

Anwendung und Gegenüberstellung von aktuellen Layoutplanungsmethoden auf drei Industriebetriebe

Gernot Schrefler

Diplomarbeit an der Technischen Universität Graz
Institut für Technische Logistik



Fakultät für
Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Institutsvorstand
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Jodin

Betreuer
Univ.-Ass. Mag.rer.soc.oec. Daniel Tinello

Graz, Februar 2014

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

Graz, am

.....

(Unterschrift)

(Englische Fassung für den Fall, dass die Diplomarbeit in Englisch verfasst wird – es ist nur eine Sprachversion zu verwenden, die andere daher löschen):

STATUTORY DECLARATION

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

.....

date

.....

(signature)

Danksagung

Diese Diplomarbeit wurde am Institut für Technische Logistik an der Technischen Universität Graz verfasst.

Ich möchte mich recht herzlich beim Leiter des Institutes, Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Jodin bedanken, der es mir ermöglicht hat, eine Diplomarbeit auf einem sehr interessanten Themengebiet im Bereich der Logistik durchzuführen.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer, Herrn Univ.-Ass. Mag.rer.soc.oec. Daniel Tinello. Durch sein Engagement und seine Hilfsbereitschaft trug er wesentlich zum erfolgreichen Abschluss dieser Diplomarbeit bei. Seine nette, zuvorkommende und unkomplizierte Art, sowie die vielen fachlichen Gespräche und sein Feedback haben meine Arbeit stets in die gewünschte Richtung gelenkt. Im selben Atemzug möchte ein großes Lob an alle Mitarbeiter des Institutes aussprechen. Für Fragen und Anliegen wurde mir immer ein offenes Ohr geliehen und gerne weiter geholfen.

Auch möchte ich mich bei meinem langjährigen Kollegen, Philipp Gödl bedanken. Für die gemeinsamen Lerneinheiten und Prüfungsvorbereitungen, sein Eifer hat mich zu Höchstleistungen angespornt.

Ein herzliches Dankeschön an meine Freundin. Sie zeigte stets Verständnis, wenn ich für Prüfungen lernte, oder an der Abschlussarbeit schrieb und wir dadurch wenig Zeit miteinander verbringen konnten.

Ein großer Dank gebührt meinen Eltern und Großeltern, sowie meiner Schwester, die mir eine hervorragende, technische Ausbildung ermöglicht haben. Für die Geduld und Rücksicht, die nicht immer als selbstverständlich anzusehen war. Sie haben mich in allen Phasen meiner Ausbildung unterstützt, gefördert aber auch angetrieben und den nötigen Rückhalt gegeben. Meine Familie ist in schwierigen Zeiten hinter mir gestanden und hat mich bei Misserfolgen wieder aufgemuntert. Ohne diese Unterstützung, wäre es wohl nicht möglich gewesen, dass ich an dieser Stelle die abschließenden Worte meiner Diplomarbeit schreibe.

Aus diesem Grund möchte ich diese Diplomarbeit meiner Familie widmen!

Graz, Februar 2014

Gernot Schrefler

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit hatte zum Ziel, drei österreichische Produktionsbetriebe hinsichtlich ihrer Materialflüsse und Layoutgestaltung zu analysieren und den daraus resultierenden Ist-Zustand, strukturiert und in elektronischer Form aufbereitet, darzustellen. Ausgehend von diesem Layout wurden Methoden erarbeitet, Layout-Varianten erstellt und mit dem Ist-Zustand verglichen. Diese Ergebnisse sollen Aufschluss über das Verbesserungspotential bei der Materialfluss- und Layoutplanung geben.

Basierend auf den Daten des Ist-Zustandes und einer theoretischen Studie von Fachbüchern, Veröffentlichungen und Skripten wurde, ohne Limitierung der einzelnen Varianten, jeweils ein neues Fabriklayout, ohne Berücksichtigung von Restriktionen, erarbeitet und geplant. Durch die Kombination einer grafischen Oberfläche, verknüpft mit Materialflussmatrizen, wurde für die weitere Layoutgestaltung eine adäquate Ausgangslage geschaffen, die für jedes Unternehmen zu einer Vielzahl an durchführbaren Planungsvarianten führten. Die Weiterentwicklung der einzelnen Betrachtungsvarianten ergab ein idealisiertes Layout, bei dem sämtliche Wege, Flächen und materialflussbehaftete Zusammenhänge berücksichtigt wurden.

Vorliegende Diplomarbeit wurde unter Verwendung heuristischer Modelle erstellt, weshalb durchaus Verbesserungspotenzial hinsichtlich weiterer gestalterischer Maßnahmen gegeben ist, wenngleich für weitere Verbesserungen jedenfalls eine Kosten-Nutzen-Analyse anzuraten wäre. In einem letzten Schritt wurden die gewonnenen Erkenntnisse ausgewertet, plausibilisiert, grafisch aufbereitet und gegenübergestellt. Durch die übersichtliche Aufbereitung des Datenmaterials war es möglich, die Einsparungspotenziale der einzelnen Konzepte darzustellen. Die, in dieser Diplomarbeit, entwickelten Methoden und Varianten zur Verbesserung des Materialflusses und des Fabriklayouts konnten im Vergleich zum Ist-Zustand der Layouts eine prozentuale Einsparung von Transportwegen und damit verbundenen Kosten erzielen. Eine Anwendung dieser Vorgehensweise, bei einer Neuplanung oder Restrukturierung eines Layouts, ohne Miteinbeziehung weiterer Faktoren bzw. Randbedingungen, wäre vorerst anzuraten.

Abstract

Within this master thesis three production units were investigated in regard to their material flows and layouting. Afterwards their current conditions were structured and electronically edited.

Based on the data gained from the analysis and theoretical study of papers and publications a completely new layout was designed from scratch without any limit of the possible designing options. By using a graphical interface for the layouting process a vast range of possibilities was placed in action for the designing methods. The further development of the single options led to an idealized layout taking into account all the approaches, areas and connections.

By the use of heuristic model in this master thesis it was possible to achieve further room for improvement. However, these improvements need to be based on a structured cost and benefit analysis. In a final step the findings of this thesis were analysed and grafically edited. The use of structured data made it possible to show the potential savings of the specific concepts. The improvements that evolved from the material flows are more cost efficient than the current ones. Therefore it is highly recommened to apply a possible adoption of the conceps presented.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung	1
2	Grundlagen der Layoutplanung	4
2.1	Allgemeiner Problemlösungsprozess	9
2.2	Materialflussplanung	10
2.2.1	Vorarbeiten	12
2.2.2	Grobplanung	12
2.2.2.1	Strukturplanung	13
2.2.2.2	Systemplanung	15
2.2.3	Feinplanung	15
2.2.4	Realisierung	15
2.3	Methoden der Layoutplanung	16
2.3.1	VDI 2498 – Vorgehen bei der Materialflussplanung	17
2.3.2	Sankey-Diagramm	20
2.3.3	Kreisverfahren	21
2.3.4	Dreieck-Probiermethode	23
2.3.5	Dreieck-Berechnungsmethode	24
2.3.6	Viereck-Methode	30
2.3.7	Schwerpunkt-Methode	31
2.3.7.1	Optimale Standortbestimmung auf einer Geraden	32
2.3.7.2	Optimale Standortbestimmung in der Fläche	34
2.3.8	Quadratisches Zuordnungsverfahren	35
2.3.9	Zweieraustauschverfahren	39
2.3.10	CRAFT-Verfahren	40
2.4	Nutzwertanalyse	45
3	Anwendung der Methoden	49
3.1	Unternehmen A	56
3.1.1	VDI 2498	57
3.1.2	Sankey-Diagramm	59
3.1.3	Kreisverfahren	61
3.1.4	Viereckmethode	62
3.1.5	Dreieckmethode	63
3.1.6	Dreieckmethode mit überarbeiteten Flächen	65
3.1.7	Idealisiertes Layout	67

3.2	Unternehmen B	68
3.2.1	VDI 2498	69
3.2.2	Sankey-Diagramm	70
3.2.3	Kreisverfahren	72
3.2.4	Viereckmethode	73
3.2.5	Dreieckmethode	74
3.2.6	Dreieckmethode mit überarbeiteten Flächen.....	76
3.2.7	Idealisiertes Layout.....	77
3.3	Unternehmen C	79
3.3.1	VDI 2498	79
3.3.2	Sankey-Diagramm	82
3.3.3	Kreisverfahren	83
3.3.4	Viereckmethode	84
3.3.5	Dreieckmethode	85
3.3.6	Dreieckmethode mit überarbeiteten Flächen.....	87
3.3.7	Idealisiertes Layout.....	88
3.4	Gegenüberstellung der Ergebnisse	90
3.4.1	Vergleich der Methoden - Unternehmen A.....	90
3.4.2	Vergleich der Methoden - Unternehmen B.....	91
3.4.3	Vergleich der Methoden - Unternehmen C.....	93
4	Bewertung der Vorgehensweise	95
5	Zusammenfassung	97
6	Quellenverzeichnisse	99
6.1	Literaturquellen.....	99
6.2	Sonstige Quellen	100
6.3	Abbildungsverzeichnis	101
6.4	Tabellenverzeichnis	104
6.5	Gleichungsverzeichnis	105
7	Anhang	106
7.1	Veröffentlichter Kurzttext Deutsch.....	106
7.2	Veröffentlichter Kurzttext Englisch.....	107
7.3	Unternehmen A	108
7.4	Unternehmen B	111
7.5	Unternehmen C	114

1 Einleitung und Problemstellung

Globalisierung der Produktion, steigende Marktdynamik und erhöhter Kostendruck zwingen die Industrieunternehmen zur ständigen, innovativen Anpassung ihrer Fabrik- und Produktionsstrukturen an verändernde Bedingungen [GRU12].

In der heutigen Zeit müssen sich Unternehmen in einem sehr schwierigen Umfeld beweisen. Verkürzte Produktlebenszyklen in Verbindung mit einem zunehmenden Innovationsdruck im Bereich der Produktionstechnologien, der Trend zu kundenspezifischen, individueller werdenden Produkten und damit gekoppelt eine große Variantenvielfalt sind nur einige Herausforderungen denen sich ein Unternehmen stellen muss, um im internationalen Wettbewerb bestehen zu können. Insbesondere dem Materialfluss kommt eine besondere Bedeutung zu, da er eine verbindende Funktion innerhalb der Produktion darstellt [HEI06]. In der Zukunft sind verstärkt Eigenschaften, wie Flexibilität und Reaktionsfähigkeit, sowie das rasche Umsetzen von ungeplanten Änderungen, von Bedeutung.

Für eine effiziente und zielgerichtete Produktion sind situationsgerechte Materialflussstrukturen und Layout-Anordnungen entscheidend. Unabhängig von der Größe des Unternehmens, kann man die Frage stellen [AB09]:

Passen Materialflussstruktur und Layoutanordnung noch zur Auftrags- und Ressourcencharakteristik, oder sollten Veränderungen an der räumlichen Organisation vorgenommen werden [AB09] und welche Steigerung der Effizienz ist zu erwartet?

Chancen werden meist nur wahrgenommen, wenn man die Problematik aus neuen Perspektiven betrachtet. Herausragende, nachhaltige und erfolgreiche Ansätze entstehen häufig durch die Betrachtung aus veränderten Blickwinkeln [DIC09].

Die Layoutplanung ist die variantenreichste Phase der Fabrikplanung, dadurch ist auch eine gewisse Kreativität gefordert [HEI06]. Ein kurzer Auszug der Variantenbewertung und -Auswahl ist in Kapitel 2.4 beschrieben.

Diese Diplomarbeit greift das Problem der zunehmenden Flexibilisierung der Produktionsprozesse von Fabriken, aber auch einzelner Bereiche davon, auf.

Es wird versucht, die Lösungsansätze und deren Vorteile bei der Layoutoptimierung der einzelnen Bereiche darzustellen. Die Umstrukturierung und die Verbesserungsmöglichkeiten der Anordnung, sowie die damit verbundenen Einsparungen, sollen aufgezeigt und erläutert werden. Fokus auf Qualität, Effizienz und Effektivität sind in Zeiten von Krisen und unstabilen Auftragslagen wichtig und sollen sich durch Wettbewerbsvorteile und direkten Kundennutzen bemerkbar machen [SCH11].

„Ziel eines jeden wirtschaftlichen Unternehmens ist es, langfristig Erfolg zu erzielen. Ganz allgemein kann darunter das Erreichen persönlicher Ziele, die Schaffung von Werten und von Arbeitsplätzen und – als Ziel oder Mittel – das Erzielen von finanziellen Gewinnen verstanden werden. Auch die nichtwirtschaftlichen Unternehmen haben Ziele und müssen den Erfolg dem Aufwand gegenüberstellen [HH09].“

Diese Arbeit hat zum Ziel, einen Überblick über Hilfsmittel, Anwendungswerkzeuge und Vorgehensweisen zur computergestützten Layoutplanung zu geben. Dazu gehören verschieden Anordnungsverfahren mit unterschiedlichen Restriktionen sowie die Interaktionen von Materialflüssen und den dazugehörigen Layoutvarianten. Mit Hilfe dieser Methoden kann das bestehende Layout eines Betriebes analysieren und mit den einzelnen Ergebnissen der Layoutplanungsmethoden verglichen werden. Die Resultate geben Aufschluss über mögliche Verbesserungspotentiale, die durch eine Neustrukturierung der Stationen bzw. Abteilungen erzielt werden können. Sehr oft wird Augenmerk auf die Verbesserung von Prozessen und Arbeitsschritten gelegt, wobei die Transportbeziehungen und -wege meist vernachlässigt werden. Diese Arbeit soll das Verständnis für ein erweiteres Denkweise in das Bewusstsein des Anwenders rufen.

Untersucht wurden drei österreichische Industriebetriebe, die in dieser Arbeit anonymisiert als Unternehmen A, B und C bezeichnet werden. Anhand dieser drei Firmen wurden die Layoutplanungsmethoden angewendet, gegenüber gestellt, Lösungswege und deren Ergebnisse erarbeitet. Das Ziel ist es, ein Ideal-Layout zu erstellen und eine Neuplanung der Unternehmen ohne Randbedingungen und Einschränkungen nach dem Prinzip der „Grünen Wiese“ nach Pawellek zu erarbeiten [PAW08].

In den nächsten Kapiteln werden ausführlich die theoretischen Hintergründe, die Grundlagen der Layoutplanung und die praktische Anwendung der Theorie behandelt und zusammengefasst. Dazu gehört unter anderem die Vorgehensweise der Materialflussanalyse und -planung. Zudem werden einzelne Begriffe genauer erklärt, die Struktur und sämtliche Einflüsse auf ein Industrieunternehmen dargestellt. Als wichtiger Teil der Arbeit sind die Arten der Layoutgestaltung und deren Unterscheidungsmerkmale beschrieben, wie z.B. Neuplanung, Erweiterung oder Reorganisation. Kapitel 2.3 beschreibt die einzelnen Methoden der Layoutplanung, sowie sämtliche Merkmale, die für eine Anwendung von Bedeutung sind.

In Kapitel 3 werden die zuvor erläuterten Methoden auf die drei Industriebetriebe angewendet, wobei einige Verfahren abgewandelt, modifiziert und auf die jeweilige Situation angepasst wurden. Diese Varianten werden gegenübergestellt und verglichen um daraus ein aussagekräftiges Ergebnis zu bekommen. Als abschließenden Punkt dieser Arbeit werden die Auswertungen zusammengefasst und ein Ausblick über weiterführende Forschung gegeben.

2 Grundlagen der Layoutplanung

Das Kapitel 2 soll dem Leser einen guten Überblick über einige ausgewählte Methoden zur Material- und Layoutplanung geben, sowie das Verständnis und die Wichtigkeit der Transportbeziehungen und deren Auswirkungen auf die Produktionsprozesse darstellen. Ebenso wird das Vorgehensmodell eines Problemlösungsprozesses und den damit verbundenen Lösungsweg beschrieben.

Die Fabrik- und Layoutplanung ist bereits bei der Wahl des Standortes von großer Wichtigkeit. Die einzelnen Fabrikelemente und Bereiche müssen in strukturierter Reihenfolge zusammengeführt werden, mit dem Ziel, die Kosten zu senken und die Effektivität zu steigern. Dafür ist eine logistische Denkweise besonders wichtig, die wie folgt nach Pawellek ([PAW08]) beschrieben wird:

- Systemdenken berücksichtigt die Abhängigkeiten und Beziehungen zwischen den einzelnen Standorten, Produktions- und Transportprozessen in einem Betrieb.
- Flussdenken betrachtet die Flüsse von Materialien, Informationen, Personen und auch Energie
- Gesamtkostendenken beschreibt alle relevanten logistischen Kosten als Entscheidungsgrundlage, was bedeutet, dass Transport- und Lagerkosten nicht pauschal in den Deckungsbeiträgen ‚verschwinden‘.
- Qualitätsdenken hat das Ziel, die fertigungstechnischen und logistischen Prozesse so zu gestalten, dass Fehler bzw. Fehlproduktion und deren Ursache frühzeitig erkannt und behoben werden können.
- Servicedenken geht davon aus, dass die Kosten der Logistik nur in Verbindung mit einem Bereitstellungsprozess von Material gerechtfertigt sind.

