



Jakob Harrer

# **Variantenmanagement im Anlagenbau in der Intralogistik**

## **Masterarbeit**

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

eingereicht am

**Institut für Technische Logistik (ITL)**

Betreuer Dipl.-Ing. Michael Schedler

Graz, am 06.06.2019

In Kooperation mit

**KNAPP AG**

## 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. Das in TU-GRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

---

Datum

---

Unterschrift

---

## Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit werden beispielhaft für eine Produktkomponente eines automatischen Regalbediensystems der KNAPP AG die Vorgehensweisen im Variantenmanagement erläutert und aufgrund detaillierter Analysen Vorschläge zur Variantenreduktion erarbeitet. Als Beispielkomponente wurde der OSR EVO Zwischenpuffer (Buffer zwischen dem Lift und den Shuttles in den Ebenen) ausgewählt, da dieser im Regalsystem die größte Häufigkeit und auch sehr hohe Vielfalt aufweist.

Nach Sondierung mehrerer Methoden in der Literatur wurde das EVAPRO-Konzept ausgewählt und diente in der Folge als Leitfaden für die weitere Vorgehensweise. Zur Analyse wurden die Daten aller produzierten Einheiten zwischen 2012 und 2018 herangezogen und auf ihre Verteilung der unterschiedlichen Parameterausprägung hin untersucht. Weiters wurde eine Abhängigkeitsmatrix erstellt, welche die Zusammenhänge zwischen Parametern und Bauteilen aufzeigt. Als nächstes wurden sämtliche Parameter eingehend auf ihre Funktion und Wirkung in den einzelnen Bauteilen analysiert. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden dann auf mögliche Standardisierungsmaßnahmen angewandt, zuerst auf Ebene der Gesamtbaugruppe und im nächsten Schritt auf Ebene der Bauteile. Bei der Gesamtbaugruppe wurden vor allem die Methoden des Clustering und der Modularisierung angewendet, auf Bauteilebene wurde versucht die Links-/Rechtsvarianten durch Symmetrieausnützung zusammenzulegen. Für die so erhaltenen Standardisierungsmaßnahmen wurden anschließend mögliche Auswirkungen und Einsparungspotentiale auf Prozessebene analysiert. Hier wurden vor allem die Berücksichtigung von Skaleneffekten, eine mögliche Vorratsproduktion und die Kanban-Belieferung des Zusammenbaus näher betrachtet.

In weiterer Folge wurden die Resultate aus der Produkt- und Prozessanalyse zusammengeführt und gemeinsam bewertet, um Kosten und Nutzen gegenüberzustellen. Diese Ergebnisse wurden diskutiert und es wurden Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise abgegeben. Eine Analyse der Organisationsstruktur in der Auftragsabwicklung rundet diese Arbeit ab.

## **Abstract**

In this master's thesis a component of KNAPP's automated order, storage and retrieval system is analyzed concerning variant management approaches. One specific component (the puffer between elevator and shuttles on the levels) was chosen as it combines high occurrence in the system as well as a high number of variants.

By searching in books and papers a few methods were found to be applicable for variant reduction purposes and EVAPRO concept was chosen to be basis for further proceedings. To evaluate the diversity there was done an analysis of parameter data of all produced items from 2012 to 2018. The dependencies between parameters and parts were shown in a matrix and furthermore there was done a detailed analysis on effects and functionality of these parameters. The results were basis for standardization procedures, first on component and furthermore on part level. There were used clustering and modularization technics on component level, whereas the approach on parts level was to make the items symmetric to get rid of different variants for left and right side.

The outcome of this analysis were standardization measures which got examined in detail on process level to identify some savings effects. In the center of interest were economies of scale, possibility to produce on stock and parts delivery with kanban system in the assembly. For the next step the outcome of product and process analysis was consolidated to find out more about costs and benefits of these measures. The results were discussed and led to recommendation on further proceedings. An analysis on the organization structure in order fulfillment processes is completing this thesis.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausgangssituation und Zielsetzung.....</b>	<b>1</b>
1.1	KNAPP AG.....	1
1.1.1	Produkte und Marktsegmente .....	1
1.1.2	Wirtschaftliches Umfeld.....	1
1.2	Problemstellung .....	2
1.3	Zielsetzung.....	3
1.4	Abgrenzung.....	4
1.4.1	Komponenten im OSR-Shuttle-System .....	4
1.4.2	Untersuchungsbereich der Diplomarbeit.....	7
1.5	Aufbau der Arbeit .....	8
<b>2</b>	<b>Grundlagen .....</b>	<b>9</b>
2.1	Definition Variante, Variantenvielfalt.....	9
2.2	Ursachen von Variantenvielfalt.....	10
2.2.1	Externe Ursachen .....	10
2.2.2	Interne Ursachen.....	10
2.3	Auswirkungen der Variantenvielfalt .....	12
2.3.1	Komplexität .....	13
2.3.2	Auswirkungen über den Produktlebenszyklus .....	13
2.3.3	Kostenwirkung der Variantenvielfalt .....	17
2.3.4	Teufelskreis hoher Variantenvielfalt.....	20
2.4	Variantenmanagement.....	21
2.4.1	Ziele des Variantenmanagements .....	21
2.4.2	Konzepte zum Variantenmanagement .....	23
<b>3</b>	<b>Durchführung.....</b>	<b>31</b>
3.1	Analyse und Bewertung der Variantenvielfalt .....	32
3.1.1	Grobanalyse der Parameter .....	33
3.1.2	Analyse mittels Abhängigkeitsmatrix .....	34
3.1.3	Detailanalyse der Parameter .....	36
3.2	Strukturierung und Gestaltung des Produktspektrums.....	40
3.2.1	Optimierung an der Baugruppe .....	40
3.2.2	Optimierung an Bauteilen durch Symmetrienausnutzung .....	44

---

3.3	Variantengerechte Gestaltung der Produktionsstruktur .....	49
3.3.1	Ausnützen von Skaleneffekten .....	49
3.3.2	Untersuchung Vorproduktion zur Glättung der Auslastung .....	51
3.3.3	Kanbanbelieferung der Assemblierung.....	53
3.4	Abstimmung der Produkt- und der Produktionsstruktur .....	54
3.4.1	Analyse Eliminierung der Parameter FXTIS und STB.....	54
3.4.2	Analyse Eliminierung des Parameters DBX.....	55
3.4.3	Analyse Clustering auf Hauptgrößen .....	55
3.4.4	Analyse Symmetrienausnutzung .....	58
3.4.5	Analyse Sensor- und Reflektorhalter .....	60
3.5	Organisatorische Anpassung der Auftragsabwicklung .....	62
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>64</b>
4.1	Zusammenfassung.....	64
4.2	Ausblick.....	67
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>69</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>71</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>73</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>74</b>

# 1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Das erste Kapitel soll als Einführung in die Thematik dieser Arbeit dienen, das auftraggebende Unternehmen, die KNAPP AG kurz vorstellen und einen Überblick über die zugrundeliegende Problemstellung geben. Die genaue Abgrenzung des Themas soll die Aufgabenstellung weiter präzisieren, abschließend wird die weitere Gliederung dieser Arbeit erläutert.

## 1.1 KNAPP AG

Die KNAPP AG (KAG) ist ein global aufgestelltes Unternehmen mit Hauptsitz in Hart bei Graz. KNAPP zählt zu den weltweit führenden Unternehmen im Bereich Intralogistik und bietet als Systemanbieter komplette Lagerlogistiklösungen an, die sowohl die gesamte mechanische und elektrische Infrastruktur als auch die dazugehörige Software zum Betrieb des Lagers umfassen. Zu den Kernbranchen zählen Healthcare, Fashion, Retail, Food Retail und Industry. Die Kunden werden ausgehend von derzeit rund 40 Standorten mit rund 4.200 Mitarbeitern weltweit bedient, die Exportquote beträgt rund 98 %. Das Unternehmen erzielte im Geschäftsjahr 2017/18 einen Auftragseingang von rund 926 Mio. Euro und insgesamt wurden seit der Gründung 1952 rund 1.800 Anlagen weltweit umgesetzt. [KNA19a]

### 1.1.1 Produkte und Marktsegmente

Die Knapp AG bietet Produkte in folgenden Technologiebereichen an:

- Fördern und Sortieren
- Lagern
- Kommissionieren
- Arbeitsplätze
- Handhabung
- Software

Im Bereich Lagern werden unter anderem die Produkte OSR-Shuttle (Order, Storage and Retrieval), KNAPP-Store, Industore, Fastbox sowie Regalbediengeräte und der KNAPP Medication Dispenser als Einzelprojekt oder im Rahmen eines Gesamtlagerkonzeptes umgesetzt. Die einzelnen Produkte werden in unterschiedlichen Standorten der KNAPP-Gruppe hergestellt, das in weiterer Folge für diese Diplomarbeit relevante OSR-Shuttle-System wird am Hauptsitz in Hart bei Graz entwickelt und gefertigt. [KNA19b]

### 1.1.2 Wirtschaftliches Umfeld

Die Knapp AG hat sich in den letzten 10 Jahren sehr positiv entwickelt, durchschnittlich stieg der Umsatz pro Geschäftsjahr um rund 14 % gegenüber dem Vorjahr. (siehe Abbildung 1)

Diese Entwicklung fußt auf eine Strategie der Technologieführerschaft, es werden beträchtliche Summen in Forschung und Entwicklung investiert. Besonders im Bereich der in dieser Diplomarbeit behandelten Shuttle-Technologie ist das Unternehmen Weltmarktführer. Die Lösungen der KNAPP AG zeichnen sich durch hohen Durchsatz, Flexibilität und Skalierbarkeit aus. Derzeit befindet sich das Unternehmen in einer Hochkonjunkturphase, der Auftragseingang ist sehr hoch und es ist aufgrund der gesamtwirtschaftlichen Situation schwierig, die nötigen Ressourcen zur Abwicklung aller Aufträge zu akquirieren.

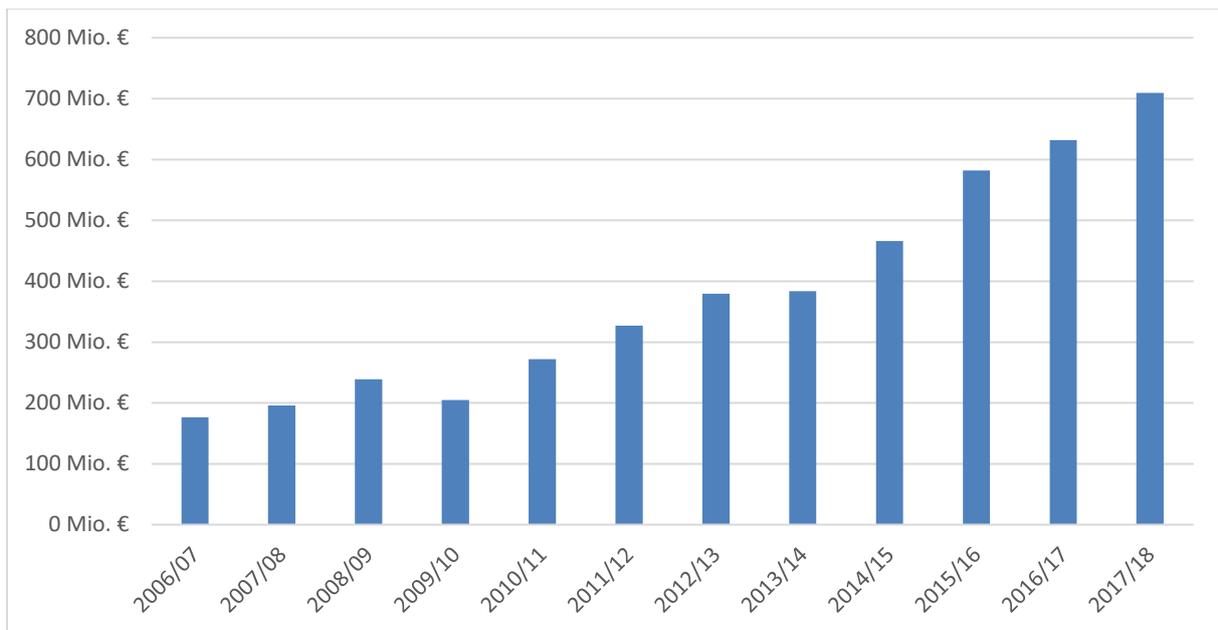


Abbildung 1: Umsatzentwicklung der KNAPP-Gruppe (Geschäftsjahr: 1. April – 31. März) (vgl. [COM19])

## 1.2 Problemstellung

Das OSR-Shuttle-System ist ein automatisches Lagersystem für Behälter und Kartons der KNAPP AG. Mit Hilfe von sogenannten Shuttles (Ebenenbediengeräten), welche jeweils in einer Ebene des Regalsystems verfahren können, werden die Lagereinheiten in horizontaler Richtung aus dem Regal zu einem Lift gebracht, welcher die Lagereinheiten auf vertikalem Weg transportiert und auf eine gemeinsame Fördertechnik auslagert.

Bei der Auslegung der Shuttles und der Lifte bzw. des Regals kann der Anwender mit Hilfe von Parametern die Eigenschaften der Komponenten steuern, so, dass eine Komponente in unterschiedlichen Größen, Varianten und Ausprägungen vorliegen kann.

Die einzelnen Komponenten des OSR-Shuttle-Systems weisen aktuell eine sehr hohe Variantenvielfalt auf, wobei sehr viele Varianten in nur sehr geringer Stückzahl produziert werden. (siehe Abbildung 2)

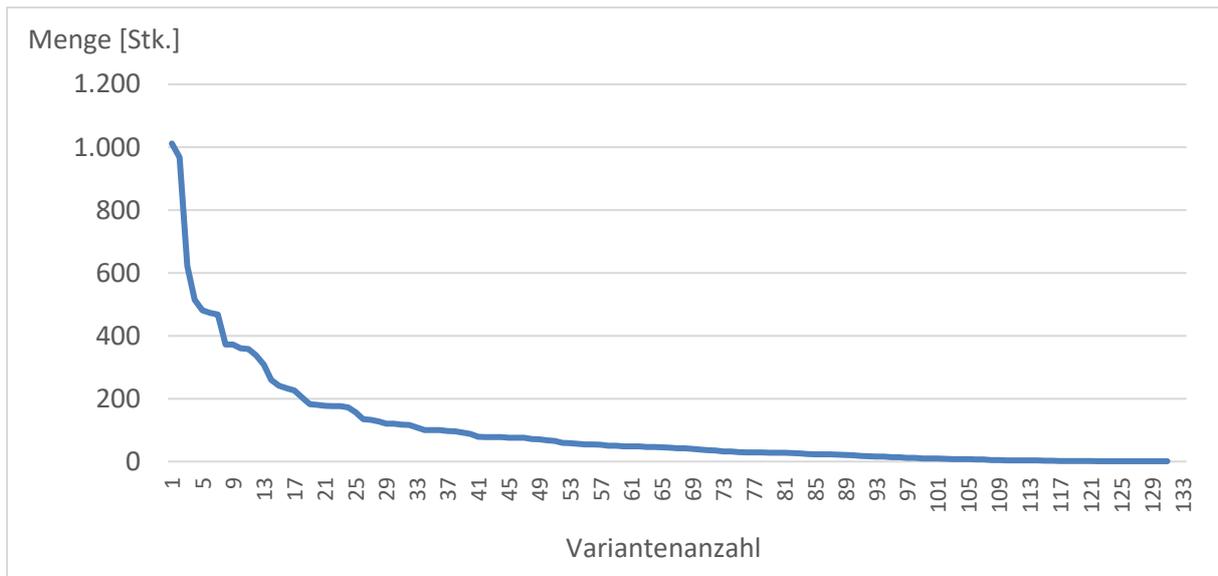


Abbildung 2: Produzierte Varianten des OSR-Shuttles 35b von 2012 – 2017

### 1.3 Zielsetzung

Um den Anforderungen des Marktes nachzukommen und die immer häufiger geforderten kurzen Projektdurchlaufzeiten realisieren zu können, müssen die Prozesse innerhalb der KNAPP AG verbessert und beschleunigt werden. Ein wichtiger Schritt dazu ist es, den derzeitig nahezu sequentiellen Verlauf der Projektdetailplanung und der nachfolgenden Produktionsphase zu parallelisieren, um dadurch die Gesamtdurchlaufzeit des Kundenprojekts zu reduzieren. (siehe Abbildung 3) Gleichzeitig sollen die Stückzahlen der vorproduzierten Bauteile und Komponenten erhöht werden um die Produktionsphase effizienter zu gestalten.

Eine wichtige Voraussetzung um diese Ziele zu erreichen ist eine Produktstruktur, welche diese Prozesse unterstützt und ermöglicht. Dazu gehört einerseits die Einschränkung der aktuellen Variantenvielfalt, andererseits aber auch der Aufbau der spezifischen Materialnummern (Stücklisten), welche eine geteilte Produktion ermöglichen.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden Methoden aufgezeigt, um eine bestehende Variantenvielfalt zu reduzieren und beherrschbar zu machen und ein derartiges Projekt in einem mittelständischen Unternehmen durchzuführen. In einem weiteren Schritt erfolgt die Anwendung dieser Methodik an einer ausgewählten Komponente des OSR-Shuttle-Systems um konkrete Vorschläge zu liefern, wie die Variantenvielfalt bei diesem Produkt beherrschbar gemacht werden kann.

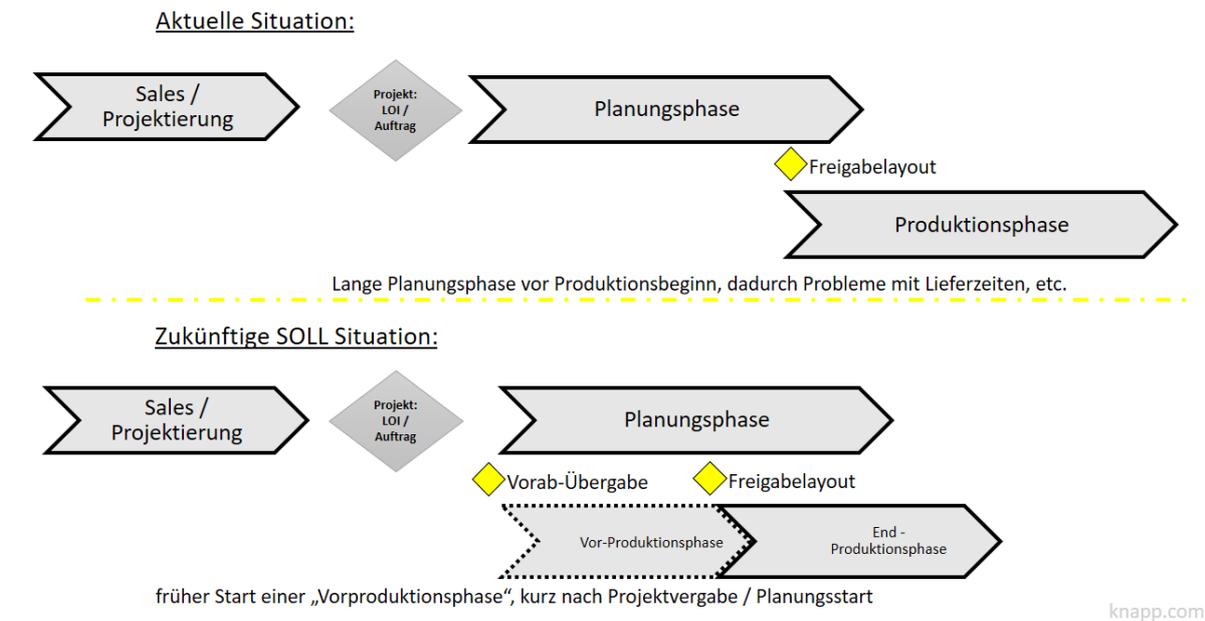


Abbildung 3: Aktuelle sequentielle Projektentwicklung in Planungs- und Produktionsphase und gewünschte Soll-Situation

## 1.4 Abgrenzung

Im Folgenden sollen die einzelnen Komponenten des Produktes OSR-Shuttle genauer erläutert werden und jene Komponente benannt werden, die in der weiteren Folge dieser Arbeit hinsichtlich Variantenmanagement untersucht wird.

### 1.4.1 Komponenten im OSR-Shuttle-System

Wie bereits in Abschnitt 1.2 kurz erwähnt besteht das OSR-Shuttle-System aus mehreren Unterkomponenten, die in einem Baukastensystem organisiert sind und in verschiedenen Mengen und Ausprägungen miteinander kombiniert werden können. In Abbildung 4 ist beispielhaft ein OSR-Shuttle-System dargestellt. Die einzelnen Komponenten werden nachfolgend erläutert.

#### 1.4.1.1 Förderstreckenbindung

Über die Förderstreckenbindung werden die Ladehilfsmittel (Behälter, Kartons oder Trays) zum OSR-Shuttle-System befördert. Dort werden sie direkt an das Lastaufnahmemittel des Lift-Systems übergeben.

#### 1.4.1.2 Lift

Der Lift befindet sich am Kopfende des Regals und befördert mit Hilfe des Lastaufnahmemittels die Ladehilfsmittel nach der Übernahme von der Förderstrecke vertikal in die richtige Regalebene. Vor jeder Regalgasse sind im Regelfall zwei Lifte platziert über einen erfolgt die Einlagerung und über den zweiten die Auslagerung. Im 2D-System wo die Shuttles über einen

Quergang die Gasse wechseln können, kann auch ein Liftpaar für mehrere Gassen vorgesehen sein.



Abbildung 4: Darstellung eines 1D-OSR-Shuttle-Systems (1... Förderstreckenabdeckung, 2... Lift, 3... Lastaufnahmemittel, 4... Zwischenpuffer, 5... Shuttle, 6... Regal) (Foto: KNAPP Marketing)

#### 1.4.1.3 Lastaufnahmemittel

Das Lastaufnahmemittel ist fix mit dem Lift verbunden und ist vereinfacht gesagt die „Liftkabine“ des Liftsystems. Das Lastaufnahmemittel übernimmt das Ladehilfsmittel von der Förderstreckenabdeckung und wird dann durch den Lift in die einzulagernde Ebene gehoben. Der Behälter wird dann an den Zwischenpuffer übergeben.

#### 1.4.1.4 Zwischenpuffer

Der Zwischenpuffer ist das Bindeglied zwischen Liftsystem und Shuttle. Damit der Lift nicht auf das Shuttle warten muss und umgekehrt, werden die Ladehilfsmittel beim Ein- und Auslagern als Zwischenschritt auf den Zwischenpuffer geschleust. Damit sind der vertikale und der horizontale Transport im OSR-System komplett voneinander entkoppelt um eine maximale Performance zu erzielen. Je nach Durchsatzleistung und Layout können bis zu vier Zwischenpuffer je Lift und Ebene im System verbaut sein. Die Einbauplätze sind in Abbildung 6 dargestellt. Nachdem der Zwischenpuffer für die weitere Optimierung als Beispielkomponente herangezogen wird (siehe 1.4.2 Untersuchungsbereich), soll er an dieser Stelle noch etwas detaillierter beschrieben werden: Vom Zwischenpuffer gibt es im Regalsystem je nach Einbauposition drei verschiedene Grundausführungen (siehe Abbildung 5). Diese haben einen größtenteils identen Grundkörper bestehend aus dem vorderen (1) und hinteren Seitenteil (2), den

Tragrollen (3) und der Motorrolle (4). Tragrollen und Motorrolle sind mit Treibriemen verbunden. Auch die aufgebauten Sensoren (5) und die beiden Reflektoren (6) sind auf allen 3 Varianten gleich.

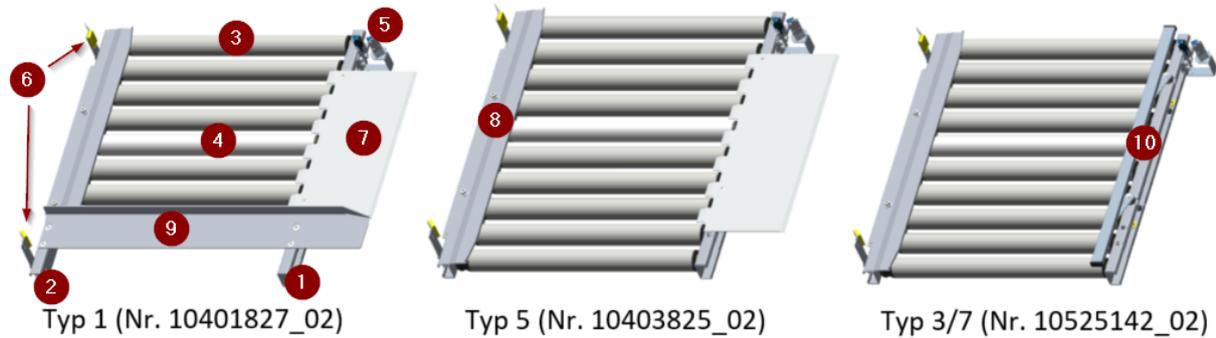


Abbildung 5: Grundvarianten des Zwischenpuffer EVO

Die Unterscheidung erfolgt dann in den restlichen Aufbauteilen. Je nach Einbaustelle im Regalsystem werden Überschiebeblech (7), Seitenanschlag (8), stirnseitiger Anschlag (9), oder Seitenführung (10) auf den Zwischenpuffer aufgebaut. Die Version mit Seitenanschlag und Seitenführung ist für den Sonderfall eines sekundären Zwischenpuffers in der Ebene der Förderstreckenansbindung vorgesehen. (Typ 3 / 7)

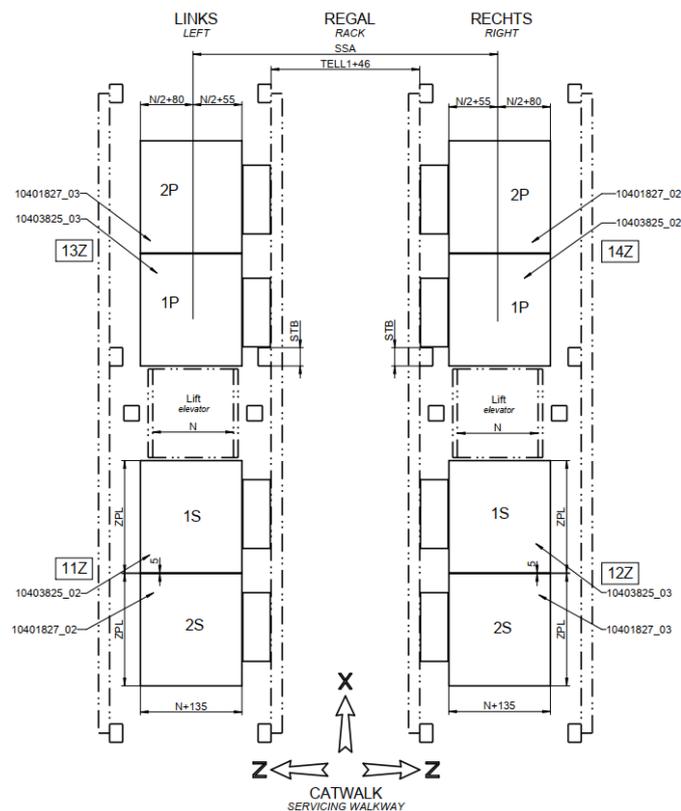


Abbildung 6: Einbaupositionen des Zwischenpuffers

### 1.4.1.5 Shuttle

Das Shuttle bildet das Herzstück im OSR-Shuttle-System und übernimmt den horizontalen Transport im Regal. Dabei holt es sich das Ladehilfsmittel vom Zwischenpuffer und transportiert es dann zum richtigen Regalstellplatz, wo es mithilfe der ausfahrbaren Teleskoparme an seinen Platz geschoben wird. Grundsätzlich ist in jeder Gasse je Ebene ein Shuttle vorgesehen, im 2D-System, wo die Shuttles die Gassen über einen Quergang wechseln können, ist diese Zuordnung nicht mehr zwingend notwendig.

### 1.4.1.6 Regal

Das Regal ist ein einfaches Fachbodenregal, in das die Ladehilfsmittel (Behälter, Kartons oder Trays) in jeder Ebene mittels Shuttles eingelagert werden können. Dabei können im Regal mehrere Ladehilfsmittel hintereinander platziert werden. (einfach-, oder mehrfachtiefe Lagerung) Am Regal sind auch die Fahrschienen und die Stromschienen montiert, auf denen das Shuttle sich durch die Gassen bewegt bzw. durch die es mit Strom versorgt wird. Das Regal wird extern von einer Stahlbaufirma gefertigt und montiert.

## 1.4.2 Untersuchungsbereich der Diplomarbeit

Aus der vorhergegangenen Beschreibung der Komponenten des OSR-Shuttle-Systems wird sehr schnell klar, dass die Zwischenpuffer und Shuttles im System mengenmäßig den größten Anteil ausmachen, da sie in jeder Ebene mindestens einmal vorkommen, während Lift und Lastaufnahmemittel nur einmal je Gasse verbaut sind. Der Zwischenpuffer ist im Vergleich zum Shuttle je nach Durchsatzanforderung bis zu achtmal so häufig verbaut wie das Shuttle und weist im Vergleich dazu eine deutlich einfachere Konstruktion auf als das Shuttle. Aus diesen Gründen wurde der Zwischenpuffer genauer hinsichtlich einer variantenoptimierten Gestaltung untersucht. Die im Rahmen dieser Diplomarbeit erarbeitete Methodik kann aber auch für die anderen Komponenten in ähnlicher Weise angewandt werden. Für die Untersuchung des Zwischenpuffers sollen alle Unterbaugruppen und Teile sowie die Prozesse der auftragsabwickelnden Abteilungen hinsichtlich Kostenoptimierung durch Variantenmanagement analysiert werden. Hier liegt der besondere Focus auf jene Abteilungen die direkt am Materialfluss im Haus involviert sind, aber es sollen auch mögliche Auswirkungen in Richtung Marketing und Sales, Planung, oder Versand, Montage und Inbetriebsetzung berücksichtigt werden. (siehe auch Abbildung 7) Als Ergebnis soll am Ende eine Empfehlung über sinnvolle variantenreduzierende Maßnahmen abgegeben werden.

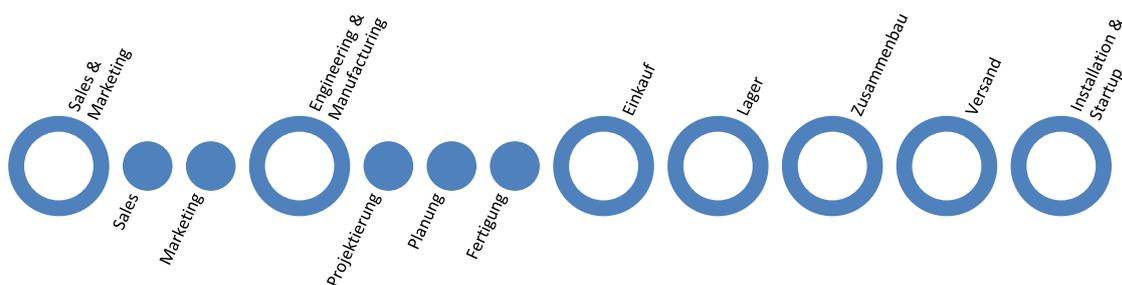


Abbildung 7: Auftragsabwickelnde Abteilungen der KNAPP AG

## 1.5 Aufbau der Arbeit

Die Diplomarbeit gliedert sich in ein Einleitungskapitel, das zum Thema hinführen soll und gibt in Kapitel zwei die Grundlagen zu dieser Thematik vor. Das dritte Kapitel beinhaltet die praktische Durchführung des Variantenmanagements im Unternehmen und geht dabei systematisch nach der sogenannten EVAPRO-Methode vor. (siehe auch Kapitel 2.4.2.4) Dabei wird mit einer Analyse und Bewertung der Variantenvielfalt gestartet, anschließend werden das zu analysierende Produkt und die dazugehörigen Prozesse genauer beleuchtet. Da es zwischen diesen Bereichen Wechselwirkungen gibt, müssen die Erkenntnisse aus den beiden Zweigen wieder zusammengeführt und aufeinander abgestimmt und bewertet werden. Abschließend wird das organisatorische Umfeld der Auftragsabwicklung näher betrachtet und gegebenenfalls werden Vorschläge zu einer Anpassung an die neue Situation gemacht.

