf Basis der formulierten Konzepte zu ermöglichen, ist die Nutzwertanalyse eine geeignete Methode.

#### 3.5.1 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist ein qualitatives Verfahren um eine Anzahl von Lösungsmöglichkeiten anhand von zuvor definierten Kriterien auf Basis einer Bewertungsskala entsprechend der daraus resultierenden Nutzwerte zu reihen. Diese Methode bietet die Möglichkeit auch „weiche“ und nicht-monetäre Kriterien bis zu einem bestimmten Grad objektiv zu evaluieren.

Für den Bewertungsprozess sind die folgenden drei Schritte wesentlich:<sup>34</sup>

- a. Im ersten Schritt erfolgt die Ausarbeitung der **Bewertungskriterien**.
- b. Als nächstes werden die Bewertungskriterien hinsichtlich ihrer Bedeutung für das Unternehmen **gewichtet**. Dadurch wird ermöglicht, dass subjektive Aspekte unabhängig von der Variante mit der gleichen Gewichtung berücksichtigt werden.
- c. Das Produkt aus dem gewichteten Kriterium und dem entsprechenden **Erfüllungsgrad** der individuellen Variante ergibt den **Teilnutzen**. Die Bewertung des Erfüllungsgrades basiert auf einer schulnotenähnlichen Skala. Aus der abschließenden Addition der einzelnen Teilnutzen resultiert der **Gesamtnutzen** der jeweiligen Variante.

Die zuvor beschriebenen Schritte sollen anhand eines vereinfachten Beispiels einer Standortwahl erläutert werden. Die Tab. 9 zeigt die ausgearbeiteten Kriterien mit der individuellen Gewichtung und den entsprechenden Erfüllungsgrad. Bei der Bewertung kommt eine 10-stufige Skala zum Einsatz, wobei 1 *sehr schlecht* und 10 *sehr gut* bedeutet. Aus der Addition der einzelnen Teilgewichtungen errechnet sich in der Regel der Wert 1.

Standortbewertung				
Kriterium	Gewicht	Var. 1	Var. 2	Var. 3
Arbeitskräfteverfügbarkeit	0,4	10	5	2
Lohnkostenniveau	0,3	8	5	2
Verkehrsanbindung	0,2	2	5	10
Lebensqualität	0,1	2	5	2
Nutzwert	$\Sigma 1$	7	5	3,6

Tab. 9: Beispiel einer Nutzwertanalyse, Quelle: Günther/Tempelmeier (2011), S. 71, (modifiziert).

Der Nutzwert  $N_i$  des jeweiligen Standortes errechnet sich wie folgt:

$$N_1 = (0,4 * 10) + (0,3 * 8) + (0,2 * 2) + (0,1 * 2) = 7$$

$$N_2 = (0,4 * 5) + (0,3 * 5) + (0,2 * 5) + (0,1 * 5) = 5$$

$$N_3 = (0,4 * 2) + (0,3 * 2) + (0,2 * 10) + (0,1 * 2) = 3,6$$

Dem Ergebnis nach erfüllt Variante 1 die Ansprüche an die Standortwahl am besten.

<sup>34</sup> Vgl. Arnold/Furmans (2009), S. 275 f.

### 3.5.2 Aufbau der Nutzwertanalyse

Als Referenz für den Bewertungsvorgang dient die Muster-Nutzwertanalyse von SSI SCHÄFER Automation. Die unten angeführten Kriterien mit den entsprechenden Subkriterien basieren auf Erfahrungswerten bereits durchgeführter Analysen zur gleichen Thematik.

#### Abdeckung der technologischen und funktionalen Anforderungen

- Durchsatz/ Leistung
- Platzbedarf
- Dauerfestigkeit
- Wartbarkeit
- Wiederholgenauigkeit
- Variabilität
- Lautstärke

#### Kosten

- Installed costs

#### Risikobewertung

- Techn. Risiko
- Lieferantenbewertung

#### Terminierung

- Wiederbeschaffungszeit
- DLZ der Entwicklung

#### Einfachheit vs. Komplexität

- Prozesssicherheit
- Einstellaufwand
- Variantenanzahl

#### Kundensicht

- Betriebskosten
- Zuverlässigkeit

Abb. 56: Übersicht der Bewertungskriterien, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH, (leicht modifiziert).

In weiterer Folge erfolgen die Gewichtung der definierten Haupt- und Unterkriterien und die Bewertung der einzelnen Konzepte. Die anteilige Verteilung der Hauptkriterien ist in Abb. 57 ersichtlich.

#### Gewichtung der Hauptkategorien

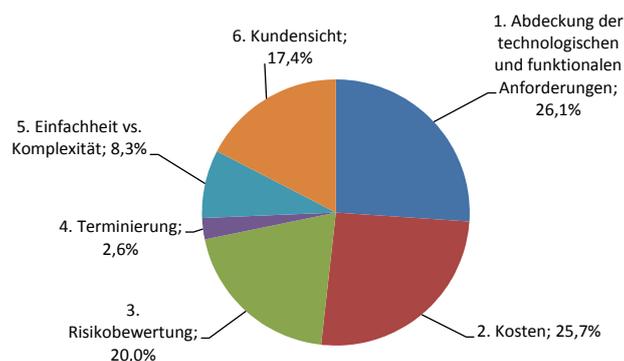


Abb. 57: Gewichtung der Bewertungskriterien, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.

### 3.5.3 Resultat der Nutzwertanalyse

Aus der Analyse der Evaluierung ergibt sich, wie in Abb. 58 dargestellt, folgende Reihung der Konzepte: Variante 1 „Schubkurbel“ stellt mit einem Gesamtnutzwert von 3,48 im Vergleich das Konzept mit dem größtem Potential dar und wird infolgedessen weiter forciert. Die Konzepte 3 und 4 fallen aufgrund der Nichterfüllung von unterschiedlichen Anforderungen aus der Reihung.

Schritt 5: Auswertung und Entscheidung				
Auswertung der Bewertung				
	Schubkurbel	Scotch Yoke	vertikale Spindel	Zahnstange
	VAR1	VAR2	VAR3	VAR4
1. Abdeckung der technologischen und funktionalen Anforderungen	0,98	0,73	K.O.	0,65
2. Kosten	1,03	1,03	0,77	0,77
3. Risikobewertung	0,44	0,44	0,44	0,27
4. Terminierung	0,08	0,08	0,08	0,05
5. Einfachheit vs. Komplexität	0,30	0,24	0,35	K.O.
6. Kundensicht	0,66	0,24	0,24	0,24
<b>Summe</b>	<b>3,48</b>	<b>2,75</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Rang</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Gewählte Variante</b>	<b>Schubkurbel</b>			

Abb. 58: Resultat Nutzwertanalyse, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.

## 4 UMSETZUNG DES AUSGEWÄHLTEN KONZEPTEES

Die detaillierte Realisierung des Konzeptes 1 basiert auf dem Resultat der Nutzwertanalyse aus Kapitel 3.5.1 und ist in folgende Abschnitte gegliedert:

1. Analyse des Bewegungsablaufes
2. Auswahl des Antriebs
3. Berechnung der mechanischen Komponenten
4. Konstruktion der Bauteile

Die Forderung den elektrischen Hub für die Stopper-Typen Rollenstopper und Sicherheitssperre umzusetzen, beeinflusst den letzten Punkt der Realisierung maßgeblich. Im Speziellen gilt es in der Detailkonstruktion mögliche Skaleneffekte von Gleichteilen zu nutzen.

### 4.1 Analyse der Hubbewegung

Die Analyse der linearen Hubbewegung ist ein wichtiger Aspekt in der nachfolgenden Motorauswahl. Aufgrund der Forderung, dass sich die Leistungsfähigkeit nicht verschlechtern darf, wird in der Auslegung die zeitkritische Aushubzeit  $T$  mit 0,2 Sekunden berücksichtigt. Dieser Wert resultiert aus dem IST-Wert (0,25 s) der pneumatischen Variante zzgl. einer Sicherheitsreserve von 20 %. Die Abb. 59 zeigt einen trapezförmigen Geschwindigkeits- und Wegverlauf in Abhängigkeit von der Zeit. Wesentlichen Einfluss auf die maximale Geschwindigkeit haben hierbei die Steilheit der Beschleunigungsrampen respektive die Beschleunigungszeiten  $t_{a1}$  und  $t_{a2}$ .

Mit der prinzipiellen Annahme, dass die Phase der konstanten Geschwindigkeit  $t_c$  10 % der Gesamthubzeit  $T$  betragen soll und, dass die Beschleunigungs- und Verzögerungszeit ident sind, errechnet sich für  $t_{a1} = t_{a2}$  ein Wert von 0,09 s.

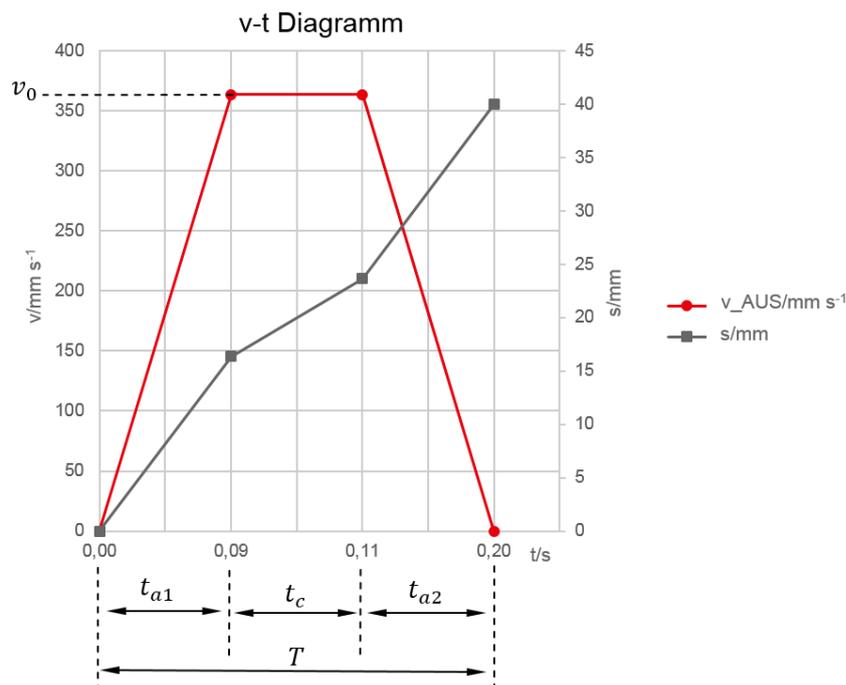


Abb. 59: Aushubbewegung Stopper, Quelle: Eigene Darstellung.

