



Matthias Schilcher BSc

Knowledge-based Engineering zur Grobplanung und Analyse von Sortiersystemen

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur (Dipl.-Ing.)

eingereicht am

Institut für Technische Logistik (ITL)

Betreuer: Dipl.-Ing. Alexander Ortner-Pichler

Graz, November 2015

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 20.11.2015

Matthias Ghidella

Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit zum Thema „Knowledge-based Engineering (KBE) zur Grobplanung und Analyse von Sortiersystemen“ beschäftigt sich mit (teil-)automatisierten, wissensbasierten und computergestützten Entwicklungsmethoden zur Auslegung, Berechnung und Konstruktion von Sortieranlagen, im Speziellen von Kippschalensortern.

Aufbauend auf den erarbeiteten Grundlagen des Knowledge Managements und einer detaillierten Analyse der aktuellen Sortiertechnik wurden Konzepte für allgemeine Ansätze betreffend des Auslegungsablaufs von Sortiersystemen erstellt, inklusive eines Auswahlverfahrens geeigneter Sortertechnologien.

Das Kernstück der Arbeit umfasst die Entwicklung des Kippschalensorter-Konfigurators, dem sogenannten KSK-Tool. Mit MS Excel wird eine Standard-Software als Benutzeroberfläche zur Konfiguration und Berechnung der gewünschten Sortieranlage genutzt, die Schnittstelle X2Creo ermöglicht das Ein- und Auslesen erstellter Parameter in das CAD-Tool Creo 1.0, wo das Ergebnis visualisiert wird. Die Konfiguration der Sortieranlage folgt einem entwickelten Planungsablauf samt implementierten Berechnungen zur Auslegung des gewünschten Layouts der Gesamtanlage. Die erforderlichen Bauteile und Baugruppen wie Schalen, Einschleusungen, Endstellen oder Antriebe können nach dem Baukastenprinzip ausgewählt, in der Anlage platziert und anschließend berechnet werden. Die nach Abschluss der Konfiguration dem Anwender zur Verfügung stehenden Ergebnisse umfassen neben den relevanten Daten zur Anlage ein CAD-Modell mit Stückliste und Informationen aus dem Analyse-Tool zu Materialverbrauch und Kosten ausgewählter Komponenten.

Somit konnte gezeigt werden, dass mittels des Einsatzes von KBE-Anwendungen auch im Bereich der technischen Logistik Effizienzsteigerungen durch signifikante Verkürzung von Entwicklungszeiten und Minimierung von Fehlerquellen durch klar definierte und automatisierte Prozesse erzielt werden können.

Abstract

The present master's thesis "Knowledge-based engineering for rough planning and analysis of sorting systems" treats of (semi-)automated, knowledge-based and computer-aided development techniques for dimensioning, calculating and designing sorting plants, especially tilt-tray sorters.

Based on the compiled fundamentals of knowledge management and an explicit analysis of state of the art sortation systems, common approaches regarding the dimensioning process have been created, including a selection procedure for proper distributing conveyor technologies.

The centrepiece of this paper contains the development of a tilt-tray sorter configuration tool, named KSK-tool. MS Excel as a standard software is deployed as user-interface and for configuration and calculation of the aspired plant, X2Creo is used as interface for interchanging the required parameters with the applied CAD software Creo 1.0 that visualizes the results. The configuration of the sorting system follows a developed planning process including implemented calculations for dimensioning the requested layout of the facility. The necessary parts and assemblies such as tilts, in-feed conveyor lines, slides and drive units can be chosen from two variants each using module principle, afterwards they can be placed in the plant and finally be calculated. After ending the configuration process, the available results for the user contain all relevant data of the created sorter, a CAD-model plus bill of material and some further information regarding material consumption and costs of particular components provided by the analysis-tool.

So it has been shown, that also in the field of technical logistics using KBE-applications makes it possible to increase efficiency by significant shortening development time and avoiding mistakes by following well-defined automated processes.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Ziele und Aufgabenstellung	1
2	Vom Wissensmanagement hin zum Knowledge-based Engineering.....	2
2.1	Wissen und Wissensmanagement.....	2
2.2	Knowledge-based Systems.....	3
2.3	Knowledge-based Engineering	3
2.3.1	Definition.....	3
2.3.2	Nutzen, Ziele und Anwendung von KBE-Systemen.....	4
2.3.3	Aufbau und Struktur eines KBE-Systems	4
2.3.4	Potentiale von KBE.....	5
3	Einführung in die Sortiertechnik.....	7
3.1	Begriffsdefinitionen	7
3.2	Sorter	8
3.2.1	Einschleusung	8
3.2.2	Verteilförderer	9
3.2.3	Zugmittel	10
3.2.4	Tragmittel	10
3.2.5	Aktorik	11
3.3	Bauformen.....	12
3.3.1	Endstelle.....	13
3.4	Sortieranlage	14
3.4.1	Zuförderung	14
3.4.2	Vorbereitung	15
3.4.3	Identifizierung	15
3.4.4	Sortierung	15
3.4.5	Abförderung.....	15
3.5	Sortiersystem	16
3.5.1	Ablauforganisation.....	17
3.5.2	Steuerung.....	17
3.5.3	Betriebsstrategie	18
3.6	Berechnungsgrundlagen.....	19
3.6.1	Durchsatz.....	19
3.6.2	Antriebsleistung.....	20
3.6.3	Kippen und Schlupf.....	21
3.7	Anwendungen von Sortierprozessen in der Logistik	22
4	Allgemeine Ansätze zur Auslegung von Sortiersystemen	23
4.1	Vorgehensmodell nach VDI 2221	23
4.2	Prozessmodellierung für die Auslegung und Konfiguration von Sortiersystemen	25
4.3	Systemauslegung einer Sortieranlage.....	25
4.4	Sorterauslegung.....	29
4.5	Festlegung der Sorterbauart.....	31
4.6	Fazit zur allgemeinen Betrachtung der Auslegung von Sortiersystemen.....	35
5	KBx-Konfigurator für Kippschalensorter – Das KSK-Tool.....	36
5.1	Zur Idee des Kippschalensorter-Konfigurator-Tools.....	36
5.2	Layouting mit Hilfe von CAD-Software	37
5.3	Programmablauf KSK-Tool	37
5.4	Eingesetzte Software-Tools.....	38
5.4.1	Microsoft Excel	38
5.4.2	PTC Creo Parametric 1.0	38

5.4.3	X2Creo	38
5.5	Baugruppenanalyse	39
5.6	Parametermodell Kippschalensorter.....	40
6	Konstruktion Kippschalensorter.....	42
6.1	Implementierte Baugruppen und Baukastensystem	42
6.2	Skelett	42
6.3	Verteiltförderer	44
6.4	Antrieb	45
6.5	Schienen	46
6.6	Gestelle.....	48
6.7	Einschleusungen	48
6.8	Endstellen	49
6.9	Baugruppenmodul.....	51
6.10	Positionierung der Baugruppen	52
7	Auslegungs- und Planungsablauf des KSK-Tools am Beispiels des O-Layouts	53
7.1	Konzept und Methoden	53
7.2	Rahmenbedingungen und Annahmen.....	53
7.3	Planungsablauf der Layoutkonfiguration am Beispiel des O-Layouts	54
7.4	Festlegung der Hauptparameter und Vorauslegung	57
7.4.1	Festlegung Sortiergutparameter.....	57
7.4.2	Vorauslegung der Schalenabmessung für Sortierleistung	57
7.4.3	Bestimmen der max. möglichen Sortierleistung.....	57
7.4.4	Festlegung genereller Anlagenrestriktionen	57
7.5	Konfiguration der Baugruppenmuster in den einzelnen Layoutsegmenten A, B, C,	59
7.5.1	Bestimmen der Baugruppenart	59
7.5.2	Bestimmen der Höhenniveaus	59
7.5.3	Bemaßung des Musters (Anzahl BG, Abstände)	59
7.5.4	Bemaßung des Segments inkl. angrenzendem Radius.....	59
7.6	Berechnung der Skelettabmessungen anhand Eingaben/ Auswahlmöglichkeiten	61
7.7	Konfiguration der Einschleusungen und Endstellen	63
7.7.1	Definieren der Hauptabmessungen von Ein- und Ausschleusungen.....	63
7.7.2	Konfiguration Flachriemen-Einschleusung und Schräggurt-Einschleusung.....	64
7.7.3	Konfiguration gerade Rutsche und Wendelrutsche	65
7.8	Konfiguration Verteiltförderer	67
7.8.1	Auswahl der Schalenbauform.....	67
7.8.2	Parameter Schale	67
7.8.3	Geometrie Schale	67
7.8.4	Parameter Verteiltförderer	67
7.9	Konfiguration Antrieb.....	69
7.9.1	Berechnung der erforderlichen Antriebsleistung	69
7.9.2	Auswahl Baugruppenart	69
7.9.3	Parameter Baugruppentypen	69
7.9.4	Aufteilung Antriebseinheitenmuster.....	69
7.10	Konfiguration Schienen und Gestelle	71
7.10.1	Konfiguration Parameter Schiene	71
7.10.2	Konfiguration Parameter Gestell	71
7.11	Auswahlübersicht und Start	73
7.11.1	Baugruppenanzahlen.....	73
7.11.2	Bauraum.....	73
7.11.3	Antriebsleistung und Energieverbrauch	73
7.11.4	Anlagenkennwerte	73
7.12	Analysetool – Baugruppenparameter	75
7.12.1	Bsp.1: Blechverbrauch Endstellen	75

7.12.2	Bsp.2.: Gurte Einschleusungen	75
7.12.3	Bsp.3.: Länge Führungsschienen.....	75
7.13	Abbildungen der erstellten Konfiguration	77
7.14	Resultierendes CAD-Modell des O-Layouts.....	78
7.15	Stückliste.....	79
7.16	Konfigurationsergebnisse der Layoutvorlagen	79
7.16.1	Anwendungsbeispiel O-Layout.....	80
7.16.2	Anwendungsbeispiel L-Layout	81
7.16.3	Anwendungsbeispiel U-Layout.....	82
8	Konfiguration einer reellen Anlage mit Hilfe des Kalkulators	83
8.1	Planungsablauf Kalkulator	83
8.2	Konfiguration der Streckenführung mit Hilfe des KSK-Kalkulators	85
8.2.1	Schienen Geraden	85
8.2.2	Schienen Neigungsstücke.....	85
8.2.3	Schienen Kurven.....	85
8.2.4	Schienen Gesamtanlage	85
8.3	Anwendungsbeispiel des Kalkulators für reale Anlagen.....	87
9	Fazit und Ausblick.....	90
10	Verzeichnisse.....	91
10.1	Literaturverzeichnis	91
10.2	Tabellenverzeichnis	92
10.3	Abbildungsverzeichnis	93
10.4	Glossar	94
10.5	Formelzeichen.....	95
11	Anhang	97
11.1	Programm X2Creo O-Layout	97
11.2	Stückliste Konfigurationsbeispiel O-Layout	107

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Knowledge-based Engineering gewinnt aufgrund seiner Vorteile zur herkömmlichen manuellen Konstruktion in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. Waren anfangs die Anwendungsgebiete hierfür hauptsächlich der Automobil- und Flugzeugbau, sind computergestützte und wissensbasierte Methoden zur Konstruktion und Berechnung mittlerweile vielfach in den verschiedensten Teilbereichen des Maschinenbaus verbreitet und etabliert.

Das Institut für Technische Logistik an der Technischen Universität Graz legt einen seiner Forschungsschwerpunkte auf den Themenbereich des Knowledge-based Engineerings, um eben diese wissensbasierten Entwicklungsmethoden beispielsweise für Aufgaben in der Förder- und Lagertechnik voranzutreiben. Diese Masterarbeit soll einen Beitrag dazu leisten.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung

Zu Beginn der Arbeit wurden die Zielsetzungen, Methoden sowie die prinzipielle Vorgehensweise näher definiert, wonach sich auch der Inhalte und Kapitel dieser Dokumentation aufbauend aufeinander gliedern. Die Aufgabenstellung umfasst insgesamt folgende Punkte:

Recherche zum Thema „Sortieranlagen“ bzw. „Knowledge-based Engineering“:

- Funktion/Zweck/Aufbau/Varianten/technische Spezifikationen von Sortieranlagen
- Literatur- und Herstellerrecherche zum Stand der Technik

Planungs-/Auslegungsprozess:

Anhand der gewonnenen spezifischen Daten aus den Rechercheergebnissen müssen die zur Planung und Auslegung einer Sortieranlage benötigten Parameter festgelegt werden.

- Randbedingungen und Restriktionen aufgrund äußerer und innerer Einflussfaktoren
- Festlegung der notwendigen Eingabe- und Ausgabeparameter für den Anwender

Entwicklung der Entwurfsmethodik für ein regelbasiertes KBx-System:

- Befassen mit der benötigten Software-Architektur
- Festlegung des Ablaufs der Auslegung (inkl. benötigte Daten, Benutzereingriffe)
- Erarbeitung von Methoden zur regelbasierten Konstruktion
- Verifizierung der Umsetzbarkeit verschiedener Methoden durch empirische Überprüfung anhand der festgelegten SW-Tools

Anwendungsbeispiel „Sortieranlage-Kippschalensorter“:

Hierfür sollen einerseits die gesammelten Informationen aus dem Bereich der Sortieranlagen bzw. die daraus abgeleiteten Planungs- und Auslegungsprozesse Anwendung finden, andererseits die entwickelten Methoden zur regelbasierten Konstruktion umgesetzt werden.

Ziel ist, über eine externe Eingabe vorgegebener Parameter die gewünschte Anlage zu konfigurieren und anschließend das entsprechende 3D-Modell des Anlagenlayouts mittels CAD-Software anhand der festgelegten Regeln zu generieren. Dafür sind neben einer Varianten- und Baugruppenanalyse die 3D-Konstruktion der benötigten Bauteile/Baugruppen durchzuführen, um im Anschluss die Methodenanwendung des erarbeiteten KBx-Systems auszuführen.

Dokumentation:

Die Ergebnisse und Erkenntnisse der Arbeit werden anschließend aufbereitet und dokumentiert. Sämtliche erstellte Daten und Dateien sind auf einer beiliegenden DVD gespeichert.

2 Vom Wissensmanagement hin zum Knowledge-based Engineering

In diesem einführenden Kapitel sollen Begriffe und Definitionen aus dem Bereich des Wissensmanagements erläutert werden. Es zeigt einen kurzen Überblick über Einteilung, Aufgaben und Zweck des Wissensmanagements bis hin zur Anwendung spezieller Methoden, wie sie auch in der vorliegenden Arbeit Anwendung finden.

2.1 Wissen und Wissensmanagement

Wissen ist vernetzte Information, die in die Lage versetzt, Vergleiche anzustellen, Verknüpfungen herzustellen und Entscheidungen zu treffen. Die darin enthaltenen **Informationen** sind strukturierte **Daten** (objektive Fakten) mit Relevanz und Zweck.¹

Unter Wissensmanagement als zusammenfassenden Überbegriff versteht man alle strategischen und operativen Tätigkeiten, die auf einen bestmöglichen Umgang mit Wissen in einer Organisation abzielen.²

Die VDI-Richtlinie 5610 zum „Wissensmanagement im Ingenieurwesen“ definiert Wissensmanagement als das Organisieren aller Prozesse, in denen Informationen, Erkenntnisse und Erfahrungen identifiziert, erzeugt, gespeichert, verteilt und angewendet werden. Somit können folgende Kernaktivitäten für den systematischen Umgang mit Wissen herangezogen werden:³

- **Wissen planen, identifizieren und bewerten:**
Vorhandenes Wissen identifizieren, benötigtes Wissen definieren, Wissen hinsichtlich seiner Qualität zu bewerten (Metawissen⁴).
- **Wissen erzeugen:**
Stetiges Schaffen neuen Wissens bzw. neuer Erfahrungen.
- **Wissen speichern:**
Explizites Wissen, beispielsweise in Form von Dokumenten, Zeichnungen, Skizzen oder Fotos sowie Implizites Wissen in Form von Erfahrungswissen.
- **Wissen verteilen:**
Wissen verbreiten und von einem Wissensträger auf einen anderen zu übertragen, entweder direkt von Person zu Person, oder indirekt über Dokumente.
- **Wissen anwenden:**
Zur Aufgabenerfüllung, Problemlösung und Entscheidungsfindung.

¹ [VDI5610] S.4

² vgl. [Wiki1]

³ vgl. [VDI5610] S.8f

⁴ Metawissen: Darunter versteht man Wissen über Wissen

2.2 Knowledge-based Systems

Nick Milton beschäftigt sich in seiner Arbeit „Knowledge Technologies“ mit Wissenssystemen. Er beschreibt diese als verschiedenste computerbasierte Werkzeuge und Methoden für eine bessere und intelligentere systematische Nutzung von Wissen. Obwohl es mittlerweile eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungstechnologien im Bereich computergestützter Wissenssysteme gibt, verfolgen alle letztlich ein gemeinsames Ziel: Mit Hilfe von gesammeltem und aufbereitetem Wissens sollen künftig komplexe Problemstellungen leichter und in kürzerer Zeit zu lösen sein.

Die wichtigsten genannten Wissenssysteme hierbei sind (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):⁵

- Knowledge-based Systems
- Knowledge-based Engineering Systems
- Webs
- Ontologien
- Semantische Methoden (z.B. Semantische Netze)
- Data Mining
- Entscheidungssysteme
- Expertensysteme
- uvm.

Eine weitere Unterteilungsmöglichkeit findet sich in [Lan14] hinsichtlich der Abgrenzung der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten im Maschinenbau, u.a. auch in der Technischen Logistik. Hierbei wird in drei unterschiedliche KBx-Systeme eingeteilt, wobei das „x“ die verschiedenen Applikationsmöglichkeiten bezüglich des angestrebten Detaillierungsgrades repräsentiert:⁶

- **KBE: Knowledge-based Engineering**
Automatisierte Variantenkonstruktion von Bauteilen und Baugruppen bis hin zur Detailkonstruktion des fertigen Produkts.
- **KBSD: Knowledge-based System Design**
Automatisierte Konstruktion mit reduzierter Geometrie z.B. für weitere CAE-Anwendungen wie Simulation und Berechnung.
- **KBL: Knowledge-based Layouting**
Erstellen von Maschinen- und Anlagenlayouts sowie Konfektionierung von Systemen sowie die Ableitung daraus resultierender Informationen (z.B. Stücklisten).

2.3 Knowledge-based Engineering

2.3.1 Definition

Unter Knowledge-based Engineering, kurz KBE, versteht man Methoden zur Integration von spezifischem Wissen, Regeln und Prozessen im Bereich des Engineering, speziell im Bereich der automatisierten, wissensbasierten Konstruktion. Ziel ist, die jeweiligen Engineering-Aufgaben, für die ansonsten allein ein Experte mit entsprechendem Fachwissen betraut wird, mit Hilfe entsprechender KBE-Anwendungen im CAE-Bereich noch effizienter zu lösen.⁷

⁵ vgl. [Mil08] S.14f

⁶ vgl. [Lan14] S.3f

⁷ vgl. [cad06] S.1 und [Mil08] S.20

2.3.2 Nutzen, Ziele und Anwendung von KBE-Systemen

In der Praxis ergeben sich speziell zwei Aspekte, die für die Verwendung von KBE-Systemen in der Konstruktion sprechen:

Einerseits wird durch wiederkehrende Konstruktionsaufgaben bei ähnlichen Projekten (z.B. stark ähnelnde Bauteile bzw. Baugruppen) ein großer Teil der Entwicklungszeit für kreativ nicht anspruchsvolle Tätigkeiten (Routinearbeiten) aufgebracht. In Zeiten immer kurzer werdender Entwicklungszyklen kann mit Hilfe von KBE somit mehr Zeit für die eigentliche Entwicklungsarbeit und Produktinnovation aufgewendet werden.

Der zweite Punkt zielt auf das Sammeln, Konzentrieren und Verwerten von Expertenwissen im Unternehmen. Auf bereits erzielten Leistungen kann aufgebaut werden, unabhängig vom jeweiligen Anwender des KBE-Systems. Somit kann beispielsweise dem Wissensverlust durch Personalfluktuaton vorgebeugt werden.

Den Nutzen von KBE kann man somit erklären als Effizienzgewinne durch:⁸

- Automatisierung von CAE-Prozessen (vorwiegend CAD)
- Fehlervermeidung (Qualitätssteigerung) durch Regeln und Standards
- Benötigte Expertise jederzeit für jeden Mitarbeiter am Arbeitsplatz verfügbar.
- Erhaltung von Fachwissen und stetiges Einfließen neuer Erkenntnisse (KVP⁹)
- Zeitersparnis bei Routinearbeiten schafft Kapazitäten für Innovation
- Dadurch auch Kostenersparnis durch Minimierung von Entwicklungszyklen

Festgelegte Regeln und Algorithmen ermöglichen es, die Berechnungen, Simulationen und Modellierungen für die Auslegung des gewünschten CAD-Modells durchzuführen, um daraus die gewünschte (Detail-)Konstruktion bzw. das Modell/Layout abzuleiten. Der Konstrukteur hat nur mehr einzelne Eingangsparameter festzulegen. Die an die Berechnungen anknüpfenden festgelegten Konstruktionsrichtlinien werden bereits im Programm implementiert und die Auslegung bis hin zur Konstruktion muss nicht jedes Mal von Grund auf vom Konstrukteur durchgeführt werden.

Es werden nur mehr die einzelnen Parameter in eine Benutzeroberfläche eingegeben. Das Programm errechnet daraus die Auslegungskriterien für den jeweiligen Anwendungsbereich. Diese werden im CAD-Programm übernommen und in die Parameter der 3D-Konstruktion eingebettet.¹⁰

2.3.3 Aufbau und Struktur eines KBE-Systems

Milton beschreibt in [Mil08] für die grundlegende Systemarchitektur eines KBE-Systems (graphische Darstellung siehe Abbildung 1) fünf verschiedene Bestandteile, wobei das Zusammenspiel folgender Hauptkomponenten der eigentlichen Anwendung des gespeicherten Wissens dient:

1. **Wissensdatenbank:**
Hier wird sämtliches relevantes Material für das jeweilige Wissensgebiet gespeichert, z.B. Informationen, Regeln, Strukturen.
2. **Arbeitsspeicher:**
Zwischenspeicher für fallspezifische Daten, z.B. Daten zur Ausgangssituation oder Zwischenergebnisse des zu lösenden Problems.
3. **„Problemlöser“:**
In der Literatur als „inference oder reasoning engine“ bezeichnet, regelt und kontrolliert den eigentlichen Problemlösungsprozess durch Rückschlüsse und Folgerungen auf Basis der in der Wissensdatenbank hinterlegten Informationen und der Daten aus dem Arbeitsspeicher.

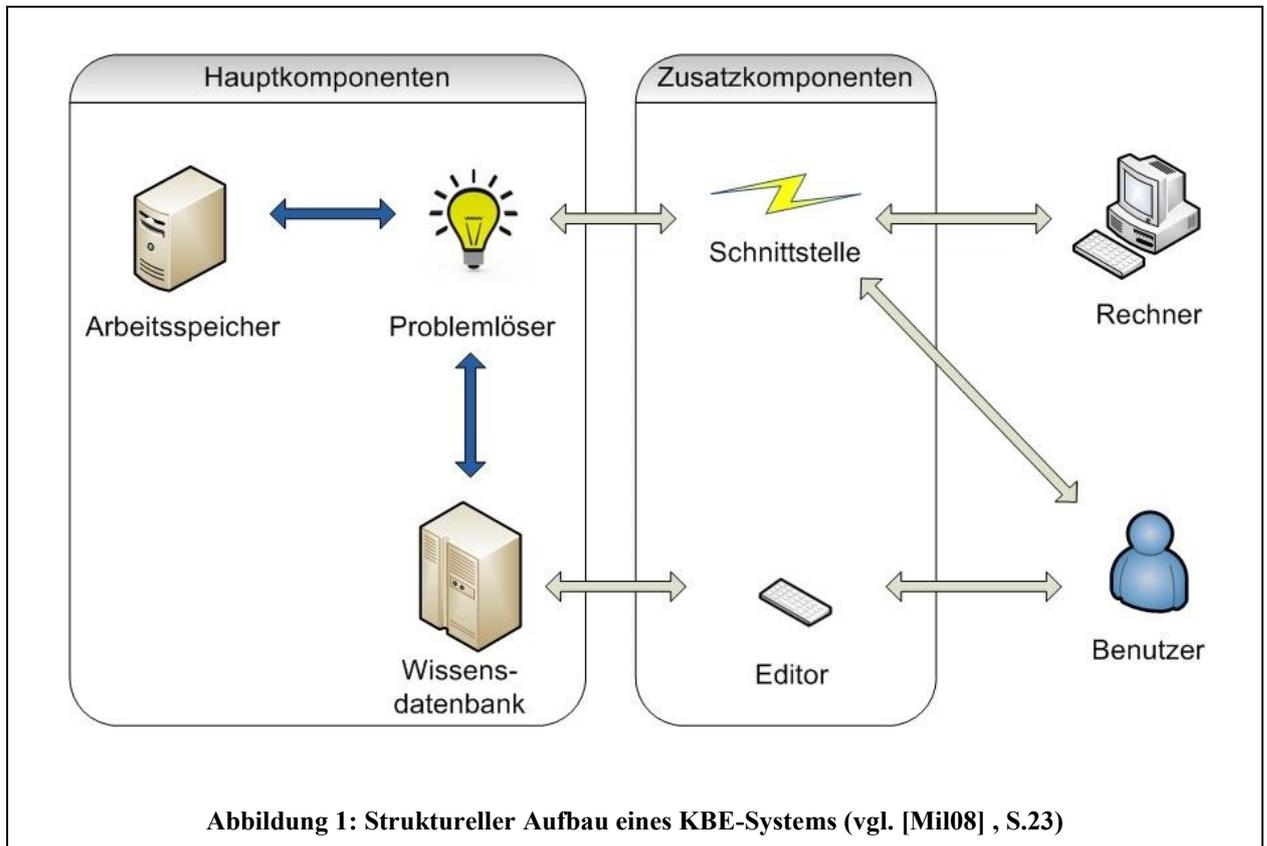
⁸ vgl. [cad06] S.1 und [alc] S.3

⁹ Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

¹⁰ vgl. [Mil08] S.43ff, [Lan14] S.3f und [Lie04] S.1f

Weiters sind in modernen Systemen folgende Zusatzkomponenten enthalten, die speziell Benutzerfreundlichkeit und Erweiterbarkeit des Systems gewährleisten:

4. **Schnittstelle:**
Verbindung zu anderen Rechnern oder Anwendern.
5. **Editor:**
Editiermöglichkeit für den Anwender/Experten zur Wartung und Erweiterung der Wissensdatenbank.¹¹



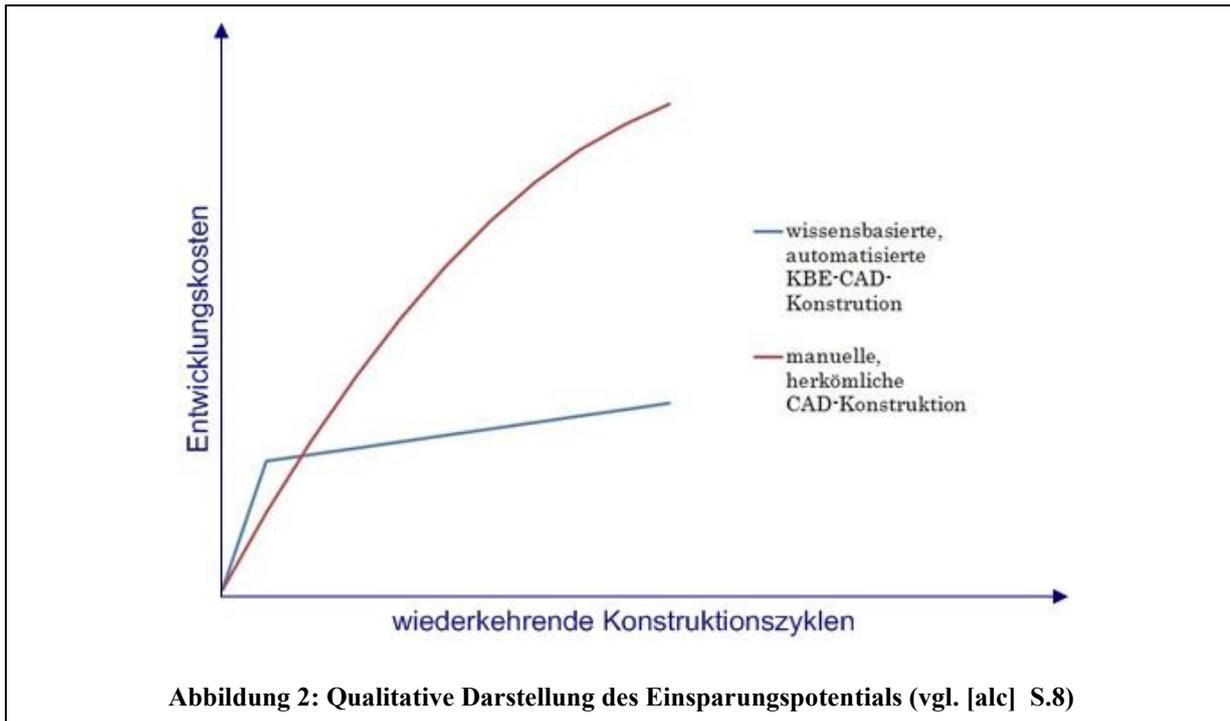
2.3.4 Potentiale von KBE

Bei der erstmaligen Konstruktion entstehen durch die Anwendung des KBE-Systems höhere Kosten als durch die reine Verwendung des gewohnten herkömmlichen CAD-Systems. Dies ist durch die Auswahl und Implementierung geeigneter Parameter der vorliegenden Konstruktion begründet. Durch diese Vorarbeit kann jedoch bei zukünftigen Konstruktionen bis zu 95% Zeitersparnis erreicht werden bei gleichbleibender Qualität des Designs nur durch Anpassung der Parameter an die neuen Rahmenbedingungen der jeweiligen Aufgabenstellung.¹²

Die exakte Höhe der Zeit- und Kostenersparnis hängt natürlich von der Qualität der Vorarbeit im KBE-System sowie der Komplexität der Konstruktion ab. Abbildung 2 soll einen qualitativen Einblick in das Einsparungspotential geben. Durch die einfache Anpassung und Reproduzierbarkeit wird der anfängliche Mehraufwand schnell ausgeglichen, je öfter ein KBE-konstruiertes Bauteil Anwendung findet, desto größer ist die erzielte Einsparung gegenüber einem neu konstruierten Bauteil.

¹¹ vgl. [Mil08] S.17 und S.23f

¹²vgl. [alc] S.8



Die Bedeutung des KBE gewinnt somit im 3D-CAD-Umfeld weiter stetig an Bedeutung. Besonders in den Bereichen der Konstruktionsautomatisierung und der wissensbasierten Baukasten- und Variantenkonstruktion lassen sich erfahrungsgemäß besonders hohe Zeitersparnisse durch die Anwendung der KBE-Technologie erreichen. Voraussetzung für die Umsetzung sind featurebasierte und parametrische 3D-CAD-Systeme, wie sie in der Konstruktion bereits seit Jahren Stand der Technik sind (beispielsweise PTC Creo, Unigraphics, CATIA V5, Autodesk Inventor, uvm.).¹³

Für den Bereich der Technischen Logistik kann KBE aufgrund der einerseits sehr ähnlichen technischen Ausprägungen typischer Anlagen (Materialflusssysteme, Lager, Sortieranlagen, etc.) kombiniert mit den andererseits unterschiedlichsten Kundenanforderungen für Teilaufgaben als prädestiniert angesehen werden. Da sich jedoch verschiedene Aspekte wie z.B. Kosten, Fertigung oder die Integration in bestehenden Anlagen nicht quantifizieren lassen oder nicht als klassische Konstruktionsregel darstellbar sind, kann man Full-KBE-Systeme in der Technischen Logistik praktisch ausschließen. Somit kann das KBE-System mit allen genannten Vorteilen im Entwicklungsprozess eingesetzt werden, es verbleiben jedoch noch Festlegungen und Entscheidungen bezüglich des Gesamtprodukts beim Entwickler.¹⁴

¹³vgl. [Lie04] S.2

¹⁴vgl. [Lan12a] S.39

3 Einführung in die Sortiertechnik

Im folgenden Kapitel werden die Grundbegriffe der Sortiertechnik erläutert, die Abgrenzung der Funktionsbereiche durchgeführt und die Funktionen der entsprechenden Bestandteile sowie Komponenten beschrieben. Anschließend wird auf die Berechnungsgrundlagen eingegangen sowie auf typische Anwendungsbeispiele für Sortieranlagen.

3.1 Begriffsdefinitionen

- **Sortieren:** Unter Sortieren im technischen Sinn versteht man das Verteilen von Transportgütern eines Transportstromes auf mehrere Transportströme nach verschiedenen Kriterien¹⁵, wobei im fördertechnischen Sinne von Stückgut als Sortiergut ausgegangen werden kann, da man bei Schüttgütern eher von Trennen (i.S.v. Aufteilen) als von Sortieren spricht.¹⁶

In „Sortier- und Verteilsysteme“ von Jodin/tenHompel wird nun folgende Systematik hinsichtlich des generellen Aufbaus eines Sortiersystems vorgeschlagen:

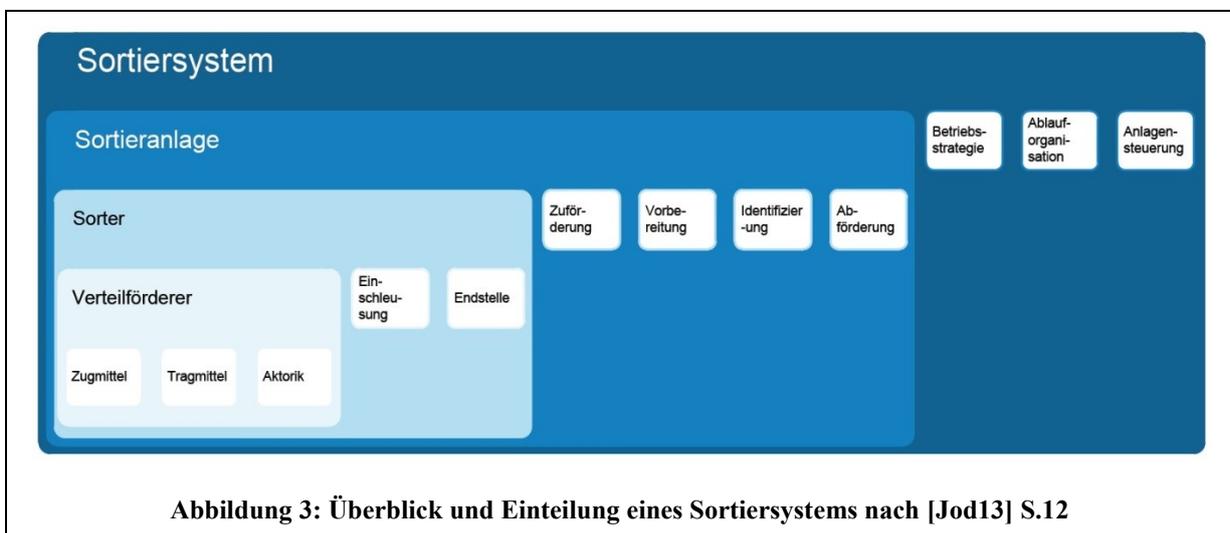


Abbildung 3: Überblick und Einteilung eines Sortiersystems nach [Jod13] S.12

Die einzelnen Teilbereiche definieren sich dabei wie folgt:¹⁷

- **Sorter:** wird der Bereich von der Einschleusung des Sortiergutes bis hin zu angepeilten Ziel in der Endstelle genannt. Der Verteilförderer als Kernstück übernimmt die mechanischen Aufgaben der Förderung, der Gutaufnahme und der Ausschleusung.
- **Sortieranlage:** kann aus einem oder mehreren Sortern bestehen und beinhaltet definitionsgemäß zusätzlich vorgelagert die Zuförderung, Vorbereitung und Identifizierung des Sortiergutes sowie die Abförderung nach dem Sortieren.
- **Sortiersystem:** umfasst neben der eigentlichen Sortieranlage zusätzlich Kriterien wie Betriebsstrategie, Ablauforganisation und Steuerung der Anlage.

Der Umfang eines Sortiersystems, Inhalt und Abfolge einzelner Funktionsbereiche der Sortieranlage sowie der Aufbau des Sorters kann in der Praxis je nach Anwendung (Bauart, Sortiergut) variieren. Jedoch hat sich die oben abgebildete Systematik für den allgemeinen Anwendungsfall als typisch erwiesen.

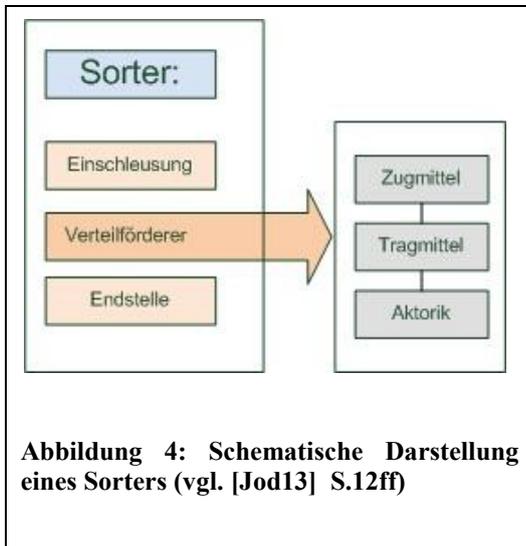
¹⁵ vgl. [Bei01] S.U69

¹⁶ vgl. [Wiki2]

¹⁷ vgl. [Jod12] S.21ff

3.2 Sorter

Der Sorter gliedert sich funktional in die Teilbereiche der Einschleusung, des Verteilförderers und der Endstelle. Diese haben definitionsgemäß folgende Aufgaben:¹⁸



- **Einschleusung:** Zuführung des Sortiergutes
- **Verteilförderer:** Transport des Sortiergutes zur Endstelle; Der Verteilförderer besteht aus den Elementen:
 - **Zugmittel:** Zur Übertragung der Antriebsleistung
 - **Tragmittel:** Zur Lastaufnahme (Gewichtskraft des Sortiergutes)
 - **Ausschleusung:** Bewegen des Sortiergutes in die Endstelle mittels Aktorik
- **Endstelle:** Aufnahme des Sortiergutes zum Speichern oder zur Entnahme

3.2.1 Einschleusung

Die Zuführung des Sortiergutes entspricht aufgrund unterschiedlicher Fördertechniken von Zuförderung und Verteilförderer sowie der variablen Sortierguteigenschaften einem komplexen Bewegungsvorgang. Die Art der Einschleusung, Verfahren und Anordnung hängt daher vom Sortiergut und maßgeblich von der jeweiligen Bauart des Verteilförderers ab. Bei der Anordnung kann unterschieden werden zwischen:¹⁹

- **Lineareinschleusung:** Gerade, stirnseitige Einschleusung am Sortereingang durch gleiche Förderrichtung von Einschleusung und Verteilförderer. Speziell z.B. für Sorter mit Anordnung in Linienstruktur.
- **Vertikaleinschleusung:** Auch hier sind die Förderrichtungen identisch, jedoch besteht am Übergang zum Verteilförderer noch ein Niveauunterschied, sodass das Sortiergut bei der Einschleusung über einer schiefen Ebene an den Verteilförderer angenähert wird und dann im freien Fall auf diesem platziert wird.
- **Horizontaleinschleusung:** Einschleusung erfolgt seitlich im spitzen Winkel und bewirkt eine schonende Übergabe auch bei hohen Geschwindigkeiten. Typische Anwendung z.B. für Sorter in Ringstruktur. Realisierungsmöglichkeiten durch:²⁰
 - Parallelwinkeleinschleusung
 - Pushereinschleusung

¹⁸vgl. [VDI3312] S.8 und vgl. [Jod12] S.58f

¹⁹ vgl. [Jod12] S.35f

²⁰ vgl. [Jod12] S.21f

Aus Sicht der Betriebsführung ist nach VDI 3312 zwischen folgenden Arten der Einschleusung zu unterscheiden:²¹

- **Manuelle Einschleusung:** Auflegen des Sortierguts von Hand.
- **Automatische Einschleusung:** Man unterscheidet folgende Verfahren:
 - **Stop-and-Go-Verfahren:** Die Sortiergüter werden von einem Taktband einem nachfolgendem Beschleunigungsband zugeordnet, wo es in Ruhe stehend verbleibt, bis sich eine freie Position am Verteilförderer findet und anschließend eingeschleust wird.
 - **Durchlauf einschleusung:** ist ein dynamisches Verfahren, wo durch den Einsatz mehrerer einzeln regelbarer Förderbänder ein kontinuierlicher Einschleusvorgang erzielt wird, ohne dabei den Förderstrom anzuhalten.

Hinsichtlich der Taktung kann ein entsprechend ausgelegtes System für Hochleistungssorter bei Durchlauf einschleusung jede zweite Position belegen, wohin gegen eine Stop-and-Go-Einschleusung nur jeden vierten oder fünften Platz erreicht. Dieser Umstand ist für die Auslegung der Einschleusung (mehrere Einschleuslinien je Einschleusbereich) zu berücksichtigen.

In [Jod12] wird auch ausgeführt, dass durch die Errichtung mehrerer Einschleusbereiche die Erhöhung des Durchsatzes und somit eine Erhöhung der Sortierleistung einhergeht. Typischerweise werden zwei Einschleusbereiche in diagonaler Anordnung realisiert, womit eine Leistungssteigerung von rund 33% zur einfachen Einschleusung erzielt werden kann. Weitere mögliche Maßnahmen sind doppelte Ausschleusungen, Vorsortierung und Bypass-Strecken.²²

3.2.2 Verteilförderer

Der Verteilförderer ist wesentlicher Bestandteil des Sorters und das eigentliche Herzstück der Sortieranlage. Er bewerkstelligt den Materialfluss entlang des Sorters und die Ausschleusung an der entsprechenden Zielstelle und erfüllt somit die eigentliche Sortierfunktion. Hinsichtlich der Anlagentopologie kann man zwischen folgenden Varianten unterscheiden:²³

- **Linientopologie:** offene, linienartige Streckenführung. Nicht ausgeschleuste Güter müssen extern zur Einschleusung gefördert werden.
- **Loop-Topologie:** in sich geschlossene Streckenführung mit großen Variationsmöglichkeiten auch für komplexe Anlagenlayouts und hohe Sortierleistungen. Nicht ausgeschleuste Güter zirkulieren am Verteilförderer
- **Kreis-Topologie:** kompakter, rotierender, scheibenförmiger Sorter mit einer systembedingt eingeschränkten Anzahl realisierbarer Endstellen.

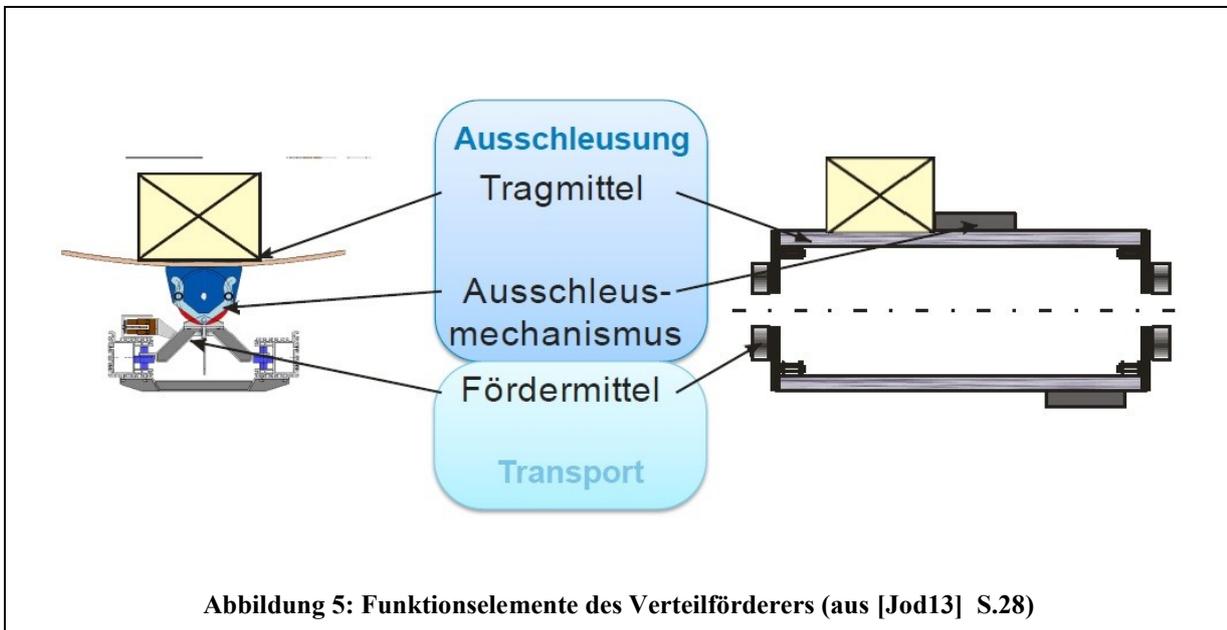
Je nach spezifischen Anforderungen an das Sortiersystem gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher angewandter physikalischer Prinzipien, und daraus resultierend eine Vielzahl verschiedener Bauformen. Unabhängig von den speziellen Ausprägungen der Sorterbauarten lassen sich alle auf drei verschiedene Funktionselemente reduzieren: Dem **Zugmittel** als Fördersystem, dem **Tragmittel** als lasttragendes Element und einer entsprechenden **Aktorik** als Ausschleusmechanismus.

²¹ vgl. [VDI3312] S.8

²² vgl. [Jod12] S.41ff

²³ vgl. [Jod12] S.55ff

Zwei exemplarische Beispiele hierfür sind in Abbildung 5 dargestellt. Beim Kippschalensorter (links) stellt die Schale das Tragmittel, das Gelenk die Aktorik und die gekoppelten Fahrwagen als umlaufende Kette das Fördermittel dar. Der Schiebeschuhsorter (rechts) besteht aus einem Plattenbandförderer als Fördermittel, zwei parallel umlaufenden Ketten als Zugmittel und die quer zur Förderrichtung verschiebbaren Schuhe als Ausschleusmechanismus.²⁴



3.2.3 Zugmittel

Das Zugmittel dient zur Übertragung der Antriebsleistung und stellt somit funktionell das Fördersystem des Verteilförderers dar. Neben Band-, Ketten- und Rollenförderern finden verschiedene Zugsysteme (z.B. umlaufende Ketten) bis hin zu Einzelfahrzeugen Anwendung.²⁵

3.2.4 Tragmittel

Das Tragmittel als lasttragendes Element dient zur Aufnahme der Gewichtskraft des Sortiergutes. Es kann sehr unterschiedlich ausgeführt werden, z.B. mittels Bänder und Gurte, Rollen, Platten, Schalen oder anderen Behältern. Wichtig ist die Unterteilung hinsichtlich der Segmentierung des Tragmittels.²⁶

- **Segmentierte Tragmittel:** Unterteilung in konstruktiv vorgegebene Plätze, auf denen die Sortiergüter liegen können.
- **Durchgehende Tragmittel:** Besitzen keine Segmente, daher kann das Sortiergut kontinuierlich an jedem freien Platz am Verteilförderer positioniert werden. Durchgehende Tragmittel erzielen dadurch eine höhere Gutdichte.

²⁴vgl. [Jod12] S.44

²⁵vgl. [VDI3312] S.7

²⁶vgl. [Jod12] S.58ff

3.2.5 Aktorik

Die im Verteilförderer integrierte Aktorik realisiert den Ausschleusmechanismus des Sorters, um das Sortiergut aus dem Förderstrom hin zur angepeilten Endstelle auszuschleusen. Nach [Jod12] bietet sich die Unterteilung zwischen drei physikalischen Prinzipien hinsichtlich des Aktors an:²⁷

- **Kraftschlüssige Ausschleusung:** Ausschleusbewegung wird durch Reibungskräfte zwischen dem Aktor und dem Sortiergut eingeleitet.
- **Formschlüssige Ausschleusung:** Der Aktor als Formelement greift das Gut an und schleust es aus dem Förderstrom zur Endstelle.
- **Kraftfeld:** Die Aktorik löst eine Sperre, damit ein Kraftfeld (Schwerkraft, Zentrifugalkraft) die Ausschleusung des Fördergutes bewirken kann.

Daraus abgeleitet ergeben sich verschiedene technische Realisierungsmöglichkeiten:²⁸

- **Pop up:** Ausschleusen durch heb- und drehbare Rollen zwischen den Bandförderern, die in die gewünschte Richtung gedreht und angehoben werden können. Friktionsrollen quer zur Bewegungsrichtung dienen zur Unterstützung.
- **Pusher/Puller/Schwenkarm:** Ausschleusen durch ein in den Förderstrom einschwenkenden Arm, beim Schwenkarm meist unterstützt durch ein vertikal umlaufendes Band am Arm.
- **Schieber/Schuh:** Mitlaufende Abschiebeelemente in den Lücken eines Plattenförderers, die quer zur Förderrichtung verschiebbar sind, werden an den Zielstellen über Weichen betätigt und Verschieben das Sortiergut seitlich zur Ausschleusung in Richtung Endstelle.
- **Quergurt:** Quer auf einer Kette montierte Bandförderer fördern elektrisch oder mechanisch betrieben das Sortiergut an der Zielstelle vom Sorter herunter.
- **Kippelement:** Auf Schalen oder Klappen beförderte Sortiergüter werden durch Kippen um eine Achse längs der Förderrichtung (2D) oder durch räumliches Kippen und Drehen (3D) ausgeschleust.

²⁷ vgl. [Jod12] S.59

²⁸ vgl. [VDI3312] S.9f

3.3 Bauformen

Anhand der dargelegten Variantenvielfalt, beginnend bei den unterschiedlichen Verfahren der Einschleusung, der Anlagentopologie, den verschiedensten Ausprägungen des Verteilförderers bis hin zu den zahlreichen Systemen seiner Komponenten, ergibt sich nun eine Vielzahl an unterschiedlichsten Bauformen. Abbildung 6 gibt eine Übersicht über die verschiedenen technischen Realisierungsmöglichkeiten der einzelnen Elemente des Verteilförderers und bringt diese zu einander in Beziehung. Daraus lässt sich auch die große Anzahl unterschiedlicher Sorterbauformen ableiten.