Im vierten Kapitel werden die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst und es wird ein kurzer Ausblick über weitere Untersuchungen und Betrachtungsweisen gegeben. (Der Ablauf ist in Abbildung 8 grafisch dargestellt.)

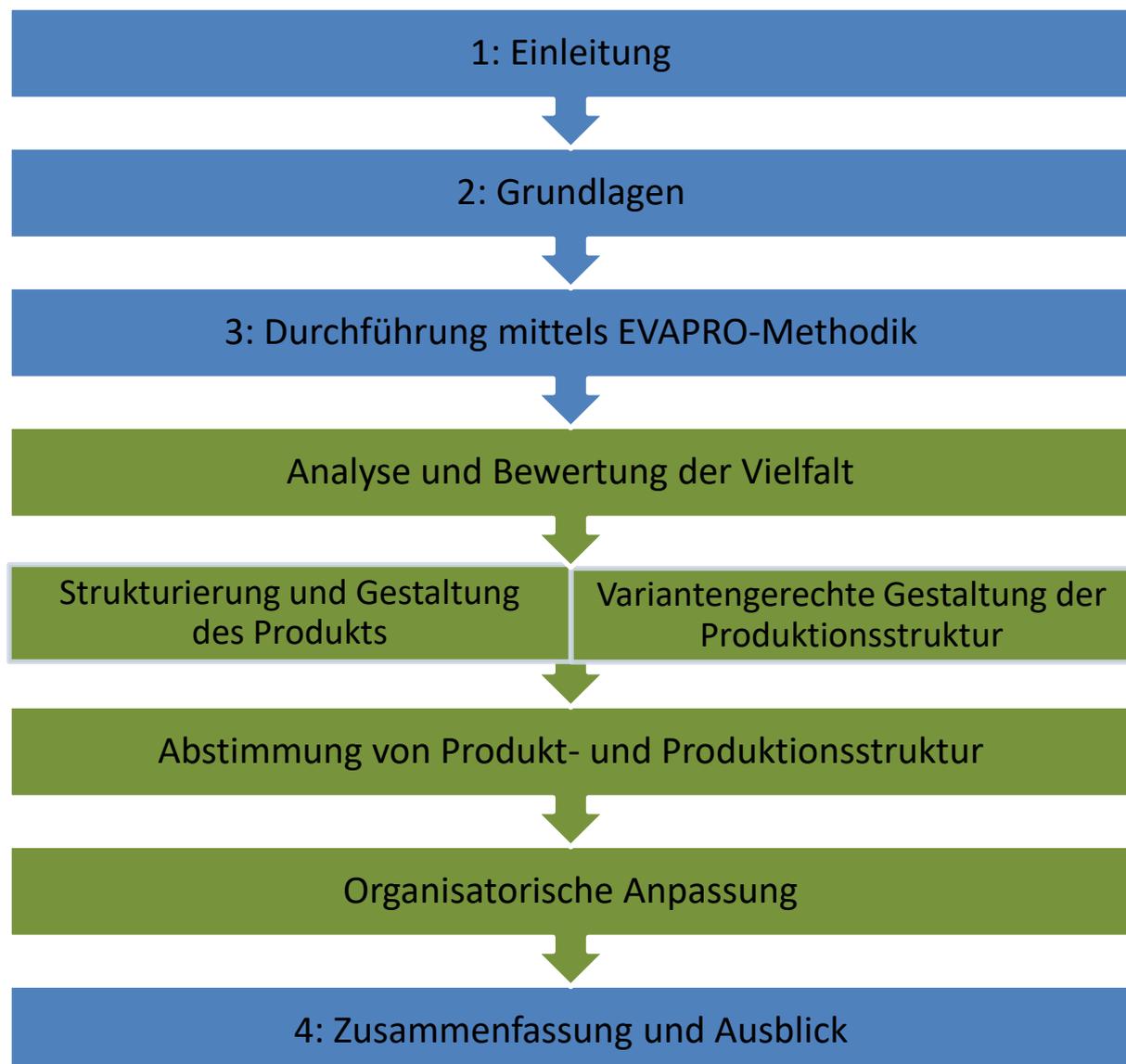


Abbildung 8: Schematischer Aufbau der Diplomarbeit

## 2 Grundlagen

Im zweiten Kapitel werden die theoretischen Grundlagen der Diplomarbeit erläutert die für den weiteren Verlauf als Basis dienen sollen. Hierbei gilt es zuerst eine allgemeine Definition für die wichtigsten Begriffe wie Varianten, Variantenvielfalt etc. zu finden. Im weiteren Verlauf sollen die Ursachen sowie die Auswirkungen der Variantenvielfalt beleuchtet werden. Unter Unterpunkt 2.4 werden dann Konzepte des Variantenmanagements vorgestellt, um ein optimales Maß an Variantenvielfalt im Unternehmen zu finden und dieses auch beherrschbar zu machen.

### 2.1 Definition Variante, Variantenvielfalt

In DIN 199 sind Varianten als „Gegenstände in ähnlicher Form und/ oder Funktion mit in der Regel hohem Anteil identischer Gruppen oder Teile“ ([DIN93], S.9) definiert. Mit dieser Definition ist jedoch nur Varianten von Produkten genüge getan. Um den Begriff allgemeiner zu fassen wird die Definition von Franke und Firchau folgendermaßen erweitert:

„Eine Variante eines Technischen Systems ist ein anderes Technisches System gleichen Zwecks, das sich in mindestens einer Beziehung oder einem Element unterscheidet. Ein Element unterscheidet sich von einem anderen Element in mindestens einer Eigenschaft. ([DIN93], S.9)

Diese Definition bezieht sich auf den Systembegriff und umfasst sowohl Produktvarianten als auch Prozessvarianten. Produktvarianten können sich in ihrer Funktion oder auch in ihrer Struktur voneinander unterscheiden. Neben offensichtlichen konstruktiven Unterschieden können aber auch andere Verkaufskonditionen wie z.B. die Gewährleistung oder zusätzlich angebotene Dienstleistungen zum Produkt die Variantenunterscheidung ausmachen.

Prozessvarianten beziehen sich auf unterschiedliche Prozessabfolgen im Unternehmen und können durch unterschiedliche Produktvarianten ausgelöst werden (produktvarianten-induzierte Prozessvariante) oder auch nicht (produktvarianten-neutrale Prozessvariante).

Unter Variantenvielfalt wird von Franke et al. „die Anzahl und Verschiedenheit der Varianten eines Einzelteils, einer Baugruppe, oder eines Produktes verstanden.“ ([FHH+02], S.19)

Im Zuge der Variantenvielfalt muss noch weiter zwischen interner und externer Vielfalt unterschieden werden. Die externe Variantenvielfalt entspricht dabei der Produktvielfalt, die der Kunde wahrnimmt und beeinflusst den Kundennutzen. Die interne Variantenvielfalt ist die Dimension der Vielfalt, die im Unternehmen wahrgenommen wird. Merkmale dazu sind die Anzahl der Teilevarianten, Baugruppen und Prozesse, die für die Erstellung des Produktes notwendig sind. Generell ist externe Vielfalt für das Unternehmen vorteilhaft, da sie den Kundennutzen erhöht. Der Nutzen muss aber für den Kunden erkennbar sein um sich positiv auf Umsatz und Gewinn auszuwirken. Hingegen ist die interne Variantenvielfalt eher negativ zu sehen, da mit ihr meist höhere Komplexität in den Unternehmensprozessen und zusätzliche Kosten verbunden sind. (vgl. [FF01], S.7f)

## 2.2 Ursachen von Variantenvielfalt

Die Anzahl der Varianten hat sich in den letzten Jahrzehnten in den meisten Produktbereichen vervielfacht. Am Beispiel der Entwicklung des PKW lässt sich dieser Trend sehr gut aufzeigen: Das von Henry Ford geprägte Zitat „Give the customers any color they want, so long it is black.“ lässt bereits erste Überlegungen bezüglich Variantenbildung erkennen, die Vielzahl heutiger Autovarianten war für ihn damals aber wohl nicht absehbar. So erhöhte sich die Produktvariantenanzahl bei BMW zwischen 1980 und 1990 um rund 460 % von rund 100 auf über 500 Varianten, die Tendenz ist nach wie vor steigend. (vgl. ([FF01], S.14); ([HH13], S.395))

Für diese rasante Entwicklung sind sowohl externe Gründe aus der Umwelt und dem Marktumfeld des Unternehmens als auch firmeninterne Gründe verantwortlich, oft ist es auch ein Zusammenspiel mehrerer Aspekte und die Ursachen lassen sich nicht immer klar in eine Kategorie zuteilen.

### 2.2.1 Externe Ursachen

Externe Gründe können meist nicht beeinflusst werden, da sie aus dem Kunden-, Markt- oder Technikumfeld des Unternehmens entstehen. So muss sich z.B. ein global aufgestelltes Unternehmen an unterschiedliche Gesetze und Normen oder auch lokale Gegebenheiten und Präferenzen der Kunden in den jeweiligen Absatzmärkten halten, um seine Produkte erfolgreich verkaufen zu können. Ein anderes Beispiel für externe Ursachen ist der technische Fortschritt, der eine stetige Reduktion der Grenzkosten der Variantenerzeugung induziert. Somit wird es für Unternehmen relativ gesehen günstiger neue Varianten entstehen zu lassen. Auch das Käuferverhalten ändert sich dadurch, der Kunde verlangt, dass auf seine Bedürfnisse immer genauer eingegangen wird. (vgl. [HH13], S.396f.) Durch den technischen Fortschritt werden in vielen Bereichen auch die Produktlebenszyklen immer kürzer, die Vorgängergeneration der Produkte wird aber nicht immer sofort abgekündigt, was ebenfalls zu einer größeren Anzahl an ähnlichen Produkten am Markt führt. (vgl. [KG18], S.23)

### 2.2.2 Interne Ursachen

Zu den internen Ursachen können einerseits bewusste Entscheidungen im Unternehmen gezählt werden, die darauf abzielen, durch Erhöhen der angebotenen Produktvariantenanzahl die eigene Marktposition im Wettbewerb zu stärken. Diese Gründe werden teilweise in der Literatur auch als marktinduzierte Gründe bezeichnet. So kann sich ein Unternehmen sehr breit aufstellen, um von den Kunden als Komplettanbieter wahrgenommen zu werden, der nicht nur das ganze Produktspektrum aus einer Hand liefern kann, sondern auch noch Sonderlösungen abdeckt. Dieser Wettbewerbsvorteil gegenüber den Mitbewerbern kann zusätzlich für neue Konkurrenten eine Markteintrittsbarriere darstellen, da ein breites Produktsortiment nur sehr schwer in kurzer Zeit erreicht werden kann. Durch eine Produktdifferenzierung kann auch auf die verschiedenen Anforderungen der Kunden und deren unterschiedlicher Zahlungsbereitschaft besser eingegangen werden, die Konsumentenrente kann besser abgeschöpft werden. Auch das zusätzliche Bedienen von Nischenmärkten kann eine Strategie sein.

Besonders in wirtschaftlich schlechten Zeiten wird gerne auf eine Verbreiterung des Angebots zurückgegriffen. (vgl. [HH13], S.396f) Derartige Entscheidungen zu größerer Variantenzahl können durchaus sinnvoll sein, wenn sie die Wünsche der Kunden treffen und unter realistischen Kosten-, Preis- und Umsatzannahmen getroffen werden. (Näheres dazu unter 2.3 Auswirkungen der Variantenvielfalt)



Abbildung 9: Interne Gründe für Variantenvielfalt ([KG18], S.21)

Es gibt aber auch Gründe, die unbewusst oder mangels geeigneter Entscheidungsgrundlagen im Unternehmen entstehen. Diese werden meist durch Defizite in den Unternehmensprozessen verursacht. So kann mangelhafte Kommunikation und Abstimmung zwischen den marktorientierten Abteilungen (Vertrieb und Marketing) und den planenden Abteilungen (Projektierung und Konstruktion) Varianten auslösen, die teilweise gar nicht vom Markt verlangt werden und/oder hohe Kosten auslösen. Es kann sein, dass die technischen Abteilungen vom Kunden geforderte Varianten übererfüllen, oder umgekehrt, dass der Vertrieb dem Kunden Varianten und Sonderentwicklungen anbietet, die im Betrieb hohe Kosten auslösen. Oft werden diese Kosten aufgrund mangelnder Transparenz nur unzureichend in den Verkaufspreis miteingerechnet. (vgl. [GRO01], S.15f)

Ist das Variantenbewusstsein bei den Mitarbeitern in den auftragsabwickelnden Abteilungen nicht ausreichend vorhanden, entstehen sehr rasch unnötige Varianten, oft ist der Variantenreichtum auch historisch gewachsen. Abbildung 9 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen internen Gründe für Variantenvielfalt und stellt auch dar, welche Abteilungen wie in den Variantengenerierungsprozess involviert sind. (vgl. [KG18], S.21)

Tabelle 1 fasst die unterschiedlichen Gründe für Variantenvielfalt noch einmal übersichtlich zusammen.

Externe Ursachen	Technologische Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnellere Produktzyklen (Taktische Zyklen)</li> <li>• Neue Technologien (Strategische Zyklen)</li> <li>• Weltweite Informationsmöglichkeiten der Kunden</li> </ul>
	Gesellschaftlicher und politischer Wandel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zunehmende Individualisierung</li> <li>• Pluralisierung der Werte und Normen</li> <li>• Änderung demografischer Strukturen</li> <li>• Verschiebung Kaufkraftaufkommen</li> <li>• Weltweite politische Veränderungen</li> </ul>
Markt		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhter Wettbewerb durch Globalisierung</li> <li>• Sättigung traditioneller Märkte</li> <li>• Diversifikation bekannter und neuartiger Bedarfe</li> <li>• Neue wachsende Märkte ausnutzen</li> <li>• Risikostreuung, Ausgleich von Marktschwankungen</li> <li>• „Abschöpfende“ Marketingstrategien</li> <li>• „Produktrelaunch“</li> </ul>
Interne Ursachen	Kostensituation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übermächtiger Marktführer</li> <li>• Kostendruck zwingt in Nischen</li> <li>• Auslastungsprobleme</li> </ul>
	Methodische Defizite	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variantenvielfalt wird vernachlässigt und ist nicht transparent</li> <li>• Kostenverrechnung nicht verursachungsgerecht</li> <li>• Zeitliche Differenz zwischen Kostenverursachung und Kostenentstehung</li> <li>• Werkzeuge für ein markt- und kostengerechtes Programmkonzept fehlen</li> </ul>
	Organisatorische Defizite	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koordinierung unterschiedlicher Bereichssichten findet nicht statt</li> <li>• Zu viele Stellen in der Wertschöpfungskette</li> <li>• Ungeeignete Entscheidungsstrukturen zur Variantenproblematik</li> </ul>

Tabelle 1: Ursachen für Variantenentstehung (nach [FF01], S.4)

## 2.3 Auswirkungen der Variantenvielfalt

Nachdem die Ursachen für Variantenvielfalt erläutert wurden, sollen im nächsten Abschnitt die Auswirkungen einer hohen Variantenzahl auf das Unternehmen genauer betrachtet werden. Zweifelsohne gibt es viele gute Gründe, warum eine größere Anzahl von Varianten sinnvoll sein und auch einen höheren Umsatz generieren kann, es müssen aber auch die unmittelbaren und mittelbaren Folgen solcher Variantenentscheidungen genau betrachtet werden, um eine optimale Situation für das Unternehmen schaffen zu können.

Viele Gründe aus dem vorangegangenen Kapitel legen nahe, dass durch eine größere Variantenvielfalt die Kundenwünsche besser abgedeckt werden können und somit positive Auswirkungen auf Umsatz und Gewinn zu erwarten sind. Das muss aber nicht zwangsläufig der

Fall sein. Empirische Studien belegen, dass eine höhere Variantenanzahl nicht zwangsläufig zu größerem Erfolg führt. Viele erfolgreiche Unternehmen haben nur ein sehr kleines Sortiment. Durch die Konzentration auf einen Kernmarkt bleiben die Prozesse in der Auftragsabwicklung verhältnismäßig einfach und es können Kosten gespart werden. (vgl. [HH13], S.397) Je größer die Anzahl der Produktvarianten eines Unternehmens ist, umso schwieriger gestaltet sich der interne Leistungserstellungsprozess. Der Grund ist hier die mit der Steigerung der parallel abzuwickelnden Produktvarianten entstehende zusätzliche Komplexität, die in weiterer Folge nicht unerhebliche Auswirkungen auf die Unternehmensprozesse hat und zusätzliche Kosten verursacht. (vgl. [HH13], S.401)

### **2.3.1 Komplexität**

Laut einer Definition von Adam und Johannwille versteht man unter Komplexität „die Gesamtheit aller Merkmale eines Zustands oder Objekts im Sinne von Vielschichtigkeit“. ([AJ98], S.6) Komplexität kann somit als eine weitere Dimension von Variantenvielfalt verstanden werden. Der Grad der Variantenvielfalt sagt aber nicht zwingend etwas über den Grad der Komplexität aus. So kann ein Produktportfolio, welches um eine Variante erweitert wird einen relativ geringen Zuwachs an Komplexität haben, wenn z.B. die neue Variante nur aus bereits im Unternehmen vorhandenen Materialien und Komponenten gefertigt wird. Werden neue Komponenten verwendet, so ist der Grad der zusätzlichen Komplexität wiederum davon abhängig, ob diese von einem bereits bestehenden Lieferanten oder einem neuen beschafft werden können. Theoretisch könnte der Gesamtkomplexitätsgrad durch Ergänzung neuer Varianten sogar reduziert werden, wenn im gleichen Zug zur einfacheren Bearbeitung der neuen Varianten ein neues IT-System eingeführt wird, das die Produktionssteuerung vereinfacht. Je nach Situation im Unternehmen kann eine Änderung der Variantenvielfalt daher unterschiedliche Auswirkungen auf den Grad der Komplexität haben. Generell bewirkt aber eine Zunahme der Vielfalt auch einen Anstieg der Komplexität. (vgl. [OB05], S.163f) Die Auswirkungen von Variantenvielfalt und somit meist auch von erhöhter Komplexität ziehen sich durch beinahe alle Bereiche im Unternehmen und werden im nächsten Abschnitt näher erläutert.

### **2.3.2 Auswirkungen über den Produktlebenszyklus**

Neben den bereits erwähnten positiven Auswirkungen auf Umsatz und Gewinn, die meist der Hauptgrund für große Variantenvielfalt sind, können auch noch andere sehr direkte Vorteile aus Variantenreichtum entstehen. So kann es zu Materialpreiseinsparungen kommen, wenn für unterschiedliche Anforderungen an das Produkt nicht nur eine Maximalvariante angeboten wird, sondern auch kleinere oder leistungsschwächere Versionen im Sortiment sind. Auch das Gewicht oder der Bauraum können eine Rolle spielen, um mehrere Varianten eines Produktes zu rechtfertigen. (vgl. [BOH98], S.17) Können derartige Mehrvarianten bei geringbleibenden Komplexitätszuwachsen umgesetzt werden, dann werden die zusätzlichen Erlöse und Preiseinsparungen die Komplexitätsmehrkosten übersteigen, und somit wird die Vielfalt auch wirtschaftlich sinnvoll sein. Dafür müssen alle Auswirkungen der erhöhten Variantenvielfalt und

Komplexität genau analysiert und die zusätzlichen Kosten den Mehreinnahmen gegenübergestellt werden. Die Auswirkungen einer erhöhten Vielfalt können sehr vielfältig sein und beinahe im gesamten Unternehmen auftreten.

Im Entwicklungsbereich müssen neue Zeichnungen und Stücklisten erstellt werden und auch neue Stammdaten für zusätzliche Materialien müssen angelegt werden. Die neuerstellten Daten müssen dann im Fall von Änderungen auch wieder gepflegt und aktuell gehalten werden. Neue Produkte gehen meist auch mit neuen Teilen einher, diese werden dann meist in hochkomplexe technische Gesamtsysteme integriert. Um hier unerwünschte Effekte zwischen den bereits in der Baugruppe befindlichen alten Komponenten und den neuen Materialien zu verhindern müssen alle Wechselwirkungen genau geprüft werden. Dies passiert oft auch abteilungsübergreifend was zu erheblichem Mehraufwand führt.

Zusätzlich zu den direkt entstehenden Aufwänden beim Erstellen einer neuen Produktvariante kommen noch Opportunitätskosten dazu. Die Zeit, die für das Erstellen einer neuen Produktvariante für einen Kundensonderwunsch aufgewendet wird, fehlt in der Entwicklung neuer Produkte oder für das Vorantreiben neuer Technologien.

In der Materialbeschaffung bedeuten kleinere Stückzahlen je Materialkomponente oft schlechtere Konditionen für den Einkauf. Oft fallen Mengenrabatte weg bzw. können auch Zuschläge für Kleinstmengen anfallen. Viele Materialien werden auch von externen Lohnfertigern erzeugt, hier fallen wiederum bei geringen Mengen die Werkzeugkosten überproportional an. Auch Kosten für Transport oder Verpackung werden bei kleinen Mengen relativ zum Materialpreis umso höher und können zu Kostensteigerungen bei kleineren Bestellmengen führen.

Auch der operative Aufwand im Einkauf und Wareneingang ist nicht zu unterschätzen, durch die größere Materialvielfalt kommt es zu einer Zunahme bei den Bestell- und Wareneingangspositionen. Bei einer größeren Anzahl an Lieferungen ist auch das Risiko von Fehlmengen umso höher, hier muss mit einem größeren Sicherheitsbestand im Lager entgegengewirkt werden. Auch für die Wareneingangskontrolle und Qualitätssicherung fallen Mehraufwände an.

In der Teilefertigung zeigt sich die Konsequenz einer Erhöhung der Variantenzahl ebenfalls sehr deutlich. Durch die Zunahme an zu fertigenden Materialvarianten sinkt meist die Menge je Material. Dies führt zu kleineren Losgrößen und zu vermehrten Rüstvorgängen. Außerdem kann es sein, dass für die Herstellung der neuen Komponenten Umstellungen im Produktionslayout oder bei den durchzuführenden Prozessschritten notwendig sind. Diese Thematik macht sich auch in der Assemblierung der Produkte bemerkbar. Hier kann es zusätzlich noch zu einer vermehrten Fehleranfälligkeit kommen, wenn von sehr vielen Produktvarianten nur wenige Stück gefertigt werden. Ein weiterer Nachteil entsteht aus dem Ausbleiben von Lernkurven- und Fixkostendegressionseffekten. (Economies of Scale) Teilweise wird sogar von umgekehrten Economies of Scale gesprochen. (siehe Abbildung 10) Aufgrund der geringen Wiederholrate einzelner Produktions- und Zusammenbauschnitte bleiben Lerneffekte, die sich sonst einstellen würden aus. Das kann in ausgeprägten Fällen sogar zu einer Verminderung der Effizienz führen. Manche Fertigungsmaschinen haben in der Anlaufphase für ein neues Material auch höhere Ausschussraten, bis alle Einstellungen exakt passen. Dies führt ebenso zu Mehrkosten.

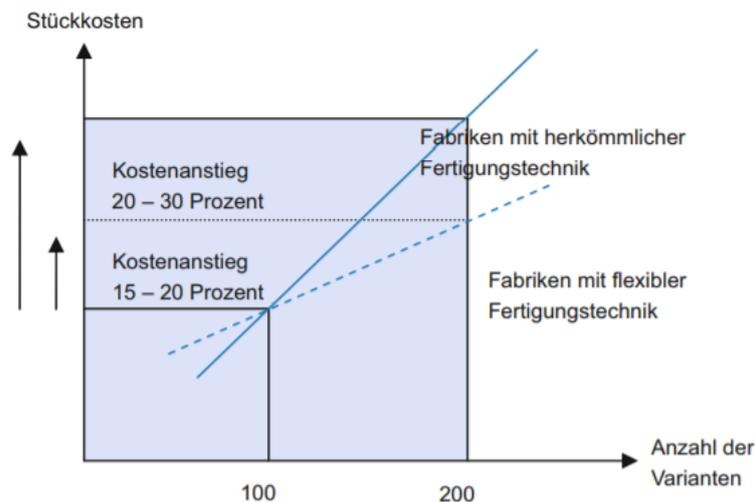


Abbildung 10: Umgekehrter Erfahrungskurveneffekt durch Variantenzunahme ([HS02], S.616)

Auch die Kommissionierung der Materialien und der innerbetriebliche Transport wird durch die größere Variantenanzahl übermäßig beansprucht. Möglicherweise müssen Komponenten zwischengelagert werden, was wiederum eine Erhöhung der Ein- und Auslagerungsvorgänge aber auch der belegten Lagerfläche und des gebundenen Kapitals bedeutet.

Die Variantenzunahme wird auch bei den Abteilungen im direkten Kundenkontakt spürbar. So muss die Preispolitik an die vermehrten Varianten angepasst werden, ebenso wird die Beratung der Kunden umfangreicher und aufwändiger. Auch im After-Sales-Bereich ist die Variantenerweiterung mit zusätzlichem Aufwand verbunden, Servicetechniker müssen auf zusätzliche Produkte geschult werden und für den Fall einer Reparatur müssen auch viele Ersatzteile zusätzlich bevorratet werden.

Über alle Abteilungen übergreifend steigt auch der Aufwand für die Koordination durch die höhere Komplexität der Abläufe. Mehr parallel zu produzierende Produktvarianten bedeuten größere Wechselwirkungen und erhöhen auch das Risiko für Störungen im Auftragsdurchlauf. Hier muss mit besserer Planung, Steuerung und Kontrolle der Abläufe entgegengewirkt werden. (vgl. [HH13], S.401ff) Die Auswirkungen auf die einzelnen Abteilungen sind in Abbildung 11 dargestellt.

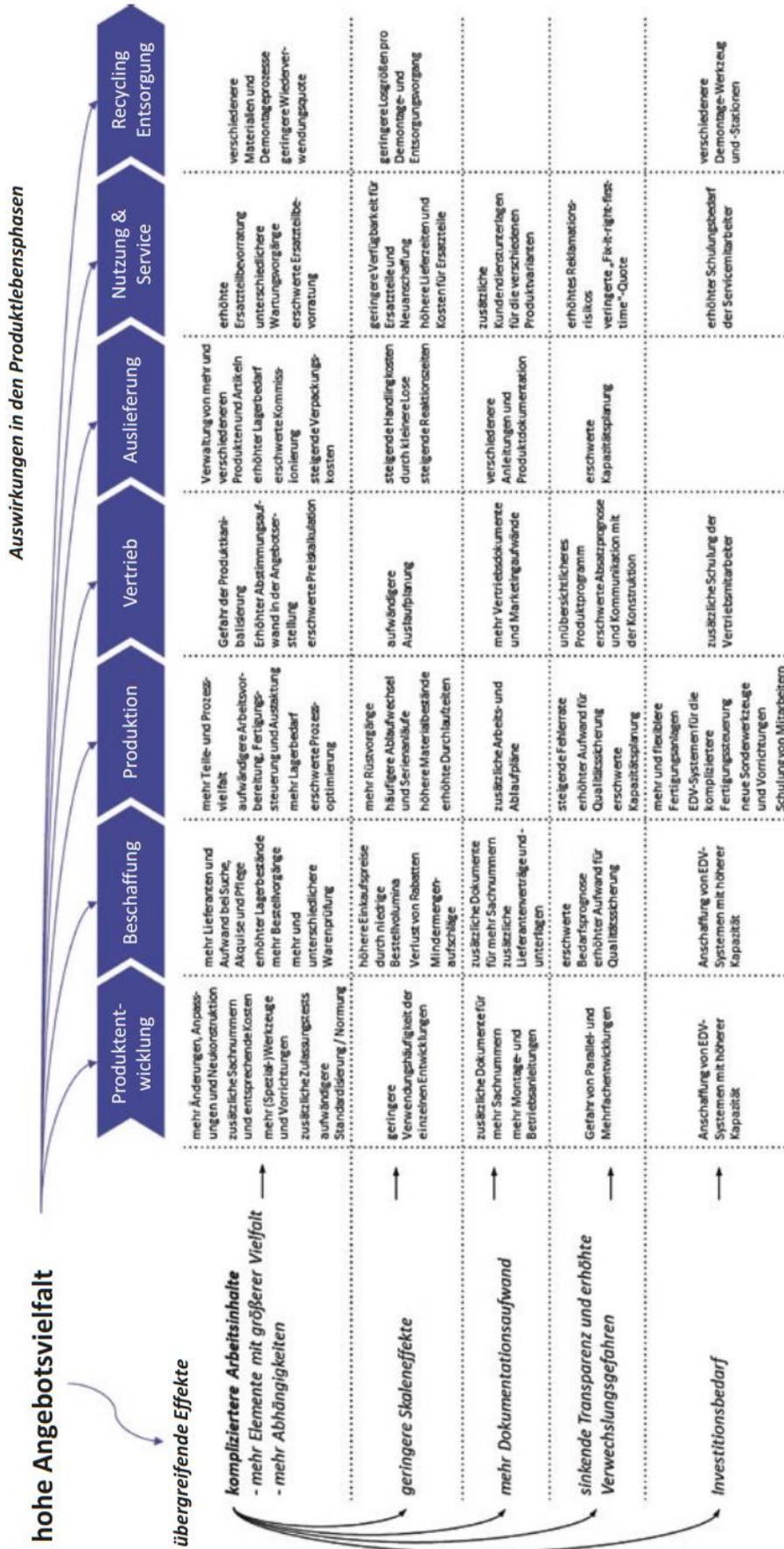


Abbildung 1 1: Auswirkungen hoher Variantenvielfalt ([KG18], S.44)

### 2.3.3 Kostenwirkung der Variantenvielfalt

Nachdem unter 2.3.2 die (größtenteils negativen) Auswirkungen der Variantenvielfalt im Unternehmen beschrieben wurden, soll im folgenden Abschnitt auf einige Besonderheiten in der Kostenwirkung näher eingegangen werden.

Wie bereits im Vorkapitel erläutert hat die höhere Variantenzahl nicht nur Auswirkungen auf die unmittelbare Herstellung der zusätzlichen Produktvarianten, sondern spiegelt sich vielmehr in der Gesamtkomplexität aller Prozesse im Unternehmen wider. Deshalb ist es auch nicht verwunderlich, dass die größte Kostenwirkung nicht unmittelbar bei den Herstellkosten entsteht, sondern bei den Komplexitätskosten auftritt. Diese sind aber im Gegensatz zu den Herstellkosten viel schwerer zu identifizieren und einem bestimmten Produkt oder einer Produktvariante zuzuordnen. Sie gehen oft in den Gemeinkosten unter und werden daher häufig unterschätzt. (vgl. [KG18], S.51) Dies soll auch in Abbildung 12 nochmals verdeutlicht werden.