## Umsetzung des ausgewählten Konzeptes

Der trapezförmige Geschwindigkeitsverlauf ermöglicht eine einfache Berechnung der maximalen Geschwindigkeit  $v_0$  nach der Gleichung (4.1), in dem das hintere Dreieck ( $t_{a2}$ ) nach vorne geklappt wird und somit ein Rechteck mit der Länge ( $t_{a1} + t_c$ ), der Fläche ( $s = s_{a1} + s_{a2} + s_c$ ) und der Höhe  $v_0$  entsteht, wie in Abb. 60 vereinfacht dargestellt ist. Die Fläche  $s$  repräsentiert dabei den Hub des Stopperschwerts mit 40 mm.

$$v_0 = \frac{(s_{a1} + s_{a2} + s_c)}{t_{a1} + t_c} \quad (4.1)$$

$v_0/m \text{ s}^{-1}$	maximale Geschwindigkeit
$s_{a1}/m$	Weg bei der Beschleunigung
$s_{a2}/m$	Weg bei der Verzögerung
$s_c/m$	Weg bei konstanter Geschwindigkeit
$t_{a1}/s$	Beschleunigungszeit
$t_c/s$	Zeit konstanter Geschwindigkeit

$$v_0 = \frac{0,04 \text{ m}}{0,09 \text{ s} + 0,02 \text{ s}} = 0,363 \text{ m s}^{-1} \quad (4.2)$$

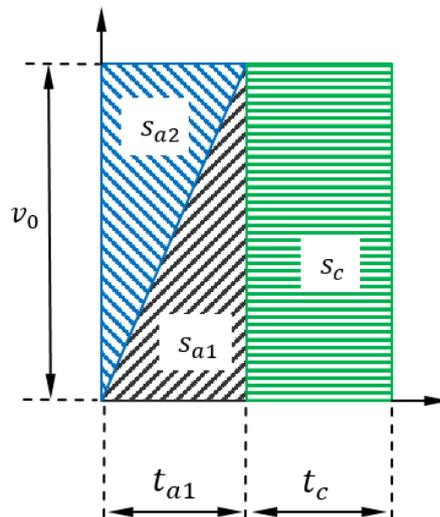


Abb. 60: Vereinfachte Darstellung des Geschwindigkeitsverlaufes, Quelle: Eigene Darstellung.

Die dabei auftretende Beschleunigung, die das Stopperschwert erfährt, wird in Gleichung (4.3) beschrieben und ist in weiterer Folge relevant für die zu überwindenden Kräfte.

$$a = \frac{v_0}{t_{a1}} = \frac{0,363 \text{ m s}^{-1}}{0,09 \text{ s}} \approx 4 \text{ m s}^{-2} \quad (4.3)$$

$a/m \text{ s}^{-2}$	Beschleunigung
$t_{a1}/s$	Beschleunigungszeit
$v_0/m \text{ s}^{-1}$	maximale Geschwindigkeit

## 4.2 Antriebsauswahl

Basierend auf der Analyse der Hubbewegung und den geometrischen Verhältnissen der Hubmechanik werden die elementaren Parameter Drehzahl und Drehmoment für die Antriebsauswahl berechnet.

### 4.2.1 Erforderliche Drehzahl

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, entspricht der Hub zwischen unterer und oberer Schwertposition einen Drehwinkel  $\varphi_0$  von  $180^\circ$  bzw.  $\pi$ . Mit der vorgegebenen Zeitdauer  $T = 0,2$  s und dem Ersatz der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  durch die Drehzahl  $n = \frac{\omega}{2\pi}$  ergibt sich ein Verlauf wie in Abb. 61 dargestellt.

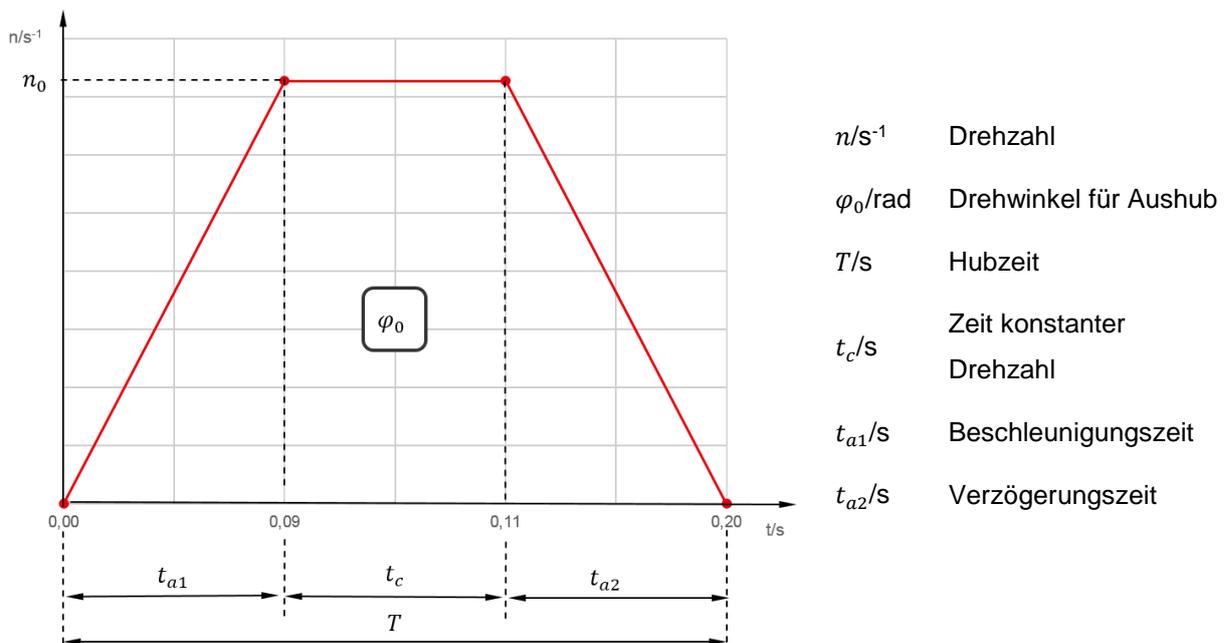


Abb. 61: Drehzahlverlauf beim Hubvorgang, Quelle: Eigene Darstellung.

Es gilt nach wie vor die Bedingung, dass die Beschleunigungs- und Verzögerungsphase zeitlich ident sind.

Die Fläche unter der Kurve aus Abb. 61 entspricht der bekannten Größe Drehwinkel  $\varphi_0$  über die Aushubzeit  $T$ . Bezugnehmend auf die Gleichung (4.1) berechnet sich die gesuchte Drehzahl  $n_0$  wie folgt:

$$\omega_0 = n_0 2\pi = \frac{\varphi_0}{t_{a1} + t_c} \quad (4.4)$$

$\omega_0/s^{-1}$	maximale Winkelgeschwindigkeit
$n_0/s^{-1}$	maximale Drehzahl
$\varphi_0/\text{rad}$	Drehwinkel

Für die Berechnung der erforderlichen Drehzahl  $n_0$  wird die Gleichung (4.4) wie folgt umgeformt.

$$n_0 = \frac{\pi}{0,09 \text{ s} + 0,02 \text{ s}} \frac{1}{2\pi} = 4,54 \text{ s}^{-1} \quad (4.5)$$

$$n_0 = 4,54 \text{ s}^{-1} * 60 = 272,72 \text{ min}^{-1}$$

## 4.2.2 Erforderliches Drehmoment

Die geometrischen Verhältnisse der Hubmechanik sind bei beiden Stoppertypen identisch. Im weiteren Verlauf werden aus Gründen der Einfachheit die Komponenten der Sicherheitssperre schematisch dargestellt.

Die in Abb. 62 gezeigte Exzentrerscheibenposition von  $0^\circ$  repräsentiert die Grundstellung der Stopperschwertposition und entspricht einem Hub von 0 mm. Das Stopperschwert erreicht die obere Endlage nach einer  $180^\circ$ -Drehung, wobei nur der Kurbelradius  $r$  den Hub wie folgt bestimmt:

$$\text{Hub} = 2r.$$

Die Länge  $L_S$  der Schubstange hingegen ist bei beiden Hubhöhen (40 und 50 mm) mit 100 mm fixiert.

Das maximale Drehmoment, welches die Motor-Getriebe-Kombination dauerhaft übertragen muss, errechnet sich aus der statischen Kraft  $F_G$  und dem dynamischen Anteil  $F_a$ . Für die weitere Auslegung wird für  $F_G$  das Gewicht des Rollenstopperschwerts N825 mit 8 kg zugrunde gelegt. Die Beschleunigung  $a$  für den Aushubvorgang basiert auf dem Verfahrensprofil wie in Abb. 59 dargestellt und berechnet sich aus der Gleichung (4.3) mit  $4 \text{ ms}^{-2}$ .

	$F_G/\text{N}$	Gewichtskraft
$F_G = mg = 8 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 80 \text{ N}$ (4.6)	$m/\text{kg}$	Stopperschwertgewicht

	$F_a/\text{N}$	Beschleunigungskraft
$F_a = ma = 8 \text{ kg} * 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 32 \text{ N}$ (4.7)		

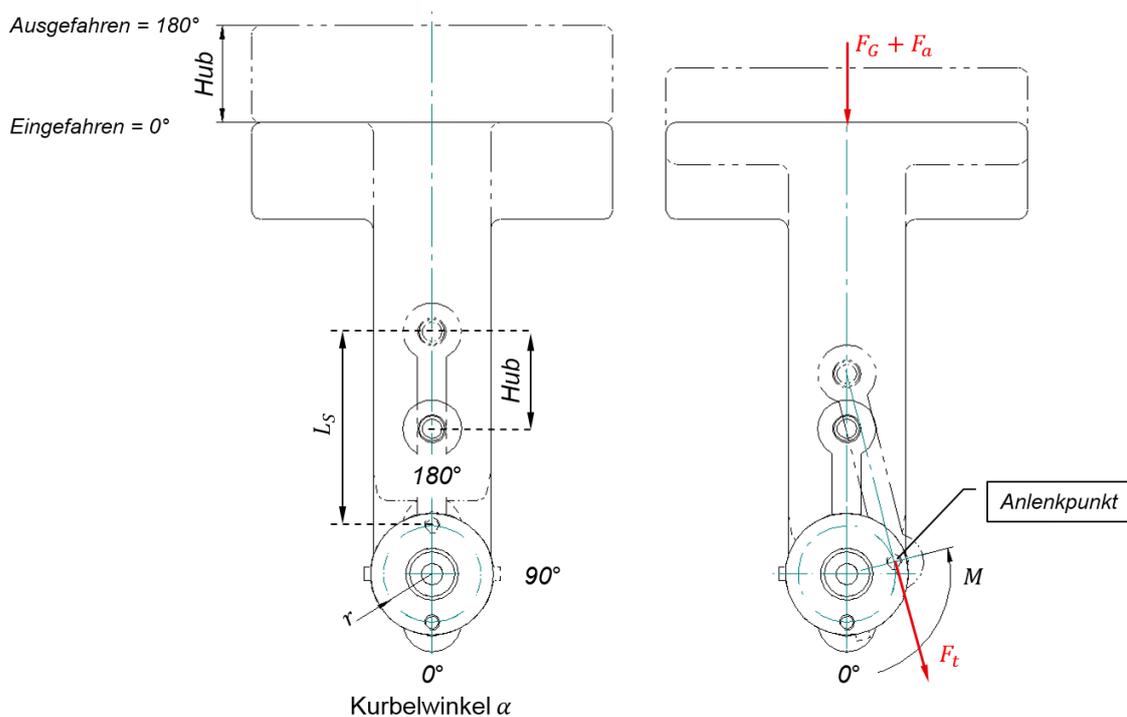


Abb. 62: Schubkurbelposition in Abhängigkeit vom Hub, Typ: Sicherheitssperre, Quelle: Eigene Darstellung.

