

Lukas Seufer-Wasserthal, BSc.

Optimierung von Verpackungskonzepten für die automatisierte Bauteilzuführung an eine Montagelinie

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur
Wirtschaftsingenieurwesen - Maschinenbau

eingereicht an der
Technischen Universität Graz



Institut für Innovation und Industriemanagement
Begutachter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Ramsauer

Graz, März 2019

Kurzfassung

Der Wettbewerb innerhalb der Zulieferbranche der Möbelindustrie gilt international als sehr umkämpfter Markt. Die Globalisierung, der wachsende Markt und die Forderung nach immer höherer Qualität und innovativerer Ideen fordern neben der Entwicklung neuer Technologien ebenso die Optimierung bereits etablierter Produkte. Der Einsatz von Industrie 4.0 schafft die Möglichkeit, auch in Hochlohnländern wettbewerbsfähig zu produzieren. Aufgrunddessen prüft ein österreichisches Unternehmen der genannten Branche, ob ein Wechsel einer ihrer semi-automatischen Montagelinien zu einer hochautomatisierten Anlage realisierbar ist. Ein wesentlicher Einflussfaktor hierbei ist die effiziente Materialbereitstellung der verbauten Komponenten. In diesem Prozess spielt insbesondere die Verpackungsgestaltung der Werkstücke eine entscheidende Rolle. Grund dafür ist der Einfluss der manuellen Handhabungszeit. Hier ist durch die Optimierung der Verpackung ein enormes Einsparungspotential möglich. Diese Arbeit soll mithilfe der Wertanalyse nach DIN EN 12973 die bestehenden Komponentenverpackungen, welche bei der Produktion eines der Hauptprodukte des Unternehmens verwendet werden, untersuchen und analysieren. Weiters soll ein Ergebniskatalog erstellt werden, in welchem optimierte Verpackungskonzepte für die automatisierte Bauteilzuführung an eine Montagelinie ausgearbeitet sind.

Im ersten Abschnitt der vorliegenden Arbeit wird das Thema der Verpackung und automatischen Zuführ- bzw. Ordnungseinrichtungen behandelt. Die Basis zur Durchführung dieses Projektes ist die Methodik der Wertanalyse mit deren 10-stufigem Arbeitsplan. Es werden deren Kernpunkte und Systemelemente aufbereitet, welche für die Durchführung eines Wertanalyseprojektes erforderlich sind. Zusätzlich werden die wirtschaftlichen Bewertungsmethoden, welche während der Durchführung dieses Projektes angewandt werden, aufgeführt und beschrieben.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden im nächsten Schritt angewandt. Als Fallbeispiel dient das System der Komponentenverpackung. Betrachtet werden 29 aktuell verwendete Verpackungssysteme, welche zu analysieren, bewerten und optimieren sind. Auf Basis einer IST-Datenerhebung wird unter Verwendung der Funktionenanalyse ein Katalog aus 51 Verpackungsfunktionen erarbeitet. Daraus und der Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams werden 56 Lösungsideen für 13 repräsentative Bauteile konzipiert. Diese werden detailliert und für das Szenario der Automatisierung auf Rentabilität, Kosteneinsparungen, Umweltschutz und Automatisierbarkeit geprüft und bewertet. Das Ergebnis dieses Wertanalyseprojektes ist ein Ergebniskatalog, welcher optimierte und automatisierungsgerechte Verpackungskonzepte für 13 Komponenten enthält. Jedes dieser 56 Konzepte umfasst eine Skizze des Systems, eine detaillierte Beschreibung und den Kostenvergleich zwischen der Verwendung der jeweiligen IST-Verpackung und der Anwendung des erarbeiteten Verpackungskonzeptes für die nächsten fünf Jahre.

Abstract

The furniture supply industry is internationally regarded as a highly competitive market. Globalization and the demand for high quality and innovative ideas call for the development of new technologies as well as the optimization of already established products. Using Industry 4.0 a company could increase its competitiveness even in high-wage countries. To ensure production an Austrian organization is considering whether a change from one of its semi-automatic assembly lines to a highly automated system is feasible. One key influencing factor is the efficient provision of the components which get installed. In particular, the packaging design of the workpieces counts as a decisive role in this process. The reason for this is the influence of the manual handling time. An optimization of the packaging design would cause enormous savings. With the help of the value analysis according to DIN EN 12973, this master thesis got initiated to analyze the existing packaging of components used in the production of one of the company's main products and to deliver optimized packaging concepts for automated component feeding to an assembly line.

In the first section of this thesis, the topic of packaging and automatic feeding devices will be dealt with. The focus is on the methodology of value analysis and its 10-step work plan, as the entire project process is structured accordingly. In addition, the economic valuation methods used during the implementation of this project are listed and described.

The next step is dedicated to applying the methodologies listed in the previous phase. The processed value analysis object gets defined as the component packaging system. 29 currently used packaging systems are being analyzed, evaluated and optimized. Based on an actual data collection, a catalog of 51 packaging functions is developed using the function analysis. 56 solutions for 13 representative components will be developed with the help of the function concept and cooperation in interdisciplinary teams. These are examined in detail and evaluated under the scenario of automation on profitability, cost savings and environmental protection.

The result of this value analysis project is a catalog containing optimized and automation-compatible packaging concepts for 13 components. Each of these 56 concepts includes a sketch of the system, a description with advantages and disadvantages and the cost comparison between the use of the respective actual used packaging and the application of the developed packaging concept over the next five years.

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 TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

.....

Datum

.....

Unterschrift

Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....

date

.....

signature

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank dem Institut für Innovation und Industriemanagement unter der Leitung von Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Ramsauer. Insbesondere die Betreuung durch Dipl.-Ing. Andreas Kohlweiss möchte ich hier hervorheben und ihm meinen Dank aussprechen. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bei ihm und dem gesamten Institutsteam bedanken.

Ich bedanke mich beim Partnerunternehmen, für welches diese Arbeit erstellt wurde, für die gute Zusammenarbeit, die Herzlichkeit mit der ich bei ihnen aufgenommen wurde und die überaus hilfreichen Information, welche ich von jeder Seite bekam. Ein besonderer Dank gilt hier allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, ohne die diese Arbeit nicht hätte entstehen können. Mein Dank gilt ihrer Informationsbereitschaft und ihren interessanten Beiträgen und Antworten auf meine Fragen.

Ein großer Dank gilt vor allem meinen Studienkollegen Paul, Julian, Lukas und Raffaella, die mir mit viel Geduld, Interesse und Hilfsbereitschaft zur Seite standen. Bedanken möchte ich mich auch bei allen Freunden, Kollegen und Bekannten, welche ich während meiner gesamten Studienzzeit in Graz kennenlernen durfte.

Besonders möchte ich mich bei meiner Freundin Lisa bedanken, die mich in jedem Schritt meines Lebens motiviert und bestärkt. Für diesen ununterbrochenen Rückhalt und ihrer Liebe zu mir möchte ich Danke sagen.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern Peter und Ilse bedanken, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung ermöglicht haben und stets ein offenes Ohr für mich hatten.

Abkürzungsverzeichnis

AUT	Österreich
AZ	Autonomiezeit
BEA	Break-Even-Analyse
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
EWR	Europäischer Wirtschaftsraum
EZÜ	Einzahlungsüberschüsse
F&E	Forschung und Entwicklung
FEG	Funktionserfüllungsgrad
KNA	Kosten-Nutzen-Analyse
KRT	Karton
LE	Ladeeinheit
MTM	Methods-Time-Measurement
OEM	Original Equipment Manufacturer
OG	Ordnungsgrad
OZ	Ordnungszustand
Pal.	Palette
PG	Positionierungsgrad
VPE	Verpackungseinheit
WA	Wertanalyse
ϕ	Faktor für Abfallentsorgung bei Einwegverpackungen [%]
ψ	Faktor für Entsorgung, Reparatur und Verlust von Mehrwegverpackungen [%]
σ	Faktor für Zusammenfassung von Leergut zu einer Ladeeinheit [%]

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Eidesstattliche Erklärung	v
Danksagung	vii
Abkürzungen	ix
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	2
1.2 Zieldefinition	3
1.3 Aufgabenstellung	3
1.3.1 Betrachtetes Produkt und Probleme in der Montage	4
1.3.1.1 IST-Situation der Montage	5
1.3.1.2 Problematik	7
1.4 Definitionen und Begriffe	7
1.4.1 Pack-, Lager- und Transportgut	7
1.4.2 Ordnung	9
1.4.3 Weitere Begriffe	9
2 Theoretischer Teil	11
2.1 Verpackung	11
2.1.1 Aufbau der Verpackung	12
2.1.2 Verpackungsfunktionen	14
2.1.3 Lebenszyklus der Verpackung	16
2.1.3.1 Konzeptions- und Herstellungsphase	17
2.1.3.2 Nutzungsphase	18

2.1.3.3	Aufbereitungs-, Verwertungs- und Entsorgungsphase	19
2.1.4	Verpackungskosten	23
2.2	Anforderungen der Zuführung einer automatischen Montage	25
2.2.1	Grundsätze der Zuführung	25
2.2.2	Ordnungseinrichtungen	26
2.2.2.1	Bunker und Stapelmagazine	27
2.2.2.2	Magazine	29
2.3	Schnittstellen der Verpackung und Automatisierung	30
2.3.1	Anforderungen und Auswirkungen aus der Zuführtechnik an die Verpackung	30
2.4	Wertanalyse	32
2.4.1	Einführung	32
2.4.1.1	Funktionenkonzept	33
2.4.1.2	Wertekonzept	33
2.4.2	Systemvoraussetzungen	35
2.4.2.1	Methodik	35
2.4.2.2	Verhaltensweisen	36
2.4.2.3	Management	36
2.4.2.4	Gegenseitige Beeinflussung der Systemelemente	37
2.4.3	Wertanalyse Arbeitsplan	37
2.4.3.1	Schritt 0: Vorbereitung des Projektes	38
2.4.3.2	Schritt 1: Projektdefinition	40
2.4.3.3	Schritt 2: Planung	40
2.4.3.4	Schritt 3: Umfassende Daten über die Studie sammeln	41
2.4.3.5	Schritt 4: Funktionen-, Kostenanalyse, Detailziele	41
2.4.3.6	Schritt 5: Sammeln und Finden von Lösungsideen	42
2.4.3.7	Schritt 6: Bewertung der Lösungsideen	42
2.4.3.8	Schritt 7: Entwicklung von Lösungsvorschlägen	43

2.4.3.9	Schritt 8: Präsentation der Vorschläge	44
2.4.3.10	Schritt 9: Realisierung	44
2.5	Angewandte Tools & Bewertungsmethoden	44
2.5.1	Funktionenanalyse	44
2.5.1.1	Funktionenklassen	45
2.5.1.2	Funktionenbaum	46
2.5.1.3	Funktionserfüllungsgrad	46
2.5.2	Kosten-Nutzen-Analyse	47
2.5.3	ABC-Analyse	48
2.5.4	Zeitanalyse	49
2.5.5	Break-Even-Analyse	50
2.5.6	Dynamische Amortisationsrechnung	51
2.5.7	Morphologie	52
3	Anwendung der Wertanalyse zur Verpackungsoptimierung	55
3.1	Vorbereiten des Projektes	55
3.2	Projektdefinition	56
3.2.1	Festlegung des WA-Objektes	56
3.2.2	Rahmenbedingungen	58
3.3	Projektplanung	59
3.4	Erhebung des IST-Zustands und Datensammlung	60
3.5	Detail- und Funktionenanalyse	64
3.5.1	Priorisierung der Stückliste	64
3.5.2	Zeitanalyse der IST-Verpackung	67
3.5.3	Funktionenanalyse	69
3.6	Lösungsfindung	79
3.6.1	Ideengenerierung durch Kreativworkshops	80

3.6.2	Gängige Verpackungsvarianten in der Industrie	84
3.6.3	Ergebnisse	86
3.7	Bewerten der Lösungsideen	88
3.7.1	Detaillierung der Lösungskonzepte	88
3.7.2	Monetäre Bewertung der Konzepte	89
3.8	Entwicklung ganzheitlicher Vorschläge	95
3.9	Präsentation der Vorschläge	97
3.9.1	Ergebnis	97
3.9.2	Empfehlungen	99
4	Zusammenfassung und Ausblick	101
	Referenzen	I
	Abbildungsverzeichnis	V
	Tabellenverzeichnis	IX
	APPENDIX	
A	IST-Verpackungsdaten	XIII
B	Break-Even-Diagramme	XXVII
C	Ergebniskatalog	XLI

Kapitel 1

Einleitung

Millionen von Arbeitnehmern verbringen einen Großteil ihrer Karriere sitzend an einem Schreibtisch. Daraus ergeben sich durchschnittlich stolze 55.000 Stunden allein während des Berufslebens¹. Ein eher besorgniserregender Umstand, denn die gesundheitlichen Folgen dieses Sitzmarathons können von harmlosen Verspannungen im Schulter- und Nackenbereich, über Probleme in der Wirbelsäule bis hin zur Berufsunfähigkeit führen. Die Physiologie des Menschen ist von Natur aus dazu ausgerichtet, sich aufzurichten und in ständiger Bewegung zu sein. Dieser Bewegungsmangel am Arbeitsplatz und die Zwangshaltung durch ständiges starres Sitzen am Schreibtisch sind nachweislich ungesund².

In den Industrienationen lässt sich jedoch ein Trend entgegen diesen starren und unflexiblen Systemen entdecken. Die Verwendung ergonomisch und individuell anpassbarer Arbeitsmittel an Büroarbeitsplätzen, wie haltungsfördernde Stühle oder höhenverstellbare Schreibtische, ist der richtige Schritt hin zu einer gesünderen Lebensweise des Arbeitnehmers. Zusätzlich fördert diese flexible Arbeitsweise nicht nur die Konzentrationsfähigkeit, sondern auch die Kreativität. Diese Effekte wirken sich dementsprechend positiv auf die Effizienz der Mitarbeiterleistung aus.

Parallel zur rasch wachsenden Nachfrage an anpassbaren und ergonomischen Büroarbeitsmitteln, steigt natürlich auch die Anzahl der Anbieter am Markt. Bestehende Unternehmen müssen hier ihre Wettbewerbsfähigkeit langfristig sicherstellen, um dem wachsenden Konkurrenzkampf standhalten zu können. Der anhaltende Preisdruck, die Forderung nach höherer Qualität und innovativer Technologien beeinflussen die Wertschöpfungskette solcher Unternehmen ungemein.

¹vgl. Ferriss 2011, S. 8ff.

²vgl. Gottschalk 2013, S. 26ff.

Diese Sparte, welche als Zulieferbranche der Möbelindustrie gilt, ist sehr stark kostengetrieben. Somit ist es, wichtig parallel zur Entwicklung neuer Technologien und Innovationen, die bereits bestehenden und etablierten Produkte am Markt zu optimieren und deren Produktionskette den steigenden Stückzahlen anzupassen.

Ein Unternehmen, welches bereits seit Jahren seine Position auf diesem stark umkämpften Markt hält, befindet sich mit Hauptsitz im Süden Österreichs. Dieser OEM (Original Equipment Manufacturer) ist ein Vorreiter in Sachen Verstellung und Bedienung von Schreibtischen und Bürostühlen. Der Fokus liegt hier auf dem gesamten mechatronischen System, welches aus den Antrieben, Steuerungen und Handschaltern besteht. Die Einzelkomponenten für die Produktion der Endprodukte werden größtenteils aus dem Europäischen Wirtschaftsraum und Asien bezogen.

Dieses Unternehmen steht jetzt vor der Herausforderung, dass die prognostizierten Absatzmengen stetig steigen, die Produktqualität mit zunehmender Auslastung der bestehenden semi-automatischen Montagelinie jedoch sinkt. Um diese Spitzen in der Produktion zu bewältigen und um konstant hervorragende Qualität auch zukünftig anbieten zu können wird eine Machbarkeitsstudie über eine Automatisierung der Montagelinie eines ihrer marktstärksten Produkte durchgeführt.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf den Prozess der Zuführung von Einzelteilen und Komponenten an eine automatische Montagelinie mit Fokus auf effiziente und optimale Komponentenverpackungen zur Reduzierung manueller Arbeitsschritte.

1.1 Ausgangssituation

Die Automatisierung einer gesamten Montagelinie birgt viele Herausforderungen in sich. Eine effiziente Zuführung der Komponenten ist nur ein kleiner Teil davon, nichtsdestotrotz darf die diese nicht unterschätzt werden. Grundsätzlich ist jedoch zu bedenken, dass sämtliche Tätigkeiten in der Materialbereitstellung keine direkte Wertschöpfung bewirken, sie sind überwiegend notwendige Aufwendungen an Zeit, Energie und Informationen. Hier ist die Messgröße die Zeitdauer des Vorganges³. Aufgrunddessen erzeugt eine simple Verwendung bestehender Standardkonzepte für Verpackung und Kommissionierung sehr schnell hohe Kosten in Form von Arbeits-

³vgl. B. Lotter und Wiendahl 2006, S. 324.

zeiten eines Werkmitarbeiters. Durch die hohe Anzahl an Arbeitsschritten, welche für das Entpacken und Bereitstellen der Komponenten notwendig sind, wird ein immenser Aufwand betrieben, welcher sich in den laufenden Kosten einer automatischen Anlage im Betrieb widerspiegelt. Um hier eine nachhaltige Kostenreduktion zu erreichen muss der Prozess der Zuführungsoptimierung bereits früh in die Planungsphase einer Produktionsautomatisierung miteingebunden werden⁴.

1.2 Zieldefinition

Ziel dieses Projektes ist, die bestehenden Verpackungssysteme bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit, Umweltfreundlichkeit und Automatisierbarkeit zu analysieren und Potenziale aufzudecken. Auf Basis der IST-Analyse sollen alternative Verpackungskonzepte erarbeitet und bewertet werden, welche für die Materialbereitstellung an eine hochautomatisierte Produktionslinie ausgelegt sind. Die Projektergebnisse sollen in Form eines Ergebniskataloges strukturiert werden. Dieser soll zukünftig als Basis für die Konzeptionierung automatisierungsgerechter Verpackungssysteme im Unternehmen dienen.

Der Ablauf und die Durchführung des Projektes lehnt sich an die Methodik der Wertanalyse an, welche ab Kapitel 2.4 auf Seite 32 beschrieben werden.

1.3 Aufgabenstellung

Durch Einbeziehen aller betroffenen Arbeitsgruppen und Abteilungen des Unternehmens soll eine Basis für die Neuentwicklung von effizienten und für die Automatisierung abgestimmten Verpackungskonzepten erarbeitet werden. Dazu zählt auch das Erlangen von Grundwissen und Know-How, welches notwendig ist um bestehende Standardsysteme so anzupassen bzw. abzuwandeln, damit ein Wechsel zwischen manueller und automatischer Produktion ohne unvorhergesehener Kosten und Aufwendungen zu bewältigen ist. Zusätzlich soll aufgezeigt werden, ob es bereits etablierte Konzepte am Markt gibt, welche angewandt werden könnten. Da jedoch in vielen Fällen sehr spezifische Anforderungen an automatisierungsgerechte Verpackungskonzepte gestellt werden (siehe dazu Abschnitt 2.3.1 auf Seite 30),

⁴vgl. Schraft, Kaun und Verl 1998, S. 70.

sollen bei der Erstellung des finalen Ergebniskatalogs auch kreative und innovative Entwürfe detailliert und bewertet werden. In Abbildung 1.1 ist ersichtlich, wie die Unterteilung der bewerteten Verpackungskonzepte grafisch dargestellt werden kann. Als Referenz bzw. Bewertungsgrundlage zu den so erarbeiteten Konzepten dienen jene Verpackungsmethoden, welche während der Durchführung dieses Projekts bei der Produktion und insbesondere der Zuführung der Komponenten angewandt werden. Eine umfassende Datensammlung und Analyse der IST-Situation ist dafür die Basis, auf welcher die Entwicklung aufbauen kann.

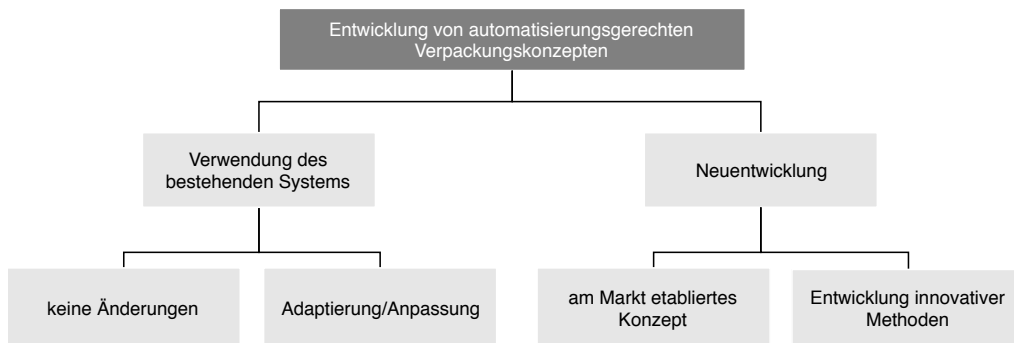


Abbildung 1.1: Entwicklung automatisierungsgerechter Verpackungssysteme⁵

Neben der finanziellen Auswirkung, welche ein Weiterverwenden bestehender Verpackungssysteme mit sich bringt, wird der ökologische Einfluss, der vor allem durch die verarbeiteten Packmaterialien herbeigeführt wird, analysiert. Diese Untersuchung zeigt auf, welche Menge und Art an Verpackungsabfall, die bei der Zuführung der Einzelteile zur Montage des in dieser Arbeit betrachteten Produkts anfällt. Im Fall, dass die bestehenden Packkonzepte der Komponenten bei der Zuführung an die Montage weiterverwendet würden, kann mithilfe dieser Daten in Kombination mit den zukünftig prognostizierten Absatzzahlen ein Szenario erstellt werden, welche Menge an Verpackungsmüll innerhalb der nächsten fünf Jahre anfallen würde.

1.3.1 Betrachtetes Produkt und Probleme in der Montage

Das in dieser Arbeit betrachtete Produkt, wie in Abbildung 1.2 abgebildet, ist ein Linearantrieb angetrieben von einem Gleichstrommotor, welcher über ein Planetengetriebe eine Längenänderung in einem zweistufig teleskopierbarem Spindelsystem erzeugt.

⁵eigene Darstellung



Abbildung 1.2: Ansicht des Linearaktuators⁶

Dieser Antrieb ist für die Verwendung in stufenlos höhenverstellbaren Arbeitstischen vorgesehen. Pro Tisch werden zwei bzw. drei Antriebe verbaut. Der Nutzer kann seine favorisierte Arbeitshöhe mittels Handschalter individuell einstellen. Eine Steuerung wandelt die Signale vom Schalter um und aktiviert dementsprechend die eingebauten Linearantriebe.

1.3.1.1 IST-Situation der Montage

Die Montage der Antriebe geschieht zurzeit in Kooperation mit einem Fertigungsunternehmen in einem europäischen Niedriglohnland. Ein Großteil der Arbeitsschritte geschieht zu 100% manuell, was bedeutet, dass jede Komponente, die verbaut wird, von einem Mitarbeiter der Anlage mindestens einmal manipuliert werden muss. Gearbeitet wird im Mehrschichtbetrieb an zwei parallelen Linien, welche je nach Auftragslage ausgelastet werden. Pro Schicht geschieht zu Beginn eine erste Vorcommissionierung der Komponenten an den jeweiligen Arbeitsplätzen, danach ist ein einzelner Arbeiter für die Materialver- und Abfallentsorgung der Stationen zuständig. Dieser interne Materialfluss ist in Abbildung 1.3 dargestellt.

⁶unternehmensinterne Dokumente

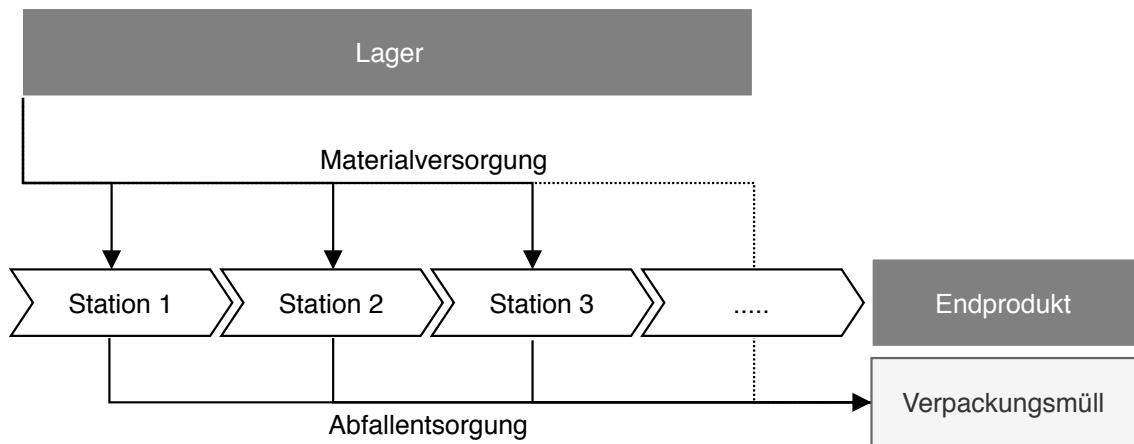


Abbildung 1.3: Materialfluss in der Montage⁷

Die Entsorgung der anfallenden Komponentenverpackungen geschieht über die landesspezifischen Wege wie Altstoffsammel- und Recyclingzentren. Im betrachteten Niedriglohnland liegen die Recyclingraten, wie in Abbildung 1.4 ersichtlich, unterhalb des EU-Durchschnitts.

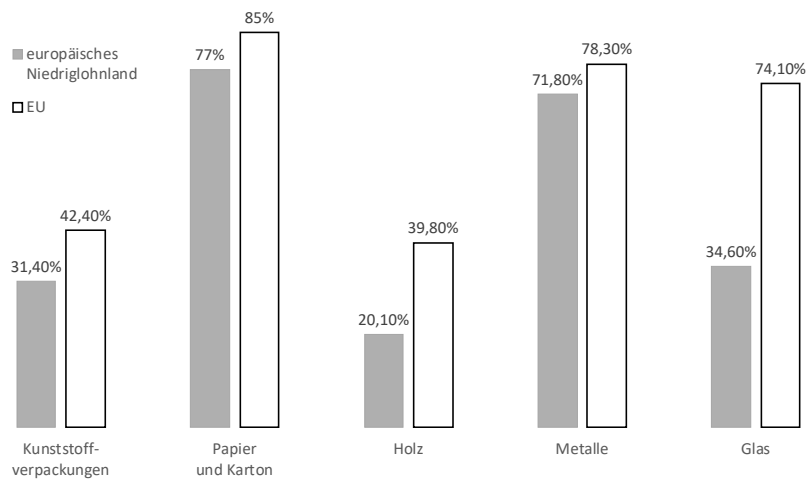


Abbildung 1.4: Recyclingraten im betrachteten europäischen Niedriglohnland⁸

⁷eigene Darstellung

⁸eigene Darstellung nach Eurostat 2016 (ec.europa.eu), besucht am 13.08.2018

1.3.1.2 Problematik

Die bestehende Situation und die Arbeitsweise in der manuellen Montage weisen eine auffallend schwankende Qualität bei Maximalauslastung der Linien vor. Darüberhinaus können die geforderten Stückzahlen, welche sich aus den Zahlen der prognostizierten Absatzmengen ableiten, nur durch das Aufbauen einer dritten parallel laufenden Produktionslinie erreicht werden. Um diese Spitzen in der Produktion zu bewältigen und um konstant hervorragende Qualität auch zukünftig anbieten zu können, wird mittels einer Machbarkeitsstudie ein Wechsel zu einer hochautomatisierten Montagelinie untersucht.

1.4 Definitionen und Begriffe

In diesem Abschnitt werden Begriffe, welche in dieser Arbeit vorkommen und verwendet werden definiert und näher erläutert. Grund dafür ist eine meist konträre Ansicht in der Literatur. Zusätzlich sind die, in den Definitionen erläuterten Bezeichnungen essentiell für die Automatisierungstechnik.

1.4.1 Pack-, Lager- und Transportgut

Für die richtige Auswahl und Gestaltung einer Verpackungseinheit ist die Klassifizierung des verpackten Guts von entscheidender Bedeutung. Dies gilt gleichermaßen für die Planung des Transports und der Lagerung. Als Transport- und Lagergut des betrieblichen Materialflusses zählen feste, flüssige und gasförmige Stoffe⁹. Die für diese Arbeit relevanten Güterklassen werden im Folgenden näher beschrieben:

- *Stückgut*: Als Stückgut gelten Güter, welche ihre Gestalt während des Transportvorganges nicht ändern und als eine Einheit gehandhabt werden können¹⁰. Es kann sowohl verpackt wie auch unverpackt transportiert bzw. gelagert werden, verschiedenste Abmessungen besitzen und aus einem oder mehreren Materialien zusammengesetzt sein. Stückgut kann wie in Abbildung 1.5 nach diversen Punkten eingeteilt werden. Wenn große Mengen von Stückgut gehandhabt werden, werden diese auch als Massenstückgut bezeichnet. Beispiele hierzu

⁹vgl. Martin 2014, S. 59.

¹⁰vgl. Wilhelm Dangelmaier 1999, S. 41.

sind Schrauben oder Stifte. Im Allgemeinen wird in der Industrie und Praxis meist die Bezeichnung *Schüttgut* für Massenstückgut verwendet.

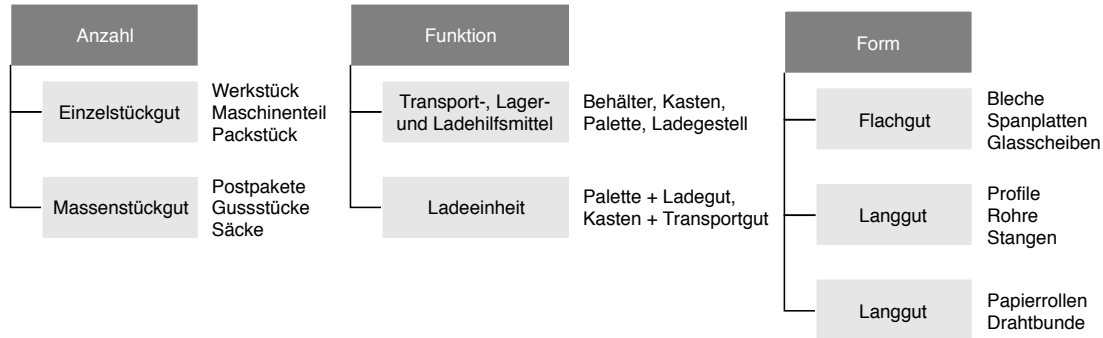


Abbildung 1.5: Einteilung von Stückgut¹¹

- *Schüttgut*: Die Bezeichnung Schüttgut umfasst alle schüttfähigen Materialien, welche lose lager- und transportierbar sind¹². Dazu gehören beispielsweise Sand oder Zement. Die Klassifizierung von Schüttgut geschieht unter Einbeziehung mehrerer Gesichtspunkte. Zu den allgemeinen Eigenschaften zählen folgende Merkmale:

- geometrische Eigenschaften (Masse, Außenform, Bodenfläche)
- physikalische und chemische Eigenschaften (Stoffgrößen, mechanische Größen, Empfindlichkeit)
- spezifische Eigenschaften (Transportierbarkeit, Lagerbarkeit, sonstige Zusatzmerkmale)

Speziell für die Festlegung der Transportmittel und der Lagerungsart müssen die charakteristischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften des Schüttgutes möglichst genau bekannt sein¹³. Allgemein gilt, dass in der industriellen Montage über 75% der verbauten Komponenten als Schüttgut bereitgestellt werden¹⁴.

¹¹eigene Darstellung nach Martin 2014, S. 59

¹²vgl. Günthner 2002, S. 215-222.

¹³vgl. Martin 2014, S. 61.

¹⁴vgl. Rockland 1995, S. 47.

1.4.2 Ordnung

In der Automatisierungstechnik ist die Bezeichnung *Ordnung* mit mehreren verschiedenen Begriffen gekoppelt. Folgende Liste zeigt die, für diese Arbeit wichtigsten Fachausdrücke, welche verwendet werden¹⁵:

- *Ordnen*: Das Ordnen ist das Bewegen von Körpern aus einer undefinierten in eine vorgegebene, definierte Position und/oder Orientierung. Hierzu ist es notwendig, Werkstücke und deren Orientierung zunächst zu erkennen, um sie dann in die gewünschte Orientierung zu überführen. Die Funktion Ordnen lässt sich durch die Angabe des IST- und SOLL-Zustandes quantifizieren.
- *Ordnungsprinzipien*: Die bei Ordnungseinrichtungen eingesetzten Ordnungsprinzipien werden generell unterschieden in das Ordnen nach dem Zwangsprinzip (z. B. Drehen, Wenden, Schwenken der Werkstücke durch Führungsschienen) und dem Ordnen nach dem Auswahlprinzip (z. B. sensorische Erkennung der Werkstückorientierung).
- *Ordnungszustand*: Der Ordnungszustand gibt die Freiheitsgrade von Körpern in ihrer räumlichen Anordnung an. Ein Körper besitzt maximal sechs Freiheitsgrade (drei rotatorische und drei translatorische), wobei die Lage und Orientierung eines Körpers dann eindeutig bekannt ist, wenn alle Freiheitsgrade bestimmt sind.
- *Ordnungssystem*: In einem Ordnungssystem werden mehrere Handhabungsfunktionen zum Ordnen von Werkstücken durchgeführt. Die Teilfunktion *Ordnen* ist dabei gekoppelt mit den Teilfunktionen *Speichern*, *Menge verändern*, *Bewegen*, *Sichern* und *Kontrollieren*.

1.4.3 Weitere Begriffe

- *Materialfluss*: Der Materialfluss ist definiert als die Verkettung aller Vorgänge beim Erstellen, Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von Gütern innerhalb festgelegter Bereiche. Der Materialfluss wird prinzipiell in vier Stufen

¹⁵vgl. VDI3590 1994.

untergliedert. Das Kriterium zur Einteilung der Stufen ist der Bereich, in dem der Materialfluss betrachtet wird¹⁶.

- *Kommissionierung*: Das Kommissionieren ist definiert als das Zusammenstellen von bestimmten Teilmengen aus einer bereitgestellten Gesamtmenge aufgrund von Bedarfsinformationen (Aufträgen). Innerhalb des betrieblichen Materialflusses stellt das Kommissionieren in der Regel den Übergang von einer sortenreinen Lagerung zu einem sortenunreinen Verbrauch (z. B. Produktion, Montage) dar¹⁷.
- *Materialbereitstellung*: Die Materialbereitstellung beinhaltet alle notwendigen Funktionen, um das vorgesehene Material zum vorgesehenen Zeitpunkt am vorgesehenen Ort anzuliefern. Im Produktionsprozess müssen im wesentlichen Werkstücke, Werkzeuge, Vorrichtungen und Hilfsstoffe an den Arbeitsplätzen bereitgestellt werden¹⁸.
- *Handhabung*: Handhaben ist neben dem Fördern und Lagern eine Teilfunktion des Materialflusses. Es beinhaltet das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer räumlichen Ordnung von geometrisch bestimmten Körpern. Es können weitere Bedingungen, wie z. B. Zeit und Menge, vorgegeben sein¹⁹.
- *Klassifizierung*: Die Klassifizierung beschreibt allgemein die Einteilung von Werkstücken nach vorgegebenen Klassen in einem Klassifizierungs- oder Sachmerkmalsystem. Für die Materialbereitstellung ist es sinnvoll, Werkstücke mit ähnlichen oder gleichen Werkstückeigenschaften in charakteristische Verhaltensgruppen einzuteilen²⁰.

¹⁶vgl. Dickmann 2009, S. 56.

¹⁷vgl. VDI3590 1994.

¹⁸vgl. VDI3639 1995.

¹⁹vgl. VDI3590 1994.

²⁰vgl. Martin 2014, S. 61.

Kapitel 2

Theoretischer Teil

Der Inhalt dieses Kapitels gibt einen Einblick in das Thema der industriellen Verpackung, mit Fokus auf deren Lebenszyklus, den jeweiligen Phasen, dem ökologischen Einfluss in der Fertigung, Verwendung bzw. Entsorgung und einem Vergleich einmal verwendbarer Verpackungen mit Mehrwegsystemen. Zusätzlich ist die Kostenstruktur und deren jeweilige Einflussgrößen aufgeführt. Des Weiteren sind in der Praxis gängige Zuführeinrichtungen und deren Anforderungen beschrieben. Wie die Schnittstelle zwischen der Auswahl einer Zuführtechnologie und der Gestaltung einer Verpackungseinheit aussieht und welche Auswirkungen dies auf die Konzeptionierung neuer Systeme aufweist, ist im anschließenden Abschnitt zusammengefasst. Abschließend ist die Methodik der Wertanalyse aufgeführt. Sie dient als Basis für die gesamte Struktur dieses Projektes. Beschrieben sind deren Aufbau, Kernpunkte und Systemelemente und der 10-stufige Wertanalyse-Arbeitsplan mit dessen jeweiligen Phasen. Zusätzlich sind die verwendeten Bewertungs- und Auswahlmethoden, die in der praktischen Durchführung dieses Projektes Verwendung finden, aufgeführt und beschrieben.

2.1 Verpackung

Durchschnittlich 90% der industriell hergestellten Warenarten wird verpackt. Die Aufgaben der Verpackung sind über die gesamte Kette des Warendurchlaufs zu finden.¹ Diese beginnt bei der Herstellung selbst, führt zum Abpackbereich des Herstellers, dem Handel bis zum Verbraucher und schlussendlich zur Entsorgung. Dabei sind die vier Hauptaufgaben der Verpackung die Überbrückung von Zeit bei der Lagerung, dem Schutz des verpackten Produktes, der Gebrauchserleichterung bei der

¹vgl. Schreiber 1999, S. 14.

Handhabung und der Gewährleistung von Information durch Kennzeichnung. Eine gut ausgelegte und konstruierte Verpackung verhindert auftretende Schäden oder einen Verlust der Ware. Zusätzlich ist sie Voraussetzung für eine Rationalisierung der Ware bei der Fertigung, dem Transport, der Lagerung und dem Vertrieb².

2.1.1 Aufbau der Verpackung

Gebildet wird die Verpackung aus Packmitteln, wie Schachteln oder Säcken, welche aus einem Packstoff bestehen. Papier, Kartonagen, Kunststoff, Holz, Metall oder Verbundmaterialien werden hier hauptsächlich verwendet³. Das Packmittel ist der Hauptbestandteil, aus welchem eine Verpackung besteht und ist dazu bestimmt, das Packgut aufzunehmen, umhüllen oder zusammenzuhalten. Diese können in drei Gruppen eingeteilt werden⁴:

- flexible Packmittel: Beutel, Säcke, etc.
- halbstarre Packmittel: Tuben, Kapseln, Schachteln, Blisterpackungen, etc.
- starre Packmittel: Dosen, Flaschen, Kisten, Trommeln, etc.

Packhilfsmittel dienen zur Sicherung oder Identifizierung der Verpackung. Somit ist die Verpackung die Gesamtheit aller verwendeten Packmitteln und Packhilfsmitteln⁵. Ihre Aufgabe ist der Schutz des Packgutes, des Menschen, der Umwelt und dient zur Sicherung der Rationalisierung bei der Handhabung in der Produktion, bei der Verteilung, der Darbietung und beim Verbrauch des Packgutes. Zusätzlich dient sie als Informationsträger für das verpackte Produkt⁶. Abbildung 2.1 zeigt die Zusammensetzung einer Packung.

Aus mehreren Packungen bzw. Packstücken werden gegebenenfalls Ladeeinheiten gebildet, diese bestehen aus Ladungsträgern und Ladeeinheitensicherungsmitteln. Der Prozess der Ladeeinheitenbildung steigert die Effektivität und Effizienz, wie

²vgl. Monika 2014, S. 3f.

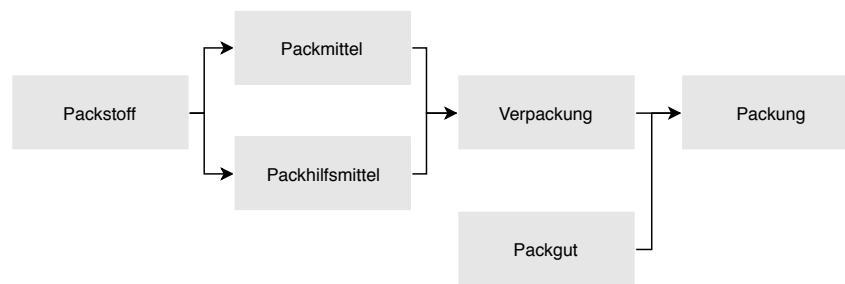
³vgl. *Tag der Verpackung* 2016, (www.tag-der-verpackung.de) besucht am 29.09.2018.

⁴vgl. Boeckle 2013, S. 4.

⁵vgl. Monika 2014, S. 9.

⁶vgl. Mevissen 1996, S. 15.

⁷vgl. DIN55405 2009

Abbildung 2.1: Zusammensetzung der Verpackung⁷

Güter gehandhabt und transportiert werden⁸. Im Detail werden der betriebliche Warenfluss vereinfacht, die Lade- und Transportraumausnutzung erhöht und die Materialflusskosten reduziert. Folgende Vorteile bietet die Ladeeinheitenbildung⁹:

- Erleichterung der Automatisierung bzw. Mechanisierung
- Schonung des Transportgutes
- Kosteneinsparungen durch Reduzierung von Handhabungszeiten
- Senkung der benötigten Lagerfläche durch Stapelbarkeit der Einheiten
- Bildung von transportierfähigen Systemen
- Vereinfachung der Identifizierung des Packgutes

Kosten, welche bei der Bildung von Ladeeinheiten entstehen, treten überwiegend bei Verwendung von Ladehilfsmitteln, der Verwaltung der Hilfs- und Sicherungsmittel und dem Leergutplatzbedarf auf. Die richtige Abstimmung zwischen Packgut, Transport- und Ladehilfsmittel und dem Laderaum gewährleistet erst niedrige Transportkosten. Die Systematik der Ladungsbildung ist in Abbildung 2.2 zusammengefasst. Zusammengefasst wird die Verpackung in drei Stufen eingeteilt:¹⁰

1. *Primärverpackung*: steht in direktem Kontakt mit dem Packgut und schützt es
2. *Sekundärverpackung*: fasst mehrere Primärverpackungen in einer Einheit zusammen (zur Erleichterung der Handhabung)

⁸vgl. Rosenthal 2016, S. 12.

⁹vgl. Martin 2014, S. 74.

¹⁰vgl. A. Emblem und H. Emblem 2012, S. 6f.

3. *Tertiärverpackung*: bildet eine Ladeeinheit aus den Primär- und Sekundärverpackungen zur Vereinfachung der Transportvorgänge

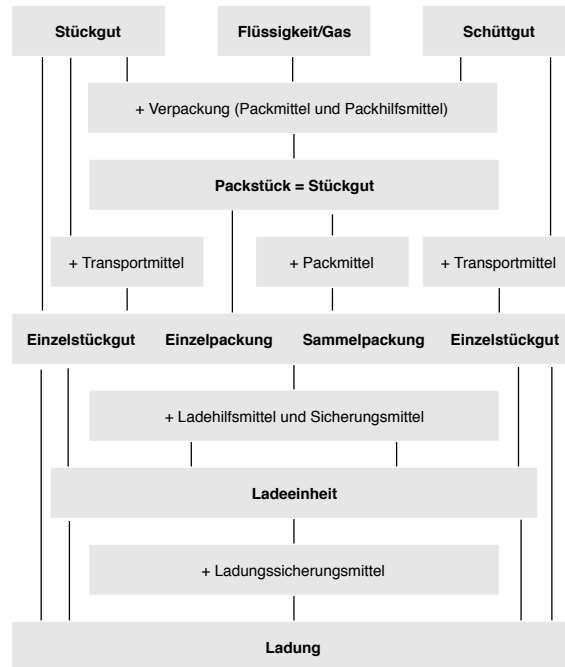


Abbildung 2.2: Systematik der Ladeeinheitenbildung¹¹

2.1.2 Verpackungsfunktionen

Die Verpackung muss imstande sein, unterschiedliche Aufgaben und Funktionen zu erfüllen. Diese sind von der jeweiligen Phase, in der sie sich in der Logistikkette befindet, abhängig. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Produktion, beispielsweise einer Erleichterung bei Produktionsvorgängen, der Vermarktung bzw. Identifikation und der Verwendung verpackter Güter¹². Die Grundfunktionen der Verpackung sind definiert als die Bereitstellungs-, Handlings-, Transport-, Lagerungs- und Qualitätssicherungsfunktion¹³. Ebenfalls von Bedeutung sind die Zusatzfunktionen, wie die Umweltschutz- und die Informationsfunktion¹⁴.

Da jede Funktion unterschiedliche Anforderungen an das Verpackungssystem besitzt, wird in der Gestaltung einer neuen Verpackung meist ein Kompromiss ge-

¹¹vgl. Martin 2014, S. 75

¹²vgl. Hertel, Zentes und Schramm-Klein 2011, S. 203.

¹³vgl. Helmut Schulte Herbrüggen 1991, S. 208.

¹⁴vgl. Arnold u. a. 2008, S. 8.

funden, um alle Funktionsbereiche zu berücksichtigen. Aufgrund der Überschneidung mancher Funktionsbereiche konkurrieren deren Anforderungen miteinander (siehe Abbildung 2.3).

Verpackungsfunktionen		Anforderungen an die Verpackung
Schutzfunktion		temperaturbeständig dicht korrosionsbeständig chemisch neutral mengenerhaltend schwer entflammbar
		formstabil stoßfest stoßdämpfend druckfest reißfest
	Lager- und Transportfunktion	stapelbar rutschfest genormt handhabbar automatisierungsfreundlich unterfahrbar einheitenbildend
Verkaufsfunktion		raumsparend flächensparend
		ökonomisch
	Identifikations- und Informationsfunktion	werbend informativ identifizierbar unterscheidbar
		leicht zu öffnen wiederverschließbar
	Verwendungsfunktion	wiederverwendbar ökologisch entscheidungsfreundlich hygienisch

Abbildung 2.3: Zuordnung der Anforderungen an die Verpackungsfunktionen¹⁵

¹⁵vgl. Pfohl 2017, S. 138

Werden diese Anforderungen systematisiert, können die Hauptfunktionen eingeteilt werden in¹⁶:

- *Schutzfunktion*: Sie beinhaltet den Schutz vor z.B. mechanischen Belastungen, klimatischen Änderungen und zusätzlich den Schutz vor Diebstahl und den Schutz der Personen, welche mit dem verpackten Gut in Kontakt treten.
- *Lager- und Transportfunktion*: Die Verwendung einer Verpackung dient zur Erleichterung der Lagerung und des Transports. Stapelbarkeit, Transportierbarkeit, raumsparende Gestaltung und ähnliches spielen hier eine große Rolle.
- *Manipulationsfunktion*: Als Manipulationsvorgänge werden jene Schritte bezeichnet, welche zwischen Lager- und Transportvorgängen liegen. Hier dient die Verpackung zur Erleichterung der Handhabung der Produkte.
- *Informations- und Identifikationsfunktion*: Eine schnelle Identifikation der verpackten Ware ist insbesondere in der Auftragsbearbeitung von hoher Wichtigkeit. Zusätzliche Informationen bezüglich der richtigen Handhabung und Lager- und Transportierbedingungen sind ebenfalls relevant.