Abbildung 12: Problematik der Komplexitätskosten aufgrund von Variantenvielfalt ([KG18], S.51)

Wird bei einer Absatzmengenerhöhung von nur einer Variante davon ausgegangen, dass die Stückkosten aufgrund von Lernkurveneffekten, Rationalisierungsgewinnen und Deckungsbeitragsdegressionen je zusätzliche Einheit sinken, ist dies bei der Einführung zusätzlicher Varianten nicht mehr der Fall. Aufgrund der zusätzlich eintretenden Komplexität steigen die Stückkosten mit Erweiterung des Sortiments um zusätzliche Ausprägungen an.

Um die zusätzlichen varianteninduzierten Komplexitätskosten beherrschbar zu machen ist es notwendig, in regelmäßigen Abständen in die Infrastruktur des Unternehmens zu investieren. So können neue IT-Systeme angeschafft werden, die den komplexen Durchlauf einer Vielzahl von Varianten effizienter steuern kann. Oft ist es auch sinnvoll, in IT-gestützte Fertigungstechnik zu investieren, um mehrere Varianten flexibel auf derselben Maschine zu produzieren und zusätzliche Rüstzeiten zu verhindern. (vgl. [GRO01], S.16)

Dadurch kann die laufende Abwicklung der zusätzlichen Varianten aufgrund der Verringerung der Komplexität wieder kostengünstiger produziert werden, dafür steigen aber die Fixkosten. (siehe Abbildung 13)

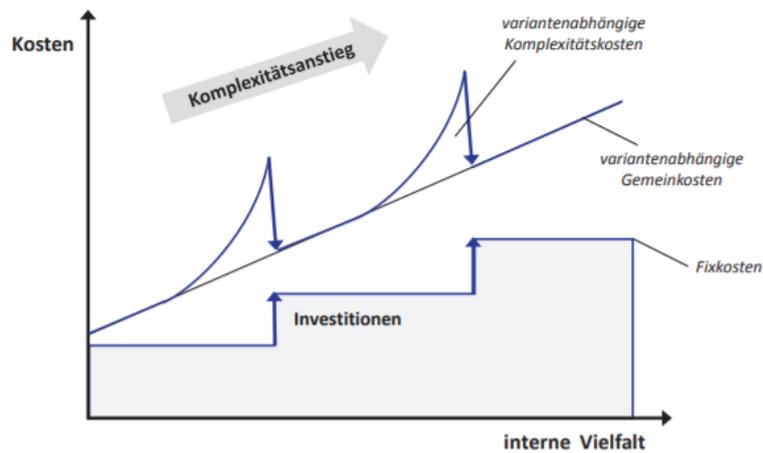


Abbildung 13: Investitionen zur Verringerung der Komplexitätskosten ([KG18], S.48)

Durch die stufenweise Entstehung der Fixkosten entstehen aber weitere Probleme. Einerseits werden bei Investition in neue Infrastruktur die Ressourcen in Erwartung eines weiteren Anstiegs meist bereits größer dimensioniert als dies für die aktuelle Situation im Unternehmen notwendig wäre. Dies führt zu freien Kapazitäten, die aber dennoch Fixkosten verursachen. Zum anderen können diese Fixkosten im Falle einer Variantenbereinigung oft nur schwer oder gar nicht abgebaut werden. Dies kann dazu führen, dass bei einer Reduktion der Vielfalt durch Wegfallen gewisser Varianten Umsatzeinbußen entstehen, die Kosten aber dennoch auf einem höheren Niveau bleiben als erwartet und somit Gewinneinbrüche hinzunehmen sind. Dieser Effekt wird als Kostenremanenz bezeichnet und ist in Abbildung 14 dargestellt. (vgl. [GRO01], S.16f)

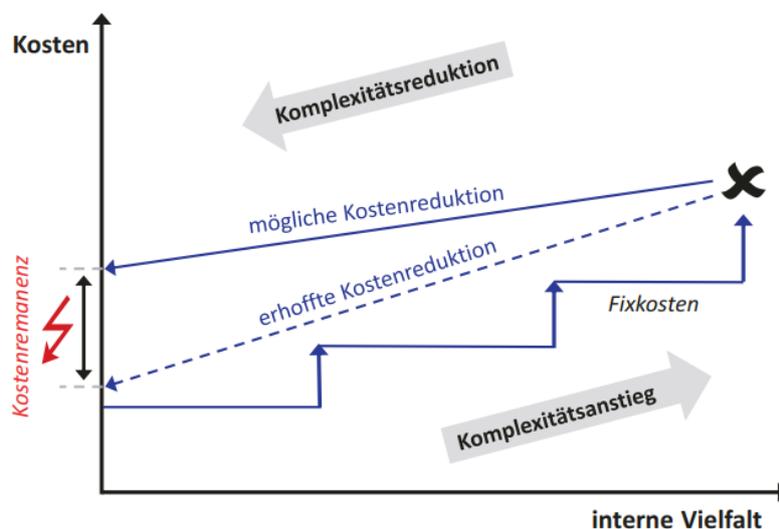


Abbildung 14: Kostenremanenz beim Abbau von Vielfalt ([KG18], S.49)

Die Divergenz zwischen den variantenverursachenden und den variantenerzeugenden Stellen ist ein weiterer Aspekt der Variantenkostenproblematik. Ein Großteil der Varianten entsteht, um Markt- oder Kundenbedürfnissen gerecht zu werden. Diese externen Ursachen werden an den Vertrieb oder das Produktmanagement herangetragen und führen dann in weiterer Folge

sehr rasch zur Entscheidung, neue Varianten zu produzieren, sei es als Sonderanfertigung für den Kunden oder um das Portfolio zu erweitern. Die Kosten entstehen dann aber erst in den nachgelagerten Abteilungen, welche die Variante entwickeln, fertigen, zusammenbauen und warten müssen. Da der Vertrieb keine Kostenverantwortung für die in der Prozesskette nachgelagerten Abteilungen hat, stattdessen aber sehr oft am Umsatz eines zusätzlichen Kundenprojekts beteiligt ist, kommt es hier zu einem Interessenskonflikt. Wenn in diesen Stellen nicht ein gesamtheitliches Bewusstsein der Auswirkungen neuer Varianten vorherrscht, kann eine vorschnelle Zusage eines Sonderwunsches gegenüber dem Kunden somit sehr hohe Kosten in der Auftragsabwicklung danach auslösen. (siehe auch Abbildung 15) Je früher in der Projektabwicklung auf eine variantengerechte Umsetzung geachtet wird, umso größer sind die Möglichkeiten, zusätzliche Kosten zu vermeiden.

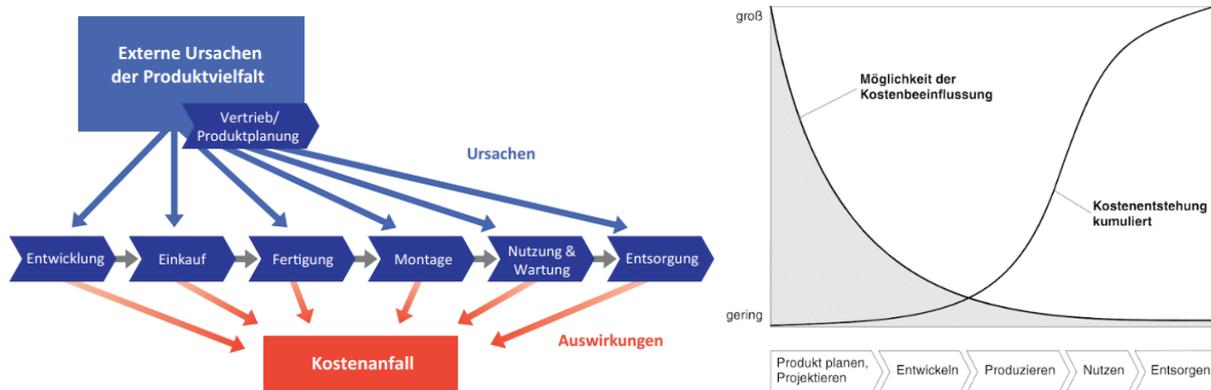


Abbildung 15: Kostenverursachung, Kostenanfall und Kostenbeeinflussung ([KG18], S.47); ([EKL+13], S.13))

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Kostenauswirkungen von Variantenvielfalt funktionsübergreifend, zeitverzögert und asymmetrisch-dynamisch (Kostenremanenz) im Unternehmen auftreten. (vgl. [GRO01], S.16f)

Aus diesen Gründen ist es sehr schwierig, die Kosten verursachungsgerecht zu erfassen und dementsprechend in der Produktkalkulation ausgewogen zu berücksichtigen. Um die Produktkalkulation in wirtschaftlich vernünftigem Rahmen durchführen zu können, wird in den meisten Unternehmen eine Zuschlagskalkulation angewandt. Dabei werden die direkt zuordenbaren Kosten (Material, Fertigungsstunden etc.) für ein Produkt exakt ausgewiesen, alle Kosten, die jedoch nicht mit vertretbarem Aufwand über einen Kostenfaktor einem Produkt zugewiesen werden können, werden über Gemeinkostenzuschläge prozentuell aufgerechnet. Die einzelnen Produktvarianten werden somit abhängig von ihren direkt zuordenbaren Kosten und der produzierten Menge mit Gemeinkosten beaufschlagt. Somit tragen Exotenvarianten, die nur in sehr kleinen Stückzahlen produziert werden verhältnismäßig wenig

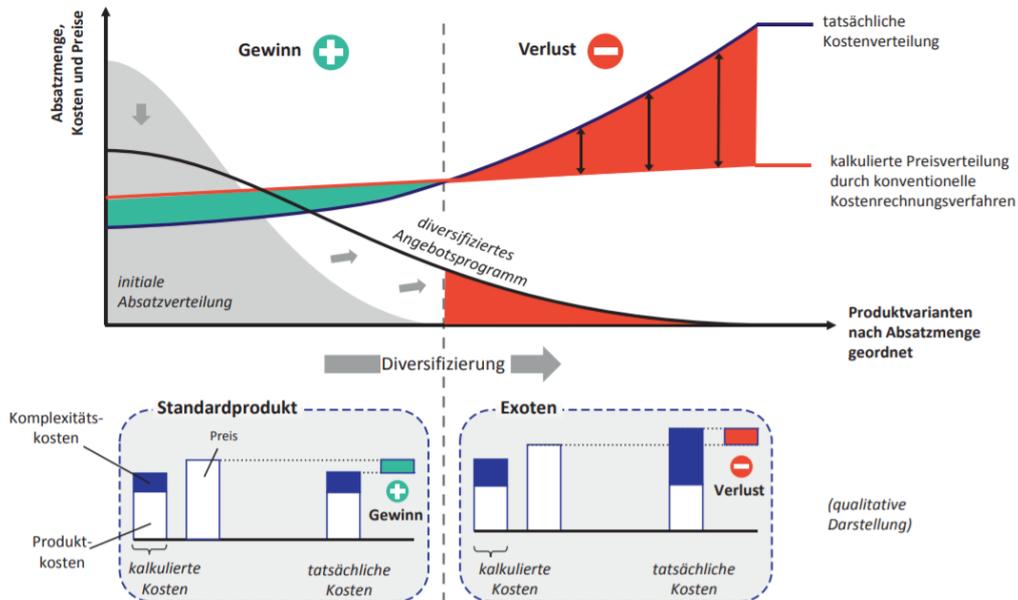


Abbildung 16: Quersubventionierung von Exoten durch Standardprodukten ([KG18], S.27)

zur Deckung der Gemeinkosten bei, obwohl sie durch die varianteninduzierte Komplexität einen überproportional hohen Anteil an diesen Gemeinkosten verursachen. Umgekehrt tragen Standardprodukte im Verhältnis dazu einen höheren Anteil an den Gemeinkosten mit. Dies führt dazu, dass die Exotenvarianten meist zu günstig auf dem Markt angeboten werden und somit einen operativen Verlust einfahren, während bei den Standardprodukten aufgrund der zu hohen Preiskalkulation ein Wettbewerbsnachteil gegenüber dem Mitbewerber herrscht, der sich auf die Standardprodukte konzentriert. Exotenprodukte werden somit von den volumereichen Standardprodukten quersubventioniert. Diese Problematik ist in Abbildung 16 dargestellt. Abhilfe dabei würde die Einführung einer Prozesskostenrechnung schaffen, welche die Kosten viel detaillierter nach den verursachenden Prozessen erfasst und somit die verursachten Kosten den Varianten genauer zuordnen würde. Diese ist aber mit sehr großem Aufwand verbunden und wird daher in den meisten Betrieben nicht angewandt. (vgl. [GRO01], S.17f)

### 2.3.4 Teufelskreis hoher Variantenvielfalt

Wie bereits in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, liegt die Hauptproblematik der Variantenvielfalt in der transparenten und richtigen Zuordnung der Kosten gemäß dem Verursacherprinzip. Werden die Kosten falsch erfasst und zugewiesen, werden auf Basis verzerrter Kalkulationsgrundlagen Variantenentscheidungen getroffen, die das Unternehmen in einen Teufelskreis führen können. Aufgrund eines Rückganges im Absatz wird oft versucht, das Angebot zu verbreitern und neue Marktsegmente zu erschließen. Dadurch erhöht sich die Variantenvielfalt im Unternehmen, die abgesetzte Gesamtmenge kann aber aufgrund von Kannibalisierungseffekten oft nur unzureichend erhöht werden. Als Folge der Sortimentsvergrößerung steigt die Komplexität im Unternehmen, was zu einer Erhöhung der Gemeinkosten und zu höheren Stückkosten für das gesamte Produktangebot führt. Um die höheren Kosten abdecken zu können müssen wiederum die Preise erhöht werden, dadurch ergibt sich ein zusätzlicher Verlust an Wettbewerbsfähigkeit. Schlussendlich sinken die Absatzzahlen weiter.

(siehe Abbildung 17) Um einer derartigen Entwicklung vorzubeugen, ist es notwendig ein funktionierendes Variantenmanagement im Unternehmen zu implementieren.

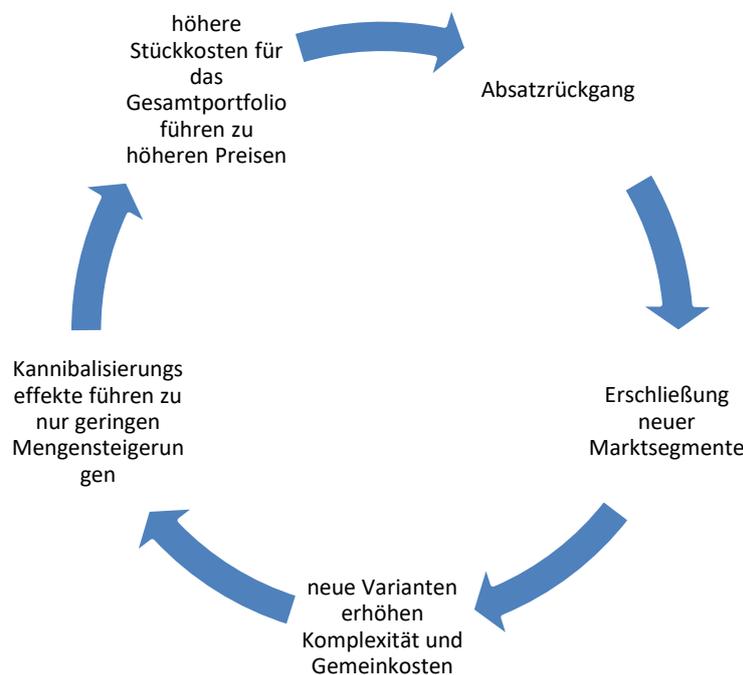


Abbildung 17: Teufelskreis hoher Variantenvielfalt (nach [FHH+02], S.2)

## 2.4 Variantenmanagement

Der Begriff Variantenmanagement kann folgendermaßen definiert werden: „Variantenmanagement umfasst alle Steuerungsvorgänge zur Optimierung der Variantenvielfalt und zur Beherrschung der Auswirkungen variantenreicher Produktspektren.“ ([MEN01], S.19) Im Folgenden werden die Ziele des Variantenmanagements und die Konzepte, die zur Erreichung dieser Ziele in der Literatur verfügbar sind, vorgestellt.

### 2.4.1 Ziele des Variantenmanagements

Wie bereits in den Vorkapiteln erläutert, ist Variantenreichtum nicht grundsätzlich positiv oder negativ einzuordnen. Es gilt vielmehr eine optimale Ausprägung der Variantenvielfalt für die jeweilige Situation des Unternehmens zu finden und diese mit darauf abgestimmten Prozessen zu beherrschen. Entscheidend für den Erfolg des Unternehmens ist dabei die Fähigkeit durch nachhaltiges Variantenmanagement die Komplexität und somit die Kosten gering zu halten, nur wirklich notwendige und gewünschte Varianten entstehen zu lassen und die bestehenden Varianten durch geeignete Prozesse und Infrastruktur kosteneffizient abzuwickeln. Ebenso ist es notwendig, periodisch die bestehenden Varianten auf ihre Wirtschaftlichkeit zu überprüfen und gegebenenfalls nicht mehr benötigte oder unrentable Produktausprägungen zu eliminieren. Aus dieser Zielformulierung ergeben sich im Wesentlichen drei strategische Ansatzpunkte

für nachhaltiges Variantenmanagement (siehe Abbildung 18): (vgl. ([KOH98], S.61); ([HH13], S.397))

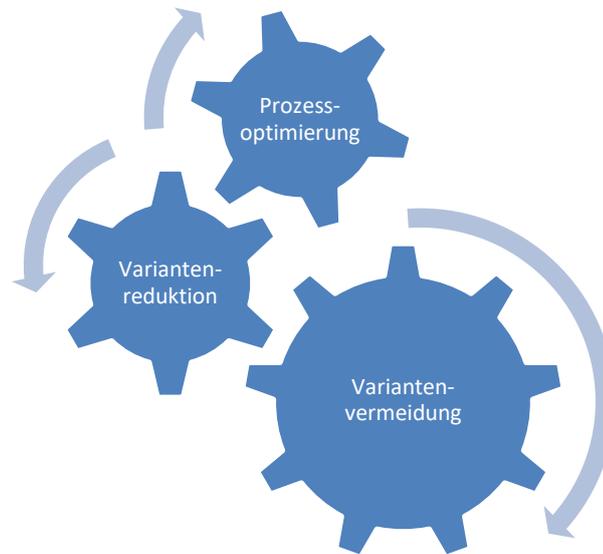


Abbildung 18: Strategien des Variantenmanagements

Grundsätzlich stellt sich die Frage, welcher Ansatzpunkt für das Unternehmen den größten Erfolg bringt. Es lässt sich aber nicht pauschal beantworten, ob es besser ist, möglichst wenig Standardvarianten anzubieten, und somit eher die Strategien der Vermeidung und Reduktion zu verfolgen, oder doch ein breiteres Sortiment zuzulassen und dafür mehr in Prozesse und Infrastruktur zu investieren, um die Auftragsabwicklung für mehrere Produkte parallel beherrschbar zu machen. Die richtige Antwort hängt von der jeweiligen Situation des Unternehmens und der Produkte ab, die es vertreibt. Einige Einflussgrößen sind:

- Marktposition des Herstellers
- Nachfragemengen
- Marktgefüge
- Produktzykluszeiten
- Nachgefragte Kundenwünsche
- Flexibilität in den Unternehmensprozessen

Ein Unternehmen, das den Wettbewerb beherrscht und die Marktführerschaft innehat, wird eher auf eine Standardisierungsstrategie setzen und kann diese auch eher am Markt etablieren. Hingegen wird ein Unternehmen, das aufgrund seiner hohen Kostenstruktur eher in Nischenmärkten erfolgreich ist, eher den Ansatz der Prozessoptimierung wählen, um die größere Vielfalt optimaler abwickeln zu können. Dieser Zusammenhang ist vereinfacht auch in Abbildung 19 dargestellt. In den meisten Fällen wird es aber notwendig sein eine Mischstrategie zu verfolgen, da sich ein Unternehmen selten so klar auf eines dieser beiden Profile reduzieren lässt. (vgl. [FF01], S.10f) Als Faustregel kann gelten, dass versucht werden sollte, zuerst die Variantenvielfalt zu vermeiden und wenn sie schon vorherrscht auf ein bestmögliches gefordertes Maß zu reduzieren. Für die Varianten, die unbedingt notwendig sind, gilt es dann, die Vielfalt beherrschbar zu machen.



Abbildung 19: Polare Variantenstrategiemerkmale (nach [FF01], S.11)

Große Hersteller wie Sony oder Toyota haben es jedoch geschafft, beide Strategien parallel zu verfolgen und mit Hilfe von Mass Customization kundenindividuelle Anfertigungen mit hohem Standardisierungs- und Automatisierungsgrad abzuwickeln. Dies erfordert aber sehr effiziente Prozesse und große Investitionen in eine flexible Auftragsabwicklung und Fertigung, die sich wohl nur durch hohe Gesamtstückzahlen rechtfertigen lassen. (vgl. [HH13], S.405)

## 2.4.2 Konzepte zum Variantenmanagement

Im folgenden Abschnitt sollen die wesentlichen Konzepte vorgestellt werden um Variantenmanagement in der Praxis umzusetzen. Wie bereits in den Vorkapiteln beschrieben gilt es, die Varianten im Unternehmen zu senken bzw. erst gar nicht entstehen zu lassen, aber gleichzeitig die notwendige Vielfalt für den Kunden am Markt anzubieten. Diese Maxime muss jeder Überlegung und jeder Maßnahme im Variantenmanagement zugrunde gelegt werden. Als zweiter Leitsatz für das Variantenmanagement gilt es, die notwendigen Varianten bei möglichst geringer Komplexität der Prozesse im Unternehmen abzuwickeln. Um diese beiden Grundansätze möglichst effektiv umzusetzen ist es notwendig, das Variantenmanagement als unternehmensweite Gesamtstrategie über alle Abteilungen hinweg zu etablieren. Nur wenn das Variantenbewusstsein in den Köpfen möglichst aller Mitarbeiter verankert ist, kann die Strategie auch zur vollen Umsetzung gelangen, ohne dass unterschiedliche Stellen diese Grundsätze konterkarieren.

### 2.4.2.1 Strategisches vs. operatives Variantenmanagement

Abhängig vom zeitlichen Horizont und der Granulierung der Prozesse können die Maßnahmen des Variantenmanagements in eine strategische und eine operative Komponente unterteilt werden. Im strategischen Variantenmanagement geht es um die langfristige Ausarbeitung des Produktsortiments. Dabei sollen die Funktionalitäten und das Design der einzelnen Varianten auf die am Markt verlangten Kundenwünsche abgestimmt sein. Unrentable Produktvielfalt soll dabei unter allen Umständen verhindert werden. Diese Überlegungen werden dabei bereits

bei der Planung der notwendigen Produktfamilien verfolgt und bei der Spezifikation der einzelnen Produktvarianten noch verfeinert. Von Zeit zu Zeit sollten die getroffenen Annahmen und Entscheidungen überprüft werden, um etwaige weniger rentable Produktvarianten wieder vom Markt zu nehmen. Dazu müssen die Kostenbestandteile genau analysiert werden und diese dem Umsatz gegenübergestellt werden. Eine Möglichkeit dazu wäre zum Beispiel die deckungsbeitragsorientierte ABC-Analyse oder eine andere geeignete Form der Variantenkostenrechnung. In der Produktstandardisierung gelangen hauptsächlich Verfahren wie Baukasten- oder Baureihenstrategien oder Plattformbildung zur Umsetzung. Wenn die Standardisierung der Produktpalette erfolgreich durchgeführt wurde, können auch die Prozesse auf die jeweilige Produktstruktur angepasst werden. Strategisch muss dann ein geeigneter Grad an Automatisierung gewählt werden, um einen kostenoptimierten möglichst automatisierten Variantendurchlauf zu ermöglichen.



Abbildung 20: Strategisches und operatives Variantenmanagement ([FF01], S.17)

Das operative Variantenmanagement zielt vor allem darauf ab, die vordefinierte Variantenzahl so effizient wie möglich durch das Unternehmen zu schleusen. Dies beginnt wiederum in der Detailkonstruktion der vorgegebenen Produkte und endet damit, jeden einzelnen Prozess vom Vertrieb, über die Konstruktion, der Materialwirtschaft, Fertigung und Montage auf das einzelne Produkt abzustimmen. Eine Übersicht über die jeweiligen Ansätze gibt Abbildung 20. (vgl. ([FF01], S.16f); ([HH13], S.405))

#### 2.4.2.2 Längs- vs. Quermaßnahmen

Eine weitere Möglichkeit die Maßnahmen zur Umsetzung in ein Schema einzuteilen ist, dies nach dem Ablauf in der Prozesskette zu tun. So gibt es Ansätze, die Standardisierungsmaßnahmen längs zur Prozessdurchlaufrichtung bewirken, und solche, die quer zur Prozesskette implementiert werden. (siehe Tabelle 2)

Maßnahmen- „Richtung“	Maßnahmen
Quer (in Richtung der Varianz)	Klassenbildung, Parametrierung: Verschiedene Varianten laufen in gleichen Prozessen und mit gleichen Methoden durch
Längs (in Richtung des Ablaufs)	Varianten zum Schluss erzeugen, Integration, Automatisierung: Steuerungsaufwand sinkt, da Schnittstellen eliminiert werden oder keinen nennenswerten Mehraufwand mehr erfordern.

Tabelle 2: Maßnahmen in Längs- und Querrichtung zum Prozessablauf ([FF01], S.10)

Bei den sogenannten Quermaßnahmen geht es darum, unterschiedliche Varianten möglichst durch dieselben Prozesse schleusen zu können. Dies kann durch Klassenbildung oder auch durch Parametrisierung erreicht werden. So müssen nicht aufwendig neue Prozesse geschaffen werden, die wiederum Ressourcen hinsichtlich Maschinen, Werkzeuge, unterschiedliche Lieferanten aber auch anders qualifiziertes Personal benötigen würden.

Bei den Längsmaßnahmen sollen Schnittstellen zwischen den einzelnen Prozessen reduziert werden. Dadurch reduziert sich der Steuerungsaufwand, um die einzelnen Produktvarianten durch das Unternehmen zu schleusen. Hier gilt der Grundsatz, dass Varianten, wenn möglich erst gegen Ende der Prozesskette implementiert werden sollen. (Diese Herangehensweise ist auch unter dem Begriff „Postponement-Strategie“ bekannt.) Durch diese Herangehensweise bleibt die Variantenvielfalt im Prozessablauf möglichst lange gering, was ebenfalls den Steuerungsaufwand reduziert.

Ansätze die sowohl in Längs- als auch in Querrichtung Wirkung zeigen, sind z.B. personelle Maßnahmen wie zusätzliche Qualifizierung und „Job Enrichment“, Prozessoptimierungen aber auch die Investition in flexiblere Methoden und Werkzeuge. (vgl. [FF01], S.9f)

### 2.4.2.3 Variant Mode and Effects Analysis (VMEA)

Ein sehr geeignetes Konzept vor allem in der Sortimentsgestaltung und der weiteren Variantenentwicklungsphase ist die Variant Mode and Effects Analysis (VMEA). Diese Methode soll eine optimale Übertragung der am Markt nachgefragten Kundenwünsche auf die Funktionalitäten des eigenen Produktsortiments und in weiterer Folge auch auf die Komponenten der Produktvarianten sicherstellen. Umgekehrt sollen durch die vorgeschlagene Vorgehensweise Varianten vermieden werden, die sich nicht oder nur teilweise mit der Kundennachfrage decken bzw. nicht kosteneffizient umsetzbar sind. Die VMEA gliedert sich in mehrere Hauptschritte, die nachfolgend kurz erläutert werden sollen:

- **Schritt 1: Marktorientierte Ermittlung und Design der Produktfunktionen**

Im ersten Schritt ist es notwendig, die Merkmale und Ausprägungen des zu entwickelnden Produktes zu definieren. Hierbei sollen insbesondere die externen Ursachen der Variantenvielfalt wie Anforderungen des Marktes, Kundenwünsche oder auch Normen und technische Vorgaben berücksichtigt werden (näheres dazu im Kapitel 2.2.1 über die externen Ursachen der Variantenvielfalt). Dafür ist in der VMEA eine Merkmals-/Ausprägungsmatrix

vorgesehen, wo in eine Richtung sämtliche Merkmale des Produktes (wie z.B. Farbe, Antriebsart etc.) und in der anderen Richtung die dazugehörigen Ausprägungen (beispielsweise rot, blau, grün oder Elektroantrieb, Benzinantrieb etc.) aufgelistet sind. Da aufgrund von technischen Einschränkungen bzw. Präferenzen des Marktes nicht alle Ausprägungen frei miteinander zu kombinieren sind, wird auch noch eine Kombinationsmatrix aufgestellt, die die Kombinationsmöglichkeiten der vorher definierten Ausprägungen des Produktes aufzeigt. Die extern sichtbaren Ausprägungen werden als nächstes auf Funktionen im Produkt übertragen und diese wiederum den jeweiligen Bauteilen zugewiesen.

- **Schritt 2: Ableiten von Gestaltungsalternativen**

Der in Schritt 1 definierte Planzustand wird in Schritt 2 in optimierte Sollzustände überführt. Dabei werden die möglichen Produktausprägungen und -varianten auf ihre Kundenrelevanz bzw. ihre technische Umsetzbarkeit hin überprüft. Auf Funktionsebene wird genau analysiert, wie groß die Kundenrelevanz für die jeweilige Ausprägung des Produktes ist, und welche Umsätze daraus zu erwarten wären. Die Variantenvielfalt kann hier aktiv gesteuert werden, indem Funktionen in den Standardumfang integriert, oder gewisse Kombinationen eingeschränkt werden. Auf Bauteilebene sollen die einzelnen Komponenten hinsichtlich der internen Variantenvielfalt optimiert werden. Hier soll insbesondere auf die Verwendung von Standardbauteilen, Baureihen und Modulen geachtet werden, um eine hohe Wiederverwendung der Teile über die Varianten hinweg zu erreichen. Weiters ist es notwendig bereits bei der Konstruktion die weiteren Prozessschritte wie Fertigungsabläufe oder die Montagereihenfolge zu berücksichtigen. Dies ist besonders bei der Planung von Stücklisten relevant. Ziel von Schritt zwei ist es, einen möglichst schlanken Variantenbaum zu erhalten, d.h. die Variantenbildung erst möglich spät im Leistungserstellungsprozess zu erhalten.

- **Schritt 3: Bewerten der alternativen Lösungen**

Als dritten Schritt gilt es die möglichen Lösungsszenarien zu bewerten. Hierfür müssen sowohl die technische Realisierbarkeit aber insbesondere die monetären Auswirkungen der unterschiedlichen Lösungsszenarien verglichen werden. Dabei müssen alle Mehr- und Minderkosten der einzelnen Varianten ermittelt und gegeneinander aufgewogen werden um so ein Optimum zu finden. Als eine Möglichkeit zur Bewertung der ermittelten Gestaltungsmöglichkeiten sei hier die ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung genannt. (vgl. [VIP19]) Die eben beschriebenen Schritte sind in Abbildung 21 dargestellt.