In Abbildung 1 ist die ganzheitliche Betrachtung der Fabrikplanung und Logistik sowie die Wertschöpfungsprozesse, Material- und Informationsflüsse im Sinne der Gesamtzielsetzung des Unternehmens dargestellt. ([PAW08])

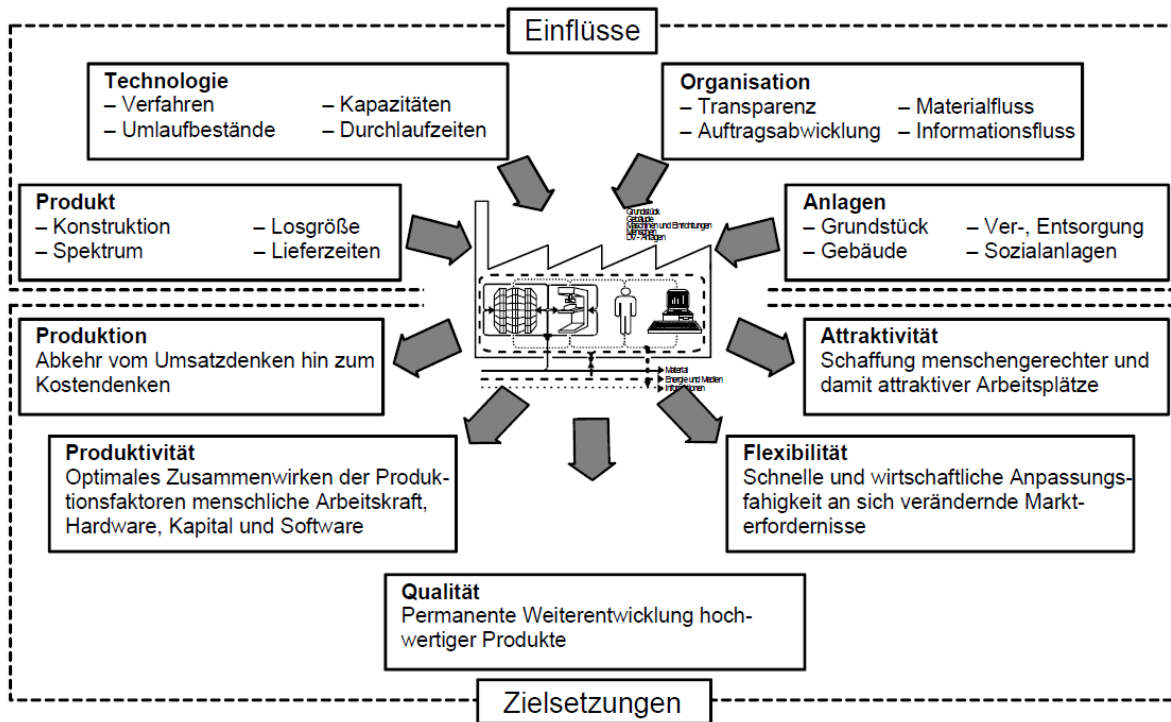


Abbildung 1: Einflüsse und Zielsetzung (nach [PAW08], Abb. 1.7)

Sobald Arbeitssysteme oder Arbeitseinheiten zu einem Wertschöpfungsprozess bzw. einer Wertschöpfungskette beitragen, müssen sowohl innerbetriebliche, als auch außerbetriebliche Standorte bestimmt werden. Das Ergebnis dieser Festlegung wird als Layout bezeichnet. Die Layoutplanung kann auf unterschiedlichen Ebenen (vergl. Abbildung 2) in einem Betrieb durchgeführt werden. Auf der obersten Ebene werden die innerbetrieblichen Standorte für Produktionssegmente bestimmt. Wenn man eine Aggregationsebene tiefer geht, wird man weitere Probleme der Layoutplanung feststellen können. Das, den einzelnen Produktionseinheiten zugeordnete Material, wird in der Reihenfolge abgearbeitet wie es in den Arbeitsaufträge und Stücklisten beschrieben ist. Der zurückgelegte Weg hängt dabei stark von der räumlichen Anordnung der Maschinen und Bearbeitungsstandorte ab [GÜN05].

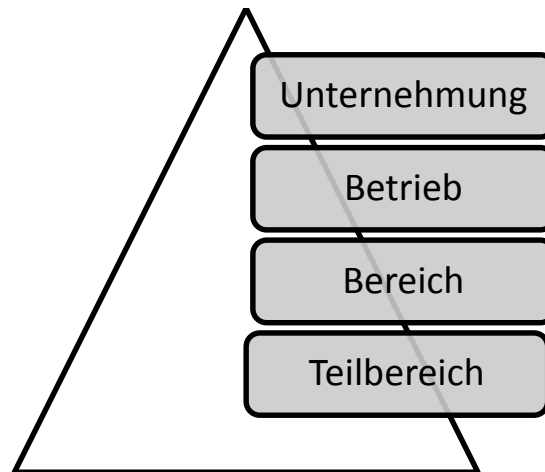


Abbildung 2: Betriebsebenen

Probleme der innerbetrieblichen Layoutplanung können aus folgenden Gründen entstehen (nach Grundig [GÜN05]):

- Neugestaltung einer Produktionsstätte oder Fabrikhalle. Die Produktionssegmente werden hier erstmalig bestimmt und angeordnet.
- Umgestaltung einer Produktionsstätte. Dies ist meist dann der Fall, wenn eine Veränderung des Prozesses stattfindet bzw. wenn eine Veränderung am Markt gefordert wird. Das kann bedeuten, dass ein Produktionsprogramm abgeändert, adaptiert oder einzelne Teile rationalisiert werden.
- Erweiterung eines Prozesses findet durch zusätzlichen Bedarf von Produktionssegmenten statt. Grund dafür kann ein Engpass, bzw. eine erwünschte Absatzsteigerung sein.

Diese drei Punkte sind grafisch in Abbildung 3 dargestellt.

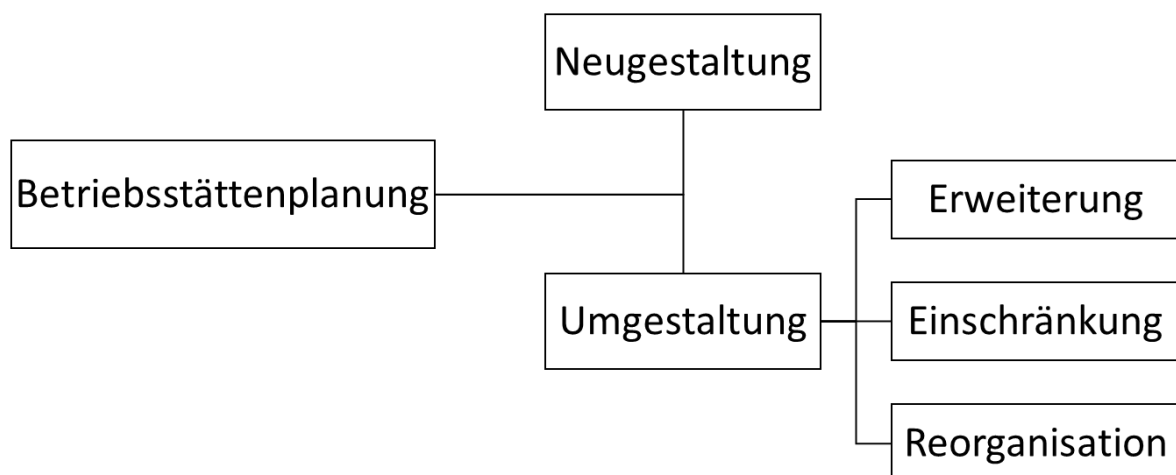


Abbildung 3: Betriebsstättenplanung

In der Layoutplanung stellt sich das Hauptproblem, dass ein möglichst günstiger Standort für die einzelnen Anordnungsobjekte (Maschinen, Bearbeitungszentren,...) gefunden werden soll. Unter einem günstigen Layout versteht man eine Anordnung der gesamten Objekte, unter Minimierung der Transportintensität.

Die Materialflussmatrix beschreibt die produzierten Stückzahlen pro Zeitraum, bei der Transportmatrix werden die geförderten Transporteinheiten (z.B. Kisten, Paletten, etc.) pro Zeitraum beschrieben. Eine sehr häufige Einheit der Transportmatrix ist der „Paletten-Meter pro Zeiteinheit“. In Abbildung 4 ist diese Einheit mit dem Überbegriff „Transportspielzahl pro Jahr“ beschrieben ([GÜN05]; [GRU12]).

Materialflussmatrix (MM)
Produktionsstückzahl pro Jahr

	WE	ZL	TF	M1	M2	M3	WA	Σ
WE		120000	180000					300000
ZL			90000	60000	60000	60000		270000
TF		90000					15000	105000
M1				15000	15000			30000
M2		15000				24000		39000
M3			30000				60000	90000
WA								
Σ		225000	300000	60000	75000	99000	75000	

Transportmatrix (TM)
Transportspielanzahl pro Jahr

	WE	ZL	TF	M1	M2	M3	WA
WE		400	600				
ZL			300	200	200	200	
TF		300					50
M1				50	50		
M2		50				80	
M3			100				200
WA							



- WE Wareneingang
- ZL Zentrallager
- TF Teilefertigung
- M 1,2,3 Montage 1,2,3
- WA Warenausgang

Füllstückzahl Transportbehälter = 150 Stk.
Anzahl Transportbehälter pro Transportspiel = 2

Abbildung 4: Materialflussmatrix – Transportmatrix (nach [GRU12] Abb. 3.22)

Die Transportintensität gibt die Größe des Transportstromes (in einem Zeitraum) an, der zwischen zwei Objekten auftritt [FUC09].

Eine Minimierung der Transportintensität bewirkt eine Verringerung von Transport- und Treibstoffkosten. Transportzeiten und die Transportmittelkapazität werden ebenso reduziert, was auch eine Investitionersparnis zur Folge hat [GÜN05].

Günthner ([GÜN05] S. 84) stellt die Probleme der Layoutplanung wie folgt dar:

- Eine abgegrenzte Fläche (leere Halle, Abteilung, grüne Wiese, etc.) wird betrachtet
- In diesem Bereich soll eine gewisse Anzahl von Anordnungsobjekten platziert werden
- Zwischen den Objekten können Beziehungen bestehen, müssen aber nicht
- Randbedingungen müssen berücksichtigt werden. Z.B. ob die benachbarte Aufstellung zweier Objekte erwünscht ist oder nicht
- Das Layout kann mit Hilfe von Zielen wie Transportentfernungen, Transportkosten, etc. bewertet werden.

„Sind der erzielbare Erlös, das betriebsnotwendige Kapital und alle weiteren Kosten (außer Transportkosten) aller Standortvarianten nahezu gleich und damit von der Standortvariante unabhängig, kann der Standortentscheid durch Ermittlung der außerbetrieblichen Transportkosten gesucht werden. Ausschließlich die außerbetrieblichen Transportkosten sind durch die geografische Lage der Standorte entscheidungsrelevant. Prinzipielles Ziel ist die Minimierung der Transportkostensumme, die sich bei Zugrundelegung aller Transportkosten zwischen Zulieferfluss und Abnehmerfluss zum jeweiligen Standort ergibt. Im Ergebnis ist der Standort optimal, der die minimale Transportkostensumme aufweist.“ ([GRU12] S. 267)

Diese Transportkostenrechnung kann sowohl außerbetrieblich als auch innerbetrieblich in jeder Betriebsebene (siehe Abbildung 2) Anwendung finden.

2.1 Allgemeiner Problemlösungsprozess

Pawellek ([PAW08]) erklärt, dass nicht nur die fachlichen Ressourcen, sondern auch die Rollenverteilung in einem Team von Bedeutung sind. Es ist die Zusammensetzung auch gemäß den diversen Anforderungen, je nach Planungstiefe zu ändern. In der Anfangsphase ist mehr Kreativität gefragt, mit fortschreiten der Planungsphase geht es darum, Ressourcen für die Umsetzung bereit zu stellen und die Umsetzung einzuleiten. Abbildung 5 stellt den allgemeinen Problemlösungsprozess dar und umfasst folgende Schritte:

- Untersuchen der Ausgangssituation (Analyse)
- Erarbeiten von Planungsalternativen
- Treffen der Entscheidung

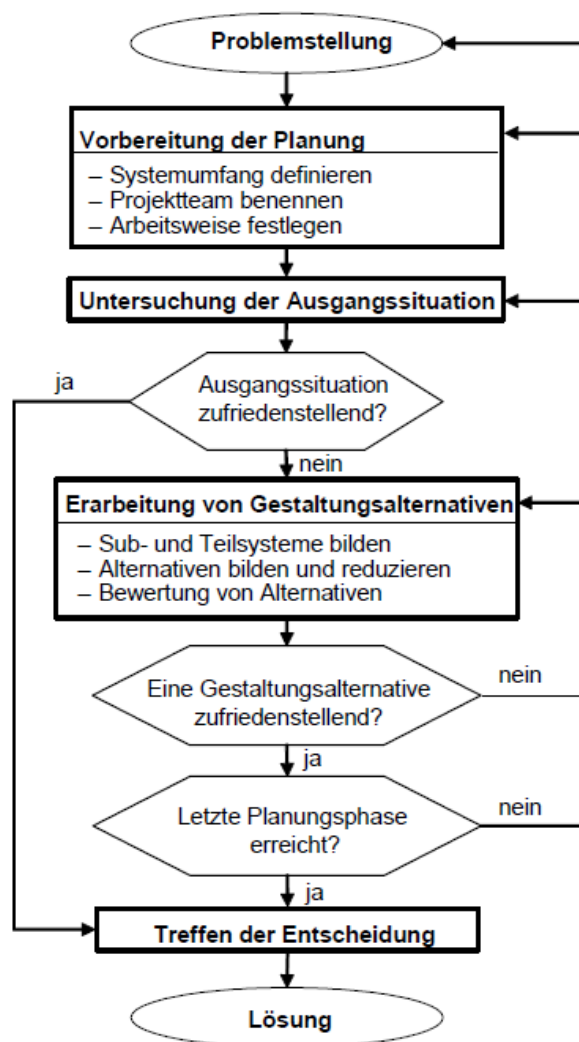


Abbildung 5: Problemlösungsprozess (nach [PAW08] Abb. 2.17)

2.2 Materialflussplanung

Unter Materialfluss nach VDI 3300 ist „die Verkettung aller Vorgänge beim Gewinn, Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von stofflichen Gütern innerhalb festgelegter Bereiche“ zu verstehen. ([PAW08])

Die Materialflussebenen lassen sich nach Heinecker in 4 Stufen (siehe Abbildung 6) gliedern [HEI06]:

1. **Überbetrieblicher Materialfluss:** Dieser beinhaltet den externen Transport zwischen verschiedenen Betriebsstätten oder direkt zum Kunden auf überregionaler Ebene. Er kann durch Bahn, LKW, Luftfracht, etc. erfolgen
2. **Betriebsinterner Materialfluss:** Beschreibt sämtliche Transporte innerhalb des Werksgeländes
3. **Gebäudeinterner Materialfluss:** Beinhaltet alle Transporte innerhalb eines Gebäudes. Aufgrund möglicher Produkt- bzw. Variantenvielfalt kann der gebäudeinterne Materialfluss zur besseren Übersicht nochmals unterteilt werden.
4. **Materialfluss am Arbeitsplatz:** Beschreibt die Beschaffung von Material und Werkzeugen, sowie die Be- und Verarbeitung von Produktionsgütern.

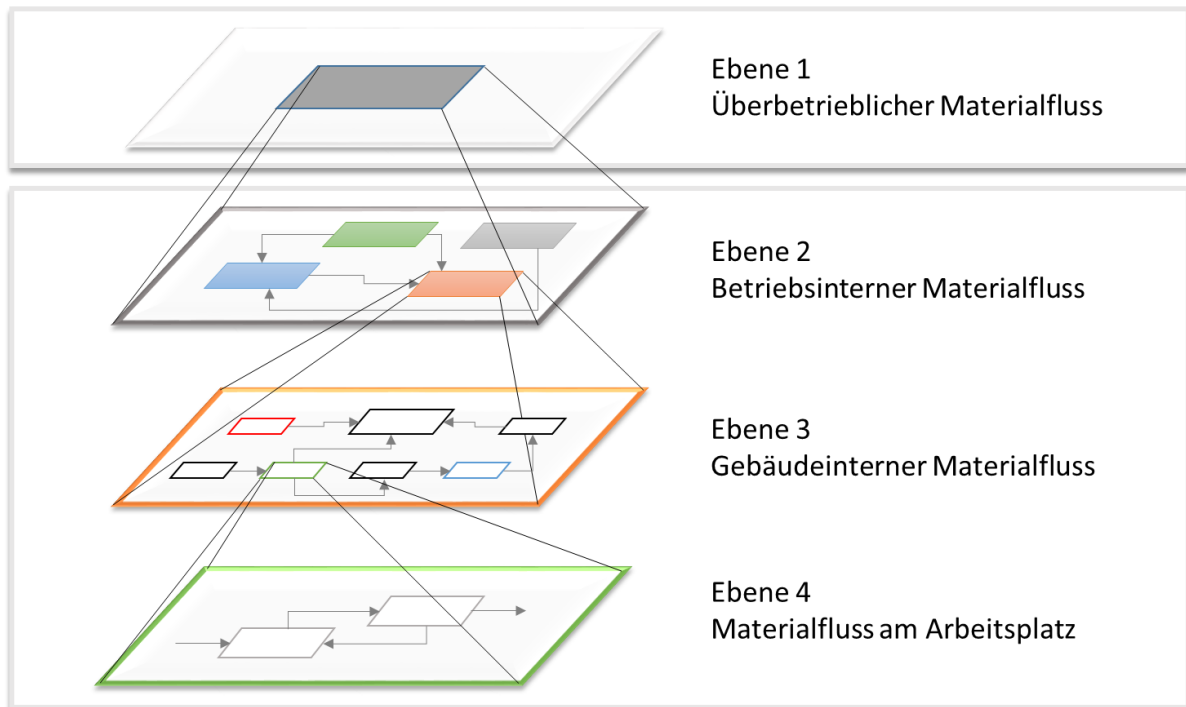


Abbildung 6: Materialflussebenen (Eigene Darstellung nach [HEI06] Abb. 2-7)

Materialflussebene zwei bis vier beschreiben den innerbetrieblichen Materialfluss; dieser wird im Weiteren genauer betrachtet ([HEI06]).

Ablauf der Materialflussplanung:

Je nach Anforderungsprofil, Branche und Unternehmen unterscheidet sich der Ablauf der Materialflussplanung. Es ist zu differenzieren, ob es sich beim Ablauf um eine Neuplanung, Umplanung oder Erweiterungsplanung handelt. Der Größenfaktor eines Planungsprojektes spielt ebenso eine entscheidende Rolle [HEI06].

