



Michael Ruttenstock, BSc

Verfahren zur Optimierung von Transportprozessen am Werksgelände

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Maschinenbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Beurteiler:

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Landschützer
Institut für Technische Logistik

Betreuer:

Dipl.-Ing. Michael Schedler
Institut für Technische Logistik

Graz, Mai 2019



Institut für Technische Logistik
Vorstand: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hannes Hick

Vorwort

Die vorliegende Masterarbeit wurde im Zeitraum von September 2018 bis Mai 2019 im Rahmen meines Maschinenbau Masterstudiums an der TU Graz verfasst.

Mein besonderer Dank gilt Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Landschützer vom Institut für Technische Logistik (ITL) der TU Graz, der mir die Durchführung dieser Masterarbeit ermöglichte.

Ein großer Dank gilt meinem Betreuer Dipl.-Ing. Michael Schedler vom ITL, welcher mir immer mit seinem Fachwissen zur Seite stand und stets ein offenes Ohr für mich hatte. Besonders Herrn Schedlers verständnisvolle Art bezüglich der externen Durchführung meiner Masterarbeit von Wien aus, war mir eine große Hilfe.

Zusätzlich möchte ich mich bei Gerald Mahringer BSc. und Dipl.-Ing. Wolfgang Trummer vom ITL bedanken. Herr Mahringer war federführend bei der Auswertung der für mich so wichtigen Daten und Herr Trummer vermittelte mir die Grundzüge der verwendeten Materialfluss-Software.

Von ganzem Herzen bedanke ich mich bei meinen Eltern Andrea und Klaus Ruttenstock, sowie meinen Großeltern Elisabeth und Karl Ruttenstock und Hildegard Klimmer. Ohne ihre unermüdliche mentale und finanzielle Unterstützung wäre mein Studienabschluss nicht möglich gewesen.

Abschließend bedanke ich mich bei meiner Freundin Elisabeth Breitrainer, welche nun seit über acht Jahren der wichtigste Mensch in meinem Leben ist und mich stets mit ihrer liebevollen Art stärkt und ermutigt.

Graz, Mai 2019

Michael Ruttenstock

*„Nicht weil die Dinge schwierig sind, wagen wir sie nicht,
sondern weil wir sie nicht wagen, sind sie schwierig.“*

Seneca –römischer Philosoph

Inhaltsverzeichnis

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	V
ZUSAMMENFASSUNG	VI
ABSTRACT.....	VII
FORMELZEICHEN, INDIZES UND ABKÜRZUNGEN	VIII
1 EINLEITUNG	1
1.1 AUFGABENSTELLUNG.....	2
1.2 ZIELSETZUNG	2
2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN	3
2.1 MATERIALFLUSSTECHNIK.....	4
2.1.1 Verpackungstechnik.....	5
2.1.2 Fördertechnik	10
2.1.3 Warenumschlag.....	13
3 ENTWICKLUNG DES VERFAHRENS.....	15
3.1 BEGRIFFSDEFINITION: VERFAHREN/METHODIK	15
3.2 RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE ANWENDUNG DES VERFAHRENS	16
3.3 ZIELE DES VERFAHRENS	16
3.4 AUFBAU DES VERFAHRENS	16
4 AUSGANGSLAGE.....	20
4.1 DEFINITION DER AUSGANGSLAGE AM PRAKTISCHEN BEISPIEL.....	20
5 ERHEBUNG DES IST-ZUSTANDS.....	21
5.1 BESTIMMUNG DER ZU ERHEBENDEN IST-PARAMETER	22
5.1.1 Anwendung der Ist-Zustand Erhebung am praktischen Beispiel.....	24
6 ANALYSE DES IST-ZUSTANDS	42
6.1 SPIELZEITBERECHNUNG MIT BERECHNUNGSMODELLEN.....	42
6.1.1 VDI-Richtlinie 2391.....	43
6.1.2 Fischer-Methode	46
6.1.3 Spielzeitberechnung am praktischen Beispiel	47
6.2 ABLEITUNG VON PROZESSGRÖßEN	49
6.2.1 Ableitung von Prozessgrößen am praktischen Beispiel	49
6.3 ERMITTLUNG VON VERGLEICHSPARAMETERN UND BEWERTUNG DES IST-ZUSTANDS.....	50
6.3.1 Ermittlung von Vergleichsparametern am praktischen Beispiel	51
6.3.2 Bewertung des Ist-Zustands am praktischen Beispiel	51
7 UNTERSUCHUNG VON OPTIMIERUNGSSZENARIOEN.....	52
7.1 UNTERSUCHUNG VON OPTIMIERUNGSSZENARIOEN AM PRAKTISCHEN BEISPIEL.....	53
7.1.1 Szenarien ohne bauliche Maßnahmen (operative Optimierung)	53
7.1.2 Szenarien mit baulichen Maßnahmen	56
7.1.3 Vergleich der Szenarien	66
8 SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	68
8.1 SCHLUSSFOLGERUNG ZUR ANWENDBARKEIT DES VERFAHRENS	68
8.2 SCHLUSSFOLGERUNG ZUM PRAKTISCHEN BEISPIEL	68
9 VERZEICHNISSE	70
9.1 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	70
9.2 LITERATURVERZEICHNIS	72
9.3 TABELLENVERZEICHNIS	74
10 ANHANG.....	76

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.

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 indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Ort, Datum

Michael Ruttenstock

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde ein Verfahren entwickelt, welches als Anleitung zur Optimierung von Transportprozessen am Werksgelände dient. Ziel des Verfahrens ist eine Effizienzsteigerung der Transportprozesse mit einer daraus resultierenden Reduktion von Betriebskosten.

Das in vier Stufen aufgebaute Verfahren wurde speziell für die Anwendung bei Gebinde abfüllenden Unternehmen aus der chemischen Industrie ausgelegt. Nachdem in der ersten Stufe des Verfahrens die Ausgangslage und gewünschte Soll-Zustände definiert werden, wird in der zweiten Stufe eine umfangreiche Erhebung des Ist-Zustands durchgeführt. In weiterer Folge wird versucht den Ist-Zustand anhand der gesammelten Daten abzubilden, um ihn dann in der dritten Stufe des Verfahrens analysieren zu können. Durch die Analyse des Ist-Zustands werden Vergleichsparameter ermittelt, welche bei der abschließenden Untersuchung von Optimierungsszenarien zur Bewertung eingesetzt werden.

Im Zuge dieser Masterarbeit konnte das entwickelte Verfahren anhand eines praktischen Beispiels auf seine Anwendbarkeit getestet werden.

Abstract

In the course of this master thesis, a procedure was developed which serves as a guide to the optimization of transport processes at the plant. The aim of the process is to increase the efficiency of the transport processes with a resulting reduction in operating costs.

The four-stage procedure has been specially designed for use in barrel bottling companies in the chemical industry. After the starting position has been defined in the first step of the procedure, an extensive survey of the actual state is carried out in the second step. Subsequently, an attempt is made to be able to depict the actual state on the basis of the collected data so that it can be analyzed in the third step. Through the analysis of the actual state, key performance indicators are determined, which are used in the final analysis of optimization scenarios for the assessment.

In the course of this master thesis, the developed procedure could be tested by means of a practical example on its applicability.

Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen

Lateinische Formelzeichen

a_{ab}	m/s ²	Beschleunigung beladen
a_{al}	m/s ²	Beschleunigung leer
a_{vb}	m/s ²	Verzögerung beladen
a_{vl}	m/s ²	Verzögerung leer
A	m ²	Querschnittsfläche
C	-	Anzahl der auf einmal aufnehmbaren Transporteinheiten
e_{St}	m	Gemittelter Stückgutabstand
\dot{M}	kg/s	Massenstrom
n_{Kb}	-	Kurvenanzahl bei Lastfahrt
n_{Kl}	-	Kurvenanzahl bei Leerfahrt
n_v	-	Geschwindigkeitsverringerrungsfaktor für Kurvenfahrt
N	-	Anzahl der eingesetzten Unstetigförderer
s_B	m	Gemittelte Bogenlänge einer Kurve
s_{Fb}	m	Gesamter Fahrweg beladen
s_{Fl}	m	Gesamter Fahrweg leer
t_A	s	Lastaufnahmezeit
t_E	s	Lastabgabezeit
\bar{t}_{Spiel}	s	Gemittelte Spielzeit
T_b	s	Lastspieldauer
T_l	s	Leerspieldauer
v_F	m/s	Fördergeschwindigkeit
v_{Fb}	m/s	Fahrgeschwindigkeit beladen
v_{Fl}	m/s	Fahrgeschwindigkeit leer
\dot{V}	m ³ /s	Volumenstrom

Griechische Formelzeichen

λ	1/s	Durchsatz
ρ	-	Auslastungsgrad
ρ	kg/m ³	Dichte

Weitere Indizes und Abkürzungen

ab	Beschleunigung beladen
al	Beschleunigung leer
A	Lastaufnahme
b	Beladen (Lastspiel)
B	Bogenlänge
E	Lastabgabe
F	Förder
Fb	Fahrweg beladen
Fb	Fahrgeschwindigkeit beladen
Fl	Fahrweg leer
Fl	Fahrgeschwindigkeit leer

FPP	Fertigprodukt-Palette
Kb	Kurve beladen
Kl	Kurve leer
l	Leer (Leerspiel)
LE	Ladeinheit
Spiel	Spiel
St	Stückgut
TE	Transporteinheit
v	Verringerung
vb	Verzögerung beladen
vl	Verzögerung leer
v.B.E.	Vorderseitige Be- und Entladung
r.B.E.	Rückseitige Be- und Entladung

1 Einleitung

Um heutzutage in der Marktwirtschaft bestehen zu können, müssen Waren produzierende Unternehmen stets darauf bedacht sein, sämtliche Abläufe so effizient wie möglich zu gestalten. Nur wenn in der gesamten Produktionskette alle einzelnen Prozesse so Zeit und Kosten sparend wie nur möglich durchgeführt werden, kann ein Unternehmen am Markt auf Dauer bestehen.

Die Prozesse Transport und Lagerung verursachen einen erheblichen Anteil an den Materialfluss- und Logistikkosten und damit an den Selbstkosten eines Produktes. Damit beeinflussen sie unmittelbar auch die Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens. Aus dem allseits prognostizierten Zuwachs für die Ver- und Entsorgung folgen steigende Transportmengen und damit deren weiter zunehmende ökonomische Bedeutung. Viele Betriebe versuchen daher gerade in der gegenwärtig angespannten wirtschaftlichen Lage nach gangbaren und erfolgsversprechenden Wegen zur Optimierung ihrer Förder- und Lagertechnik. [1]

Meist sind die Aufgabenstellungen zur optimalen Gestaltung und Nutzung eines Transport- oder Lagersystems sehr anspruchsvoll und komplex. Die Komplexität wird vor allem durch die Artenvielfalt der Transportgüter, der Transportvorgänge und der möglichen Transportwege hervorgerufen. Verschärfend wirken sich der steigende Kosten- und Zeitdruck bei der Planung und der Realisierung solcher Systeme aus. Den Zwang zur Optimierung und gleichzeitig auch die hohen Einsparpotentiale unterstreichen einige Zahlenwerte für die Durchlaufzeit eines Produktes ganz deutlich. So werden benötigt: [1]

- 10 % für Bearbeiten (d.h. den Wertschöpfungsprozess im engeren Sinn)
- 85 % für Transportvorgänge sowie für Lagern und Warten
- 5 % für Prüfung/Kontrolle und für Ausfälle/Störungen

Natürlich sind dies nur Anhaltswerte und von vielen Faktoren wie Branche, Produkt und Organisation abhängig, aber schon allein der Materialflussanteil durch Transport und Lagern mit 85 % hat eine Größenordnung, die auch bei Abweichungen nach unten noch bedeutsam bleibt. [1]

Eine optimale Gesamtlösung wird häufig durch konkurrierende Zielsetzungen und Randbedingungen erschwert, z.B. die Forderung nach hoher Flexibilität, hoher technischer Zuverlässigkeit und hohem Automatisierungsgrad bei gleichzeitig niedrigen Anschaffungs- und Betriebskosten. Es ist so ein typisches Optimierungsproblem im Transport- und Lagerwesen. [1]

1.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Masterarbeit soll ein Verfahren entwickelt werden, welche als Anleitung zur Optimierung von Transportprozessen am Werksgelände dienen soll. Ziel des Verfahrens ist eine Effizienzsteigerung der Transportprozesse mit einer daraus resultierenden Reduktion von Betriebskosten. Das Verfahren wurde speziell für die Anwendung bei Gebinde abfüllenden Unternehmen aus der chemischen Industrie ausgelegt. Im Zuge dieser Masterarbeit soll das entwickelte Verfahren abschließend anhand eines praktischen Beispiels auf seine Anwendbarkeit getestet werden.

Bei dem praktischen Beispiel handelt es sich um ein Unternehmen aus der chemischen Industrie, welches Hilfsstoffe für diverse Branchen produziert, welche zur Erzeugung verschiedener Endprodukte benötigt werden. Diese Hilfsstoffe werden in Behälter abgefüllt und gemeinsam mit Paletten zu Ladeeinheiten zusammengeführt. Diese Ladeeinheiten werden mit Hilfe von Gabelstaplern auf einen Transportanhänger oder Wechselbehälter aufgeladen und zu einem am Rande des Firmengeländes gelegenen Logistikzentrum gebracht. In diesem Logistikzentrum werden die Hilfsstoffe erst eingelagert, bevor sie dann von Abnehmern abgeholt werden.

1.2 Zielsetzung

Das entwickelte Verfahren soll dabei folgende Teilbereiche berücksichtigen:

- Berücksichtigung von Optimierungswünschen/Soll-Zuständen
- Erhebung des Ist-Zustands mittels verschiedener Techniken und Informationsquellen
- Analyse des Ist-Zustands und Ermittlung von Vergleichsparametern
- Untersuchung von Optimierungsszenarien mittels analytischer Berechnung und Materialfluss-Simulation
- Bewertung der Szenarien anhand der Vergleichsparameter

2 Theoretische Grundlagen

Die Logistik und ihre Methoden beruhen auf dem Dreiklang aus (vgl. Abbildung 2.1):

- Technik
- Informatik
- Betriebs- und Volkswirtschaft [2]

Die technische Sicht der Logistik stellt den Materialfluss als eine Verkettung aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von Gütern innerhalb fester Bereiche und damit als physische Funktion logistischer Prozesse in den Vordergrund. [2]

Die Sicht der Informatik auf die Logistik definiert diese als Spezialfall der Datenverarbeitung, bei dem ein Datenstrom mit der Bewegung von Gütern unmittelbar verknüpft ist. Die Betrachtungen erstrecken sich dabei von der Verarbeitung von Informationen am essentiellen materialflusstechnischen Objekt über die Kommunikation entlang der logistischen Kette hin zur weltumspannenden Informationskette für den Abgleich von Beständen und Nachfragen. [2]

Aus der betriebswirtschaftlichen Sicht der Logistik ist diese ein spezieller Führungsansatz zur Entwicklung, Gestaltung, Lenkung und Realisierung effizienter Flüsse von Objekten (Güter, Informationen, Gelder, Personen) in unternehmensweiten und –übergreifenden Wertschöpfungssystemen. Dabei wird der Fokus auf die Distribution, das Marketing, das strategische Handeln, die Kosten und die überbetriebliche Vernetzung gerichtet. [2]

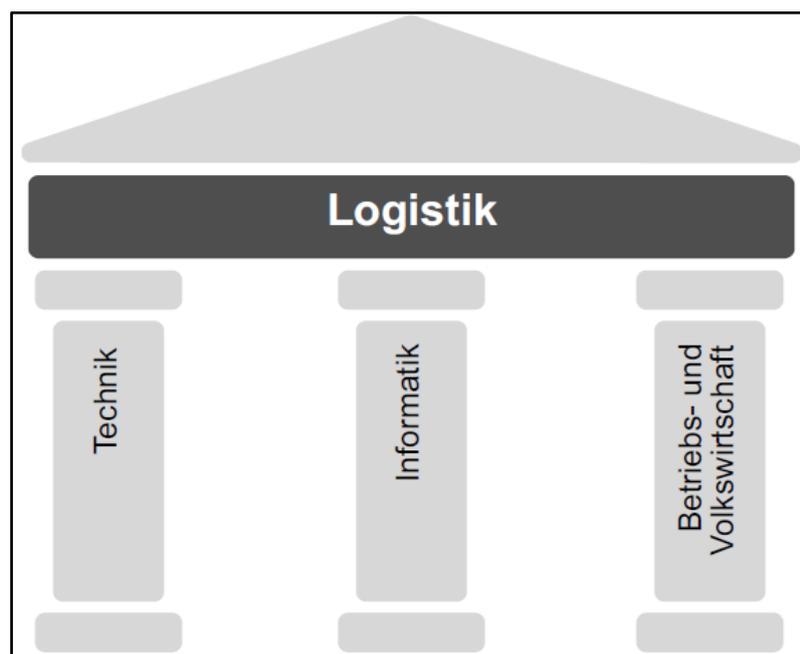


Abbildung 2.1: Die drei Säulen der Logistik [2]

Um wirtschaftlich produzieren zu können, müssen am Arbeitsplatz bzw. beim Verbraucher Materialien bzw. Güter bereitgestellt werden und zwar [3] im Sinne der *Sechs-R-Regel* von Reinhardt Jünemann:

- die richtigen Materialien und Güter
- in der richtigen Menge
- in der richtigen Qualität
- zur richtigen Zeit
- am richtigen Ort
- zu den richtigen Kosten

Dieser Zielsetzung hat sich die Logistik verschrieben. Sie ist die wissenschaftliche Lehre von der Planung, Steuerung und Überwachung der Material-, Informations-, Personen- und Energieflüsse in einem System [3] (vgl. Abbildung 2.2).

2.1 Materialflusstechnik

Überall dort, wo Güter über relativ kurze Entfernungen bewegt werden müssen, werden die Mittel der Materialflusstechnik eingesetzt. Sie beschränken sich damit im Wesentlichen auf den innerbetrieblichen Transport sowie den Warenumsatz an den Schnittstellen des Unternehmens, dem Wareneingang und dem Warenausgang. Die Materialflusstechnik entspricht der Gesamtheit der Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse. Dazu gehören sowohl die technologische und ökonomische Gestaltung der TUL - Prozesse, als auch die zu ihrer Realisierung notwendigen Maschinen und Ausrüstungen. [4]

Die Materialflusstechnik lässt sich bei genauerer Betrachtung in folgende Einzelprozesse unterteilen (vgl. Abbildung 2.2):

- Fördern
- Bearbeiten
- Prüfen
- Verpacken
- Transportieren
- Handhaben
- Lagern

In weiterer Folge wird nur auf die Themengebiete der Verpackungstechnik und Fördertechnik eingegangen, da sie für die Problemstellung dieser Masterarbeit relevant sind. Zusätzlich wird ein Blick auf die Techniken des Warenumschlags geworfen, welche im Kontext der in Abbildung 2.2 gezeigten Interpretation der Materialflusstechnik, ein wichtiges Bindeglied zwischen dem Verpacken und Transportieren von Waren darstellt.

Alle in diesen Themengebieten nicht behandelten Inhalte sowie alle anderen Prozesse der Materialflusstechnik sind entsprechender Literatur zu entnehmen.

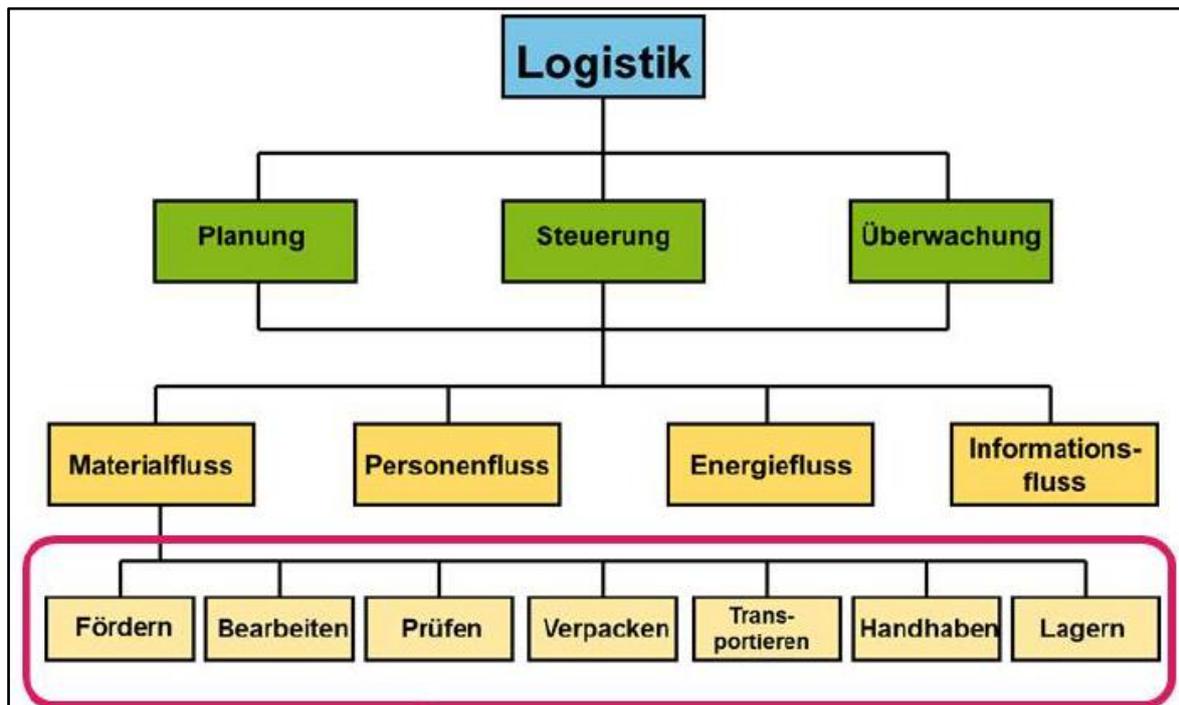


Abbildung 2.2: Die Prozesse der Materialflusstechnik [5]

2.1.1 Verpackungstechnik

Die Verpackungstechnik und die darauf aufbauende Ladeinheitbildung, ausgerichtet auf die Bedürfnisse des modernen Warenumschlags, stellen Basiselemente der heutigen Materialflusstechnik dar. Sie beinhaltet das Zusammenfassen von Stückgütern und Packstücken zur rationelleren Handhabung, Lagerung und Beförderung von Gütern. Dabei kommen im Allgemeinen Ladehilfsmittel zum Einsatz.

Das Ziel ist dabei u.a. die Schaffung einer definierten Schnittstelle, die den effizienten Einsatz mechanischer und automatisierter Umschlagmittel ermöglicht. Zum Erreichen eines logistikgerechten Materialflusses und zur Minimierung der Handhabungsvorgänge innerhalb der Transportkette sollte die Gestaltung der Güter an folgende Leitlinie ausgerichtet sein:

Ladeinheit = Produktionseinheit = Lagereinheit = Transporteinheit = Verkaufseinheit [2]

Begriffsbestimmungen

Die DIN 55405 definiert die Begriffe des Verpackungswesens folgendermaßen:

- *Packgut*: das zu verpackende oder bereits verpackte Gut
- *Packmittel*: ein Erzeugnis aus Packstoff, das dazu bestimmt ist, das Packgut zu umhüllen oder zusammenzuhalten, damit es versand-, lager- und verkaufsfähig wird.
- *Packhilfsmittel*: ein Sammelbegriff für Hilfsmittel, die zusammen mit Packmitteln zum Verpacken wie beispielsweise Verschließen einer Packung/eines Packstückes dienen. Sie können ggf. allein, beispielsweise beim Bilden einer Versandeinheit verwendet werden.
- *Packstoff*: der Werkstoff, aus dem Packmittel und Packhilfsmittel hergestellt werden
- *Packstück*: das Ergebnis von Packgut und Verpackung und für den Einzelversand geeignet. Der letzte Zusatz unterscheidet das Packstück von der Packung, die ansonsten ebenso aus Packgut und Verpackung besteht. Oftmals werden die Begriffe Packstück und Packung synonym verwendet.

Analog werden von der DIN 30781 folgende Begriffe definiert:

- *Ladeeinheiten*: Güter, die zum Zwecke des Umschlags durch einen Ladungsträger zusammengefasst sind
- *Ladung*: eine Menge von Gütern oder Ladeeinheiten je Transportmitteleinheit
- *Ladungsträger*: ein tragendes Mittel zur Zusammenfassung von Gütern zu einer Ladeinheit. Synonym zu Ladungsträger wird der Begriff *Ladehilfsmittel* verwendet, der noch universellerer Natur ist, da es auch umschließende und abschließende *Ladehilfsmittel* gibt. Daher wird auch hier im Folgenden der Begriff *Ladehilfsmittel* verwendet.
- *Ladeeinheitensicherungsmittel*: Sie dienen der Ladungssicherung und werden oftmals zusammen mit Ladehilfsmitteln eingesetzt.

In Abbildung 2.3 wird anschaulich gezeigt, in welcher Beziehung diese Begriffe des Verpackungswesens zueinander stehen.

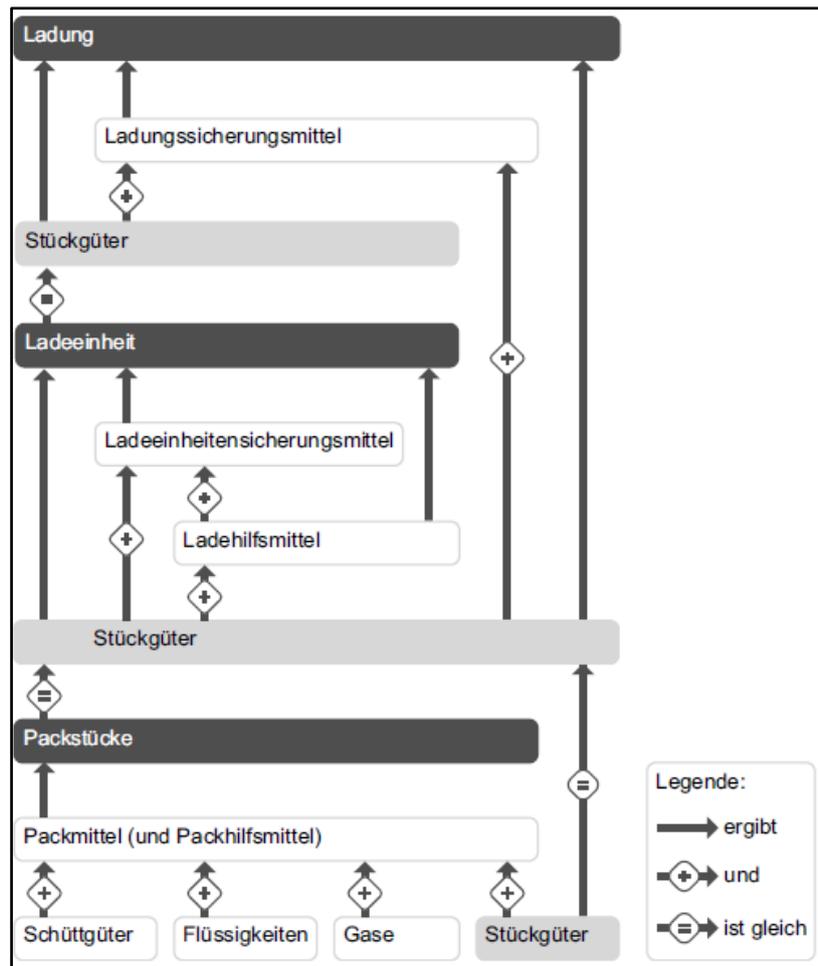


Abbildung 2.3: Bilden von Packstücken, Ladeeinheiten und Ladungen [2]

Packstückbildung

Die zwei in dieser Masterarbeit relevanten Packgüter sind Flüssigkeiten und Feststoffe (Schüttgüter). Während erstgenannte vorwiegend in Fässer und Intermediate Bulk Container (IBC) abgefüllt werden, erfolgt die Abfüllung der Feststoffe in sogenannte Big Bags (vgl. Abbildung 2.4, Abbildung 2.5, Abbildung 2.6).



Abbildung 2.4: Spundfässer [6]



Abbildung 2.5: IBC [7]



Abbildung 2.6: Big Bag [8]

Ladeeinheitbildung

Um eine transportierbare Ladeinheit (LE) zu bilden werden Packstücke auf tragende Ladehilfsmittel gestellt und zur Sicherung der Ladung noch mit einem Kunststoffband (Ladeeinheitensicherung) umspannt, um ihren Zusammenhalt zu gewährleisten.

Das für diese Masterarbeit relevante tragende Ladehilfsmittel ist die Chemiepalette-1 (CP-1), auch genannt Industriepalette. Sie ist breiter und etwas höher als die bekannte Europalette (vgl. Abbildung 2.7).

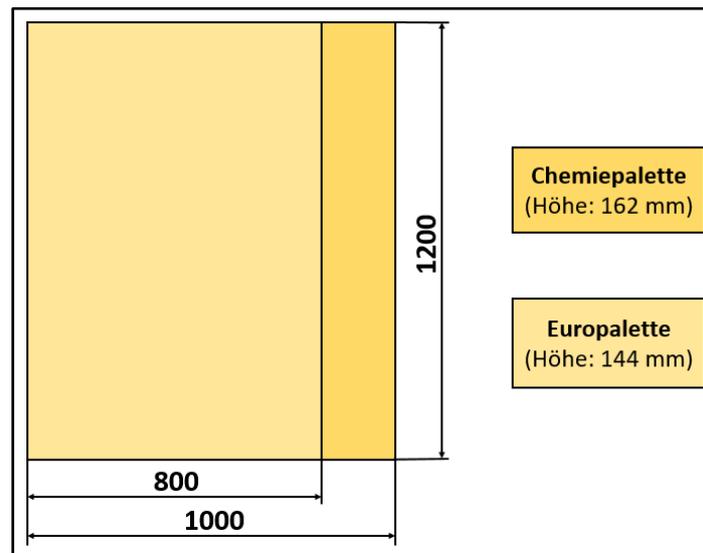


Abbildung 2.7: Vergleich zwischen Chemie- und Europalette

Beide sind aus Holz und für folgende Gewichtsbelastungen ausgelegt:

- 1.000 kg (Nennlast), wenn die Last beliebig auf der Palettenoberfläche verteilt ist
- 1.500 kg, wenn die Last auf der Palettenoberfläche gleichmäßig verteilt ist
- 2.000 kg, wenn die Last in kompakter Form und vollflächig und gleichförmig auf der gesamten Palettenoberfläche aufliegt [2]

Die Möglichkeit, die Paletten von allen vier Seiten mit allen Standard-Fördermitteln zu be- und entladen, gibt ihnen die Bezeichnung Vierwegpalette. Unbeschädigte Paletten sind Mehrwegpaletten und somit Teil eines europaweiten Tauschsystems. [2]

Abschließende Ladehilfsmittel

Um mehrere LE auf einmal wirtschaftlich über eine gewisse Distanz transportieren zu können, werden sie dazu in ein Transportobjekt (Anhängen, Wechselbehälter, etc.) verladen, welches in der Regel von einer Zugmaschine (LKW, Traktor, etc.) gezogen oder aufgeladen wird. Die Verladung der Ladeeinheiten auf bzw. in das abschließende Ladehilfsmittel kann mit Hilfe von

Stetig- und Unstetigförderer erfolgen. Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die weltweit verbreitetsten abschließenden Ladehilfsmittel.

Tabelle 2.1: Vergleich der gängigsten abschließenden Ladehilfsmittel [2]

	Außenmaße (mm)	Lichte Innenmaße (mm)	Maximale Palettenanzahl			
	Länge x Breite	Länge x Breite	800 mm x 1.200 mm	Flächennutzungsgrad (%)	1.000 mm x 1.200 mm	Flächennutzungsgrad (%)
Binnencontainer	12.192 x 2.500 6.058 x 2.500	12.000 x 2.440 5.900 x 2.440	28 14	93,7 95,3	22 10	22 10
ISO-Container	12.192 x 2.438 6.058 x 2.438	11.998 x 2.330 5.867 x 2.330	24 11	93,7 95,3	21 10	91,8 89,4
Wechselbehälter	12.192 x 2.500 6.058 x 2.500	12.000 x 2.440 5.900 x 2.440	28 14	93,7 95,3	22 10	22 10
LKW-Anhänger	8.300 x 2.500	8.200 x 2.425	20	98,6	16	98,3
LKW-Sattelanhänger	12.500 x 2.500	12.400 x 2.425	30	97,8	24	97,5

40 t Anhängerzüge (vgl. Abbildung 2.8) haben in der Regel eine Länge zwischen 7.200 mm und 7.825 mm, eine Breite von 2.500 mm und eine Höhe von 2.600 mm [9] [10]. Sie erlauben eine maximale Zuladung von bis zu 14 t und bieten, je nach Palettentyp zwischen 14 und 18 Palettenstellplätze.