Etwaige mechanische Verluste, die bei der Hubbewegung entstehen, werden mit einem Sicherheitsfaktor von 15 % berücksichtigt. Daraus resultiert folgende Gesamtkraft  $F_y$  in vertikaler Richtung:

$$F_y = (F_G + F_a) * 1,15 \quad (4.8)$$

$$F_y = (80 \text{ N} + 32 \text{ N}) * 1,15 \approx 130 \text{ N}$$

Die vertikal auftretende Kraft  $F_y$  wird über die Schubstange in die Exzentrerscheibe eingeleitet und erzeugt eine vom Kurbelwinkel  $\alpha$  abhängige Tangentialkraft  $F_t$ , die aufgrund der Geometrie zwischen 0 N und 132 N variiert. Wesentlich dabei ist, dass die Wirklinie der Kraft  $F_t$  bei jedem Kurbelwinkel  $\alpha$  normal zum Kurbelradius gerichtet ist und somit den für die Drehmomentberechnung relevanten Kraftvektor darstellt, wie in Abb. 63 ersichtlich ist.

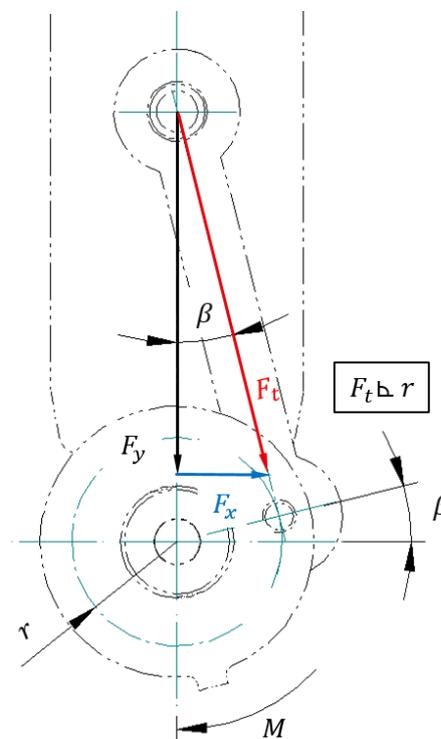


Abb. 63: Kräfte Dreieck bei maximal Drehmoment, Quelle: Eigene Darstellung.

### Berechnung von $F_t$ :

Der für die Bestimmung der maximalen Tangentialkraft  $F_t$  relevante Winkel  $\beta$ , basiert auf dem Kurbelradius  $r = 20 \text{ mm}$ , wie er im Rollenstopper zum Einsatz kommt.

	$F_y/\text{N}$	Vertikale Gesamtkraft
$\cos \beta = \frac{F_y}{F_t}$	(4.9) $F_t/\text{N}$	Tangentialkraft
	$\beta/^\circ$	Winkel

$$F_t = \frac{F_y}{\cos \beta} = \frac{130 \text{ N}}{0,98} \approx 132,6 \text{ N} \quad (4.10)$$

Wie aus Abb. 62 hervorgeht, ist das erforderliche Drehmoment  $M$ , welches benötigt wird um das Stopperschwert bei  $0^\circ$  und  $180^\circ$  zu halten, aufgrund der nicht vorhandenen Horizontalkräfte in beiden Positionen null. Mit größer werdendem Kurbelwinkel steigt auch das Drehmoment und erreicht sein Maximum, wenn die Wirklinie der Schubstange und die Tangentialkraft  $F_t$  kollinear zueinander sind. Der spezifische Kurbelwinkel  $\alpha$  verändert sich in Abhängigkeit vom Kurbelradius  $r$ . Wird dieser Punkt überschritten, nimmt das Drehmoment wieder ab, bis es bei  $180^\circ$  den Wert null erreicht, wie in Abb. 64 ersichtlich.

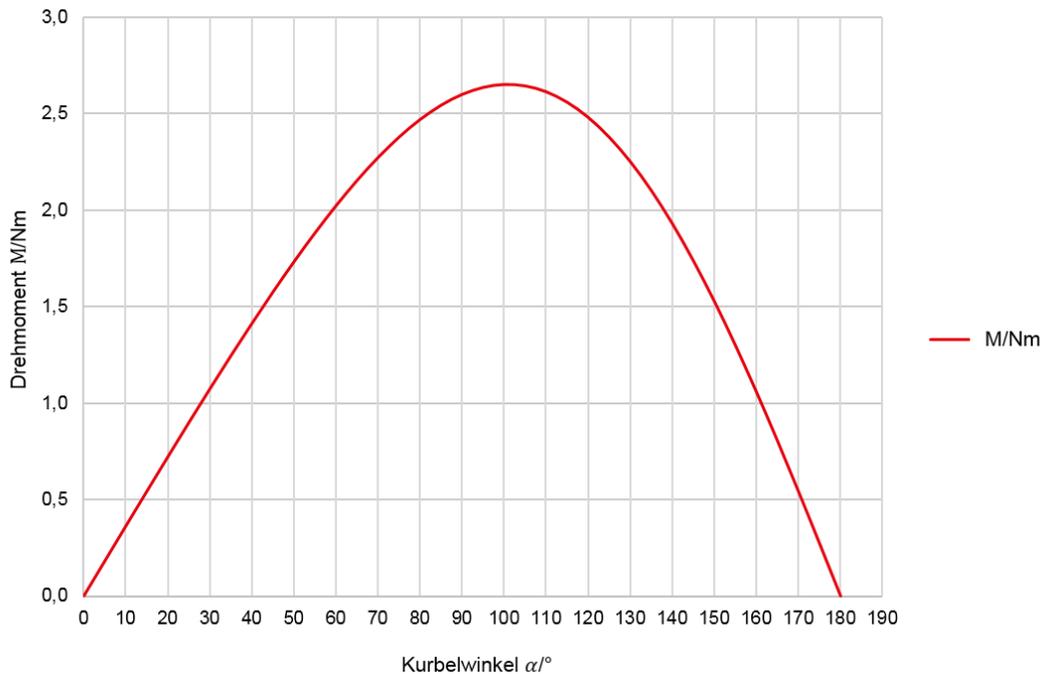


Abb. 64: Drehmomentverlauf in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel, Rollenstopper mit Kurbelradius 20 mm, Quelle: Eigene Darstellung.

**Berechnung von  $M$ :**

$$\sum M = 0 = -F_t r \quad (4.11)$$

$M/\text{Nm}$	Drehmoment
$r/\text{m}$	Kurbelradius
$F_t/\text{N}$	Tangentialkraft

$$M = -132,6 \text{ N} * 0,02 \text{ m} \approx -2,6 \text{ Nm} \quad (4.12)$$

### 4.2.3 Anforderungen an den Antrieb

Für eine effektive Auswahl des richtigen Antriebs sind die relevanten Anforderungen, die aus den Bereichen Mechanik, Elektrik, Steuerungstechnik und den allgemeinen Baukastensystem „FT+“ entstehen, nachfolgend zusammengefasst:

- Drehzahl: 270 min<sup>-1</sup>
- Drehmoment: 2,6 Nm
- Leistung: 75 W
- Versorgungsspannung: 24 Vdc
- Temperaturbereich: 5 bis 45°C
- Abmessungen: 195 mm x 75 mm x 100 mm (LxBxH)
- Radialkraft an der Abtriebswelle: 200 N
- Lebensdauer: 50.000 h
- Stückzahl: 10 Stk./ a
- Zulassung: CE und UL
- Integrierte Steuerung: 2 digitale Inputs und digitale 2 Outputs

### 4.2.4 Beschreibung des gewählten Antriebs

Auf Basis der Anforderungen aus Kapitel 4.2.3 wurde bei folgenden Lieferanten ein Angebot eingeholt:

- Fa. Dunkermotoren GmbH
- Fa. Gefeg-Neckar Antriebssysteme GmbH

Im Hinblick auf die kritische Nennbreite N275 und der daraus resultierenden maximal zulässigen Baulänge, den Kosten und der bereits erprobten Steuerung in anderen internen Applikationen, ist der Antrieb der Fa. Dunkermotoren GmbH zu bevorzugen.

Der gewählte Antrieb ist ein bürstenloser Gleichstrommotor (BLDC) der Baureihe BG65 und verfügt über eine integrierte Motorsteuerung, die den Bewegungsablauf nur aufgrund von Steuerbefehlen wie bspw. „Heben“ oder „Senken“ selbständig durchführt und anschließend eine entsprechende Information, ob die Endposition erreicht wurde, am Ausgang bereitstellt. Die Option den Antrieb parametrisiert zu beziehen wurde aufgrund der identen Verfahrsprofile innerhalb der jeweiligen Stoppertypen gewählt und reduziert auf diese Weise zusätzliche, interne Arbeitsschritte. In speziellen Anwendungsfällen können die einzelnen Parameter nachträglich über einen Schnittstellenstecker adaptiert werden. Für die korrekte Hub- oder Senkbewegung benötigt der Motor eine Referenzposition, die über einen externen Sensor an der Kurbelscheibe detektiert wird und als interner Eingang in der Motorsteuerung ausgewertet wird. Die Lageerkennung im Betrieb erfolgt über Hall-Sensoren im Motor. Der Antrieb benötigt eine 24 Volt Gleichstrom Spannungsversorgung. Abb. 65 zeigt ein Schnittmodell der Baureihe BG.