Prinzipiell lässt sich der Planungsablauf in folgende Abschnitte nach Heinecker gliedern [HEI06]:

- Vorarbeit, Ist-Aufnahme des aktuellen Layouts und der damit Verbundenen Materialflüsse
- Grobplanung und Groblayout des Planungsobjektes
- Feinplanung und realitätsnahes Modell, detaillierte Ausformulierung der Punkte aus der Grobplanung
- Realisierung der Planungsschritte

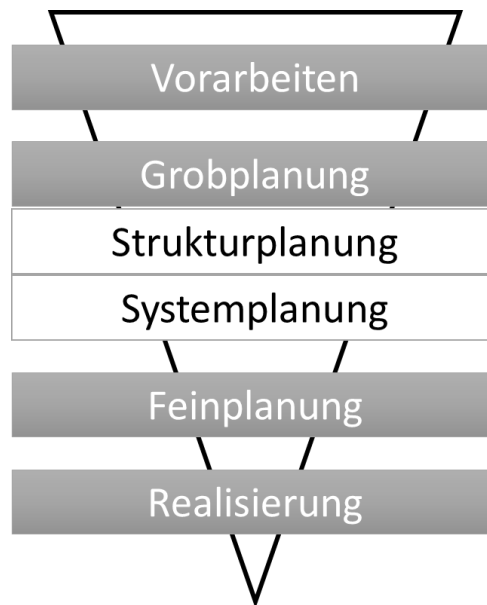


Abbildung 7: Ablauf Materialflussplanung (Eigene Darstellung nach [HEI06], Abb. 3-1)

2.2.1 Vorarbeiten

Eine Materialflussanalyse und im speziellen eine Layoutplanung kommt meist durch eine Veränderung der Umweltbedingungen zu Stande. Diese kann aus neuen Technologien oder vom Markt geforderten Produkten entstehen. Eine Neuplanung von Fabriken oder Teilen davon stellt nur die Ausnahme dar. Gewisse Randbedingungen und ein meist gegebener Anfangszustand beschränken sehr oft die Freiheiten des Planungsablaufs. Der wichtigste Punkt der Vorbereitungsphase ist die Erhebung des Ist-Standes der Material- und Informationsflüsse. Aus dem Ist-Zustand wird der gewünschte Soll-Zustand implementiert, und die damit verbundenen Planungsziele beschrieben. Diese Planungsdaten bilden das Grundgerüst der Grobplanung ([HEI06])

2.2.2 Grobplanung

In der Phase der Grobplanung werden mehrere Varianten und Alternativen betrachtet. Diese Varianten werden auf ihre wirtschaftliche und technische Durchführbarkeit geprüft und einander gegenübergestellt. In dieser Phase werden die wesentlichen Eckpunkte des Layouts und des Materialflusses

festgelegt. Die Grobplanung ist als einen iterativen Prozess zu sehen, bei dem immer wieder neue Varianten erstellt, bewertet, ausgewählt oder verworfen werden. ([HEI06])

2.2.2.1 Strukturplanung

Bei der Strukturplanung werden primär diverse Ablauffolgen, einzelne Arbeitsschritte, Materialflussabläufe und Transportvorgänge festgelegt. Diese Punkte, gekoppelt mit der Layoutplanung, ergeben eine Reihe von Strukturvarianten. Darauf Aufbauend wird die Systemplanung erstellt.

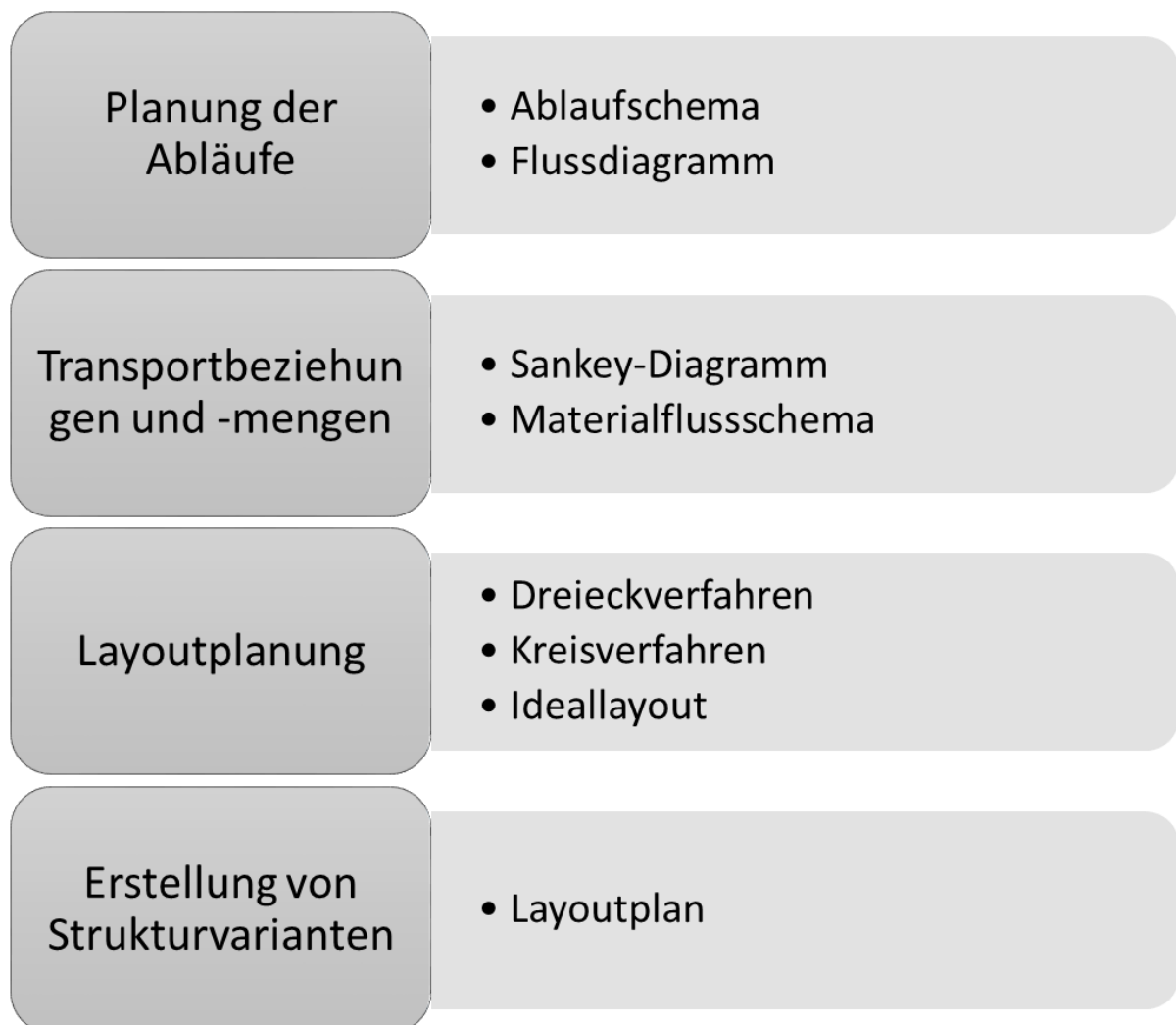


Abbildung 8: Vorgehensweise Strukturplanung (Eigene Darstellung nach [HEI06] Abb. 3-3)

Planen der Abläufe

Auf der Basis bestehender Daten und gewisser Randbedingungen werden die Arbeitsvorgänge bestimmt. Unter Arbeitsvorgänge versteht man alle, zur Erfüllung des Wertschöpfungsprozess notwendigen, Schritte. Das Ergebnis dieser Planungsschritte ist das Ablaufschema mit der Reihenfolge der Prozesse und Arbeitsvorgänge.

Festlegen der Transportbeziehungen und Transportmengen

Die Beziehungen zwischen den einzelnen Arbeitsvorgängen beinhalten auch den Transport von Material. Übliche Einheiten der Transportmengen sind Stück, Gewicht oder Volumen pro Zeit. Man spricht von Transporteinheit/Zeiteinheit. Verknüpft man die transportierte Menge mit dem Funktionsschema, dann erhält man ein Flussbild wie z.B. das Sankey-Diagramm

Layoutplanung

Bei der Layoutplanung soll eine möglichst optimale Zuordnung der Funktionseinheiten gefunden werden, mit einer Minimierung des Transportaufwandes. Dabei werden Bereiche mit hoher Transportintensität nebeneinander angeordnet. Ein heuristisches Beispiel für diese Vorgehensweise ist das Dreieckverfahren, darauf wird genauer in den kommenden Kapiteln eingegangen. Das Prinzip dieses Verfahrens besteht darin, die Bereiche mit der stärksten Transportintensität um einen Kern anzusiedeln und daran weitere Bereiche anzusiedeln. Das gleichseitige Dreieck bietet ein regelmäßiges Raster für die Planung und Erstellung des Layouts. Für den weiteren Planungsvorgang ist die Kenntnis der benötigten Flächen der einzelnen Produktionseinheiten wichtig. Die einzelnen Bereiche der Funktionsschemata müssen anschließend in ein vorhandenes Gebäuderaster zusammengefügt werden. Das Ergebnis stellt dann das reale Layout dar. [HEI06]

2.2.2.2 Systemplanung

Bei der Systemplanung werden die Arbeitsschritte und Materialflussoperationen der erarbeiteten Layout-Variante qualitativ geeignete Materialflussmittel ausgewählt. Es können Vorgänge aufgesplittert oder zusammengefasst werden und ergeben eine Reihe von Systemvarianten. Nach der Überprüfung der Varianten auf Durchführbarkeit und Sinnhaftigkeit findet anschließend die Entscheidung für die endgültige Variante statt. Diese wird in der nachfolgenden Feinplanung und Realisierung verwirklicht und ausgeführt. [HEI06]

Ein Instrument für die Bewertung von verschiedenen Lösungsansätzen ist die Nutzwertanalyse. Diese wird im Laufe dieses Kapitels noch genauer erläutert.

2.2.3 Feinplanung

Im ersten Schritt der Feinplanung werden die bisher erarbeiteten Daten geprüft, aufgearbeitet und wenn nötig auch detailliert damit eine Weiterentwicklung durchgeführt werden kann. Anschließend werden die Finanzierbarkeit und die Anzahl der Realisierungsabschnitte festgelegt. Die erste Planungsstufe wird in Teilbereiche gegliedert und einer verfeinerten System- und Strukturplanung unterzogen. Eine gute Detaillierung der Materialflüsse ist hierbei von Bedeutung, Ausschreibungen können dadurch einfacher erstellt und genauer verfasst werden. Der Abschluss der Feinplanung stellt die Auftragserteilung und Auftragsbestätigung dar.

2.2.4 Realisierung

Bei der Realisierung werden die vergebenen Arbeiten von anderen Firmen durchgeführt, Koordination, Leitung und Überwachung wird vom Projektleiter übernommen. Die Realisierung des Projektes ist im eigentlichen Sinne keine Planung, sondern stellt Koordinierungs-, Überwachungs-, und Prüfarbeiten dar. Nach Abschluss der Arbeiten findet eine Abnahme aller aufgestellten Maschinen und Anlagen, sowie sämtlicher Bauarbeiten statt. Danach folgt die Übergabe an den Auftraggeber, was den Projektabschluss darstellt.

2.3 Methoden der Layoutplanung

Das gesamte Kapitel 2.3 beschreibt unterschiedlichste Layoutplanungsmethoden, deren Anwendungsgebiete und die genaue Vorgehensweise der einzelnen Methoden.

Die nachfolgende Grafik soll einen groben Überblick über einzelne ausgewählte Verfahren und Methoden zur Layoutplanung geben.

Die wesentlichen Methoden der Layoutplanung von Fabriken zählen zum einen die Optimierung der Anordnung von Betriebsmitteln und zum anderen die Ermittlung des zukünftigen Bedarfs an Fertigungs- und Pufferflächen. [GÜN05]

In dieser Arbeit wird auf die Flächenoptimierung nicht weiter eingegangen.

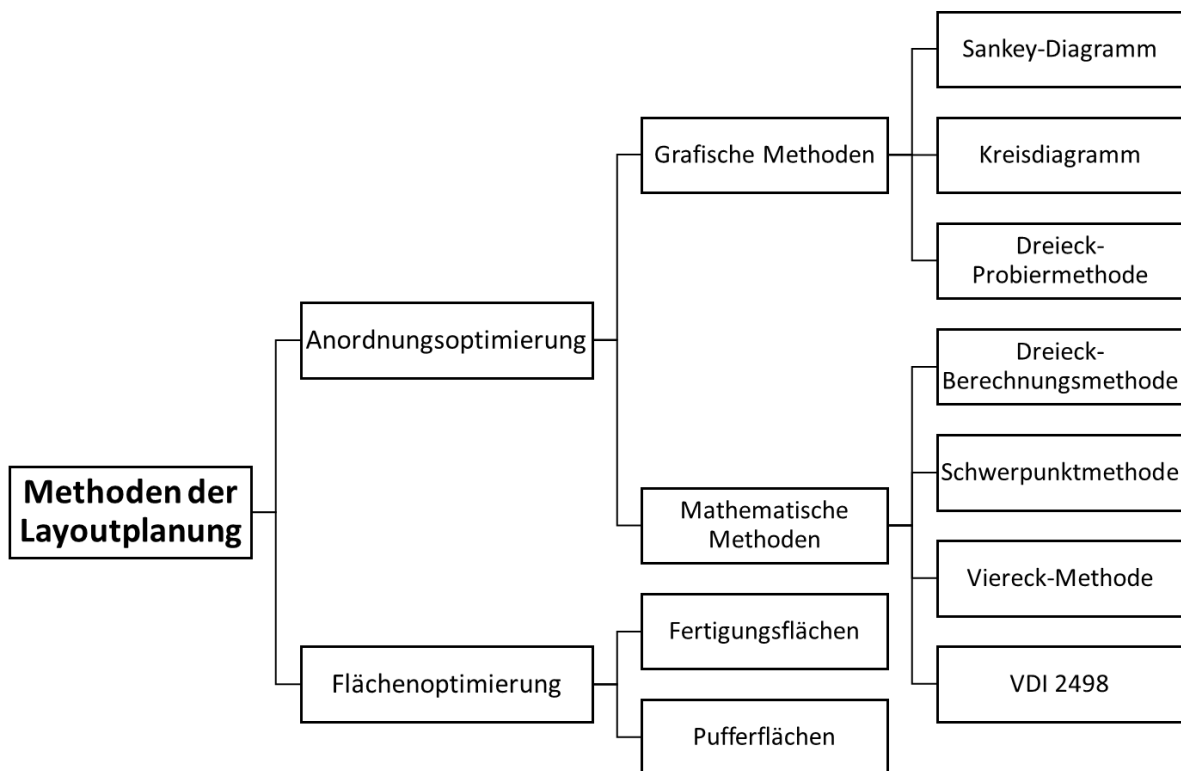


Abbildung 9: Methoden der Layoutplanung (Eigene Darstellung nach [GÜN05] Abb. 4.24)

Die Aufgabe der Strukturplanung ist es, Maschinen, Abteilungen und Gebäude möglichst optimal zueinander anzuordnen. Die Methoden der Layoutplanung können für Neu- oder Erweiterungsplanung sowie bei einer Reorganisation eines Betriebes, oder Teilen davon, verwendet werden. Dabei können grafische und

mathematische Methoden zur Anordnungsoptimierung verwendet werden. Das Ergebnis daraus liefert ein Idealschema als Zwischenschritt zu einem realen Layout. [GÜN05]

Analytische Verfahren

Bei diesen Verfahren werden Berechnungen durchgeführt, mit dem Ziel die Transportleistungsziffer möglichst klein zu halten. [VDI99]

Heuristische Verfahren

Hierbei handelt es sich um einfache analytische Verfahren die eine gute Näherungslösung bieten. Als Beispiel das zeichnerische Dreieck- oder Viereckverfahren. [VDI99]

In den folgenden Punkten sind die einzelnen Methoden dargestellt. Es wird ein Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten der Planung und Durchführung von Layouts gegeben. Ebenso wird auf die Vorgehensweise bzw. Methodik genauer eingegangen und an Beispielen schrittweise erläutert.

2.3.1 VDI 2498 – Vorgehen bei der Materialflussplanung

Der Inhalt dieser Richtlinie entstand unter den Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Es werden die einzelnen Flächen jeder Station bzw. Abteilungen vermessen, die Haupt- und Transportwege werden dabei nicht explizit berücksichtigt. Die Materialflüsse werden durch Matrizen dargestellt, die Bewegungsabläufe werden in die „Von/Nach-Matrix“ übernommen. Oberhalb der Diagonale sind die Bewegungen in Flussrichtung zu sehen, unter der Diagonale sind die Rückflüsse abgebildet. Der Rücklauf kann aus alternierender Arbeitsplanabfolge entstehen aber auch aus Leergut Rücksendungen. Ein optimaler Materialfluss wird dann erreicht, wenn es durch vertauschen von Zeilen und Spalten gelingt, den

Rückfluss unter der Diagonale zu minimieren. Das bedeutet dass die Reihenfolge der Arbeitsstationen oder Abteilungen vertauscht werden.

Es wird jene Abteilung gesucht die am meisten versendet im Verhältnis zu dem was sie erhält. Wenn diese Abteilung gefunden ist, wird sie heraus genommen und der erste Schritt „versenden/empfangen“ mit dem größten Quotienten wird so lange wiederholt bis eine eindeutige Reihenfolge bestimmt ist. Diese Lösung bietet eine Optimierung des Materialverhaltens in Flussrichtung.

Arbeitsschritte:

1. Zeilen- und Spaltensumme bilden
2. Quotienten aus Zeilen- und Spaltensumme je Matrixelement ermitteln ($\frac{\sum \text{Zeilenwert}}{\sum \text{Spaltenwert}} = Q_{ZS}$)
3. Größten Quotienten Q_{ZS-max} suchen
4. Zeile und Spalte mit größtem Quotienten aus der Matrix eliminieren
5. Herausgenommenes Element in eine Liste mit der Abfolge der Abteilungen eintragen

Anschließend wird die Schleife beginnend mit Schritt eins so lange wiederholt bis die Reihenfolge aller Abteilungen festgelegt ist.

Transport nach	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Summe
Transport von	1	2	3	4	5	6	7	8	9	von
A 1		20	45	30	5					100
B 2			20		45	5				70
C 3		5		65						70
D 4		45	5		20	20	5	5		100
E 5						25	20	25		70
F 6							50		25	75
G 7								30	45	75
H 8				5		25			30	60
I 9										0
Summe nach	0	70	70	100	70	75	75	60	100	

Abbildung 10: Materialflussmatrix (nach [VDI08], Tabelle 3)

Die Summe aller Werte oberhalb der Diagonalen: 535 Einheiten

Summe aller Werte unterhalb der Diagonalen: 85 Einheiten

Transport nach	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Summe von
Transport von	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A 1		20	45	30	5					100
B 2			20		45	5				70
C 3		5		65						70
D 4		45	5		20	20	5	5		100
E 5						25	20	25		70
F 6							50		25	75
G 7								30	45	75
H 8				5		25			30	60
I 9										0
Summe nach	0	70	70	100	70	75	75	60	100	
Quotient	unendl.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0	

Abbildung 11: Materialflussmatrix – Quotient (nach [VDI08], Tabelle 5)

Entfernen der Zeile und Spalte A

Transport nach	B	C	D	E	F	G	H	I	Summe von
Transport von	2	3	4	5	6	7	8	9	
B 2		20		45	5				70
C 3	5		65						70
D 4	45	5		20	20	5	5		100
E 5					25	20	25		70
F 6						50		25	75
G 7							30	45	75
H 8			5		25			30	60
I 9									0
Summe nach	50	25	70	65	75	75	60	100	
Quotient	1,4	2,8	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	0	

Abbildung 12: Materialflussmatrix - Schritt 2 (nach [VDI08], Tabelle 12)

Transport nach	A	C	D	B	E	F	G	H	I	Summe von
Transport von	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A 1		45	30	20	5					100
C 2			65	5						70
D 3		5		45	20	20	5	5		100
B 4		20			45	5				70
E 5						25	20	25		70
F 6							50		25	75
G 7								30	45	75
H 8			5			25			30	60
I 9										0
Summe nach	0	70	100	70	70	75	75	60	100	

Abbildung 13: Materialflussmatrix optimiert (nach [VDI08], Tabelle 4)

Die Summe aller Werte oberhalb der Diagonalen: 565

Summe aller Werte unterhalb der Diagonalen: 55

Eine Reorganisation der einzelnen Stationen brachte in diesen konkreten Fall eine Verringerung der Rückflüsse um 30 Einheiten [VDI08].