Abbildung 2.8: 25 t Motorwagen (40 t Anhängerzug) [9]

Während ein Anhängerzug hinter dem Motorwagen oder einer anderen Zugmaschine nachgezogen wird, ist ein Wechselaufbau ein Ladehilfsmittel, welches direkt vom Verkehrsmittel, in der Regel Lastkraftwagen, aufgenommen werden kann (vgl. Abbildung 2.9). Sie werden im Speditionsbereich sowie im kombinierten Verkehr Schiene/Straße eingesetzt. Dabei werden die Wechselaufbauten von den LKW unterfahren und können u.a. durch eine Hubeinrichtung auf der Ladefläche aufgenommen bzw. abgesetzt werden. Durch

den Einsatz von Wechselaufbauten ist der direkte Umschlag der Ladeeinheiten von einem Verkehrsmittel auf ein Verkehrsmittel auf ein anderes ohne Be- und Entladung der Güter möglich. [2]

Die Wechselaufbauten sind im Wesentlichen auf die Bedürfnisse des Straßenverkehrs ausgerichtet und besitzen eine Breite von max. 2.500 mm. Geschlossene Wechselaufbauten werden als Wechselbehälter bezeichnet und sind nach DIN EN 283, DIN EN 284 und DIN EN 452 genormt. Die Längenabmaße liegen zwischen 7.150 mm und 13.600 mm. Die Höhe beträgt max. 2.670 mm. Die maximal zulässigen Gesamtgewichte betragen 16 t für 7.150 mm-Wechselbehälter und 34 t für 13.600 mm-Wechselbehälter. [2]

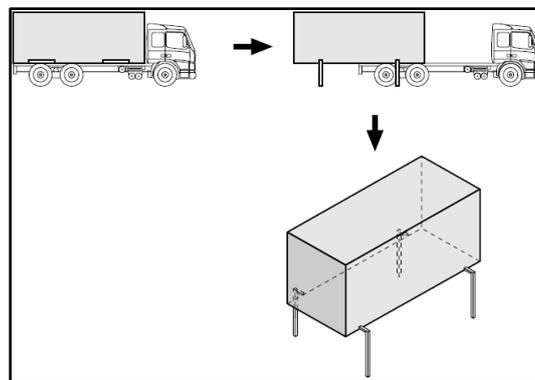


Abbildung 2.9: Abladen eines Wechselaufbaus [2]

2.1.2 Fördertechnik

Die Fortbewegung oder Ortsveränderung von Gütern oder Personen mit technischen Mitteln wird allgemein als Transport bezeichnet. Findet diese Ortsveränderung in einem räumlich begrenzten Gebiet wie beispielsweise innerhalb eines Betriebes oder Werkes statt, so wird dieser Vorgang durch den Begriff Fördern präzisiert. Das Fördern bzw. die Fördertechnik als Zweig der Materialflusstechnik (vgl. Abbildung 2.2) umfasst also das Bewegen von Gütern und Personen über relativ kurze Entfernungen einschließlich der dazu notwendigen technischen, organisatorischen und personellen Mittel. [2]

Demgegenüber wird der Transport über weite Entfernungen oder außerhalb eines Betriebes als Verkehr bezeichnet bzw. als Verkehrstechnik, sofern der Personenfußverkehr hier unberücksichtigt bleibt. [2]

Neben dieser Unterscheidung erfolgt zudem die Untergliederung nach dem innerbetrieblichen und außerbetrieblichen Transport. Die Intralogistik bezeichnet den Bereich des innerbetrieblichen Transports oder wie zuvor definiert das Fördern von Gütern innerhalb von Materialflusssystemen. Der außerbetriebliche Transport ist der Verkehrstechnik und den

Überlegungen der Distributionslogistik unterworfen. [2]

Charakterisiert werden Förderprozesse durch die unterschiedliche Fortbewegung des Fördergutes. Die dafür notwendigen Fördermittel sind durch ihre Förderleistung gekennzeichnet, welche häufig durch die Begriffe Fördermenge, –volumen bzw. Massen- oder Fördergutstrom gekennzeichnet wird. Man unterscheidet dabei in Abhängigkeit von der Fortbewegung des Gutes zwischen einem kontinuierlichen Fördergutstrom (Schüttgut auf Stetigförderer), einem diskret kontinuierlichen Fördergutstrom (Stückgut auf Stetigförderer) und einem unterbrochenen, diskreten Fördergutstrom (Schüttgut oder Stückgut auf Unstetigförderer). [2]

Stetigförderer

Stetigförderer (z.B. Rollenbahnen, vgl. Abbildung 2.10) arbeiten während eines längeren Zeitabschnittes, wobei ihre Antriebe, falls vorhanden, im stationären Dauerbetrieb laufen und ihre Tragorgane nicht einzeln angetrieben werden. Ihre Be- und Entladung erfolgt während des Betriebs, ihre Lastaufnahmemittel sind dabei stets (z.B. Rollenbahnen) oder nahezu stets (z.B. Kreisförderer) aufnahme- oder abgabebereit. Stetigförderer sind grundsätzlich mit ortsfesten Einrichtungen wie Führungen und Ständerwerk o.ä. versehen, was ihre Flexibilität einschränkt und für andere Arbeitsmittel häufig ein Hindernis darstellt. Grundsätzlich kann jedoch ein größerer Durchsatz als bei Unstetigförderer erreicht werden. [2]



Abbildung 2.10: Rollenbahn zur Beförderung von Paletten [11]

Berechnung der Leistungskennzahlen von Stetigförderern

Volumenstrom:

$$\dot{V} = A \cdot v_F \quad (2-1)$$

Massenstrom:

$$\dot{M} = \rho \cdot \dot{V} \quad (2-2)$$

Durchsatz:

$$\lambda = \frac{v_F}{e_{St}} \quad (2-3)$$

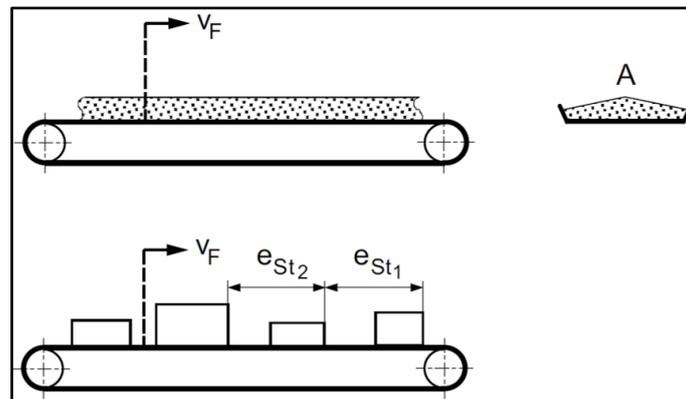


Abbildung 2.11: Volumenstrom und Durchsatz von Stetigförderer [2]

Unstetigförderer

Unstetigförderer (z. B. Gabelstapler, vgl. Abbildung 2.12) hingegen erzeugen einen unterbrochenen Fördergutstrom und arbeiten in einzelnen Arbeitsspielen mit definierten Spielzeiten. Zeitanteile für Lastfahrten, Leerfahrten, Anschlussfahrten und Stillstandzeiten unterschiedlicher Längen wechseln einander ab. Ihre Antriebe laufen im Aussetz- und Kurzzeitbetrieb. Ihre Be- und Entladung erfolgt im Stillstand. Entsprechend sind ihre Lastaufnahmemittel häufig nur an bestimmten Stellen lastaufnahme- und -abgabebereit. Dafür sind sie in der Lage zumeist mehrere Quellen und Senken wahlfrei zu bedienen. [2]



Abbildung 2.12: Gabelstapler [12]

Unstetigförderer können ortsfest oder frei verfahrbar ausgeführt werden und weisen dementsprechende Unterschiede in der Flexibilität und im Grad ihrer Hindernisbildung auf. Eine Annäherung an die Durchsatzleistungen der Stetigförderer kann durch Veränderung der Anzahl einzelner Unstetigförderer in einem System und durch Bildung größerer Ladeinheiten erreicht werden. Damit verschwimmen die Leistungsgrenzen zwischen stetiger und unstetiger Fördertechnik zunehmend. [2]

In intralogistischen Systemen findet hauptsächlich ein Umschlag aus Lager- oder Produktionssystemen heraus in LKW statt. Dieser wird in der Regel von Flurförderzeugen durchgeführt, die eine oder mehrere Paletten aus dem Versandbereich in den LKW verladen können. [2]

Berechnung der Leistungskennzahl eines Unstetigförderers

Durchsatz:

$$\lambda = \frac{C}{\bar{t}_{\text{Spiel}}} \cdot N \quad (2-4)$$

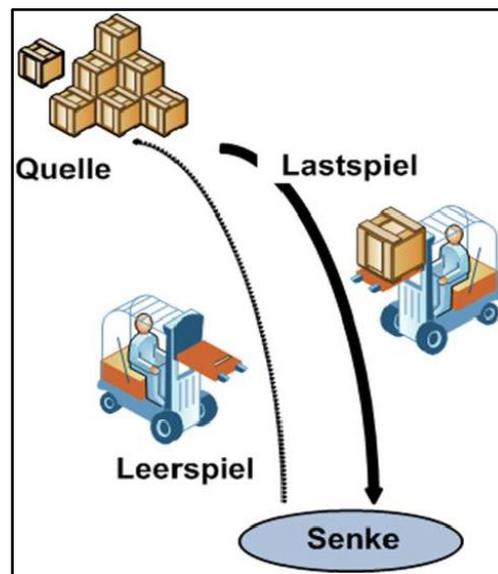


Abbildung 2.13: Arbeitsspiel eines Unstetigförderers [5]

2.1.3 Warenumschlag

Der Wechsel der unterschiedlichen Arbeitsmittel innerhalb der Transportkette wird als Umschlagen bezeichnet. Umschlagvorgänge finden in der gesamten Transportkette sowohl im innerbetrieblichen als auch im außerbetrieblichen Bereich sowie an deren Schnittstellen statt. [2]

Nach DIN 30781 wird Umschlagen wie folgt definiert: „Der Umschlag ist die Gesamtheit der Förder- und Lagervorgänge beim Übergang der Güter auf ein Transportmittel, beim Abgang der Güter von einem Transportmittel und wenn Güter das Transportmittel wechseln.“

Techniken und Systeme zur Be- und Entladung von LKW

Bei den Umschlagtechniken muss zunächst zwischen Komplett- und Teilverladung unterschieden werden. Bei einer Komplettverladung wird die gesamte Ladung eines Fahrzeugs in einem Arbeitsspiel umgeschlagen. Eine vorherige Bereitstellung der gesamten Ladung bei der Beladung ist dabei unverzichtbar, da sonst der Zeitvorteil durch den schnell ausführbaren

Umschlag wegen der langen Transportzeiten der Ladeeinheiten verloren geht. Bei Komplettverladungen kommen häufig Stetigfördertechniken zum Einsatz, wodurch eine Anbindung an den innerbetrieblichen Materialfluss erreicht wird, sofern dieser auf einem kompatiblen Fördersystem beruht. [2]

Bei der Teilverladung besteht der Verladeprozess aus mehreren Arbeitsspielen. Die Anzahl der Arbeitsspiele ist abhängig von der Anzahl der pro Arbeitsspiel umgeschlagenen Ladeeinheiten und der insgesamt gewünschten Menge. Es ist hierbei im Gegensatz zur Komplettverladung nicht die gesamte, sondern lediglich ein Teil der Ladung umzuschlagen. Weiterhin ist zu unterscheiden, ob zumeist Stückgüter oder palettiertes Gut umgeschlagen werden. Der Vorteil des unpalettierten Stückgutes liegt in der besseren Laderaumausnutzung. [2]

Neben dem manuell durchgeführten Umschlag existieren vollständig automatisierte Be- und Entladesysteme sowie eine Vielzahl von Zwischenstufen bezüglich des Automatisierungsgrades. Da viele automatische Umschlagsysteme nur für spezielle Bereiche anwendbar sind, finden sie keine weite Verbreitung. Des Weiteren sind hierbei Verladegeräte und teilweise auch Ladeflächenausrüstungen auf den Verkehrsmitteln notwendig, die mit relativ hohen Investitionskosten verbunden sind. Darüber hinaus müssen sie meistens zu den Umschlaganlagen am Bestimmungsort kompatibel sein, damit eine automatische Be- und Entladung durchgeführt werden kann. Spediteure rüsten aus diesen Gründen nur selten ihre LKW mit Ladeflächentechniken aus, da der Investitionsaufwand im Vergleich zum erreichbaren Nutzen zu groß ist. [2]

Außerdem wird durch die Ladeflächenausrüstung die maximale Zuladung geringer und die Ladung unterliegt Beschränkungen bezüglich ihrer physikalischen Eigenschaften wie Abmessungen und Gewicht. Ein weiterer großer Nachteil ist, dass während der Fahrt die Ladeeinheiten verrutschen und die Ladeflächentechnik beschädigen können. Deswegen ist eine sorgfältige Ladungssicherung notwendig, da schon eine Ladeeinheitenverschiebung von wenigen Zentimetern eine Komplettverladung bei einigen Umschlagtechniken unmöglich macht. [2] Tabelle 10.1 (Anhang) ermöglicht einen Vergleich gängiger Umschlagtechniken.

3 Entwicklung des Verfahrens

Während es für das Planen und Optimieren von Materialflüssen eine Vielzahl an Methoden und Verfahren gibt (Dreiecksverfahren nach Schmigalla, Kreisverfahren nach Schwerdtfeger, Materialflussplanung nach VDI-Richtlinie 2498, etc.), sind im Bereich der Transportprozessoptimierung für Gabelstapler weniger Optionen verfügbar.

Abgesehen von der klassischen Rundreisebildung [1], die im heutigen Zeitalter von Industrie 4.0 fester Bestandteil jeder Softwarelösung zur Optimierung von Transportrouten ist, sind andere Herangehensweisen an diese Thematik unbekannt.

Da für das Szenario betriebsinterner Transportprozesse, in dem Gabelstapler beladene Paletten in Anhänger verladen, ein passendes Verfahren zur Kosten reduzierenden Optimierung der Transportprozesse noch nicht existiert, sollte im Rahmen dieser Masterarbeit ein genau solches Verfahren entworfen werden und sogleich an einem praktischen Beispiel getestet werden.

Die Entwicklung des Verfahrens wurde von der Methodenentwicklung übernommen, da die Methodik als Idealvorlage betrachtet werden kann.

3.1 Begriffsdefinition: Verfahren/Methodik

Während ein Verfahren eine bestimmte Art und Weise beschreibt, wie ein gewisser Prozess vorgeht, ist die Methode dadurch definiert, dass der Prozess strukturiert abläuft, sodass eine bestimmte Zielvorgabe dabei erreicht wird. Das Verfahren hat zwar meistens auch ein Ziel, kann dieses jedoch noch nicht mit Gewissheit erreichen. [13]

Ganz allgemein beschreibt der Begriff *Methode* bzw. *Methodik* eine festgelegte Art des Vorgehens. Sie soll dazu dienen, Ziele leichter und besser zu erreichen. Durch methodisches Vorgehen soll der entstandene Mehrwert im Allgemeinen den Mehraufwand übertreffen. [14]

Für gegebene Situationen und Tätigkeiten muss jeweils die passende Methode neu ausgewählt und bei Bedarf adaptiert werden. Dabei ist es entscheidend, die Randbedingungen des Methodeneinsatzes zu klären, wofür „Output“ und „Input“ heranzuziehen sind. [15]

Da es eben keine Universalmethode für jede Anwendung gibt, müssen Methoden situationsgerecht sein. Immer wieder muss im Prozess die Ist- und Soll-Situation geklärt werden. Eine gewisse Produkt-, Prozess- und Methoden-Erfahrung ist hier von großem Vorteil, um die richtige Methode zu finden. [16]

3.2 Rahmenbedingungen für die Anwendung des Verfahrens

Für die Anwendung des Verfahrens sollen folgende Rahmenbedingungen gelten:

- Es handelt sich um betriebsinterne Transportprozesse, bei denen Gabelstapler Fertigproduktpaletten innerhalb des Werksgeländes verladen
- Die Transportdistanzen sind bekannt bzw. können ermittelt werden
- Der Durchsatz der zu verladenen Fertigproduktpaletten ist für jede Quelle bekannt bzw. kann ermittelt werden

3.3 Ziele des Verfahrens

Das Verfahren soll folgende Ziele bei der Optimierung der Transportprozesse verfolgen:

- Ermittlung der erforderlichen Mindestanzahl an Gabelstaplern, um die gegebenen Transportaufwände bewältigen zu können
- Anleitung zur Gestaltung eines logistisch effizienten Umschlagplatzes
- Anleitung zur Auslegung einer ideal an die Anforderungen angepassten Pufferfläche zur Erzeugung von Lieferflexibilität

3.4 Aufbau des Verfahrens

Das Verfahren ist in folgende vier Stufen aufgeteilt:

1. Ausgangslage

In der ersten Stufe des Verfahrens wird die Ausgangslage definiert, um die Beweggründe für die Optimierung bzw. den gewünschten Soll-Zustand in Erfahrung zu bringen. Dadurch kann der Fokus der Datenakquise bei der Erhebung des Ist-Zustands optimal ausgerichtet werden.

2. Erhebung Ist Zustand

In der zweiten Stufe wird mittels einer Primär- und Sekundärerhebung versucht genügend Daten zu erheben, um damit den aktuellen Ist-Zustand nachvollziehen und abbilden zu können. Während bei einer Primärerhebung eine Befragung durchgeführt wird, werden bei der Sekundärerhebung sowohl interne, als auch externe Daten ausgewertet.

3. Analyse Ist-Zustand

Das Ziel der dritten Stufe des Verfahrens ist eine Analyse des Ist-Zustands mit einer daraus resultierenden Bestimmung der Ist-Zustand charakterisierenden Leistungskennzahlen,

welche in weiterer Folge als Vergleichsparameter bei der Untersuchung von Optimierungsszenarien verwendet werden. Für die Generierung von Leistungskennzahlen werden zunächst mit Hilfe von Berechnungsmodellen die Spielzeiten der Transportprozesse berechnet. Durch die Kombination der Ergebnisse der Spielzeitberechnung und der bereits erhobenen Produktionskennzahlen können anschließend Prozessgrößen (Zykluszeiten, Kosten, Mengen, etc.) abgeleitet werden. Aus diesen Prozessgrößen können in weiterer Folge Leistungskennzahlen (engl. KPI = Key Performance Indicator) generiert werden.

4. Untersuchung

In der letzten Stufe werden verschiedene Optimierungsszenarien entworfen, die dann anhand der ausgewählten Vergleichsparameter bewertet werden. Die Optimierungsszenarien können hierbei entweder rein operative Maßnahmen beinhalten oder auch Maßnahmen, die einen größeren Investitionsaufwand erfordern wie z.B. bauliche Umgestaltungen. Die Auslegung der Szenarien kann hierbei bei den operativen Szenarien mittels analytischen Berechnungen erfolgen und bei den Umbauszenarien mit Hilfe von Computer gestützten Materialfluss-Simulationen.

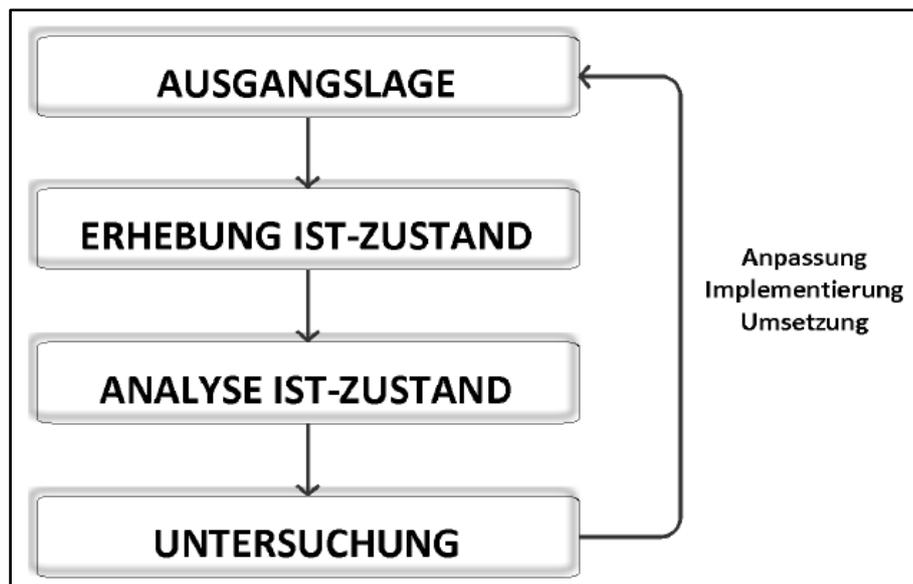


Abbildung 3.1: Aufbau des Verfahrens

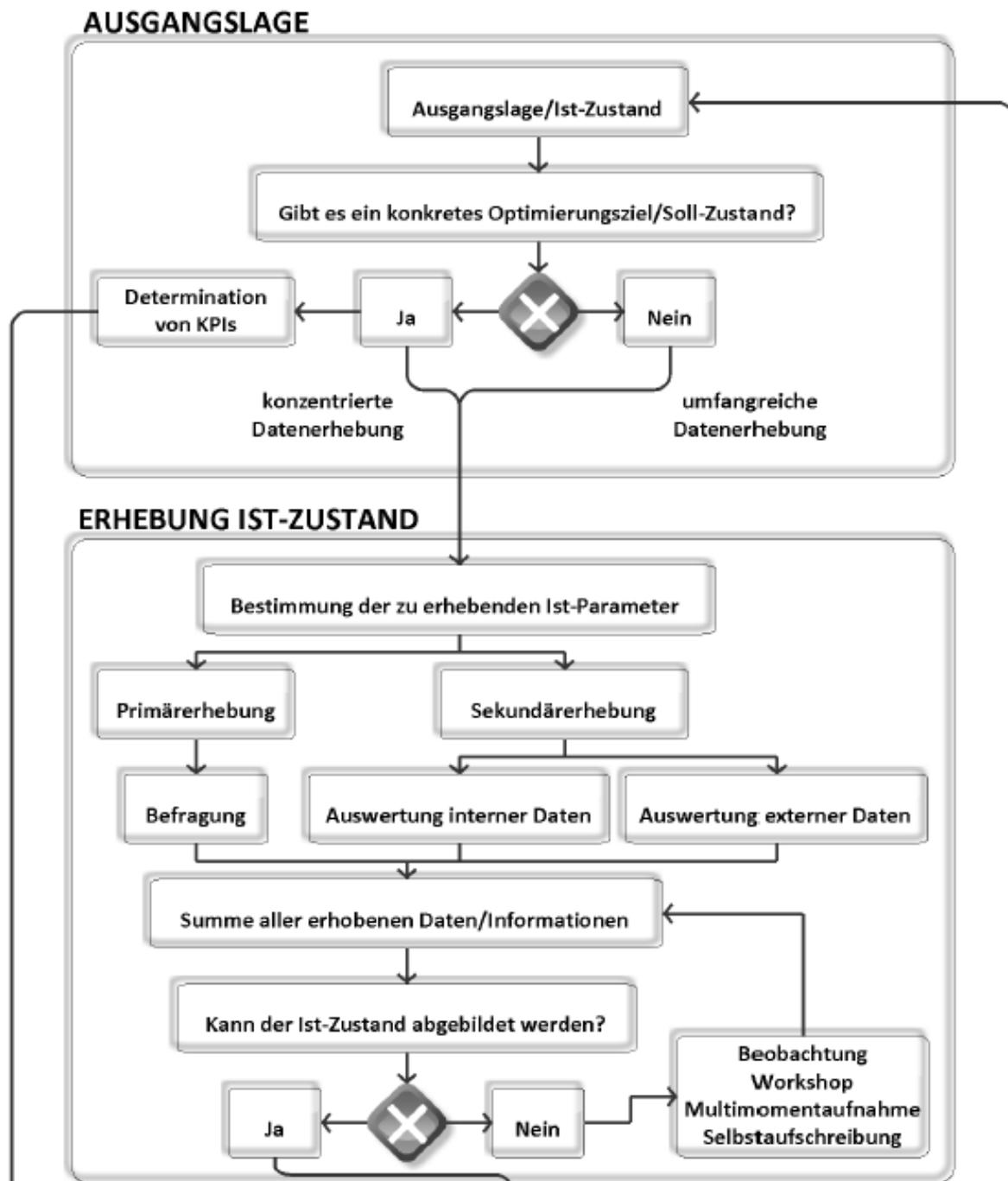


Abbildung 3.2: Verfahren zur Optimierung von Transportprozesse am Werksgelände - 1/2

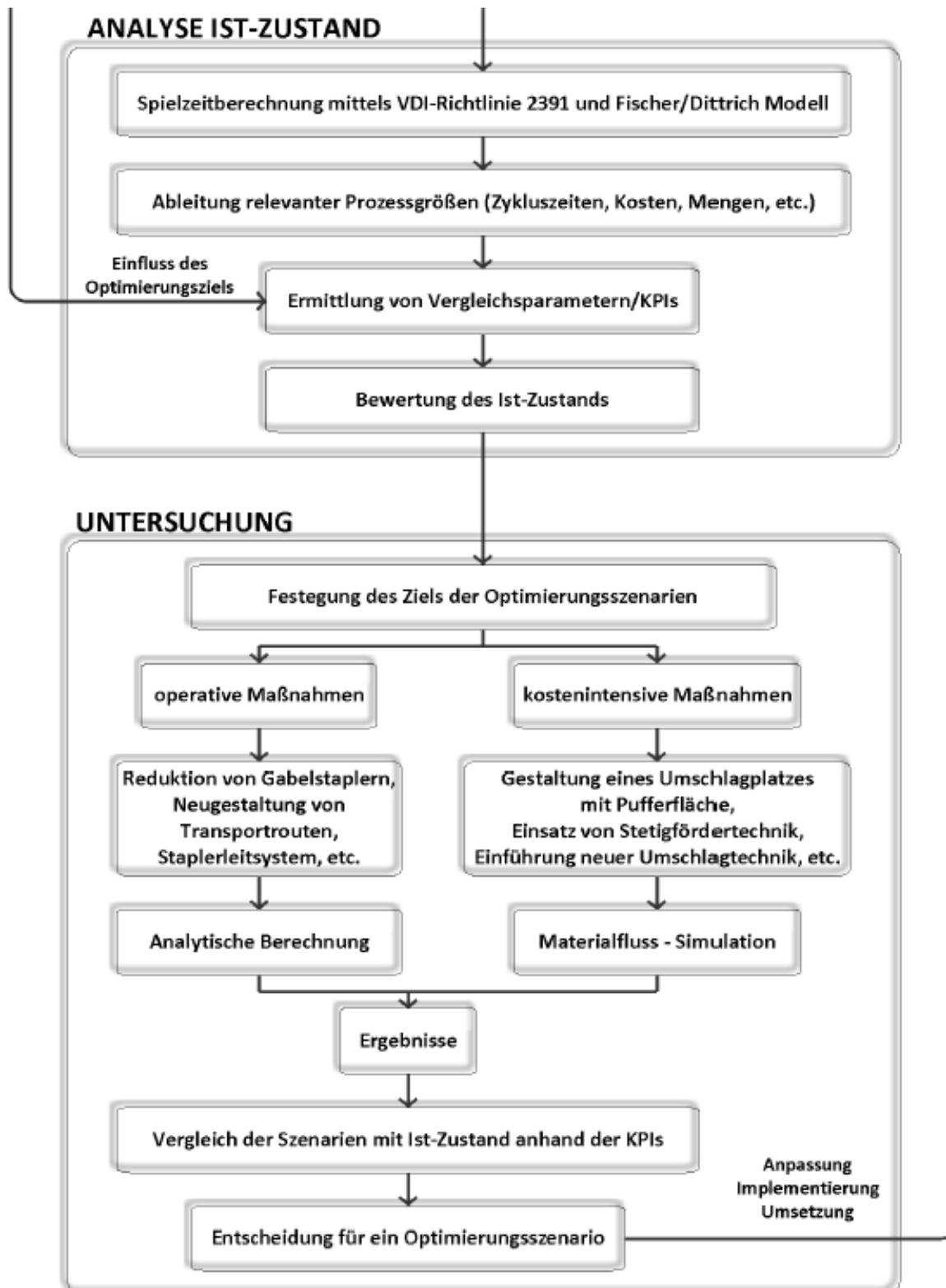


Abbildung 3.3: Verfahren zur Optimierung von Transportprozesse am Werksgelände - 2/2

4 Ausgangslage

In der ersten Stufe des Verfahrens wird die Ausgangslage definiert, um die Beweggründe für die Optimierung bzw. den gewünschten Soll-Zustand in Erfahrung zu bringen. Dadurch kann der Fokus der Datenakquise bei der Erhebung des Ist-Zustands optimal ausgerichtet werden.

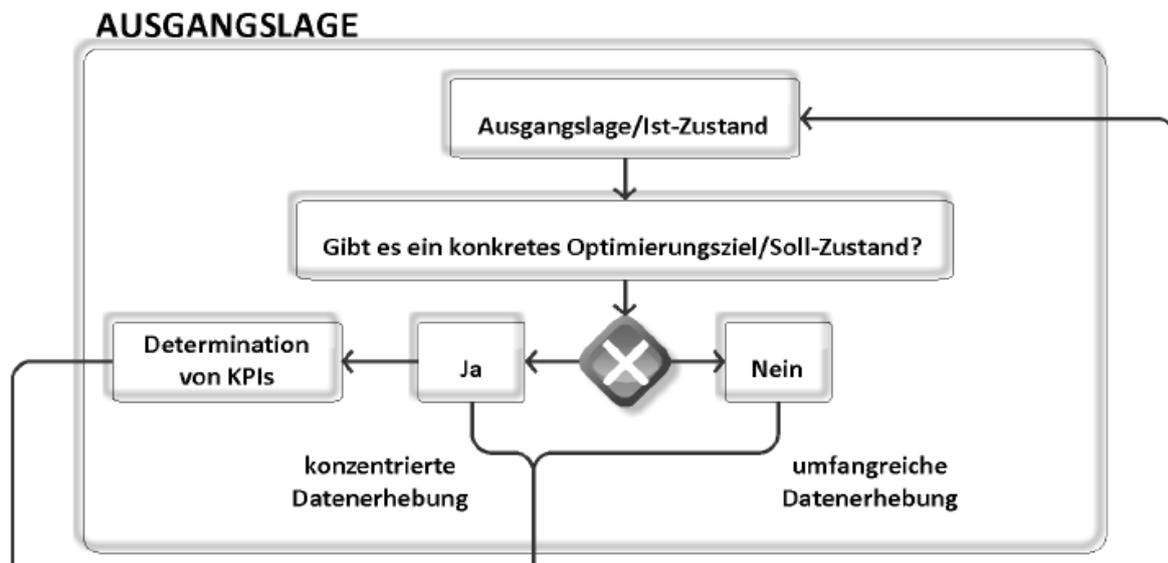


Abbildung 4.1: Erste Stufe des Verfahrens - Ausgangslage

Sind dem Anwender bereits ein oder mehrere Optimierungsziele bekannt, so können dadurch auch gleich wichtige Leistungskennzahlen (KPIs) determiniert werden, welche später bei der Untersuchung von Optimierungsszenarien als Vergleichsparameter verwendet werden können.

4.1 Definition der Ausgangslage am praktischen Beispiel

Da beim praktischen Beispiel kein konkretes Optimierungsziel vorlag, wurde eine umfangreiche Datenerhebung angestrebt. Das Ziel sollte dabei sein so viele Informationen wie möglich zu sammeln, um den Ist-Zustand so gut wie möglich abbilden zu können. Somit wird eine gute Ausgangsbasis für die Ermittlung von Vergleichsparametern sichergestellt.

5 Erhebung des Ist-Zustands

Definitionsgemäß versteht man unter der Erhebung des Ist-Zustands das Ermitteln und Beurteilen des aktuellen Zustands eines Materialflusssystemes mit den Zielen:

- neue Konzepte zu entwickeln,
- Arbeiten zu planen und
- Personal- sowie Betriebsmittel (insbesondere der Förder- und Lagertechnik) auszuwählen und effizient einzusetzen,

um einen wirtschaftlichen Materialfluss zu realisieren. [17]

Planungsaufgaben für Materialflusssysteme entstehen überwiegend im Zuge von Änderungen, Umstellungen und Erweiterungen bereits bestehender Einrichtungen. Die Planung „auf der grünen Wiese“ ist selten. Natürlich schränkt ein bereits vorgegebener Anfangszustand die Freiheiten der Planung ein. Schon deshalb ist es notwendig, den vorhandenen Zustand mit allen daraus resultierenden Bedingungen im Rahmen der Ist-Zustand Erhebung hinreichend zu erfassen. Nur so kann sichergestellt werden, dass die gegebenen Voraussetzungen bei der Planung eines neuen Soll-Zustands bestmöglich genutzt und die Konsequenzen aus Zustandsänderungen richtig beurteilt werden. [17]

Die Ist-Zustand Erhebung erstreckt sich primär auf den physischen Materialfluss einschließlich des damit verbundenen Informationsflusses. Neben den technischen sind auch betriebswirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen. Ferner ist es häufig nützlich oder sogar notwendig, sich über die physischen und logischen Schnittstellen hinausgehend mit ganz anderen als den unmittelbar betroffenen Materialflussbereichen zu beschäftigen. [17]

Nicht selten müssen Gebäudezustände, Standortbedingungen, Personalstrukturen, Behördenauflagen beachtet werden. Darum kann eine Ist-Zustand Erhebung je nach Zahl und Art ihrer Parameter oft nur in interdisziplinärer Zusammenarbeit durchgeführt werden. Das Interdisziplinäre ergibt sich im Grunde bereits aus dem Dienstleistungscharakter der Materialflussfunktionen, weil häufig die Bedingungen anderer Bereiche zu erfüllen sind: beispielsweise der Produktion, des öffentlichen Verkehrs, der Datenverarbeitung usw. [17]

In der zweiten Stufe des Verfahrens wird mittels einer Primär- und Sekundärerhebung versucht genügend Daten zu erheben, um damit den aktuellen Ist-Zustand nachvollziehen und abbilden zu können (vgl. Abbildung 5.1). Während bei einer Primärerhebung eine Befragung durchgeführt wird, werden bei der Sekundärerhebung sowohl interne, als auch externe Daten ausgewertet, die vom Auftraggeber nicht speziell für die Ist-Zustand Erhebung erstellt wurden.

Um die Anwendbarkeit dieses Optimierungsverfahrens in weiterer Folge zu gewährleisten, müssen im Zuge der Ist-Zustand Erhebung die relevanten Produktions- bzw. Abfülldaten erhoben werden, wie auch die Transportdistanzen der Gabelstaplerfahrer. Ob diese Informationen durch eine Primär- oder Sekundärerhebung in Erfahrung gebracht werden, spielt dabei keine Rolle. Wichtig ist nur, dass diese Daten erhoben werden, um im weiteren Verlauf des Verfahrens Spielzeiten, Prozessgrößen und Vergleichsparameter ableiten zu können.