2.1.3 Lebenszyklus der Verpackung

Für die Realisierung und Gestaltung eines ganzheitlichen Verpackungskonzeptes und deren Bewertung ist es erforderlich, den gesamten Lebenslauf einer Verpackung zu betrachten¹⁷. Zu den technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten werden auch frühzeitig die ökologischen Aspekte miteinbezogen. Eine Vernachlässigung dieser während der Materialauswahl wirkt sich beispielsweise negativ in der Phase der Entsorgung eines Verpackungssystems aus¹⁸.

Es lassen sich drei Phasen im Verpackungslebenszyklus definieren. In der ersten wird die Konzeption und Herstellung des Verpackungssystems charakterisiert, anschließend durchläuft es die Phase der Verwendung und Nutzung, worauf es schlussendlich in die Aufbereitung, Verwertung und Entsorgung geht¹⁹. Aufgrund moderner Recyclingtechnologien kann ein Großteil der Verpackungen, welche am Ende ihres

¹⁶vgl. Hertel, Zentes und Schramm-Klein 2011, S. 204.

¹⁷vgl. Wildemann 1979, S. 74.

¹⁸vgl. Mevissen 1996, S. 113.

¹⁹vgl. Boeckle 1994, S. 60.

Lebenszyklus sind, verwertet bzw. zur Herstellung neuer wiederverwendet werden (Abbildung 2.4).

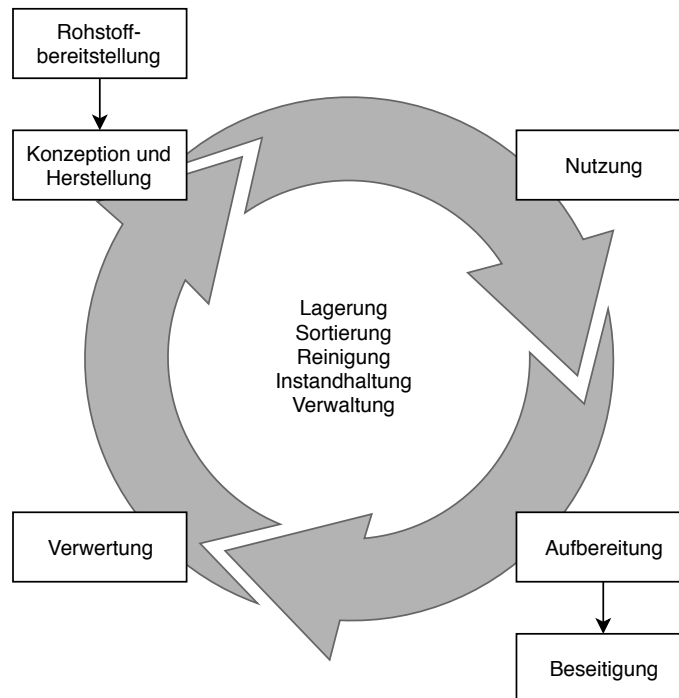


Abbildung 2.4: Lebenszyklus einer Verpackung²⁰

2.1.3.1 Konzeptions- und Herstellungsphase

Die Phase der Verpackungskonzeptionierung läuft parallel zur Produktentwicklung. Sie beginnt mit der Entwicklung und Planung, wo auch ein erstes Modell oder Prototyp hergestellt wird. Zu diesem Zeitpunkt werden noch keine bzw. nur sehr geringe Umweltbelastungen erzeugt. Anschließend beginnt die Herstellung des Verpackungsmaterials, welches benötigt wird, um mit der Produktion der Verpackung zu starten. Hier entscheidet insbesondere die Formgebung und Gestaltung des Verpackungssystems, welche Materialien verwendet werden können. Grundsätzlich gilt hier das Ziel, Materialverluste auf ein Minimum zu senken und bei gleichbleibender Verpackungsmenge eine Verringerung des Rohstoffeinsatzes zu realisieren²¹. Zusätzlich wird, wenn möglich die Vermischung verschiedener Materialien vermieden, um die Trennbarkeit in den späteren Recyclingprozessen zu erleichtern.

²⁰vgl. Oertel 1982, S. 198

²¹vgl. Wildemann 1979, S. 58ff.

Es zeigt sich, dass mit der Auswahl der Einsatzstoffe, der Wahl des Herstellungsverfahrens und der konstruktiven Ausführung grundlegende Entscheidungen getroffen werden, welche sämtliche darauf folgenden Lebenszyklusphasen der Verpackung bestimmen²².

2.1.3.2 Nutzungsphase

Die Nutzungsphase umfasst sämtliche Prozesse, in denen die Verpackung ihre grundsätzlichen Aufgaben und Funktionen erfüllt. Die Zuverlässigkeit der Verpackung ist in dieser Phase des Lebenszyklus von besonderer Bedeutung. Neben wirtschaftlichen Verlusten, können, beim Versagen des Behältnisses, auch Umweltbelastungen in Form von Stoffaustritten entstehen. Die primären Anforderungen an die Verpackung sind hier der Schutz der Packgüter, der Umwelt und der betroffenen Arbeiter, wobei einerseits die Umwelt vor belastenden Einflüssen des Produktes und andererseits das Produkt selbst vor negativ wirkenden Umwelteinflüssen von außen geschützt wird²³.

Die logistischen Aktivitäten umfassen sämtliche Prozesse in der Distribution und Redistribution der Verpackungen. Diese reichen vom Beschaffen des benötigten Rohstoffes zur Herstellung bis hin zum Transport und Handling des Verpackungsabfalls. Diese Vorgänge sind für alle Verpackungsvarianten einheitlich, d.h. sie weisen keine packungsspezifischen Besonderheiten auf²⁴. Bei der Redistribution gebrauchter Verpackungen, wird in der Bearbeitung zwischen Einweg- und Mehrwegverpackungen unterschieden.

Bei Einwegsystemen werden die leeren Einheiten Verwertungsanlagen zugeführt. Hier werden die verwertbaren Materialien getrennt, aufbereitet und entsprechend ihrer zukünftigen Verwendung den Verpackungsherstellern oder den Produzenten anderer Produktionszweige zugeführt. Jene Stoffe, die nicht mehr verwertbar sind, müssen entsorgt werden. In Abbildung 2.5 ist der Prozess der Distribution und Redistribution von Einwegverpackungssystemen abgebildet.

Im Vergleich dazu, beinhalten die Redistributionsprozesse von Mehrwegverpackungen den Schritt der Aufbereitung nach Gebrauch, d.h. die Instandsetzung, Reparatur und Reinigung. Somit werden die aufbereiteten Verpackungen wieder in den Kreis-

²²vgl. Oertel 1982, S. 115.

²³vgl. Koppelman 1971, S. 68ff.

²⁴vgl. Boeckle 1994, S. 69.

lauf (siehe Abbildung 2.6) eingeschleust. Jene Einheiten, die nicht mehr verwendbar, aber verwertbar sind, werden dem Recycling bzw. der Entsorgung zugeführt.

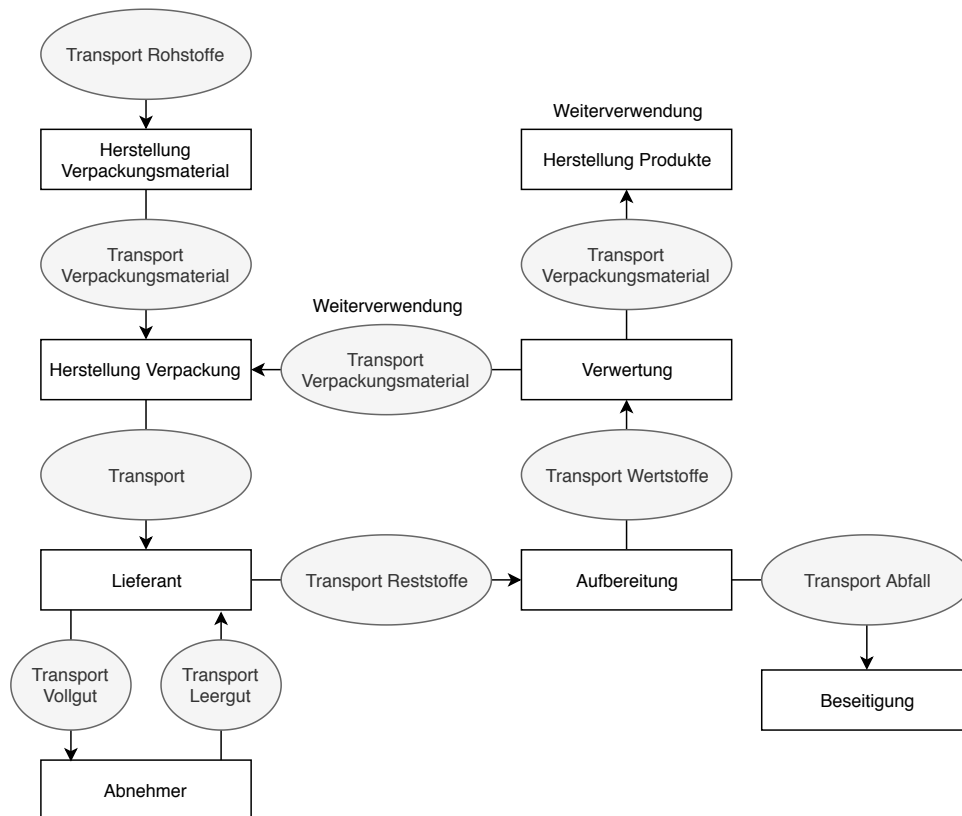


Abbildung 2.5: Distribution und Redistribution von Einwegverpackungen²⁵

2.1.3.3 Aufbereitungs-, Verwertungs- und Entsorgungsphase

Die **Aufbereitungsphase** umfasst die Teilprozesse *Sammeln*, *Sortieren*, *Reinigen*, und *Kontrollieren*. Zunächst werden die gebrauchten Verpackungen in einem Sortierprozess nach der Beschaffenheit der verwendeten Materialien und Stoffe getrennt. Jene Verpackungen, welche nicht mehr verwertbar sind, werden aussortiert. Anschließend durchlaufen die gebrauchten Mehrwegverpackungen (in manchen Fällen auch verwertbare Einwegverpackungen) einen Reinigungsprozess. An diesen werden je nach Art und Beschaffenheit bzw. nach Sortenvielfalt der Verpackungen unterschiedlich hohe Anforderungen gestellt²⁶.

²⁵vgl. Boeckle 1994, S. 69

²⁶vgl. Boeckle 1994, S. 74.

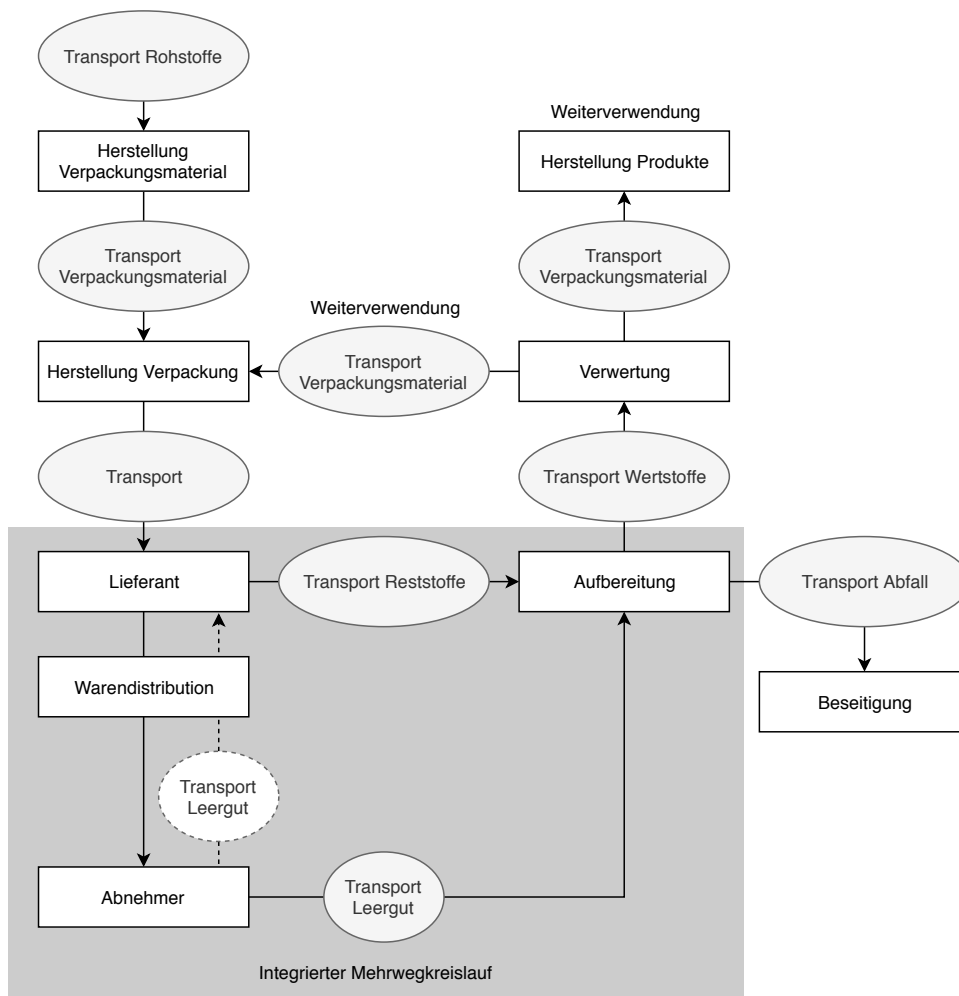


Abbildung 2.6: Distribution und Redistribution von Mehrwegverpackungen²⁷

Der Verschmutzungsgrad und die Qualität des recycelten Materials sind hier von entscheidender Bedeutung. In die Phase der Aufbereitungen fallen ebenfalls eventuell notwendige Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten, sowie die Reparatur beschädigter Verpackungen und die Wiederherstellung der Funktionalität²⁸. Bei der Verwendung empfindlicher Stoffe in der Verpackungsproduktion steigt die Anzahl der notwendigen Reparaturen²⁹. Somit ist es von Vorteil, wenn die Verpackungen robust und pflegeleicht gestaltet werden, um den Aufbereitungsprozess zu erleichtern³⁰.

²⁷vgl. Boeckle 1994, S. 71

²⁸vgl. Oertel 1982, S. 98.

²⁹vgl. Klemisch und Lemke 1992, S. 177.

³⁰vgl. Boeckle 1994, S. 75.

Die **Phase der Verwertung** beinhaltet den Prozess des Recyclings. Laut Definition bedeutet Recycling *"Die Rückführung von Produktions- und Konsumabfällen in den Wirtschaftskreislauf"*³¹. Dies bedeutet, dass eine Verpackung, welche die Verwertungsphase erreicht, nicht zwangsläufig zur Herstellung neuer Verpackungen verwendet werden muss. Deshalb wird in zwei Dimensionen unterschieden, wobei die erste Dimension sich nach dem Anwendungsbereich der recycelten Stoffe differenziert. In diesem Fall wird von Primärrecycling gesprochen. In diesem Fall werden die recycelten Stoffe im gleichen Anwendungsbereich, aus dem sie stammen, wieder eingesetzt. Dem gegenüber steht das Sekundärrecycling, wo die Stoffe in neuen Anwendungsgebieten verwendet werden. Die zweite Dimension beschreibt die Umwandlungsaktivitäten, die notwendig sind, einen Stoff wiederaufzubereiten. Es wird unterschieden zwischen direktem Recycling, wo keine Wiederaufbereitungsaktivitäten notwendig sind und dem indirekten Recycling, wo dies der Fall ist³². Auf Basis dieser zwei Dimensionen lassen sich vier Formen des Recyclings beschreiben: die Wiederverwendung, die Wiederverwertung, die Weiterverwendung und die Weiterverwertung (siehe Abbildung 2.7).

	keine Recyclingaktivitäten	Durchführung von Recyclingaktivitäten
gleicher Anwendungsbereich	Wiederverwendung	Wiederverwertung
anderer Anwendungsbereich	Weiterverwendung	Weiterverwertung

Abbildung 2.7: Formen des Recyclings³³

Die *Wiederverwendung* beschreibt im Verpackungsbereich den wiederholten Einsatz der Verpackung im gleichbleibendem Verwendungsbereich³⁴. Dies entspricht den Anforderungen einer Mehrwegverpackung. Der Grundsatz der Wiederverwendung ist also die Reduzierung von Abfall.

Im Fall, dass eine Verpackung *weiterverwendet* wird, kann diese Verwendung in ver-

³¹Feess 2018, (www.wirtschaftslexikon.gabler.de) besucht am 28.01.2019.

³²vgl. Boeckle 1994, S. 76.

³³vgl. Heribert und Kirchgeorg 1995, S. 256

³⁴vgl. Heribert und Kirchgeorg 1995, S. 236.

schiedenen Anwendungsbereichen finden. Der anfängliche Verwendungszweck, für den sie hergestellt wurde, ist zwar nicht mehr gegeben, die Verpackung wird jedoch anderweitig sinnvoll eingesetzt. Nach dem erstmaligen Gebrauch stellen sie dementsprechend keinen Abfall dar, sondern werden zu Gebrauchsgegenständen.

Die *Wiederverwertung* wird dann angewendet, wenn eine mehrmalige Verwendung einer Verpackung oder eine Weiterverwendung ausgeschlossen ist. Dieser Prozess beinhaltet die teilweise oder vollständige Auflösung der Verpackung. Somit entstehen Sekundärstoffe, die als Hilfsstoffe in der Herstellung neuer Packmaterialien verwendet werden können³⁵. Der Wiedereinsatz von Papier und Kartonagen hat hier einen hohen Stellenwert. Altpapier besitzt beispielsweise eine Recyclingquote von durchschnittlich 85%³⁶.

Ist keine der drei oben beschriebenen Recyclingmethoden möglich bleibt als letzte Alternative die *Weiterverwertung*. Darunter versteht man die stoffliche Umgestaltung der Verpackung. Diese wird angewandt, wenn eine Trennung der einzelnen Packstoffe nicht möglich oder aufgrund zu hohem Aufwands wirtschaftlich nicht rentabel ist. Zu den Technologien der Weiterverwertung zählt beispielsweise eine Müllverbrennungsanlage. Hier dienen gebrauchte Verpackungen als Brennmaterial. Diese Form der Entsorgung zählt jedoch zu jenen Verfahren, welche die Umwelt stark belasten³⁷.

Am Ende des Verpackungslebenszyklus ist die **Phase der Entsorgung** für gebrauchte Verpackungen, die weder wiederverwendbar bzw. recyclebar sind³⁸. Die Beseitigung der Abfälle geschieht hauptsächlich über spezialisierte Entsorgungsunternehmen. Bei der Deponierung von Altstoffen können, im Gegensatz zur energetischen Nutzung (siehe *Weiterverwertung*) keine wirtschaftlichen Vorteile erzielt werden. Aufgrund umweltrechtlicher Auflagen ist die Lagerung in Deponien jedoch in manchen Fällen vorgeschrieben³⁹.

³⁵vgl. Boeckle 1994, S. 77ff.

³⁶vgl. Eurostat 2016, (ec.europa.eu), besucht am 13.08.2018.

³⁷vgl. Austria 2019, (www.zerowasteaustria.at), besucht am 29.01.2019.

³⁸vgl. Boeckle 1994, S. 80.

³⁹vgl. Feess, Steger und Weihrauch o.D., S. 219.

2.1.4 Verpackungskosten

Neben den ökologischen Aspekten der Verpackung und der Erfüllung der Anforderungen aus den Funktionen dominieren die wirtschaftlichen Argumente bei der Verpackungsauswahl. Ein Unternehmen versucht in erster Linie stets, die Verpackungskosten zu minimieren, damit sich diese nicht zu sehr auf den Verkaufspreis des Produktes auswirken. Bei der Berechnung werden zusätzlich zu den Kosten für Packmittel und Packhilfsmittel jene Kosten für Verwaltung, Leerguttransport, Kosten für Aufbereitung sowie die Entsorgungskosten miteinbezogen⁴⁰. Somit lassen sich folgende Kostenarten identifizieren⁴¹:

- Materialkosten
- Personal- und Verwaltungskosten
- Lager- und Bestandskosten
- Handlingkosten
- Recycling- und Entsorgungskosten
- Aufbereitungskosten
- Folgekosten

Da jede Kostenart unterschiedliche Einflussgrößen aufweist, sind diese, wie in Abbildung 2.8 ersichtlich, der jeweiligen Kostengruppe zugeteilt.

⁴⁰vgl. Wildemann 1979, S. 52.

⁴¹vgl. VDI3617 2010.

Kostenarten	Kosteneinflussgrößen
Materialkosten	<ul style="list-style-type: none"> • Material (Qualität, Stoff, Form, Abmessung) • Fertigungsdauer, Arbeitsgänge • Maschinen, Werkzeuge, Hilfs- und Betriebsstoffe • Raumbedarf • Personalbedarf • Wartung und Instandhaltung
Lager- und Bestandskosten	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen • Kapitalbindung • benötigter Lagerraum, Energie • Verweildauer, Anzahl der Lagerbewegungen • Personalbedarf • Bediengeräte, Umschlaghäufigkeit
Handlingkosten	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen, Gewicht • Handhabbarkeit, Benutzerfreundlichkeit • Personalbedarf • Raumbedarf • Bediengeräte
Transportkosten	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen, Gewicht • Festigkeit, Stapelbarkeit, Erfüllung der Schutzfunktion • Abmessungen, Standardisierungsgrad • Transportmittel • Entfernung • Personalbedarf
Personal- und Verwaltungskosten	<ul style="list-style-type: none"> • Koordinations- und Organisationsaufwand • Personalbedarf • Raumbedarf • Geräte
Recycling- und Entsorgungskosten	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen • Energie • Material (Sortenreinheit, Qualität, Verschmutzung) • Personalbedarf • Maschinen • Emmissions- und Hygienevorschriften • Qualitätsverlust des Recyclats • Raum zur Zwischenlagerung
Aufbereitungskosten	<ul style="list-style-type: none"> • Material • Volumen • Energie, Wasser, Reinigungsmittel • Personalbedarf • Maschinen, Werkzeuge • Material und Verschmutzungsgrad • Reinigungsdauer, Reparaturdauer • Raumbedarf
Folgekosten	<ul style="list-style-type: none"> • Schadenshäufigkeit • Schadensbeseitigung, -ersatz • Schwund

Abbildung 2.8: Verpackungsbezogene Kosteneinflussgrößen⁴²

⁴²vgl. Boeckle 1994, S. 84

2.2 Anforderungen der Zuführung einer automatischen Montage

Der Fokus dieses Abschnitts liegt auf der Materialzuführung an eine automatische Montagelinie. Es wird aufgezeigt, welche Anforderungen ein automatisches Ordnungssystem an den Zustand einer Komponente hat, wie diese effizient bereitgestellt werden kann und welche Faktoren miteinbezogen werden. Abschließend werden für verschiedene Ordnungszustände die zugehörigen Zuführtechnologien, welche am Markt vorhanden sind, beschrieben.

2.2.1 Grundsätze der Zuführung

Ein Zuführsystem verbindet den innerbetrieblichen Materialfluss mit dem Montagesystem. Es wird unterschieden in der Betrachtung als eigenständiges System bzw. als bereits in der Montageanlage integrierte Baugruppe. Zusätzlich wird differenziert, ob die Zuführung werkstückspezifisch oder flexibel für verschiedene Bauteilgeometrien einsetzbar ist⁴³. Die Aufgaben, welche eine Zuführungen wahrnimmt, sind die der Teilebereitstellung (Zubringen), das Zuteilen (Vereinzeln), Handhaben, Ein- und Ausgeben sowie das Weitergeben und Ablegen⁴⁴. Aus diesen Aufgabenzuteilung ergeben sich jene Funktionen (Abbildung 2.9), nach denen Handhabungseinrichtungen in der Automatisierungstechnik gegliedert werden.



Abbildung 2.9: Gliederung der Funktionen von Handhabungseinrichtungen⁴⁵

⁴³vgl. B. Lotter und Wiendahl 2006, S. 276.

⁴⁴vgl. Hesse 1993, S. 18.

⁴⁵eigene Darstellung nach B. Lotter und Wiendahl 2006, S. 276

Folgende Lösungen sind in Bezug auf die Teilebereitstellung an eine Montagemaschine unterscheidbar⁴⁶:

- integrierte Teileherstellung in der Maschine
- Bereitstellung als Schüttgut in Bunkern, Boxpalette oder Kästen
- geordnete Bereitstellung in Magazinen oder teilgeordnet in Stapeln

Die für diese Arbeit relevanten Lösungsvarianten der Zuführung beziehen sich auf die letzten beiden oben genannten Punkte, somit wird die integrierte Teileherstellung nicht weiter betrachtet.

2.2.2 Ordnungseinrichtungen

Ein Großteil der Bauteile, welche einer Montagelinie zugeführt werden, wird in Form von Schüttgut bzw. Massenstückgut angeliefert. Bevor diese Werkstücke weiterverarbeitet werden können, müssen sie vereinzelt und geordnet werden. Dies bedeutet, dass das geometrisch bestimmte Bauteil aus einer unbestimmten Lage in eine gewünschte Orientierung und Position gebracht wird.

Die Orientierung eines Körpers ist durch seine drei rotatorischen Freiheitsgrade bestimmt, wohingegen die Position vollständig durch drei translatorische Freiheitsgrade angegeben wird (Abbildung 2.10). Der jeweilige Grad der Orientierung bzw. Positionierung lassen sich durch die Kennzahlen Orientierungs- (OG) und Positionierungsgrad (PG) ausdrücken. Daraus lässt sich der Ordnungszustand (OZ) definieren (siehe Formel 2.1).

$$OZ = \frac{OG}{PG} \quad (2.1)$$

Mithilfe dieses Faktors wird bestimmt, wie viele Ordnungsfunktionen notwendig sind, um von einem bekannten Zustand eines Bauteils in einen gewünschten Ordnungszustand zu gelangen⁴⁷.

⁴⁶vgl. B. Lotter und Wiendahl 2006, S. 276.

⁴⁷vgl. B. Lotter und Wiendahl 2006, S. 283.

Orientierungsgrad OG		Positionierungsgrad PG	
OG	Erklärung	PG	Erklärung
3	Orientierung des Körpers ist in allen Rotationsachsen bestimmt	3	Ursprung des körpereigenen Koordinatensystems befindet sich an einem bestimmten Punkt
2	Orientierung des Körpers ist in zwei Rotationsachsen bestimmt	2	Ursprung des körpereigenen Koordinatensystems ist beliebig auf einer Kurve angeordnet
1	Orientierung des Körpers ist in einer Rotationsachse bestimmt	1	Körper ist beliebig auf einer Fläche angeordnet
0	Orientierung des Körpers ist in allen Rotationsachsen unbestimmt	0	Körper ist beliebig im Raum angeordnet

Abbildung 2.10: Orientierungs- und Positionierungsgrad von Körpern⁴⁸

Grundsätzlich gilt, dass eine einmal erreichte Ordnung von Werkstücken möglichst nicht mehr zerstört werden soll⁴⁹. Im folgenden werden Systeme beschrieben, in denen Bauteile in ungeordnetem, teilgeordnetem und vollständig geordnetem Zustand vereinzelt werden können.

2.2.2.1 Bunker und Stapelmagazine

Eine **Bunkerzuführeinrichtung** nimmt ungeordnetes Schüttgut auf und ordnet durch integrierte Elemente die Bauteile. Die Prinzipien zum Entnehmen einzelner Werkstücke aus der ungeordneten Menge sind das Gleiten an Richtkanten, das Einleiten von Schwingungen in Kombination mit Ausrichtelementen, das Ausnutzen von Fliehkraftwirkungen, das Schöpfen mit Segmenten und das Entnehmen von Teilen mittels Magnetkräften⁵⁰. Abbildung 2.11 verdeutlicht den prinzipiellen Aufbau solcher Ordnungseinrichtungen. Bei der Speicherung und während der Ordnungsvorgänge berühren sich die Bauteile gegenseitig, somit können Schäden wie Raustellen durch Abrieb, Schlagstellen durch Herabfallen oder das Aufsammeln von Schmutz auftreten.

⁴⁸VDI2860 1990

⁴⁹vgl. Hesse 2016, S. 124.

⁵⁰vgl. B. Lotter und Wiendahl 2006, S. 277.

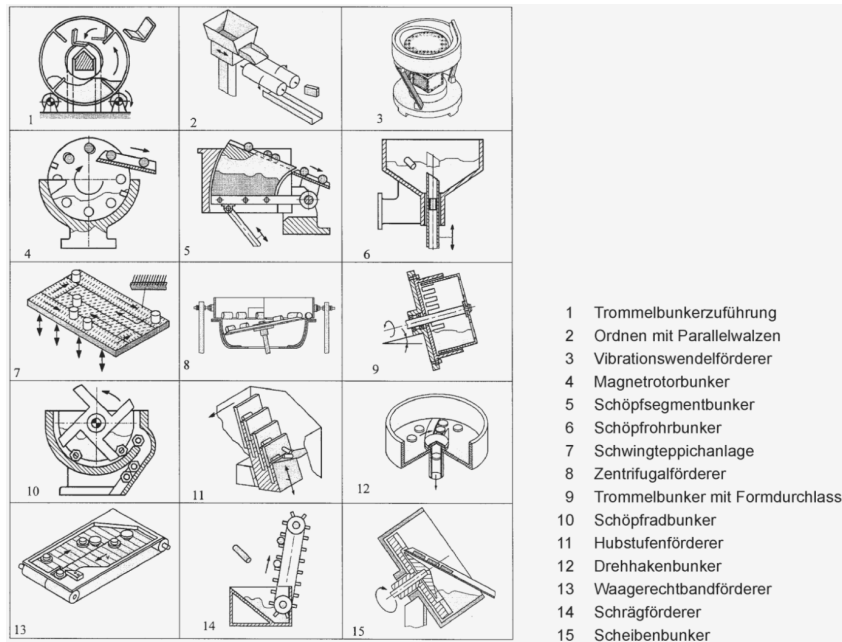


Abbildung 2.11: Beispiele für Bunkerzuführungs- und Ordnungseinrichtungen⁵¹

Das Prinzip der **Stapelmagazine** wird für jene Werkstücke angewandt, welche eine markante Längsausdehnung aufweisen. Bedingt durch ihre Geometrie können sie bereits teilgeordnet gespeichert werden. Getrieben durch die Schwerkraft nimmt eine Vereinzelungsvorrichtung die Bauteile einzeln auf und bewegt sie weiter. In Abbildung 2.12 sind zwei Lösungen aufgezeigt, die gleichzeitig eine Speicherung und Entnahme von Bauteilen ermöglichen.

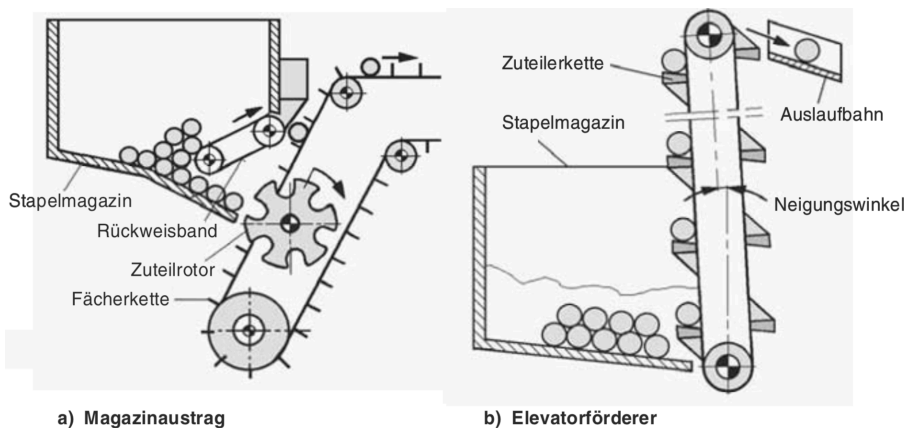


Abbildung 2.12: Teilezuführung aus dem Stapelbunker⁵²

⁵¹Hesse 2000, S. 42

⁵²B. Lotter und Wiendahl 2006, S. 278

2.2.2.2 Magazine

Magazine werden auch als Werkstückspeicher beschrieben⁵³. Sie bewahren eine bestimmte Menge an Bauteilen auf, welche zu verschiedenen Zeitpunkten entnommen werden. Hier wird differenziert zwischen einem Speicher (Bunker), in dem sich die Teile gegenseitig berühren und einem Speicherplatz (Magazin), wo sie einzeln definierte Positionen einnehmen⁵⁴. Das Entnehmen und Vereinzeln der Werkstücke übernimmt eine nachgelagerte Handhabungseinrichtung. Die Formgebung eines Magazins hängt stark von den geometrischen Spezifikationen des Bauteils und der Art der Entnahme ab⁵⁵. In der Industrie hat sich ein Palettier-System für die Werkstückbereitstellung als Standard etabliert. Die Werkstücke sind in Systempaletten (z.B. Trays) geordnet eingelegt und können somit stapelweise abgearbeitet werden. Ein Manipulationssystem ist hier für das Bewegen und Umsetzen der Palette zuständig. Das Greifen und Bewegen der Werkstücke übernimmt ein zweites System. In Abbildung 2.13 ist ein solches Palettier- bzw. Depalettiersystem dargestellt. Die Entnahme der Werkstücke sowie die Zuführung der vollen Palette und die Abführung der Leerpallettenstapel lassen sich hier vollständig automatisieren.

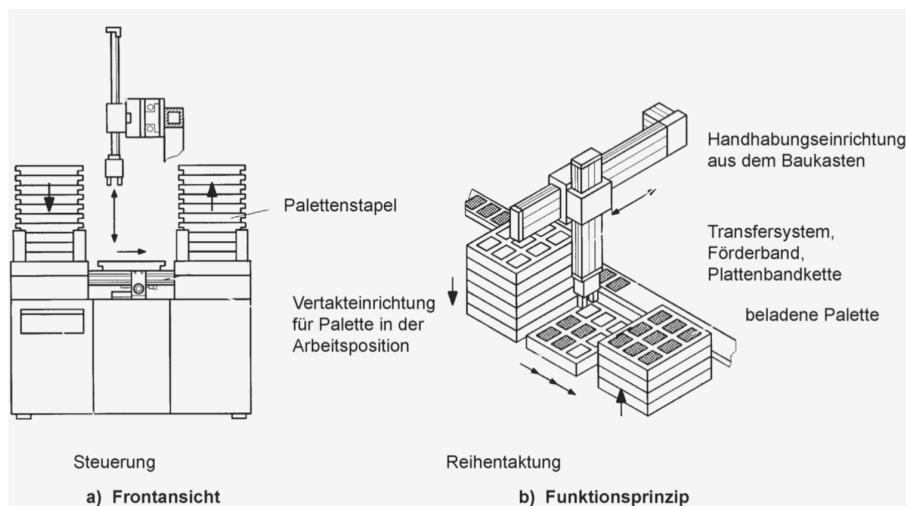


Abbildung 2.13: Werkstückbereitstellung mit Palettier- bzw. Depalettiersystem⁵⁶

⁵³vgl. Hesse 2016, S. 32.

⁵⁴vgl. B. Lotter und Wiendahl 2006, S. 287.

⁵⁵vgl. B. Lotter, Deuse und E. Lotter 2016, S. 10.

⁵⁶vgl. B. Lotter und Wiendahl 2006, S. 289

2.3 Schnittstellen der Verpackung und Automatisierung

Da der Grundgedanke der Automatisierung jener ist, manuell notwendige Tätigkeiten zu reduzieren, gilt auch bei der Gestaltung einer Verpackung der Grundsatz, dass eine einmal erreichte Ordnung der Packstücke möglichst nicht mehr zerstört werden soll⁵⁷. Die Anforderung der Automatisierung ist Teil der Lager- und Transportfunktion der Verpackung (siehe Abbildung 2.3 auf Seite 15). Da diese Anforderung meist aufgrund von Kostenersparnissen durch die Verwendung von Standardsystemen nicht erfüllt wird, ist ein Großteil der in der Industrie gängigen Verpackungen nicht automatisierungsgerecht⁵⁸. Aufgrunddessen unterliegt es dem jeweiligen Unternehmen, werkstückspezifische Verpackungskonzepte, welche auch durch eine automatische Anlage gehandhabt werden können, zu konzipieren bzw. konzipieren zu lassen.

Da der Prozess der Verpackungsgestaltung hohe Kosten verursacht (diese fließen direkt in den Produktpreis), muss hier ein Kompromiss gefunden werden zwischen der Höhe der Anfangsinvestition für ein neues Verpackungskonzept und den Folgekosten für Handling, Aufbereitung, Entsorgung, etc. Zu beachten ist, dass, je besser die Verpackung automatisch handhabbar ist, desto geringer sind die Handlingkosten, hervorgerufen durch den Einsatz von Personal.

2.3.1 Anforderungen und Auswirkungen aus der Zuführtechnik an die Verpackung

Um ein Verpackungssystem zu automatisieren, ist es sinnvoll, die Grundsätze der Ordnungseinrichtungen in die Neugestaltung und Planung der Verpackung miteinfließen zu lassen. Ein Werkstück, welches z.B. durch eine kostenintensive Zuführtechnologie direkt an der Anlage geordnet werden muss, kann bereits beim Abpackprozess direkt nach der Fertigung in bereitgestellte Magazine verpackt und abtransportiert werden. Somit entfällt der Prozess des Ordners an der Anlage und reduziert die Kosten.

⁵⁷vgl. Hesse 2016, S. 124.

⁵⁸vgl. Martin 2014, S. 113.

Zusätzlich zum Ordnungszustand der Werkstücke benötigt eine automatische Zuführung eine bestimmte Menge an Bauteilen, um ohne Unterbrechung Material bereitstellen zu können. Der Faktor der Autonomiezeit (AZ) (Formel 2.2) spielt hier eine entscheidende Rolle. Sie ist jene Zeit, in der eine Maschine ohne äußere Hilfe und Mitwirkung selbstständig arbeiten kann⁵⁹. In Bezug auf die Materialbereitstellung bedeutet dies, dass dies die Zeit ist, in der kein Material durch manuelle Arbeitsschritte zugeführt werden muss.

$$\text{Autonomiezeit} = \frac{\text{Werkstücke pro Verpackungseinheit}}{\text{benötigte Werkstücke pro Stunde}} \quad (2.2)$$

Besteht also die Anforderung der Automatisierung der Verpackung, sollten bereits in der Planungsphase des Verpackungssystems, wie in Abbildung 2.14 zu sehen, die gewünschte Autonomiezeit und der geforderte Ordnungszustand der Materialbereitstellung bekannt sein. In Kombination mit den Gestaltungsprinzipien von Bunkern, Magazinen und Stapelmagazinen kann somit eine kostengünstige und automatisierungsgerechte Verpackung realisiert werden.

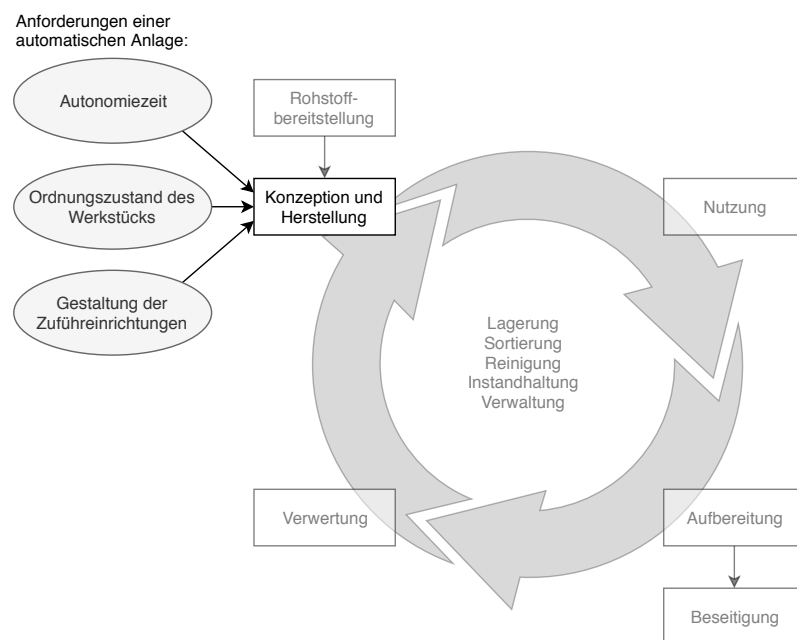


Abbildung 2.14: Einbindung der Anforderungen einer automatischen Anlage in den Lebenszyklus der Verpackung⁶⁰

⁵⁹vgl. Hesse 1994, S. 19.

⁶⁰eigene Darstellung

2.4 Wertanalyse

Die vorliegende Arbeit wird auf Basis der Wertanalyse strukturiert und durchgeführt. Der folgende Abschnitt beschreibt diese Methodik an sich, deren Aufbau, Kernpunkte, Systemelemente und den 10-stufigen Wertanalyse-Arbeitsplan mit dessen jeweiligen Phasen. Anschließend sind die verwendeten Bewertungs- und Auswahlmethoden, die in der praktischen Durchführung dieses Projektes Verwendung finden, aufgeführt und beschrieben.

2.4.1 Einführung

Die Wertanalyse beschreibt eine Vorgehensweise zur Lösung komplexer Probleme. Neben der Anwendung in Produktions- und Dienstleistungsunternehmen der Wirtschaft, wird sie zunehmend auch in der Verwaltung und öffentlichem Dienst zur Gestaltung von Prozessen eingesetzt. Sie umfasst die Verbesserung bestehender Prozesse sowie Entwicklung und Einführung neuer Leistungen. Allgemein wird die Leistung, der Prozess bzw. das Produkt, welches in der Wertanalyse bearbeitet wird als Wertanalyseobjekt (WA-Objekt) bezeichnet⁶¹.

Laut Norm wird die Wertanalyse als kreative und organisierte Methode definiert, die das Ziel der Wertsteigerung des analysierten Objekts durch Einsatz funktionsorientierter und wirtschaftlicher Gestaltungsprozesse erreicht⁶².

Das Ziel ist also, den Wert eines Objektes zu steigern. Dieses Ziel wird durch die Zusammenarbeit als Team und dem Folgen eines strukturierten Arbeitsplans erreicht⁶³. Diese in der Praxis bewährte Vorgehensweise verfügt über fünf ausgeprägte Charakteristiken, welche auch als Erfolgsfaktoren bezeichnet werden können⁶⁴:

- Funktionenkonzept
- Wertekonzept
- ganzheitliche Betrachtungsweise
- starkes Einbeziehen des Menschen und seiner Verhaltensweisen

⁶¹vgl. Baus, Udo u.a. 1995, S. 9.

⁶²vgl. DIN1325 2014.

⁶³vgl. Ammann, Jürg u.a. 2011, S. 27.

⁶⁴vgl. Baus, Udo u.a. 1995, S. 2.

- Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams

Im folgenden werden die beiden ersten Charakteristiken näher beschrieben.

2.4.1.1 Funktionenkonzept

Ein wesentlicher Bestandteil der Wertanalyse ist die sogenannte *Funktionsanalyse*⁶⁵. Der Grundgedanke hierzu ist, dass der Kunde nicht das Objekt an sich haben oder kaufen möchte, sondern dessen Funktionen, welche es erfüllt. Somit konzentriert sich das Entwicklungsteam bei der Bearbeitung eines Objekts auf die jeweilige Erfüllung der Funktion, welche den Kunden zufriedenstellt. Durch ebenjenes Konzentrieren auf Funktionen wird das Lösen von bestehenden Problemen auf die Lösungsebene abstrahiert und kann somit umfassend bearbeitet werden⁶⁶. Die Funktionen eines Objekts können in der Regel aufgeteilt werden in *Gebrauchsfunktionen* und *Geltungsfunktionen*. Gebrauchsfunktionen sind dem sachlichen Nutzen des Objekts zugeteilt (technisch oder organisatorisch), wohingegen die Geltungsfunktionen ausschließlich subjektiv wahrnehmbare oder personenbezogene Wirkungen des WA-Objekts hervorrufen. In Abbildung 2.15 ist ein Beispiel zur Aufteilung in Gebrauchs- und Geltungsfunktionen abgebildet.

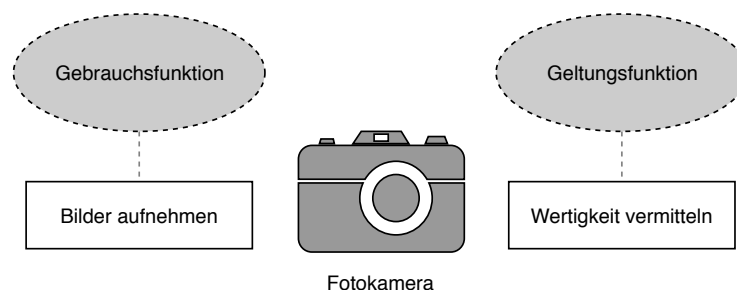


Abbildung 2.15: Beispiel zur Aufteilung in Gebrauchs- und Geltungsfunktion⁶⁷

2.4.1.2 Wertekonzept

Mit Bezug auf die Wertanalyse bezeichnet der Begriff *Wert* den Erfüllungsgrad bzw. Nutzen der Funktionen eines Objektes. Der Wert eines Objektes kann je nach Sicht-

⁶⁵vgl. Bergmann 2002, S. 15.

⁶⁶vgl. Ammann, Jürg u.a. 2011, S. 5.

⁶⁷eigene Darstellung nach Lercher 2013, S. 219

weise und Einsatzgebiet durchaus unterschiedliche Bedeutung haben. Neben der Funktionserfüllung kann er ebenso als Qualität, Aktualität, Haltbarkeit oder Zuverlässigkeit beschrieben werden⁶⁸.

Allgemein lässt sich aber die Beziehung zwischen der Befriedigung von Bedürfnissen und dem Einsatz von Ressourcen definieren (siehe Abbildung 2.16). Der Wert α stellt die Beziehung der beiden Größen dar. Wichtig hierbei ist, dass diese Gegenüberstellung nicht als Gleichung zu verstehen ist, vielmehr muss eine Relation der Größen gefunden werden, die den maximalen Mehrwert generiert.

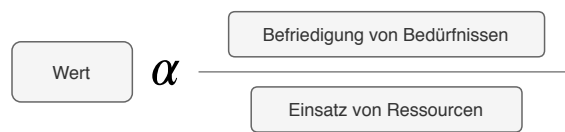


Abbildung 2.16: Definition des Wertes⁶⁹

Durch Abwägen des zur Bedürfnisbefriedigung notwendigen Betrags und der zur Realisierung notwendigen Ressourcen, wird der Wert eines Objektes optimiert. Um eine Wertsteigerung zu erreichen, sind unterschiedliche Ansätze möglich (siehe Abbildung 2.17).

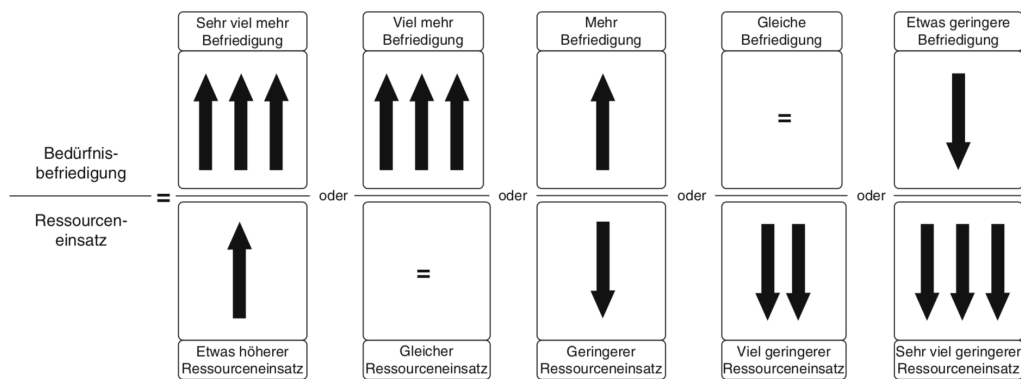


Abbildung 2.17: Möglichkeiten zur Wertsteigerung⁷⁰

⁶⁸vgl. Baus, Udo u.a. 1995, S. 20.