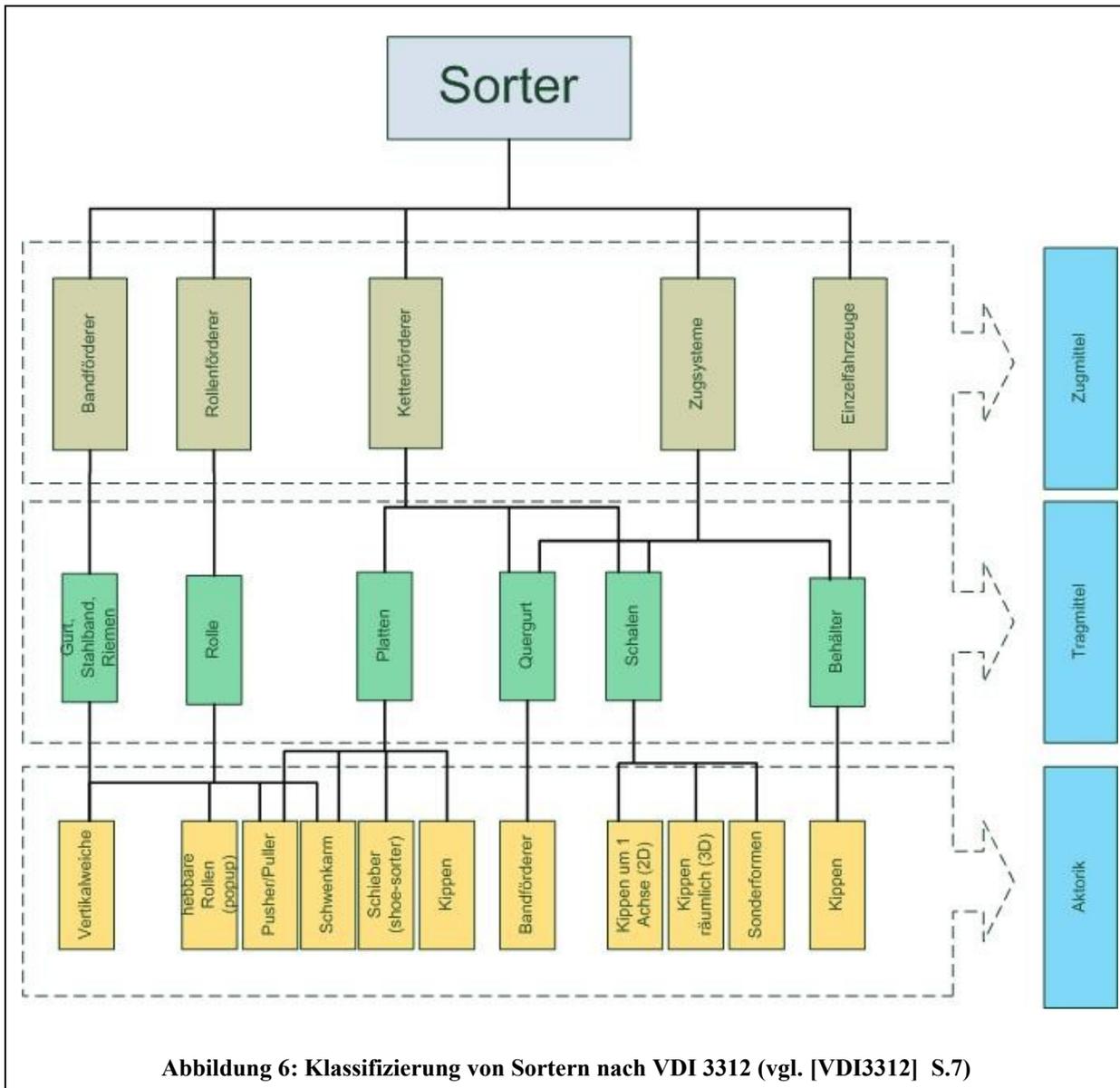
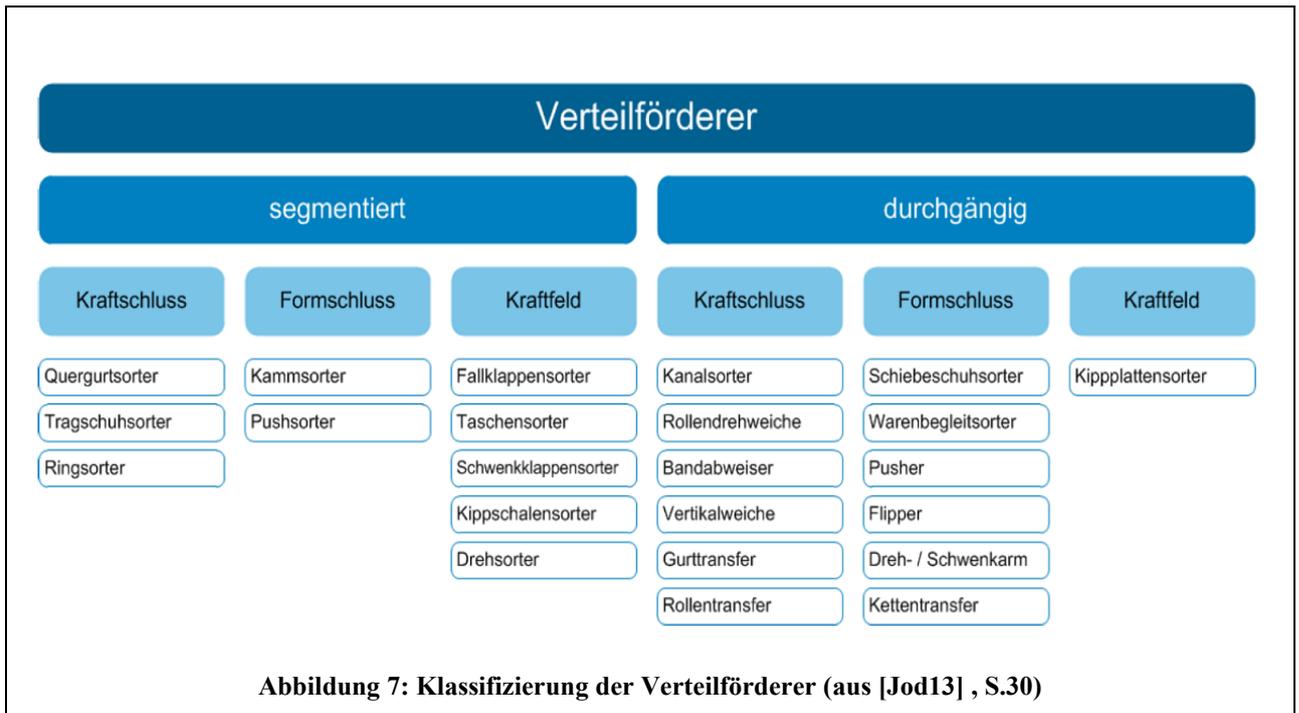


Abbildung 6: Klassifizierung von Sortern nach VDI 3312 (vgl. [VDI3312] S.7)

Abbildung 7 gibt nun die Auflistung der verschiedenen Bauformen von Verteilförderern wieder, unterteilt einerseits nach der Segmentierung des Tragmittels und andererseits gegliedert nach dem physikalischen Wirkprinzip der jeweiligen Aktorik.



3.3.1 Endstelle

Die Endstelle muss gemäß der jeweiligen Sortieraufgabe und dem jeweiligen Sortiergut spezifisch ausgeführt werden. In der VDI-Richtlinie 3312 werden folgende Hauptaufgaben beschrieben:²⁹

- Schonende Abförderung des Sortiergutes vom Sorter
- Manuelle Entnahme aus dem Sortierprozess
- Automatische Übergabe an weiterführende Förder-/Verarbeitungsprozesse
- Aufspeichern von Sortiergut zur Batchbildung

Konstruktive Elemente zur Umsetzung der genannten Hauptaufgaben sind:

- Schwerkrafttrutschen oder -rollenbahnen
- Bandförderer oder angetriebene Rollenförderer

Auf die Endstellen können je nach Sortiersystem ein großer Teil des anlagenbedingten Flächenbedarfs der gesamten Sortieranlage (bis 70%) und somit auch ein großer Teil des erforderlichen Investments ausfallen (bis 50%). Daher hat die Endstellenanordnung auch großen Einfluss auf das jeweilige Anlagenlayout.

Viele Aufträge mit geringen Auftragsmengen erfordern eine große Zahl an Endstellen (z.B. Logistikzentren). Durch die Unterteilung jeder Endstelle in eine Anzahl von Zielstellen und geeignete Betriebsstrategien (z.B. Batchbetrieb) können die entsprechenden Anforderungen erfüllt werden. Weiters kann die Sortierleistung durch gekoppelte Endstellen optimiert werden (Endstelle von zwei oder mehreren Abwurfpositionen über zusätzliche Förderstrecken gekoppelt).³⁰

²⁹ vgl. [VDI3312] S.10

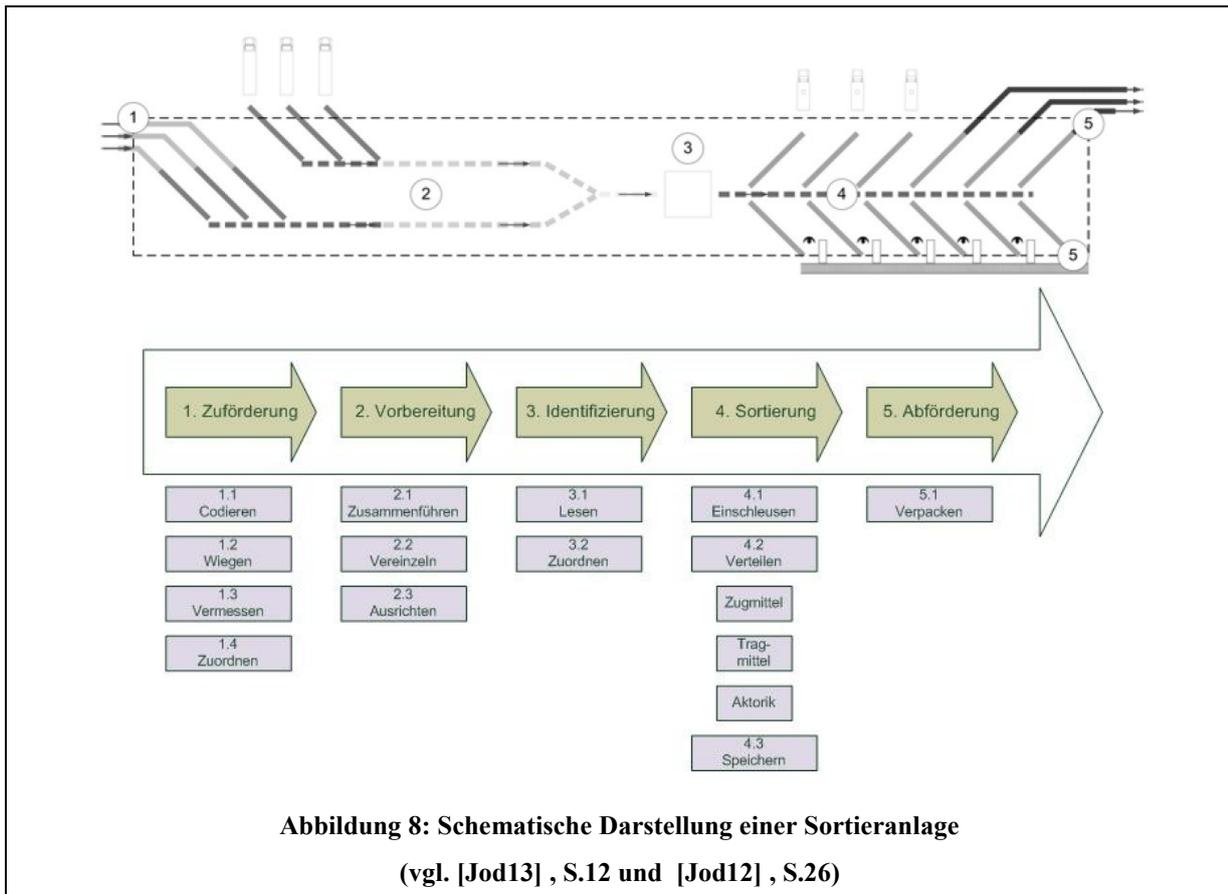
³⁰ vgl. [Jod12] S.45ff

3.4 Sortieranlage

Es handelt sich hierbei nach VDI 3619 um Anlagen für folgende Zwecke:

1. zum Identifizieren von in ungeordneter Reihenfolge ankommendem Stückgut aufgrund vorgegebener Unterscheidungsmerkmale
2. zum Verteilen dieser Güter auf Ziele, die nach den jeweiligen Erfordernissen festgelegt werden.³¹

Die typischen Funktionsbereiche von Sortieranlagen und deren Abfolge sind in [VDI3619] und [Jod12] beschrieben und wie in der folgenden Abbildung ersichtlich definiert:



3.4.1 Zuförderung

Die Zuförderung stellt materialflusstechnisch die Eingangsschnittstelle der Sortieranlage dar. Es wird unterschieden zwischen der kontinuierlichen Zuförderung (über vorgelagerten Stetigförderer) und der pulkförmigen Zuförderung (z.B. Unstetigförderer, manuelle LKW-Entladung).

Im Rahmen der Zuförderung kann auch die Codierung des Sortiergutes erfolgen, wobei Etiketten mit maschinenlesbaren Codes auf das Sortiergut aufgebracht werden. Wiegen und Vermessen der Güter wird zur Überprüfung der Sortierfähigkeit, zur Zuordnung zum richtigen Sorter und zur Rechnungsstellung durchgeführt.³²

³¹ vgl. [VDI3619] S.2

³² vgl. [Jod12] S.25ff

3.4.2 Vorbereitung

Für das Identifizieren der eingebrachten Sortiergüter können verschiedene Vorbereitungen erforderlich sein.³³

- **Zusammenführen:** Bei zwei oder mehreren Gutströmen zur Herstellung eines einzelnen Gutstromes. Realisierung durch Weichen oder Taktbänder.
- **Vereinzeln:** Je nach verwendeter Sortiertechnik zur Herstellung eines konstanten Abstands, eines Mindestabstands oder einer Mindestlücke zwischen den Sortiergütern. Realisierung im einfachsten Fall durch zwei Stetigförderer unterschiedlicher Fördergeschwindigkeiten oder durch Schrägrollenförderer mit zylindrischen oder kegelförmigen Rollen (Ausrichtung mit integriert).
- **Ausrichten:** Zur Herstellung der richtigen Orientierung des Sortiergutes. Diese kann je nach Bauart und optimaler Belegung längs oder quer zur Förderrichtung orientiert sein. Bei der horizontalen Einschleusung muss die Ausrichtung oftmals winkelig erfolgen, abhängig vom Sorter und dem Einschleusverfahren (z.B. Parallelwinkelschleusung, Pushereinschleusung, Drehvorrichtungen).

3.4.3 Identifizierung

Das Identifizieren erfolgt über automatische Identifikationssysteme und ist grundsätzlich ein zweistufiger Prozess: Zuerst muss der Code gelesen werden, anschließend kann rechnergestützt dem Sortiergut die entsprechende Endstelle zugewiesen werden. Die vorherrschende Technologie in der Praxis sind Bar-Codes (ca. 70%), wobei RFID-Anwendungen³⁴ immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Nach der Identifizierung darf die Reihenfolge und Position des Sortiergutes üblicherweise nicht mehr geändert werden, da die Ausschleusung des Sortiergutes zumeist zeitgesteuert über ein entsprechendes Trigger-Signal (Lichtschranke) erfolgt.³⁵

3.4.4 Sortierung

Der Ablauf der Einschleusung, Sortierung und Ausschleusung wird in Kapitel 3.2 im Zusammenhang mit dem Sorter näher beschrieben.

3.4.5 Abförderung

Die Abförderung ist der materialflusstechnische letzte Funktionsbereich der Sortieranlage. Hier werden die Sortiergüter entweder direkt aus den Endstellen in weitere Materialflussbereiche gefördert oder zum Zwecke der Verpackung entsprechenden Packplätzen zugeordnet. Man unterscheidet manuelle Packplätze (Verpackung durch Mitarbeiter) oder automatische Packplätze (Entnahme durch Handhabungseinrichtungen).³⁶

³³ vgl. [Jod12] S. 28ff und vgl. [VDI3619] , S.5

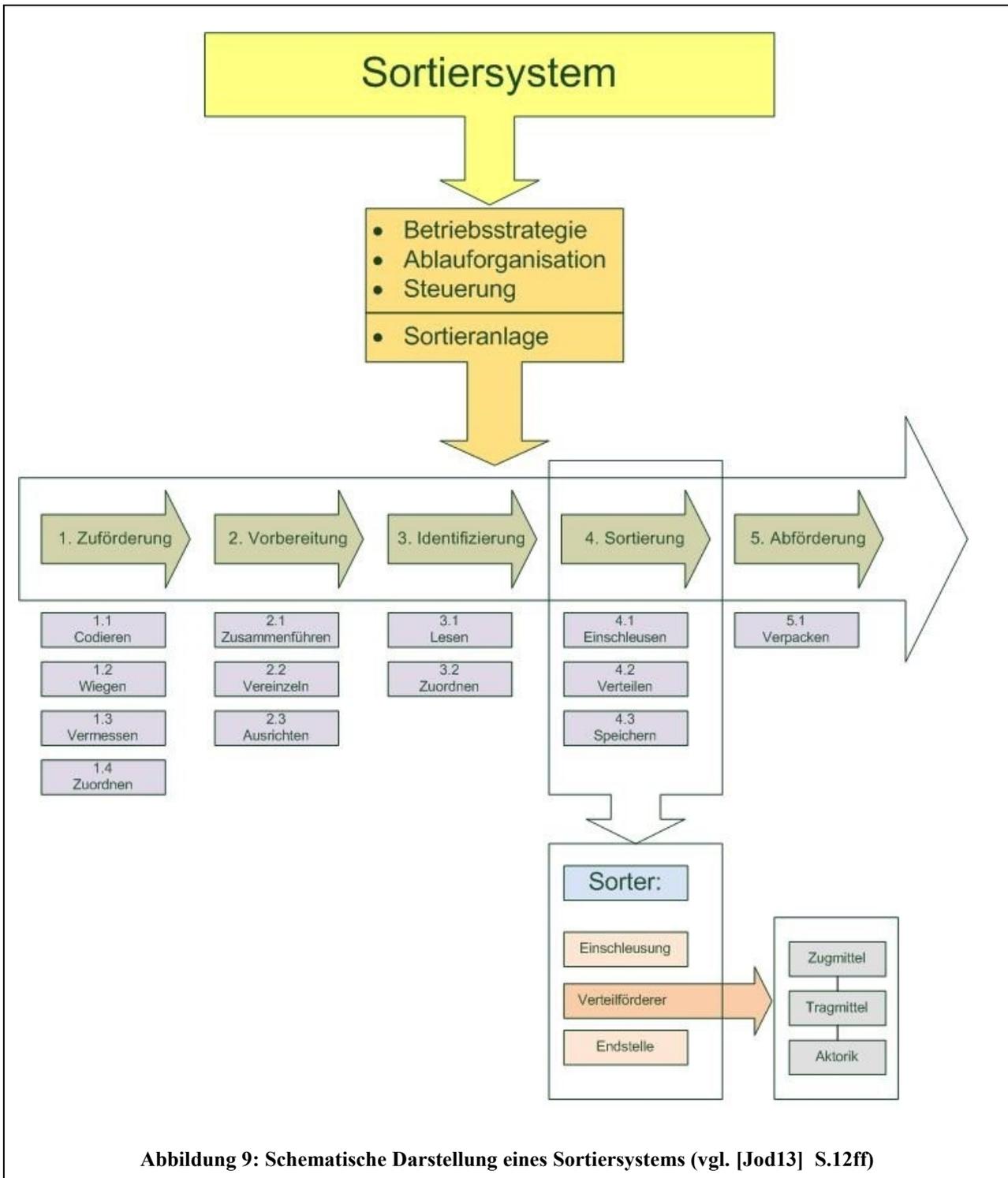
³⁴ RFID = Radio Frequency Identification

³⁵ vgl. [Jod12] S.33f

³⁶ vgl. [Jod12] S.51ff

3.5 Sortiersystem

In der betrieblichen Nutzung wird das Ausreizen der Nennsortierleistung angestrebt, um möglichst hohe Effizienz und Effektivität zu erzielen. Neben den beschriebenen, vorwiegend förder-technischen Aspekten des Sorters und der Sortieranlage spielen hierfür auch noch Überlegungen hinsichtlich der Ablauforganisation, der Anlagensteuerung und der Betriebsstrategie eine wesentliche Rolle. In der folgenden Abbildung werden die gesamten Komponenten eines Sortiersystems und ihre Beziehung zu einander im Gesamtüberblick dargestellt:



3.5.1 Ablauforganisation

Ein reibungsloser Prozessablauf ist nicht nur an technische, logistische und sortiergutspezifische Kriterien geknüpft, sondern auch ablauforganisatorische Gesichtspunkte beeinflussen die Effektivität eines Sortiersystems. Folgende Aspekte werden explizit in der VDI-Richtlinie 3312 genannt:³⁷

- **Konstanter Güterstrom am Eingang des Sortiersystems:**
Verminderung der Systemleistung durch Lücken bzw. Staus im Förderstrom sollen vermieden werden. z.B. LKW-Entlademanagement in einem Verteilzentrum, vorgeschaltete Kommissionierung in einem Distributionszentrum.
- **Behandlung von Non-Conveyables:**
Nicht sortierfähige bzw. nicht automatisch identifizierbare Güter müssen manuell gehandhabt werden. Für manuelle Transporte sind kurze Wege vorzusehen.
- **Schwankungen im Sortiervolumen, bezogen auf die Sortierziele:**
Schieflasten im System sind zu vermeiden und führen zu überfüllten Endstellen und weiters zu Kreisläufern, stop-and-go Betrieb und dadurch zu Leistungsverlusten.
- **Notstrategien:**
Müssen definiert werden und rasch im Betrieb umgesetzt werden können (Mitarbeiter sind zu unterweisen).

3.5.2 Steuerung

Die Aufgabe der Anlagensteuerung liegt in der optimalen Gewährleistung des Gutstromes innerhalb des Transportsystems mit Hilfe von Datenübertragung (Informationsfluss parallel und synchron zur Bewegung des Sortiergutes).

Die Steuerung erfüllt bzw. unterstützt grundsätzlich einheitlich folgende Funktionen:³⁸

- Übernahme von Steuerungsinformationen vom überlagerten System
- Identifizieren der Warenstücke
- Ermittlung des Sortierziels
- Zielsteuerung
- Ausschleusen an der Endstelle
- Überwachung und Meldung der Auftragsvollständigkeiten in den Endstellen

Im VDMA-Einheitsblatt 15276 „Datenschnittstellen in Materialflusssystemen“ werden in einem 6-Ebenen-Modell die Grundbausteine moderner Steuerungen von fördertechnischen Anlagen hierarchisch charakterisiert, wie sie auch in Sortieranlagen Anwendung finden. Diese Ebenen umfassen:³⁹

1. **Sensoren** liefern Prozessdaten, **Aktoren** wandeln Schaltsignale in Prozessgrößen.
2. **Elementsteuerung:** Komponentensteuerungen für einfache Vorgänge.

³⁷ vgl. [VDI3312] S.20

³⁸ vgl. [VDI03] S.119

³⁹ vgl. [VDMA15276] S.3ff

3. **Bereichssteuerung:** Durch Zusammenführen einzelner Elementsteuerungen.
4. **Substeuerung:** Für ein abgeschlossenes Teilsystem, z.B. einen Sorter. Für die expliziten Anforderungen an die Sortersteuerungen sei auf [VDI3312] verwiesen.
5. **Systemsteuerung:** verfügt über vollständiges und aktuelles Abbild des Gesamtsystems und kann daher die Koordination aller Transportaufgaben übernehmen.
6. **Darstellung und Kommunikation:** Dient als Bedienerschnittstelle und bildet logistische Transportaufträge ab.

3.5.3 Betriebsstrategie

Mit Hilfe der Systemsteuerung und den untergeordneten Steuerungen ist es nun möglich, optimierte Betriebsstrategien auszuarbeiten, um einen möglichst effizienten Einsatz der Sortieranlage vor allem im Hinblick auf die Sortierleistung als maßgebliche Kenngröße zu erreichen. Ziel ist, möglichst jeden freien Platz am Verteilförderer zu belegen und jedes Gut innerhalb eines Anlagendurchlaufs an der entsprechenden Endstelle wieder auszuschleusen. In der Literatur werden hierfür speziell Optimierungsvorschläge für folgende Teilbereiche zur Erarbeitung einer geeigneten Betriebsstrategie genannt:⁴⁰

- **Teilezustrom:** Auftrags- bzw. Artikelreihenfolge, Freigabezeitpunkt
- **Einschleusung:** Zuordnungsfähigkeit, Priorität, Zuordnung
- **Endstellenzuordnung:** Zieldefinition
- **Ausschleusung:** Überwachung
- **Packbereich:** Falls im Sortiersystem integriert

⁴⁰vgl. [Jod12] S.203ff

3.6 Berechnungsgrundlagen

Die hier gezeigten berechnungstechnischen Grundlagen für die Projektierung beruhen auf den Ausführungen in „Sortier- und Verteilsysteme“ und „Handbuch Logistik“.

3.6.1 Durchsatz

Der maximale technische Grenzdurchsatz hängt ab von der Geschwindigkeit des Verteilförderers, der Anzahl paralleler Tragmittel und dem realisierbaren Gutabstand.⁴¹

Durchsatz:		
$\lambda_{max} = \frac{v_s \cdot c \cdot 3.600}{s_{min}}$		
λ_{max}	(Maximaler) Sorterdurchsatz	[#/h]
v_s	Geschwindigkeit des Verteilförderers	[m/s]
c	Anzahl paralleler Tragmittel am Sorter	[-]
s_{min}	Segmentiertes Tragmittel: Abstand zwischen den Tragmitteln Durchgängiges Tragmittel: Minimal realisierbarer Gutabstand	[m]

Tabelle 1: Berechnung Durchsatz

In der Realität lässt sich der rechnerisch ermittelte Grenzdurchsatz jedoch kaum tatsächlich erzielen, da z.B. durch Rundläufer am Loopsorter, Doppelbelegung von Tragmitteln bei Überlängenartikeln oder fehlende Güter bei der Einschleusung die Systemleistung insgesamt gemindert wird.

Eine Erhöhung des Durchsatzes der Gesamtanlage kann nun noch durch eine höhere Anzahl an Einschleusbereichen und deren ideale Anordnung in der Anlage erzielt werden. So kann beispielsweise durch einen zweiten, diagonal angeordneten Einschleusbereich bei einem Loopsorter die Leistung um 33% gesteigert werden, im Gegensatz zur einfachen Einschleusung (siehe Abbildung 10). Möglich wird dies dadurch, dass bei Annahme von gleichmäßiger Güterverteilung in den Einschleusungen sich Durchschleusgrade von 0.5 ergeben. Durch die zusätzliche Einschleusung werden die jeweils leeren Plätze am Verteilförderer nach den angeordneten Ausschleusbereichen rascher wieder belegt, somit werden die „Leerwege“ des Sorters minimiert.⁴²

Gesamtleistung mit mehreren Einschleusbereichen:		
$\lambda_s = \lambda_{100\%} \cdot \left[1 - (DG_b + 1) \cdot \left(\frac{1 - DG_a}{1 - DG_a \cdot DG_b} \right) \right]$		
Abbildung 10: Prinzip einfacher und doppelter Einschleusung (aus [Jod12] , S.41)		
λ_s	Erzielbare Sortierleistung bei zwei diagonalen Einschleusungen	[#/h]
$\lambda_{100\%}$	Grenzeleistung bei einer Endstelle und zwei Ausschleusbereichen	[#/h]
DG_a, DG_b	Durchschleusgrad der Ausschleusbereiche A und B	[-]

Tabelle 2: Berechnung Gesamtleistung mehrere Einschleusbereiche

Durch bauliche Maßnahmen kann der realisierbare Durchsatz der Gesamtanlage noch weiter gesteigert werden, so kann z.B. durch doppelte Ausschleusung, Vorsortierung oder Bypass-Strecken die Sortierleistung sogar verdoppelt werden.

⁴¹ vgl. [Jod12] S.169

⁴² vgl. [Jod12] S.41f und vgl. [Arn02] S.C2-84f

3.6.2 Antriebsleistung

Die Berechnung der erforderlichen Antriebsleistung und die daraus resultierende Auslegung des Antriebs hängen stark von der ausgewählten Sortertechnologie und der geometrischen Ausprägung des Anlagenlayouts ab. Daher soll hier ein allgemeiner Überblick über die enthaltenen Größen gezeigt werden, für weiterführende Berechnungen einzelner Komponenten sei auf die entsprechende Literatur verwiesen.⁴³

Erforderliche Antriebsleistung und Widerstandskräfte:		
$P = F_W \cdot v_s \quad \text{mit} \quad F_W = F_R + F_{St}$		
$F_R = F_H + F_N + F_S \quad \text{mit} \quad F_H = \sum_{i=1}^n (F_{Ri} + F_{Li}) \quad \text{sowie} \quad F_N = F_{Uml} + F_{Ein} + F_{Aus}$		
$F_{St} = m'_{sort} \cdot H \cdot g, \quad F_{RS} = \mu_S \cdot F_N, \quad F_{Uml} = \frac{1}{r} \cdot (F_K \cdot p_K - m \cdot v_s^2)$		
$F_{Ein} = \frac{m_{sort}}{2 \cdot s_w} \cdot (v_s^2 - v_{Üb}^2) \cdot f_E \cdot f_W \quad \text{und} \quad F_{Aus} = m_{sort} \cdot g \cdot \mu \cdot f_E \cdot f_W \cdot n_{Aus} \cdot (1 + \mu_{F0} \cdot \cos \alpha)$		
P	Antriebsleistung des Sorters	[W]
F_W	Gesamtwiderstandskraft	[N]
F_R	Gesamtreibungswiderstand	[N]
F_{St}	Steigungswiderstand	[N]
F_H, F_N	Haupt- und Nebenwiderstände	[N]
F_S	Sonderwiderstand, z.B. Schleifleitungswiderstand F_{RS}	[N]
F_{Ri}, F_{Li}	Roll-/Lagerreibungswiderstand je Trag-/Führungsrolle	[N]
F_{Uml}	Umlenkswiderstand	[N]
F_{Ein}, F_{Aus}	Ein- und Ausschleuswiderstand	[N]
m'_{sort}	Streckenbezogene mittlere Sortiergutmasse	[kg/m]
m_{sort}	Masse des Sortiergutes	[kg]
H	Steigungshöhe	[m]
g	Erdbeschleunigung	[m/s ²]
μ_S	Gleitreibungsbeiwert Stromabnehmer-Schleifleitung	[-]
F_N	Normalkraft (Andrückkraft) des Stromabnehmers	[N]
r	Umlenkradius	[m]
F_K	Kettenzugkraft	[N]
p_K	Kettenteilung	[m]
m	Masse von Fahrwagen und Gutgewicht	[kg]
s_w	Wirkweg zur Geschwindigkeitsangleichung	[m]
$v_{Üb}$	Geschwindigkeitskomponente bei Übergabe in Förderrichtung	[m/s]
f_E, f_W	Einschleusungsfaktor, Wirkzeitfaktor	[-]
μ	Reibbeiwert zwischen Gut und Gutauflage	[-]
g	Erdbeschleunigung	[m/s ²]
n_{Aus}	Zahl der gleichzeitig aktivierten Aktoren	[-]
μ_{F0}	Spezifischer Fahrwiderstand der Stützrolle	[-]
α	Winkel zwischen Ausschleus- und Hauptförderrichtung	[°]

Tabelle 3: Berechnung Antriebsleistung und Widerstandskräfte

⁴³ vgl. [Jod12] S.176ff

3.6.3 Kippen und Schlupf

Aufgrund der kinematischen Gegebenheiten innerhalb der Sortieranlage durch Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge des Sortiergutes speziell beim Ein- und Ausschleusen können Kipp- und Schlupfbewegungen den gewünschten Bewegungsablauf beeinträchtigen.

Einerseits müssen Güter mit zerbrechlichem oder erschütterungsempfindlichem Inhalt sowie empfindlichen Oberflächen möglichst schonend bewegt werden, um die Produktqualität nicht zu mindern. Andererseits ist die exakte Positionierung am Verteilförderer bzw. die exakte Ausschleusposition von Bedeutung, um Fehlausschleusungen oder Staus und eine damit einhergehende Verminderung der Leistungsfähigkeit der Anlage zu vermeiden.

Eine große Bedeutung spielen hierfür neben den jeweiligen Massen der Sortiergüter die Reibungsverhältnisse und auftretenden Beschleunigungen. Rechnerisch können die Kräfte wie folgt auf einander abgestimmt werden.⁴⁴

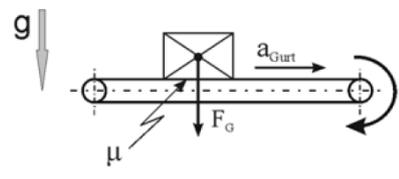
Schlupfbedingung:		
mit:	$F_{Besch} \leq F_{Reib}$	 <p>Abbildung 11: Schlupf (aus [Jod12] , S.191)</p>
	$F_{Besch} = m_{sort} \cdot a_{Gurt}$	
	$F_{Reib} = \mu \cdot F_G$	
	$F_G = m_{sort} \cdot g$	
ergibt:	$a_{Gurt} \leq \mu \cdot g$	
F_{Besch}	Beschleunigungskraft	[N]
F_{Reib}	Reibkraft	[N]
F_G	Gewichtskraft	[N]
a_{Gurt}	Gurtbeschleunigung	[m/s ²]

Tabelle 4: Berechnung Schlupf

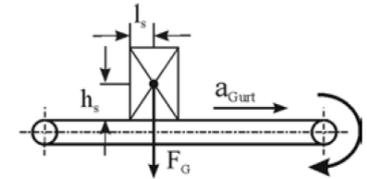
Kippbedingung:		
ergibt:	$F_{Besch} \cdot h_s \leq F_{Reib} \cdot l_s$	 <p>Abbildung 12: Kippen (aus [Jod12] , S.191)</p>
	$a_{Gurt} \leq g \cdot \frac{l_s}{h_s}$	
l_s	Abstand zwischen Schwerpunkt und Kippkante	[m]
h_s	Schwerpunkthöhe des Sortierguts	[m]

Tabelle 5: Berechnung Kippen

⁴⁴ vgl. [Jod12] S.190f und vgl. [Arn02] S.C2-85

3.7 Anwendungen von Sortierprozessen in der Logistik

Klassische Anwendungsgebiete von Sortiertechnik und Einbindung von Sortierfunktionen in logistische Prozesse werden in der Literatur u.a. mit folgenden Beispielen näher erläutert:⁴⁵

- Industrie: Produktions- und Montagesysteme
- Distributionszentren (z.B. inkl. Lager und Kommissionierung)
- Cross-Docking-Stationen im Handel⁴⁶
- Verteilzentren in der KEP-Branche⁴⁷
- Briefsortierung bei der Post
- Frachtknoten (z.B. Gepäcksortierung in Flughäfen)

⁴⁵ vgl. [VDI3312] S.3ff und vgl. [Jod12] S.7ff

⁴⁶ Umschlagplatz für die Kommissionierung und Verteilung von Waren für die Filialbelieferung

⁴⁷ Kurier-/Express-/Paketdienste

4 Allgemeine Ansätze zur Auslegung von Sortiersystemen

Im folgenden Kapitel werden allgemeine, grundlegende Vorgehensweisen zur Auslegung von Sortiersystemen vorgestellt. Das Ziel ist hierbei, die anfallenden Aufgaben und Teilprozesse bei der Projektierung von Sortiersystemen zu systematisieren und einen Vorschlag für ein allgemeines Auslegungsmodell zu erarbeiten.

4.1 Vorgehensmodell nach VDI 2221

Die VDI-Richtlinie 2221 beschäftigt sich mit Methoden zum Entwickeln und Konstruieren von technischen Systemen und Produkten. Das darin beschriebene Vorgehensmodell (siehe Abbildung 13) gliedert sich in sieben Arbeitsabschnitte, welche vollständig, teilweise oder auch mehrfach iterativ durchlaufen werden, bis daraus entsprechende Ergebnisse hervorgehen. Mittels des vorgeschlagenen Modells soll ein methodisches Vorgehen im Konstruktionsprozess und eine rationelle und überschaubare Produktentwicklung gewährleistet werden.⁴⁸

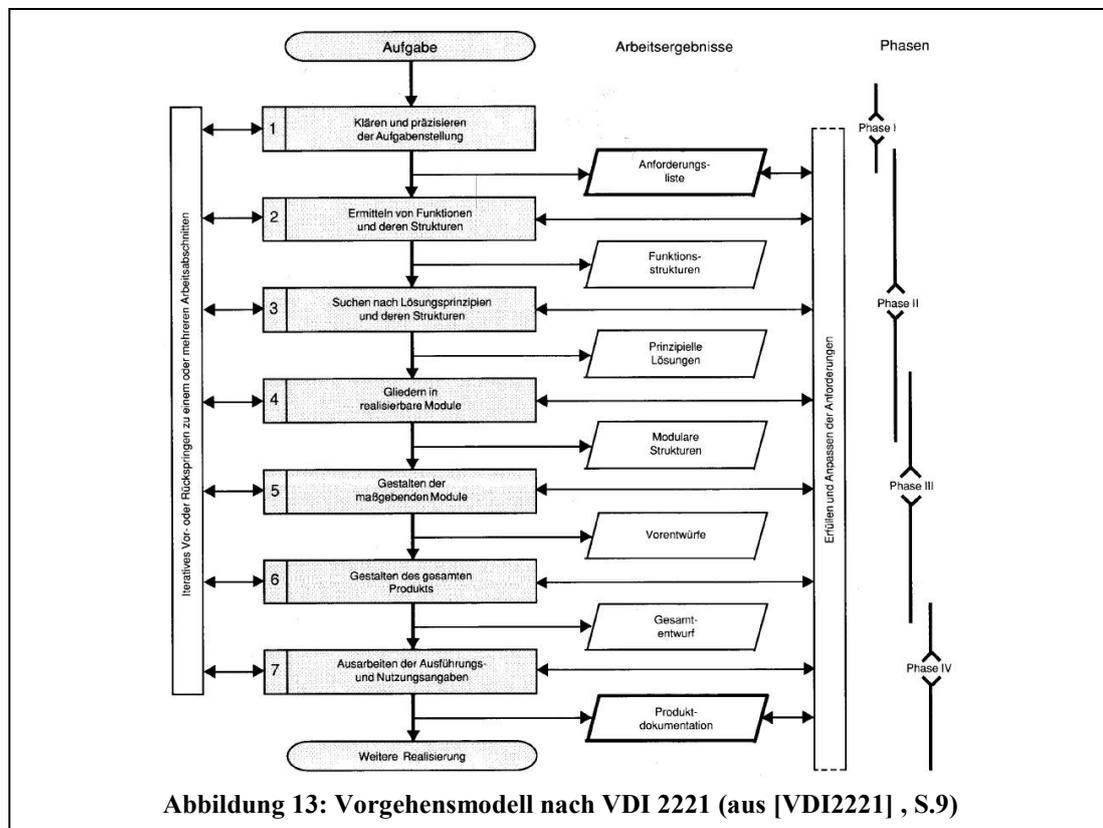


Abbildung 14 zeigt ein versuchsweise ausgearbeitetes Vorgehensmodell nach VDI 2221 zur Auslegung von Sortiersystemen nach dem beschriebenen Ablaufschema. Als Fazit kann festgehalten werden, dass es für einen ersten Überblick für die Auslegungssystematik durchaus dienlich sein kann, vor allem was die Suche nach Lösungsprinzipien und die Gliederung in die verschiedenen realisierbaren Module betrifft.

Da es mit diesem Vorgehensmodell jedoch sehr schwierig ist, der Komplexität und Variantenvielfalt der unterschiedlichen Anlagenkomponenten gerecht zu werden, empfiehlt es sich eher für die Entwicklung einzelner Bauteile oder Baugruppen. Ein Prozessmodell zur Konzipierung von Gesamtanlagen sollte einerseits über klar strukturierte Abläufe verfügen und andererseits die Zusammenhänge und Abhängigkeiten unterschiedlicher Anlagenkomponenten bis hin zur Berücksichtigung allgemeiner Aspekte wie Betriebsstrategien und Ablauforganisation beinhalten. Daher wurde nach weiteren Möglichkeiten der Prozessmodellierung gesucht, um diesen Anforderungen gerecht zu werden.

⁴⁸ vgl. [VDI2221] S.9

Vorgehensmodell Auslegungsprozess Sortiersystem

(nach VDI 2221 – Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte)

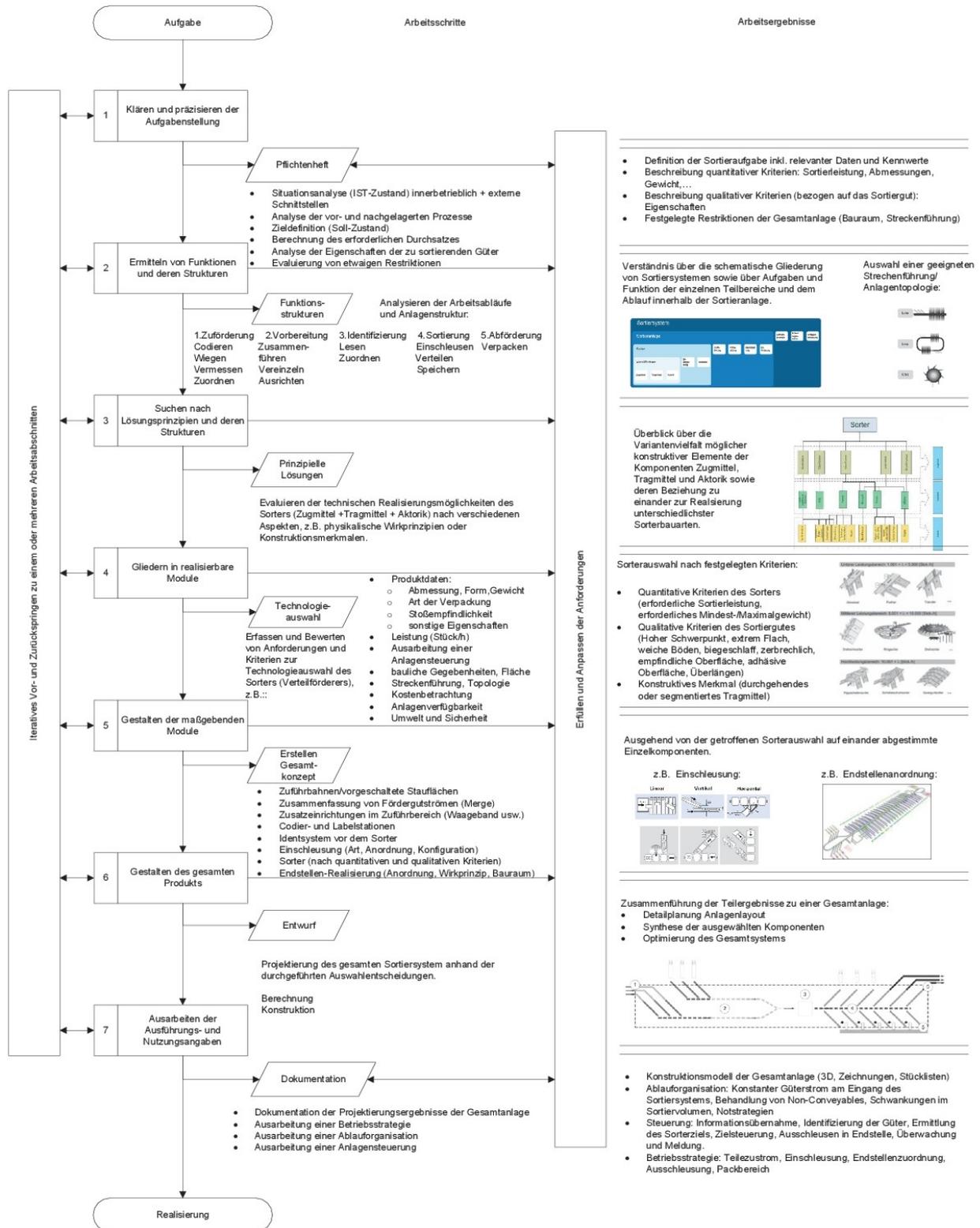


Abbildung 14: Ausgearbeitetes Vorgehensmodell nach VDI 2221

4.2 Prozessmodellierung für die Auslegung und Konfiguration von Sortiersystemen

In der einschlägigen Fachliteratur finden sich detaillierte Beschreibungen der einzelnen Funktionsbereiche und Bestandteile von Sortiersystemen, wobei Funktionen und Anforderungen bis hin zu Berechnung und konstruktiven Merkmalen erläutert werden.

Die Schwierigkeit bei der Auslegung der Gesamtanlage liegt nun einerseits aufgrund der großen Variantenvielfalt in der Technologieauswahl für die einzelnen Funktionsbereiche (unterschiedliche technische Wirkprinzipien führen zu verschiedensten konstruktiven Realisierungsmöglichkeiten) und andererseits in Konfiguration und optimalen Abstimmung der einzelnen Komponenten zu einander. Aus diesem Grund finden sich in der Literatur nur wenig verwertbare Informationen bezüglich der Auswahl der Teilkomponenten und darauf aufbauend der Konzeption des gesamten Sortiersystems, es handelt sich eher um ein iteratives Vorgehen (hier sei besonders auf [Mar12], S. 11ff verwiesen). Aus diesem Grund wurde ein Prozessmodell als Vorschlag zur Auslegung der Gesamtablage entwickelt, welches hier in weiterer Folge erläutert wird.

4.3 Systemauslegung einer Sortieranlage

Um einen Überblick über alle auszulegenden Teilbereiche zu erhalten, empfiehlt sich ein systematischer Überblick über alle Funktionsstrukturen der Anlage, inklusive aller zu beachtenden Faktoren und der Entscheidungsvarianten, in welcher die Komponenten konstruktiv ausgeführt werden können.

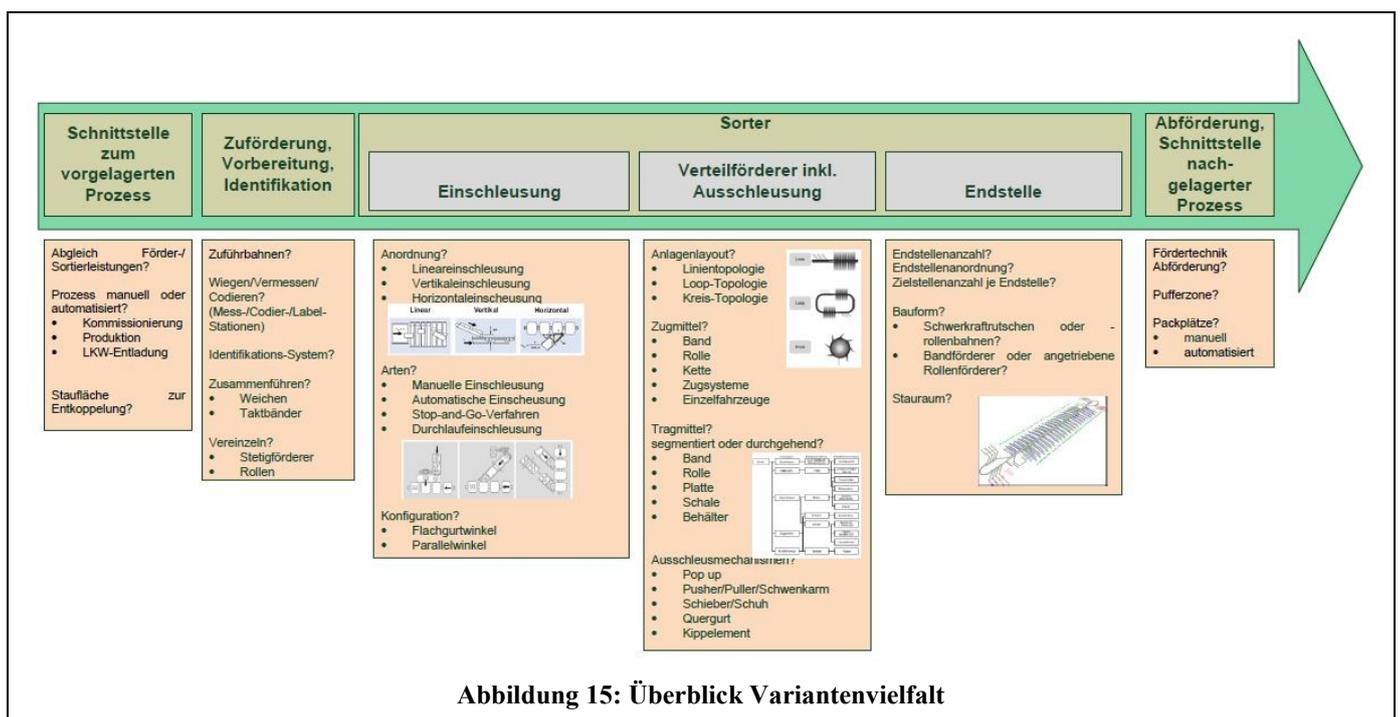
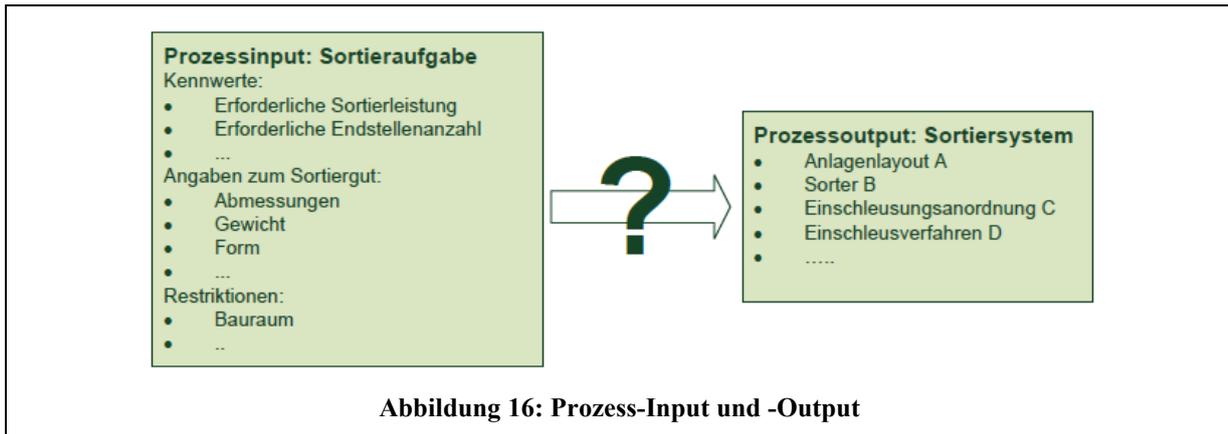


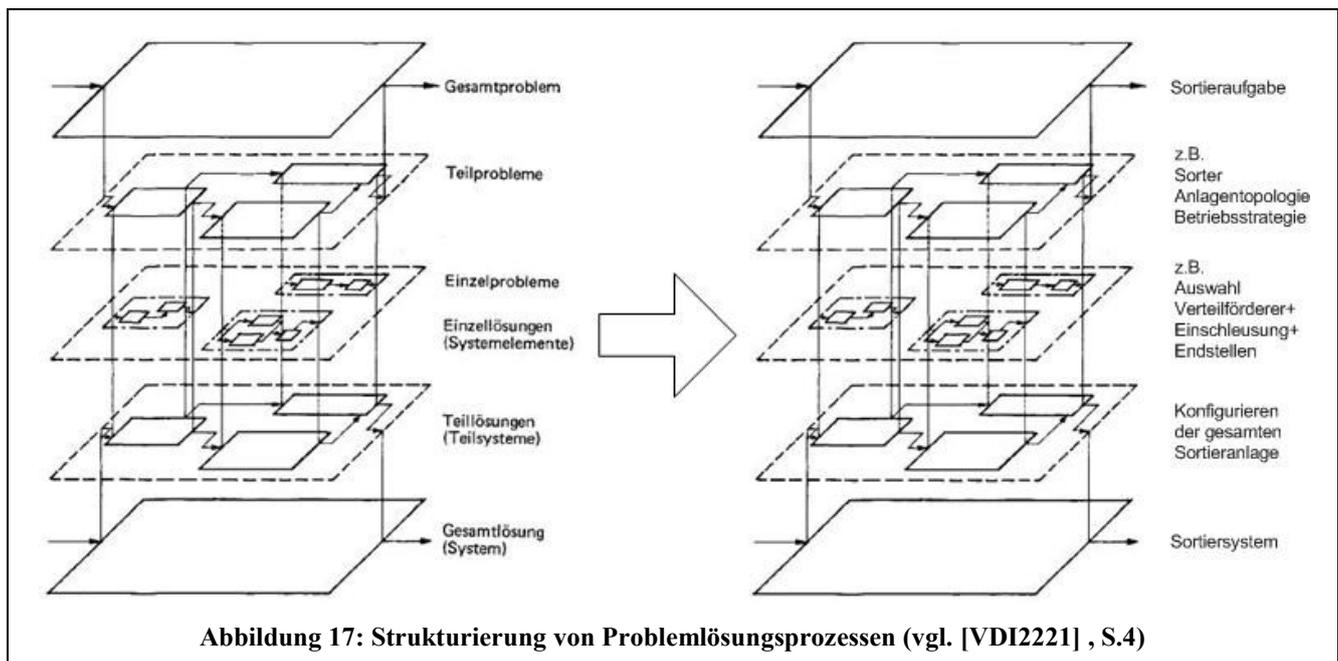
Abbildung 15: Überblick Variantenvielfalt

Um die Auslegung möglichst zielgerichtet gestalten zu können, sollte man zu Beginn die Rahmenbedingungen genauer untersuchen. Es handelt sich hierbei wie bei jedem Prozess um eine Abfolge von Schritten, um durch Inputs einen definierten Output zu erzeugen.