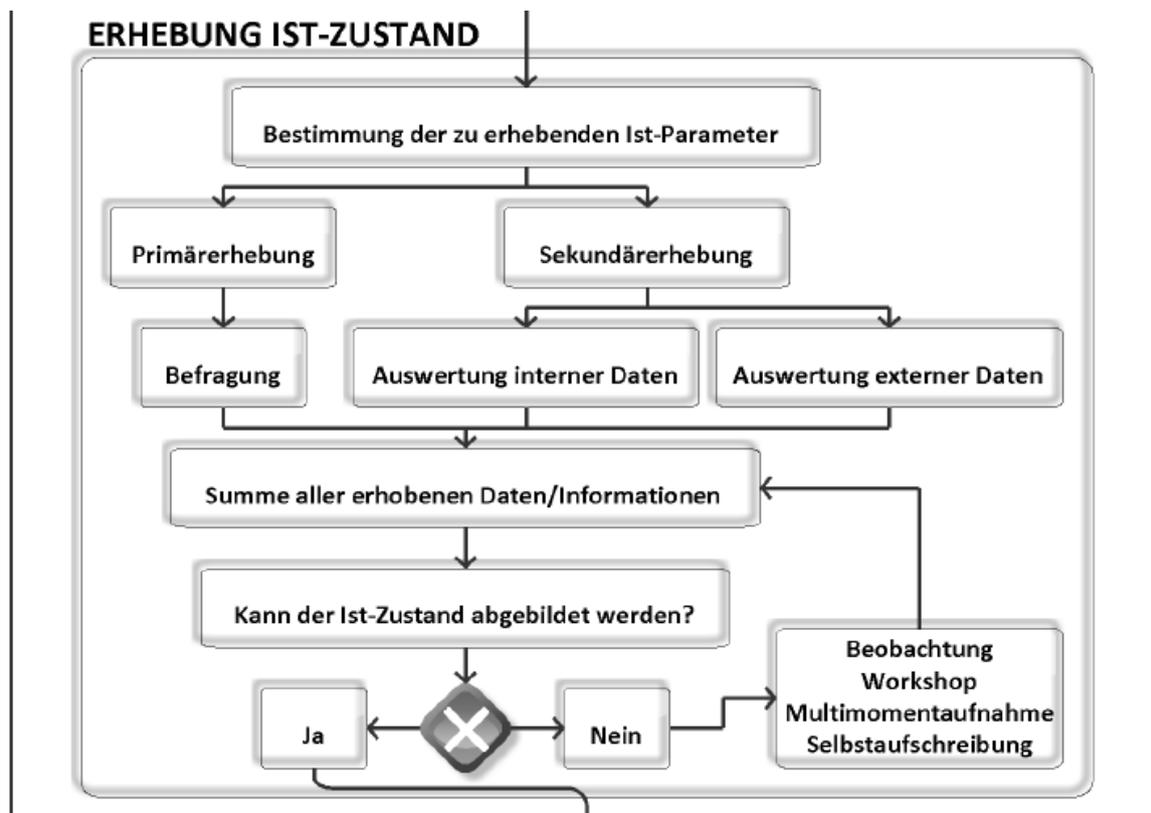


Abbildung 5.1: Zweite Stufe des Verfahrens - Erhebung Ist-Zustand

5.1 Bestimmung der zu erhebenden Ist-Parameter

Die im von Dieter Arnolds und Kai Furmans' Buch „*Materialfluss in Logistiksystemen*“ aufgelisteten Parameter der Ist-Aufnahme bilden eine umfangreiche Basis für die Erhebung des Ist-Zustands. Je nach Anwendungsfall sind diese individuell auszuwählen und im Zuge einer Primär- oder Sekundärerhebung in Erfahrung zu bringen.

Parameter der Ist-Aufnahme

1. Prozesse des Materialflusses:

- Planungsprozesse
- Beschaffungsprozesse
- Herstellungsprozesse

- Lieferungsprozesse
 - Rücklieferungsprozesse
2. Informationsverarbeitungssysteme, wie z.B.:
- Lagerverwaltungssysteme
 - PPS- / ERP- / APS-Systeme
 - Personalverwaltungssysteme
 - Finanzbuchhaltungssysteme
 - und deren Verknüpfungen untereinander
3. Daten des „Materials“ (der Waren, Fördergüter und Fördereinheiten):
- Abmessungen, Volumina, Gewichte
 - Mengen (z.B. betrieblicher Durchsatz oder Ankunftsdaten, Verteilungsfunktion der Zwischenankunftszeiten, Ankunftszeiten)
 - Kennzeichnungen (z.B. Nummerierung, Codierung)
 - Materialmerkmale (z.B. stoß- oder druckempfindlich, schmutzempfindlich, begrenzt lagerfähig, explosionsgefährdet, diebstahlgefährdet)
 - Verwaltung der Bestände, der Zu- und Abgänge (z.B. Stammdaten, Warenstruktur, Inventur)
4. Daten vorhandener Fördermittel und Lageranlagen:
- Kapazitäten (z.B. Fassungsvermögen, Lagerplätze)
 - Taktzeiten, Spielzeiten, Bedienzeiten, Reaktionszeiten, Greifzeiten, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, usw.
 - Durchsätze (z.B. Grenzdurchsatz, Lagerumschlag, Leergutrücklauf)
 - Flächen- und Raumbedarf
 - Steuerungshardware
 - Steuerungssoftware (z.B. Lagerverwaltung, Auftragsausführung und -kontrolle)
 - Wiederanlaufkonzept, Programmverbund, DV-technische Schnittstellen)
 - Personalbedarf (z.B. für Betrieb, Wartung, Störungsbehebung, usw.)

5. Produktionstechnische Daten:

- Produkte (z.B. Stückzahlen, Produktgruppen, Losgrößen)
- Produktion (Fertigungstechnik, Fertigungseinrichtungen und -organisation)
- Aufträge (Auftragseingänge, Durchlaufzeiten, Bestände, Terminplanung)
- Personaleinsatz (z.B. Qualifikation, Arbeitsbedingungen, Verantwortungskonzept)
- DV-Technik und Schnittstellen zum Materialflusssystem

6. Daten des externen Warentransports:

- Lieferanten- /Kundenbeziehungen (z.B. Mengen, Entfernungen, Verkehrsmittel, Kommunikationstechniken)
- physische und DV-Schnittstellen im Wareneingang und im Warenausgang

7. Betriebswirtschaftliche Daten:

- Investitionen, Kapitalbindungskosten
- Betriebskosten (z.B. Energie, Personal, Wartung)
- Relevante Positionen der Bilanz sowie der Gewinn- und Verlust-Rechnung

8. Sonstige Parameter:

- Gebäude (Zustand, Größe, Nutzung)
- Grundstücke (Art, Größe, Nutzung, Verkehrs- und Energieanbindung, Umweltbedingungen, soziales Umfeld, behördliche Auflagen, usw.)
- Unternehmensstrategie (Fertigungstiefe, Kooperationen, Ziele der strategischen Planung usw.)
- Allgemeine Auflagen (Gesetze, Tarifverträge, Unfallverhütungsvorschriften, diverse Verordnungen und Richtlinien (VDI, FEM, VDE, ...), anerkannte Regeln der Technik, Normen, usw.) [17]

5.1.1 Anwendung der Ist-Zustand Erhebung am praktischen Beispiel

Im Zuge der Ermittlung des Ist-Zustands wurden die benötigten Informationen wie vom Optimierungsverfahren empfohlen mittels einer Primär- und Sekundärerhebung in Erfahrung gebracht.

Primärerhebung

Bei der Primärerhebung wurde dem Unternehmen sämtliche Parameter der Ist-Aufnahme in Form eines Fragebogens zur Bearbeitung übermittelt. Das darauf folgende Antwortschreiben gab folgende Einblicke und Erkenntnisse über den aktuellen Status Quo der Materialfluss- und Transportprozesse des Unternehmens:

Produktionskonzept

- Das Unternehmen hat am Werksgelände vier verschiedene Abfüllorganisationen platziert, welche je eine bestimmte Art von Erzeugnis herstellen. Diese vier Abfüllorganisationen heißen „ETHOX“, „TH“, „GE“ und „NA“. Bis auf „NA“ besitzen alle anderen Abfüllorganisationen mehr als nur eine Abfüllstelle, sodass es am Werksgelände insgesamt 15 Abfüllstellen gibt (siehe Tabelle 5.1).
- Die Erzeugnisse sind entweder Flüssigkeiten, welche in verschiedene Gebinde abgefüllt werden, oder pulverförmige Feststoffe. Diese werden in große Kunstfasersäcke, sogenannte „Big Bags“ abgefüllt.

Tabelle 5.1: Die Abfüllstellen und ihre Erzeugnisse [18]

Nr.	Abfüllstelle	Erzeugnis
1	ETHOX_1	Flüssigkeit
2	ETHOX_2	Flüssigkeit
3	ETHOX_3	Flüssigkeit
4	ETHOX_4	Feststoff
5	ETHOX_5	Feststoff
6	ETHOX_6	Feststoff
7	TH_1	Flüssigkeit
8	TH_2	Feststoff
9	TH_3	Feststoff
10	TH_4	Flüssigkeit
11	TH_5	Flüssigkeit
12	TH_6	Flüssigkeit
13	GE_1	Flüssigkeit
14	GE_2	Flüssigkeit
15	NA	Flüssigkeit

Prozesse des Materialflusses

- Die Rohstoffversorgung aller Abfüllstellen erfolgt mittels eines am Werksgelände installiertem Rohrleitungssystem, welches über die Dächer der Gebäude hinweg die

Rohstoffe zu den Abfüllstellen fördert.

- Die Flüssigkeiten und Feststoffe werden in verschiedene Packmittel (Stahlfässer, PE-Fässer, IBC, Big Bags, etc.) abgefüllt und in entsprechender Anzahl auf einer CP1-Palette zu einer Ladeinheit zusammengefasst. (vgl. Abbildung 2.4, Abbildung 2.5, Abbildung 2.6). Diese Ladeinheiten werden anschließend auf einer der Abfüllstelle angeschlossenen Rollenbahn gepuffert, bis sie von einem Mitarbeiter mittels Gabelstapler verladen werden.
- Diese Verladung erfolgt bei Flüssigprodukten in Anhänger (vgl. Abbildung 2.8) und bei Feststoffen in Wechselbehälter (vgl. Abbildung 2.9), welche in unmittelbarer Nähe der jeweiligen Abfüllstelle positioniert sind. Aufgrund der gegebenen Stapelfähigkeit können in den Anhänger 24 Flüssigprodukt-Ladeinheiten untergebracht werden. Im Gegensatz dazu können in einen Wechselbehälter nur zwölf Feststoff-Ladeinheiten geladen werden, da die Stapelfähigkeit bei Big Bags nicht gegeben ist.
- Sobald ein Anhänger oder Wechselbehälter vollständig beladen ist, wird vom Personal der jeweiligen Abfüllstelle der Logistkdienstleister des Werksgeländes verständigt, um die Ladung abzuholen und in das Logistikzentrum zu transportieren und dort anschließend einzulagern. Sobald dann ein Mitarbeiter des Logistkdienstleisters mit einer Zugmaschine bei der Abfüllstelle eintrifft, hat dieser bereits einen leeren Anhänger oder Wechselbehälter mit, um eine neue Beladung zu ermöglichen.
- Bei den Flüssigprodukt-Abfüllstellen müssen diese Anhänger jedoch zuvor von den eigenen Mitarbeitern mittels Gabelstapler entladen werden, da diese mit Leergebinde befüllt sind. Bei den Wechselbehältern ist dieser Entladevorgang hinfällig, da die Feststoff-Abfüllstellen während der Abfüllvorgänge von einem Gabelstaplerfahrer mit ausreichend CP1-Paletten und Big Bags versorgt werden. Dieser bezieht seine Paletten und Big Bags von einem am Werksgelände abgestellten Wechselbehälter, der kontinuierlich vom Logistkdienstleister ausgetauscht wird.
- Nachdem der Mitarbeiter des Logistkdienstleisters den leeren Anhänger/Wechselbehälter abgestellt und den beladenen Anhänger/Wechselbehälter mitgenommen hat, bringt er diesen zum Logistikzentrum. Dort werden die Ladeinheiten ausgeladen und im Logistikzentrum eingelagert, ehe sie von Endkunden vor Ort abgeholt werden. Die Anhänger kommen nach der Entladung zum Packmittellager, wo sie erneut mit Leergebinde befüllt werden, ehe sie wieder zu den Abfüllstellen transportiert werden. Somit schließt sich der Materialflusskreislauf.

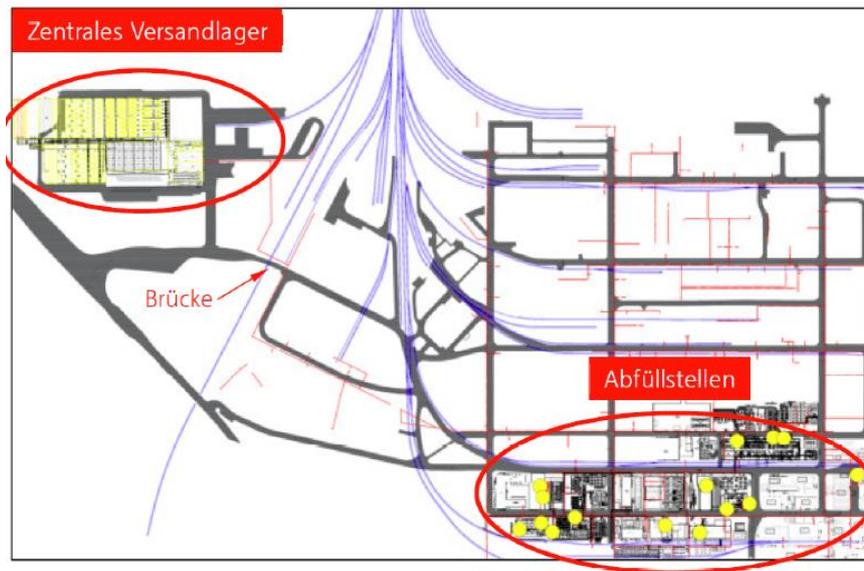
Lage des Versandlagers und der Abfüllorganisationen am Werksgelände

Abbildung 5.2: Layout des Werksgeländes [18]

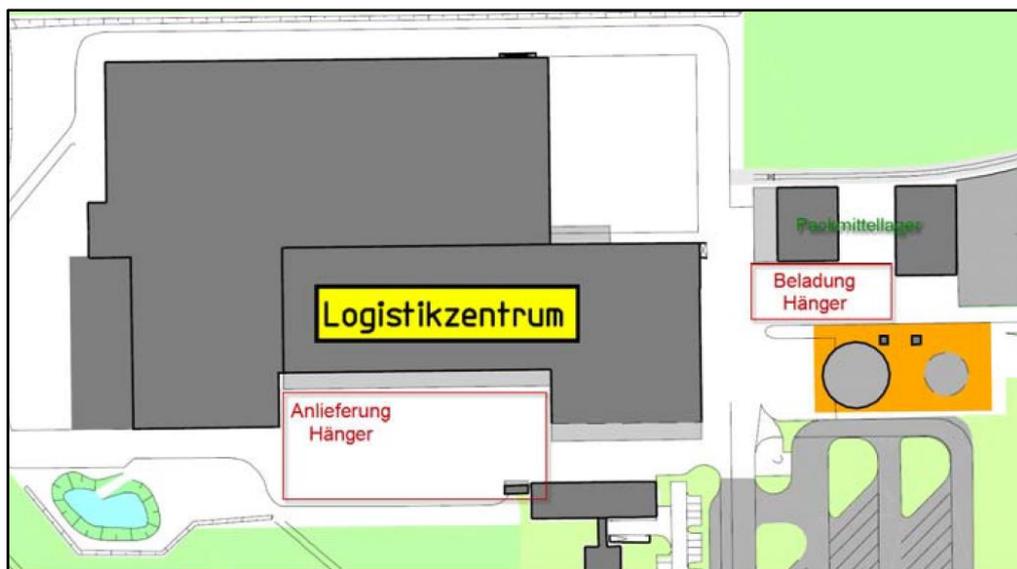


Abbildung 5.3: Layout des Logistikzentrums/zentralem Versandlagers [18]

Positionen und Durchsätze der einzelnen Abfüllstellen

- ETHOX



Abbildung 5.4: Lage der ETHOX-Abfüllorganisation [18]

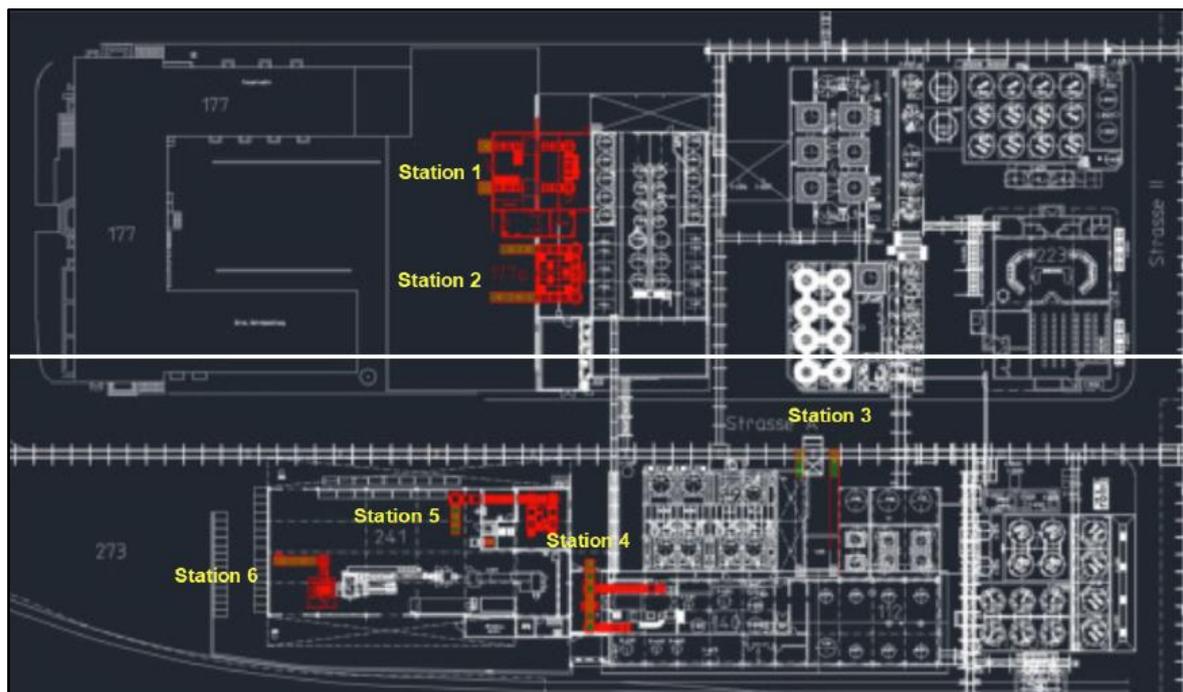


Abbildung 5.5: Positionen der ETHOX-Abfüllstellen [18]

Tabelle 5.2: Abfüllmenge und Abfüllart der ETHOX-Abfüllstellen [18]

	max. Durchsatz	Einheit	max. Durchsatz	Einheit	Art der Abfüllung
Station 1	150	t/Tag	7,4	Paletten/h	Flüssig
Station 2	240	t/Tag	11,8	Paletten/h	Flüssig
Station 3	50	t/Tag	2,5	Paletten/h	Flüssig
Station 4	30	t/Tag	1,5	Paletten/h	Fest
Station 5	36	t/Tag	1,8	Paletten/h	Fest
Station 6	36	t/Tag	1,8	Paletten/h	Fest
	542	t/Tag	26,6	Paletten/h	

- TH



Abbildung 5.6: Lage der TH-Abfüllorganisation [18]

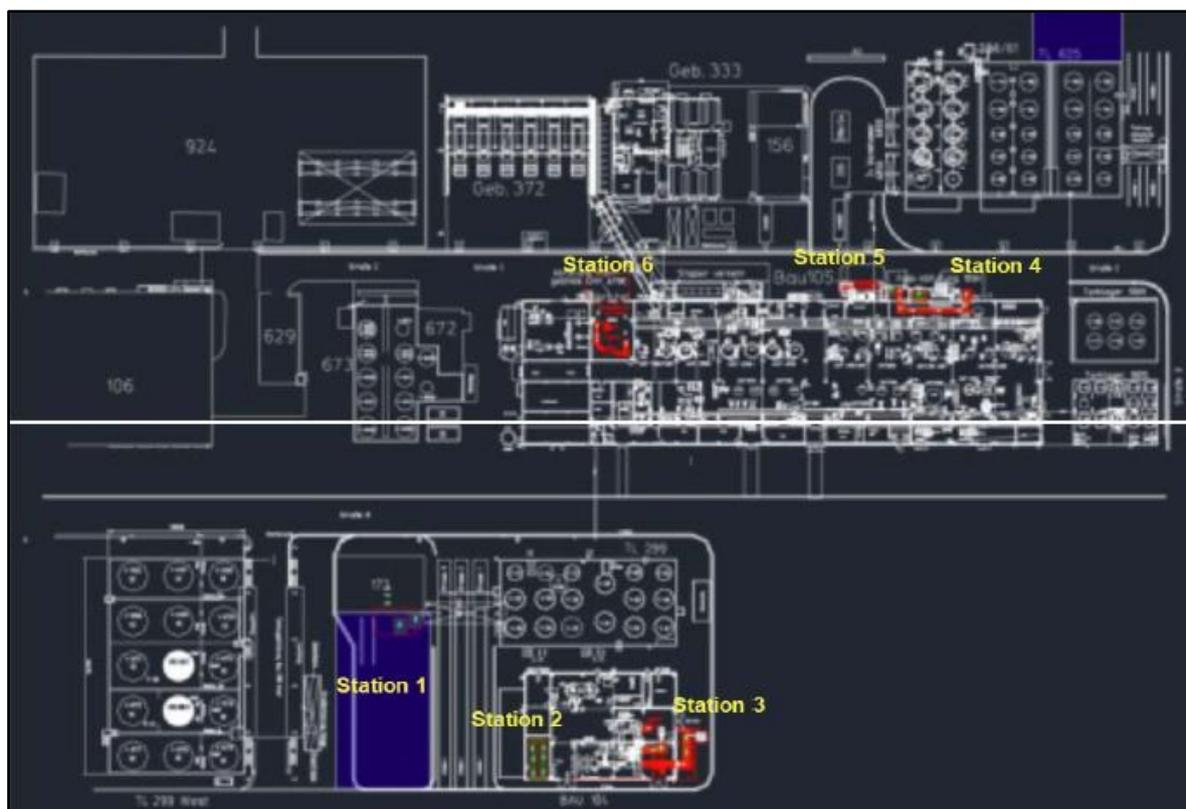


Abbildung 5.7: Positionen der TH-Abfüllstellen [18]

Tabelle 5.3: Abfüllmenge und Abfüllart der TH-Abfüllstellen [18]

	max. Durchsatz	Einheit	max. Durchsatz	Einheit	Art der Abfüllung
Station 1	168	t/Tag	8,2	Paletten/h	Flüssig
Station 2	36	t/Tag	1,8	Paletten/h	Fest
Station 3	72	t/Tag	3,5	Paletten/h	Fest
Station 4	168	t/Tag	8,2	Paletten/h	Flüssig
Station 5	36	t/Tag	1,8	Paletten/h	Flüssig
Station 6	96	t/Tag	4,7	Paletten/h	Flüssig
	576	t/Tag	28,2	Paletten/h	

- GE

**Abbildung 5.8: Lage der GE-Abfüllorganisation [18]****Abbildung 5.9: Positionen der GE-Abfüllstellen [18]****Tabelle 5.4: Abfüllmenge und Abfüllart der GE-Abfüllstellen [18]**

	max. Durchsatz	Einheit	max. Durchsatz	Einheit	Art der Abfüllung
Station 1	360	t/Tag	17,6	Paletten/h	Flüssig
Station 2	144	t/Tag	7,1	Paletten/h	Flüssig
	504	t/Tag	24,7	Paletten/h	

- NA



Abbildung 5.10: Lage der NA-Abfüllorganisation [18]

Tabelle 5.5: Abfüllmenge und Abfüllart der NA-Abfüllstelle [18]

	max. Durchsatz	Einheit	max. Durchsatz	Einheit	Art der Abfüllung
Station 1	70	t/Tag	3,4	Paletten/h	Flüssig
	70	t/Tag	3,4	Paletten/h	

Zusatzinformationen zu den Abfüllstationen

- Bei der Aufnahme der Ladeeinheiten durch den Stapler beträgt die Aufnahmehöhe der Ladeeinheiten 500 mm (Höhe des Pufferbandes). Außer bei der Abfüllstelle GE_1. Hier beträgt die Aufnahmehöhe 1.500 mm.
- Die Abgabehöhe der Ladeeinheiten beträgt bei allen Abfüllstellen bzw. Anhängern/Wechselbehältern 1.000 mm.
- Die Betriebszeiten und Schichtwechselzeiten der Abfüllstellen sind wie folgt festgelegt:
 - 24 h (MO-SO, Schichtwechsel: 17:30 – 19:00 Uhr)
 - gilt für alle ETHOX-Abfüllstellen, TH_2, TH_3 und TH_4
 - 12 h (MO-SO, 07:00 – 19:00 Uhr)
 - gilt für TH_1 und GE_1
 - 8 h (MO-FR, 07:00 – 12:00 Uhr, 13:00 – 16:00 Uhr)
 - gilt für die NA-Abfüllstelle
- Die Abfüllstellen TH_5 und TH_6 sind sehr selten in Betrieb und werden deshalb in weiterer Folge nicht beachtet.

- Bei den Abfüllstellen ETHOX_1 und ETHOX_2 sind insgesamt drei Anhänger abgestellt, welche mit Fertigprodukt-Paletten der beiden Abfüllstellen beladen werden.
- Innerhalb der nächsten zwei Jahre wird die ETHOX_3 Abfüllstelle verlegt. Ihre zukünftige Position wird ca. neun Meter südlich von der ETHOX_2 Abfüllstelle sein.
- Die Freifläche westlich des Gebäudes indem sich die Abfüllstellen von ETHOX_4, ETHOX_5 und ETHOX_6 befinden, wurde vom Unternehmen asphaltiert und steht seither für eine mögliche Nutzung als Pufferfläche bereit.
- Anzahl an Pufferplätzen je Abfüllstelle (siehe Tabelle 5.6)

Tabelle 5.6: Pufferplätze der Abfüllstellen [18]

Abfüllorganisation	ETHOX						TH						GE		NA
Abfüllstelle	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	1
Pufferplätze [#]	7	6	10	8	5	4	40	0	0	0	0	0	8	0	3

Produktionstechnische Daten

- Für das Informationsmanagement wird ein ERP-System verwendet. In diesem ist für jede Abfüllstelle der jeweilige Abfüllplan hinterlegt.
- Der Abfüllplan gibt Auskunft über die Reihenfolge, das benötigte Packmittel, das Produkt und die abzufüllende Menge.

Personaleinsatz

- Je Abfüllstelle steht ein Staplerfahrer zur Verfügung
- Die Qualifikationsanforderungen an die Staplerfahrer sind eine technische Ausbildung, der Staplerführerschein und ausreichend Erfahrung im Umgang mit einem Gabelstapler.
- Die durchschnittlichen Jahreskosten je Mitarbeiter betragen € 60.000,-.
- Für das Personal bei den Abfüllstellen gibt es zwei Einsatzmodelle:
 - Ausschließlich Staplerfahrer
 - Abwechselnd Staplerfahrer und Bedienpersonal für die Abfüllanlage
- Die Arbeitsplanung der Mitarbeiter richtet sich nach dem Abfüllplan, welcher durch den Schichtleiter erstellt wird.

Daten des Materials

In Tabelle 5.7 werden die für die Abfüllung der Flüssigkeiten und Feststoffe verwendeten Packmittel gegenüber gestellt. Dem Kriterium *Anzahl auf CP1-Palette* kann entnommen werden, wie viele einzelne Packmittel eines bestimmten Typs auf eine CP1-Palette (1.000 mm x 1.200 mm) passen.

Tabelle 5.7: Übersicht verwendeter Packmittel [18]

	Packmittel für				
	für Flüssigkeiten				Feststoffe
	PE-Fass 150 L	PE-Fass 220 L	Stahlfass 220 L	IBC	Big Bag
Durchmesser / Breite x Tiefe [mm]	504	581	585	1.000 x 1.200	800 x 1.200
Höhe [mm]	965	935	883	1.160	1.750
Volumen [L]	190	235	235	1.000	1.000
Gewicht [kg]	7	9	20	58	1
Anzahl auf CP1-Palette [#]	5	4	4	1	1
stapelfähig	ja	ja	ja	ja	nein
stoß- und druckempfindlich	nein	nein	ja	nein	nein
schmutzempfindlich	ja	ja	ja	ja	ja
begrenzt lagerfähig	nein	nein	nein	nein	nein

Allgemeine Auflagen

- Grundsätzlich gibt es keine Fahrverbotszonen innerhalb des Werksgeländes. Die Anhänger/Wechselbehälter sind immer so am Straßenrand abzustellen, dass andere Fahrzeuge problemlos vorbeifahren können.
- Die Verladung der Fertigprodukte im Logistikzentrum bzw. der Leergebinde beim Packmittellager erfolgt durch Mitarbeiter des Logistikdienstleisters nur werktags zwischen 07:00 – 16:00 Uhr.

Sekundärerhebung

Nach der Primärerhebung konnten die Prozessabläufe und Materialflüsse bereits nachvollzogen werden. Jedoch waren die Transportdistanzen der Stapler- und Anhängertransporte noch unbekannt, wodurch sich die logistischen Aufwände bzw. die Transportleistungen noch nicht abschätzen ließen. Aus diesem Grund wurden im Zuge der Sekundärerhebung Transportdistanzen mit Hilfe von Satellitenbildern des Werksgeländes ermittelt, welche anschließend für die Berechnung von Arbeitsspielzeiten verwendet wurden.

Auswertung externer Daten

Mit Hilfe der Sattelitensoftware *Google Earth Pro* konnten übersichtliche Bilder vom Werksgelände erstellt werden (vgl. Abbildung 5.11). Die Möglichkeit Distanzen zu messen (siehe Abbildung 5.12) und das Werksgelände von verschiedenen Perspektiven zu betrachten, waren die Entscheidungskriterien für die Verwendung dieser Software.



Abbildung 5.11: Sattelitenaufnahme vom Werksgelände



Abbildung 5.12: Distanzmessung mittels Google Earth Pro

Nachdem das Werksgelände mit Hilfe der Sattelitensoftware vermessen wurde, konnte das Layout des Werksgeländes abstrahiert werden (siehe Abbildung 5.13).