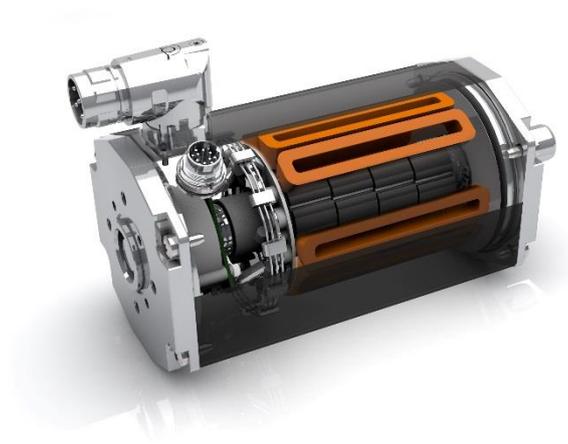


Abb. 65: Schnittmodell BLDC-Motor, Quelle: Dunkermotoren GmbH (2014), Online-Quelle [26.11.2017].

Die Spezifikation hinsichtlich Drehzahl, Drehmoment und Einbaulage erfordern den Einsatz eines Schneckengetriebes vom Typ SG80. Der Aufbau der Variante beinhaltet einen einseitigen Wellenausgang mit einer kugelgelagerten, glatten Welle die im rechten Winkel zur Motorwelle ausgerichtet ist. Abgestimmt auf die Anwendung resultiert eine Übersetzung  $i = 10:1$ , durch welche eine Abtriebsdrehzahl von ca.  $300 \text{ min}^{-1}$  erreicht wird. In Abb. 66 ist die gewählte Motor-Getriebe-Einheit ersichtlich.

Die Eckdaten lauten wie folgt:

- Drehzahl:  $303 \text{ min}^{-1}$
- Spitzendrehmoment:  $2,8 \text{ Nm}$
- Max. Radialkraft:  $300 \text{ N}$
- Abmessungen:  $188 \text{ mm} \times 65 \text{ mm} \times 98,5 \text{ mm}$  (LxBxH)

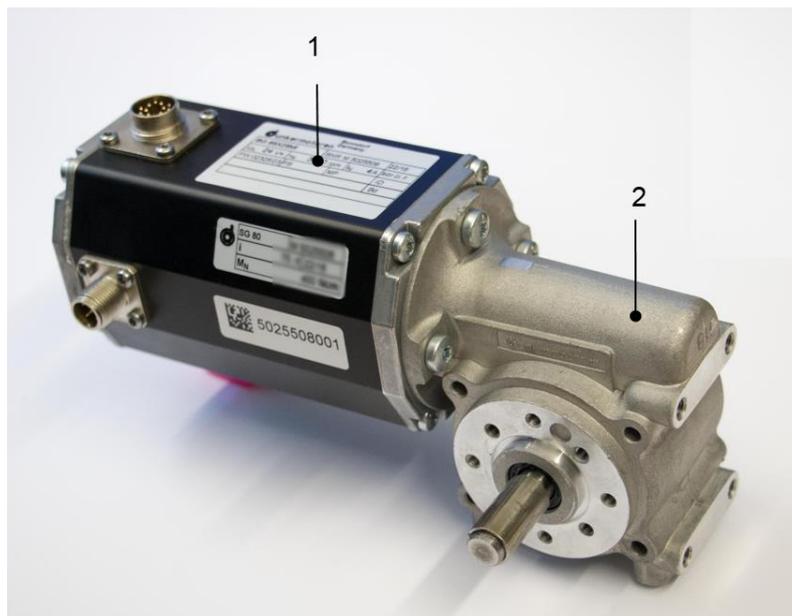


Abb. 66: (1) BLDC-Motor BG65 mit (2) Getriebe SG80, Quelle: Eigene Darstellung.

## 4.3 Konstruktion

Das Kapitel der Konstruktion befasst sich mit der detaillierten Umsetzung der Anforderungen die im Zuge der Elektrifizierung der Hubmechanik entstehen. Wesentlich hierbei ist, dass die Lösungen für beide Stoppertypen gleichermaßen funktionieren bzw. verwendbar sind, soweit dies wirtschaftlich und technisch sinnvoll ist.

### 4.3.1 Hubmechanismus

Der Antrieb (1) für die vertikale Hubbewegung befindet sich direkt unter dem Grundrahmen (2) und ist über einen Blechwinkel (3) direkt mit diesem verschraubt. Mit der gewählten Position gibt es keine Einschränkung hinsichtlich der unterschiedlichen Nennbreiten. Ein Schubkurbeltrieb bestehend aus einer Kurbelscheibe (4) und einer Schubstange (5) wandelt die Rotationsbewegung des Motors in eine lineare Hubbewegung des Stopperschwerts (6) um. Dabei ist die Kurbelscheibe aufgrund der wechselnden Drehrichtung über einen Spannsatz (7) mit der Getriebeabtriebswelle verbunden. Die Verbindung zwischen Kurbelscheibe und Schubstange wird durch den Einsatz einer Passschraube (8) realisiert, die Anbindung am Stopperschwert hingegen erfolgt über ein Drehteil (9) wobei die axiale Verschiebung der Schubstange durch einen Sicherungsring begrenzt wird. Die Abb. 67 und Abb. 68 zeigen die einzelnen Komponenten im Detail.

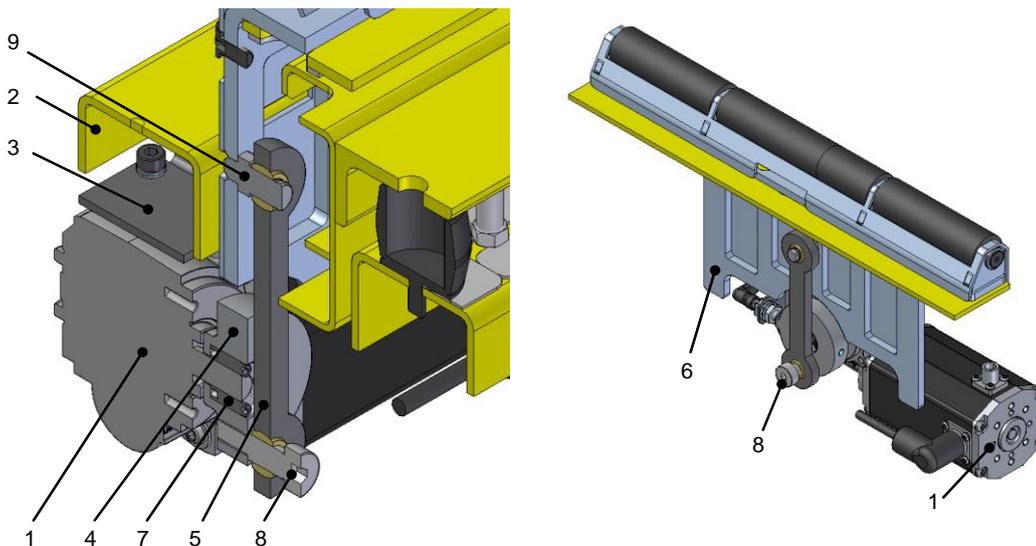


Abb. 67: Aufbau Hubmechanik, Typ: Rollenstopper, Quelle: Eigene Darstellung.

Das Funktionsprinzip ist bei beiden Stoppertypen identisch, einzig die Motorlage unterscheidet sich.

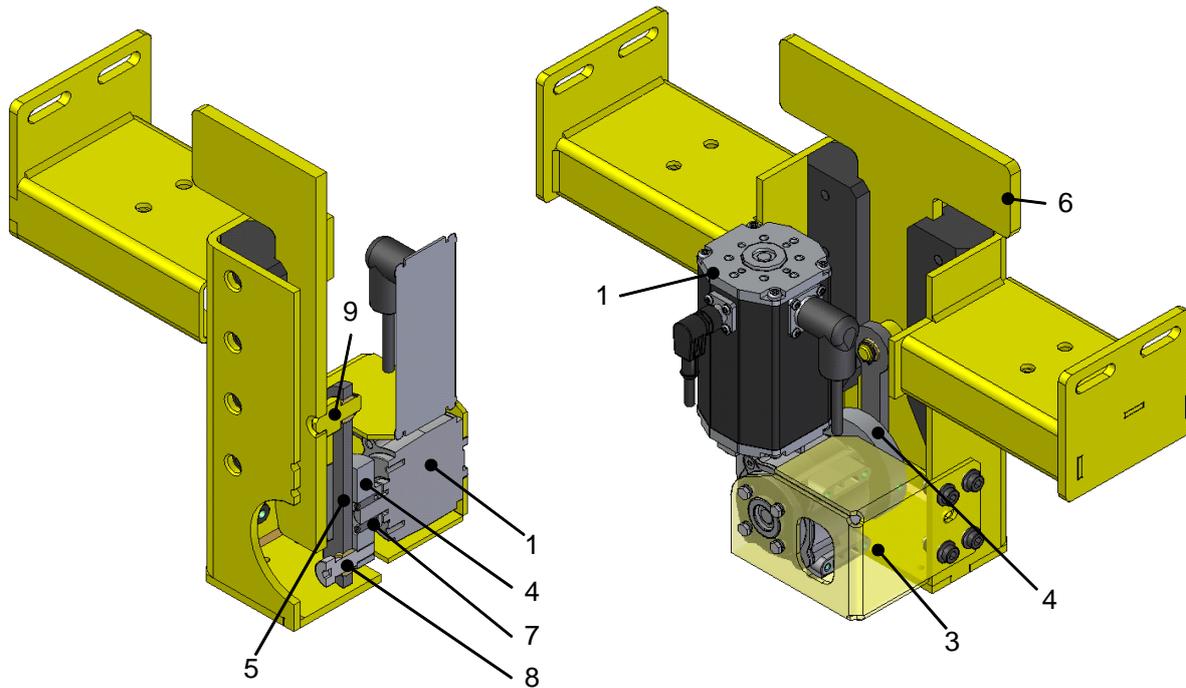


Abb. 68: Aufbau Hubmechanik, Typ: Sicherheitssperre, Quelle: Eigene Darstellung.

Das kritische Bauteil in der Hubmechanik hinsichtlich Festigkeit ist die verwendete Passschraube. Die Berechnung erfolgt mithilfe der Software MDESIGN.

### Berechnung der Passschraube

Die Passschraube nach ISO7379 aus Stahl mit der Festigkeitsklasse 12.9 ist ein Normteil mit den Abmessungen entsprechend Abb. 69.

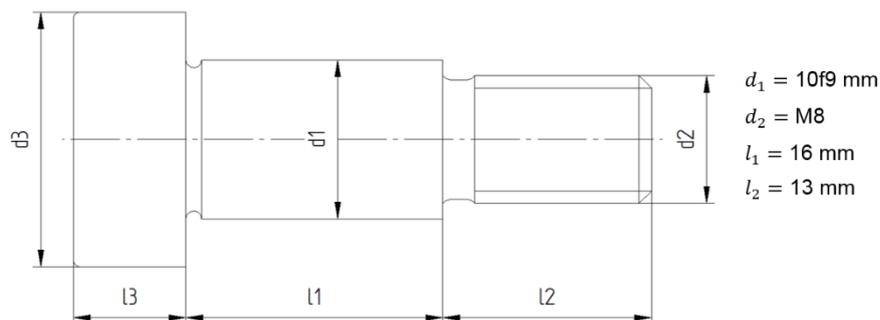


Abb. 69: Passschraube ISO7379-10-M8-16, Quelle: Eigene Darstellung.