Die Ausgangssituation mit der Definition der Sortieraufgabe stellt den Input dar, das gewünschte Ziel ist eine fertig konfigurierte Sortieranlage (siehe auch Abbildung 16).



Zunächst stellt sich die Frage, wie der Prozessablauf sinnvollerweise zu gestalten ist. Die ersten Versuche eines „chronologischen“ Verlaufs (Auslegung der Komponenten in der gleichen Reihenfolge, wie sich das Sortiergut durch die Sortieranlage bewegt) sowie eines „hierarchischen“ Verlaufs (Auslegung nach einer festgelegten Reihenfolge mit willkürlich gewählter Priorität) zeigten sich als wenig sinnvoll. Jedoch ergab sich daraus die gewonnene Erkenntnis, dass bei der Projektierung einer so komplexen Anlage unterschiedliche Prozesse notwendig sind, die teilweise nacheinander, parallel, sich aufeinander beziehend und ineinander verschachtelt ablaufen. Somit ist eine serielle Abfolge von einzelnen Vorgängen nicht zielführend. Aus diesem Grund wurde ein Prozessmodell erstellt, das in seiner Ausprägung auf folgender Systematik beruht:



Die Sortieraufgabe ist als Gesamtproblem zu verstehen, welches es zu lösen gilt, als Endergebnis des Auslegungsprozesses wird ein fertig ausgearbeitetes Sortiersystem angestrebt. Dazwischen laufen die entsprechenden Arbeitsschritte für die Projektierung ab. Zunächst ist es zweckmäßig, zur Lösung von Teilproblemen Hauptprozesse zu definieren, um in weiterer Folge durch Unterprozesse Einzelaufgaben zu lösen. Durch die Synthese der Teillösungen konfiguriert man eine Gesamtlösung.

Im konkreten Fall werden nun die Funktionsbereiche der Sortieranlage gemäß Abbildung 15 als Teilbereiche betrachtet, zusätzlich dazu noch der organisatorische Rahmen, welcher das Sortiersystem komplettiert (Prozessmodellierung siehe Abbildung 17).

Aus den vor- und nachgelagerten Prozessen kann die Sortieraufgabe als solches abgeleitet werden. Diese kann je nach vorliegendem Anwendungsfall erheblich variieren, so ergeben sich z.B. bei einer Sortierung inkl. Kommissionierung im Versandhandel ganz andere Anforderungen als bei einer Paketsortieranlage im KEP-Bereich oder einer Gepäcksortieranlage für Flughäfen. Durch Analyse von Ist-Zustand und der Formulierung eines Soll-Zustandes kann ein Maßnahmenkatalog erarbeitet werden, aus welchem sich ein entsprechendes Pflichtenheft ergibt, wodurch die eigentliche Sortieraufgabe definiert wird. Die darin enthaltenen Kriterien liefern die notwendigen Daten für die Auslegung, welche in weiterer Folge in verschiedene weitere Prozesse einfließen.

Aus dem Durchsatz ergibt sich eine erforderliche Sortierleistung, woraus sich Fördergeschwindigkeit, mittlere Sortiergutabstände und optional Mehrfachbelegung des Tragmittels ableiten lassen. Durch zusätzliche Maßnahmen kann die Leistungsfähigkeit eines einfachen Sortes noch gesteigert werden. Weiters können durch Analyse des Sortierguts quantitative Kriterien (Abmessungen, Gewicht) sowie qualitative Kriterien (Eigenschaften des Guts) definiert werden, die bei der Auslegung zu berücksichtigen sind. Auf diese Festlegungen und ermittelten Daten wird nun im folgenden Vorgehen immer wieder Bezug genommen, um die entsprechenden Anforderungen erfüllen zu können.

Ein weiterer Prozess dient der Auslegung der Vorbereitungsprozesse, also jenen Arbeitsabläufen, welche das Sortiergut durchläuft, bevor es in den Sorter gelangt. Da diese beiden Bereiche nur wenig voneinander abhängen, können sie weitgehend unabhängig betrachtet werden. Für die Vorbereitungsprozesse ist die Projektierung der gezeigten Teilbereiche vorzunehmen. Für die Codierung sind entsprechende Codierstationen vorzusehen, sofern das Gut nicht schon beim Warenweingang vorcodiert wurde. Für die Identifizierung muss die Auswahl der entsprechenden Technologie erfolgen und die technische Realisierung geplant werden, z.B. Barcode oder RFID.

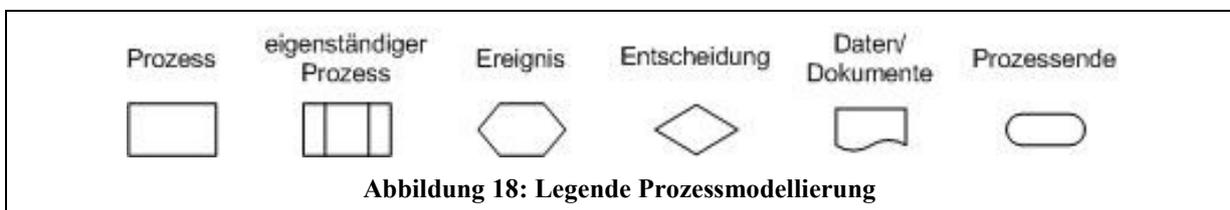
Für die Erfassung von Abmessungen und Gewicht sind in der Zuführung zum Sorter entsprechende Messeinrichtungen vorzusehen.

Vor der Einschleusung erfolgt noch das Zusammenführen, Vereinzeln und Ausrichten der Sortiergüter, wofür entsprechende konstruktive Maßnahmen auszuführen sind.

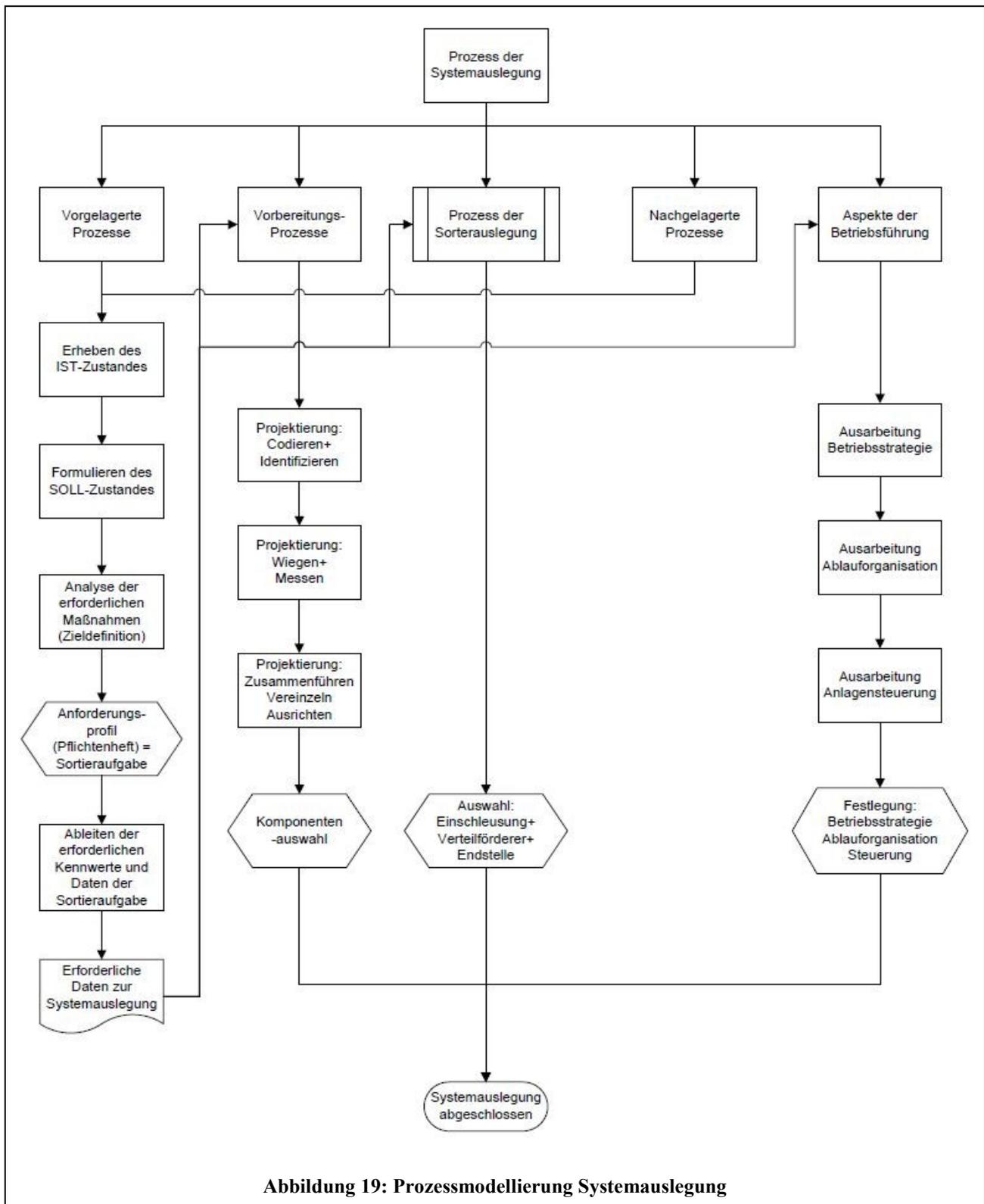
Im Anschluss folgt der Sorter als zentrale Komponente der Sortieranlage. Dieser Auslegungsschritt wird aufgrund seiner Komplexität als Unterprozess gesondert betrachtet.

Zum Schluss muss noch an den organisatorischen Rahmen gedacht werden, welcher ausgearbeitet werden muss, um eine optimale Betriebsführung der Anlage zu erzielen. Ziel ist die bestmögliche Nutzung der Anlagenkapazität und eine möglichst hohe Anlagenverfügbarkeit. Die Aspekte der Betriebsführung umfassen die Ausarbeitung einer Betriebsstrategie, die Festlegung der Ablauforganisation und eine möglichst optimale Anlagensteuerung.

Für alle in den nachfolgenden Kapiteln modellierten Prozesse gilt folgende Notation:



Durch das Zusammenfassen der genannten Teilprozesse ergibt sich in weiterer Folge das fertig ausgearbeitete Sortiersystem:



Die Auslegung des Sorters wird innerhalb der Systemauslegung als Unterprozess betrachtet und im nächsten Kapitel näher erläutert.

4.4 Sorterauslegung

Der Sorter gliedert sich in die drei Teilkomponenten Einschleusung, Verteilförderer und Endstelle, welche in unterschiedlichsten Bauarten ausgeführt werden können, jedoch auf einander abgestimmt werden müssen.

Da der Verteilförderer das Kernstück der gesamten Anlage anzusehen ist und maßgeblich die gesamte konstruktive Ausführung der Bauart des Sorters bestimmt, scheint es zweckmäßig, zunächst eine entsprechende Technologieauswahl hinsichtlich des Verteilförderers vorzunehmen. Diese wird wieder als eigenständiger Prozess betrachtet und später genauer beschrieben. Wurde also eine Auswahl getroffen, kann anschließend die Projektierung der Einschleusung und parallel dazu jene der Endstellen vorgenommen werden.

Bei der Einschleusung sind verschiedene Entscheidungen hinsichtlich des organisatorischen Ablaufs und der Anlagenausprägung zu treffen. In der Auslegung werden Geometrie und Abmessungen bestimmt sowie Anzahl und Anordnung der erforderlichen Einschleuslinien. Die Konfiguration betrifft die Art des Einschleusverfahrens und die Anordnung der Einschleusung in Relation zum Verteilförderer. So muss festgelegt werden, ob die Einschleusung manuell oder automatisch abläuft, bzw. bei der automatischen Einschleusung in weiterer Folge das entsprechende Verfahren (Stop-and-Go oder Durchlaufeschleusung). Je nach der räumlichen Ausprägung des Verteilförderers und der Anlagentopologie kann die Einschleusung linear, vertikal oder horizontal angeordnet werden.

Hinsichtlich des Grenzdurchsatzes ist vor allem das ausgewählte Verfahren von Bedeutung, bzw. je nach Auswahl die Anzahl der Einschleusungen je Einschleusbereich und in weiterer Folge die Anzahl und Anordnung der Einschleusbereiche.

Nach der Durchführung der entsprechenden Auswahl kann die gewünschte Einschleusung optimal angepasst an den vorausgewählten Verteilförderer ausgeführt werden.

Parallel dazu kann die Auslegung der Endstellen erfolgen. Die entsprechenden Anforderungen ergeben sich aus dem ausgearbeiteten Maßnahmenkatalog. Als wichtigstes Kriterium für die Auslegung muss neben der Endstellenbreite und Endstellenanzahl die resultierende Endstellenanordnung angesehen werden, da diese besonders die Länge der Gesamtanlage und die Art der Anlagentopologie bestimmt (offene Struktur oder geschlossene Struktur, auf der nicht ausgeschleuste Güter zirkulieren können). Die Konfiguration der Endstellen umfasst eine entsprechende Technologieauswahl auf Basis eines auf den Verteilförderer abgestimmten Wirkprinzips zur Festlegung der optimalen Bauform. Weiters muss die Zielstellenanzahl je Endstelle festgelegt werden und der dadurch entstehende Platzbedarf sowie etwaige Pufferzonen und die folgende Abförderung der Sortiergüter. Je nach Tätigkeit muss die Endstelle und der dort befindliche Arbeitsplatz (z.B. Packplatz) entsprechend ergonomisch ausgeführt werden.

Aus den eben genannten Fragestellungen kann die Auswahl für optimale Realisierung der Endstellen der Sortieranlage vorgenommen werden.

Mit diesem Konzeptvorschlag soll durch die Abfolge von vorgelagerter Auswahl und Auslegung des Verteilförderers (siehe separaten Prozess „Festlegung Sorterbauart“ in Kapitel 4.5) mit der anschließenden auf dieser Entscheidung basierenden Auslegung von Einschleusung und Endstelle ein auf alle Baugruppen bestmöglich abgestimmter Sorter realisiert werden können. Das Vorgehen wurde in der Prozessmodellierung in Abbildung 20 noch einmal graphisch festgehalten:

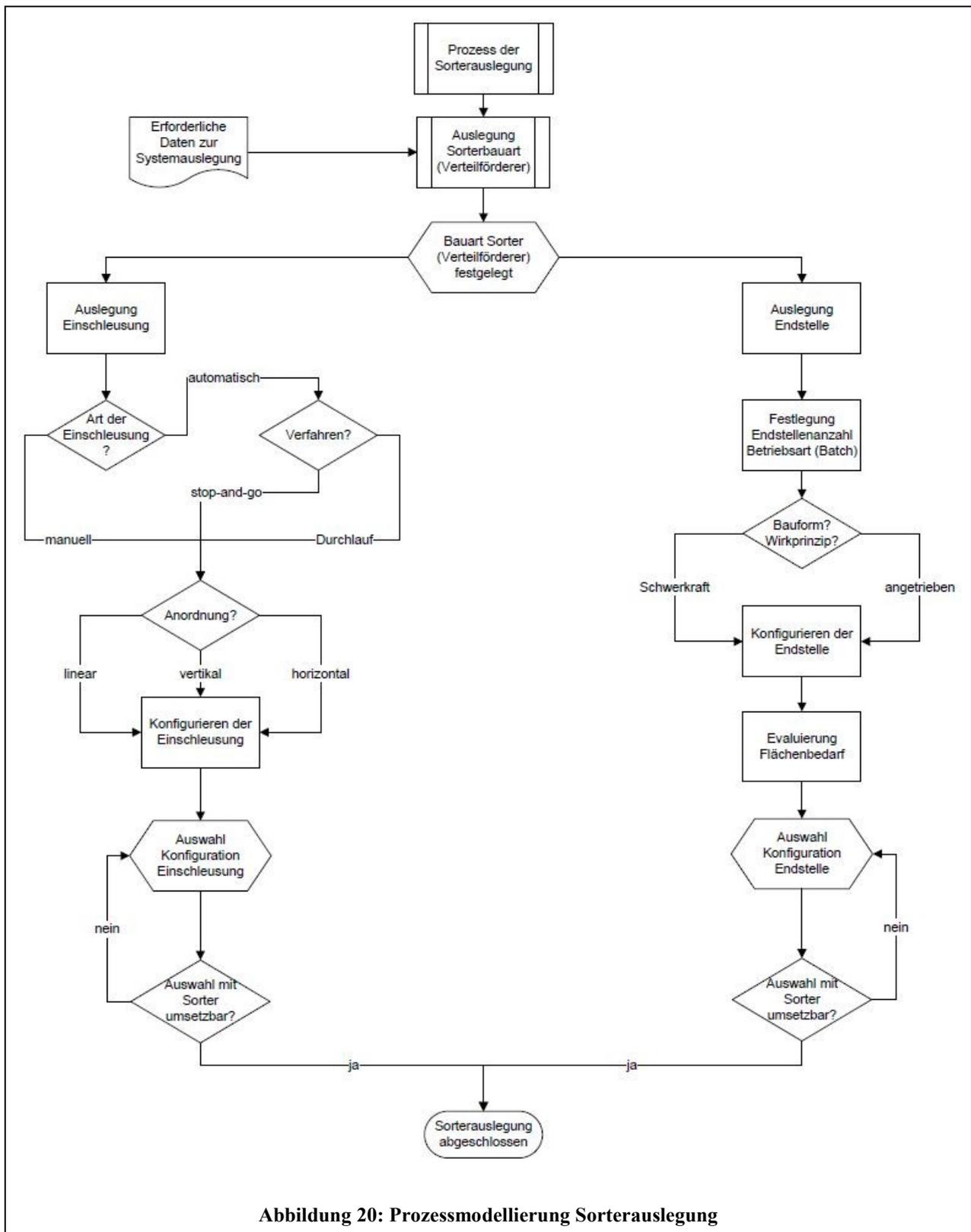


Abbildung 20: Prozessmodellierung Sorterauslegung

Der in der Sorterauslegung enthaltene eigenständige Unterprozess zur Auswahl eines geeigneten Verteiltörderers wird im nächsten Kapitel genauer erläutert.

4.5 Festlegung der Sorterbauart

Die Fachliteratur beschreibt eine Vielzahl an unterschiedlichen Verteilförderern und den daraus resultierenden verschiedenen Sorterbauarten und Anlagentypen. Jeder Verteilförderer hat aufgrund seines physikalischen Wirkprinzips eine andere konstruktive Ausprägung und eignet sich daher für unterschiedliche Sortieraufgaben.

Die Auswahl des entsprechenden Verteilförderers obliegt dem jeweiligen Entwickler, der sich für die Projektierung der Anlage verantwortlich zeigt. Es handelt sich daher weitgehend um einen iterativen Auswahlprozess aufgrund von Erfahrungswerten. In diesem Kapitel soll eine Methode gezeigt werden, wie die Auswahl des Sorters methodisch erfolgen kann. Der entsprechende Prozess wird in Abbildung 21 gezeigt.

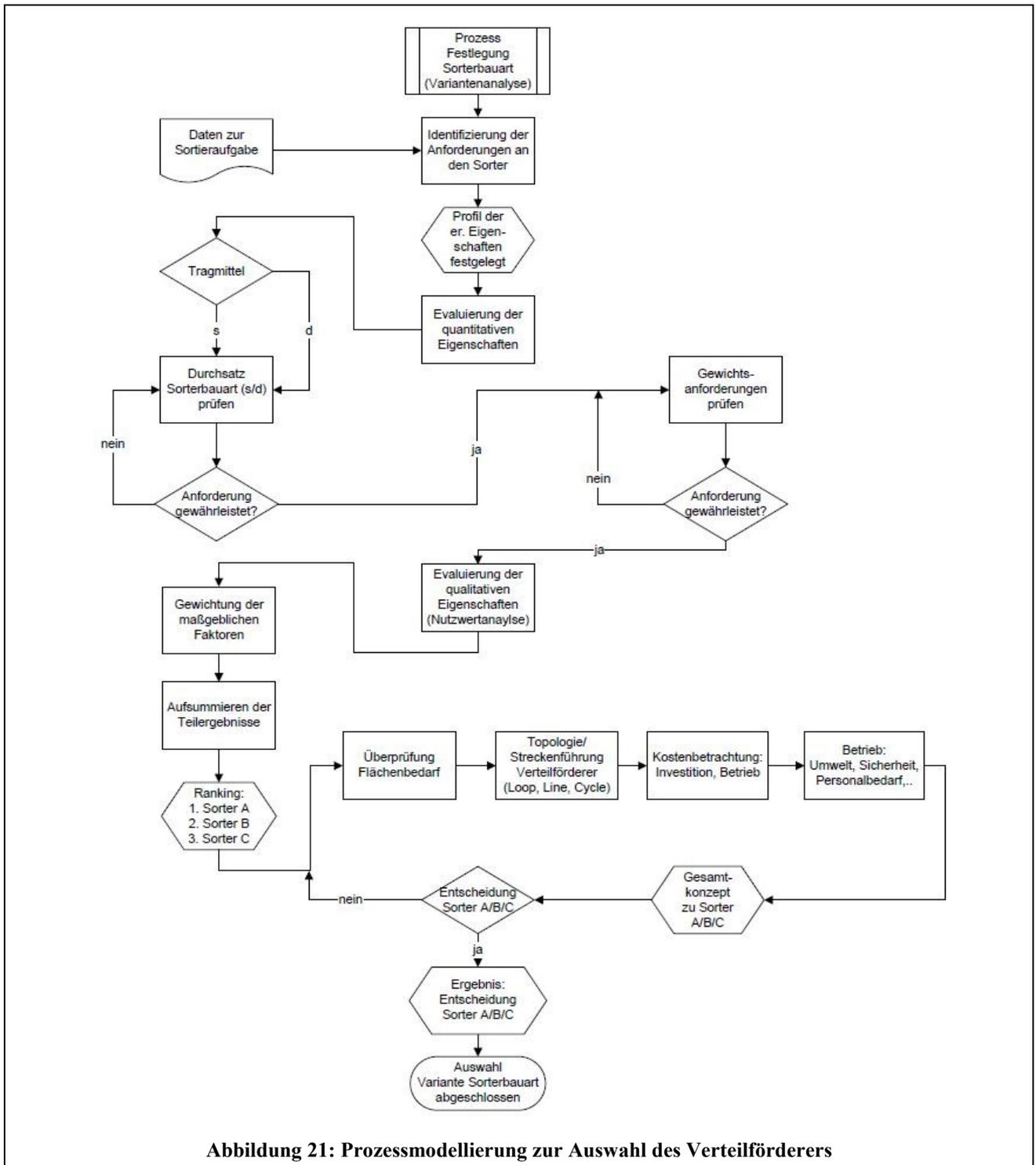


Abbildung 21: Prozessmodellierung zur Auswahl des Verteilförderers

Sinn und Zweck des Verfahrens ist ein zweistufiges Vorgehen. Zuerst erfolgt das Ausscheiden von Sortern nach quantitativen Kriterien, anschließend daran eine Bewertung der qualitativen Eigenschaften.

Aus diesem Grund wurde aus [VDI03], S.136 eine Bewertungstabelle herangezogen, wie sie in Abbildung 22 gezeigt wird, und noch weiter modifiziert. Die modifizierte Tabelle umfasst eine Unterteilung in ein durchgängiges oder segmentiertes Tragmittel, Angaben zu Durchsatz und Gewicht und die Eignung des Sorters für bestimmte Eigenschaften von Sortiergütern. Um diese subjektive Bewertung (+/o/-) zu objektivieren und schlussendlich zu einer aussagekräftigeren Bewertung zu gelangen, wurde das Bewertungssystem in ein numerisches System übergeführt und eine Nutzwertanalyse eingeführt:

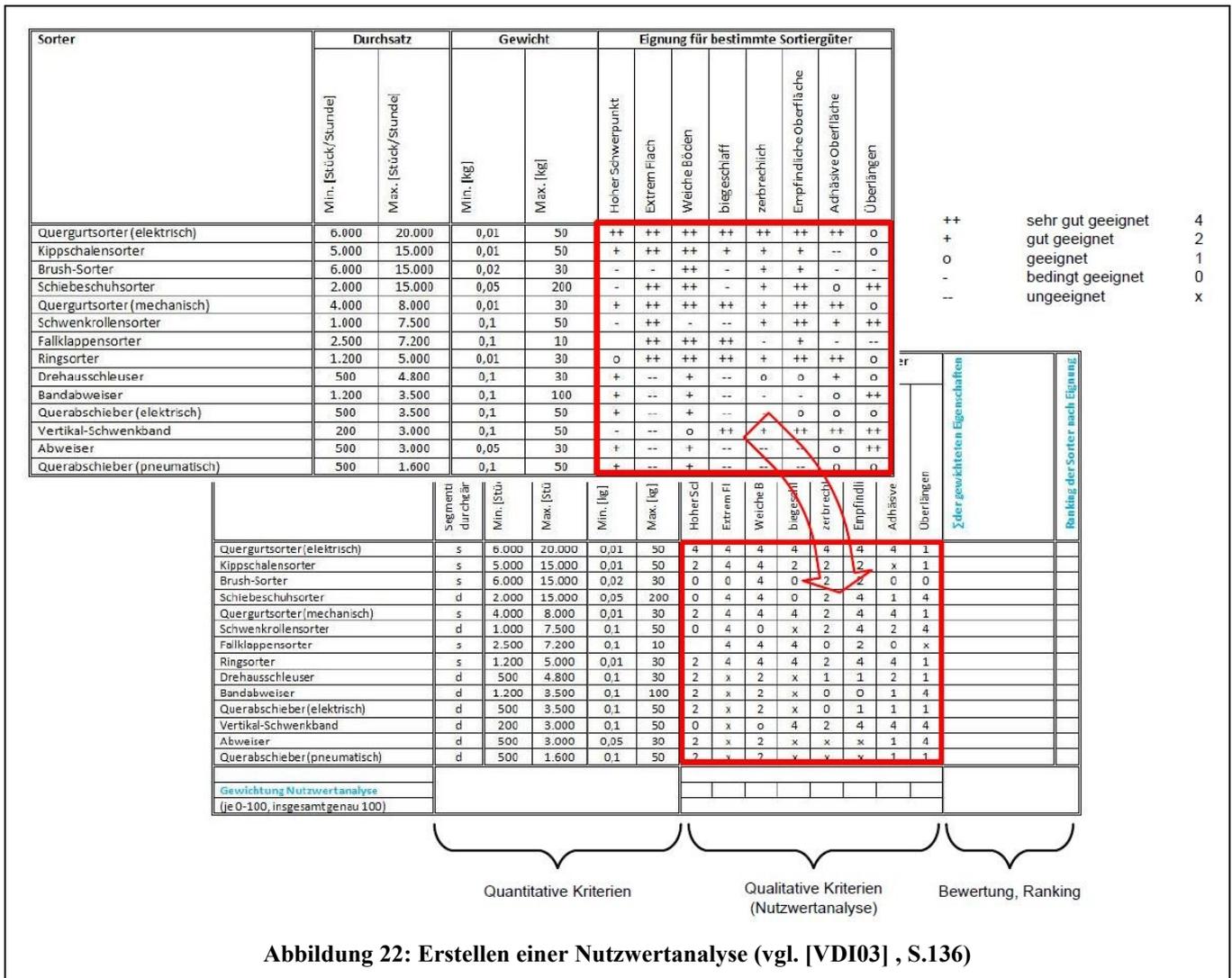


Abbildung 22: Erstellen einer Nutzwertanalyse (vgl. [VDI03], S.136)

Das Verfahren soll mit dem Beispiel aus Abbildung 23 noch verdeutlicht werden. Die Idee ist, in der Selektion nach quantitativen Kriterien alle Bauarten auszuschließen, die die Festlegungen nach der gewünschten Art des Tragmittels, dem Durchsatz und dem Gewicht nicht erfüllen (diese werden gestrichen). Für die übrig gebliebenen Verteilförderer wird nun eine Nutzwertanalyse durchgeführt. Aus diesem Grund werden zunächst die Sortierguteigenschaften der zu erwartenden Sortiergüter aufgrund von Erfahrungswerten bewertet. Maßgeblich sind hierfür z.B. Angaben zum Schwerpunkt der Güter, von der Norm abweichenden Abmessungen, den Festigkeitseigenschaften, der Empfindlichkeit gegen Erschütterungen und Stöße oder die Oberflächenbeschaffenheit. Durch die gewählte Gewichtung der Eigenschaften (aus Gründen der Vergleichbarkeit mit der Summe 100) und der Aufsummierung der multiplizierten Werte mit den vorgegeben Faktoren ergibt sich nun eine Bewertungszahl, auf deren Basis ein Ranking der verschiedenen Verteilförderer für die Eignung nach den selbst gewählten Auswahlkriterien resultiert.

Beispiel:

- 20.000 Pakete pro Tag → $\frac{20.000}{24} = 834 \frac{\text{Pakete}}{\text{h}}$ erforderlicher Mindestdurchsatz
- 24 h Betriebszeit pro Tag
- Gewicht: 100g bis 40 kg
- Tragmittel durchgängig oder segmentiert: egal

Gewichtung der Sortierguteigenschaften:	Hoher Schwerpunkt	30
	Zerbrechlich	30
	Überlängen	30
	Empfindliche Oberfläche	10
	Σ	100

Sorter	Tragmittel	Durchsatz		Gewicht		Eignung für bestimmte Sortiergüter								Σ der gewichteten Eigenschaften	Ranking der Sorter
		Segmentiert s durchgängig d	Min. [Stück/Stunde]	Max. [Stück/Stunde]	Min. [kg]	Max. [kg]	Hoher Schwerpunkt.	Extrem Flach	Weiche Böden	biegeschlaff	zerbrechlich	Empfindliche OF	Adhäsive Oberfl.		
Quergurtsorter (elektrisch)	s	6.000	20.000	0,01	50	4	4	4	4	4	4	4	1	120+120+40+30 = 310	1.
Kippschalensorter	s	5.000	15.000	0,01	50	2	4	4	2	2	2	x	1	60+60+20+30 = 170	5.
Brush-Sorter	s	6.000	15.000	0,02	X	0	0	4	0	2	2	0	0	0	0
Schiebeschusorter	d	2.000	15.000	0,05	200	0	4	4	0	2	4	1	4	60+40+120 = 220	2.
Quergurtsorter (mechanisch)	s	4.000	8.000	0,01	X	2	4	4	4	2	4	4	1	0	0
Schwenkrollensorter	d	1.000	7.500	0,1	50	0	4	0	x	2	4	2	4	60+40+120 = 220	2.
Fallklappensorter	s	2.500	7.200	0,1	X	2	4	4	4	0	2	0	X	0	0
Ringsorter	s	1.200	5.000	0,01	X	2	4	4	4	2	4	4	1	0	0
Drehausschleuser	d	500	4.800	0,1	X	2	x	2	x	1	1	2	1	0	0
Bandabweiser	d	1.200	3.500	0,1	100	2	x	2	x	0	0	1	4	60+120 = 180	4.
Querabschieber (elektrisch)	d	500	3.500	0,1	50	2	x	2	x	0	1	1	1	0	0
Vertikal-Schwenkband	d	200	3.000	0,1	50	0	x	0	4	2	4	4	4	0	0
Abweiser	d	500	3.000	0,05	X	2	x	2	x	x	x	1	4	0	0
Querabschieber (pneumatisch)	d	500	1.600	0,1	50	2	x	2	x	x	x	1	1	0	0
Gewichtung Nutzwertanalyse (je 0-100, insgesamt genau 100)						30	0	0	0	30	10	0	30		

Abbildung 23: Anwendungsbeispiel Auswahl Sorterbauart

Da jedoch unmöglich alle erdenklichen Einflusskriterien in so einem Bewertungsverfahren Anwendung finden können, empfiehlt es sich, die bewerteten Verteilförderer noch nach verschiedenen weiteren Gesichtspunkten zu untersuchen, ehe ein endgültige Entscheidung gefällt wird.

Zu berücksichtigen ist u.a. noch die zur Verfügung stehende Fläche, da Bauraumrestriktionen einschränkend auf eine aus betrieblicher Sicht optimale Anlagengestaltung wirken können. Daran anknüpfend muss die Umsetzbarkeit der gewünschten Art der Anlagentopologie geprüft werden. Die Kriterien hierfür sind in Abbildung 24 ersichtlich. Jede Art der Streckenführung bietet unterschiedliche Vor- und Nachteile z.B. hinsichtlich der erzielbaren Sortierleistung, der möglichen Betriebsart, der Anzahl der realisierbaren Endstellen oder der Rezirkulationsfähigkeit der Güter am Verteilförderer.

Kriterium	Linie	Ring	Kreis
Streckenführung			
Flächenbedarf	Mittel	Hoch	Gering
Leistung/Durchsatz	Mittel bis hoch	Hoch	Gering
Batchbetrieb	Schwierig	Geeignet	Geeignet
Sortierziele	Mittel	Hoch	Gering
Auftragsgröße	Groß	Mittel	Mittel
Streckenverlauf	Einfach	Komplex (raumgängig)	Einfach
Rezirkulationsfähig	Nein	Ja	Ja

Abbildung 24: Auswahlkriterien von Anlagentopologien (aus [Jod14] , S.12)

Da die Kosten eine maßgebliche Rolle für den wirtschaftlich erfolgreichen Betrieb einer Sortieranlage spielen, sollte eine Kostenbetrachtung bereits im Vorfeld während der Projektierungsphase als Entscheidungsgrundlage für die entsprechende Sortertechnologie durchgeführt werden. Neben den reinen Investitionskosten müssen auch die laufenden Betriebskosten berücksichtigt werden.

Entweder können Daten direkt bei Herstellern bzw. Lieferanten recherchiert werden, oder man versucht alternativ, wenn keine absoluten Zahlen vorliegen, eine Reihung der möglichen Auswahlalternativen vorzunehmen, um zumindest eine qualitative Aussage darüber zu erhalten, welche Technologien teurer und welche kostengünstiger realisiert und betrieben werden können. Eine mögliche Methode hierfür ist der Paarweise Vergleich. Dieses Schema ermöglicht einen direkten Vergleich von jeweils zwei Lösungsvarianten bezüglich eines Kriteriums, in diesem Fall bezogen auf die Höhe der jeweiligen Kosten. Diese Methode ist insbesondere dann klar durchführbar, wenn Eigenschaften mehr qualitativ als quantitativ bekannt sind.⁴⁹

Die Kostenabschätzung am gezeigten Beispiel in Abbildung 25 orientiert sich hauptsächlich an einer Schätzung der Anzahl und Komplexität der verbauten Komponenten des jeweiligen Verteilförderers. Die daraus erhaltene Reihung kann in die Auswahlentscheidung mit einbezogen werden.

Paarweiser Vergleich - Kostenvergleich Verteilförderer:	Quergurtsorter (elektrisch)	Kippschalensorter	Schiebeschuhsorter	Schwenkrollensorter	Bandabweiser
-1 ... ist kostengünstiger als					
0 ... ungefähr gleich					
1 ... ist teurer als					
↑ ... Leserichtung					
Quergurtsorter (elektrisch)	0	0	1	1	1
Kippschalensorter	0	0	1	1	1
Schiebeschuhsorter	-1	-1	0	1	1
Schwenkrollensorter	-1	-1	-1	0	-1
Bandabweiser	-1	-1	-1	1	0
Gesamt	-3	-3	0	4	2
Rang	4.	4.	3.	1.	2.

Abbildung 25: Kostenbewertung mittels paarweisem Vergleich

Im Anschluss an die Kostenbetrachtungen müssen noch verschiedene betriebstechnische Aspekte in die jeweiligen Konzepte mit einbezogen werden. Darunter versteht man beispielsweise umweltspezifische Themen wie Energieverbrauch oder Geräuschemissionen. Außerdem muss projektbezogen für den jeweiligen Betrieb der Anlage eine Personalbedarfsplanung ausgearbeitet werden sowie die Si-

⁴⁹ vgl. [Pon08] S.114f

cherheit und Ergonomie der Arbeitsplätze sichergestellt sein. Weitere Faktoren sind z.B. Wartung und Instandhaltung sowie Maßnahmen zur Optimierung der Ausfallssicherheit zur Gewährleistung bestmöglicher Anlagenverfügbarkeit.

Erst wenn alle genannten Kriterien einer ausführlichen Betrachtung unterzogen wurden und Gesamtkonzepte für die bestgereichten Varianten aus der Nutzwertanalyse vorliegen, kann eine sinnvolle Entscheidung bezüglich der geeignetsten Sortertechnologie erfolgen. Mit diesem Kernprozess der Auswahl des idealen Verteilförderers kann nun auf den Sorter-Auslegungsprozess referenziert werden, da dort abhängig von Verteilförderer die Einschleusung und die Endstellen projiziert werden. Dieser Prozess wiederum bezieht sich auf den Auslegungsprozess des Sortiersystems eine Abstraktionsstufe höher (vgl. Auslegungsstruktur Abbildung 17).

4.6 Fazit zur allgemeinen Betrachtung der Auslegung von Sortiersystemen

Die Auslegung von Sortiersystemen ist ein diffiziler Prozess, der keinen einheitlichen Regeln und Standards unterliegt. Neben den genannten VDI-Richtlinien finden sich in der Literatur nur wenige Hilfestellungen bezüglich allgemeiner Vorgehensweisen. Der in Kapitel 4 selbst erarbeitete Prozess soll als Vorschlag dienen, wie die Herangehensweise bei der Projektierung systematisch durchgeführt werden kann. Weiters wird ein Schema für die Auswahl einer geeigneten Sortertechnologie vorgeschlagen, welches auch die Eignung besitzt, als KBx-Applikation umgesetzt werden zu können, um diesen Auswahlprozess teilautomatisieren zu können.

Letztendlich muss der Gesamtprozess allerdings als Vorschlag angesehen werden, der je nach Anforderungen und Rahmenbedingungen verschiedener Projekte durchaus in Teilen abweichen kann.

Im weiteren Teil der Arbeit gilt das Hauptaugenmerk weniger der allgemeinen und abstrakten Betrachtung der Auslegung von Sortiersystemen, sondern verstärkt der Erarbeitung von konkreten Lösungen hinsichtlich der Auslegung von Sortieranlagen und deren Bauteile mit Hilfe von Knowledge-based Technologien.

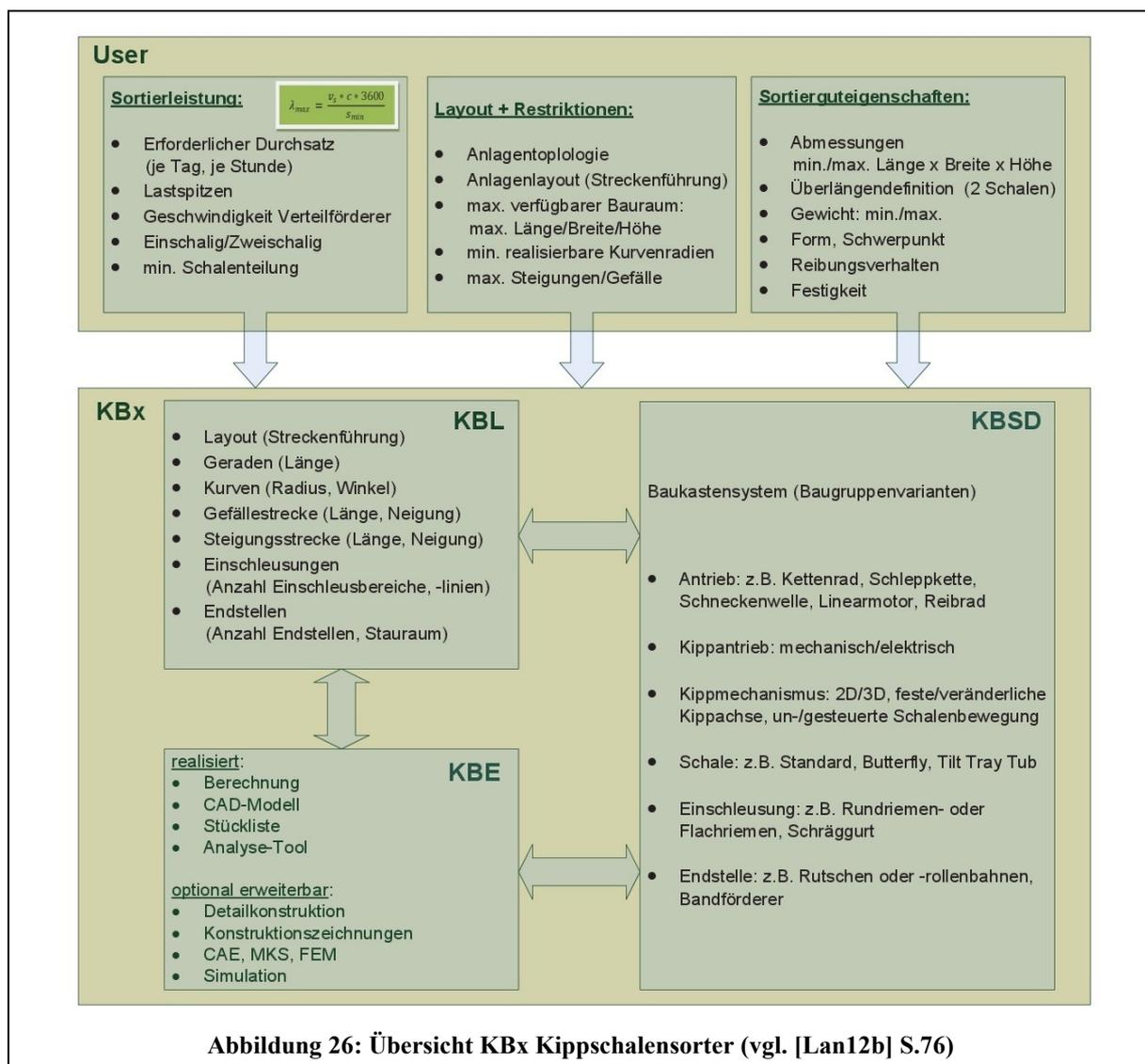
5 KBx-Konfigurator für Kippschalensorter – Das KSK-Tool

5.1 Zur Idee des Kippschalensorter-Konfigurator-Tools

Eines der grundlegenden Ziele dieser Masterarbeit liegt in der Entwicklung eines anwendungsorientierten, teilautomatischen und wissensbasierten Werkzeuges zur Auslegung von Sortieranlagen, im speziellen am Beispiel von Kippschalensortern. Mit Hilfe dieses Tools werden auf Basis von Festlegungen und Auswahlmöglichkeiten des Anwenders durch einen klar definierten Planungsablauf mittels implementierter Berechnung und Auslegungsalgorithmus die erforderlichen Ergebnisse erstellt, somit kann vom User die gewünschte Sortieranlage konfiguriert werden (siehe Kapitel 7). Daher leitet sich auch die gewählte Bezeichnung ab: Kippschalensorter-Konfigurator (KSK)-Tool.

Dieses erstellte KBx-Tool liefert neben umfassenden Berechnungsergebnissen des konfigurierten Kippschalensorters auch baugruppenspezifische Daten durch ein integriertes Analyse-Tool sowie ein vollständiges CAD-Modell samt Stückliste.

Abbildung 26 zeigt eine Ausarbeitung der Zusammenhänge zwischen dem Input und Anforderungen des Users und den daraus resultierenden Lösungen und Varianten eines KBx-Systems hinsichtlich der technischen Ausprägung von Kippschalensortern.

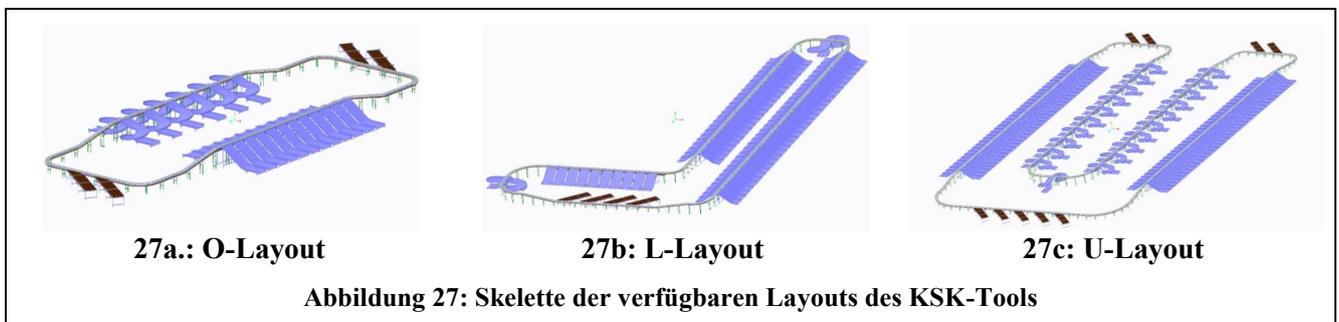


5.2 Layouting mit Hilfe von CAD-Software

Parametrische CAD-Systeme bieten die Möglichkeit, Konstruktionen aufgrund erstellter Parameter und Beziehungen manipulieren zu können. Daher sind sie prädestiniert zur Anwendung von Knowledge-based Engineering unter der Prämisse, dass die Aufbereitung der Daten und Parameter mit Hilfe von wissensgestützten Systemen erfolgt. Der Nachteil besteht darin, dass die Variabilität begrenzt wird durch die Tatsache, dass nur bestehende, statische Konstruktionen verändert werden können, die dynamische Erstellung von Gesamtkonstruktionen in einem sinnvollen Ausmaß ist unter den gegebenen Voraussetzungen aufgrund der Komplexität nicht möglich.

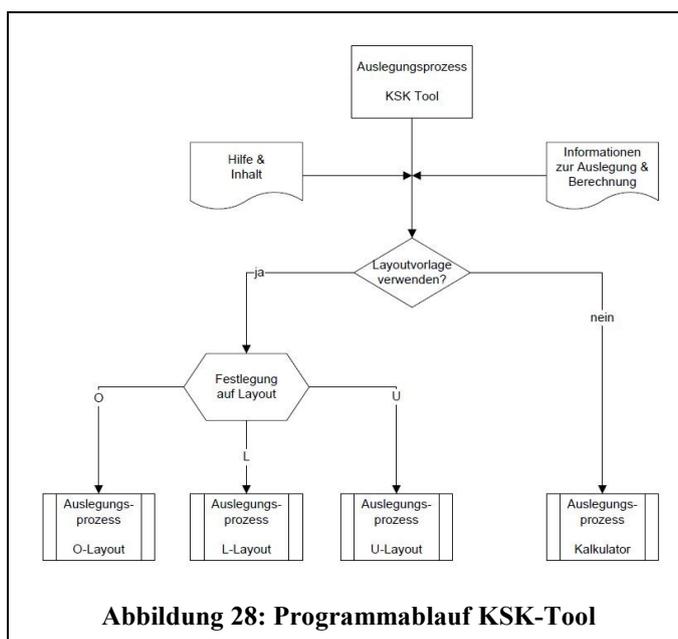
Daher wurde die Entscheidung getroffen, verschiedene Standard-Layouts zu erstellen, wie sie zumindest in angenäherter Form typischerweise praktisch umgesetzt werden. Ergänzend wird ein Kalkulator eingesetzt, welcher dazu dient, beliebige Streckenführungen berechnen und modellieren zu können sowie die entsprechenden Baugruppen zu generieren. Das zugehörige CAD-Modell kann somit vollständig erstellt werden mit der Einschränkung, dass die Baugruppen nicht in der richtigen Anordnung, sondern durch Muster räumlich neben- bzw. übereinander platziert werden.

Basierend auf einer umfangreichen Herstellerrecherche bezüglich Anlagenlayouts und Besprechungen am Institut für Technische Logistik wurde entschieden, drei verschiedene Layout-Varianten zu realisieren, wie sie in Abbildung 27 dargestellt sind: Streckenführungen jeweils in O-, L- und U-Form:



5.3 Programmablauf KSK-Tool

Als Benutzeroberfläche für den Kippschalensorter-Konfigurator dient MS Excel. Nach Öffnen des Tools können auf der Startseite bzw. den folgenden Tabellenblätter die gewünschten Files per Buttons geöffnet werden. Gemäß Abbildung 28 stehen dem Anwender folgende Möglichkeiten zu Verfügung:



- **Hilfe und Inhalt:** Beinhaltet eine Kurzanleitung zur Anwendung des KSK-Tools
- **Informationen und Details zur Berechnung und Auslegung:** Ausführliche Beschreibung
- **Starten des Konfigurators:** Führt zur Layoutauswahl/zum Kalkulator

Und in weiterer Folge wahlweise:

- **Konfiguration von Layoutvorlagen:** Auswahl des gewünschten Layouts **O**, **L** oder **U** bzw.
- **Konfiguration mittels Kalkulator**

5.4 Eingesetzte Software-Tools

5.4.1 Microsoft Excel

Das Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel bildet die Grundlage des KSK-Tools. Neben der Aufgabe als Benutzeroberfläche für den Anwender dient das Programm vor allem mit all seinen vielfältigen Funktionen, Formeln und Befehlen auch für die Berechnung und Auslegung der Komponenten bzw. der Gesamtanlage sowie der Auswahl und Konfiguration der Bauteile und -gruppen des Baukastens. Große Bedeutung kommt auch der Erstellung des Programms zur Übergabe der Parameter ins CAD-System zu, sowie der Möglichkeit, die Ergebnisse für den User übersichtlich darzustellen und auszuwerten.