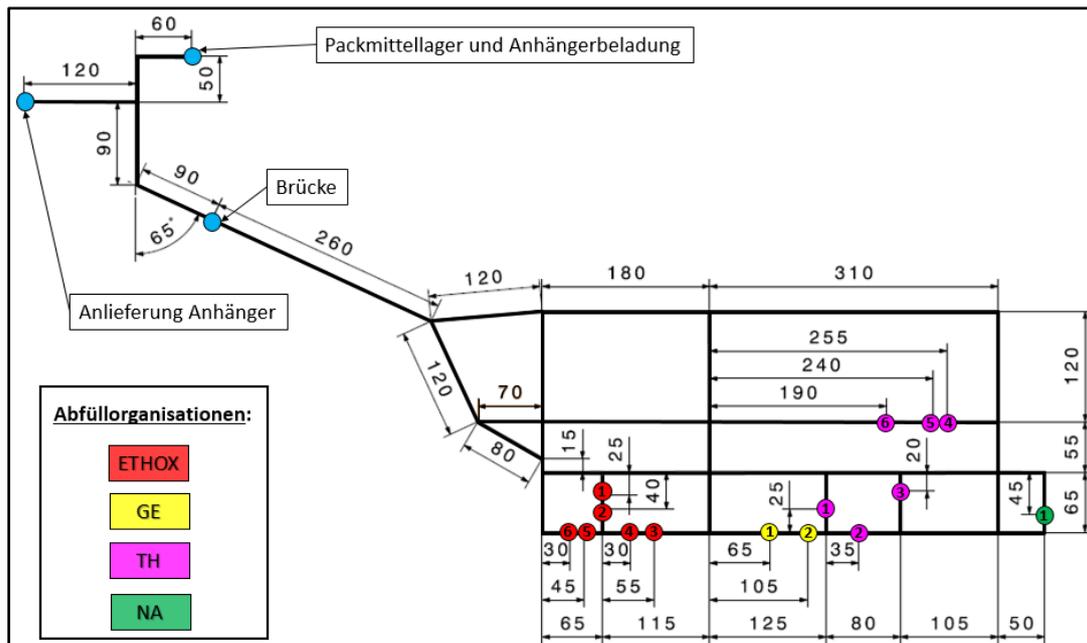


Abbildung 5.13: Abstrahiertes Layout des Werksgeländes

In weiterer Folge wurden die Transportdistanzen der Stapler für jede Abfüllstelle ermittelt. Dabei galt es folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Die Transportdistanz wurde aus dem Mittelwert der vorderseitigen Transportdistanz [vorderseitige Be- und Entladung (v.B.E.) des Anhängers/Wechselbehälters] und der rückseitigen Transportdistanz [rückseitige Be- und Entladung (r.B.E.) des Anhängers/Wechselbehälters] gebildet.
- Die Transportrouten wurden so gelegt, dass für die Gabelstapler stets eine Arbeitsgangbreite von 4.000 mm zur Verfügung steht. [19]
- Bei Kurven ($\geq 90^\circ$) wurde ein Kurvenradius von 2.000 mm angenommen. [19]
- Die Abmaße der beiden Transportobjekte (Anhänger und Wechselbehälter) wurden jeweils mit einer Länge von 8.000 mm und einer Breite von 3.000 mm angenommen. [10]

Die folgenden Abbildungen zeigen die für die Berechnung der Transportdistanzen erforderlichen Wege, Entfernungen und Abstände:

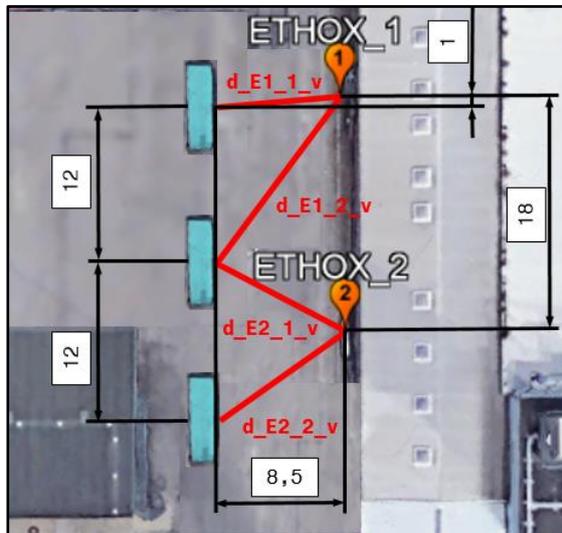


Abbildung 5.14: v.B.E. ETHOX_1, ETHOX_2

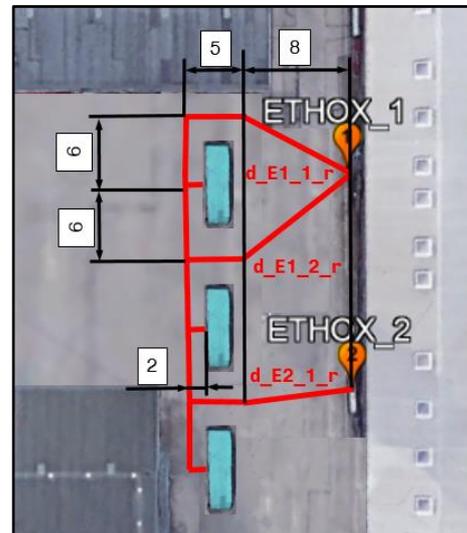


Abbildung 5.15: r.B.E. ETHOX_1, ETHOX_2



Abbildung 5.16: v.B.E. ETHOX_3



Abbildung 5.17: r.B.E. ETHOX_3

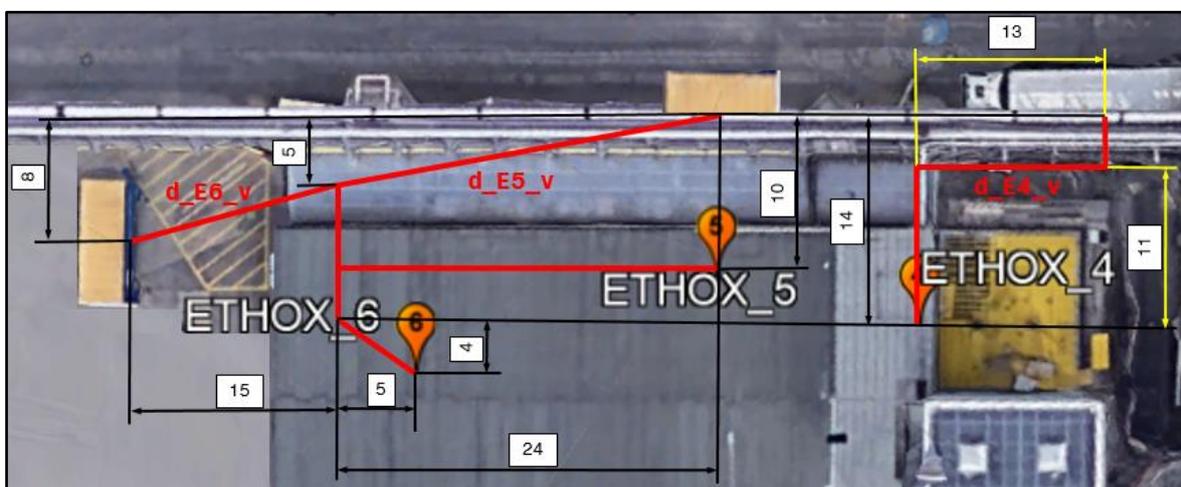


Abbildung 5.18: v.B.E. ETHOX_4, ETHOX_5, ETHOX_6

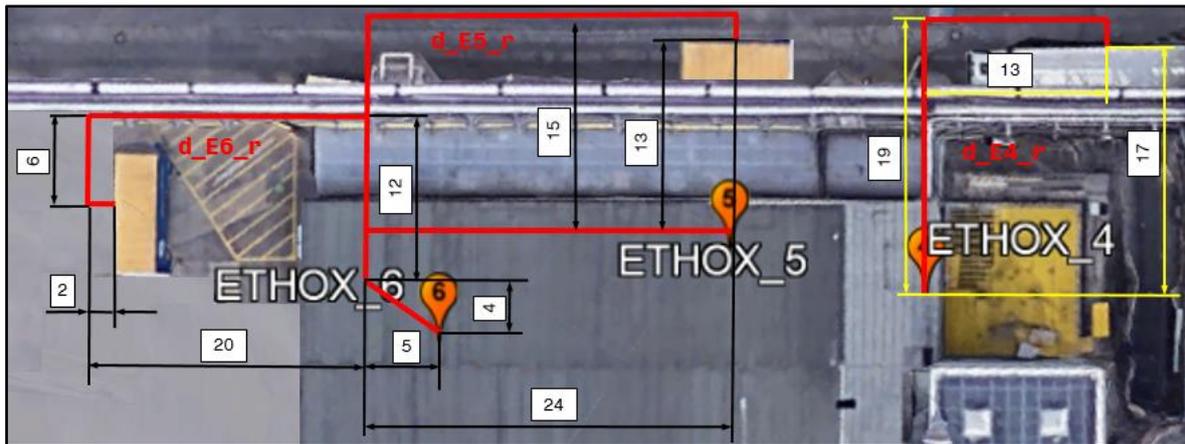


Abbildung 5.19: r.B.E. ETHOX_4, ETHOX_5, ETHOX_6

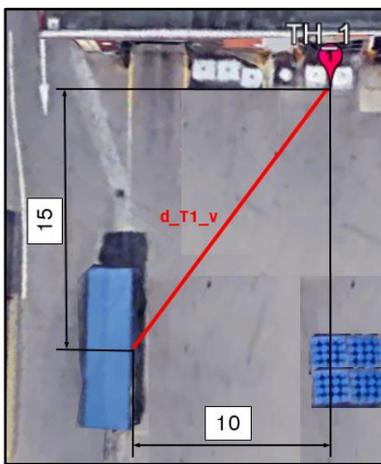


Abbildung 5.20: v.B.E. TH_1

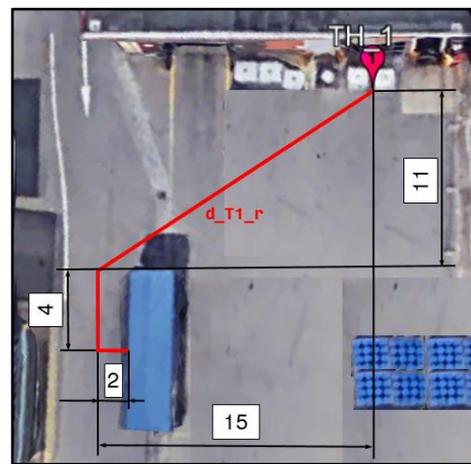


Abbildung 5.21: r.B.E. TH_1

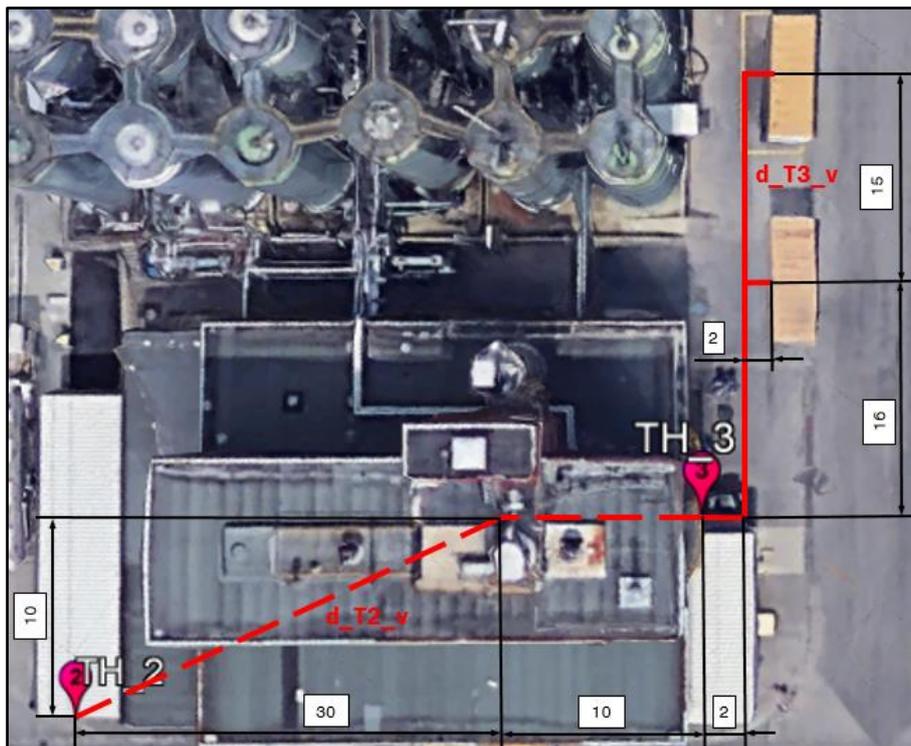


Abbildung 5.22: v.B.E. TH_2, TH_3

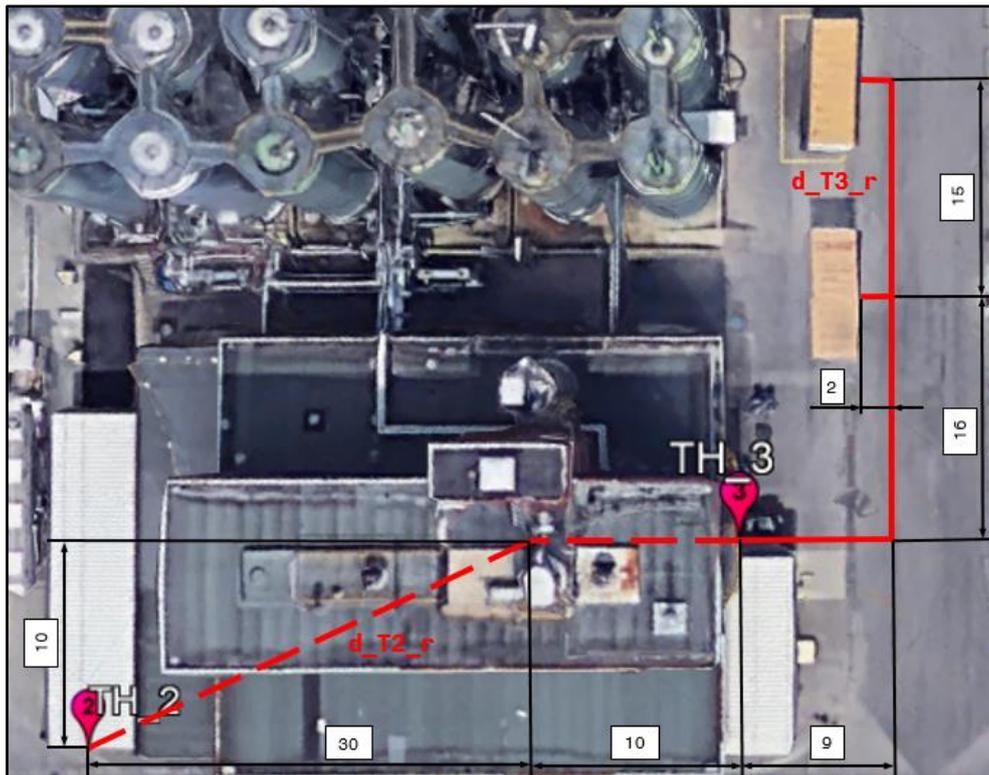


Abbildung 5.23: r.B.E. TH_2, TH_3

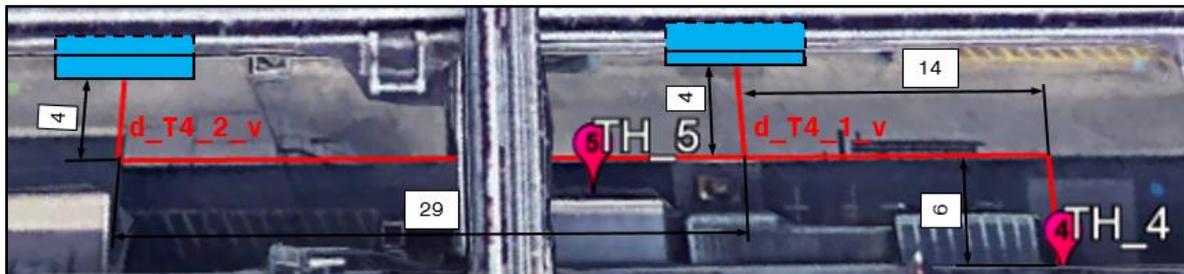


Abbildung 5.24: v.B.E. TH_4, (inkl. TH_5, TH_6)

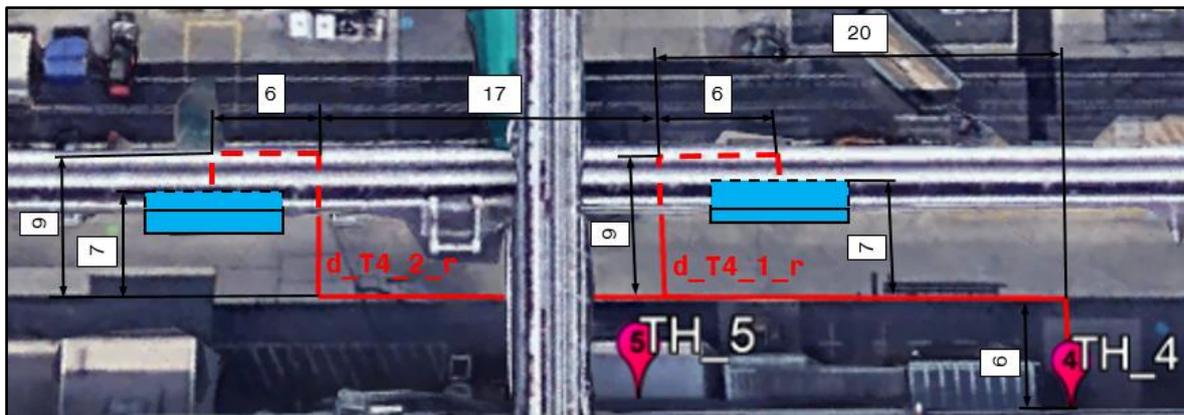


Abbildung 5.25: r.B.E. TH_4 (inkl. TH_5, TH_6)

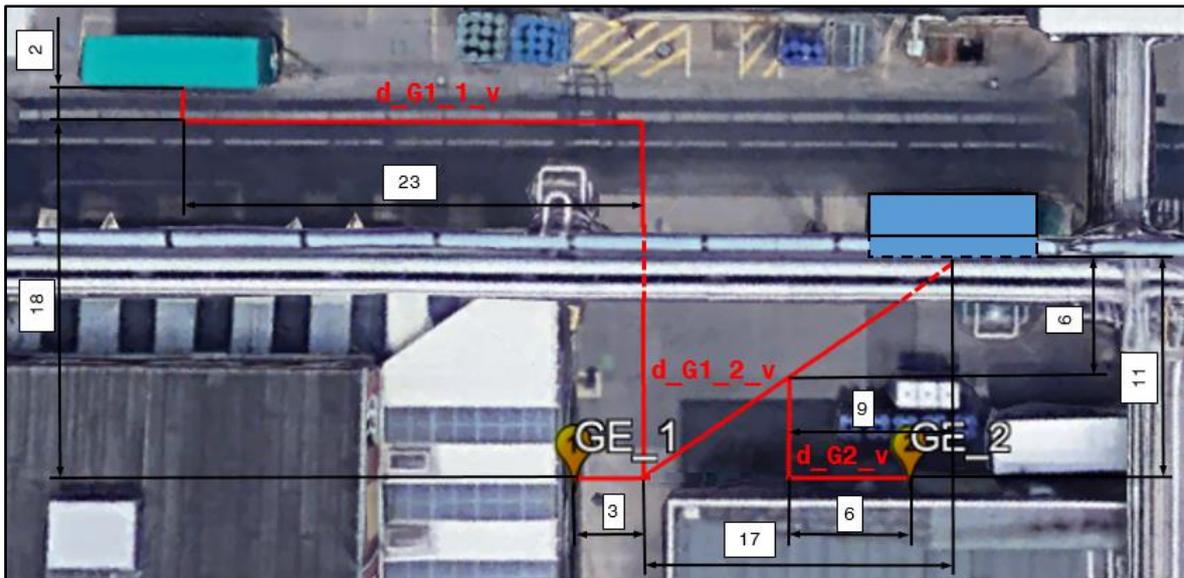


Abbildung 5.26: v.B.E. GE_1, GE_2

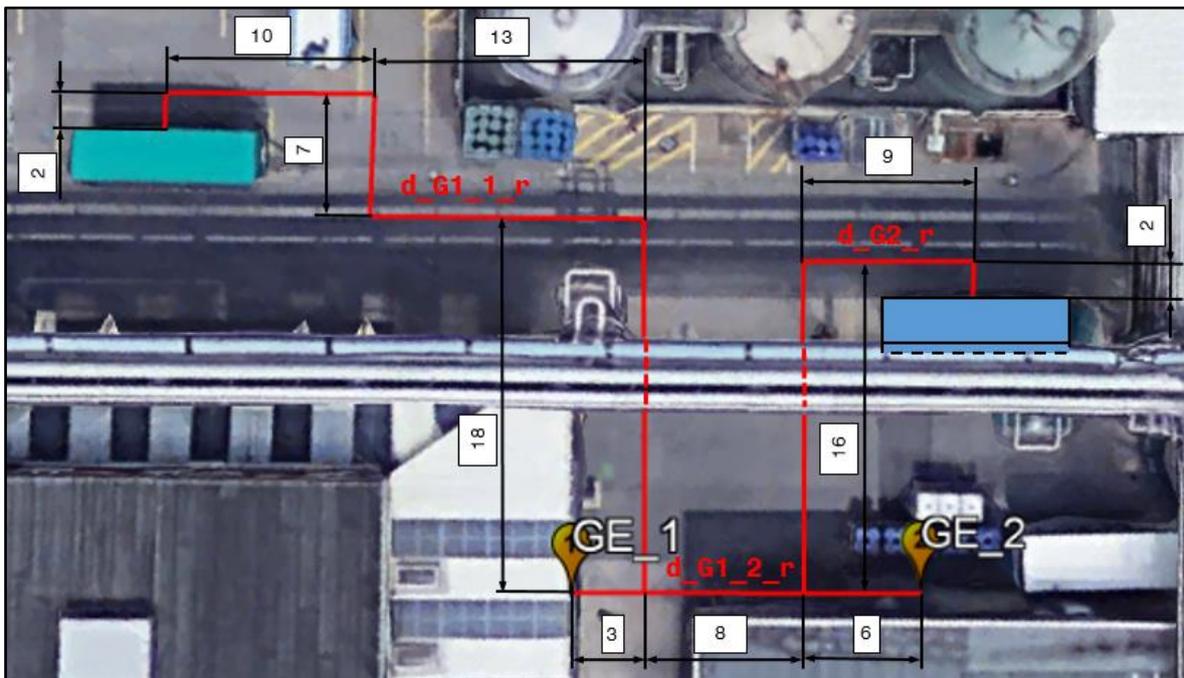


Abbildung 5.27: r.B.E. GE_1, GE_2



Abbildung 5.28: v.E. NA

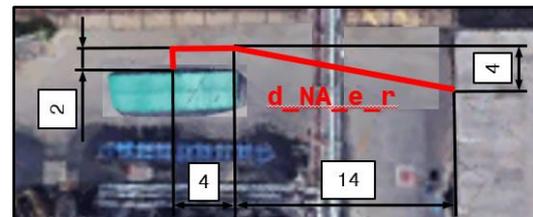


Abbildung 5.29: r.E. NA



Abbildung 5.30: v.B. NA

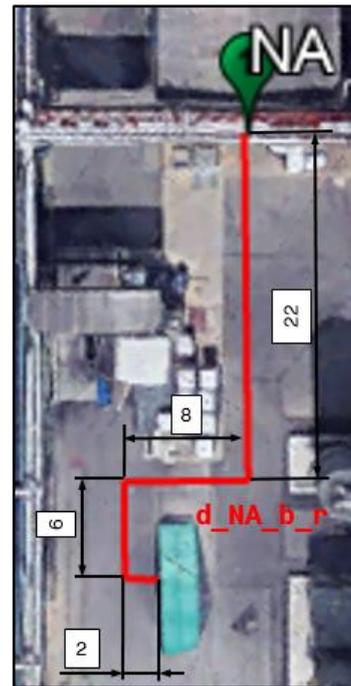


Abbildung 5.31: r.B. NA

In Tabelle 5.8 sind die Transportdistanzen der Stapler aller Abfüllstellen zusammengefasst. Sie stellen die Wege dar, welche die Stapler bei der Be- und Entladung der Transportobjekte zwischen den Abfüllstellen und den Anhängern/Wechselbehältern zurücklegen müssen.

Tabelle 5.8: Transportdistanzen der Stapler

Abfüllstellen	Distanz_vorderseitig [m]		Distanz_rückseitig [m]		Distanz_gemittelt [m]	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
ETHOX_1		10,9		20,9		15,9
ETHOX_2		10,6		19,2		14,9
ETHOX_3		5,1		8,2		6,7
ETHOX_4		25,2		32,2		28,7
ETHOX_5		52,1		62,3		57,2
ETHOX_6		29,2		43,5		36,4
TH_1		18,0		23,5		20,8
TH_2		59,8		66,8		63,3
TH_3		33,2		40,2		36,7
TH_4 (inkl. TH_5, TH_6)		36,7		47,9		42,3
GE_1		43,3		48,5		45,9
GE_2		20,7		30,3		25,5
NA	19,7	30,1	19,7	35,3	19,7	32,7

Auswertung interner Daten

Im Zuge der Sekundärerhebung wurden auch interne Daten des Unternehmens ausgewertet, welche nicht unmittelbar für die Erhebung des Ist-Zustands generiert wurden. Es handelt sich dabei um SAP-Datensätze aus der Produktion, die während des Abfüllbetriebes aufgezeichnet werden. Grundsätzlich kann hierbei aber jede Art von Produktionsdaten herangezogen werden.

Die Auswertung dieser Daten ermöglichte eine noch zuverlässigere Aussage über die maximalen Paletten-Durchsätze der einzelnen Abfüllstellen, als sie bisher durch die Primärerhebung getroffen werden konnte. Die hellgrün markierten Felder in Tabelle 5.9 stellen die Paletten-Durchsätze dar, die durch diese Auswertung aktualisiert wurden. Bei allen anderen Abfüllstellen blieb der bereits erhobene Wert unverändert.

Die Kenntnisse über den maximalen Paletten-Durchsatz der einzelnen Abfüllstellen spielt in weiterer Folge eine große Rolle, da dadurch die Spitzenwerte der logistischen Aufwände berechnet werden konnten. In die folgende Berechnung der Arbeitsspielzeiten für die Be- und Entladevorgänge der Transportobjekte konnte durch die Verwendung der Durchsatz-Spitzenwerte (λ_{\max}) eine Art Sicherheitsfaktor eingebracht werden.

Tabelle 5.9: Produktionszahlen aus der Sekundärerhebung

	Primärerhebung	Sekundärerhebung
Abfüllstelle	λ_{\max} [P/h]	λ_{\max} [P/h]
ETHOX_1	7,4	7,4
ETHOX_2	11,8	11,3
ETHOX_3	2,5	7,5
ETHOX_4	1,5	1,5
ETHOX_5	1,8	1,8
ETHOX_6	1,8	1,8
ETHOX	26,8	31,3
TH_1	8,2	8,2
TH_2	1,8	1,8
TH_3	3,5	3,5
TH_4	8,2	5,9
TH_5	1,8	1,8
TH_6	4,7	4,7
TH	28,2	25,9
GE_1	17,6	11,1
GE_2	7,1	7,1
GE	24,7	18,2
NA	3,4	3,4
Gesamt	83,1	78,8

6 Analyse des Ist-Zustands

Das Ziel der dritten Stufe des Verfahrens ist eine Analyse des Ist-Zustands mit einer daraus resultierenden Bestimmung von Ist-Zustand charakterisierenden Leistungskennzahlen, welche in weiterer Folge als Vergleichsparameter bei der Untersuchung von Optimierungsszenarien verwendet werden. Für die Generierung von Leistungskennzahlen werden zunächst mit Hilfe von Berechnungsmodellen die Spielzeiten der Transportprozesse berechnet.

Durch die Kombination der Ergebnisse der Spielzeitberechnung und der bereits erhobenen Produktionskennzahlen können anschließend Prozessgrößen (Zykluszeiten, Kosten, Mengen, etc.) abgeleitet werden. Aus diesen Prozessgrößen können in weiterer Folge Leistungskennzahlen (KPIs) generiert werden (siehe Abbildung 6.1).

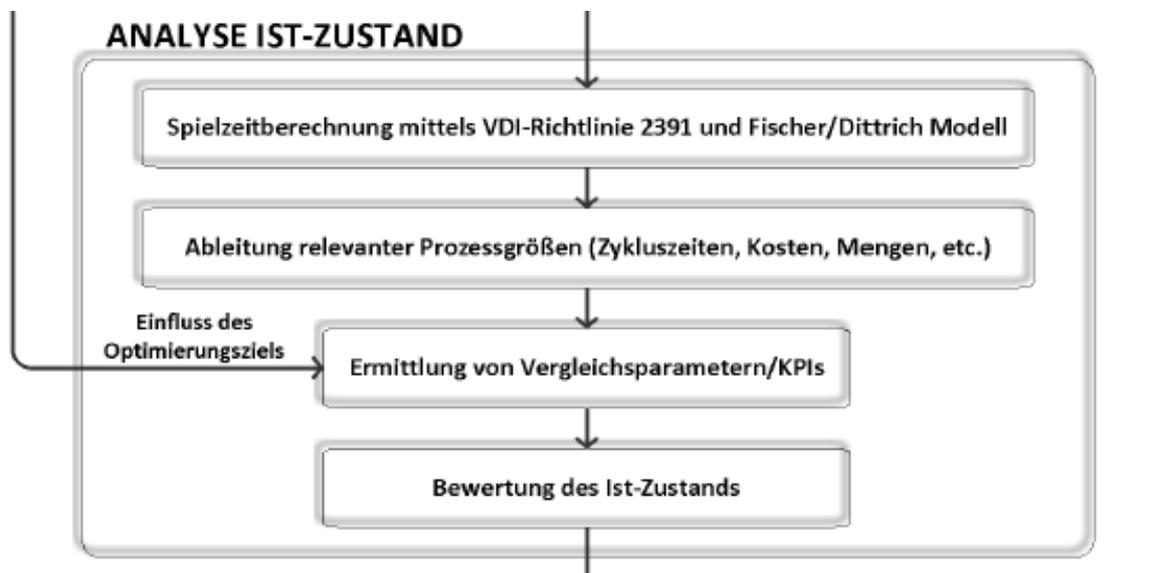


Abbildung 6.1: Dritte Stufe des Verfahrens - Analyse Ist-Zustand

6.1 Spielzeitberechnung mit Berechnungsmodellen

Um die logistischen Aufwände der Verladevorgänge bei einzelnen Abfüllstellen abschätzen zu können, ist es notwendig die jeweiligen Arbeitsspielzeiten für Be- und Entladevorgänge zu ermitteln. Da eine Untersuchung vor Ort im Sinne einer Zeitaufnahme häufig nicht möglich ist, können die Arbeitsspielzeiten alternativ mit Hilfe von zwei anerkannten Berechnungsmodellen erhoben werden. Bei diesen zwei Berechnungsmodellen handelt es sich um die VDI-Richtlinie 2391 und um ein davon abgeleitetes Berechnungsmodell aus dem Buch „*Materialfluß und Logistik*“ von Wolfram Fischer und Lothar Dittrich, welches in weiterer Folge *Fischer-Methode* genannt wird.

6.1.1 VDI-Richtlinie 2391

Die VDI-Richtlinie 2391 - *Zeitrichtwerte für Arbeitsspiele und Grundbewegungen von Flurförderzeugen* wurde 1982 vom Verein Deutscher Ingenieure ausgegeben, ehe sie 2005 zurückgezogen wurde. Trotzdem hat ihre Verwendung bis heute ihre Berechtigung, da sie damals im Zuge umfangreicher Zeitstudien in verschiedenen Werken in Deutschland entwickelt wurde und sich die Mittelwerte für Fahr-, Hub- und Senkgeschwindigkeiten bei Flurförderzeugen seitdem nicht wesentlich geändert haben.

Die Berechnung der Arbeitsspielzeit eines Transportvorganges mit einem Flurförderzeug setzt sich aus folgenden vier Grundbewegungen zusammen:

1. Lastaufnahme
2. Hinfahrt mit Last
3. Lastabgabe
4. Rückfahrt ohne Last

Die Summe der Zeiten aller vier Grundbewegungen wird laut VDI-Richtlinie 2391 als Normalzeit eines Arbeitsspiels bezeichnet. Diese Normalzeit, beinhaltet jedoch noch keinen Verteilzeitzuschlag (persönliche Verrichtungen, zusätzliche Tätigkeiten, störungsbedingte Unterbrechungen, etc.) Die VDI-Richtlinie 2391 empfiehlt hier 25 % als Gesamtzuschlag für die Verteilzeit. Dieser Gesamtzuschlag setzt sich gesamt gesehen aus 15 % für die persönliche Verteilzeit (laut VDI-Richtlinie 2391 mit dem Wert 1,15 als *Ruhefaktor nach Bedaux* bezeichnet) und 10 % für die sachliche Verteilzeit zusammen. Dies deckt sich mit der Meinung aus entsprechender Fachliteratur [20]. Abbildung 6.2 zeigt die Zusammensetzung der Verteilzeit.

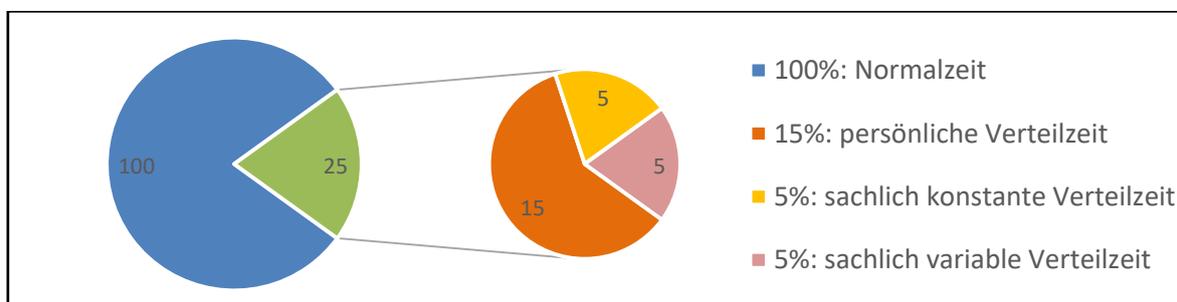


Abbildung 6.2: Zusammensetzung der Verteilzeit

Verteilzeit

Die Verteilzeit umfasst alle während der Arbeitszeit aufgewendeten Zeiten, die nicht unmittelbar zur Erfüllung der konkret übertragenen Aufgaben gehören. Unterschieden werden

sachliche und persönliche Verteilzeiten. [20]

Persönliche Verteilzeiten:

- Besprechungen und Rücksprachen in persönlichen Angelegenheiten
- persönliche Verrichtungen (Toilettengänge, etc.)
- Erholungs- und Entspannungszeiten (Trinkpausen, etc.) [20]

Sachliche Verteilzeiten:

Die sachlich konstante Verteilzeit ist die Summe aller Zeiten für die Ausführung von auftragsunabhängigen, schicht- oder wochenkonstanten Tätigkeiten (zusätzliche Tätigkeiten). [20]

- Mitarbeitergespräche mit Vorgesetztem
- Fortbildungen, Schulungen und Personalversammlungen
- Betreuung von Auszubildenden
- Allgemeine Rüstzeiten (Computer hochfahren, Schutzkleidung anlegen, etc.) [20]

Die sachlich variable Verteilzeit ist die Summe aller Zeiten für die Ausführung aller auftragsabhängigen Tätigkeiten (z.B. störungsbedingte Unterbrechungen). [20]

- Unterbrechungen des Arbeitsablaufs (IT-Störungen, Telefonate, Besuche, etc.)
- Dienstlich bedingte Wartezeiten [20]

Dauer der Grundbewegungen: Lastaufnahme, Lastabgabe

Die Dauer der Grundbewegungen *Lastaufnahme* und *Lastabgabe* kann jeweils dem Datenblatt der VDI-Richtlinie 2391 direkt entnommen werden (siehe Tabelle 6.1). Dabei ist lediglich eine vorgegebene Aufnahme- bzw. Abgabehöhe auszuwählen, welche der realen am nächsten kommt.

1. Beispiel:

gesucht: Normalzeit für Lastaufnahme aus 500 mm Höhe (Pufferband) und wegfahren

gewählt: Normalzeit für Lastaufnahme aus 600 mm Höhe und wegfahren = 15,80 s

2. Beispiel:

gesucht: Normalzeit für Lastabgabe in 1.000 mm Höhe (Anhänger) und wegfahren

gewählt: Normalzeit für Lastabgabe in 1.250 mm Höhe und wegfahren = 20,30 s

Tabelle 6.1: Normalzeiten für Lastaufnahme/-abgabe [21]

Arbeitsspiel	Sitz- Gabel- stapler
	1 bis 2 t
Beladene Palette oder Stapeleinheit von Flur aufnehmen und wegfahren	15,80
von 600 mm Höhe aufnehmen und wegfahren	23,00
von 1250 mm Höhe aufnehmen und wegfahren	30,80
Beladene Palette oder Stapeleinheit auf Flur absetzen und wegfahren	16,00
auf 600 mm Höhe absetzen und wegfahren	25,70
auf 1250 mm Höhe absetzen und wegfahren	38,75
Beladene Palette oder Stapeleinheit im LKW absetzen und wegfahren	20,30
aus LKW nehmen und wegfahren (Pritschenhöhe 1250 mm)	19,80

Tabelle 6.2 und Tabelle 6.3 zeigen, wie die Normalzeiten der Grundbewegungen *Lastaufnahme* und *Lastabgabe* für verschiedene Höhen ermittelt wurden.