⁶⁹eigene Darstellung nach DIN1325 2014

⁷⁰Ammann, Jürg u.a. 2011, S. 16

2.4.2 Systemvoraussetzungen

Für die optimale Umsetzung einer Wertanalyse in einem Unternehmen ist es wichtig, dass ein optimales Unternehmensumfeld besteht. Als Basis des Wertanalyseprojektes dienen die Bereiche Management, Methodik und Verhaltensweisen. Diese werden als charakteristische Säulen zur Umsetzung der Wertanalyse bezeichnet (siehe Abbildung 2.18).

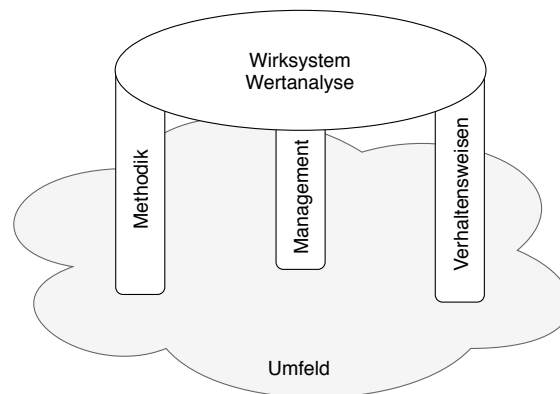


Abbildung 2.18: Systemelemente der Wertanalyse nach DIN EN 12973:2014⁷¹

2.4.2.1 Methodik

Die Säule der Methodik ist vor allem durch folgende Merkmale charakterisiert⁷²:

- Arbeiten in interdisziplinären Projektteams
- konsequente Einhaltung des Wertanalyse Arbeitsplans (siehe Abschnitt 2.4.3)
- Ermitteln der Funktionen und Vorgaben durch Abstrahierung des Objektes
- Suchen nach Lösungen auf abstrakter Ebene
- Trennung von Lösungsfindung und Bewertung
- Bewertung der entwickelten Lösungen aus Sicht von Hersteller und Kunden
- Teilnahme aller Projektteammitglieder an jeder Phase des Prozesses
- Umsetzung der Lösungen in bereits optimierter Form

⁷¹eigene Darstellung nach Ammann, Jürg u.a. 2011, S. 31

⁷²vgl. Pauwels 2001, S. 23.

Weitere wichtige Merkmale der Wertanalyse sind ihre *Anwendungsneutralität* und ihre *Universalität* bezogen auf Neuentwicklungen und Optimierung bestehender WA-Objekte⁷³.

2.4.2.2 Verhaltensweisen

Die zweite Säule der Wertanalyse ist die menschlichen Verhaltensweise. Am Erfolg eines Wertanalyseprojektes sind alle direkt oder indirekt betroffenen Personen maßgeblich durch ihren Einsatz, aber vor allem auch durch ihr Verhalten beteiligt⁷⁴. Wichtige Faktoren hierzu sind:

- Probleme müssen erkannt und so beschrieben werden, dass ihre Lösung begünstigt wird
- Kooperation im Projektteam
- kontinuierliche Kommunikation und Informationsaustausch
- Bereit sein, bisherige Vorgehensweisen und Lösungsansätze in Frage zu stellen und gegebenenfalls über Bord zu werfen
- sich neuen Ansätzen und Methoden gegenüber öffnen

2.4.2.3 Management

Die dritte Säule stellt das Management dar. Um Wertanalyseprojekte erfolgreich abschließen zu können, ist es notwendig, dass bis zur zuständigen Führungsebene der Zweck und die Methodik bekannt und der Wille zur Umsetzung vorhanden ist⁷⁵. Nur so können alle erforderlichen Ressourcen zur Verfügung gestellt und das Projekt ausreichend unterstützt werden. Weitere Aufgaben des Managements nach der Einführung der Wertanalyse im Unternehmen ist die Sicherstellung der Aus- und Weiterbildung von Mitarbeitern sowie die Auswahl geeigneter Wertanalyseprojekte. Außerdem werden spezifische Ziele für die Projekte festgelegt, notwendige Kompetenzen delegiert und Entscheidungen zum Projektfortschritt getroffen⁷⁶. Folgende

⁷³vgl. Pauwels 2001, S. 25.

⁷⁴vgl. Baus, Udo u.a. 1995, S. 55.

⁷⁵vgl. Bergmann 2002, S. 8.

⁷⁶vgl. Pauwels 2001, S. 27.

Aufgaben, welche im Bereich des Managements anfallen, sind⁷⁷:

- Wertanalyse einführen
- wertanalytische Weiterbildung sicherstellen
- Wertanalyseobjekte auswählen

2.4.2.4 Gegenseitige Beeinflussung der Systemelemente

Bei Betrachtung des Gesamtsystems der Wertanalyse wird ein Zusammenspiel dieser drei Systemelemente erkannt. Sie sind untereinander vernetzt und können sich gegenseitig beeinflussen. Um ein positives Gesamtergebnis zu erzielen, ist es von besonderer Bedeutung, diesen Umstand zu berücksichtigen. In Abbildung 2.19 ist das Zusammenspiel der Systemelemente untereinander dargestellt.

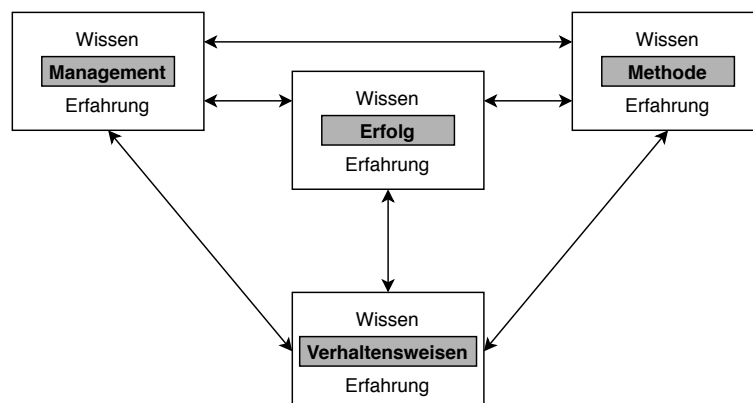


Abbildung 2.19: Beeinflussung der Systemelemente DIN 1325:2014⁷⁸

2.4.3 Wertanalyse Arbeitsplan

Der Kern der Wertanalyse ist der Arbeitsplan. Dieser gliedert die einzelnen Phasen in voneinander abhängige Arbeitsschritte auf dem Weg zu einem erfolgreichen Projektabschluss. Zur korrekten Durchführung eines Wertanalyseprojekts sind folgende zwei Regeln einzuhalten⁷⁹:

⁷⁷vgl. Ammann, Jürg u.a. 2011, S. 33.

⁷⁸eigene Darstellung nach DIN1325 2014

⁷⁹vgl. Wiest 2011, S. 39.

1. Es darf kein Arbeitsschritt ausgelassen werden.
2. Die Reihenfolge der Arbeitsschritte ist unbedingt einzuhalten.

Der zehnstufige Wertanalyse-Arbeitsplan kann auch als roter Faden zur Zielerreichung verstanden werden. Die Art und Weise wie der Arbeitsplan vollzogen wird und mit welcher Methodik in den jeweiligen Phasen gearbeitet wird, hängt vom jeweiligen projektbegleitenden Wertanalyse-Moderator ab⁸⁰. Abbildung 2.20 gibt einen Überblick über die jeweiligen Grundschritte, deren Verknüpfung und die Verteilung der Verantwortlichkeiten.

2.4.3.1 Schritt 0: Vorbereitung des Projektes

In der ersten Phase der Wertanalyse obliegt es dem Management bzw. der Auftraggeber einen fachkundigen Projektleiter und Wertanalyse-Moderator zu bestimmen. Der jeweilige Moderator sollte fundierte Kenntnisse und Kompetenzen für das System der Wertanalyse besitzen und vertraut mit methodischen Instrumenten sein. Weiters ist zu prüfen, ob sich die Durchführung eines solchen Projektes finanziell lohnt und welche Aufgabenstellung gegeben werden muss.

Methodische Instrumente für diese Phase sind Portfoliomodelle, die ABC-Analyse, SWOT-Analyse, FMEA-Analyse und mehr. Folgende Fragen sollen geklärt sein, bevor das Projekt in die nächste Phase geht⁸¹:

- Welche Produkte und Technologien sind am Ende des Lebenszyklus angekommen?
- Weshalb und in welchen Märkten brechen Absatzzahlen und Erträge ein?
- Weshalb und in welchem Gebiet hat der Mitbewerber die Führung übernommen?
- In welchem Bereich muss innoviert/verändert/erneuert/repariert werden?

⁸⁰vgl. Baus, Udo u.a. 1995, S. 94.

⁸¹vgl. Wiest 2011, S. 41f.

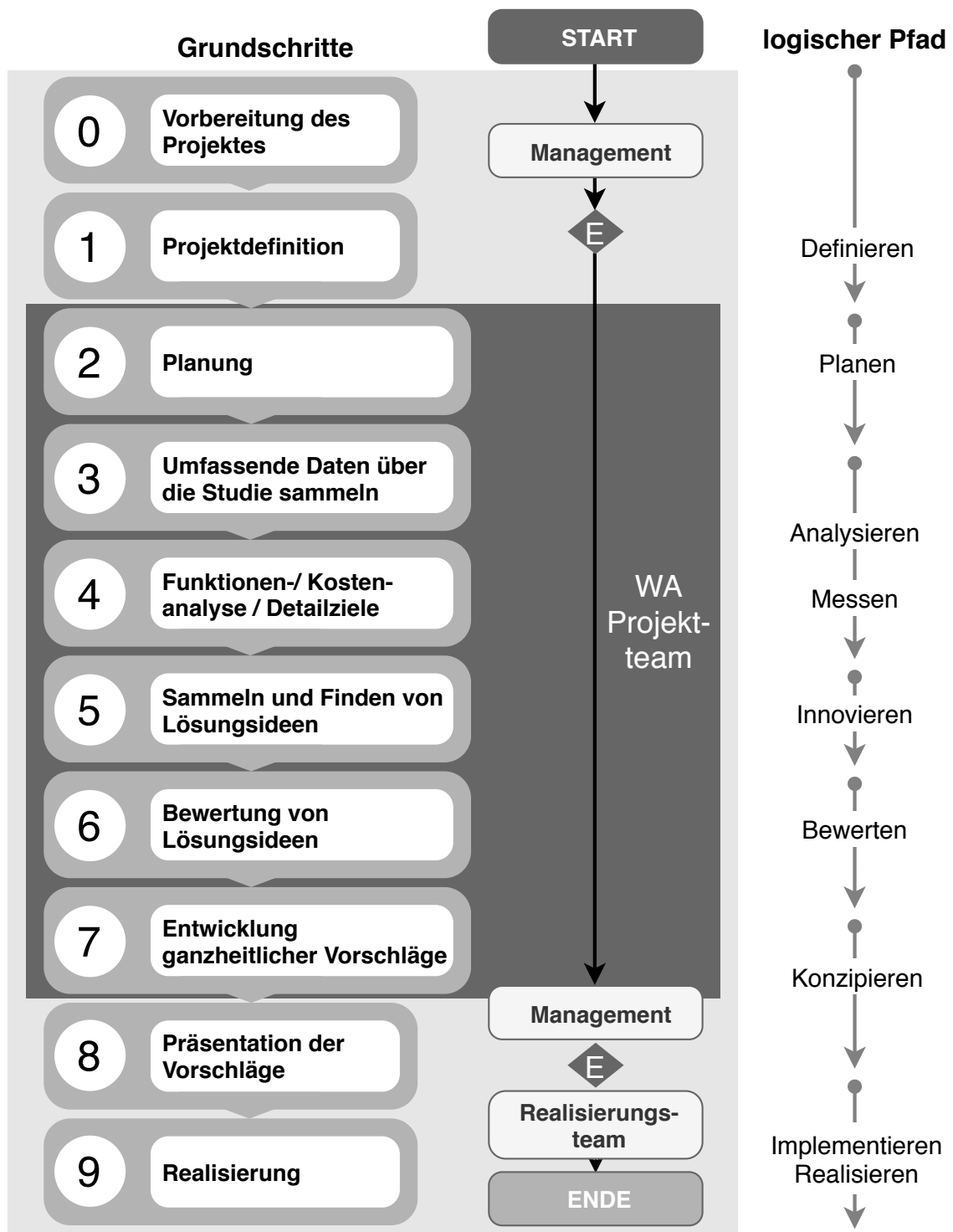


Abbildung 2.20: Der 10-Stufen Wertanalyse Arbeitsplan⁸²

⁸²eigene Darstellung nach DIN1325 2014

2.4.3.2 Schritt 1: Projektdefinition

Mit dem Abschluss der vorangegangenen Phase kann die Definition des Projektes erfolgen. Hier wird im Rahmen der Aufgabenstellung ein Ziel definiert, welches möglichst spezifisch und messbar ist⁸³. Dabei zählen zu den Zielen wie Kostenreduzierung und Steigerung der Effizienz z.B. Verbesserung der Qualität und Verfügbarkeit, Verkürzung von Durchlaufzeiten, Kundenzufriedenheit oder Verringerung des ökologischen Einflusses⁸⁴.

Mithilfe einer definierten Aufgabenstellung kann das Wertanalyseprojekt klar abgegrenzt werden. Dies gibt Gewissheit, ob der Umfang und die Bearbeitung in einer bestimmten Zeit machbar sind⁸⁵. Zur Durchführung dieses Arbeitsschritts können folgende methodischen Instrumente verwendet werden:

- Quality Function Deployment (QFD)
- FMEA
- Life Cycle Costing (LCC)
- Benchmarking
- Wettbewerbsanalyse

2.4.3.3 Schritt 2: Planung

Sobald Ziele und Aufgabenstellung vom Auftraggeber definiert und vorgegeben sind, wird das Projektteam zur Bearbeitung des Wertanalyseprojektes durch das Management gebildet. Das Team sollte aus vier bis acht Personen, aus verschiedenen Disziplinen, die für das Lösen der Projektaufgabe erforderlich sind und über entsprechenden Fachkompetenzen verfügen, zusammengesetzt werden. Auch der zeitliche Ablauf des Projektes muss zwischen Projektleiter und Auftraggeber abgestimmt werden, um die notwendigen Ressourcen zur Verfügung stellen zu können.

Behilflich in dieser Phase können unter anderem Teambuilding, Kapazitäts- und Netzplantechniken und Kenntnisse im Projektmanagement sein⁸⁶.

⁸³vgl. Orth 2013, S. 45.

⁸⁴vgl. Wiest 2011, S. 42.

⁸⁵vgl. Baus, Udo u.a. 1995, S. 95.

⁸⁶vgl. Ammann, Jürg u.a. 2011, S. 44f.

2.4.3.4 Schritt 3: Umfassende Daten über die Studie sammeln

Nach der Bildung des Projektteams und dem offiziellen Projektstart kann mit der Projektarbeit begonnen werden. In diesem Schritt ist es wichtig, dass alle für das Projekt relevanten Daten gesammelt, aufbereitet und ausgewertet werden. Zusätzlich zeigt diese IST-Analyse Stärken und Schwächen des zu bearbeitenden Objektes im Vergleich zur Konkurrenz auf⁸⁷.

Neben den IST-Kosten werden auch Daten bezüglich Qualitätslevel, Durchlaufzeiten, Verschwendungen, etc. gesammelt und konkretisiert. Diese sind für den immateriellen Nutzen des Objektes relevant und fließen in die Bewertung mit ein. Hierfür stehen wiederum einige Methoden zur Verfügung wie z.B. Pareto- und Engpass-Analyse, ABC-Analyse, ISHIKAWA-Diagramm oder auch das House of Quality (HoQ)⁸⁸.

2.4.3.5 Schritt 4: Funktionen-, Kostenanalyse, Detailziele

In diesem Arbeitsschritt wird nach der umfangreichen Datensammlung mit einem wesentlichen Bestandteil der Wertanalyse begonnen, der Funktionenanalyse. Mit dieser Methodik (näher beschrieben in Abschnitt 2.5.1 auf Seite 44) wird das zu untersuchende WA-Objekt in seine einzelnen Funktionen abstrahiert. Diese sind aufgliedert in Markt- und Nutzerfunktionen. Sind die Funktionen festgelegt, werden die Kosten aus der IST-Analyse den jeweiligen Einzelfunktionen zugeordnet. Die Bewertung hinsichtlich des Erfüllungsgrades und der Funktionenkosten gibt die Richtung der Optimierung des WA-Objektes vor. Zu Vergleichszwecken ist es durchaus sinnvoll, diese Analyse mit den direkten Konkurrenzprodukten am Markt durchzuführen.

In erster Linie werden in diesem Schritt die Methoden Funktionenanalyse, Funktionenkostenanalyse und die Funktionenerfüllungsgradbewertung, sowie Benchmarkinganalysen eingesetzt. Für die Erhebung der kunden- und marktbezogenen Daten können zusätzlich Kundenbefragungen und Kunden- bzw. Lieferantenaudits veranlasst werden⁸⁹.

⁸⁷vgl. Orth 2013, S. 48.

⁸⁸vgl. Ammann, Jürg u.a. 2011, S. 45.

⁸⁹vgl. Heege 1985, S. 48.

2.4.3.6 Schritt 5: Sammeln und Finden von Lösungsideen

Nach Bearbeitung und Abschluss der Arbeitsschritte 3 und 4 startet der kreative Lösungsprozess. Hier ist das Ziel, möglichst viele Ideen zur Erfüllung herausgearbeiteter SOLL-Ziele zu finden und zu sammeln. In dieser Phase ist von besonderer Wichtigkeit, dass das kreative Potential eines jeden einzelnen Teammitgliedes oder auch eines Außenstehenden zu fördern und nicht zu unterdrücken ist⁹⁰. Auch durch die Kombination verschiedenster Lösungen zu neuen Ansätzen können weitere Assoziationen geweckt und die kreative Phase ausgedehnt werden⁹¹.

Um möglichst viele Ideen zu generieren, stehen in diesem Arbeitsschritt alle Arten von Kreativitätstechniken zur Verfügung. Dazu zählen etwa Brainstorming und Brainwriting (z.B. 635 Methoden), der Morphologischer Kasten, TRIZ, Bionik, Synektik, Mindmapping oder das Relevanzbaum-Verfahren⁹².

2.4.3.7 Schritt 6: Bewertung der Lösungsideen

Anschließend an die kreative Ermittlung von Lösungsideen und der Sortierung liegt eine große Anzahl von Einzelideen zu den jeweiligen Funktionen des WA-Objektes vor. Diese werden nach dem Prinzip *vom Groben zum Feinen* in Bezug auf die Zieldefinition systematisch bewertet. Wichtig dabei ist, dass die Bewertung und der anschließende Ausschluss von Ideen durchgängig und nachvollziehbar nach objektiven Bewertungskriterien erfolgt. Auch eine Dokumentation der ausgeschlossenen Ideen ist während der Bewertungsphase sinnvoll, um nach Abschluss des Projekts die Transparenz des Entscheidungsprozesses zu gewährleisten.

Für die verschiedenen Sortierungsschritte können unterschiedliche Kriterien zur Bewertung herangezogen werden. Für eine erste Grobbewertung kann allgemein nach dem Grad der Realisierung (sofort, vielleicht oder nicht realisierbar) eingeteilt werden. Mit steigendem Detaillierungsgrad müssen auch die Kriterien detaillierter werden⁹³.

Folgende methodischen Instrumente können in dem Arbeitsschritt 2 zur Anwen-

⁹⁰vgl. Ammann, Jürg u.a. 2011, S. 49.

⁹¹vgl. Strathkötter 2004, S. 34.

⁹²vgl. Ammann, Jürg u.a. 2011, S. 49.

⁹³vgl. Pauwels 2001, S. 75f.

dung gebracht werden:

- Machbarkeitsanalysen
- Kosten-Nutzen-Analyse
- Nutzwertanalyse
- Break-Even-Point-Analyse
- FMEA
- Wirtschaftlichkeitsanalysen
- ROI-Ermittlung

2.4.3.8 Schritt 7: Entwicklung von Lösungsvorschlägen

Nach Reduktion der Ideen werden die Einzelideen zu ganzheitlichen Lösungskonzepten im Sinne des Projektzieles zusammengestellt. Da sich einzelne Ideen oft nicht oder nicht sinnvoll als alleinstehende Lösung umsetzen lassen, werden die sich beeinflussenden und ergänzenden Konzepte zu Lösungsempfehlungen zusammengesetzt. Am Ende sollte jede Empfehlung eine Dokumentation mit folgenden Punkten enthalten:

- Beschreibung der IST-Situation
- Beschreibung der Lösungsempfehlung
- Aufwandsabschätzung für Werkzeuge/Anlagen/Personal
- Abschätzung für Umsetzungszeit und Entwicklungskosten
- IST/SOLL-Kostenrechnung
- Abschätzung des Funktionserfüllungsgrades
- Risikobewertung

Als unterstützende Methoden können in diesem Arbeitsschritt Maßnahmenkataloge, Pflichtenhefte, Mindmapping und FMEA's eingesetzt werden⁹⁴.

⁹⁴vgl. Ammann, Jürg u.a. 2011, S. 50ff.

2.4.3.9 Schritt 8: Präsentation der Vorschläge

Die im Arbeitsschritt 7 entwickelten Lösungsempfehlungen werden nach der Dokumentation dem Management bzw. den Auftraggebern präsentiert. Es liegt hier in der Aufgabe des Auftraggebers, das Ergebnis des WA-Projekts zu hinterfragen und in Bezug auf die gesetzten Ziele zu bewerten⁹⁵. Sofern alle notwendigen Daten und Informationen vorhanden sind, ist durch die Auftraggeber eine Entscheidung zu treffen, ob bzw. welches der präsentierten Lösungskonzepte eine Freigabe erhält.

2.4.3.10 Schritt 9: Realisierung

Sofern ein positiver Beschluss zur Realisierung eines der Konzepte durch das Management gefasst wurde, gilt es mit der Umsetzung zu beginnen. Es ist notwendig darauf zu achten, dass die Ergebnisse des WA-Projekts als Pflichtenheft eingesetzt und dementsprechend auch in die Realität umgesetzt werden. Die vollständige Umsetzung der Konzepte auf Basis der Voruntersuchungen, Simulationen und Berechnungen werden dabei durch ein Projektteam geplant und durchgeführt⁹⁶.

2.5 Angewandte Tools & Bewertungsmethoden

2.5.1 Funktionenanalyse

Das Anwenden der Funktionenanalyse setzt das funktionsorientierte Denken des Anwenders voraus. In Abschnitt 2.4.1.1 wird bereits auf die Differenzierung zwischen Gebrauchs- und Geltungsfunktionen eingegangen.

Eine Funktion beschreibt die Wirkung, welches ein bestehendes oder noch zu entwickelndes Bauteil, eine Dienstleistung oder ähnliches erzeugen soll⁹⁷. Die Benennung ist dabei klar formuliert durch ein Substantiv und ein Verb⁹⁸. Ein Beispiel dazu wäre "Kraft aufnehmen". Diese Formulierung hat den Zweck, ein möglichst neutrales

⁹⁵vgl. Orth 2013, S. 103.

⁹⁶vgl. Ammann, Jürg u.a. 2011, S. 51f.

⁹⁷vgl. Ammann, Jürg u.a. 2011, S. 57.

⁹⁸vgl. Pauwels 2001, S. 165.

und lösungsorientiertes Denken zu Fördern⁹⁹.

2.5.1.1 Funktionenklassen

Zusätzlich zu den Gebrauchs- und Geltungsfunktionen werden die einzelnen Funktionen in sogenannte *Funktionenklassen* eingeteilt (siehe Abbildung 2.21). Dies strukturiert die ermittelten Funktionen eines WA-Objektes in *Haupt-* und *Nebenfunktionen*¹⁰⁰:

Hauptfunktionen: dienen dem Verwendungszweck des Objektes

Nebenfunktionen: dienen zur Erfüllung einer Hauptfunktion (bei abnehmerorientierten Nebenfunktionen) bzw. werden vom Hersteller zur Umsetzung des Objektes benötigt (herstellerorientierte Nebenfunktionen)

Neben den beiden Funktionenklassen treten in einem Großteil der WA-Objekte auch *unerwünschte Funktionen* auf. Diese sind entweder vermeidbare, nicht gewünschte Funktionen bzw. unvermeidbare, nicht gewünschte Funktionen¹⁰¹.

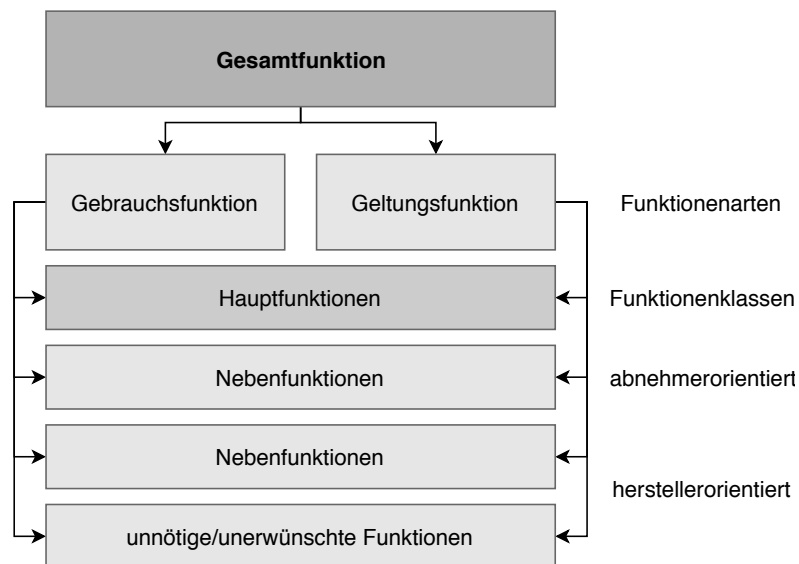


Abbildung 2.21: Abnehmer- und herstellerorientierte Funktionen¹⁰²

⁹⁹vgl. Engeln 2006, S. 86.

¹⁰⁰vgl. Gierse 1998, S. 37.

¹⁰¹vgl. DIN1325 2014.

¹⁰²vgl. Gierse 1998, S. 37

2.5.1.2 Funktionenbaum

Zweck des Funktionenbaums ist eine graphische Darstellung der Abhängigkeiten und des Zusammenwirkens der einzelnen Haupt- und Nebenfunktionen. Dabei wird die Ordnung durch folgende Fragen ermittelt¹⁰³:

- Wie wird die Funktion erfüllt? (*ergibt die nächste untergeordnete Funktion*)
- Wozu wird die Funktion erfüllt? (*ergibt die nächste übergeordnete Funktion*)

Abbildung 2.22 zeigt beispielhaft die Struktur eines Funktionenbaums und so entstehenden Abhängigkeiten und Vernetzungen der Funktionen untereinander.

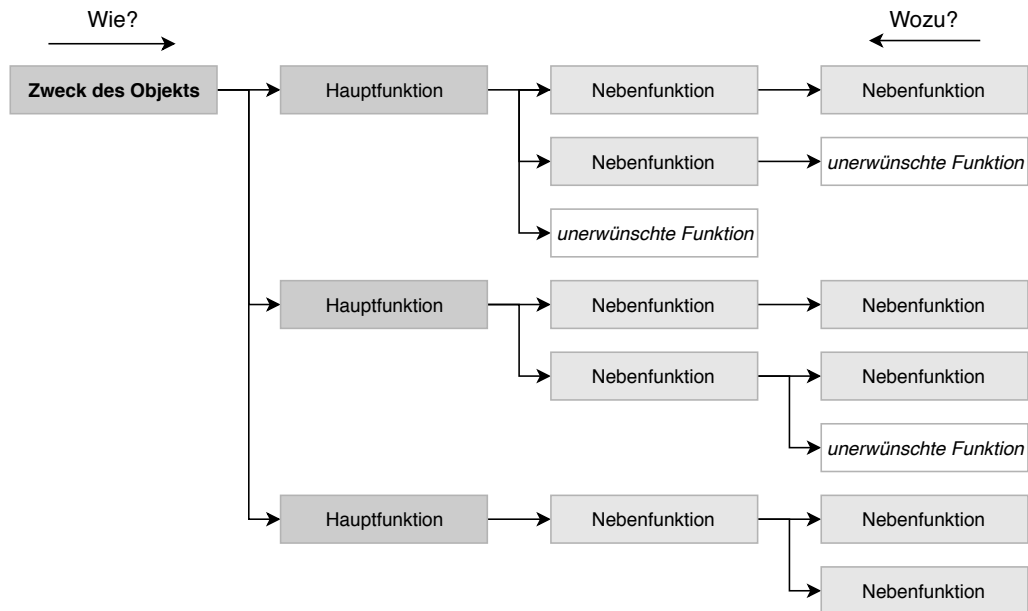


Abbildung 2.22: Funktionenbaum¹⁰⁴

2.5.1.3 Funktionserfüllungsgrad

Mit dem Funktionserfüllungsgrad (FEG) wird definiert, inwieweit eine Funktion durch eine bestimmte Lösung erfüllt wird. Der Funktionserfüllungsgrad wird in Pro-

¹⁰³vgl. Pauwels 2001, S. 168.

¹⁰⁴eigene Darstellung nach Ammann, Jürg u.a. 2011, S. 63

zent angegeben und ergibt sich durch den Vergleich mehrerer Lösungen und Lösungsmöglichkeiten. Vergleichsmöglichkeiten wie der IST/SOLL- Vergleich, IST/IDEAL-Vergleich und IST/IST- Vergleich mit dem besten Konkurrenzprodukt erleichtern die Ermittlung des Funktionserfüllungsgrades¹⁰⁵.

2.5.2 Kosten-Nutzen-Analyse

Die Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) ist ein Instrument um zu bestimmen, ob das Ergebnis (der Nutzen) einer Aktion deren Aufwand (die Kosten) rechtfertigt. Sie dient zur Entscheidungsunterstützung in ökonomischen Bewertungen. Allgemein geht es um das Ermitteln eines Vorteiles aus wirtschaftlicher Sicht¹⁰⁶.

Bei der Erstellung einer KNA ist es wichtig, möglichst alle Effekte, welche in die Bewertung miteinfließen könnten weitestgehend in Geldeinheiten quantifizierbar zu machen. In manchen Fällen stellt die Monetarisierung von Kosten und Nutzen eine erhebliche Herausforderung da, sei es aufgrund fehlender Werte und Zahlen in dem jeweiligen Gebiet oder fehlender Erfahrung für die Umsetzung bzw. den Einsatz neuer Methoden¹⁰⁷. Die Durchführung der Kosten-Nutzen-Analyse enthält folgende Schritte¹⁰⁸:

1. Problemdefinition und Abklärung der Aufgabenstellung
2. Konkretisierung des Zielsystems
3. Bestimmung und Abgrenzung des Entscheidungsfeldes
4. Darstellung und Auswahl möglicher Lösungsalternativen
5. Abwägung von Vor- und Nachteilen der Alternativen, die in den Auswahlprozess einbezogen werden
6. Bewertung der Auswirkungen der einzelnen Alternativen
7. Durchführung einer Sensitivitätsanalyse
8. Diskontierung der Lösungsalternativen

¹⁰⁵vgl. Arnold u. a. 2008, S. 85.

¹⁰⁶vgl. Kaltschmitt und Schebek 2015, S. 138.

¹⁰⁷vgl. Horisberger und Eimeren 2013, S. 4.

¹⁰⁸vgl. Ulrich 2011, S. 229.

- 9. Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten
- 10. Gesamtbeurteilung und Auswahl einer Alternative

2.5.3 ABC-Analyse

Die ABC-Analyse ist ein Verfahren, welches die Ordnung und Klassifizierung einer großen Anzahl an Objekten/Daten/Informationen unterstützt. Dieses Instrument lässt sich aufgrund seiner einfachen Logik auf eine Vielzahl von verschiedenen Untersuchungsgegenständen einsetzen. Die zu bearbeitenden Elemente werden hier in drei Klassen A, B und C zugeordnet¹⁰⁹.

Das Anwenden der ABC-Analyse setzt voraus, dass Daten der Analyseelemente vorhanden und vergleichbar sind. Idealerweise liegen diese Daten für verschiedene Zeitperioden vor, somit wird eine mögliche Dynamik der Daten miteinbezogen¹¹⁰.

Die Vorgehensweise zur Durchführung der ABC-Analyse wird im folgenden mithilfe eines Beispiels erklärt¹¹¹: Es soll untersucht werden, welche Komponenten eines Kugelschreibers maßgebend für den Herstellungspreis sind. Zunächst werden die zu analysierenden Merkmale festgelegt (hier Einzelkosten) und wie in Abbildung 2.23 in Form einer Tabelle dargestellt. Anschließend werden die jeweiligen Merkmale in absteigender Reihenfolge sortiert und kumuliert. Im letzten Schritt werden die Merkmale nach drei Gruppen (A, B und C) klassifiziert und grafisch dargestellt (siehe Abbildung 2.24).

Bauteil	Kosten pro Kugelschreiber	Kosten in Prozent	Kosten kumuliert	Klasse
Mine	0,60 €	50 %	50 %	A
Zusammenbau	0,25 €	20,83 %	70,83 %	A
Gehäuse	0,20 €	16,67 %	87,50 %	B
Drücker	0,10 €	8,33 %	95,83 %	C
Feder	0,05 €	4,17 %	100 %	C
Summe: 1,20 €				

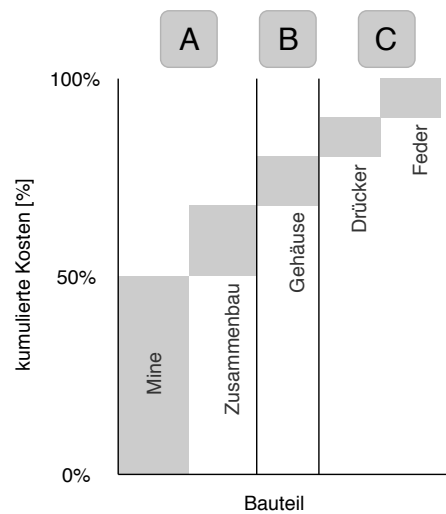
Abbildung 2.23: ABC-Klassifizierung eines Kugelschreibers¹¹²

¹⁰⁹vgl. Cordts und Lensing 1992, S. 3.

¹¹⁰vgl. Schawel und Billing 2009, S. 15.

¹¹¹vgl. Reinecke und Janz 2007, S. 119.

¹¹²eigene Darstellung nach Reinecke und Janz 2007, S. 119

Abbildung 2.24: Graphische Darstellung der ABC-Analyse¹¹³

2.5.4 Zeitanalyse

Die Zeitanalyse, oder auch *Methods-Time-Measurement* (MTM) ist ein Verfahren zur Zeitermittlung und zählt zu den Systemen vorbestimmter Zeiten. Diese versuchen, bestimmte Gesetzmäßigkeiten des zeitlichen Ablaufs von Tätigkeiten zu ermitteln, indem der menschliche Bewegungsablauf bis in kleinste Schritte zerlegt wird.

Der Zeitbedarf für jede einzelne Tätigkeit und deren Bewegungsablauf wird empirisch ermittelt und in Tabellen festgehalten. Zur Bestimmung der Gesamtzeit einer bestimmten Tätigkeit werden alle dafür relevanten Teilzeiten der dafür notwendigen Grundbewegungen addiert. Das MTM-Verfahren kommt ausschließlich für manuelle Tätigkeiten in Frage. Jede manuelle Bewegung setzt sich aus unterschiedlichen Grundbewegungen zusammen. MTM fasst Arbeitsbewegungen in drei Gruppen zusammen:¹¹⁴

1. *Elementarbewegungen*: Hinlangen, Bewegen, Greifen, Loslassen
2. *Zusammengesetzte Bewegungen*: Einführen, Lösen, Entnehmen, Bein-, Fuß- und Körperbewegungen
3. *Hilfsbewegungen*: Drücken, Augenbewegungen

¹¹³eigene Darstellung nach Reinecke und Janz 2007, S. 119

¹¹⁴vgl. Syska 2006, S. 99.

MTM wird, hauptsächlich im industriellen Umfeld, zur Planung manueller Arbeitsabläufe eingesetzt. Besonders für die Massenfertigung ist es wichtig, schon während der Planungsphase zu ermitteln, wie lange ein Mensch für bestimmte Tätigkeiten benötigt.

Gerade in Planungsprozessen findet MTM seine Begründung, da zum Erstellen einer Analyse lediglich Kenntnisse über den Aufbau des Arbeitssystems sowie eine Vorstellung vom geplanten Arbeitsablauf notwendig sind. Im Gegensatz zur Zeitaufnahme mittels Stoppuhr ist es zur Anwendung der MTM-Verfahren nicht notwendig einen existierenden Prozess vorzufinden.

Es wird davon ausgegangen, dass die per MTM ermittelte Zeit derjenigen entspricht, die von einem durchschnittlichen geübten Beschäftigten über einen ganzen Arbeitstag hinweg erreicht werden kann. Dies entspricht einem Leistungsgrad von 100%. Abhängig von der persönlichen Leistungsfähigkeit des Beschäftigten können aber auch bis zu 130% erreicht werden. Die so ermittelten Zeiten dienen vor allem zur Prozessplanung und -kostenabschätzung im Logistikbereich. Insbesondere sind hierbei auch die bereichsübergreifenden Zusammenhänge entlang der logistischen Kette zu beachten¹¹⁵.

2.5.5 Break-Even-Analyse

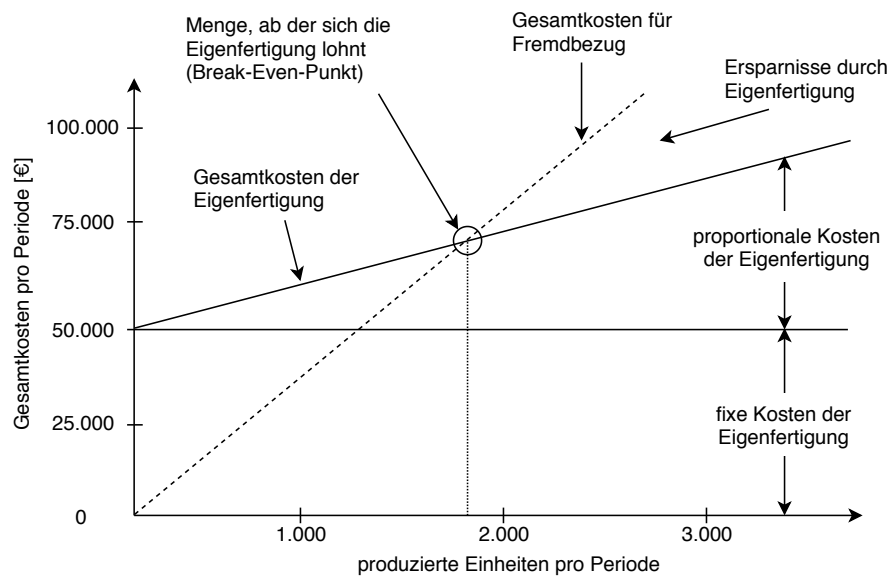
Als Entscheidungshilfe für langfristige Investitionsentscheidungen eignet sich die Break-Even-Analyse (BEA). Der Zweck dieses Instruments ist es, die Produktionsmenge bzw. den Zeitpunkt zu finden, ab dem sich die Anfangsinvestition einer Alternative lohnt.

In Abbildung 2.25 ist die BEA beispielhaft dargestellt. Sie zeigt den Vergleich zwischen Fremdbezug und Eigenfertigung einer Komponente an. Auf der X-Achse ist die Produktionsmenge pro Periode aufgetragen, auf der Y-Achse sind die Gesamtkosten pro Periode abgebildet.

Die Gesamtkosten beim Fremdbezug steigen mit der Menge steil proportional an. Da im Fall der Eigenfertigung zu Anfang Investition zum Aufbau der Produktion und ähnlichem zu tätigen sind, ist der Startpunkt der Gesamtkosten höher zu Beginn

¹¹⁵vgl. Arnold u. a. 2008, S. 931.

¹¹⁶eigene Darstellung nach Arnold u. a. 2008, S. 280

Abbildung 2.25: Break-Even-Analyse¹¹⁶

der Periode¹¹⁷. Der Einfluss der laufenden Kosten ist hier schwächer ausgeprägt, da fertigungs- und organisatorischbedingte Synergieeffekte ausgenutzt werden können¹¹⁸. Der Schnittpunkt der beiden Kurven wird als *Break-Even-Punkt* bezeichnet. Ab dieser Grenze lohnt sich eine Eigenfertigung für das Unternehmen.

Zu beachten ist, dass der lineare Anstieg der Kosten eine Vereinfachung ist. In der Praxis kann es vorkommen, dass sich bei einem Anstieg der Produktionsmenge die Fixkosten sprunghaft ändern. Je nach Anwendungsfall entstehen somit unterschiedliche Kurvenformen.

2.5.6 Dynamische Amortisationsrechnung

Der Grundgedanke der dynamischen Amortisationsrechnung ist jener, dass eine Investition umso mehr risikobehaftet ist, je länger es dauert, bis dass die Anfangsauszahlung inklusive Zinsen wieder eingenommen ist. Bei der Verwendung dieser Methodik ist dementsprechend die Amortisationsdauer von entscheidender Bedeutung. Das Instrument der dynamischen Amortisationsrechnung wird auch als dynamische Break-Even-Analyse bezeichnet.

¹¹⁷vgl. Arnold u. a. 2008, S. 279f.

¹¹⁸vgl. Baus, Udo u.a. 1995, S. 122.

Berechnung der Amortisationsdauer:

Wird der Amortisationszeitpunkt x betrachtet entspricht der Anschaffungspreis a_0 den kumulierten abgezinnten Zahlungsüberschüssen. Die zugehörige Formel dazu lautet:

$$\sum_{t=1}^x \frac{e_t - a_t}{(1+i)^t} = a_0 \quad (2.3)$$

Wobei e_t die Einzahlungen und a_t die Auszahlungen zum jeweils betrachteten Zeitpunkt t sind. Der kalkulatorische Zinssatz i ist meist intern vorgegeben. Um die Amortisationsdauer hiermit zu bestimmen, werden die Einzahlungsüberschüsse ($EZÜ = e_t * a_t$) so lange addiert, bis das sie der Anfangsauszahlung a_0 entsprechen. Ist dies bis zum Ende der Nutzungsperiode nicht der Fall, bedeutet dies, dass die Investition den Amortisationszeitpunkt nicht erreicht und somit nicht rentabel ist¹¹⁹.

2.5.7 Morphologie

Diese Methode zergliedert ein betrachtetes Problem in dessen elementare Bestandteile. Für jedes Element werden Lösungsmöglichkeiten und Ausprägungen gesucht. Das Instrument des morphologischen Kastens zählt zu den Kreativitätstechniken und wird grundsätzlich zur Lösungssuche bzw. Ideenfindung eingesetzt. Die Kernpunkte dieser Methodik sind, dass neue innovative Lösungsalternativen bzw. -varianten auf Basis vorhandener Informationen erarbeitet werden können und das das Gesamtproblem systematisch und logisch aufgeteilt wird, was das kombinatorische Denken zur Lösungsfindung fördert.

Der Aufbau eines morphologischen Kastens, wie in Abbildung 2.26 dargestellt, gliedert sich in drei Schritte¹²⁰:

1. Der erste Schritt ist die Definition und Analyse des Problems und dessen Zergliederung in relevante Elemente und Parameter.
2. Jedem Einzelement des Problems werden mögliche Ausprägungen und Al-

¹¹⁹vgl. Schuster und Rüdtt von Collenberg 2017, S. 122ff.

¹²⁰vgl. Schawel und Billing 2009, S. 219f.

ternativen zugeordnet.

3. Aus sämtlichen Kombinationen der Ausprägungen werden Lösungsvarianten entwickelt.

Elemente	Ausprägungen			
Größe				usw.
Farbe				
Material				
Aufdruck				
usw.				

Elemente	Ausprägungen			
Größe	40x50x40 cm	50x50x40 cm	60x50x40 cm	usw.
Farbe	weiß	blau	rot	usw.
Material	Plastik	Karton	Aluminium	usw.
Aufdruck	Firmenlogo	Bildmotiv	kein Druck	usw.
usw.	usw.	usw.	usw.	usw.

Elemente	Ausprägungen			
Größe	40x50x40 cm	50x50x40 cm	60x50x40 cm	usw.
Farbe	weiß	blau	rot	usw.
Material	Plastik	Karton	Aluminium	usw.
Aufdruck	Firmenlogo	Bildmotiv	kein Druck	usw.
usw.	usw.	usw.	usw.	usw.

Abbildung 2.26: Erstellung eines morphologischen Kastens¹²¹

¹²¹eigene Darstellung nach Schawel und Billing 2009, S. 220

Kapitel 3

Anwendung der Wertanalyse zur Verpackungsoptimierung

Dieser Abschnitt beinhaltet die Durchführung des Projektes zur Optimierung von Komponentenverpackungen für die Materialbereitstellung an eine automatische Anlage. Die einzelnen Arbeitsschritte strukturieren sich an der im Kapitel 2.4 beschriebenen Methodik der Wertanalyse nach DIN EN 12973.

Der Beginn des Projektes befasst sich mit der IST-Analyse der jetzigen Verpackungssysteme, welche im Unternehmen verwendet werden. Auf Basis dieser Informationen werden anschließend mittels einem kreativen Lösungsfindungsprozess Ideen und Konzepte alternativer Verpackungsmethoden erarbeitet. Unter der Voraussetzung der Automatisierung geschieht im nächsten Schritt eine Bewertung der erarbeiteten Lösungskonzepte mit einem monetären Vergleich zur IST-Verpackung. Abschließend werden für das WA-Objekt Handlungsempfehlungen ausgearbeitet.

3.1 Vorbereiten des Projektes

Die Entscheidung, dieses Wertanalyseprojekt durchzuführen basiert auf der in Abschnitt 1.3.1.2 aufgeführten Problematik, welche eine Steigerung der Absatzzahlen des in 1.3.1 beschriebenen Produktes herbeiführt. Das zu bearbeitende WA-Objekt dieser Arbeit ist das System der jeweiligen Komponentenverpackungen. Da das Verwenden der bestehenden Verpackungen im Fall einer Automatisierung der Montagelinie hohe Kosten in Form von Personal- und Handlingaufwand verursachen könnte, sollen mithilfe dieses Wertanalyseprojektes Lösungen erarbeitet werden, welche für eine automatisierungsgerechte Materialbereitstellung ausgelegt sind. Mit dieser Auf-

gabenstellung und Festlegung des zu bearbeitenden WA-Objektes startet die nächste Phase des 10-stufigen Arbeitsplans.

3.2 Projektdefinition

Mit dem Abschluss der vorangegangenen Phase kann die Definition des Projekts erfolgen. In diesem Arbeitsschritt wird die Aufgabenstellung konkretisiert, das zu bearbeitenden WA-Objekt festgelegt und ein fester Bezugsrahmen für die Durchführung des Projektes definiert. Diese Rahmenabgrenzung gibt klar die Grenzen in der Wertschöpfung vor, in welchen das WA-Objekt seinen Zweck erfüllt und dementsprechend untersucht wird.