5.4.2 PTC Creo Parametric 1.0

Sämtliche konstruktive Arbeiten wurden mittels Creo Parametric, einer featurebasierten parametrischen 3D-CAD Software der Parametric Technology Corporation, durchgeführt. Neben der eigentlichen Konstruktion der Baugruppen liegt die Hauptanforderung an das CAD-System im Sinne des Knowledge-based Engineerings darin, die erstellten Modelle mit Hilfe von gesetzten Parametern und Beziehungen zum Zwecke der Erstellung der gewünschten Konfiguration manipulieren und steuern zu können. Weiters dient die Software der Generierung von Daten zur Bereitstellung für den User.

5.4.3 X2Creo

Bei X2Creo handelt es sich um eine Eigenentwicklung des Instituts für Technische Logistik an der TU Graz durch Alexander Ortner-Pichler auf Basis von VB API⁵⁰. X2Creo bildet die Schnittstelle zwischen Excel und Creo und dient dazu, mit Hilfe eines in Excel erstellen Programmablaufs den Prozess der Modellgenerierung in Creo zu steuern. Durch Starten des Programms werden nach dem Öffnen von Creo die entsprechenden Files aufgerufen, die notwendigen Parameter nach und von Creo ein- bzw. ausgelesen, die Baugruppen regeneriert, Abbildungen erstellt und eine Stückliste generiert.

Der grundsätzliche Programmablauf wird in folgendem Beispiel dargelegt⁵¹:

Programm	Kommentar
connectSession	# Creo wird geöffnet, Verbindung initialisiert
setWorkingDirectory "C:\tmp\x2creo\"	#Arbeitsverzeichnis setzen
retrieveModel TestPart ".\creo_file\testpart.prt"	#Modell in Arbeitsspeicher laden
setIntParam TestPart width 1000	#setzte Parameter width des Modells testpart.prt auf 1000
setIntParam TestPart length 100	#setzte Parameter length des Modells testpart.prt auf 100
setIntParam TestPart height 300	#setzte Parameter height des Modells testpart.prt auf 300
regenModel TestPart	#regeneriere Modell
displayModel TestPart	#zeige Modell an
setView TestPart 3D	#aktiviere die Ansicht „3D“
saveImage TestPart ".\saveImage\ImageOf3DView.jpg"	#speichere Ansicht als Bild
setView TestPart Links	#aktiviere die Ansicht „Links“
saveImage TestPart ".\saveImage\ImageOfLeftView.jpg"	#speichere Ansicht als Bild
saveModel TestPart	#speichere Modell
disconnectSession	#Schließe Verbindung
closeWindow	#Schließe Fenster

Tabelle 6: X2Creo Programmbeispiel

Der vollständige Programmablauf exemplarisch für das O-Layout befindet sich im Anhang.

⁵⁰ Visual Basic Application Programming Interface

⁵¹ vgl. [Ort15] S.8

5.5 Baugruppenanalyse

Im Rahmen des Literaturstudiums und der Herstellerrecherche⁵² wurde auch eine Baugruppenanalyse durchgeführt, um den Stand der Technik von Sortiersystemen erheben und gängige Varianten und Bauformen von Kippschalensortern analysieren zu können sowie um eine entsprechende Auswahl für das KSK-Tool zu treffen. Die folgende Auflistung zeigt einen Überblick über die Hauptbaugruppen und deren verfügbaren technischen Ausprägungen. Die ausgewählten Baugruppen und deren konstruktive Umsetzung werden anschließend in Kapitel 6 genauer erläutert.

- **Antrieb Verteilförderer:**
 - Kettenradantrieb
 - Schleppkettenantrieb
 - Schneckenwellenantrieb
 - Lineardirektantrieb
 - Reibradantrieb
- **Kippantrieb Ausschleusmechanismus:**
 - Mechanisch - Weiche
 - Elektrisch – E-Motor
- **Kippmechanismus Schale:**
 - 2D: feste Kippachse mit gesteuerter/ungesteuerter
 - 2D: verschiebbare Kippachse mit gesteuerter/ungesteuerter Schalenbewegung
 - 3D: feste/veränderliche Kippachse
- **Schale:**
 - Standard-Schale (eben oder gekrümmt)
 - Butterfly-Schale (Vertiefung mittig)
 - Tilt Tray Tub (mit Berandung)
- **Einschleusungen:**
 - Bandförderer: Gurt- und Riemenförderer (Rundriemen und Flachriemen)
 - Bandförderer: Schräggurt
- **Endstelle:**
 - angetrieben:
 - Bandförderer
 - Rollenförderer
 - schwerkraftgetrieben:
 - Rolle/Röllchen
 - Rutsche (gerade, Wendelrutsche)
- **Schienen:**
 - Profilschiene U-Profil
 - Profilschiene Rundprofil
- **Gestell:**
 - Normprofile

⁵² Insbesondere [Abe07] , [Jod12] S.107ff und [Arn02] S.143

5.6 Parametermodell Kippschalensorter

Im Vorfeld der Erstellung eines Berechnungsschemas zur Anlagen- und Baugruppenauslegung war es zweckmäßig, relevante Parameter aufzulisten und die rechnerischen und parametrischen Zusammenhänge der einzelnen Teilbereiche der Anlage zu analysieren und kompakt und übersichtlich darzustellen. Dies ermöglicht dem Anwender, Abhängigkeiten von Parametern und Baugruppen zu erkennen und „treibende“ Parameter, die im besonderen Ausmaß das Konfigurationsergebnis beeinflussen, zu identifizieren.

Aus diesem Grund wurde eine Design Structure Matrix (DSM) erstellt. Dabei handelt es sich um ein Verfahren zur Modellierung und Darstellung von Abhängigkeiten in komplexen Systemen.

Die in Abbildung 29 gezeigte DSM wurde mit der Freeware Cambridge Advanced Modeller⁵³ erstellt:

	Sortiergut	Skelett	Restr.	Einschleusung	Endstelle	Verteiltörderer	Antrieb	Schiene	Gestell
Sortiergut	Sortierleistung	■							
	Länge Sortiergut	■							
	Breite Sortiergut	■							
	Höhe Sortiergut	■							
	Reibung Oberfläche	■							
	Masse Sortiergut	■							
Skelett	Länge Anlage		■						
	Breite Anlage		■						
	Kurvenradien		■						
	Länge Streckenführung		■						
Restr.	Mindestradius		■						
	min./max. Neigung		■						
Einschleusung	Breite Einschleusung	■		■					
	Einschleuswinkel	■		■					
	Anzahl Einschleusunge	■		■					
Endstelle	Breite Endstelle	■			■				
	Neigungswinkel				■				
	Höhendifferenz				■				
Verteiltörderer	Anzahl Endstellen				■				
	Sortiergeschwindigkeit				■				
	Schalentlänge	■			■				
	Schalentbreite	■			■				
	Schalenteilung				■				
	Schalentanzahl				■				
	Spurweite Fahrwagen				■				
	Durchm. Laufrolle				■				
	Durchm. Führungsrolle				■				
	Masse Fahrwagen	■			■				
Antrieb	erf. Vorschubkraft		■				■		
	Anzahl Antriebe		■				■		
	Breite Antrieb		■				■		
Schiene	Höhe U-Profil						■		
	Breite U-Profil						■		
	Dicke U-Profil						■		
	Widerstandmoment						■		
	Biegemoment						■		
Gestell	Spurweite Schiene						■		
	Gestell Abstand							■	
	Gestell Anzahl							■	
	Breite Gestell								■

Abbildung 29: Design Structure Matrix Parameter

⁵³ vgl. [CAM]

6 Konstruktion Kippschalensorter

6.1 Implementierte Baugruppen und Baukastensystem

Auf die Konstruktionen der Baugruppen und deren Varianten soll nun in den folgenden Kapiteln näher eingegangen werden.

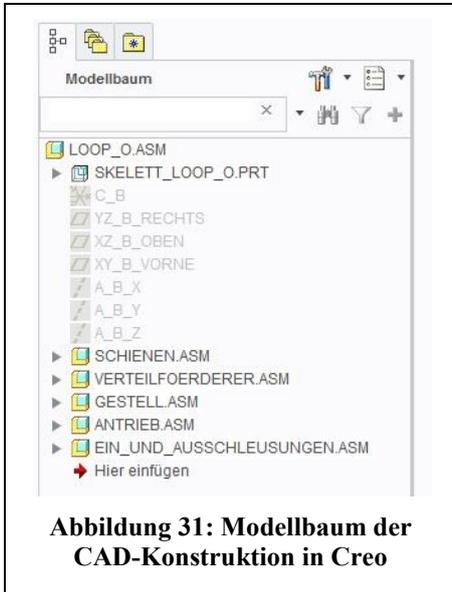


Abbildung 31: Modellbaum der CAD-Konstruktion in Creo

Ausgehend von der Baugruppenanalyse (siehe Kapitel 5.5) wurden für die Hauptbestandteile des Sorters (Einschleusung, Verteilförderer, Endstelle, Antrieb) je zwei Varianten exemplarisch realisiert, welche zur Konfiguration der gewünschten Anlage ausgewählt, ausgelegt und individuell nach Benutzeranforderungen kombiniert werden können. Der Baukasten kann optional um zusätzliche Varianten erweitert werden. Zur Vereinfachung handelt es sich hierbei nicht um Detailkonstruktionen, sondern um weitgehend schematische Darstellungen mit dem Ziel, die maßgeblichen Parameter zur Auslegung von Kippschalensortern ordnungsgemäß zu implementieren und korrekt graphisch darzustellen.

Die Konstruktionen aller Layouts und des Kalkulators bestehen je aus einem Skelett und fünf übergeordneten Baugruppen, welche wie in Abbildung 31 ersichtlich gebildet werden durch das Schienensystem, den Verteilförderer, die Gestelle, die Antriebe sowie die Ein- und Ausschleusungen.

6.2 Skelett

Das Skelett ist das Kernelement für die Konstruktion der Anlagenlayouts. Es bildet die Streckenführung des Layouts ab und ist in seinen Abmessungen bestimmt durch die Eingaben des Anwenders hinsichtlich der Art, Anzahl und Anordnung der Baugruppen sowie geometrischer Parameter wie Abstände, Neigungswinkel, Höhendifferenzen und Kurvenradien.

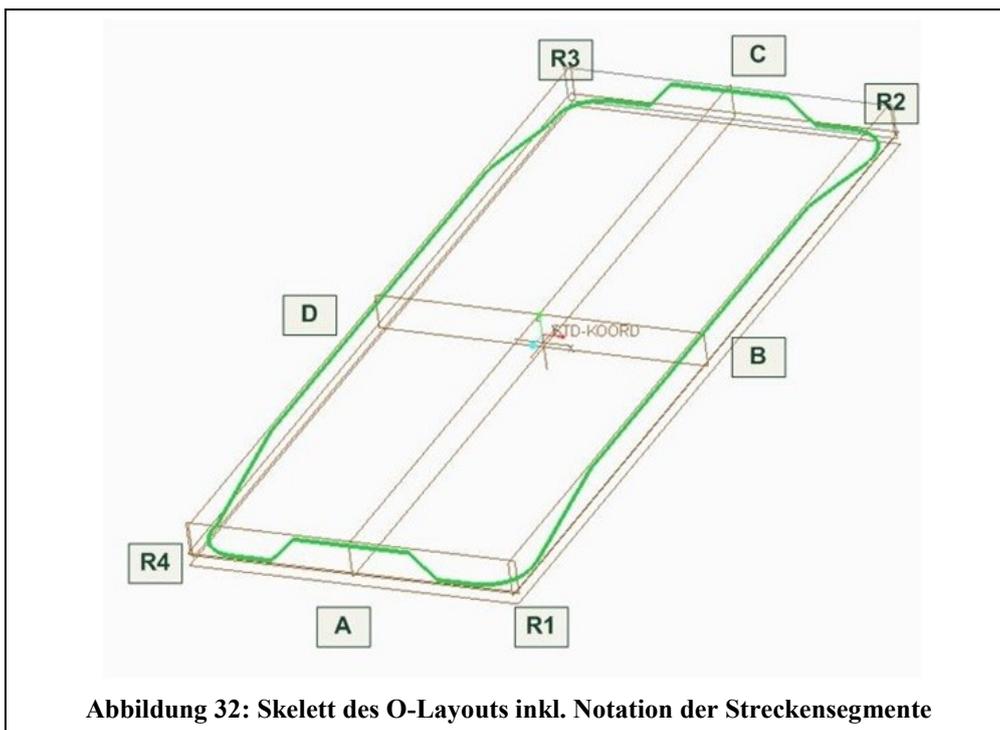


Abbildung 32: Skelett des O-Layouts inkl. Notation der Streckensegmente

Der Sinn und Zweck eines Skeletts aus konstruktiver Sicht besteht darin, alle enthaltenen Konstruktionselemente in der gewünschten Position in die Gesamtkonstruktion einzubinden. Der Verteilförderer wird auf dem Skelett positioniert und entlang der Linienführung gemustert, ebenso die Gestelle. Einschleusungen bzw. Endstellen sowie die Antriebseinheiten werden in den dafür vorgesehenen geradlinigen Bereichen durch Muster parallel zum Skelett in der vorgesehenen Anzahl platziert. Das Schienensystem nutzt ebenfalls den Linienzug des Skeletts als Leitkurve zur Generierung der Bauteile.

In Abbildung 32 ist das Skelettmodell des O-Layouts dargestellt. Es besteht aus vier geraden Abschnitten, verbunden durch vier Kurvenradien. Die Benennung der Abschnitte erfolgt im Gegenuhrzeigersinn gemäß Abbildung (O-Layout A-D, L-Layout: A-F, U-Layout: A-H).

Zur konstruktiven Realisierung des Modells wurden die Abschnitte daher in acht Skizzen in acht verschiedenen Ebenen erstellt, wobei die Enden der Skizzen über Verbindungspunkte aneinander gekoppelt wurden, um stets einen geschlossenen Linienzug zu erzielen. Durch Verschieben der Ebenen können die Gesamtmaße des Layouts und die Höhen der Kurvenradien bestimmt werden.

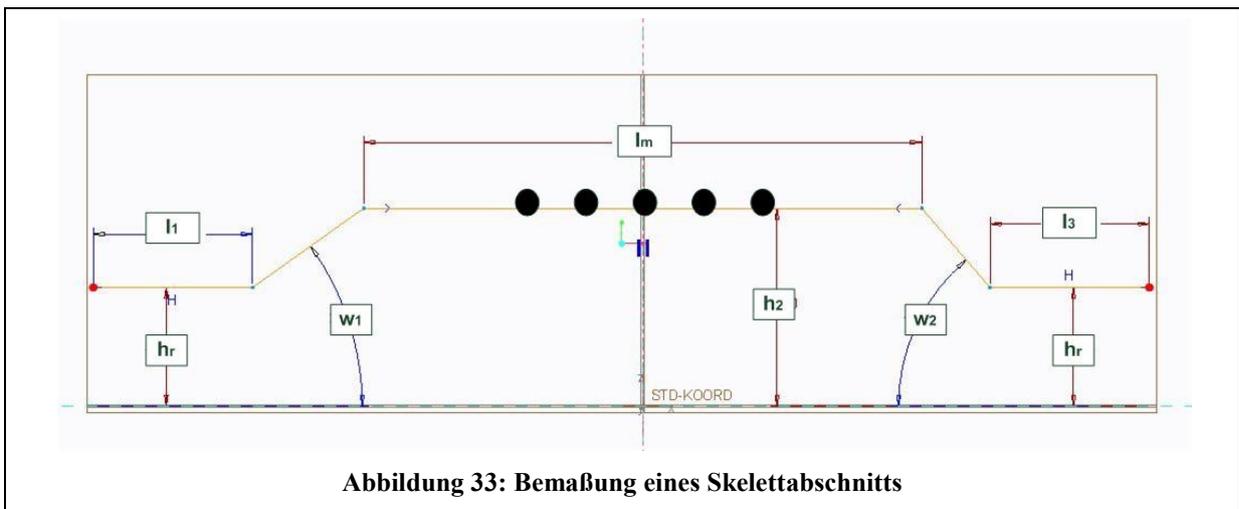


Abbildung 33: Bemaßung eines Skelettabschnitts

Die in Abbildung 33 gezeigte Skizze eines geraden Streckenabschnitts beschreibt die Variationsmöglichkeiten des Skeletts aufgrund der fünf enthaltenen Streckensegmente. Je Abschnitt kann jeweils mittig (l_m) eine Baugruppenart in gewünschter Anzahl per Muster platziert werden. Durch die vorgesehenen Gelenke können bis zu zwei Neigungsstücke (sowohl Steigung als auch Gefälle) im gewünschten Winkel realisiert werden, wo bei aus Gründen der Vereinfachung insgesamt zwei Höhenniveaus vorgesehen sind (je für Ein- und Ausschleusung). Bei einem Winkel gleich null kann auch der gesamte Abschnitt horizontal geführt werden. Weiters dienen die beiden äußeren Segmente (l_1 und l_3) zur Bestimmung des Abstands der Neigungsstücke zu den Radien. Die Endpunkte links und rechts werden an die angrenzenden Kurvenradien angebunden.

Abbildung 34 zeigt die Bemaßung der Baugruppen auf dem dafür vorgesehenen Streckensegment. Die Berechnung der Gesamtlänge jedes Abschnitts erfolgt durch Aufsummieren der Einzelsegmente.

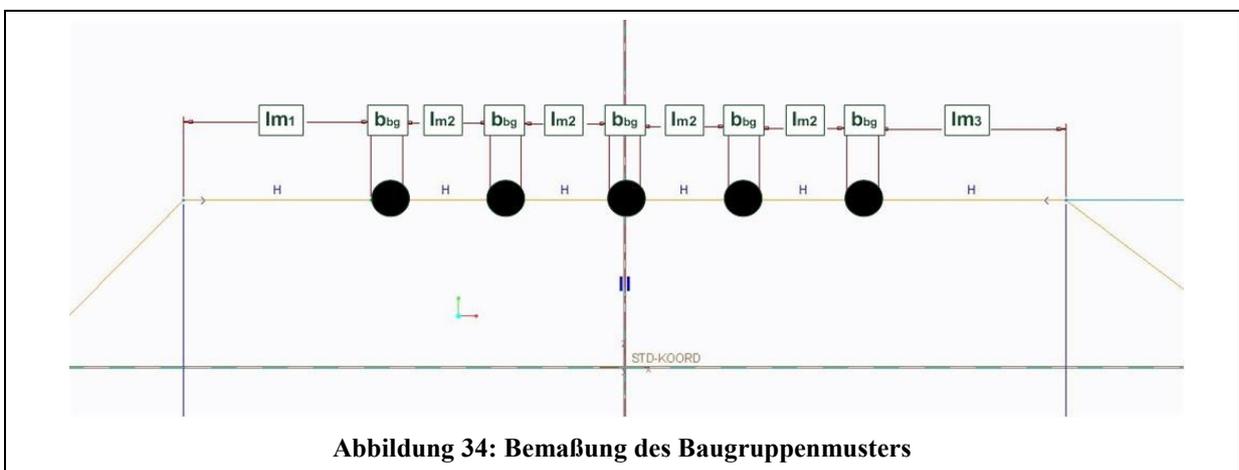


Abbildung 34: Bemaßung des Baugruppenmusters

6.3 Verteilförderer

Der Verteilförderer besteht aus verschiedenen Einzelteilen, welche zum Teil individuell zusammengesetzt werden können (siehe Abbildung 35). Die Schale (1) dient als Tragmittel zur Aufnahme des Sortierguts. Als Ausschleusmechanismus überträgt die Schalenträgerkulisse (2) die Rotationsbewegung des Kippmotors (3) auf die Schale, wodurch es zum Kippen der Schale und Ausschleusen des Sortierguts kommt. Der Fahrwagen (4) dient als Fördermittel, wobei innerhalb der Anlage die Fahrwagen über Kugelgelenke mittels Kugelgelenkspfanne (5) und Kugelgelenksbolzen (6) wie eine Kette zur Übertragung der Zugkräfte gekoppelt werden. Die Fahrwagen laufen in einer Führungsschiene, wobei sie vertikal von Laufrollen (7) und horizontal von Führungsrollen (8) gestützt werden. Die Übertragung der Antriebskräfte erfolgt über ein Schwert (9) an der Unterseite. Zur berührungslosen Übertragung der Energie für den Kippmotor dient eine Spule (10).

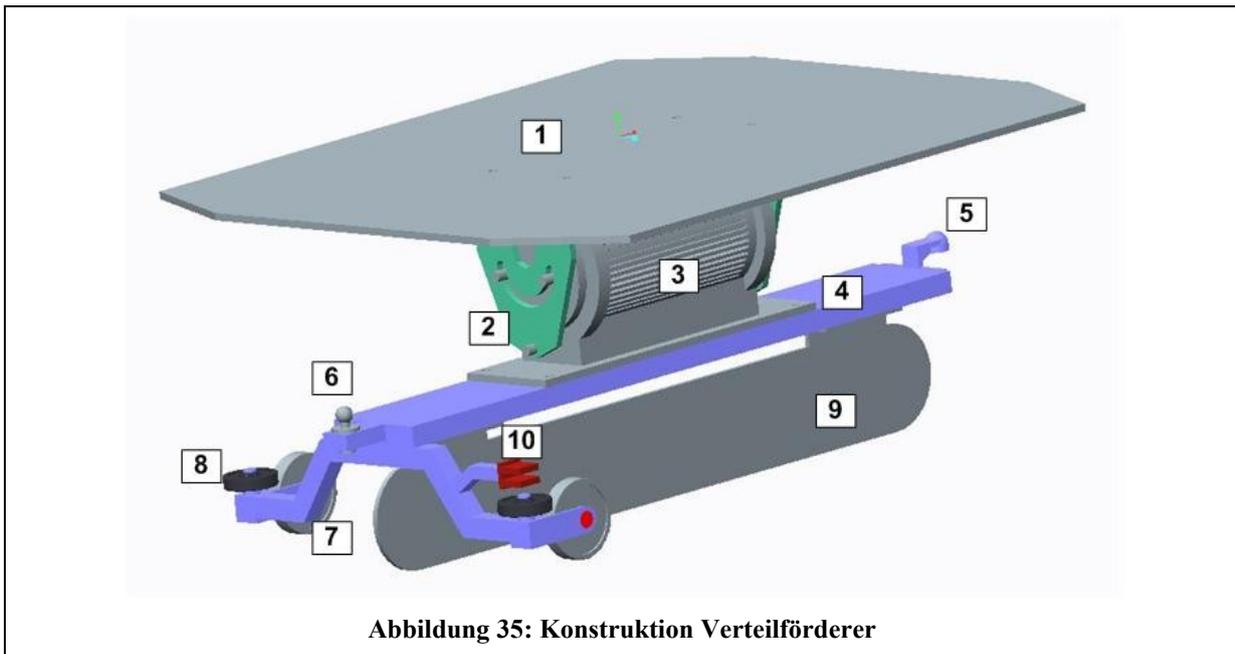


Abbildung 35: Konstruktion Verteilförderer

Bei den Schalen gibt es eine große Variantenvielfalt, wobei die Form weitgehend von den Eigenschaften des Sortierguts bestimmt wird. Kollisionsgefahr bei Kurvenfahrten muss besonders beachtet werden, sodass hier durch entsprechende Form und Abstände der Schalen entgegengewirkt wird. Die beiden ausführten Schalenbauformen (Abbildungen 36 und 37) wurden aus diesem Grund an den Stirnseiten mit Fasen bzw. einem Radius versehen.

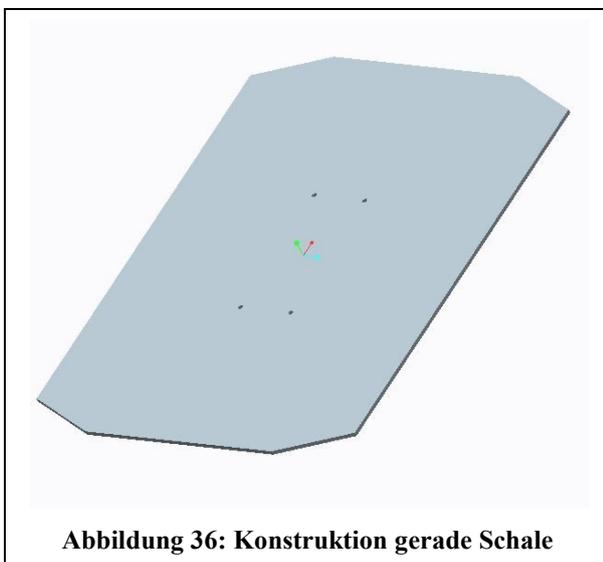


Abbildung 36: Konstruktion gerade Schale

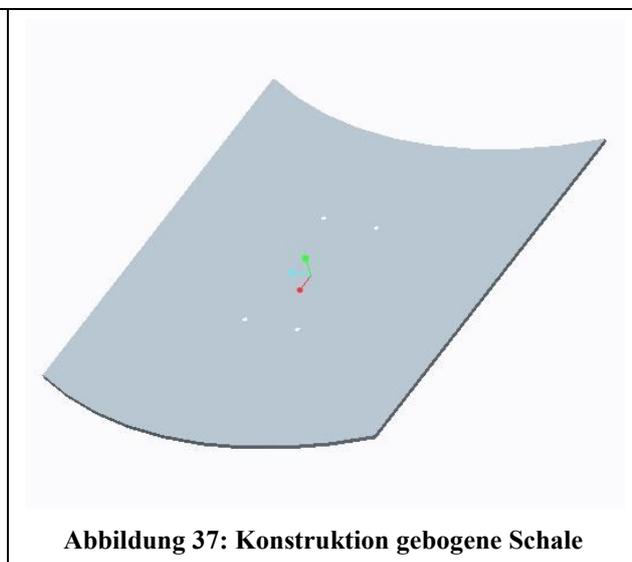
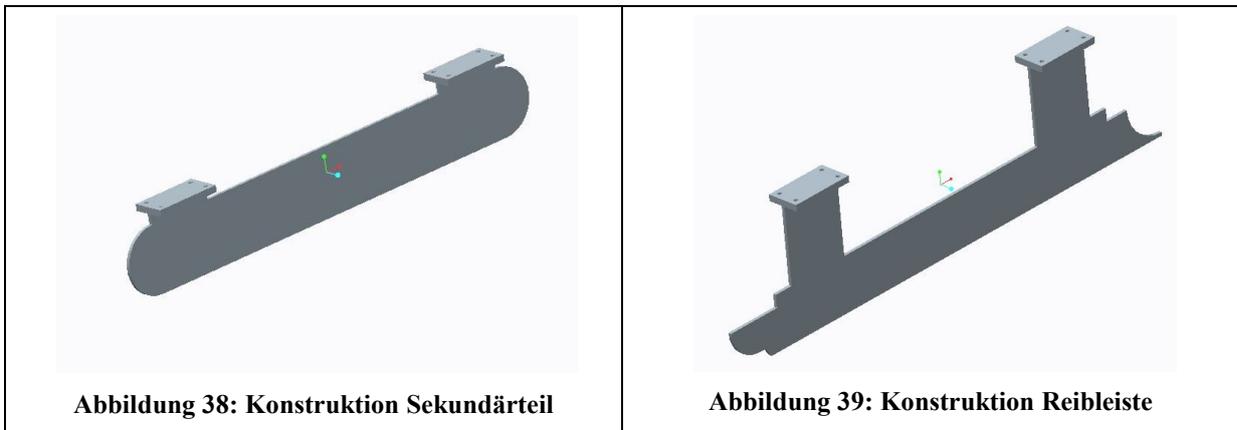


Abbildung 37: Konstruktion gebogene Schale

Eine weitere Variationsmöglichkeit am Verteilförderer ergibt sich durch die entsprechende Auswahl der Antriebseinheiten mit dem sogenannten Schwert. Mit Hilfe dieses Bauteils wird die Antriebskraft auf den Verteilförderer übertragen. Abbildung 38 zeigt die Ausführung des Sekundärteils für Antriebe mittels Linearmotor, Abbildung 39 die Reibleiste eines Reibradantriebs.



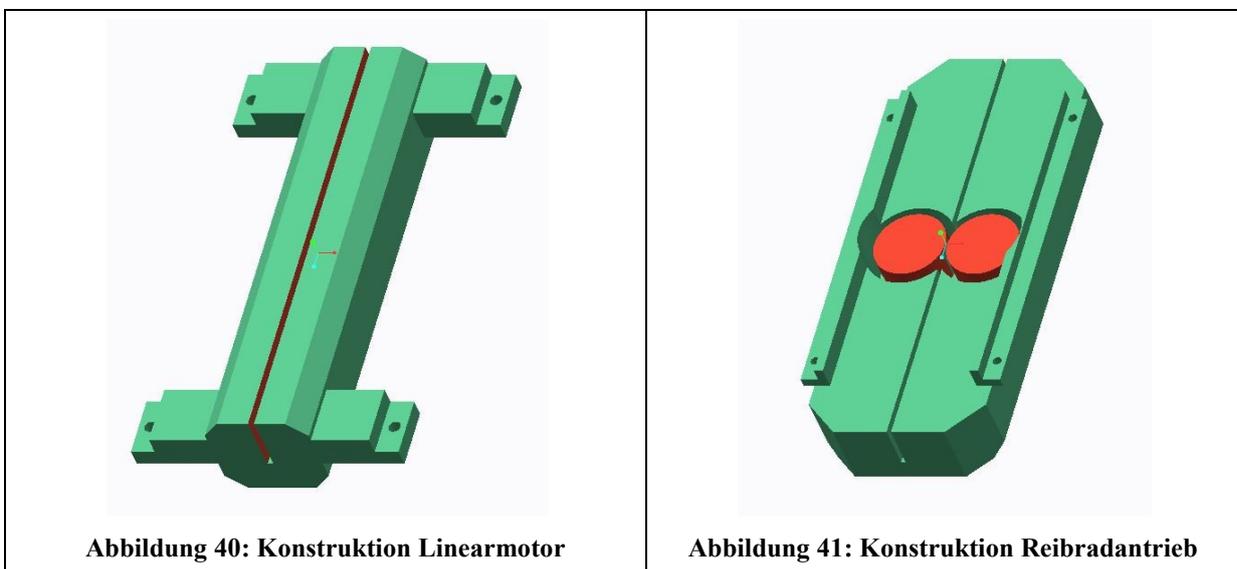
Die Dimensionen der Schale, des Fahrwagens und des Schwerts sind abhängig von der maximalen Größe des Sortierguts und werden daher im Auslegungsprozess durch den Benutzer ermittelt und festgelegt.

6.4 Antrieb

Von den verschiedenen am Markt befindlichen Systemen wurden somit der Antrieb mittels Linearmotor sowie der Reibradantrieb exemplarisch zur Auswahl im KSK-Tool während der Konfiguration realisiert.

Asynchrone Linearmotoren sind kraftschlüssige Antriebe und ähneln in ihrer Funktionsweise den Asynchron-Drehstrommotoren. Das Primärteil (Stator) in Doppelkammausführung besteht aus zwei gegenüberliegenden geblechten Eisenkernen mit Drehstromwicklung (siehe Abbildung 40) und ist in der Anlage zwischen den Schienen verbaut, sodass das auf den Fahrwagen montierte Sekundärteil (Rotor) durch die Antriebseinheit geführt wird. Das durch den Drehstrom entstehende Wanderfeld bewirkt im Sekundärteil eine Vorschubkraft, die zum Antrieb genützt wird.

Beim Reibradantrieb erfolgt die Übertragung der Vorschubkräfte über eine reibschlüssige Verbindung der Reibleiste des Fahrwagens, welche durch die Antriebseinheit geführt wird, mit den darin verbauten Reibrädern (Abbildung 41). Durch die Geometrie der Reibleiste (Radien an den Enden) lässt sich eine konstante ruckfreie Übertragung der Antriebskräfte gewährleisten, ohne Kollisionsgefahr der Schwerter beim Übergang in Neigungsstücke der Streckenführung zu riskieren.



Die Breiten der Antriebseinheiten sind über Parameter automatisch mit den Schienen und Fahrwagen abgestimmt. Die Anzahl der Antriebseinheiten wird durch eine Berechnung der erforderlichen Kräfte und Auswahl der gewünschten Technologie bestimmt und automatisch auf die geraden Anlagenabschnitte aufgeteilt.

Abbildungen 42 und 43 zeigen die eben beschriebenen Antriebe in verbauter Form ohne Schienen.

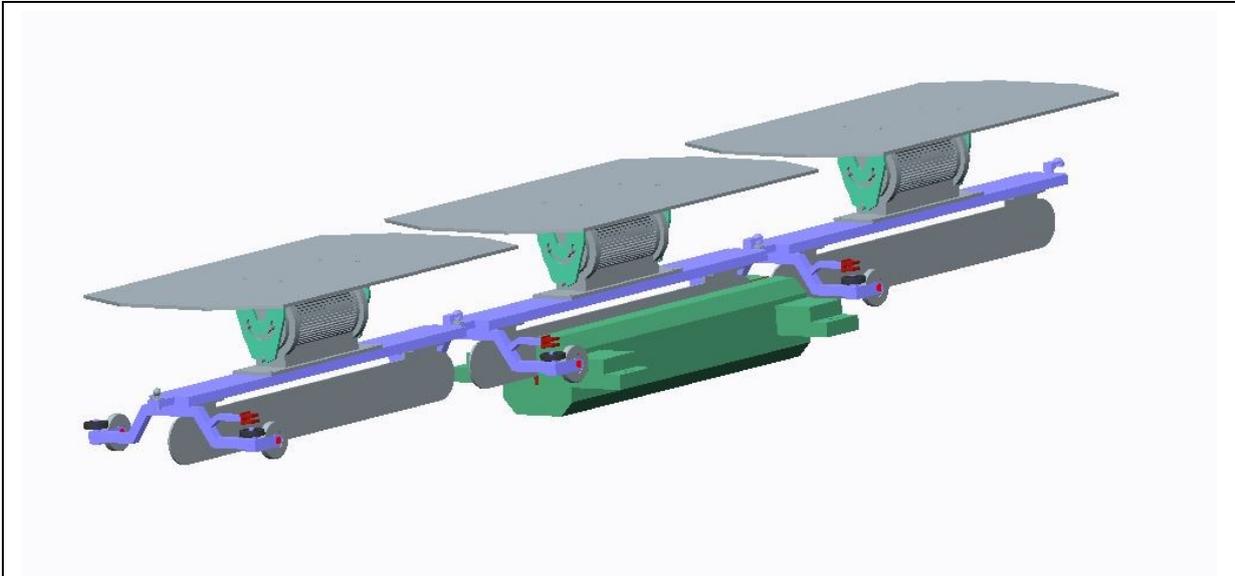


Abbildung 42: Verteilförderer mit Sekundärteil und Linearmotor

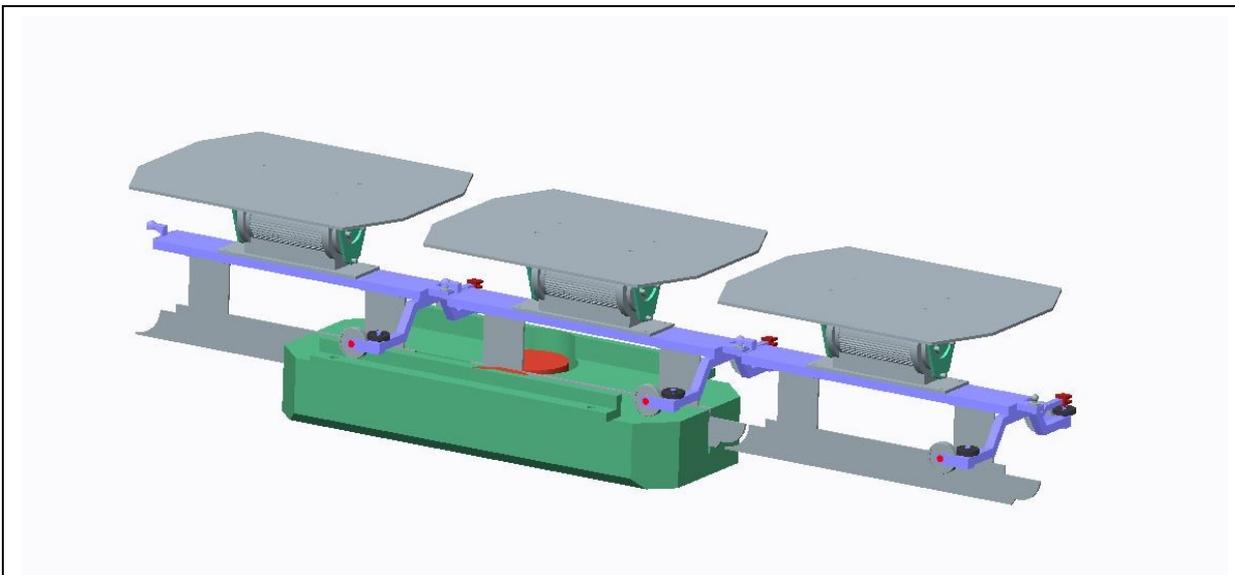


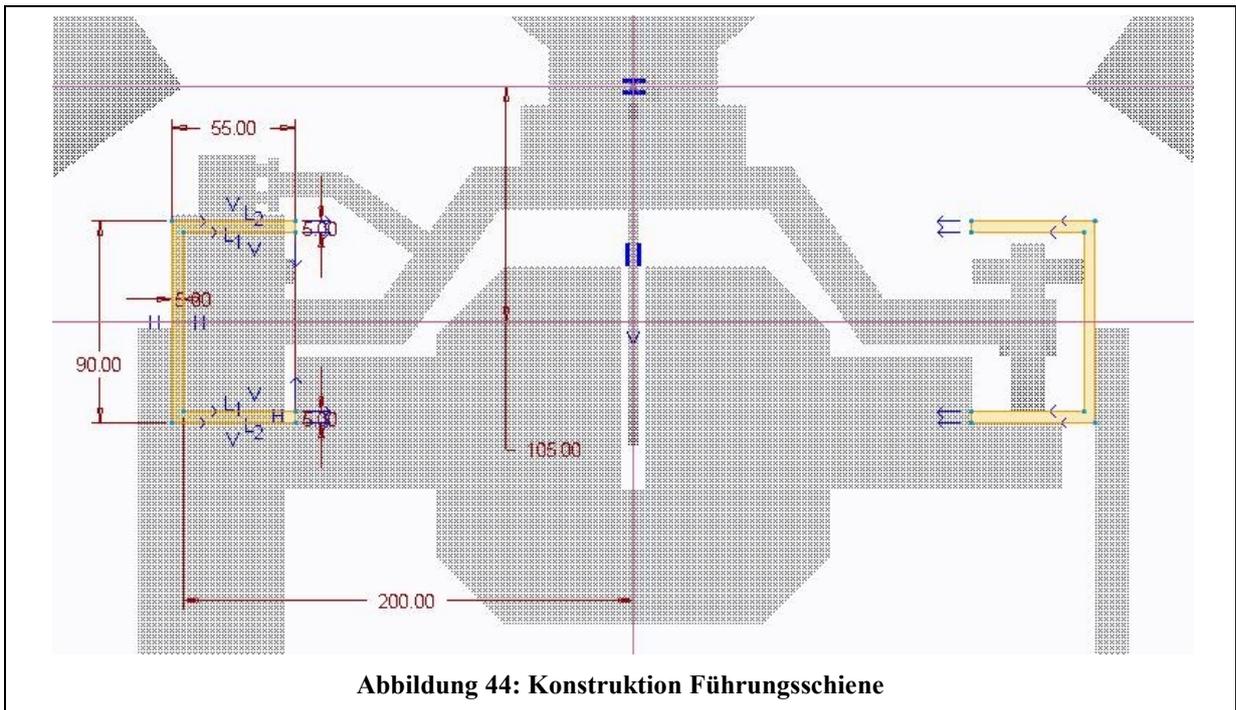
Abbildung 43: Verteilförderer mit Reibleiste und Reibradantrieb

6.5 Schienen

Die Konstruktion der Schienen wurde in Creo mittels durchgängigen Profils ausgeführt, wobei der Linienzug des Skeletts als Leitkurve, der parametrisierte Querschnitt der Schienen als Profilskizze des Zug-KE definiert ist.

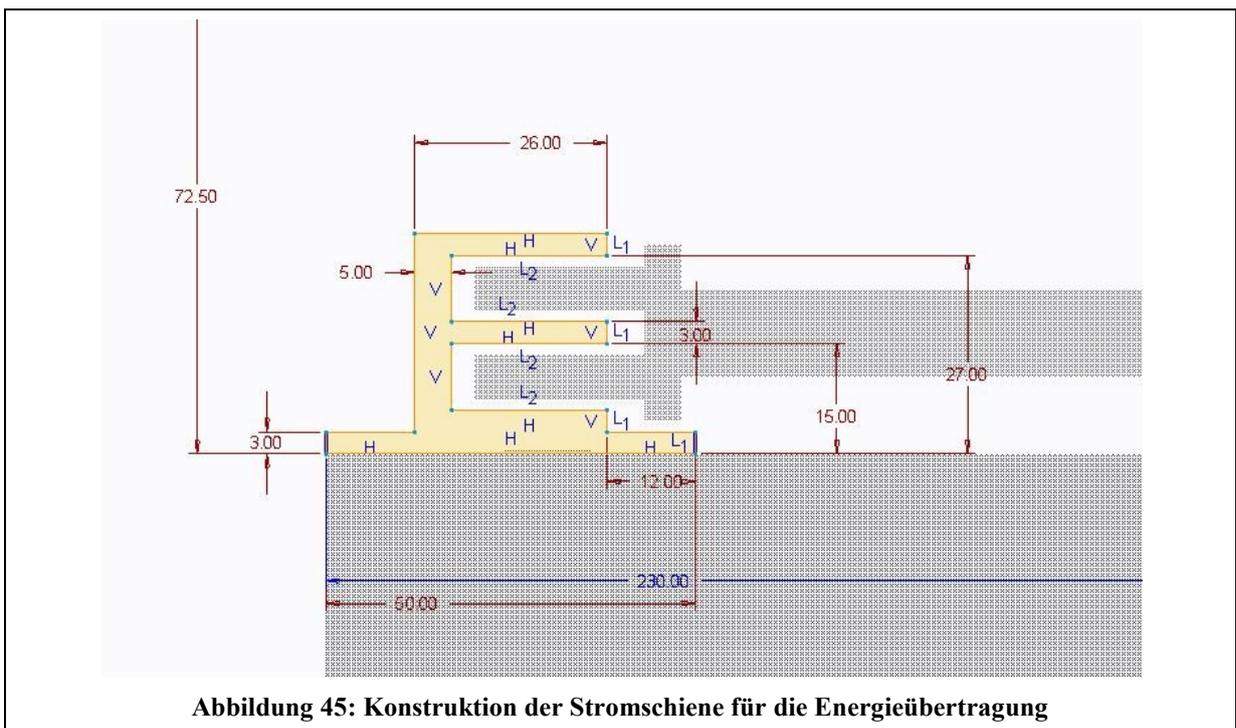
Die Führungsschiene (Abbildung 44) besteht aus zwei symmetrisch angeordneten U-Profilen, in welchen die Fahrwagen durch Kontakt der Führungs- und Laufrollen geführt werden. Die Spurweite der Schienen wird durch Parameter automatisch durch die Konstruktion des Fahrwagens bestimmt. Die

Dimensionen des U-Profiles (Höhe, Breite, Materialdicke) werden vom Anwender des KSK-Tools festgelegt, wobei sich durch die Abmessungen der Rollen des Verteilförderers Restriktionen ergeben.



Die Stromschiene (Abbildung 45) dient zur berührungslosen Energieübertragung auf den Fahrwagen speziell zur Energieversorgung des Kippmotors. Die Funktionsweise beruht auf dem Induktionsprinzip analog zum Transformator. Eine Leiterschleife in der Stromschiene stellt die Primärwicklung dar, die Spulen des Verteilförderers bestehen aus einem ferromagnetischen Kern und der Sekundärwicklung. Dadurch werden sowohl die Energieübertragung wie auch die Relativbewegung zwischen Primär- und Sekundärwicklung gewährleistet.

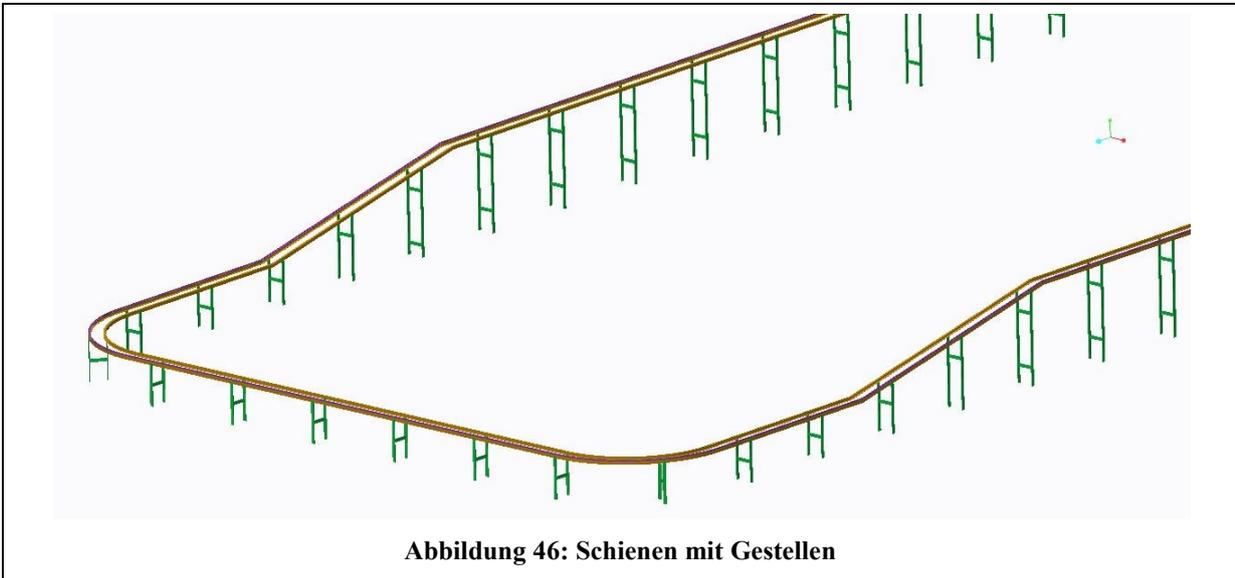
Die Positionierung der Stromschiene zur Führungsschiene und Spule des Fahrwagens erfolgt automatisch und parametergesteuert.



6.6 Gestelle

Die Konstruktion der Gestelle beschränkt sich wie bei den anderen Baugruppen auf eine einfache schematische Darstellung, wobei sich hier die Breite und Höhen parametergesteuert durch die Spurweite des Schienensystems bzw. die jeweiligen Höhen der Anlagenabschnitte ergeben.

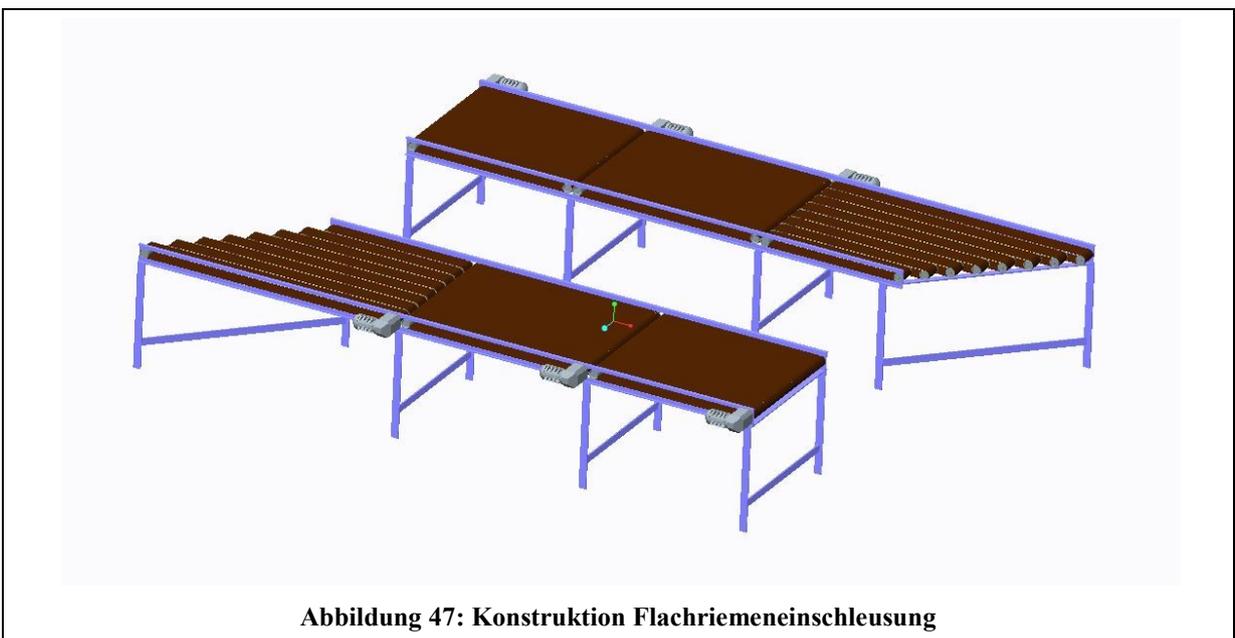
Die für das Baugruppenmuster erforderliche Anzahl bzw. die Abstände der Gestelleinheiten werden über eine Näherungsberechnung der Schienen auf Biegebeanspruchung ermittelt.



6.7 Einschleusungen

Bei den Einschleusungen werden prinzipiell zwei verschiedene Systeme verwendet, welche beide über Konfiguration des Baukastens herangezogen werden können.

Die Flachriemeneinschleusung (Abbildung 47) besteht aus einem Taktband, einem Beschleunigungsband und den Übergabebändern. Auf dem Taktband werden die Sortiergüter aufgelegt und für die nächstmögliche Lücke am Verteilförderer bereitgehalten, nach Übergabe werden die Güter auf dem Beschleunigungsband auf Übergabegeschwindigkeit beschleunigt und den Übergabebändern mit konstanter Geschwindigkeit auf den Verteilförderer bewegt.



Die Schräggurteinschleusung (Abbildung 48) besteht ebenfalls aus einem Takt- und einem Beschleunigungsband, jedoch erfolgt hier die Übergabe der Güter über einen Schräggurt. Dieser wird über zwei schräg angeordnete Rollen parallel zur Bewegungsrichtung des Verteilförderers und dazwischen über eine dazu um 45° geneigte Umlenkrolle geführt, damit der Gurt ohne Relativbewegung über die Rollen ablaufen kann.