Tabelle 6.2: Zeitzusammensetzung bei Lastaufnahme [21]

Grundbewegungen	Beladene Palette		
	von Flur aufnehmen und wegfahren Zeit in s	von ca. 1250 mm Höhe aufnehmen und weg- fahren Zeit in s	von ca. 2500 mm Höhe aufnehmen und weg- fahren Zeit in s
a) Gabel heben, das geschieht z. T. in der Grundbewegung b)	—	3,10	7,00
b) Gabel auf Palette richten einschl. 90° Drehung	4,00	5,00	5,50
c) Gabel in Palette einfahren	2,80	3,00	3,20
d) Palette auf Gabel nehmen	2,00	2,00	3,00
e) Fahrzeug in Fahrtrichtung bringen einschl. 90° Drehung	4,00	5,00	5,50
f) Gabel senken, das geschieht z. T. in der Grundbewegung e)	—	1,90	3,60
g) Halten (nicht gleich dem Halten von der vollen Geschwindigkeit)	1,00	1,00	1,00
h) Anfahren auf volle Geschwindigkeit	2,00	2,00	2,00
zusammen	15,80	23,00	30,80

Tabelle 6.3: Zeitzusammensetzung bei Lastabgabe [21]

Grundbewegungen	Beladene Palette auf LKW-Pritsche ab- setzen und wegfahren Zeit in s		
a) Palette auf Pritschenhöhe anheben, das geschieht zu 50% in der Grundbewegung b)	3,75		
b) Palette auf Absetzplatz der Ladepritsche richten einschl. 90° Drehung	4,00		
c) Palette absetzen	2,80		
d) Gabel aus Palette ziehen	2,00		
e) Fahrzeug in Fahrtrichtung bringen einschl. 90° Drehung	3,00		
f) Gabel senken, das geschieht zu 50% in der Grundbewegung e)	2,50		
g) Halten (nicht gleich dem Halten von der vollen Geschwindigkeit)	0,75		
h) Anfahren auf volle Geschwindigkeit	1,50		
zusammen	20,30		

Dauer der Grundbewegungen: Hinfahrt mit Last, Rückfahrt ohne Last

Um die Dauer der Grundbewegungen *Hinfahrt mit Last* und *Rückfahrt ohne Last* zu berechnen, ist lediglich die zuvor ermittelte Distanz mit der von der VDI-Richtlinie 2391 vorgeschlagenen Fahrgeschwindigkeit zu multiplizieren (siehe Tabelle 6.4)

1. Beispiel:

gesucht: Dauer für Hinfahrt mit Last (20 m)

gewählt: Fahrgeschwindigkeit = 8,2 km/h = 2,28 m/s

Rechnung: Fahrzeit = Weg * Geschwindigkeit = 20 m * 2,28 m/s = 45,60 s

2. Beispiel:

gesucht: Dauer für Rückfahrt ohne Last (20 m)

gewählt: Fahrgeschwindigkeit = 13,0 km/h = 3,61 m/s

Rechnung: Fahrzeit = Weg * Geschwindigkeit = 20 m * 3,61 m/s = 72,20 s

Tabelle 6.4: Fahrgeschwindigkeit mit und ohne Last [21]

Benennung*)	Tragfähigkeit t	Fahrgeschwindigkeit bis km/h		Hubgeschwindigkeit bis m/s		Senkgeschwindigkeit bis m/s	
		mit Last	ohne Last	mit Hublast	ohne Hublast	mit Hublast	ohne Hublast
Sitz-Gabelstapler	1 bis 2	8,2	13,0	0,28	0,33	0,43	0,33

6.1.2 Fischer-Methode

Bei der Fischer-Methode setzt sich die Berechnung der Arbeitsspielzeit eines Transportvorganges mit einem Flurförderzeug aus denselben vier Grundbewegungen zusammen, wie bei der Berechnung nach VDI-Richtlinie 2391:

1. Lastaufnahme
2. Hinfahrt mit Last
3. Lastabgabe
4. Rückfahrt ohne Last

Jedoch bevorzugt es die Fischer-Methode die Summe der Zeiten der Grundbewegungen *Lastaufnahme*, *Hinfahrt mit Last* und *Lastabgabe* als *Lastspieldauer* zu bezeichnen und die benötigte Zeit für die *Rückfahrt ohne Last* als *Leerspieldauer*. Für beide Spieldauern, welche zusammen wieder die Normalzeit des Arbeitsspiels ergeben, hat die Fischer-Methode jeweils eine eigene Berechnungsformel:

Lastspieldauer:

$$T_b = t_A + \frac{S_{Fb}}{v_{Fb}} + n_{Kb} \cdot \left[v_{Fb} \cdot (1 - n_v)^2 \cdot \left(\frac{1}{2a_{vb}} + \frac{1}{2a_{ab}} \right) + \frac{S_B}{v_{Fb}} \cdot \left(\frac{1}{n_v} - 1 \right) \right] + t_E \quad (6-1)$$

Leerspieldauer:

$$T_l = \frac{S_{Fl}}{v_{Fl}} + n_{Kl} \cdot \left[v_{Fl} \cdot (1 - n_v)^2 \cdot \left(\frac{1}{2a_{vl}} + \frac{1}{2a_{al}} \right) + \frac{S_B}{v_{Fl}} \cdot \left(\frac{1}{n_v} - 1 \right) \right] \quad (6-2)$$

6.1.3 Spielzeitberechnung am praktischen Beispiel

Um die Spielzeitberechnung mit der VDI-Richtlinie 2391 und der Fischer-Methode am praktischen Beispiel anwenden zu können, wurden bei der Berechnung und der Bestimmung der Parameter auf die Rahmenbedingungen der Transportprozesse eingegangen.

Bestimmung der Parameter

- t_A, t_E :

Diese Terme entsprechen den Zeiten für *Lastaufnahme* und *Lastabgabe*. Die Fischer-Methode referenziert hier auf die VDI-Richtlinie 2391 und empfiehlt ihre ermittelten Werte zu übernehmen (siehe Tabelle 6.1).

- S_{Fb}, S_{Fl} :

Die Transportdistanz für die Lastfahrt und Leerfahrt ist identisch und wurde für jede Abfüllstelle eigens ermittelt. Hierbei wurden für jede Abfüllstellen alle möglichen Transportdistanzen gemessen und daraus dann der Mittelwert gebildet.

- v_{Fb}, v_{Fl} :

Für die Fahrgeschwindigkeiten des Gabelstaplers im beladenen Zustand wurden von Fischer/Dittrich 12,5 km/h (3,47 m/s) empfohlen und für die Fahrt ohne Last 14 km/h (3,89 m/s) [1]

- n_{Kb}, n_{Kl} :

Die Kurvenanzahl für die Lastfahrt und Leerfahrt ist identisch und wurde für jede Abfüllstelle eigens ermittelt. Hierbei wurden für jede Abfüllstellen alle möglichen Transportrouten ermittelt, deren Kurven gezählt und daraus dann der Mittelwert gebildet.

- n_v :

Für den *Geschwindigkeitsverringerrungsfaktor für Kurvenfahrt* wurde der Wert 0,2 gewählt, da dieser die Fahrgeschwindigkeit des Gabelstaplers von 12,5 km/h bei Lastfahrt in der Kurve auf 2,5 km/h verringert. Diese 2,5 km/h entsprechen einer Kriechgeschwindigkeit, bei der eine sichere Kurvenfahrt mit Last gegeben ist. [22]

- $a_{ab}, a_{al}, a_{vb}, a_{vl}$:

Die Werte für die Beschleunigung und Verzögerung des Gabelstaplers bei Lastfahrt und Leerfahrt wurden einem Gabelstapler-Datenblatt entnommen. [19]

- s_B :

Um die mittlere Bogenlänge einer Kurve für alle Abfüllstellen bestimmen zu können, wurden alle möglichen Transportrouten der Gabelstapler ermittelt, deren Kurven analysiert, die Bogenlängen der Kurven berechnet und daraus der Mittelwert gebildet.

Bemerkungen zur Spielzeitberechnung

- Bei Feststoff-Abfüllstellen wurde nur die Dauer der Beladungsvorgänge berechnet, da hier keine Entladung notwendig ist.
- Bei Flüssigprodukt-Abfüllstellen hingegen, wurden sowohl die Dauer für die Beladungsvorgänge als auch die der Entladungsvorgänge berechnet.
- Die Summe aller pro Abfüllstelle anfallenden Be- und Entladungszeiten, inklusive des Verteilzeitzuschlages von 25 %, ergibt die *Gesamtzeit logistischer Aufwand* (siehe Tabelle 10.3 bis Tabelle 10.16 im Anhang)
- Bei Flüssigprodukt-Abfüllstellen wurde der aus Tabelle 6.1 ausgewählte Zeitwert für die Grundbewegung *Lastaufnahme* in der Berechnung verdoppelt. Grund dafür ist folgender:

In der Realität nimmt der Gabelstaplerfahrer zuerst eine Flüssigprodukt-Palette vom Pufferband herunter und setzt sie auf dem Boden ab. Danach nimmt der Gabelstaplerfahrer eine zweite Flüssigprodukt-Palette vom Pufferband auf und setzt sie auf die zuvor am Boden abgestellte Palette drauf. Schlussendlich nimmt er dann beide Flüssigprodukt-Paletten gemeinsam mit dem Gabelstapler auf und lädt sie in den Anhänger ein.

- Je nachdem, ob es sich um einen Be- oder Entladevorgang handelt, ergibt es sich, welche Fahrt die *Hinfahrt mit Last* und die *Rückfahrt ohne Last* darstellt.

- Die Arbeitsspielzeit-Berechnungsmodelle der VDI-Richtlinie 2391 und Fischer-Methode wurden mit der Kalkulationssoftware *Excel* ausgeführt (siehe Tabelle 10.3 bis Tabelle 10.16 im Anhang).
- Die Berechnungen mit der Fischer-Methode ergaben durchschnittlich um 26,5 % größere Gesamtzeiten für die logistischen Aufwände der einzelnen Abfüllstellen. Dies ist darauf rückzuführen, dass die Fischer-Methode einen bedeutend höheren Genauigkeitsgrad aufweist, als die VDI-Richtlinie 2391. Im Gegensatz zur VDI-Richtlinie 2391 werden bei der Fischer-Methode beladungsabhängige Beschleunigungs- und Verzögerungswerte, Geschwindigkeitsreduktionen in Kurven, sowie Kurvenlängen berücksichtigt.

6.2 Ableitung von Prozessgrößen

Durch eine Kombination der erhobenen Produktionsdaten mit den Ergebnissen der Spielzeitberechnung können relevante Prozessgrößen abgeleitet werden, welche in weiterer Folge für die Ermittlung von Vergleichsparametern erforderlich sind.

6.2.1 Ableitung von Prozessgrößen am praktischen Beispiel

Am praktischen Beispiel wurden die Zeiten des Produktionszyklus der Abfüllstellen als relevante Prozessgrößen herangezogen:

Dauer eines Produktionszyklus: (P)

Als Dauer eines Produktionszyklus wird jene Zeit verstanden, die vergeht, bis eine Abfüllstelle so viele Fertigprodukt-Paletten abgefüllt hat, sodass das für die Abfüllstelle vorgesehene Transportobjekt (Anhängers oder Wechselbehälter) vollständig beladen werden kann.

Entladedauer: (E)

Das ist jene Zeit, die für die vollständige Leergebindeentladung eines Anhängers bei Flüssigprodukt-Abfüllstellen benötigt wird. Diese Leergebindeentladung wird von einem Gabelstaplerfahrer durchgeführt. Bei Abfüllstellen für Feststoffe ist eine Entladung jedoch hinfällig, da hier kein Leergebinde mit den Wechselbehältern mitgeliefert wird.

Beladedauer: (B)

Die Beladedauer ist jene Zeit, die ein Gabelstaplerfahrer für sämtliche Transportvorgänge benötigt, um das für die jeweilige Abfüllstelle vorgesehene Transportobjekt (Anhängers/Wechselbehälter) vollständig mit Fertigprodukt-Paletten zu beladen.

Einsatzzeit: (EZ)

Die Summe der Be- und Entladedauer ergibt die Einsatzzeit eines Gabelstaplerfahrers pro Produktionszyklus.

Wartezeit: (WZ)

Die Differenz aus der Dauer eines Produktionszyklus und der Einsatzzeit ergibt die Wartezeit eines Gabelstaplerfahrers pro Produktionszyklus.

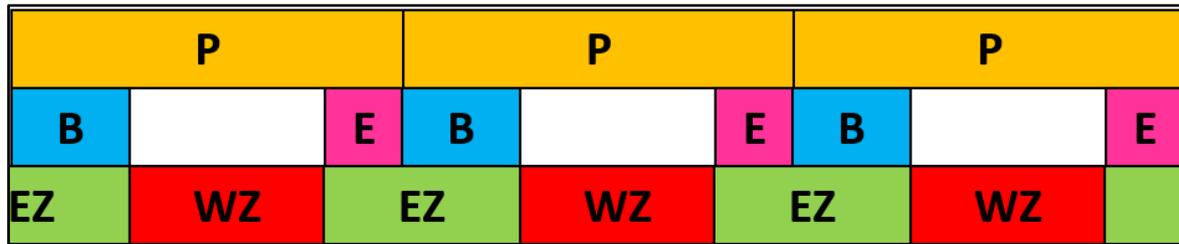


Abbildung 6.3: Zykluszeiten der Abfüllstellen

Abbildung 6.3 zeigt wie die Zeiten für Entladung und Beladung gemeinsam mit der Produktionsdauer im Zeitstreifenmodell gegenübergestellt werden. Die Produktionsdauer ist hierbei die übergeordnete Periodendauer bzw. Zykluszeit, an der die anderen beiden Vorgänge gemessen werden.

Der Prozess der Entladung wird bewusst zu jenem Zeitpunkt eingeleitet, sodass er gleichzeitig mit dem Produktionszyklus abschließt. Somit wird sichergestellt, dass die Abfüllstellen stets genug Pufferplätze für das entladene Leergebinde bereitstellen können. Der Prozess der Beladung wird gestartet, sobald die Entladung des Transportobjektes vollständig abgeschlossen ist. Da wie eben schon erwähnt, der Produktionszyklus zu diesem Zeitpunkt schon abgeschlossen ist, wird sichergestellt, dass sämtliche für das Transportobjekt vorgesehenen Gebinde bereits abgefüllt sind und auf den Pufferplätzen zur Verladung in das Transportobjekt bereit stehen.

6.3 Ermittlung von Vergleichsparametern und Bewertung des Ist-Zustands

Von den abgeleiteten Prozessgrößen lassen sich in weiterer Folge die für die Bewertung des Ist-Zustands erforderlichen Vergleichsparameter ermitteln. Dies gelingt durch eine betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise der Prozessgrößen, wodurch die objektiven Leistungskennzahlen (KPIs) ersichtlich werden. Eine Ableitung der Prozessgrößen auf Nutzungsgrade und Betriebskosten soll hierbei angestrebt werden. Häufig kann von den Nutzungsgraden direkt auf die Betriebskosten geschlossen werden.

6.3.1 Ermittlung von Vergleichsparametern am praktischen Beispiel

Aus der von Be- und Entladedauer resultierenden Einsatzzeit und der Dauer eines Produktionszyklus konnte der erste Vergleichsparameter abgeleitet werden. Genauer gesagt das Verhältnis der Einsatzzeit zur Dauer eines Produktionszyklus ergibt den Auslastungsgrad der Gabelstaplerfahrer. Dieser objektive Vergleichsparameter entspricht einer Leistungskennzahl, die einen Vergleich und vor allem eine Bewertung der einzelnen Abfüllstellen ermöglicht.

In weiterer Folge wurden mit Hilfe der Durchsätze und Spielzeiten die Prozessgrößen für alle Abfüllstellen ermittelt und davon dann die Auslastungsgrade der Gabelstaplerfahrer abgeleitet. Dies geschah jeweils mit dem Berechnungsmodell der VDI-Richtlinie 2391 und der Fischer-Methode (siehe Tabelle 10.17 bis Tabelle 10.24 im Anhang).

Auslastungsgrad eines Gabelstaplerfahrers:

$$\rho = \frac{\text{Einsatzzeit eines Gabelstaplerfahrers pro Produktionszyklus}}{\text{Dauer eines Produktionszyklus}} \quad (6-3)$$

6.3.2 Bewertung des Ist-Zustands am praktischen Beispiel

Tabelle 6.5 stellt die Auslastungsgrade der Gabelstaplerfahrer aller Abfüllstellen dar. Es zeigt sich, dass unabhängig von dem verwendeten Berechnungsmodell, die Auslastungsgrade der Gabelstaplerfahrer bei den jeweiligen Abfüllstellen gering sind. Da die jährlichen Personalkosten pro Gabelstaplerfahrer € 60.000,- betragen und aktuell ein Gabelstaplerfahrer für immer nur eine Abfüllstelle zuständig ist, zeigen sich hier Verbesserungspotentiale hinsichtlich einer effizienteren Personalnutzung und Kostensenkung auf.

Tabelle 6.5: Auslastungsgrade der Gabelstaplerfahrer (Ist-Zustand)

Ist-Zustand	Auslastungsgrad [%]	
	nach Berechnungsmodell	
Abfüllstelle	VDI-Richtlinie 2391	Fischer-Methode
ETHOX_1	15	19
ETHOX_2	20	24
ETHOX_3	13	16
ETHOX_4	3	4
ETHOX_5	5	6
ETHOX_6	4	5
TH_1	17	19
TH_2	5	6
TH_3	8	9
TH_4	30	40
GE_1	34	47
GE_2	15	20
NA	7	9
Mittelwert	14	17

7 Untersuchung von Optimierungsszenarien

In der letzten Stufe des Verfahrens werden verschiedene Szenarien entworfen, die allesamt eine Optimierung des Ist-Zustands bewirken sollen. Diese Optimierungsszenarien können hierbei entweder rein operative Maßnahmen beinhalten oder auch Maßnahmen, die einen größeren Investitionsaufwand erfordern wie z.B. bauliche Umgestaltungen. Die Auslegung der Szenarien sollte in der Regel bei den operativen Szenarien mittels analytischen Berechnungen möglich sein. Bei den Umbauszenarien wird empfohlen die Auslegung mit Hilfe von entsprechender Software für Materialfluss-Simulationen durchzuführen.

Danach werden Optimierungsszenarien anhand der Vergleichsparameter untereinander verglichen und bewertet. Im Idealfall wird ein Szenario erkennbar, welches das größte Optimierungspotential von allen hat.

Welches Szenario schlussendlich am geeignetsten für eine Umsetzung ist, hängt natürlich auch von Faktoren wie Finanzierung, Umsetzungsdauer usw. ab und muss für jeden Anwendungsfall separat entschieden werden (vgl. Abbildung 7.1).

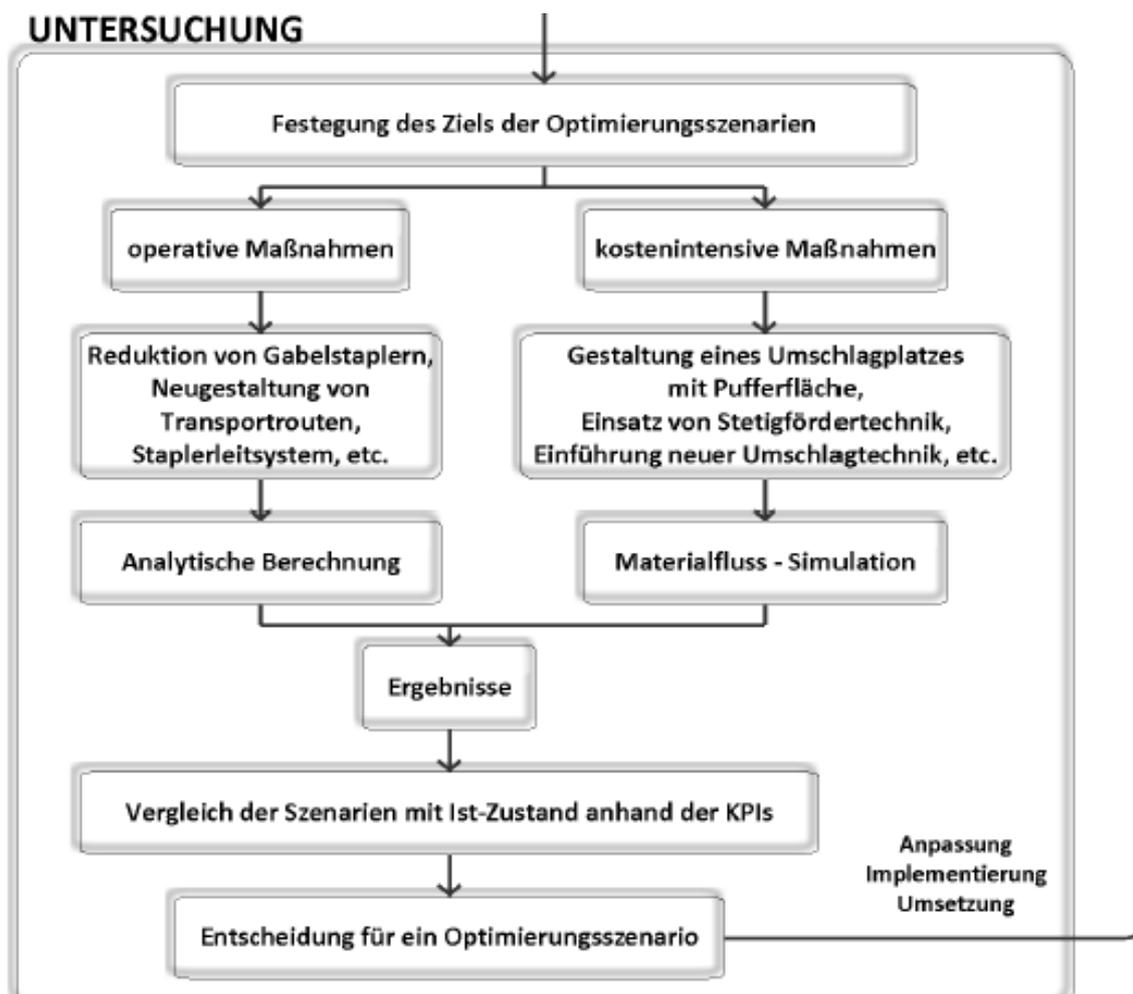


Abbildung 7.1: Vierte Stufe des Verfahrens - Untersuchung

7.1 Untersuchung von Optimierungsszenarien am praktischen Beispiel

Bei der Untersuchung von Optimierungsszenarien am praktischen Beispiel des Chemieunternehmens kamen rein operative, als auch aufwändigere Lösungsvorschläge zum Einsatz. Die in der Ist-Zustand Analyse entdeckten geringen Auslastungsgrade der Gabelstaplerfahrer gaben den Anlass, den Fokus der Untersuchung auf einen effizienteren Einsatz der Fahrer zu legen. Bei jährlichen Personalkosten von € 60.000,- pro Fahrer ist eine effizientere Personalnutzung ein effektives Mittel zur Kostenreduktion.

Die Untersuchung der Optimierungsszenarien wurde am praktischen Beispiel nur an den sechs Abfüllstellen der ETHOX Abfüllorganisation durchgeführt.

Die Szenarien wurden so geplant, als ob die Abfüllstelle ETHOX_3 bereits, wie es in zwei Jahren der Fall sein wird, neun Meter südlich von der Abfüllstelle ETHOX_2 positioniert ist.

7.1.1 Szenarien ohne bauliche Maßnahmen (operative Optimierung)

Bei den Szenarien ohne bauliche Maßnahmen lag der Fokus auf einer sukzessiven Reduzierung der Gabelstaplerfahrer, um eine Verringerung der jährlichen Personalkosten zu bewirken. Der Auslastungsgrad der Gabelstaplerfahrer wurde dabei in jedem Szenario als Kontrollparameter eingesetzt und gab Auskunft darüber, ob die eingesetzte Anzahl an Gabelstaplerfahrern zur Bewältigung des transportlogistischen Aufwands ausreicht. Dabei gilt, solange der Auslastungsgrad eines Gabelstaplerfahrer $\leq 100\%$ ist, kann der Gabelstaplerfahrer den ihm zugeteilten Transportaufwand bewältigen.

In weiterer Folge werden die Abfüllstellen ETHOX_1, ETHOX_2 und ETHOX_3 gemeinsam als *Abfüllgruppe Flüssigkeiten* bezeichnet und die Abfüllstellen ETHOX_4, ETHOX_5 und ETHOX_6 als *Abfüllgruppe Feststoffe*.

Durch schrittweise Reduktion der Gabelstapler entstanden in Summe drei Szenarien, welche folgendermaßen definiert sind:

- Szenario 1:
 - Zwei Gabelstapler für *Abfüllgruppe Flüssigkeiten*
 - Zwei Gabelstapler für *Abfüllgruppe Feststoffe*
- Szenario 2:
 - Ein Gabelstapler für *Abfüllgruppe Flüssigkeiten*
 - Ein Gabelstapler für *Abfüllgruppe Feststoffe*

- Szenario 3:
 - Ein Gabelstapler für beide Abfüllgruppen

Für alle drei Szenarien gelten folgende Voraussetzungen:

- Für jede Abfüllgruppe stehen drei Transportobjekte zur Beladung zur Verfügung
 - Drei Anhänger für die *Abfüllgruppe Flüssigkeiten*
 - Drei Wechselbehälter für die *Abfüllgruppe Feststoffe*
- Die Dauer eines Produktionszyklus einer Abfüllgruppe ist jene Zeit, bis jeweils alle drei Abfüllstellen gemeinsam so viele Fertigprodukt-Paletten (FPP) produziert haben, sodass die drei Transportobjekte vollständig beladen werden können.
 - Für 72 FPP bei *Abfüllgruppe Flüssigkeiten*: 02:48:00
 - 20 FPP kommen von ETHOX_1
 - 31 FPP kommen von ETHOX_2
 - 21 FPP kommen von ETHOX_3
 - Für 36 FPP bei *Abfüllgruppe Feststoffe*: 07:13:20
 - 10 FPP kommen von ETHOX_4
 - 13 FPP kommen von ETHOX_5
 - 13 FPP kommen von ETHOX_6
- Alle drei Abfüllstellen einer Abfüllgruppe starten zum selben Zeitpunkt mit der Abfüllung und die Abfüllgeschwindigkeiten bzw. Paletten-Durchsätze sind konstant.
- Die Anhänger und Wechselbehälter sind auf genau jenen Stellplätzen positioniert, wie es auch am Werksgelände der Fall sein würde.
- In jedem Szenario teilen sich die pro Abfüllgruppe vorgesehenen Gabelstaplerfahrer die Fahrten für die Entladung und Beladung zu möglichst gleichen Teilen auf.
- Im Gegensatz zur *Abfüllgruppe Feststoffe* müssen die Gabelstaplerfahrer der *Abfüllgruppe Flüssigkeiten* zuerst das gesamte angelieferte Leergebinde aus den drei Anhängern entladen, bevor sie diese mit FPP beladen können. Während der gesamten Entladung müssen die bereits abgefüllten FPP auf den drei Pufferbändern zwischengelagert werden, bis sie dann von den Gabelstaplern verladen werden können.

Szenario 1

In Szenario 1 werden für beide Abfüllgruppen jeweils nur zwei Gabelstaplerfahrer eingesetzt. Bei der *Abfüllgruppe Flüssigkeiten* wird die Abfüllstelle ETHOX_1 ganz allein vom ersten Staplerfahrer betreut und ETHOX_3 ganz allein vom zweiten Staplerfahrer. Sämtliche für ETHOX_2 anfallenden Be- und Entladefahrten teilen sich die zwei Gabelstaplerfahrer gleichmäßig auf. Bei der *Abfüllgruppe Feststoffe* verhält es sich ganz gleich mit der Aufteilung der zwei Staplerfahrer. Während die Abfüllstellen ETHOX_4 und ETHOX_6 einen eigenen Gabelstaplerfahrer haben, muss ETHOX_5 die Beladungsfahrten auf die zwei Staplerfahrer aufteilen.

Durch die Einsparung von zwei Gabelstaplerfahrern im Vergleich zum Ist-Zustand konnten die jährlichen Personalkosten um 33 % reduziert werden, was einer effektiven Kostenreduktion von € 120.000,- pro Jahr entsprechen würde (vgl. Tabelle 7.1). Die Berechnung der Auslastungsgrade können der Tabelle 10.25 und Tabelle 10.26 im Anhang entnommen werden.

Tabelle 7.1: Vergleichsparameter - Szenario 1

Szenario 1	Auslastungsgrad [%]		Einsparungspotential im Vergleich zum Ist-Zustand	
	nach Berechnungsmodell			
Gabelstaplerfahrer	VDI-Richtlinie 2391	Fischer-Methode	[€]	[%]
1	24	29	120.000,-	33
2	25	31		
2	5	7		
4	6	8		

Szenario 2

Bei Szenario 2 steht jeder Abfüllgruppe jeweils nur ein Gabelstaplerfahrer zur Verfügung, der sämtliche Be- und Entladefahrten erledigen muss. Um das Leergebinde aus allen drei Anhängern zu entladen, benötigt der Gabelstaplerfahrer der *Abfüllgruppe Flüssigkeiten* je nach Berechnungsmodell zwischen 36 und 45 Minuten. Während dieser Zeit hat jedoch die produktionsstarke Abfüllstelle ETHOX_2 zwischen sieben und neun FPP abgefüllt. Da aktuell das Pufferband der Abfüllstelle ETHOX_2 nur eine Pufferkapazität von sechs Plätzen aufweist, müsste die Pufferkapazität daher um ein bis drei Plätze erhöht werden (vgl. Tabelle 10.27 und Tabelle 10.28 im Anhang).

Durch den Einsatz von nur zwei Gabelstaplerfahrern konnte in Szenario 2 eine Reduktion der jährlichen Personalkosten von € 240.000,- bewirkt werden, was einem Einsparungspotential von 67 % im Vergleich zum Ist-Zustand entsprechen würde (vgl. Tabelle 7.2).

Tabelle 7.2: Vergleichsparameter - Szenario 2

Szenario 2	Auslastungsgrad [%]		Einsparungspotential im Vergleich zum Ist-Zustand	
	nach Berechnungsmodell			
Gabelstaplerfahrer	VDI-Richtlinie 2391	Fischer-Methode	[€]	[%]
1	50	61	240.000,-	67
2	11	15		

Szenario 3

Szenario 3 ist so ausgelegt, dass nur ein einziger Gabelstaplerfahrer alle Be- und Entladefahrten beider Abfüllgruppen erledigt. Innerhalb des gut sieben Stunden langen Produktionszyklus der *Abfüllgruppe Feststoffe* könnte der Gabelstaplerfahrer nicht nur die Beladefahrten der *Abfüllgruppe Feststoffe* erledigen, sondern auch die Be- und Entladefahrten, die in zwei ganzen Produktionszyklen der *Abfüllgruppe Flüssigkeiten* anfallen (vgl. Tabelle 10.29 und Tabelle 10.30 im Anhang). Gleich wie bei Szenario 2 müsste das Pufferband der Abfüllstelle ETHOX_2 um einen bis drei Pufferplätze erweitert werden.

Szenario 3 zeigt, dass alle derzeitigen Transportvorgänge des Ist-Zustands mit nur einem einzigen Gabelstaplerfahrer zu bewältigen sind. Eine Reduktion von ursprünglich sechs Gabelstaplerfahrern auf nur einen würde somit einer Reduktion der jährlichen Personalkosten von € 300.000,- entsprechen. Dies würde ein Einsparungspotential von 83 % im Vergleich zum Ist-Zustand ergeben (vgl. Tabelle 7.3).

Tabelle 7.3: Vergleichsparameter - Szenario 3

Szenario 3	Auslastungsgrad [%]		Einsparungspotential im Vergleich zum Ist-Zustand	
	nach Berechnungsmodell			
Gabelstaplerfahrer	VDI-Richtlinie 2391	Fischer-Methode	[€]	[%]
1	61	76	300.000,-	83

7.1.2 Szenarien mit baulichen Maßnahmen

Das Optimierungsverfahren sah vor, einen logistisch effizienten Umschlagplatz zu gestalten. Bei dessen Umsetzung wurde versucht, folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Optimale Auslegung des Umschlagplatzes (kurze Transportwege, Einsatz von Stetigfördertechnik, etc.), um einen minimalen Bedarf an Gabelstaplerpersonal zu ermöglichen
- Bündelung der Be- und Entladefahrten, sodass eventuell eine Auslagerung der Fahrten an den Logistikdienstleister möglich ist
- Generierung von Lieferflexibilität der Fertigprodukte für Tage mit erhöhter Nachfrage



Abbildung 7.2: Nutzbare Freifläche der ETHOX Abfüllorganisation [23]

Für die Gestaltung des Umschlagplatzes bietet sich am praktischen Beispiel des Unternehmens ideal die Freifläche westlich des Abfüllgebäudes der *Abfüllgruppe Feststoffe* an.

Einzuhaltende Rahmenbedingungen

- Auf diesem neu konzipierten Umschlagplatz sollen nicht nur alle Fertigprodukt-Paletten der gesamten ETHOX Abfüllorganisation gepuffert werden, sondern gleichzeitig auch alle Be- und Entladevorgänge sämtlicher Abfüllstellen stattfinden.
- Der Umschlagplatz soll so gestaltet sein, dass für alle Transportwege des Gabelstaplers eine Arbeitsgangbreite von mindestens 4.000 mm stets gegeben ist.
- Die Abstellplätze der Anhänger und Wechselbehälter sollen so positioniert sein, dass der werksinterne Straßenverkehr dadurch nicht behindert wird und jedes einzelne Transportobjekt theoretisch jederzeit angeliefert oder abgeholt werden kann.
- Zu den Stützen, des an der Freifläche vorbei geführtem Rohrleitungssystems, soll stets ein Mindestabstand von 1.000 mm eingehalten werden.
- Die Pufferkapazität für die Fertigprodukt-Paletten soll nur so groß sein, wie es für die Beladung der maximal einsatzbaren Anhänger/Wechselbehälter erforderlich ist.

Umgesetzte Maßnahmen zur Erfüllung der Rahmenbedingungen

Um die gesteckten Anforderungen an den Umschlagplatz zu erfüllen, wurden folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Die Gestaltung des Palettenpuffers wurde mittels einer trapezförmigen Pufferfläche realisiert, in der die verschiedenen Fertigprodukt-Paletten sämtlicher ETHOX Abfüllstellen spaltenweise eingelagert werden.
- Die Einlagerung der Fertigprodukt-Paletten in den Palettenpuffer erfolgt mittels angetriebener Rollenbahnen. Diese Stetigförderer transportieren die FPP von der jeweiligen Abfüllstelle direkt in die für sie vorgesehene Pufferspalte.
- Um das am Umschlagplatz entladene Leergebinde nicht mittels Gabelstapler zurück zu den Abfüllstellen ETHOX_1, ETHOX_2 und ETHOX_3 transportieren zu müssen, wird ein Palettenlift installiert. Dieser befördert die Paletten über die Straße hin zum Abfüllgebäude der *Abfüllgruppe Flüssigkeiten*, in dem das ganze Leergebinde auf Rollenbahnen gelagert wird.
- Der Palettenlift wird zweispurig ausgeführt, sodass auch die FPP der *Abfüllgruppe Flüssigkeiten* ohne Gabelstapler über die Straße befördert und in den Pufferspalten eingelagert werden können.

Abbildung 7.3 zeigt anschaulich, wie die Neugestaltung des ETHOX-Umschlagplatzes mit Hilfe der Software *Tecnomatix Plant Simulation* geplant wurde. Tabelle 7.4 stellt die zu Abbildung 7.3 dazugehörige Legende dar, in der alle Positionen benannt werden.