2.3.2 Sankey-Diagramm

Ein Flussdiagramm in mengenmaßstäblicher Darstellung wird als Sankey-Diagramm (Sankey-DiagrammAbbildung 14) bezeichnet, dies soll die Verflechtung und die quantitativen Verhältnisse des Materialflusses darstellen.[AF09]

Die Definition nach dem Gabler Lexikon für Logistik beschreibt das Sankey-Diagramm als grafische Darstellung von Güterflüssen, wobei die Mengen durch die Breite der Pfeile visualisiert werden. Dies wurde erstmals vom irischen Ingenieur Henry Sankey eingesetzt. [KLA08]

Für einen ersten Entwurf des Materialfluss-Schema wird das Sankey-Diagramm angewendet. Hier werden die Werte einer zweiseitigen Intensitätsmatrix die zwischen einzelnen Abteilungen fließen als Grafik dargestellt [PAW08]. Die Einheit der Transportintensität kann aber unterschiedlich sein. Sie setzt sich aus Menge x Weg zusammen, wobei die Menge auf verschiedene Art angegeben werden kann, wie z.B. Paletten, Kisten, etc. Wenn man sich für eine Art der Mengenangabe entscheidet, muss diese für den ganzen Planungsablauf einheitlich angewendet werden, ein Vermischen der Einheiten würde das Ergebnis verfälschen und unbrauchbar machen.

Die Transportintensitäten werden durch die Breite der Verbindungslinien symbolisiert. Bei diesem Verfahren werden die einzelnen Abteilungen / Elemente durch Probieren und Verschieben so angeordnet, dass es möglichst wenige Überschneidungen der Transportströme gibt. [PAW08]

In diesem Sankey-Diagramm sollen durch Änderung der Betriebsmittelanordnung der Transportaufwand reduziert und der fabrikinterne Materialfluss transparenter und übersichtlicher dargestellt werden. [AF09]

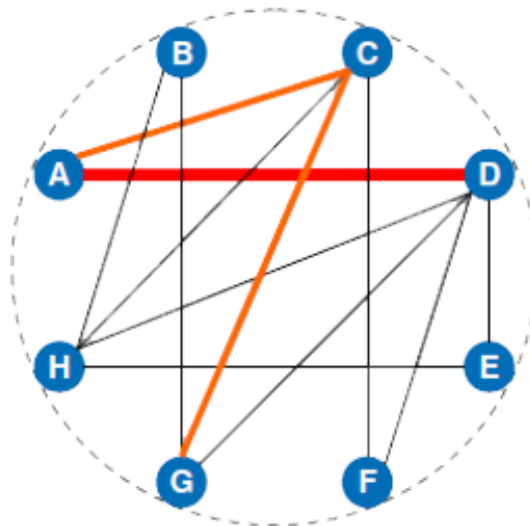


Abbildung 15: Kreisverfahren IST-Zustand (nach [FUC09] S.19)

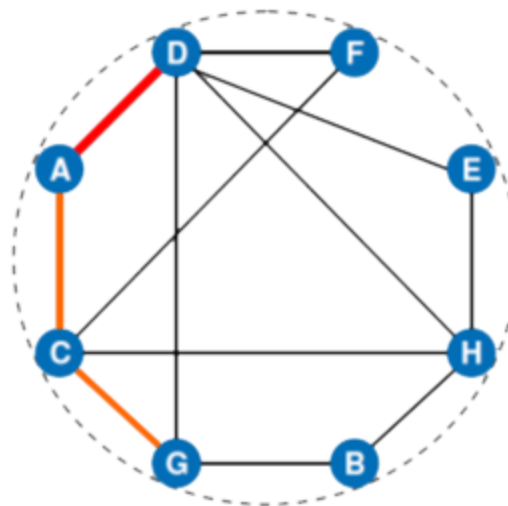


Abbildung 16: Kreisverfahren Soll-Zustand (nach [FUC09] S.19)

Die Linienstärke gilt dabei als Maß für die Transportintensität. Durch die Umgruppierung der Stationen oder Bereiche wird schrittweise eine Anordnung gesucht, bei der transportintensive Objekte möglichst geringen Abstand haben und eng bei einander liegen. Sehr transportintensive Objekte sollen nicht mitten durch den Kreis führen, sondern, wenn möglich, linienförmig tangential auf dem Kreisumfang angeordnet sein. Konventionelle grafische Verfahren wie das Kreisverfahren oder auch das Sankey-Diagramm können ohne algorithmische Berechnung durchgeführt werden, das Ergebnis wird durch wiederholtes probieren erarbeitet. Vereinfacht kann dieses Verfahren auch mit Papier und Bleistift angewendet werden. Weniger komplexe Problemstellungen können sich mit dieser Methode sehr schnell und intuitiv lösen. Steigt jedoch die Anzahl der

Anordnungsobjekte und Stationen, bzw. diese sind mit unterschiedlichen Intensitäten verbunden, steigt natürlich auch die Variantenvielfalt. Dies kann schnell zu einem Verlust der Übersicht führen was auch die manuelle Lösungsfindung an die Grenzen der Möglichkeiten führen. Eine rechnergestützte Umsetzung des Kreisverfahrens ist erstrebenswert, der Vergleich der einzelnen Varianten ermöglicht die Auswahl jener Lösung mit der geringsten Transportintensität.

Die Ergebnisse können durch Deformierung des Grundkreises sehr einfach auf das vorgegebene Layout übertragen werden.

Das Kreisverfahren nach Schwerdtfeger bietet eine alternative zum Dreiecksverfahren nach Schmigalla. [AB09]

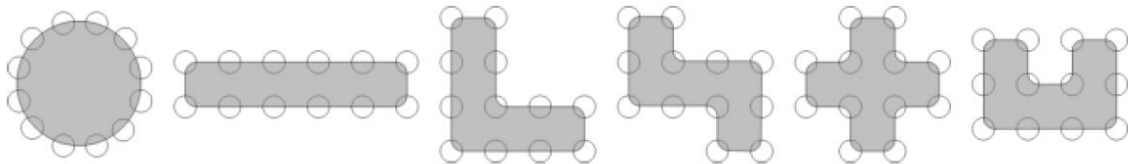


Abbildung 17: Deformierung des Grundkreises (nach [AB09] S. 10)

2.3.4 Dreieck-Probiermethode

Eine weiterführende Methode stellt die Dreieck-Probiermethode nach Schmigalla dar. Dabei wird davon ausgegangen, dass drei Betriebsmittel bzw. Abteilungen, die miteinander korrelieren, dann mit geringstem Transportaufwand zueinander angeordnet sind, wenn sie in einem Dreieck zueinander stehen, (hier BM 1, BM 2 und BM 3). Ein viertes Betriebsmittel BM 4 kann nur zu zwei der drei Betriebsmittel optimal angeordnet werden. Zu diesen dritten Betriebsmitteln (BM 1) entsteht ein zusätzlicher Transportaufwand. Im Gegensatz zu einem Sankey-Diagramm werden nur die Transportintensitäten zwischen den einzelnen Betriebsmitteln berücksichtigt und nicht die Richtungen der Materialströme. [PAW08]

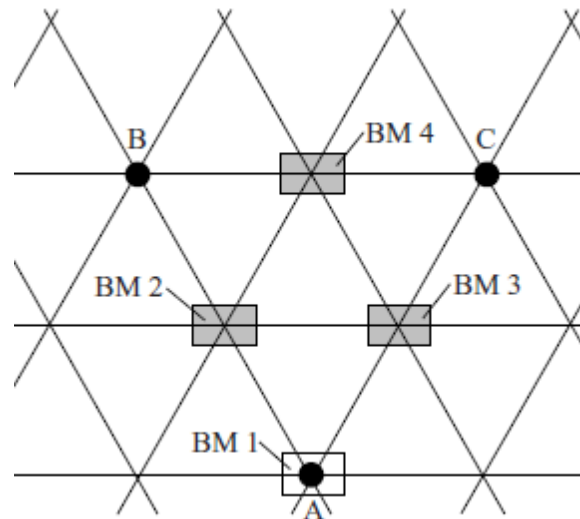


Abbildung 18: Dreiecksraster mit Betriebsmittelanordnung (nach [AF09] Abb. 7.33)

2.3.5 Dreieck-Berechnungsmethode

Diese Methode hat als Grundstruktur ein Raster, das ein Muster mit gleichseitigen Dreiecken aufweist. Die Transportintensitätsmatrix bildet den Grundbaustein für dieses Verfahren. Zuerst werden die ersten beiden Produktionseinheiten mit der höchsten Intensität auf dem Dreiecksraster nebeneinander platziert, den sogenannten Layoutkern. Danach wird die Matrix in absteigender Rangfolge abgearbeitet und um die bestehenden Produktionseinheiten angeordnet [PAW08]. Im rechten oberen Bereich über der blauen Linie sind alle Materialflüsse in Richtung der Wertschöpfung dargestellt, unter dieser Linie sind die Rückflüsse ersichtlich (siehe Tabelle 1). Für die Dreieck-Methode ist die Flussrichtung nicht von Bedeutung, es müssen vor Beginn der Berechnung alle Materialflüsse auf eine Seite der Matrix gebracht werden. Diese Matrix zeigt den Zusammenhang der Materialflüsse, in der linken Spalte sind die Quellen der einzelnen Stationen zu erkennen, in der obersten Zeile werden die Stationen dargestellt, welche die Transporte empfangen. Stationen, zu denen Materialflüsse hingehen, werden in der Fachliteratur auch Senke genannt [HH11].

	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8	Station 9
Station 1		90	170	140		10			
Station 2			90						
Station 3			180	100		40	30		
Station 4							30		
Station 5						90	80	180	
Station 6								110	
Station 7									
Station 8									40
Station 9									

Tabelle 1: Transportintensitätsmatrix (Eigene Darstellung nach [PAW08] Abb. 4.29)

Der in Tabelle 1 dargestellte Transportintensitätsmatrix ist zu entnehmen, dass die größte Intensität, d.h. die die stärkste Materialflussbeziehung zwischen den Stationen „von Station 4 nach Station 3“, bzw. „von Station 8 nach Station 5“ bestimmt wird und eine der beiden Beziehungen für die weitere Berechnung herangezogen wird. Alternativ kann auch noch eine zweite Variante mit dem anderen Transportpaar als Ausgangsbasis erstellt und im Anschluss verglichen werden. Als nächste Station wird nun jene Position gesucht, die zu dem platzierten Paar, in Summe die stärksten Intensitäten aufweist. In diesem konkreten Beispiel ist das die Station mit Nummer eins. Der Platz für diese Station kann nun oberhalb oder unterhalb des Layoutkerns frei gewählt werden, siehe Abbildung 19. Für die Nächste Station ist nun der Platz nicht mehr frei wählbar sondern aus der Summe der maximalen Intensitäten der drei bereits platzierten Betriebsmittel zu bestimmen. Aus der Berechnung ist zu entnehmen, dass das vierte Anordnungselement die Station mit der Nummer 2 ist. [AF09]

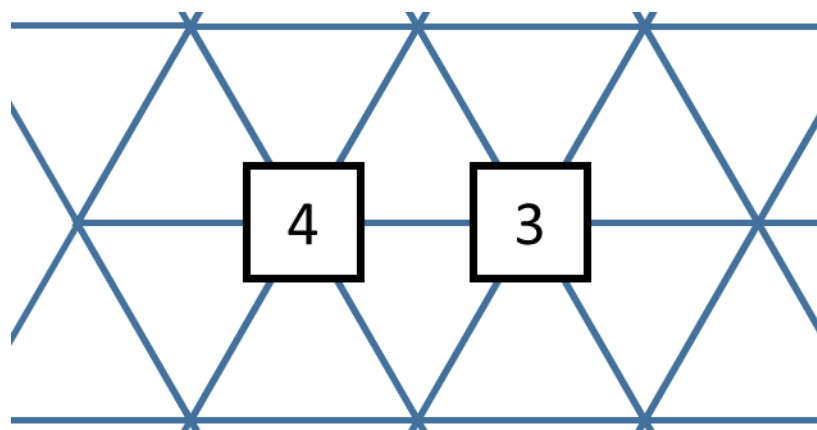


Abbildung 19: Layoutkern

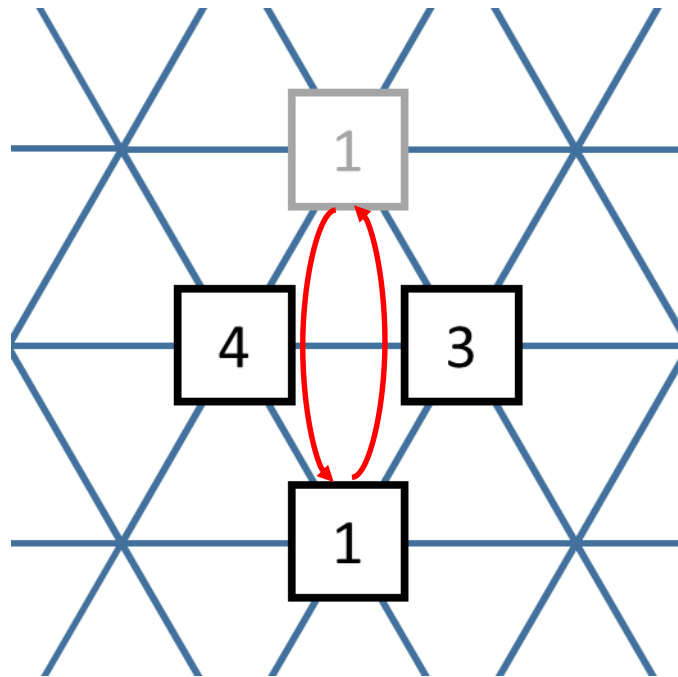


Abbildung 20: Möglichkeit der Anordnung der dritten Station

Durch das Festlegen der Reihenfolge der ersten beiden Stationen müssen alle abhängigen Transporte für die weitere Berechnung berücksichtigt werden. Dies geschieht dadurch, dass die Transporteinheiten in die darunter angeführte Berechnung übertragen werden. Die Berücksichtigung der anderen Stationen ist durch die grünen Pfeile in Tabelle 2 ersichtlich. Ist die Station mit der höchsten Intensität bestimmt, wird diese in der Abfolge als nächstes gereiht. Dieser Schritt wird in Tabelle 3 durch den roten Pfeil dargestellt.

		Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8	Station 9
Station 1			90	170	140		10			
Station 2				90						
Station 3					180	100		40	30	
Station 4								30		
Station 5							90	80	130	
Station 6									110	
Station 7										
Station 8										40
Station 9										
Reihenfolge	Station	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8	Station 9
1	3	170	90		180	100		40	30	
2	4	140						30		
Σ		310	90	0		100	0	70	30	0

Tabelle 2: Reihenfolge Station 3 und 4 festgelegt

Dieser Berechnungsvorgang wird so lange wiederholt bis eine eindeutige Reihenfolge der Stationen bestimmt ist.

		Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8	Station 9
Station 1			90	170	140		10			
Station 2				90						
Station 3					180	100		40	30	
Station 4								30		
Station 5							90	80	180	
Station 6									110	
Station 7										
Station 8										40
Station 9										

Reihenfolge	Station	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8	Station 9
1	3	170	90		180	100		40	30	
2	4		140					30		
Σ		310	90			100		70	30	
3	1		90				10			
Σ			180			100	10	70	30	
4	2					0	0	0	0	
Σ						100	10	70	30	

Tabelle 3: Zwischenschritt und Berechnung

Die abgearbeitete Matrix, und damit die Reihenfolge der Stationen nach der Dreieck-Berechnungsmethode angeordnet, sieht wie folgt aus (Tabelle 4 sowie Abbildung 21 und Abbildung 22).

		Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8	Station 9
Station 1			90	170	140		10			
Station 2				90						
Station 3					180	100		40	30	
Station 4								30		
Station 5							90	80	180	
Station 6									110	
Station 7										
Station 8										40
Station 9										

Reihenfolge	Station	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8	Station 9
1	3	170	90		180	100		40	30	
2	4	140						30		
Σ		310	90			100		70	30	
3	1		90				10			
Σ			180			100	10	70	30	
4	2					0	0	0	0	
Σ						100	10	70	30	
5	5						90	80	180	
Σ							100	150	210	
6	8							110		40
Σ							210	150		40
7	6							0		0
Σ								150		40
8	7									
Σ										40
9	9									

Tabelle 4: Ergebnisse Dreieckverfahren

Das Layout im gleichseitigen Dreiecksraster ist noch realitätsfremd angeordnet, die einzelnen Stationen können ausgehend von ihrer Anordnung ihrer Größe oder anderen Restriktionen angepasst werden. Es ist allerdings nicht anzunehmen, dass die Anfangslösung bereits das Optimum darstellt. Mit zunehmender Anzahl der Betriebsmittel oder Stationen sinkt die Wahrscheinlichkeit, bereits bei der ersten Variante die optimale Lösung zu erhalten. Hier ist wiederum der Einsatz von rechnergestützten Dreiecksverfahren sinnvoll.

Das Dreiecksverfahren gehört zu den klassischen Konstruktionsverfahren der Layoutplanung und ist in der Gruppe der heuristischen Verfahren zu finden [AF09].