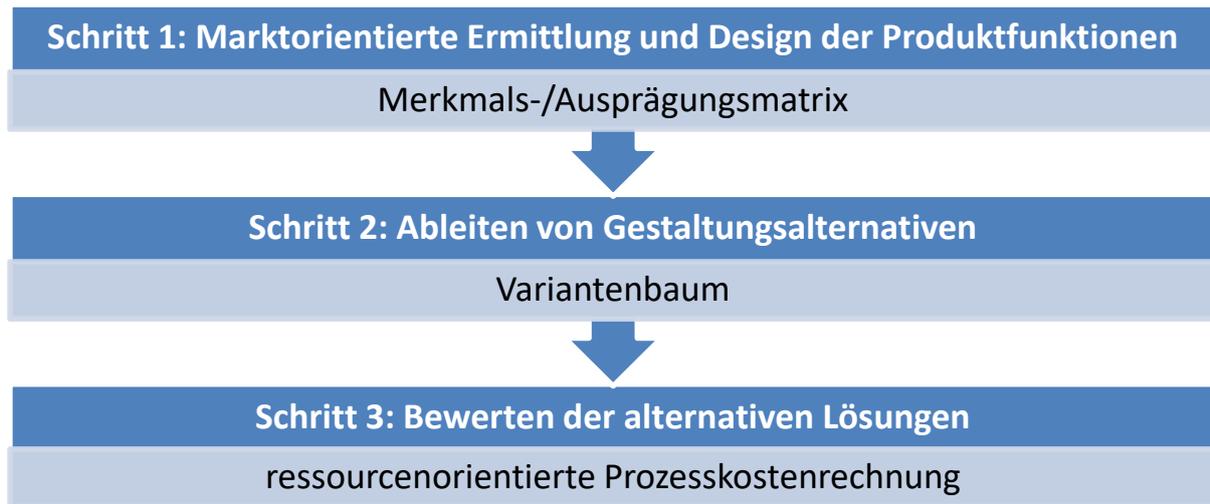


Abbildung 21: Ablauf der Variant Mode and Effects Analysis (VMEA) (nach [REP19])

#### 2.4.2.4 EVAPRO Konzept der Variantenreduktion

In Deutschland haben sich drei Hochschulinstitute der Technischen Universität Braunschweig sowie vier Unternehmen zusammengeschlossen, um im Verbund Lösungen und Methoden zur sinnvollen Beherrschung und Reduktion von Variantenvielfalt zu erarbeiten. Die genaue Bezeichnung dieses Projektes ist „Methoden und Werkzeuge zur Kostenreduktion variantenreicher Produktspektren in der Einzel- und Kleinserienfertigung (EVAPRO)“. Gemeinsam wurde über drei Jahre lang geforscht und es entstand ein praxisnahes Konzept um derartige Projekte durchzuführen. (siehe Abbildung 22)

Dieses Konzept startet damit, die Variantenvielfalt in den Produktstrukturen zu analysieren und über verschiedenste Hilfsmittel wie Variantenbäume oder Abhängigkeitsmatrizen sichtbar zu machen. Weiters sollen Variantenkosten soweit möglich ermittelt und bewertet werden und es soll das Bewusstsein für die varianteninduzierten Auswirkungen auf die Prozesse und Kosten über alle Abteilungen hinweg geschärft werden.

Im zweiten Schritt geht es darum, das Produkt im Detail hinsichtlich einer möglichen Reduzierung der Vielfalt und möglicherweise einer besseren Strukturierung zu untersuchen. Mit Hilfe von Regeln zur Standardisierung sollen Konzepte und Vorschläge erarbeitet werden um einen besseren Umgang mit den Varianten zu schaffen, oder diese wo möglich zu reduzieren.

Parallel dazu erfolgt in Schritt drei auch die Analyse und Optimierung der Produktionsstruktur. Hier sollen Prozesse vereinheitlicht, bzw. auf eine optimale Durchschleusung von variantenreichen Produkten hin verbessert werden. Dazu können eigene standardisierte Segmente in der Fertigung geschaffen werden und auch die Ablauforganisation wird an eine bestmögliche Abarbeitung der vielfältigen Produkte angepasst.

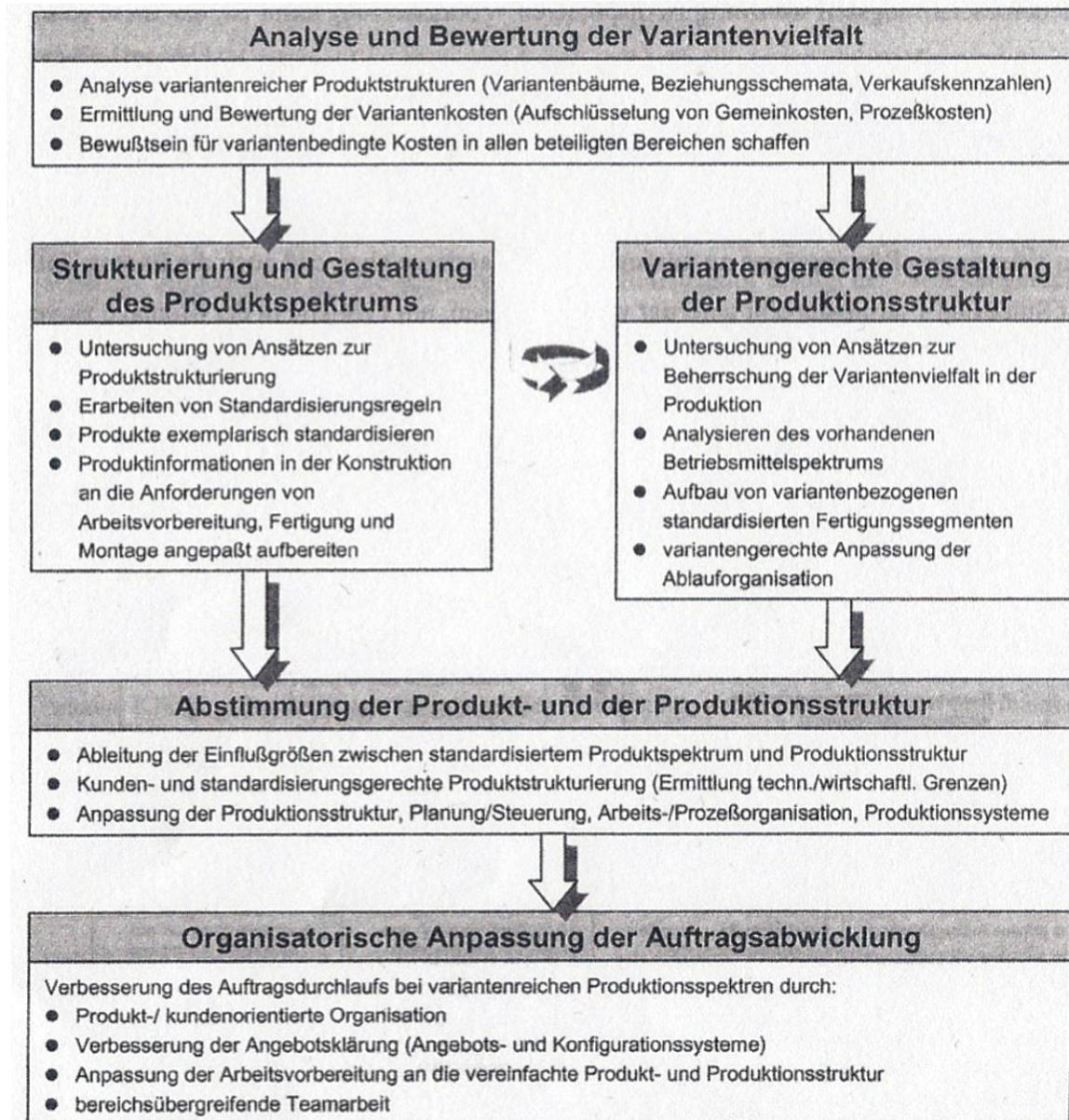


Abbildung 22: EVAPRO-Konzept ([FF01], S.18)

Da es zwischen dem Produkt und den dazugehörigen Prozessen eine Reihe von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen gibt, müssen im nächsten Schritt die Konzepte und Vorschläge dieser beiden Zweige aufeinander abgestimmt werden. Hierzu ist es notwendig, die jeweiligen Anpassungen am Produkt mit den Auswirkungen auf die dazugehörigen Prozesse zu vergleichen und hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und Machbarkeit zu bewerten.

Im letzten Schritt werden auch die organisatorischen Abläufe auf das Produkt und die dazugehörigen Prozesse abgestimmt. So können eigene Abläufe für einzelne Produkte geschaffen werden, oder auch die abteilungsübergreifende interdisziplinäre Zusammenarbeit der Teams gefördert werden. Oft werden auch neue IT-Systeme oder spezielle Tools und Konfiguratoren eingeführt um den Ablauf möglichst automatisiert zu unterstützen.

### 2.4.2.5 Beispielhafte Maßnahmen zur Variantenreduktion

Im folgenden Abschnitt sollen einige konkrete Maßnahmen aufgezählt werden, die für den Einsatz in den unterschiedlichsten Bereichen im Unternehmen bestimmt sind. In Tabelle 3 finden sich konkrete Ansatzpunkte, um Varianten zu reduzieren.

Flexible Auftragsabwicklungsprozesse	Verlagern der Variantenvielfalt in späte Phasen der Auftragsabwicklung, z.B. in die Montage (Postponement Strategie)
Ausnutzen von Symmetrieeigenschaften	Reduzieren der Variantenvielfalt durch Vermeiden von links-/rechts-Ausführungen. Realisieren symmetrischer Bausteine, die in unterschiedlichen Einbaulagen montiert werden können.
Werkstoffvarianten	Verringern der Anzahl unterschiedlicher Werkstoffe und Halbzeuge. Insbesondere wenn die Werkstoffe Prüfzeugnisse benötigen, ist es unter Umständen wirtschaftlicher, generell das Halbzeug mit Prüfzeugnis zu beschaffen.
Lokale Baukastensysteme	Bevorzugen von Lösungen, die lokale Baukastensysteme ermöglichen, um die Komplexität des Gesamtsystems zu verringern.
Stufung von Baureihen	Größere Stufungen von Baureihen anstreben (Klassenbildung)
Gestaltelemente standardisieren	Standardisieren von Gestaltelementen Teilgeometrien, CAD-Feature) wie Einbauräume, Anschlussgeometrien, die in unterschiedlichen Varianten benötigt werden
Zulieferer und Zulieferteile	Losgrößendegression ausnutzen. Rahmenverträge abschließen, Anzahl der Zulieferer reduzieren, um günstigere Einkaufskonditionen zu erhalten.

Tabelle 3: Maßnahmen zur Variantenreduktion (nach [KOH98], S.63)

Weitere Aspekte zur Beherrschung variantenreicher Produkte finden sich in Tabelle 4. Hierbei sind die Beispiele in eigene Maßnahmengruppen unterteilt und auch in unterschiedlicher Granularität aufgelistet. Die Empfehlungen richten sich dabei an unterschiedlichste Bereiche von der IT-Struktur über Dokumentation, den Einkauf bis hin zu den Konstruktions- und Entwicklungsaufgaben.

Maßnahmengruppe		Zweck			Beispiel
Produkte	gleich	ähnliche	halbähnliche	Zweck	Beispiel
Mehrfach- bzw. wiederverwendung	Baugruppen	ähnliche	halbähnliche		
	Teile	ähnliche	teil- und/oder strukturähnlich		
	Formkomplexe	ähnliche	teil- und/oder strukturähnlich		
	Rechnerinterne Modelle	ähnliche	teil- und/oder strukturähnlich		
	Features	ähnliche	ähnliche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erzeugen von Planungsunterlagen einsparen oder verkürzen</li> </ul>	Konstruktions- / Formfeature Workflowsystem EDM / PDM Textbausteine Fertigungszentrum für ähnliche Teile Fertigungsfeature Short-cuts, Links
	Dokumentation	ähnliche	ähnliche		
	Einzeldokumente	ähnliche	ähnliche		
	Dokumentationsabschnitte	ähnliche	ähnliche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arbeitsgänge und Schnittstellen einsparen</li> <li>- einfachere Abläufe</li> <li>- Differenzierung der Arbeitsprozesse begrenzen</li> </ul>	Funktionsintegration, Modularisierung Systemlieferant Spartenorganisation, Auftragsteams, Fertigungsinseln Erzeugnisstruktur, Conjoint-Analyse Montagereihenfolge Flexible Endmontage
	Prozesse	ähnliche	ähnliche		
	Arbeitsabschnitte	ähnliche	ähnliche		
Arbeitsgänge	ähnliche	ähnliche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonderwünsche wirtschaftlich ermöglichen</li> </ul>	Zeichnungen / CNC-Daten generieren Änderungsmanagement Rapid Prototyping für Modelle/Werkzeuge	
Komplexe in Produkten und Prozessen) strukturieren und organisieren	ähnliche	ähnliche			
Variantenentstehung erst möglichst spät in der Prozesskette zulassen Kundenbezogen notwendige Produkt- und Merkmalsvarianz beherrschen	Komplexe Teileleistungen fremdbeziehen	ähnliche	ähnliche	- Arbeitsgänge und Schnittstellen einsparen - Differenzierung der Arbeitsprozesse begrenzen - Sonderwünsche wirtschaftlich ermöglichen	Funktionsintegration, Modularisierung Systemlieferant Spartenorganisation, Auftragsteams, Fertigungsinseln Erzeugnisstruktur, Conjoint-Analyse Montagereihenfolge Flexible Endmontage Zeichnungen / CNC-Daten generieren Änderungsmanagement Rapid Prototyping für Modelle/Werkzeuge
	Prozesscluster organisieren	ähnliche	ähnliche		
	frühzeitig planen	ähnliche	ähnliche		
	schrittweise erzeugen erst am Ende ergänzen	ähnliche	ähnliche		
automatisieren integrieren beschleunigen	ähnliche	ähnliche	ähnliche	ähnliche	ähnliche

Tabelle 4: Maßnahmengruppen zur Beherrschung variantenreicher Produkte (nach [FF01], S. 12)

### 3 Durchführung

Im folgenden dritten Kapitel wird die Vorgehensweise der Durchführung des Variantenmanagements bei der KNAPP AG erläutert. Dabei sollen die einzelnen Schritte aufgezeigt werden, die notwendig sind, um ein bestehendes Produkt hinsichtlich seiner Variantenvielfalt zu untersuchen und geeignete Maßnahmen für eine Optimierung abzuleiten. Das folgende Kapitel kann somit als eine Anleitung für eine mögliche Variantenoptimierung in einem Unternehmen gesehen werden.

Wie bereits in Kapitel 2.3.2 beschrieben gibt es vielfältige Konzepte um effektives Variantenmanagement zu betreiben. Zwei sehr umfassende Modelle sind die Variant Mode and Effects Analysis (VMEA) (siehe Unterpunkt 2.4.2.3) und das Konzept des EVAPRO-Verbundprojekts (Abschnitt 2.4.2.4). Während das VMEA-Modell besonders gut für eine strategische Neuplanung der Produktpalette geeignet scheint, zielt das EVAPRO-Konzept eher auf die Evaluierung und Optimierung einer bereits existierenden Variantenvielfalt ab. Da es im vorliegenden Projekt wie bereits eingangs erwähnt darum geht, eine Verbesserung der bereits bestehenden Situation bei der KNAPP AG herbeizuführen, erscheint die EVAPRO-Methodik als Ausgangspunkt für die weitere Herangehensweise vorteilhafter und wird daher den weiteren Abschnitten zugrunde gelegt.

Die vorliegende Diplomarbeit wurde bei der KNAPP AG von der Abteilung Produktmanagement ausgeschrieben und betreut. Der Projektauftrag wurde direkt vom Vorstand erteilt, somit war das Commitment für dieses Projekt im Unternehmen sehr hoch. Als Betreuer fungierte ein erfahrener Produktmanager, der die technischen und kaufmännischen Besonderheiten des zu analysierenden Systems sehr gut kannte. Die Konstellation das Projekt als Diplomarbeit durch eine externe Person durchführen zu lassen bedeutete zwar, dass eine gewisse Einarbeitungszeit notwendig war, jedoch brachte es auch den Vorteil, die Problemstellung völlig unvoreingenommen von außen betrachten zu können. Dass ich davor bereits mehrere Jahre in einer anderen Abteilung dem Unternehmen angehörte und somit schon viele Schnittstellen kannte, war bei der Durchführung aber durchaus hilfreich.

Generell ist es sehr wichtig möglichst früh im Projektablauf bereits alle wesentlichen Stakeholder aus den auftragsabwickelnden Abteilungen mit ins Boot zu holen, um eine breite Akzeptanz und fachliche Unterstützung für die geplante Optimierung zu sichern. Im vorliegenden Fall wurde dies mit einem Kickoff-Meeting erreicht, zu dem Mitarbeiter aus den Abteilungen Entwicklung, Sales, Projektierung, Produktmanagement, Stammdatenmanagement, Prozessmanagement, Einkauf und Controlling eingeladen wurden. Der Termin diente dem gegenseitigen Kennenlernen für die weitere Kontaktaufnahme und zusätzlich konnten bereits erste Erfahrungen über das Thema und Tipps und Meinungen für eine effiziente weitere Vorgehensweise ausgetauscht werden.

Nach einer ersten Literaturrecherche, um sich mit dem Thema vertraut zu machen, folgten einige Meetings mit den Verantwortlichen im Produktmanagement, um das Produkt kennenzulernen und die Spezifika aus unternehmensinterner Sicht aber auch aus Sicht des Kunden besser zu verstehen.

Die weitere Vorgehensweise der Diplomarbeit wurde nach den zuvor genannten Prinzipien des EVAPRO-Konzeptes und unter der Zuhilfenahme weiterer Analyse- und Optimierungstechniken aus Kapitel 2.4 durchgeführt. Deshalb erfolgt die Gliederung in den weiteren Abschnitten dieses Kapitels nach der Systematik der EVAPRO-Methodik.

### 3.1 Analyse und Bewertung der Variantenvielfalt

Der erste Schritt in der EVAPRO-Methodik ist die Analyse und Bewertung der Variantenvielfalt. Zu Beginn galt es sich daher einen Überblick über diese Vielfalt im zu untersuchenden Produkt zu machen. Ausgangspunkt für diese weitere Analyse waren die Produktionsdaten aus dem Engineering-Data-Management-System (EDM-System) der KNAPP AG. Für die Analyse wurden alle produzierten Einheiten des Zwischenpuffers von Januar 2012 bis November 2018 exportiert. In diesem Zeitraum erfolgten mehrere Produktgenerationswechsel, die neueste Generation des Lagersystems wurde mit dem EVO-System erst 2018 eingeführt. Dies bedeutete, dass für eine hinreichend valide Untersuchung des Systems vom aktuellen Produkt noch nicht genügend Datensätze vorhanden waren. Deshalb wurden für die Auswertung der Variantenvielfalt großteils die Daten des Vorgängersystems OSR35 herangezogen, nur für Parameter, die im alten System noch nicht vorhanden waren musste auf die Einheiten des aktuellen Systems zugegriffen werden. Insgesamt wurden im untersuchten Zeitraum 34.230 Zwischenpuffer (ca. 90 %) des Altsystems OSR35 und 3.993 Stück des aktuellen Systems EVO produziert.

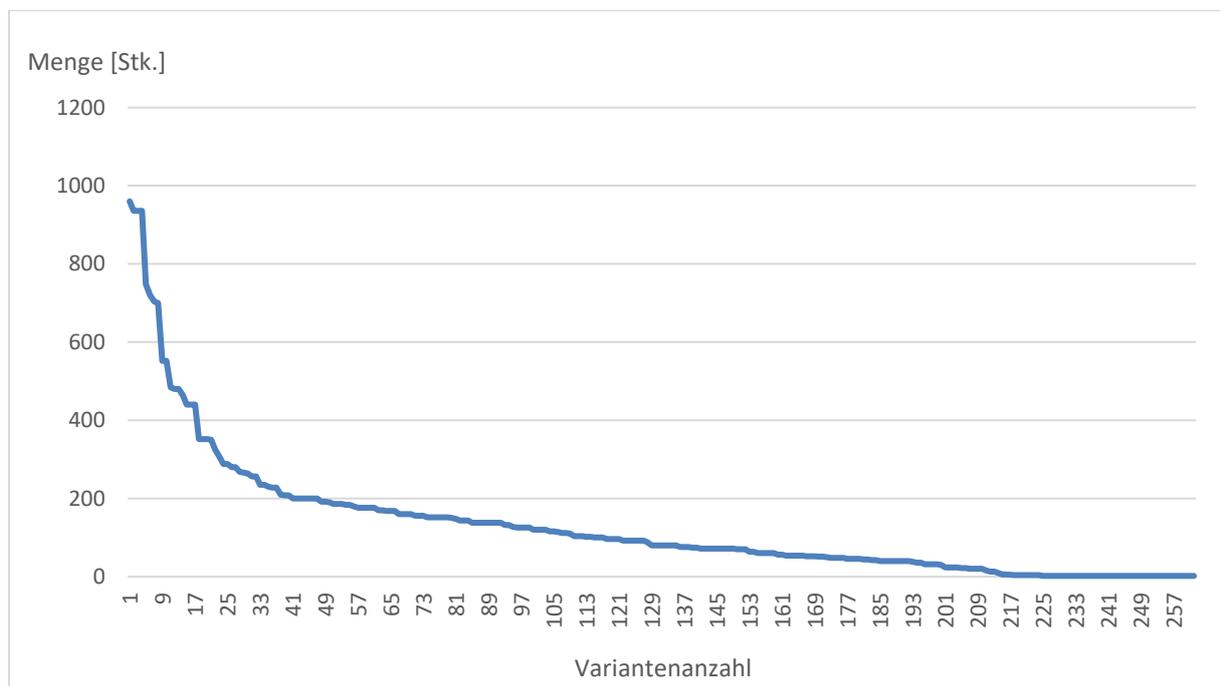


Abbildung 23: Produzierte Zwischenpuffervarianten (OSR35) von 2012 bis 2018

Die 34.230 Zwischenpuffer des OSR35 entfielen auf insgesamt 262 Varianten, die größte Stückzahl einer Variante betrug 960 Stück und die geringste 2 Stück (siehe Abbildung 23). Daraus ergibt sich eine Durchschnittsmenge von 130 Stück je Variante. Die 262 Varianten hängen von 14 Parametern mit insgesamt 183 Ausprägungen ab.

Im Gegensatz dazu wurden vom Zwischenpuffer EVO bisher 70 Varianten gebaut und das System ist von 12 Parametern mit insgesamt 77 Ausprägungen abhängig. Die statistischen Daten sind in Tabelle 5 noch einmal übersichtlich zusammengefasst.

Zwischenpuffertyp	Stück	Varianten	Stück/ Variante	max. Stk./Variante	Parameter	Ausprägungen	Ausprägungen/ Parameter
OSR35	34.230	262	131	960	14	183	13
EVO	3.993	70	57	389	12	77	6
Gesamt	38.223						

Tabelle 5: Statistische Mengenverteilung Zwischenpuffer OSR35 und EVO

Aus den dargestellten Zahlen ist sehr gut ersichtlich, dass beim EVO-Zwischenpuffer bei in etwa gleich vielen Parametern deutlich weniger Ausprägungen und Varianten vorhanden sind. Dies ist vor allen auf die bis zu diesem Zeitpunkt noch deutlich geringere Ausbringungsmenge zurückzuführen, wodurch sich noch nicht die volle Variantenzahl in den Zahlen zeigt. Es macht daher umso mehr Sinn ein, ein Projekt zur Variantenreduktion zu starten, da dadurch eventuell noch nicht entstandene Varianten sogar noch vermieden werden können.

### 3.1.1 Grobanalyse der Parameter

Im nächsten Schritt sollen die Parameter der Produktgenerationen und die Anzahl ihrer Parameterausprägungen gegenübergestellt werden. (dargestellt in Tabelle 6) Man sieht sehr schnell, dass bei der neuen Produktgeneration EVO nicht einfach 2 Parameter gestrichen wurden, sondern zusätzlich sogar neue Parameter dazugekommen sind. Das liegt daran, dass beim neuen Zwischenpuffer mehrere alte Materialnummern zu einer einzigen zusammengefügt wurden. Was früher über unterschiedliche Baugruppen gesteuert wurde, ist jetzt in einer einzigen Komponente abgebildet, dafür aber mit neuen Parametern. Weiters ist ersichtlich, dass der Parameter RHMZ keine Vielfalt hervorruft, da er nur eine Ausprägung hat. (Hierbei handelt es sich um den Motorrollenhersteller, derzeit gibt es nur einen Lieferanten, es wurde dafür aber vorsorglich bereits ein Parameter vorgesehen.) Somit bleiben nur noch 11 Parameter, die hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Variantenanzahl untersucht werden müssen.

Zusätzlich konnte bei einer ersten Analyse auch noch der Parameter RHTZ ausgemacht werden, der eine einfache Lösungsmöglichkeit hinsichtlich Reduktion bietet: Dabei handelt es sich um den Tragrollenhersteller, der Parameter dient dazu, um eine Mehrlieferantenstrategie auch bei dieser Komponente umzusetzen. (Anmerkung: Generell werden bei der KNAPP AG Mehrlieferantenstrategien nicht über Parameter gesteuert. Im Falle der Motorrolle und der Tragrolle handelt es sich aber um kritische Komponenten, wo es wichtig ist, auch im Nachhinein bei einer Kundenanlage noch zu wissen, von welchem Lieferanten sie verbaut wurden. Deshalb sind hier unterschiedliche Materialnummern je Lieferant von derselben Rolle angelegt und diese werden mittels Parameter gesteuert.)

Um in diesem Fall den Parameter streichen zu können und somit auch die doppelten Materialnummern wegzubekommen, wurde entschieden, die Rollen nicht mehr beliebig an unterschiedliche Lieferanten zuweisbar zu machen, sondern dies nach Rollenlänge bereits im Vorhinein zu definieren. So werden dann beispielsweise die Rollenlängen von 300 mm bis 550 mm von Lieferant A geliefert und die Rollenlängen ab 550 mm bis 1000 mm von Lieferant B.

Da sich die Verteilung der produzierten Zwischenpuffer hinsichtlich der verwendeten Rollenlänge relativ wenig ändert, kann auch über diese Vorgabe ein relativ konstantes Lieferverhältnis der Lieferanten erzielt werden. Einsparungen ergeben sich auch im Lager und im Bestellprozess, da in Zukunft die Hälfte aller Lagerplätze für die Rollen wegfällt und auch nicht mehr doppelt bestellt werden muss.

Parameter	Ausprägungen EVO	Ausprägungen OSR35
BBZ	10	33
SSA	13	39
TIA	8	34
DBX	8	11
DRV	0	2
RHMZ	1	1
RHTZ	2	2
RT	0	34
STB	2	2
TELL	6	16
ULS	0	2
FFK	0	1
FXTIS	2	2
TLG1	2	0
ZPTYP1	8	0
AUSB	2	2

Tabelle 6: Parameterausprägungen EVO und OSR35 (grün: Parameter, die keine Varianten verursachen, gelb: Parameter, wo eine rasche Lösung zur Elimination gefunden werden konnte)

Die restlichen 10 Parameter müssen einer detaillierteren Analyse unterzogen werden, um Aussagen über den Einfluss auf die Vielfalt und eine mögliche Reduktion treffen zu können.

### 3.1.2 Analyse mittels Abhängigkeitsmatrix

Die verbleibenden 10 Parameter sind in ihrer Auswirkung auf das Produkt deutlich komplexer. Bezogen sich die beiden Parameter für die Rollenhersteller nur jeweils auf eine einzige Materialkomponente, ist dies für die verbleibenden Parameter nicht mehr (oder möglicherweise nicht mehr auf den ersten Blick) der Fall. Die meisten Merkmale beeinflussen mehrere Bauteile und laufen überdies oft noch gemeinsam mit anderen Parametern in Berechnungen hinein, sodass ein einfacher Überblick über die Auswirkungen einzelner Parameter verunmöglicht wird. Um die Wechselwirkungen zwischen den Bauteilen und den jeweiligen Parametern übersichtlich darzustellen, wurde versucht, möglichst alle relevanten Informationen in einer Matrix darzustellen. Dabei wurden auf der einen Dimension alle Parameter aufgetragen, in die andere Richtung wurden alle Bestandteile des Produktes Zwischenpuffer gelistet. In den jeweiligen Feldern der Matrix wurde dann eingetragen, ob eine Beeinflussung vorliegt (1 bedeutet, es liegt eine Beeinflussung vor.). Zusätzlich wurde bei den Parametern noch die Anzahl der Ausprägungen und bei den Bauteilen noch die Anzahl der Materialvarianten dazugeschrieben.



Um die Darstellung nicht zu sehr zu überladen, wurden alle Bauteile, die als Serienteile extern zugekauft werden und keine Varianten aufweisen nicht berücksichtigt, und Bauteile, die in der Stücklistenstruktur doppelt vorkommen ebenfalls nur einmal notiert. Um die Aussagekraft der Matrix vollständig zu machen, wurde eine Summenbildung über die Zeilen und ebenso über die Spalten durchgeführt. Somit ist ablesbar, von wie vielen Parametern ein Material abhängt und umgekehrt, auf wie viele Materialien ein Parameter Auswirkungen hat. (siehe Tabelle 7) Die Abhängigkeiten mussten aus SAP manuell herausgeschrieben werden.

In Tabelle 7 wurden die bereits eliminierten Parameter grün markiert. Die restlichen 10 Parameter sollen in weiterer Folge detaillierter untersucht werden um Möglichkeiten zur Elimination des gesamten Merkmals oder eine Reduktion der Ausprägungen abzuwägen. Die Beurteilung der Parameter hinsichtlich Optimierbarkeit, die im nächsten Abschnitt 3.1.3 durchgeführt wird, ist in Tabelle 7 bereits durch die Einfärbung (gelb: grundsätzlich optimierbar; rot: nicht optimierbar) vorweggenommen.

### 3.1.3 Detailanalyse der Parameter

Nachfolgend werden die noch nicht besprochenen Parameter diskutiert und auf ihre Optimierbarkeit hin untersucht.

#### 3.1.3.1 Parameter ZPTYP1

Der Parameter ZPTYP1 wurde neu beim Zwischenpuffer EVO eingeführt und steuert in der obersten Baugruppe die Zwischenpuffervarianten je nach Einbauplatz im Regalsystem. Es gibt insgesamt 8 Einbaumöglichkeiten (und somit 8 Ausprägungen dieses Parameters). Daraus resultieren insgesamt 3 verschiedene Zwischenpuffergrundvarianten (Abbildung 5 in Abschnitt 1.4.1.4 über den Zwischenpuffer), die jeweils eine Links- und eine Rechtsvariante aufweisen. (insgesamt 6 verschiedene Baugruppen)

Aus den bisher gebauten Zwischenpuffern der aktuellen Generation EVO lässt sich die in Tabelle 8 dargestellte Verteilung der Zwischenpuffertypen erkennen, die Endungen \_02 und \_03 bei den Materialnummern stellen die Links- und Rechtsausprägung dar:

ZPTYP1	Mat. Nr.	Menge [Stk.]	Menge [%]
ZPTYP1=1	10401827_02	1.735	43,45%
ZPTYP1=2	10401827_03	1.735	43,45%
ZPTYP1=3	10525142_01	110	2,75%
ZPTYP1=4	10525142_02	111	2,78%
ZPTYP1=5	10523825_01	150	3,76%
ZPTYP1=6	10523825_02	150	3,76%
ZPTYP1=7	10525142_01	1	0,03%
ZPTYP1=8	10525142_02	1	0,03%

Tabelle 8: Verteilung der Zwischenpuffergrundvarianten

Der Parameter ZPTYP1 ist für die Grundvariantensteuerung notwendig und kann nicht vereinheitlicht werden. Aus der statistischen Verteilung ist aber ersichtlich, dass sich rund 87 % aller Zwischenpuffer auf eine Grundbauform mit dazugehöriger Links- und Rechtsausprägung beschränken.

### 3.1.3.2 Parameter TLG1

Der Parameter TLG1 wurde ebenfalls neu beim Zwischenpuffer EVO eingeführt und bezieht sich auf die Rollenteilung. Die Verteilung des Parameters kann in Tabelle 9 abgelesen werden.