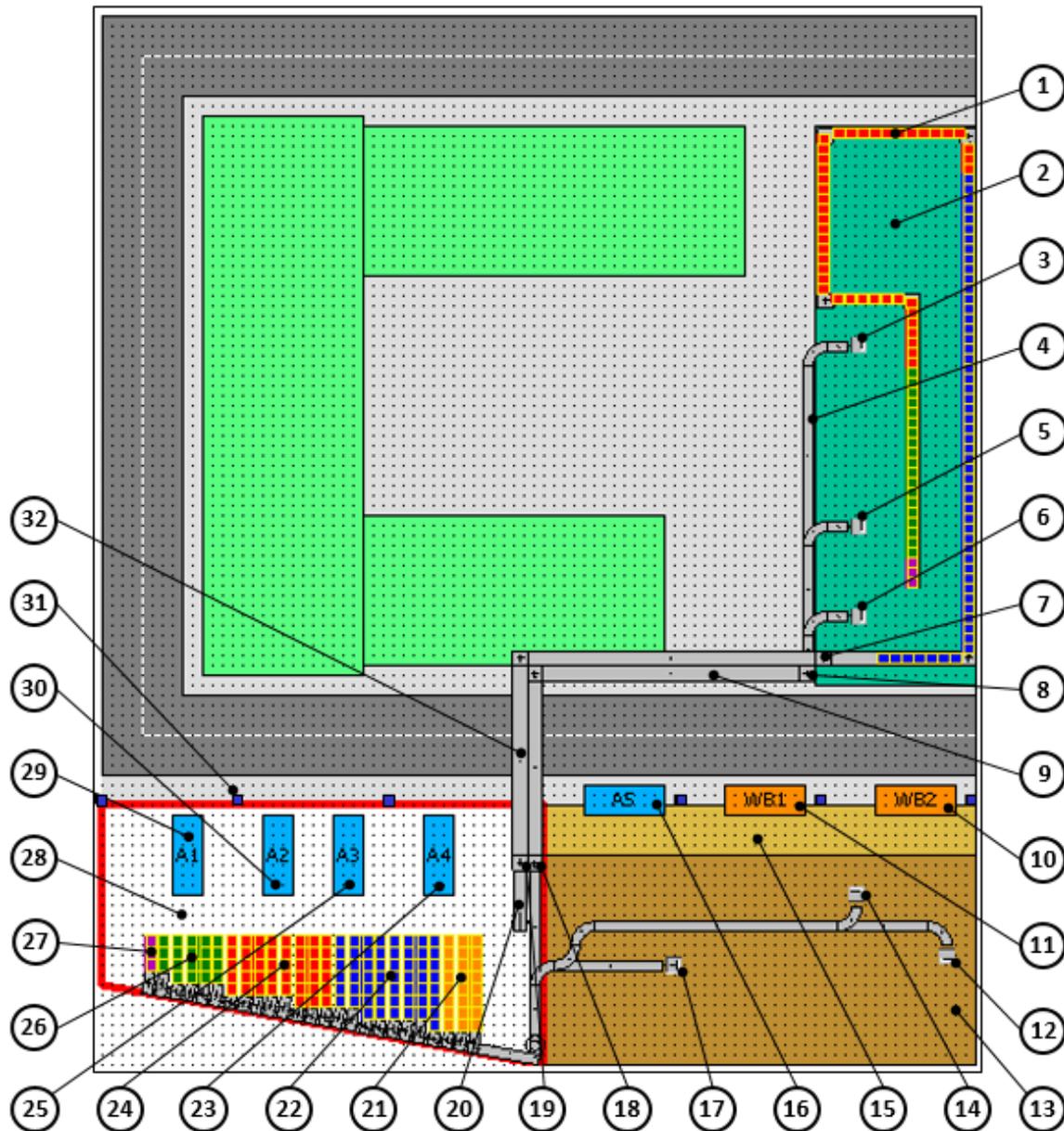


Abbildung 7.3: Neugestaltung des Umschlagplatzes der ETHOX-Abfüllorganisation

Tabelle 7.4: Legende zu Abbildung 7.3

Position	Benennung
1	Rollenbahn für Leergebinde
2	Abfüllgebäude der <i>Abfüllgruppe Flüssigkeiten</i>
3	Abfüllstelle ETHOX_1
4	Rollenbahn für Fertigprodukt-Paletten
5	Abfüllstelle ETHOX_2
6	Abfüllstelle ETHOX_3

7	Palettenlift für Leergebinde-Paletten (Senkvorgang)
8	Palettenlift für Fertigprodukt-Paletten (Hubvorgang)
9	Rollenbahn für Fertigprodukt-Paletten (Lifтанlage)
10	Wechselbehälter Nr. 2 für Feststoff-FPP <i>Big Bag</i>
11	Wechselbehälter Nr. 1 für Feststoff-FPP <i>Big Bag</i>
12	Abfüllstelle ETHOX_4
13	Abfüllgebäude der <i>Abfüllgruppe Feststoffe</i>
14	Abfüllstelle ETHOX_5
15	Überdachter Vorplatz des Abfüllgebäudes
16	Anhänger Nr. 5 für Flüssigkeits-FPP <i>Stahlfässer_4x220L</i>
17	Abfüllstelle ETHOX_6
18	Palettenlift für Fertigprodukt-Paletten (Senkvorgang)
19	Palettenlift für Leergebinde-Paletten (Hubvorgang)
20	Rollenbahn für Aufnahme der Leergebinde-Paletten
21	Pufferspalten für Flüssigkeits-FPP <i>Big Bag</i> (24 Pufferplätze)
22	Pufferspalten für Flüssigkeits-FPP <i>Stahlfässer_4x220L</i> (55 Pufferplätze)
23	Anhänger Nr. 4 für Flüssigkeits-FPP <i>Stahlfässer_4x220L</i>
24	Pufferspalten für Flüssigkeits-FPP <i>IBC</i> (43 Pufferplätze)
25	Anhänger Nr. 3 für Flüssigkeits-FPP <i>IBC</i>
26	Pufferspalten für FPP <i>PE-Fässer_4x220L</i> (19 Pufferplätze)
27	Pufferspalte für FPP <i>PE-Fässer_5x150L</i> (drei Pufferplätze)
28	Umschlagplatz der ETHOX-Abfüllorganisation
29	Anhänger Nr. 1 für Flüssigkeits-FPP <i>PE-Fässer_5x150L</i> & <i>PE-Fässer_4x220L</i>
30	Anhänger Nr. 2 für Flüssigkeits-FPP <i>IBC</i>
31	Stütze des Rohleitungssystems
32	Rollenbahn für Fertigprodukt-Paletten (Lifтанlage)

Auslegung des Palettenpuffers

Die Prüfung aller möglichen Abstellpositionen der Transportobjekte ergab, dass unter Einhaltung der Rahmenbedingungen maximal sieben Transportobjekte untergebracht werden können. Vier direkt am Umschlagplatz und drei an den bisher von ETHOX_4 und ETHOX_5 genützten Positionen, direkt oberhalb des Abfüllgebäudes der *Abfüllgruppe Feststoffe*.

Anhand der verschiedenen Ladekapazitäten der Transportobjekte und des Größenverhältnis der Paletten-Durchsätze der beiden Abfüllgruppen konnte ermittelt werden, dass idealerweise fünf der sieben Abstellpositionen von Anhängern der *Abfüllgruppe Flüssigkeiten* belegt werden und die restlichen zwei von Wechselbehältern der *Abfüllgruppe Feststoffe* (siehe Tabelle 7.5 und Tabelle 7.6).

Mit der nun bekannten Anzahl an Anhängern und Wechselbehältern konnte die erforderliche Pufferkapazität von 144 Palettenplätzen bestimmt werden (vgl. Tabelle 7.6).

Tabelle 7.5: Durchsätze der beiden ETHOX Abfüllgruppen [18]

FLÜSSIGKEITEN	Durchsatz λ [P/h]	FESTSTOFFE	Durchsatz λ [P/h]
ETHOX_1	7,4	ETHOX_4	1,5
ETHOX_2	11,3	ETHOX_5	1,8
ETHOX_3	7,5	ETHOX_6	1,8
Gesamt	26,2	Gesamt	5,1

Tabelle 7.6: Berechnung der Transportobjekt-Aufteilung und Pufferplätze

Nr.:	Parameter	Wert
1	Durchsatz an Flüssigkeiten [P/h]	26,2
2	Durchsatz an Feststoffe [P/h]	5,1
3	Ladekapazität eines Anhängers [P]	24
4	Ladekapazität eines Wechselbehälters [P]	12
5	Stündlicher Bedarf an Anhängern [A/h]	1,092
6	Stündlicher Bedarf an Wechselbehältern [W/h]	0,425
7	Stündlicher Bedarf an Transportobjekte gesamt [TO/h]	1,517
8	Verfügbare Transportobjekte gesamt [#]	7
9	Mögliche autarke Produktionsdauer [h]	4,615
11	Bedarf an Anhängern gesamt [#]	5,038
12	Bedarf an Wechselbehältern gesamt [#]	1,962
13	Angepasste Anzahl an Anhängern [#]	5
14	Angepasste Anzahl an Wechselbehältern [#]	2
15	Angepasste autarke Produktionsdauer [h]	4,580
19	Benötigte Pufferplätze für Flüssigkeiten [#]	120
20	Benötigte Pufferplätze für Feststoffe [#]	24
22	Benötigte Pufferplätze gesamt [#]	144

Aufteilung der Pufferplätze

Nachdem die Anzahl der benötigten Pufferplätze berechnet wurde, galt es nun eine passende Aufteilung der Pufferplätze zu ermitteln. Diese Aufteilung konnte ausgehend von den in der Primärerhebung gesammelten Daten zur Gebindeverteilung (vgl. Tabelle 10.2 im Anhang) abgeleitet werden. In Abhängigkeit vom Durchsatz und Häufigkeit verschiedener Gebinde, wurde die Gebindeverteilung der Abfüllgruppen bestimmt (siehe Tabelle 7.7).

Von Tabelle 7.7 konnte im nächsten Schritt, ausgehend von der Gesamtverteilungen der Fertigprodukt-Paletten und der 144 zur Verfügung stehenden Pufferplätze, die Aufteilung der Pufferplätze an die einzelnen Fertigprodukt-Paletten abgeleitet werden (siehe Tabelle 7.8).

Tabelle 7.7: Gebindeverteilung der Abfüllgruppen [18]

FLÜSSIGKEITEN	λ [P/h]	Stahl [%]	Stahl [P/h]	IBC [%]	IBC [P/h]	PE-220L [%]	PE-220L [P/h]	PE-150L [%]	PE-150L [P/h]
ETHOX_1	7,4	53,4	3,95	40,4	2,99	5,8	0,43	0,4	0,03
ETHOX_2	11,3	44,5	5,03	34,2	3,86	20,7	2,34	0,6	0,07
ETHOX_3	7,5	44,5	3,34	34,2	2,57	20,7	1,55	0,6	0,05
Gesamt	26,2	47,0	12,32	36,0	9,42	16,5	4,32	0,5	0,15

FESTSTOFFE	λ [P/h]	Big Bags [%]	Big Bags [P/h]
ETHOX_4	1,5	100,0	1,5
ETHOX_5	1,8	100,0	1,8
ETHOX_6	1,8	100,0	1,8
Gesamt	5,1	100,0	5,1

Tabelle 7.8: Aufteilung der 144 Pufferplätze

Fertigprodukt-Palette	Stahlfässer 4x220L	IBC 1x1000L	PE-Fässer 4x220L	PE-Fässer 5x150L	Big Bag 1x1000L	Gesamt
Gesamtdurchsatz [P/h]	12,32	9,42	4,32	0,14	5,1	31,3
Gesamtverteilung [%]	39,4	30,1	13,8	0,4	16,3	100,0
Pufferplätze_soll [#]	56,7	43,3	19,9	0,6	23,5	144
Pufferplätze_ist [#]	55	43	19	3	24	144
relative Abweichung [%]	-3,0	-0,8	-4,4	365,8	2,3	0,0

Die finale Zuteilung der Pufferplätze an die verschiedenen Fertigprodukte ergab sich aus dem Zusammenspiel der in Tabelle 7.8 empfohlenen Werte (*Pufferplätze_soll*) und der baulichen Rahmenbedingungen des Umschlagplatzes. Darum wurden unter anderem dem Fertigprodukt *PE-Fässer_5x150L* drei Pufferplätze zugewiesen, anstatt nur eines Pufferplatzes. Der Grund dafür ist, dass die kürzeste Pufferspalte drei Plätze hat und diese, sowie alle anderen Pufferspalten, immer sortenrein befüllt werden sollen, um ein leichteres Handling der Verladungen zu ermöglichen. Gleiches gilt für die Fertigprodukte *Stahlfässer_4x220L* und

PE-Fässer_4x220L. Auch hier weicht die letztendlich ausgewählte Anzahl an Pufferplätzen von der idealen Anzahl ab. Diese Entscheidung führt ebenfalls auf die Idee der sortenreinen Pufferspalten zurück. Abbildung 7.4 zeigt die trapezförmige Pufferfläche mit ihren 144 Pufferplätzen.

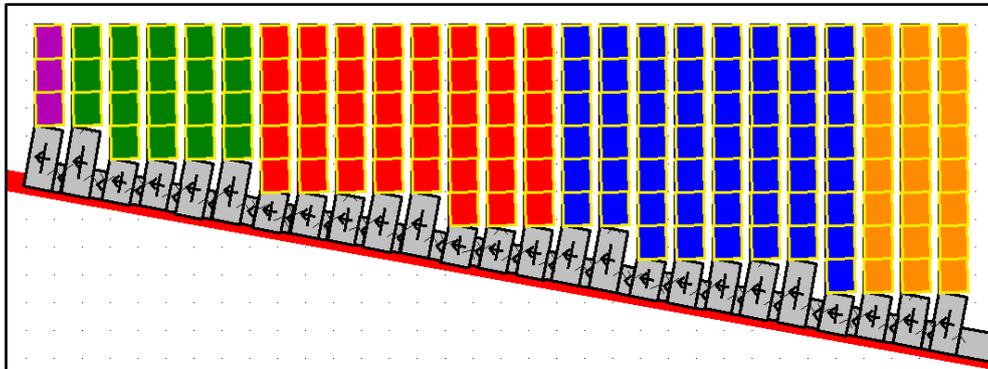


Abbildung 7.4: Aufteilung der 144 Pufferplätze

Auslegung der Fördertechnik

- Die Rollenbahnen befördern die Paletten (Fertigprodukte und Leergebinde) mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 12 m/min. [24]
- Die Höhe der Rollenbahnen beträgt 500 mm.
- Der Kurvenradius der Rollenbahn beträgt 2.000 mm.
- Die Eckumsetzter-Elemente der Rollenbahn benötigen vier Sekunden für einen 90 ° Umsetzvorgang.
- Die Drehplatten-Elemente der Rollenbahn benötigen vier Sekunden für einen 90° Drehvorgang.
- Die Umsetzzeit der Fertigprodukt-Palettenlifte beträgt 60 Sekunden, was einer Hub- und Senkgeschwindigkeit (mit Last) von ca. 0,17 m/s entspricht. [25]
- Die Erholzeit der Fertigprodukt-Palettenlifte beträgt 30 Sekunden, was einer Hub- und Senkgeschwindigkeit (ohne Last) von ca. 0,33 m/s entspricht. [25]
- Die Umsetzzeit der Leergebinde-Palettenlifte beträgt 30 Sekunden, was einer Hub- und Senkgeschwindigkeit (mit Last) von ca. 0,33 m/s entspricht. [25]
- Die Erholzeit der Fertigprodukt-Palettenlifte beträgt 15 Sekunden, was einer Hub- und Senkgeschwindigkeit (ohne Last) von ca. 0,66 m/s entspricht. [25]
- Die gesamte Rollenbahn ist mit Sensoren/Scannern ausgestattet, welche die QR-Codes

der Fertigprodukt-Paletten erfassen und somit die genaue Position der FPP zu jeder Zeit bestimmen können. Dadurch kann gewährleistet werden, dass jede Fertigprodukt-Palette in die für sie vorgesehene Pufferspalte eingelagert wird.

- Die Rollenbahn bietet auf Grund ihrer Gesamtlänge von ca. 213 m eine zusätzliche Pufferkapazität von ca. 163 Pufferplätzen.
- Die Länge der Leergebinde-Rollenbahn im Abfüllgebäude der *Abfüllgruppe Flüssigkeiten* beträgt 135 m. Somit kann das gesamte Leergebinde der fünf Anhänger (120 Leergebinde-Paletten) im Abfüllgebäude untergebracht werden.
- Die Bahnen der Leergebinde-Förderstrecke im Abfüllgebäude der *Abfüllgruppe Flüssigkeiten* wurden so gelegt, dass eine Arbeitsgangbreite von mindestens 4.000 mm gegeben ist. Somit kann eine Leergebinde-Palette mit einem Gabelstapler von jeder beliebigen Position auf der Rollenbahn entnommen werden.
- Die beiden Liftsysteme befördern die Paletten auf eine Höhe von zehn Meter. In dieser Höhe überqueren die Paletten die Straße. Danach werden sie wieder auf die normale Rollenbahnhöhe von 500 mm herabgelassen und in die Rollenbahn eingeschleust.
- Während der Lift für den Hubvorgang der Fertigprodukte neben dem Abfüllgebäude der *Abfüllgruppe Flüssigkeiten* positioniert ist, führt der Lift für den Senkvorgang des Leergebindes direkt durch das Dach des Abfüllgebäudes.

Spielzeitberechnung, Ermittlung der Prozessgrößen und Auslastungsgrade

Um die für die Spielzeitberechnung erforderlichen Distanzen der Be- und Entladevorgänge zu bestimmen, wurde der neugestaltete ETHOX-Umschlagplatz in ein zweidimensionales CAD-Modell übertragen, indem die Längen der Staplerfahrwege ermittelt werden konnten. Im nächsten Schritt wurden sämtliche Staplerfahrwege aufgelistet und daraus für die Be- und Entladefahrten der Flüssigprodukte, sowie für die Beladefahrten der Feststoffe jeweils eine gemittelte Transportdistanz berechnet.

Mit diesen gemittelten Transportdistanzen konnten nun die Spielzeiten nach VDI-Richtlinie 2391 und der Fischer-Methode berechnet werden und in weiterer Folge die Prozessgrößen und Auslastungsgrade der Gabelstaplerfahrer.

Szenario 4

In Szenario 4 werden sämtliche Be- und Entladevorgänge von nur einem einzigen Gabelstaplerfahrer erledigt. Die Berechnung der Zykluszeiten (siehe Tabelle 10.31 und Tabelle 10.32 im Anhang) ergab die in Tabelle 7.9 dargestellten Einsatzzeiten.

Tabelle 7.9: Einsatzzeiten (Szenario 4)

Szenario 4	VDI-Richtlinie 2391	Fischer-Methode
Gesamte Entladedauer [hh:mm:ss]	01:27:28	01:54:37
Gesamte Beladedauer [hh:mm:ss]	01:55:23	03:00:51
Gesamte Einsatzzeit [hh:mm:ss]	03:22:51	04:55:28

Die Dauer eines Produktionszyklus umfasst in Szenario 4 die gesamte Zeitspanne bis 120 Flüssigprodukt-Paletten und 24 Feststoff-Paletten abgefüllt sind und dauert exakt fünf Stunden (vgl. Tabelle 7.10).

Tabelle 7.10: Ermittlung der Dauer eines Produktionszyklus (Szenario 4)

	ETHOX_1	ETHOX_2	ETHOX_3	ETHOX_4	ETHOX_5	ETHOX_6
Einzel Produktionsdauer [hh:mm:ss]	00:08:06	00:05:19	00:08:00	00:40:00	00:33:20	00:33:20
Erforderliche Menge [#]	34	51	35	7	9	8
Gesamte Produktionsdauer [hh:mm:ss]	04:35:24	04:31:09	04:40:00	04:40:00	05:00:00	04:26:40
Dauer Produktionszyklus [hh:mm:ss]	05:00:00					

Aus der Dauer eines Produktionszyklus und der Einsatzzeit des Gabelstaplerfahrers konnte der Auslastungsgrad des Gabelstaplerfahrers ermittelt werden. Nach VDI-Richtlinie 2391 beträgt der Auslastungsgrad 68 % und nach der Fischer-Methode 98 %. Der Auslastungsgrad nach Fischer ist mit 98 % beinahe am Maximum von 100 %, jedoch sollte dieser Umstand kein Problem darstellen, da in der Spielzeitberechnung bereits ein Verteilzeitzuschlag von 25 % berücksichtigt wurde.

Durch den Einsatz von nur einem einzigen Gabelstaplerfahrer konnte in Szenario 4 eine Reduktion der jährlichen Personalkosten von € 300.000,- bewirkt werden, was einem Einsparungspotential von 83 % im Vergleich zum Ist-Zustand entsprechen würde (vgl. Tabelle 7.11).

Tabelle 7.11: Vergleichsparameter - Szenario 4

Szenario 4	Auslastungsgrad [%]		Einsparungspotential im Vergleich zum Ist-Zustand	
	nach Berechnungsmodell			
Gabelstapler	VDI-Richtlinie 2391	Fischer-Methode	[€]	[%]
1	68	98	300.000,-	83

Szenario 5

Bis auf den Unterschied, dass bei Szenario insgesamt zwei Gabelstaplerfahrer am Umschlagplatz im Einsatz sind, ist das Szenario 5 völlig identisch zu Szenario 4. Dieser Umstand entspricht klarerweise keiner Verbesserung von Szenario 4, jedoch waren die Ergebnisse von Interesse.

Durch die Verdoppelung der eingesetzten Gabelstapler wurden die Zeiten für Entladung und Beladung halbiert und somit auch die Auslastungsgrade (vgl. Tabelle 7.12 und Tabelle 7.13). Der Einsatz von insgesamt zwei Gabelstaplern am Umschlagplatz würde eine jährliche Personalkostenreduktion von € 240.000,- ermöglichen. Das würde einem Einsparungspotential von 67 % im Vergleich zum Ist-Zustand entsprechen (vgl. Tabelle 7.13).

Tabelle 7.12: Einsatzzeiten (Szenario 5)

Szenario 5	VDI-Richtlinie 2391	Fischer-Methode
Gesamte Entladedauer [hh:mm:ss]	00:43:44	00:57:19
Gesamte Beladedauer [hh:mm:ss]	00:57:42	01:31:26
Gesamte Einsatzzeit [hh:mm:ss]	01:41:26	02:28:45

Tabelle 7.13: Vergleichsparameter - Szenario 5

Szenario 5	Auslastungsgrad [%]		Einsparungspotential im Vergleich zum Ist-Zustand	
	nach Berechnungsmodell			
Gabelstapler	VDI-Richtlinie 2391	Fischer-Methode	[€]	[%]
1	34	49	240.000,-	67
2	34	49		

7.1.3 Vergleich der Szenarien

Nachdem fünf verschiedene Optimierungsszenarien untersucht wurden, konnten diese anhand ihrer Auslastungsgrade, jährlich anfallenden Personalkosten und möglichen Einsparungspotentiale im Vergleich zum Ist-Zustand verglichen werden. Gemessen am möglichen Einsparungspotential lieferten Szenario 3 und Szenario 4 die besten Ergebnisse mit jeweils 83 % im Vergleich zum Ist-Zustand. Dies würde in beiden Fällen einer jährlichen Ersparnis von € 300.000,- an Personalkosten bedeuten.

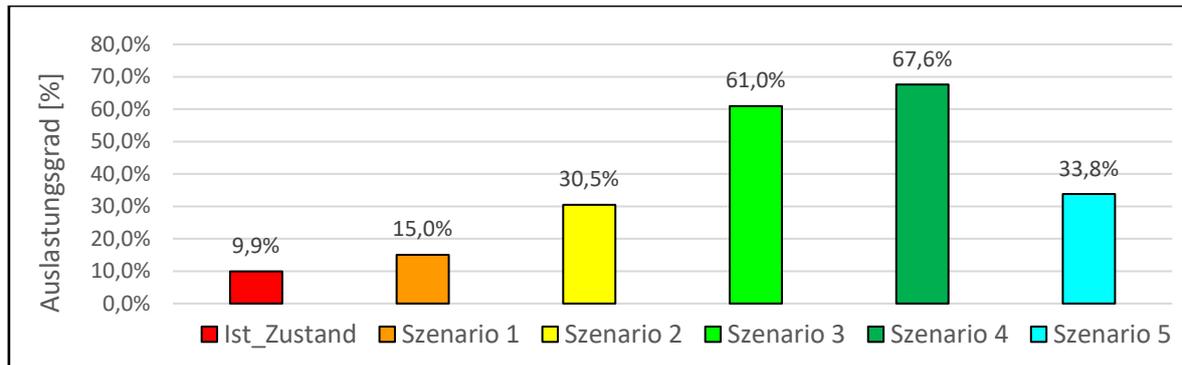


Abbildung 7.5: Szenarienvergleich - Auslastungsgrad (nach VDI 2391)

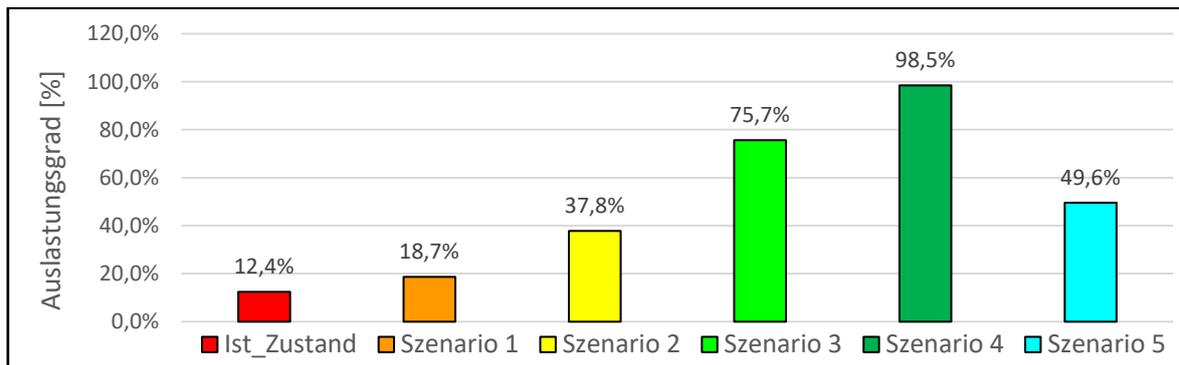


Abbildung 7.6: Szenarienvergleich - Auslastungsgrad (nach Fischer)

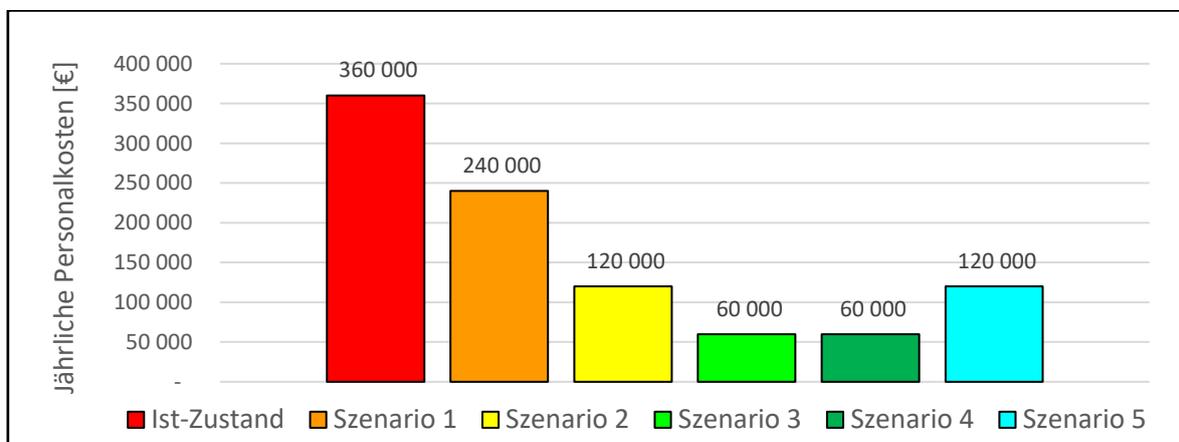


Abbildung 7.7: Szenarienvergleich - jährliche Personalkosten für Staplerfahrer

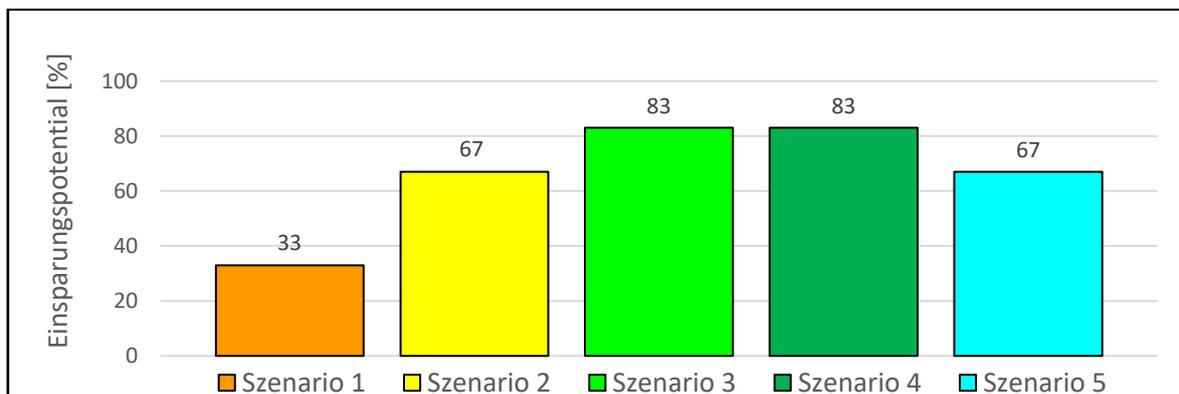


Abbildung 7.8: Szenarienvergleich - Einsparungspotential im Vergleich zum Ist-Zustand

8 Schlussfolgerungen

Nach der Anwendung des Verfahrens zur Optimierung von Transportprozessen am praktischen Beispiel wird abschließend ein Fazit zur Anwendbarkeit des Verfahrens und zum Resultat des praktischen Beispiels gezogen.

8.1 Schlussfolgerung zur Anwendbarkeit des Verfahrens

Das entwickelte Verfahren zur Optimierung von Transportprozessen am Werksgelände hat am praktischen Beispiel des Chemieunternehmens seine Anwendbarkeit bewiesen. Das zeigen rückblickend die ermittelten Verbesserungspotentiale und Möglichkeiten zur Optimierung. Durch die Anwendung des Verfahrens gelang es eine tiefe Einsicht in die Prozesse des Unternehmens zu erhalten, wodurch die Schwachstellen erkennbar wurden. Dadurch konnten diese später durch gezielte Maßnahmen beseitigt werden.

Klarerweise kann man bei diesem Verfahren, das gerade erst an einem praktischen Beispiel getestet wurde, noch von keiner allgemein anwendbaren Methodik sprechen. Allerdings liegt die Vermutung nahe, dass dieses Verfahren bei einem anderen praktischen Beispiel mit ähnlichen Rahmenbedingungen ebenfalls eine gute Anleitung zur Optimierung der Transportprozesse liefern würde.

An Stellen, an denen das Verfahren bei einem neuen praktischen Beispiel Schwächen zeigen würde, könnten dann Adaptionen durchgeführt werden, sodass das Verfahren diese Stellen ebenfalls unterstützen kann. Somit könnte in weiterer Folge das Verfahren von einem Anwendungsfall zum nächsten schrittweise verbessert werden, bis letztendlich nach sehr vielen Anwendungen das Verfahren ausgereift ist und eventuell sogar als Methodik betrachtet werden kann.

8.2 Schlussfolgerung zum praktischen Beispiel

Nach abgeschlossener Erhebung des Ist-Zustandes, sowie dessen Analyse und einer Untersuchung von fünf Optimierungsszenarien können folgende Schlüsse getroffen werden:

- Die Anwendung beider Berechnungsmodelle für die Spielzeitberechnung der Transportvorgänge von Flurförderzeugen hatte zweifellos ihre Berechtigung. Durch die parallele Verwendung der zwei Modelle konnte für jedes berechnete Arbeitsspiel ein gewisses Zeitfenster abgesteckt werden, in dem sich die tatsächliche Dauer des Arbeitsspiels wahrscheinlich befinden wird.
- Es ist aber davon auszugehen, dass die tatsächliche Dauer diverser Arbeitsspiele näher

an dem Ergebnis der Fischer-Methode liegt, als an jenem der VDI-Richtlinie 2391. Der Grund dafür ist der genauere Aufbau der Fischer-Methode, welcher die tatsächlichen Arbeitsspielzeiten mit Sicherheit realistischer abbildet, als es bei der VDI-Richtlinie 2391 der Fall ist.

- Die aktuellen Auslastungsgrade der Gabelstaplerfahrer bei den einzelnen Abfüllstellen sind mit durchschnittlich 14 % nach VDI-Richtlinie 2391 und 17 % nach Fischer Methode (vgl. Tabelle 6.5) relativ gering und entsprechen keiner effizienten und wirtschaftlichen Nutzung der Ressourcen.
- Die Untersuchung der fünf Optimierungsszenarien der ETHOX Abfüllorganisation ergab, dass sich Szenario 3 als bestes Szenario ohne bauliche Maßnahmen hinsichtlich der Reduktion von Personalkosten erweisen würde. Die Reduktion von aktuell sechs Gabelstaplerfahrern auf nur mehr einen würde einer jährlichen Personalkostenersparnis von € 300.000,- entsprechen. Dieser Betrag ergibt sich durch die schon in Kapitel 5 erwähnten jährlichen Personalkosten von € 60.000,- pro Gabelstaplerfahrer.
- Bei den Szenarien mit baulichen Maßnahmen erwies sich Szenario 4 als die beste Variante. Der Auslastungsgrad beträgt hier nach Fischer 98 %. Da aber in der Spielzeitberechnung ein Verteilzeitzuschlag von 25 % berücksichtigt wurde, sollte dieser hohe Auslastungsgrad kein Problem darstellen.
- Auf kurze Sicht betrachtet wäre das Szenario 3 dem Szenario 4 vorzuziehen, da bei Szenario 3 keine Kosten verursacht werden und es sofort umsetzbar wäre.
- Auf lange Sicht betrachtet, könnte jedoch Szenario 4 die bessere Wahl sein. Obwohl mit Sicherheit ein Investitionsaufwand von ein paar Millionen Euro für die gesamte Fördertechnik und Umbauarbeiten anfallen würde, würden sich diese Kosten auf Dauer durch die jährliche Personalkostenersparnis von € 300.000,- amortisieren. Außerdem würde das Szenario 4 und die damit verbundene Gestaltung eines neuen Umschlagplatzes bei der ETHOX Abfüllorganisation eine Bündelung der Be- und Entladefahrten ermöglichen. Dies könnte eventuell eine Auslagerung der Fahrten an den Logistikdienstleister ermöglichen, was wiederum einer Erleichterung für das Unternehmen entsprechen würde. Zusätzlich könnte durch die große Pufferkapazität des Umschlagplatzes eine Lieferflexibilität für Tage mit erhöhter Nachfrage an Fertigprodukten generiert werden.