3.2.1 Festlegung des WA-Objektes

Es werden die Verpackungen der Einzelteile und Komponenten des in Abschnitt 1.3.1 beschriebenen Linearantriebes untersucht und so optimiert bzw. gegebenenfalls neu konzeptioniert, dass eine Zuführung an eine automatische Montagelinie möglich ist. Die Stückliste des Aktuators beinhaltet 29 verschiedene Komponenten, wobei neun davon Fertigprodukte und 20 nach Maß gefertigte Bauteile sind. In Tabelle 3.1 ist eine Übersicht der verbauten Einzelteile aufgeführt. Unterschieden wird hier bezüglich der Packgutklassifizierung und dem Herkunftsland der Komponente. Die mit Stern (*) gekennzeichneten Bauteile sind jene, welche als Fertigteil zugekauft werden.

Nr.	Anzahl	Name	Klassifizierung	Bezugsland
1.	1	Steelspindle	Stückgut	EWR
2.	1	Alutube	Stückgut	EWR
3.	1	Nutinsert	Schüttgut	AUT
4.	1	Hollowspindle	Stückgut	AUT
5.	1	Shaft	Stückgut	AUT
6.	1	Motor	Stückgut	Asien
7.	1	Spindle Nut	Schüttgut	AUT
8.	1	Planetcarrier 1	Schüttgut	EWR
9.	1	Planetcarrier 2	Schüttgut	EWR
10.	1	Ringgear	Schüttgut	EWR
11.	3	Planetwheel 1	Schüttgut	EWR
12.	3	Planetwheel 2	Schüttgut	EWR
13.	6	Pin	Schüttgut	AUT
14.	1	Circlip	Schüttgut	AUT
15.	3	Rubber	Schüttgut	Asien
16.	1	Sensorplate	Schüttgut	Asien
17.	1	PCB	Stückgut	Asien
18.	1	Rubberlock	Schüttgut	Asien
19.	1	Cable	Stückgut	Asien
20.	1	Lable Drive*	Rollgut	AUT
21.	1	Lable Sensor*	Rollgut	AUT
22.	1	Lable Box*	Rollgut	AUT
23.	1	Gearbox Grease*	Fließgut	AUT
24.	1	Spindle Grease*	Fließgut	AUT
25.	2	PCB-Screw*	Schüttgut	AUT
26.	1	O-Ring*	Schüttgut	Asien
27.	1	Delta Screw*	Stückgut	AUT
28.	2	Mounting Screw*	Schüttgut	Asien
29.	1	Rivet*	Stückgut	EWR

Tabelle 3.1: Stückliste Linearaktuator

3.2.2 Rahmenbedingungen

Aufgrund der Situation, dass das betrachtete Szenario der Automatisierung, in welcher das System der Verpackung wertanalytisch bearbeitet wird, ein fiktives ist, wird ein klarer Rahmen festgelegt. Die logistische Abgrenzung geschieht beim Versand der verpackten Bauteile nach der Fertigung und endet bei der Entnahme der Komponente durch einen Mitarbeiter bzw. einem automatisiertem System. Im Fall von Mehrwegverpackungen wird zusätzlich die Handhabung des Leerguts und dessen Rückversand betrachtet. Eine Eigenproduktion von Verpackungen wird ausgeschlossen.

In Abbildung 3.1 wird aufgezeigt in welchen Bereichen die logistischen Kosten, welche durch die Verpackung beeinflusst werden, in die Bewertung miteinbezogen werden.

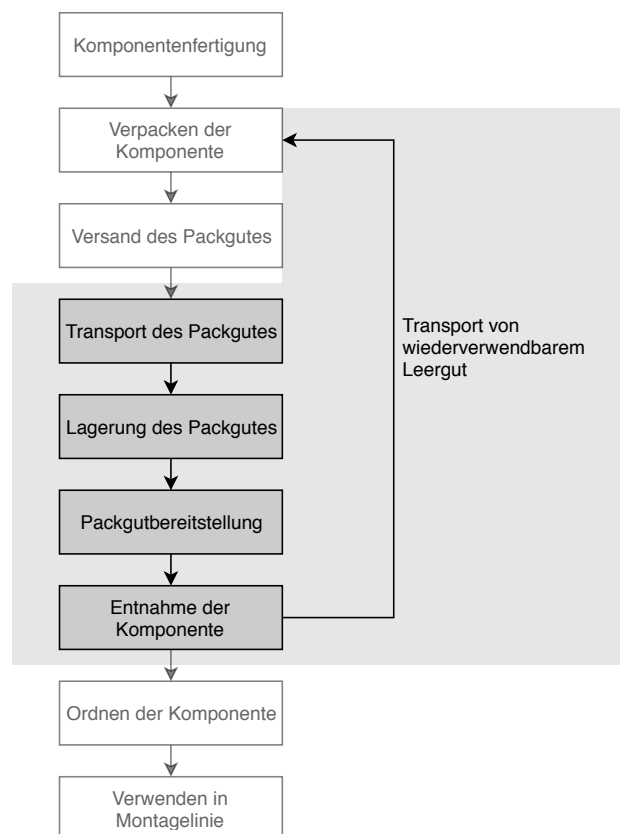


Abbildung 3.1: Logistische Rahmenabgrenzung des WA-Objektes¹

¹eigene Darstellung

3.3 Projektplanung

Mithilfe der Aufgabenstellung und der Abgrenzung der Rahmenbedingungen wird in dieser Phase das Projektteam zur Bearbeitung des Wertanalyseprojektes gebildet. Laut DIN EN 12973 besteht ein Wertanalyseteam aus sechs bis acht Teammitglieder und einem zusätzlichen Moderator. Im Gegensatz dazu besteht bei der Durchführung dieses Projektes das Kernteam ausschließlich aus dem Autor dieser Arbeit. Sämtliche Informationen, welche für die Zielerreichung dieses Projektes notwendig sind, werden von ihm erarbeitet und gegebenenfalls von den Abteilungen und Personen, welche direkt und indirekt mit dem WA-Objekt arbeiten, angefordert. Involviert sind die Abteilungen:

- Forschung und Entwicklung
- Qualitätsmanagement
- Logistikmanagement
- Produktionsmanagement
- strategischer Einkauf
- Produktentwicklung
- strategische Operationseinheit

Für die Phase der Lösungsfindung werden zusätzliche Expertisen aus dem Bereich des Marketings, der Industrialisierung und der Personalentwicklung hinzugezogen.

Der zeitlich geplante Rahmen des Wertanalyseprojektes beträgt sechs Monate. Der in Abbildung 3.2 dargestellte Zeitplan zeigt den geplanten Projektverlauf.

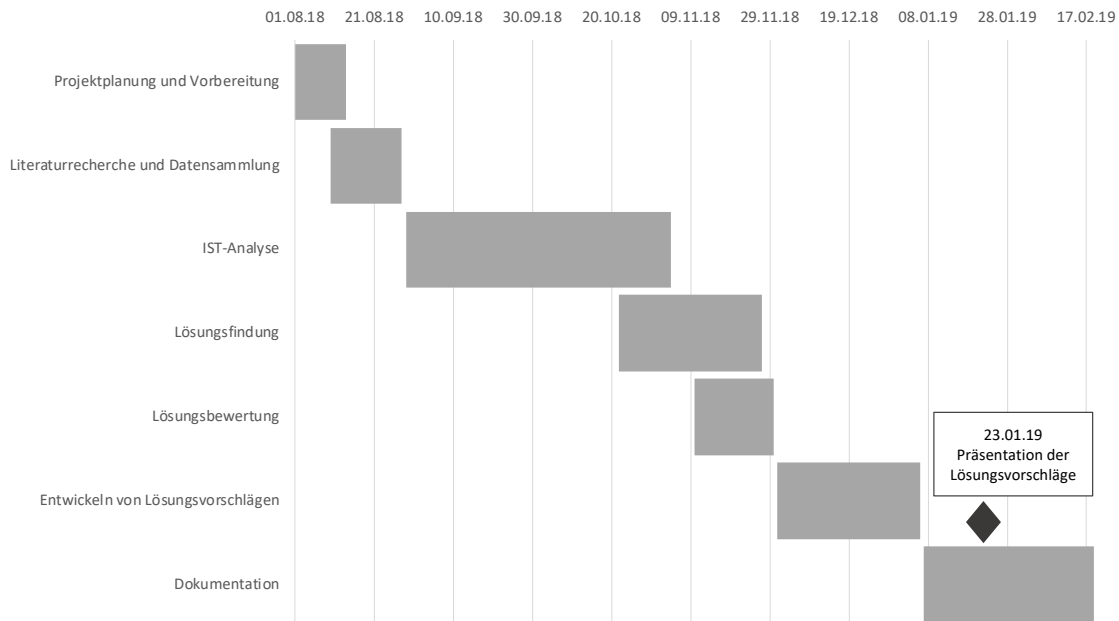


Abbildung 3.2: Projektplan des Wertanalyseprojektes²

3.4 Erhebung des IST-Zustands und Datensammlung

Die Analyse des IST-Zustands der bestehenden Komponentenverpackungen ist einer der Hauptschwerpunkte dieses Projektes. Neben dem eigentlichen Preis der Verpackung werden jene Kosten aufgezeigt, welche während den Transportvorgängen, der Lagerung, Handhabung und Entsorgung entstehen. Zusätzlich wird jede Verpackung in seinen Bestandteilen und Materialien analysiert, klassifiziert und ausgewertet. Neben der IST-Erhebung in Einkauf und Logistik werden Daten aus dem Qualitätsmanagement gesammelt, welche aufzeigen, ob in einer gewissen Zeitperiode Schäden am Packgut entstanden sind, die durch die Verpackung herbeigeführt wurden. Information bezüglich den Komponentenanforderungen an die Verpackung werden aus der Forschung und Entwicklung bezogen. Folgende Liste gibt einen Überblick über die erhobenen Daten:

²eigene Darstellung

- **Informationen aus dem Logistikmanagement**

Die Informationssammlung bezogen auf logistische Aktivitäten teilt sich einerseits in die Transport- und andererseits in die Lagerlogistik auf. Für beide entscheidend ist die Form, das Gewicht und die Beschaffenheit der Verpackungen. Wie in Abschnitt 2.1.1 werden die Komponentenverpackungen in drei Stufen unterteilt, die Primär-, Sekundär- und Tertiärstufe. Aufgrund der Beschaffenheit der Verpackung der Schüttgutbauteile, welche im Linearantrieb verbaut sind, wird die Sekundärverpackung aufgeteilt in zwei Stufen, dem Kunststoff- und den Kartonagenanteil. Zusätzlich wird bei sämtlichen Komponentenverpackungen keine Primärverpackungsstufe erkannt, somit entfällt diese. Die Tertiärverpackungen werden in einem Großteil der Fälle durch die Bildung einer Ladeinheit aus einer Palette und Umhüllung durch eine Kunststoffschutzfolie erzeugt. Als Pack- und Ladehilfsmittel kommen Klebe-, Krepp- und Umreifungsband zum Einsatz. Zusätzlich zur Dokumentation der eingesetzten Packmittel und Materialien werden die Kosten bezüglich Transport, Handhabung, Lagerung und Entsorgung aufgenommen.

- **Informationssammlung in der Forschung & Entwicklung**

Jedes Packgut stellt unterschiedliche Ansprüche an die Art seiner Verpackung. Wie in Abschnitt 2.1.2 erläutert ist eine Hauptfunktion, welche die Komponente selbst betrifft, die Schutzfunktion. Zur Erfüllung dieser gibt das Konstruktionsteam, welches die Komponente entwickelt, vor, wie und in welcher Art das Werkstück verpackt werden soll, um dessen Schutz zu gewährleisten. Die Abteilung der Forschung & Entwicklung im Unternehmen gibt hier jeweils Grenzwerte vor, in welcher die Verpackung den Schutz der Komponente sicherstellen muss. Konkret wird der Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbereich definiert, in dem die Verpackung die Schutzfunktion erfüllen soll. In manchen Fällen wird zusätzlich der Einsatz von Silikagel zur Feuchtigkeitsabsorption oder ein luftdichtes Verpacken vorgeschrieben.

- **Informationssammlung im Qualitätsmanagement**

Für die Erhebung der IST-Daten bezüglich der Qualitätssicherung wird eine unternehmensinterne Datenbank herangezogen. In dieser sind sämtliche Fälle dokumentiert, in welchen Qualitätsmängel, auftretende Schäden, Ursachen, etc. aufgetreten sind.

- **Strategischer Einkauf**

Für die Erhebung der IST-Kosten der Verpackung, welche vom Fertigungsunternehmen veranschlagt werden, werden für jedes Bauteil der Stückliste direkte Anfragen gestellt. Im Fall von Schüttgut ist in 5 von 17 Fällen ein Prozentanteil von 3 bis 6% des Komponentenpreises der Verpackung zugerechnet.

Mit diesen Daten wird festgestellt, welche Menge an Verpackungsmaterial und anfallende Verpackungs- und Transportkosten pro produziertem Linearantrieb insgesamt anfallen. Die ist in Tabelle 3.2 dargestellt.

	pro produzierter Lineareinheit
Papier und Kartonagen	76,87 g
Kunststoff	8,72 g
Holz	125,44 g
Komponentenverpackungskosten*	€0,18
Komponententransportkosten*	€0,698

Tabelle 3.2: Verpackungsmaterial und Verpackungskosten pro Produkt

Die gesamten erhobenen Daten pro Komponente sind in Tabelle 3.3 beispielhaft am Bauteil *Nutinsert* zusammengefasst. Die gesammelten Informationen für die Bauteile, für die optimierte Verpackungskonzepte erarbeitet werden, sind im Anhang ersichtlich. Jene Werte, welche mit einem Stern (*) gekennzeichnet sind, sind aufgrund betriebsinterner Daten verfälscht.

	Nr. 3 Nutinsert
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø38*38,5 mm (zylindrisch)
Gewicht	16,38 g
Packgutklassifizierung	Schüttgut
bevorzugte Lage	variabel
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-35 bis +55°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	10 bis 95%
zusätzlich	luftdicht verpackt mit Silikagel
Sekundärverpackung Stufe 1	PE-Beutel
Anzahl pro KRT	1
Einzelgewicht	100 g
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonschachtel
Abmessungen	40*40*30 cm
Einzelgewicht	672 g
Komponenten pro Karton	900 Stk.
Tertiärverpackung	
Kartons pro Ladeinheit	18 Stk.
Ladehilfsmittel	DIN-Palette
Sicherungsmittel	132 g (Kunststoffumhüllung)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	1,93 kg
Karton	12,1 kg
Holz	28 kg
Klebeband	140 cm ±5%
Schutzfunktion erfüllt?	keine Mängel feststellbar
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,0016932
Transportkosten pro Komponente*	€0,00793

Tabelle 3.3: Beispiel erhobener Verpackungsdaten

3.5 Detail- und Funktionenanalyse

Mit den Daten, welche in der IST-Zustandserhebung erarbeitet wurden, wird in dieser Phase mit der Analyse begonnen. Im ersten Schritt geschieht eine Priorisierung der Stückliste in Anlehnung an die ABC-Analyse, wobei Einflussfaktoren wie die Beeinflussbarkeit des Unternehmens und geplante Konstruktionsänderungen mit einfließen. Im nächsten Schritt wird eines der Kernelemente der Wertanalyse angewandt, die Funktionenanalyse.

3.5.1 Priorisierung der Stückliste

Die Klassifizierung und Aufteilung der Komponentenverpackungen in Gruppen geschieht mithilfe der möglichen Autonomiezeit der Verpackungseinheiten (siehe Formel 2.2 auf Seite 31) und der Anzahl der manuell notwendigen Arbeitsschritte bis zur Entnahme der Komponenten. In Tabelle 3.4 sind die ermittelten Daten mit der Unterteilung in vier Gruppen ersichtlich. Diese sind in Abbildung 3.3 dargestellt. Mithilfe dieser Einteilung, der Beeinflussbarkeit der Verpackung durch das Unternehmen und den absehbaren konstruktiven Änderungen wird die Stückliste von 29 Stück auf 13 Einzelteile reduziert (siehe Tabelle 3.5). In den folgenden Phasen wird mit den Verpackungen dieser 13 priorisierten Komponenten weiter gearbeitet.

Tabelle 3.4: Priorisierung der Stückliste

Name	Anzahl Handlungsschritte	theoretische Autonomiezeit	Gruppe
Sensorplate	8	0,8h	A
PCB	7	3,75h	A
Steelspindle	6	0,5h	A
Rubberlock	7	2,5h	A
Ringgear	7	3h	A
Shaft	7	1,92h	A
Cable	8	2h	A
Motor	8	0,24h	A
Hollowspindle	7	1,1h	A
Alutube	5	5,79h	B
Spindle Nut	7	10h	B

Tabelle 3.4 fortgesetzt: Priorisierung der Stückliste

Mounting Screw	5	10h	B
Nutinsert	7	9h	B
Planetwheel 1	7	10h	B
Planetwheel 2	7	10h	B
Planetcarrier 1	7	10h	B
Planetcarrier 2	7	10h	B
Lable Box	4	9h	B
PCB-Screw	4	25h	C
Gearbox Grease	5	20,83h	C
Rubber	7	15h	C
Circlip	7	25h	C
Pin	7	16,67h	C
Spindle Grease	5	31,25h	D
O-Ring	5	600h	D
Rivet	5	673,55h	D
Delta Screw	5	150h	D
Lable Sensor	4	50h	D
Lable Drive	6	75h	D

Nr.	Name
1	Steelspindle
2	Alutube
3	Nutinsert
4	Hollowspindle
5	Shaft
6	Motor
7	Spindle Nut
8	Planetcarrier 1
9	Planetcarrier 2
10	Ringgear
11	Planetwheel 1
12	Planetwheel 2
13	Pin

Tabelle 3.5: Priorisierte Stückliste

3.5.2 Zeitanalyse der IST-Verpackung

Aufgrund der Tatsache, dass zum Zeitpunkt der Durchführung dieses Projektes keine automatische Montagelinie im Unternehmen betrieben wird, existieren keine Daten bezüglich einer automatisierten Materialbereitstellung. Von Bedeutung sind hier insbesondere die notwendigen manuellen Handhabungszeiten, welche ein Mitarbeiter jeweils pro Verpackung für die Auslagerung bis hin zur Bestückung benötigt. Eine Abschätzung dieser Zeiten ist unumgänglich, da die exakte Bewertung der zu erarbeitenden Lösungen eine Referenz zum Vergleich voraussetzt. Die Arbeitsschritte Auslagern, Öffnen der Verpackungsstufen und Entnehmen mit den jeweiligen Zeiten werden direkt gemessen. Die Durchlaufzeiten jener Vorgänge, welche das Vorhandensein einer automatisierten Anlage voraussetzen, werden mithilfe von Erfahrungswerten abgeschätzt. Mit dieser Methode werden für jede Komponentenverpackung der 13 priorisierten Werkstücke die Handhabungszeiten manueller Arbeitsschritte, welche für die automatische Herstellung eines Linearantriebs anfallen, ermittelt (siehe Tabelle 3.6).

Nr.	Name	Handhabungszeit pro produziertem Linearantrieb*
1	Steelspindle	5,564 sec
2	Alutube	7,07 sec
3	Nutinsert	0,066 sec
4	Hollowspindle	6,925 sec
5	Shaft	6,78 sec
6	Motor	13,67 sec
7	Spindle Nut	0,066 sec
8	Planetcarrier 1	0,0396 sec
9	Planetcarrier 2	0,0396 sec
10	Ringgear	2,749 sec
11	Planetwheel 1	0,0396 sec
12	Planetwheel 2	0,0396 sec
13	Pin	0,0264 sec

Tabelle 3.6: theoretische Handhabungszeiten der IST-Verpackungen

Gemessen wurde die Zeit, vom Auslagern einer Verpackungseinheit bis zu Entnahme einer Komponente. Dieser Wert wurde auf die Anzahl der jeweils notwendigen Handhabungsschritte pro Stunde kumuliert. Eine Addition dieser Werte ergibt die Handhabungszeit pro produzierter Lineareinheit. Eine Multiplikation mit dem aktuellen Stundensatz eines Werkmitarbeiters ergibt die anfallenden Kosten der IST-

Verpackungen bei Verwendung an einer automatisierten Montagelinie. Die analysierten Handhabungsschritte pro Komponentenverpackung setzen sich zusammen aus den Vorgängen:

1. Tertiäreinheit bereitstellen
2. Tertiärverpackung entfernen
3. Sekundärverpackung Stufe 2 entnehmen und abstellen
4. Sekundärverpackung Stufe 2 öffnen
5. Sekundärverpackung Stufe 1 entnehmen und abstellen
6. Sekundärverpackung Stufe 1 öffnen
7. Komponente entnehmen bzw. Sekundärverpackung Stufe 1 entleeren

Am Beispiel der Komponente Motor ergeben sich laut Tabelle 3.7 folgende Schrittzeiten:

Schritt	Schrittzeit*	kumulierte Handhabungszeit pro produziertem Linearantrieb*
1.	80 sec	0,0833 sec
2.	40 sec	0,04167 sec
3.	10 sec	0,4167 sec
4.	15 sec	0,625 sec
5.	10 sec	1,25 sec
6.	10 sec	1,25 sec
7.	10 sec	10 sec
	Summe	13,67 sec

Tabelle 3.7: Aufteilung der Handhabungszeiten

Jene Werte, welche mit einem Stern (*) gekennzeichnet sind, sind aufgrund von betriebsinterner Daten verfälscht.

3.5.3 Funktionenanalyse

Zur Erstellung der Funktionenstruktur bzw. dem Funktionenbaum werden die spezifischen Verpackungsfunktionen aus Abschnitt 2.1.2 herangezogen und für die Aufgabenstellung konkretisiert. Mithilfe der zu erfüllenden Ziele, der Daten aus der IST-Analyse und den Informationen aus der Literatur und Praxis wird ein Funktionenkatalog erstellt. In diesem sind die SOLL-Funktionen einer automatisierungsgerechten, umweltfreundlichen und hochwertigen Verpackung aufgeführt und beschrieben. Für jede der 13 Komponenten aus der priorisierten Stückliste werden die Funktionen nach ihrem *Funktionserfüllungsgrad* bewertet (siehe Abschnitt 2.5.1.3). Die so ermittelten Funktionen sind im *Funktionenbaum* strukturiert und gegliedert. Die identifizierten Hauptfunktionen sind:

- *Packgutwert erhalten*
- *Handling gewährleisten*
- *Umwelt schützen*

Zu deren Erfüllung ist es erforderlich, dass die jeweiligen Nebenfunktionen ebenfalls erfüllt sind. Der Funktionserfüllungsgrad jeder einzelnen Funktion ist mittels einer Farbskala dargestellt (grün: 90-100%, orange: 50-90%, rot: unter 50%). Jene Funktionen, welche für die jeweils bewertete Komponentenverpackung nicht relevant sind, sind grau markiert. Zusätzlich dazu sind jene Anforderungen, welche eine automatisierte Produktionsanlage an die Verpackung stellt (siehe dazu Abschnitt 2.3.1) mit einer gestrichelten Linie umrandet. In den Abbildungen 3.4 bis 3.6 ist ein solch bewerteter Funktionenbaum am Beispiel der Komponente *Steelspindle* dargestellt.

Unerwünschte Funktionen, welche eine Verpackung aufweisen kann, wie z.B. *Müll erzeugen*, werden positiv umformuliert, sodass das Ziel deren Erfüllung ist. Die Funktion *Müll erzeugen* wandelt sich so in *Müllerzeugung reduzieren* um. Die Methode führt dazu, dass im gesamten Funktionenkatalog keine unnötigen bzw. unerwünschten Funktionen identifiziert werden.

Der klassische Weg der Wertanalyse wäre hier nun eine Funktionenkosten- und Potentialanalyse durchzuführen. Aufgrund des fiktiven Szenarios der Automatisierung und der Aufgabenstellung Alternativen und neue Verpackungskonzepte aufzuzeigen und zu erarbeiten, entfällt dieser Schritt bei der Durchführung dieser Arbeit.

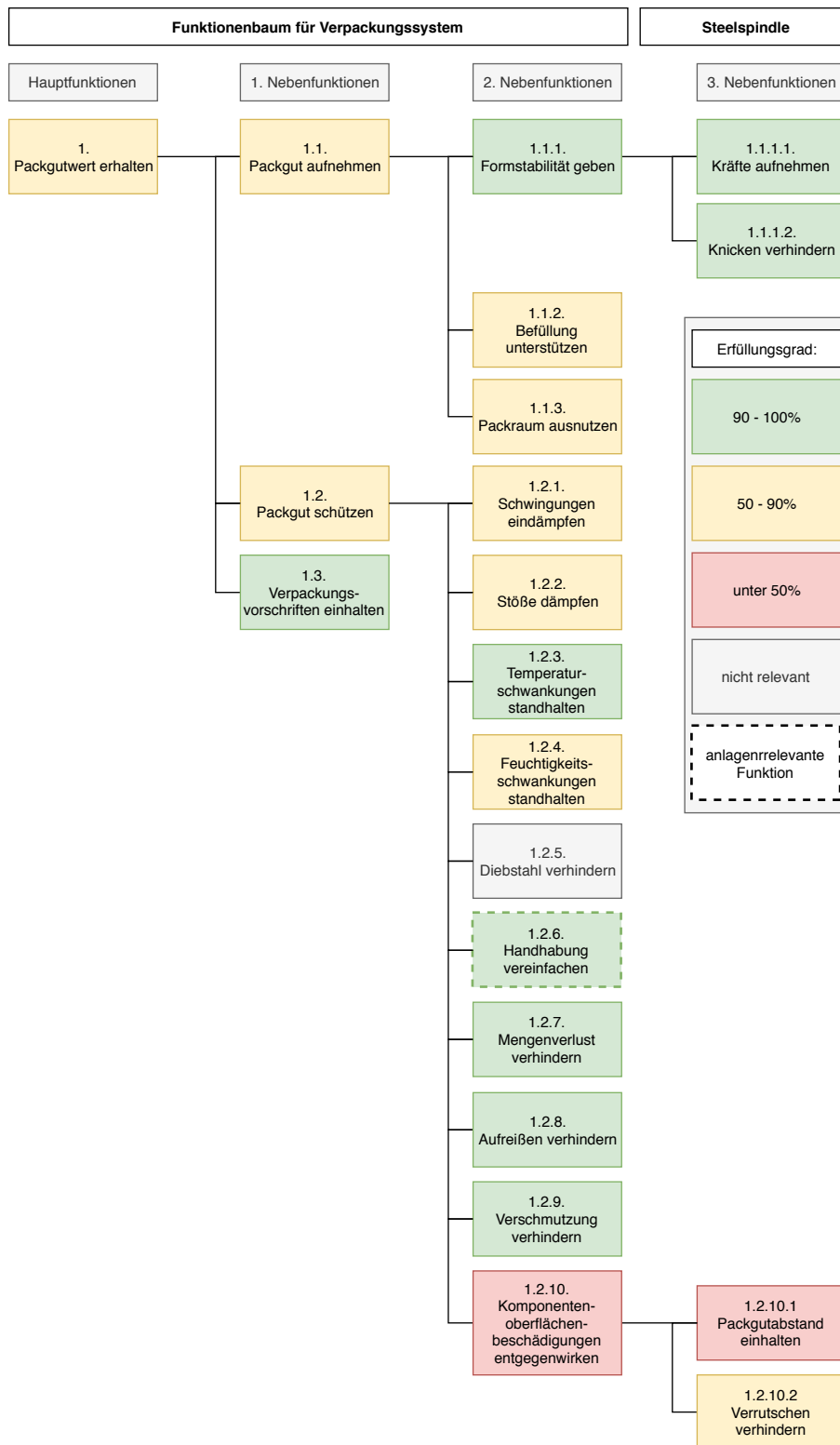


Abbildung 3.4: Funktionsbaum Steelspindle Teil 1³

³eigene Darstellung

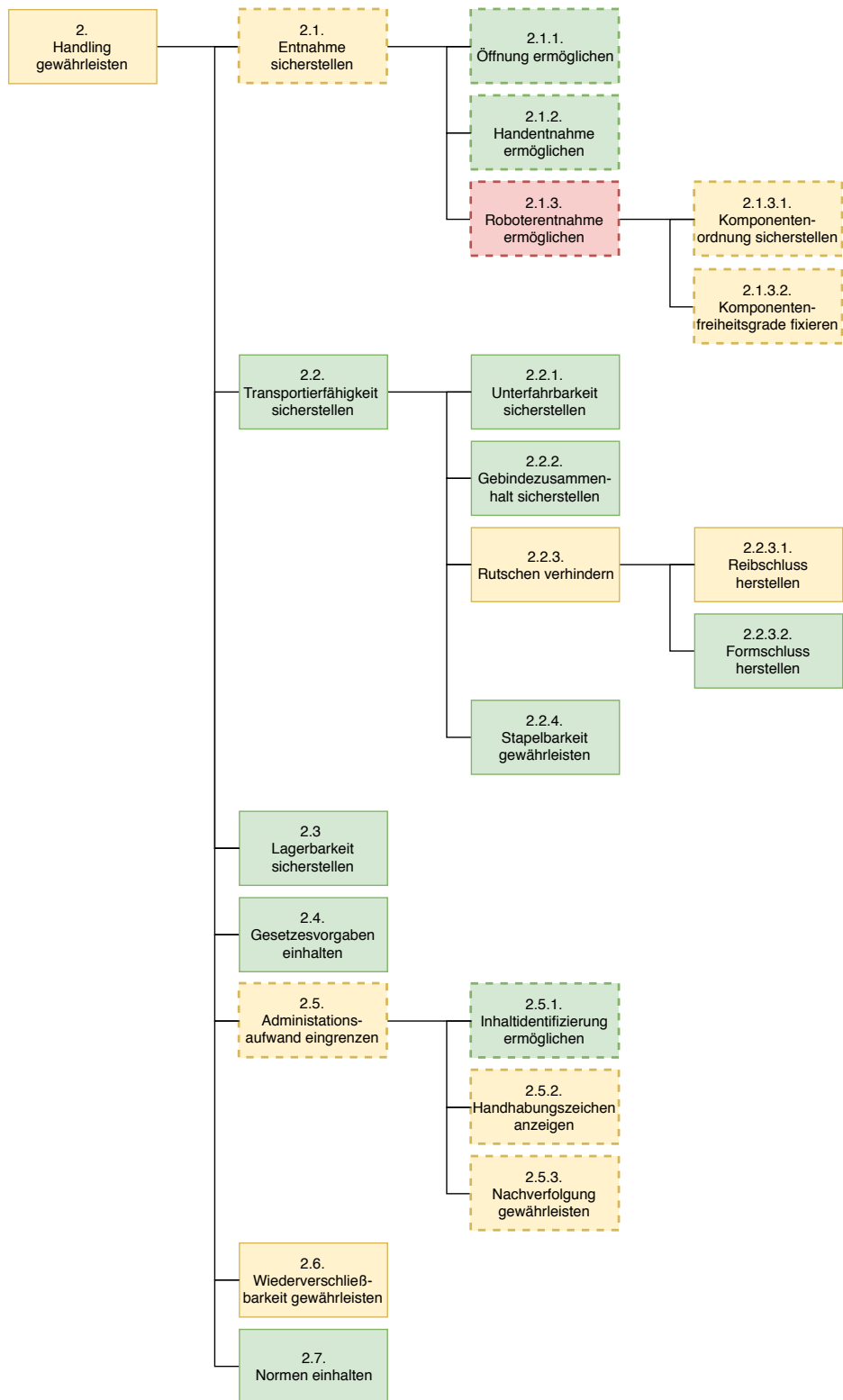


Abbildung 3.5: Funktionenbaum Steelspindle Teil ²⁴

⁴eigene Darstellung

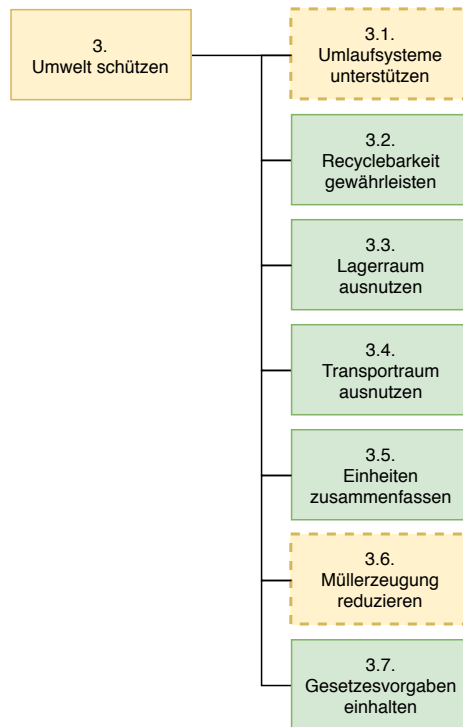


Abbildung 3.6: Funktionenbaum Steelspindle Teil 3⁵

Nach Abschluss der Bewertung nach Funktionserfüllungsgrad der IST-Verpackungen liegen 13 analysierte Funktionenbäume vor. Für die nächste Phase des Projektes, die der Ideengenerierung, werden jene Funktionen benötigt, die unter- bzw. nur teilweise erfüllt sind. Mithilfe dieser können gezielt Lösungen zur Erfüllung der Funktionen gefunden bzw. erarbeitet werden.

In Tabelle 3.8 sind jene Funktionen, welche nur teilweise bzw. untererfüllt sind, dargestellt. Diese kristallisieren sich bei einem Großteil der Komponentenverpackungen heraus. Eine Zusammenfassung aller identifizierten SOLL-Funktionen der Komponentenverpackung ist in Tabelle 3.9 dargestellt. Mit Ende dieser Projektphase ist die IST-Analyse abgeschlossen. Die nächsten Schritte konzentrieren sich auf die Erarbeitung alternativer Lösungswege und Generierung neuer Ideen für Verpackungskonzepte.

⁵eigene Darstellung

Nr.	Funktion	Beschreibung	Ø–FEG
1.1.3	Packraum ausnutzen	Der von der Verpackung bereitgestellte Packraum soll so gut wie möglich ausgenutzt werden (begrenzt durch Packgutgewicht und Qualitätskriterien).	74,85%
1.2.6.	Handhabung vereinfachen	Die Manipulation und Handhabung der Verpackung durch einen Arbeiter bzw. einem automatischen System soll so einfach wie möglich sein.	73,07%
2.1.3	Roboterentnahme ermöglichen	Ein automatisches System (z.B. Robotergreifer) soll in der Lage sein, einzelne Teile des Packguts bzw. den gesamten Inhalt zu entnehmen. Voraussetzung ist ein minimales Eingreifen eines Werkarbeiters.	10%
2.2.2	Gebindezusammenhalt sicherstellen	Eine Ladeinheit muss in sich so stabil sein, dass beim Transport keine Verschiebung der einzelnen Verpackungen geschieht.	70,77%
3.1.	Umlaufsysteme unterstützen	Das Verpackungssystem bzw. Teile davon sollen, wenn möglich, mehr als einmal verwendet werden können.	18,46%
3.6.	Müllerzeugung reduzieren	Menge an nichtrecyclingfähigen Materialien bei der Verwertung gering halten.	59,61%

Tabelle 3.8: Funktionen für Lösungsfindung

Tabelle 3.9: SOLL-Funktionen-katalog der Verpackung

Nr.	Funktion	Beschreibung
1.	Packgutwert erhalten	Qualität der verpackten Ware bzw. Komponente durch die Verpackung erhalten und schützen
1.1.	Packgut aufnehmen	Raum für die Aufnahme von Packgütern erzeugen
1.1.1.	Formstabilität geben	stabile Struktur bereitstellen
1.1.1.1.	Kräfte aufnehmen	Innere und äußere statische einwirkende Kräfte aufnehmen und nicht an das Packgut weitergeben (Innen: Packgutgewicht * Anzahl * 9,81 m/s ² ; Außen: (max. Stapelhöhe-1)*20kg*9,81m/s ²)
1.1.1.2.	Knicken verhindern	Einknicken der Verpackungen bei Übereinanderstapelung verhindern (max. Stapelhöhe beachten)
1.1.2.	Befüllung unterstützen	manuelle bzw. automatische Befüllung beim Hersteller unterstützen
1.1.3	Packraum ausnutzen	Der von der Verpackung bereitgestellte Packraum soll so gut wie möglich ausgenutzt werden (begrenzt durch Packgutgewicht und Qualitätskriterien).
1.2.	Packgut schützen	Schutz vor äußeren Einflüssen sicherstellen
1.2.1.	Schwingungen dämpfen	dynamisch einwirkende Kräfte wie Schwingungen durch z.B. Transport aufnehmen und dämpfen
1.2.2.	Stöße dämpfen	auftretende Stöße durch z.B. Transport aufnehmen und dämpfen
1.2.3.	Temperaturschwankungen standhalten	richtige Lager- und Transporttemperatur gewährleisten (siehe Komponentenspezifikationen) um plastische Verformungen zu unterbinden

Tabelle 3.9 fortgesetzt: SOLL-Funktionen katalog der Verpackung

1.2.4.	Feuchtigkeitsschwankungen standhalten	richtige Lager- und Transportfeuchtigkeit gewährleisten (siehe Komponentenspezifikationen) um Korrosion und Geometrieänderungen zu verhindern
1.2.5.	Diebstahl verhindern	Diebstahl auf der gesamten Logistikkette gezielt unterbinden
1.2.6.	Handhabung vereinfachen	Die Manipulation und Handhabung der Verpackung durch einen Arbeiter bzw. einem automatischen System soll so einfach wie möglich sein.
1.2.7.	Mengenverlust verhindern	Geschlossenen System bilden um Mengenverlust zu verhindern.
1.2.8.	Aufreißen verhindern	Selbstständiges Aufreißen der Verpackung aufgrund z.B. des Packgutgewichts oder falscher Handhabung verhindern.
1.2.9.	Verschmutzung verhindern	Geschlossenen System bilden um eindringende Verschmutzung zu verhindern.
1.2.10.	Komponentenoberflächenbeschädigungen entgegenwirken	Packgut untereinander soll je nach Komponentenspezifikation vor Berührung untereinander geschützt sein
1.2.10.1.	Packgutabstand einhalten	Packgut untereinander soll je nach Komponentenspezifikation einen bestimmten Abstand zueinander einhalten
1.2.10.2.	Verrutschen verhindern	Verrutschen des Packguts bei z.B. Transport unterbinden
1.3.	Verpackungsvorschriften einhalten	Firmeninterne Vorgaben laut Verpackungsvorschrift einhalten
2.	Handling gewährleisten	Die Verpackung soll in der Lage sein, von einem manuellen bzw. automatischen System manipuliert und bearbeitet werden zu können

Tabelle 3.9 fortgesetzt: SOLL-Funktionen-katalog der Verpackung

2.1.	Entnahme sicherstellen	Die Verpackung soll eine sichere und vollständige Packgutentnahme bzw. Entleerung unterstützen und ermöglichen
2.1.1.	Öffnung ermöglichen	Das geschlossene System der Verpackung soll zu einer Seite hin geöffnet werden können und sich nicht von selbst wieder verschließen.
2.1.2.	Handentnahme ermöglichen	Ein z.B. Werksarbeiter soll einzelne Teile des Packguts bzw. den gesamten Inhalt manuell der Verpackung entnehmen können.
2.1.3	Roboterentnahme ermöglichen	Ein automatisches System (z.B. Robotergreifer) soll in der Lage sein, einzelne Teile des Packguts bzw. den gesamten Inhalt zu entnehmen. Voraussetzung ist ein minimales Eingreifen eines Werkarbeiters.
2.1.3.1.	Komponentenordnung sicherstellen	Eine beim Verpackvorgang definierte und hergestellte Ordnung der einzelnen verpackten Komponenten bzw. des Packguts darf nicht wieder zerstört werden.
2.1.3.2.	Komponentenfreiheitsgrade fixieren	Das Packgut muss in seinen Freiheitsgraden so fixiert sein, dass eine automatische Entnahme möglich ist.
2.2.	Transportierfähigkeit sicherstellen	Das Verpackungssystem muss zu Ladeeinheiten zusammengefasst werden können, um diese effizient transportabel zu machen.
2.2.1.	Unterfahrbarkeit sicherstellen	Eine Ladeeinheit, bestehend aus mehreren Verpackungen, soll mittels mechanischer Hilfe (z.B. Hubwagen) unterfahrbar sein.

Tabelle 3.9 fortgesetzt: SOLL-Funktionenkatalog der Verpackung

2.2.2	Gebindezusammenhalt sicherstellen	Eine Ladeinheit muss in sich so stabil sein, dass beim Transport keine Verschiebung der einzelnen Verpackungen geschieht.
2.2.3.	Rutschen verhindern	Ein Verrutschen bzw. selbstständiges Verschieben der Verpackung bei Bewegungsvorgängen muss unterbunden werden.
2.2.3.1.	Reibschluss herstellen	Die hohe Reibung an den Berührflächen Verpackung an Verpackung bzw. Verpackung an Untergund verhindert ein Verrutschen.
2.2.3.2.	Formschluss herstellen	Durch äußere geometrische Merkmale der Verpackung entsteht eine formschlüssige Verbindung durch das Ineinandergreifen von mindestens zwei oder mehreren Verpackungen.
2.2.4.	Stapelbarkeit gewährleisten	Ein Übereinanderstapeln einzelner Verpackungen soll die Stabilität nicht beeinträchtigen
2.3.	Lagerbarkeit sicherstellen	Die Verpackung bzw. Ladeinheiten überschreiten die maximale Größe für Lagerräume nicht (Grundfläche 120*80cm, Höhe max. 135cm)
2.4.	Gesetzesvorgaben einhalten	Die maximal physische Belastung eines Menschen darf nicht überschritten werden (bei manueller Manipulation max. 20kg, Maße 570*400*300mm). Die gesetzlichen Vorgaben zur Arbeitssicherheit müssen eingehalten und Verletzungsgefahr verhindert werden.

Tabelle 3.9 fortgesetzt: SOLL-Funktionen-katalog der Verpackung

2.5.	Administrationsaufwand eingrenzen	Die Manipulation, Handhabung und Organisation der Verpackungen soll einen geringen Administrationsaufwand aufweisen.
2.5.1.	Inhaltidentifizierung ermöglichen	Durch erkennbare Außenmerkmale bzw. außen angebrachte Zeichen soll der Inhalt identifiziert werden können.
2.5.2.	Handhabungszeichen anzeigen	Außen angebrachte bzw. aufgedruckte Zeichen geben Hinweis auf die richtige Handhabung wie Stapelhöhe, Orientierung, Lagerkonditionen usw.
2.5.3.	Nachverfolgung gewährleisten	Außen angebrachte bzw. aufgedruckte Zeichen geben Hinweis auf die richtige Handhabung wie Stapelhöhe, Orientierung, Lagerkonditionen usw.
2.6.	Wiederverschließbarkeit gewährleisten	Nach der Öffnung einer Verpackung soll diese wieder sicher verschließbar sein (z.B. einzelne Entnahme für Qualitätssicherung)
2.7.	Normen einhalten	Normen bezüglich Verpackungssysteme, Abmaße, Mehrwegsysteme, Lagerung, Transport und Sicherheit einhalten
3.	Umwelt schützen	Der ökologische Einfluss bei der Herstellung, Verwendung und Verwertung des Verpackungssystems soll so gering wie möglich sein
3.1.	Umlaufsysteme unterstützen	Das Verpackungssystem bzw. Teile davon sollen, wenn möglich, mehr als einmal verwendet werden können.
3.2.	Recyclebarkeit gewährleisten	Die verwendeten Materialien und Hilfsmittel zur Erstellung des Verpackungssystems sollen bei Verwertung recyclebar bzw. wiederverwendbar sein

Tabelle 3.9 fortgesetzt: SOLL-Funktionen-katalog der Verpackung

3.3.	Lagerraum ausnutzen	Zur Reduzierung der ökologischen Faktoren bzgl. Lagerung soll der vorhandene Lagerraum so gut und effizient wie möglich von der Verpackungssystemen ausgenutzt werden.
3.4.	Transportraum ausnutzen	Zur Reduzierung der ökologischen Faktoren bzgl. Transport und effizienter Ausnutzung des Transportmittels soll der vorhandene Transportraum so gut wie möglich von der Verpackungssystemen ausgenutzt werden.
3.5.	Einheiten zusammenfassen	Einzelne Verpackungssysteme zu Ladeeinheiten zusammenfassen um Transport- und Lagergrundfläche auszunützen
3.6.	Müllerzeugung reduzieren	Menge an nichtrecyclingfähigen Materialien bei der Verwertung gering halten.
3.7.	Gesetzesvorgaben einhalten	Gesetzlichen Vorgaben bzgl. ökologischem Einfluss der Verpackung einhalten.

3.6 Lösungsfindung

Mit Abschluss der Datenerhebung und IST-Analyse beginnt in diesem Arbeitsschritt die kreative Ideenfindungsphase. Im Rahmen von zwei Kreativworkshops im Unternehmen werden Ideen und Lösungen für die in der Aufgabenstellung aufgeführten Problematik erarbeitet. Die so gesammelten Konzepte werden im Anschluss vom Wertanalyse-Moderator weiter ausgearbeitet und erweitert und abschließend auf Funktionserfüllung überprüft.

3.6.1 Ideengenerierung durch Kreativworkshops

Das Ziel eines solchen Kreativworkshops ist es, eine große Anzahl von verschiedensten Ideen aus unterschiedlichsten Standpunkten zu generieren, deshalb geschah die Auswahl der Teilnehmer in Hinblick auf ihre jeweilige Aufgabe im Unternehmen und deren Bezug zum Thema Verpackung. Die so ausgewählten Personen vertreten jeweils folgende Abteilung im Unternehmen:

- Projektmanagement
- Produktionsmanagement
- Industrialisierung
- Strategischer Einkauf
- Personalentwicklung
- Lager- und Logistikmanagement
- Marketing
- Qualitätsmanagement
- Forschung & Entwicklung Mechanik

Der zeitliche angesetzte Rahmen beider Workshops beträgt je einen halben Tag mit jeweils fünf Teilnehmern. Da manche der 13 Komponenten vergleichbare Geometrien und Spezifikationen aufweisen, werden zur Erarbeitung neuer Ideen vier repräsentative Bauteile ausgewählt:

- Steelspindel (bearbeitet nur im 1. Workshop)
- Hollowspindle (bearbeitet nur im 2. Workshop)
- Alutube
- Nutinsert

Der Ablauf beider Kreativworkshops gliederte sich in:

1. Einführung in den Projektfortschritt und Erleuterung der Methodik Wertanalyse:

Da zur Durchführung dieses Wertanalyseprojektes kein interdisziplinäres Team zur Bearbeitung gebildet worden ist, sondern es vom Autor dieser Arbeit bearbeitet wird, war es notwendig, die Teilnehmer der beiden Lösungsfindungsworkshops die Methode der Wertanalyse in groben Zügen näher zu bringen. Zusätzlich dazu wurde der zu diesem Zeitpunkt aktuelle Projektfortschritt präsentiert.