Teilung	Menge [Stk.]	Menge [%]
75 mm	3.945	98,8%
60 mm	48	1,2%
<b>Summe</b>	<b>3.993</b>	<b>100,0%</b>

Tabelle 9: Verteilung der Teilung beim Zwischenpuffer EVO

Bei der Teilung wäre es theoretisch möglich, immer die kleinere Teilung mit 60 mm einzusetzen. Dies würde aber bedeuten, dass mehr Rollen verbaut werden müssten, was zu einem deutlichen Kostenanstieg führen würde. Da die 60er Teilung nur in rund 1 % der gebauten Zwischenpuffer realisiert wurde, ist hier eine Vereinheitlichung nicht zielführend.

### 3.1.3.3 Parameter AUSB

Der Parameter AUSB steuert die Ausführung des Überschiebeblechs. Hierbei gibt es 2 Ausprägungen, einmal mit Einführungsflasche und einmal ohne. Die Version mit Einführungsflasche wird verwendet, um Kartons beim Überschieben vor Beschädigungen zu schützen, bei Behältern wird diese Ausführung nicht benötigt. Die mengenmäßige Verteilung der beiden Bauformen kann aus Tabelle 10 abgelesen werden.

AUSB	Menge [Stk.]	Menge [%]
mit Einführflasche	1.497	19,5%
ohne Einführflasche	6.199	80,5%
<b>Gesamt</b>	<b>7.696</b>	<b>100,0%</b>

Tabelle 10: Verteilung des Parameters AUSB

Theoretisch wäre es auch hier möglich, immer die Ausprägung mit Einführflasche zu wählen. Dies würde ca. 9 % höhere Herstellkosten für das Überschiebeblech bedeuten. Das Überschiebeblech ist aber mit 135 Materialvarianten das mit Abstand variantenreichste Bauteil des Zwischenpuffers und von 9 unterschiedlichen Parametern abhängig. Insbesondere die Abhängigkeit von den Parametern SSA und TELL lässt sich nicht vermeiden (siehe Abschnitt 3.1.3.4 und 3.1.3.5), deshalb würde eine Vereinheitlichung der Einführflasche die Vielfalt nur unwesentlich reduzieren.

### 3.1.3.4 Parameter SSA

Der Parameter SSA (Stichstreckenabstand) gibt den Abstand der Fördertechnikanbindungen der beiden Lifte (Rollenbahnmitte zu Rollenbahnmitte) einer Gasse an. Da Rollenbahn, Lifte und Zwischenpuffer aneinander ausgerichtet sind, gilt dieser Abstand auch für den Zwischenpuffer. Der Parameter SSA hat mit 35 verschiedenen Ausprägungen die mit Abstand größte Vielfalt aller Merkmale und hat Einfluss auf das Überschiebeblech und den stirnseitigen Anschlag. Da dieser Parameter von der am Shuttlesystem angeordneten Fördertechnikplanung und somit vom Gesamthallenlayout abhängig ist, kann hier keine Vereinheitlichung vorgenommen werden.

### 3.1.3.5 Parameter TELL

TELL gibt die Teleskoplänge des Shuttles an und ist daher auch nicht im unmittelbaren Einflussbereich des Zwischenpuffers angesiedelt. Es gibt insgesamt 15 verschiedene Ausprägungen, die wiederum ähnlich wie beim Parameter SSA die Länge von Überschiebeblech und stirnseitigem Anschlag beeinflussen. Hier wäre eine Vereinheitlichung nur unter Miteinbeziehung des Shuttles möglich. Selbst wenn dieser Parameter zum Beispiel von 15 auf 5 Ausprägungen geclustert werden würde, wäre aber die Reduktion der Bauteilvarianten beim Überschiebeblech und Stirnanschlag nur minimal, da hier ein zusätzlicher Einfluss der Parameter SSA und BBZ vorherrscht (siehe Formeln 1 und 2).

$$\text{Überschiebeblech: } B1 = \frac{SSA}{2} - \frac{TELL+46}{2} - \frac{N(f(BBZ))}{2} - 45,5 \quad (1)$$

$$\text{Anschlag stirnseitig: } L1 = \frac{SSA}{2} - \frac{TELL+46}{2} + \frac{N(f(BBZ))}{2} + 52 \quad (2)$$

### 3.1.3.6 Parameter FXTIS, STB

Die Parameter FXTIS und STB werden gemeinsam behandelt, da sie weitestgehend Auswirkungen auf dieselben Bauteile haben und auch eine ähnliche Herangehensweise möglich machen. Die Parameter STB, und FXTIS haben jeweils 2 Ausprägungen. Der Parameter FXTIS gibt das Freimaß zwischen dem Teleskoparm und dem Steher an und ist eine Funktion der Teleskoplänge. Bei einer Teleskoplänge von über 1010 mm hat der Teleskoparm mehr Spiel und es wird daher ein Freimaß von 65 mm gewählt, liegt die Länge darunter, reichen 55 mm aus. Der Parameter STB gibt die Steherbreite an und hängt von den statischen Bedingungen im Regal selbst ab. Bei besonders belasteten Regalen werden Steher mit 120 mm verwendet, ansonsten Steher mit 100 mm. Beide Parameter haben Auswirkungen auf die Länge der Bauteile in X-Richtung (in Richtung der Gasse). Eine Vereinheitlichung wäre bei beiden Merkmalen auf die Maximalausprägung möglich. Das bedeutet aber, dass der Zwischenpuffer insgesamt länger werden würde. Der Zusammenhang auf die Seitenteillänge ist in Formel 3 dargestellt.

$$STL = FLOOR \left( \frac{STB+TIA+2*FXTIS+55+20}{TLG} \right) * TLG + 60 \quad (3)$$

Hier wird schnell ersichtlich, dass sich die Seitenteillänge des Zwischenpufferseitenteils nur sprunghaft in Stufen der Rollenteilung ändern kann. Bei den konkret analysierten Daten würde das mit den vorliegenden Parameterausprägungen der produzierten Zwischenpuffer bedeuten, dass rund 58 % der insgesamt produzierten Zwischenpuffer um eine Rollenteilung größer gebaut worden wären.

Eine Vergrößerung hätte Auswirkungen auf das Seitenteil vorne und hinten, das Überschiebeblech, den Anschlag seitlich und die Seitenführung. Weiters ergibt sich auch eine Auswirkung auf den Winkel des Reflektorhalters, der zum Reflektieren des Sensorlichtstrahls diagonal über den Zwischenpuffer aufgebaut ist.

### 3.1.3.7 Parameter DBX

Der Parameter DBX beschreibt die mögliche Verschlinkung von Behältern am Boden in X-Richtung. Bei einem DBX-Wert von 0 ist der Behälter oben und unten gleich breit, bei einem Wert größer 0 springt der Behälter unten um diesen Betrag ein. Der Parameter liegt in 9 Ausprägungen zwischen 0 und 35 mm vor. Auswirkungen ergeben sich auf den Anschlag stirnseitig, der bei einem positiven DBX-Wert weiter hervorspringt um den Behälter in der richtigen Position zum Stehen zu bringen, sodass ihn das Shuttle mit den Teleskopen abholen kann. In weiterer Folge entstehen auch Abhängigkeiten auf die angrenzenden Teile Seitenanschlag und Überschiebeblech, die dann um diesen Betrag kürzer sein müssen um nicht mit dem stirnseitigen Anschlag zu überlappen. Weiters werden auch die Sensoren anders positioniert, was Auswirkungen auf die beiden Seitenteile und den Winkel des Reflektorhalters hat. Theoretisch wäre eine Vereinheitlichung auf den Maximalwert möglich, das würde bedeuten, dass die Spaltlichtschranke immer um den DBX-Wert hereingesetzt wird und auch der Stirnanschlag um diesen Wert nach hinten gesetzt werden muss. Damit geht allerdings ähnlich wie bei den Parametern FXTIS und STB eine Verlängerung des Zwischenpuffers um eine Rollenteilung in rund 61 % der produzierten Menge einher.

Beim Stirnanschlag könnte die DBX-Abhängigkeit herausgenommen werden, was bedeuten würde, dass eine konische Kiste im Vergleich zur kubischen um den DBX-Wert weiter hinten zum Stehen kommen würde. Dieser Versatz könnte vom Shuttle softwareseitig ausgeglichen werden. Hier müssten aber sehr genau die Platzverhältnisse geprüft werden, möglicherweise müsste das Regal auch um den DBX-Wert länger ausgeführt werden. Eine Änderungskonstruktion würde somit nicht nur den Zwischenpuffer betreffen, sondern auch das Regal, der Aufwand wäre sehr hoch.

### 3.1.3.8 Parameter BBZ

Der Parameter BBZ gibt das Behälterbodenmaß in Z-Richtung (in Richtung der Regaltiefe) an. Dieser Parameter ist somit einer von 2 Parametern, welche die Hauptabmessungen des Zwischenpuffers definieren und von den Abmessungen der transportierten Ladehilfsmittel (Behälter, Karton etc.) abhängig ist. Der Parameter liegt aktuell in 30 Ausprägungen vor und beeinflusst das Überschiebeblech, den Anschlag stirnseitig, den Anschlag seitlich, den Winkel des Reflektorhalters und über den Parameter  $N(f(BBZ))$ , der die Nennrollenlänge angibt, auch noch die Längen von Trag- und Motorrolle. Die Definition von N ist dabei so definiert, dass sich Nennlängen in 25 mm Schritten ergeben, der Zusammenhang ist in Formel 4 dargestellt.

$$N = CEIL\left(\frac{BBZ+5}{25}\right) * 25 \quad (4)$$

Eine Vereinheitlichung oder Clusterung bei diesem Parameter wäre theoretisch denkbar, hier gilt es aber die Kosten und den Nutzen genau abzuwiegen. Auch Auswirkungen auf den Bau- und den Durchsatz müssen hier in weiterer Folge in Betracht gezogen werden. (siehe dazu Abschnitt 3.2.1.1 über das Clustering)

### 3.1.3.9 Parameter TIA

Für die Definition des Teleskopinnenabstands der beiden Teleskopschenkeln des Shuttles wird der Parameter TIA verwendet. Dieses Merkmal entspricht der Behältergröße in X-Richtung plus einer konstanten Zugabe um genügend Spiel zu haben. Beim Zwischenpuffer ist dieser Parameter für die Hauptabmessung der Komponente in Gassenrichtung verantwortlich. Es gibt aktuell 28 Ausprägungen und dieses Merkmal weist auch die meisten Bauteilabhängigkeiten auf. Die Auswirkungen werden aber indirekt über die Seitenteillänge  $STL(f(STB, TIA, FXTIS, TLG))$  beschrieben (siehe Formel 3 in Abschnitt 3.1.3.6), diese hat Auswirkungen auf die Seitenteile, das Überschiebeblech, den Seitenanschlag, den Reflektorhalter und die Seitenführung. Auch hier ist ähnlich wie beim Parameter BBZ nach genauerer Analyse eine Clustering oder Vereinheitlichung denkbar.

## 3.2 Strukturierung und Gestaltung des Produktspektrums

Der zweite Schritt im EVAPRO-Konzept ist die Analyse des Produktspektrums, im vorliegenden Fall die Analyse der Komponente Zwischenpuffer. Hier wird der Ansatz vom Großen ins Kleine gewählt und zuerst versucht das gesamte Produkt mit Rücksicht auf das einbettende System zu standardisieren. Wenn hier alle Möglichkeiten ausgeschöpft sind, werden in einem zweiten Ansatz die Möglichkeiten auf Unterbaugruppenebene und Bauteilebene untersucht.

### 3.2.1 Optimierung an der Baugruppe

Auf Ebene der Baugruppe sollen zwei Ansätze betrachtet werden, die zu einer möglichen Standardisierung beitragen können. Zuerst wird versucht, ein Clustering von Parametern vorzunehmen, als zweites wird ein möglicher Modularisierungsansatz geprüft.

#### 3.2.1.1 Clustering

Wie bereits unter Abschnitt 3.1.3.8 und 3.1.3.9 erwähnt wäre es nach erster Analyse denkbar, für die Parameter BBZ und TIA die Ausprägungswerte zu clustern. Dies hätte Auswirkungen auf die Gesamtgröße des Zwischenpuffers und ebenso auf die Abmessungen beinahe aller verbauten Komponenten. Die Bauteilabhängigkeiten ergeben sich aber zum großen Teil nicht aus den Parametern BBZ und TIA, sondern aus den davon abgeleiteten Parametern  $N(BBZ)$  und  $STL(STB, TIA, FXTIS, TLG)$ , die per Definition die Länge der Rollen und der Seitenteile angeben, aber auch bei den anderen Teilen Einfluss auf die Hauptabmessungen haben. Um die Zusammenhänge und statistischen Mengenverteilungen der produzierten Zwischenpuffer in Zusammenhang mit diesen Parametern zu überprüfen, müssen diese beiden Parameter für die historischen Daten berechnet und anschließend in einer Matrix aufgetragen werden. (siehe Tabelle 11) Es ergeben sich insgesamt 30 unterschiedliche Varianten aus diesen beiden Parametern und es ist sehr gut ersichtlich, dass es einige zusammenhängende Bereiche gibt, wo sich eine Vereinheitlichung anbieten würde. (in der Tabelle färbig eingezeichnet)

Da die beiden Parameter aber maßgeblich die Außenabmessungen des Zwischenpuffers beeinflussen, müssen auch die umliegenden und einbettenden Komponenten mitberücksichtigt

werden, um abschätzen zu können, ob eine Anpassung machbar und sinnvoll ist. Wie bereits erwähnt, ist die Rollenlänge N wesentlich für die Ausdehnung in Richtung der Regaltiefe. Daher muss geklärt werden, ob und wie viel Platz in diese Richtung in Abhängigkeit zu den zu clusternden Parametern vorhanden ist. Da das Einlagern im Regal in der Regel doppel- und dreifach tief erfolgt, das heißt mindestens der 2 bis 3-fache BBZ-Wert als Regaltiefe vorhanden sein muss, sollte in erster Abschätzung genügend Platz vorhanden sein. Zur Verifikation wurde die Maximalgröße des Zwischenpuffers (Zwischenpuffergrundkörper inkl. Überschiebeblech) mit der Regaltiefe RT verglichen, die bei der alten OSR35-Generation noch als Parameter vorhanden war, das Ergebnis bestätigt die Abschätzung.

		N(BBZ)															Summe	
		350	375	425	450	475	500	525	550	575	625	650	675	725	825	850		875
STL(STB, TIA, FXTIS, TLG)	585	40																40
	660				48	336	90	74			2.410	306						3.264
	720										48							48
	735							964	46	1.856	15.582	482	270					19.200
	810							372			6.582	2.138	444	244				9.780
	885		1.680										296	126	480			2.582
	960			709											64		264	1.037
	1.035			96	400										952	824		2.272
	Summe	40	1.680	805	448	336	90	1.410	46	1.856	24.622	2.926	1.010	370	1.496	824	264	38.223

Tabelle 11: Clustering der Parameter STL und N (blau = 8,5 %; orange = 50,2 %; rot = 25,6 %; grün = 7,5 %, schwarz = 7,9 %)

In Richtung der Seitenteillänge ist eine Vergrößerung etwas schwieriger umzusetzen, da hier der Platz eng verbaut ist und somit eine Vergrößerung des Zwischenpuffers das gesamte Regal länger machen würde. Dies bedeutet nicht nur eine Erhöhung der Kosten sondern auch einen Verlust von Stellplätzen. Deshalb sollte eine Vereinheitlichung in diese Richtung sehr gut abgewogen werden und wenn notwendig nur bei den größeren Seitenteillängen durchgeführt werden, wo die Vergrößerung im Verhältnis zur Stellplatzbreite einen kleineren Anteil hat. Ebenso ist zu berücksichtigen, ob es Auswirkungen auf die Durchsatzleistung des Regalsystems gibt. Die Engpasskapazität in einem Shuttle-Regal-System ist der Lift. Deshalb soll unbedingt vermieden werden, dass es hier zu Wartezeiten kommt. Bei einer Verlängerung des Zwischenpuffers in Gassenrichtung würde der Weg, den eine kleinere Kiste bis zum Stiranschlag zurücklegen muss länger werden und es würde länger dauern bis die Kiste an ihrer Endposition angelangt ist. Aufgrund der Spaltlichtschranke kann aber sehr genau gesteuert werden wann das Ladehilfsmittel den Lift verlassen hat, deshalb würden keine zusätzlichen Wartezeiten des Liftes entstehen.

Die somit entstehenden Cluster sind in Tabelle 11 eingezeichnet. Die farblich hinterlegten Zonen würden einen Anteil von rund 84 % aller produzierten Zwischenpuffer abdecken, die dick

umrandeten Bereiche noch einmal 15 %. Dies würde insgesamt einer Abdeckung von 99 % aller produzierten Stück mit 5 verschiedenen Varianten entsprechen.

Nennbreite N		375	425	450	475	500	525	550	575	625	650	675	725	825	850	875	Summe
Preis Tragrolle		4,78	5,45	5,38	5,72	5,56	5,83	5,85	6,03	6,35	6,35	7,16	7,20	7,35	7,55	7,98	
Rollenkosten-Anteil am Gesamt-ZP (%)		11%	13%	14,5%	15,6%	16,7%	17,7%	18,6%	19,6%	21,4%	21,9%	22,4%	23,4%	24,6%	24,9%	25,1%	

STL660	Diff. auf N = 650 (EUR)			0,97	0,63	0,79	0,52	0,50	0,32	0,00	0,00						
	Diff. auf N = 650 (%)			18%	11%	14%	9%	9%	5%	0,0%	0%						
	Anteil in % an Gesamtstückzahl			0,13%	0,88%	0,24%	0,19%	0,00%	0,00%	6,31%	0,80%						
	Auswirkung auf Gesamtkosten aller ZP			0,00%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%						0,03%

STL735	Diff. auf N = 725 (EUR)						1,37	1,35	1,17	0,85	0,85	0,04	0				
	Diff. auf N = 725 (%)						23%	23%	19%	13%	13%	1%	0%				
	Anteil in % an Gesamtstückzahl						2,52%	0,12%	4,86%	40,77%	1,26%	0,71%	0,00%				
	Auswirkung auf Gesamtkosten aller ZP						0,10%	0,01%	0,18%	1,17%	0,04%	0,00%	0,00%				1,50%

STL810	Diff. auf N = 725 (EUR)						1,37	1,35	1,17	0,85	0,85	0,04	0				
	Diff. auf N = 725 (%)						23%	23%	19%	13%	13%	1%	0%				
	Anteil in % an Gesamtstückzahl						0,97%	0,00%	0,00%	17,22%	5,59%	1,16%	0,64%				
	Auswirkung auf Gesamtkosten aller ZP						0,04%	0,00%	0,00%	0,49%	0,16%	0,00%	0,00%				0,70%

STL 885 - 1035	Diff. auf N = 450 bzw. N = 875 (EUR)	0,60	-0,07	0,00								0,82	0,78	0,63	0,43	0,00	
	Diff. auf N = 450 bzw. N = 875 (%)	13%	-1%	0%								11%	11%	9%	6%	0%	
	zusätzliche Rolle(n) und Regalbreite in % der HK des Zwischenpuffers	6%	3%	0%								4%	4%	2%	0%	2%	
	Anteil in % an Gesamtstückzahl	4,40%	2,11%	1,05%								0,77%	0,33%	3,91%	2,16%	0,69%	
	Auswirkung auf Gesamtkosten aller ZP	0,34%	0,06%	0,00%								0,05%	0,02%	0,16%	0,03%	0,01%	0,69%
	Gesamt																

Tabelle 12: Kostenabschätzung nach Clustering

Um eine erste Abschätzung über die Sinnhaftigkeit dieser Maßnahme zu gewinnen, sollen die Aufwände für eine derartige Größenanpassung ermittelt werden. Dazu ist es notwendig, die Kostenstruktur des Zwischenpuffers zu kennen. Die Hauptpreistreiber bei den Materialkosten der Zwischenpufferkomponenten sind die Rollen. Über 70 % der Materialkosten entfallen auf die Tragrollen und eine Motorrolle. (Die restlichen Materialkosten entfallen größtenteils auf die Sensoren und Normteile, die Blechteile spielen nur eine untergeordnete Rolle und hier machen wiederum die Fertigungskosten den Hauptteil aus. Insgesamt entsprechen die Stahlkosten für die Blechteile nur rund 4 % aller Materialkosten, weshalb sie in dieser Kostenabschätzung vernachlässigt werden.) Bei den Rollen hat die Motorrolle eine weitgehend längenunabhängige Kostenstruktur, da hier der Antrieb den Hauptteil des Preises ausmacht. Somit liegt der Hauptkostenfaktor bei den Tragrollen.

		N(BBZ)															Summe	
		350	375	425	450	475	500	525	550	575	625	650	675	725	825	850		875
STL(STB, TIA, FXTIS, TLG)	585	40															40	
	660				48	336	90	74			2.410	306					3.264	
	720									48							48	
	735							964	46	1.856	15.582	482	270				19.200	
	810							372			6.582	2.138	444	244			9.780	
	885		1.680										296	126	480		2.582	
	960			709											64		264	
	1.035			96	400										952	824	2.272	
	Summe	40	1.680	805	448	336	90	1.410	46	1.856	24.622	2.926	1.010	370	1.496	824	264	38.223

Tabelle 13: Clustering unter Berücksichtigung der Hotspots (blau = 8,5 %; orange = 49,5 %; rot = 18,2 %; grün = 7,5 %, schwarz = 7,9 %)

Die oben angeführten Clustermaßnahmen haben zweierlei Auswirkung auf die Tragrollen: Bei einer Vergrößerung in Richtung des Parameters N wird die Einbaulänge größer, ein längerer Rollentyp muss gewählt werden. Bei einer Vergrößerung der Seitenteillänge um ein oder zwei Rollenteilungen sind zusätzliche Rollen notwendig. Außerdem wird auch das Regal etwas länger. (Eine Aufstellung der Kosten durch Verlängerung des Regals findet sich in Abschnitt

3.4.1.) In Tabelle 12 werden die zusätzlichen Kosten der Clustermaßnahmen in Prozent zu den Gesamtherstellkosten aller produzierten Zwischenpuffer dargestellt. Die gelb hinterlegten Zellen zeigen sehr deutlich, dass die beiden Hauptgrößen beim Parameter N = 625 mm und STL = 735 bzw. 810 mm einen sehr hohen Anteil an der Kostenerhöhung ausmachen. Deshalb wäre es hier sinnvoller die Cluster noch einmal zu teilen, um die hohen Stückzahlen in diesen Hotspots nicht vergrößern zu müssen.

Nennbreite N	375	425	450	475	500	525	550	575	625	650	675	725	825	850	875	Summe
Preis Tragrolle	4,78	5,45	5,38	5,72	5,56	5,83	5,85	6,03	6,35	6,35	7,16	7,20	7,35	7,55	7,98	
Rollenkosten-Anteil am Gesamt-ZP (%)	11%	13%	14,5%	15,6%	16,7%	17,7%	18,6%	19,6%	21,4%	21,9%	22,4%	23,4%	24,6%	24,9%	25,1%	
STL660	Diff. auf N = 650 (EUR)			0,97	0,63	0,79	0,52	0,50	0,32	0,00	0,00					
	Diff. auf N = 650 (%)			18%	11%	14%	9%	9%	5%	0,0%	0%					
	Anteil in % an Gesamtstückzahl			0,13%	0,88%	0,24%	0,19%	0,00%	0,00%	6,31%	0,80%					
	Auswirkung auf Gesamtkosten aller ZP			0,00%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%					0,03%
STL735	Diff. auf N = 725 (EUR)						0,52	0,5	0,32	0	0					
	Diff. auf N = 725 (%)						9%	9%	5%	0%	0%					
	Anteil in % an Gesamtstückzahl						2,52%	0,12%	4,86%	40,77%	1,26%					
	Auswirkung auf Gesamtkosten aller ZP						0,04%	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%					0,09%
STL810	Diff. auf N = 725 (EUR)						0,52	0,5	0,32	0	0					
	Diff. auf N = 725 (%)						9%	9%	5%	0%	0%					
	Anteil in % an Gesamtstückzahl						0,97%	0,00%	0,00%	17,22%	5,59%					
	Auswirkung auf Gesamtkosten aller ZP						0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%					0,02%
STL 885-1035	Diff. auf N = 450 bzw. N = 875 (EUR)	0,60	-0,07	0,00								0,82	0,78	0,63	0,43	0,00
	Diff. auf N = 450 bzw. N = 875 (%)	13%	-1%	0%								11%	11%	9%	6%	0%
	zusätzliche Rolle(n) und Regalbreite in % der HK des Zwischenpuffers	6%	3%	0%								4%	4%	2%	0%	2%
	Anteil in % an Gesamtstückzahl	4,40%	2,11%	1,05%								0,77%	0,33%	3,91%	2,16%	0,69%
	Auswirkung auf Gesamtkosten aller ZP	0,34%	0,06%	0,00%								0,05%	0,02%	0,16%	0,03%	0,01%
Gesamt																0,82%

Tabelle 14: Kostenabschätzung nach Clustering unter Berücksichtigung der Hotspots

Da die Rollenkosten für die Nennlänge 650 gleich hoch sind wie für die Länge 625 wäre eine Verkleinerung der Cluster bis zur Länge 650 optimal. (Die abgeschnittenen Längen 675 und 725 würden dann aufgrund der geringen Variantenzahl und Stückzahlen nicht mehr geclustert werden.) Auf diese Weise würden 3 Cluster mit einem Anteil von insgesamt rund 76 % aller Zwischenpuffer dieselbe Rollentype (N = 650 mm) verwenden. Die Gesamtabdeckung würde dann ca. 92 % betreffen. (siehe Tabelle 13). Die Kosten dieser Variante sind in Tabelle 14 dargestellt und aufgrund der Berücksichtigung der Hotspots bei N = 625 mm deutlich geringer.

### 3.2.1.2 Modularisierung

Eine weitere Möglichkeit Standardisierung beim Zwischenpuffer voranzubringen wäre es, das Produkt in mehrere Module aufzuteilen. Dies wäre insofern hilfreich, als besonders die Aufbauteile eine deutlich höhere Variantenvielfalt aufweisen als der Grundkörper (Seitenteile mit Rollen). Der stirnseitige Anschlag und das Überschiebeblech sind hier besonders hervorzuheben, diese beiden Bauteile sind aufgrund der Abhängigkeit von SSA und TELL kaum standardisierbar. Es wäre daher möglich, den Zwischenpuffer in zwei Module zu trennen, einmal den Grundkörper und einmal die Aufbauteile. Der Grundkörper ist zwar vom Parameter DBX abhängig, hier gibt es aber insbesondere beim Haupthotspot (N = 625, STL = 735) zu 98 % immer die Ausführung mit DBX = 0. Dieser Haupthotspot macht immerhin rund 41 % aller Zwischenpuffer aus, würde man die Clustering unter 3.2.1.1 durchführen wären es beinahe 50 %, wobei hier allerdings der Anteil mit DBX = 0 auf 84 % sinkt. Die zweite Abhängigkeit des

Grundkörpers besteht vom Parameter ZPTYP1, der die Grundart des Zwischenpuffers und die Links-/Rechtausprägung vorgibt. Hier sind, wie bereits unter 3.1.3.1 angeführt rund 87 % aller Zwischenpuffer vom Grundtyp 1 und 2, das heißt mit Seitenanschlag, Stirnanschlag und Überschiebeblech (bzw. am Grundkörper mit weniger Rollen), jeweils zur Hälfte in Links- und Rechtausprägung.

Das bedeutet, dass aktuell bei einer Trennung von Grundkörper und Aufbauteilen für den Grundkörper ein maximaler Anteil von zweimal 17,4 % (bzw. Links- und Rechtausprägungen zusammengenommen 34,8 %) von einem identen Typ möglich wäre. Bei einer Jahresproduktion von rund 16.400 Einheiten wären das zweimal 2.854 Stück. Ohne Modularisierung liegt der Wert für absolut idente Einheiten bei zweimal 6,3 % oder 1.033 Stück pro Jahr für die Links- bzw. Rechtsvariante. (Ausprägung: STL = 735, DBX = 0, STB = 120, AUSB = 1; SSA = 2070, TELL = 920, N = 625, BBZ = 600, TLG = 75)

Würde man den DBX-Wert auf das Maximum vereinheitlichen, würde der Wert ohne Modularisierung und Clustering ebenfalls gleich bei 6,3 % bleiben, lediglich die Ausprägung für STL würde sich auf 810 mm erhöhen. Ein zusätzliches Clustering hätte unter diesen Bedingungen ebenfalls kaum Auswirkungen auf den Maximalwert.

Würde man den DBX-Wert auf das Maximum erhöhen und zusätzlich in 2 Module unterteilen, so könnte für den Grundkörper ein Maximalwert von zweimal 18,3 % erreicht werden (Ausprägung: STL = 810, STB = 120, AUSB = 1, TLG = 75, N = 625, ZPTYP1 = 1 bzw. 2). Mit zusätzlichem Clustern wäre sogar ein Anteil von zweimal 30 % möglich. (Ausprägung: STL = 810, STB = 120, AUSB = 1, TLG = 75, ZPTYP1 = 1 bzw. 2)

Weiters würde sich die Menge an gleichen Einheiten durch eine Vereinheitlichung der Links-Rechts-Ausprägungen schlagartig verdoppeln. Dies ist auf Komponentenebene natürlich nicht möglich, da die beiden Varianten notwendig sind, um an den verschiedenen Plätzen im Regal eingebaut zu werden. Eine Möglichkeit wäre es aber, zumindest auf Bauteilebene eine Vereinheitlichung zu schaffen. Dies soll im nächsten Kapitel analysiert werden.

### **3.2.2 Optimierung an Bauteilen durch Symmetrieausnutzung**

Nach dem Ansatz, auf Baugruppenebene eine Variantenreduktion herbeizuführen, soll das als nächstes auch eine Ebene tiefer auf Bauteilebene erfolgen. Hier ist der Hauptansatz die Ausnutzung der Symmetrie.

Wie bereits im Kapitel 3.2.1.2 über die Modularisierung kurz beschrieben würde es hinsichtlich Standardisierung sehr viel bringen, die Links-/Rechtausprägungen zu eliminieren, da dadurch schlagartig die Vielfalt unter den Teilen halbiert werden könnte. Außerdem werden die Links-/Rechtausprägungen immer in kurzen zeitlichen Abständen produziert, was bedeutet, dass hier auch besonders hohe Einsparungen hinsichtlich Lagerplatzes, Fertigungsaufträge (Losgrößenbündelung), Bestellungen, Wareneingänge und Kommissionierzeilen möglich wären. In weiterer Folge werden die einzelnen Teile des Zwischenpuffers diesbezüglich analysiert. Zur Orientierung wie die einzelnen Bauteile miteinander verbaut sind, ist in Abbildung 24 die Konstruktionszeichnung des Zwischenpuffertyps 1 dargestellt.