9 Verzeichnisse

9.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Die drei Säulen der Logistik [2].....	3
Abbildung 2.2: Die Prozesse der Materialflusstechnik [5]	5
Abbildung 2.3: Bilden von Packstücken, Ladeeinheiten und Ladungen [2].....	7
Abbildung 2.4: Spundfässer [6]	7
Abbildung 2.5: IBC [7]	7
Abbildung 2.6: Big Bag [8].....	7
Abbildung 2.7: Vergleich zwischen Chemie- und Europalette.....	8
Abbildung 2.8: 25 t Motorwagen (40 t Anhängerzug) [9]	9
Abbildung 2.9: Abladen eines Wechselaufbaus [2]	10
Abbildung 2.10: Rollenbahn zur Beförderung von Paletten [11]	11
Abbildung 2.11: Volumenstrom und Durchsatz von Stetigförderer [2].....	12
Abbildung 2.12: Gabelstapler [12].....	12
Abbildung 2.13: Arbeitsspiel eines Unstetigförderers [5]	13
Abbildung 3.1: Aufbau des Verfahrens.....	17
Abbildung 3.2: Verfahren zur Optimierung von Transportprozesse am Werksgelände - 1/2 .	18
Abbildung 3.3: Verfahren zur Optimierung von Transportprozesse am Werksgelände - 2/2 .	19
Abbildung 4.1: Erste Stufe des Verfahrens - Ausgangslage	20
Abbildung 5.1: Zweite Stufe des Verfahrens - Erhebung Ist-Zustand.....	22
Abbildung 5.2: Layout des Werksgeländes [18].....	27
Abbildung 5.3: Layout des Logistikzentrums/zentralem Versandlagers [18].....	27
Abbildung 5.4: Lage der ETHOX-Abfüllorganisation [18].....	28
Abbildung 5.5: Positionen der ETHOX-Abfüllstellen [18]	28
Abbildung 5.6: Lage der TH-Abfüllorganisation [18]	29
Abbildung 5.7: Positionen der TH-Abfüllstellen [18]	29
Abbildung 5.8: Lage der GE-Abfüllorganisation [18].....	30
Abbildung 5.9: Positionen der GE-Abfüllstellen [18]	30
Abbildung 5.10: Lage der NA-Abfüllorganisation [18].....	31
Abbildung 5.11: Sattelitenaufnahme vom Werksgelände.....	34
Abbildung 5.12: Distanzmessung mittels Google Earth Pro.....	34
Abbildung 5.13: Abstrahiertes Layout des Werksgeländes	35
Abbildung 5.14: v.B.E. ETHOX_1, ETHOX_2	36
Abbildung 5.15: r.B.E. ETHOX_1, ETHOX_2	36

Abbildung 5.16: v.B.E. ETHOX_3	36
Abbildung 5.17: r.B.E. ETHOX_3.....	36
Abbildung 5.18: v.B.E. ETHOX_4, ETHOX_5, ETHOX_6.....	36
Abbildung 5.19: r.B.E. ETHOX_4, ETHOX_5, ETHOX_6.....	37
Abbildung 5.20: v.B.E. TH_1	37
Abbildung 5.21: r.B.E. TH_1	37
Abbildung 5.22: v.B.E. TH_2, TH_3	37
Abbildung 5.23: r.B.E. TH_2, TH_3.....	38
Abbildung 5.24: v.B.E. TH_4, (inkl. TH_5, TH_6).....	38
Abbildung 5.25: r.B.E. TH_4 (inkl. TH_5, TH_6)	38
Abbildung 5.26: v.B.E. GE_1, GE_2	39
Abbildung 5.27: r.B.E. GE_1, GE_2.....	39
Abbildung 5.28: v.E. NA	39
Abbildung 5.29: r.E. NA	39
Abbildung 5.30: v.B. NA	40
Abbildung 5.31: r.B. NA.....	40
Abbildung 6.1: Dritte Stufe des Verfahrens - Analyse Ist-Zustand	42
Abbildung 6.2: Zusammensetzung der Verteilzeit.....	43
Abbildung 6.3: Zykluszeiten der Abfüllstellen	50
Abbildung 7.1: Vierte Stufe des Verfahrens - Untersuchung	52
Abbildung 7.2: Nutzbare Freifläche der ETHOX Abfüllorganisation [23]	57
Abbildung 7.3: Neugestaltung des Umschlagplatzes der ETHOX-Abfüllorganisation.....	59
Abbildung 7.4: Aufteilung der 144 Pufferplätze.....	63
Abbildung 7.5: Szenarienvergleich - Auslastungsgrad (nach VDI 2391).....	67
Abbildung 7.6: Szenarienvergleich - Auslastungsgrad (nach Fischer)	67
Abbildung 7.7: Szenarienvergleich - jährliche Personalkosten für Staplerfahrer	67
Abbildung 7.8: Szenarienvergleich - Einsparungspotential im Vergleich zum Ist-Zustand....	67

9.2 Literaturverzeichnis

- [1] W. Fischer und L. Dittrich, Materialfluß und Logistik, Optimierungspotentiale im Transport- und Lagerwesen, Berlin Heidelberg: Springer, 1997.
- [2] M. ten Hompel, T. Schmidt und L. Nagel, Materialflusssysteme, Förder- und Lagertechnik, Berlin Heidelberg: Springer, 2007.
- [3] H. Martin, Transport- und Lagerlogistik, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2011.
- [4] H. Martin, P. Römisch und A. Weidlich, Materialflusstechnik, Wiesbaden: Vieweg, 2007.
- [5] D. Jodin, Materialflusstechnik (Sript), Graz: Institut für Technische Logistik, TU Graz, 2013.
- [6] „Turbosquid,“ [Online]. Available: <https://www.turbosquid.com/3d-models/max-pallet-drums/887994>. [Zugriff am 10 03 2019].
- [7] „Jungheinrich PROFI SHOP,“ [Online]. Available: <https://www.jh-profishop.at/IBC-Container-Ex-Ausfuehrung-32259-142633/>. [Zugriff am 10 03 2019].
- [8] „OBI,“ [Online]. Available: <https://www.obi.de/search/big%20bag/>. [Zugriff am 10 03 2019].
- [9] „KIRCHNER und Partner GmbH, Spedition und Logistik,“ [Online]. Available: <https://www.kirchnerundpartner.de/spedition/fuhrpark/>. [Zugriff am 14 03 2019].
- [10] „logistik-pro.de,“ [Online]. Available: http://logistik-pro.de/content_datен_wide.php?id=1. [Zugriff am 14 03 2019].
- [11] „CCI Fördertechnik Sondermaschinen,“ [Online]. Available: <https://www.cci-foerdertechnik.de/produkte/palettenfoerdertechnik/rollenbahn-schwerkraft-611/rollenbahn-schwerkraft-61101/>. [Zugriff am 15 03 2019].
- [12] „Still GmbH,“ [Online]. Available: <https://www.still.at/8732+M54330e93410.0.0.html>. [Zugriff am 15 03 2019].
- [13] „wiki to yes,“ [Online]. Available: <https://www.wiki-to-yes.org/article106-Uber-Verfahren-und-Methoden>. [Zugriff am 23 05 2019].
- [14] C. Landschützer, Methoden und Beispiele für das Engineering in der Technischen Logistik, Graz: Logistik Werkstatt Graz, 2016.
- [15] U. Lindemann, Methodische Entwicklung technischer Produkte, Berlin: Springer, 2005.
- [16] K. Ehrlenspiel und H. Meerkamm, Integrierte Produktentwicklung - Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit (5.Auflage), München: Hanser, 2013.
- [17] D. Arnold und K. Fuhrmans, Materialfluss in Logistiksystemen, Berlin Heidelberg: Springer, 2005.
- [18] Unternehmen aus der chemischen Industrie & Institut für Technische Logistik (ITL) Graz, „Innerbetriebliche Logistikoptimierung/Daten zur Ist-Analyse,“ Graz, 2018.
- [19] „Linde Material Handling,“ [Online]. Available: <https://www.linde-mh.de/de/>. [Zugriff am 16 03 2019].

- [20] B. 2. –. G. u. f. B. B. Deutschland, „Das Organisationshandbuch – vom Praktiker für den Praktiker,“ [Online]. Available: https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/5_Personalbedarfsermittlung/51_Grundlagen/513_Basisdaten/5134%20Verteilzeiten/verteilzeiten-node.html. [Zugriff am 25 04 2019].
- [21] V. D. Ingenieure, „VDI-Richtlinie 2391 - Zeitrichtwerte für Arbeitsspiele und Grundbewegungen von Flurförderzeugen,“ Düsseldorf, VDI, 1982, p. 20.
- [22] D. G. Unfallversicherung, „DGUV Vorschrift 68 - Unfallverhütungsvorschrift Flurförderzeuge,“ DGUV, Berlin, 1997.
- [23] „Bayern Atlas,“ [Online]. Available: https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?lang=de&topic=ba&catalogNodes=11,122&bgLayer=luftbild_labels&E=777114.63&N=5342744.98&zoom=14. [Zugriff am 02 05 2019].
- [24] „Kraus - Eine Idee voraus,“ [Online]. Available: <https://kraus-austria.com/produkte/rollenbahnen-angetrieben>. [Zugriff am 07 05 2019].
- [25] „Stangl-Engineering,“ [Online]. Available: http://www.stangl-engineering.at/referenzen_foerderanlagen_foerdertechnik.html. [Zugriff am 07 05 2019].

9.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Vergleich der gängigsten abschließenden Ladehilfsmittel [2].....	9
Tabelle 5.1: Die Abfüllstellen und ihre Erzeugnisse [18].....	25
Tabelle 5.2: Abfüllmenge und Abfüllart der ETHOX-Abfüllstellen [18]	28
Tabelle 5.3: Abfüllmenge und Abfüllart der TH-Abfüllstellen [18].....	30
Tabelle 5.4: Abfüllmenge und Abfüllart der GE-Abfüllstellen [18].....	30
Tabelle 5.5: Abfüllmenge und Abfüllart der NA-Abfüllstelle [18]	31
Tabelle 5.6: Pufferplätze der Abfüllstellen [18].....	32
Tabelle 5.7: Übersicht verwendeter Packmittel [18].....	33
Tabelle 5.8: Transportdistanzen der Stapler.....	40
Tabelle 5.9: Produktionszahlen aus der Sekundärerhebung.....	41
Tabelle 6.1: Normalzeiten für Lastaufnahme/-abgabe [21]	45
Tabelle 6.2: Zeitzusammensetzung bei Lastaufnahme [21].....	45
Tabelle 6.3: Zeitzusammensetzung bei Lastabgabe [21]	45
Tabelle 6.4: Fahrgeschwindigkeit mit und ohne Last [21].....	46
Tabelle 6.5: Auslastungsgrade der Gabelstaplerfahrer (Ist-Zustand).....	51
Tabelle 7.1: Vergleichsparameter - Szenario 1	55
Tabelle 7.2: Vergleichsparameter - Szenario 2	56
Tabelle 7.3: Vergleichsparameter - Szenario 3	56
Tabelle 7.4: Legende zu Abbildung 7.3	59
Tabelle 7.5: Durchsätze der beiden ETHOX Abfüllgruppen [18]	61
Tabelle 7.6: Berechnung der Transportobjekt-Aufteilung und Pufferplätze.....	61
Tabelle 7.7: Gebindeverteilung der Abfüllgruppen [18].....	62
Tabelle 7.8: Aufteilung der 144 Pufferplätze.....	62
Tabelle 7.9: Einsatzzeiten (Szenario 4).....	65
Tabelle 7.10: Ermittlung der Dauer eines Produktionszyklus (Szenario 4).....	65
Tabelle 7.11: Vergleichsparameter - Szenario 4	65
Tabelle 7.12: Einsatzzeiten (Szenario 5).....	66
Tabelle 7.13: Vergleichsparameter - Szenario 5	66
Tabelle 10.1: Vergleich gängiger Umschlagtechniken	76
Tabelle 10.2: Abfüllmengen und Gebindeverteilung 2017 [18]	77
Tabelle 10.3: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (ETHOX_1, ETHOX_2)	78
Tabelle 10.4: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (ETHOX_1, ETHOX_2).....	79
Tabelle 10.5: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (ETHOX_3, ETHOX_3_zukünftig).....	80
Tabelle 10.6: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (ETHOX_3, ETHOX_3_zukünftig)	81

Tabelle 10.7: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (ETHOX_4, ETHOX_5)	82
Tabelle 10.8: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (ETHOX_4, ETHOX_5).....	83
Tabelle 10.9: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (ETHOX_6, TH_1)	84
Tabelle 10.10: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (ETHOX_6, TH_1).....	85
Tabelle 10.11: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (TH_2, TH_3).....	86
Tabelle 10.12: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (TH_2, TH_3)	87
Tabelle 10.13: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (TH_4, GE_1).....	88
Tabelle 10.14: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (TH_4, GE_1)	89
Tabelle 10.15: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (GE_2, NA)	90
Tabelle 10.16: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (GE_2, NA).....	91
Tabelle 10.17: Prozessgrößen ETHOX_1, ETHOX_2 (VDI-2391)	92
Tabelle 10.18: Prozessgrößen ETHOX_1, ETHOX_2 (Fischer).....	93
Tabelle 10.19: Prozessgrößen ETHOX_3, ETHOX_4, ETHOX_5, ETHOX_6 (VDI-2391) .	94
Tabelle 10.20: Prozessgrößen ETHOX_3, ETHOX_4, ETHOX_5, ETHOX_6 (Fischer).....	95
Tabelle 10.21: Prozessgrößen TH_1, TH_2, TH_3, TH_4 (VDI-2391)	96
Tabelle 10.22: Prozessgrößen TH_1, TH_2, TH_3, TH_4 (Fischer).....	97
Tabelle 10.23: Prozessgrößen GE_1, GE_2, NA (VDI-2391).....	98
Tabelle 10.24: Prozessgrößen GE_1, GE_2, NA (Fischer).....	99
Tabelle 10.25: Szenario 1 (VDI-2391).....	100
Tabelle 10.26: Szenario 1 (Fischer)	101
Tabelle 10.27: Szenario 2 (VDI-2391).....	102
Tabelle 10.28: Szenario 2 (Fischer)	103
Tabelle 10.29: Szenario 3 (VDI-2391).....	104
Tabelle 10.30: Szenario 3 (Fischer)	105
Tabelle 10.31: Szenario 4 (VDI-2391).....	106
Tabelle 10.32: Szenario 4 (Fischer)	107

10 Anhang

Tabelle 10.1: Vergleich gängiger Umschlagstechniken

		Umschlagssystem											
		konventionelle Systeme						dynamische Lagerung					
		manuell	Teleskopbandförderer	Hängeförderer	Handgabelhubwagen	Gabelstapler	Gabelstapler mit Mehrfachgabel	Kran	Rollenbahn-Umschlagssystem	Rollen Teppich-Beladesystem	Hubkettenförderer-Umschlagssystem	Rollpaletten-Umschlagssystem	Portal-Umschlagssystem
Rampenform	keine	■	■	□	■	■	■	□	□	□	□	■	□
	Kopframpe	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■
	Seitenrampe	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	■	□
	Dockrampe	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Rampe in Sägezahnform	■	■	■	■	■	■	■	□	■	□	□	□
Ladegutart	Paletten	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	unpalettiertes Stückgut	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□
	Sperr-/Langgut	□	□	□	□	■	■	□	□	□	□	□	□
Verladungsprinzip	seitlich	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	■	□
	heckseitig	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	□	■
	von oben	□	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□
Verladungsart	Teilverladung möglich	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	■	■
	Kompletterverladung möglich	□	□	■	□	□	□	□	■	■	■	□	■
Sonstiges	Flächenbedarf	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□
	Investitionsbedarf	■	□	■	■	■	■	□	□	□	■	□	□
	Personalbedarf	□	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■
	Arbeitssicherheit	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Verladung ohne Ladefächentechnik	■	■	□	■	■	■	■	□	■	■	■	□
Leistungsgrößen	Ladeeinheiten/h	70,7	483	88**	24,7	48,1	144,2	36	—	—	—	—	—
	Zeit/Ladung (min)	217	32	—	78	40	13	54	1,5	2	1,5	5	5

günstig
 durchschnittlich
 ungünstig
 *Aufgrund der eingesetzten Arbeitsweise
 **Pulks/h

Tabelle 10.3: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (ETHOX_1, ETHOX_2)

Ist-Zustand: VDI 2391	ETHOX_1		ETHOX_2	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Anhänger		Anhänger	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	24		24	
verfügbare Transportobjekte [#]	1,5		1,5	
verfügbare Palettenkapazität [#]	36		36	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	2	2	2
nötige Fahrten [#]	18	18	18	18
Pufferplätze [#]		7		6
Distanz_vorderseitig [m]	10,9	10,9	10,6	10,6
Distanz_rückseitig [m]	20,9	20,9	19,2	19,2
Distanz_gemittelt [m]	15,9	15,9	14,9	14,9
Lastaufnahme [s]	19,8	31,6	19,8	31,6
Hinfahrt [s]	4,4	7,0	4,1	6,5
Lastabgabe [s]	16	20,3	16	20,3
Rückfahrt [s]	7,0	4,4	6,5	4,1
Lastspieldauer [s]	40,2	58,9	39,9	58,4
Leerspieldauer [s]	7,0	4,4	6,5	4,1
∑ Normalspielzeiten [s]	47,2	63,3	46,5	62,6
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	59,0	79,1	58,1	78,2
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:00:59	00:01:19	00:00:58	00:01:18
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	1061,6	1423,9	1045,8	1408,0
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:17:42	00:23:44	00:17:26	00:23:28
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	00:41:26		00:40:54	
absolutes Δt (Vergleich Fischer) [hh:mm:ss]	00:09:23		00:09:31	
relative Zeitdifferenz (Vergleich Fischer) [%]	-18,5		-18,9	

Tabelle 10.4: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (ETHOX_1, ETHOX_2)

Ist-Zustand: Fischer-Methode	ETHOX_1		ETHOX_2	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Anhänger		Anhänger	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	24		24	
verfügbare Transportobjekte [#]	1,5		1,5	
verfügbare Palettenkapazität [#]	36		36	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	2	2	2
nötige Fahrten [#]	18	18	18	18
Pufferplätze [#]		7		6
Distanz_vorderseitig [m]	10,9	10,9	10,6	10,6
Kurvenanzahl_vorderseitig [#]	0	0	0	0
Distanz_rückseitig [m]	20,9	20,9	19,2	19,2
Kurvenanzahl_rückseitig [#]	3	3	3	3
Distanz_gemittelt [m]	15,9	15,9	14,9	14,9
Lastaufnahme [s]	19,8	31,6	19,8	31,6
Lastabgabe [s]	16	20,3	16	20,3
Tb_Lastspieldauer_vorderseitig [s]	38,9	55,0	38,9	55,0
Tb_Lastspieldauer_rückseitig [s]	59,8	75,9	59,3	75,4
Tb_Lastspieldauer_gemittelt [s]	49,4	65,5	49,1	65,2
Tl_Leerspieldauer_vorderseitig [s]	2,8	2,8	2,7	2,7
Tl_Leerspieldauer_rückseitig [s]	17,8	17,8	17,4	17,4
Tl_Leerspieldauer_gemittelt [s]	10,3	10,3	10,1	10,1
∑ Normalspielzeiten [s]	59,7	75,8	59,2	75,3
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	74,6	94,8	74,0	94,1
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:01:15	00:01:35	00:01:14	00:01:34
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	1343,3	1705,5	1331,2	1693,5
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:22:23	00:28:26	00:22:11	00:28:13
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	00:50:49		00:50:25	
absolutes Δt (Vergleich VDI) [hh:mm:ss]	00:09:23		00:09:31	
relative Zeitdifferenz (Vergleich VDI) [%]	22,7		23,3	

Tabelle 10.5: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (ETHOX_3, ETHOX_3_zukünftig)

Ist-Zustand: VDI 2391	ETHOX_3		ETHOX_3_zukünftig	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Anhänger		Anhänger	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	24		24	
verfügbare Transportobjekte [#]	1		1	
verfügbare Palettenkapazität [#]	24		24	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	2	2	2
nötige Fahrten [#]	12	12	12	12
Pufferplätze [#]		10		6
Distanz_vorderseitig [m]	5,1	5,1	8,8	8,8
Distanz_rückseitig [m]	8,2	8,2	19,8	19,8
Distanz_gemittelt [m]	6,7	6,7	14,3	14,3
Lastaufnahme [s]	19,8	31,6	19,8	31,6
Hinfahrt [s]	1,8	2,9	4,0	6,3
Lastabgabe [s]	16	20,3	16	20,3
Rückfahrt [s]	2,9	1,8	6,3	4,0
Lastspieldauer [s]	37,6	54,8	39,8	58,2
Leerspieldauer [s]	2,9	1,8	6,3	4,0
∑ Normalspielzeiten [s]	40,6	56,7	46,0	62,1
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	50,7	70,8	57,5	77,7
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:00:51	00:01:11	00:00:58	00:01:18
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	608,4	849,9	690,6	932,1
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:10:08	00:14:10	00:11:31	00:15:32
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	00:24:18		00:27:03	
absolutes Δt (Vergleich Fischer) [hh:mm:ss]	00:07:03		00:06:24	
relative Zeitdifferenz (Vergleich Fischer) [%]	-22,5		-19,1	

Tabelle 10.6: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (ETHOX_3, ETHOX_3_zukünftig)

Ist-Zustand: Fischer-Methode	ETHOX_3		ETHOX_3_zukünftig	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Anhänger		Anhänger	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	24		24	
verfügbare Transportobjekte [#]	1		1	
verfügbare Palettenkapazität [#]	24		24	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	2	2	2
nötige Fahrten [#]	12	12	12	12
Pufferplätze [#]		10		6
Distanz_vorderseitig [m]	5,1	5,1	8,8	8,8
Kurvenanzahl_vorderseitig [#]	1	1	0	0
Distanz_rückseitig [m]	8,2	8,2	19,8	19,8
Kurvenanzahl_rückseitig [#]	2	2	3	3
Distanz_gemittelt [m]	6,7	6,7	14,3	14,3
Lastaufnahme [s]	19,8	31,6	19,8	31,6
Lastabgabe [s]	16	20,3	16	20,3
Tb_Lastspieldauer_vorderseitig [s]	43,3	59,4	38,3	54,4
Tb_Lastspieldauer_rückseitig [s]	50,2	66,3	59,5	75,6
Tb_Lastspieldauer_gemittelt [s]	46,7	62,8	48,9	65,0
Tl_Leerspieldauer_vorderseitig [s]	5,5	5,5	2,3	2,3
Tl_Leerspieldauer_rückseitig [s]	10,4	10,4	17,6	17,6
Tl_Leerspieldauer_gemittelt [s]	7,9	7,9	9,9	9,9
∑ Normalspielzeiten [s]	54,7	70,8	58,8	74,9
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	68,3	88,4	73,5	93,7
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:01:08	00:01:28	00:01:14	00:01:34
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	819,9	1061,4	882,4	1123,9
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:13:40	00:17:41	00:14:42	00:18:44
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	00:31:21		00:33:26	
absolutes Δt (Vergleich VDI) [hh:mm:ss]	00:07:03		00:06:24	
relative Zeitdifferenz (Vergleich VDI) [%]	29,0		23,6	

Tabelle 10.7: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (ETHOX_4, ETHOX_5)

Ist-Zustand: VDI 2391	ETHOX_4		ETHOX_5	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Wechselbehälter		Wechselbehälter	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	12		12	
verfügbare Transportobjekte [#]	1		1	
verfügbare Palettenkapazität [#]	12		12	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	1	2	1
nötige Fahrten [#]	0	12	0	12
Pufferplätze [#]		8		5
Distanz_vorderseitig [m]	25,2	25,2	52,1	52,1
Distanz_rückseitig [m]	32,2	32,2	62,3	62,3
Distanz_gemittelt [m]	28,7	28,7	57,2	57,2
Lastaufnahme [s]	19,8	15,8	19,8	15,8
Hinfahrt [s]	7,9	12,6	15,8	25,1
Lastabgabe [s]	16	20,3	16	20,3
Rückfahrt [s]	12,6	7,9	25,1	15,8
Lastspieldauer [s]	43,7	48,7	51,6	61,2
Leerspieldauer [s]	12,6	7,9	25,1	15,8
∑ Normalspielzeiten [s]	56,3	56,6	76,8	77,1
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	70,4	70,8	95,9	96,3
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:01:10	00:01:11	00:01:36	00:01:36
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	0,0	849,7	0,0	1155,8
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:00:00	00:14:10	00:00:00	00:19:16
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	00:14:10		00:19:16	
absolutes Δt (Vergleich Fischer) [hh:mm:ss]	00:03:51		00:03:54	
relative Zeitdifferenz (Vergleich Fischer) [%]	-21,4		-16,9	

Tabelle 10.8: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (ETHOX_4, ETHOX_5)

Ist-Zustand: Fischer-Methode	ETHOX_4		ETHOX_5	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Wechselbehälter		Wechselbehälter	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	12		12	
verfügbare Transportobjekte [#]	1		1	
verfügbare Palettenkapazität [#]	12		12	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	1	2	1
nötige Fahrten [#]	0	12	0	12
Pufferplätze [#]		8		5
Distanz_vorderseitig [m]	25,2	25,2	52,1	52,1
Kurvenanzahl_vorderseitig [#]	2	2	2	2
Distanz_rückseitig [m]	32,2	32,2	62,3	62,3
Kurvenanzahl_rückseitig [#]	2	2	3	3
Distanz_gemittelt [m]	28,7	28,7	57,2	57,2
Lastaufnahme [s]	19,8	15,8	19,8	15,8
Lastabgabe [s]	16	20,3	16	20,3
Tb_Lastspieldauer_vorderseitig [s]	55,1	55,4	62,8	63,1
Tb_Lastspieldauer_rückseitig [s]	57,1	57,4	71,7	72,0
Tb_Lastspieldauer_gemittelt [s]	56,1	56,4	67,3	67,6
Tl_Leerspieldauer_vorderseitig [s]	14,8	14,8	21,7	21,7
Tl_Leerspieldauer_rückseitig [s]	16,6	16,6	28,5	28,5
Tl_Leerspieldauer_gemittelt [s]	15,7	15,7	25,1	25,1
∑ Normalspielzeiten [s]	71,8	72,1	92,4	92,7
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	89,7	90,1	115,5	115,8
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:01:30	00:01:30	00:01:55	00:01:56
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	0,0	1080,8	0,0	1390,1
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:00:00	00:18:01	00:00:00	00:23:10
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	00:18:01		00:23:10	
absolutes Δt (Vergleich VDI) [hh:mm:ss]	00:03:51		00:03:54	
relative Zeitdifferenz (Vergleich VDI) [%]	27,2		20,3	

Tabelle 10.9: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (ETHOX_6, TH_1)

Ist-Zustand: VDI 2391	ETHOX_6		TH_1	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Wechselbehälter		Anhänger	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	12		24	
verfügbare Transportobjekte [#]	1		1	
verfügbare Palettenkapazität [#]	12		24	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	1	2	2
nötige Fahrten [#]	0	12	12	12
Pufferplätze [#]		4		40
Distanz_vorderseitig [m]	29,2	29,2	18,0	18,0
Distanz_rückseitig [m]	43,5	43,5	23,5	23,5
Distanz_gemittelt [m]	36,4	36,4	20,8	20,8
Lastaufnahme [s]	19,8	15,8	19,8	31,6
Hinfahrt [s]	10,1	16,0	5,7	9,1
Lastabgabe [s]	16	20,3	16	20,3
Rückfahrt [s]	16,0	10,1	9,1	5,7
Lastspieldauer [s]	45,9	52,1	41,5	61,0
Leerspieldauer [s]	16,0	10,1	9,1	5,7
∑ Normalspielzeiten [s]	61,8	62,1	50,7	66,8
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	77,3	77,7	63,3	83,4
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:01:17	00:01:18	00:01:03	00:01:23
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	0,0	931,9	759,8	1001,3
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:00:00	00:15:32	00:12:40	00:16:41
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	00:15:32		00:29:21	
absolutes Δt (Vergleich Fischer) [hh:mm:ss]	00:06:04		00:03:18	
relative Zeitdifferenz (Vergleich Fischer) [%]	-28,1		-10,1	

Tabelle 10.10: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (ETHOX_6, TH_1)

Ist-Zustand: Fischer-Methode	ETHOX_6		TH_1	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Wechselbehälter		Anhänger	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	12		24	
verfügbare Transportobjekte [#]	1		1	
verfügbare Palettenkapazität [#]	12		24	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	1	2	2
nötige Fahrten [#]	0	12	12	12
Pufferplätze [#]		4		40
Distanz_vorderseitig [m]	29,2	29,2	18,0	18,0
Kurvenanzahl_vorderseitig [#]	2	2	0	0
Distanz_rückseitig [m]	43,5	43,5	23,5	23,5
Kurvenanzahl_rückseitig [#]	4	4	2	2
Distanz_gemittelt [m]	36,4	36,4	20,8	20,8
Lastaufnahme [s]	19,8	15,8	19,8	31,6
Lastabgabe [s]	16	20,3	16	20,3
Tb_Lastspiieldauer_vorderseitig [s]	56,2	56,5	41,0	57,1
Tb_Lastspiieldauer_rückseitig [s]	72,3	72,6	54,6	70,7
Tb_Lastspiieldauer_gemittelt [s]	64,3	64,6	47,8	63,9
TI_Leerspiieldauer_vorderseitig [s]	15,8	15,8	4,6	4,6
TI_Leerspiieldauer_rückseitig [s]	27,8	27,8	14,4	14,4
TI_Leerspiieldauer_gemittelt [s]	21,8	21,8	9,5	9,5
∑ Normalspielzeiten [s]	86,1	86,4	57,3	73,4
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	107,6	108,0	71,6	91,7
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:01:48	00:01:48	00:01:12	00:01:32
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	0,0	1295,7	859,0	1100,5
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:00:00	00:21:36	00:14:19	00:18:21
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	00:21:36		00:32:40	
absolutes Δt (Vergleich VDI) [hh:mm:ss]	00:06:04		00:03:18	
relative Zeitdifferenz (Vergleich VDI) [%]	39,0		11,3	

Tabelle 10.11: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (TH_2, TH_3)

Ist-Zustand: VDI 2391	TH_2		TH_3	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Wechselbehälter		Wechselbehälter	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	12		12	
verfügbare Transportobjekte [#]	1		1	
verfügbare Palettenkapazität [#]	12		12	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	1	2	1
nötige Fahrten [#]	0	12	0	12
Pufferplätze [#]		0		0
Distanz_vorderseitig [m]	59,8	59,8	33,2	33,2
Distanz_rückseitig [m]	66,8	66,8	40,2	40,2
Distanz_gemittelt [m]	63,3	63,3	36,7	36,7
Lastaufnahme [s]	19,8	15,8	19,8	15,8
Hinfahrt [s]	17,5	27,8	10,2	16,1
Lastabgabe [s]	16	20,3	16	20,3
Rückfahrt [s]	27,8	17,5	16,1	10,2
Lastspieldauer [s]	53,3	63,9	46,0	52,2
Leerspieldauer [s]	27,8	17,5	16,1	10,2
∑ Normalspielzeiten [s]	81,1	81,4	62,1	62,4
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	101,4	101,8	77,6	78,0
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:01:41	00:01:42	00:01:18	00:01:18
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	0,0	1221,3	0,0	935,6
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:00:00	00:20:21	00:00:00	00:15:36
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	00:20:21		00:15:36	
absolutes Δt (Vergleich Fischer) [hh:mm:ss]	00:04:55		00:03:31	
relative Zeitdifferenz (Vergleich Fischer) [%]	-19,4		-18,4	

Tabelle 10.12: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (TH_2, TH_3)

Ist-Zustand: Fischer-Methode	TH_2		TH_3	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Wechselbehälter		Wechselbehälter	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	12		12	
verfügbare Transportobjekte [#]	1		1	
verfügbare Palettenkapazität [#]	12		12	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	1	2	1
nötige Fahrten [#]	0	12	0	12
Pufferplätze [#]		0		0
Distanz_vorderseitig [m]	59,8	59,8	33,2	33,2
Kurvenanzahl_vorderseitig [#]	3	3	2	2
Distanz_rückseitig [m]	66,8	66,8	40,2	40,2
Kurvenanzahl_rückseitig [#]	3	3	2	2
Distanz_gemittelt [m]	63,3	63,3	36,7	36,7
Lastaufnahme [s]	19,8	15,8	19,8	15,8
Lastabgabe [s]	16	20,3	16	20,3
Tb_Lastspieldauer_vorderseitig [s]	71,0	71,3	57,4	57,7
Tb_Lastspieldauer_rückseitig [s]	73,0	73,3	59,4	59,7
Tb_Lastspieldauer_gemittelt [s]	72,0	72,3	58,4	58,7
Tl_Leerspieldauer_vorderseitig [s]	27,8	27,8	16,8	16,8
Tl_Leerspieldauer_rückseitig [s]	29,6	29,6	18,6	18,6
Tl_Leerspieldauer_gemittelt [s]	28,7	28,7	17,7	17,7
∑ Normalspielzeiten [s]	100,8	101,1	76,1	76,4
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	126,0	126,3	95,1	95,5
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:02:06	00:02:06	00:01:35	00:01:36
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	0,0	1516,1	0,0	1146,3
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:00:00	00:25:16	00:00:00	00:19:06
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	00:25:16		00:19:06	
absolutes Δt (Vergleich VDI) [hh:mm:ss]	00:04:55		00:03:31	
relative Zeitdifferenz (Vergleich VDI) [%]	24,1		22,5	

Tabelle 10.13: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (TH_4, GE_1)