2. offenes Brainstorming:

Um die Workshopteilnehmer auf das Thema der Verpackung einzustimmen, wurde mit der Frage bezüglich möglicher Verpackungsvarianten ein Gruppenbrainstorming initiiert. Hier galt es, dass zusätzlich zu den industriellen Verpackungen, jene aus dem Haushalt oder alltäglichem Leben herausgearbeitet werden sollten. Mit Stichworten wurden Packmaterialien, Verpackungsformen, -varianten und -systeme aufgezeigt. Wie in Tabelle 3.10 wurden folgende Ideen gesammelt:

Metallkiste	Steige	Glasflasche	Schlauch
Eierkarton	Röhren	Vasen	Kisten
Säcke	Fässer	Wabenstruktur	Folie
Beschichtung	Einweg	Umlauf	Tiefziehtray
Watte	Maisstärke	Styropor	Luftpolster
Hängegestell	Faserform	WPC	Kunststoff
Holz	Papier	Glas	Metall
schwimmend	liegend	stehend	hängend
nachhaltig	leicht	wiederverwendbar	kostengünstig
schützend	identifizierbar	stapelbar	platzsparend

Tabelle 3.10: Ergebnisse aus Brainstorming

3. Brainwriting anhand untererfüllter Funktionen:

Unter Anwendung der 635-Methode wurden die in der vorherigen Phase identifizierten untererfüllten Funktionen (Tabelle 3.8) in den Lösungsfindungsprozess mit einbezogen. Die Aufgabe eines jeden Teilnehmers war es, innerhalb von zwei bis drei Minuten ein Stichwort zu finden, wie eine der aufgeführten Funktionen bei der Gestaltung der Verpackung einer der vier Komponenten

erfüllt werden könnte. Dieses sollte in einem vorbereiteten Formular eingetragen werden. Sobald dies bei jedem der Fall war, wurde das Formular im Uhrzeigersinn weitergereicht. Innerhalb der selben Zeit, musste anschließend jeder Teilnehmer das von ihm gewählte Stichwort zur Funktionserfüllung aufgreifen und erweitern. Dieser Vorgang wurde solange wiederholt, bis das jeder Teilnehmer sein Formular, mit welchem er begann, wieder vor sich hat.

Anhand dieser Methode wurden 30 verschiedene Lösungsansätze erarbeitet. Abbildung 3.7 zeigt das Ergebnis einer solcher Runden. In diesem Fall wurde die Komponente Steelspindle mit der Funktion 1.2.6. Handhabung vereinfachen bearbeitet.

Brainwriting	
Name	Teilnehmernahme Komponente Steelspindle
Funktion	1.2.6. Handhabung vereinfachen
1	<ul style="list-style-type: none"> • eigene Box • stehend liefern in Kunststoffclips • kann wieder zum Lieferanten rückgeführt werden
2	<ul style="list-style-type: none"> • Magazine, wo Rohre eingespannt und aufgerollt werden würden automatische Entnahme gewährleisten
3	<ul style="list-style-type: none"> • ist sehr platzsparend • Magazine können wiederverwendet werden
4	<ul style="list-style-type: none"> • Magazine nicht aufgestellt sondern liegend in großen Boxen schichten • könnten auch auf Trommel aufgerollt werden
5	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichkeit, das die gleiche Verpackung vom Lieferanten für Rohmaterial bis zum Endkunden werden kann

Abbildung 3.7: Brainwritingformular aus Kreativworkshop⁶

⁶eigene Darstellung in Anlehnung an Ergebnis des Ideenfindungsworkshop

4. Detaillierung einer Idee in Teams:

Zwei bzw. drei Teilnehmer der Kreativworkshops bildeten jeweils ein Team. Innerhalb von 30 Minuten wählten die Teams einen bzw. mehrere der Lösungsansätze, welche im vorherigen Schritt erarbeitet worden sind, fertigten eine Konzeptskizze an und beschrieben diese. Zusätzlich dazu sollten Vor- und Nachteile der so erarbeiteten Verpackungsidee herausgearbeitet werden. Insgesamt wurden so 20 Ansätze aus dem Brainwriting in Ideenkarten ausgearbeitet, detailliert beschrieben und skizziert. In Abbildung 3.8 ist ein solches Ergebnis der Workshops am Beispiel eines Verpackungskonzeptes für die Komponente Alutube dargestellt.

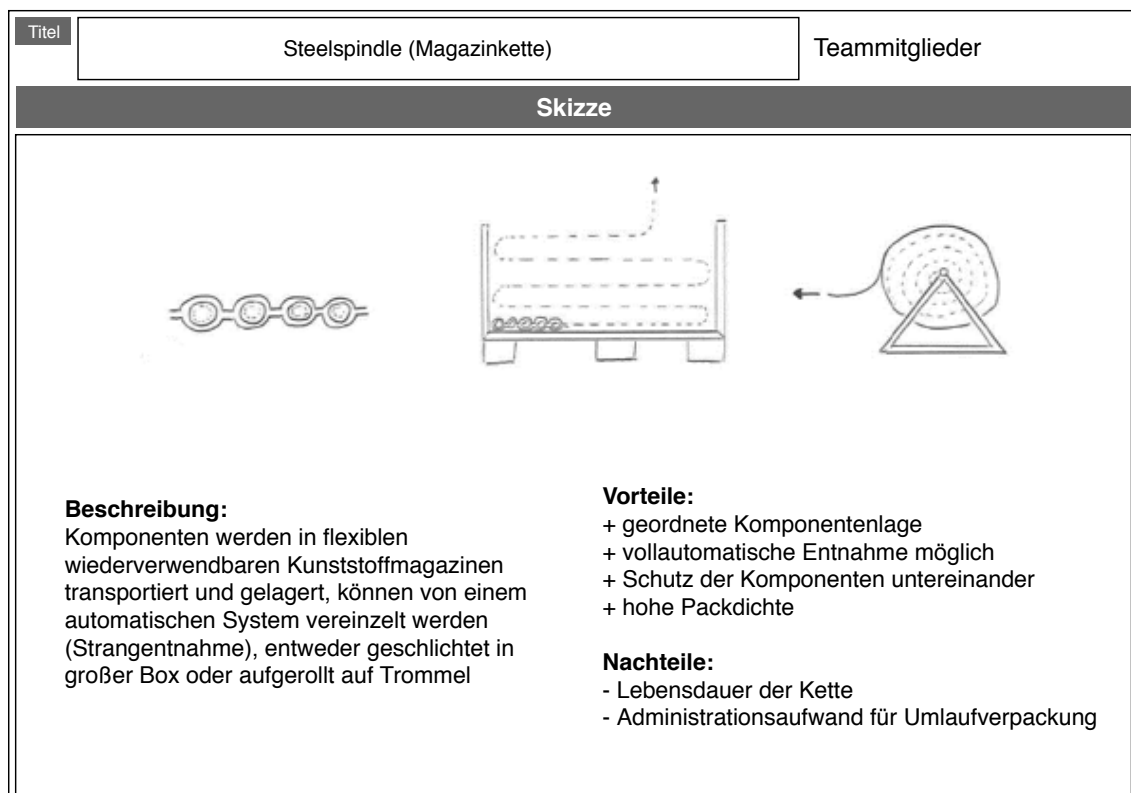


Abbildung 3.8: Ideenkarte aus Kreativworkshop⁷

Zusammenfassend konnten als Ergebnis der beiden Lösungsworkshops insgesamt 30 verschiedene Lösungsansätze für die Verpackungsgestaltung von vier verschiedenen Komponenten erarbeitet werden. 20 dieser Ansätze wurden detailliert in Ideenkarten ausgearbeitet. Zusätzlich zur Lösungsfindung mittels Kreativitätstechniken

⁷eigene Darstellung in Anlehnung an Ergebnis des Ideenfindungsworkshop

wurde im nächsten Schritt anhand von Literaturrecherchen und dem Vergleich zu bereits marktreifen automatisierungsfähigen Verpackungen das Prinzip des morphologischen Kastens verwendet.

3.6.2 Gängige Verpackungsvarianten in der Industrie

Neben der kreativen Ideengenerierung in interdisziplinären Arbeitsgruppen wird ein morphologischer Kasten für in der Industrie gängige Verpackungssysteme verwendet. Abbildung 3.9 zeigt die Parameter und die zugehörigen Ausprägung zur Auswahl einer Verpackung.

Parameter	Ausprägungen				
Lage für Zuführung	geordnet		teilgeordnet		ungeordnet
Bevorratungssystem	Bunkersystem		kommissionierte Magazine		direkt aus Verpackung
Art der Entnahme	manuell		mechanisch		automatisch
Klassifizierung des Packguts	Stückgut	Schüttgut		Rollgut	Hilfsstoff
Komponentenordnung beim Einpacken	geordnet		teilgeordnet		ungeordnet
Transportierbarkeit (der Ladeinheit)	manuell (nicht unterfahrbar)			mit mechanischen Hilfsmittel	
Material Komponententräger	Kunststoff	Metall	Kartonagen	Holz	Materialmix
Material Verpackung	Kunststoff	Metall	Kartonagen	Holz	Materialmix
Wiederverwendbarkeit	Einwegladungsträger		Mehrwegladungsträger		Kombination
Poolfähigkeit	poolfähig (tauschfähig)		poolfähig (nicht tauschfähig)		nicht poolfähig
Art des Handlings	manuell		teilautomatisch	vollautomatisch	Kombination
Deckel	abnehmbar		integriert	abschließbar	ohne Deckel
Ladungsträgergröße	Kleinstladungsträger (300x200x200)		Kleinladungsträger (600x400x320)		Großladungsträger (2400x1200x1000)
Universalität	Universalladungsträger			Spezialladungsträger	
Grad der Standardisierung	nicht standardisiert/normiert		teilweise standardisiert/normiert		vollständig standardisiert/normiert

Abbildung 3.9: Morphologischer Kasten zur Verpackungsauswahl⁸

Das Ergebnis dieses Lösungsfindungsprozesses sind acht Verpackungskonzepte.

Einmal- bzw. wiederverwendbare Einlegemagazine sind in der Industrie bereits Standard für Stückgut. Diese dienen als Vergleich zu den, in den Workshops erarbeiteten kreativen Lösungen. Zusätzlich wurden Konzepte von Spezialladungsträgern erarbeitet. Abbildung 3.10 zeigt die Ausprägungen eines solchermaßen entwickelten Verpackungssystems.

⁸eigene Darstellung

Parameter	Ausprägungen				
	geordnet	teilgeordnet	ungeordnet		
Lage für Zuführung					ungeordnet
Bevorratungssystem	Bunkersystem	kommissionierte Magazine			direkt aus Verpackung
Art der Entnahme	manuell	mechanisch			automatisch
Klassifizierung des Packguts	Stückgut	Schüttgut	Rollgut		Hilfsstoff
Komponentenordnung beim Einpacken	geordnet	teilgeordnet	ungeordnet		magaziniert
Transportierbarkeit (der Ladeinheit)	manuell (nicht unterfahrbar)		mit mechanischen Hilfsmittel		
Material Komponententräger	Kunststoff	Metall	Kartonagen	Holz	Materialmix
Material Verpackung	Kunststoff	Metall	Kartonagen	Holz	Materialmix
Wiederverwendbarkeit	Einwegladungsträger	Mehrwegladungsträger			Kombination
Poolfähigkeit	poolfähig (tauschfähig)	poolfähig (nicht tauschfähig)			nicht poolfähig
Art des Handlings	manuell	teilautomatisch	vollautomatisch		Kombination
Deckel	abnehmbar	integriert	abschließbar		ohne Deckel
Ladungsträgergröße	Kleinstladungsträger (300x200x200)		Kleinladungsträger (600x400x320)	Großladungsträger (2400x1200x1000)	
Universalität	Universalladungsträger			Spezialladungsträger	
Grad der Standardisierung	nicht standardisiert/normiert	teilweise standardisiert/normiert		vollständig standardisiert/normiert	

Abbildung 3.10: Ausprägungen eines Spezialladungsträgers für Schüttgut⁹

Das Resultat der Kombinationen dieser Ausprägungen ist ein voll automatisierbarer Spezialladungsträger für Schüttgut. Dieser dient einerseits als Transport- und Lagerhilfsmittel als auch als Bunkersystem für eine automatische Materialbereitstellung. Die Komponenten werden darin ungeordnet verpackt und durch eine stufenlos verstellbare Öffnung am Behälterboden dosiert. Abbildung 3.11 zeigt die Prinzipskizze eines solchen Verpackungssystems. Die gesamte Verpackungseinheit kann als Leergut in sich gestapelt und zum Zulieferer rücktransportiert werden.

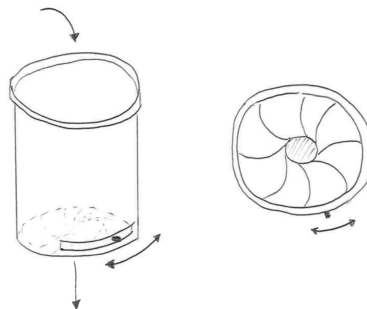


Abbildung 3.11: Spezialladungsträgers für Schüttgut¹⁰

⁹eigene Darstellung

¹⁰eigene Darstellung

3.6.3 Ergebnisse

Die so erarbeiteten Ideen werden mithilfe der SOLL-Funktionen einer automatisierbaren Verpackung und dem in Abschnitt 3.5.3 erstellten Funktionenbaum auf Funktionserfüllung geprüft. Dies führt zu drei bis sechs automatisierungsgerechten Verpackungskonzepten pro Komponente (siehe Tabelle 3.11). Insgesamt ergeben sich 56 Verpackungskonzepte, welche in der nächsten Phase auf ihre Realisierung und im Vergleich zu den IST-Verpackungen bewertet werden.

Tabelle 3.11: Ergebnis der Lösungsfindung

Komponente	Nr.	Ideenbezeichnung
Stielspindel	1.1.	Schwerkraftvereinzelung
	1.2.	Magazinkette
	1.3.	wiederverwendbare Trays
	1.4.	Einwegtrays
	1.5.	Kunststoffendkappen
	1.6.	thermische Schutzfolie
Alutube	2.1.	Schutzfolie
	2.2.	Mehrwegmagazin
	2.3.	Einwegmagazin
	2.4.	Dornprinzip
	2.5.	Magazinkette
Nutinsert	3.1.	Vakuumsäcke
	3.2.	Mehrwegboxen
	3.3.	Mengenanpassung
	3.4.	Mehrwegtubes
	3.5.	magaziniert in Boxen
Hollowspindle	4.1.	Einwegmagazin
	4.2.	Mehrwegmagazin
	4.3.	Kombination Einweg + Mehrweg
	4.4.	Dornprinzip
Shaft	5.1.	Einwegmagazin
	5.2.	Mehrwegmagazin
	5.3.	Kombination Einweg + Mehrweg
	5.4.	Dornprinzip
Motor	6.1.	Mengenanpassung

Tabelle 3.11 fortgesetzt: Ergebnis der Lösungsfindung

	6.2. stehend in Mehrwegmagazinen 6.3. liegend in Mehrwegmagazinen 6.4. Einwegtubes
Spindle Nut	7.1. Einwegtrays 7.2. Mehrwegtrays 7.3. Mehrwegboxen 7.4. Eimer mit Dosierung
Planetcarrier 1	8.1. Mengenanpassung 8.2. Einwegtrays 8.3. Mehrwegtrays 8.4. Mehrwegboxen 8.5. Eimer mit Dosierung
Planetcarrier 2	9.1. Mengenanpassung 9.2. Einwegtrays 9.3. Mehrwegtrays 9.4. Mehrwegboxen 9.5. Eimer mit Dosierung
Ringgear	10.1. Mengenanpassung 10.2. Einwegtrays 10.3. Mehrwegtrays 10.4. Mehrwegboxen 10.5. Eimer mit Dosierung
Planetwheel 1 und 2	11.1. Mengenanpassung 11.2. Mehrwegboxen 11.3. Eimer mit Dosierung
Pin	12.1. Mengenanpassung 12.2. Mehrwegboxen 12.3. Eimer mit Dosierung

3.7 Bewerten der Lösungsideen

Bevor die in der vorangegangenen Phase erarbeiteten Verpackungskonzepte bewertet werden können, müssen sie bezogen auf die Handhabungszeit und den entstehenden Kosten analysiert werden. Wie schon im Schritt der Zeitanalyse der IST-Situation aufgeführt, werden die notwendigen Arbeitsschritte und deren jeweilige Dauer abgeschätzt. Dieser Umstand führt dazu, dass der nächste Projektschritt, die Entwicklung ganzheitlicher Vorschläge, Hand in Hand mit der Bewertung der Lösungsideen bearbeitet wird.

3.7.1 Detaillierung der Lösungskonzepte

Für jedes der Konzepte in Tabelle 3.11 werden folgende Punkte erarbeitet:

- Größe und Beschaffenheit der Verpackungseinheit:
gibt Auskunft über die geometrische Form einer Verpackungseinheit, dem verwendeten Material und deren Stabilität
- Größe und Beschaffenheit der Ladeinheit:
beschreibt, wie mehrere Verpackungseinheiten in einer Ladeinheit zusammengefasst werden können bzw. ob die Verpackung selbst als Lade- und Transporteinheit dienen kann
- Anzahl Komponenten pro Lade- und Verpackungseinheit:
gibt die realisierbare Anzahl an Bauteilen, welche eine Verpackungseinheit aufnehmen kann an
- benötigte Verpackungseinheiten pro Produktionsperiode:
sind für die Kalkulation der anfänglichen Investition bei Einwegsystemen und den periodisch auftretenden Kosten bei Mehrwegverpackungen ausschlaggebend
- Forschungs- und Entwicklungskosten:
behandeln den Arbeitsaufwand, der für die Einführung eines neuen Verpackungskonzeptes notwendig ist
- Investitionskosten:
enthält die Kosten für Werkzeuge zur Eigenfertigung von Verpackungen, den

Zukauf von Einheiten und regelmäßig anfallende Investitionen bei Mehrwegsystemen

- logistischer Aufwand:
gibt eine Zusammenfassung über die Kosten der Transport- und Lagerprozesse, notwendige Administrationstätigkeiten bei Mehrwegverpackungen, Aufwand für Entsorgung eventueller Reparaturen usw.

In Tabelle 3.12 sind am Beispiel der Komponente Steelspindle die Parameter aufgeführt, welche für die Bewertung des Verpackungskonzeptes notwendig sind. Die Werte, welche mit einem Stern (*) gekennzeichnet sind, sind aufgrund von betriebsinterner Daten verfälscht.

Parameter	Steelspindle			
	1.1.	1.2.	1.3.	1.4.
Größe VPE [cm]	40*80*50	40*80*80	120*80*120	120*80*120
Material	Holz	Kunststoff	Kunststoff	Karton
Komponenten pro VPE	1100	900	2700	
Ladehilfsmittel	DIN-Palette			
Anzahl VPE pro LE	3	3	4*27	4*27
Größe LE [cm]	120*80*65	120*80*95	120*80*135	
VPE pro Periode*	219	268	2712	96495
Einweg/Mehrweg	Mehrweg	Mehrweg	Mehrweg	Einweg
Verwendungszyklen	10	10	35	1
Kosten F&E*	€3965	€5287	€9252	€23130
Investitionskosten*	€5481	€32300	€236	/
gestaffeltes Investment	ja			nein
Handhabungszeit pro prod. Linearantrieb* [sec]	0,032	0,0538	0,0343	

Tabelle 3.12: Parameter zur Bewertung der Konzepte 1.1. bis 1.4.

3.7.2 Monetäre Bewertung der Konzepte

Mithilfe dieser Information wird für jedes der 56 Konzepte eine statische Break-Even-Analyse (siehe dazu Abschnitt 2.5.5 auf Seite 50) durchgeführt. Als Fixkosten werden jeweils die Kosten für Forschung & Entwicklung und die Investitionen betrachtet. Im Fall einer Einwegverpackung sind die Kosten für den Werkzeugkauf und ähnlichem zur Fertigung der F&E zugerechnet, somit entfällt hier der Posten der

Investitionskosten (Formel 3.1). Da einmal verwendbare Systeme einen sehr kurzen Lebenszyklus haben, werden die direkten Kosten der Verpackung den variablen Kosten zugeordnet. Diese setzen sich zusammen aus Verpackungskosten, Logistikkosten und Handhabungskosten (Formel 3.2).

$$k_{fix_{EW}} = \text{Kosten}_{F\&E} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} k_{var_{EW}} &= \frac{\text{Kosten}_{proVPE}}{\text{Komponentenanzahl}_{proVPE}} * \phi \\ &+ \text{Handhabungszeit}_{proKomp.} * \text{Stundensatz} \\ &+ \frac{\text{Kosten}_{Hintransport} + \text{Kosten}_{Admin_{EW}}}{\text{Komponentenanzahl}_{proPal}} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Bei der Bewertung von Mehrwegverpackungen wird die Strategie der gestaffelten Investition angewandt. D.h. pro Produktionsperiode wird eine Investition für neue Verpackungseinheiten getätigt (Formel 3.3). Somit setzen sich die variablen Kosten einer wiederverwendbaren Verpackung aus den Logistik- und Handhabungskosten zusammen (Formel 3.4).

$$k_{fix_{MW}} = \text{Kosten}_{F\&E} + \text{Kosten}_{Investition} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} k_{var_{MW}} &= \frac{\frac{\text{Kosten}_{proVPE}}{\text{Komponentenanzahl}_{proVPE}}}{\text{Anzahl}_{Verwendungszyklen}} * \psi \\ &+ \text{Handhabungszeit}_{proKomp.} * \text{Stundensatz} \\ &+ \frac{\text{Kosten}_{Hintransport} + \text{Kosten}_{Leerguttransport} * \sigma + \text{Kosten}_{Admin_{MW}}}{\text{Komponentenanzahl}_{proPal}} \end{aligned} \quad (3.4)$$

$k_{fix_{EW}}$	Fixkosten der Einwegverpackung
$k_{var_{EW}}$	variable Kosten der Einwegverpackung
$k_{fix_{MW}}$	Fixkosten der Mehrwegverpackung
$k_{var_{MW}}$	variable Kosten der Mehrwegverpackung
ϕ	Zuschlag für Abfallentsorgung 3 bis 17% (vgl. VDI3617)
ψ	Zuschlag für Entsorgung, Reparatur, Verlust 3 bis 17% (vgl. VDI3617)
σ	Faktor für Zusammenfassung von Leergutverpackungen zu einer Ladeinheit $0 < \sigma \leq 1$

In die Berechnung fließen ϕ mit 4% und ψ mit 11% ein¹¹. Diese Faktoren berücksichtigen die notwendigen Kosten der Entsorgung, Reparatur und eines etwaigen Verlusts von Verpackungseinheiten. Die Größenordnung der Werte entspricht jener, mit welcher die gängigen Berechnungen in der Industrie durchgeführt werden. Die variablen und fixen Kosten der Verpackungskonzepte werden mit diesen Berechnungen aufgearbeitet und anschließend mit den jeweiligen IST-Verpackungen der Komponenten verglichen. Mittels eines Break-Even-Diagramms wird geprüft, ob das jeweils betrachtete Konzept sich im Vergleich zur IST-Verpackung rentiert und Break-Even-Punkte existieren. In Abbildung 3.12 ist ein solches Break-Even-Diagramm dargestellt, als Beispiel dient die Komponente Steelspindle. Die rot-gestrichelte Linie zeigt jene Kosten an, welche durch die Verwendung des bestehenden Verpackungssystems an einer automatisierten Anlage hervorgerufen werden würden. Zu erkennen ist, dass jene Verpackungskonzepte, welche wiederverwendbar sind, länger benötigen, um sich nach deren Einführung zu amortisieren. Da im betrachteten Fall die Amortisationszeiten der Ideen 1.1., 1.2. und 1.4. sehr nah beieinander liegen, gibt Abbildung 3.13 Auskunft, welches Konzept früher den Break-Even-Punkt erreicht. Es zeigt sich, dass die Verwendung von einmal verwendbaren Einlegemagazinen aus Karton die kostengünstigste Wahl für die Verpackung der Steelspindle ist. Im Anhang ist für jedes der 56 ausgearbeiteten Verpackungssysteme der 13 Komponenten das zugehörige Break-Even-Diagramm zu finden.

Zusätzlich zur statischen Betrachtung der Investitionen wird für die Konzepte, deren Amortisationsdauer länger als vier Jahre beträgt, eine dynamische Amortisationsrechnung durchgeführt (siehe dazu Abschnitt 2.5.6). Abbildung 3.14 zeigt am Beispiel der Idee 6.3., dass die dynamische Berechnung der Amortisationsdauer einer Verkürzung dieser um ca. ein Jahr ermöglicht. Aufgrund der Strategie der gestaffelten Investitionen und den vergleichsweise geringen Zinssätzen (5%) ist bei der monetären Bewertung der Konzepte die statische Berechnung mehr als ausreichend. Bezogen auf die Aufgabenstellung des Projektes liegt der Fokus bei der Erarbeitung automatisierungsgerechter Verpackungssysteme auf der Frage, ob es sinnvoll ist, das Verpackungssystem zu ändern. Somit ist der Zeitpunkt, ab wann sich das Verpackungskonzept rechnet, zweitrangig.

¹¹vgl. VDI3617 2010.

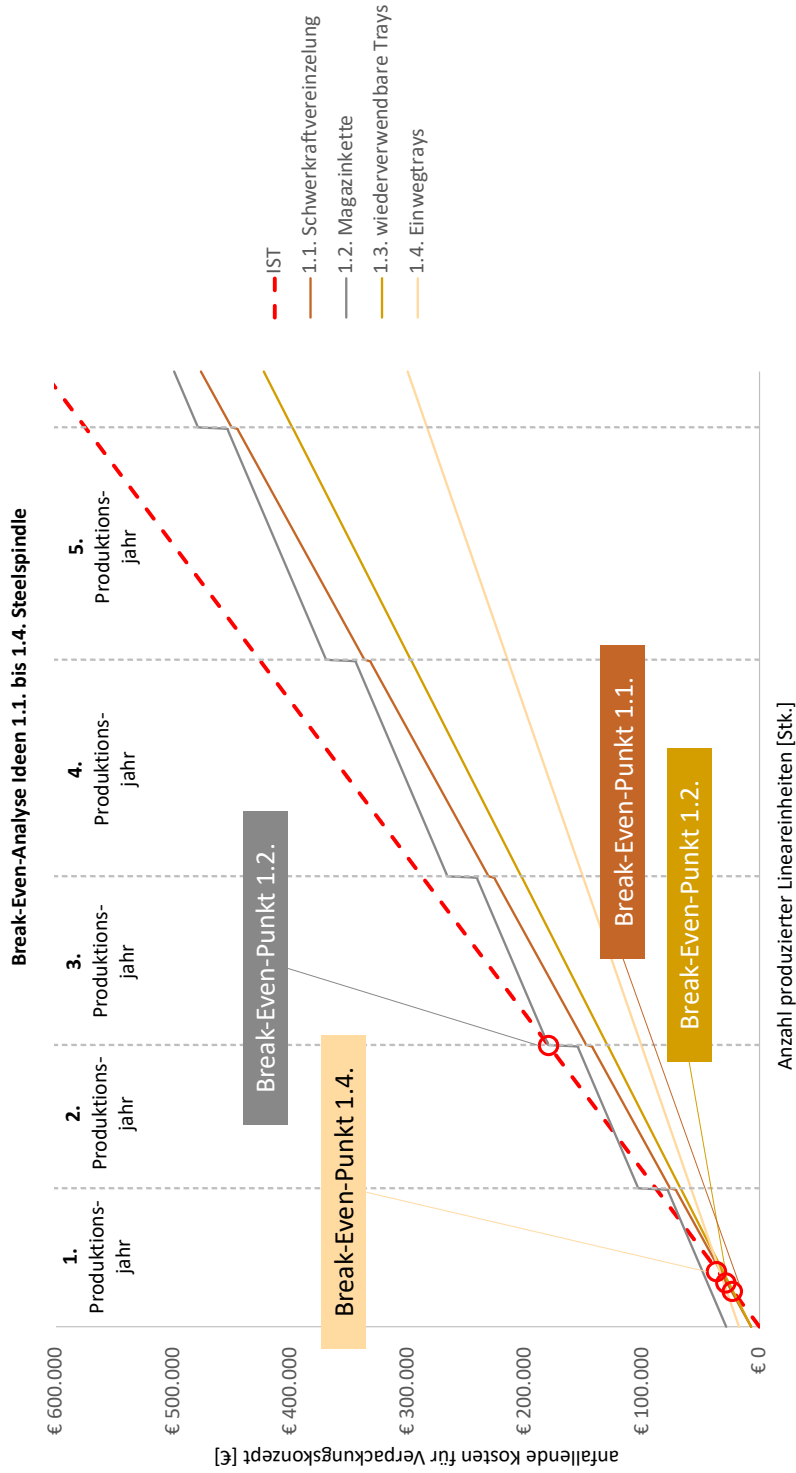


Abbildung 3.12: Break-Even-Diagramm der Konzepte 1.1. bis 1.4.¹²

¹²eigene Darstellung (Anzahl der produzierten Lineareinheiten auf der X-Achse aufgrund betriebsinterner Daten ausgeblendet)

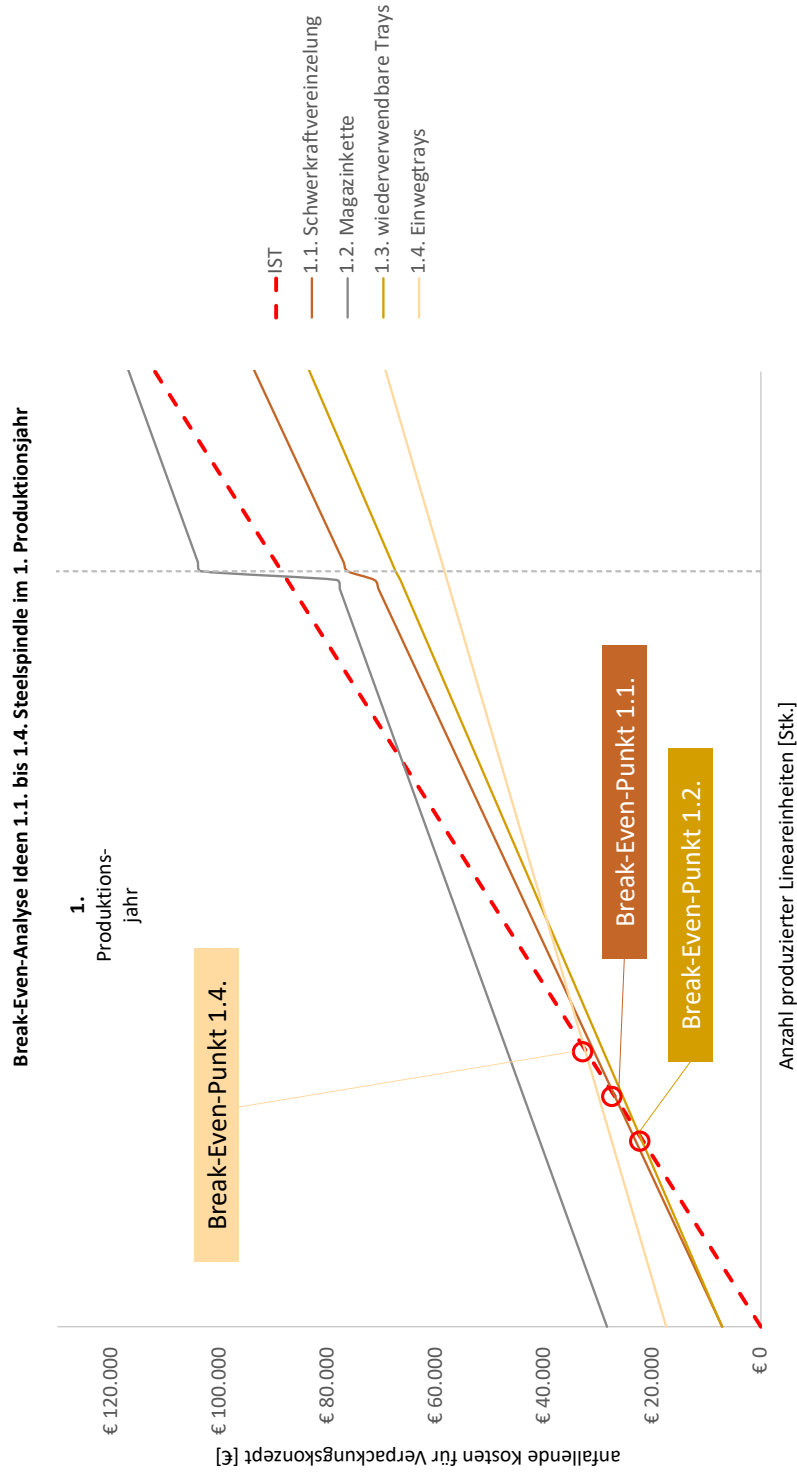


Abbildung 3.13: BEA der Konzepte 1.1. bis 1.4. im 1. Jahr¹³

¹³eigene Darstellung (Anzahl der produzierten Lineareinheiten auf der X-Achse aufgrund betriebsinterner Daten ausgeblendet)

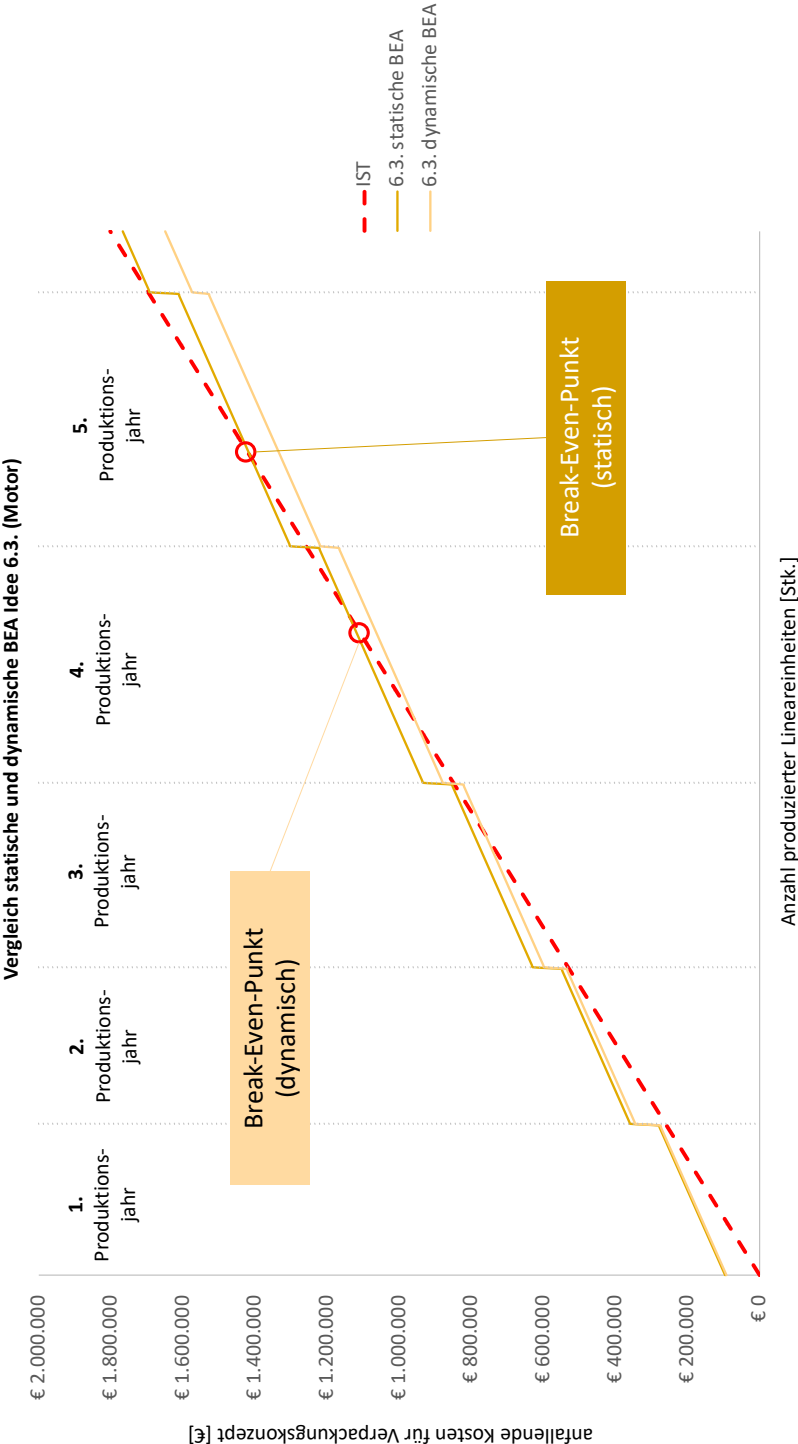


Abbildung 3.14: Vergleich statische/dynamische BEA bei Idee 6.3.¹⁴

¹⁴eigene Darstellung (Anzahl der produzierten Lineareinheiten auf der X-Achse aufgrund betriebsinterner Daten ausgeblendet)

3.8 Entwicklung ganzheitlicher Vorschläge

Da die Ausarbeitung und Detaillierung der erarbeiteten Verpackungskonzepte bereits in der vorherigen Phase der Bewertung durchgeführt wurde, konzentriert sich dieser Arbeitsschritt auf die Zusammenfassung der Lösungen in einem Ergebniskatalog. Dieser soll dem Unternehmen als Grundlage für die Konzeptionierung automatisierungsgerechter Verpackungen dienen. Abbildung 3.15 zeigt am Beispiel der Idee 1.2. Magazinkette, welche Informationen je ausgearbeitetem Verpackungskonzept im Ergebniskatalog zusammengefasst werden.

Zusätzlich beinhaltet der Katalog für jede der 13 priorisierten Komponenten die zugehörigen Break-Even-Diagramme, welche den monetären Vergleich zwischen der Verwendung der IST-Verpackung und der Einführung neuer Verpackungssysteme grafisch darstellen.

Folgende Inhalte sind im Ergebniskatalog pro Verpackungskonzept ausgearbeitet:

- Skizze des Verpackungssystems
- Beschreibung
- Vor- und Nachteile
- Kostenzusammenfassung
- Amortisationsdauer
- theoretische Anzahl an verpackten Komponenten

3.9 Präsentation der Vorschläge

Bei der Erstellung spezifischer Vorschläge pro Komponente ist einerseits die theoretische Amortisationsdauer je Idee ausschlaggebend und andererseits der Fokus auf die Erfüllung der drei Hauptfunktionen (*1. Packgutwert erhalten, 2. Handling gewährleisten und 3. Umwelt schützen*). Im Folgenden sind die erarbeiteten Verpackungskonzepte bezüglich ihrer Amortisationsdauer bewertet und kommentiert. Abschließend werden für jede der 13 betrachteten Komponentenverpackungen drei Empfehlungen aufgelistet.

3.9.1 Ergebnis

In Tabelle 3.13 ist deutlich erkennbar, dass jene Verpackungslösungen, welche als Umlaufsystem konzeptioniert sind, sich bei kleinvolumigen Bauteilen erst sehr spät bzw. gar nicht amortisieren (bei Nutinsert, Spindle Nut, Planetcarrier 1+2, Planetwheel 1+2, Pin). Wie aus Tabelle 3.1 auf Seite 57 sind diese Werkstücke als Schüttgut klassifiziert. Zusätzlich wird aufgezeigt, dass jene Verpackungen, mit denen eine geordnete Lage der genannten Komponenten erzeugt wird, nicht rentabel sind.

Die Verpackungsideen für die als Stückgut klassifizierte Bauteile, welche die Position der Komponenten sichern und Ordnung garantieren, weisen eine deutlich kurze Amortisationsdauer auf. Dies geht aus der Reduzierung manueller Arbeitsschritte hervor.

Zusätzlich zeigt Tabelle 3.13 auf, dass bei jenen Ideen, welche als Einweg- wie auch als Mehrwegverpackung ausgearbeitet sind, ein deutlicher Unterschied zwischen den Systemen besteht. So sind einmal verwendbare Verpackungssysteme im Betrieb deutlich kostengünstiger als Umlaufverpackungen. Grund dafür ist der Faktor der Leergutverwaltung, deren Rücktransport zum Zulieferer und dem hohen Aufwand für Herstellung, Reparatur und Reinigung.

Tabelle 3.13: Vergleich der Konzepte nach Amortisationsdauer

Komponente	Nr.	Ideenbezeichnung	Amortisationsdauer
Steelspindle	1.1.	Schwerkraftvereinzelung	4 Monate
	1.2.	Magazinkette	1 Jahr
	1.3.	wiederverwendbare Trays	3 Monate
	1.4.	Einwegtrays	5 Monate
	1.5.	Kunststoffendkappen	4,5 Monate
	1.6.	thermische Schutzfolie	8 Monate
Alutube	2.1.	Schutzfolie	/
	2.2.	Mehrwegmagazin	/
	2.3.	Einwegmagazin	2 Monate
	2.4.	Dornprinzip	5,5 Monate
	2.5.	Magazinkette	/
Nutinsert	3.1.	Vakuumsäcke	/
	3.2.	Mehrwegboxen	/
	3.3.	Mengenanpassung	2,5 Jahre
	3.4.	Mehrwegtubes	/
	3.5.	magaziniert in Boxen	/
Hollowspindle	4.1.	Einwegmagazin	2 Monate
	4.2.	Mehrwegmagazin	/
	4.3.	Komb. Einweg+Mehrweg	/
	4.4.	Dornprinzip	/
Shaft	5.1.	Einwegmagazin	2 Monate
	5.2.	Mehrwegmagazin	/
	5.3.	Komb. Einweg+Mehrweg	/
	5.4.	Dornprinzip	/
Motor	6.1.	Mengenanpassung	2 Monate
	6.2.	stehend in Mehrwegmagazinen	1,5 Jahre
	6.3.	liegend in Mehrwegmagazinen	4 Jahre
	6.4.	Einwegtubes	/
Spindle Nut	7.1.	Einwegtrays	6 Jahre
	7.2.	Mehrwegtrays	/
	7.3.	Mehrwegboxen	/
	7.4.	Eimer mit Dosierung	/
Planetcarrier 1	8.1.	Mengenanpassung	sofort

Tabelle 3.13 fortgesetzt: Vergleich der Konzepte nach Amortisationsdauer

	8.2.	Einwegtrays	6 Jahre
	8.3.	Mehrwegtrays	/
	8.4.	Mehrwegboxen	/
	8.5.	Eimer mit Dosierung	/
Planetcarrier 2	9.1.	Mengenanpassung	sofort
	9.2.	Einwegtrays	6 Jahre
	9.3.	Mehrwegtrays	/
	9.4.	Mehrwegboxen	/
	9.5.	Eimer mit Dosierung	/
Ringgear	10.1.	Mengenanpassung	sofort
	10.2.	Einwegtrays	1,5 Jahre
	10.3.	Mehrwegtrays	1,5 Jahre
	10.4.	Mehrwegboxen	4 Monate
	10.5.	Eimer mit Dosierung	1 Jahr
Planetwheel 1 + 2	11.1.	Mengenanpassung	sofort
	11.2.	Mehrwegboxen	1,5 Jahre
	11.3.	Eimer mit Dosierung	2,5 Jahre
Pin	12.1.	Mengenanpassung	sofort
	12.2.	Mehrwegboxen	1,5 Jahre
	12.3.	Eimer mit Dosierung	2,5 Jahre

3.9.2 Empfehlungen

Für jede Komponentenverpackung der 13 priorisierten Bauteile werden drei Empfehlungen aufgelistet. Diese differenzieren sich nach der kostengünstigsten Alternative, der umweltfreundlichsten und jener mit der höchsten Personaleinsparung. In Tabelle 3.14 sind die empfohlenen Ideen den zugehörigen Komponenten aufgelistet.

Im Fall von Schüttgutbauteilen, welche durch einen einfachen Bunker (siehe dazu Abschnitt 2.2.2.1) vereinzelt und geordnet werden können, wird empfohlen, die Komponenten ungeordnet zu verpacken. Die kostengünstigste Variante für Schüttgut ist das Verpacken in einmal verwendbaren Kartonboxen, welche vollständig gefüllt sind. Damit der Umwelteinfluss der Packmittel bei der Entsorgung gering ist, ist vom Gebrauch von Kunststoff abzuraten bzw. diesen so weit als möglich zu reduzieren. Je

höher die Anzahl der so verpackten Komponenten je Verpackungseinheit ist, desto geringer ist der Kosteneinfluss der manuellen Bereitstellungsarbeit. Hier sind jedoch die arbeitsrechtlichen Grenzen bezüglich Maximalgewicht und Beschaffenheit einer Verpackung zu beachten.

Die empfohlenen Verpackungskonzepte für Stückgutbauteile (Steelspindle, Alutube, Hollowspindle, Shaft, Motor) sind so konzipiert, dass sie als Magazin für die Bereitstellung an eine Montagelinie dienen. Folglich können sie mittels einem automatischen System entnommen werden. Grund dafür ist die geordnete Lage des Packguts in der Verpackung (siehe dazu Abschnitt 2.2.2.2 auf Seite 29). Auch hier zeigt sich ein höheres Einsparungspotential bei Einwegsystemen im Vergleich zu Umlaufverpackungen.

Komponente	Empfehlungen bezüglich		
	Kosteneinsparung	Umweltschutz	Autonomiezeit
Steelspindle	1.4.	1.5.	1.1.
Alutube	2.4.	2.4.	2.2.
Nutinsert	3.4.	3.4.	3.2.
Hollowspindle	4.1.	4.4.	4.2.
Shaft	5.1.	5.4.	5.2.
Motor	6.1.	6.2.	6.2.
Spindlenut	/	7.3.	7.3.
Planetcarrier 1	8.1.	8.4.	8.1.
Planetcarrier 2	9.1.	9.4.	9.1.
Ringgear	10.1.	10.1.	10.1.
Planetwheel 1+2	11.1.	11.1.	11.1.
Pin	12.1.	12.1.	12.1.

Tabelle 3.14: Empfehlungen nach Kosten, Umwelt und Autonomiezeit pro Bauteil

Kapitel 4

Zusammenfassung und Ausblick

Die Möbelindustrie gilt international als stark umkämpfter Markt. Ein Unternehmen, welches bereits seit Jahren Teil dieses Wettbewerbs ist, hat seinen Hauptsitz im Süden Österreichs. Die rasch wachsende Nachfrage an mechatronischen Systemen für Büro- und Arbeitsmittel, der Preisdruck aus dem asiatischen Raum und die Forderung nach immer höherer Qualität und innovativerer Technologien stellen diese Firma vor eine Vielzahl an Herausforderungen. Parallel zur Entwicklung neuer Technologien und Systeme ist es essentiell, die bereits bestehenden und etablierten Produkte am Markt zu optimieren und deren Produktions- und Wertschöpfungskette der steigenden Nachfrage anzupassen.

Mit zunehmenden Absatzzahlen, steigt die Auslastung der semi-automatischen Produktionslinie, in welcher eines der Hauptprodukte des OEMs hergestellt wird. Parallel dazu lässt sich eine stetige Verminderung der Qualität erkennen. Um diese Spitzen in der Produktion zu bewältigen und um konstant hervorragende Qualität auch zukünftig anbieten zu können, wird der Einsatz von Technologien der Industrie 4.0 untersucht. Durch die Automatisierung der Montagelinie wäre das Unternehmen in der Lage, auch in Hochlohnländern wettbewerbsfähig zu produzieren. Neben den einzelnen Produktionsschritten innerhalb einer solchen Anlage ist insbesondere die effiziente Zuführung der Einzelteile und Komponenten von großer Bedeutung. Da jedoch sämtliche Tätigkeiten der Materialbereitstellung keine direkte Wertschöpfung bewirken, wird dieser Aspekt meist unterschätzt. Um hier eine nachhaltige Kostenreduktion zu erreichen muss der Prozess der Zuführungsoptimierung bereits früh in die Planungsphase der Produktionsautomatisierung miteingebunden werden.

In der Materialbereitstellung spielt vor allem der Faktor der Bauteilverpackungen eine entscheidende Rolle. Sämtliche Handhabungsvorgänge, vom Transportieren, Einlagern, Bereitstellen, Entpacken bis hin zur Entsorgen geschehen überwiegend manu-

ell bzw. mit mechanischen Hilfsmitteln. Diese Prozesse der manuellen Handhabung fließen 1:1 in die laufenden Personalkosten mit ein. Somit würde eine Vernachlässigung der Komponentenverpackungsgestaltung bei einem Automatisierungsprojekt die laufenden Anlagenkosten in die Höhe treiben.