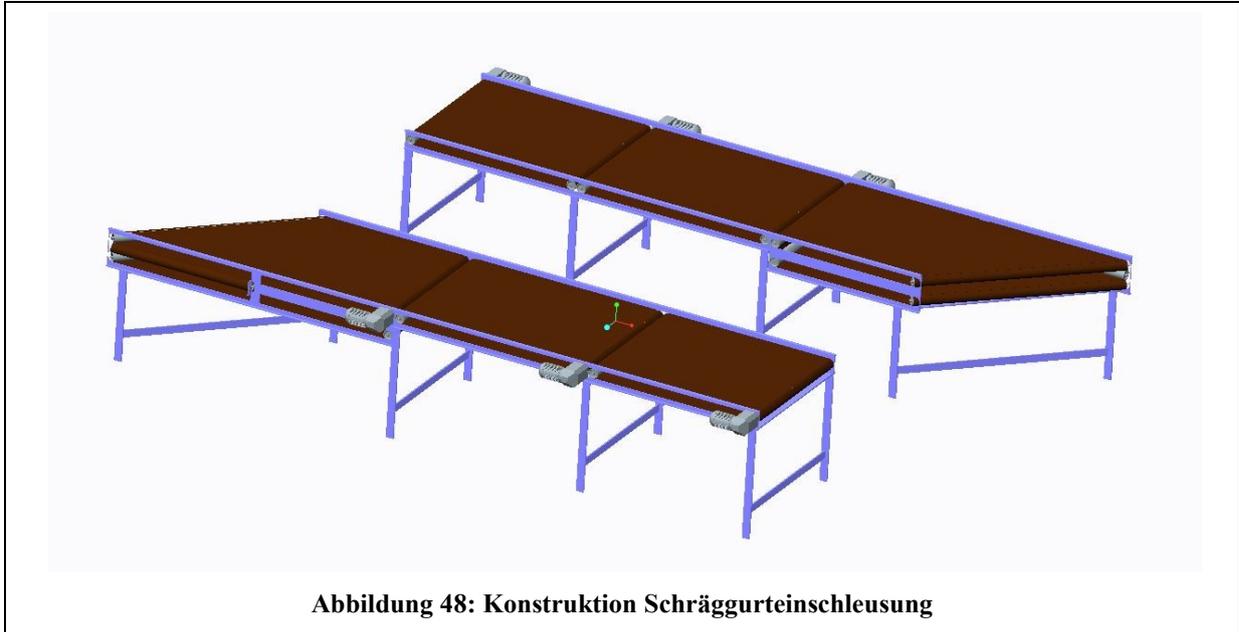


Abbildung 48: Konstruktion Schräggurteinschleusung

Die Bauteile der Einschleusungen werden über Beziehungen und Parameter gesteuert, sodass sämtliche maßgebliche Abmessungen wie die Breite der Einschleusung, die Längen der unterschiedlichen Bänder und der Einschleuswinkel wie vom Benutzer gewünscht automatisch realisiert werden können. Die Breite der Einschleusungen ist abhängig von der maximalen Länge des Sortierguts, worauf auch in der Berechnung näher eingegangen wird.

Da die Einschleusungen sowohl links als auch rechts des Verteilförderers angeordnet werden können (bzw. innen und außen bezogen auf die Gesamtanlage), wurden sowohl für die Flachriemeneinschleusung als auch für die Schrägriemeneinschleusung je zwei symmetrische Varianten erstellt.

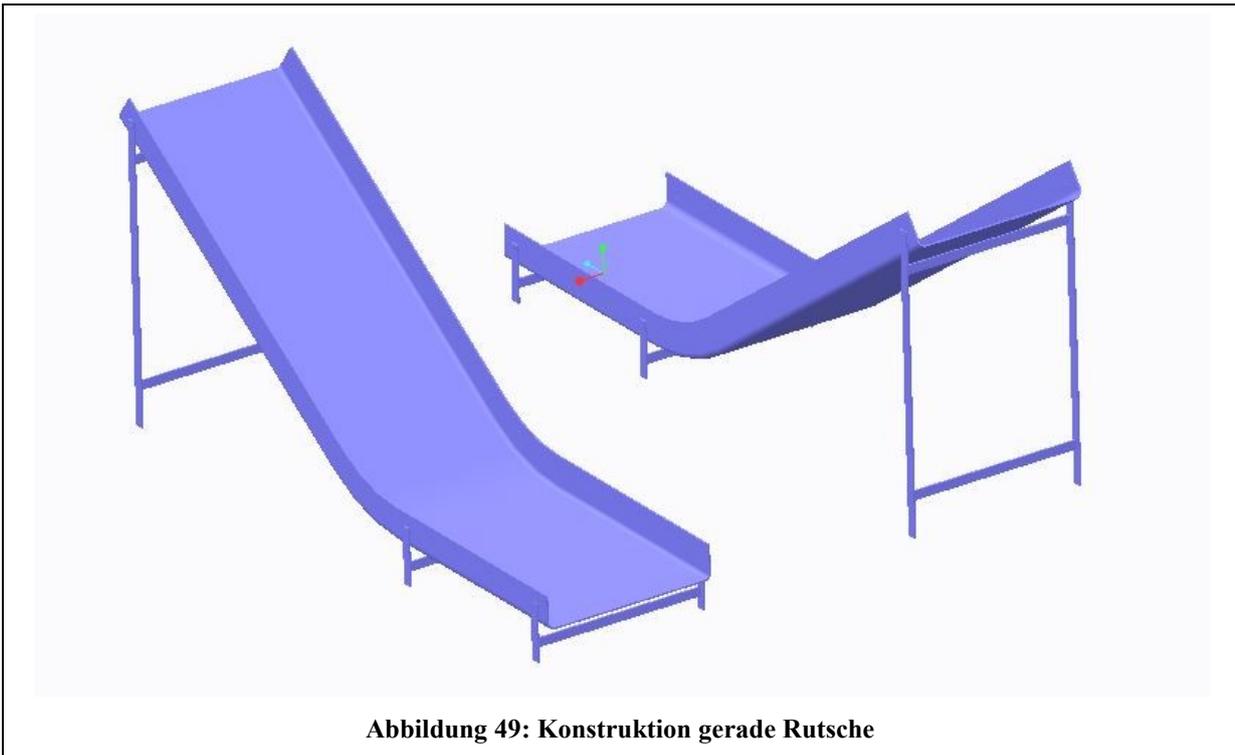
Die Gestelle der Einschleusungen sind parametrisiert und werden entsprechend der konfigurierten Höhen und Breiten angepasst.

6.8 Endstellen

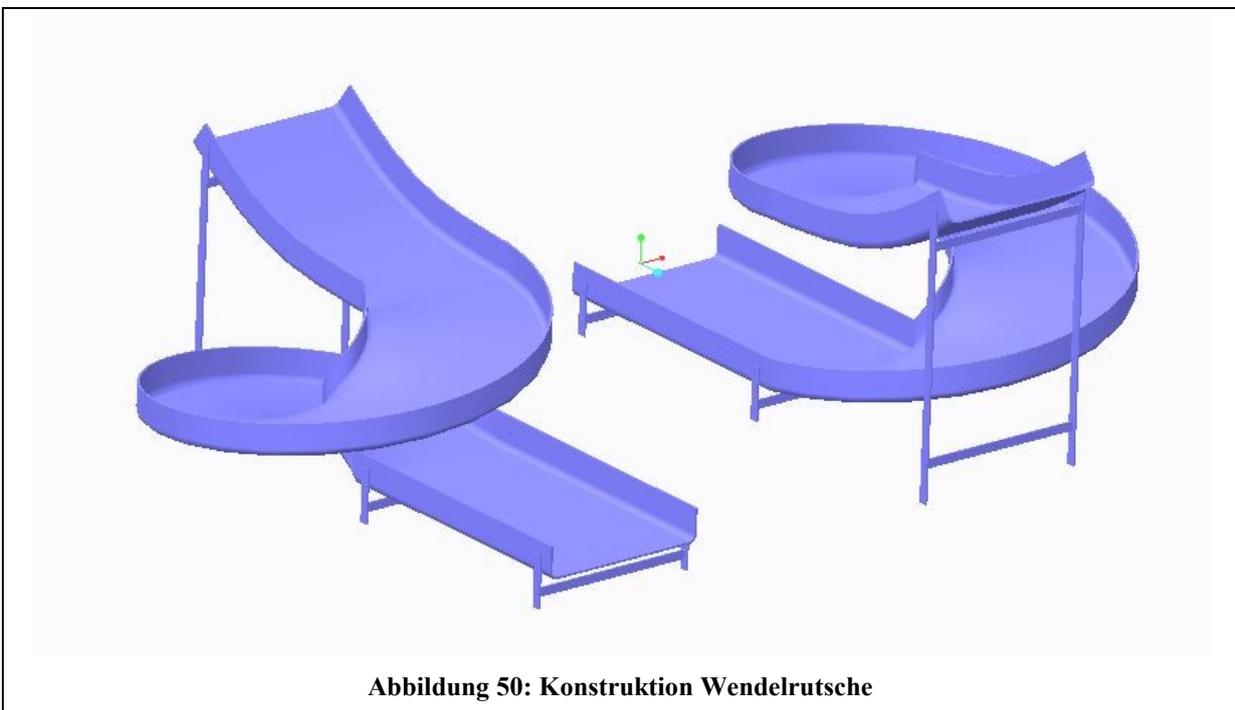
Form und Ausprägungen der Endstellen variieren stark je nach Anwendungsfall, Eigenschaften des Sortierguts und Anforderungen an die jeweilige Sortieraufgabe. Bei Kippschalensortern kommen hauptsächlich Rutschen zum Einsatz, welche in gerade Rutschen (Abbildung 49) und Wendelrutschen (Abbildung 50) eingeteilt werden. Diese beiden Endstellenarten wurden somit auch für die Anwendung des Baukastensystems erstellt.

Als wichtigster Parameter für die Funktion kann die Mindestneigung der Rutsche angesehen werden, da gewährleistet werden muss, dass das Sortiergut über die Rutsche abgleiten kann und erst im Sammelbereich zum Stillstand kommt. Daher wird die Mindestneigung als Restriktion der tatsächlich ausgewählten Rutschenneigung berechnet, wobei hier Parameter wie Höhendifferenz, Reibungsverhältnisse und Sortiergutgeschwindigkeit das Ergebnis maßgeblich beeinflussen.

Die Rutschenbreite gilt als wichtiges Maß und wird in Abhängigkeit von der maximalen Sortiergutlänge bestimmt, da einerseits genügend Platz für möglichst gutschonende Ausschleusvorgänge realisiert werden muss, andererseits aus Gründen der Wirtschaftlichkeit (Materialverbrauch, Bauraum) die Rutschen nicht unnötig überdimensioniert werden sollten.



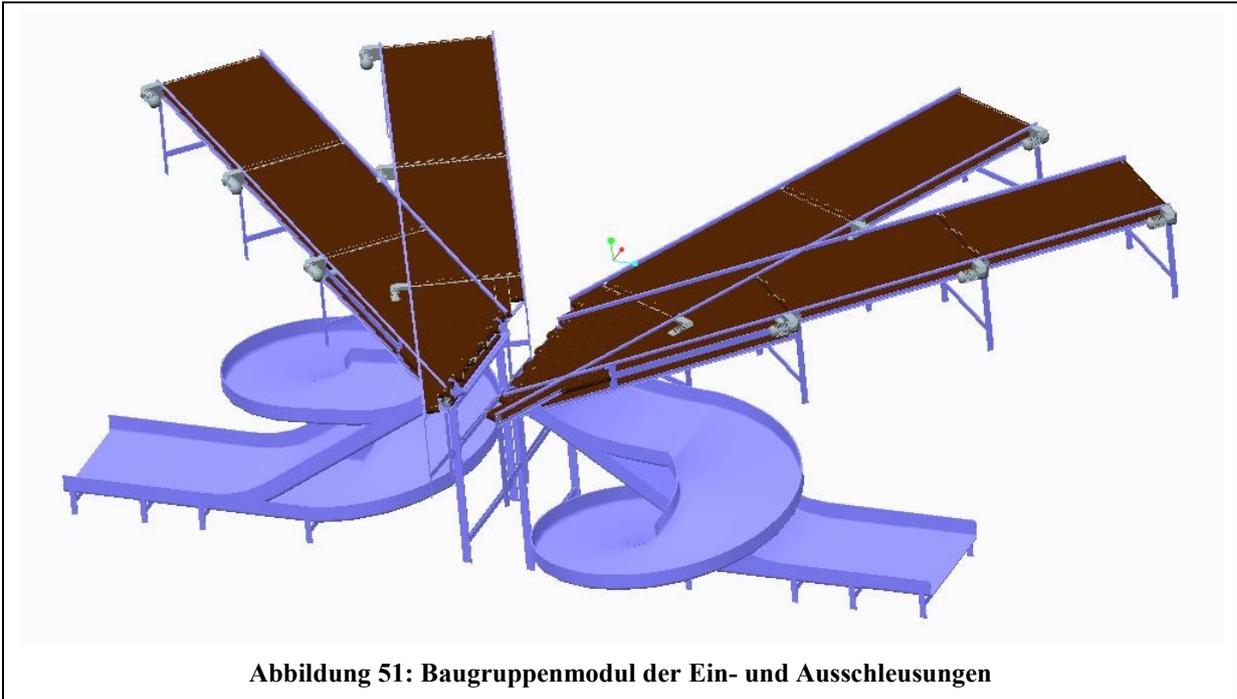
Die Wendelrutsche entspricht vom Querschnitt her der geraden Rutsche, die Linienführung des vollzieht hier jedoch eine Drehung um die Hochachse. Dies ermöglicht im Vergleich zur geraden Rutsche die Überwindung der entsprechenden Höhendifferenz bei weniger Beanspruchung von Bauraum.



Die Gestelle der Rutschen sind ebenso parametrisiert und werden entsprechend der konfigurierten Höhen und Breiten angepasst.

6.9 Baugruppenmodul

Für die Auswahl der gewünschten Ein- oder Ausschleusung wurde in Creo ein Baugruppenmodul erstellt, wie es in Abbildung 51 dargestellt ist. Sinn und Zweck dieses Moduls ist, aus einer Vielzahl verschiedener Möglichkeiten die jeweils gewünschte Baugruppe auszuwählen und in der Konstruktion platzieren zu können. Hierfür werden die verschiedenen Baugruppenvarianten in einer übergeordneten Baugruppe eingebaut. Anschließend wird eine Familientabelle erstellt, in der für jede gewünschte Baugruppe bzw. Baugruppenkombination eine Variante erstellt wird, die über einen String-Parameter im X2Creo-Programm aufgerufen werden kann. Die Auswahl hierfür wird in Excel über ein Dropdown-Menü durchgeführt. Das Baugruppenmodul wird so gemäß der gewünschten Konfiguration in den ausgewählten Abschnitten in entsprechender Anzahl mittels Muster platziert.



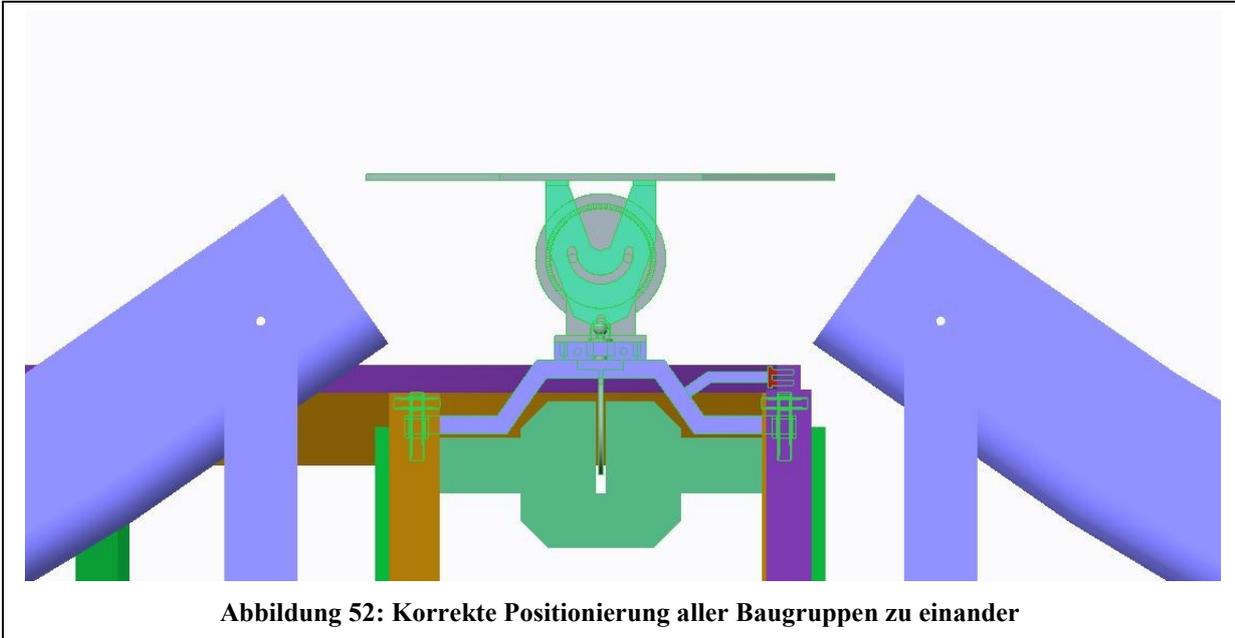
Theoretisch können nun beliebig viele Varianten des Moduls ausgeführt werden, aus Gründen der Zweckmäßigkeit wurden folgende Komponenten-Kombinationen hinsichtlich des Baugruppenmoduls ausgewählt, welche dem Anwender des KSK-Tools zur Konfiguration der Anlagen zur Verfügung stehen:

- Keine Baugruppe (Leeres Baugruppenmodul ohne implementierte Einschleusung/Endstelle)
- Flachriemeneinschleusung innen
- Fachriemeneinschleusung außen
- Schräggurteinschleusung innen
- Schräggurteinschleusung außen
- Gerade Rutsche innen
- Gerade Rutsche außen
- Gerade Rutsche innen und außen
- Wendelrutsche innen
- Wendelrutsche außen
- Wendelrutsche innen und außen

Nach dem gleichen Prinzip werden auch die gewünschte Schalenbauform und das Schwert des Verteilförderers sowie die ausgewählte Antriebseinheit mittels Familientabelle in der Konstruktion implementiert.

6.10 Positionierung der Baugruppen

Unabhängig von der gewählten Konfiguration der einzelnen Baugruppen und deren jeweiligen Abmessungen muss die ordnungsgemäße Positionierung der Baugruppen in Bewegungsrichtung des Verteilförderers zu einander realisiert werden, um korrekte Ein- und Ausschleusvorgänge gewährleisten zu können. Dies betrifft speziell die Einschleusungen und Endstellen und ihre Platzierung zur Kippschale, wobei hier unterschiedliche Ausgangspositionen beim Einschleusen (Schale gerade) und Ausschleusen (Schale gekippt) zur Anwendung kommen.



Sämtliche Abstände werden in Creo mittels Beziehungen gesteuert, wobei der maßgebliche Parameter die Schalenbreite ist. Daraus werden auch die Abstände der Baugruppen abgeleitet. Das Höhenniveau der Einschleusung entspricht jenem der Schale, bei den Endstellen muss der maximale Kippwinkel berücksichtigt werden, welcher dem Neigungswinkel der Rutschen entspricht. Als maximale Restriktion für die Spurweite der Schienen wird die Schalenbreite herangezogen, um Kollisionen des Schienensystems mit den Ein- und Ausschleusungen ausschließen zu können.

7 Auslegungs- und Planungsablauf des KSK-Tools am Beispiels des O-Layouts

7.1 Konzept und Methoden

Das vorliegende Berechnungsmodell, das in diesem Kapitel detailliert beschrieben wird, wurde gemäß den Anforderungen der Aufgabenstellung selbst entwickelt und enthält an den gekennzeichneten Stellen Näherungsberechnungen (speziell hinsichtlich der Baugruppenauslegungen) aus der Fachliteratur und aus Herstellerangaben.

Wie in Kapitel 6 bereits erörtert wurde, umfasst das Konzept der Anlagenkonfiguration auch ein Baukastensystem. Dieses ermöglicht, für ausgewählte Baugruppen den Ansprüchen entsprechend unterschiedliche Varianten einsetzen zu können. Somit soll speziell im Sinne des Knowledge-based System Design die Variabilität des Tools zur Optimierung des Anwendernutzens gezeigt werden.

Ein wichtiger Aspekt betreffend des Berechnungskonzepts liegt in der Frage, wie sich beispielsweise von den Sortiergutabmessungen auf die Schalendimensionen oder auf die Abmessungen von Einschleusung und Endstelle schließen lässt. Aus diesem Grund wurden in der Literatur und den VDI-Richtlinien verschiedene Regeln und Empfehlungen zusammengetragen und ein erstes Berechnungskonzept erstellt, welches mit fix definierten Formeln die Relationen der Parameter zueinander determiniert. Als Beispiele seien hier angeführt, dass nach [VDI3619] die Breite der Endstelle als Faustregel durch die Diagonale des längst möglichen Sortierguts näherungsweise bestimmt werden kann, [Arn02] stellt einen ähnlichen Zusammenhang zur Ermittlung der Schalenteilung her. Auch über publizierte Case Studies von Herstellern können entsprechende Beziehungen abgeleitet werden.

Da ein solches System mit fest definierten Regeln dem Anwender allerdings keinerlei Möglichkeit mehr bietet, in die Auslegung der Baugruppen einzugreifen, wurde eine andere Idee zur Anwendung gebracht. Hierbei werden mittels wählbarer Proportionalfaktoren Richtwerte für die Relation der jeweiligen Abmessungen berechnet, welche dann vom Anwender selbst festgelegt werden müssen. Mit diesem Konzept kann der User einerseits bei der Auslegung durch Informationen hinsichtlich der Größenverhältnisse unterstützt werden und gleichzeitig unabhängig die gewünschte Dimension realisieren. Während die meisten Hersteller zumeist von einem Sortieranlagen-Typ wenige modularisierte Baugrößen anbieten, können mit dem KSK-Tool zur Optimierung flexibel verschiedenste Abmessungen per Knopfdruck konfiguriert, berechnet und analysiert werden.

7.2 Rahmenbedingungen und Annahmen

Zu Beginn der Arbeit bzw. aufgrund der im weiteren Verlauf entstandenen Problemstellungen wurden diverse Annahmen und Vereinfachungen bezüglich der Aufgabenstellung getroffen, um bei der Ausarbeitung der Problemlösungen dem Umfang einer Masterarbeit gerecht werden zu können. Dabei wurde unter anderem festgelegt:

- Für die Hauptbaugruppen werden nach erfolgter Baugruppenanalyse mindestens je zwei typische Varianten für die Auswahl durch den Anwender im Sinne des Baukastenprinzips erstellt.
- Anwendung von definierten Layouts und eines Kalkulators für beliebige Streckenführungen.
- Bei den Layouts kann pro Abschnitt eine Baugruppenart platziert werden (durch Auswahl des Baugruppenmoduls).
- Es wird für die gesamte Anlage je ein Höhenniveau für die Einschleus- und die Ausschleusebene definiert, um mit einem Baugruppenmodul die gesamte Anlage konfigurieren zu können (Ansonsten müsste für jede weitere Ebene ein zusätzliches Baugruppenmodul implementiert werden).
- Alle Einschleusungen und Endstellen der Anlage verfügen über die gleichen Abmessungen.
- Die vertikale Ausdehnung der Anlage erstreckt sich auf eine Etage.
- Einzeln veränderliche Kurvenradien sind horizontal realisierbar, vertikale Radien (zw. Neigungstück und Gerade) werden aufgrund der geringen Neigungswinkel vernachlässigt.

7.3 Planungsablauf der Layoutkonfiguration am Beispiel des O-Layouts

Der Planungs- und Auslegungsablauf gliedert sich wie folgender Abbildung dargestellt:

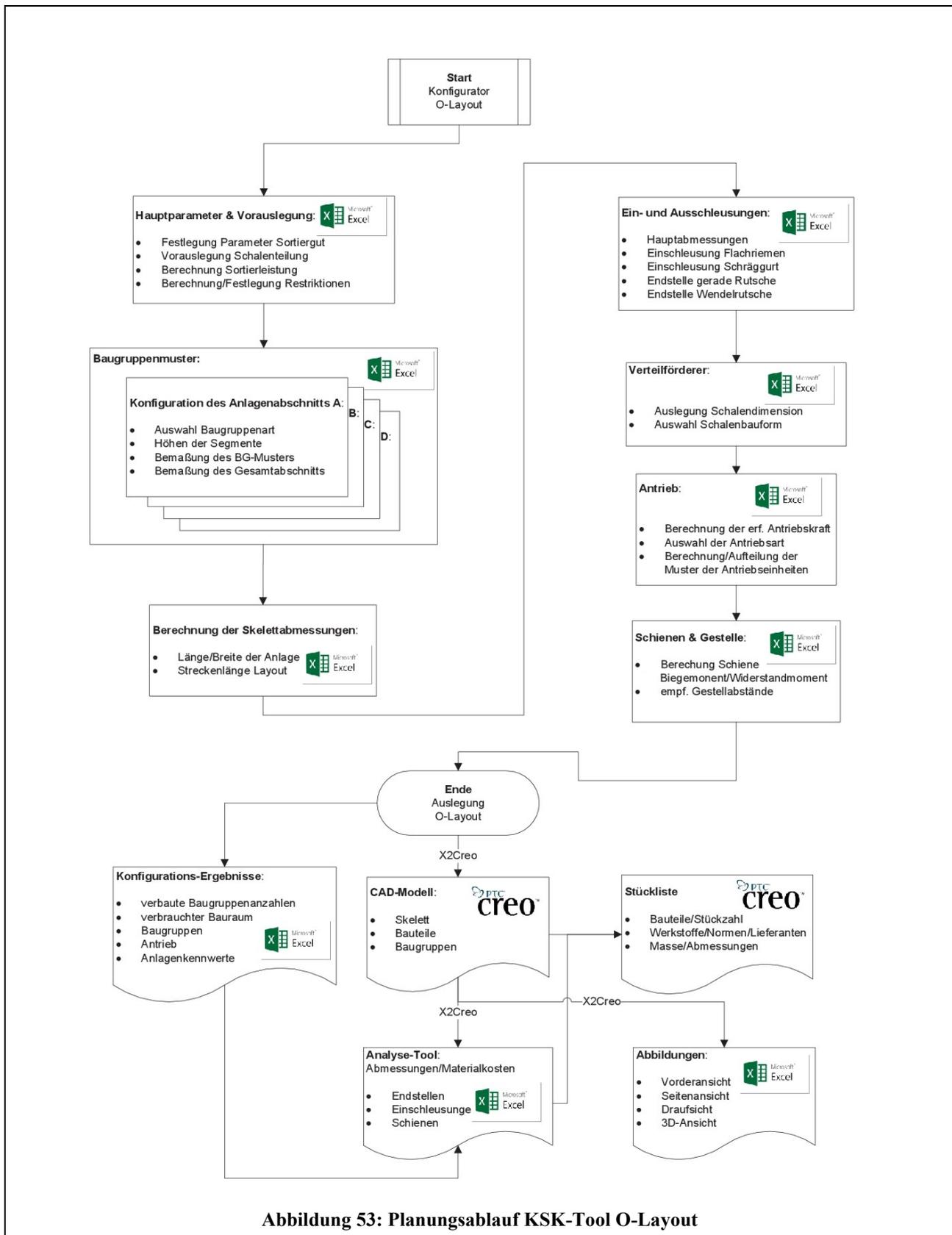


Abbildung 53: Planungsablauf KSK-Tool O-Layout

Durch Auswahl des gewünschten Layouts im KSK-Tool öffnet sich der entsprechende Konfigurator. Für jeden abgegrenzten Auslegungsschritt wird in Excel ein eigenes Tabellenblatt genutzt, via Buttons wird man somit automatisch gemäß des vorgegebenen Ablaufs zum nächsten Prozessschritt geführt (oder erforderlichenfalls auch zurück). Das Diagramm in Abbildung 53 zeigt den schematischen Ablauf der Anlagenplanung, welcher sich der Reihe nach gliedert in:

1. **Bestimmen der Hauptparameter und Vorauslegung** (Kapitel 7.4)

Eingabe der Hauptparameter, Vorauslegung der Schalenteilung ermöglicht Ermittlung der technischen Grenzleistung, Berechnung und Festlegung relevanter Anlagenrestriktionen.

2. **Konfiguration der Baugruppenmuster** (Kapitel 7.5)

Auswahl der Baugruppenarten und Bemaßung der jeweiligen Abschnitte (siehe Kapitel 6.3.1).

3. **Berechnung der Skelettabmessungen** (Kapitel 7.6)

Berechnung der relevanten Abmessungen zu Bemaßung des Skeletts zur Baugruppenauslegung.

4. **Konfiguration der Einschleusungen und Endstellen** (Kapitel 7.7)

Bestimmung der Hauptabmessungen und Auslegung der Einschleusungen und Endstellen.

5. **Konfiguration des Verteilförderers** (Kapitel 7.8)

Auswahl der Schale und Auslegung/Bemaßung der Dimensionen von Schale und Fahrwagen.

6. **Konfiguration des Antriebs** (Kapitel 7.9)

Auswahl des gewünschten Antriebs und Berechnung der erforderlichen Antriebseinheiten.

7. **Konfiguration der Schienen und Gestelle** (Kapitel 7.10)

Bemaßung des Schienenquerschnitts und Ermittlung der erforderlichen Anzahl der Gestelleinheiten.

Mit dem Abschluss der Anlagenplanung wird durch Starten der Schnittstelle X2Creo und Übertragen bzw. Auslesen der Parameter das Endergebnis generiert, welches insgesamt folgende Teilergebnisse umfasst:

- **Konfigurations-Ergebnisse** (Kapitel 7.11)

Informationen über verbaute Baugruppen, Bauraum, Antrieb und verschiedene Anlagenkennwerte.

- **Analyse-Tool** (Kapitel 7.12)

Werte zu Materialverbrauch und Materialkosten, berechnet aus Geometriedaten aus Creo.

- **Abbildungen** (Kapitel 7.13)

Generiert in Excel Abbildungen der Sortieranlage in verschiedenen Ansichten.

- **CAD-Modell** (Kapitel 7.14)

Vollständiges CAD-Modell gemäß erstellter Konfiguration in PTC-Creo.

- **Stückliste** (Kapitel 7.15)

Stückliste umfasst alle Bauteile inkl. Stückzahlen, Normen, Werkstoffangaben und Abmessungen.

Der in Abbildung 54 dargestellte Ausschnitt aus dem Konfigurator zeigt exemplarisch, wie die Dateneingabe in Excel erfolgt:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	6. Konfiguration Antrieb												
2													
3	Parameter Antriebsberechnung		Kürzel	Wert	Einheit							Kommentar/Abbildung	
4													
5	Gesamtgewicht Kippschalensortereinheit		m	80	kg							Aufsummierte Massen von Fahrwagen + Sortiergut je Streckenmeter	
6	Hebelarm der "rollenden Reibung"		f	0,3	mm							Richtwert: 0,3-0,5 mm bei Radlast von ca. 400 N	
7	Laufreddurchmesser		di	60	mm							Richtwert: 50 -100 mm	
8	Lagerreibbeiwert		μs	0,003	-							Richtwert Wälzlager: 0,001 - 0,003	
9	Lagerzapfendurchmesser		d	25	mm							Richtwert: 20 - 40 mm	
10	Spurkranz- und Seitenreibungsbeiwert		c	0,001	-							Richtwert Rollreibung (Eisenrad auf Schiene): 0,001 - 0,002	
11	Kraft bei konstanter Fahrt		Ff	9,62	N							Erforderliche Zugkraft je Fahrwagen bei konstanter Geschwindigkeit des Verteilförderers	
12	Beschleunigung beim Anfahren		aan	0,1	m/s ²							max. Beschleunigung beim Anfahren der Anlage aus dem Stillstand	
13	Beschleunigungskraft		FA	8	N							Berücksichtigung des Beschleunigungswiderstands aufgrund der Massenträgheit	
14	Maximale erf. Vorschubkraft je Fahrwagen		FV	21,15	N							Erforderliche Zugkraft je Fahrwagen (Berechnung nach SEW-Eurodrive)	
15	Maximale erf. Vorschubkraft Verteilförderer		FGes	4399,2	N							Zugkraft gesamt aufsummiert über alle Fahrwagen	
16													
17													
18	Baugruppenart wählen			Reibradantrieb Typ 1									
19				Linearmotor Typ 1									
20				Linearmotor Typ 2									
21	Parameterbezeichnung Baugruppentyp			Reibradantrieb Typ 1									
22				Reibradantrieb Typ 2									

Abbildung 54: Dateneingabe im Konfigurator

Die Berechnungs-Formulare (Tabellenblätter in Excel) umfassen für alle relevanten Parameter neben der Bezeichnung und dem Formelzeichen den eigentlichen Zahlenwert samt Einheit. Für Auswahlmöglichkeiten (hinsichtlich des Baukastenprinzips) werden Drop-Down-Menüs verwendet. Zusätzlich wurden für die verfügbaren Varianten entsprechende Abbildungen appliziert. Eine Kommentarzeile bietet dem Anwender direkte Informationen, Hinweise und Erklärungen als Hilfestellung zur Auslegung bzw. liefert Norm- und Richtwerte.

Die Eingabe/Ausgabe der Zahlenwerte folgen nachstehendem Farbschema und sind von Benutzer entsprechend anzuwenden:

- **gelb:** **User-Input**
Eingabe von Werten bzw. Auswahl via Drop-Down-Menü durch den Anwender
- **grün:** **Rechenwerte**
Parameter, die automatisch aus den Eingaben und Auswahlen in Excel berechnet werden
- **rot:** **Restriktionen**
Festlegung von Einschränkungen /Bedingungen zur Fehlerprävention
- **blau:** **Informationen**
Bereitgestellte Zusatzinformationen für den Anwender über die Rechenwerte hinaus
- **orange:** **Creo-Output**
In Creo generierte Daten, die mittels X2Creo wieder in Excel ausgegeben werden.

In den folgenden Kapiteln wird nun in der dargelegten Reihenfolge des Planungsablaufs im Detail auf die einzelnen Berechnungen und Prozessschritte zur Auslegung der Baugruppen und Gesamtanlage eingegangen, sowie auf die resultierenden Ergebnisse. Die den Inhalten jeweils gegenübergestellten Abbildungen zeigen dabei die Tabellenblätter, wie sie dem Anwender in Excel zur Eingabe zur Verfügung stehen.

7.4 Festlegung der Hauptparameter und Vorauslegung

7.4.1 Festlegung Sortiergutparameter

Der erste Schritt besteht in der Festlegung der Sortiergutparameter beruhend auf einer Analyse des zu sortierenden Gutspektrums. Maßgeblich für die Abmessungen l_1 , b und h sind die maximalen Abmessungen des größtmöglichen Sortierguts bei einschaliger Belegung der Kippschale.

Für die richtige Positionierung auf der Schale wurde festgelegt: $l_1 > b > h$

Die maximale Sortiergutlänge bei zweischaliger Belegung ergibt sich dann als: $l_2 = 2 \cdot l_1 + a_s$

7.4.2 Vorauslegung der Schalenabmessung für Sortierleistung

Eine der maßgeblichsten Kenngrößen von Sortieranlagen ist die Sortierleistung, daher soll diese bereits zu Beginn der Auslegung ermittelt werden. Die dafür benötigte Schalenteilung wird in diesem Schritt mit Hilfe eines Proportionalfaktors für das Verhältnis der Schalenabmessungen zu den Sortiergutabmessungen berechnet:

$$l_s = l_1 \cdot PF_s$$

$$s_{t1} = l_s + a_s$$

7.4.3 Bestimmen der max. möglichen Sortierleistung

Mit Hilfe der Schalenteilung und der festgelegten Geschwindigkeit des Verteilförderers kann nun die technisch realisierbare Grenzleistung bestimmt werden mit:

$$\lambda_{\max} = \frac{v_s \cdot 3.600}{s_{t1}}$$

Zu beachten gilt es, dass dieser theoretisch maximale Wert in der Praxis gemindert wird durch verschiedene betriebliche Einflüsse wie rezirkulierende Rundläufer, zweischalige Belegung durch Überlängengüter oder durch suboptimale Belegung/Einschleusung der Schalen am Verteilförderer.

7.4.4 Festlegung genereller Anlagenrestriktionen

Zur Bestimmung des Mindestradius r_{\min} werden die kinematischen Zustände zwischen Schale und Sortiergut näher betrachtet. Analog wie z.B. auch beim Einschleusen spielen hier die erreichten Beschleunigungen eine maßgebliche Rolle. Es muss sichergestellt werden, dass die während der Kurvenfahrt erzielten Zentrifugalkräfte keinen kritischen Wert erreichen, bei dem das Sortiergut aufgrund der Reibungsverhältnisse abrutschen würde oder aufgrund des hohen Schwerpunkts kippen würde. Rechnerisch wird für beide Fälle der theoretisch erforderliche Mindestradius ermittelt:

$$\text{aus der Schlupfbedingung} \quad : a_{Schale} \leq \mu \cdot g \quad \rightarrow \quad \frac{v^2}{\mu \cdot g} \leq r_{min,1}$$

$$\text{aus der Kippbedingung:} \quad a_{Schale} \leq g \cdot \frac{b}{h} \quad \rightarrow \quad \frac{v^2 \cdot h}{g \cdot b} \leq r_{min,2}$$

Der größere der errechneten Radien gilt somit als Restriktion für den minimal realisierbaren Kurvenradius r_{\min} .

$$r_{\min} = \max(r_{min,1}; r_{min,2})$$

Weitere zu bestimmende Restriktionen betreffen die maximale Steigung bzw. das maximale Gefälle der Neigungsstrecken (üblicherweise bis zu max. 12° ohne zusätzliche formschlüssige Absicherung des Sortierguts auf der Schale) bzw. den minimal erforderlichen Abstand der Schalen zu einander.

Konfiguration O-Layout

1. Hauptparameter und Vorauslegung

1.a. Parameter Sortiergut

Parameterbezeichnung	Kürzel	Wert	Einheit	Restr.	Kommentar/Abbildung
max. Länge Sortiergut einschalig	l_1	500	mm		Länge des größten Pakets, welches mit einer einzelnen Schale befördert wird
max. Länge Sortiergut zweischalig	l_2	1075	mm		Resultierende max. Sortiergutlänge für zweischalige Beförderung auf dem Verteilförderer
max. Breite Sortiergut	b	400	mm	500	Breite des größten Pakets, welches mit einer einzelnen Schale befördert wird
max. Höhe Sortiergut	h	200	mm	400	Höhe des Schwerpunktes beeinflusst die Bewegungseigenschaften beim Kippen
min. Reibbeiwert Sortiergut/Schale	μ_{Schale}	0,4	-		Referenz je nach Schalen-Werkstoff und Sortiergutbeschaffenheit ca. 0,2 - 0,6

1.b. Vorauslegung Schalenabmessung

Abstand zwischen den Schalen	a_s	75	mm	50	Wegen Kollisionsgefahr der Schalen bei Kurvenfahrten
P-Faktor	PF_s	1,5	-		Proportionalitätsfaktor zwischen den Abmessungen des Sortierguts und den Abmessungen der Schale
Schalenlänge	l_s	750	mm		ergibt sich aus der max. Sortiergutlänge
Schalenteilung Vorauslegung	St_1	825	mm		Näherungswert zur Bestimmung von Sortierleistung und Mindestradius

1.c. max. erzielbare Sortierleistung

Sortiergeschwindigkeit	v_s	2,5	m/s		Umlaufgeschwindigkeit des Verteilförderers; Richtwerte bei 1,0 - 3,5 m/s
Schalenteilung	St_1	825	mm		Grobauslegung ohne Rücksichtname der Schalenanzahl zur Abschätzung der Sortierleistung
max. erzielbare Sortierleistung	λ_{max}	10909	Stk./h		Maximale technische Grenzleistung ohne leistungsmindernde Faktoren

1.d. Anlagen-Restriktionen

Schlupfbedingung $a_{\text{Schale}} \leq \mu \cdot g$	$r_{\text{min},1}$	1593	mm		Verhindern des Abrutschens durch Fliehkräfte bei Kurvenfahrten
Kippbedingung $a_{\text{Schale}} \leq g \cdot b/h$	$r_{\text{min},2}$	319	mm		Verhindern des Kippens bei hohen Schwerpunkten bei Kurvenfahrten
Resultierender Mindestradius	r_{min}	1593	mm		Der aus Schlupf- und Kippbedingung resultierende min. zulässige Kurvenradius
Restriktion maximale(s) Steigung/Gefälle	w_{max}	12	°		Max. Neigungswinkel bei Schalen ohne Rutschsicherung bei 10°-12°
Minimaler Schalenabstand	$a_{s,\text{min}}$	50	mm		Min. zulässiger Abstand zwischen den einzelnen Schalen zur Kollisionsvermeidung

weiter
zum Skelett

Abbildung 55: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Start“

7.5 Konfiguration der Baugruppenmuster in den einzelnen Layoutsegmenten A, B, C, ...

7.5.1 Bestimmen der Baugruppenart

Auswahl der im jeweiligen Abschnitt gewünschten Baugruppe aus dem Baugruppenmodul über ein Drop-Down-Menü.

7.5.2 Bestimmen der Höhenniveaus

Bestimmen der Höhenniveaus des jeweiligen Abschnitts und des angrenzenden Radius über ein Drop-Down-Menü.

7.5.3 Bemaßung des Musters (Anzahl BG, Abstände)

Zunächst wird die entsprechende Länge des gewünschten, ausgewählten Baugruppenmusters rechnerisch wie folgt ermittelt (exemplarisch für den Abschnitt A):

$$\underbrace{l_{ma}}_{\text{Gesamtlänge des Musters}} = \underbrace{l_{m1a}}_{\text{Abstand bis Beginn der 1. Baugruppe}} + \underbrace{n_a \cdot b_{bga}}_{\text{Baugruppenanzahl mal Baugruppenbreite}} + \underbrace{(n_a - 1) \cdot l_{m2a}}_{\text{Anzahl der Zwischenräume mal Abstände zwischen den Baugruppen}} + \underbrace{l_{m3a}}_{\text{Abstand zum angrenzenden Radius}}$$

Analog dazu gilt auch für die Längen der Baugruppenmuster der anderen Abschnitte B, C und D:

$$\begin{aligned}
 l_{mb} &= l_{m1b} + n_b \cdot b_{bgb} + (n_b - 1) \cdot l_{m2b} + l_{m3b} \\
 l_{mc} &= l_{m1c} + n_c \cdot b_{bgc} + (n_c - 1) \cdot l_{m2c} + l_{m3c} \\
 l_{md} &= l_{m1d} + n_d \cdot b_{bgd} + (n_d - 1) \cdot l_{m2d} + l_{m3d}
 \end{aligned}$$

7.5.4 Bemaßung des Segments inkl. angrenzendem Radius

Mit Hilfe der Werte für die Baugruppenmuster können zusätzlich mit den Eingaben für die Streckenabschnitte (Längen, Winkel, Radien) die jeweiligen rechnerisch erforderlichen Mindestlängen der Abschnitte berechnet werden. Für Abschnitt A wiederum gilt:

$$\underbrace{l_{a_erf}}_{\text{Mindestlänge des Abschnitts}} = \underbrace{l_{a1}}_{\text{Abstand Radius bis Neigungsstück}} + \underbrace{l_{wa1}}_{\text{Horizontale Länge des 1. Neigungsstücks}} + \underbrace{l_{ma}}_{\text{Länge des Baugruppenmusters}} + \underbrace{l_{wa2}}_{\text{Horizontale Länge des 1. Neigungsstücks}} + \underbrace{l_{a3}}_{\text{Abstand Neigungsstück bis Radius}}$$

$$\text{Mit } l_{wa1} = \frac{h_{a2} - h_{r4}}{\tan w_{a1}} \quad \text{und} \quad l_{wa2} = \frac{h_{r1} - h_{a2}}{\tan w_{a2}}$$

Analog dazu wieder für die anderen Abschnitte B, C und D:

$$\begin{aligned}
 l_{b_erf} &= l_{b1} + l_{wb1} + l_{mb} + l_{wb2} + l_{b3} \\
 l_{c_erf} &= l_{c1} + l_{wc1} + l_{mc} + l_{wc2} + l_{c3} \\
 l_{d_erf} &= l_{d1} + l_{wd1} + l_{md} + l_{wd2} + l_{d3}
 \end{aligned}$$

Bemaßung und Konfiguration Baugruppenmuster Abschnitt A und R1

	Radius 4	Abschnitt A	Radius 1
Baugruppe	-	Einschleusung Flachriemen außen	-
Höhe	he	he	he

Bemaßung Muster Abschnitt A	Kürzel	Wert	Einheit
Anzahl Baugruppen	n _a	2	Stk.
Abstand von Radius/Neigung	l _{m1a}	750	mm
Abstand zw. Baugruppen	l _{m2a}	1750	mm
Baugruppenbreite	b _{bg}	2361,7	mm
Abstand zu Radius/Neigung	l _{m3a}	750	mm
erf. Länge des Musters	l _{ma}	7974	mm

Bemaßung Gesamtabschnitt A	Kürzel	Wert	Einheit	Restriktion
Höhe von Radius R4	h _{r4}	1150	mm	
Länge bis Beginn des 1. Neigungsstücks	l _{a1}	1500	mm	
Winkel 1. Gefälle/Steigung	w _{a1}	12	°	12
Länge der 1. Gefälle-/Steigungsstrecke	l _{wa1}	0	mm	
Höhe am Ende 1. Gefälle/Steigung	h _{a2}	1150	mm	
Winkel 2. Gefälle/Steigung	w _{a2}	12	°	12
Länge der 2. Gefälle-/Steigungsstrecke	l _{wa2}	0	mm	
Länge bis zum Radius	l _{a3}	1500	mm	
Radius R1	r ₁	3000	mm	1593
Höhe von Radius R1	h _{r1}	1150	mm	
Streckenlänge des Abschnitts A	l _a	10974	mm	
Streckenlänge des Abschnitts R1	l _{r1}	4712,39	mm	

zurück zur
Skelett-Übersicht

weiter zu
Abschnitt B und R2

Abbildung 56: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „A/B/C/D“

Sowie:

$$\begin{array}{ll}
 l_{wb1} = \frac{h_{b2} - h_{r1}}{\tan w_{b1}} & \text{und} & l_{wb2} = \frac{h_{r2} - h_{b2}}{\tan w_{b2}} \\
 l_{wc1} = \frac{h_{c2} - h_{r2}}{\tan w_{c1}} & \text{und} & l_{wc2} = \frac{h_{r3} - h_{c2}}{\tan w_{c2}} \\
 l_{wd1} = \frac{h_{d2} - h_{r3}}{\tan w_{d1}} & \text{und} & l_{wd2} = \frac{h_{r4} - h_{d2}}{\tan w_{d2}}
 \end{array}$$

Anmerkung: Bei einem Winkel $w = 0$ (entspricht einem Verlauf des Skeletts ohne Änderung des Höhengniveaus im entsprechenden Bereichs) ergibt sich durch $\tan(0) = 0$ eine theoretisch unendlich lange Wegstrecke, welche in Excel mittels WENN-Befehl auf den Wert null gestellt wird, da hier das entsprechende Neigungsstück (Steigung, Gefälle) entfällt.

7.6 Berechnung der Skelettabmessungen anhand Eingaben/Auswahlmöglichkeiten

Nachdem die Baugruppenmuster und die Streckensegmente konfiguriert und bemaßt wurden, können die Abmessungen des Skeletts, welches die Streckenführung des Verteilförderers des Kippschalensors darstellt, berechnet werden. Hierfür werden die jeweils gegenüberliegenden Streckensegmente (A und C stellen in der festgelegten Notation definitionsgemäß die Anlagenbreite dar, B und D die Anlagenlänge) mit einander verglichen.

Die erforderliche Mindestbreite der Gesamtanlage berechnet sich daher wie folgt:

$$\begin{array}{ll}
 b_{ges_a_erf} = r_4 + l_{a_erf} + r_1 & \text{erforderliche Mindestbreite aufgrund des Abschnitts A} \\
 b_{ges_c_erf} = r_2 + l_{c_erf} + r_3 & \text{erforderliche Mindestbreite aufgrund des Abschnitts C}
 \end{array}$$

Die daraus resultierende tatsächliche Breite des Skeletts der Anlage entspricht dem größeren der minimal erforderlichen Breiten der beiden Abschnitte, um die gewählte Baugruppenanzahl und gewünschten Bemaßungen der Streckenführung des Verteilförderers gemäß den Eingaben realisieren zu können.

$$b_{ges} = \text{Maximum}(b_{ges_a_erf}; b_{ges_c_erf})$$

Der Längenausgleich der gegenüberliegenden kürzeren Strecke aufgrund der Symmetrie des O-Layouts erfolgt automatisch durch eine entsprechende Bemaßung des Skelettmodells in Creo durch Verlängerung des jeweiligen Baugruppenmuster-Streckenabschnitts.

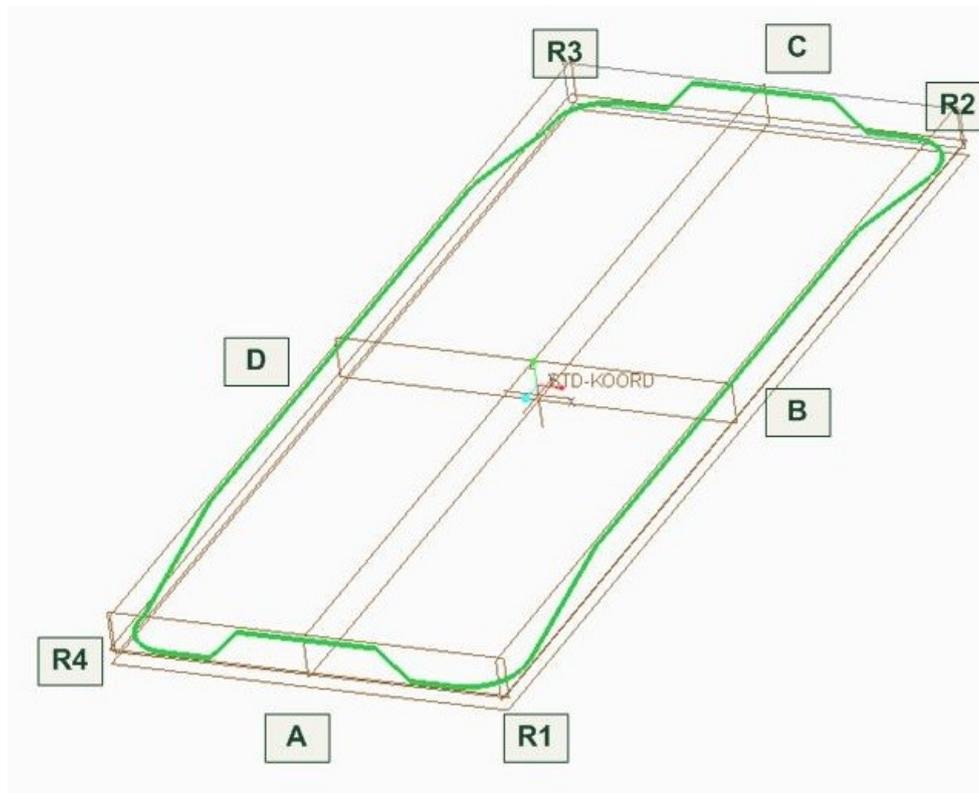
Für die Berechnung der Länge des Skelettmodells gilt analog zur Breite:

$$\begin{array}{ll}
 l_{ges_b_erf} = r_1 + l_{b_erf} + r_2 & \text{erforderliche Mindestbreite aufgrund des Abschnitts B} \\
 l_{ges_d_erf} = r_3 + l_{d_erf} + r_4 & \text{erforderliche Mindestbreite aufgrund des Abschnitts D}
 \end{array}$$

$$l_{ges} = \text{Maximum}(l_{ges_b_erf}; l_{ges_d_erf})$$

Die Gesamtlänge der konfigurierten Streckenführung ist ein maßgeblicher Wert für die Auslegung verschiedener Baugruppen, z.B. Schalenanzahl oder die Länge des Verteilförderers, die Anzahl und Anordnung der Antriebseinheiten oder die Anzahl und Verteilung der Gestelle. Daher ist es notwendig, rechnerisch die exakte Gesamtstreckenlänge zu ermitteln.