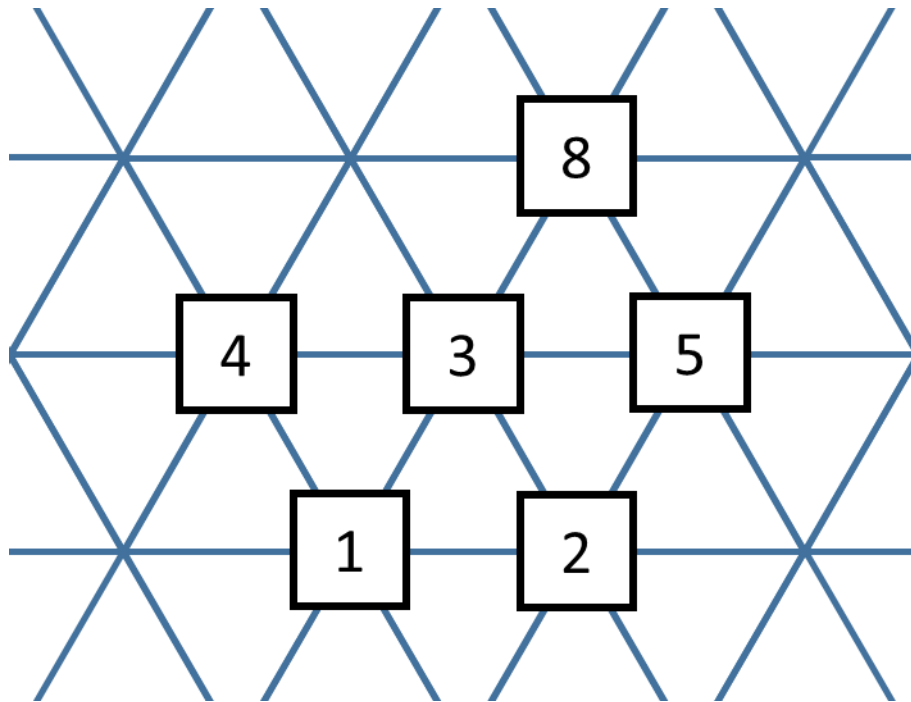


Abbildung 21: Nächster Schritt der Layoutanordnung

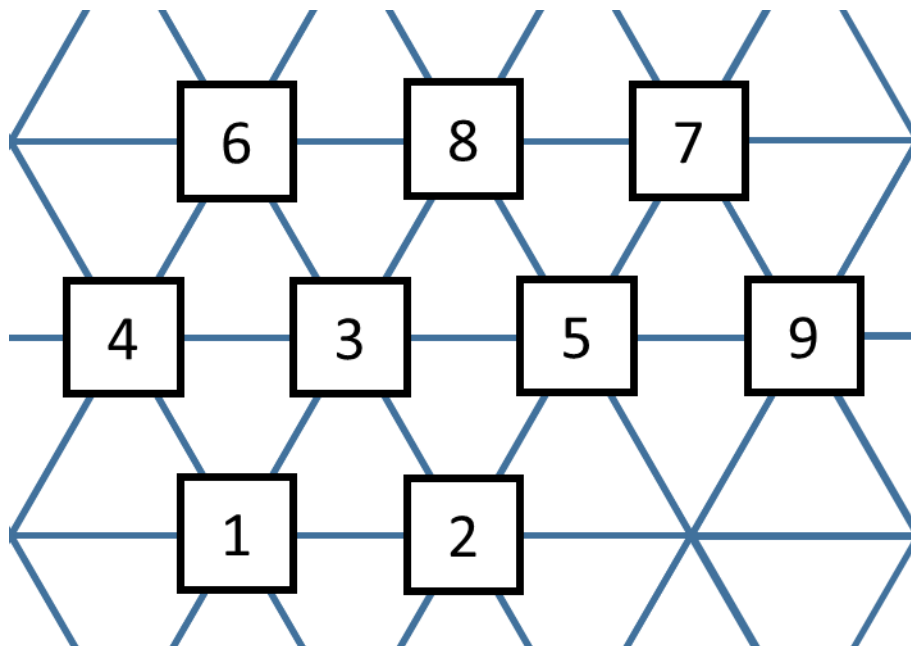


Abbildung 22: Layoutvariante nach dem Dreieck-Berechnungsverfahren

Dieses Verfahren ermöglicht mehrere Lösungen eines Layouts, es ist aber durch die schnelle Variantenbildung überschaubar und bietet einen guten Überblick. Jedoch ist nicht ersichtlich, ob die erarbeitete Variante auch die Ideallösung darstellt [PAW08].

2.3.6 Viereck-Methode

Dieses Verfahren ist der Dreieck-Methode dem vorherigen Kapitel 2.3.5 sehr ähnlich, es wird im ersten Schritt jene beiden Objekte mit der größten Transportintensität gesucht und in einem Viereck-Raster angeordnet. Der Berechnungsvorgang ist bei der Dreieck- und bei der Viereck-Methode ident. In den nächsten Schritten werden jene Objekte oder Abteilungen an den Eckpunkten des Rasters platziert, die die größte Transportintensität zu den bereits festgelegten Objekten aufweisen. Das jeweils gewählte Objekt wird am Umkreis der bereits festgesetzten Objekte, dem sog. Layoutkern, angeordnet. Dieses Verfahren basiert auf den von Bloch 1950 entwickelten, und den von Schmigalla weiterentwickelten Dreiecksverfahren [FUC09]. Abbildung 24 stellt die einzelnen Vorgehensschritte für das Viereckverfahren dar.

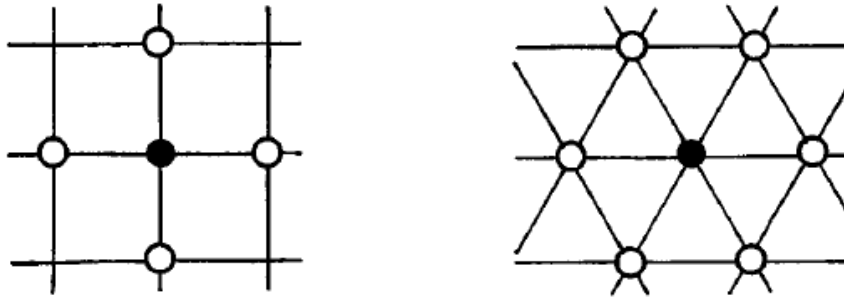


Abbildung 23: Vergleich Dreieck- und Viereckraster (nach [VDI99] Bild 7)

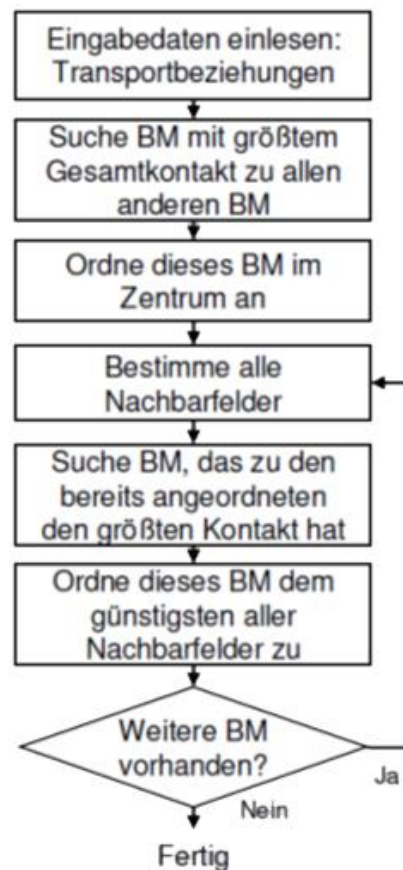


Abbildung 24: Vorgehen Dreieck- und Viereckverfahren (nach [FUC09] S.20)

2.3.7 Schwerpunkt-Methode

Die Schwerpunkt-Methode wird zur Vollständigkeit angeführt, jedoch im praktischen Teil der Diplomarbeit nicht angewendet, da keine Restriktionen in der Aufgabenstellung festgelegt wurden.

Bei der Schwerpunkt-Methode wird der transportoptimale Standort eines Betriebsmittels zu vorhandenen, fest angeordneten Betriebsmittel gesucht. Es wird der optimale Standort als Gesamtschwerpunkt aller Einzelschwerpunkte festgelegt. Dies ist eindimensional, entlang einer Linie, oder auch zweidimensional auf einer aufgespannten Fläche möglich. Ein wichtiger Punkt ist bei dieser Methode, dass gewisse Restriktionen vorhanden sein müssen, was bedeutet, dass einige Betriebsmittel aufgrund von z.B. baulichen Einschränkungen fix an einen Standort gebunden sind [PAW08].

2.3.7.1 Optimale Standortbestimmung auf einer Gerade

Gesucht ist der transportkostenminimale Standort auf einer Geraden, wenn sich zwischen den Endpunkten der Geraden mehr als ein Absatzort und/oder mehr als ein Beschaffungsort befindet. Die Anzahl der Absatz- und Beschaffungsorte sei R .

Problemstellung:

Es ist ein Standort S für einen Betrieb zwischen R Absatz- und Beschaffungsorten auf einer Geraden zu bestimmen, für den die gesamten Transportkosten minimal werden. Zur Lösung des Problems legt man eine Koordinatenachse entlang der Strecke in der Weise, dass der Ort O_1 im Koordinatenursprung liegt.

y_r : gegebene Entfernung des r -ten Absatz- bzw. Beschaffungsortes vom Koordinatenursprung, in Entfernungseinheiten.

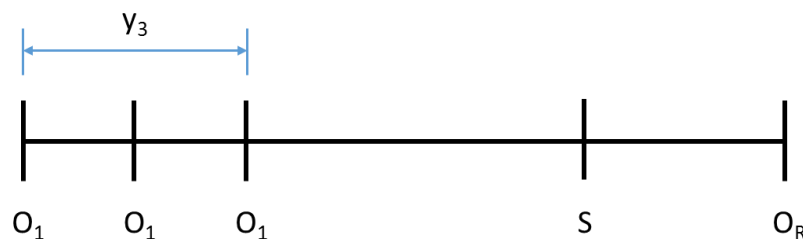


Abbildung 25: Koordinatenachse der Wegstrecke (Eigene Darstellung nach [BET13] Abb. 6)

$$0 = y_1 < y_2 < \dots < y_s < y_r$$

y_s : Zu bestimmende Entfernung des gesuchten Standorts S vom Koordinatenursprung, in Entfernungseinheiten.

Die Kosten je Mengen- und Entfernungseinheit (z.B. je Tonnenkilometer) sollen für alle Produkt- und Produktionsfaktorarten und Absatz-/Beschaffungsorte gleich k sein. Zwischen dem Standort S und einem Ort O_r können sowohl Absatz- als auch Beschaffungsbeziehungen bestehen. Die gesamte, im Planungszeitraum zwischen S und O_r zu transportierende Menge sei mit X_r bezeichnet.

Die Entfernung zwischen einem möglichen Standort S und dem Ort O_r beträgt $|y_s - y_r|$ Längeneinheiten. Die gesamten Transportkosten, die entstehen, wenn der Betrieb am Standort S erreicht wird, betragen

$$K_S = k \cdot \sum_{r=1}^R X_r |y_s - y_r| \quad \text{Formel 1}$$

Da die Einheitstransportkosten linear sind, wird der optimale Standort S^* des Betriebes in einem der R Orte liegen. Derjenige Standort ist nun optimal, für den die gesamten Transportkosten minimal werden:

$$K_{S^*} = \min_{S=1}^R [K_S] = \min_{S=1}^R \left[k \cdot \sum_{r=1}^R X_r \cdot |y_S - y_r| \right] \quad \text{Formel 2}$$

Der optimale Standort S^* ergibt sich, wenn man für $S = 1, 2, \dots, R$ jeweils die Transportkosten K_S berechnet und durch Vergleich der so ermittelten R Werte denjenigen Ort S^* bestimmt, der die geringsten gesamten Transportkosten aufweist.

Diese, in vielen Fällen recht umfangreichen Berechnungen braucht man jedoch nicht durchzuführen, denn es lässt sich zeigen, dass der optimale Standort in jenem Ort liegt, in dem, die vom Koordinatenursprung ausgehend kumulierte Transportmenge, erstmals gleich oder größer der Hälfte der gesamten Transportmenge ist.

Das heißt: Bestimme S^* in der Weise, dass gilt

$$\sum_{r=1}^{S^*-1} X_r < \frac{1}{2} \cdot \sum_{r=1}^R X_r \quad \text{Formel 3}$$

und

$$\sum_{r=1}^{S^*} X_r \geq \frac{1}{2} \cdot \sum_{r=1}^R X_r \quad \text{Formel 4}$$

([DOM96]; in [BET13] S. 32)

2.3.7.2 Optimale Standortbestimmung in der Fläche

Bisher wurde davon ausgegangen, dass der Standort des Betriebes auf einer Geraden zwischen beliebig vielen Absatz- bzw. Beschaffungsorten zu suchen war. Nun wird das Problem auf die Bestimmungen des Standortes zwischen beliebig vielen Orten in der Fläche ausgedehnt.

Hierbei wird zunächst von folgenden Punkten ausgegangen:

- jeder Punkt der Fläche als Standort geeignet ist (Homogenität der Fläche)
- jeder Punkt der Fläche mit jedem anderen Punkt dieser Fläche geradlinig verbunden werden kann (Euklidischer Abstand).

In einem rechtwinkligen (\bar{y}_1/\bar{y}_2) Koordinatensystems lässt sich das Problem folgendermaßen veranschaulichen:

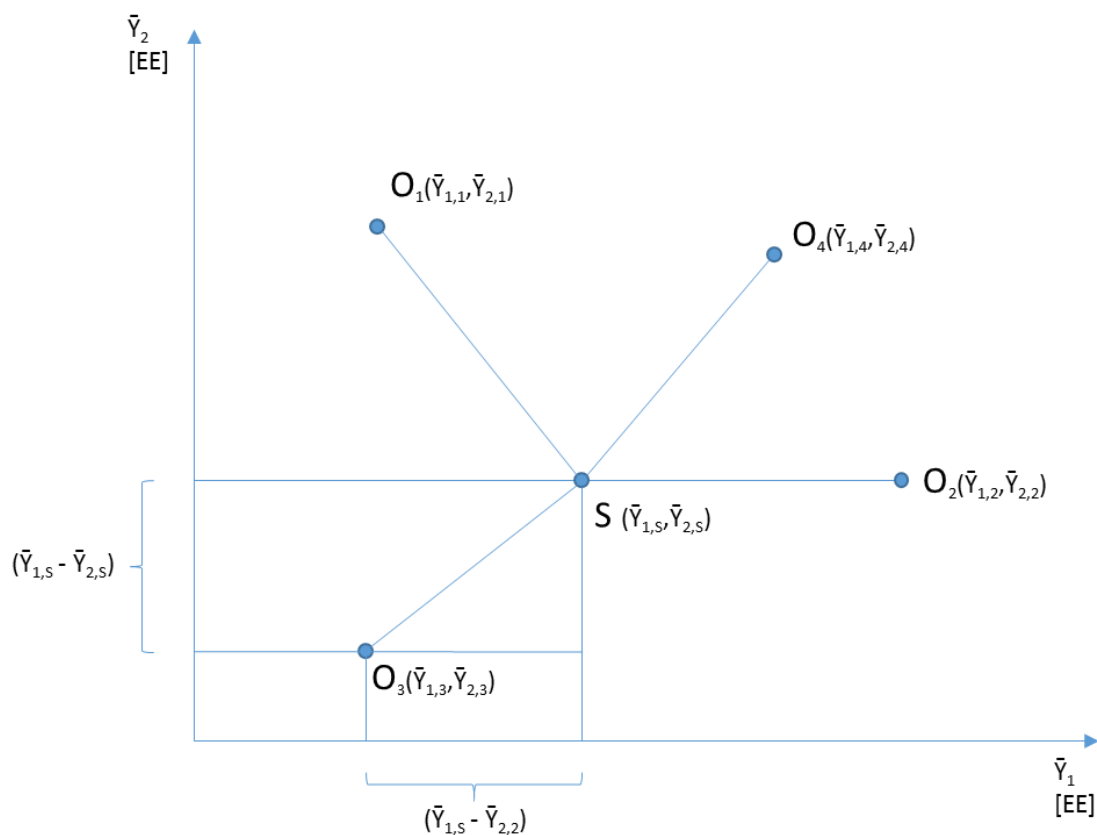


Abbildung 26: Standortwahl in einer homogenen Fläche (Eigene Darstellung nach [BET13] Abb. 7)

$\bar{y}_{1,r}, \bar{y}_{2,r}$ sind gegebene Koordinaten des r-ten Absatz-/Beschaffungsorten, mit $(r = 1(1)R)$

$\bar{y}_{1,S}, \bar{y}_{2,S}$ sind gesuchte Koordinaten des Standorts S des Betriebes

Die Entfernung $y_{r,S}$ zwischen einem potenziellen Standort S und einem r-ten Absatz-/ Beschaffungsort lässt sich durch den Satzes von Pythagoras sehr einfach bestimmen

$$y_{r,S} = \sqrt{(\bar{y}_{1,S} - \bar{y}_{1,r})^2 + (\bar{y}_{2,S} - \bar{y}_{2,r})^2} \quad \text{Formel 5}$$

Bezeichnet man wie im vorhergehenden Abschnitt die insgesamt zwischen dem r-ten Absatz-/Beschaffungsort und dem Standort S zu transportierende Menge mit X_r und geht man weiterhin von linearen Einheitstransportkosten k je Produktionseinheit und Entfernungseinheit aus, die außerdem unabhängig von der Art der zu transportierende Produkte bzw. Produktionsfaktoren sind, so betragen für einen ausgewählten Standort S die gesamten, im Planungszeitraum anfallenden Transportkosten

$$K_S = k \cdot \sum_{r=1}^R X_r \cdot y_{r,S} = k \cdot \sum_{r=1}^R X_r \cdot \sqrt{(\bar{y}_{1,S} - \bar{y}_{1,r})^2 + (\bar{y}_{2,S} - \bar{y}_{2,r})^2} \quad \text{Formel 6}$$

2.3.8 Quadratisches Zuordnungsverfahren

Vielfach wird der Layoutplanung allein die Zielsetzung „Minimierung der Transportkosten“ zugrunde gelegt und davon ausgegangen, dass für die anzuordnenden Elemente endlich viele geografisch festgelegte Standorte gegeben sind. Aus diesen Standorten sind der Zahl der anzuordnenden Elemente entsprechend viel Standorte auszuwählen, und die Elemente sind diesen Standorten in der Weise zuzuordnen, dass die durch die Transportbeziehungen zwischen den Elementen verursachten Transportkosten einer Periode minimal werden.

Die hierzu formulierten Modelle sind sehr unterschiedlich. Folgende Prämissen werden jedoch allen im Folgenden dargestellten Modellen zugrunde gelegt:

1. Produktions- und Absatzprogramm sind gegeben und werden durch die Layoutplanung nicht beeinflusst.
2. Die Reihenfolge der Arbeitsgänge ist für jede zu fertigende Produktart bekannt.
3. Es gibt eine endliche Zahl M von anzuordnenden Elementen.
4. Es gibt eine endliche Zahl S von möglichen Standorten.
5. Die Transportwege, die die S mögliche Standorte verbinden, sind gegeben.
6. Die Transportmittel sind gegeben.
7. Die Transportkosten sind proportional zur Transportmenge und – Entfernung.

Aufgrund der Prämissen 1, 2 und 3 lassen sich die zwischen zwei Elementen l und m zu transportierenden Mengen $X_{l,m}$ berechnen.

Aufgrund Prämisse 5 lässt sich die Entfernung zwischen zwei potenziellen Standorten r und s bestimmen mit $y_{r,s}$. Dabei gilt: $r,s \in \{1, 2, \dots, S\}$.

Hierbei ist es unerheblich, ob die Entfernung euklidisch oder rechtwinklig zu messen ist. Aus Prämisse 7 folgen konstante Einheitstransportkosten k je Transportmengen- und Entfernungseinheit.

Die dargestellte Problemstruktur lässt sich mathematisch als so genanntes quadratisches Zuordnungsproblem formulieren.