Diese Masterarbeit behandelt die Anpassung und Optimierung von Bauteilverpackungen, welche zurzeit im Unternehmen verwendet werden. Aufgabe war es, die bestehenden Verpackungssysteme bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit, Umweltfreundlichkeit und Automatisierbarkeit zu analysieren und Potentiale aufzudecken. Die Struktur und die Gestaltung der einzelnen Projektphasen gliederte sich nach dem 10-stufigen Arbeitsplan der Wertanalyse nach DIN EN 12973. Vorteile dieser Methodik sind unter anderem die Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams und das Arbeiten in Funktionen. Die Basis des Projektes bildet die IST-Analyse von 29 Komponentenverpackungen. Hierzu wurden für jedes Bauteil und deren Verpackung Informationen aus den Abteilungen Logistik, Qualität, Einkauf und Forschung & Entwicklung gesammelt und ausgewertet. Im nächsten Schritt geschah eine Priorisierung der Stückliste. Einflussfaktoren hierzu waren zukünftig geplante Konstruktionsänderungen am Bauteil und die Beeinflussbarkeit des Unternehmens bei der Verpackungsauswahl. Somit reduzierte sich die Stückliste von 29 auf 13 repräsentative Komponenten. Mit Hilfe dieser Daten und den Informationen aus der IST-Analyse wurden drei SOLL-Hauptfunktionen der Verpackung identifiziert. Diese unterteilen sich in 48 Nebenfunktionen. Die Gliederung dieser geschah in einem Funktionenbaum mit einem entsprechenden Funktionenkatalog, welcher jede einzelne Funktion beschreibt. Jedes Verpackungssystem der 13 Komponenten wurde hinsichtlich ihres Funktionserfüllungsgrades bewertet. Jene Funktionen, welche als nur teilweise bzw. untererfüllt bewertet wurden, bildeten die Grundlage für die Phase der Ideengenerierung. Mittels kreativer Lösungsfindungsmethoden konnten in interdisziplinären Teams im Rahmen zweier Workshops 30 Lösungsansätze für vier ausgewählte Komponenten erarbeitet werden. Eine Bewertung und Detaillierung dieser Ideen führte zu insgesamt 56 automatisierungsfähigen Verpackungskonzepten bezogen auf die 13 priorisierten Bauteile. Zusätzlich wurden, unter der Prämisse der Automatisierung der Montagelinie alle erarbeiteten Lösungsideen monetär bewertet und im Vergleich zu den IST-Verpackungen auf ihre jeweilige Rentabilität geprüft. Sämtliche Bewertungen und die Beschreibung aller Konzepte wurden in einem Ergebniskatalog zusammengefasst. Abschließend wurden für jede der 13 Komponenten drei Empfehlungen ausgearbeitet. Diese differenzieren sich hinsichtlich der Höhe der

Kosteneinsparung, dem Schutz der Umwelt und der möglichen Autonomiezeit.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass aufgrund der nicht direkt wertschöpfenden Tätigkeiten, des Thema der Verpackung in der Industrie und der Literatur eine relativ geringe Bedeutung besitzt. Bei einem Wechsel von einer manuell betriebenen zu einer automatischen Produktionslinie ist dieser Faktor jedoch nicht zu unterschätzen. Grund dafür ist der in vielen Fällen enorme Aufwand, welcher durch einen Arbeiter betrieben werden muss, um effizient und in-time Material bereitstellen zu können. Die so hervorgerufenen Kosten würden 1:1 in die Kosten pro Endprodukt miteinfließen.

Die Anwendung des Wertanalyse-Arbeitsplans war für die Durchführung dieses Projektes äußerst hilfreich. Die klare Strukturierung und das Erarbeiten von Zwischenergebnissen gliederten das Projekt von Anfang bis Ende. Auch wenn die Optimierung von Systemen für ein zukünftig mögliches Szenario kein klassisches Wertanalyseprojekt ist, konnte trotzdem eine Wertsteigerung bzw. Wertgenerierung für das Unternehmen erreicht werden. Allein die Analyse der zurzeit verwendeten Verpackungssysteme brachte viel Potential zu Tage. Durch einfache Materialeinsparungen bzw. die Ausnutzung des vorhandenen Packraums bei manchen Komponenten könnten bereits Kosteneinsparungen erzielt werden. Um diese zu erreichen ist jedoch eine effiziente abteilungsübergreifende Kommunikation vonnöten. Mit den ausgearbeiteten und optimierten Verpackungskonzepten kann eine Reduktion der Logistik- und Personalkosten erreicht werden. Die Anwendung dieser Konzepte führt zusätzlich zu einer Reduzierung von möglichen Fehlern und der Verringerung der manuellen Handhabungszeiten.

Mit dem Ergebnis dieses Projektes konnte auch aufgezeigt werden, dass wiederverwendbare Verpackungssysteme in allen betrachteten Fällen durchschnittlich 10 bis 30% teurer als vergleichbare Einwegverpackungen sind. Wie das Unternehmen, welches diese Masterarbeit in Auftrag gab, die erarbeiteten Verpackungskonzepte umsetzt, liegt bei der Entscheidung des Managements. Falls die Produktionslinie des Linearantriebes in Zukunft automatisiert wird, wären sie für die Optimierung der Verpackungskonzepte für eine automatisierungsgerechte Materialbereitstellung mit den Ergebnissen dieser Masterarbeit bestens vorbereitet.

Literatur

- Ferriss, Timothy (2011). *Der 4-Stunden-Körper*. Riemann Verlag.
- Gottschalk, Ottomar (2013). *Verwaltungsbauten*. Springer.
- Lotter, Bruno und Hans-Peter Wiendahl (2006). *Montage in der industriellen Produktion*. Springer.
- Schraft, Rolf Dieter, Ralf Kaun und Alexander Verl (1998). *Automatisierung der Produktion*. Springer.
- Martin, Heinrich (2014). *Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik*. 9. Auflage. Springer Vieweg.
- Wilhelm Dangelmaier (1999). *Fertigungsplanung: Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung*. Springer Vieweg.
- Günthner, Willibald A. (2002). *Abschlussbericht Empirische Entwicklung von Kenngrößen zur Auslegung von Hochleistungs-Schneckenförderern für Schüttgut*. Utz Wiss.
- Rockland, Markus (1995). *Flexibilisierung der automatischen Teilebereitstellung in Montageanlagen*. Iwb-Forschungsberichte. Springer.
- VDI3590 (1994). *Kommissioniersysteme Grundlagen*. Beuth.
- Dickmann, Philipp (2009). *Schlanker Materialfluss: mit Lean Production, Kanban und Innovationen*. 2. Auflage. Springer.
- VDI3639 (1995). *Materialbereitstellung für Großserien*. Beuth.
- Schreiber, Torsten (1999). *Überbetriebliche Kommunikation in der Behälterlogistik: ein Beitrag zur Verbesserung der technischen Kommunikation in langen Logistikketten*. Verlag Praxiswissen.
- Monika, Kaßmann (2014). *Grundlagen der Verpackung: Leitfaden für die fächerübergreifende Verpackungsausbildung*. Beuth.
- Boeckle, Udo (2013). *Arten und Funktionen von Verpackungen und Ladeeinheiten*. Springer.
- Mevissen, Karlheinz (1996). *Mehrwegsysteme für Verpackungen*. Deutscher Universitätsverlag.
- DIN55405 (2009). *Verpackung - Terminologie - Begriffe*. Beuth.

- Rosenthal, Antje (2016). *Ganzheitliche Bewertung modularer Ladungsträgerkonzepte*. Springer.
- Emblem, Anne und Henry Emblem (2012). *Packaging Technology: Fundamentals, materials and processes*. Woodhead Publishing.
- Helmut Schulte Herbrüggen (1991). *Modellanalyse von Materialflusssystemen für eine kundennahe Produktion: eine empirische Untersuchung*. Eul.
- Arnold, Dieter u. a. (2008). *Handbuch Logistik*. 3. Auflage. Springer.
- Pfohl, Hans-Christian (2017). *Logistiksysteme: Betriebswirtschaftliche Grundlagen*. Springer.
- Wildemann, Horst (1979). *Betriebswirtschaftlich-organisatorische Einflußgrößen für Kostenprognosen bei komplexen, neuen technischen Systemen*. Springer.
- Boeckle, Udo (1994). *Modelle von Verpackungssystemen*. Deutscher Universitätsverlag.
- Oertel, Brigitte (1982). *Die Planung des Produktes unter Berücksichtigung der Humanisierungs- und Umweltschutzproblematik*. Lang.
- Koppelman, Udo (1971). *Grundlagen der Verpackungsgestaltung: ein Beitrag zur marketingorientierten Produktforschung*. Neue Wirtschaftsbriefe.
- Klemisch, Herbert und Manfred Lemke (1992). *Ökologische Verpackungsinnovation*. Reuter.
- Heribert, Meffert. und Manfred Kirchgeorg (1995). *Marktorientiertes Umweltmanagement - eine wettbewerbsstrategische Perspektive*. J.B. Metzler.
- Feess, Eberhard, Ulrich Steger und Peter Weihrauch (o.D.). *Muß Verpackung Abfall sein? Strategien zur Reduktion der Umweltbelastungen durch Einwegverpackungen*. Gabler.
- VDI3617 (2010). *Einweg-/Mehrwegverpackungen: Anforderungen und Entscheidungshilfen für den Kostenvergleich*. Beuth.
- Hesse, Stefan (1993). *Montagemaschinen*. Vogel.
- VDI2860 (1990). *Montage-und Handhabungstechnik*. Beuth.
- Hesse, Stefan (2016). *Grundlagen der Handhabungstechnik*. Carl Hanser Verlag.
- (2000). *Modulare Einlegerichtungen*. Festo AG & Company.
- Lotter, Bruno, Jochen Deuse und Edwin Lotter (2016). *Die Primäre Produktion*. Springer.
- Hesse, Stefan (1994). *Lexikon Automatisierung der Arbeitssysteme*. Expert Verlag.
- Baus, Udo u.a. (1995). *Wertanalyse: Idee-Methode-System*. Springer.
- DIN1325 (2014). *Value Management - Wörterbuch - Begriffe*. Beuth.
- Ammann, Jürg u.a. (2011). *Wertanalyse - das Tool im Value Management*. Springer.

- Bergmann, Michael (2002). *Zielkostenmanagement und Wertanalyse*. Tectum Verlag.
- Lercher, Hans Johann (2013). *Wertanalyse an Informationssystemen*. Springer.
- Pauwels, Marc (2001). *Interkulturelle Produktentwicklung: Produktentwicklung mit Wertanalyse und interkultureller Kompetenz*. Shaker.
- Orth, Heinrich Friedrich (2013). *Die Wertanalyse*. Springer.
- Heege, Franz (1985). *Wertanalyse*. Springer.
- Strathkötter, Frauke (2004). *Ideenfindung in kreativen Projektteams*. GRIN Verlag.
- Engeln, Werner (2006). *Methoden der Produktentwicklung*. Oldenbourg Industrieverlag.
- Gierse, Franz-Josef (1998). *Von der Wertanalyse zum Value Management - Versuch einer Begriffserklärung*. 6. Auflage. Konstruktion 50, S. 35–39.
- Kaltschmitt, Martin und Liselotte Schebek (2015). *Umweltbewertung für Ingenieure*. Springer.
- Horisberger, Bruno und Wilhelm van Eimeren (2013). *Die Kosten — Nutzen — Analyse*. Springer.
- Ulrich, Andree (2011). *Wirtschaftlichkeitsanalyse öffentlicher Investitionsprojekte*. Haufe-Lexware.
- Cordts, Jürgen und Hans-Joachim Lensing (1992). *ABC-Analyse - Preisanalyse für Einkäufer*. Springer.
- Schawel, Christian und Fabian Billing (2009). *Top 100 Management Tools*. Springer.
- Reinecke, Sven und Simone Janz (2007). *Marketingcontrolling*. W. Kohlhammer Verlag.
- Syska, Andreas (2006). *Produktionsmanagement*. Gabler.
- Schuster, Thommas und Leona Rüdt von Collenberg (2017). *Investitionsrechnung*. Springer.

Onlinereferenzen

Eurostat (2016). *Recycling rates for packaging waste*. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/waste/key-waste-streams/packaging> (besucht am 13.08.2018).

Tag der Verpackung (2016). URL: <https://www.tag-der-verpackung.de/definition.html> (besucht am 29.09.2018).

Feess, Eberhard (2018). *Recycling*. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/recycling-44989/version-268290> (besucht am 28.01.2019).

Austria, Zero Waste (2019). *Ist Müllverbrennung Zero Waste?* URL: <http://www.zerowasteaustria.at/ist-muumlllverbrennung-zero-waste.html> (besucht am 29.01.2019).

Abbildungsverzeichnis

1.1	Entwicklung automatisierungsgerechter Verpackungssysteme	4
1.2	Ansicht des Linearaktuators	5
1.3	Materialfluss in der Montage	6
1.4	Recyclingraten im betrachteten europäischen Niedriglohnland	6
1.5	Einteilung von Stückgut	8
2.1	Zusammensetzung der Verpackung	13
2.2	Systematik der Ladeeinheitenbildung	14
2.3	Zuordnung der Anforderungen an die Verpackungsfunktionen	15
2.4	Lebenszyklus einer Verpackung	17
2.5	Distribution und Redistribution von Einwegverpackungen	19
2.6	Distribution und Redistribution von Mehrwegverpackungen	20
2.7	Formen des Recyclings	21
2.8	Verpackungsbezogene Kosteneinflussgrößen	24
2.9	Gliederung der Funktionen von Handhabungseinrichtungen	25
2.10	Orientierungs- und Positionierungsgrad von Körpern	27
2.11	Beispiele für Bunkerzuführungs- und Ordnungseinrichtungen	28
2.12	Teilezuführung aus dem Stapelbunker	28
2.13	Werkstückbereitstellung mit Palettier- bzw. Depalettiersystem	29
2.14	Einbindung der Anforderungen einer automatischen Anlage in den Lebenszyklus der Verpackung	31
2.15	Beispiel zur Aufteilung in Gebrauchs- und Geltungsfunktion	33
2.16	Definition des Wertes	34
2.17	Möglichkeiten zur Wertsteigerung	34

2.18	Systemelemente der Wertanalyse nach DIN EN 12973:2014	35
2.19	Beeinflussung der Systemelemente DIN 1325:2014	37
2.20	Der 10-Stufen Wertanalyse Arbeitsplan	39
2.21	Abnehmer- und herstellerorientierte Funktionen	45
2.22	Funktionenbaum	46
2.23	ABC-Klassifizierung eines Kugelschreibers	48
2.24	Graphische Darstellung der ABC-Analyse	49
2.25	Break-Even-Analyse	51
2.26	Erstellung eines morphologischen Kastens	53
3.1	Logistische Rahmenabgrenzung des WA-Objektes	58
3.2	Projektplan des Wertanalyseprojektes	60
3.3	ABCD-Priorisierung der Stückliste	66
3.4	Funktionenbaum Steelspindle Teil 1	70
3.5	Funktionenbaum Steelspindle Teil 2	71
3.6	Funktionenbaum Steelspindle Teil 3	72
3.7	Brainwritingformular aus Kreativworkshop	82
3.8	Ideenkarte aus Kreativworkshop	83
3.9	Morphologischer Kasten zur Verpackungsauswahl	84
3.10	Ausprägungen eines Spezialladungsträgers für Schüttgut	85
3.11	Spezialladungsträgers für Schüttgut	85
3.12	Break-Even-Diagramm der Konzepte 1.1. bis 1.4.	92
3.13	BEA der Konzepte 1.1. bis 1.4. im 1. Jahr	93
3.14	Vergleich statische/dynamische BEA bei Idee 6.3.	94
3.15	Idee 1.2. Magazinkette in Ergebniskatalog	96
B.1	BEA Verpackungskonzepte Steelspindle	XXVIII
B.2	BEA Verpackungskonzepte Alutube	XXIX

B.3	BEA Verpackungskonzepte Nutinsert	XXX
B.4	BEA Verpackungskonzepte Hollowspindle	XXXI
B.5	BEA Verpackungskonzepte Shaft	XXXII
B.6	BEA Verpackungskonzepte Motor	XXXIII
B.7	BEA Verpackungskonzepte Spindlenut	XXXIV
B.8	BEA Verpackungskonzepte Planetcarrier 1	XXXV
B.9	BEA Verpackungskonzepte Planetcarrier 2	XXXVI
B.10	BEA Verpackungskonzepte Ringgear	XXXVII
B.11	BEA Verpackungskonzepte Planetwheel 1	XXXVIII
B.12	BEA Verpackungskonzepte Planetwheel 2	XXXIX
B.13	BEA Verpackungskonzepte Pin	XL

Tabellenverzeichnis

3.1	Stückliste Linearaktuator	57
3.2	Verpackungsmaterial und Verpackungskosten pro Produkt	62
3.3	Beispiel erhobener Verpackungsdaten	63
3.4	Priorisierung der Stückliste	64
3.5	Priorisierte Stückliste	65
3.6	theoretische Handhabungszeiten der IST-Verpackungen	67
3.7	Aufteilung der Handhabungszeiten	68
3.8	Funktionen für Lösungsfindung	73
3.9	SOLL-Funktionenkatalog der Verpackung	74
3.10	Ergebnisse aus Brainstorming	81
3.11	Ergebnis der Lösungsfindung	86
3.12	Parameter zur Bewertung der Konzepte 1.1. bis 1.4.	89
3.13	Vergleich der Konzepte nach Amortisationsdauer	98
3.14	Empfehlungen nach Kosten, Umwelt und Autonomiezeit pro Bauteil .	100
A.1	IST-Verpackungsdaten SteelspindleXIII
A.2	IST-Verpackungsdaten AlutubeXIV
A.3	IST-Verpackungsdaten NutinsertXV
A.4	IST-Verpackungsdaten HollowspindleXVI
A.5	IST-Verpackungsdaten ShaftXVII
A.6	IST-Verpackungsdaten MotorXVIII
A.7	IST-Verpackungsdaten Spindle NutXIX
A.8	IST-Verpackungsdaten Planetcarrier 1XX
A.9	IST-Verpackungsdaten Planetcarrier 2XXI

A.10 IST-Verpackungsdaten Ringgear XXII
A.11 IST-Verpackungsdaten Planetwheel 1XXIII
A.12 IST-Verpackungsdaten Planetwheel 2XXIV
A.13 IST-Verpackungsdaten Pin XXV

Anhang A

IST-Verpackungsdaten

Nr. 1 Steelspindle	
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø12,5*377 mm (zylindrisch)
Gewicht	273 g
Packgutklassifizierung	Stückgut
bevorzugte Lage	horizontal
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-20 bis +70°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	5 bis 50%
zusätzlich	luftdicht verpackt
Sekundärverpackung Stufe 1	/
Anzahl pro KRT	/
Einzelgewicht	/
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonschachtel
Abmessungen	44*14*8 cm
Einzelgewicht	400 g
Komponenten pro Karton	50 Stk.
Tertiärverpackung	
Kartons pro Ladeinheit	60 Stk.
Ladehilfsmittel	DIN-Palette + Aufsetzrahmen
Sicherungsmittel	530 g (2 Kartontafeln)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	0 kg
Karton	24,53 kg
Holz	48 kg
Umreifungsband	2100 cm ±5%
Schutzfunktion erfüllt?	keine Mängel feststellbar
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,04494
Transportkosten pro Komponente*	€0,0634

Tabelle A.1: IST-Verpackungsdaten Steelspindle

Nr. 2 Alutube	
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø40*125 mm (zylindrisch)
Gewicht	170 g
Packgutklassifizierung	Stückgut
bevorzugte Lage	horizontal bzw. vertikal
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-20 bis +70°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	5 bis 90%
zusätzlich	luftdicht verpackt
Sekundärverpackung Stufe 1	PE-Trennfolien
Anzahl pro KRT	12
Einzelgewicht	100 g
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonummantelung
Abmessungen	110*73*36 cm
Einzelgewicht	583 g
Komponenten pro Karton	579 Stk.
Tertiärverpackung	Mehrweg Holzkiste
Boxen pro Ladeinheit	2 Stk.
Ladehilfsmittel	selbst
Sicherungsmittel	8 g (Kunststoffumhüllung)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	2,33 kg
Karton	1,167 kg
Holz	36 kg
Schutzfunktion erfüllt?	keine Mängel feststellbar
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,10605
Transportkosten pro Komponente*	€0,198

Tabelle A.2: IST-Verpackungsdaten Alutube

Nr. 3 Nutinsert	
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø38*38,5 mm (zylindrisch)
Gewicht	16,38 g
Packgutklassifizierung	Schüttgut
bevorzugte Lage	variabel
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-35 bis +55°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	10 bis 95%
zusätzlich	luftdicht verpackt mit Silikagel
Sekundärverpackung Stufe 1	PE-Beutel
Anzahl pro KRT	1
Einzelgewicht	100 g
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonschachtel
Abmessungen	40*40*30 cm
Einzelgewicht	672 g
Komponenten pro Karton	900 Stk.
Tertiärverpackung	
Kartons pro Ladeinheit	18 Stk.
Ladehilfsmittel	DIN-Palette
Sicherungsmittel	132 g (Kunststoffumhüllung)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	1,93 kg
Karton	12,1 kg
Holz	28 kg
Klebeband	140 cm ±5%
Schutzfunktion erfüllt?	keine Mängel feststellbar
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,0016932
Transportkosten pro Komponente*	€0,00793

Tabelle A.3: IST-Verpackungsdaten Nutinsert

Nr. 4 Hollowspindle	
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø31*364 mm (zylindrisch)
Gewicht	126 g
Packgutklassifizierung bevorzugte Lage	Stückgut vertikal
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-20 bis +70°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	5 bis 90%
zusätzlich	luftdicht verpackt mit Silikagel
Sekundärverpackung Stufe 1	PE-Beutel
Anzahl pro KRT	1
Einzelgewicht	100 g
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonschachtel
Abmessungen	40*40*40 cm
Einzelgewicht	768 g
Komponenten pro Karton	110 Stk.
Tertiärverpackung	
Kartons pro Ladeinheit	18 Stk.
Ladehilfsmittel	DIN-Palette
Sicherungsmittel	132 g (Kunststoffumhüllung)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	1,933 kg
Karton	21,96 kg
Holz	28 kg
Klebeband	2880 cm ±5%
Schutzfunktion erfüllt?	keine Mängel feststellbar
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,0687
Transportkosten pro Komponente*	€0,01495

Tabelle A.4: IST-Verpackungsdaten Hollowspindle

Nr. 5 Shaft	
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø21*364 mm (zylindrisch)
Gewicht	59 g
Packgutklassifizierung	Stückgut
bevorzugte Lage	vertikal
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-20 bis +70°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	5 bis 90%
zusätzlich	luftdicht verpackt mit Silikagel
Sekundärverpackung Stufe 1	PE-Beutel
Anzahl pro KRT	1
Einzelgewicht	100 g
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonschachtel
Abmessungen	40*40*40 cm
Einzelgewicht	768 g
Komponenten pro Karton	192 Stk.
Tertiärverpackung	
Kartons pro Ladeinheit	18 Stk.
Ladehilfsmittel	DIN-Palette
Sicherungsmittel	132 g (Kunststoffumhüllung)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	1,933 kg
Karton	21,96 kg
Holz	28 kg
Klebeband	2880 cm ±5%
Schutzfunktion erfüllt?	keine Mängel feststellbar
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,008566
Transportkosten pro Komponente*	€0,0396

Tabelle A.5: IST-Verpackungsdaten Shaft

Nr. 6 Motor	
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø40, 3*125 mm (zylindrisch)
Gewicht	452 g
Packgutklassifizierung	Stückgut
bevorzugte Lage	horizontal bzw. vertikal
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-40 bis +85°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	5 bis 90%
zusätzlich	mit Silikagel
Sekundärverpackung Stufe 1	PE-Trennschicht
Anzahl pro KRT	3
Einzelgewicht	15 g
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonschachtel + 3 Trays
Abmessungen	38*28*18 cm
Einzelgewicht	547 g
Komponenten pro Karton	24 Stk.
Tertiärverpackung	
Kartons pro Ladeinheit	40 Stk.
Ladehilfsmittel	Einwegpalette
Sicherungsmittel	110 g (Kunststoffumhüllung)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	0,658 kg
Karton	40 kg
Holz	15 kg
Umreifungsband	400 cm ±5%
Schutzfunktion erfüllt?	1 Fall, bei dem Staub eindrang
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,353
Transportkosten pro Komponente*	€0,0306

Tabelle A.6: IST-Verpackungsdaten Motor

Nr. 7 Spindle Nut	
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø40*19,2 mm (rohrförmig)
Gewicht	9,95 g
Packgutklassifizierung	Schüttgut
bevorzugte Lage	variabel
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-35 bis +55°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	10 bis 95%
zusätzlich	luftdicht verpackt
Sekundärverpackung Stufe 1	PE-Beutel
Anzahl pro KRT	1
Einzelgewicht	100 g
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonschachtel
Abmessungen	40*40*30 cm
Einzelgewicht	672 g
Komponenten pro Karton	1000 Stk.
Tertiärverpackung	
Kartons pro Ladeinheit	18 Stk.
Ladehilfsmittel	DIN-Palette
Sicherungsmittel	132 g (Kunststoffumhüllung)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	1,933 kg
Karton	12,1 kg
Holz	28 kg
Klebeband	2520 cm ±5%
Schutzfunktion erfüllt?	keine Mängel feststellbar
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,00126
Transportkosten pro Komponente*	€0,00793

Tabelle A.7: IST-Verpackungsdaten Spindle Nut

Nr. 8 Planetcarrier 1	
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø28*28,5 mm (zylindrisch)
Gewicht	5,12 g
Packgutklassifizierung	Schüttgut
bevorzugte Lage	variabel
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-20 bis +70°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	5 bis 90%
zusätzlich	luftdicht verpackt
Sekundärverpackung Stufe 1	PE-Beutel
Anzahl pro KRT	3
Einzelgewicht	84 g
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonschachtel
Abmessungen	60*40*41 cm
Einzelgewicht	1068 g
Komponenten pro Karton	3000 Stk.
Tertiärverpackung	
Kartons pro Ladeinheit	12 Stk.
Ladehilfsmittel	Einwegpalette
Sicherungsmittel	132 g (Kunststoffumhüllung)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	3,158 kg
Karton	12,81 kg
Holz	15 kg
Klebeband	2600 cm ±5%
Schutzfunktion erfüllt?	Fälle von abgebrochenen Zähnen
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,004335
Transportkosten pro Komponente*	€0,00528

Tabelle A.8: IST-Verpackungsdaten Planetcarrier 1

Nr. 9 Planetcarrier 2	
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø28*19,7 mm (zylindrisch)
Gewicht	6,17 g
Packgutklassifizierung	Schüttgut
bevorzugte Lage	variabel
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-20 bis +70°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	5 bis 90%
zusätzlich	luftdicht verpackt
Sekundärverpackung Stufe 1	PE-Beutel
Anzahl pro KRT	3
Einzelgewicht	84 g
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonschachtel
Abmessungen	60*40*41 cm
Einzelgewicht	1068 g
Komponenten pro Karton	3000 Stk.
Tertiärverpackung	
Kartons pro Ladeinheit	12 Stk.
Ladehilfsmittel	Einwegpalette
Sicherungsmittel	132 g (Kunststoffumhüllung)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	3,158 kg
Karton	12,81 kg
Holz	15 kg
Klebeband	2600 cm ±5%
Schutzfunktion erfüllt?	Fälle von abgebrochenen Zähnen
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,00485
Transportkosten pro Komponente*	€0,00528

Tabelle A.9: IST-Verpackungsdaten Planetcarrier 2

Nr. 10 Ringgear	
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø38*23 mm (rohrförmig)
Gewicht	9,38 g
Packgutklassifizierung	Schüttgut
bevorzugte Lage	variabel
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-20 bis +70°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	5 bis 90%
zusätzlich	luftdicht verpackt
Sekundärverpackung Stufe 1	PE-Beutel
Anzahl pro KRT	5
Einzelgewicht	84 g
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonschachtel
Abmessungen	60*40*41 cm
Einzelgewicht	1068 g
Komponenten pro Karton	1500 Stk.
Tertiärverpackung	
Kartons pro Ladeinheit	12 Stk.
Ladehilfsmittel	Einwegpalette
Sicherungsmittel	132 g (Kunststoffumhüllung)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	5,175 kg
Karton	12,81 kg
Holz	15 kg
Klebeband	2600 cm ±5%
Schutzfunktion erfüllt?	keine Mängel feststellbar
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,01012
Transportkosten pro Komponente*	€0,01057

Tabelle A.10: IST-Verpackungsdaten Ringgear

Nr. 11 Planetwheel 1	
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø12,5*7,8 mm (zylindrisch)
Gewicht	0,82 g
Packgutklassifizierung	Schüttgut
bevorzugte Lage	variabel
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-20 bis +70°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	5 bis 90%
zusätzlich	luftdicht verpackt
Sekundärverpackung Stufe 1	PE-Beutel
Anzahl pro KRT	3
Einzelgewicht	17,5 g
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonschachtel
Abmessungen	44*35*20 cm
Einzelgewicht	559,2 g
Komponenten pro Karton	9000 Stk.
Tertiärverpackung	
Kartons pro Ladeinheit	25 Stk.
Ladehilfsmittel	Einwegpalette
Sicherungsmittel	117 g (Kunststoffumhüllung)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	1,43 kg
Karton	13,98 kg
Holz	15 kg
Klebeband	3500 cm ±5%
Schutzfunktion erfüllt?	Fälle von abgebrochenen Zähnen
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,002974
Transportkosten pro Komponente*	€0,00264

Tabelle A.11: IST-Verpackungsdaten Planetwheel 1

Nr. 12 Planetwheel 2	
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø13,05*8,8 mm (zylindrisch)
Gewicht	1,01 g
Packgutklassifizierung	Schüttgut
bevorzugte Lage	variabel
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-20 bis +70°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	5 bis 90%
zusätzlich	luftdicht verpackt
Sekundärverpackung Stufe 1	PE-Beutel
Anzahl pro KRT	3
Einzelgewicht	17,5 g
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonschachtel
Abmessungen	44*35*20 cm
Einzelgewicht	559,2 g
Komponenten pro Karton	9000 Stk.
Tertiärverpackung	
Kartons pro Ladeinheit	25 Stk.
Ladehilfsmittel	Einwegpalette
Sicherungsmittel	117 g (Kunststoffumhüllung)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	1,43 kg
Karton	13,98 kg
Holz	15 kg
Klebeband	3500 cm ±5%
Schutzfunktion erfüllt?	Fälle von abgebrochenen Zähnen
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,00325
Transportkosten pro Komponente*	€0,00264

Tabelle A.12: IST-Verpackungsdaten Planetwheel 2

Nr. 13 Pin	
Geometrische Eigenschaften	
Abmessungen	Ø4*12,7 mm (zylindrisch)
Gewicht	1,5 g
Packgutklassifizierung	Schüttgut
bevorzugte Lage	variabel
Komponentenspezifikationen	
zulässiger Temperaturbereich	-20 bis +70°C
zulässiger Luftfeuchtigkeitsbereich	5 bis 50%
zusätzlich	luftdicht verpackt
Sekundärverpackung Stufe 1	Vakuumbbeutel
Anzahl pro KRT	1
Einzelgewicht	20 g
Sekundärverpackung Stufe 2	Kartonschachtel
Abmessungen	31*30*11 cm
Einzelgewicht	140 g
Komponenten pro Karton	10000 Stk.
Tertiärverpackung	
Kartons pro Ladeinheit	32 Stk.
Ladehilfsmittel	DIN-Palette
Sicherungsmittel	1480 g (Kunststoff+Karton)
Packmaterial pro Ladeinheit	
Kunststoff	0,721 kg
Karton	5,87 kg
Holz	28 kg
Umreifungsband	2100 cm ±5%
Schutzfunktion erfüllt?	keine Mängel feststellbar
Verpackungskosten pro Komponente*	€0,0449
Transportkosten pro Komponente*	€0,06344