Die für die Berechnung relevanten Größen sind die maximale Radialkraft  $F_{r1}$  welche der Tangentialkraft  $F_t$  aus dem Kapitel 4.2.2 entspricht und die Vorspannkraft der Schraube  $F_{ax1}$ . Der Angriffspunkt in X-Richtung von  $F_{r1}$  entspricht dem Mittelpunkt der Schubstange. Eine Skizze der vereinfachten Einbausituation ist in Abb. 70 dargestellt.

Aus der Berechnung geht hervor, dass die Biegespannung  $\sigma_{bmax} = 22,5 \text{ N/mm}^2$  die durch  $F_{r1}$  verursacht wird eine untergeordnete Rolle spielt, da die Zug-Druckspannung  $\sigma_{zmax} = 555 \text{ N/mm}^2$  die aus der

Vorspannung der Schraube resultiert rund 25-mal größer ist. Die Zug-Druckspannung  $\sigma_{zdmax}$  ist wiederum deutlich geringer als die 0,2 %-Dehngrenze  $R_{p0,2}$  mit  $1080 \text{ N/mm}^2$ . Daher wird davon ausgegangen, dass die Passschraube den Beanspruchungen standhält.

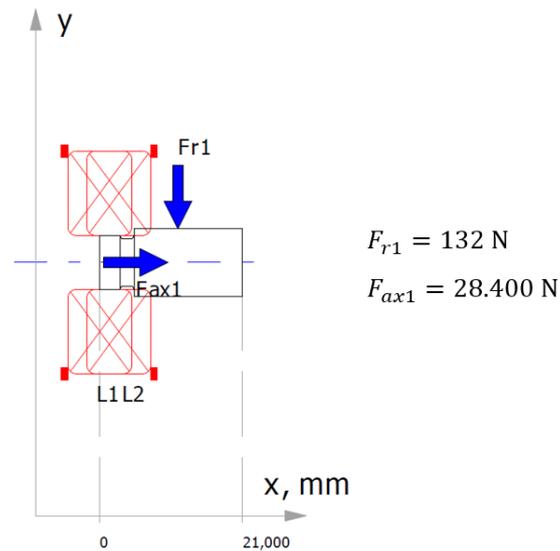


Abb. 70: Vereinfachte Darstellung der Einbausituation der Passschraube, Quelle: Berechnungsprogramm MDESIGN.

### 4.3.2 Grundrahmen

Die Adaption des Rollenstopper-Grundrahmens (1) betrifft vier zusätzliche Montagebohrungen für die Befestigung (2) des Antriebs und ermöglicht somit die Verwendung von bereits vorhandenen Bauteilen.

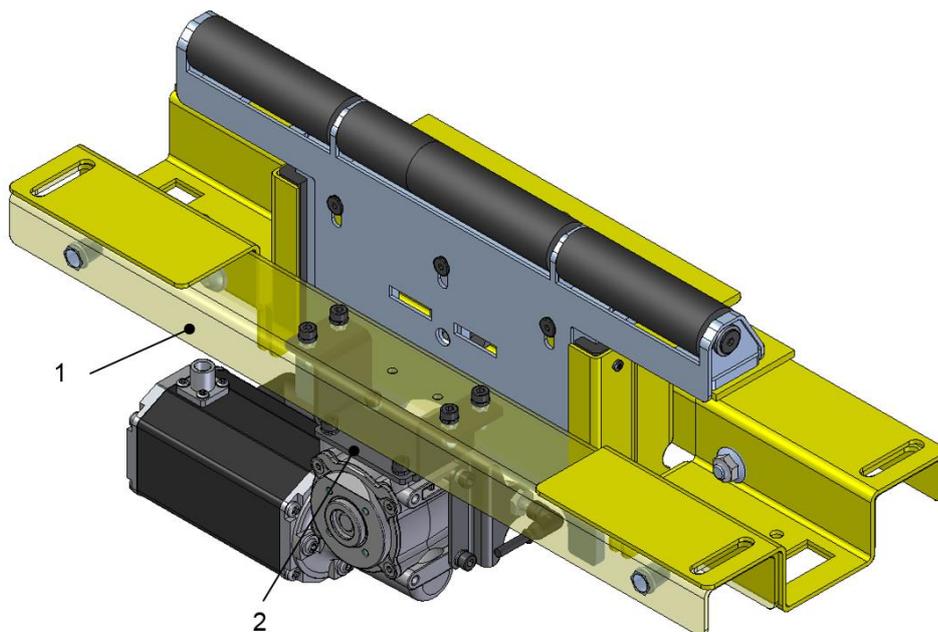


Abb. 71: Aufbau Grundrahmen, Typ: Rollenstopper, Quelle: Eigene Darstellung.

Der vorgegebene Bauraum im Fall der Sicherheitssperre hingegen erfordert eine neue konstruktive Ausführung des Grundrahmens (1). Die vertikale Lage des Antriebs bedingt eine Freistellung im vorderen Bereich. Um die Schubstange mit der Kurbelscheibe verbinden zu können, ist eine zusätzliche Montageöffnung (3) auf der hinteren Seite des Grundrahmens notwendig. Der Antrieb wird über eine Blechkonsole (2) an der seitlichen Biegestelle befestigt.

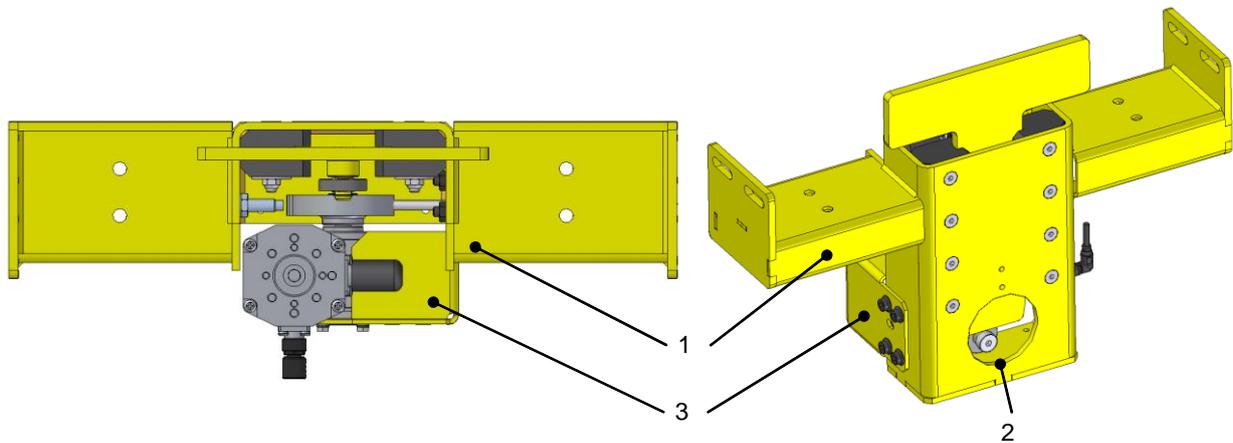


Abb. 72: Aufbau Grundrahmen, Typ: Sicherheitssperre, Quelle: Eigene Darstellung.

### 4.3.3 Sensorik

Der induktive Referenzsensor (1) ist so positioniert, dass die untere Schwertposition anhand einer Nocke an der Kurbelscheibe (2) detektiert wird. Die Montage erfolgt beim Rollenstopper mittels Blechwinkel (3) direkt am Schneckengetriebe. In der Anwendung bei der Sicherheitssperre wird der Sensor direkt am Grundrahmen verschraubt. Aufgrund der Platzverhältnisse ist es notwendig zwei Sensoren mit unterschiedlicher Baulänge zu berücksichtigen.

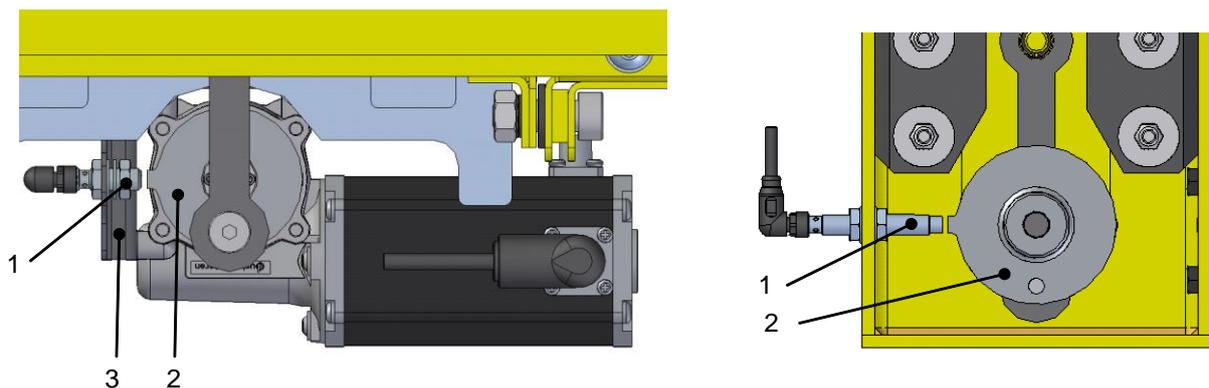


Abb. 73: Aufbau: Sensorik, Typ: Rollenstopper und Sicherheitssperre, Quelle: Eigene Darstellung.

### 4.3.4 Komplette Baugruppe

Mit der Möglichkeit den Rollenstopper (1) an jeder beliebigen Position in der Fördertechnik verbauen zu können, entsteht die Forderung hinsichtlich der Sicherheit, dass die Fördertechnikkomponente entsprechend der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG ausgeführt ist. Um diese Standards zu erfüllen und somit eine mögliche Verletzung zu verhindern, ist der Rollenstopper durch eine Abdeckung (3) vor einem

Eingriff zu schützen. Diese Anforderung ist für den Einsatz der Sicherheitssperre (2) nicht zwingend notwendig, da die mit der Einbausituation einhergehenden Schutzzaunelemente einen Eingriff im laufenden Betrieb verhindern.

Die relevanten Außenabmessungen der beiden Stoppertypen im eingebauten Zustand sind in Abb. 74 und Abb. 72 dargestellt. Die für die Anwendung relevante Bauhöhe von maximal 200 mm wird bei beiden Stoppertypen unterschritten. Einzig die Länge der Sicherheitssperre hat sich aufgrund des einheitlichen Konzeptes um 46 mm gegenüber dem Bauraum der pneumatischen Variante vergrößert. Die Konsequenz dieser Abweichung ist hinsichtlich möglicher Kollisionen mit anderen Fördertechnikfunktionseinheiten nicht problematisch, da der aktuelle Planungsstandard hier ausreichend Abstand vorsieht.