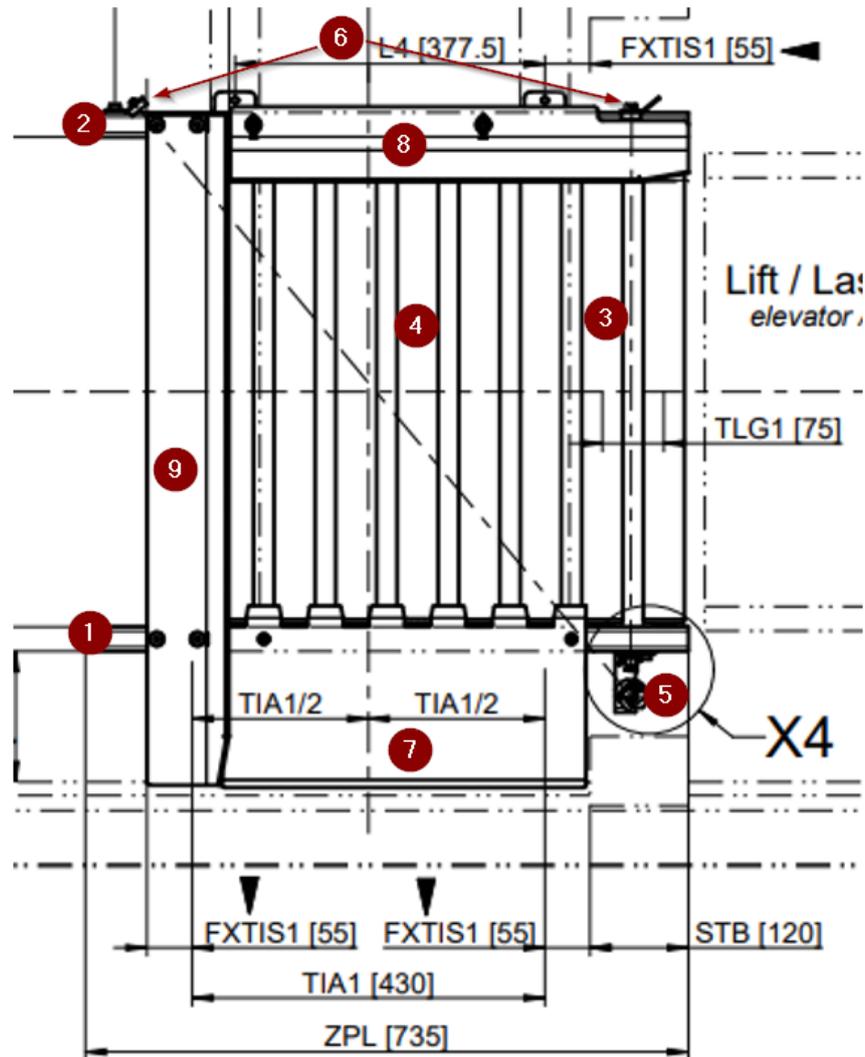


Abbildung 24: Konstruktionszeichnung des Zwischenpuffers Typ 1 (1... Seitenteil vorne; 2... Seitenteil hinten; 3... Tragrollen; 4... Motorrolle; 5... Sensorhalter; 6... Reflektorhalter; 7...Überschiebeblech; 8... Seitenanschlag; 9... Anschlag stirnseitig

### 3.2.2.1 Anschlag stirnseitig

Als erstes Bauteil soll der stirnseitige Anschlag auf seine Eignung zur Links-/Rechtsstandardisierung untersucht werden. Der Stirnanschlag ist ein relativ einfaches Blechbauteil, das lagerschnitten, gekantet und dann an der abgekanteten Stirnseite verschweißt wird. (siehe Abbildung 25) Hier wäre es durch Spiegelung der Löcher und Verdoppelung der Abflachung an der Stirnseite möglich, dasselbe Bauteil sowohl für die Links- als auch für die Rechtsvariante des Zwischenpuffers zu verwenden, ohne die Funktion zu beeinträchtigen. Dies könnte relativ einfach und ohne großen Aufwand von Seiten der Konstruktion umgesetzt werden.

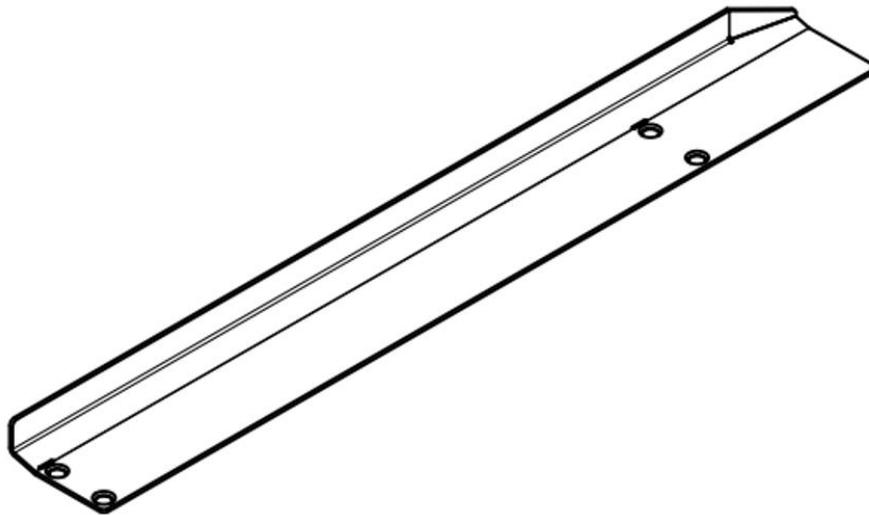


Abbildung 25: Anschlag stirnseitig (Materialnummer: 10394752\_02)

Um beurteilen zu können, ob eine Spiegelung der Merkmale sinnvoll ist, muss die Kostenstruktur des Bauteils und der nötigen Anpassung geprüft werden. Die Hauptkosten dieses Bauteils entstehen durch das Verschweißen und Schleifen der abgeflachten Kante an der Stirnseite. Diese betragen rund 30 % der Herstellkosten. Eine Verdoppelung dieser abgeflachten Kante bedeutet somit eine Kostensteigerung von zumindest 30 % der Bauteilkosten. Auf den gesamten Zwischenpuffer hochgerechnet bedeutet das ca. 0,86 % der Gesamtherstellkosten. Die Kosten sind verglichen mit der Auswirkung auf nur ein einziges Bauteil zu hoch. Um diese Anpassung kostendeckend durchführen zu können müssten 30 % der Herstellkosten durch Effizienzgewinne wieder eingespart werden, was unmöglich ist, da dieser Prozentsatz die gesamten Handlingkosten des Bauteils um ein Vielfaches übersteigt. Der Versuch, das Schweißen wegzulassen oder die Schweißtechnik auf kostengünstigeres Laserschweißen umzustellen ist leider auch nicht zielführend, da sich dann keine saubere Rundung ergibt, und dann Kartons an den Kanten eventuell hängen bleiben könnten.

### 3.2.2.2 Seitenanschlag

Das nächste Bauteil, das untersucht wird, ist der Seitenanschlag. Hier gibt es 2 unterschiedliche Grundtypen, zum einen den Seitenanschlag des Zwischenpuffers Typ drei, fünf und sieben (bzw. die dazugehörigen seitenverkehrten Varianten vier, sechs und 8), welcher sich über die gesamte Länge des Seitenteils erstreckt, und den Seitenanschlag des Zwischenpuffertyps eins, der um die Breite des Stirnanschlags verkürzt ist.

#### a) Seitenanschlag Typ 3/5/7

Beim Seitenanschlag der Typen 3, 5 und 7 gestaltet sich eine Symmetrienausnutzung sehr einfach. Da hier die abgeflachte Kante bereits verdoppelt ist, müssten nur die Maße für die Löcher vereinheitlicht und mit dem Seitenteil abgestimmt werden. (siehe Abbildung 26) Die Ausnehmungen links und rechts, die für die Reflektorhalter vorgesehen sind, können einfach auf das Maximum vergrößert werden, da der Anschlag ohnehin beim Seitenteil einbemaßt ist.



Abbildung 26: Seitenanschlag des Zwischenpuffertyps 3 und 5 (Materialnummer: 10403823\_02)

Aus diesen Maßnahmen würden keine laufenden Materialkosten entstehen, es müssten nur die Einmalkosten für die Änderungskonstruktion angesetzt werden. Hier ist laut Schätzungen der Entwicklung mit ca. 20 Stunden à 57 € zu rechnen, was Einmalkosten von ca. 1140 € bedeuten würde.

#### b) Seitenanschlag Typ 1

Beim Seitenanschlag des Zwischenpuffertyps 1 (siehe Abbildung 27) gestaltet sich die Situation ähnlich wie beim Anschlag stirnseitig (siehe Abschnitt 3.2.2.1). Hier gibt es ebenfalls eine abgeflachte und verschweißte Kante, die wiederum mit einer ähnlichen Kostenstruktur aufwartet. Auch hier ist eine Verdoppelung der Merkmale aufgrund der hohen Kosten nicht möglich.

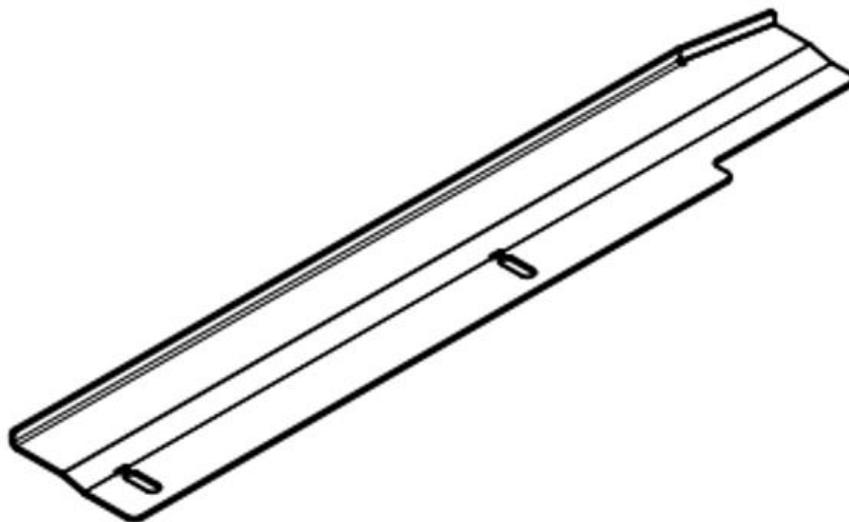


Abbildung 27: Seitenanschlag Typ 1 (Materialnummer: 10394750\_03)

Um dieses Problem anders zu lösen wäre es theoretisch möglich, den Seitenanschlag in den meisten Fällen komplett wegzulassen. Im Gegensatz zum Stirnanschlag, der die Funktion erfüllt, das Ladehilfsmittel richtig auszurichten, so, dass es das Shuttle beim Abholen richtig erreicht, wird das Ladehilfsmittel, wenn es vom Shuttle auf den Zwischenpuffer übergeben wird, nicht bis zum Anschlag geschoben, sondern mittig ausgerichtet. Auch wenn es vom Lastaufnahmemittel des Liftes auf den Zwischenpuffer ausgeschleust wird, sollte es normalerweise nicht am Seitenanschlag anstoßen. Der Seitenanschlag könnte somit ev. ganz weggelassen werden oder durch einen vereinfachten Absturzschutz ersetzt werden. Ein erster Schritt zur Vereinfachung des Seitenanschlages wäre das Entfernen der Abhängigkeiten von N und BBZ. Derzeit ist die

Breite des Seitenanschlags so konzipiert, dass die Kiste zentriert auf dem Zwischenpuffer ausgerichtet ist. Wenn der Seitenanschlag nur als Absturzschutz benötigt wird, ist diese Zentrierung überflüssig, dadurch könnte die Variantenvielfalt bei dieser Komponente deutlich gesenkt werden.

Detailanalysen dieses Sachverhaltes werden derzeit von mehreren Stellen im Unternehmen durchgeführt.

### 3.2.2.3 Überschiebeblech

Beim Überschiebeblech (siehe Abbildung 28) wäre eine Vereinheitlichung der Links- und Rechtsvariante ebenfalls denkbar. Dazu müssten die beiden Befestigungslöcher symmetrisch in der Mitte ausgerichtet werden. Die Länge des Bauteils müsste dann derart angepasst werden, dass die Zähne links und rechts symmetrisch enden. Da auf der Seite des Stirnanschlags die Länge des Bleches aufgrund der Abhängigkeit von DBX innerhalb von 35 mm variabel sein kann, müsste diese Möglichkeit der Anpassung auch auf der anderen Seite geschaffen werden. Dies wäre möglich, da auf der Seite des Stehers ohnehin das Freimaß FXTIS zwischen Innenseite des Teleskoparmes des Shuttles und dem Steher eingehalten werden muss. Derzeit reicht das Blech bis zum Steher, dies wäre aber gar nicht notwendig, da dort wo der Teleskoparm bewegt wird kein Überschiebeblech notwendig ist. Da der Parameter FXTIS entweder den Wert 55 oder 65 mm annimmt, ist somit genügend Platz, um das Überschiebeblech variabel gestalten zu können. (Würde die Parameterabhängigkeit von DBX am Stirnanschlag wegfallen, würde sich die Situation zusätzlich vereinfachen.) Es fallen somit durch die Änderung keine laufenden Kosten an, lediglich die Aufwende für die Änderungskonstruktion müssten gerechnet werden. Hier wurde von Seiten der Entwicklung eine Schätzung von ca. 20 Stunden à 57 € abgegeben, damit würden sich die Einmalkosten auf 1140 € belaufen.



Abbildung 28: Überschiebeblech (Materialnummer: 10394697\_02)

### 3.2.2.4 Seitenteile

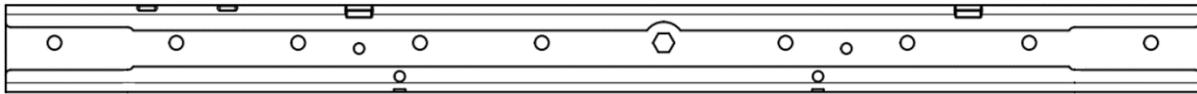


Abbildung 29: Seitenteil vorne (Materialnummer: 10418083\_02)

Die Seitenteile sind mit Abstand die komplexesten Teile des Zwischenpuffers. Hier werden alle (teilweise sehr variantenreichen) Anbauteile aufgebaut, was zu einem parameterabhängigen Lochbild führt. Außerdem ist das Seitenteil selbst von mehreren Parametern längenabhängig und die Ausnehmungen für die Sensor- und Reflektorhalter werden vom DBX-Wert beeinflusst. Selbst wenn der DBX-Wert vereinheitlicht werden würde, müsste darüber hinaus für eine symmetrische Ausgestaltung die Motorrolle genau in der Mitte sein, das wäre aber nur bei Längen mit ungerader Anzahl an Rollen möglich. Zusätzlich bestehen auch noch einige Unterschiede zwischen dem vorderen und dem hinteren Seitenteil. Aus diesen Gründen ist eine symmetrische Gestaltung in der derzeitigen Konstruktion nicht möglich.

Generell muss festgehalten werden, dass Symmetrieeffekte in einer bestehenden Konstruktion und Parametrisierung nur sehr schwer kostengünstig umzusetzen sind. Bessere Chancen hat ein derartiges Unterfangen, wenn bereits in der Neukonzeptionierung nach diesem Prinzip vorgegangen wird.

## 3.3 Variantengerechte Gestaltung der Produktionsstruktur

Im dritten Schritt in der EVAPRO-Methodik sollen die Produktionsstruktur und die jeweiligen Prozesse analysiert und gegebenenfalls angepasst werden. Hierfür fanden sich im Rahmen der Analyse der Produktkomponenten zahlreiche Ideen, die in weiterer Folge untersucht werden sollen.

### 3.3.1 Ausnützen von Skaleneffekten

Durch Clustering oder das Ausnützen von Symmetrie entstehen größere Mengen von einer begrenzteren Anzahl an unterschiedlichen Komponenten. Daraus können in verschiedensten Bereichen in der Prozesskette Vorteile generiert werden.

Ein Bereich, wo die Skaleneffekte besonders groß sind, ist die Teilefertigung. Hier gibt es neben den variablen Stückkosten teilweise auch sehr hohe Kosten, die beim Umrüsten der Maschinen von einem Fertigungsauftrag auf einen anderen entstehen. Wenn es hier gelingt, die Zeit zwischen den Rüstvorgängen zu verlängern und somit Fertigungsstückzahlen eines Loses zu vergrößern, können die Rüstkosten besser auf die produzierten Stück aufgeteilt werden, und die Stückkosten nehmen sehr rasch ab. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 30 beispielhaft an der Kostenstruktur des Seitenanschlages dargestellt.

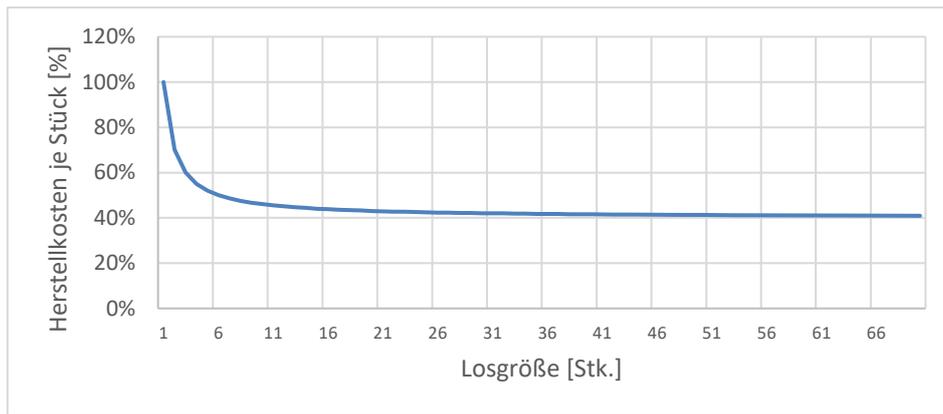


Abbildung 30: Herstellkostenabhängigkeit nach Losgröße am Beispiel des Seitenanschlags

Man sieht sehr deutlich, dass die größten Effekte bei kleinen, bis mittleren Losgrößen bis ca. 20 Stück erzielt werden. Hier ist ausgehend von einer Produktionslosgröße eins eine Einsparung von bis zu 60 % möglich.

Um das Einsparungspotential des Unternehmens feststellen zu können, müssen die Fertigungslosgrößen der produzierten Materialien bekannt sein. Dazu wurden die Fertigungsaufträge aller Materialvarianten der Bauteile des Zwischenpuffers EVO beispielhaft über einen Zeitraum von zwei Monaten untersucht. Es wurde über diesen Zeitraum für jede Materialvariante eine durchschnittliche Losgröße und die Summe der Anzahl der Fertigungsaufträge errechnet und diese Werte gegeneinander aufgetragen (siehe Abbildung 31).

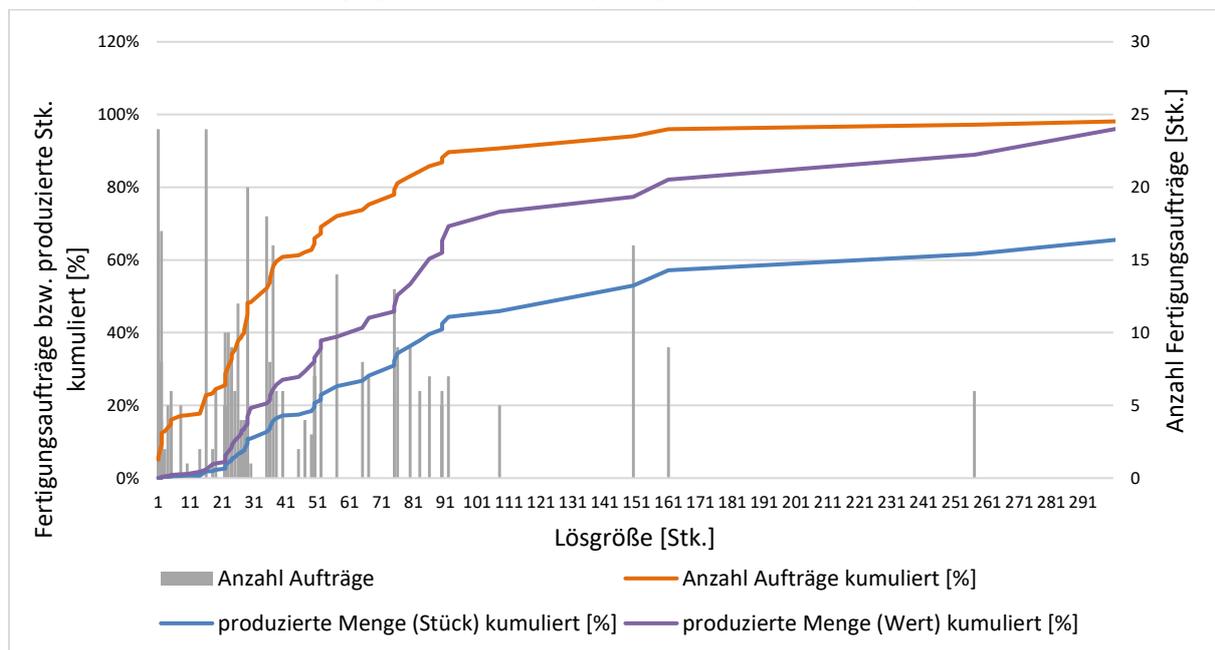


Abbildung 31: Anzahl Fertigungsaufträge je Durchschnittslosgröße, Zeitraum: 2 Monate (20.02.19 - 20.04.19), 113 Materialvarianten, 473 Fertigungsaufträge

Aus dieser Darstellung ist sehr gut ersichtlich, dass es einen sehr großen Anteil von rund 25 % aller Fertigungsaufträge gibt, die eine Losgröße kleiner 20 Stück aufweisen. Rund 17 % aller Fertigungsaufträge werden sogar in einer Menge von unter 10 Stück gefertigt und 48 % der Fertigungsaufträge beinhalten maximal 30 Stück. Aus diesen Zahlen könnte sehr leicht geschlossen werden, dass hier ein sehr hohes Einsparungspotential vorliegt. Daher ist es auch

wichtig nicht nur die Anzahl der Fertigungsaufträge, sondern auch die Mengenverteilung der produzierten Einheiten zu beachten. Diese ist in der blauen Kurve dargestellt und zeichnet ein anderes Bild: So werden nur 2,3 % aller produzierten Einheiten in Losgrößen kleiner 20 Stück produziert, bei Aufträgen unter 10 Stück sind es überhaupt nur 0,7 % der Gesamteinheiten, für Fertigungsaufträge unter 30 Stück ergibt diese Auswertung rund 11 %.

Umgekehrt darf aber auch der flachere Teil der Kostendegressionskurve nicht unterschätzt werden. Hier sind zwar die Kostenreduktionen pro Stück nicht mehr sehr groß, dennoch können hier aufgrund der größeren Menge sehr wohl noch Einsparungen erzielt werden.

Um diese Abhängigkeiten zu bewerten wurden zwei Szenarien angenommen: Einmal wurde vorgegeben, dass aufgrund der Standardisierungsmaßnahmen alle Fertigungsaufträge mit Losgrößen kleiner als 20 Stück auf 20 Stück erhöht werden können. Dieser Fall soll die Auswirkungen des steilen Teiles der Kostendegressionskurve evaluieren. Im zweiten Fall wurde diese Losgröße mit 40 Stück festgesetzt um auch die zusätzlichen Einflüsse des flachen Teils der Kurve zu sehen. Zur Bewertung des Potentials wurde auch die wertmäßige Verteilung über die Losgröße ermittelt (violette Linie), und diese mit dem Einsparungspotential je Losgröße aus Abbildung 30 multipliziert. Als Ergebnis zeigt sich, dass für das Anheben aller Fertigungsaufträge bis 20 Stück (25 % aller Fertigungsaufträge mit rund 4 % des gesamten Warenwerts) eine Einsparung bezogen auf die gesamten Herstellkosten aller untersuchten Aufträge von 0,19 % erzielt werden könnte. Für die Vergleichsrechnung mit 40 Stück (60 % aller Aufträge und 26 % des Wertes) verdoppelt sich diese Marge auf rund 0,37 %. Die Einsparungen aus Mengenbündelungen in der Fertigung sind also relativ klein, sobald der Großteil der Fertigungsaufträge über eine gewisse Losgröße hinausgeht.

Um die tatsächlichen Einsparungsmöglichkeiten durch Auftragsbündelung feststellen zu können, ist es notwendig die Fertigungsaufträge auch qualitativ zu analysieren. Hierfür wurde mit den Mitarbeitern des Internal Order Managements (Arbeitsvorbereitung) Rücksprache gehalten, um die Gründe für die teilweise sehr kleinen Fertigungslosgrößen zu ermitteln. Dabei konnte festgestellt werden, dass ein großer Teil der Kleinstaufträge aufgrund von Nach- oder Sonderproduktionen zustande kommt. Hier ist der Grund nicht unbedingt eine exotische Variante, sondern oft ein Fehlteil, ein Materialfehler, eine Beschädigung oder der kurzfristige Bedarf als Ersatzteil. Es ist also sehr schwer, den genauen Anteil der varianteninduzierten Kleinstaufträge zu ermitteln. Umgekehrt ist es aber so, dass Fehlteile oft durch hohe Komplexität entstehen, die zu einem guten Teil auch aus der hohen Variantenzahl hervorgeht. Was aber definitiv einen Vorteil bzgl. der Skaleneffekte bringen würde, ist die Reduktion der Links-Rechts-Varianten, da diese immer nahezu gleichzeitig produziert werden und somit die Losgröße verdoppelt werden könnte.

### 3.3.2 Untersuchung Vorproduktion zur Glättung der Auslastung

Der nächste Ansatz, der hinsichtlich einer Optimierung der Produktionsabläufe analysiert werden soll, ist eine auftragsneutrale Vorproduktion. Eine solche kann in zweierlei Hinsicht vorteilhaft sein. Zum einen können damit Schwankungen und Spitzen in der Produktionsauslastung ausgeglichen werden, wenn einer Komponente bereits im Vorfeld produziert werden kann. Zum anderen können mit den vorproduzierten Einheiten kürzere Lieferzeiten zugesagt

werden, da dann eine gewisse Anzahl von Aufträgen sofort aus dem Lager bedient wird. Umgekehrt ist es dazu aber notwendig, zusätzliche Lagerflächen zur Verfügung zu stellen und es muss auch eine gewisse Standardisierung vorgegeben werden, da bei einer zu hohen Variantenvielfalt keine vernünftige Abschätzung über die zukünftig benötigten Modelle gegeben werden kann. Es muss auch genau überlegt werden, ob es sinnvoll ist, die zusätzlichen Kosten für die Lagerplätze sowie das zusätzliche Handling (Ein- und Auslagern etc.) in Kauf zu nehmen. Sinnvoll ist eine derartige Strategie wohl nur dann, wenn sich einerseits diese Kosten durch effiziente Abläufe in Grenzen halten und andererseits das Ausliefern der Komponente auch auf dem zeitkritischen Pfad des Gesamtprojektes liegt, sodass eine verkürzte Lieferzeit einen Mehrwert bieten kann.

Aus derzeitiger Sicht ist eine flächendeckende Produktion des Zwischenpuffers auf Vorrat nicht denkbar. Dies liegt vor allem an der trotz möglicher Standardisierungsmaßnahmen enorm hohen Variantenanzahl. So wäre es zwar möglich die Parameter FXTIS, STB und DBX sowie die beiden Abmaße STL(STB, TIA, FXTIS, TLG) und N(BBZ) zu vereinheitlichen. Dann bleibt aber für die Aufbauteile immer noch die zusätzliche Vielfalt durch SSA und TELL.

Durch Modularisierung könnte die geringere Variantenanzahl beim Grundkörper zwar grundsätzlich ausgenutzt werden, womit eine maximale Anzahl einer gleichen Variante von rund 17 % (ohne DBX-Vereinheitlichung), 18 % (mit DBX-Vereinheitlichung) bzw. 30 % (mit DBX-Vereinheitlichung und Clustering) pro Links- bzw. Rechtsvariante erreicht werden kann. Es entstehen aber deutlich höhere Kosten im Zusammenbau und in den Lagerprozessen, denn die halbfertigen Zwischenpuffer müssten auf die Palette geschichtet und im Lager eingelagert, und dann bei Bedarf noch ein zweites Mal in den Zusammenbau geliefert werden, um die Aufbauteile anzubauen. Dies ist im Vergleich zum derzeitigen Prozess, wo die Zwischenpuffer zusammengebaut und dann gleich direkt in die Transportverpackung geschichtet und versandfertig gemacht werden, ein deutlicher Mehraufwand. Würde man die Zwischenpuffergrundkörper und die Aufbauteile getrennt auf die Baustelle schicken, würde zwar die Mehrarbeit im Zusammenbau verringert werden, jedoch müsste dann diese zusätzliche Arbeit auf der Baustelle erfolgen, wo es deutlich schwieriger ist, ideale Bedingungen zum Fertigstellen zu schaffen, als dies im standardisierten Zusammenbau der Fall ist. Außerdem würde hier auch wieder die zusätzliche zeitliche Komponente auf der Baustelle hineinspielen, die womöglich den kritischen Pfad beeinflusst und somit genau das Gegenteil von dem bewirkt, was ursprünglich beabsichtigt war. Der kritische Pfad ist ohnehin meist beim Regal zu suchen, da dieses eine lange Planungszeit und ebenso eine längere Produktions- und Aufbauzeit beansprucht. Der Zwischenpuffer muss zwar auch schon mit dem Regal auf der Baustelle eintreffen, er spielt hier aber meist eine eher untergeordnete Rolle. Eine Vorproduktion des Grundkörpers und das nachträgliche Aufbauen der Anbauteile kann daher zu den derzeit vorherrschenden Bedingungen nicht empfohlen werden.

Um mögliche Produktionsschwankungen auszugleichen und trotzdem das Risiko von Fehlproduktionen gering zu halten wäre es derzeit maximal möglich, den aktuell am öftesten verbauten Standardzwischenpuffer inklusive aller Anbauteile auf Vorrat zu produzieren. Dieser macht wie bereits in Abschnitt 3.2.1.2 über die Modularisierung beschrieben rund 6 % pro Links- bzw. Rechtsvariante aus, womit relativ risikofrei ca. 12 % vorproduziert werden könnten. Dies würde in etwa einer Auslastung von 6 Wochen im Jahr entsprechen.

### 3.3.3 Kanbanbelieferung der Assemblierung

Eine Möglichkeit das Lager zu entlasten wäre das Beliefern des Zusammenbaus über ein Kanbansystem. Dies bedeutet, dass die Materialien für die Assemblierung nicht im Vorfeld für die einzelnen Aufträge kommissioniert werden müssen, sondern einfach am Zusammenbauplatz deponiert, und dort je nach Bedarf direkt entnommen werden. Wenn ein Material zur Neige geht, wird es vom Lagerpersonal wieder aufgefüllt. Dies ist natürlich nur möglich, wenn eine ausreichende Standardisierung in den Produkten vorhanden ist, da der Lagerplatz im Zusammenbau sehr beschränkt ist, und somit nur eine gewisse Anzahl an Materialvarianten vorgehalten werden können. Idealerweise wird ein derartiges System für standardisierte Kleinteile eingesetzt, die sehr häufig vorkommen und nur begrenzt Platz brauchen, dazu zählen z.B. Schrauben. Diese Art der Materialbereitstellung wird auch bei KNAPP bereits für Normteile eingesetzt.

Im Zuge von Standardisierungsmaßnahmen könnte es eventuell möglich werden, auch andere Materialien nach diesem System zu bewirtschaften. Derzeit gibt es im Zusammenbau einen Arbeitsplatz für die Produktion der Zwischenpuffer, es wird aber gerade am Einrichten eines zweiten gearbeitet. Idealerweise würde eine Kanbanbelieferung hier dann sinnvoll sein, wenn ein Material in mehr als 50 % der zu produzierenden Einheiten eingesetzt wird. In diesem Fall könnte es direkt bei einem der beiden Arbeitsplätze deponiert werden und dort für alle zu bauenden Varianten eingesetzt werden. Dies wäre nach einer Klassenbildung der Parameter STL und N für Motor- und Tragrollen der Fall, wo dann insgesamt rund 76 % aller Zwischenpuffer dieselbe Rollenlänge hätten. (siehe Abschnitt 3.2.1.1 Clustering) Mit dieser Maßnahme könnte ein Großteil der Kommissioniertätigkeiten für die Rollen eingespart werden.