2. Konfiguration der Baugruppen



3. Berechnung Abmessungen Gesamtanlage (Skelett)

Parameterbezeichnung	Kürzel	Wert	Einheit
rechnerisch erforderliche Länge Abschnitt A	la_eref	10974	mm
rechnerisch erforderliche Länge Abschnitt B	lb_eref	65303	mm
rechnerisch erforderliche Länge Abschnitt C	lc_eref	10974	mm
rechnerisch erforderliche Länge Abschnitt D	ld_eref	65153	mm
erforderliche Mindestbreite nach Abschnitt A	bges_a_eref	16974	mm
erforderliche Mindestbreite nach Abschnitt C	bges_c_eref	16974	mm
Breite der Anlage	bges	16974	mm
erforderliche Mindestlänge nach Abschnitt B	lges_b_eref	71303	mm
erforderliche Mindestlänge nach Abschnitt D	lges_d_eref	71153	mm
Länge der Anlage	lges	71303	mm
Gesamtlänge der Streckenführung	lstr	171971,12	mm

zurück
zu den Hauptparametern

weiter
zu den Ein- und Ausschleusungen

Abbildung 57: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Skelett“

Für das O-Layout besteht die Streckenführung aus vier Geradstücken verbunden durch vier Radien. Die Längenberechnung dieser Segmente wird nun im Folgenden erläutert. Exemplarisch wird wieder das Geradstück des Abschnitts A näher betrachtet, dessen Länge angesetzt werden kann als:

$$l_a = \underbrace{b_{ges}}_{\text{Länge Streckenabschnitt}} - \underbrace{r_4 - r_1}_{\text{Gesamtbreite}} - \underbrace{l_{wa1} - l_{wa2}}_{\text{An Abschnitt angrenzende Radien}} + \underbrace{\sqrt{l_{wa1}^2 + (h_{a2} - h_{r4})^2} + \sqrt{l_{wa2}^2 + (h_{r1} - h_{a2})^2}}_{\text{Horizontale Längen der Neigungsstücke}} + \underbrace{\sqrt{l_{wa1}^2 + (h_{a2} - h_{r4})^2} + \sqrt{l_{wa2}^2 + (h_{r1} - h_{a2})^2}}_{\text{Tatsächliche Längen der Neigungsstücke mit Berücksichtigung der Änderung der Höhenniveaus}}$$

Analog gilt dies wiederum für die anderen Seiten des Layouts B, C und D:

$$l_b = l_{ges} - r_1 - r_2 - l_{wb1} - l_{wb2} + \sqrt{l_{wb1}^2 + (h_{b2} - h_{r1})^2} + \sqrt{l_{wb2}^2 + (h_{r2} - h_{b2})^2}$$

$$l_c = b_{ges} - r_2 - r_3 - l_{wc1} - l_{wc2} + \sqrt{l_{wc1}^2 + (h_{c2} - h_{r2})^2} + \sqrt{l_{wc2}^2 + (h_{r3} - h_{c2})^2}$$

$$l_d = l_{ges} - r_3 - r_4 - l_{wd1} - l_{wd2} + \sqrt{l_{wd1}^2 + (h_{d2} - h_{r3})^2} + \sqrt{l_{wd2}^2 + (h_{r4} - h_{d2})^2}$$

Die Kurvenlängen der Radien werden anschließend mit Hilfe der Formel für die Bogenlänge wie folgt ermittelt:

$$\text{Allgemein gilt: Bogenlänge} = \frac{2 \cdot r \cdot \pi \cdot \alpha}{360} \quad \text{mit } \alpha = 90^\circ \quad \text{ergibt dies } l_r = \frac{r \cdot \pi}{2}$$

$$\text{Daher ergeben die Kurvenlängen: } l_{r1} = \frac{r_1 \cdot \pi}{2} \quad l_{r2} = \frac{r_2 \cdot \pi}{2}$$

$$l_{r3} = \frac{r_3 \cdot \pi}{2} \quad l_{r4} = \frac{r_4 \cdot \pi}{2}$$

Somit kann nun die Gesamtstreckenlänge l_{str} aufsummiert und zusammengefasst werden als:

$$l_{str} = l_a + l_b + l_c + l_d + l_{r1} + l_{r2} + l_{r3} + l_{r4}$$

7.7 Konfiguration der Einschleusungen und Endstellen

7.7.1 Definieren der Hauptabmessungen von Ein- und Ausschleusungen

Da als Annahme für die gesamte Anlage die gleichen Abmessungen für die jeweiligen Baugruppen gelten, sowie ein einheitliches Höhenniveau sowohl für die Einschleusung als auch die Endstellen gilt, werden diese Hauptabmessungen zuerst bestimmt.

Dies geschieht wiederum analog zur Schalenvorauslegung in zwei Schritten mit Hilfe des Proportionalitätsfaktors PFBG, wie im folgenden Abschnitt näher erörtert wird.

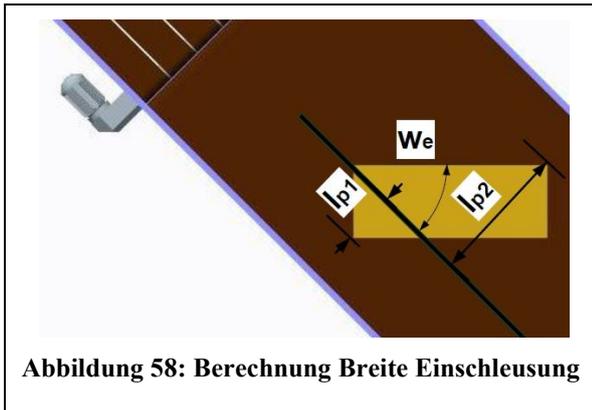


Abbildung 58: Berechnung Breite Einschleusung

Die Breite der Einschleusungen berechnet sich anhand der Diagonale des größtmöglichen Sortierguts bei zweischaliger Belegung (Abbildung 56). Zunächst wird wieder mittels Faktor ein Referenzwert ermittelt und anschließend die gewünschte Endstellenbreite gewählt:

$$b_{e;PF} = PF_{BG} * \left[\underbrace{\sin(\alpha) \cdot l_2}_{lp1} + \underbrace{\sin(90 - \alpha) \cdot b}_{lp2} \right]$$

→ b_e auswählen

Aufgrund der Tatsache, dass die Übergabe der Sortiergüter in einem bestimmten Einschleuswinkel

(üblicherweise bei 25 - 45°) erfolgt, muss für die Berechnung des Platzbedarfs bei Positionierung der Einschleusung entlang der Anlage die projizierende Breite der Endstelle hin zum Verteilförderer berücksichtigt werden (siehe Abbildung 57).

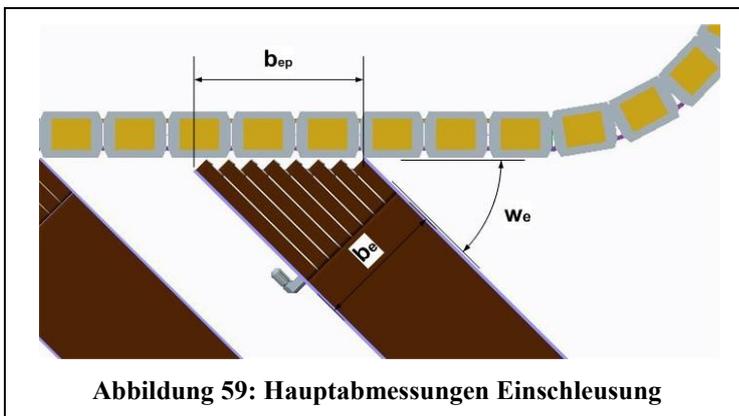


Abbildung 59: Hauptabmessungen Einschleusung

Diese berechnet sich mit:

$$b_{e,p} = \frac{b_e}{\sin w_e}$$

Analog zu den Einschleusungen wird auch bei den Endstellen mittels Vorauslegung ein Richtwert ermittelt und anschließend das gewünschte Längenmaß vom Anwender selbst ausgewählt:

$$b_{r;PF} = PF_{BG} \cdot \underbrace{l_2}_{\substack{\text{Länge Sortiergut} \\ \text{2-schalig}}} \rightarrow b_r \text{ auswählen}$$

7.7.2 Konfiguration Flachriemen-Einschleusung und Schräggurt-Einschleusung

Die Einschleusungen werden gemäß den jeweiligen Eingaben und den Hauptabmessungen bemaßt und generiert. Interessant ist hier speziell jener Bereich, der für die Übergabe des Sortierguts hin zum Verteilförderer dient, da hier sämtliche Bauteile aufgrund des variablen Einschleuswinkels parametrisiert werden müssen. Die Berechnung dazu wurde in Creo mittels Beziehungen implementiert, sodass die benötigten Bauteile (z.B. Übergabebänder oder Umlenkrollen) automatisch entsprechend generiert werden können.

Für die Berechnung der Anlagenabmessungen sind noch die Gesamtlängen der Einschleusungen erforderlich, wobei hier gilt:

für die Flachriemeneinschleusung:

$$l_{ef_ges} = l_{tb} + l_{bb} + l_{ueb}$$

für die Schräggurteinschleusung:

$$l_{es_ges} = l_{tb} + l_{bb} + l_{sg}$$

7.7.3 Konfiguration gerade Rutsche und Wendelrutsche

Als maßgebliche Größe für die Rutschen wird der Mindestneigungswinkel als Restriktion für den tatsächlich gewählten Neigungswinkel berechnet, welcher gewährleistet, dass das Sortiergut nach dem Ausschleusen vollständig über die Rutsche abgleitet und erst im Sammelbereich zum Stillstand kommt.

Die Mindestneigung berechnet sich nach folgender Näherungsformel:⁵⁴

$$d_{min} = \arctan \frac{\mu}{1 - \frac{v_e^2 - v_a^2}{2 \cdot g \cdot (h_{ra} - h_{re})}} \rightarrow d_{gr}; d_{wr} \text{ wählen}$$

Die Gesamtlänge der Baugruppe wird aufgrund der Geometrie (Zug-KE der Rutsche ergibt je nach Bemessungsparametern nicht exakt berechenbaren Spline) angenähert

für die gerade Rutsche mit:

$$l_{gr} \approx 1,5 \cdot b_r + l_{rsb}$$

und für die Wendelrutsche mit:

$$l_{wr} \approx 1,2 \cdot \frac{h_{ra} - h_{re}}{\tan d_{wr}}$$

Für die Wendelrutsche wird eine Höhenrestriktion mit Bezug zur Sortierguthöhe eingeführt, um kollisionsfreies Abgleiten der Güter über den spiralförmigen Teil der Rutsche gewährleisten zu können.

Diese wurde festgelegt mit:

$$h_{wr} \geq \frac{3}{2} \cdot h + 100$$

4. Konfiguration Einschleusungen und Endstellen

4.a. Definieren der Hauptabmessungen

Parameterbezeichnung	Kürzel	Wert	Einheit	
Höhen der Einschleusungen	h _e	1150	mm	Allgemeines Höhenniveau gültig für alle Einschleusungen in der Anlage
Höhen der Ausschleusungen	h _a	2500	mm	Allgemeines Höhenniveau gültig für alle Endstellen in der Anlage
Einschleuswinkel	w _e	45	°	Richtwerte üblicherweise bei 25° - 45°
P-Faktor Sortiergutlänge/ Baugruppenbreite	PF _{e/r}	1,5		Proportionalitätsfaktor zw. Maximallänge des Sortierguts (2-schalig) und der Baugruppenbreite
Breite Einschleusung aufgrund des P-Faktors	b _{e,PF}	1564	mm	Berechnungsvorschlag aufgrund des Faktors
Breite Einschleusung gewählt	b _e	1600	mm	Tatsächlich gewählte Breite gültig für alle Einschleusungen in der Anlage
Breite Endstelle aufgrund des P-Faktors	b _{r,PF}	1613	mm	Berechnungsvorschlag aufgrund des Faktors
Breite Endstelle gewählt	b _r	1600	mm	Tatsächlich gewählte Breite gültig für alle Einschleusungen in der Anlage

4.b. Einschleusung - Flachriemen

Einschleuswinkel	w _e	45	°	Richtwerte üblicherweise bei 25° - 45°
Breite Einschleusung projizierende Breite	b _e	1600	mm	Abhängig von Sortiergutabmessungen und Einschleuswinkel
Einschleusung	b _{ep}	2361,7	mm	Aufgrund des Einschleuswinkels
Länge Taktband	l _{tb}	3000	mm	Identifikation und Vereinzelung der Sortiergüter
Länge Beschleunigungsband Mindestlänge	l _{bb}	3000	mm	Zur Beschleunigung auf die notwendige Einschleusgeschwindigkeit
Übergabeband (Nr.1)	l _{ueb}	500	mm	Zur Übergabe von Einschleusung auf die Schale des Verteilförderers
Abstand Übergabebänder	a _{ueb}	10	mm	Richtwert 5 - 20 mm
Breite Übergabeband	b _{ueb}	191,25	mm	Aus Anzahl und Abstand der Übergabebänder und Breite der Einschleusung
Resultierende Gesamtlänge der Einschleusung	l _{ef_ges}	6500	mm	Zur Bestimmung des gesamten erforderlichen Bauraums

⁵⁴ vgl. [Jod12] S.193

4.c. Einschleusung - Schräggurt

Einschleuswinkel	w_e	45 °	Richtwerte üblicherweise bei 25° - 45°
Breite Einschleusung projizierende Breite	b_e	1600 mm	Abhängig von Sortiergutabmessungen und Einschleuswinkel
Einschleusung	b_{ep}	2361,7 mm	Aufgrund des Einschleuswinkels
Länge Taktband	l_b	2500 mm	Identifikation und Vereinzelung der Sortiergüter
Länge Beschleunigungsband	l_{bb}	2500 mm	Zur Beschleunigung auf die notwendige Einschleusgeschwindigkeit
Einlaufänge Schräggurt	l_{sg}	1250 mm	Zur Übergabe von Einschleusung auf die Schale des Verteilförderers
Resultierende Gesamtlänge der Einschleusung	l_{es_ges}	6462 mm	Zur Bestimmung des gesamten erforderlichen Bauraums

4.d. Endstelle - gerade Rutsche

Endstellenbreite	b_r	1600 mm	
Näherungsberechnung Mindestneigungswinkel	d_{min}	32,6 °	Berechneter Mindestneigungswinkel zur Gewährleistung des Gutabflusses
Reibbeiwert Rutsche/Sortiergut	μ_r	0,5 -	je Stahlblech ... mit Karton: 0,2-0,5; Gepäck: 0,1-1,0; Folien: 0,25 - 4,0
Anfangsgeschwindigkeit	v_a	2,5 m/s	Geschwindigkeit am Beginn der Rutsche bei der Ausschleusung
Endgeschwindigkeit	v_e	0,5 m/s	Geschwindigkeit am Ender der Rutsche bei Erreichen des Sammelbereichs
Höhe Anfang (Ausschleusung)	h_{ra}	2500 mm	Höhenniveau am Beginn der Rutsche
Höhe Ende (Sammelbereich)	h_{re}	300 mm	Höhenniveau am Ende der Rutsche
Gewählter Winkel	d_{rg}	35 °	Aufgrund der Berechnung tatsächlich gewählter Neigungswinkel der Rutsche
Länge des Sammelbereichs	l_{rsb}	2000 mm	Sammelbereich dient als Pufferzone bis zur Entnahme des Sortierguts
Höhe gerade Rutsche	h_{gr}	2200 mm	Aufgrund der gewählten Höhenniveaus von Aus- und Einschleusung resultierend
Höhe Berandung	h_b	250 mm	Zur Absturzicherung des Sortierguts beim Ausschleusen auf die Rutsche
Resultierende Endstellen- länge gerade Rutsche	l_{rg}	5770 mm	Näherung aufgrund der Geometrie; zur Bestimmung des gesamten erf. Bauraums

4.e. Endstelle - Wendelrutsche

Endstellenbreite	b_r	1600 mm	
Näherungsberechnung Mindestneigungswinkel	d_{min}	32,6 °	Berechneter Mindestneigungswinkel zur Gewährleistung des Gutabflusses
Reibbeiwert Rutsche/Sortiergut	μ_r	0,5 -	je Stahlblech ... mit Karton: 0,2-0,5; Gepäck: 0,1-1,0; Folien: 0,25 - 4,0
Anfangsgeschwindigkeit	v_a	2,5 m/s	Geschwindigkeit am Beginn der Rutsche bei der Ausschleusung
Endgeschwindigkeit	v_e	0,5 m/s	Geschwindigkeit am Ender der Rutsche bei Erreichen des Sammelbereichs
Höhe Anfang (Ausschleusung)	h_{ra}	2500 mm	Höhenniveau am Beginn der Rutsche
Höhe Ende (Sammelbereich)	h_{re}	300 mm	Höhenniveau am Ende der Rutsche
Gewählter Winkel	d_{wr}	35 °	Aufgrund der Berechnung tatsächlich gewählter Neigungswinkel der Rutsche
Länge des Sammelbereichs	l_{rsb}	2500 mm	Sammelbereich dient als Pufferzone bis zur Entnahme des Sortierguts
Höhe Wendelrutsche	h_{wr}	2200 mm	Aufgrund der gewählten Höhenniveaus von Aus- und Einschleusung resultierend
Höhe Berandung	h_b	250 mm	Zur Absturzicherung des Sortierguts beim Ausschleusen auf die Rutsche
Resultierende Endstellen- länge Wendelrutsche	l_{rw}	4900 mm	Näherung aufgrund der Geometrie; zur Bestimmung des gesamten erf. Bauraums

zurück
zum Skelett

weiter
zum Verteilförderer

Abbildung 60: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Ein- und Ausschleusungen“

7.8 Konfiguration Verteilförderer

7.8.1 Auswahl der Schalenbauform

Auswahlmöglichkeit zwischen gerader oder gebogener Schalenform über ein Drop-Down-Menü.

7.8.2 Parameter Schale

Wie bereits bei den Baugruppen der Ein- und Ausschleusungen wird auch hier mit einem Auslegungsvorschlag mittels Proportionalfaktor gearbeitet, der das Verhältnis zwischen den Abmessungen des größtmöglichen Sortierguts zur Schale bei einschaliger Belegung darstellt. Die vorgeschlagenen Werte stellen wiederum gemäß dem Faktor ein sinnvolles Verhältnis der Bauteilproportionen zu einander sicher. Die gewünschten, zweckmäßigen und gerundeten Werte können dann vom Anwender des Tools selbst bestimmt werden.

Daher gilt hier für die empfohlene Schalenlänge:

$$l_{s:PF} = PF_s \cdot l_1 \quad (\text{bereits in der Vorauslegung festgelegt}) \quad \rightarrow l_s \text{ auswählen}$$

sowie für die Schalenbreite:

$$b_{s:PF} = PF_s \cdot b \quad \rightarrow b_s \text{ auswählen}$$

Nach der Dimensionierung der Schalenabmessungen müssen die Schalenanzahl und die Schalenteilung bezogen auf die bereits ermittelte Gesamtstreckenlänge ermittelt werden:

Wie in der Vorauslegung bereits festgelegt, berechnet sich die theoretische Schalenteilung mittels der Schalenlänge und des gewählten Schalenabstands mit:

$$s_{t1} = l_s + a_s$$

Die theoretische exakte Schalenanzahl kann nun berechnet werden mit:

$$s_{a1} = \frac{l_{str}}{s_{t1}}$$

Da s_{a1} keinen ganzzahligen Wert ergibt, muss auf einen geraden Zahlenwert gerundet werden, die tatsächliche Schalenanzahl ergibt sich nun zu:

$$s_{a2} = \text{Runden}(s_{a1})$$

Zurückgerechnet ergibt dies tatsächliche Schalenteilung:

$$s_{t2} = \frac{l_{str}}{s_{a2}}$$

7.8.3 Geometrie Schale

Bemaßung der Geometrie der ausgewählten Schalenbauform (Radien, Fasen, Dicke).

7.8.4 Parameter Verteilförderer

Bei der Festlegung der Spurweite des Verteilförderers muss aus geometrischen Gründen folgende Restriktion beachtet werden:

$$w_{VF} \leq b_s - d_f - 2 \cdot s_{Sch}$$

Der Hintergrund dieser Restriktion liegt darin, dass die Spurweite der Schienen sich automatisch an die Bemaßung des Laufwagens anpasst. Um die Baugruppen zum Ein- und Ausschleusen des Sortierguts richtig positionieren zu können, darf die Spurweite der Schienen die Breite der Schale nicht übersteigen.

5. Konfiguration Verteilförderer

Schalenbauform

gerade Schale

Parameter Schale	Kürzel	Wert	Einheit	Restr. min	Kommentar/Abbildung
P-Faktor Sortiergut/Schalenabmessungen	PFs	1,5			Proportionalitätsfaktor zwischen den Abmessungen des Sortierguts und den Abmessungen der Schale
Schalengänge aufgrund Faktor	ls,PF	600	mm		Berechnungsvorschlag aufgrund des Faktors
Schalengänge gewählt	ls	600	mm		Tatsächlich gewählte Länge der Schale
Schalengänge aufgrund Faktor	bs,PF	450	mm		Berechnungsvorschlag aufgrund des Faktors
Schalengänge gewählt	bs	450	mm		Tatsächlich gewählte Breite der Schale
Abstand zwischen den Schalen	as	55	mm	50	Wegen Kollisionsgefahr der Schalen bei Kurvenfahrten
Schalenteilung Vorauslegung	st1	655	mm		Näherungsberechnung aus Schalengänge und Schalengänge Daraus exakte berechnete resultierende theoretische Anzahl von Schalen
Schalengänge theoretisch (exakt)	sa1	430,18	Stk.		
Schalengänge tatsächlich (gerundet)	sa2	430	Stk.		Gerundet auf einen geraden Wert Daraus resultierender tatsächliche Teilung der Schalen in der Konstruktion
Schalenteilung	st2	655,28	mm		

Geometrie gerade Schale

Kürzel	Wert	Einheit	Restr.	
Schalendicke	ds	15	mm	Richtwert 10 -20 mm
Fasengänge Stirnseite	f1	150	mm	
Fasengänge Querseite	f2	50	mm	

Geometrie gebogene Schale

Kürzel	Wert	Einheit	Restr.	
Schalendicke	ds	15	mm	Richtwert 10 -20 mm
Radius Stirnseite	rs	800	mm	

Parameter Verteilförderer

Kürzel	Wert	Einheit	Restr. max	Kommentar/Abbildung	
Spurweite Fahrwagen des Verteilförderers	wvf	350	mm	390	Abstand zwischen den Laufrollen bzw. den Achsen der Führungsrollen
Durchmesser Laufrolle	dl	75	mm		Richtwert 50 - 100 mm
Durchmesser Führungsrolle	dr	50	mm		Richtwert 40-80 mm

zurück
zu den Ein- und Ausschleusungen

weiter
zum Antrieb

Abbildung 61: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Verteilförderer“

7.9 Konfiguration Antrieb

7.9.1 Berechnung der erforderlichen Antriebsleistung

Die erforderliche Antriebskraft pro Fahrwagen bei konstanter Geschwindigkeit berechnet sich mit:⁵⁵

$$F_F = m \cdot g \cdot \left[\frac{2}{d_l} \cdot \left(\mu \cdot \frac{d}{2} + f \right) + c \right]$$

Die beim Anfahren des Verteilförderers notwendige Beschleunigungskraft ergibt sich aus:

$$F_B = m \cdot a$$

Aufsummiert und mit einem Sicherheitsfaktor von 20 % ergibt sich die Vorschubkraft je Fahrwagen:

$$F_V = 1,2 \cdot (F_F + F_B)$$

Und die Gesamtvorschubkraft des Verteilförderers der Gesamtanlage:

$$F_{Ges} = F_V \cdot s_{a2}$$

7.9.2 Auswahl Baugruppenart

Eine Übersicht über die verfügbaren Antriebe (auswählbar mittels Drop-Down-Menü in Excel) und den entsprechenden Antriebskräften gibt die folgende Tabelle:

Benennung Baugruppe	Benennung Hersteller und Modell	Antriebskraft je Antriebseinheit [N]	Quelle
Linearmotor Typ1	SEW Eurodrive DLD 200-7	185	56
Linearmotor Typ2	SEW Eurodrive DLD 400-6	280	
Linearmotor Typ3	SEW Eurodrive DLD 401-6	350	
Reibradantrieb Typ1	BEUMER OptiDrive® BS 7	300	57
Reibradantrieb Typ2	BEUMER OptiDrive® BS 25/BS 55	600	

Tabelle 7: Verfügbare Antriebseinheiten

7.9.3 Parameter Baugruppentypen

Nach der Auswahl des Antriebes kann aufgrund der Kenntnis der erforderlichen Antriebskraft und der Herstellerangabe über die Antriebskraft die erforderliche Anzahl der Antriebe berechnet werden:

$$n_{AE} = \frac{F_{Ges}}{F_{AE}}$$

7.9.4 Aufteilung Antriebseinheitenmuster

Die Verteilung der Antriebseinheiten erfolgt aus geometrischen Gründen möglichst gleichmäßig auf die geraden Streckenabschnitte. Diese werden aus diesem Grund in einem ersten Schritt aufsummiert:

$$l_{str_g} = l_a + l_b + l_c + l_d$$

Die Anzahl der Antriebseinheiten für den Abschnitt A orientiert am Anteil der Länge der Geradstücke von A an der Gesamtstrecke:

$$n_{AEa} = \underbrace{\frac{l_a}{l_{str_g}}}_{\text{Anteil Strecke A an Gesamtstrecke}} \cdot n_{AE}$$

Analog dazu für die Anschnitte B und C:

$$n_{AEb} = \frac{l_b}{l_{str_g}} \cdot n_{AE} \quad \text{und} \quad n_{AEC} = \frac{l_c}{l_{str_g}} \cdot n_{AE}$$

Sowie für D:

$$n_{AEd} = n_{AE} - n_{AEa} - n_{AEb} - n_{AEd}$$

⁵⁵ vgl. [SEW09] S.10f

⁵⁶ vgl. [SEW09] S.25

⁵⁷ vgl. [Beu14] S.2

6. Konfiguration Antrieb

Parameter

Antriebsberechnung

Parameter	Kürzel	Wert	Einheit	Kommentar/Abbildung
Gesamtgewicht				Aufsummierte Massen von Fahrwagen + Sortiergut je Streckenmeter
Kippschalensortereinheit	m	80	kg	
Hebelarm der "rollenden Reibung"	f	0,3	mm	Richtwert: 0,3-0,5 mm bei Radlast von ca. 400 N
Laufreddurchmesser	d _l	75	mm	Richtwert: 50 -100 mm
Lagerreibbeiwert	μ _s	0,003	-	Richtwert Wälzlager: 0,001 - 0,003
Lagerzapfendurchmesser	d	25	mm	Richtwert: 20 - 40 mm
Spurkranz- und Seitenreibungsbeiwert	c	0,001	-	Richtwert Rollreibung (Eisenrad auf Schiene): 0,001 - 0,002
Kraft bei konstanter Fahrt	F _F	7,85	N	Erforderliche Zugkraft je Fahrwagen bei konstanter Geschwindigkeit des Verteilförderers
Beschleunigung beim Anfahren	a _{an}	0,1	m/s ²	max. Beschleunigung beim Anfahren der Anlage aus dem Stillstand
Beschleunigungskraft	F _A	8	N	Berücksichtigung des Beschleunigungswiderstands aufgrund der Massenträgheit
Maximale erf. Vorschubkraft je Fahrwagen	F _V	19,02	N	Erforderliche Zugkraft je Fahrwagen (Berechnung nach SEW-Eurodrive)
Maximale erf. Vorschubkraft Verteilförderer	F _{Ges}	8178,6	N	Zugkraft gesamt aufsummiert über alle Fahrwagen

Baugruppenart wählen

Linearmotor Typ 2

Parameterbezeichnung

Baugruppentype

Parameterbezeichnung	Kürzel	Wert	Einheit
Antriebskraft je Antriebseinheit	F _{AE}	280	N
erforderliche Anzahl Antriebseinheiten	n _{AE}	30	Stk.
durchschnittl. Streckenlänge je Antriebseinheit	l _{AE}	9393	mm

Aufteilung

Antriebseinheitenmuster

Parameterbezeichnung	Kürzel	Wert	Einheit
Streckenlänge des Abschnitts A	l _a	18630	mm
Streckenlänge des Abschnitts B	l _b	109686,78	mm
Streckenlänge des Abschnitts C	l _c	18632	mm
Streckenlänge des Abschnitts D	l _d	109686,78	mm
Gesamtlänge der Geradstücke	l _{str_g}	256635,56	mm
Anzahl Antriebseinheiten Abschnitt A	n _{AEa}	2	Stk.
Anzahl Antriebseinheiten Abschnitt B	n _{AEb}	13	Stk.
Anzahl Antriebseinheiten Abschnitt C	n _{AEc}	2	Stk.
Anzahl Antriebseinheiten Abschnitt D	n _{AEd}	13	Stk.

zurück
zum Verteilförderer

weiter
zum Gestell

Abbildung 62: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Antrieb“

7.10 Konfiguration Schienen und Gestelle

7.10.1 Konfiguration Parameter Schiene

Die als Schiene verwendeten U-Profile müssen in diesem Auslegungsabschnitt bemaßt werden, wobei man sich hierbei an den Restriktionen aufgrund der bereits ausgewählten Dimensionen der Lauf- und Führungsrollen orientieren muss. Als Restriktionen gelten:

$$B_{Sch} \geq \frac{d_f}{2} + 15 \quad \text{und} \quad H_{Sch} \geq \frac{d_l}{2} + 15$$

7.10.2 Konfiguration Parameter Gestell

Als Hilfestellung bei der Auswahl der Anzahl der Gestellelemente wird das maximal zulässige Biegemoment der Schienen mit bekanntem Querschnitt betrachtet und über den Zusammenhang $\sigma_b = \frac{M_b}{W_x}$ eine empfohlener Gestellabstand errechnet. Dabei wird vereinfacht die Belastung der Schiene als Streckenlast angenommen, wobei zur Abschätzung der Streckenlast q die Massen von Schienen, Fahrwagen und Sortiergut je Streckenmeter aufsummiert werden.

Das Widerstandsmoment eines U-Profils berechnet man mittels:⁵⁸

$$W_x = 2 \cdot \left[\frac{B_{Sch} \cdot H_{Sch}^3 - (B_{Sch} \cdot s_{Sch}) \cdot (H_{Sch} - 2 \cdot s_{Sch})^3}{6 \cdot H_{Sch}} \right]$$

Die Herleitung des Biegemoments über die Schnittgrößen des Trägers auf zwei Stützen:

$$M_b = -q \cdot x \cdot \frac{x}{2} + F_A \cdot x$$

mit $F_A = F_B = \frac{q \cdot l_g}{2}$ aus den Gleichgewichtsbedingungen resultiert:

$$M_b = \frac{q \cdot l_g^2}{8}$$

daher gilt: $\sigma_b \cdot W_x = \frac{q \cdot l_g^2}{8}$

und kann umgeformt werden zum empfohlenen Abstand zwischen zwei Gestelleinheiten:

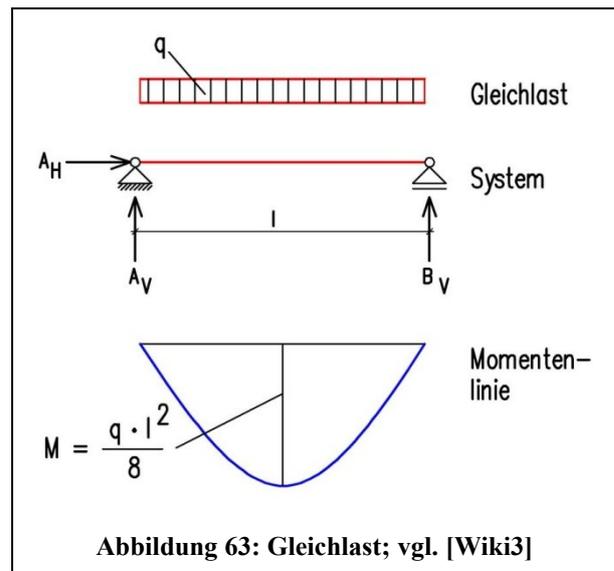
$$l_{g_empf} = \sqrt{\frac{8 \cdot \sigma_{bmax} \cdot W_x}{q}}$$

Somit kann die theoretische exakte Anzahl der Gestelle berechnet werden:

welche auf einen geraden Wert gerundet werden muss:

und daher einen tatsächlich realisierten Abstand der Gestelle ergibt mit:

Die Breite der Gestelle berechnet sich mit:



→ l_{g1} auswählen

$$n_{g1} = \frac{l_{str}}{l_{g1}}$$

$$n_{g2} = \text{Runden}(n_{g1})$$

$$l_{g2} = \frac{l_{str}}{n_{g2}}$$

$$b_g = w_{VF} + d_f + 2 \cdot s_{Sch}$$

⁵⁸ vgl. [Bei01] S.C37

7. Konfiguration Schienensystem und Gestelle

Parameter Schienen	Kürzel	Wert	Einheit	Restr.	Kommentar/Abbildung
Querlast pro Laufmeter	q	150	kg/m		Aufsummierte Massen von Fahrwagen + Schienen + Laufwagen + Antriebe je Streckenmeter Aus der Biegefestigkeit des gewählten Materials mit Berücksichtigung der gewünschten Sicherheit
max. zulässige Biegespannung in der Schiene	σ_{zul}	20	N/mm ²		
Breite Schiene U-Profil	B _{Sch}	55	mm	45	Breite des Querschnitts des U-Profils, siehe Skizze
Höhe Schiene U-Profil	H _{Sch}	80	mm	75	Höhe des Querschnitts des U-Profils, siehe Skizze
Materialdicke Schiene	s _{Sch}	5	mm		Materialdicke des Querschnitts des U-Profils, siehe Skizze

Parameter Gestell	Kürzel	Wert	Einheit	Restr. min	Kommentar/Abbildung
Widerstandsmoment des Schienenpaares	W _b	45875	mm ³		Widerstandsmoment berechnet nach der Formel Aufgrund von Biegespannung und Widerstandsmoment empfohlener Abstand zweier Gestelle
Empfohlener Abstand des Gestells	l _{g_empf}	2233	mm		
Gewählter Abstand des Gestells	l _{g1}	2140	mm		Tatsächlich gewählter Abstand
Anzahl Gestelle theoretisch	n _{g1}	80,36	Stk.		Daraus exakte berechnete resultierende theoretische Anzahl von Gestellen
Anzahl Gestelle tatsächlich	n _{g2}	80	Stk.		Gerundet auf einen geraden Wert
Tatsächlich realisierter Abstand	l _{g2}	2149,64	mm		Daraus resultierender tatsächlicher Abstand der Gestelle in der Konstruktion
Breite Gestell	b _g	470	mm		

zurück
zum Antrieb

weiter
zur Auswahlübersicht

Abbildung 64: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Schienen und Gestelle“

7.11 Auswahlübersicht und Start

Bevor die ausgewählte Konfiguration gestartet und eine Stückliste erstellt werden kann, gibt eine Übersicht noch Auskunft über die gewählten Baugruppen, den Bauraum, Antriebsleistung und Energieverbrauch sowie die maximal erzielbare Sortierleistung.

7.11.1 Baugruppenanzahlen

Anzahl Fahrwagen	$= s_{a2}$
Anzahl Endstellen	$= \Sigma(\textit{gerade Rutsche} + \textit{Wendelrutsche})$
Anzahl Einschleusungen	$= \Sigma(\textit{Flachriemen Einschleusung} + \textit{Schräggurt Einschleusung})$
Anzahl Gestelle	$= n_{g2}$
Anzahl Antriebseinheiten	$= n_{AE}$
Laufmeter Führungsschiene	$= 2 \cdot l_{str}$

7.11.2 Bauraum

Gesamtlänge Streckenführung	$= l_{str}$
Gesamtlänge Anlage	$= l_{ges} + l_{bga} + l_{bgc}$
Gesamtbreite Anlage	$= b_{ges} + l_{bgb} + l_{bgd}$
Gesamthöhe Anlage	$= h_a + h$

7.11.3 Antriebsleistung und Energieverbrauch

Antriebsleistung Verteilförderer	$= P = F \cdot v = F_{Ges} \cdot v_s$
Energieverbrauch stündlich	$= P \cdot 1h$
Energieverbrauch täglich	$= P \cdot 24h$

7.11.4 Anlagenkennwerte

Sortierleistung stündlich	$= \lambda_{\max} = \frac{v_s \cdot 3600}{st_1}$
Sortierleistung täglich	$= 24 \cdot \lambda_{\max}$
Umlaufdauer Verteilförderer	$= \frac{l_{str}}{v_s}$

8. Auswahlübersicht & Start

Kategorie	Wert	Einheit
verbaute Baugruppen		
Anzahl Fahrwagen	208	Stk.
Anzahl Endstellen	29	Stk.
Anzahl Einschleusungen	4	Stk.
Anzahl Gestelle	80	Stk.
Anzahl Antriebseinheiten	15	Stk.
Laufmeter Führungsschiene	343,9	m
Bauraum		
Gesamtlänge der Streckenführung	172	m
Gesamtlänge der Anlage	80,5	m
Gesamtbreite der Anlage	27,7	m
Gesamthöhe der Anlage	2,9	m
Antrieb		
Antriebsleistung Verteilförderer	10998	W
Energieverbrauch Verteilförderer stündlich	11	kWh
Energieverbrauch Verteilförderer täglich	264	kWh
Anlagenkennwerte		
Sortierleistung stündlich	10885	Stk.
Sortierleistung täglich	261240	Stk.
Umlaufdauer Verteilförderer	68,8	s

zurück
zum Gestell

Konfiguration
speichern unter

Creo Modell starten

weiter
zum Analyse-Tool

zurück
zum Start

Konfiguration
drucken

Stückliste öffnen

weiter
zu den Abbildungen

Abbildung 65: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Ergebnis“

7.12 Analysetool – Baugruppenparameter

Das Analysetool bietet die Möglichkeit, nach Beendigung der Auslegung Erkenntnisse über die gewählte Konfiguration zu gewinnen. Dies wird in Creo mittels Verwendung von Analyse-KEs realisiert, wodurch geometrische Parameter (z.B. Längen, Flächen, Volumen) bestimmt und mittels X2Creo zurück in Excel ausgelesen werden können. Diese Daten können zum Nutzen des Anwenders weiterverarbeitet und aufbereitet werden.

Exemplarisch wurden für das Analyse-Tool drei Beispiele realisiert, anhand derer vom Materialverbrauch einzelner Baugruppen z.B. auf die Materialkosten näherungsweise rückgerechnet werden kann. Somit können per Knopfdruck innerhalb kürzester Zeit absolute Zahlen und kalkulatorische Vergleichswerte bezüglich der Kosten verschiedener Konfigurationen ermittelt werden.

7.12.1 Bsp.1: Blechverbrauch Endstellen

Die Gesamtfläche der Rutschen berechnet sich aus den Einzelflächen und Anzahl der Endstellen:

$$A_{RGes} = A_{GR} \cdot \Sigma(\text{gerade Rutschen}) + A_{WR} \cdot \Sigma(\text{Wendelrutschen})$$

Mit Hilfe des flächenmäßigen Blechverbrauchs können nun die Materialkosten berechnet werden:

$$\text{Materialkosten Blech Endstellen} = \frac{A_{RGes} \cdot s_{Blech}}{10^3} \cdot \rho_{Blech} \cdot \frac{K_{Blech}}{10^3} \cdot \left(1 + \frac{w_{Blech}}{100}\right)$$

7.12.2 Bsp.2.: Gurte Einschleusungen

Die Gurt-Flächen der jeweiligen Einschleusungen ergeben sich durch aufsummieren der jeweiligen in Creo ermittelten Gurtflächen zu:

$$A_{FGes} = A_{FTB} + A_{FBB} + A_{FUE}$$

$$A_{SGes} = A_{STB} + A_{SBB} + A_{SG}$$

Die Gesamtfläche aller Gurte berechnet sich nun aus den Einzelergebnissen für Flachriemen- und Schräggurteinschleusung bzw. die Anzahl der jeweils gewählten Einschleusungen:

$$A_{EGes} = A_{FGes} \cdot \Sigma(\text{Flachriemeneinschleusungen}) + A_{SGes} \cdot \Sigma(\text{Schräggurteinschleusungen})$$

Die Materialkosten ergeben sich nun mit:

$$\text{Materialkosten Band} = K_{Band} \cdot A_{EGes} \cdot \left(1 + \frac{w_{Band}}{100}\right)$$

7.12.3 Bsp.3.: Länge Führungsschienen

Die Gesamtschienenlänge ergibt sich aus der Summe der Längen der inneren und äußeren Schiene:

$$L_S = L_{Si} + L_{Sa} = L_S$$

Daraus ergibt sich für die Materialkosten:

$$\text{Materialkosten Schiene} = K_{Profil} \cdot L_S \cdot \left(1 + \frac{w_{Profil}}{100}\right)$$

9. Bauteilanalyse - ausgewählte Parameter

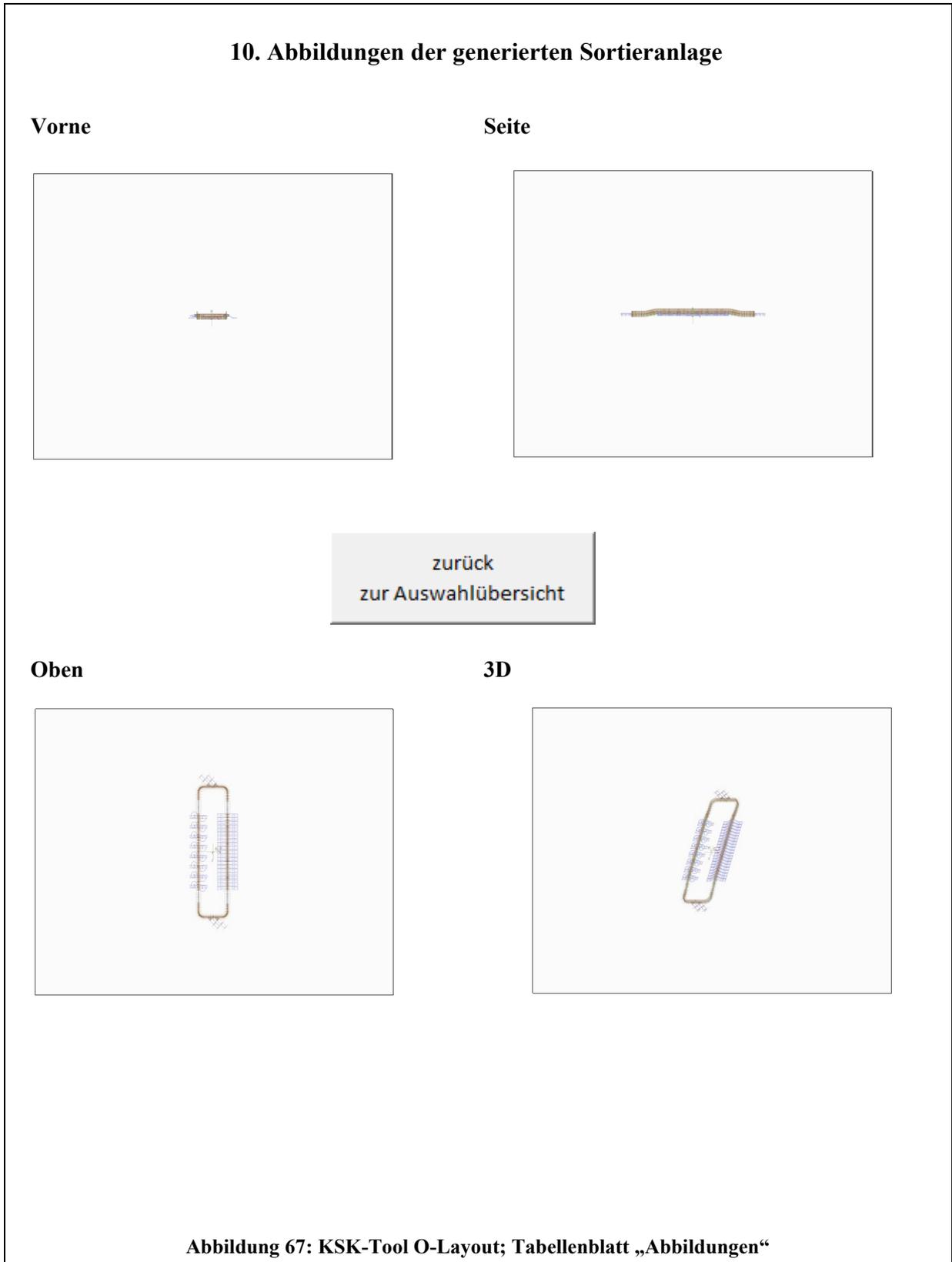
Parameter- bezeichnung	Kürzel	Wert	Einheit	Anzahl		Wert		Kosten		
				BG	Einheit	gesamt	Einheit	Einheit	Einheit	
Beispiel 1: Blechverbrauch Endstellen										
gerade Rutsche, je Stk.	A _{GR}	12,87	m ²	·	42	Stk.	=	540,54	m ²	
Wendelrutsche, je Stk.	A _{WR}	22,6	m ²	·	16	Stk.	=	361,6	m ²	
Blechverbrauch gesamt	A _{Rges}						=	902,14	m ²	△ 50759 €
Materialkosten je Tonne	K _{Blech}	2350	€/to							
Materialdicke	S _{Blech}	2,5	mm							
Dichte des Materials	ρ _{Blech}	7850	kg/m ³							
Ausschuss/Verschnitt Blech	W _{Blech}	22	%							
Beispiel 2: Gurt Einschleusungen										
Gurtfläche Flachriemen- Einschleusung										
Taktband	A _{FTB}	10,13	m ²							
Beschleunigungsband	A _{FBB}	10,13	m ²							
Übergabebänder Flachriemeneinschleusung gesamt, je Stk.	A _{Fges}	4,22	m ²	·	4	Stk.	=	97,92	m ²	
Gurtfläche Schräggurt- Einschleusung										
Taktband	A _{STB}	8,52	m ²							
Beschleunigungsband	A _{SBB}	8,52	m ²							
Schräggurt Schräggurteinschleusung gesamt, je Stk.	A _{Sges}	10,73	m ²	·	0	Stk.	=	0	m ²	
Gurtfläche gesamt	A _{Eges}						=	97,92	m ²	△ 13513 €
Breite Einschleusung	b _e	1600	mm							
Materialkosten je Meter bei gewählter Breite	K _{Band}	120	€/m							
Ausschuss/Verschnitt Band	W _{Band}	15	%							
Beispiel 3: Länge Führungsschienen										
Führungsschiene innen	L _{Si}	170,49	m			1	Stk.			
Führungsschiene außen	L _{Sa}	173,45	m							1
Führungsschienen gesamt	L _S						=	343,94	m	△ 3157 €
Materialkosten je Laufmeter	K _{Profil}	8,5	€/m							
Ausschuss/Verschnitt Schiene	W _{Profil}	8	%							

zurück
zur Auswahl-Übersicht

Abbildung 66: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Analyse“

7.13 Abbildungen der erstellten Konfiguration

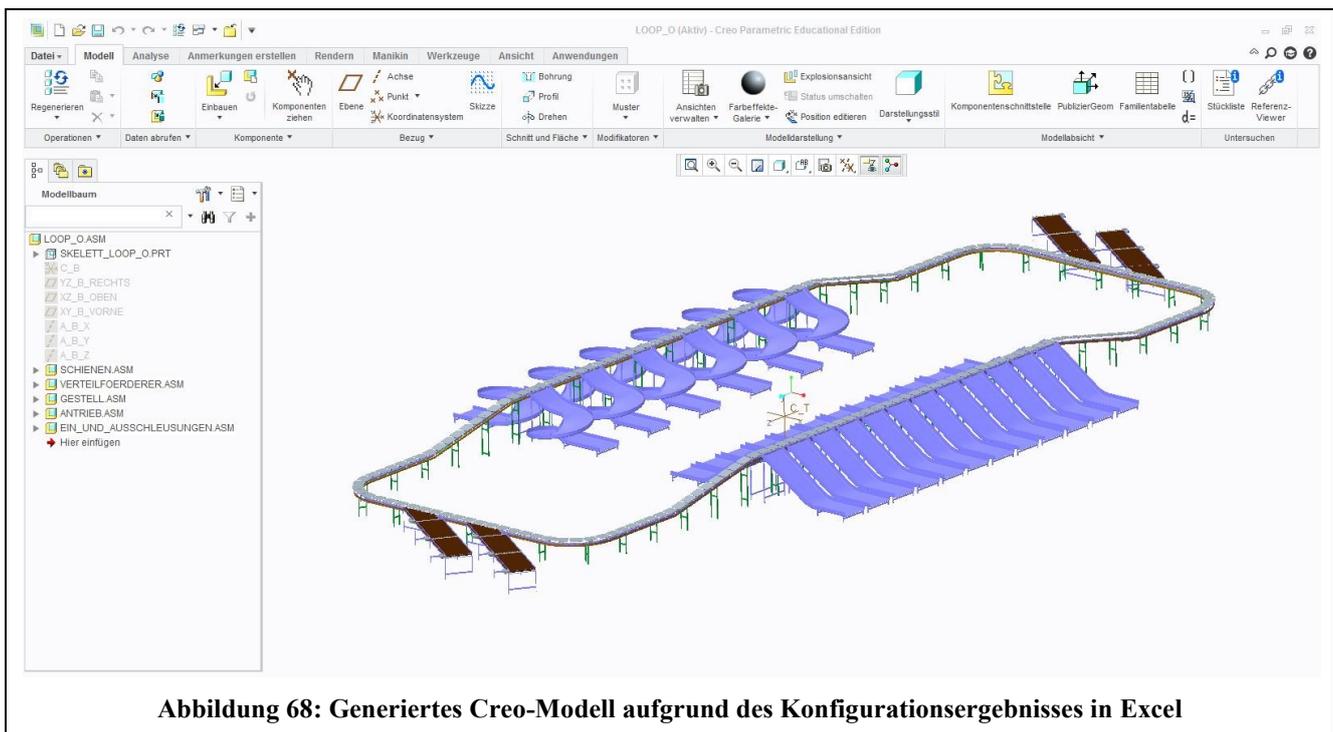
Abbildungen von Grund-, Auf-, Kreuz- und Schrägriss der Gesamtanlage werden mittels X2Creo erstellt und in Excel dargestellt:



7.14 Resultierendes CAD-Modell des O-Layouts

Im Sinne des Knowledge-based Engineerings ist eines der elementaren Ergebnisse der Auslegung mit Hilfe eines definierten wissensbasierten Prozesses das automatisch generierte resultierende CAD-Modell des gewünschten Kippschalensorters. Nach Abschluss der Konfigurationsschritte wird über die Schnittstelle X2Creo das CAD-Programm PTC Creo 1.0 geöffnet und der in Excel erstellte Programmablauf abgearbeitet. Dabei werden gemäß erstelltem Programm der Reihe nach das entsprechende Layout-Modell und alle enthalten Baugruppen und Bauteile aufgerufen, es werden alle Parameter übergeben und die Komponenten werden in Creo regeneriert und dargestellt.

Abbildung 68 zeigt exemplarisch für das O-Layout einen Screenshot von Creo mit dem resultierenden Anlagendesign nach Beendigung des Programmdurchlaufs von X2Creo:



Mit diesem CAD-Modell der Gesamtanlage können nun sämtliche Funktionen der CAD-Software genutzt werden. So können beispielsweise die Bauteile/Baugruppen einzeln geändert sowie Komponenten nachträglich bearbeitet oder manuell erweitert werden, die Einstellungen geändert, Messwerte ermittelt oder 2D-Ableitungen erstellt werden usw.