Tabelle A.13: IST-Verpackungsdaten Pin

Anhang B

Break-Even-Diagramme

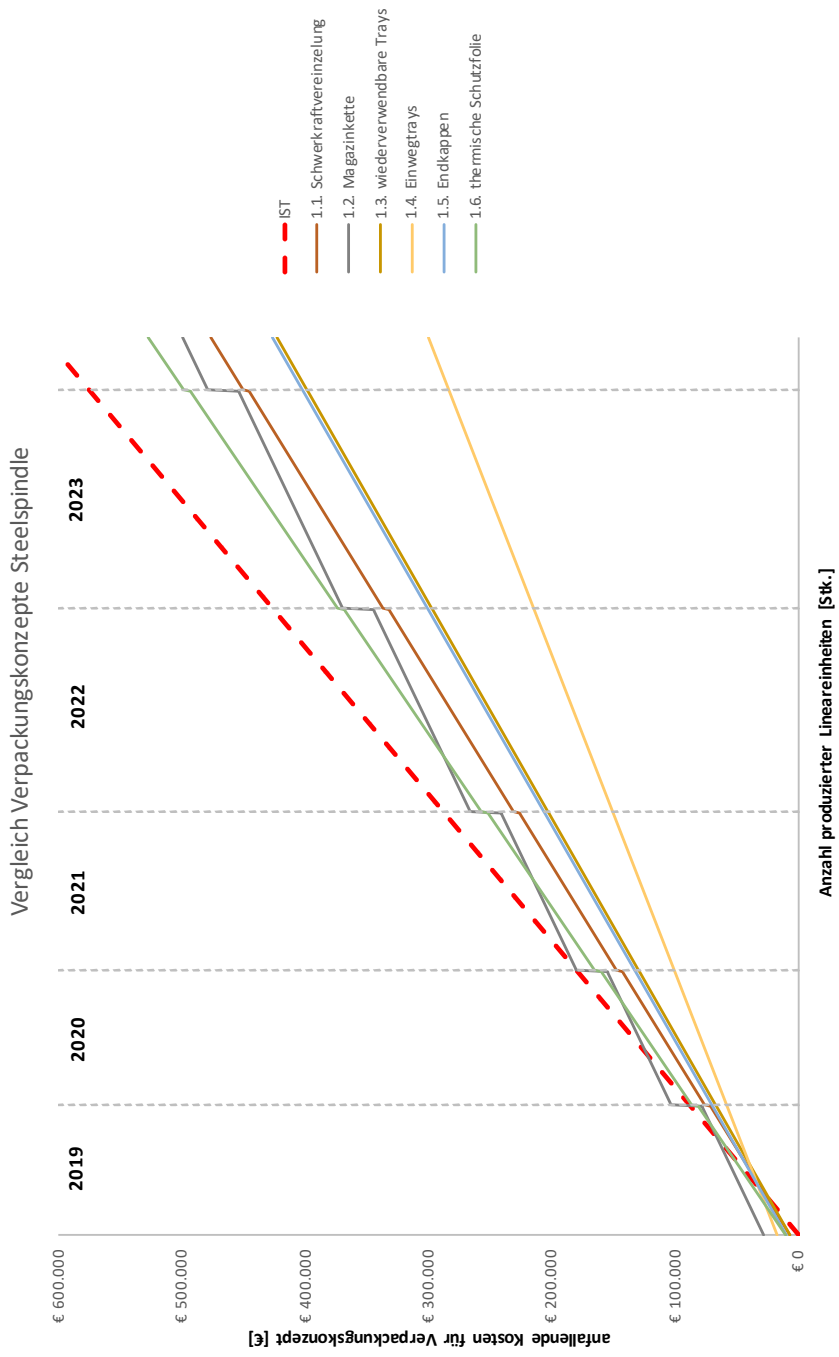


Abbildung B.1: BEA Verpackungskonzepte Steelspindle

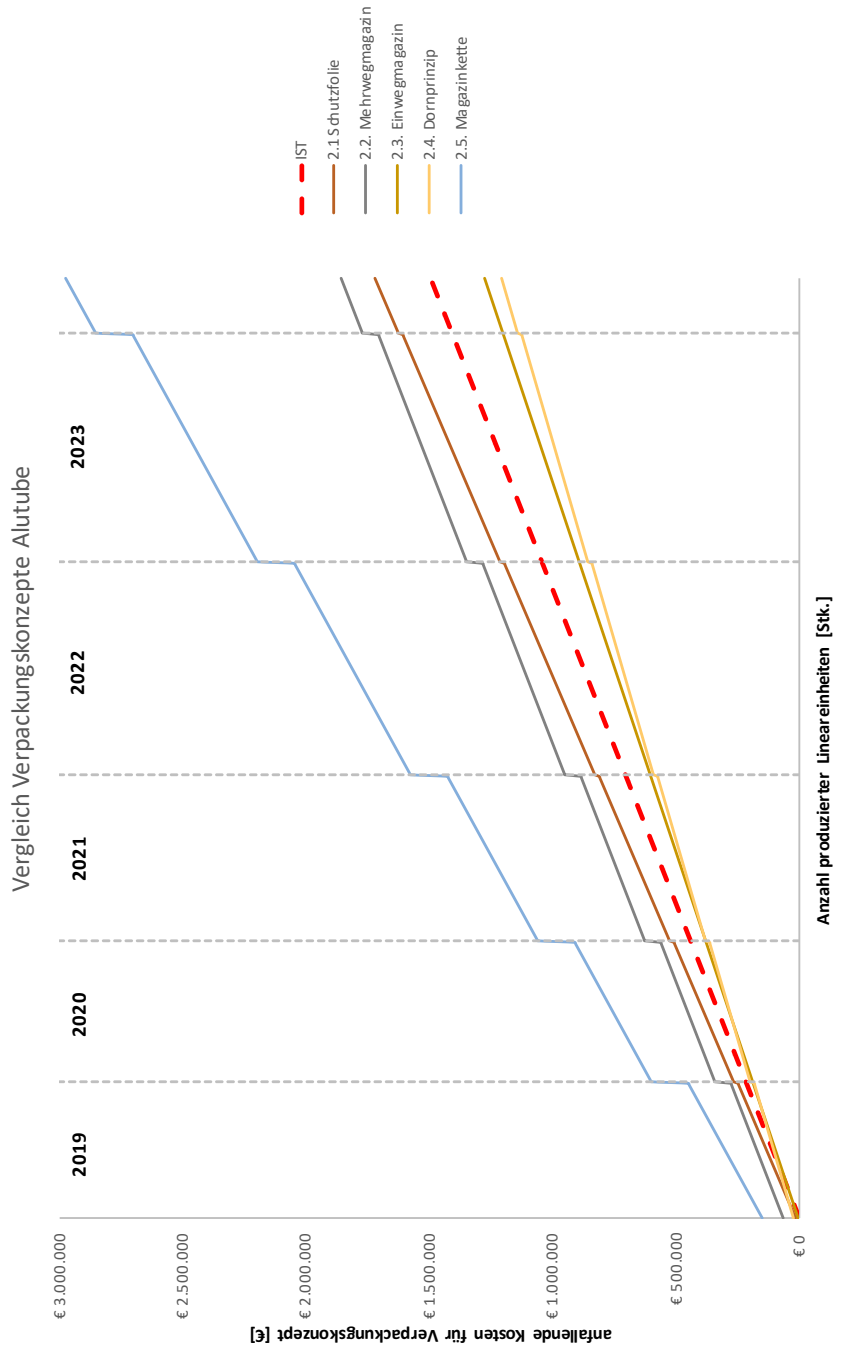


Abbildung B.2: BEA Verpackungskonzepte Alutube

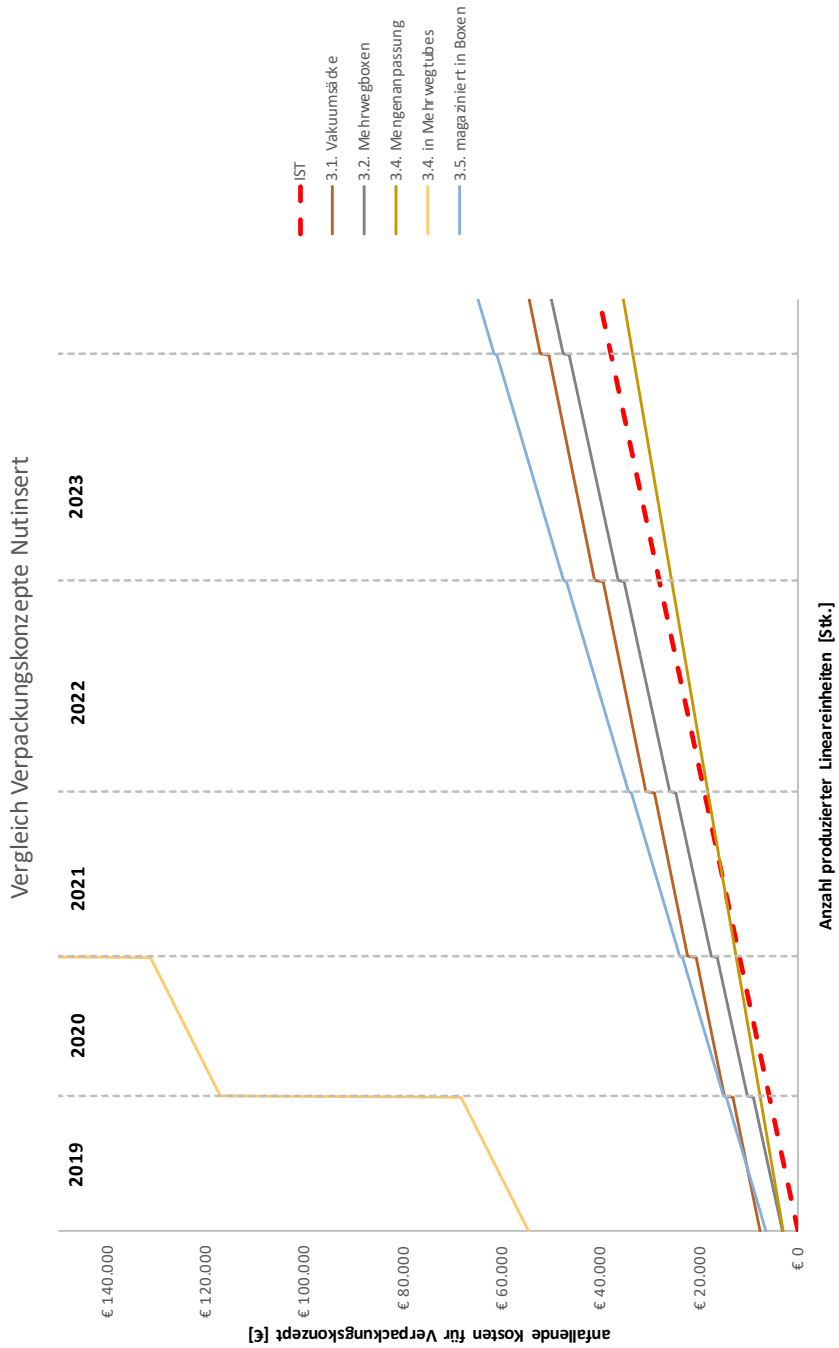


Abbildung B.3: BEA Verpackungskonzepte Nutinsert

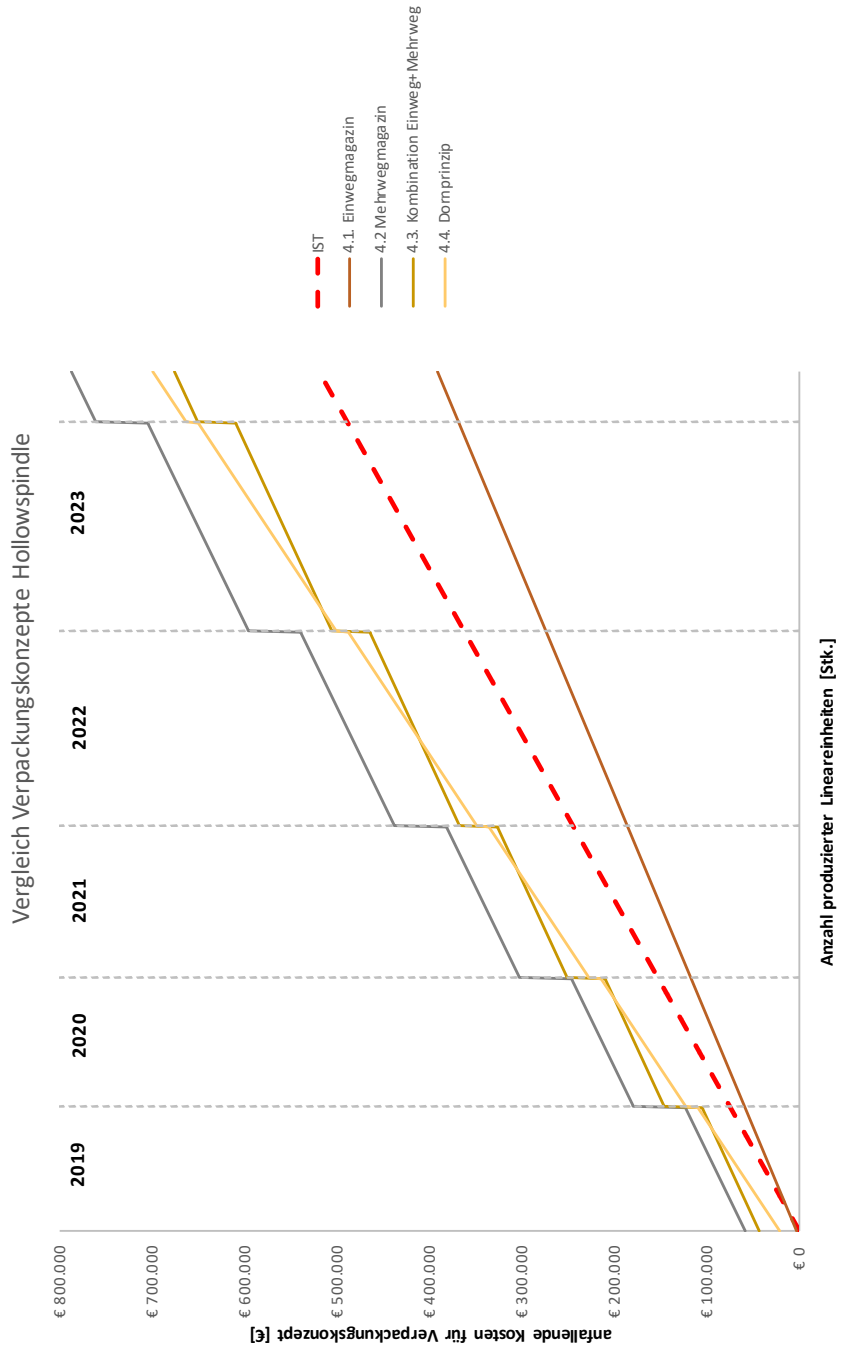


Abbildung B.4: BEA Verpackungskonzepte Hollowspindle

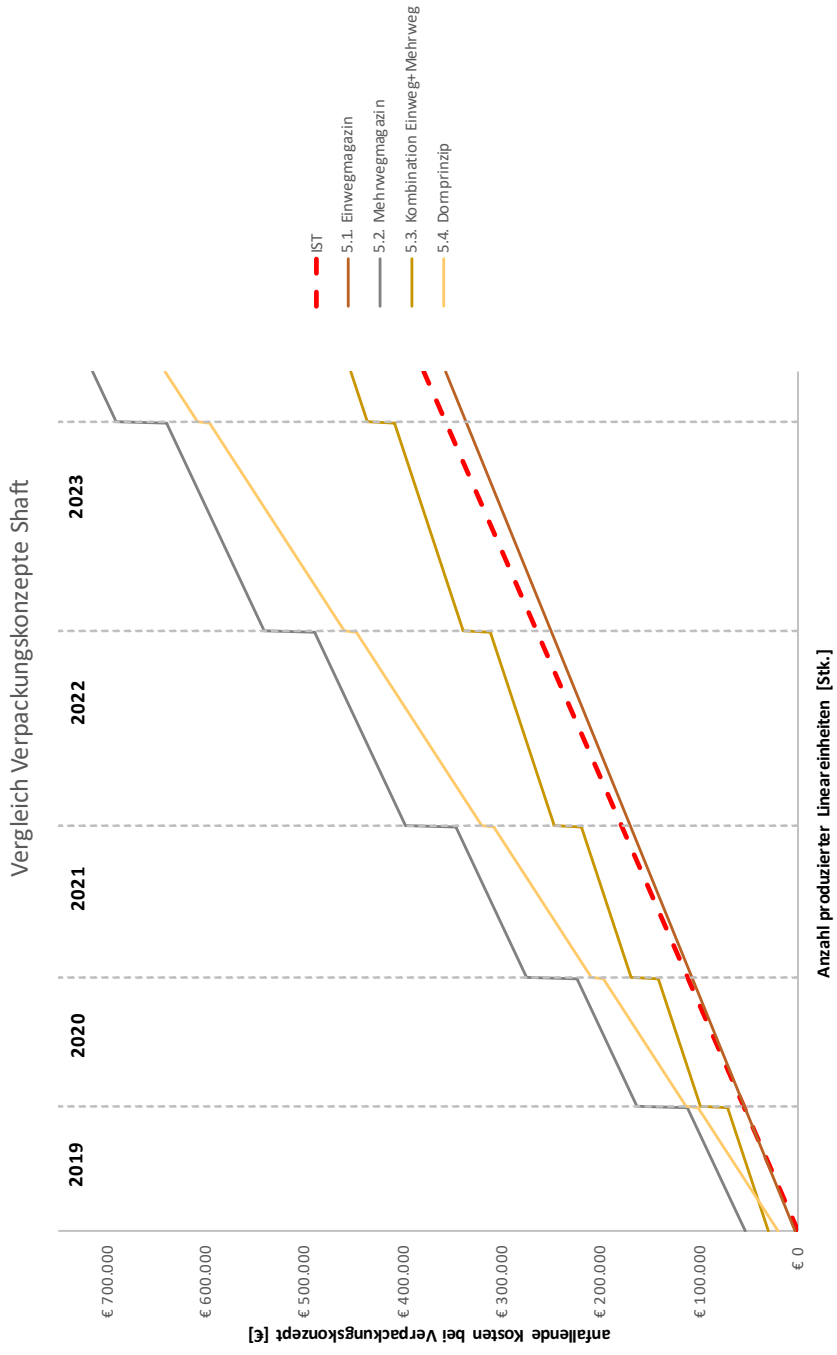


Abbildung B.5: BEA Verpackungskonzepte Shaft

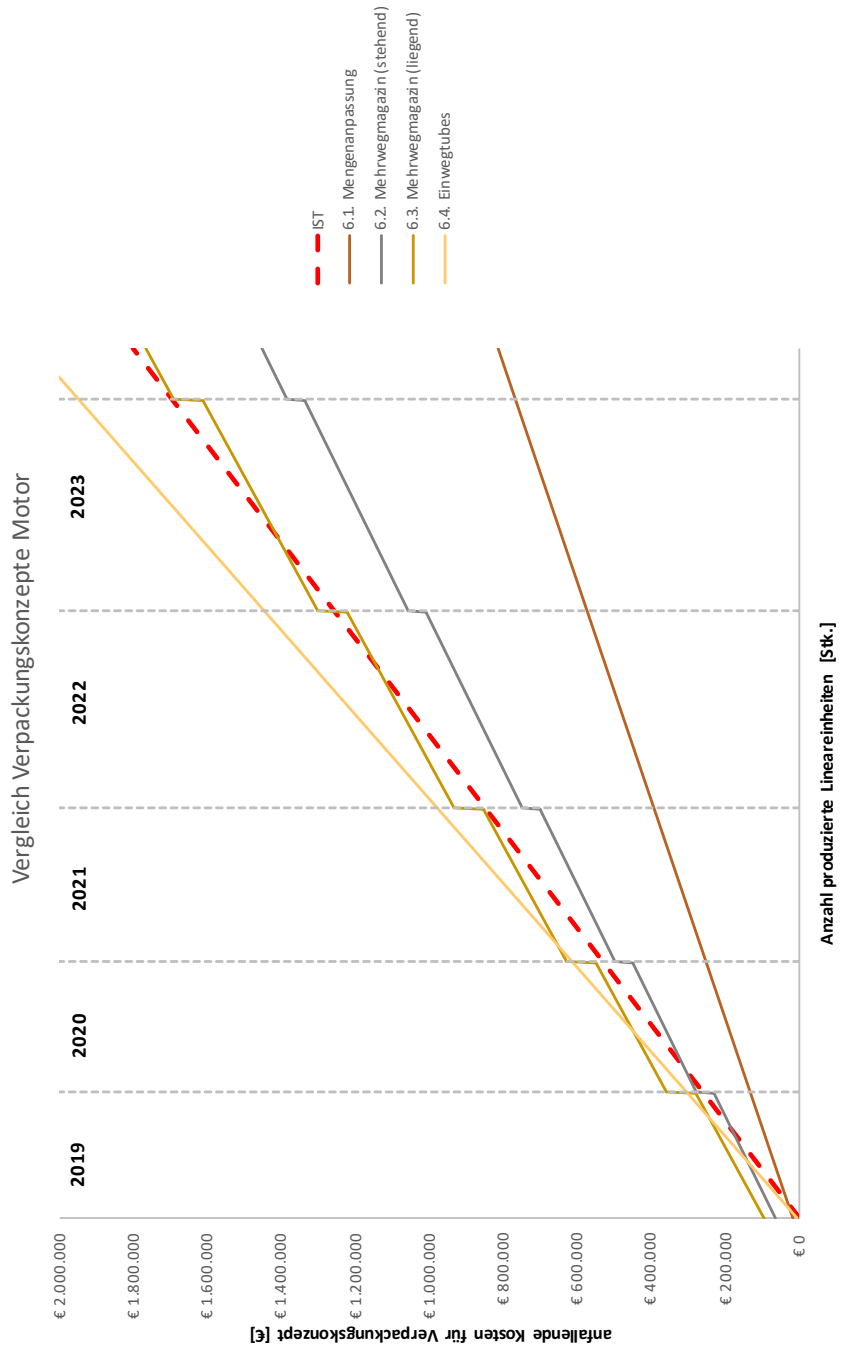


Abbildung B.6: BEA Verpackungskonzepte Motor

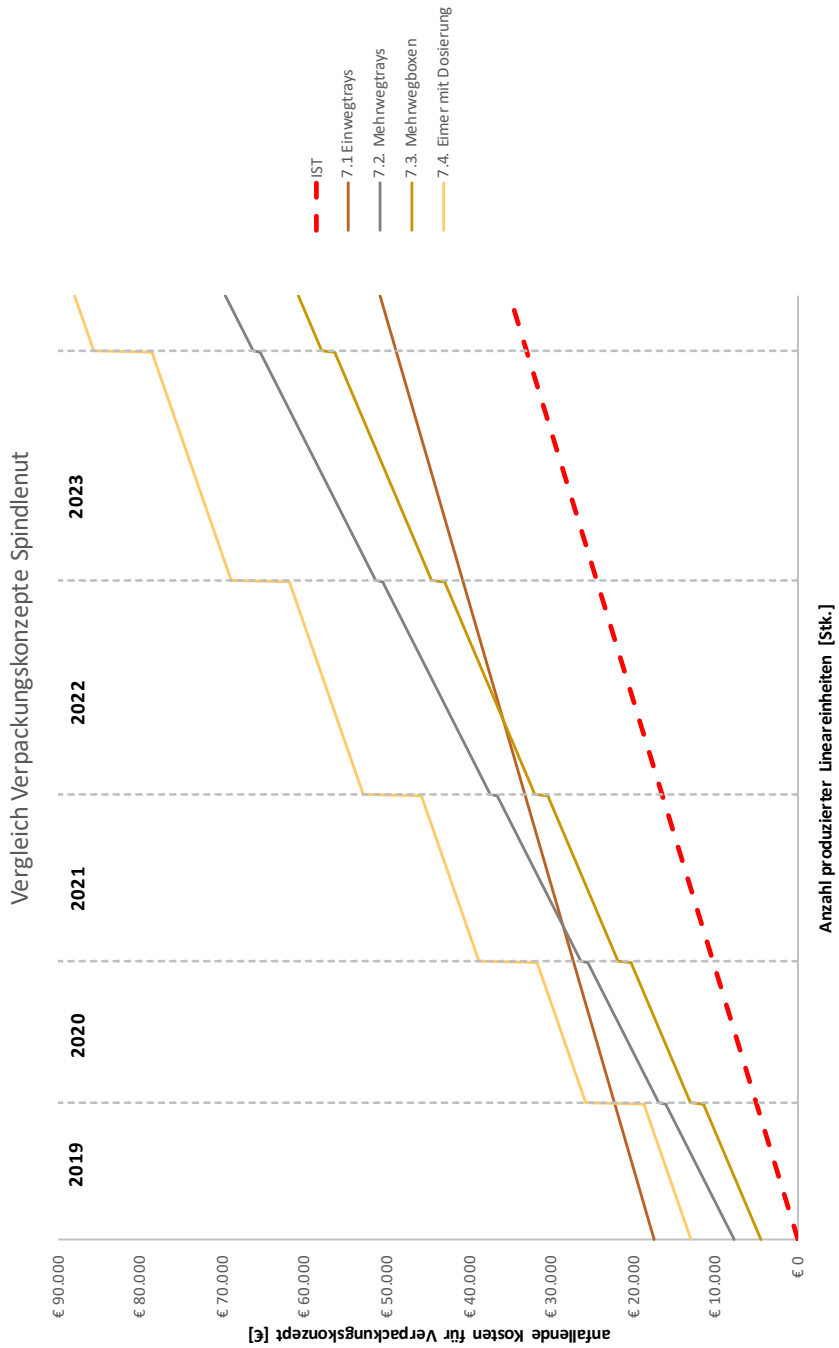


Abbildung B.7: BEA Verpackungskonzepte Spindlenut

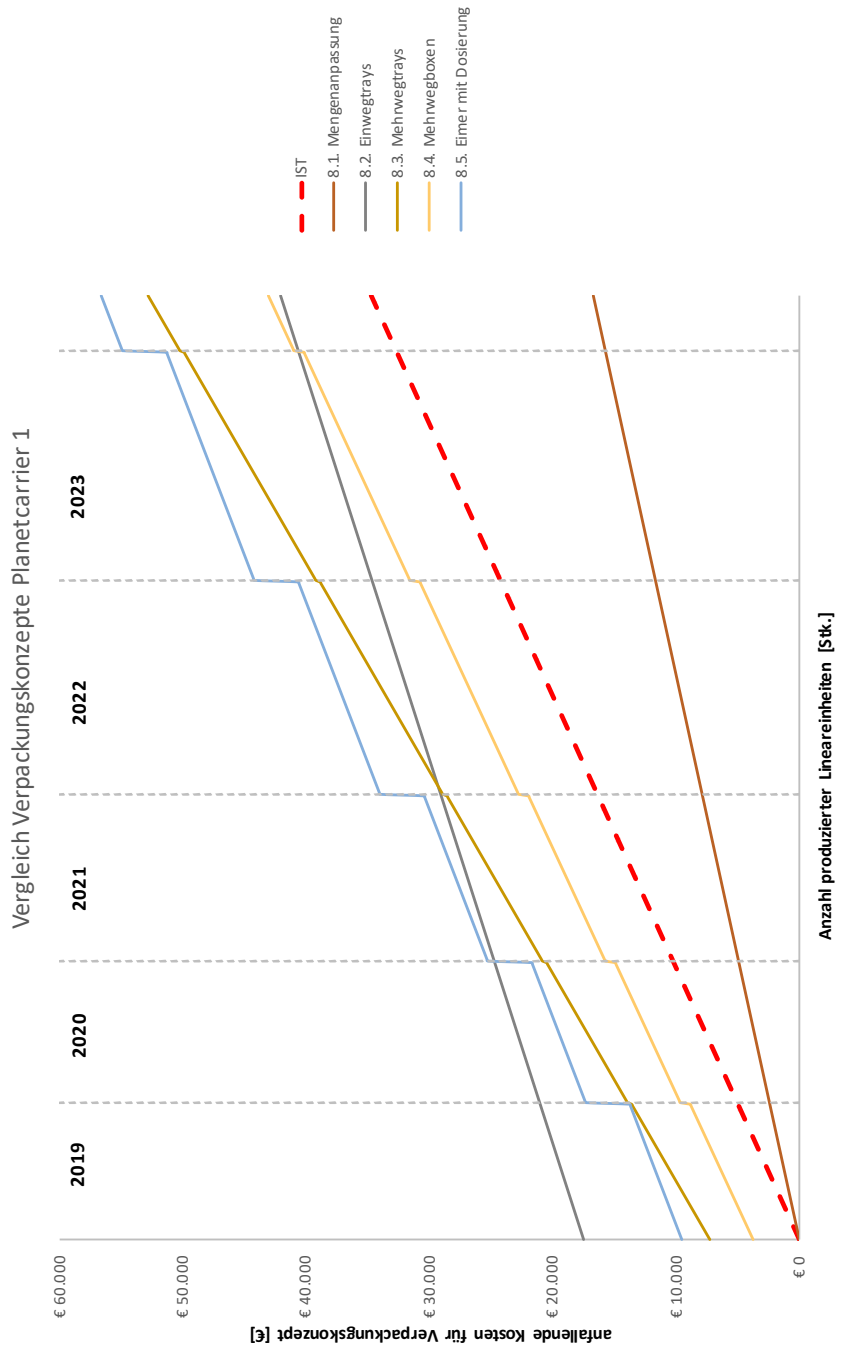


Abbildung B.8: BEA Verpackungskonzepte Planetcarrier 1

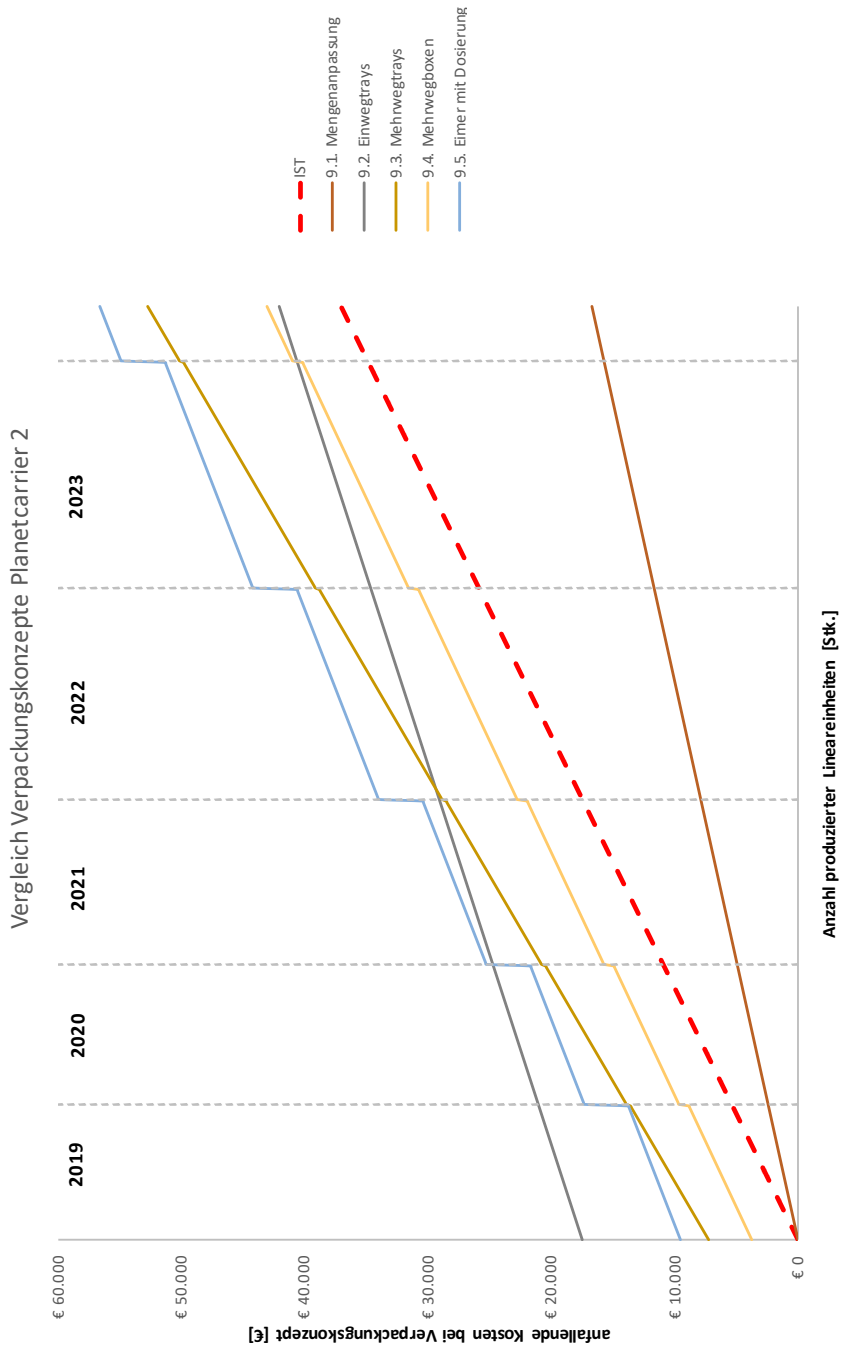


Abbildung B.9: BEA Verpackungskonzepte Planetcarrier 2

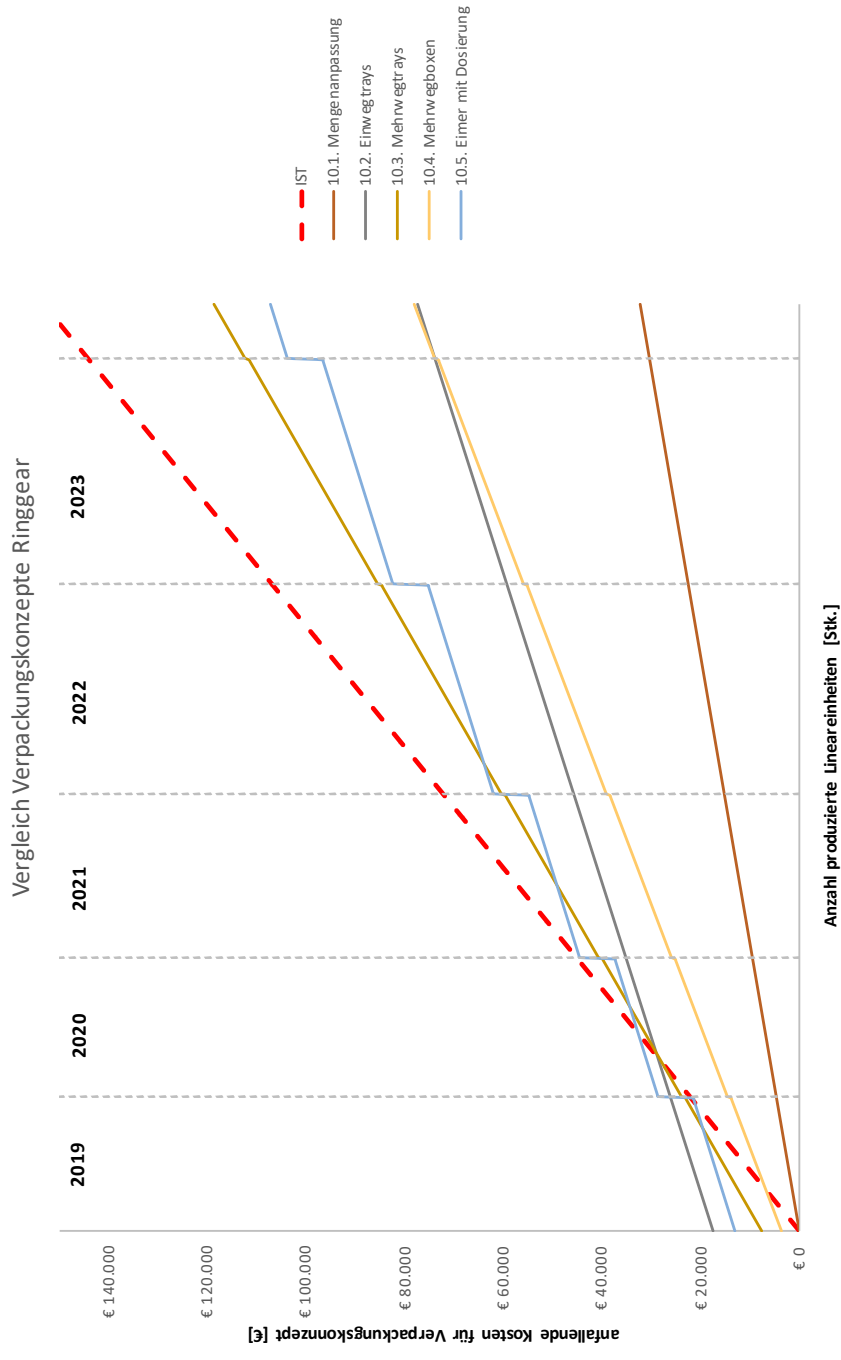


Abbildung B.10: BEA Verpackungskonzepte Ringgear

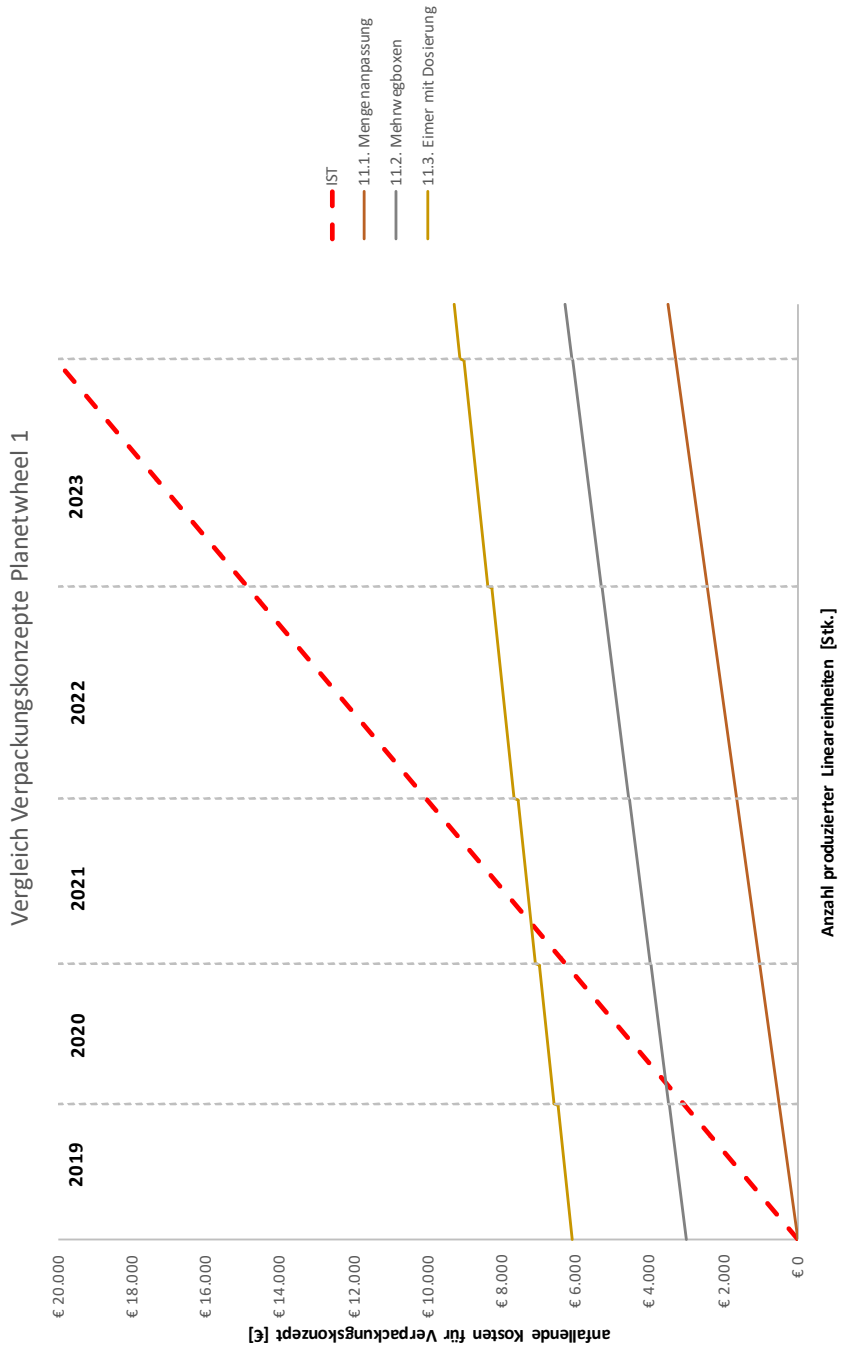


Abbildung B.11: BEA Verpackungskonzepte Planetwheel 1

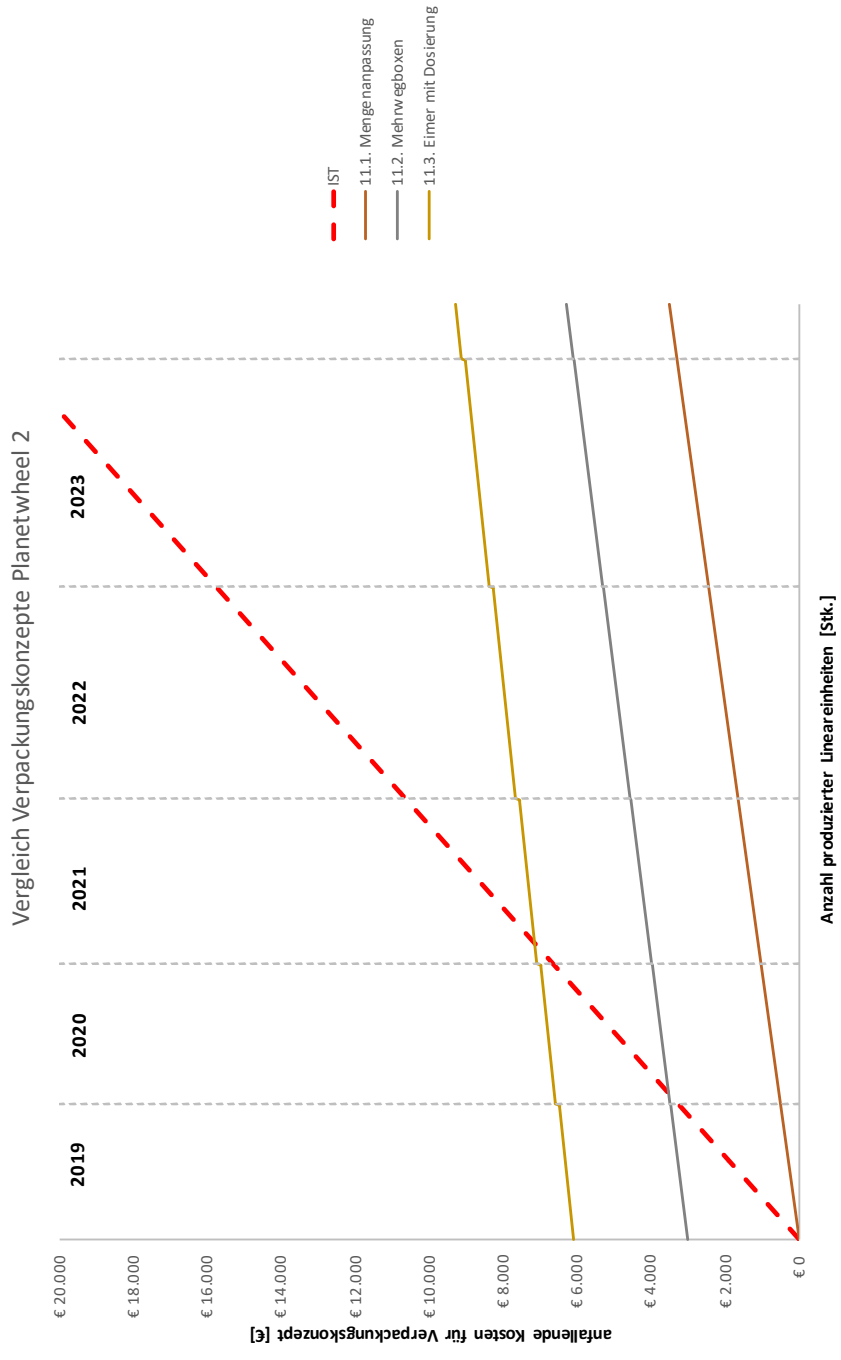


Abbildung B.12: BEA Verpackungskonzepte Planetwheel 2

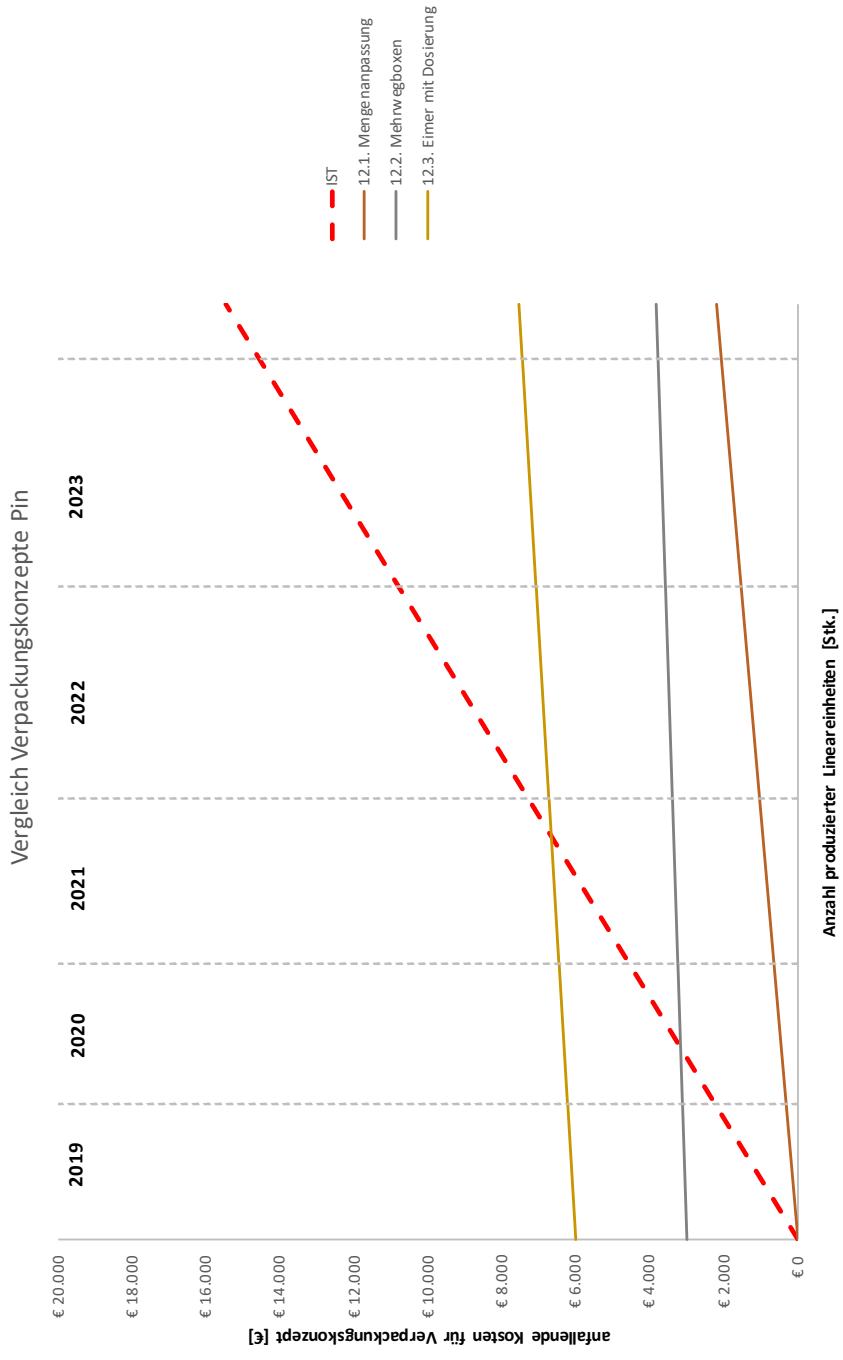
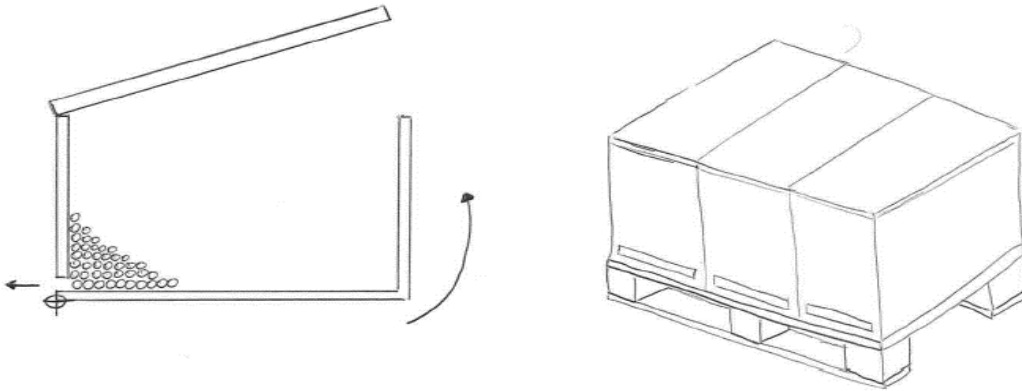


Abbildung B.13: BEA Verpackungskonzepte Pin

Anhang C

Ergebniskatalog

Skizze



Beschreibung

Die Spindeln werden beim Zulieferer in bereitgestellte Kisten geladen, welche stirnseitig eine Öffnung vorweisen. Diese kann manuell geschlossen und geöffnet werden. Die Komponenten liegen aneinander und werden mit dem Schwerkraftprinzip einzeln durch die Öffnung entladen.

Vorteile:

- + geringe Prozess- und Sortierkosten (Schüttgut)
- + einfache Vereinzelung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

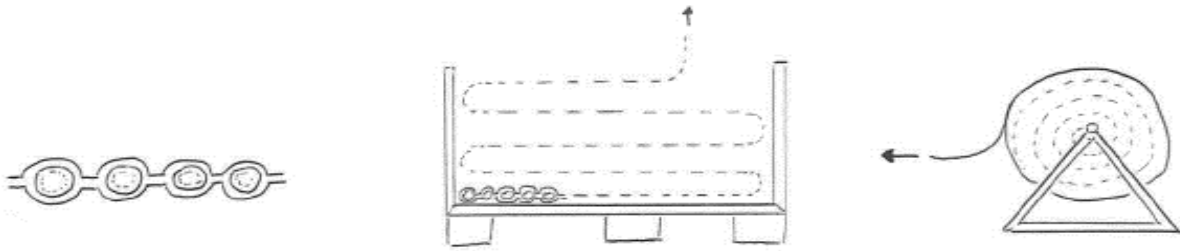
- Reibung der Komponenten untereinander
- hoher Administrationsaufwand durch Umlaufsystem
- hohes Gewicht der einzelnen Kisten

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 5.287
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	219 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 33
Amortisationsdauer:	4 Monate

Komponenten pro VPE: 1100

Skizze



Beschreibung

Die Spindeln werden in wiederverwendbare Kunststoffmagazine geschoben, welche flexibel miteinander verbunden sind. So kann ein Schutz der Spindeln untereinander erzeugt werden, sie können vorgefettet verpackt werden und wie eine Kette durch ein automatisches Entnahmesystem aus der Verpackungseinheit (Box auf Europalette) entnommen werden. Möglich ist auch ein Abrollen von einem Großmagazin. Zur Abfallreduktion kann die Kette wiederverwendet werden.

Vorteile:

- + Schutz voreinander
- + hohe Packdichte
- + geordnete Lage
- + automatische Entnahme möglich

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- Lebensdauer der Kette

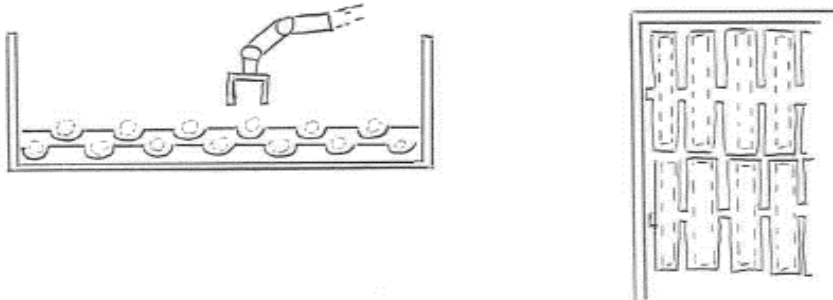
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 4.000
jährliches Investment:	€ 32.299
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	277 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 121
Amortisationsdauer:	1 Jahr

Komponenten pro VPE:

900

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind in wiederverwendbaren Tiefziehtrays eingelegt. Diese sind auf der Palette übereinander gestapelt. Die Entnahme geschieht durch einen magnetischen Flächengreifer, welche mehrere Komponenten auf einmal entnehmen kann. Der Feuchtigkeitsschutz geschieht durch Silicabags pro Schicht. Als Ladeeinheit werden genormte Kunststoffboxen verwendet.

Vorteile:

- + geordnete Lage der Komponenten
- + einfache automatische Entnahme
- + Schutz der Komponenten untereinander

Nachteile:

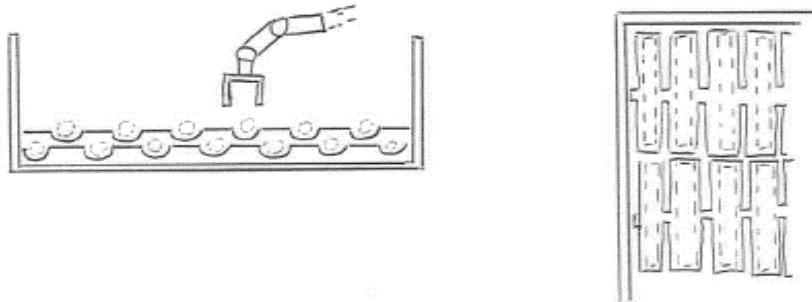
- geringe Packungsdichte
- Administrationsaufwand für Umlauf

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 9.554
jährliches Investment:	€ 6.075
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	675 Stk
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 9
Amortisationsdauer:	3 Monate

Komponenten pro VPE: 2700

Skizze



Beschreibung

Die Stahlspindeln sind in Einwegtrays eingelegt. Diese sind auf der Palette übereinander gestapelt. Zur Entnahme sind Zwischenräume zwischen den Spindel vorgesehen, wo ein Robotergreifer sie einzeln entnehmen kann. Der Korrossionsschutz geschieht durch eine umhüllende Kunststoffschicht um die gesamte Verpackungseinheit. Die Trays sind zur Einmalverwendung vorgesehen und werden aus recyclingfähigem Material hergestellt

Vorteile:

- + geordnete Lage der Komponenten
- + einfache automatische Entnahme
- + Schutz der Komponenten untereinander

Nachteile:

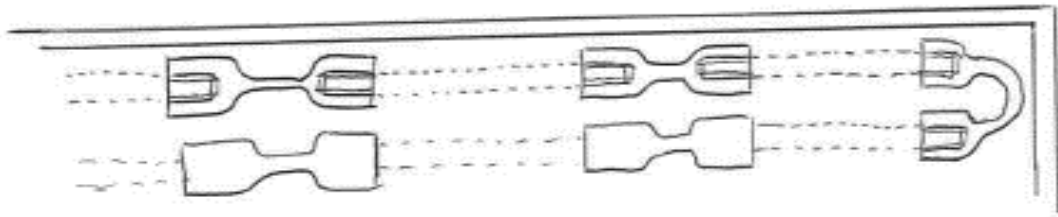
- geringe Packungsdichte
- Abfallentstehung

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 17.500
jährliches Investment:	€ 0
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	922 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 0,51
Amortisationsdauer:	5 Monate

Komponenten pro VPE: 2700

Skizze



Beschreibung

Wiederverwendbare Endkappen (evtl. mit Innengewinde oder Presspassung) verbinden die Stahlspindel untereinander. So wird eine lange Kette erzeugt, welche, wenn sie in der Verpackungseinheit richtig eingelegt wird, als Strang entnommen werden kann. Aufgrund des Durchmessers der Kappen, liegen die Spindeln getrennt voneinander und berühren sich nicht gegenseitig. Der Korrosionsschutz geschieht durch die umhüllende Verpackung.

Vorteile:

- + vollautomatische Entnahme möglich
- + Schutz untereinander
- + geringer Abfallentstehung

Nachteile:

- leicht geringere Packungsdichte
- Aufwand für Verpacken
- Administrationsaufwand für Umlauf

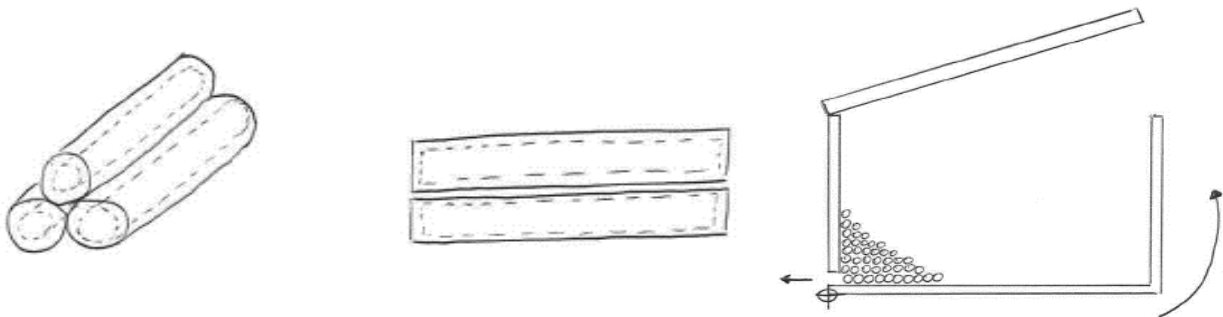
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 10.000
jährliches Investment:	€ 102
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	311 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 0,33
Amortisationsdauer:	4,5 Monate

Komponenten pro VPE:

800

Skizze



Beschreibung

Die Stahlspindeln sind einzeln in Schrumpfschläuchen verpackt. Diese Umhüllung wird in der Montage durch einen thermischen bzw. chemischen Prozess in eine Schmierschicht umgewandelt. Die Entnahme aus dem Verpackungssystem geschieht mittels Schwerkraft.

Vorteile:

- + hohe Packungsdichte
- + Schutz der Komponenten untereinander
- + reduzierte Müllentstehung
- + einfache Vereinzlung

Nachteile:

- hoher Forschungsaufwand
- hohe Prozesskosten

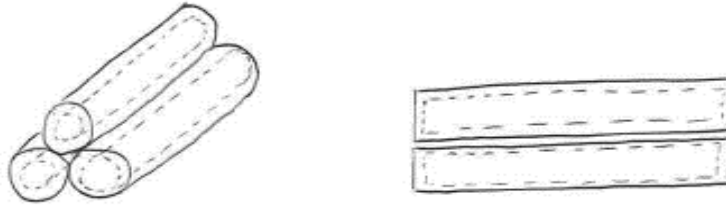
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 6.000
jährliches Investment:	€ 6.350
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	248 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 0,33
Amortisationsdauer:	8 Monate

Komponenten pro VPE:

1000

Skizze



Beschreibung

Jede Tube ist mit einer dünnen Kunststoffhülle ummantelt. Diese schützt vor Reibung untereinander. Somit können die Komponenten als Schüttgut klassifiziert werden.

Vorteile:

- + Schutz der Komponenten untereinander
- + einfache Vereinzelnung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- viel Verpackungsmüll

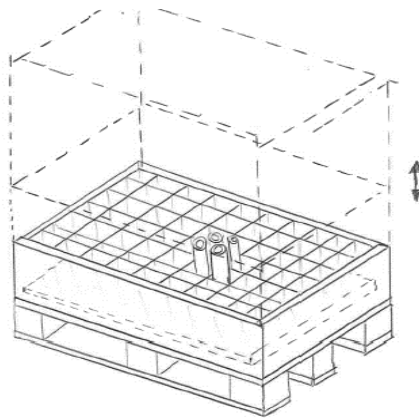
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 2.000
jährliches Investment:	€ 20.481
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	429 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 41,61
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

579

Skizze



Beschreibung

Die Tubes sind getrennt voneinander in einer Wabenstruktur stehend verpackt. Die Grundfläche, auf der die Tubes stehen ist eine leicht elastische Gelmatte zur Dämpfung und zur Vorbeugung vor Graten. Die umhüllende Box und die Wabenstruktur sind jeweils zusammenfalt- und wiederverwendbar.

Vorteile:

- + geordnete Komponentenposition
- + vollautomatische Entnahme möglich
- + reduzierte Abfallentstehung
- + Schutz der Komponenten untereinander

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- geringe Packdichte
- hohe Investitionskosten

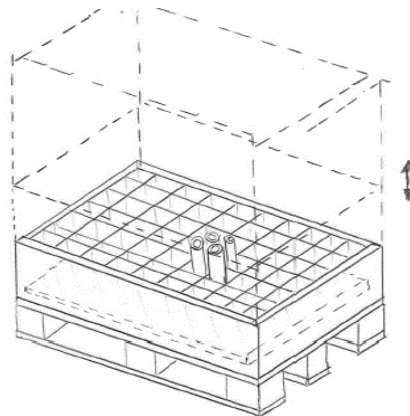
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 85.389
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	142 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 600,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

500

Skizze



Beschreibung

Die Tubes sind getrennt voneinander in einer Wabenstruktur stehend verpackt. Die Grundfläche, auf der die Tubes stehen ist eine leicht elastische Gelmatte zur Dämpfung und zur Vorbeugung vor Graten. Die umhüllende Box und die Wabenstruktur bestehen aus recyclingfähigem Karton und können nur einmal verwendet werden.

Vorteile:

- + geordnete Komponentenposition
- + vollautomatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- geringe Packdichte
- starke Abfallentstehung

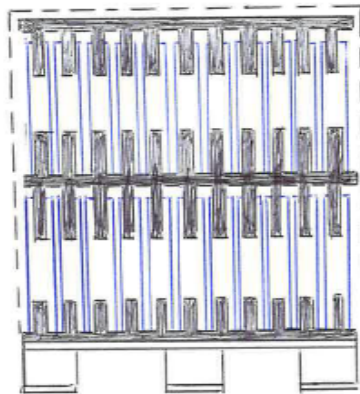
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 5.000
jährliches Investment:	€ 0
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	4981 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 40,98
Amortisationsdauer:	2 Monate

Komponenten pro VPE:

500

Skizze



Beschreibung

Die unterste Schicht der Palette ist eine Formfaserstruktur mit Dornen, darauf werden die Tubes aufgesteckt. Darüber ist eine weitere Formfaserplatte mit Dornen auf der unteren und der oberen Seite. Darauf stecken wieder Tubes. Den Deckel bildet eine abschließende Formfaserstruktur. Umhüllt wird die Ladeinheit mit einer Kunststofffolie.