Ein weiterer Anwendungsfall wäre die Bereitstellung der Seitenteile am Zusammenbauplatz. Hier sind die Stückzahlen aufgrund der Aufteilung in vorderen und hinteren Seitenteil bzw. der Links- und Rechtsvariante nicht mehr ganz so groß: Ohne Vereinheitlichung des Parameters DBX würden der vordere und hintere Seitenteil mit der Ausprägung DBX = 0 und STL = 735 auf einen Anteil von zweimal ca. 20 % kommen. Mit Vereinheitlichung des DBX-Wertes auf den Maximalwert und der damit verbundenen Verlängerung des Seitenteils auf STL = 810 würde dieser Wert auf zweimal rund 41 % steigen.

In weiterer Folge müssen die Einsparungen im Prozess den Mehrkosten durch das Clustering am Bauteil gegenübergestellt werden, dies erfolgt unter Abschnitt 3.4 Abstimmung der Produkt- und Produktionsstruktur.

Im Zuge der Analyse hat sich weiters ergeben, dass diese Art der Kommissionierung auch für die Treibriemen, welche die Rollen mit der Motorrolle verbinden, sowie für die Motorrollenachse und das Seitenführungsblech (Verbindungsblech zwischen Zwischenpuffer und Regal) vorteilhaft wäre. Diese Materialien werden in jedem Zwischenpuffer verbaut und sind relativ klein, es wurde jedoch bisher nach Auftrag kommissioniert. Hier ist mit dem Kanbansystem eine Reduktion von knapp 3800 Kommissionierungen pro Jahr zu erzielen was in etwa 8.000 € Einsparung bedeutet. Das sind rund 0,18 % der Gesamtherstellkosten aller Zwischenpuffer.

### 3.4 Abstimmung der Produkt- und der Produktionsstruktur

Im vierten Schritt der EVAPRO-Methode werden die Produktions- und die Produktstruktur aufeinander abgestimmt. Dies ist insofern notwendig, als dass die Kosten und der Nutzen meist in diesen beiden Bereichen aufgeteilt sind. So können Mehraufwendungen durch Standardisierung auf der Produktseite oft zu Einsparungen bei den Prozesskosten führen, und umgekehrt. Es ist nicht immer ganz einfach alle kosten- und ertragsrelevanten Auswirkungen von Standardisierungen exakt zu bewerten. Besonders wenn es darum geht, Kosten, die nicht direkt einem Produkt oder Prozess zugeordnet werden können, nach dem Kostentreiber Variantenvielfalt zu bewerten, stößt man sehr schnell an seine Grenzen. Generell führt das Reduzieren von Varianten meist zu einer Verringerung der Komplexität in den Abläufen. Diese kann aber nur sehr schwer monetär erfasst werden. In den folgenden Abschnitten wird versucht, für verschiedene Standardisierungsszenarien mit den Daten aus den unterschiedlichen Unternehmensbereichen eine Bewertung vorzunehmen.

#### 3.4.1 Analyse Eliminierung der Parameter FXTIS und STB

Wie bereits in Abschnitt 3.1.3.6 beschrieben wäre es aus Sicht der Struktur der Parametrierung möglich, die Parameter FXTIS und STB auf die Maximalausprägung zu vereinheitlichen. Eine Änderung hätte Auswirkungen auf alle Größen in Gassenrichtung und somit auf die Bauteile Seitenteil vorne, Seitenteil hinten, Überschiebeblech, Anschlag stirnseitig, Anschlag seitlich, die Seitenführung sowie auf den Winkel des Reflektorhalteblechs. Insbesondere die Auswirkung auf den Seitenteil vorne und hinten ist auch mit zusätzlichen Kosten verbunden, da damit der Zwischenpuffer länger werden würde. Zur Ermittlung der Längenänderung wurden die historischen Produktionsdaten mit den erhöhten Werten für FXTIS und STB durchgerechnet und die Veränderungen ermittelt. Eine Längenänderung um eine Rollenteilung würde sich demnach bei 58 % aller Zwischenpuffer ergeben. Als Mehrkosten fallen die zusätzliche Rolle sowie die Verlängerung der unterschiedlichen Regalkomponenten an. Die Mehrkosten sind in Tabelle 15 anhand eines Durchschnittszwischenpuffers berechnet.

Position	Einheit	Kosten/Einheit	Gesamtkosten
Rollenkosten	Stk.	6,40	6,40
Backstopträger	m	6,00	0,45
Fahrschiene	m	16,00	1,20
Stromschiene	m	2,50	0,09
Gitterrost	m <sup>2</sup>	45,00	0,51
Summe			8,65
Herstellkosten Zwischenpuffer			270,00
Summe in % der Herstellkosten			3,20%
Eintrittshäufigkeit			58,00%
Kostenerhöhung in % der Gesamtherstellkosten			1,86%

Tabelle 15: Kostenerhöhung durch Maximierung von STB und FXTIS

Der Nutzen einer derartigen Vereinheitlichung ist relativ gering, da die von den beiden Parametern abhängigen Bauteile alle auch noch vom Merkmal DBX abhängig sind. Zusätzlich wird das Überschieblech noch von den Parametern SSA und TELL beeinflusst und der Seitenanschlag vom Parameter BBZ, was eine Reduktion der Varianten weiter erschwert.

Eine Vereinheitlichung würde beim Seitenteil auch keine Reduktion der Varianten herbeiführen. Da die Länge ohnehin nur in Sprüngen einer Rollenteilung angepasst werden kann, würde das Seitenteil einfach in die nächstlängere Variante übergehen.

Aufgrund der hohen Kosten und des geringen Nutzens ist eine Vereinheitlichung zur Maximalausprägung von STB und FXTIS nicht sinnvoll.

### **3.4.2 Analyse Eliminierung des Parameters DBX**

Für die Eliminierung des Parameters DBX ergeben sich grundsätzlich ähnliche Voraussetzungen wie für die Parameter FXTIS und STB. Die Abhängigkeiten beziehen sich ebenfalls auf die in 3.4.1 genannten Bauteile mit Ausnahme der Seitenführung, zusätzlich ist auch noch der Anschlag stirnseitig davon abhängig. Die Kosten für die Vereinheitlichung beruhen ebenso auf einer Verlängerung des Zwischenpuffers, bei dieser Anpassung betrifft die Änderung sogar 61 % aller Zwischenpuffer, wodurch die Kosten auf 1,95 % der Gesamtherstellkosten steigen. Die Mehrkosten belaufen sich somit auf rund 86.000 € im Jahr und es ist unmöglich, diese Kosten mit reinen Prozessoptimierungen zu kompensieren. Eine Anpassung kann nur dann ernsthaft in Betracht gezogen werden, wenn es Gründe gibt, die eine Modularisierung und Vorproduktion des Zwischenpuffers notwendig oder rentabel machen. In diesem Fall würden sich größere Vorteile aus dem Wegfall des DBX-Parameters ergeben, und der Sachverhalt müsste noch einmal neu bewertet werden (siehe Abschnitte 3.2.1.2 Modularisierung, 3.3.2 Vorproduktion und 3.3.3 Kanbanbelieferung von Seitenteilen). Aus derzeitiger Sicht kann eine Vereinheitlichung jedoch nicht empfohlen werden.

Für die Eliminierung der Abhängigkeit des stirnseitigen Anschlags müsste zusätzlich noch eine Anpassung in der Software erfolgen, sodass das Shuttle um den DBX-Wert weiterfährt, um konische Kisten von der um den DBX-Wert veränderten Position abzuholen. Dabei müsste auch genau auf den Bauraum geachtet werden, es muss sichergestellt sein, dass das Shuttle dafür genügend Platz vorfindet. Da der Stirnanschlag zusätzlich noch von den Parametern SSA und TELL abhängig ist, ergeben sich daraus nur marginale Varianteneinsparungen, die den großen Aufwand nicht rechtfertigen.

### **3.4.3 Analyse Clustering auf Hauptgrößen**

Eine weitere, sehr vielversprechende Maßnahme aus Abschnitt 3.2.1.1 ist das Clustering der Hauptparameter N und STL. Dies würde vor allem bei den Rollen eine Kanbanbelieferung möglich machen und somit Einsparungen bei den Kommissioniertätigkeiten nach sich ziehen (siehe 3.3.3).

Im Unterkapitel über das Clustering wurde bereits eine Kostenanalyse durchgeführt. Um die gebildeten Klassen vollständig bewerten zu können, sollen in weiterer Folge diese Kosten dem Nutzen gegenübergestellt werden.

Trotz sorgfältiger Analyse ist es nicht möglich, alle Aspekte vollständig monetär abzubilden. Ein möglicher Vorteil von Clustering wäre zum Beispiel, dass bei noch nicht endgültig festgelegter Größe der Ladehilfsmittel zumindest die Entscheidung für einen Cluster bereits möglich sein könnte. Dadurch könnten Komponenten bereits geplant und ev. auch schon produziert werden, bevor eine finale Festlegung erfolgt. Ein derartiger Aspekt lässt sich aber nur sehr schwer finanziell berücksichtigen. Auch die generelle Komplexitätsverringering durch Variantenreduktion ist nicht ohne weiteres in Zahlen darzustellen. In weiterer Folge werden aber zumindest die Prozessaspekte, die auch monetär bewertet werden können, dargestellt.

Wie bereits beschrieben gibt es beim Clustering den Ansatz, für die Seitenteillängen 660, 735 und 810 mm die Rollenlänge N auf 650 mm zu vereinheitlichen. Bei den Seitenteillängen 885, 960 und 1035 mm würden einerseits die Rollenlängen vereinheitlicht, und zusätzlich noch die Seitenteile auf die Maximalgröße von 1035 mm verlängert werden. Durch die Verlängerung des Seitenteils und die Notwendigkeit zusätzlicher Rollen sind hier deutlich höhere Kosten zu erwarten, und zusätzlich geht im Regal auch Bauraum verloren. Da diese beiden Fälle unterschiedliche Auswirkungen auf die Bauteile haben, sollen sie nachfolgend getrennt voneinander betrachtet werden.

### 3.4.3.1 Hauptcluster mit einheitlicher Rollenlänge

Zuerst sollen die drei Hauptcluster betrachtet werden, wo eine Vereinheitlichung zur gemeinsamen Rollenlänge  $N = 650$  mm möglich ist. Hier wurden in Abschnitt 3.2.1.1 sehr geringe Materialmehrkosten von ca. 0,13 % der Gesamtherstellkosten aller Zwischenpuffer ermittelt. Das entspricht bei einer Jahresmenge von ca. 16.400 Zwischenpuffern und einem Durchschnittspreis von rund 270 € einem zusätzlichen Aufwand von  $270 * 16.400 * 0,13\% = 5.756$  € pro Jahr.

Dem gegenüber gestellt werden die Einsparungen bei den Kommissioniertätigkeiten. Derzeit werden alle Rollen bei einem externen Logistikanbieter gelagert und kommissioniert, da die internen Lagerkapazitäten nicht ausreichen. Das bedeutet, dass die Rollen vom KNAPP-internen Einkauf bestellt werden, dann aber der Wareneingang, die Lagerung und die Kommissionierung der Produktionsaufträge vom externen Anbieter abgewickelt werden. Bei KNAPP werden diese vorkommissionierten Auftragsmengen im Wareneingang täglich übernommen, kurz zwischengelagert und zum Assemblierungszeitpunkt an den Arbeitsplatz gebracht. Für die zu vereinheitlichenden Rollenlängen wurden im ersten Quartal 2019 386 Kommissionierungen vorgenommen. Das ergibt auf das Jahr hochgerechnet eine Menge von 1.544 Picks. Die Kosten belaufen sich auf 3,16 € je Pick, das ergibt ein Einsparungspotential beim externen Dienstleister von 4.879 €. Zusätzlich müssen auch noch die Vorgänge bei KNAPP intern bewertet werden. Da die Motorrollen und die Tragrollen bereits gemeinsam in einem Paket angeliefert werden, kann für den Wareneingang die Hälfte der Kommissionierpicks mit einem Kostensatz von 2,60 € angenommen werden. Würden die Rollen ohne Vorkommissionierung angeliefert werden, würden maximal 2 Wareneingänge am Tag erfolgen (einer für die Motorrollen und einer für die Tragrollen). Das würde bei rund 20 Arbeitstagen im Monat rund 480 Wareneingänge im Jahr ergeben. Hier können knapp 300 Wareneingänge bzw. rund 760 € gespart werden. Für das Zwischenlagern entstehen bei Annahme von ca. 3 Paketen am Tag und ei-

nem Umfang von 2-3 Handling Units je Paket Kosten von ca. 800 € im Jahr. Bei den innerbetrieblichen Transporten zum Zusammenbauplatz dürften die Kosten in etwa gleichbleiben. Auch im Einkauf können keine maßgeblichen Einsparungen angesetzt werden, da die zugrunde liegenden Rollen sowieso für andere Produkte (z.B. Rollenbahnen) beschafft werden müssten, somit ändert sich nur wenig an der Anzahl der Bestellungen, einzig die Mengen werden angepasst.

Mit Ende des Jahres wird das Rollenlager aufgrund zusätzlicher Kapazitäten wieder ins Unternehmen zurückgeholt. Dann werden als Einsparungspotential nur mehr die eingesparten Picks verbleiben, die KNAPP-intern mit einem Satz von 2,10 € je Kommissionierzeile angesetzt sind. Eine Übersicht über die laufenden Kosten und Einsparungen ist in Tabelle 16 dargestellt.

Position	Menge	Kosten	Kostenwirkung pro Jahr	
			externer Logistikanbieter	interne Abwicklung
Materialmehrkosten (0,13% der Gesamtherstellkosten aller Zwischenpuffer)	16400	0,35	-5.756	-5.756
Eisparungen bei Picks	1544	extern: 3,16 € intern: 2,10 €	4.879	3.242
zusätzliche Wareneingänge durch Vorkommissionierung	292	2,6	759	
Zwischenlagern der vorkommissionierten Pakete	3650	0,22	803	803
<b>Summe</b>			<b>685</b>	<b>-1.711</b>

Tabelle 16: Kostenwirkung des Clustering nach Haupthotspots (laufende Kosten)

Nicht in dieser Betrachtung eingerechnet sind die Einmalkosten, die aufgrund der Anpassung der Parametersteuerung entstehen. Hierfür wurden von der Entwicklung Gesamtkosten für alle Clusteringmaßnahmen von rund 200 Stunden à 57 € angesetzt, unter der Annahme das die Hälfte dieser Stunden für die Anpassung der Hauptcluster und die andere Hälfte für die Nebencluster aufgewendet wird, ergibt das Einmalkosten von 11.400 €.

Aus dieser Berechnung ergibt sich, dass das Clustern in Richtung der Rollenlänge N trotz relativ geringer Mehraufwände nicht kostendeckend durchgeführt werden kann. Ob eine derartige Maßnahme im Unternehmen durchgeführt wird, hängt von der Bewertung des Nutzens der generellen Komplexitätsreduktion durch geringere Varianten ab. Eine Möglichkeit, die Vorteile der Kanbanbewirtschaftung auch ohne große Mehrkosten abzuschöpfen, wäre, nur die Rollenlängen 625 und 650 mm zusammenzufassen. Die Tragrollentypen dieser beiden Zwischenpuffervarianten haben den identen Preis und machen zusammen einen Anteil von 72 % aller Zwischenpuffer aus. Damit wäre eine Kanbanbelieferung immer noch sehr gut möglich und die Einsparungen würden sich nur marginal reduzieren. Hingegen würden keine laufenden Kosten anfallen und auch das Ändern der Parameterlogik wäre wohl deutlich einfacher. Würden gar keine Clusteransätze angewendet werden, würde eine Kanbanbelieferung von ausschließlich der Rollenlänge 625 mm immer noch rund 64 % aller Zwischenpuffer abdecken. Da auch einige andere benachbarte Rollenlängen sehr ähnliche Preise haben, könnte das Streichen auch bei diesen Segmenten durchgeführt werden, die Kostenwirkung wäre aber deutlich geringer, da aufgrund der geringeren Mengen keine Kanbanbelieferung erfolgen kann.

### 3.4.3.2 Nebencluster

Die in Abschnitt 3.2.1.1 aufgelisteten laufenden Kosten für die Vergrößerung und Anpassung in den beiden Nebenclustern (Seitenteillängen 885, 960 und 1035 mm) sind mit 0,69% der Gesamtherstellkosten oder rund 30.000 € im Jahr bereits deutlich höher. Zusätzlich ist hier auch noch der Bauraumverlust nachteilig anzuführen, der jedoch sehr schwer monetär auszudrücken ist.

Im Gegensatz dazu sind die Einsparungen in diesen beiden Segmenten eher gering. Um relevante Lagerkosteneinsparungen zu erzielen, müssten die Varianten zeitgleich im Lager deponiert sein. Dafür ist die Anzahl der zu vereinheitlichenden Varianten aber zu gering, die in der Übersicht unter 3.2.1.1 aufgeführten Varianten in diesen Clustern sind allesamt Exoten und treten selten zur selben Zeit auf. Auch für Skaleneffekte in der Produktion, der Beschaffung oder bei der Kommissionierung gilt dasselbe.

Für eine optimierte Belieferung des Zusammenbaus in Richtung Kanbansystem fehlt hingegen die Menge in den einzelnen Sektoren. So macht jeder Bereich nur rund 7,5 bis 8 % der Gesamtmenge aller Zwischenpuffer aus, zu wenig, um in Richtung einer Bevorratung direkt am Zusammenbauplatz zu denken. Aus diesen Gründen ist aus derzeitiger Sicht eine Klassenbildung bei diesen Seitenteillängen nicht erstrebenswert.

### 3.4.4 Analyse Symmetrienausnutzung

Wie bereits unter Abschnitt 3.3.1 bei der Diskussion der Skaleneffekte erwähnt, birgt speziell das Zusammenlegen von Varianten für eine linke und eine rechte Seite sicheres Einsparungspotential, da beide Seiten beinahe gleichzeitig produziert werden, und somit leicht zu bündeln sind. Außerdem erfolgt die Vereinheitlichung unabhängig von der Abhängigkeit anderer Parameter, da eine zusätzliche Abhängigkeit ja immer für beide Seitenversionen gilt. Nachfolgend soll die Möglichkeit der Ausnutzung von Symmetrie beim Überschiebeblech und beim Seitenanschlag bewertet werden.

#### 3.4.4.1 Überschiebeblech

Grundsätzlich sind beim Überschiebeblech Einsparungen im Bereich der Bündelung der Fertigungsaufträge (und der daraus resultierenden Skaleneffekte), sowie aus dem Zusammenziehen der HUs im Lager zu erwarten.

Zur Bewertung der Effekte in der Fertigung wurden die Fertigungsaufträge aus zwei Monaten von allen Überschiebeblechen analysiert. Hierbei wurden die Aufträge nach Materialnummer und Datum sortiert und so für jedes Material und jeden Tag die Aufträge der Links- und Rechtsvarianten gegenübergestellt. Gab es an einem Tag jeweils einen Auftrag für beide Varianten, so wurden die Herstellkosten je nach Menge der Einzelaufträge und zusätzlich auch nach gemeinsamer, gebündelter Menge errechnet. Die Differenz davon wurde als Einsparung ausgewiesen. Diese Einsparungen wurden dann ins Verhältnis zu den gesamten Herstellkosten aller produzierten Überschiebebleche in diesem Zeitraum gesetzt, daraus ergeben sich 0,6% Einsparung. Da über den gesamten Zeitraum in etwa gleich viele Links-, wie auch Rechtsvarianten produziert wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die Produktion nicht immer am

selben Tag erfolgte und somit die Einsparungen bei konsequenter Planung höher sein müssten. Deshalb wurden die errechneten Einsparungen als zweites nur den Herstellkosten jener Aufträge gegenübergestellt, die am selben Tag produziert wurden. Hier ergibt sich ein Prozentsatz von 1,3 %. Da vermutet wird, dass nicht immer alle Aufträge zusammengezogen werden können, wurde ein geschätzter Mittelwert von rund 1 % Einsparung angenommen. Das Überschiebeblech des Standardzwischenpuffers verursacht Herstellkosten von 6,22 € pro Stück. Bei den jährlich produzierten 16.400 Zwischenpuffern sind 15.482 (94,4 %) mit einem Überschiebeblech ausgestattet. Das ergibt jährliche Einsparungen von 963 € bei den Herstellkosten.

Bei den Lagerkosten gibt es wie bereits erwähnt die Möglichkeit, dass beide Varianten nach einer Vereinheitlichung in einer gemeinsamen HU gelagert werden, soweit das platztechnisch möglich ist. Bei den Überschiebeblechen passen ca. 80 Bleche in eine HU, es können also zwei vereinheitlichte Varianten mit jeweils maximal 40 Stk. gemeinsam gelagert werden. Für die nachfolgende Bewertung wurden die Daten aus dem Lager zu einem bestimmten Stichtag analysiert und alle HUs von Links- und Rechtsvarianten, die im selben Lagerort gelagert wurden, gegenübergestellt. Dabei hat sich gezeigt, dass insgesamt 7 HUs bei den Überschiebeblechen eingespart werden können. (siehe Tabelle 17) Daraus ergeben sich Einsparungen von 1.029 € im Jahr, in Summe ergeben sich jährliche Kostenreduktionen von 1.992 €.

Zusätzliche Aufwendungen ergeben sich durch die Änderungskonstruktion, die von der Entwicklung mit rund 20 h à 57 € = 1.140 € angegeben wird. Eine derartige Anpassung würde sich daher in rund 7 Monaten amortisieren. Dennoch sind die Einsparungen auch in weiterer Folge sehr gering, für die Entscheidung, ob eine derartige Änderung durchgeführt wird oder nicht sollte unbedingt auch das Risiko berücksichtigt werden, dass es im Zuge der Anpassung zu Problemen kommen könnte. Dann können die Einsparungen sehr rasch vernichtet sein.

	HUs	Kosten / Stellplatz und Tag [€]	Einsparungspotential / Jahr [€]
Freifläche zentr. Kommissionierung Nord	6	0,22	482
OSR	1	1,50	548
			1.029

Tabelle 17: Lageroptimierungspotential bei den Überschiebeblechen durch Symmetrieausnutzung

#### 3.4.4.2 Seitenanschlag

Für das Seitenanschlagsblech ergibt sich eine ähnliche Ausgangssituation wie für das Überschiebeblech. Auch hier werden die Einsparungen bei der Zusammenlegung der Fertigungsaufträge, sowie bei der Bündelung der HUs im Lager lukriert. Da es sich beim Seitenanschlag um verzinktes Material handelt und der Verzinkprozess von einem externen Lieferanten abgewickelt wird, können zusätzlich noch Einsparungen bei den Bestellzeilen sowie bei den Wareneingängen eingerechnet werden. Dafür ist allerdings die Stückzahl deutlich geringer, da der zu vereinheitlichende Seitenanschlag nur bei den Zwischenpuffertypen 3-8 und somit insgesamt bei rund 13,1 % der produzierten Einheiten vorhanden ist.

Bei der Einsparung aus der Fertigung werden analog zur Berechnung beim Überschiebeblech (Abschnitt 3.4.4.1) die Fertigungsaufträge der Links- und Rechtsvarianten gegenübergestellt.

Für die Kostenreduktion errechnen sich Werte von 0,6 % (bei Gegenüberstellung der Einsparungen zu den Herstellkosten aller Seitenanschlüsse) und 1,69 %. (Wenn als Basis nur die Herstellkosten der Einheiten, die am selben Tag produziert worden sind, genommen wird.) Es wird wiederum ein geschätzter Mittelwert von 1 % angenommen. Bei Stückkosten von 8,30 € ergeben sich somit Einsparungen von  $8,30 * 1 \% * 16.400 * 13,1 \% = 178,32 \text{ €}$  pro Jahr.

Bei den Bestellzeilen für das Verzinken wurden ebenfalls die Links- und Rechtsvarianten gegenübergestellt. Es konnten 56 Bestellzeilen pro Jahr ausgemacht werden, die durch Zusammenziehen eingespart werden können. Bei Kosten von 7,38 € je Bestellzeile ergibt sich eine Einsparung von 413,28 €.

Bei den Wareneingangszeilen kann in guter Näherung dieselbe Verteilung wie bei den Bestellzeilen angenommen werden, somit ergibt sich im Wareneingang ein Einsparungspotential von  $56 \text{ Zeilen} \times 2,60 \text{ €} = 145,60 \text{ €}$ .

Im Lager konnten lediglich 2 HUs ausgemacht werden, die durch Zusammenlegen der Varianten eingespart werden könnten. Diese beiden HUs ergeben einen Jahreseinsparungswert von 160,60 €.

Somit kann eine Gesamteinsparung von  $178,32 + 160,60 + 413,28 + 145,60 = 897,79 \text{ €}$  ausgewiesen werden. Als Aufwände ergeben sich die Kosten für die Änderungskonstruktion, die mit ca.  $20 \text{ h} \times 57 \text{ €} = 1.140 \text{ €}$  angegeben werden. Die notwendige Investition würde sich somit in ca. 15 Monaten amortisieren. Auch hier ist wiederum eine Risikoabschätzung vorzunehmen, ob die geringen Einsparungen eine Konstruktionsänderung rechtfertigen oder nicht.

### 3.4.5 Analyse Sensor- und Reflektorhalter

Im Zuge der Analyse- und Recherchetätigkeiten konnten zwei zusätzliche Baugruppen aufgefunden gemacht werden, die durch eine Prozessänderung deutlich günstiger realisiert werden könnten. Dabei handelt es sich um die Baugruppen für den Sensor- und den Reflektorhalter. Beide Baugruppen werden derzeit im Rahmen des Gesamtzusammenbaus des Zwischenpuffers separat assembliert. Diese Arbeit ist sehr zeitaufwendig und könnte auch von externen Lieferanten erledigt werden. Pro Zwischenpuffer sind ein Sensorhalter und zwei Reflektorhalter vorgesehen. Diese werden aber nicht direkt in der Assemblierung auf die Komponente aufgebaut, da dieser Aufbau für den Transport zu filigran und sperrig wäre. Deshalb werden die Halterungen in eine separate kleine Schachtel gegeben und in die Gesamtverpackungseinheit eines Zwischenpuffer-Versandpakets miteingepackt. Diese Kommissionierung der Halter in die kleine Schachtel könnte ebenso ausgelagert und direkt im Lager gemacht werden, im Zusammenbau müsste dann diese fertigverpackte Schachtel nur mehr dem Gesamtpaket beigelegt werden.

#### 3.4.5.1 Sensorhalter

Der Sensorhalter (siehe Abbildung 32) ist eine Standardbaugruppe und beinhaltet keine Abhängigkeiten von Parametern, es gibt lediglich eine Links- und eine Rechtsvariante. Hier würde es sich anbieten, diese Baugruppe über die chinesische KNAPP-Niederlassung zu beziehen und sowohl die Fertigung als auch den Zusammenbau auszulagern. Nach ersten Schätzungen könnten hier ca. 30 % der Herstellkosten eingespart werden, was eine Jahresersparnis von

ca.  $37,13 \text{ €} * 30 \% * 16.400 \text{ Stk.} = 182.679,60 \text{ €}$  bringen würde. Zusätzlich würden jährlich rund 3.600 Kommissionierzeilen eingespart, was weitere 7.560 € an Einsparungen bringen könnte. Die Gesamtpreisreduktion beträgt somit rund 190.000 €, was 4,3 % der Gesamtherstellkosten des Zwischenpuffers entspricht.

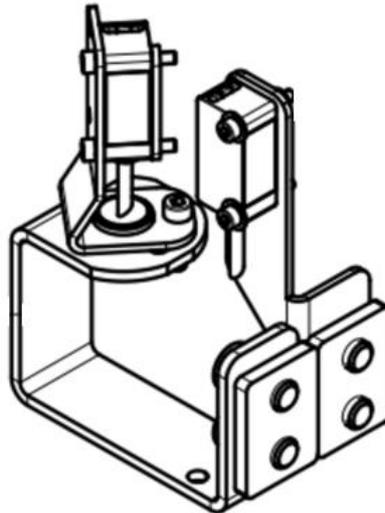


Abbildung 32: Sensorhalter (Materialnummer: 10446663\_03)

### 3.4.5.2 Reflektorhalter

Beim Reflektorhalter (siehe Abbildung 33) gestaltet sich die Optimierung etwas schwieriger, da es hier eine Abhängigkeit des Winkels von den Grundabmessungen des Zwischenpuffers (STL und N) sowie von DBX gibt. Insgesamt gibt es 48 Materialvarianten des Reflektorhaltebleches und davon wiederum jeweils eine Links- und eine Rechtsvariante im Zusammenbau, das ergibt insgesamt 96 unterschiedliche Varianten der Gesamtbaugruppe. Würde diese Baugruppe ebenfalls nach China outgesourct werden, wäre es notwendig, von jeder Variante der Baugruppe einen Vorrat im Lager vorzuhalten, da die Lieferzeiten steigen würden. Da die Kommissionierung der Halterungen vorzugsweise im OSR-System des Lagers passiert und die dortigen Lagerplätze sehr teuer sind, würden die Lagerkosten die Einsparung übersteigen. Deshalb wäre es hier sinnvoller, die Produktion der Baugruppe in Österreich auszulagern. Für diese Änderung wird in erster Schätzung eine Einsparung von ca. 10 % angenommen. Das entspricht bei Herstellkosten von 3,59 € und einer Menge von 16.400 Einheiten einer Jahreseinsparung von 5.887,6 €.

Zusätzlich wird für die Reflexion bei der Spaltlichtschranke immer auch noch ein Reflektorhalter gerade aufgebaut. Dieser Reflektorhalter wurde bis jetzt auch immer mit einem gebogenen Halteblech in einer dritten Zusammenbauvariante realisiert. Hier wäre es aber sinnvoller, ein zusätzliches gerades Halteblech zu konstruieren, und diese Baugruppe dann wiederum in China fertigen zulassen.

Für die Anpassung des geraden Reflektors kann somit ebenfalls eine Kostenreduktion von rund 30 % angesetzt werden, das entspricht bei Herstellkosten von 3,59 € und einer Jahresmenge von 16.400 Stück einer Einsparung von 17.662,80 €

Zusätzlich werden durch das Auslagern des Zusammenbaus auch beim Sensorhalter rund 1.000 Kommissionierzeilen pro Jahr eingespart. Das bedeutet eine zusätzliche Kostenreduktion von 2.100 €.

Insgesamt würden die Maßnahmen beim Reflektorhalter Jahreseinsparungen von rund 25.650 € ergeben, das sind ca. 0,58 % der Gesamtherstellkosten des Zwischenpuffers.