Weiters dient das Modell auch zur Generierung von Daten für den Anwender. Wie bereits im Kapitel 7.12 „Analysetool-Baugruppenparameter“ beschrieben, werden mittels Analyse-KEs Geometrie-Parameter berechnet und zurück nach Excel übergeben, deren Ermittlung bereits während des Auslegungsprozesses in Excel nur durch komplexe bzw. aufwendige Berechnungen bewerkstelligt werden könnte.

7.15 Stückliste

Zusätzlich zum CAD-Modell wird in Creo automatisch eine Stückliste generiert und als .pdf-Datei abgespeichert. Diese Stückliste enthält folgende Informationen (siehe auch Abbildung 69):

1. Laufende Nummerierung: Taxative Aufzählung und Nummerierung aller Anlagenkomponenten
2. Menge: Gesamte verbaute Stückzahl je Bauteil
3. Einheit: Stückzahl
4. Benennung: Bauteilbenennung aus Creo
5. Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung/Lieferant
6. Werkstoffnummer/Material
7. Masse in kg: Dynamische Berechnung aufgrund des Volumens der Bauteile (Ermittlung mittels Analyse-KE) bzw. der Dichte der gewählten Werkstoffe.
8. Bemerkung: Enthält die gleichen Flächen- bzw. Längenangaben zum Materialverbrauch ausgewählter Bauteile wie sie auch im Analyse-Tool behandelt werden (Blechverbrauch Rutsche, Gurtfläche Einschleusung, Länge U-Profile Führungsschienen).

Mengenübersichtsstückliste (DIN 8771-A; DIN 199 T2) / alle Teile aller Baugruppenebenen / keine Baugruppen							
1	2	3	4	5	6	7	8
Lfd. Nr.	Menge	Einheit	Benennung (Kategorie/Dateiname)	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung/Lieferant	Werkstoffnummer/Material	Masse in kg	Bemerkung
1	208	Stk	FAHRWAGEN	-	1.0060; E335	13,937	-
2	416	Stk	LAUFROLLENBOLZEN	-	1.0718; 9SMnPb28	0,041	-
3	208	Stk	REIBRADANTRIEB_REIBLEISTE	-	1.4122; X39CrMo17-1	4,302	-
4	208	Stk	SCHALE_GERADE	-	Holz, lackiert	5,020	-
5	15	Stk	REIBRADANTRIEB	BEUMER OptiDrive® BS	-	64,000	-
6	208	Stk	KIPPMOTOR	EC-Motor - VarioDrive C M3G084-GF08-81, 230V, IP 55, Fa. EBM-Pabst	-	6,800	-
7	42	Stk	RUTSCHE	EN 10130 / EN 10131	1.0330; DC 01 kaltgewalzt	250,193	Flächeinhalt Blech: 13 m ²
8	416	Stk	SCHALENTRAEGERKULISSE	EN AB-46000	226D; AlSi9Cu3(Fe)	0,220	-
9	4	Stk	BESCHLEUNIGUNGSBAND	Fa. Ambelt®	2-lagiges Polyestergerewebe; PVC-beschichtet, glatt, schwarz	23,259	Flächeinhalt Gurt: 101127 cm ²
10	4	Stk	TAKTBAND	Fa. Ambelt®	2-lagiges Polyestergerewebe; PVC-beschichtet, glatt, schwarz	23,259	Flächeinhalt Gurt: 101127 cm ²
11	4	Stk	UEBERGABEBAND1	Fa. Ambelt®	2-lagiges Polyestergerewebe; PVC-beschichtet, glatt, schwarz	0,581	Flächeinhalt Gurt: 2525 cm ²

Abbildung 69: Auszug einer generierten Stückliste

Eine vollständige Stückliste eines Konfigurationsbeispiels (O-Layout) befindet sich im Anhang.

7.16 Konfigurationsergebnisse der Layoutvorlagen

Wie bereits eingangs dargelegt, kann der entwickelte Ansatz zum Planungsablauf für die Auslegung und Konfiguration von Sortieranlagen, wie er hier anhand des O-Layouts dargestellt wurde, sinngemäß auf beliebige Varianten von Streckenführungen übertragen werden. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden insgesamt drei verschiedene Varianten realisiert.

Im folgenden Abschnitt werden nun Konfigurationsbeispiele des O-, L- und U-Layouts vorgestellt, wie sie mit Hilfe des KSK-Tools anhand der in diesem Kapitel behandelten Auslegungssystematik erstellt wurden.

Die angeführten Daten sollen eine exemplarische Übersicht über die interessantesten Informationen geben, wie z.B. wichtige ausgewählte Hauptparameter, die Anzahl der verbauten Baugruppen, den Bauraum, berechnete Anlagenparameter und die Ergebnisse aus dem Analyse-Tool zur Bauteilanalyse.

7.16.1 Anwendungsbeispiel O-Layout

Paketabmessungen maximal	$l_1 \times b \times h$	500 x 400 x 350	mm
Sortiergeschwindigkeit	v_s	2,5	m/s
Anzahl Fahrwagen	n_{FW}	175	Stk.
Anzahl Endstellen	n_R	36	Stk.
Anzahl Einschleusungen	n_E	4	Stk.
Anzahl Gestelle	n_G	54	Stk.
Anzahl Antriebseinheiten	n_{AE}	18	Stk.
Laufmeter Führungsschiene	l_s	267,3	m
Gesamtlänge der Streckenführung	l_{str}	133,7	m
Gesamtlänge der Anlage	l_{ges}	59,8	m
Gesamtbreite der Anlage	b_{ges}	27,1	m
Gesamthöhe der Anlage	h_{ges}	3,1	m
Sortierleistung (techn. Grenzleistung)	λ_{max}	11.785	Stk./h
Antriebsleistung Verteilförderer	P_{VF}	8.322	W
Energieverbrauch Verteilförderer täglich	E_{VF}	199,68	kWh
Umlaufdauer Verteilförderer	T	106,9	s
Blechverbrauch Endstellen	A_{RGes}	580,08	m ²
Materialkosten Blech	K_R	39.166	€
Verbrach Gurtfläche Einschleusungen	A_{EGes}	87,48	m ²
Materialkosten Gurte	K_E	12.072	€
Verbrach U-Profil Führungsschienen	L_S	267,27	m
Materialkosten Führungsschiene	K_S	2.454	€

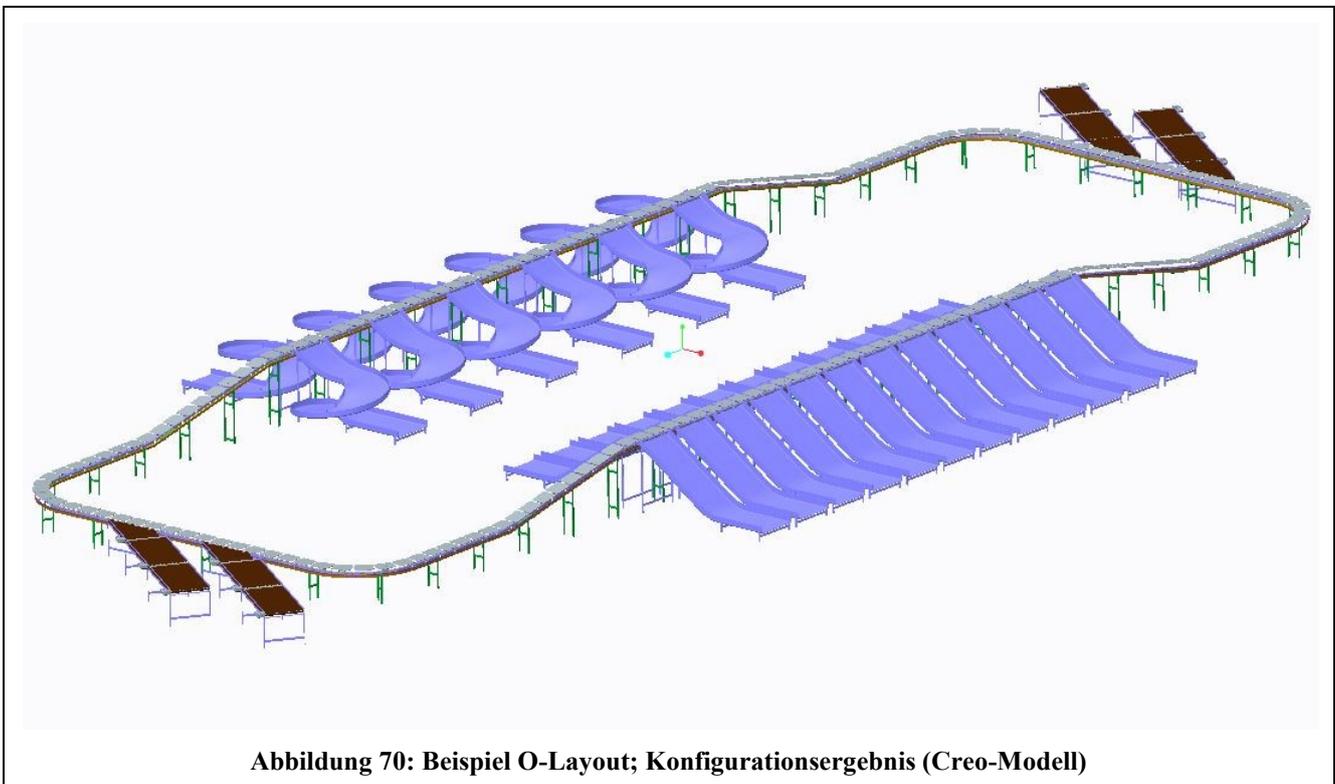


Abbildung 70: Beispiel O-Layout; Konfigurationsergebnis (Creo-Modell)

7.16.2 Anwendungsbeispiel L-Layout

Paketabmessungen maximal	$l_1 \times b \times h$	750 x 600 x 450	mm
Sortiergeschwindigkeit	v_s	1,75	m/s
Anzahl Fahrwagen	n_{FW}	234	Stk.
Anzahl Endstellen	n_R	134	Stk.
Anzahl Einschleusungen	n_E	4	Stk.
Anzahl Gestelle	n_G	113	Stk.
Anzahl Antriebseinheiten	n_{AE}	16	Stk.
Laufmeter Führungsschiene	l_s	564	m
Gesamtlänge der Streckenführung	l_{str}	282,1	m
Gesamtlänge der Anlage	l_{ges}	101,7	m
Gesamtbreite der Anlage	b_{ges}	60,2	m
Gesamthöhe der Anlage	h_{ges}	3,2	m
Sortierleistung (techn. Grenzleistung)	λ_{max}	5.227	Stk./h
Antriebsleistung Verteilförderer	P_{VF}	11.127	W
Energieverbrauch Verteilförderer täglich	E_{VF}	267,12	kWh
Umlaufdauer Verteilförderer	T	161,2	s
Blechverbrauch Endstellen	A_{RGes}	2.018,22	m ²
Materialkosten Blech	K_R	113.552	€
Verbrach Gurtfläche Einschleusungen	A_{EGes}	109,16	m ²
Materialkosten Gurte	K_E	15.064	€
Verbrach U-Profil Führungsschienen	L_S	564,04	m
Materialkosten Führungsschiene	K_S	5.178	€

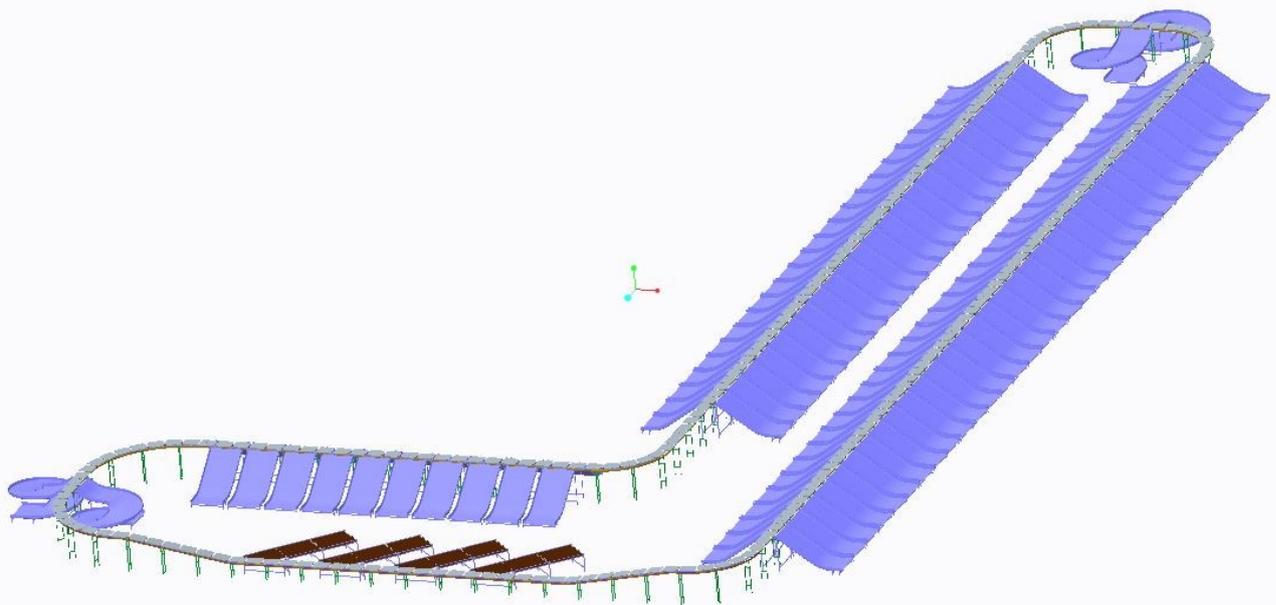
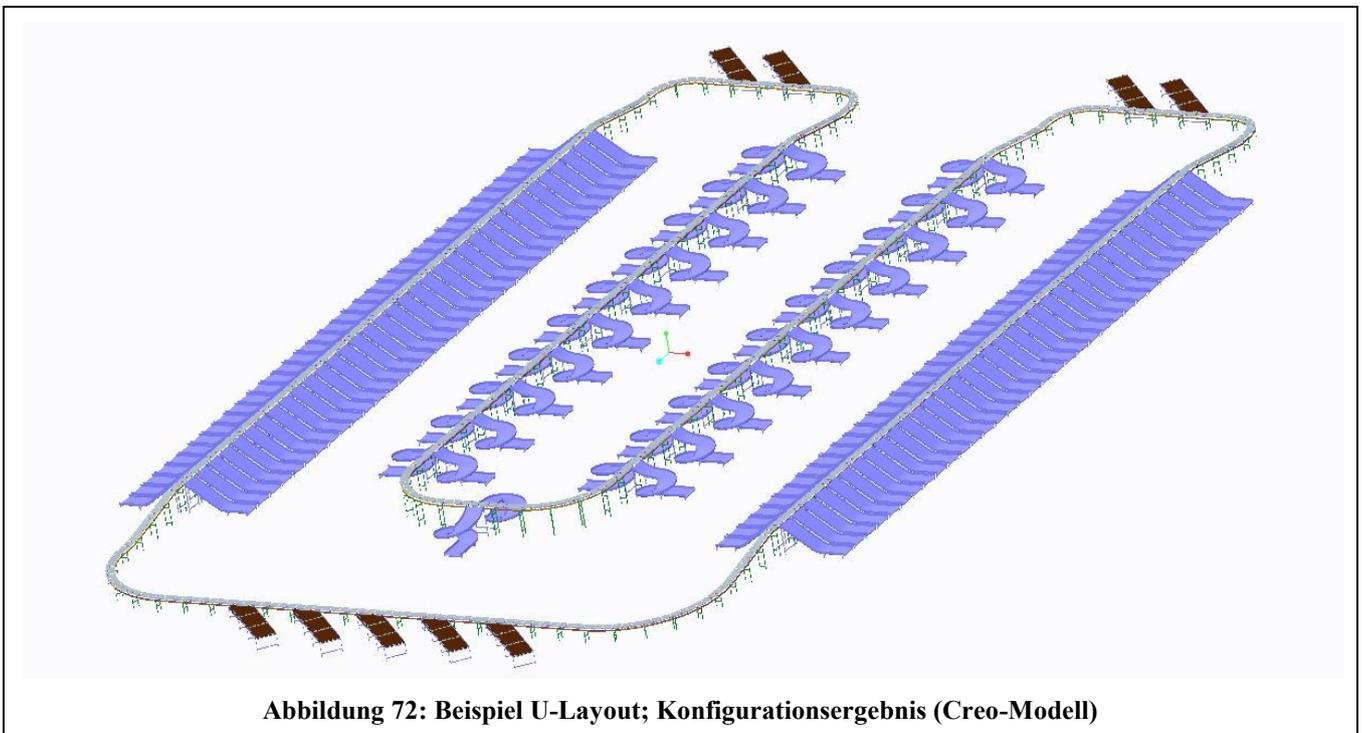


Abbildung 71: Beispiel L-Layout; Konfigurationsergebnis (Creo-Modell)

7.16.3 Anwendungsbeispiel U-Layout

Paketabmessungen maximal	$l_1 \times b \times h$	385 x 325 x 250	mm
Sortiergeschwindigkeit	v_s	3,25	m/s
Anzahl Fahrwagen	n_{FW}	661	Stk.
Anzahl Endstellen	n_R	182	Stk.
Anzahl Einschleusungen	n_E	9	Stk.
Anzahl Gestelle	n_G	170	Stk.
Anzahl Antriebseinheiten	n_{AE}	42	Stk.
Laufmeter Führungsschiene	l_s	849,2	m
Gesamtlänge der Streckenführung	l_{str}	424,7	m
Gesamtlänge der Anlage	l_{ges}	96,7	m
Gesamtbreite der Anlage	b_{ges}	66,6	m
Gesamthöhe der Anlage	h_{ges}	3,0	m
Sortierleistung (techn. Grenzleistung)	λ_{max}	18.213	Stk./h
Antriebsleistung Verteilförderer	P_{VF}	40.860	W
Energieverbrauch Verteilförderer täglich	E_{VF}	980,64	kWh
Umlaufdauer Verteilförderer	T	130,7	s
Blechverbrauch Endstellen	A_{RGes}	2.433,06	m ²
Materialkosten Blech	K_R	136.896	€
Verbrach Gurtfläche Einschleusungen	A_{EGes}	226,89	m ²
Materialkosten Gurte	K_E	31.311	€
Verbrach U-Profil Führungsschienen	L_S	849,23	m
Materialkosten Führungsschiene	K_S	7.796	€



8 Konfiguration einer reellen Anlage mit Hilfe des Kalkulators

8.1 Planungsablauf Kalkulator

Der Kalkulator bietet nun die Möglichkeit, alternativ zu den fix vorgegebenen Layouts die Baugruppen für jede beliebige Streckenführung zu erstellen und in Creo abzubilden. Dafür wird prinzipiell das gleiche Auslegungsprozedere angewendet wie bei der Layoutkonfiguration, mit dem essentiellen Unterschied, dass anstelle der Auslegung und Berechnung eines Skeletts einer Layoutvorlage die gewünschte Streckenführung frei gewählt werden kann. Dies bietet den Vorteil, dass sich nunmehr völlig flexibel jedes vom Anwender konzipierte Anlagendesign berechnen lässt und die dafür benötigten Baugruppen generiert und analysiert werden können, bei dem Nachteil, dass sich mangels Skelettmodell die entsprechende Anordnung der Komponenten mit der gewählten Methode nicht automatisiert realisieren lässt. Daher werden die erstellten Baugruppen im Creo-Modell per Muster räumlich nebeneinander bzw. übereinander angeordnet.

Der User muss daher parallel zur Auslegung mit dem Kalkulator manuelle Auslegungsschritte durchführen, die den notwendigen Input zur Substitution des Skelettmodells der Sortieranlage und allen damit verknüpften automatischen Berechnungen liefern. Diese Schritte gliedern sich wie folgt in:

1. **Layouting Anlage**

Bestimmen des gewünschten Anlagendesigns bezogen auf die Streckenführung (Skizze).

2. **Determination Abschnitte**

Unterteilung der Streckenabschnitte durch Zerlegen des realen Layouts und Klassifizierung dieser Abschnitte in Geraden, Neigungsstücke und Kurven.

3. **Analyse Abschnitte**

Bewertung der notwendigen Parameter der einzelnen Elemente. Die hierfür erforderlichen Baugruppenbreiten (Einschleusungen und Endstellen) können im Kalkulator bereits vor der Schienenkonfiguration vorausgelegt werden.

- Geraden: Stückzahl Schiene, Stückzahl BG und BG-Art auf Schiene, Schienenlänge
- Neigungsstücke: Stückzahl Schiene, Neigungswinkel, Höhendifferenz
- Kurven: Stückzahl Schien, Orientierung, Kurvenradius, Kurvenwinkel

4. **Abstraktion Schienensystem**

Verallgemeinerung zu Gesamtergebnis des Layouts durch Zusammenführung der resultierenden Einzelergebnisse der Schienenparameter und Längen von Geraden, Neigungsstücken und Kurven.

5. **Konfiguration Gesamtanlage**

Auslegung und Konfiguration der Baugruppen analog zur Layoutkonfiguration mit Hilfe des Anlagen-Kalkulators des KSK-Tools (Verteiltörderer, Antrieb, Schienenquerschnitt und Gestelle).

Abbildung 73 zeigt den schrittweisen Programmablauf des Planungsvorgangs des Kalkulators in Excel sowie das Zusammenwirken der manuellen Auslegungsschritte des Anwenders mit der automatischen Auslegung des Kalkulators.

Die folgenden Kapitel erörtern die Umsetzung der manuellen Eingabe der Strecken- bzw. Schienenparameter in Excel (Kapitel 8.2) bzw. die Anwendung des Kalkulators anhand eines Beispiels (Kapitel 8.3).

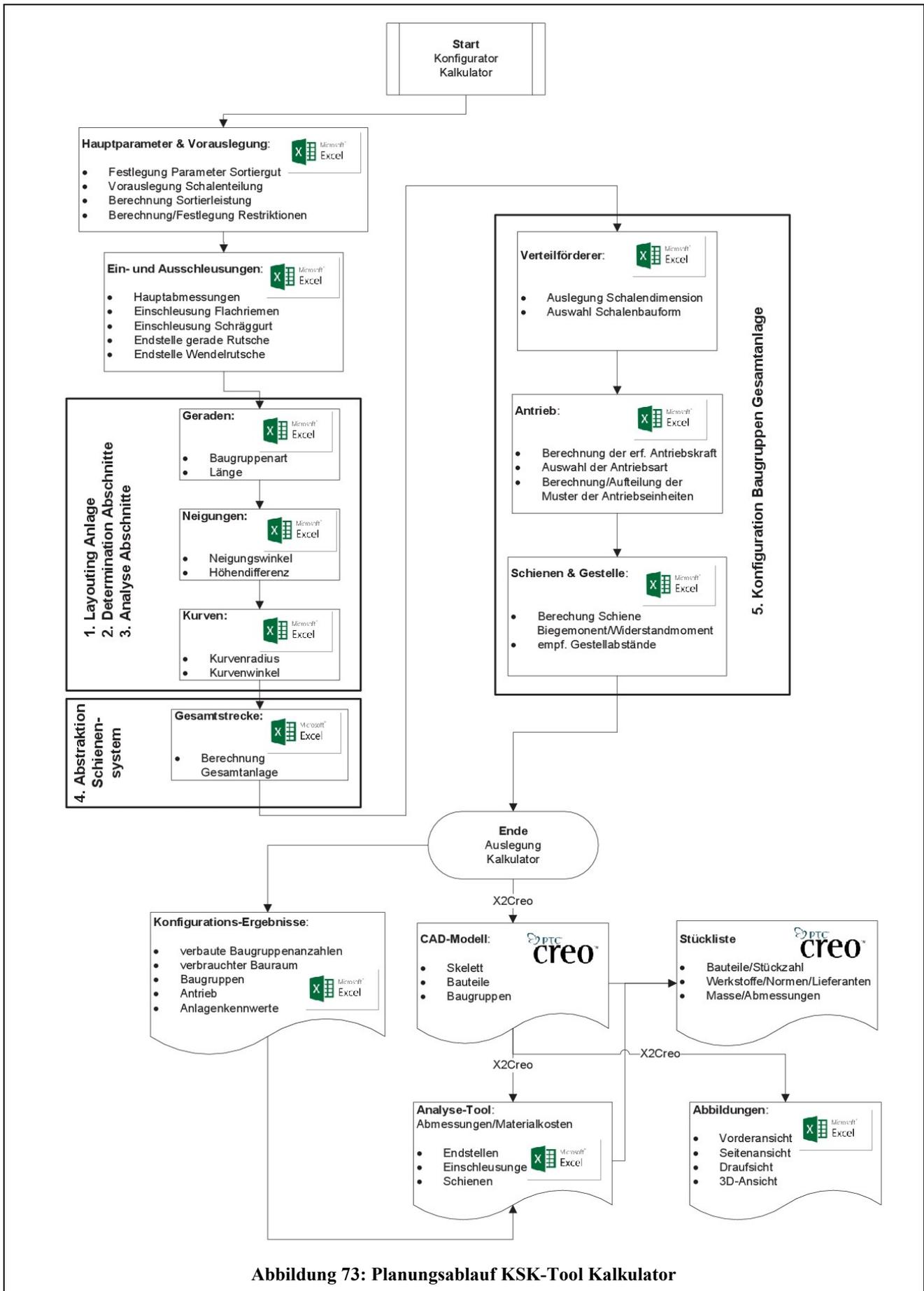


Abbildung 73: Planungsablauf KSK-Tool Kalkulator

8.2 Konfiguration der Streckenführung mit Hilfe des KSK-Kalkulators

Im Gegensatz zu den Layoutvorlagen, bei denen sich die jeweilige Schienengeometrie durch die ausgewählte Streckenführung ergibt, bietet der Kalkulator die Möglichkeit, selbstständig durch Konfiguration der gewünschten Schienenabschnitte die entsprechenden Bauteile für jedes beliebige Anlagenlayout zu generieren. Aus diesem Grund werden in Excel der Reihe nach die gewünschten Schienen, unterteilt in Geraden, Neigungen und Kurven, anhand der vorgegeben Parameter erstellt. Zur Auslegung der restlichen Baugruppen wird automatisch die Gesamtanlagenlänge ermittelt. Im Folgenden werden diese Schritte erläutert, die Realisierung im KSK-Tool mittels Tabellenblatt ist in der gegenübergestellten Abbildung 74 dargestellt.

8.2.1 Schienen Geraden

Auswahl der Schienenanzahl, des vorgesehenen Baugruppentyps und der tatsächlichen Länge der geraden Schiene. Die Restriktion für die minimale Schienenlänge ergibt sich aufgrund der Baugruppenbreite und Baugruppenanzahl.

8.2.2 Schienen Neigungsstücke

Durch den Nutzer werden die Schienenanzahl, die Neigung der Schiene (Steigungen positive, Gefälle negative Zahlenwerte) sowie die zu überwindende Höhendifferenz definiert.

Die horizontale Ausdehnung des Neigungsstücks wird berechnet mit Neigungswinkel und Höhendifferenz mittels:

$$l_{N_hor} = \frac{h_a - h_e}{\tan w_N}$$

Die Schienenlänge des Neigungsstücks ergibt sich dann mit:

$$l_N = \frac{h_a - h_e}{\sin w_N}$$

8.2.3 Schienen Kurven

Auch bei den Kurven kann die Anzahl jeder konfigurierten Schiene definiert werden. Da die Stromschiene aufgrund der Geometrie des Fahrwagens immer auf der linken Führungsschiene (in Förderrichtung) platziert ist, kann der Verteilförderer ein Kurvenstück immer nur in einer Richtung durchfahren. Aus diesem Grund muss die Orientierung der Schiene (Linkskurve oder Rechtskurve) über ein Dropdownmenü festgelegt werden

Die Länge der Kurvenstücke wird berechnet über die Bogenmaßformel mit Winkel und Radius der Kurve:

$$l_K = \frac{w_K \cdot r_K \cdot \pi}{180}$$

8.2.4 Schienen Gesamtanlage

Durch Aufsummieren der jeweiligen Streckenlängen der gewählten Schienen ergeben sich zunächst die Teilergebnisse für die Geraden, die Neigungsstücke und die Kurven mit:

$$l_{Gerade} = \sum (l_{G1} + l_{G2} + l_{G3} + \dots)$$

$$l_{Neigung} = \sum (l_{N1} + l_{N2} + l_{N3} + \dots)$$

$$l_{Kurve} = \sum (l_{K1} + l_{K2} + l_{K3} + \dots)$$

Die Gesamtstreckenlänge der Anlage beträgt dann:

$$l_{str} = l_{Gerade} + l_{Neigung} + l_{Kurve}$$

2. Konfiguration der Streckenabschnitte

2.a. Geraden

Benennung	Anzahl Schiene	Einheit	Anzahl BG auf Gerade	Einheit	Baugruppenart	Restr. Länge (min)	Einheit	Schienenlänge gewählt	Einheit
Gerade 1	1	Stk.	2	Stk.	Wendelrutsche innen und außen	2400	mm	6071	mm
Gerade 2	1	Stk.	10	Stk.	gerade Rutsche innen und außen	12000	mm	17784	mm
Gerade 3	1	Stk.	19	Stk.	gerade Rutsche innen und außen	22800	mm	45000	mm
Gerade 4	1	Stk.	16	Stk.	Wendelrutsche außen	19200	mm	38768	mm
Gerade 5	3	Stk.		Stk.	keine Baugruppe	0	mm	1000	mm
Gerade 6	2	Stk.	3	Stk.	Einschleusung Flachriemen außen	7595,4	mm	13000	mm
Gerade 7	1	Stk.	24	Stk.	Wendelrutsche außen	28800	mm	56000	mm

2.b. Steigungen/Gefälle

Benennung	Anzahl Schiene	Einheit	Winkel gewählt	Restr. Winkel (max)	Einheit	Höhen--differenz resultierend	Einheit	Strecke horizontal resultierend	Einheit	Schienenlänge resultierend	Einheit
Neigung 1	2	Stk.	-12	12	°	1300	mm	6116	mm	6253	mm
Neigung 2	2	Stk.	12	12	°	1300	mm	6116	mm	6253	mm

2.c. Kurven

Benennung	Anzahl Schiene	Einheit	Orientierung	Kurvenradius gewählt	Einheit	Restr. Radius (min)	Einheit	Winkel gewählt	Einheit	Schienenlänge resultierend	Einheit
Kurve 1	2	Stk.	Rechtskurve	3500	mm	1928	mm	90	°	5498	mm
Kurve 2	1	Stk.	Linkskurve	3000	mm	1928	mm	25	°	1309	mm
Kurve 3	1	Stk.	Rechtskurve	3000	mm	1928	mm	25	°	1309	mm
Kurve 4	1	Stk.	Linkskurve	4000	mm	1928	mm	90	°	6283	mm
Kurve 5	1	Stk.	Rechtskurve	5000	mm	1928	mm	270	°	23562	mm

3. Berechnung Abmessungen Gesamtanlage

Parameterbezeichnung	Kürzel	Wert	Einheit
Gesamtlänge aller Geraden	I _{Gerade}	192623	mm
Gesamtlänge aller Neigungsstücke	I _{Neigung}	25012	mm
Gesamtlänge aller Kurven	I _{Kurve}	43459	mm
Gesamtlänge der Streckenführung	I _{str}	261094	mm

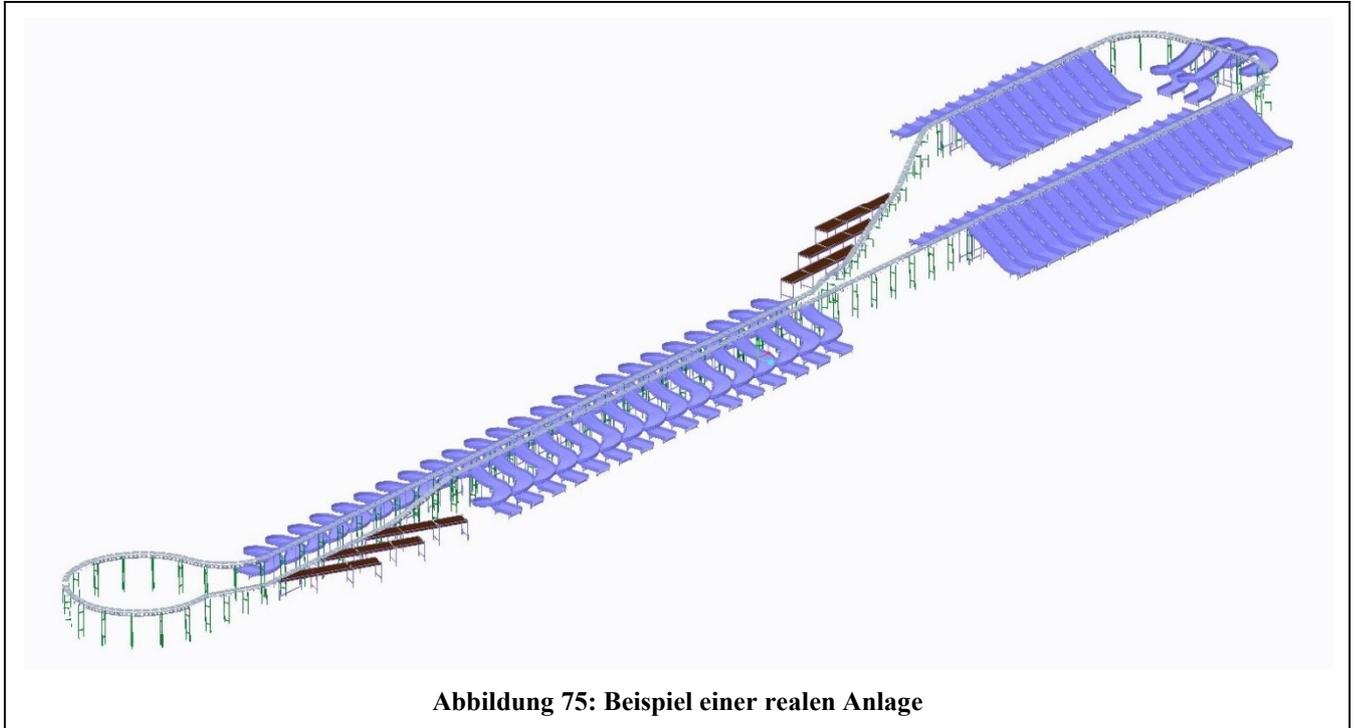
zurück
zu den Ein- und Ausschleusungen

weiter
zum Verteilförderer

Abbildung 74: KSK-Tool Kalkulator; Tabellenblätter „Schienen und Gesamtanlage“

8.3 Anwendungsbeispiel des Kalkulators für reale Anlagen

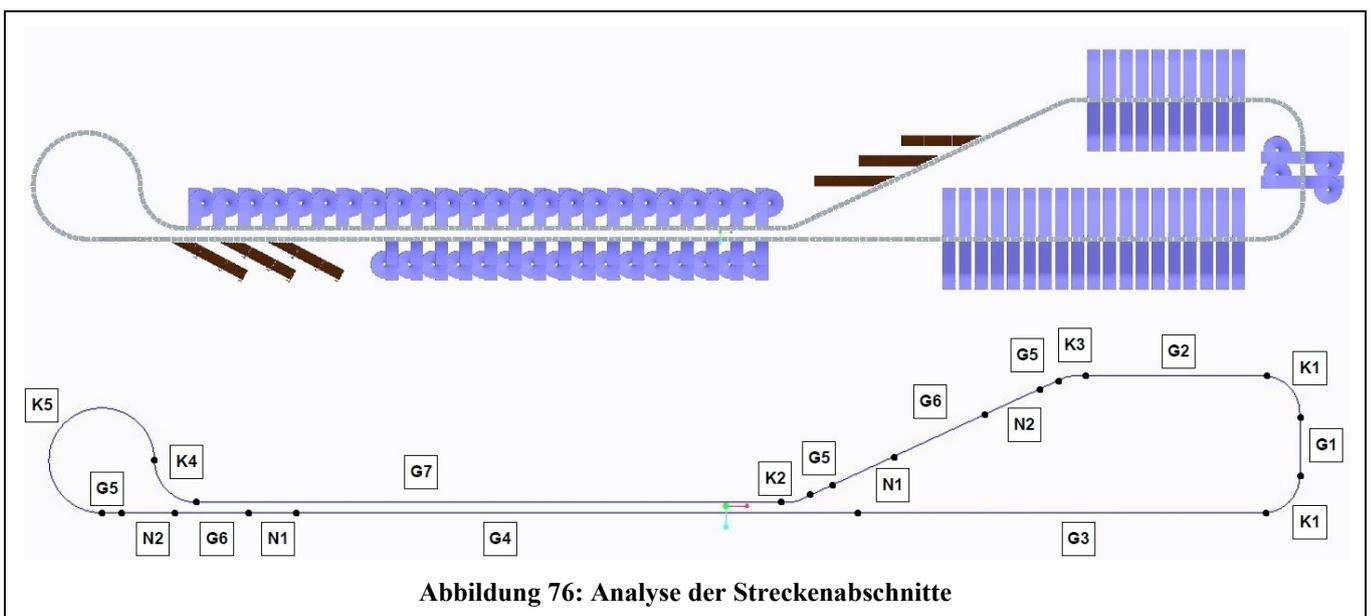
In diesem Kapitel soll nun anhand eines konkreten Beispiels der eben dargelegte Ablauf zur Auslegung von realen Anlagen mit beliebiger Streckenführung gezeigt werden. Dafür wird die in Abbildung 75 gezeigte Sortieranlage mittels des Kalkulators berechnet und konfiguriert.



Zu diesem Zweck wird das in Kapitel 8.1 erläuterte 5-Punkte-Schema zur Anwendung gebracht:

1. Layouting Anlage

Erstellen einer Skizze der gewünschten Streckenführung gemäß den Anforderungen des Anwenders (siehe Abbildung 76 oben) inklusive Anordnung der Einschleusungen und Endstellen.



2. Determination Abschnitte

Unterteilung und Klassifizierung der Abschnitte G1-G7, N1-N2, K1-K5 (Abbildung 76 unten).

3. Analyse Abschnitte

Ermitteln der Baugruppenbreiten von Einschleusungen/Endstellen mittels KSK-Tool zur Festlegung der Schienenlängen der Geraden; Bewertung/Aufstellung der Parameter der Abschnitte des Layouts, tabellarisch aufgelistet:

Gerade	Stk. Schiene	BG-Anzahl	Baugruppenart	Länge Schiene
G1	1 Stk. Schiene	2 Stk.	Wendelrutsche innen und außen	6.071 mm
G2	1 Stk. Schiene	10 Stk.	Gerade Rutsche innen und außen	17.784 mm
G3	1 Stk. Schiene	19 Stk.	Gerade Rutsche innen und außen	45.000 mm
G4	1 Stk. Schiene	16 Stk.	Wendelrutsche außen	38.768 mm
G5	3 Stk. Schiene		Keine Baugruppe	1.000 mm
G6	2 Stk. Schiene	3 Stk.	Einschleusung Flachriemen außen	13.000 mm
G7	1 Stk. Schiene	24 Stk.	Wendelrutsche außen	56.000 mm

Tabelle 8: Übersicht Parameter Geraden

Neigung	Stk. Schiene	Neigungswinkel	Höhendifferenz
N1	2 Stk. Schiene	- 12°	1.300 mm
N2	2 Stk. Schiene	+ 12°	1.300 mm

Tabelle 9: Übersicht Parameter Neigungsstücke

Kurve	Stk. Schiene	Orientierung	Kurvenradius	Kurvenwinkel
K1	2 Stk. Schiene	Rechtskurve	3.500 mm	90°
K2	1 Stk. Schiene	Linkskurve	3.000 mm	25°
K3	1 Stk. Schiene	Rechtskurve	3.000 mm	25°
K4	1 Stk. Schiene	Linkskurve	4.000 mm	90°
K5	1 Stk. Schiene	Rechtskurve	5.000 mm	270°

Tabelle 10: Übersicht Parameter Kurven

4. Abstraktion Schienensystem

Durch die Eingabe der erstellten Werte ins KSK-Tool (siehe auch Abbildung 74) werden nun einerseits für die ausgewählten Schienenbaugruppen die Bemaßungen und Codes für den Programmablauf zur Konfiguration in Creo erstellt, andererseits die erforderlichen Daten zur Berechnung der Gesamtanlage in Excel ermittelt.

5. Konfiguration Gesamtanlage

Abschließend wird die Konfiguration aller übrigen Baugruppen wie Verteilförderer, Antriebseinheiten oder Gestelle vorgenommen. Da sich die Berechnungen dieser Baugruppen auf die Gesamtstrecke unabhängig vom Layout der Streckenführung beziehen, können diese analog zur Layoutkonfiguration, wie dies in den Kapiteln 7.8 bis 7.10 ausführlich erläutert wurde, berechnet und ausgelegt werden.

Das KSK-Tool bietet nun wieder zum Abschluss neben einer Übersicht der berechneten Parameter und den Abbildungen der Bauteile die bekannten Funktionen des Analyse-Tools zur Analyse von Materialverbrauch und Materialkosten bestimmter Baugruppen, eine vollständige Stückliste als .pdf-File und ein entsprechendes Creo-Modell. Dieses enthält alle in der Anlage verbauten Komponenten räumlich neben- bzw. übereinander in Muster angeordnet (siehe Abbildung 77).

Die folgende Übersicht zeigt das resultierende Konfigurationsergebnis (ausgewählte Parameter) des gezeigten Beispiels mit dem Kalkulator des KSK-Tools samt Abbildung des zugehörigen CAD-Modells:

Paketabmessungen maximal	$l_1 \times b \times h$	350 x 300 x 250	mm
Sortiergeschwindigkeit	v_s	2,75	m/s
Anzahl Fahrwagen	n_{FW}	446	Stk.
Anzahl Endstellen - gerade Rutsche	n_{R_GR}	58	Stk.
Anzahl Endstellen - Wendelrutsche“	n_{R_WR}	44	Stk.
Anzahl Einschleusungen - Flachriemen	n_{E_F}	6	Stk.
Anzahl Einschleusungen - Schräggurt	n_{E_S}	0	Stk.
Anzahl Gestelle	n_G	131	Stk.
Anzahl Antriebseinheiten	n_{AE}	22	Stk.
Laufmeter Führungsschiene	l_s	522,19	m
Gesamtlänge der Streckenführung	l_{str}	261,1	m
Sortierleistung (techn. Grenzleistung)	λ_{max}	16.911	Stk./h
Antriebsleistung Verteilförderer	P_{VF}	35.005	W
Energieverbrauch Verteilförderer täglich	E_{VF}	840,24	kWh
Umlaufdauer Verteilförderer	T	94,9	s
Blechverbrauch Endstellen	A_{RGes}	1184,26	m ²
Materialkosten Blech	K_R	66.632	€
Verbrach Gurtfläche Einschleusungen	A_{EGes}	80,52	m ²
Materialkosten Gurte	K_E	11.112	€
Verbrach U-Profil Führungsschienen	L_S	522,19	m
Materialkosten Führungsschiene	K_S	4.794	€

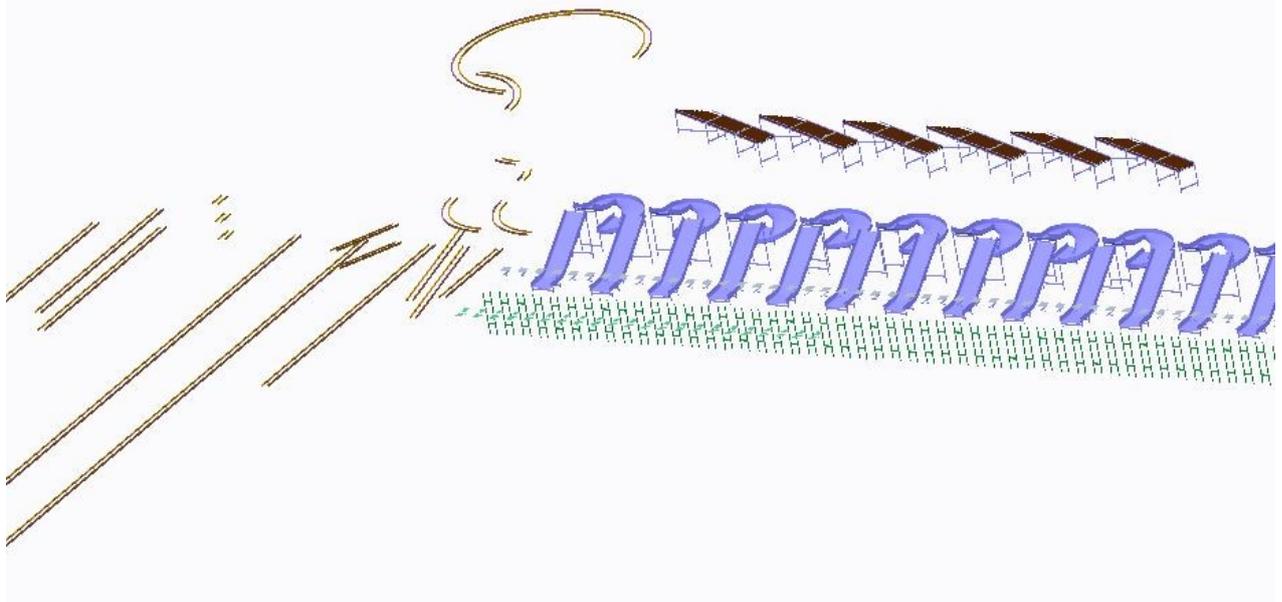


Abbildung 77: Beispiel Kalkulator; Konfigurationsergebnis (Creo-Modell)

9 Fazit und Ausblick

Mit der vorliegenden Arbeit und im Speziellen dem darin beschriebenen Kippschalen-Konfigurator-Tool konnte gezeigt werden, welche Potenziale sich hinsichtlich Knowledge-based Engineering im breiten Themenfeld der technischen Logistik ergeben. Es bestätigt sich, dass mittels KBE-Anwendungen durch wissensgestützte und regelbasierte Systeme komplexe Problemlösungen bei drastischer Reduktion von Entwicklungszeiten und gleichzeitiger Minimierung von Fehlerquellen realisiert werden können. Die auf diese Weise optimierten Entwicklungsprozesse können einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit und Kosteneffizienz leisten.

Dem Anwender bieten sich nebst computergestützter Auslegung, Berechnung und Konfiguration der gewünschten Sortieranlage auch die automatische Generierung des entsprechenden CAD-Modells und Erstellung einer zugehörigen Stückliste. Die dadurch entstehende Zeitersparnis bei der Entwicklung neuer Anlagen verglichen mit manueller Konstruktion ist enorm. Durch die aufgelisteten Berechnungsergebnisse und dem implementierten Analyse-Tool können essentielle Erkenntnisse zum Konfigurationsergebnis gewonnen oder auch Vergleiche durchgeführt werden. Als Beispiel sei die Variation der Sortiergutlänge genannt. Die Verlängerung des größtmöglichen Sortierguts bewirkt, dass neben einer Vergrößerung der Schalteilung die Dimensionen von Einschleusungen und Endstellen entsprechend angepasst werden müssen. Dies hat zur Folge, dass einerseits mehr Bauraum zur Realisierung der Anlage erforderlich wird, andererseits steigen durch den erhöhten Materialbedarf aufgrund vergrößerter Bauteilabmessungen auch die Materialkosten. Durch die Vergrößerung der maximalen Sortiergutabmessungen kann somit das mögliche Sortiergutspektrum erweitert werden, es zeigt sich jedoch, dass dadurch der Durchsatz gemindert und die Kosten gesteigert werden.

Diese und weitere Auswirkungen der Variation einzelner Parameter und deren Einfluss auf das Gesamtergebnis können mit dem KSK-Tool per Kopfdruck verifiziert und quantifiziert werden. Zusätzlich zur Analyse kann das System auch zur Optimierung verwendet werden, indem durch iteratives Vorgehen bei der Auslegung die bestmögliche Kombination der erforderlichen Anlagenparameter zur Generierung der gewünschten Anlage empirisch ermittelt wird.

Abschließend sollen noch weitere Entwicklungsperspektiven beleuchtet werden, die sich durch weiteres Vorantreiben des Knowledge-based Engineerings ergeben können. Ziel muss ein ständiges Verbessern der Variabilität, Flexibilität und des Detaillierungsgrads sein. Die vorhandenen Potenziale beruhen zum Teil auf den getroffenen Vereinfachungen und Annahmen. So könnte beispielsweise durch weiteres Modifizieren des Baugruppenmoduls erreicht werden, dass sich mehrere Baugruppenarten je Skelettabschnitt platzieren lassen. Auch die Einschränkung auf je ein Höhenniveau für Ein- und Ausschleusungen könnte so verhindert werden. Eine Erweiterungsmöglichkeit des Tools, vor allem bezüglich der Anforderung gesteigerter Sortierleistungen und optimierter Durchschleusgrade, liegt in der Berechnung von zwei oder mehreren gekoppelte Systemen. Hier liegt die Herausforderung speziell in der Komplexität der zusammengesetzten Anlage bzw. der Ausführung der Koppelung im CAD-Programm. Weiters könnten die Möglichkeiten der dynamischen Konstruktion in Creo genauer untersucht und deren Umsetzbarkeit mit Werkzeugen wie der X2Creo-Schnittstelle verifiziert bzw. an alternativen Methoden zur Realisierung gearbeitet werden.

Die Weiterentwicklung des KSK-Tools kann man auch differenzierter im Sinne des KBx-Ansatzes betrachten und fortführen:

- **KBL:** Durch stetiges Erweitern möglicher Layouts stehen dem Anwender möglichst viele Varianten zur Verfügung. Denkbar wäre z.B. eine Line-Topologie mit Ober- und Untertrum des Verteilförderers.
- **KBSD:** Hinsichtlich des Baukastensystems wurden für die Hauptbaugruppen exemplarisch je zwei Varianten als Auswahlmöglichkeiten ausgeführt. Das Potenzial bezüglich möglicher Erweiterungen wird in der Baugruppenanalyse aufgezeigt.
- **KBE:** Bei den verbauten Komponenten handelt es sich um schematische Darstellungen, letztendlich können für alle Baugruppen bis zur Realisierung eines Full-KBE-Systems vollständig durchparametrisierte Detailkonstruktionen inklusive vertiefter Berechnungen und erweiterter Auslegungsregeln zur Anwendung gebracht werden.

10 Verzeichnisse

10.1 Literaturverzeichnis

[Abe07] **Abelbeck, Frank. 2007.** *Antriebssysteme für Stückgutortieranlagen - Eine Bestandaufnahme.* Institut für Transport- und Automatisierungstechnik, Leibniz Universität Hannover : Logistics Journal, 2007.

[alc] **alcyon Engineering.** *Introduction to Knowledge Based Engineering.* s.l. , [Website zuletzt abgerufen am: 15. 11 2015.]; www.alcon.co.in.

[Arn02] **Arnold, Dieter, et al. 2002.** *Handbuch Logistik.* Berlin, Heidelberg : Springer, 2002.

[Bei01] **Beitz, Wolfgang und Grothe, Karl-Heinrich. 2001.** *DUBBEL-Taschenbuch für den Maschinenbau.* Berlin Heidelberg New York : Springer-Verlag, 2001.