([GÜN05] S84)

Quadratisches Zuordnungsproblem bei gleichem Platzbedarf der anzuordnenden Elemente

Meist sind folgende Daten bekannt:

$y_{r,s}$ Entfernung zwischen dem Standort r und dem Standort s

$(r, s \in \{1, 2, \dots, S\})$

$X_{l,m}$ Vom Element l zum Element m zu transportierende Menge

$(l, m \in \{1, 2, \dots, M\})$

k Einheitstransportkosten

Gesucht sind:

$\omega_{m,s}$ Zuordnungsvariable [-] ($m \in \{1,2,\dots,M\}$; $s \in \{1,2,\dots,S\}$), wobei

$$\omega_{m,s} = \begin{cases} 1, & \text{falls Element } m \text{ dem Standort } s \text{ zugeordnet wird,} \\ 0, & \text{immer wenn Element } m \text{ keinen Standort zugewiesen wird} \end{cases}$$

Nur wenn Element l dem Standort r oder s und gleichzeitig Element m dem Standort s oder r zugeordnet wird, ist die Entfernung $y_{r,s}$ bzw. $y_{s,r}$ entscheidungsrelevant, da nur in diesem Fall die Menge $X_{l,m}$ von r nach s bzw. die Menge $X_{m,l}$ von s nach r transportiert werden muss.

Dieser Sachverhalt kann durch eine multiplikative Verknüpfung der Binärvariablen $w_{l,r}$ und $w_{m,s}$ isomorph erfasst werden. Die Entfernung $y_{r,s}$ und die über $y_{r,s}$ zu transportierende Menge $X_{l,m}$ sind miteinander zu multiplizieren, wenn das Produktionssystem l dem Standort r und das Produktionssystem m dem Standort s zugeordnet ist, d.h.:

$$X_{l,m} \cdot y_{r,s} \cdot w_{l,r} \cdot w_{m,s}$$

wobei das Produkt

$$w_{l,r} \cdot w_{m,s} = 1$$

ist. Die zugehörigen Transportkosten betragen

$$k \cdot X_{l,m} \cdot y_{r,s} \cdot w_{l,r} \cdot w_{m,s}$$

Im Rahmen des Modells muss sichergestellt werden, dass jedem anzuordnenden Element m genau ein Standort $s \in \{1,2,\dots,S\}$ zugeordnet wird. Das ist nur zu realisieren, wenn $S \geq M$ ist, d.h. wenn die Zahl der vorhandenen Standorte mindestens so groß wie die Zahl der anzuordnenden Elemente ist.

Die Gleichungen

$$\sum_{s=1}^S w_{m,s} = 1 \quad (m = 1(1)M) \quad \text{Formel 7}$$

garantieren, dass Element m genau einem Standort zugewiesen wird. Da $w_{m,s}$ nur die Werte 0 und 1 annehmen kann, kann auf der linken Seite jeder Gleichung nur jeweils eine Variable einen positiven Wert aufweisen.

Andererseits muss sichergestellt werden, dass jedem Standort s maximal ein Element zugeordnet wird, Das wird erreicht, indem für jeden Standort s die Ungleichung

$$\sum_{m=1}^M w_{m,s} \leq 1 \quad (s = 1(1)S) \quad \text{Formel 8}$$

erfüllt sein muss.

Ist $M < S$, wird es $S - M$ Standorte geben, denen in der optimalen Lösung kein Element zugeordnet wurde. Die linke Seite der Ungleichung ist dann für diese Standorte gleich Null.

Ist $M = S$, so wird in einer zulässigen Lösung jedem Standort genau ein Element zugeordnet.

In diesem Fall gilt das Gleichungssystem

$$\sum_{m=1}^M w_{m,s} = 1 \quad (s = 1(1)S) \quad \text{Formel 9}$$

Quadratische Zuordnungsprobleme mit $M = S$ werden in der Literatur als *Koopmans-Beckmann-Probleme* bezeichnet, da *Koopmans* und *Beckmann* 1957 derartige Probleme erstmals beschrieben und untersucht haben.

Auf der Grundlage dieser Vorüberlegungen lässt sich das quadratische Zuordnungsproblem formulieren.

$$\min K = \sum_{l=1}^M \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^S \sum_{s=1}^S k \cdot X_{l,m} \cdot y_{r,s} \cdot w_{l,r} \cdot w_{m,s} \quad \text{Formel 10}$$

unter den Nebenbedingungen

$$\sum_{s=1}^S w_{m,s} = 1 \quad (m=1(1)M) \quad \text{Formel 11}$$

$$\sum_{m=1}^M w_{m,s} \leq 1 \quad (s=1(1)S) \quad \text{Formel 12}$$

$$w_{m,s} \in \{0,1\} \quad (m=1(1)M; s=1(1)S) \quad \text{Formel 13}$$

Durch Variation der Annahmen lassen sich Modifikationen dieses Modells formulieren, die es erlauben, die jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ausreichend genau abzubilden.

So lässt sich beispielsweise die Tatsache, dass einige Elemente bereits angeordnet sind, durch Modifikation der Zielfunktion unter Beibehaltung der Nebenbedingungen erfassen. Die Zahl der bereits angeordneten Elemente kann hierbei zwischen 1 und $M-1$ liegen.

Weiter lassen sich auch nichtlineare Kostenverläufe durch entsprechende Formulierung der Zielfunktion berücksichtigen.

([GÜN05])

Dieses Verfahren ist der Vollständigkeit halber zu erwähnen, wird aber in dieser Arbeit nicht weiterführend behandelt.

2.3.9 Zweieraustauschverfahren

Hierbei handelt es sich um ein Verbesserungsverfahren, das von einer Anfangslösung ausgeht und diese dann durch ein heuristisches Verfahren zu verbessern sucht.

Im Rahmen des Zweieraustauschverfahrens sind die folgenden Schritte zu durchlaufen:

1. Schritt: Bestimme für alle Elementpaare (l, m) diejenige Transportkostenveränderung $\Delta K_{l,m}$ die sich ergibt, wenn die Elemente l und m ihren jeweiligen Standort austauschen.

2. Schritt: Ermittle dasjenige Elementpaar (l^*, m^*) , für das die zugehörige Transportkostenreduzierung am höchsten ausfällt. Wenn durch Standortvertauschungen keine Transportkostenreduzierungen möglich sind, ist das Verfahren beendet.

3. Schritt: Führe den Austausch der beiden Elemente l^* und m^* durch.

4. Schritt: Beginne wieder mit dem 1. Schritt.

Die mittels des Zweieraustauschverfahrens gefundene Lösung kann als „zulässige, gute“ Lösung eingestuft werden. Wie bei jeder Heuristik kann jedoch nicht gewährleistet werden, dass es sich bei dieser Lösung um das Optimum handelt.

([GÜN05])

2.3.10 CRAFT-Verfahren

Dieses Kapitel 2.3.10 beschreibt die Vorgehensweise des CRAFT-Verfahrens nach Betz und Grundig ([BET13]; [GRU12]; [AF09]; [SCH11]).

Die meisten, zur Lösung von Layoutproblemen entwickelten heuristischen Algorithmen sind so genannte Verbesserungsverfahren. Sie gehen von einer Lösung aus und versuchen, diese Lösung durch systematische Vertauschung von Zuordnungen zu verbessern. Die meisten dieser Verfahren unterstellen für alle Elemente den gleichen Platzbedarf.

Eine der wenigen Ausnahmen bildet ein Verfahren, das aufgrund seiner Effizienz eine relativ große praktische Bedeutung erlangt hat. Es ist das von *Bufa/Armour/Vollmann* entwickelte Verfahren CRAFT. CRAFT ist die Abkürzung von „Computerized Relative Allocation of Facilities Technique“. In den vergangenen Jahren ist das Verfahren ständig weiterentwickelt worden [SCH11].

Um das Verfahren CRAFT für den Austausch von Elementen mit ungleichem Platzbedarf nutzen zu können, sind Standortfläche und Flächenbedarf der Elemente in gleich große quadratische Flächeneinheiten zu unterteilen. Dieses Rasternetz wird über die gegebene Ausgangslösung gelegt. Eine in den Einheitsflächen (Rastereinheiten) beschriebene Lösung wird als normierte Lösung bezeichnet. Der Platzbedarf eines angeordneten Elementes wird ebenfalls in Anzahl Rastereinheiten gemessen. Für das Austauschverfahren wird unterstellt, dass die Elemente flächenmäßig beliebig im Raster angeordnet werden können, solange die Flächeneinheiten zusammenhängend sind. Zusammenhängend ist eine Fläche genau dann, wenn jeweils mindestens eine Rastereinheit mit einer anderen Rastereinheit der gleichen Fläche eine gemeinsame Seite hat. Stoßen sie nur in einer Ecke aufeinander, sind sie nicht zusammenhängend.

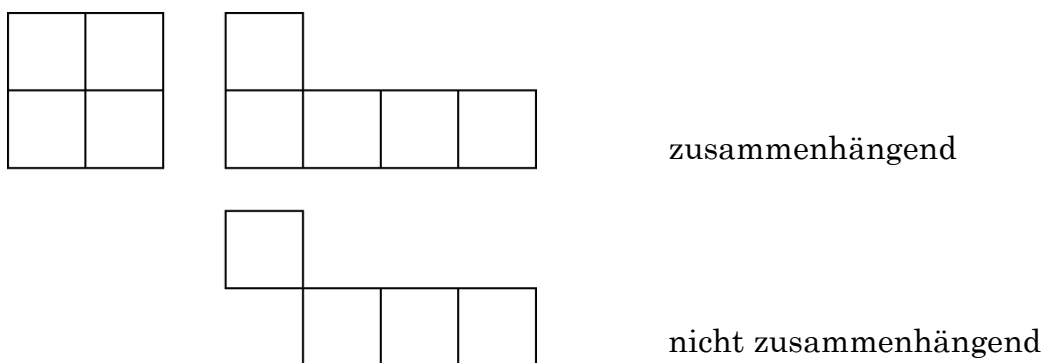


Abbildung 27: Rastereinheiten

1. Schritt: Bestimme alle Elemente, die für einen Austausch in Betracht kommen. Ausgetauscht werden können Paare von Elementen, die

- a. Nicht aufgrund von Produktionsbedingungen einen bestimmten Standort zugeordnet bleiben müssen und
- b. für deren Grundflächen in der zu verbessernden Lösung gilt:
 - Die Grundflächen sind in Rastereinheiten gemessen gleich groß, oder
 - die Standortflächen der beiden betrachteten Elemente haben eine gemeinsame Seite von mindestens einer Rastereinheit, oder

- die Standortflächen der beiden betrachteten Elemente weisen mit der Standortfläche eines dritten Elements jede für sich eine gemeinsame Seite von mindestens einer Rastereinheit auf.

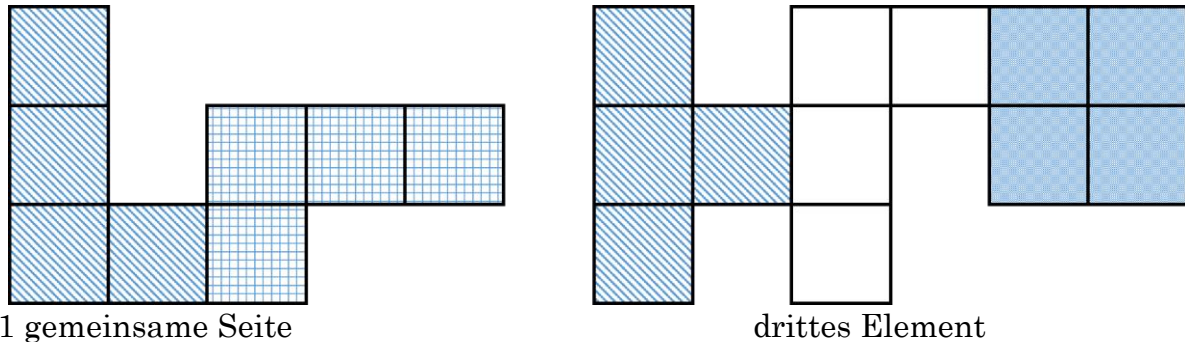


Abbildung 28: Austausch von Elementpaaren (Eigene Darstellung nach [BET13] Abb. 10)

2. Schritt: Bestimme für jedes austauschbare Element den Mittelpunkt und die rechtwinklige Entfernung von Mittelpunkt zu Mittelpunkt der für einen Austausch vorgesehenen Elementpaare.

3. Schritt: Errechne die gesamten Transportkosten, die aufgrund der Ausgangslösung entstehen, wenn die Distanz zwischen den Elementen durch die rechtwinklige Entfernung zwischen den jeweiligen Mittelpunkten der Elemente gemessen wird.

4. Schritt: Bestimme die Änderung der gesamten Transportkosten, die schätzungsweise zu erreichen ist, wenn zwei paarweise austauschbare Elemente ihre Standorte tauschen.

Für die Berechnung der Höhe der Kostenänderung wird unterstellt, dass die Mittelpunkte der Elemente ausgetauscht werden. In der Regel trifft das jedoch nur für den Tausch von Elementen mit gleich großer Standortfläche zu. Für verschieden große Elemente wird im Allgemeinen der neu zu berechnende Mittelpunkt des vertauschten Elements vom Mittelpunkt des vorher auf dieser Standortfläche angeordneten Elements abweichen. Daher wird die in der angegebenen Weise berechnete Transportkostenänderung nur eine

Näherungslösung sein. Eventuelle Abweichungen werden jedoch im dritten Schritt der nächsten Iteration korrigiert.

5. Schritt: Prüfe, ob es mindestens zwei Elemente gibt, deren Tausch zu einer Reduzierung der Transportkosten führt. Gibt es kein Paar, das diese Bedingung erfüllt so ist mit CRAFT keine bessere Lösung als die aktuelle Ausgangslösung zu finden. Beende die Suche, und klassifiziere die letzte Ausgangslösung als beste gefundene Lösung.

Gibt es mindestens eine Austauschmöglichkeit, die zu geringeren Transportkosten führt, so wähle aus allen Elementepaaren, deren Vertauschung eine Verringerung der gesamten Transportkosten ermöglicht, dasjenige Paar aus, dessen Tausch zur größten Verringerung der Transportkosten führen würde.

6. Schritt: Vertausche die beiden im fünften Schritt ausgewählten Elemente.

Die Vertauschung ist in Abhängigkeit von der Größe und der Nachbarschaft der beiden Elemente durchzuführen:

- Elemente mit gleichem Platzbedarf werden einfach ausgetauscht.
- Elemente, die ungleich groß sind, aber eine gemeinsame Seite haben, werden in der Weise getauscht, dass das Element mit dem kleineren Platzbedarf auf denjenigen Rastereinheiten des größeren Elements angeordnet wird, die am weitesten vom alten Mittelpunkt des kleineren Elements entfernt liegen. Auf den dadurch frei werdenden Rastereinheiten des alten Standorts des kleineren Elements werden die verdrängten Flächeneinheiten des größeren Elements angeordnet.

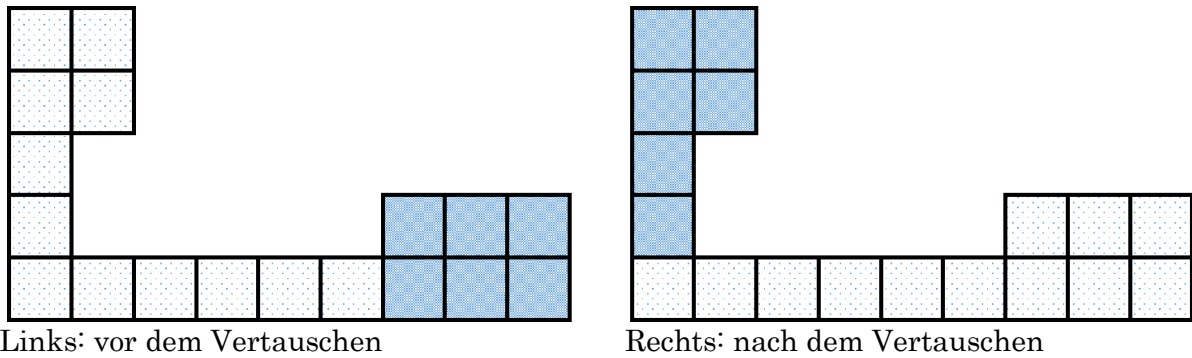


Abbildung 29: Austausch eines Paares mit unterschiedlichen Platzbedarf (Eigene Darstellung nach [BET13] Abb.11)

- Bei Elementen, die vertauscht werden können, weil sie jeweils eine gemeinsame Seite mit einem dritten angeordneten Element besitzen, wird ein Dreiflächentausch vorgenommen.
- Zunächst werden die beiden zu tauschenden Elemente wie im vorhergehenden Fall dargestellt auf die zusammenhängenden Flächen aller drei Elemente angeordnet. Die hierbei verdrängten Flächeneinheiten des dritten Elements werden auf den freigewordenen Flächeneinheiten angeordnet.

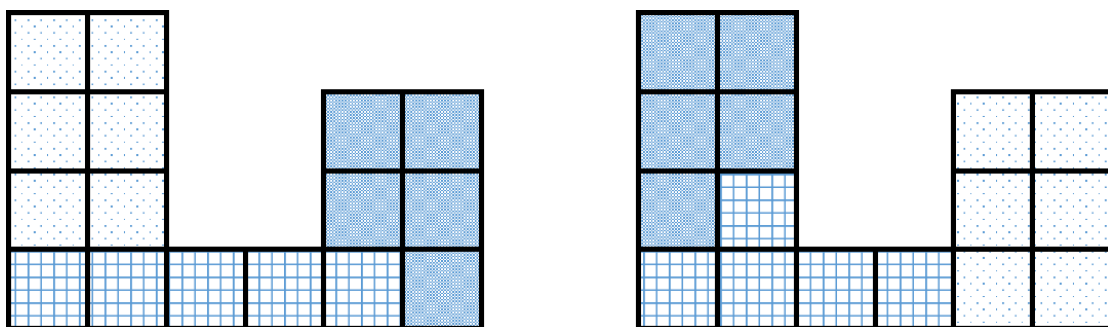


Abbildung 30: Bsp. Dreiflächentauch (Eigene Darstellung nach [BET13] Abb. 12)

Nach dem Austausch der beiden Elemente beginnt man wieder mit dem 1. Schritt, wobei das durch die Vertauschung entstandene Layout die neue normierte Ausgangslösung darstellt.

Beurteilung des Verfahrens nach Betz [BET13]:

- (1) Mit CRAFT lassen sich Layoutprobleme mit bis zu 40 anzuordnenden Elementen lösen.
- (2) Die Güte der besten zu findenden Lösung ist relativ stark von der Güte der Ausgangslösung abhängig.
- (3) Durch die Vertauschungen können sich erhebliche Umrissveränderungen für die Standortflächen der vertauschten Elemente ergeben, die zu in der Realität unzulässigen Lösungen führen.