Vorteile:

- + geordnete Komponentenposition
- + vollautomatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander
- + geringe Müllentstehung

Nachteile:

- Stabilität der Ladeinheit

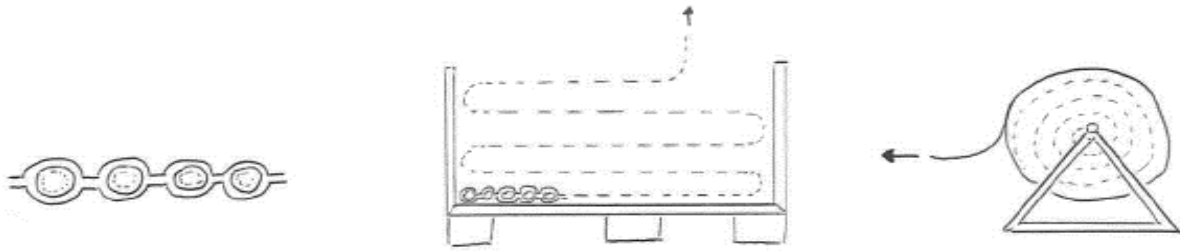
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 9.000
jährliches Investment:	€ 20.478
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	554 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 37,00
Amortisationsdauer:	5 Monate

Komponenten pro VPE:

450

Skizze



Beschreibung

Die Tubes werden in wiederverwendbare Kunststoffmagazine geschoben, welche flexibel miteinander verbunden sind. So kann ein Schutz der Spindeln untereinander erzeugt werden, sie können vorgefettet verpackt werden und wie eine Kette durch ein automatisches Entnahmesystem aus der Verpackungseinheit (Box auf Europalette) entnommen werden. Möglich ist auch ein Abrollen von einem Großmagazin. Zur Abfallreduktion kann die Kette wiederverwendet werden.

Vorteile:

- + Schutz voreinander
- + geordnete Lage
- + automatische Entnahme möglich

Nachteile:

- geringe Packdichte

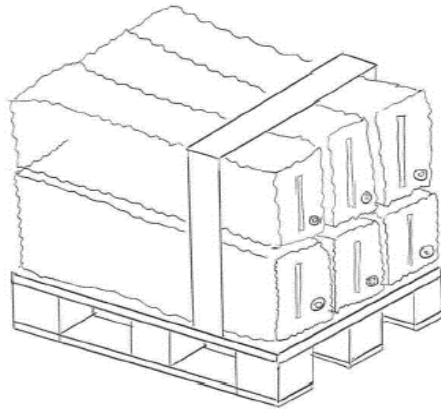
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 4.000
jährliches Investment:	€ 146.630
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	1217 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 120,53
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

150

Skizze



Beschreibung

Große wiederverwendbare Kunststoffsäcke unter Vakuum gefüllt mit den Komponenten sind so geformt, dass sie packoptimiert auf einer Palette aufgestapelt werden können. Die Luftabsaugung bzw. Belüftung geschieht über ein fixes Ventil und die Entnahme der Komponenten geschieht mittels Zipverschluss. Es wird keine umhüllende Verpackungsschicht benötigt.

Vorteile:

- + hohe Packdichte
- + guter Korrosionsschutz
- + einfache Vereinzlung
- + geringer Aufwand für Rücktransport

Nachteile:

- Administration für Umlauf
- evtl. auftretende Beschädigungen aufgrund auftretender Kräfte

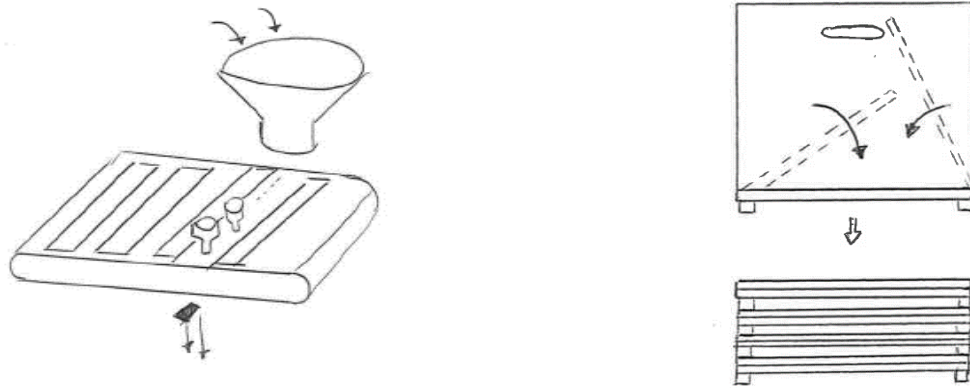
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 6.000
jährliches Investment:	€ 2.306
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	93 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 25,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

2700

Skizze



Beschreibung

Die Größe der Silicabags, welche als Schutz vor eindringender Feuchtigkeit dienen, so anpassen, dass sie beim Ordnungsvorgang des Schüttguts ausgesiebt werden können. Die umhüllenden Boxen sind als Mehrwegbehälter ausgeführt.

Vorteile:

- + geringe Prozesskosten
- + einfache Vereinzelung

Nachteile:

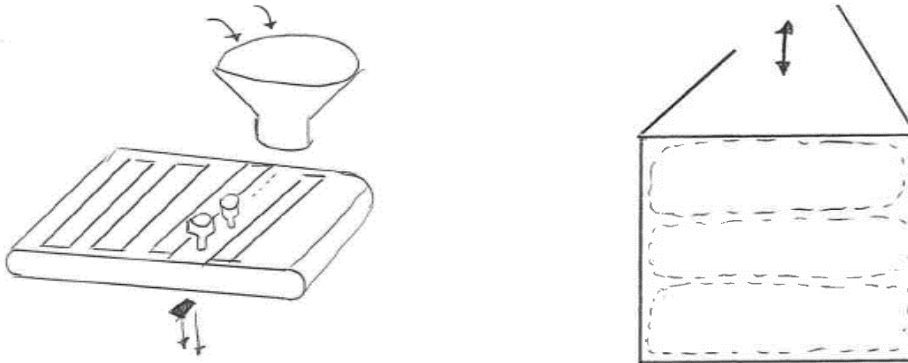
- Administrationsaufwand für Umlauf

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 2.000
jährliches Investment:	€ 1.581
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	80 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 20,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:	900
----------------------	-----

Skizze



Beschreibung

Das bestehende Einwegverpackungssystem wird weitergeführt. Die Größe der Silicabags, welche als Schutz vor eindringender Feuchtigkeit dienen, sind angepasst, dass sie beim Ordnungsvorgang des Schüttguts ausgesiebt werden können.

Vorteile:

- + geringe Prozesskosten
- + einfache Vereinzlung

Nachteile:

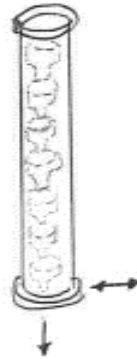
- starke Müllentstehung

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 0
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	2768 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 0,0200
Amortisationsdauer:	2,5 Jahre

Komponenten pro VPE: 900

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind geordnet in langen wiederverwendbaren Kunststoffubes verpackt, der Feuchtigkeitsschutz befindet sich fix im Deckel. Die Entnahme und Vereinzelnung geschieht mittels Schwerkraft. Die Tubes sind in genormten Mehrwegboxen verpackt.

Vorteile:

- + geordnete Komponentenlage
- + vollautomatische Magazinentnahme
- + keine Reibung untereinander
- + geringe Müllentstehung
- + fixer Feuchtigkeitsschutz

Nachteile:

- geringe Packdichte
- Administrationsaufwand für Umlauf
- hohe Packkosten bei Lieferant

Kostenzusammenfassung

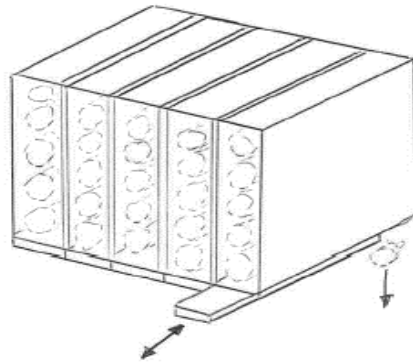
Entwicklungskosten:	€ 6.000
jährliches Investment:	€ 66.414
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	6641 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 10,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

1100

25

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind in Reihen hintereinander aufgelegt. Durch vertikale Trennwände sind sie voneinander getrennt. Ein Schieber auf der Unterseite vereinzelt die Komponenten.

Vorteile:

- + geordnete Komponentenlage
- + vollautomatische Magazinentnahme
- + geringe Reibung untereinander
- + geringe Müllentstehung
- + fixer Feuchtigkeitsschutz

Nachteile:

- geringe Packdichte
- Administrationsaufwand für Umlauf

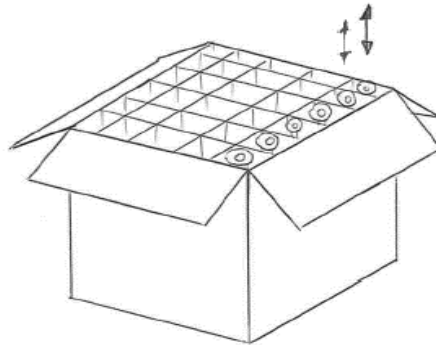
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 6.000
jährliches Investment:	€ 692
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	28 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 25,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

3000

Skizze



Beschreibung

In die bestehende Kartonverpackung ist eine Wabenstruktur aus recyclingfähigem Material eingelegt, wo die Spindeln stehend im Raster verpackt sind. Ein Greifer kann die Spindeln von oben entnehmen. Als Feuchtigkeits- und Transportschutz dient eine Folie, welche um die gesamte Ladeinheit gewickelt ist.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + geordnete Lage
- + geringe Investitionskosten

Nachteile:

- starke Müllentstehung

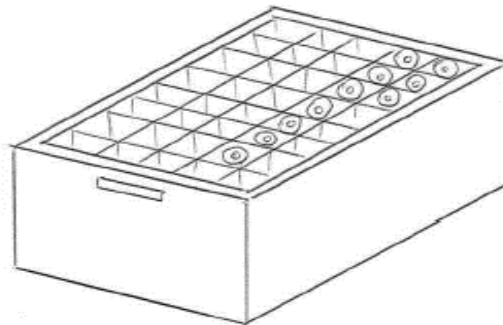
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 0
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	4423 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 8,26
Amortisationsdauer:	2 Monate

Komponenten pro VPE:

563

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten werden stehend in wiederverwendbaren Boxen (Grundfläche Europalette 120x80cm) verpackt. Zum Schutz voreinander und gegen Umfallen sind sie durch eine Wabenstruktur getrennt. Als Feuchtigkeits- und Transportschutz dient eine Folie, welche um die gesamte Ladeinheit gewickelt ist. Pro Palette können drei Boxen übereinander gestapelt werden.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + geordnete Lage
- + geringe Müllentstehung

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- hohe Investition

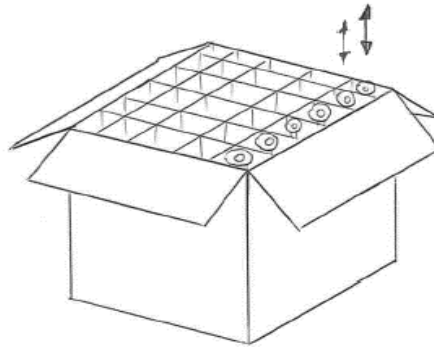
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 75.927
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	127 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 600,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

1100

Skizze



Beschreibung

In die bestehenden Kartonverpackungen werden wiederverwendbare Raster eingesetzt, welche die Komponenten in einer geordneten Position halten (vertikal). Diese Wabenstruktur ist zusammenfaltbar und kann somit platzsparend zum Zulieferer rücktransportiert werden. Als Feuchtigkeits- und Transportschutz dient eine Folie, welche um die gesamte Ladeinheit gewickelt ist.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + geordnete Lage
- + kann auf bestehendes System aufgebaut werden
- + nur geringer Administrationsaufwand für Umlauf

Nachteile:

- leichte Müllentstehung
- Handling der Raster

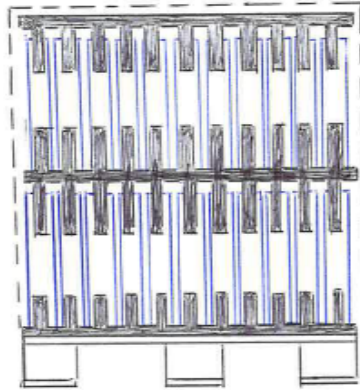
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 55.170
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	2196 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 25,12
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

81

Skizze



Beschreibung

Die Spindel sind stehend auf Dornen aufgesteckt, welche in einer Mehrwegbox fix montiert sind. Der Deckel der Box ist abnehmbar. Als Feuchtigkeits- und Transportschutz dient eine Folie, welche um die gesamte Ladeinheit gewickelt ist.

Vorteile:

- + geordnete Komponentenposition
- + vollautomatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander
- + geringe Müllentstehung

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- hohe Investitionskosten

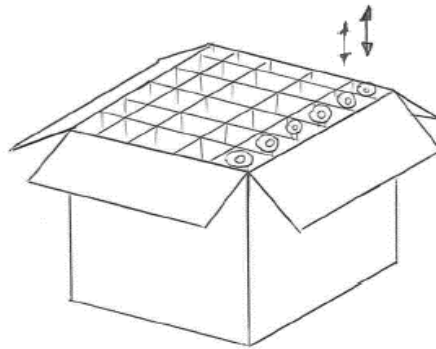
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 9.000
jährliches Investment:	€ 16.755
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	453 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 37,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

550

Skizze



Beschreibung

In die bestehende Kartonverpackung ist eine Wabenstruktur aus recyclingfähigem Material eingelegt, wo die Spindeln stehend im Raster verpackt sind. Ein Greifer kann die Spindeln von oben entnehmen. Als Feuchtigkeits- und Transportschutz dient eine Folie, welche um die gesamte Ladeinheit gewickelt ist.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + geordnete Lage
- + geringe Investitionskosten

Nachteile:

- starke Müllentstehung

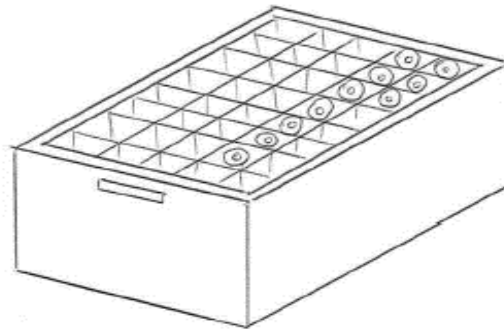
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 0
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	4017 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 8,42
Amortisationsdauer:	2 Monate

Komponenten pro VPE:

620

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten werden stehend in wiederverwendbaren Boxen (Grundfläche Europalette 120x80cm) verpackt. Zum Schutz voreinander und gegen Umfallen sind sie durch eine Wabenstruktur getrennt. Als Feuchtigkeits- und Transportschutz dient eine Folie, welche um die gesamte Ladeinheit gewickelt ist. Pro Palette können drei Boxen übereinander gestapelt werden.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + geordnete Lage
- + geringe Müllentstehung

Nachteile:

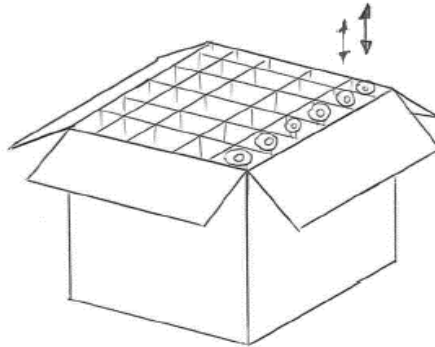
- Administrationsaufwand für Umlauf
- hohe Investition

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 68.862
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	115 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 600,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

620

Skizze**Beschreibung**

In die bestehenden Kartonverpackungen werden wiederverwendbare Raster eingesetzt, welche die Komponenten in einer geordneten Position halten (vertikal). Diese Wabenstruktur ist zusammenfaltbar und kann somit platzsparend zum Zulieferer rücktransportiert werden. Als Feuchtigkeits- und Transportschutz dient eine Folie, welche um die gesamte Ladeinheit gewickelt ist.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + geordnete Lage
- + kann auf bestehendes System aufgebaut werden
- + nur geringer Administrationsaufwand für Umlauf

Nachteile:

- leichte Müllentstehung
- Handling der Raster

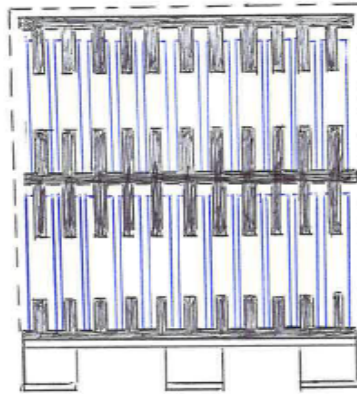
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 36.931
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	1470 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 25,12
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

121

Skizze



Beschreibung

Die Spindel sind stehend auf Dornen aufgesteckt, welche in einer Mehrwegbox fix montiert sind. Der Deckel der Box ist abnehmbar. Als Feuchtigkeits- und Transportschutz dient eine Folie, welche um die gesamte Ladeeinheit gewickelt ist.

Vorteile:

- + geordnete Komponentenposition
- + vollautomatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander
- + geringe Müllentstehung

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- hohe Investitionskosten

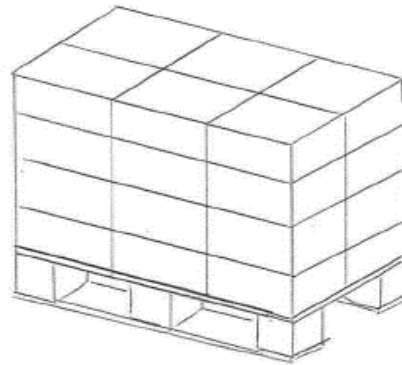
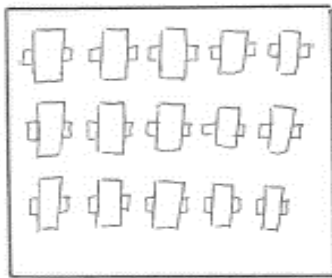
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 9.000
jährliches Investment:	€ 15.358
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	412 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 37,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

600

Skizze



Beschreibung

Die Motoren liegen in Einwegtrays, welche in große Kartonboxen eingelegt sind. Diese liegen in mehreren Schichten übereinander. Als Korrosionsschutz dienen in Silicabag, welche an fixen Plätzen in den Trays eingeklebt/ingelegt sind. Jede Kartonbox ist mit einer umhüllenden Kunststoffschicht versehen.

Vorteile:

- + keine Leertransporte notwendig
- + geordnete Lage der Komponenten
- + automatische Entnahme möglich

Nachteile:

- starke Müllentstehung

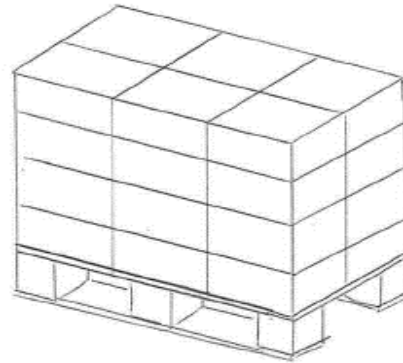
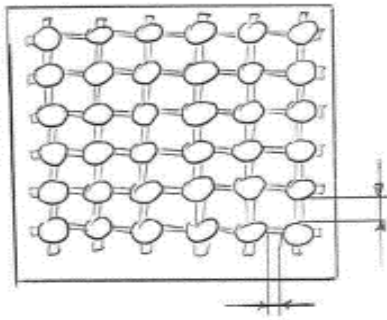
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 17.500
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	103773 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 0,60
Amortisationsdauer:	2 Monate

Komponenten pro VPE:

24

Skizze



Beschreibung

Die Motoren sind stehend in Mehrwegtrays verpackt und können von oben mit einem Greifer entnommen werden. Die Trays dienen gleichzeitig als Boxen, welche packoptimiert auf einer Palette gestapelt werden können. Als Schutz vor Feuchtigkeit wird die gesamte Ladeinheit mit Kunststoffolie umwickelt.

Vorteile:

- + hohe Packdichte
- + automatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander
- + geordnete Lage

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- hohe Kosten falls Bezug aus Asien

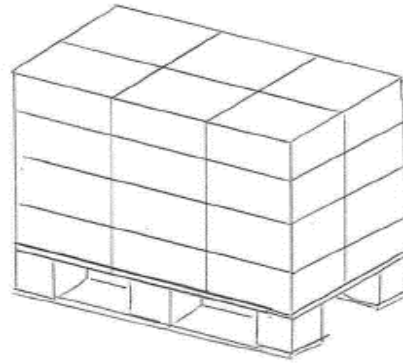
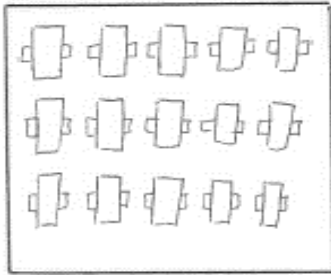
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 18.400
jährliches Investment:	€ 63.322
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	6226 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 10,17
Amortisationsdauer:	/

Komponenten pro VPE:

40

Skizze



Beschreibung

Die Motoren sind liegend in Mehrwegtrays verpackt und können von oben mit einem Greifer entnommen werden. Die Boxen sind haben einen abnehmbaren Deckel und sind zusammenklappbar, um den Rücktransport optimal zu gestalten.

Vorteile:

- + hohe Packdichte
- + automatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander
- + geordnete Lage

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- hohe Kosten falls Bezug aus Asien

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 18.400
jährliches Investment:	€ 105.537
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	10377 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 10,17
Amortisationsdauer:	/

Komponenten pro VPE:

24

Skizze



Beschreibung

Die Motoren sind hintereinander in Kunststoffubes eingeschoben und verpackt. Diese liegen geordnet in einer großen Mehrwegbox und können mit einem Greifersystem entnommen werden.

Vorteile:

- + einfaches Handling
- + guter Schutz vor Feuchtigkeit
- + geordnete Lage

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- hohe Kosten falls Bezug aus Asien
- Berührung an den Stirnflächen

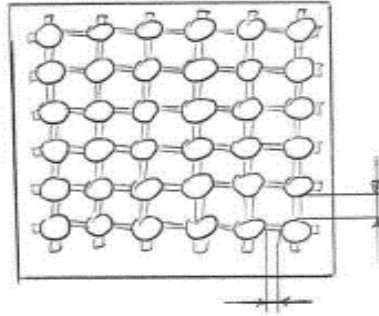
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 6.000
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	311319 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 2,03
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

8

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind liegend in Einwegtrays geordnet. Diese liegen übereinander in Einwegkartons. Die verwendeten Materialien sind so gut als möglich recyclebar. Als umhüllende Verpackung wird die aktuelle Kartonbox verwendet.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander

Nachteile:

- starke Müllentstehung
- geringe Packdichte

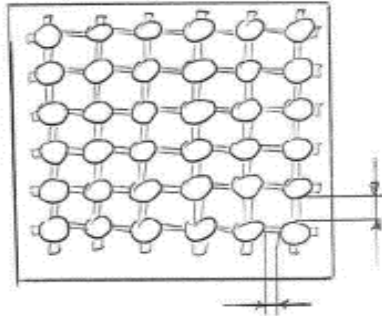
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 17.500
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	€ 2.561
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 1,03
Amortisationsdauer:	6 Jahre

Komponenten pro VPE:

972

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind liegend in Mehrwegtrays geordnet. Diese liegen übereinander in Umlaufboxen. Die verwendeten Materialien sind so gut als möglich recyclebar. Die Boxen sind haben einen abnehmbaren Deckel und sind zusammenklappbar, um den Rücktransport optimal zu gestalten.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- geringe Packdichte

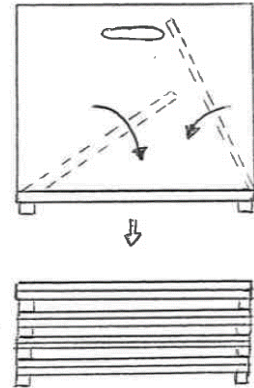
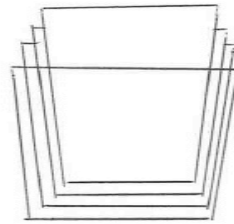
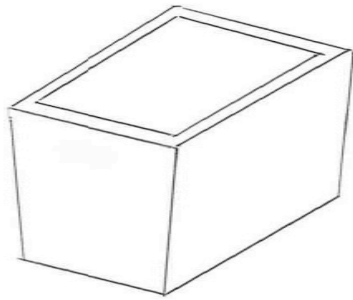
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 7.000
jährliches Investment:	€ 1.035
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	129 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 8,08
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

972

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind als Schüttgut in Mehrwegboxen verpackt. Die Boxen sind haben einen abnehmbaren Deckel und sind zusammenklappbar, um den Rücktransport optimal zu gestalten.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + einfache Handhabung
- + einfache Sortierung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf

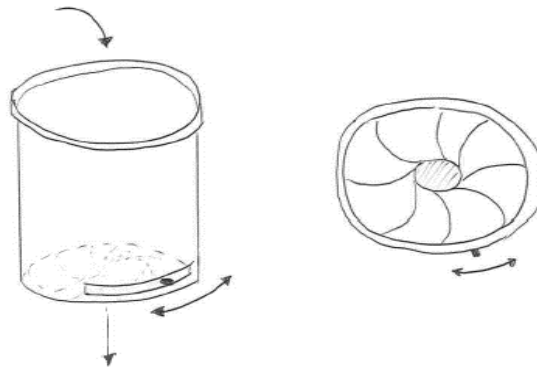
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 2.058
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	43 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 48,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

1660

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind als Schüttgut in Eimern verpackt, der Boden der Eimer ist von außen mit einem Hebel ähnlich einer Iris öffnbar. Je nach Durchmesser der Öffnung wird die Dosierung der Komponenten eingestellt.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + einfache Handhabung
- + einfache Sortierung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- evtl. Probleme bei Verschließen der Öffnung

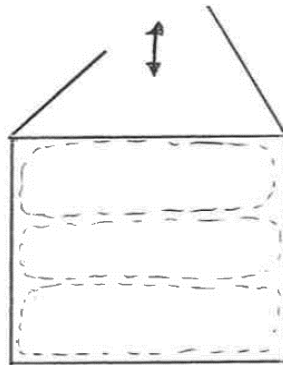
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 6.000
jährliches Investment:	€ 9.578
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	95 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 100,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

1300

Skizze



Beschreibung

Die bestehende Verpackung wird weiterverwendet, die Stückzahl pro Verpackungseinheit wird erhöht, um den Packraum so optimal wie möglich auszunutzen.

Vorteile:

- + keine Investitionskosten
- + einfache Handhabung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- starke Müllentstehung
- viel manuelle Arbeit bei Montagebereitstellung

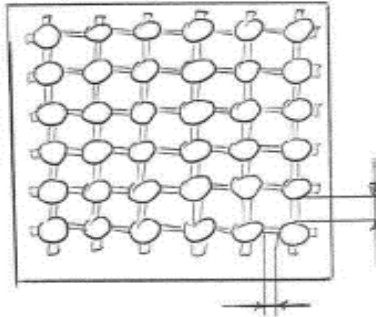
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 0
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	2490 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 0,0025
Break-Even-Punkt (bei prod. Drives):	sofort

Komponenten pro VPE:

1000

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind liegend in Einwegtrays geordnet. Diese liegen übereinander in Einwegkartons. Die verwendeten Materialien sind so gut als möglich recyclebar.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander

Nachteile:

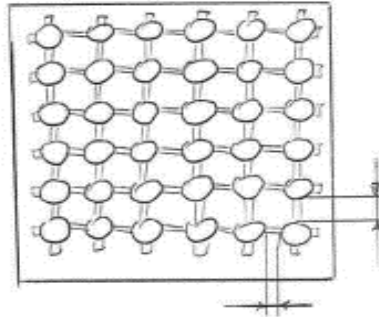
- starke Müllentstehung
- geringe Packdichte

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 17.500
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	887 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 1,03
Break-Even-Punkt (bei prod. Drives):	6 Jahre

Komponenten pro VPE: 2800

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind liegend in Mehrwegtrays geordnet. Diese liegen übereinander in Umlaufboxen. Die verwendeten Materialien sind so gut als möglich recyclebar. Die Boxen sind haben einen abnehmbaren Deckel und sind zusammenklappbar, um den Rücktransport optimal zu gestalten.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander

Nachteile:

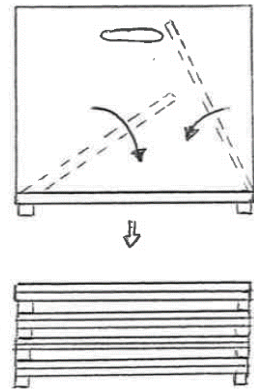
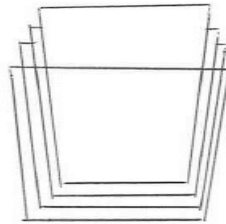
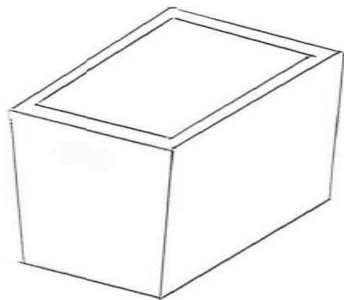
- Administrationsaufwand für Umlauf
- geringe Packdichte

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 7.000
jährliches Investment:	€ 358
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	44 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 8,08
Break-Even-Punkt (bei prod. Drives):	\

Komponenten pro VPE: 2800

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind als Schüttgut in Mehrwegboxen verpackt. Die Boxen sind haben einen abnehmbaren Deckel und sind zusammenklappbar, um den Rücktransport optimal zu gestalten.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + einfache Handhabung
- + einfache Sortierung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

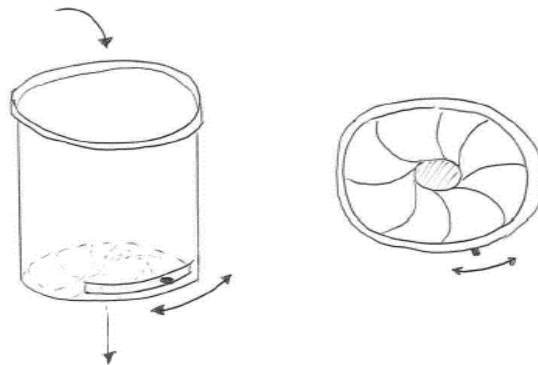
- Administrationsaufwand für Umlauf

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 1.026
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	22 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 48,00
Break-Even-Punkt (bei prod. Drives):	\

Komponenten pro VPE: 3330

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind als Schüttgut in Eimern verpackt, der Boden der Eimer ist von außen mit einem Hebel ähnlich einer Iris öffnbar. Je nach Durchmesser der Öffnung wird die Dosierung der Komponenten eingestellt.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + einfache Handhabung
- + einfache Sortierung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- evtl. Probleme bei Verschließen der Öffnung

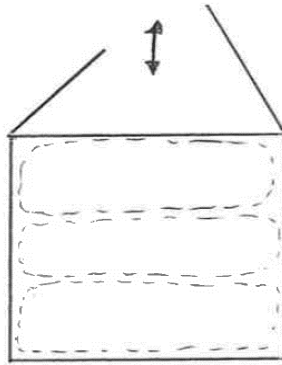
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 6.000
jährliches Investment:	€ 4.826
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	48 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 100,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

2580

Skizze



Beschreibung

Die bestehende Verpackung wird weiterverwendet, die Stückzahl pro Verpackungseinheit wird erhöht, um den Packraum so optimal wie möglich auszunutzen.

Vorteile:

- + keine Investitionskosten
- + einfache Handhabung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

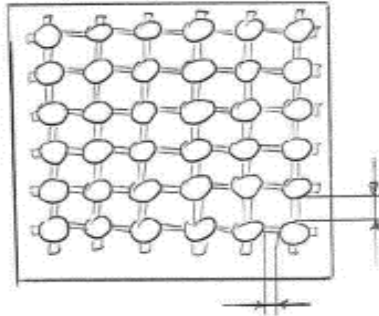
- starke Müllentstehung
- viel manuelle Arbeit bei Montagebereitstellung

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 0
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	2490 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 0,0028
Amortisationsdauer:	sofort

Komponenten pro VPE:

1000

Skizze**Beschreibung**

Die Komponenten sind liegend in Einwegtrays geordnet. Diese liegen übereinander in Einwegkartons. Die verwendeten Materialien sind so gut als möglich recyclebar.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander

Nachteile:

- starke Müllentstehung
- geringe Packdichte

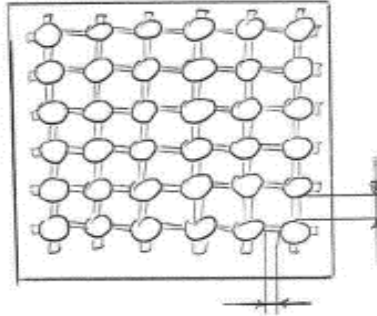
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 17.500
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	478 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 1,03
Amortisationsdauer:	6 Jahre

Komponenten pro VPE:

2800

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind liegend in Mehrwegtrays geordnet. Diese liegen übereinander in Umlaufboxen. Die verwendeten Materialien sind so gut als möglich recyclebar. Die Boxen sind haben einen abnehmbaren Deckel und sind zusammenklappbar, um den Rücktransport optimal zu gestalten.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- geringe Packdichte

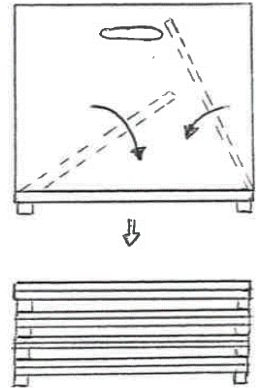
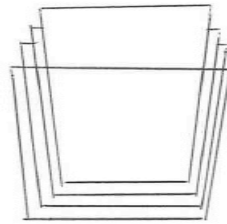
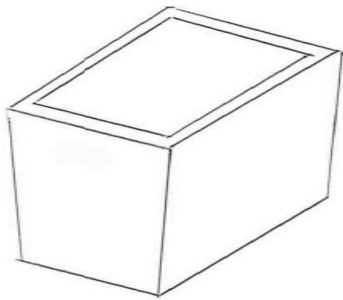
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 7.000
jährliches Investment:	€ 340
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	44 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 7,67
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

2800

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind als Schüttgut in Mehrwegboxen verpackt. Die Boxen sind haben einen abnehmbaren Deckel und sind zusammenklappbar, um den Rücktransport optimal zu gestalten.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + einfache Handhabung
- + einfache Sortierung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf

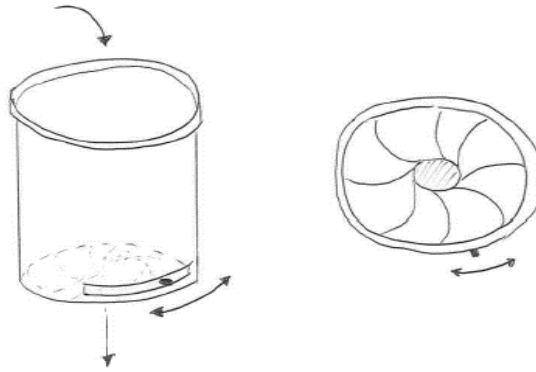
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 1.026
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	22 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 48,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

3330

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind als Schüttgut in Eimern verpackt, der Boden der Eimer ist von außen mit einem Hebel ähnlich einer Iris öffnbar. Je nach Durchmesser der Öffnung wird die Dosierung der Komponenten eingestellt.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + einfache Handhabung
- + einfache Sortierung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- evtl. Probleme bei Verschließen der Öffnung

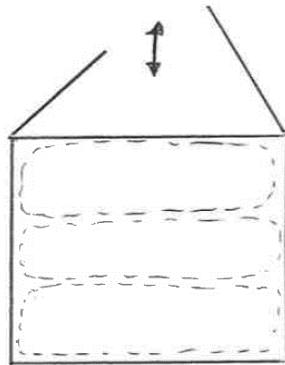
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 6.000
jährliches Investment:	€ 4.826
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	48 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 100,00
Amortisationsdauer:	\

Komponenten pro VPE:

2580

Skizze



Beschreibung

Die bestehende Verpackung wird weiterverwendet, die Stückzahl pro Verpackungseinheit wird erhöht, um den Packraum so optimal wie möglich auszunutzen.

Vorteile:

- + keine Investitionskosten
- + einfache Handhabung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

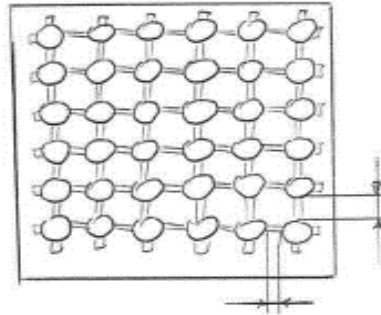
- starke Müllentstehung
- viel manuelle Arbeit bei Montagebereitstellung

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 0
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	2490 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 0,0057
Amortisationsdauer:	sofort

Komponenten pro VPE: 1000

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind liegend in Einwegtrays geordnet. Diese liegen übereinander in Einwegkartons. Die verwendeten Materialien sind so gut als möglich recyclebar.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander

Nachteile:

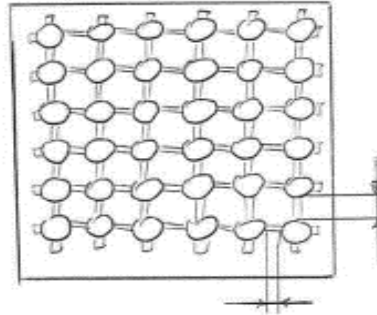
- starke Müllentstehung
- geringe Packdichte

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 17.500
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	2162 Stk
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 1,03
Amortisationsdauer:	1,5 Jahre

Komponenten pro VPE: 1152

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind liegend in Mehrwegtrays geordnet. Diese liegen übereinander in Umlaufboxen. Die verwendeten Materialien sind so gut als möglich recyclebar. Die Boxen sind haben einen abnehmbaren Deckel und sind zusammenklappbar, um den Rücktransport optimal zu gestalten.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + Schutz der Komponenten untereinander

Nachteile:

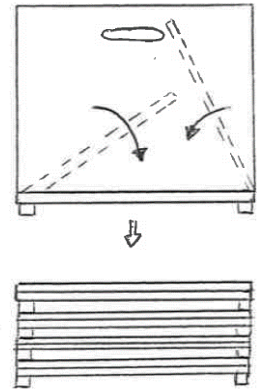
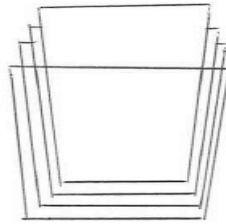
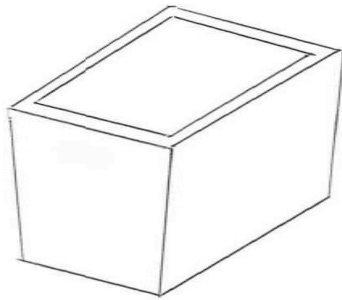
- Administrationsaufwand für Umlauf
- geringe Packdichte

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 7.000
jährliches Investment:	€ 873
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	108 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 8,08
Amortisationsdauer:	4 Monate

Komponenten pro VPE: 1152

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind als Schüttgut in Mehrwegboxen verpackt. Die Boxen sind haben einen abnehmbaren Deckel und sind zusammenklappbar, um den Rücktransport optimal zu gestalten.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + einfache Handhabung
- + einfache Sortierung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf

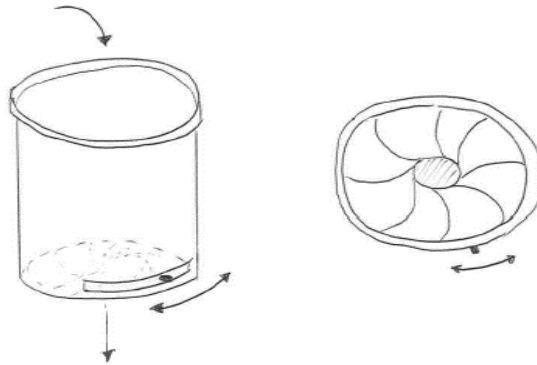
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 858
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	43 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 20,00
Amortisationsdauer:	1,5 Jahre

Komponenten pro VPE:

1660

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind als Schüttgut in Eimern verpackt, der Boden der Eimer ist von außen mit einem Hebel ähnlich einer Iris öffnbar. Je nach Durchmesser der Öffnung wird die Dosierung der Komponenten eingestellt.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + einfache Handhabung
- + einfache Sortierung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- evtl. Probleme bei Verschließen der Öffnung

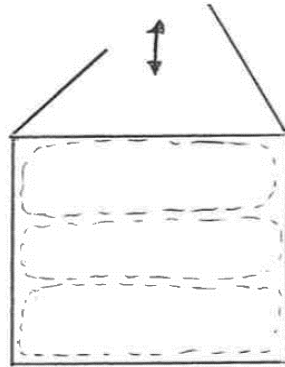
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 6.000
jährliches Investment:	€ 9.653
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	98 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 100,00
Amortisationsdauer:	1,5 Jahre

Komponenten pro VPE:

1290

Skizze



Beschreibung

Die bestehende Verpackung wird weiterverwendet, die Stückzahl pro Verpackungseinheit wird erhöht, um den Packraum so optimal wie möglich auszunutzen.

Vorteile:

- + keine Investitionskosten
- + einfache Handhabung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- starke Müllentstehung
- viel manuelle Arbeit bei Montagebereitstellung

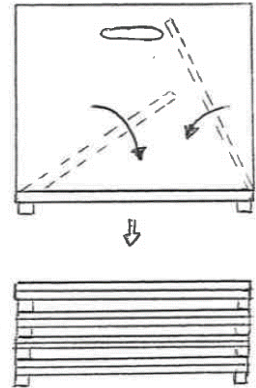
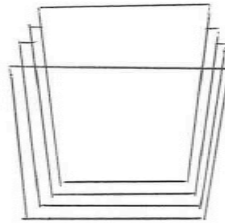
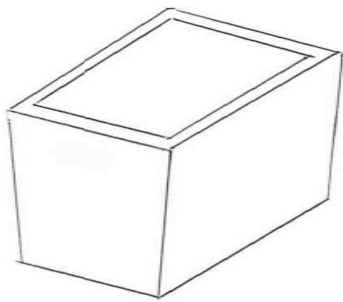
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 0
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	277 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 0,0017
Amortisationsdauer:	sofort

Komponenten pro VPE:

3000

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind als Schüttgut in wiederverwendbaren zusammenklappbaren Boxen verpackt.

Vorteile:

- + einfache Handhabung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf

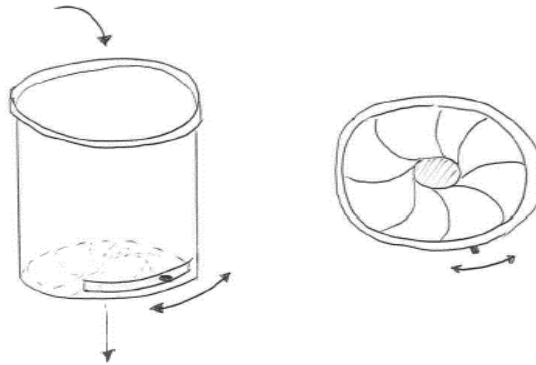
Lebenszusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 25
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	3 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 20,00
Amortisationsdauer:	1,5 Jahre

Komponenten pro VPE:

19480

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind als Schüttgut in Eimern verpackt, der Boden der Eimer ist von außen mit einem Hebel ähnlich einer Iris offenbar. Je nach Durchmesser der Öffnung wird die Dosierung der Komponenten eingestellt.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + einfache Handhabung
- + einfache Sortierung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- evtl. Probleme bei Verschließen der Öffnung

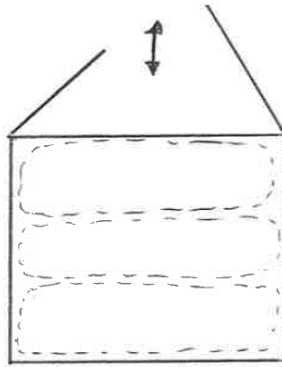
Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 136
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	2 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 100,00
Amortisationsdauer:	2,5 Jahre

Komponenten pro VPE:

29220

Skizze



Beschreibung

Die bestehende Verpackung wird weiterverwendet, die Stückzahl pro Verpackungseinheit wird erhöht, um den Packraum so optimal wie möglich auszunutzen.

Vorteile:

- + keine Investitionskosten
- + einfache Handhabung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

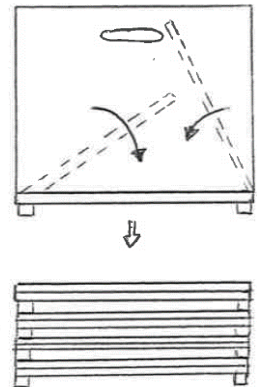
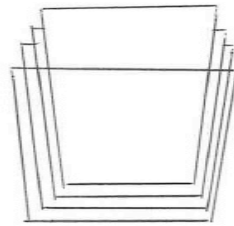
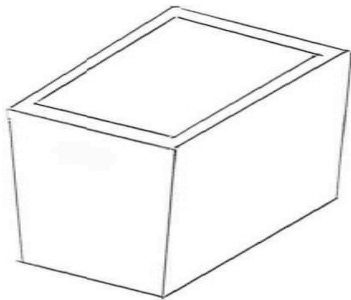
- starke Müllentstehung
- viel manuelle Arbeit bei

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 0
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	28 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 0,0007
Amortisationsdauer:	sofort

Komponenten pro VPE:

15000

Skizze**Beschreibung**

Die Komponenten sind als Schüttgut in wiederverwendbaren zusammenklappbaren Boxen verpackt.

Vorteile:

- + einfache Handhabung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf

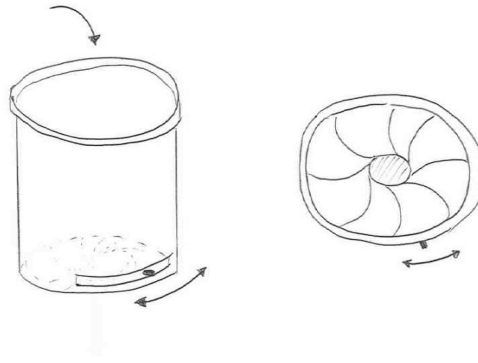
Zusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 3.000
jährliches Investment:	€ 44
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	2 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 20,00
Amortisationsdauer:	1,5 Jahre

Komponenten pro VPE:

66660

Skizze



Beschreibung

Die Komponenten sind als Schüttgut in Eimern verpackt, der Boden der Eimer ist von außen mit einem Hebel ähnlich einer Iris öffnbar. Je nach Durchmesser der Öffnung wird die Dosierung der Komponenten eingestellt.

Vorteile:

- + automatische Entnahme möglich
- + einfache Handhabung
- + einfache Sortierung
- + hohe Packdichte

Nachteile:

- Administrationsaufwand für Umlauf
- evtl. Probleme bei Verschließen der

Kostenzusammenfassung

Entwicklungskosten:	€ 6.000
jährliches Investment:	€ 136
benötigte Verpackungseinheiten pro Jahr:	2 Stk.
Kosten pro Verpackungseinheit:	€ 100,00
Amortisationsdauer:	2,5 Jahre

Komponenten pro VPE:

206666