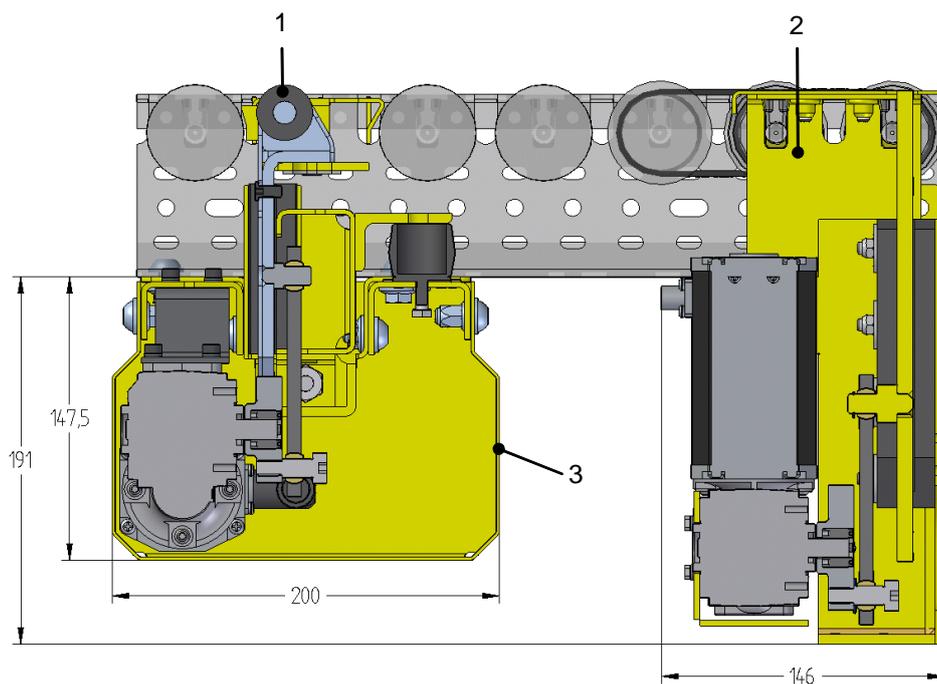


Abb. 74: Gesamtaufbau der elektrischen Stoppervarianten, Schnittdarstellung, Quelle: Eigene Darstellung.

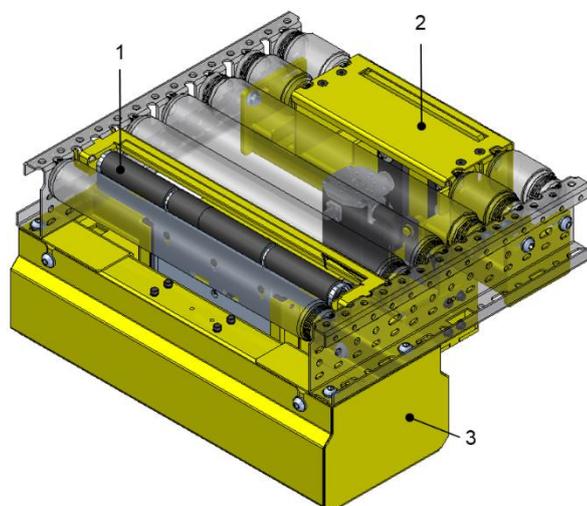


Abb. 75: Gesamtaufbau der zwei elektrischen Stoppervarianten, Iso-Ansicht, Quelle: Eigene Darstellung.

## 5 RENTABILITÄTSBETRACHTUNG

Die Rentabilität ist ein wesentlicher Parameter in der Bewertung von potentiellen Produkten, bevor diese für die Prototypenphase freigegeben werden. In diesem Zusammenhang werden nicht nur die Fertigungskosten, sondern auch die für den Kunden relevanten Betriebskosten betrachtet. Der Kostenvergleich der aktuellen pneumatischen Lösung mit der elektrischen Variante basiert auf einem Rollenstopper mit einer Nennbreite von 425 mm.

### 5.1 Herstellkostenvergleich

Die Herstellkosten berücksichtigen die Materialkosten der Mechanik- und Elektrik-Komponenten sowie die Fertigungskosten. Der vorgegebene Zielpreis definiert mit 100 % den Referenzwert für den Kostenvergleich aus Tab. 10.

#### **Materialkosten**

Die Materialkosten sind jene Kosten, die das Einzelteil im Zukauf bzw. in der Eigenfertigung hervorruft. Grundsätzlich gilt, dass mit steigender Stückzahl die Einzelteilkosten sinken, was sich speziell bei hochpreisigen Komponenten wie der Motor-Getriebe-Einheit bemerkbar macht. Aus diesem Grund spielt der Gleichteile-Gedanke eine wesentliche Rolle bei der Kalkulation des elektrischen Stoppers. Bis auf die Bauteile die konzeptbedingt zusätzlich neu benötigt werden bzw. entfallen, verwendet die elektrische Ausführung die gleichen mechanischen Komponenten. Die Kalkulation der hinzukommenden Einzelteile basiert zum einen auf einer prognostizierten Jahresmenge des elektrischen Stoppers von 10 Stück und zum anderen auf bereits vorhandenen Referenzteilen.

#### **Fertigungskosten**

Die Fertigungskosten beziffern die zeitlichen Aufwände, die für den kompletten Zusammenbau des Stoppers erforderlich sind. Wie aus Tab. 10 hervorgeht, wird der Mehraufwand für den elektrischen Stopper aufgrund von zusätzlichen Tätigkeiten wie bspw. der drehmomentgerechten Montage des Spannsatzes oder der Anbau und die Einstellung des Referenzsensors mit 1,5 % bewertet.

#### **Herstellkosten**

Das Resultat des Vergleichs aus Tab. 10 zeigt, dass der Zielpreis um rund 10 % überschritten wird. Dabei bilden der Antrieb und die damit einhergehenden Elektrikkomponenten wie Schaltschrank, Netzteil, Motorstarter, Motorkabel, etc. den signifikanten Anteil der Mehrkosten gegenüber der pneumatischen Variante.

STP elektrisch		STP pneumatisch	
Materialkosten	%	Materialkosten	%
Mechanik	16 %	Mechanik	27,3 %
Elektrik	40 %	Elektrik	0,9 %
Antrieb	32,6 %		
Zusätzliche mechanische Bauteile	4,7 %		
Fertigungskosten	14,8 %	Fertigungskosten	14,8 %
Zusätzliche Montagezeit	1,5 %		
Herstellkosten	109,6 %	Herstellkosten	43 %

Tab. 10: Herstellkostenvergleich, Quelle: Eigene Darstellung.

## 5.2 TCO-Vergleich

Der Begriff „Total Cost of Ownership“ (TCO) beschreibt im Wesentlichen eine ganzheitliche Bewertung der Kosten eines Produktes. Hierbei werden Aufwände wie Betriebskosten und Entsorgung, die über die Anschaffungskosten hinausgehen berücksichtigt, um eine fundierte und ökonomische Kaufentscheidung zu ermöglichen. Besonders die Kosten im laufenden Betrieb repräsentieren einen relevanten Anteil der Gesamtkosten über die geplante Nutzungsdauer betrachtet.

Die Erzeugung der Druckluft, die Distribution und vorhandene Leckagen führen dazu, dass der Gesamtwirkungsgrad von pneumatischen Systemen deutlich niedriger ausfällt als der einer ausschließlich elektrisch betriebenen Anlage. Unter dem Aspekt die Energieeffizienz zu steigern gibt es einen eindeutigen Trend auf pneumatische Aktorik zu verzichten.

In den nachfolgenden Bewertungen wird die Hubbewegung des Stoppers anhand des definierten Durchsatzes von 1200 Fördergüter/Stunde und einer angenommenen jährlichen Betriebsdauer von rund 8700 Stunden resultierend aus einem 3-Schicht-Betrieb mit je acht Stunden an sieben Tagen der Woche analysiert.

Die Berechnungen beziehen sich auf folgende Energiepreise:

- $K_D$ ...Kosten pro m<sup>3</sup> Druckluft: 0,024 EUR<sup>35</sup>
- $K_E$ ...Kosten pro kWh: 0,114 EUR<sup>36</sup>

<sup>35</sup> Festo AG & Co. KG (2017), Online-Quelle [29.11.2017]

<sup>36</sup> Eurostat (2017), Online-Quelle [29.11.2017]

### 5.2.1 Pneumatische Variante

Der Pneumatikzylinder benötigt für einen Zyklus ca. 0,434 Liter, wie aus der Simulation (Abb. 51) hervorgeht, wobei ein Zyklus das Heben und Senken des Stopperschwertes inkludiert.

Die **Berechnung des Luftverbrauches** erfolgt in **m<sup>3</sup> per anno** und basiert auf folgender Gleichung:

$$Q = V_{Zyl} \lambda t \quad (5.1) \quad \begin{array}{ll} Q/m^3 a^{-1} & \text{Luftverbrauch} \\ V_{Zyl}/m^3 & \text{Zylindervolumen pro Zyklus} \\ \lambda/1 h^{-1} & \text{Durchsatz} \end{array}$$

$$t = 52 w * 7 d * (3 * 8) h = 8736 h \quad (5.2) \quad \begin{array}{ll} t/h a^{-1} & \text{Zeitraum (Stunden pro Jahr)} \end{array}$$

$$Q = 0,434 l * 10^{-3} * 1200 * 8736 h = 4549,7 \frac{m^3}{a}$$

Daraus resultieren folgende **Energiekosten** in **Euro per anno**:

$$K = Q K_D \quad (5.3) \quad \begin{array}{ll} K/EUR a^{-1} & \text{Energiekosten pro Jahr} \\ K_D/EUR m^{-3} & \text{Energiekosten der Druckluft} \\ Q/m^3 a^{-1} & \text{Luftverbrauch} \end{array}$$

$$K = 4549,7 \frac{m^3}{a} * 0,024 \frac{EUR}{m^3} = 113,7 \frac{EUR}{a}$$

### 5.2.2 Elektrische Variante

Die maximale Leistungsaufnahme des BLDC-Motors im Nennbetrieb beträgt ca. 96 W. Bei einer vorgegebenen Aus- und Rückhubzeit von 0,2 s ergibt sich eine Gesamtbetriebszeit  $t_z$  von 0,4 s für einen Zyklus.