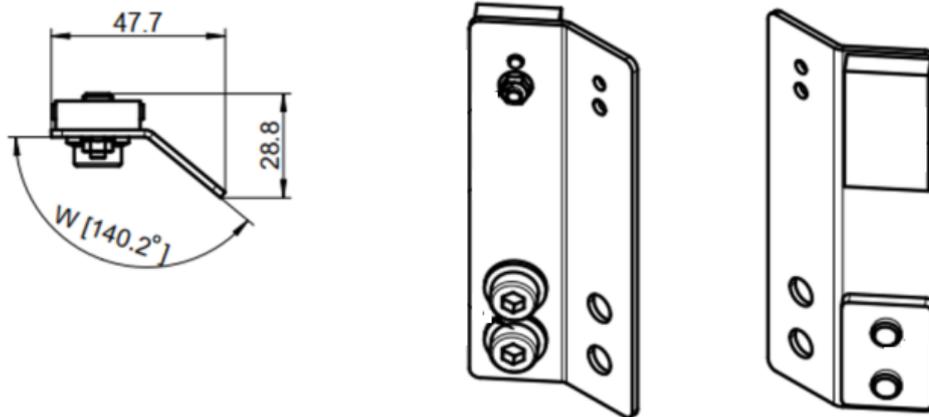


Abbildung 33: Reflektorhalter (Materialnummer: 10394359\_02)

### 3.5 Organisatorische Anpassung der Auftragsabwicklung

Der letzte Punkt des EVAPRO-Konzepts ist die organisatorische Anpassung der Auftragsabwicklung. Unter diesem Punkt soll kurz die Struktur im Unternehmen dargestellt werden, und es sollen mögliche Verbesserungspotentiale hinsichtlich der Organisation aufgezeigt werden. Die KNAPP AG ist hinsichtlich ihrer Organisation im Auftragsabwicklungsprozess bereits sehr systemgestützt aufgestellt. So wird für die Verwaltung der Baugruppen und Stücklisten ein im Unternehmen programmiertes und auf die eigenen Bedürfnisse abgestimmtes PDM-System verwendet. Für die Beschaffung und Logistiksteuerung, sowie die Finanzprozesse und Kalkulation wird auf SAP ERP (Enterprise Resource Planning) und EWM (Extended Warehouse Management) gesetzt. Die SAP-Systeme sind mit dem PDM-System über eine Schnittstelle verbunden, um Informationen über Stücklisten direkt auszutauschen. Sämtliche Stücklisten sind parametrisiert und auch in SAP parametrisiert integriert. Es gibt immer eine Gesamtstückliste, die alle Unterkomponenten der einzelnen Varianten beinhaltet, und zusätzlich die dazugehörigen Variantenstücklisten. Änderungen werden in der Gesamtstückliste eingepflegt und dann automatisch in den Variantenstücklisten übernommen.

Die Anlage von neuen Materialvarianten erfolgt auf Basis der Parameter automatisch im System. Sind die benötigten Ausprägungen bei den bereits im System bestehenden Materialvarianten noch nicht vorhanden wird eine neue angelegt. Derzeit werden aber nur die Inputparameter geprüft und nicht die tatsächlichen Parameter, welche die Abmessungen des Bauteils definieren. So kann es derzeit vorkommen, dass zwar die Inputparameter in der gewünschten Kombination noch nicht bei einer Materialvariante vorhanden sind, sich jedoch aus diesen Parametern aufgrund der hinterlegten Formeln dieselben Abmessungen ergeben, welche bereits von einer Variante mit einer anderen Parameterkombination abgedeckt werden. Somit werden

derzeit mehr Varianten im System angelegt als notwendig. Hier wäre es sinnvoll, die Überprüfung auf die errechneten Outputparameter und Abmessungen des Materials zu verlagern, damit könnte das doppelte Anlegen identer Materialien verhindert werden.

Für die Planung der Projekte und der Fertigung greift KNAPP auf das Programm WayRTS zurück. Darin können alle Komponenten auf oberster Produktebene (beispielsweise Shuttles oder Zwischenpuffer) geplant werden. Hier gibt es aber noch Verbesserungspotential bzgl. einer Anbindung an SAP, um auch die darunterliegenden Materialbedarfe aus der Planung übernehmen zu können. Dies würde große Vorteile hinsichtlich der Vorausplanung der Produktion und vor allem des Zukaufs beim Lieferanten bedeuten. Frühzeitige Informationen können besonders bei Materialien mit langen Lieferzeiten große Vorteile bringen, auch was die Gesamtdurchlaufzeit des Projektes betrifft.

Aufgrund der sehr beengten Platzverhältnisse im Zusammenbau werden derzeit die für die Assemblierungsaufträge kommissionierten Materiallieferungen vor der Halle bereitgestellt und dann von den Zusammenbaumitarbeitern dort abgeholt. Dies bedeutet aber einen Prozessbruch, da die Paletten somit zweimal auf den Stapler aufgeladen werden müssen. Hier könnte durch Schaffung geeigneter Platzverhältnisse das Bereitstellen der Materialien direkt am Zusammenbauplatz ermöglicht und somit wertvolle Arbeitszeit im Zusammenbau gespart werden.

Weiteres Potential zur Optimierung ergibt sich aus der Losgrößenabstimmung zwischen Fertigung und Lager. Um die Lagerkapazitäten optimal auszunützen, sollte für jedes Material eine optimale Menge an Einheiten pro Handling Unit ermittelt werden. Diese optimale Menge könnte dann im Internal Order Management als Basis für die Losgrößen der Teilefertigung herangezogen werden. Am Beispiel von Überschiebeblech und Seitenteil wurde ermittelt, dass eine Losgröße rund um die optimale Menge von 80 Stück derzeit nur in 4-5 % der Fertigungsaufträge gegeben ist. (Als optimaler Bereich wurden 75 bis 85 Stück gewählt.) Rund 80 % der Aufträge liegen aktuell unter diesem Bereich und ca. 15 % darüber.

Um zukünftige Ansätze in der Variantenreduktion und Standardisierung in geeigneter Weise beurteilen zu können, könnte im Unternehmen ein Gremium geschaffen werden, das diesbezügliche Vorschläge bewertet und zu einer Entscheidung bringt. Hierbei sollten Personen aller relevanter Stakeholder miteinbezogen werden, um die Datenlage aus mehreren Perspektiven zu erörtern. So haben verschiedene Abteilungen im Unternehmen unterschiedliche Sichtweisen und Interessen hinsichtlich der Produkt- und Materialvarianten. Die kundenorientierten Abteilungen wie beispielsweise der Vertrieb sehen vordergründig den Nutzen zusätzlicher Produktvarianten wie er vom Kunden wahrgenommen wird. Im Gegensatz dazu haben die planenden und entwickelnden Abteilungen eine direkte Sichtweise auf die Auswirkungen dieser Varianten auf der Baugruppen- und Materialebene. Als dritte wichtige Gruppe gilt das Controlling, das den ganzheitlichen Überblick über die Kostenstruktur hat. Mitglieder aus anderen Abteilungen wie beispielsweise Einkauf, Lager, Fertigung und Arbeitsvorbereitung sollten diese Runde ergänzen um die bestmöglichen Entscheidungen zu treffen. Zusätzlich kann durch ein derartiges Gremium auch das Bewusstsein hinsichtlich Variantenmanagement in den jeweiligen Abteilungen gestärkt werden. (vgl. [KOH98], S.59f)

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Im vierten Kapitel werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und es wird ein kurzer Ausblick über weiterführende Fragen und Untersuchungsmöglichkeiten gegeben.

### 4.1 Zusammenfassung

Die KNAPP AG ist ein führender Anlagenbauer im Bereich der Intralogistik und bietet Logistikkomplettlösungen für Kunden aus aller Welt an. Es werden Gesamtprojekte inklusive der Integration von Fremdkomponenten verwirklicht, die Steuerungssoftware sowie einige Kernkomponenten werden jedoch im eigenen Unternehmen entwickelt und produziert. Eines der Hauptprodukte der KNAPP AG ist das OSR-Shuttle-System, ein vollautomatisches Lagersystem mit Ebenenbediengeräten, sogenannten Shuttles. Aufgrund der Anforderung des Marktes, immer kürzere Projektdurchlaufzeiten zu verwirklichen, wurden im Unternehmen mehrere Projekte gestartet, um hinsichtlich dieser Thematik nach Lösungen zu suchen. Als eine Grundvoraussetzung für verkürzte Durchlaufzeiten wurde sehr schnell ein gewisses Mindestmaß an Standardisierung ausgemacht, um im Produktionsprozess die notwendige Flexibilität zu erlangen. Aus diesem Grund wurde diese Diplomarbeit ausgeschrieben, die sich speziell mit dem Thema des Variantenmanagements befassen soll.

Um die sehr umfangreiche Thematik im Rahmen einer Diplomarbeit abzuwickeln, wurde beispielhaft für eine mögliche Optimierung und Standardisierung am ganzen System als einzelne zu untersuchende Komponente der Zwischenpuffer herausgegriffen. Die Auswahl dieser Baugruppe erfolgte aufgrund der großen Häufigkeit im Regalsystem und der vergleichsweise hohen Variantenvielfalt. Um die Komponente und das Gesamtsystem kennen zu lernen wurden zu Beginn in einigen Besprechungen durch den Produktmanager die Anlage vorgestellt und gemeinsam vor Ort besichtigt. In einem Kick-Off-Meeting wurden die wichtigsten Stakeholder des Projektes über das geplante Vorhaben informiert, zusätzlich konnten dabei die relevanten Personen in den Schnittstellen kennengelernt und erste Einschätzungen zu dieser Thematik eingeholt werden.

Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden die wichtigsten Ansätze und Methodiken des Variantenmanagements erarbeitet, und es wurde mit dem EVAPRO-Konzept eine Vorgehensweise gefunden, die sehr zielgerichtet und effizient eine Analyse und Optimierung von Variantenvielfalt erlaubt. Das EVAPRO-Konzept wurde von der TU Braunschweig in Kooperation mit mehreren deutschen Unternehmen in dreijähriger Forschungszeit entwickelt und bietet sehr gute Ansätze zur Variantenreduktion in der Praxis. Die weitere Vorgangsweise im Projekt wurde daher an diese Methodik angelehnt.

Als erster Schritt wurden die Vielfalt des Produktes untersucht. Dabei wurde auf die Daten aller produzierten Zwischenpuffer der Jahre 2012 bis 2018 zurückgegriffen und diese im Detail nach ihren Parameterabhängigkeiten und Ausprägungshäufigkeiten untersucht. Dabei kam erschwerend hinzu, dass der Großteil der Daten von der Vorgängergeneration des Zwischenpuffers (OSR35) stammte, für die aktuelle Version des OSR EVO waren nur wenige Daten aus den Jahren 2017 und 2018 vorhanden. Deshalb wurde der Großteil der Analysen nach dem

Datenmaterial des OSR35 erstellt und die Erkenntnisse auf die aktuelle Generation des Zwischenpuffers übertragen. Der Zwischenpuffer OSR35 besteht im Wesentlichen aus 13 verschiedenen Komponenten, diese sind von 14 unterschiedlichen Parametern mit insgesamt 183 Ausprägungen abhängig. Es wurden in den Jahren 2012 bis 2018 insgesamt 34.230 Stück in 262 verschiedenen Varianten gebaut. Um mit der Komponente vertraut zu werden, wurden alle Parameter und ihre Ausprägungen einer ersten Analyse unterzogen. In vielen Gesprächen mit den produktverantwortlichen Ingenieuren wurden die Auswirkungen der Parameter auf die Bauteile und ihre Funktionen erläutert. Welche Parameter Einfluss auf welche Bauteile haben, wurde in einer Abhängigkeitsmatrix dargestellt. Nach erster Begutachtung konnten einige Parameter ausgeschieden werden, die in der aktuellen Generation des Zwischenpuffers nicht mehr vorkommen bzw. derzeit nur eine einzige Ausprägung aufweisen. 10 Parameter mussten im Detail analysiert werden. Hierfür wurden die zuvor festgestellten Abhängigkeiten aus der Matrix detailliert anhand der zugrunde liegenden Formeln untersucht. Meist wurde ein Bauteil von mehreren Parametern beeinflusst und diese hatten selbst wieder Auswirkungen auf viele andere Bauteile. Dabei hat sich gezeigt, dass bei drei Parametern eine Möglichkeit zur kompletten Vereinheitlichung gefunden werden kann, für zwei Merkmale bietet sich eine Klassenbildung an, und fünf Parameter können gar nicht standardisiert werden.

Im nächsten Schritt wurde versucht, die Komponente als Gesamtbaugruppe zu standardisieren. Dazu wurde zu den Werkzeugen des Clustering und der Modularisierung gegriffen. Beim Clustering wurde versucht, die Hauptabmessungen des Zwischenpuffers in Klassen zusammenzufassen. Dabei musste einerseits auf die umliegenden Komponenten Bedacht genommen werden, andererseits waren auch Überlegungen hinsichtlich des Durchsatzes ausschlaggebend. Als Ergebnis dieser Untersuchungen konnten Cluster in Rollenlängsrichtung gefunden werden, die aufgrund des vorhandenen Bauraumes keine Auswirkungen auf die Regalabmessungen und auch keine Auswirkungen auf den Durchsatz haben. Die variablen Kosten für die Verlängerung der Rollen sind ebenfalls sehr moderat. Es konnten noch weitere Cluster gefunden werden, hierbei müsste der Zwischenpuffer aber in Richtung der Seitenteillänge verlängert werden, was aufgrund zusätzlich benötigter Rollen jedoch zu höheren Kosten führt und auch eine geringfügige Regalverlängerung bedeutet. Parallel dazu wurden die Auswirkungen der Standardisierung auf die Prozesse im Unternehmen untersucht, wobei erwartet wurde, dass die zusätzlichen Materialkosten durch die Vergrößerung aufgrund der Klassenbildung mit Einsparungen bei den Prozessen wieder kompensiert werden.

Da nach Durchführung des Clustering über 76 % aller Zwischenpuffer mit denselben Rollen bestückt werden können, war der Hauptansatz der Prozesseinsparung eine mögliche Kanbanbelieferung. Dabei werden die Materialien nicht für die einzelnen Assemblierungsaufträge kommissioniert, sondern direkt am Zusammenbauplatz deponiert und nach Bedarf abgefasst. Dies bedeutet eine enorme Einsparung bei den Kommissionierzeilen. Nach Durchrechnung der Prozesseinsparungen musste aber festgestellt werden, dass eine derartige Umstellung die Mehrkosten aufgrund des Einbaus längerer Rollen nicht abdecken kann, es würden jährlich geringe Mehrkosten zurückbleiben, zusätzlich müsste vorab in die Umstellung der Klassen durch die Entwicklung investiert werden. Die einzige Möglichkeit in diesem Bereich Gesamteinsparungen zu erzielen, wäre, nur die beiden Hauptrollenlängen zusammenzufassen. Dabei würden aufgrund des gleichen Preises beider Bauteile nur die Einmalkosten für die Umstellung

entstehen und der Cluster würde zumindest noch 72 % der Zwischenpuffer abdecken, was eine Kanbanbelieferung immer noch gut möglich macht und die Prozesskostenreduktion nur gering schmälert. Die Möglichkeit der zweiten Klassenbildung in Richtung der Seitenteillänge wurde aufgrund der höheren Kosten und der geringeren Einsparungsmöglichkeiten wegen kleinerer Mengen wieder verworfen.

Der zweite Ansatz war die Modularisierung des Zwischenpuffers in mehrere Baugruppen, um die unterschiedlich ausgeprägte Variantenvielfalt des Grundkörpers (Rollen, Riemen und Seitenteile) sowie der Aufbauteile (Seitenanschlag, Stirnanschlag, Überschiebeblech) zu berücksichtigen. Hier ist der Ansatz, aufgrund der geringeren Vielfalt bei der Grundbaugruppe eine einfachere Standardisierung zu erreichen, und hier gegebenenfalls eine auftragsneutrale Vorproduktion durchführen zu können. Die Aufbauteile würden dann zu einem späteren Zeitpunkt vervollständigt werden. Dies könnte Auslastungsschwankungen und Produktionsspitzen abfedern und die auf Lager produzierten Einheiten könnten auch mit kürzerer Lieferzeit ausgeliefert werden. In der genaueren Analyse stellte sich jedoch heraus, dass das zweimalige Bearbeiten jedes Zwischenpuffers sehr aufwendig und ineffizient im Gegensatz zum derzeitigen Prozess ist. Außerdem müssen zusätzliche Lagerkapazitäten bereitgestellt werden, um die halbfertigen Zwischenpuffer bevorraten zu können. Das zweite Problem stellt die Abhängigkeit des Grundkörpers vom Parameter DBX dar. Dieser könnte zwar vereinheitlicht werden, jedoch würde das wieder zu einer Verlängerung des Zwischenpuffers in Seitenteillänge und zu zusätzlich benötigten Rollen und Bauraum führen, die Kosten dafür steigen deutlich an. Mit einer Vereinheitlichung des DBX-Parameters könnten zumindest 36 % aller Grundkörper von einer Variante produziert werden, mit zusätzlichem Clustering in Richtung der Rollenlänge wären es 60 %. Es gibt aber immer auch noch eine Links- und Rechtsvariante, welche den Anteil der exakt gleichen Einheiten nochmals halbiert. Ohne eine Modularisierung wäre das Vorproduzieren des gesamten Zwischenpuffers für rund 12 % aller Einheiten (jeweils 6 % als Links- und Rechtsvariante) möglich, das entspricht ca. einer Auslastung von 6 Wochen im Jahr.

Weitere Standardisierungsmaßnahmen wurden auf Ebene der Bauteile analysiert. Hierbei war der Hauptansatz die Reduzierung der Links- und Rechtsvarianten durch Ausnutzen von Symmetrie. Da die Zwischenpuffer immer paarweise verbaut werden, ist es möglich durch Vereinheitlichung und Bündelung der beiden Ausprägungen mit einem Schlag die doppelten Mengen für die einzelnen Bauteile zu erhalten. Dadurch können auf Seiten der Prozesskosten Skaleneffekte aufgrund von höheren Losgrößen entstehen. Eine Vereinheitlichung der seitenabhängigen Varianten ist nach erster Analyse bei allen Aufbauteilen (zwei Arten vom Seitenanschlag, Stirnanschlag und 2 Arten vom Überschiebeblech) denkbar. Die Seitenteile des Grundkörpers sind aufgrund ihrer Komplexität jedoch nicht für eine Standardisierung geeignet. Bei genauerer Betrachtung der in Frage kommenden Teile zeigt sich jedoch, dass alle Bauteile, die eine Schweißnaht aufweisen, bei einer notwendigen Verdoppelung dieses Prozesses sehr hohe Kosten aufweisen. Somit bleiben für die Vereinheitlichung der Seitenversionen nur mehr die Überschiebebleche und eine Version des Seitenanschlags übrig. Bei Gegenüberstellung der anfallenden Kosten für die Änderungskonstruktion und der zu erwartenden Einsparungen aufgrund von Skaleneffekten in der Produktion, der Beschaffung, dem Wareneingang und dem Lager muss jedoch festgestellt werden, dass die Überschüsse dieser Maßnahme nur sehr gering sind. Hier muss sorgfältig abgewogen werden, ob dies eine Anpassung rechtfertigt.

Als zusätzlicher Output kann im Rahmen der Analyse des Zusammenbaus die Auslagerung der Fertigung und des Zusammenbaus der Sensor- und Reflektorhalter empfohlen werden. Diese beiden Unterkomponenten bilden eigene Baugruppen, die im Rahmen des Komplettzusammenbaus des Zwischenpuffers separat gefertigt und dann dem Versandpaket beigelegt werden. Der Zusammenbau dieser Komponenten ist sehr zeitaufwendig und könnte sehr gut outgesourct werden, um die Kapazitäten im Unternehmen zu entlasten. Zusätzlich würden dann auch einige tausend Kommissioniertätigkeiten pro Jahr entfallen. Diese Maßnahme kann nach ersten Schätzungen rund vier bis fünf Prozent der Gesamtherstellkosten des Zwischenpuffers einsparen.

Als letzter Schritt wurde auch noch die Organisationsstruktur im Auftragsabwicklungsprozess der KNAPP AG untersucht. Hier ist das Unternehmen prinzipiell bereits sehr gut aufgestellt, der Großteil der Prozesse läuft IT-gestützt ab. Besonders hervorzuheben sind die vollständige Parametrisierung der Stücklisten und die Implementierung dieser im PDM- und SAP-System. Schwächen gibt es noch in der Anbindung des Projektplanungssystems WayRTS an das SAP-System. Mit einer derartigen Schnittstelle würde es einfacher werden, die Materialbedarfe aus den geplanten Projekten abzuleiten. Dies würde vor allem Vorteile bei Materialien mit langen Lieferzeiten bringen. Auch in der Abstimmung der Fertigungslosgrößen auf die optimalen Lagermengen könnte ev. noch Einsparungspotential vorhanden sein.

Um Standardisierungsansätze zielführend im Unternehmen zu implementieren und ein stärkeres Bewusstsein für die Auswirkungen von Variantenvielfalt zu schaffen, könnte das Schaffen eines interdisziplinären Gremiums angedacht werden, das derartige Maßnahmen bewertet und einer Entscheidung zuführt. Ein solches Gremium sollte aus Personen aus allen relevanten Abteilungen (Sales, Projektierung, Entwicklung, Produktmanagement, Einkauf, Fertigung, Internal Order Management, Lager, Zusammenbau, Controlling, etc.) bestehen um die unterschiedlichen Sichtweisen in geeigneter Weise berücksichtigen zu können. Zusätzlich kann so ein gemeinsames Verständnis zum Thema Variantenmanagement aufgebaut werden.

## **4.2 Ausblick**

In der vorliegenden Arbeit wurden eine Methodik und viele konkrete Ansätze aufgezeigt, wie in strukturierter und zielgerichteter Art die Variantenvielfalt eines Produktes analysiert und Maßnahmen zur Reduktion ausgearbeitet werden können. Diese Methodik wurde dann an der Komponente Zwischenpuffer angewendet. Hierbei wurden aber auch die Grenzen der zu erwartenden Prozesskosteneinsparungen aufgezeigt. Durch konsequente Analyse können zwar eine Vielzahl von Standardisierungsmaßnahmen gefunden werden, es bräuchte aber größere Hebel bezüglich der zu erwartenden Kostenreduktionen, um diese auch gewinnbringend umzusetzen. Diese sind bei der KNAPP AG, wohl auch aufgrund der bereits sehr effizienten Organisationsstruktur und der vollständigen Parametrisierung aller Varianten, derzeit beim Zwischenpuffer nicht gegeben.

Dieses Ergebnis gilt speziell für den Zwischenpuffer, und kann nur bedingt verallgemeinert werden. Bei anderen Komponenten könnte eine andere Produkt-, Prozess- oder Parameterstruktur auch abweichende Resultate liefern. Mit dem vorliegenden Konzept ist es möglich,

auch andere Produkte in ähnlicher Weise zu analysieren. Es benötigt aber immer auch kreative Ansätze und Ideen, um derartige Analysen durchzuführen und zu einem guten Ergebnis zu bringen, dieses Grundkonzept kann aber als guter Leitfaden Verwendung finden.

Da es wie im vorliegenden Fall nicht immer möglich ist, die Variantenvielfalt um ein merkliches Maß zu reduzieren, können möglicherweise andere Maßnahmen helfen, die Variantenvielfalt noch besser beherrschbar zu machen. Zukünftige Projekte könnten zum Ziel haben, weitere Maßnahmen zur Digitalisierung zu prüfen. So kann eine bessere Informationsanbindung der Lieferanten an die internen Planungssysteme besonders bei langen Lieferzeiten möglicherweise einen großen Vorteil bringen. Je besser der Informationsfluss in der Supply Chain funktioniert, desto kurzfristiger können Bestellungen eingetaktet und Wareneingänge geplant werden. Das hilft, um auf Unsicherheiten besser reagieren zu können, senkt die Durchlaufzeiten und die Bestände im Lager. Je früher in der Angebots- und Planungsphase die getroffenen Entscheidungen in verwertbare Daten übergeführt werden können, umso effizienter kann die Supply Chain darauf reagieren.

## Literaturverzeichnis

### Internetquellen:

- [COM19] COMPASS Firmendaten: Knapp AG, <https://daten.compass.at>, Abfrage vom: 12.05.2019
- [KNA19a] KNAPP AG: Knapp AG, <https://www.knapp.com/unternehmen/unternehmenskultur/>, Abfrage vom: 12.05.2019
- [KNA19b] KNAPP AG: Technologien, <https://www.knapp.com/loesungen/technologien/>, Abfrage vom: 12.05.2019
- [REP19] REPETICO: VMEA, <https://www.repetico.de/card-61197337>, Abfrage vom: 19.05.2019
- [VIP19] VIPROSIM: Variantenplanung, [http://www.viprosim.de/fileadmin/Methoden/Variantenplanung/Variantenplanung\\_HowTo\\_1.pdf](http://www.viprosim.de/fileadmin/Methoden/Variantenplanung/Variantenplanung_HowTo_1.pdf), Abfrage vom: 19.05.2019

### Bücher:

- [DIN93] DIN 199: DIN 199, Teil 2: Begriffe im Zeichnungs- und Stücklistenwesen, Berlin, Köln, Beuth 1993
- [EKL+13] EHRENSPIEL, K.; KIEWERT, A.; LINDEMANN, U.; MÖRTL, M.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren, Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung, Berlin, Heidelberg 2013
- [FHH+02] FRANKE, H.-J.; HESSELBACH, J.; HUCH, B.; FIRCHAU, N.L.: Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung, München, Wien 2002
- [HH13] HERRMANN, A.; HUBER, F.: Produktmanagement, Grundlagen – Methoden – Beispiele, Wiesbaden 2013
- [KG18] KRAUSE, D.; GEBHARDT, N.: Methodische Entwicklung modularer Produktfamilien, Hohe Produktvielfalt beherrschbar entwickeln, Berlin 2018

**Sammelbände:**

- [AJ98] ADAM, D.; JOHANNWILLE, U.: Die Komplexitätsfalle, in: Komplexitätsmanagement, Schriften zur Unternehmensführung, ADAM, D. (Hrsg.), Bd. 61, Wiesbaden 1998, S. 5-28
- [BOH98] BOHNE, F.: Entwicklungsbegleitendes Komplexitätsmanagement bei BMW – Konzept und Methoden zur Gestaltung der Kosten der Vielfalt, in: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte, VDI-Berichte 1434, Düsseldorf 1998, S. 15 - 38
- [FF01] FRANKE, H.-J.; FIRCHAU, N. L.: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen – Erfahrungen, Methoden und Instrumente zur erfolgreichen Beherrschung, in: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen, Erfahrungen, Methoden und Instrumente, VDI-Berichte 1645, Düsseldorf 2001, S. 1 - 21
- [GRO01] GROSSE ENTRUP, N.: Komplexitätsmanagement erfordert Varianten- und Kostentransparenz, in: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen, Erfahrungen, Methoden und Instrumente, VDI-Berichte 1645, Düsseldorf 2001, S. 11 - 25
- [HS02] HERRMANN, A.; SEILHEIMER, C.: Variantenmanagement, in: Handbuch Produktmanagement, Strategieentwicklung – Produktplanung – Organisation - Kontrolle, ALBERS, S.; HERRMANN, A. (Hrsg.), Wiesbaden 2002, S. 647 – 677
- [KOH98] KOHLHASE, N.: Variantenreduzierung in der Praxis – ein Erfahrungsbericht aus der Einzel- und Kleinserienfertigung, in: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte, VDI-Berichte 1434, Düsseldorf 1998, S. 53 - 68
- [OB05] OLBRICH, R.; BATTENFELD, D.: Variantenvielfalt und Komplexität – kostenorientierte vs. marktorientierte Sicht, in: der markt, 44. Jg., 3+4/2005, S. 161-173

**Universitätsschriften:**

- [MEN01] MENGE, M.: Ein Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der auftragsbezogenen Einzel- und Kleinserienfertigung komplexer Produkte, Dissertation, TU Braunschweig, 2001

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Umsatzentwicklung der KNAPP-Gruppe .....	2
Abbildung 2: Produzierte Varianten des OSR-Shuttles 35b von 2012 – 2017 .....	3
Abbildung 3: Aktueller Projektabwicklungsprozess und gewünschte Soll-Situation.....	4
Abbildung 4: Darstellung eines 1D-OSR-Shuttle-Systems .....	5
Abbildung 5: Grundvarianten des Zwischenpuffer EVO .....	6
Abbildung 6: Einbaupositionen des Zwischenpuffers .....	6
Abbildung 7: Auftragsabwickelnde Abteilungen der KNAPP AG .....	7
Abbildung 8: Schematischer Aufbau der Diplomarbeit .....	8
Abbildung 9: Interne Gründe für Variantenvielfalt .....	11
Abbildung 10: Umgekehrter Erfahrungskurveneffekt durch Variantenzunahme .....	15
Abbildung 11: Auswirkungen hoher Variantenvielfalt .....	16
Abbildung 12: Problematik der Komplexitätskosten aufgrund von Variantenvielfalt .....	17
Abbildung 13: Investitionen zur Verringerung der Komplexitätskosten.....	18
Abbildung 14: Kostenremanenz beim Abbau von Vielfalt.....	18
Abbildung 15: Kostenverursachung, Kostenanfall und Kostenbeeinflussung .....	19
Abbildung 16: Quersubventionierung von Exoten durch Standardprodukten .....	20
Abbildung 17: Teufelskreis hoher Variantenvielfalt .....	21
Abbildung 18: Strategien des Variantenmanagements .....	22
Abbildung 19: Polare Variantenstrategiemerkmale .....	23
Abbildung 20: Strategisches und operatives Variantenmanagement .....	24
Abbildung 21: Ablauf der Variant Mode and Effects Analysis (VMEA) .....	27
Abbildung 22: EVAPRO-Konzept .....	28
Abbildung 23: Produzierte Zwischenpuffervarianten (OSR35) von 2012 bis 2018 .....	32
Abbildung 24: Konstruktionszeichnung des Zwischenpuffers Typ 1 .....	45
Abbildung 25: Anschlag stirnseitig .....	46
Abbildung 26: Seitenanschlag des Zwischenpuffertyps 3 und 5 .....	47
Abbildung 27: Seitenanschlag Typ 1 .....	47
Abbildung 28: Überschiebeblech .....	48
Abbildung 29: Seitenteil vorne .....	49
Abbildung 30: Herstellkostenabhängigkeit nach Losgröße .....	50

---

Abbildung 31: Anzahl Fertigungsaufträge je Durchschnittslosgröße .....	50
Abbildung 32: Sensorhalter .....	61
Abbildung 33: Reflektorhalter .....	62

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ursachen für Variantenentstehung.....	12
Tabelle 2: Maßnahmen in Längs- und Querrichtung zum Prozessablauf.....	25
Tabelle 3: Maßnahmen zur Variantenreduktion.....	29
Tabelle 4: Maßnahmengruppen zur Beherrschung variantenreicher Produkte.....	30
Tabelle 5: Statistische Mengerverteilung Zwischenpuffer OSR35 und EVO.....	33
Tabelle 6: Parameterausprägungen EVO und OSR35.....	34
Tabelle 7: Abhängigkeitsmatrix Parameter - Bauteile des Zwischenpuffers EVO.....	35
Tabelle 8: Verteilung der Zwischenpuffergrundvarianten.....	36
Tabelle 9: Verteilung der Teilung beim Zwischenpuffer EVO.....	37
Tabelle 10: Verteilung des Parameters AUSB.....	37
Tabelle 11: Clustering der Parameter STL und N.....	41
Tabelle 12: Kostenabschätzung nach Clustering.....	42
Tabelle 13: Clustering unter Berücksichtigung der Hotspots.....	42
Tabelle 14: Kostenabschätzung nach Clustering unter Berücksichtigung der Hotspots.....	43
Tabelle 15: Kostenerhöhung durch Maximierung von STB und FXTIS.....	54
Tabelle 16: Kostenwirkung des Clustering nach Haupthotspots.....	57
Tabelle 17: Lageroptimierungspotential bei den Überschiebeblechen.....	59

## Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
etc.	et cetera
KAG	KNAPP AG
OSR	Order, Storage and Retrieval
PKW	Personenkraftwagen
VMEA	Variant Mode and Effects Analysis
z.B.	zum Beispiel