Ist-Zustand: VDI 2391	TH_4		GE_1	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Anhänger		Anhänger	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	24		24	
verfügbare Transportobjekte [#]	2		1	
verfügbare Palettenkapazität [#]	48		24	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	2	2	2
nötige Fahrten [#]	24	24	12	12
Pufferplätze [#]		0		8
Distanz_vorderseitig [m]	36,7	36,7	43,3	43,3
Distanz_rückseitig [m]	47,9	47,9	48,5	48,5
Distanz_gemittelt [m]	42,3	42,3	45,9	45,9
Lastaufnahme [s]	19,8	31,6	19,8	46
Hinfahrt [s]	11,7	18,6	12,7	20,2
Lastabgabe [s]	16	20,3	25,7	20,3
Rückfahrt [s]	18,6	11,7	20,2	12,7
Lastspieldauer [s]	47,5	70,5	58,2	86,5
Leerspieldauer [s]	18,6	11,7	20,2	12,7
∑ Normalspielzeiten [s]	66,1	82,2	78,4	99,2
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	82,6	102,7	98,0	124,0
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:01:23	00:01:43	00:01:38	00:02:04
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	1982,5	2465,5	1175,4	1487,4
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:33:03	00:41:06	00:19:35	00:24:47
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	01:14:08		00:44:23	
absolutes Δt (Vergleich Fischer) [hh:mm:ss]	00:23:14		00:16:23	
relative Zeitdifferenz (Vergleich Fischer) [%]	-23,9		-27,0	

Tabelle 10.14: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (TH_4, GE_1)

Ist-Zustand: Fischer-Methode	TH_4		GE_1	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Anhänger		Anhänger	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	24		24	
verfügbare Transportobjekte [#]	2		1	
verfügbare Palettenkapazität [#]	48		24	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	2	2	2
nötige Fahrten [#]	24	24	12	12
Pufferplätze [#]		0		8
Distanz_vorderseitig [m]	36,7	36,7	43,3	43,3
Kurvenanzahl_vorderseitig [#]	2	2	3	3
Distanz_rückseitig [m]	47,9	47,9	48,5	48,5
Kurvenanzahl_rückseitig [#]	4	4	5	5
Distanz_gemittelt [m]	42,3	42,3	45,9	45,9
Lastaufnahme [s]	19,8	31,6	19,8	46
Lastabgabe [s]	16	20,3	25,7	20,3
Tb_Lastspieldauer_vorderseitig [s]	58,4	74,5	76,0	96,8
Tb_Lastspieldauer_rückseitig [s]	73,6	89,7	89,5	110,3
Tb_Lastspieldauer_gemittelt [s]	66,0	82,1	82,7	103,5
Tl_Leerspieldauer_vorderseitig [s]	17,7	17,7	23,6	23,6
Tl_Leerspieldauer_rückseitig [s]	28,9	28,9	33,2	33,2
Tl_Leerspieldauer_gemittelt [s]	23,3	23,3	28,4	28,4
∑ Normalspielzeiten [s]	89,3	105,4	111,1	131,9
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	111,7	131,8	138,9	164,9
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:01:52	00:02:12	00:02:19	00:02:45
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	2679,8	3162,8	1667,2	1979,2
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:44:40	00:52:43	00:27:47	00:32:59
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	01:37:23		01:00:46	
absolutes Δt (Vergleich VDI) [hh:mm:ss]	00:23:14		00:16:23	
relative Zeitdifferenz (Vergleich VDI) [%]	31,4		36,9	

Tabelle 10.15: Arbeitsspielzeiten nach VDI-2391 (GE_2, NA)

Ist-Zustand: VDI 2391	GE_2		NA	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Anhänger		Anhänger	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	24		24	
verfügbare Transportobjekte [#]	1		1	
verfügbare Palettenkapazität [#]	24		24	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	2	2	2
nötige Fahrten [#]	12	12	12	12
Pufferplätze [#]		0		3
Distanz_vorderseitig [m]	20,7	20,7	19,7	30,1
Distanz_rückseitig [m]	30,3	30,3	19,7	35,3
Distanz_gemittelt [m]	25,5	25,5	19,7	32,7
Lastaufnahme [s]	19,8	31,6	19,8	31,6
Hinfahrt [s]	7,1	11,2	5,5	14,4
Lastabgabe [s]	16	20,3	16	20,3
Rückfahrt [s]	11,2	7,1	8,6	9,1
Lastspieldauer [s]	42,9	63,1	41,3	66,3
Leerspieldauer [s]	11,2	7,1	8,6	9,1
∑ Normalspielzeiten [s]	54,1	70,2	49,9	75,3
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	67,6	87,7	62,4	94,1
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:01:08	00:01:28	00:01:02	00:01:34
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	810,8	1052,3	748,6	1129,7
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:13:31	00:17:32	00:12:29	00:18:50
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	00:31:03		00:31:18	
absolutes Δt (Vergleich Fischer) [hh:mm:ss]	00:10:31		00:07:55	
relative Zeitdifferenz (Vergleich Fischer) [%]	-25,3		-20,2	

Tabelle 10.16: Arbeitsspielzeiten nach Fischer (GE_2, NA)

Ist-Zustand: Fischer-Methode	GE_2		NA	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Anhänger		Anhänger	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	24		24	
verfügbare Transportobjekte [#]	1		1	
verfügbare Palettenkapazität [#]	24		24	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	2	2	2
nötige Fahrten [#]	12	12	12	12
Pufferplätze [#]		0		3
Distanz_vorderseitig [m]	20,7	20,7	19,7	30,1
Kurvenanzahl_vorderseitig [#]	2	2	2	1
Distanz_rückseitig [m]	30,3	30,3	19,7	35,3
Kurvenanzahl_rückseitig [#]	3	3	2	3
Distanz_gemittelt [m]	25,5	25,5	19,7	32,7
Lastaufnahme [s]	19,8	31,6	19,8	31,6
Lastabgabe [s]	16	20,3	16	20,3
Tb_Lastspieldauer_vorderseitig [s]	53,8	69,9	53,5	66,6
Tb_Lastspieldauer_rückseitig [s]	62,5	78,6	53,5	80,1
Tb_Lastspieldauer_gemittelt [s]	58,1	74,2	53,5	73,3
TI_Leerspieldauer_vorderseitig [s]	13,6	13,6	13,4	11,9
TI_Leerspieldauer_rückseitig [s]	20,3	20,3	13,4	21,5
TI_Leerspieldauer_gemittelt [s]	16,9	16,9	13,4	16,7
∑ Normalspielzeiten [s]	75,1	91,2	66,9	90,0
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	93,9	114,0	83,6	112,5
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:01:34	00:01:54	00:01:24	00:01:53
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	1126,3	1367,8	1002,8	1350,6
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	00:18:46	00:22:48	00:16:43	00:22:31
Gesamtzeit logistischer Aufwand [hh:mm:ss]	00:41:34		00:39:13	
absolutes Δt (Vergleich VDI) [hh:mm:ss]	00:10:31		00:07:55	
relative Zeitdifferenz (Vergleich VDI) [%]	33,9		25,3	

Tabelle 10.17: Prozessgrößen ETHOX_1, ETHOX_2 (VDI-2391)

Ist-Zustand: VDI-2391	ETHOX_1		ETHOX_2		ETHOX_1 & 2	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
	Dauer eines Transportvorganges [hh:mm:ss]	00:00:59	00:01:19	00:00:58	00:01:18	
Σ der jeweiligen Transportzeiten [hh:mm:ss]	00:17:42		00:17:26			
max. Durchsatz [Paletten/Stunde]	7,4		11,3		18,7	
Produktionsdauer [Stunden/Palette]	0,1351		0,0885		0,0535	
Produktionsdauer pro Palette [hh:mm:ss]	00:08:06		00:05:19		00:03:13	
Anzahl bereits produzierter FPP bis Verladung beendet ist [#]	2,18		3,28		5,51	
Pufferplätze [#]	7		6		13	
Zeit bis geforderte Anzahl an FPP gemeinsam produziert sind [hh:mm:ss]					03:51:01	
Anzahl produzierter FPP der einzelnen Abfüllstationen bis dato [#]	28,49		43,51		72	
Zeit bis die bis dato angefangene FPP fertig ist [hh:mm:ss]	03:55:08		03:53:38			
Optimale Aufteilung der abgefüllten FPP [#]	28		44			
Dauer bis ein ganzer Produktionszyklus abgeschlossen ist [hh:mm:ss]					03:53:38	
Einsatzzeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	00:36:09		00:46:07			
Wartezeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	03:17:29		03:07:31			
Auslastungsgrad [%]	15%		20%			
Anteil der Wartezeit [%]	85%		80%			

Tabelle 10.18: Prozessgrößen ETHOX_1, ETHOX_2 (Fischer)

Ist-Zustand: Fischer-Methode	ETHOX_1		ETHOX_2		ETHOX_1 & 2	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
	Dauer eines Transportvorganges [hh:mm:ss]	00:01:15	00:01:35	00:01:14	00:01:34	
Σ der jeweiligen Transportzeiten [hh:mm:ss]	00:22:23		00:22:11			
max. Durchsatz [Paletten/Stunde]	7,4		11,3		18,7	
Produktionsdauer [Stunden/Palette]	0,1351		0,0885		0,0535	
Produktionsdauer pro Palette [hh:mm:ss]	00:08:06		00:05:19		00:03:13	
Anzahl bereits produzierter FPP bis Verladung beendet ist [#]	2,76		4,18		6,98	
Pufferplätze [#]	7		6		13	
Zeit bis geforderte Anzahl an FPP gemeinsam produziert sind [hh:mm:ss]					03:51:01	
Anzahl produzierter FPP der einzelnen Abfüllstationen bis dato [#]	28,49		43,51		72	
Zeit bis die bis dato angefangene FPP fertig ist [hh:mm:ss]	03:55:08		03:53:38			
Optimale Aufteilung der abgefüllten FPP [#]	28		44			
Dauer bis ein ganzer Produktionszyklus abgeschlossen ist [hh:mm:ss]					03:53:38	
Einsatzzeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	00:44:30		00:56:41			
Wartezeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	03:09:08		02:56:57			
Auslastungsgrad [%]	19%		24%			
Anteil der Wartezeit [%]	81%		76%			

Tabelle 10.19: Prozessgrößen ETHOX_3, ETHOX_4, ETHOX_5, ETHOX_6 (VDI-2391)

Ist-Zustand: VDI-2391	ETHOX_3		ETHOX_4		ETHOX_5		ETHOX_6	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Dauer eines Transportvorganges [hh:mm:ss]	00:00:51	00:01:11		00:01:11		00:01:36		00:01:18
Σ der jeweiligen Transportzeiten [hh:mm:ss]	00:10:08	00:14:10		00:14:10		00:19:16		00:15:32
max. Durchsatz [Paletten/Stunde]	7,5		1,5		1,8		1,8	
Produktionsdauer [Stunden/Palette]	0,1333		0,6667		0,5556		0,5556	
Produktionsdauer pro Palette [hh:mm:ss]	00:08:00		00:40:00		00:33:20		00:33:20	
Anzahl bereits produzierter FPP bis Verladung beendet ist [#]	1,27		0,00		0,00		0,00	
Pufferplätze [#]	10		8		5		4	
Zeit bis geforderte Anzahl an FPP gemeinsam produziert sind [hh:mm:ss]	03:12:00		08:00:00		06:40:00		06:40:00	
Anzahl produzierter FPP der einzelnen Abfüllstationen bis dato [#]	24		12		12		12	
Zeit bis die bis dato angefangene FPP fertig ist [hh:mm:ss]								
Optimale Aufteilung der abgefüllten FPP [#]								
Dauer bis ein ganzer Produktionszyklus abgeschlossen ist [hh:mm:ss]	03:12:00		08:00:00		06:40:00		06:40:00	
Einsatzzeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	00:24:18		00:14:10		00:19:16		00:15:32	
Wartezeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	02:47:42		07:45:50		06:20:44		06:24:28	
Auslastungsgrad [%]	13%		3%		5%		4%	
Anteil der Wartezeit [%]	87%		97%		95%		96%	

Tabelle 10.20: Prozessgrößen ETHOX_3, ETHOX_4, ETHOX_5, ETHOX_6 (Fischer)

Ist-Zustand: Fischer-Methode	ETHOX_3		ETHOX_4		ETHOX_5		ETHOX_6	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
	00:01:08	00:01:28	00:01:30	00:01:56	00:01:30	00:01:56	00:01:36	00:01:48
00:13:40	00:17:41	00:18:01	00:23:10	00:18:01	00:23:10	00:21:36	00:21:36	
max. Durchsatz [Paletten/Stunde]	7,5	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	
Produktionsdauer [Stunden/Palette]	0,1333	0,6667	0,5556	0,5556	0,5556	0,5556	0,5556	
Produktionsdauer pro Palette [hh:mm:ss]	00:08:00	00:40:00	00:33:20	00:33:20	00:33:20	00:33:20	00:33:20	
Anzahl bereits produzierter FPP bis Verladung beendet ist [#]	1,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pufferplätze [#]	10	8	5	5	5	4	4	
Zeit bis geforderte Anzahl an FPP gemeinsam produziert sind [hh:mm:ss]	03:12:00	08:00:00	06:40:00	06:40:00	06:40:00	06:40:00	06:40:00	
Anzahl produzierter FPP der einzelnen Abfüllstationen bis dato [#]	24	12	12	12	12	12	12	
Zeit bis die bis dato angefangene FPP fertig ist [hh:mm:ss]								
Optimale Aufteilung der abgefüllten FPP [#]								
Dauer bis ein ganzer Produktionszyklus abgeschlossen ist [hh:mm:ss]	03:12:00	08:00:00	06:40:00	06:40:00	06:40:00	06:40:00	06:40:00	
Einsatzzeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	00:31:21	00:18:01	00:23:10	00:23:10	00:23:10	00:21:36	00:21:36	
Wartezeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	02:40:39	07:41:59	06:16:50	06:16:50	06:16:50	06:18:24	06:18:24	
Auslastungsgrad [%]	16%	4%	6%	6%	6%	5%	5%	
Anteil der Wartezeit [%]	84%	96%	94%	94%	94%	95%	95%	

Tabelle 10.21: Prozessgrößen TH_1, TH_2, TH_3, TH_4 (VDI-2391)

	TH_1		TH_2		TH_3		TH_4	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Ist-Zustand: VDI-2391								
Dauer eines Transportvorganges [hh:mm:ss]	00:01:03	00:01:23		00:01:42		00:01:18		00:01:43
Σ der jeweiligen Transportzeiten [hh:mm:ss]	00:12:40	00:16:41		00:20:21		00:15:36		00:33:03
max. Durchsatz [Paletten/Stunde]	8,2		1,8		3,5		5,9	
Produktionsdauer [Stunden/Palette]	0,1220		0,5556		0,2857		0,1709	
Produktionsdauer pro Palette [hh:mm:ss]	00:07:19		00:33:20		00:17:09		00:10:15	
Anzahl bereits produzierter FPP bis Verladung beendet ist [#]	1,73		0,00		0,00		3,22	
Pufferplätze [#]	40		0		0		0	
Zeit bis geforderte Anzahl an FPP gemeinsam produziert sind [hh:mm:ss]	02:55:37		06:40:00		03:25:43		04:06:09	
Anzahl produzierter FPP der einzelnen Abfüllstationen bis dato [#]	24		12		12		24	
Zeit bis die bis dato angefangene FPP fertig ist [hh:mm:ss]								
Optimale Aufteilung der abgefüllten FPP [#]								
Dauer bis ein ganzer Produktionszyklus abgeschlossen ist [hh:mm:ss]	02:55:37		06:40:00		03:25:43		04:06:09	
Einsatzzeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	00:29:21		00:20:21		00:15:36		01:14:08	
Wartezeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	02:26:15		06:19:39		03:10:07		02:52:01	
Auslastungsgrad [%]	17%		5%		8%		30%	
Anteil der Wartezeit [%]	83%		95%		92%		70%	

Tabelle 10.22: Prozessgrößen TH_1, TH_2, TH_3, TH_4 (Fischer)

Ist-Zustand: Fischer-Methode	TH_1		TH_2		TH_3		TH_4	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Dauer eines Transportvorganges [hh:mm:ss]	00:01:12	00:01:32		00:02:06		00:01:36		00:01:52
Σ der jeweiligen Transportzeiten [hh:mm:ss]	00:14:19	00:18:21		00:25:16		00:19:06		00:44:40
max. Durchsatz [Paletten/Stunde]	8,2		1,8		3,5		5,9	
Produktionsdauer [Stunden/Palette]	0,1220		0,5556		0,2857		0,1709	
Produktionsdauer pro Palette [hh:mm:ss]	00:07:19		00:33:20		00:17:09		00:10:15	
Anzahl bereits produzierter FPP bis Verladung beendet ist [#]	1,96		0,00		0,00		4,35	
Pufferplätze [#]	40		0		0		0	
Zeit bis geforderte Anzahl an FPP gemeinsam produziert sind [hh:mm:ss]	02:55:37		06:40:00		03:25:43		04:06:09	
Anzahl produzierter FPP der einzelnen Abfüllstationen bis dato [#]	24		12		12		24	
Zeit bis die bis dato angefangene FPP fertig ist [hh:mm:ss]								
Optimale Aufteilung der abgefüllten FPP [#]								
Dauer bis ein ganzer Produktionszyklus abgeschlossen ist [hh:mm:ss]	02:55:37		06:40:00		03:25:43		04:06:09	
Einsatzzeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	00:32:40		00:25:16		00:19:06		01:37:23	
Wartezeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	02:22:57		06:14:44		03:06:37		02:28:47	
Auslastungsgrad [%]	19%		6%		9%		40%	
Anteil der Wartezeit [%]	81%		94%		91%		60%	

Tabelle 10.23: Prozessgrößen GE_1, GE_2, NA (VDI-2391)

Ist-Zustand: VDI-2391	GE_1		GE_2		NA	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
	Dauer eines Transportvorganges [hh:mm:ss]	00:01:38	00:02:04	00:01:08	00:01:28	00:01:02
Σ der jeweiligen Transportzeiten [hh:mm:ss]	00:19:35	00:24:47	00:13:31	00:17:32	00:12:29	00:18:50
max. Durchsatz [Paletten/Stunde]	11,1		7,1		3,4	
Produktionsdauer [Stunden/Palette]	0,0901		0,1408		0,2941	
Produktionsdauer pro Palette [hh:mm:ss]	00:05:24		00:08:27		00:17:39	
Anzahl bereits produzierter FPP bis Verladung beendet ist [#]	3,62		1,60		0,71	
Pufferplätze [#]	8		0		3	
Zeit bis geforderte Anzahl an FPP gemeinsam produziert sind [hh:mm:ss]	02:09:44		03:22:49		07:03:32	
Anzahl produzierter FPP der einzelnen Abfüllstationen bis dato [#]	24		24		24	
Zeit bis die bis dato angefangene FPP fertig ist [hh:mm:ss]						
Optimale Aufteilung der abgefüllten FPP [#]						
Dauer bis ein ganzer Produktionszyklus abgeschlossen ist [hh:mm:ss]	02:09:44		03:22:49		07:03:32	
Einsatzzeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	00:44:23		00:31:03		00:31:18	
Wartezeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	01:25:21		02:51:46		06:32:14	
Auslastungsgrad [%]	34%		15%		7%	
Anteil der Wartezeit [%]	66%		85%		93%	

Tabelle 10.24: Prozessgrößen GE_1, GE_2, NA (Fischer)

Ist-Zustand: Fischer-Methode	GE_1		GE_2		NA	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
	Dauer eines Transportvorganges [hh:mm:ss]	00:02:19	00:02:45	00:01:34	00:01:54	00:01:24
Σ der jeweiligen Transportzeiten [hh:mm:ss]	00:27:47	00:32:59	00:18:46	00:22:48	00:16:43	00:22:31
max. Durchsatz [Paletten/Stunde]	11,1		7,1		3,4	
Produktionsdauer [Stunden/Palette]	0,0901		0,1408		0,2941	
Produktionsdauer pro Palette [hh:mm:ss]	00:05:24		00:08:27		00:17:39	
Anzahl bereits produzierter FPP bis Verladung beendet ist [#]	5,14		2,22		0,95	
Pufferplätze [#]	8		0		3	
Zeit bis geforderte Anzahl an FPP gemeinsam produziert sind [hh:mm:ss]	02:09:44		03:22:49		07:03:32	
Anzahl produzierter FPP der einzelnen Abfüllstationen bis dato [#]	24		24		24	
Zeit bis die bis dato angefangene FPP fertig ist [hh:mm:ss]						
Optimale Aufteilung der abgefüllten FPP [#]						
Dauer bis ein ganzer Produktionszyklus abgeschlossen ist [hh:mm:ss]	02:09:44		03:22:49		07:03:32	
Einsatzzeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	01:00:46		00:41:34		00:39:13	
Wartezeit jedes Staplers (pro Abfüllstation einer) [hh:mm:ss]	01:08:57		02:41:15		06:24:18	
Auslastungsgrad [%]	47%		20%		9%	
Anteil der Wartezeit [%]	53%		80%		91%	

Tabelle 10.25: Szenario 1 (VDI-2391)

Szenario 1: VDI-2391	ETHOX_1		ETHOX_2		ETHOX_3		E_123		ETHOX_4		ETHOX_5		ETHOX_6	
	Entlad.	Belad.												
Produktionsdauer [Stunden/Palette]	0,1351		0,0885		0,1333		0,03817		0,6667		0,5556		0,5556	
Produktionsdauer pro Palette [hh:mm:ss]	00:08:06		00:05:19		00:08:00		00:02:17		00:40:00		00:33:20		00:33:20	
Anzahl bereits produzierter FPP bis Entladung beendet ist [#]	2,17		3,32		2,16									
Pufferplätze [#]	7		6		6		19		8		5		4	
Geforderte Anzahl an FPP gesamt [#]							72							
Zeit bis geforderte Anzahl an FPP gemeinsam produziert sind [hh:mm:ss]							02:44:53							
Anzahl der bis dato produzierten FPP der einzelnen Abfüllstationen [#]	20,34		31,05		20,61				10,59		12,71		12,71	
Zeit bis die bis dato angefangene FPP fertig ist [hh:mm:ss]	02:50:16		02:49:55		02:48:00				07:20:00		07:13:20		07:13:20	
Optimale Aufteilung der abgefüllten FPP [#]	20		31		21				10		13		13	
Dauer bis ein ganzer Produktionszyklus abgeschlossen ist [hh:mm:ss]							02:48:00							
Einsatzzeit jedes Staplers (2 gesamt) [hh:mm:ss]	00:39:55		00:41:59		00:41:59				00:23:02		00:26:27		00:26:27	
Wartezeit jedes Staplers (2 gesamt) [hh:mm:ss]	02:08:05		02:06:01		02:06:01				06:50:18		06:46:53		06:46:53	
Auslastungsgrad [%]	24%		25%		25%				5%		6%		6%	
Anteil der Wartezeit [%]	76%		75%		75%				95%		94%		94%	

Tabelle 10.26: Szenario 1 (Fischer)

Szenario 1: Fischer-Methode	ETHOX_1		ETHOX_2		ETHOX_3		ETHOX_4		ETHOX_5		ETHOX_6		E_456
	Entlad.	Belad.											
Dauer eines Arbeitsspiels [hh:mm:ss]	00:01:15	00:01:35	00:01:14	00:01:34	00:01:14	00:01:34	00:01:30	00:01:56	00:01:30	00:01:56	00:01:48	00:01:48	
Σ aller Arbeitsspiele [hh:mm:ss]	00:14:56	00:14:47	00:14:42	00:14:42	00:14:42	00:14:42							
max. Durchsatz [Paletten/Stunde]	7,4	11,3	7,5	11,3	7,5	11,3	1,5	1,8	1,5	1,8	1,8	1,8	5,1
Produktionsdauer [Stunden/Palette]	0,1351	0,0885	0,1333	0,0885	0,1333	0,0885	0,6667	0,5556	0,6667	0,5556	0,5556	0,5556	0,1961
Produktionsdauer pro Palette [hh:mm:ss]	00:08:06	00:05:19	00:08:00	00:05:19	00:08:00	00:05:19	00:40:00	00:33:20	00:40:00	00:33:20	00:33:20	00:33:20	00:11:46
Anzahl bereits produzierter FPP bis Entladung beendet ist [#]	2,75	4,20	2,76	4,20	2,76	4,20							
Pufferplätze [#]	7	6	6	6	6	6	8	5	8	5	4	4	17
Geforderte Anzahl an FPP gesamt [#]													36
Zeit bis geforderte Anzahl an FPP gemeinsam produziert sind [hh:mm:ss]													07:03:32
Anzahl der bis dato produzierten FPP der einzelnen Abfüllstationen [#]	20,34	31,05	20,61	31,05	20,61	31,05	10,59	12,71	10,59	12,71	12,71	12,71	
Zeit bis die bis dato angefangene FPP fertig ist [hh:mm:ss]	02:50:16	02:49:55	02:48:00	02:49:55	02:48:00	02:49:55	07:20:00	07:13:20	07:20:00	07:13:20	07:13:20	07:13:20	
Optimale Aufteilung der abgefüllten FPP [#]	20	31	21	31	21	31	10	13	10	13	13	13	
Dauer bis ein ganzer Produktionszyklus abgeschlossen ist [hh:mm:ss]													07:13:20
Einsatzzeit jedes Staplers (2 gesamt) [hh:mm:ss]	00:49:05	00:51:49	00:51:49	00:51:49	00:51:49	00:51:49	00:28:32	00:34:59	00:28:32	00:34:59	00:34:59	00:34:59	
Wartezeit jedes Staplers (2 gesamt) [hh:mm:ss]	01:58:55	01:56:11	01:56:11	01:56:11	01:56:11	01:56:11	06:44:48	06:38:21	06:44:48	06:38:21	06:38:21	06:38:21	
Auslastungsgrad [%]	29%	31%	31%	31%	31%	31%	7%	8%	7%	8%	8%	8%	
Anteil der Wartezeit [%]	71%	69%	69%	69%	69%	69%	93%	92%	93%	92%	92%	92%	

Tabelle 10.27: Szenario 2 (VDI-2391)

	ETHOX_1		ETHOX_2		ETHOX_3		ETHOX_4		ETHOX_5		ETHOX_6		E_456
	Entlad.	Belad.											
Dauer eines Arbeitsspiels [hh:mm:ss]	00:00:59	00:01:19	00:00:58	00:01:18	00:00:58	00:01:18	00:01:11	00:01:36	00:01:11	00:01:36	00:01:18	00:01:18	
Σ aller Arbeitsspiele [hh:mm:ss]	00:11:48		00:11:37		00:11:31								
max. Durchsatz [Paletten/Stunde]	7,4		11,3		7,5		1,5		1,8		1,8		5,1
Produktionsdauer [Stunden/Palette]	0,1351		0,0885		0,1333		0,6667		0,5556		0,5556		0,1961
Produktionsdauer pro Palette [hh:mm:ss]	00:08:06		00:05:19		00:08:00		00:40:00		00:33:20		00:33:20		00:11:46
Anzahl bereits produzierter FPP bis Entladung beendet ist [#]	4,31		6,58		4,37								
Pufferplätze [#]	7		6		6		8		5		4		17
Geforderte Anzahl an FPP gesamt [#]													36
Zeit bis geforderte Anzahl an FPP gemeinsam produziert sind [hh:mm:ss]													07:03:32
Anzahl der bis dato produzierten FPP der einzelnen Abfüllstationen [#]	20,34		31,05		20,61		10,59		12,71		12,71		
Zeit bis die bis dato angefangene FPP fertig ist [hh:mm:ss]	02:50:16		02:49:55		02:48:00		07:20:00		07:13:20		07:13:20		
Optimale Aufteilung der abgefüllten FPP [#]	20		31		21		10		13		13		
Dauer bis ein ganzer Produktionszyklus abgeschlossen ist [hh:mm:ss]													07:13:20
Einsatzzeit jedes Staplers (2 gesamt) [hh:mm:ss]			01:23:13						00:49:30				
Wartezeit jedes Staplers (2 gesamt) [hh:mm:ss]			01:24:47						06:23:50				
Auslastungsgrad [%]			50%						11%				
Anteil der Wartezeit [%]			50%						89%				

Tabelle 10.28: Szenario 2 (Fischer)

Szenario 2: Fischer-Methode	ETHOX_1		ETHOX_2		ETHOX_3		ETHOX_4		ETHOX_5		ETHOX_6		E_456
	Entlad.	Belad.											
Dauer eines Arbeitsspiels [hh:mm:ss]	00:01:15	00:01:35	00:01:14	00:01:34	00:01:14	00:01:34	00:01:30	00:01:30	00:01:56	00:01:56	00:01:48	00:01:48	
Σ aller Arbeitsspiele [hh:mm:ss]	00:14:56	00:14:47	00:14:47	00:14:42	00:14:42	00:14:42							
max. Durchsatz [Paletten/Stunde]	7,4	11,3	11,3	7,5	7,5	7,5	1,5	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	5,1
Produktionsdauer [Stunden/Palette]	0,1351	0,0885	0,0885	0,1333	0,1333	0,1333	0,6667	0,6667	0,5556	0,5556	0,5556	0,5556	0,1961
Produktionsdauer pro Palette [hh:mm:ss]	00:08:06	00:05:19	00:05:19	00:08:00	00:08:00	00:08:00	00:40:00	00:40:00	00:33:20	00:33:20	00:33:20	00:33:20	00:11:46
Anzahl bereits produzierter FPP bis Entladung beendet ist [#]	5,48	8,37	8,37	5,55	5,55	5,55							
Pufferplätze [#]	7	6	6	6	6	6	8	8	5	5	4	4	17
Geforderte Anzahl an FPP gesamt [#]													36
Zeit bis geforderte Anzahl an FPP gemeinsam produziert sind [hh:mm:ss]													07:03:32
Anzahl der bis dato produzierten FPP der einzelnen Abfüllstationen [#]	20,34	31,05	31,05	20,61	20,61	20,61	10,59	10,59	12,71	12,71	12,71	12,71	
Zeit bis die bis dato angefangene FPP fertig ist [hh:mm:ss]	02:50:16	02:49:55	02:49:55	02:48:00	02:48:00	02:48:00	07:20:00	07:20:00	07:13:20	07:13:20	07:13:20	07:13:20	
Optimale Aufteilung der abgefüllten FPP [#]	20	31	31	21	21	21	10	10	13	13	13	13	
Dauer bis ein ganzer Produktionszyklus abgeschlossen ist [hh:mm:ss]													07:13:20
Einsatzzeit jedes Staplers (2 gesamt) [hh:mm:ss]		01:42:29	01:42:29						01:03:30	01:03:30			
Wartezeit jedes Staplers (2 gesamt) [hh:mm:ss]		01:05:31	01:05:31						06:09:50	06:09:50			
Auslastungsgrad [%]		61%	61%						15%	15%			
Anteil der Wartezeit [%]		39%	39%						85%	85%			

Tabelle 10.31: Szenario 4 (VDI-2391)

Szenario 4: VDI-2391	ETHOX_123		ETHOX_456	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Anhänger		Wechselbehälter	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	24		12	
verfügbare Transportobjekte [#]	5		2	
verfügbare Palettenkapazität [#]	120		24	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	2	1	1
nötige Fahrten [#]	60	60	0	24
Aufnahmehöhe_real [mm]	1000	500	1000	500
Aufnahmehöhe_VDI [mm]	1250	600	1250	600
Abgabehöhe_real [mm]	500	1000	500	1000
Abgabehöhe_VDI [mm]	600	1250	600	1250
Distanz_gemittelt [m]	25,4	17,0	12,2	48,2
Arbeitsspielzeit_Aufnahme [s]	19,8	31,6	19,8	15,8
Arbeitsspielzeit_Hinfahrt [s]	7,0	7,5	3,4	21,2
Arbeitsspielzeit_Abgabe [s]	32	20,3	32	20,3
Arbeitsspielzeit_Rückfahrt [s]	11,1	4,7	5,4	13,3
Lastspieldauer [s]	58,8	59,4	55,2	57,3
Leerspieldauer [s]	11,1	4,7	5,4	13,3
∑ Normalspielzeiten [s]	70,0	64,1	60,5	70,6
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	87,5	80,1	75,7	88,3
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:01:27	00:01:20	00:01:16	00:01:28
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	5247,8	4805,0	0,0	2118,3
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	01:27:28	01:20:05	00:00:00	00:35:18
Gesamtzeit [hh:mm:ss]	02:47:33		00:35:18	
Gesamtzeit_Entladung [hh:mm:ss]	01:27:28			
Gesamtzeit_Beladung [hh:mm:ss]	01:55:23			
Einsatzzeit[hh:mm:ss]	03:22:51			
absolutes Δt (Vergleich Fischer) [hh:mm:ss]	01:32:37			
relative Zeitdifferenz (Vergleich Fischer) [%]	-31,3			

Tabelle 10.32: Szenario 4 (Fischer)

Szenario 4: Fischer-Methode	ETHOX_123		ETHOX_456	
	Entladung	Beladung	Entladung	Beladung
Transportobjekt	Anhänger		Wechselbehälter	
Palettenkapazität pro Transportobjekt [#]	24		12	
verfügbare Transportobjekte [#]	5		2	
verfügbare Palettenkapazität [#]	120		24	
Staplerkapazität [Paletten/Fahrt]	2	2	1	1
nötige Fahrten [#]	60	60	0	24
Aufnahmehöhe_real [mm]	1000	500	1000	500
Aufnahmehöhe_VDI [mm]	1250	600	1250	600
Abgabehöhe_real [mm]	500	1000	500	1000
Abgabehöhe_VDI [mm]	600	1250	600	1250
Distanz_gemittelt [m]	25,4	17,0	12,2	48,2
Anzahl_Kurven-gemittelt [#]	2	3	2	5
Arbeitsspielzeit_Aufnahme [s]	19,8	31,6	19,8	15,8
Arbeitsspielzeit_Abgabe [s]	32	20,3	32	20,3
T_b_Lastspieldauer_gemittelt [s]	74,4	78,0	68,1	82,7
T_l_Leerspieldauer_gemittelt [s]	17,3	19,4	12,1	35,6
∑ Normalspielzeiten [s]	91,7	97,3	80,2	118,3
Verteilzeit-Zuschlag [%]	25		25	
Arbeitsspielzeit [s]	114,6	121,7	100,2	147,9
Arbeitsspielzeit [hh:mm:ss]	00:01:55	00:02:02	00:01:40	00:02:28
∑ Arbeitsspielzeiten [s]	6877,1	7301,1	0,0	3549,9
∑ Arbeitsspielzeiten [hh:mm:ss]	01:54:37	02:01:41	00:00:00	00:59:10
Gesamtzeit [hh:mm:ss]	03:56:18		00:59:10	
Gesamtzeit_Entladung [hh:mm:ss]	01:54:37			
Gesamtzeit_Beladung [hh:mm:ss]	03:00:51			
Einsatzzeit [hh:mm:ss]	04:55:28			
absolutes Δt (Vergleich VDI) [hh:mm:ss]	01:32:37			
relative Zeitdifferenz (Vergleich VDI) [%]	45,7			