**Berechnung** der anteiligen **Einschaltdauer (ED)**:

$$ED = \frac{t_z \lambda}{3600 s} \quad (5.4) \quad \begin{array}{ll} ED/h & \text{Einschaltdauer} \\ t_z/s & \text{Gesamtbetriebszeit pro Zyklus} \\ \lambda/h^{-1} & \text{Durchsatz} \end{array}$$

$$ED = \frac{0,4 s * 1200}{3600 s} = 0,13 * 100\% = 13\%$$

**Berechnung des Energiebedarfs** in **kWh**:

$$W = \frac{P_M ED}{1000} \quad (5.5) \quad \begin{array}{ll} W/kWh & \text{Energiebedarf} \\ P_M/W & \text{Motorleistung} \\ ED/ & \text{Einschaltdauer} \end{array}$$

$$W = \frac{96 W * 0,13 h}{1000} = 0,0128 kWh$$

**Berechnung der Energiekosten in Euro per anno:**

	$K/\text{EUR a}^{-1}$	Energiekosten pro Jahr
$K = WK_E t$	(5.6) $K_E/\text{EUR kWh}^{-1}$	Stromkosten
	$W/\text{kWh}$	Energiebedarf

$$K = 0,0128 \text{ kWh} * 0,114 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} * 8736 \text{ h} = 12,75 \frac{\text{EUR}}{\text{a}}$$

**5.3 Gegenüberstellung der Kosten**

Die vorausgegangenen Berechnungen zeigen, dass die laufenden Kosten der elektrischen Variante um rund das 9-fache günstiger sind als die der pneumatischen Ausführung. Abb. 76 zeigt den Verlauf der variantenabhängigen Gesamtkosten bezogen auf die 100 % des Zielpreises über die Betriebsstunden. Auffällig dabei sind die großen Unterschiede zwischen den Kostenfunktionen was a.) den Schnittpunkt mit der Y-Achse und b.) die Steigung betrifft. Die hohen Herstellkosten der elektrischen Variante beeinflussen den Schnittpunkt der beiden Geraden entscheidend. Basierend auf den aktuellen Annahmen beläuft sich die Amortisationsdauer des elektrischen Stoppers auf ca. 40.000 h was grob 4,5 Jahren im 3-Schicht-Betrieb entspricht.

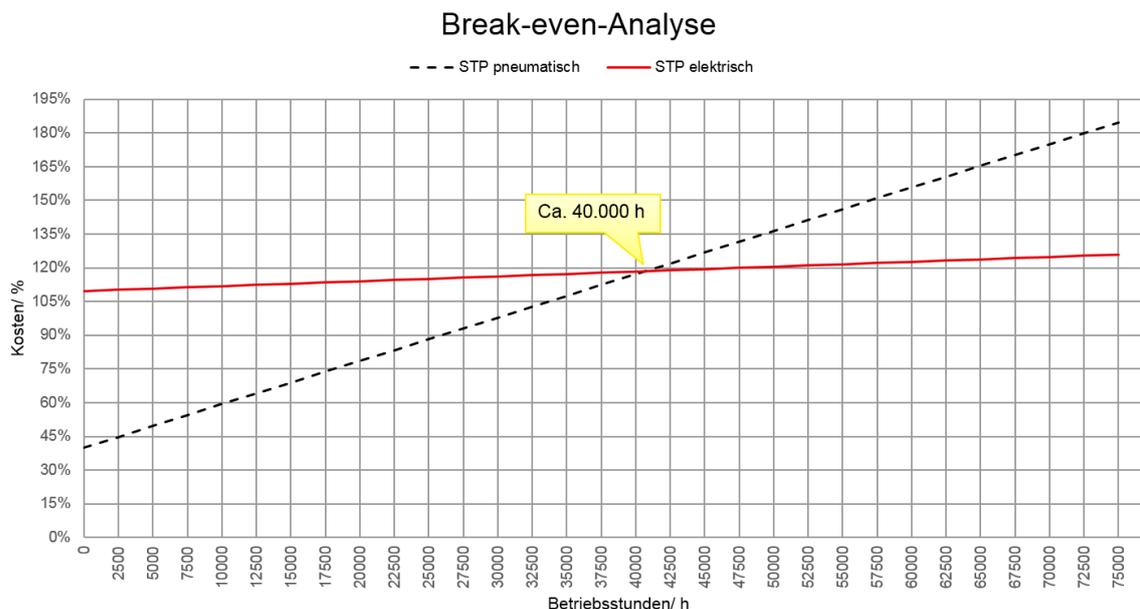


Abb. 76: Kostenvergleich STP pneumatisch vs. elektrisch in Betriebsstunden, Quelle: Eigene Darstellung.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der Theorieteil dieser Arbeit erörtert eingangs den Überbegriff *Logistik* und bildet die Basis für die nachfolgenden Teilgebiete Intralogistik, Materialfluss und Fördertechnik. Der Fokus richtete sich dabei besonders auf das Kapitel Fördertechnik mit den Abschnitten Fördergut, Fördermittel und Durchsatz und auf die Beschreibung der Fördertechnik aus dem Hause SSI SCHÄFER Automation. Abschließend wurden die Anwendungsfälle und der Aufbau sowie die Hubbewegung des Stoppers behandelt und analysiert. Die Zielsetzung der Arbeit bestand in der Entwicklung eines rein elektrisch angetriebenen Hubmechanismus innerhalb der vorgegebenen Rahmenbedingungen für Bauraum, Zielkosten und Leistungsfähigkeit.

Der praktische Teil gliedert sich in vier Abschnitte und beginnt mit der Konzeption von unterschiedlichen Lösungsansätzen für den elektrischen Hub. Die Auswahl des weiterverfolgten Konzepts „Schubkurbel“ erfolgte auf Basis einer Nutzwertanalyse. Im dritten Abschnitt liefert die Auslegung und Abstimmung der Hubmechanik die grundlegenden Daten für die Motorauswahl. Auf Basis dieser Ergebnisse und der Entwicklungsvorgaben wurde ein BLDC-Motor mit Schneckengetriebe als Antriebseinheit gewählt mit dem Resultat, dass die Leistungsfähigkeit um ca. 20 % gesteigert werden konnte. Die Detailkonstruktion der Ausprägungen „Rollenstopper“ und „Sicherheitssperre“ bildet den Abschluss des technischen Aspekts.

In der ökonomischen Betrachtung erfolgte eine Bewertung der Rentabilität des elektrischen Stoppers hinsichtlich der Herstell- und Betriebskosten. Das gesetzte Kostenziel wurde zwar um rund 10 % überschritten, jedoch betragen die Energiekosten basierend auf einen 3-Schicht-Betrieb mit je acht Stunden an sieben Tagen der Woche nur 11 % der Energiekosten der pneumatischen Variante. Der direkte Vergleich der Gesamtkosten der beiden Stopper zeigt, dass der elektrische Stopper ab einer Einsatzdauer von ca. 40.000 h einen Kostenvorteil bietet.

Die Erweiterung des Produktportfolios um den elektrischen Stopper verbessert mittelfristig die Chancen bekannte Hürden bei einem Wechsel von manuellen auf teilautomatisierte Lagersysteme zu reduzieren, da Investitionen für neu benötigte Infrastruktur wie bspw. Druckluftversorgung entfallen. Eine Anwendung im halbautomatischen Kommissioniersystem Pick to Tote eröffnet ein Einsparungspotential von 25 % auf die Elektrikkomponenten des Stoppers, da durch die örtliche Konzentration mehrere Bauteile gemeinsam genutzt werden können.

Im nächsten Schritt ist geplant einen entsprechenden Prototypen zu fertigen, um eine Analyse der Hubmechanik bzgl. Funktion, Zusammenbau und Lebensdauer durchführen zu können. Die daraus resultierenden Ergebnisse werden als Basis für die mittelfristige Entwicklung der Variante für Fördergutgewichte <35 kg bis max. 50 kg herangezogen werden.

## LITERATURVERZEICHNIS

### Gedruckte Werke (9)

Arnold, Dieter; Furmans, Kai (2009): *Materialfluss in Logistiksystemen*, 6. erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Karlsruhe

Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Furmans, Kai (2008): *Handbuch Logistik*, 3. neu bearbeitete Auflage, Springer Verlag, Berlin

Gudehus, Timm (2012): *Logistik - Grundlagen, Verfahren und Strategien*, 4. Auflage, Springer Vieweg, Hamburg

Günther, Hans-Otto; Tempelmeier, Horst (2011): *Produktion und Logistik*, 9. aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin

Heiserich, Otto-Ernst; Helbig, Klaus; Ullmann, Klaus (2011): *Logistik - Eine praxisorientierte Einführung*, 4. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden

Klaus, Peter; Krieger, Winfried (2008): *Gabler Lexikon Logistik*, 4. Auflage, Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden

Koch, Susanne (2012): *Logistik - Eine Einführung in Ökonomie und Nachhaltigkeit*, Springer Verlag, Berlin

Martin, Heinrich (2014): *Transport- und Lagerlogistik*, 9. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden

Pfohl, Hans-Christian (2010): *Logistiksysteme - Betriebswirtschaftliche Grundlagen*, 8. Auflage, Springer-Verlag, Berlin

### Online-Quellen (5)

Festo AG & Co. KG (2017): [https://www.festo.com/cms/de\\_de/index.htm](https://www.festo.com/cms/de_de/index.htm)  
[https://www.festo.com/cms/de\\_de/18161.htm](https://www.festo.com/cms/de_de/18161.htm) [Stand: 29.11.2017]

Festo AG & Co. KG (2017): [https://www.festo.com/cms/de\\_de/index.htm](https://www.festo.com/cms/de_de/index.htm)  
[https://www.festo.com/net/de-at\\_at/SupportPortal/default.aspx?cat=1098&tab=30&s=t#result](https://www.festo.com/net/de-at_at/SupportPortal/default.aspx?cat=1098&tab=30&s=t#result) [Stand: 29.11.2017]

SSI SCHÄFER Automation GmbH (2017): [ssi-schaefer.com](http://ssi-schaefer.com)  
<https://www.ssi-schaefer.com/de-at/unternehmen/standorte-unternehmen--49368> [Stand: 03.12.2017]

Dunkermotoren GmbH (2014): *Dunkermotoren*  
[http://www.dunkermotoren.com/fileadmin/files/news/Schnittmodell\\_BG95.jpg](http://www.dunkermotoren.com/fileadmin/files/news/Schnittmodell_BG95.jpg) [Stand: 26.11.2017]

Eurostat (2017): <http://ec.europa.eu/eurostat>  
[http://ec.europa.eu/eurostat/data/database?node\\_code=nrg\\_pc\\_205\\_c](http://ec.europa.eu/eurostat/data/database?node_code=nrg_pc_205_c) [Stand: 29.11.2017]