[Beu14] **Beumer-Group. 2014.** OptiDrive Technical Data. [Online] 2014. [Website zuletzt abgerufen am: 04. 11 2015.] <https://www.beumergroup.com/de/broschueren>.

[cad06] **cadfem. 2006.** *Knowledge based Engineering - cadfem Broschüre.* s.l. ; [Website zuletzt abgerufen am: 04. 11 2015.] ; www.cadfem.de, 2006.

[CAM] **Cambridge Advanced Modeller.** [Online] [Website zuletzt abgerufen am: 15. 11 2015.] <https://www-edc.eng.cam.ac.uk/cam>.

[Jod12] **Jodin, Dirk und ten Hompel, Michael. 2012.** *Sortier- und Verteilsysteme.* Berlin Heidelberg : Springer Verlag, 2012.

[Jod13] **Jodin, Dirk. 2013.** Vorlesung Industrielle Logistiksysteme. *Teil 4 - Sortiersysteme.* Graz : s.n., 2013.

[Jod14] **Jodin, Dirk und Fritz, Matthias. 2014.** Planungs- und Einsatzkriterien für Sortiersysteme - Teil I. *F+H - Fördern und Heben.* 2014, 4.

[Lan12a] **Landschützer, Christian, Jodin, Dirk und Thoresson, Julian. 2012.** *Knowledge-Based Engineering in der Technischen Logistik - Beispiel Hubseiltrommel.* Berlin : Hebezeuge Fördermittel, Berlin 52, 2012.

[Lan12b] **Landschützer, Christian, Fritz, Matthias und Jodin, Dirk. 2012.** Knowledge based engineering and modern CAE for sorting systems. 2012, Bd. Volume 7, Issue 2.

[Lan14] **Landschützer, Christian und Jodin, Dirk. 2014.** *Wissengestützte Methoden und Werkzeuge zur (automatischen) Geräteentwicklung und -konstruktion in der Technischen Logistik.* Graz : Institut für Technische Logistik der Technischen Universität Graz, 2014.

[Lie04] **Liese, H. und Stjepandic, J. 2004.** *Konstruktionsmethodik: Wissensbasierte 3D-CAD-Modellierung.* s.l. : CAD-CAM Report 10/2004, 2004.

[Mar12] **Martin, Heinrich. 2012.** *Praxiswissen Intralogistikplanung - Reale Projekte mit Ist-Situation, Zielsetzung, Planungen und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.* Wiesbaden : Springer Vieweg, 2012.

[Mil08] **Milton, Nick. 2008.** *Knowledge Technologies.* Monza : Polimetrica S.a.s., 2008.

[Ort15] Ortner-Pichler, Alexander. 2015. *X2Creo Manual*. Graz : Institut für Technische Logistik/TU Graz, 2015.

[Pon08] Ponn, Josef und Lindemann, Udo. 2008. *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte*. Berlin Heidelberg : Springer Verlag, 2008.

[SEW09] SEW-Eurodrive. 2009. Asynchrone Linearmotoren DLD. [Online] 2009. [Website zuletzt abgerufen am: 04. 11 2015.] <http://www.sew-eurodrive.at/support>.

[tHo07] ten Hompel, Michael, Schmidt, Thorsten und Nagel, Lars. 2007. *Materialflusssysteme*. Dortmund : Springer Verlag, 2007.

[VDI03] VDI. 2003. *Sorter in logistischen Prozess - Stückgut-Verteiltechnik und -Systeme (VDI-Berichte 1796)*. Tagung Karlsruhe : VDI Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik, 2003.

[VDI2221] VDI. 1993. *VDI 2221 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf : VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb, 1993.

[VDI3312] VDI. 2003. *VDI 3312 - Sortieren im logistischen Prozess*. Düsseldorf : VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik, 2003.

[VDI3619] VDI. 1983. *VDI 3619 - Sortiersysteme für Stückgut*. s.l. : VDI-Gesellschaft Materialfluß und Fördertechnik, 1983.

[VDI5610] VDI. 2009. *VDI 5610 - Wissensmanagement im Ingenieurwesen; Grundlagen, Konzepte, Vorgehen*. Düsseldorf : VDI-Kompetenzfeld Informationstechnik, 2009.

[VDMA15276] VDMA. 1994. *VDMA 15276 - Datenschnittstellen in Materialflußsteuerungen*. Frankfurt : Fachgemeinschaft Fördertechnik VDMA, 1994.

[Wiki1] Enzyklopädie Wikipedia. [Online] [Website zuletzt abgerufen am: 04. 11 2015.] <http://de.wikipedia.org/wiki/Wissensmanagement>.

[Wiki2] Enzyklopädie Wikipedia. [Online] [Website zuletzt abgerufen am: 04. 11 2015.] <http://de.wikipedia.org/wiki/Sortierung>.

[Wiki3] Enzyklopädie Wikipedia. [Online] [Website zuletzt abgerufen am: 04. 11 2015.] <https://de.wikipedia.org/wiki/Einfeldträger>.

10.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnung Durchsatz.....	19
Tabelle 2: Berechnung Gesamtleistung mehrere Einschleusbereiche.....	19
Tabelle 3: Berechnung Antriebsleistung und Widerstandskräfte.....	20
Tabelle 4: Berechnung Schlupf.....	21
Tabelle 5: Berechnung Kippen.....	21
Tabelle 6: X2Creo Programmbeispiel.....	38
Tabelle 7: Verfügbare Antriebseinheiten.....	69
Tabelle 8: Übersicht Parameter Geraden.....	88
Tabelle 9: Übersicht Parameter Neigungsstücke.....	88
Tabelle 10: Übersicht Parameter Kurven.....	88

10.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktureller Aufbau eines KBE-Systems (vgl. [Mil08] , S.23)	5
Abbildung 2: Qualitative Darstellung des Einsparungspotentials (vgl. [alc] S.8)	6
Abbildung 3: Überblick und Einteilung eines Sortiersystems nach [Jod13] S.12	7
Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Sorters (vgl. [Jod13] S.12ff).....	8
Abbildung 5: Funktionselemente des Verteilförderers (aus [Jod13] S.28).....	10
Abbildung 6: Klassifizierung von Sortern nach VDI 3312 (vgl. [VDI3312] S.7).....	12
Abbildung 7: Klassifizierung der Verteilförderer (aus [Jod13] , S.30)	13
Abbildung 8: Schematische Darstellung einer Sortieranlage.....	14
Abbildung 9: Schematische Darstellung eines Sortiersystems (vgl. [Jod13] S.12ff).....	16
Abbildung 10: Prinzip einfacher und doppelter Einschleusung (aus [Jod12] , S.41).....	19
Abbildung 11: Schlupf (aus [Jod12] , S.191).....	21
Abbildung 12: Kippen (aus [Jod12] , S.191).....	21
Abbildung 13: Vorgehensmodell nach VDI 2221 (aus [VDI2221] , S.9).....	23
Abbildung 14: Ausgearbeitetes Vorgehensmodell nach VDI 2221	24
Abbildung 15: Überblick Variantenvielfalt	25
Abbildung 16: Prozess-Input und -Output.....	26
Abbildung 17: Strukturierung von Problemlösungsprozessen (vgl. [VDI2221] , S.4).....	26
Abbildung 18: Legende Prozessmodellierung.....	27
Abbildung 19: Prozessmodellierung Systemauslegung	28
Abbildung 20: Prozessmodellierung Sorterauslegung	30
Abbildung 21: Prozessmodellierung zur Auswahl des Verteilförderers	31
Abbildung 22: Erstellen einer Nutzwertanalyse (vgl. [VDI03] , S.136).....	32
Abbildung 23: Anwendungsbeispiel Auswahl Sorterbauart	33
Abbildung 24: Auswahlkriterien von Anlagentopologien (aus [Jod14] , S.12)	34
Abbildung 25: Kostenbewertung mittels paarweisem Vergleich	34
Abbildung 26: Übersicht KBx Kippschalensorter (vgl. [Lan12b] S.76).....	36
Abbildung 27: Skelette der verfügbaren Layouts des KSK-Tools.....	37
Abbildung 28: Programmablauf KSK-Tool.....	37
Abbildung 29: Design Structure Matrix Parameter	40
Abbildung 30: Netzwerkdarstellung Parameter.....	41
Abbildung 31: Modellbaum der CAD-Konstruktion in Creo	42
Abbildung 32: Skelett des O-Layouts inkl. Notation der Streckensegmente.....	42
Abbildung 33: Bemaßung eines Skelettabschnitts	43
Abbildung 34: Bemaßung des Baugruppenmusters	43
Abbildung 35: Konstruktion Verteilförderer.....	44
Abbildung 36: Konstruktion gerade Schale	44
Abbildung 37: Konstruktion gebogene Schale	44
Abbildung 38: Konstruktion Sekundärteil	45
Abbildung 39: Konstruktion Reibleiste.....	45
Abbildung 40: Konstruktion Linearmotor	45
Abbildung 41: Konstruktion Reibradantrieb.....	45
Abbildung 42: Verteilförderer mit Sekundärteil und Linearmotor	46
Abbildung 43: Verteilförderer mit Reibleiste und Reibradantrieb.....	46
Abbildung 44: Konstruktion Führungsschiene.....	47
Abbildung 45: Konstruktion der Stromschiene für die Energieübertragung	47
Abbildung 46: Schienen mit Gestellen.....	48
Abbildung 47: Konstruktion Flachriemeneinschleusung	48
Abbildung 48: Konstruktion Schräggurteinschleusung	49
Abbildung 49: Konstruktion gerade Rutsche	50
Abbildung 50: Konstruktion Wendelrutsche.....	50
Abbildung 51: Baugruppenmodul der Ein- und Ausschleusungen	51

Abbildung 52: Korrekte Positionierung aller Baugruppen zu einander	52
Abbildung 53: Planungsablauf KSK-Tool O-Layout.....	54
Abbildung 54: Dateneingabe im Konfigurator.....	56
Abbildung 55: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Start“	58
Abbildung 56: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „A/B/C/D“	60
Abbildung 57: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Skelett“	62
Abbildung 58: Berechnung Breite Einschleusung.....	64
Abbildung 59: Hauptabmessungen Einschleusung.....	64
Abbildung 60: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Ein- und Ausschleusungen“	66
Abbildung 61: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Verteiltörderer“	68
Abbildung 62: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Antrieb“	70
Abbildung 63: Gleichlast; vgl. [Wiki3]	71
Abbildung 64: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Schienen und Gestelle“	72
Abbildung 65: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Ergebnis“	74
Abbildung 66: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Analyse“	76
Abbildung 67: KSK-Tool O-Layout; Tabellenblatt „Abbildungen“	77
Abbildung 68: Generiertes Creo-Modell aufgrund des Konfigurationsergebnisses in Excel	78
Abbildung 69: Auszug einer generierten Stückliste.....	79
Abbildung 70: Beispiel O-Layout; Konfigurationsergebnis (Creo-Modell)	80
Abbildung 71: Beispiel L-Layout; Konfigurationsergebnis (Creo-Modell)	81
Abbildung 72: Beispiel U-Layout; Konfigurationsergebnis (Creo-Modell)	82
Abbildung 73: Planungsablauf KSK-Tool Kalkulator	84
Abbildung 74: KSK-Tool Kalkulator; Tabellenblätter „Schienen und Gesamtanlage“	86
Abbildung 75: Beispiel einer realen Anlage.....	87
Abbildung 76: Analyse der Streckenabschnitte	87
Abbildung 77: Beispiel Kalkulator; Konfigurationsergebnis (Creo-Modell).....	89

10.4 Glossar

BG	Baugruppe
CAD	Computer-aided Design
CAE	Computer-aided Engineering
DSM	Design Structure Matrix
KBE	Knowledge-based Engineering
KBL	Knowledge-based Layouting
KBSD	Knowledge-based System Design
KBx	Knowledge-based Technology (x ... Platzhalter für E/Engineering, SD/System Design, L/Layouting)
KE	Konstruktionselement (Konstruktionsfeature in Creo)
KEP	Kurier-/Express-/Paketdienste
KSK	Kippschalensorter Konfigurator
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
PF	Proportionalitätsfaktor
RFID	Radio Frequency Identification
VB API	Visual Basic Application Programming Interface
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
X2Creo	Schnittstelle Creo

10.5 Formelzeichen

max. Länge Sortiergut einschalig	l_1
max. Länge Sortiergut zweischalig	l_2
max. Breite Sortiergut	b
max. Höhe Sortiergut	h
min. Reibbeiwert Sortiergut/Schale	μ_{Schale}
Abstand zwischen den Schalen	a_s
P-Faktor Schalenlänge Vorausleg.	PF_s
Schalenlänge	l_s
Schalenteilung Vorauslegung	St_1
Sortiergeschwindigkeit	v_s
max. erzielbare Sortierleistung	λ_{max}
Radius aufgrund Schlupfbedingung	$r_{\text{min},1}$
Radius aufgrund Kippbedingung	$r_{\text{min},2}$
resultierender Mindestradius	r_{min}
Restriktion Steigung/Gefälle	w_{max}
Minimaler Schalenabstand	$a_{s,\text{min}}$
Höhenniveau Einschleusungen	h_e
Höhenniveau Ausschleusungen	h_a
Anzahl Baugruppen	n
Abstand von Radius/Neigung	l_{m1}
Abstand zw. Baugruppen	l_{m2}
Baugruppenbreite	b_{bg}
Abstand zu Radius/Neigung	l_{m3}
erf. Länge des Musters	l_m
Länge bis 1. Neigungsstücks	l_1
Winkel 1. Gefälle/Steigung	w_1
Länge des 1. Neigungsstück	l_{w1}
Höhe am Ende 1. Gefälle/Steigung	h_2
Winkel 2. Gefälle/Steigung	w_2
Länge des 2. Neigungsstücks	l_{w2}
Länge bis zum Radius	l_3
Radius R2	r_2
Höhe von Radius R2	h_2
Streckenlänge des Abschnitts B	l_b
Streckenlänge des Abschnitts R2	l_r
rechnerisch erforderliche Länge A	$l_{a,\text{erf}}$
rechnerisch erforderliche Länge B	$l_{b,\text{erf}}$
rechnerisch erforderliche Länge C	$l_{c,\text{erf}}$
rechnerisch erforderliche Länge D	$l_{d,\text{erf}}$
erforderliche Mindestbreite nach A	$b_{\text{ges}_a,\text{erf}}$
erforderliche Mindestbreite nach C	$b_{\text{ges}_c,\text{erf}}$
Breite der Anlage	b_{ges}
erforderliche Mindestlänge nach B	$l_{\text{ges}_b,\text{erf}}$
erforderliche Mindestlänge nach D	$l_{\text{ges}_d,\text{erf}}$
Länge der Anlage	l_{ges}
Gesamtlänge der Streckenführung	l_{str}
Einschleuswinkel	w_e
Beschleunigungskraft	F_A
erf. Vorschubkraft je Fahrwagen	F_V
erf. Vorschubkraft Verteilförderer	F_{Ges}
P-Faktor Sortiergutlänge/BG-Breite	PF_{BG}

Breite Einschl. aufgrund Faktor	$b_{e,p}$
Breite Einschleusung gewählt	b_e
Breite Endstelle aufgrund Faktor	$b_{r,p}$
Breite Endstelle gewählt	b_r
projizierende Breite Einschleusung	b_{ep}
Länge Taktband	l_{tb}
Länge Beschleunigungsband	l_{bb}
Mindestlänge Übergabeband (Nr.1)	l_{ueb}
Abstand Übergabebänder	a_{ueb}
Breite Übergabeband	b_{ueb}
Res. Gesamtlänge der Einschl.	$l_{e,\text{ges}}$
Mindestneigungswinkel	d_{min}
Reibbeiwert Rutsche/Sortiergut	μ_r
Anfangsgeschwindigkeit	v_a
Endgeschwindigkeit	v_e
Höhe Anfang (Ausschleusung)	h_{ra}
Höhe Ende (Sammelbereich)	h_{re}
Gewählter Winkel	d_{wr}
Länge des Sammelbereichs	l_{rsb}
Höhe Rutsche	h_{wr}
Höhe Berandung	h_b
Resultierende Endstellenlänge	l_{rw}
P-Faktor Sortiergut/Schalendim.	PF_s
Schalenlänge aufgrund Faktor	$l_{s,p}$
Schalenlänge gewählt	l_s
Schalenbreite aufgrund Faktor	$b_{s,p}$
Schalenbreite gewählt	b_s
Abstand zwischen den Schalen	a_s
Schalenteilung Vorauslegung	St_1
Schalenanzahl theoretisch (exakt)	Sa_1
Schalenanz. tatsächlich (gerundet)	Sa_2
Schalenteilung	St_2
Schalendicke	d_s
Fasenslänge Stirnseite	f_1
Fasenslänge Querseite	f_2
Radius Stirnseite	r_s
Spurweite Verteilförderers	w_{vf}
Durchmesser Laufrolle	d_l
Durchmesser Führungsrolle	d_f
Gewicht Kippschalensortereinheit	m
Hebelarm der "rollenden Reibung"	f
Laufraddurchmesser	d_l
Lagerreibbeiwert	μ_s
Lagerzapfendurchmesser	d
Spurkranz-/ Seitenreibungsbeiwert	c
Kraft bei konstanter Fahrt	F_F
Beschleunigung beim Anfahren	a_{an}
Antriebskraft je Antriebseinheit	F_E
erf. Anzahl Antriebseinheiten	n_{AE}
Streckenlänge je Antriebseinheit	l_{AE}
Streckenlänge des Abschnitts A	l_a

Streckenlänge des Abschnitts B	l_b
Streckenlänge des Abschnitts C	l_c
Streckenlänge des Abschnitts D	l_d
Gesamtlänge der Geradstücke	l_{str}
Anzahl Antriebseinheiten A	n_{AEa}
Anzahl Antriebseinheiten B	n_{AEb}
Anzahl Antriebseinheiten C	n_{AEc}
Anzahl Antriebseinheiten D	n_{AEd}
Querlast pro Laufmeter	q
max. zul. Biegespannung Schiene	σ_{zul}
Breite Schiene U-Profil	B_{sch}
Höhe Schiene U-Profil	H_{sch}
Materialdicke Schiene U-Profil	s_{sch}
Widerstandsmoment Schiene	W_b
Empfohlener Abstand des Gestells	$l_{g, empf}$
Gewählter Abstand des Gestells	l_{g1}
Anzahl Gestelle theoretisch	n_{g1}
Anzahl Gestelle tatsächlich	n_{g2}
Tatsächlich realisierter Abstand	l_{g2}
Breite Gestell	b_g
Anzahl Fahrwagen	n_{FW}
Anzahl Endstellen	n_R
Anzahl Einschleusungen	n_E
Anzahl Gestelle	n_G
Anzahl Antriebseinheiten	n_{AE}
Laufmeter Führungsschiene	l_s
Gesamtlänge der Streckenführung	l_{str}
Gesamtlänge der Anlage	l_{ges}
Gesamtbreite der Anlage	b_{ges}
Gesamthöhe der Anlage	h_{ges}
Antriebsleistung Verteilförderer	P_{VF}
Energieverbrauch VF täglich	E_{VF}
Umlaufdauer Verteilförderer	T
gerade Rutsche, je Stk.	A_{GR}
Wendelrutsche, je Stk.	A_{WR}
Blechverbrauch gesamt	A_{Rges}
Materialkosten je Tonne	K_{Blech}
Materialkosten Blech	K_R
Materialdicke	s_{Blech}
Dichte des Materials	ρ_{Blech}
Ausschuss/Verschnitt Blech	W_{Blech}
Taktband Flachriemen	A_{FTB}
Beschleunigungsband Flachriemen	A_{FBB}
Übergabebänder Flachriemen	A_{FUEB}
Flachriemeneinschl. gesamt, je Stk.	A_{Fges}
Taktband Schräggurtt Förderer	A_{STB}
Umlaufdauer Verteilförderer	T
Beschleunigungsband Schräggurttf.	A_{SBB}
Schräggurt	A_{SG}
Schräggurteinschl. gesamt, je Stk.	A_{Sges}
Gurtfläche gesamt	A_{Eges}
Breite Einschleusung	b_e
Materialkosten je m	K_{Band}

Materialkosten Gurte	K_E
Ausschuss/Verschnitt Band	W_{Band}
Führungsschiene innen	L_{Si}
Führungsschiene außen	L_{Sa}
Führungsschienen gesamt	L_S
Materialkosten je Laufmeter	K_{Profil}
Materialkosten Führungsschiene	K_S
Ausschuss/Verschnitt Schiene	W_{Profil}
Neigungswinkel Schiene Kalk.	W_N
Kurvenwinkel Schiene Kalk.	W_K
Kurvenradius Schiene Kalkulator	r_K
Länge Schiene Gerade	l_G
Länge Schiene Neigung	l_N
Horizontallänge Schiene Neigung	$l_{N, hor}$
Länge Schiene Kurve	l_K
Gesamtlänge Geraden	l_{Gerade}
Gesamtlänge Neigungsstücke	$l_{Neigung}$
Gesamtlänge Kurven	l_{Kurve}

11Anhang

11.1 Programm X2Creo O-Layout

connectSession	showwindow			
setWorkingDirectory	C:\Users\Maschi\Desktop\KSK-Tool\O_Layout\			
retrieveModel	loop_o	loop_o.asm		
retrieveModel	skelett_loop_o	skelett_loop_o.prt		
setDbiParam	skelett_loop_o	l	71303	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	b	16974	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	r1	3000	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	hr1	1150	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	r2	3000	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	hr2	1150	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	r3	3000	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	hr3	1150	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	r4	3000	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	hr4	1150	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	la1	1500	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	ha2	1150	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	lwa1	0	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	lwa2	0	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	la3	1500	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	lb1	5000	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	hb2	2500	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	lwb1	6351,3	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	lwb2	6351,3	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	lb3	5000	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	lc1	1500	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	hc2	1150	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	lwc1	0	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	lwc2	0	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	lc3	1500	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	ld1	5000	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	hd2	2500	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	lwd1	6351,3	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	lwd2	6351,3	#Skelett
setDbiParam	skelett_loop_o	ld3	5000	#Skelett
regenModel	skelett_loop_o			#Skelett
retrieveModel	verteilfoerderer	verteilfoerderer.asm		#Verteilförderer
setIntParam	verteilfoerderer	sa2	208	#Verteilförderer
retrieveModel	kippschalensortereinheit	kippschalensortereinheit.asm		#Verteilförderer
retrieveModel	fahrwagen	fahrwagen.prt		#Verteilförderer

setDbiParam	fahrwagen	st2	826,78	#Verteilförderer
setDbiParam	fahrwagen	wvf	400	#Verteilförderer
setDbiParam	fahrwagen	dl	60	#Verteilförderer
setDbiParam	fahrwagen	df	60	#Verteilförderer
setDbiParam	fahrwagen	hsch	80	#Verteilförderer
setDbiParam	fahrwagen	ssch	5	#Verteilförderer
regenModel	fahrwagen			#Verteilförderer
retrieveModel	fuehrungsrolle	fuehrungsrolle.prt		#Verteilförderer
setDbiParam	fuehrungsrolle	df	60	#Verteilförderer
regenModel	fuehrungsrolle			#Verteilförderer
retrieveModel	laufrolle	laufrolle.prt		#Verteilförderer
setDbiParam	laufrolle	dl	60	#Verteilförderer
regenModel	laufrolle			#Verteilförderer
retrieveModel	linearmotor_sekundaerteil	linearmotor_sekundaerteil.prt		#Verteilförderer
setDbiParam	linearmotor_sekundaerteil	st2	826,78	#Verteilförderer
regenModel	linearmotor_sekundaerteil			#Verteilförderer
retrieveModel	reibradantrieb_reibleiste	reibradantrieb_reibleiste.prt		#Verteilförderer
setDbiParam	reibradantrieb_reibleiste	st2	826,78	#Verteilförderer
regenModel	reibradantrieb_reibleiste			#Verteilförderer
retrieveModel	schale_gerade	schale_gerade.prt		#Verteilförderer
setDbiParam	schale_gerade	ls	800	#Verteilförderer
setDbiParam	schale_gerade	bs	600	#Verteilförderer
setDbiParam	schale_gerade	d	15	#Verteilförderer
setDbiParam	schale_gerade	f1	150	#Verteilförderer
setDbiParam	schale_gerade	f2	50	#Verteilförderer
regenModel	schale_gerade			#Verteilförderer
retrieveModel	schale_gebogen	schale_gebogen.prt		#Verteilförderer
setDbiParam	schale_gebogen	ls	800	#Verteilförderer
setDbiParam	schale_gebogen	bs	600	#Verteilförderer
setDbiParam	schale_gebogen	d	15	#Verteilförderer
setDbiParam	schale_gebogen	rs	600	#Verteilförderer
regenModel	schale_gebogen			#Verteilförderer
retrieveModel	sortiergut	sortiergut.prt		#Verteilförderer
setDbiParam	sortiergut	ll	500	#Verteilförderer
setDbiParam	sortiergut	b	400	#Verteilförderer
setDbiParam	sortiergut	h	200	#Verteilförderer
setDbiParam	sortiergut	d	15	#Verteilförderer
regenModel	sortiergut			#Verteilförderer
setStringParam	kippschalensortereinheit	variante_schale	gerade	#Verteilförderer
setStringParam	kippschalensortereinheit	variante_schwert	reibleiste	#Verteilförderer
regenModel	kippschalensortereinheit			#Verteilförderer
regenModel	verteilfoerderer			#Verteilförderer
retrieveModel	ein_und_ausschleusung	ein_und_ausschleusung.asm		#BG Modul
retrieveModel	modul	modul.asm		#BG Modul
retrieveModel	einschl_flachriemen_a	einschleus_flachriemen_a.asm		#BG Modul #Flachriemen

setDbiParam	einschl_flachriemen_a	bs	600	#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	taktband	taktband.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	taktband	be	1600	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	taktband	ltb	3000	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	taktband			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	rolle_lang	rolle_lang.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	rolle_lang	be	1600	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	rolle_lang			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	rolle_kurz	rolle_kurz.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	rolle_kurz	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	rolle_kurz			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	uebergabeband1	uebergabeband1.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband1	lueb	500	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband1	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	uebergabeband1			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	uebergabeband2	uebergabeband2.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband2	lueb	500	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband2	aueb	10	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband2	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband2	we	45	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	uebergabeband2			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	uebergabeband3	uebergabeband3.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband3	lueb	500	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband3	aueb	10	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband3	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband3	we	45	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	uebergabeband3			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	uebergabeband4	uebergabeband4.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband4	lueb	500	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband4	aueb	10	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband4	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband4	we	45	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	uebergabeband4			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	uebergabeband5	uebergabeband5.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband5	lueb	500	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband5	aueb	10	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband5	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband5	we	45	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	uebergabeband5			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	uebergabeband6	uebergabeband6.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband6	lueb	500	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband6	aueb	10	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband6	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband6	we	45	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	uebergabeband6			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	uebergabeband7	uebergabeband7.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband7	lueb	500	#BG Modul	#Flachriemen

setDbiParam	uebergabeband7	aueb	10	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband7	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband7	we	45	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	uebergabeband7			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	uebergabeband8	uebergabeband8.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband8	lueb	500	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband8	aueb	10	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband8	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	uebergabeband8	we	45	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	uebergabeband8			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	rahmen_kurz	rahmen_kurz.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	rahmen_kurz	ltb	3000	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	rahmen_kurz	lbb	3000	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	rahmen_kurz	lueb	500	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	rahmen_kurz			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	rahmen_lang	rahmen_lang.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	rahmen_lang	ltb	3000	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	rahmen_lang	lbb	3000	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	rahmen_lang	lueb	500	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	rahmen_lang	aueb	10	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	rahmen_lang	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	rahmen_lang	we	45	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	rahmen_lang			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	gestell_gerade	gestell_gerade.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	gestell_gerade	be	1600	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	gestell_gerade			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	gestell_schraeg_a	gestell_schraeg_a.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	gestell_schraeg_a	be	1600	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	gestell_schraeg_a	aueb	10	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	gestell_schraeg_a	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	gestell_schraeg_a	we	45	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	gestell_schraeg_a			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	beschleunigungsband	beschleunigungsband.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	beschleunigungsband	be	1600	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	beschleunigungsband	lbb	3000	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	beschleunigungsband			#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	einschl_flachriemen_a	aueb	10	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	einschl_flachriemen_a	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	einschl_flachriemen_a			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	einschl_flachriemen_i	einschleus_flachriemen_i.asm		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	einschl_flachriemen_i	bs	600	#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	gestell_schraeg_i	gestell_schraeg_i.prt		#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	gestell_schraeg_i	be	1600	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	gestell_schraeg_i	aueb	10	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	gestell_schraeg_i	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	gestell_schraeg_i	we	45	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	gestell_schraeg_i			#BG Modul	#Flachriemen

setDbiParam	einschl_flachriemen_i	aueb	10	#BG Modul	#Flachriemen
setDbiParam	einschl_flachriemen_i	bueb	191,25	#BG Modul	#Flachriemen
regenModel	einschl_flachriemen_i			#BG Modul	#Flachriemen
retrieveModel	einschl_schraeggurt_a	einschleus_schraeggurt_a.asm		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	einschl_schraeggurt_a	bs	600	#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	taktband1	taktband1.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	taktband1	be	1600	#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	taktband1	ltb	2500	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	taktband1			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	rolle_lang1	rolle_lang1.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	rolle_lang1	be	1600	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	rolle_lang1			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	beschleunigungsband1	beschleunigungsband1.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	beschleunigungsband1	be	1600	#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	beschleunigungsband1	lbb	2500	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	beschleunigungsband1			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	rahmen2	rahmen2.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	rahmen2	ltb	2500	#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	rahmen2	lbb	2500	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	rahmen2			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	schraeggurt_segment1	schraeggurt_segment1.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	schraeggurt_segment1	lsg	1250	#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	schraeggurt_segment1	be	1600	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	schraeggurt_segment1			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	schraeggurt_segment2	schraeggurt_segment2.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	schraeggurt_segment2	be	1600	#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	schraeggurt_segment2	we	45	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	schraeggurt_segment2			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	schraeggurt_segment3	schraeggurt_segment3.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	schraeggurt_segment3	be	1600	#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	schraeggurt_segment3	we	45	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	schraeggurt_segment3			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	schraeggurt_segment4	schraeggurt_segment4.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	schraeggurt_segment4	be	1600	#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	schraeggurt_segment4	we	45	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	schraeggurt_segment4			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	schraeggurt_segment5	schraeggurt_segment5.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	schraeggurt_segment5	be	1600	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	schraeggurt_segment5			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	umlenkrolle_schraeg	umlenkrolle_schraeg.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	umlenkrolle_schraeg	be	1600	#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	umlenkrolle_schraeg	we	45	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	umlenkrolle_schraeg			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	rahmen_kurz1	rahmen_kurz1.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	rahmen_kurz1	lsg	1250	#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	rahmen_kurz1	we	45	#BG Modul	#Schräggurt

regenModel	rahmen_kurz1			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	rahmen_lang1	rahmen_lang1.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	rahmen_lang1	lsg	1250	#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	rahmen_lang1	be	1600	#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	rahmen_lang1	we	45	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	rahmen_lang1			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	gestell_gerade1	gestell_gerade1.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	gestell_gerade1	be	1600	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	gestell_gerade1			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	gestell_schraeg1_a	gestell_schraeg1_a.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	gestell_schraeg1_a	be	1600	#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	gestell_schraeg1_a	we	45	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	gestell_schraeg1_a			#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	einschl_schraeggurt_a			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	einschl_schraeggurt_i	einschleus_schraeggurt_i.asm		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	einschl_schraeggurt_i	bs	600	#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	gestell_schraeg1_i	gestell_schraeg1_i.prt		#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	gestell_schraeg1_i	be	1600	#BG Modul	#Schräggurt
setDbiParam	gestell_schraeg1_i	we	45	#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	gestell_schraeg1_i			#BG Modul	#Schräggurt
regenModel	einschl_schraeggurt_i			#BG Modul	#Schräggurt
retrieveModel	gerade_rutsche_a	gerade_rutsche_a.asm		#BG Modul	#gerade Rutsche
setDbiParam	gerade_rutsche_a	bs	600	#BG Modul	#gerade Rutsche
retrieveModel	rutsche	rutsche.prt		#BG Modul	#gerade Rutsche
setDbiParam	rutsche	br	1600	#BG Modul	#gerade Rutsche
setDbiParam	rutsche	drg	35	#BG Modul	#gerade Rutsche
setDbiParam	rutsche	lrsb	2000	#BG Modul	#gerade Rutsche
setDbiParam	rutsche	hgr	2200	#BG Modul	#gerade Rutsche
setDbiParam	rutsche	hb	250	#BG Modul	#gerade Rutsche
setDbiParam	rutsche	sr	2,5	#BG Modul	#gerade Rutsche
regenModel	rutsche			#BG Modul	#gerade Rutsche
retrieveModel	gestell_rutsche_hinten	gestell_rutsche_hinten.prt		#BG Modul	#gerade Rutsche
setDbiParam	gestell_rutsche_hinten	br	1600	#BG Modul	#gerade Rutsche
setDbiParam	gestell_rutsche_hinten	hb	250	#BG Modul	#gerade Rutsche
regenModel	gestell_rutsche_hinten			#BG Modul	#gerade Rutsche
retrieveModel	gestell_rutsche_vorne	gestell_rutsche_vorne.prt		#BG Modul	#gerade Rutsche
setDbiParam	gestell_rutsche_vorne	br	1600	#BG Modul	#gerade Rutsche
setDbiParam	gestell_rutsche_vorne	hb	250	#BG Modul	#gerade Rutsche
regenModel	gestell_rutsche_vorne			#BG Modul	#gerade Rutsche
regenModel	gerade_rutsche_a			#BG Modul	#gerade Rutsche
retrieveModel	gerade_rutsche_i	gerade_rutsche_i.asm		#BG Modul	#gerade Rutsche
setDbiParam	gerade_rutsche_i	bs	600	#BG Modul	#gerade Rutsche
regenModel	gerade_rutsche_i			#BG Modul	#gerade Rutsche
retrieveModel	wendelrutsche_a	wendelrutsche_a.asm		#BG Modul	#Wendelrutsche
setDbiParam	wendelrutsche_a	bs	600	#BG Modul	#Wendelrutsche

retrieveModel	wendel_rutsche	wendel_rutsche.prt		#BG Modul	#Wendelrutsche
setDbiParam	wendel_rutsche	br	1600	#BG Modul	#Wendelrutsche
setDbiParam	wendel_rutsche	hb	250	#BG Modul	#Wendelrutsche
setDbiParam	wendel_rutsche	lrsb	2500	#BG Modul	#Wendelrutsche
setDbiParam	wendel_rutsche	dwr	35	#BG Modul	#Wendelrutsche
setDbiParam	wendel_rutsche	hwr	2200	#BG Modul	#Wendelrutsche
setDbiParam	wendel_rutsche	sr	2,5	#BG Modul	#Wendelrutsche
regenModel	wendel_rutsche			#BG Modul	#Wendelrutsche
retrieveModel	gestell_wendelru_hinten	gestell_wendelru_hinten.prt		#BG Modul	#Wendelrutsche
setDbiParam	gestell_wendelru_hinten	br	1600	#BG Modul	#Wendelrutsche
setDbiParam	gestell_wendelru_hinten	hb	250	#BG Modul	#Wendelrutsche
regenModel	gestell_wendelru_hinten			#BG Modul	#Wendelrutsche
retrieveModel	gestell_wendelru_vorne	gestell_wendelru_vorne.prt		#BG Modul	#Wendelrutsche
setDbiParam	gestell_wendelru_vorne	br	1600	#BG Modul	#Wendelrutsche
setDbiParam	gestell_wendelru_vorne	hb	250	#BG Modul	#Wendelrutsche
regenModel	gestell_wendelru_vorne			#BG Modul	#Wendelrutsche
regenModel	wendelrutsche_a			#BG Modul	#Wendelrutsche
retrieveModel	wendelrutsche_i	wendelrutsche_i.asm		#BG Modul	#Wendelrutsche
setDbiParam	wendelrutsche_i	bs	600	#BG Modul	#Wendelrutsche
regenModel	wendelrutsche_i			#BG Modul	#Wendelrutsche
setStringParam	ein_und_ausschleusung	variante_baugruppe_a	flachriemen_a	#BG Modul	#BG Muster A
setIntParam	ein_und_ausschleusung	na	2	#BG Modul	#BG Muster A
setDbiParam	ein_und_ausschleusung	lm1a	750	#BG Modul	#BG Muster A
setDbiParam	ein_und_ausschleusung	lm2a	1750	#BG Modul	#BG Muster A
setDbiParam	ein_und_ausschleusung	bbga	2361,7	#BG Modul	#BG Muster A
setStringParam	ein_und_ausschleusung	variante_baugruppe_b	grutsche_i_a	#BG Modul	#BG Muster B
setIntParam	ein_und_ausschleusung	nb	21	#BG Modul	#BG Muster B
setDbiParam	ein_und_ausschleusung	lm1b	500	#BG Modul	#BG Muster B
setDbiParam	ein_und_ausschleusung	lm2b	400	#BG Modul	#BG Muster B
setDbiParam	ein_und_ausschleusung	bbgb	1600	#BG Modul	#BG Muster B
setStringParam	ein_und_ausschleusung	variante_baugruppe_c	flachriemen_a	#BG Modul	#BG Muster C
setIntParam	ein_und_ausschleusung	nc	2	#BG Modul	#BG Muster C
setDbiParam	ein_und_ausschleusung	lm1c	750	#BG Modul	#BG Muster C
setDbiParam	ein_und_ausschleusung	lm2c	1750	#BG Modul	#BG Muster C
setDbiParam	ein_und_ausschleusung	bbgc	2361,7	#BG Modul	#BG Muster C
setStringParam	ein_und_ausschleusung	variante_baugruppe_d	wrutsche_i_a	#BG Modul	#BG Muster D
setIntParam	ein_und_ausschleusung	nd	8	#BG Modul	#BG Muster D
setDbiParam	ein_und_ausschleusung	lm1d	1300	#BG Modul	#BG Muster D
setDbiParam	ein_und_ausschleusung	lm2d	3850	#BG Modul	#BG Muster D
setDbiParam	ein_und_ausschleusung	bbgd	1600	#BG Modul	#BG Muster D
retrieveModel	modul_skelett	modul_skelett.prt		#BG Modul	#Skelett Modul
setIntParam	modul_skelett	he	1150	#BG Modul	#Skelett Modul

setIntParam	modul_skelett	ha	2500	#BG Modul	#Skelett Modul
regenModel	modul_skelett			#BG Modul	#Skelett Modul
regenModel	ein_und_ausschleusung			#BG Modul	
retrieveModel	schienen	schienen.asm			
retrieveModel	fuehrungsschiene	fuehrungsschiene.prt		#Schienen	#Führungsschiene
setDbiParam	fuehrungsschiene	wvf	400	#Schienen	#Führungsschiene
setDbiParam	fuehrungsschiene	hsch	80	#Schienen	#Führungsschiene
setDbiParam	fuehrungsschiene	bsch	55	#Schienen	#Führungsschiene
setDbiParam	fuehrungsschiene	ssch	5	#Schienen	#Führungsschiene
setDbiParam	fuehrungsschiene	dl	60	#Schienen	#Führungsschiene
setDbiParam	fuehrungsschiene	df	60	#Schienen	#Führungsschiene
regenModel	fuehrungsschiene			#Schienen	#Führungsschiene
retrieveModel	stromschiene	stromschiene.prt		#Schienen	#Stromschiene
setDbiParam	stromschiene	wvf	400	#Schienen	#Stromschiene
setDbiParam	stromschiene	hsch	80	#Schienen	#Stromschiene
setDbiParam	stromschiene	ssch	5	#Schienen	#Stromschiene
setDbiParam	stromschiene	df	60	#Schienen	#Stromschiene
setDbiParam	stromschiene	dl	60	#Schienen	#Stromschiene
regenModel	stromschiene			#Schienen	#Stromschiene
regenModel	schienen				
retrieveModel	gestell	gestell.asm		#Gestell	
setIntParam	gestell	ng2	80	#Gestell	
setDbiParam	gestell	lg2	2149,64	#Gestell	
retrieveModel	gestell_schienen	gestell_schienen.prt		#Gestell	
setDbiParam	gestell_schienen	ha	2500	#Gestell	
setDbiParam	gestell_schienen	he	1150	#Gestell	
setDbiParam	gestell_schienen	bg	470	#Gestell	
regenModel	gestell_schienen			#Gestell	
setDbiParam	gestell	lges	71303	#Gestell	
setDbiParam	gestell	bges	16974	#Gestell	
setDbiParam	gestell	ha	2500	#Gestell	
regenModel	gestell			#Gestell	
retrieveModel	antrieb	antrieb.asm		#Antrieb	
setStringParam	antrieb	variante_antrieb	reibrad	#Antrieb	
setIntParam	antrieb	naea	1	#Antrieb	
setIntParam	antrieb	naeb	6	#Antrieb	
setIntParam	antrieb	naec	1	#Antrieb	
setIntParam	antrieb	naed	7	#Antrieb	
setDbiParam	antrieb	la	10974	#Antrieb	
setDbiParam	antrieb	lb	65586,78	#Antrieb	
setDbiParam	antrieb	lc	10974	#Antrieb	
setDbiParam	antrieb	ld	65586,78	#Antrieb	

retrieveModel	linearmotor	linearmotor.prt		#Antrieb
setDbiParam	linearmotor	bg	470	#Antrieb
setDbiParam	linearmotor	bsch	55	#Antrieb
setDbiParam	linearmotor	dl	60	#Antrieb
setDbiParam	linearmotor	ssch	5	#Antrieb
regenModel	linearmotor			#Antrieb
retrieveModel	reibradantrieb	reibradantrieb.prt		#Antrieb
setDbiParam	reibradantrieb	bg	470	#Antrieb
setDbiParam	reibradantrieb	bsch	55	#Antrieb
setDbiParam	reibradantrieb	dl	60	#Antrieb
setDbiParam	reibradantrieb	ssch	5	#Antrieb
regenModel	reibradantrieb			#Antrieb
regenModel	antrieb			#Antrieb
regenModel	loop_o			#Abbildungen
displayModel	loop_o			#Abbildungen
setView	loop_o	3D		#Abbildungen
saveImage	loop_o	.\img\Image3D		#Abbildungen
setView	loop_o	Links		#Abbildungen
saveImage	loop_o	.\img\ImageLeft		#Abbildungen
setView	loop_o	Oben		#Abbildungen
saveImage	loop_o	.\img\ImageOfTop		#Abbildungen
setView	loop_o	Vorne		#Abbildungen
saveImage	loop_o	.\img\ImageFront		#Abbildungen
#saveModel	loop_o			#Abbildungen
openParamFile	paramFile			#auslesen Parameter
writeParam	paramFile	modul	AGR	#auslesen Parameter #gerade Rutsche
writeParam	paramFile	modul	AWR	#auslesen Parameter #Wendelrutsche
writeParam	paramFile	modul	AFTB	#auslesen Parameter #Flachriemen
writeParam	paramFile	modul	AFBB	#auslesen Parameter #Flachriemen
writeParam	paramFile	modul	AFUE1	#auslesen Parameter #Flachriemen
writeParam	paramFile	modul	AFUE2	#auslesen Parameter #Flachriemen
writeParam	paramFile	modul	AFUE3	#auslesen Parameter #Flachriemen
writeParam	paramFile	modul	AFUE4	#auslesen Parameter #Flachriemen
writeParam	paramFile	modul	AFUE5	#auslesen Parameter #Flachriemen
writeParam	paramFile	modul	AFUE6	#auslesen Parameter #Flachriemen
writeParam	paramFile	modul	AFUE7	#auslesen Parameter #Flachriemen
writeParam	paramFile	modul	AFUE8	#auslesen Parameter #Flachriemen
writeParam	paramFile	modul	ASTB	#auslesen Parameter #Schräggurt
writeParam	paramFile	modul	ASBB	#auslesen Parameter #Schräggurt
writeParam	paramFile	modul	ASG1	#auslesen Parameter #Schräggurt
writeParam	paramFile	modul	ASG2	#auslesen Parameter #Schräggurt

writeParam	paramFile	modul	ASG3	#auslesen Parameter	#Schräggurt
writeParam	paramFile	modul	ASG4	#auslesen Parameter	#Schräggurt
writeParam	paramFile	modul	ASG5	#auslesen Parameter	#Schräggurt
writeParam	paramFile	schienen	LSI	#auslesen Parameter	#Schienen
writeParam	paramFile	schienen	LSA	#auslesen Parameter	#Schienen
closeParamFile	paramFile	paramFile.xml		#auslesen Parameter	
retrieveModel	stueckliste_o_layout	stueckliste_o_layout.drw		#Stückliste erstellen	
displayModel	stueckliste_o_layout			#Stückliste erstellen	
regenModel	loop_o			#Stückliste erstellen	
saveAsPDF	stueckliste_o_layout	stueckliste_o_layout		#Stückliste erstellen	
disconnectSession					

11.2 Stückliste Konfigurationsbeispiel O-Layout

Mengenübersichtsstückliste (DIN 6771-A; DIN 199 T2) / alle Teile aller Baugruppenebenen / keine Baugruppen							
1	2	3	4	5	6	7	8
Lfd. Nr.	Menge	Einheit	Benennung (Kategorie/Dateiname)	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung/Lieferant	Werkstoffnummer/Material	Masse in kg	Bemerkung
1	208	Stk	FAHRWAGEN	-	1.0060; E335	13.937	-
2	208	Stk	KUGELGELENKBOLZEN	-	1.1191; C45E	0.061	-
3	208	Stk	KUGELGELENKSPFANNE	-	1.7218; GS-25CrMo4	0.137	-
4	416	Stk	LAUFROLLENBOLZEN	-	1.0718; 9SMnPb28	0.041	-
5	4	Stk	RAHMEN_KURZ	-	1.0570; S355J2G3	78.510	-
6	4	Stk	RAHMEN_LANG	-	1.0570; S355J2G3	94.656	-
7	208	Stk	REIBRADANTRIEB_REIBLEISTE	-	1.4122; X39CrMo17-1	4.302	-
8	208	Stk	SCHALE_GERADE	-	Holz, lackiert	5.020	-
9	15	Stk	REIBRADANTRIEB	BEUMER OptiDrive® BS	-	64.000	-
10	208	Stk	KIPPMOTOR	EC-Motor - VarioDrive C M3G084-GF08-81, 230V, IP 55, Fa. EBM-Pabst	-	6.800	-
11	42	Stk	RUTSCHE	EN 10130 / EN 10131	1.0330; DC 01 kaltgewalzt	250.193	Flächeninhalt Blech: 13 m²
12	16	Stk	WENDEL_RUTSCHE	EN 10130 / EN 10131	1.0330; DC 01 kaltgewalzt	431.114	Flächeninhalt Blech: 22 m²
13	416	Stk	SCHALENTRAEGERKULISSE	EN AB-46000	226D; AISI9Cu3(Fe)	0.220	-
14	4	Stk	BESCHLEUNIGUNGSBAND	Fa. Ambell®	2-lagiges Polyestergerewebe; PVC-beschichtet, glatt, schwarz	23.259	Flächeninhalt Gurt: 101127 cm²
15	4	Stk	TAKTBAND	Fa. Ambell®	2-lagiges Polyestergerewebe; PVC-beschichtet, glatt, schwarz	23.259	Flächeninhalt Gurt: 101127 cm²
16	4	Stk	UEBERGABEBAND1	Fa. Ambell®	2-lagiges Polyestergerewebe; PVC-beschichtet, glatt, schwarz	0.581	Flächeninhalt Gurt: 2525 cm²
17	4	Stk	UEBERGABEBAND2	Fa. Ambell®	2-lagiges Polyestergerewebe; PVC-beschichtet, glatt, schwarz	0.758	Flächeninhalt Gurt: 3295 cm²
18	4	Stk	UEBERGABEBAND3	Fa. Ambell®	2-lagiges Polyestergerewebe; PVC-beschichtet, glatt, schwarz	0.935	Flächeninhalt Gurt: 4065 cm²
19	4	Stk	UEBERGABEBAND4	Fa. Ambell®	2-lagiges Polyestergerewebe; PVC-beschichtet, glatt, schwarz	1.112	Flächeninhalt Gurt: 4835 cm²
20	4	Stk	UEBERGABEBAND5	Fa. Ambell®	2-lagiges Polyestergerewebe; PVC-beschichtet, glatt, schwarz	1.289	Flächeninhalt Gurt: 5604 cm²
21	4	Stk	UEBERGABEBAND6	Fa. Ambell®	2-lagiges Polyestergerewebe; PVC-beschichtet, glatt, schwarz	1.466	Flächeninhalt Gurt: 6374 cm²
22	4	Stk	UEBERGABEBAND7	Fa. Ambell®	2-lagiges Polyestergerewebe; PVC-beschichtet, glatt, schwarz	1.643	Flächeninhalt Gurt: 7144 cm²
23	4	Stk	UEBERGABEBAND8	Fa. Ambell®	2-lagiges Polyestergerewebe; PVC-beschichtet, glatt, schwarz	1.820	Flächeninhalt Gurt: 7914 cm²
24	12	Stk	GESTELL_GERADE	Flachstahl DIN EN 10058	1.0038; S235JRG2	52.884	-
25	42	Stk	GESTELL_RUTSCHE_HINTEN	Flachstahl DIN EN 10058	1.0038; S235JRG2	78.557	-
26	84	Stk	GESTELL_RUTSCHE_VORNE	Flachstahl DIN EN 10058	1.0038; S235JRG2	23.814	-
27	80	Stk	GESTELL_SCHIEBEN	Flachstahl DIN EN 10058	1.0038; S235JRG2	53.930	-
28	4	Stk	GESTELL_SCHRAEG_A	Flachstahl DIN EN 10058	1.0038; S235JRG2	55.710	-
29	16	Stk	GESTELL_WENDEL_RUTSCHE_HINTEN	Flachstahl DIN EN 10058	1.0038; S235JRG2	78.249	-
30	32	Stk	GESTELL_WENDEL_RUTSCHE_VORNE	Flachstahl DIN EN 10058	1.0038; S235JRG2	23.505	-
31	64	Stk	ROLLE_KURZ	galvanisch verzinkte Präzisionsrohre; EN 10305-4	1.0308; E235+N	1.150	-
32	16	Stk	ROLLE_LANG	galvanisch verzinkte Präzisionsrohre; EN 10305-4	1.0308; E235+N	9.618	-
33	1	Stk	STROMSCHIENE	-Offene Stromschiene Fa. Vahle	-	749.294	Länge Schiene gesamt: 173 m
34	416	Stk	FUEHRUNGSROLLE	PU Rolle mit ZV Kugellager; Fa. KNEBUSCH	-	0.280	-
35	416	Stk	LAUFROLLE	PU Rolle mit ZV Kugellager; Fa. KNEBUSCH	-	0.360	-
36	12	Stk	GETRIEBEMOTOR_EINSCHLEUSUNG	SEW Stimradgetriebemotor RX57; 230/400V, 50Hz; IP67	-	14.000	-
37	208	Stk	SPULE	U Pick-Up PU 14 Spule, 250 VAC, 20 kHz, IP 54; Fa. Vahle	-	3.720	-
38	1	Stk	FUEHRUNGSSCHIENE	-U-Profil DIN 58413 EN 10025 kaltgefertigt	1.0038; S235JRG2	2429.951	Länge Schiene gesamt: 344 m