Um die in den Punkten (2) und (3) angesprochenen Probleme in ihrer Wirkung abzuschwächen, sind verschiedene Modifikationen des Verfahrens vorgeschlagen worden. So können mit verschiedenen Eröffnungsverfahren unterschiedliche Ausgangslösungen erzeugt werden, deren Verbesserung mit CRAFT versucht wird. Bei der Auswahl der vertauschbaren Elemente können bereits Anforderungen an die Standortgrundrisse berücksichtigt werden. Sich ergebende unzulässige Standortgrundrisse können mit möglichst wenigen Veränderungen den Anforderungen angepasst werden.

Insgesamt ist festzuhalten, dass sich CRAFT im Vergleich mit anderen Verfahren in vielen Untersuchungen als sehr effizientes heuristisches Verfahren erwiesen hat.

2.4 Nutzwertanalyse

Um die in Kapitel 2.3 erarbeiteten Methoden miteinander vergleichen zu können, wird nachfolgend die Nutzwertanalyse erklärt. Mit diesem Modell kann eine subjektive Aussage über die einzelnen Varianten getroffen werden und eine Hilfestellung bei der Entscheidungsfindung bieten.

Die Nutzwertanalyse (Synonyme: Punktbewertungsmodell bzw. Scoring-Modell) ist ein Verfahren zur Bewertung von mehreren Kriterien, diversen Varianten oder Modellen und kann in den verschiedensten Bereichen angewendet werden. Dieses Bewertungsverfahren beinhaltet eine Mehrzahl von qualitativen Kriterien, die durch eine subjektive Einschätzung von Experten bzw. geschulten Fachpersonal

quantifiziert und so miteinander verglichen werden kann. Es ist auch noch darauf zu achten, dass die Kriterien hinsichtlich des Gesamtzieles, unabhängig voneinander zu wählen sind, wodurch Mehrfachbewertungen vermieden werden. [SCH11]

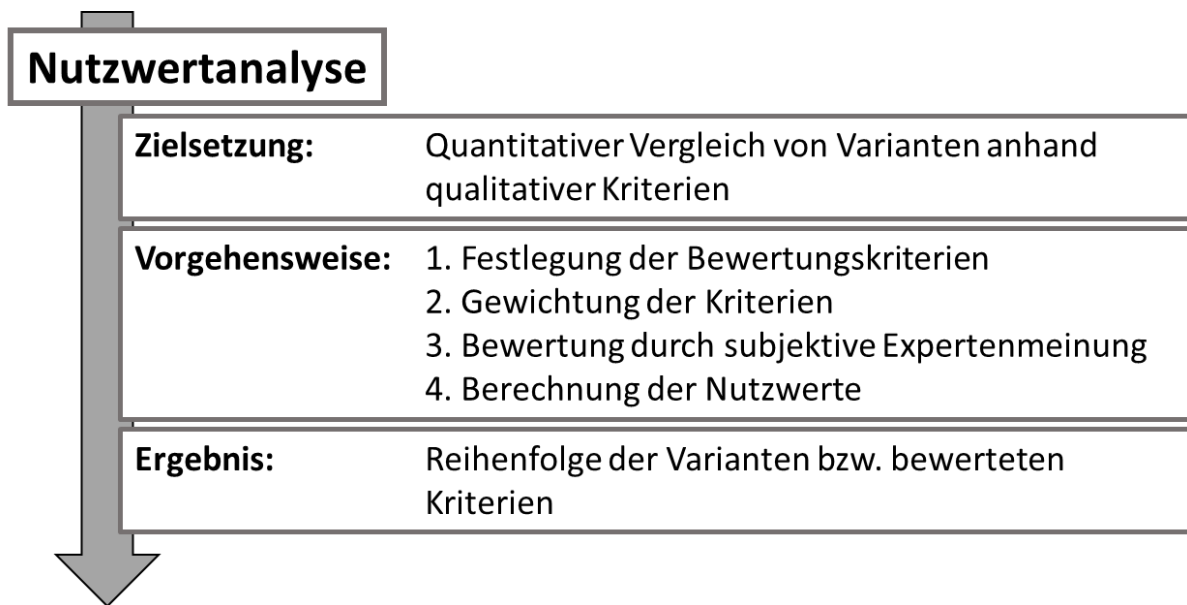


Abbildung 31: Vorgehensweise Nutzwertanalyse (nach [SCH11], Abb. 11.7)

Zudem müssen die Gewichtungsfaktoren der einzelnen Kriterien vorab festgelegt und bestimmt werden, da sie von unterschiedlicher Relevanz oder Wichtigkeit sein können. Es ist jedoch von Vorteil wenn die Summe der einzelnen Bewertungskriterien eine Gewichtung von insgesamt 100 ergeben. Die Bewertung der Kriterien erfolgt durch die Summenbildung der Teilnutzwerte. Diese Teilnutzwerte werden durch die Multiplikation eines Erfüllungsgrads mit dem Gewichtungsfaktor ermittelt.

Bewertungs-kriterium	Gewichtung	Strategiealternativen					
		Technologie A		Technologie B		Technologie C	
		EG	Wert	EG	Wert	EG	Wert
Technische Machbarkeit	15	4	60	3	45	5	75
Hohe Reife der Lösung	3	1	3	1	3	5	15
Niedriges Risiko	9	3	27	5	45	1	9
Gute Technologiebeherrschung	11	5	55	1	11	2	22
Niedrige Herstellkosten	23	1	23	5	115	2	46
Niedrige Investitionskosten	15	3	45	5	75	1	15
Günstige Technologieposition	24	1	24	3	72	5	120
Summe			237		366		302
Rangliste			3		1		2

Bewertungsstufen					
Erfüllungsgrad (EG)	--	-	0	+	++
Punktzahl	1	2	3	4	5

Abbildung 32: Charakterisierung der Nutzwertanalyse ([SCH11], Abb.11.8)

Der Erfüllungsgrad beschreibt in welchem Maß ein Kriterium die Anforderungen erfüllt. Auf der Bewertungsskala in Abbildung 32 ist ersichtlich, dass ein Kriterium nicht erfüllt ist, wenn ein Punkt vergeben wird. Wird das Kriterium mit 5 Punkten bewertet, so ist die Anforderung zur Gänze erfüllt.

Die Skala muss nicht von eins bis fünf gehen, häufig wird auch nur die Bewertungsstufe nur von eins bis drei verwendet. Die Nutzwerte der verschiedenen Alternativen repräsentieren die Rangfolge der Varianten. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Gewichtungsfaktoren und der Erfüllungsgrad aufgrund von Erfahrungen erfolgt. Dies lässt wiederum auf einen subjektiven Bewertungsspielraum der Lösung schließen.

Die Nutzwertanalyse dient in erster Linie der strukturierten Aufbereitung von Daten und Informationen zur geordneten Diskussion von alternativen Lösungsansätzen. [SCH11]

Der kommende Schritt der Nutzwertanalyse nach Wiendahl [LW05] beschäftigt sich mit dem Grad der Erfüllung der einzelnen Kriterien. Für den Erfüllungsgrad wird ein Wertebereich von 0 für „nicht erfüllt“ bis 10 „zur Gänze erfüllt“ gewählt. Im Anschluss wird der Erfüllungsgrad E mit der Gewichtung G multipliziert. Das

Ergebnis der Multiplikation stellt den Teilnutzen dar. Der absolute Nutzwert (ANW) ergibt sich aus der Summe der einzelnen Teilnutzwerte.

$$ANW = \sum_{i=1}^n E_i \cdot G_i \quad \text{Formel 14}$$

Der relative Nutzwert (RNW) kann auf die Ist-situation bzw. den Ist-Zustand bezogen werden, oder auf jene Variante die den niedrigsten normierten Nutzwert besitzt.

$$RNW = \frac{ANW_i}{ANW_{IST}} \cdot 100\% \quad \text{Formel 15}$$

Zur besseren Visualisierung können die Ergebnisse in einem Diagramm dargestellt werden. Eine Prozentangabe größer 100% ist erstrebenswert, ein Ergebnis unter 100% würde eine Verschlechterung der Situation bedeuten.

Der Inhalt von Kapitel 2 soll einen breit gefächerten Überblick über Vorgehensweisen, Methoden und Anwendungskriterien für Materialfluss- und Layoutplanung geben. Es sind ausgewählte Methoden der Layoutplanung behandelt worden. Es gibt noch einige andere Verfahren, die im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt wurden. Auszugsweise werden folgend einige dieser Verfahren genannt [SCH11]:

- Verfahren von Hillier/ Connors
- CORELAP
- RUGR-Verfahren
- Branch-and-Bound-Methode
- LAY
- etc

Das bisher erarbeitete theoretische Wissen wird im folgenden Kapitel angewendet.

3 Anwendung der Methoden

In diesem Kapitel wird die Ausgangssituation der drei Industriebetriebe erläutert, die Materialflüsse und die Grundstruktur dieser Firmen betrachtet. Zudem sollen die verwendeten Verfahren und Modelle zur Layoutgestaltung genauer betrachtet und für den konkreten Fall angewendet bzw. spezifiziert werden.

In den nächsten Unterpunkten von Kapitel 3 werden die drei Unternehmen und deren Ausgangsbasis mit dem gegenwärtigen Layout dargestellt und beschrieben. Die Abteilungen bzw. Stationen sind durch die aktuellen räumlichen Abgrenzungen festgelegt, Quadratmeteranzahl sowie Name der Abteilung und Referenznummer sind in diesem Feld eingetragen. Beispielhaft ist nachfolgend die Station bzw. der Bereich „Verpackungsanlage (Bündeln)“ angeführt. Diese Station hat die Identifikationsnummer 15 und ist vor den Bereichsnamen gestellt, darunter ist die Fläche von 245 Quadratmeter [m²] zu sehen. Die Bereiche sind mit einem Excel-Arbeitsblatt verknüpft und können in diesem auch durch ändern von Breite und Länge bearbeitet werden. Zudem kann man noch darüber bestimmen ob gewisse Stationen aktiv sind oder nicht.

15-Verpackungsanlage (Bündeln)
245,00 m ²

Abbildung 33: Bereich bzw. Abteilung

ID-Stationen	Station	Breite [m]	Höhe [m]	Fläche [m ²]	Station Aktiv [Y/N]
1	Verladerampe	3	7,5	22,5	y
2	Wareneingangslager	34,5	20	690	y
3	Lacklager	12,5	6,5	81,25	y
4	Digitaldruckerei	20	6,5	130	y
5	Kantenbiegerei	10	6,5	65	y
6	Holzkerne, Ablängerei PU	16	7	112	y
7	Sublimation	20	13,5	270	y
8	Siebdruckerei	20	20	400	y
9	Beschichtung, Siebelager	15	20	300	y
10	GFM, Stanzerei	22	8,5	187	y
11	Lager SWN	14,5	6,5	94,25	N
12	SWN-Laminierung	19	10,5	199,5	y
13	Kaschiererei	11	5	55	y
14	PU-Schäumerei	20	18,25	365	y
15	Trockenkammer	11,5	8,5	97,75	y
16	Schleiflinien	26	25	650	y
17	PLT-Anlage	10,5	10,5	110,25	y
18	Finish	65	10	650	y

Tabelle 5: Auflistung der Bereiche / Stationen

Ein Transportpfeil verbindet Bereiche / Abteilungen miteinander. Der Weg des Pfeiles beschreibt angenähert die vom Stapler bzw. Flurförderzeug zurückgelegte Wegstrecke. Als Ausgangspunkt des Transportes wird immer der Flächenschwerpunkt der Abteilung angenommen. Die Transportpfeile können mit Eckpunkten versehen sein, was für die weitere Berechnung wichtig ist. Jeder Transportpfeil hat eine eindeutig zugewiesene Transportnummer und durch eine Excel-Tabelle verknüpft auch die transportierte Menge.

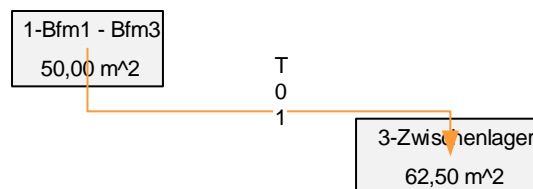


Abbildung 34: Transportpfeil zwischen zwei Bereichen

ID-Transport	Von	Nach	Menge	Linienfarbe	Transport-Layer
T01	1-Verladerampe	2-Wareneingangslager	3852	38	7;13
T02	2-Wareneingangslager	4-Digitaldruckerei	90	34	7;14
T03	2-Wareneingangslager	7-Sublimation	248	34	7;15
T04	2-Wareneingangslager	8-Siebdruckerei	659	34	7;16
T06	2-Wareneingangslager	10-GFM, Stanzerei	416	34	7;18
T07	2-Wareneingangslager	6-Holzkerne, Ablängerei	759	34	7;19
T08	2-Wareneingangslager	13-Kaschiererei	67	34	7;20
T09	2-Wareneingangslager	14-PU-Schäumerei	358	34	7;21
T10	2-Wareneingangslager	5-Kantenbiegerei	212	34	7;22
T11	2-Wareneingangslager	12-SWN-Laminierung	1014	35	7;23
T12	2-Wareneingangslager	17-PLT-Anlage	29	34	7;24
T13	3-Lacklager	8-Siebdruckerei	150	34	7;25
T14	4-Digitaldruckerei	7-Sublimation	319	34	7;26
T15	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	51	34	7;27
T16	7-Sublimation	10-GFM, Stanzerei	449	34	7;28
T17	7-Sublimation	13-Kaschiererei	339	34	7;29

Tabelle 6: Transporttabelle

Die Distanzmatrix (Tabelle 9) wird durch eine Export-Datei aus Microsoft-Visio generiert. Die Schaftdicke des Pfeiles ist bei allen Transportpfeilen ident, die Farbe gibt Auskunft über die transportierte Menge.

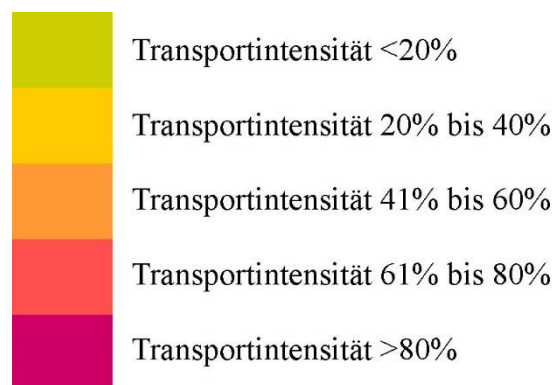


Abbildung 35: Farbpalette der Transportintensität

Pfeile, die in direkter Linie zwei Bereiche verbinden und unterschiedliche Schaftdicken haben, sind sogenannte Sankey-Pfeile. Bei diesen Pfeilen gibt sowohl die Farbe als auch die Strichstärke Auskunft über die Transportintensität. Jeder Sankey-Pfeil hat auch eine eindeutig zugewiesene und verlinkte Identifikationsnummer. Der Pfeil mit der größten Transportmenge gilt als Referenz für die Transportintensität von 100%.

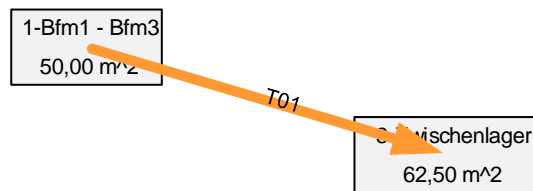


Abbildung 36: Sankey-Pfeil zwischen zwei Bereichen

ID-Transport	Von	Nach	Menge	Pfeilbreite	Sankey-Layer
T01	1-Verladerampe	2-Wareneingangslager	3852	0,25	12
T02	2-Wareneingangslager	4-Digitaldruckerei	90	0,00584112	8
T03	2-Wareneingangslager	7-Sublimation	248	0,01609553	8
T04	2-Wareneingangslager	8-Siebdruckerei	659	0,04276999	8
T06	2-Wareneingangslager	10-GFM, Stanzerei	416	0,02699896	8
T07	2-Wareneingangslager	6-Holzkerne, Ablängerei PU	759	0,04926012	8
T08	2-Wareneingangslager	13-Kaschiererei	67	0,00434839	8
T09	2-Wareneingangslager	14-PU-Schäumerei	358	0,02323468	8
T10	2-Wareneingangslager	5-Kantenbiegerei	212	0,01375909	8
T11	2-Wareneingangslager	12-SWN-Laminierung	1014	0,06580997	9
T12	2-Wareneingangslager	17-PLT-Anlage	29	0,00188214	8
T13	3-Lacklager	8-Siebdruckerei	150	0,0097352	8
T14	4-Digitaldruckerei	7-Sublimation	319	0,02070353	8
T15	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	51	0,00330997	8
T16	7-Sublimation	10-GFM, Stanzerei	449	0,02914071	8
T17	7-Sublimation	13-Kaschiererei	339	0,02200156	8

Tabelle 7: Sankey-Tabelle

Diese Tabelle ist nicht vollständig aufgeführt und soll als Beispiel dienen. Die gelben Felder könne vom Anwender bearbeitet oder geändert werden, grau hinterlegte Bereiche werden automatisch vom Programm generiert.

Über die Export-Datei aus dem Visio-Programm erhält man die Transportmatrix, die Aufschluss über die Transportmenge „Von/Nach“ einzelner Stationen gibt. Des Weiteren wird aus den Transportpfeilen die Wegstrecke errechnet und in eine Distanzmatrix übergeführt.