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Lager-Fix-Kasten Lagersystem, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH. ....	1
Abb. 2: Übersicht Unternehmensgruppe SSI SCHÄFER, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH. ....	1
Abb. 3: Schematische Darstellung der Funktion; (1) Stopper, (2) Fördertechnik, (3) Fördergut, Quelle: Eigene Darstellung. ....	3
Abb. 4: Einbausituation und Schnittdarstellung eines Stoppers, Quelle: Eigene Darstellung. ....	3
Abb. 5: Entwicklung der Logistik, Quelle, Koch (2012), S. 7. ....	6
Abb. 6: Logistisches System, Quelle: Pfohl (2010), S. 20. ....	7
Abb. 7: Ziele der Unternehmenslogistik, Quelle: Eigene Darstellung. ....	8
Abb. 8: Magisches Viereck der Logistik, Quelle: Eigene Darstellung. ....	9
Abb. 9: Fachdisziplinen der Logistik, Quelle: Pfohl (2010), S.19, (leicht modifiziert). ....	9
Abb. 10: Funktionen eines Logistikzentrums, Quelle: Gudehus (2012), S. 20. ....	12
Abb. 11: Modell eines Logistikzentrums, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH. ....	13
Abb. 12: Elemente der Distributionslogistik, Quelle: Arnold/Isermann/Kuhn/Tempelmeier/Furmans (2008), S. 406, (leicht modifiziert). ....	13
Abb. 13: Kommissionierfrequenz Quelle: Eigene Darstellung. ....	14
Abb. 14: Elemente des Materialflusses, Quelle: Eigene Darstellung. ....	16
Abb. 15: Einteilung Fördermittel, Quelle: Eigene Darstellung. ....	19
Abb. 16: Einflussfaktoren für die Auswahl des Fördermittels, Quelle: Eigene Darstellung. ....	20
Abb. 17: Schematische Darstellung zur Durchsatzberechnung, Quelle: Eigene Darstellung. ....	21
Abb. 18: Übersicht SSI Produktlösungen, Quelle: Eigene Darstellung. ....	22
Abb. 19: Profil der Rollenfördertechnik von SSI SCHÄFER Automation, Quelle: Eigene Darstellung. ....	23
Abb. 20: Profil der Bandfördertechnik von SSI SCHÄFER Automation, Quelle: Eigene Darstellung. ....	23
Abb. 21: Fördertechnikoberkante, Quelle: Eigene Darstellung. ....	24
Abb. 22: Unterteilung der Rollenfördertechnik, Quelle: Eigene Darstellung. ....	24
Abb. 23: Schematische Darstellung der Stauplatz Unterteilung, Quelle: Eigene Darstellung. ....	25
Abb. 24: Flussdiagramm der Staufunktion, Quelle: Eigene Darstellung. ....	26
Abb. 25: Rollenbahn: (1) Laufrolle, (2) Seitenteil, Quelle: Eigene Darstellung. ....	27
Abb. 26: Schnitt Treibrollenbahn, Quelle: Eigene Darstellung. ....	27
Abb. 27: Iso-Ansicht Detail Treibrollenbahn, Quelle: Eigene Darstellung. ....	27
Abb. 28: Stauplatzeinteilung einer SRB, Quelle: Eigene Darstellung. ....	28

Abb. 29: Draufsicht MRB: Laufrolle (1), Lichttaster (2), Trommelmotor (3), Keilrippenriemen (4), Quelle: Eigene Darstellung. ....	29
Abb. 30: Förderband, Quelle: Eigene Darstellung. ....	30
Abb. 31: ABC-Bandförderer mit 4 Stauplätzen, Quelle: Eigene Darstellung. ....	30
Abb. 32: Bandförderer für Altkartontransport: (1) Antrieb, (2) Umlenkung, (3) Gurt, (4) Geländer, Quelle: Eigene Darstellung. ....	31
Abb. 33: Lagersystem SCHÄFER Miniload Crane, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH. ....	32
Abb. 34: Rechnungsbeigabe, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.....	33
Abb. 35: Labeljet, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH. ....	33
Abb. 36: Tray Loading Station, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH. ....	34
Abb. 37: Kommissionierarbeitsplatz Pick to Tote, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH. ....	35
Abb. 38: Beispiele einer Anwendung in der Fördertechnik, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH...	35
Abb. 39: Darstellung der zwei Hubpositionen, Typ Rollenstopper, Quelle: Eigene Darstellung.....	36
Abb. 40: Einbausituation Rollenstopper, Quelle: Eigene Darstellung. ....	37
Abb. 41: Einbausituation eines Rollenstoppers im Versandbereich, Quelle: Eigene Darstellung. ....	37
Abb. 42: Einbausituation Sicherheitssperre ausgefahren, Quelle: Eigene Darstellung. ....	38
Abb. 43: Layoutausschnitt als Sicherheitssperre, Draufsicht, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH.	39
Abb. 44: Vereinfachtes Ablaufdiagramm einer Stopperstation, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH. ....	39
Abb. 45: Explosionsdarstellung Rollenstopper, Quelle: Eigene Darstellung.....	41
Abb. 46: Hauptelement Grundrahmen: (1) Anschraubflächen an der Fördertechnik, (2) Befestigungsfläche der Führung, (3) Lagerung für Pneumatikzylinder, (4) Lagerung für Schwenkbewegung, Quelle: Eigene Darstellung. ....	42
Abb. 47: Hauptelement Stopperschwert: (1) Schwertblech, (2) Anlenkpunkt Pneumatikzylinder, (3) Rolle, (4) Eingriffsschutz, Quelle: Eigene Darstellung.....	42
Abb. 48: Hauptelement Führung: (1) Gleitleiste, Quelle: Eigene Darstellung.....	43
Abb. 49: Hauptelement Antrieb: (1) Pneumatikzylinder, (2) 5/2-Wegeventil, Quelle: Eigene Darstellung.	43
Abb. 50: Hauptelement Dämpfer: (1) Tubus-Dämpfer, Quelle: Eigene Darstellung. ....	44
Abb. 51: Simulation der Hubbewegung, Quelle: Pneumatisches Simulationstool Fa. Festo GmbH, (leicht modifiziert). ....	45
Abb. 52: Konzept 1: (1) Exzentrerscheibe, (2) Schubstange, (3) Motor, Quelle: Eigene Darstellung. ....	47
Abb. 53: Konzept 2: (1) Exzenterkurbel, (2) Stopperschwert, (3) Bolzen, (4) Motor, Quelle: Eigene Darstellung. ....	49

Abb. 54: Konzept 3: (1) Spindel, (2) Mutter, (3) Lagerung, (4) Motor, Quelle: Eigene Darstellung. ....	50
Abb. 55: Konzept 4: (1) Zahnstange, (2) Zahnrad, (3) Motor, Quelle: Eigene Darstellung. ....	51
Abb. 56: Übersicht der Bewertungskriterien, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH, (leicht modifiziert). ....	54
Abb. 57: Gewichtung der Bewertungskriterien, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH. ....	54
Abb. 58: Resultat Nutzwertanalyse, Quelle: SSI SCHÄFER Automation GmbH. ....	55
Abb. 59: Aushubbewegung Stopper, Quelle: Eigene Darstellung. ....	56
Abb. 60: Vereinfachte Darstellung des Geschwindigkeitsverlaufes, Quelle: Eigene Darstellung. ....	57
Abb. 61: Drehzahlverlauf beim Hubvorgang, Quelle: Eigene Darstellung. ....	58
Abb. 62: Schubkurbelposition in Abhängigkeit vom Hub, Typ: Sicherheitssperre, Quelle: Eigene Darstellung. ....	59
Abb. 63: Kräftedreieck bei maximal Drehmoment, Quelle: Eigene Darstellung. ....	60
Abb. 64: Drehmomentverlauf in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel, Rollenstopper mit Kurbelradius 20 mm, Quelle: Eigene Darstellung. ....	61
Abb. 65: Schnittmodell BLDC-Motor, Quelle: Dunkermotoren GmbH (2014), Online-Quelle [26.11.2017]63	
Abb. 66: (1) BLDC-Motor BG65 mit (2) Getriebe SG80, Quelle: Eigene Darstellung. ....	63
Abb. 67: Aufbau Hubmechanik, Typ: Rollenstopper, Quelle: Eigene Darstellung. ....	64
Abb. 68: Aufbau Hubmechanik, Typ: Sicherheitssperre, Quelle: Eigene Darstellung. ....	65
Abb. 69: Passschraube ISO7379-10-M8-16, Quelle: Eigene Darstellung. ....	65
Abb. 70: Vereinfachte Darstellung der Einbausituation der Passschraube, Quelle: Berechnungsprogramm MDESIGN. ....	66
Abb. 71: Aufbau Grundrahmen, Typ: Rollenstopper, Quelle: Eigene Darstellung. ....	66
Abb. 72: Aufbau Grundrahmen, Typ: Sicherheitssperre, Quelle: Eigene Darstellung. ....	67
Abb. 73: Aufbau: Sensorik, Typ: Rollenstopper und Sicherheitssperre, Quelle: Eigene Darstellung. ....	67
Abb. 74: Gesamtaufbau der elektrischen Stoppervarianten, Schnittdarstellung, Quelle: Eigene Darstellung. ....	68
Abb. 75: Gesamtaufbau der zwei elektrischen Stoppervarianten, Iso-Ansicht, Quelle: Eigene Darstellung. ....	68
Abb. 76: Kostenvergleich STP pneumatisch vs. elektrisch in Betriebsstunden, Quelle: Eigene Darstellung. ....	72

## TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Beispiele von Stück- bzw. Schüttgut, Quelle: Eigene Darstellung.....	17
Tab. 2: Übersicht Durchsatzraten, Quelle: Eigene Darstellung.....	22
Tab. 3: Morphologischer Kasten für Konzeptauswahl, Quelle: Eigene Darstellung.....	46
Tab. 4: Übersicht der gewählten Varianten, Quelle: Eigene Darstellung.....	46
Tab. 5: Kostenvergleich Konzept Schubkurbel, Quelle: Eigene Darstellung. ....	48
Tab. 6: Kostenvergleich Konzept Scotch Yoke, Quelle: Eigene Darstellung. ....	49
Tab. 7: Kostenvergleich Konzept vertikale Spindel, Quelle: Eigene Darstellung.....	51
Tab. 8: Kostenvergleich Konzept Zahnstange, Quelle: Eigene Darstellung. ....	52
Tab. 9: Beispiel einer Nutzwertanalyse, Quelle: Günther/Tempelmeier (2011), S. 71, (modifiziert). ....	53
Tab. 10: Herstellkostenvergleich, Quelle: Eigene Darstellung. ....	70

## **ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

BLDC Brushless DC Motor (Bürstenloser Gleichstrommotor)

RBG Regalbediengerät

SSI Schäfer Systems International

TCO Total Cost of Ownership