	1-Verladerampe	2-Wareneingangslager	3-Lacklager	4-Digitaldruckerei	5-Kantenbiegerei	6-Holzkerne, Ablängen	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	9-Beschichtung, Sieben	10-GFM, Stanzerei	12-SWN-Laminierung	13-Kaschiererei	14-PU-Schäumerei	15-Trockenkammer	16-Schleiflinien	17-PLT-Anlage	18-Finish	Summe
1-Verladerampe		3852																3852
2-Wareneingangslager				90	212	759	248	659		416	1014	67	358			29		3852
3-Lacklager								150										150
4-Digitaldruckerei							319											319
5-Kantenbiegerei											255							255
6-Holzkerne, Ablängen		230					13				89	449	199					980
7-Sublimation						16		51		449		339				100		955
8-Siebdruckerei										302		182		361				845
9-Beschichtung, Sieben							298											298
10-GFM, Stanzerei							57				1435	47	192				47	1778
12-SWN-Laminierung													25	1020		1066		2111
13-Kaschiererei														315				315
14-PU-Schäumerei														1288				1288
15-Trockenkammer					156	270		298	197						1288			2209
16-Schleiflinien													21			413	2008	2442
17-PLT-Anlage													124					124
18-Finish	3500												64	1133				4697
Summe	3500	4082	0	90	212	931	1205	860	298	1364	2793	1084	983	1964	3441	542	3121	26470

Tabelle 8: Transportmatrix

	1-Verladerampe	2-Wareneingangslager	3-Lacklager	4-Digitaldruckerei	5-Kantenbiegerei	6-Holzkerne, Ablängen	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	9-Beschichtung, Sieben	10-GFM, Stanzerei	12-SWN-Laminierung	13-Kaschiererei	14-PU-Schäumerei	15-Trockenkammer	16-Schleiflinien	17-PLT-Anlage	18-Finish	Summe
1-Verladerampe		19,821																19,821
2-Wareneingangslager				83,38	101,53	66,704	73,13	88,28		46,44	88,83	45,53	74,6			111,87		780,29
3-Lacklager								33,36										33,36
4-Digitaldruckerei							10,25											10,25
5-Kantenbiegerei											21,48							21,48
6-Holzkerne, Ablängen		25,801					49				58,75	11,511	44,05					189,11
7-Sublimation						49		20,401		37,97		47				66,71		221,08
8-Siebdruckerei										60,89		75,59		132,75				269,23
9-Beschichtung, Sieben							37,813											37,813
10-GFM, Stanzerei							37,97				57,36	11,802	39,42				23,69	170,24
12-SWN-Laminierung													23,75		29,13		40,521	93,401
13-Kaschiererei														65,05				65,05
14-PU-Schäumerei														44,7				44,7
15-Trockenkammer						6,8	102,17		143,12	71,86					11,094			335,04
16-Schleiflinien													39,896			15,215	75,5	130,61
17-PLT-Anlage													56,9					56,9
18-Finish	64,45												31,67		75,5			171,62
Summe	64,45	45,622	0	83,38	101,53	122,5	310,33	142,04	143,12	217,16	226,42	191,43	310,29	242,5	115,72	193,79	139,71	2650

Tabelle 9: Distanzmatrix

Multipliziert man jeweils die einzelnen Werte aus der Transportmatrix mit der Distanzmatrix, so erhält man die Transportintensitätsmatrix. Erst durch diese Matrix kann man eine Aussage über die Situation des Layouts treffen. Die Summe der Transportintensitäten einzelner Stationen ergibt die gesamte Transportintensität. Dieser grün hinterlegte Wert wird für weitere Vergleiche herangezogen. Die Einheit setzt sich aus normierter Menge x Weg zusammen.

	1-Verladerampe	2-Wareneingangslager	3-Lacklager	4-Digitaldruckerei	5-Kantenbiegerei	6-Holzkerne, Abläng	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	9-Beschichtung, Sieb	10-GFM, Stanzer	12-SWN-Laminierur	13-Kaschiererei	14-PU-Schäumerei	15-Trockenkammer	16-Schleiflinien	17-PLT-Anlage	18-Finish	Summe	
1-Verladerampe	0	76352	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76352
2-Wareneingang	0	0	0	7504,2	21524	50629	18136	58177	0	19319	90074	3050,5	26707	0	0	3244,2	0	0	298364
3-Lacklager	0	0	0	0	0	0	0	5004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5004
4-Digitaldruckerei	0	0	0	0	0	0	3269,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3270
5-Kantenbiegerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5477,4	0	0	0	0	0	0	0	5477
6-Holzkerne, Abl	0	5934,2	0	0	0	0	637	0	0	0	5228,8	5168,4	8766	0	0	0	0	0	25734
7-Sublimation	0	0	0	0	0	784	0	1040,4	0	17049	0	15933	0	0	0	6671	0	0	41477
8-Siebdruckerei	0	0	0	0	0	0	0	0	18389	0	13757	0	47923	0	0	0	0	0	80069
9-Beschichtung, S	0	0	0	0	0	0	11268	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11268
10-GFM, Stanzer	0	0	0	0	0	0	2164,3	0	0	0	82312	554,68	7568,6	0	0	0	1113,4	0	93713
12-SWN-Laminie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	593,75	0	29713	0	43195	0	0	73501
13-Kaschiererei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20491	0	0	0	0	0	20491
14-PU-Schäumer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57574	0	0	0	0	0	57574
15-Trockenkamm	0	0	0	0	0	1060,8	27586	0	42650	14156	0	0	0	14289	0	0	0	0	99742
16-Schleiflinien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	837,82	0	0	6283,7	151604	0	0	158726
17-PLT-Anlage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7055,6	0	0	0	0	0	0	7056
18-Finish	225575	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2026,9	0	85542	0	0	0	0	313143
Summe	225575	82286	0	7504,2	21524	52473	63062	64221	42650	68913	183091	38464	53555	125987	129543	16199	195912	0	1370960

Tabelle 10: Transportintensitätsmatrix

Nach Erhalt der Daten durch das ITL, wurden sämtliche Stationen, Transport- und Sankey Pfeile auf ihre Richtigkeit überprüft, sowie kleine Änderungen der grafischen Oberfläche vorgenommen. Sobald das Visio-Programm überprüft, alle Eckpunkte der Transportpfeile eingegeben und sämtliche Daten plausibilisiert sind, kann ein „Shape-Bericht“ im Microsoft-Visio erstellt werden. Dieser Bericht bestimmt die exakte Länge der Transportwege und wird als Excel-Datei ausgegeben und abgespeichert. In der Excel-Konfigurationsoberfläche muss der Pfad sowie der Name der Output-Datei eingegeben werden. Am Enden des Dateinamen ist ein Backslash zu setzen, da ansonsten das Programm eine Fehlermeldung ausgibt. Die Anzahl der Stationen, maximale Transportmenge und ein Skalierungsfaktor für die Sankey Pfeile können hier auch vom Anwender modifiziert werden. Anschließend werden mit „Alle O-X berechnen“-Button sämtliche Werte in Tabellenform ausgegeben, mitunter auch die Transportintensitätsmatrix, deren Gesamtwert als Benchmark für die vergleichende Analyse verwendet wird.

Das Berechnungsprogramm ist vom Institut für Technische Logistik ist bei der Tagung XX International Conference on "MATERIAL HANDLING, CONSTRUCTIONS AND LOGISTICS" vorgestellt und für diese Diplomarbeit zur Verfügung gestellt worden ([TTJ12] in [UNI12]).

TransportmengeMax	37580
StationenAnz	27
TransporteAnz	30
StationenAktivAnz	17
Sankey-Pfeil-Breitenfaktor(Standard 0,1)	0,35
Pfad zum Outputfile	C:\Users\j... \
Name Outputfile	output.xlsx
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; margin: 5px;">Import aus Visio-Output</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; margin: 5px;">Tabelle1 in I-Transportdistanzen</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; margin: 5px; color: green; font-weight: bold;">Alle O-X berechnen</div>	

Tabelle 11: Konfigurationsoberfläche Excel

Die Reihenfolge der durchgeführten Verfahren gliedert sich wie folgt und gilt für alle drei Unternehmen:

1. VDI 2498
2. Sankey-Diagramm
3. Kreisverfahren
4. Viereckverfahren
5. Dreieckverfahren
6. Dreieckverfahren mit überarbeiteter Fläche
7. Idealisieretes Layout

Die Daten der drei folgenden Unternehmen wurden von Seiten des Institutes für Technische Logistik zur Verfügung gestellt. Diese Unternehmen dürfen aus Datenschutzgründen nicht genauer dargestellt werden.

3.1 Unternehmen A

Nachfolgend sind Grundrissplan, sowie die Transportwege und -mengen von Unternehmen A zweigeteilt dargestellt.

Dieses Unternehmen weist eine langgezogene Struktur und einen geradlinigen Materialfluss mit wenigen Rückflüssen auf. Durch den gerichteten Materialfluss ist der Transport von links nach rechts sehr gut erkennbar. Die Transportwege der Flurförderzeuge können jetzt schon Aufschluss geben, dass sehr weite Strecken zurückgelegt werden und vermutlich Potenzial zur Optimierung des Layouts besteht.

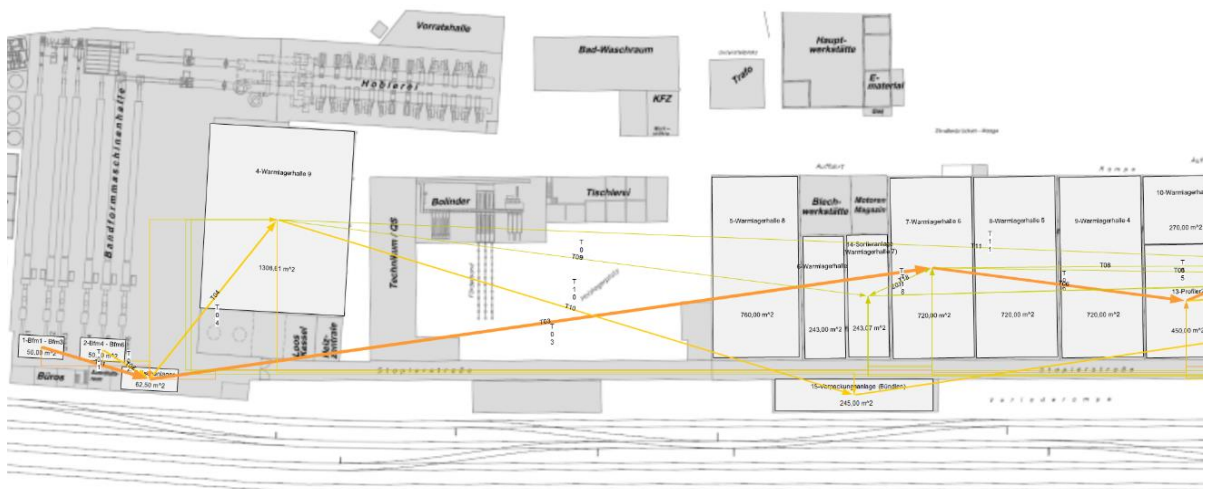


Abbildung 37: Unternehmen A (linker Abschnitt)



Abbildung 38: Unternehmen A (rechter Abschnitt)

In den folgenden Punkten werden die Methoden auf das Unternehmen A angewendet.

3.1.1 VDI 2498

Ausgangsbasis der Berechnung ist die Transportmatrix. Dabei wird der Quotient gebildet, Dividend ist die Zeilensumme, Divisor die Spaltensumme des Bereichs. Die Zeile und Spalte mit dem größten Quotient werden jeweils gelöscht und dieser Schritt so lange wiederholt, bis eine eindeutige Reihenfolge feststeht. Die gelöschte Abteilung wird in eine Liste mit der Reihenfolge der Stationen eingetragen.

	1-Bfm1 - B	2-Bfm4 - B	3-Zwischer	4-Warmlag	11-Warmla	12-Profilier	13-Profilier	14-Sortiera	15-Verpac	16-Warmla	17-Einfärb	18-Minera	19-Klebear	20-Endlage	21-Endlage	22-Verlade	23-Verlade	Summe
1-Bfm1 - Bfm3			20293															20293
2-Bfm4 - Bfm6			10962															10962
3-Zwischenlager				10962	20293													31255
4-Warmlagerhall								679	8827						1456			10962
11-Warmlagerha						1523	18000	403						459				20385
12-Profilier 1									1396				100	954				2450
13-Profilier2									18822				227	9700				28749
14-Sortieranlage					226									635	338			1199
15-Verpackungs															9364			9364
16-Warmlagerha											20219							20219
17-Einfärberei (V													366	25872				26238
18-Mineralwolle						166							2459					2625
19-Klebeanlage (														3013	4696			7709
20-Endlagerhalle																37580		37580
21-Endlagerhalle																	18241	18241
22-Verladen HD																		0
23-Verladen HK																		0
Summe	0	0	31255	10962	20519	1689	18000	1082	8827	20218	20219	0	3152	40633	15854	37580	18241	248231
Quotient	#DIV/0!	#DIV/0!	1,000	1,000	0,000	1,451	1,597	1,108	1,061	1,000	1,298	#DIV/0!	2,446	0,925	1,151	0,000	0,000	

Tabelle 12: Transportmatrix – VDI 2498

Reihung	Abteilung
1	1-Bfm1 - Bfm3
2	2-Bfm4 - Bfm6
3	18-Mineralwollelagerhalle (Endlagerhalle 7/8)
4	3-Zwischenlager
5	4-Warmlagerhalle 9
6	15-Verpackungsanlage (Bündlen)
7	11-Warmlagerhalle 3-9
8	12-Profilier 1
9	13-Profilier2
10	14-Sortieranlage (Warmlagerhalle 7)
11	16-Warmlagerhalle 2
12	17-Einfärberei (Warmlagerhalle 1)
13	19-Klebeanlage (Lagerhalle 2)
14	20-Endlagerhalle HD (Endlagerhallen 3,5,6)
15	21-Endlagerhalle HK (Endlagerhallen 4)
16	22-Verladen HD
17	23-Verladen HK

Tabelle 13: Reihenfolge VDI-Verfahren

Durch die Neuordnung der Bereiche, infolge der berechneten Reihenfolge konnte eine Einsparung von 166 Transporteinheiten erzielt werden.

	1-Bfm1 - Bfm3	2-Bfm4 - Bfm6	18-Mineralwollelagerh	3-Zwischenlager	4-Warmlagerhalle 9	15-Verpackungsanlage	11-Warmlagerhalle 3-9	12-Profilier 1	13-Profilier2	14-Sortieranlage (War	16-Warmlagerhalle 2	17-Einfärberei (Warmk	19-Klebeanlage (Lager	20-Endlagerhalle HD/ (E	21-Endlagerhalle HK (E	22-Verladen HD	23-Verladen HK	Summe
1-Bfm1 - Bfm3				20293														20293
2-Bfm4 - Bfm6				10962														10962
18-Mineralwollelager								166					2459					2625
3-Zwischenlager					10962		20293											31255
4-Warmlagerhalle 9						8827				679					1456			10962
15-Verpackungsanlag															9364			9364
11-Warmlagerhalle 3-								1523	18000	403				459				20385
12-Profilier 1											1396		100	954				2450
13-Profilier2											18822		227	9700				28749
14-Sortieranlage (War							226							635	338			1199
16-Warmlagerhalle 2												20219						20219
17-Einfärberei (Warm													366	25872				26238
19-Klebeanlage (Lager														3013	4696			7709
20-Endlagerhalle HD (																37580		37580
21-Endlagerhalle HK (																	18241	18241
22-Verladen HD																		0
23-Verladen HK																		0
Summe	0	0	0	31255	10962	8827	20519	1689	18000	1082	20218	20219	3152	40633	15854	37580	18241	248231

Tabelle 14: Neuordnung der Transportmatrix

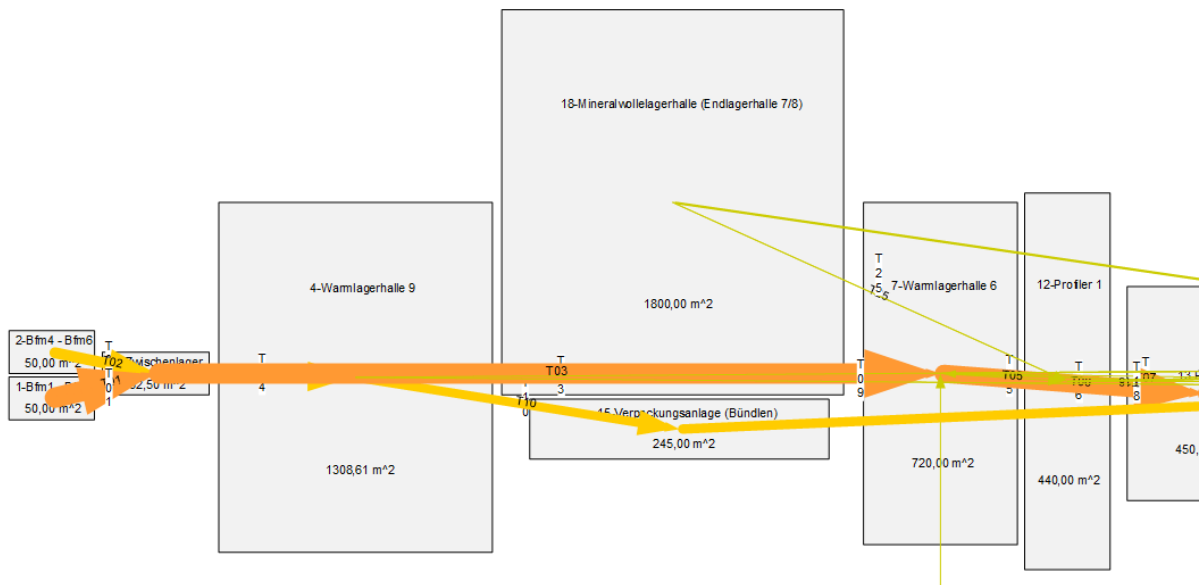


Abbildung 39: Rückflussoptimierte Anordnung (linker Bereich)

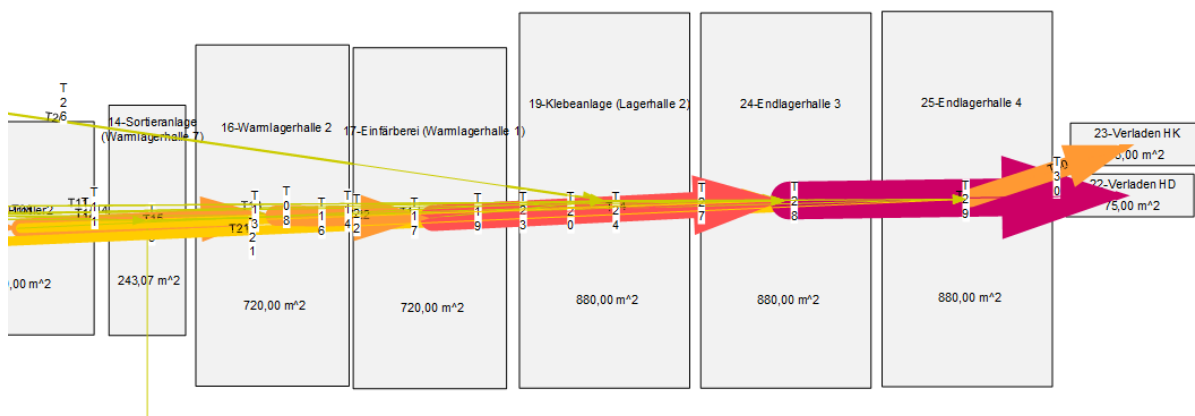


Abbildung 40: Rückflussoptimierte Anordnung (rechter Bereich)

Das VDI 2498-Verfahren soll einen Überblick, hinsichtlich der Rückflüsse geben, wurde aber nicht weiter modifiziert.

3.1.2 Sankey-Diagramm

Es wurden die Flächen der einzelnen Bereiche auf eine einheitliche Form gebracht, da sie keinerlei Einfluss auf den Materialfluss in diesem Diagramm haben. Diese Maßnahme dient lediglich der guten Übersicht und soll die Optik

der Abbildung verbessern. Durch die Pfeilstärke können die Haupt-Materialflüsse sehr gut dargestellt werden.

In Abbildung 41 ist durch die grafische Aufarbeitung eine Teilung des Materialflusses zu erkennen.

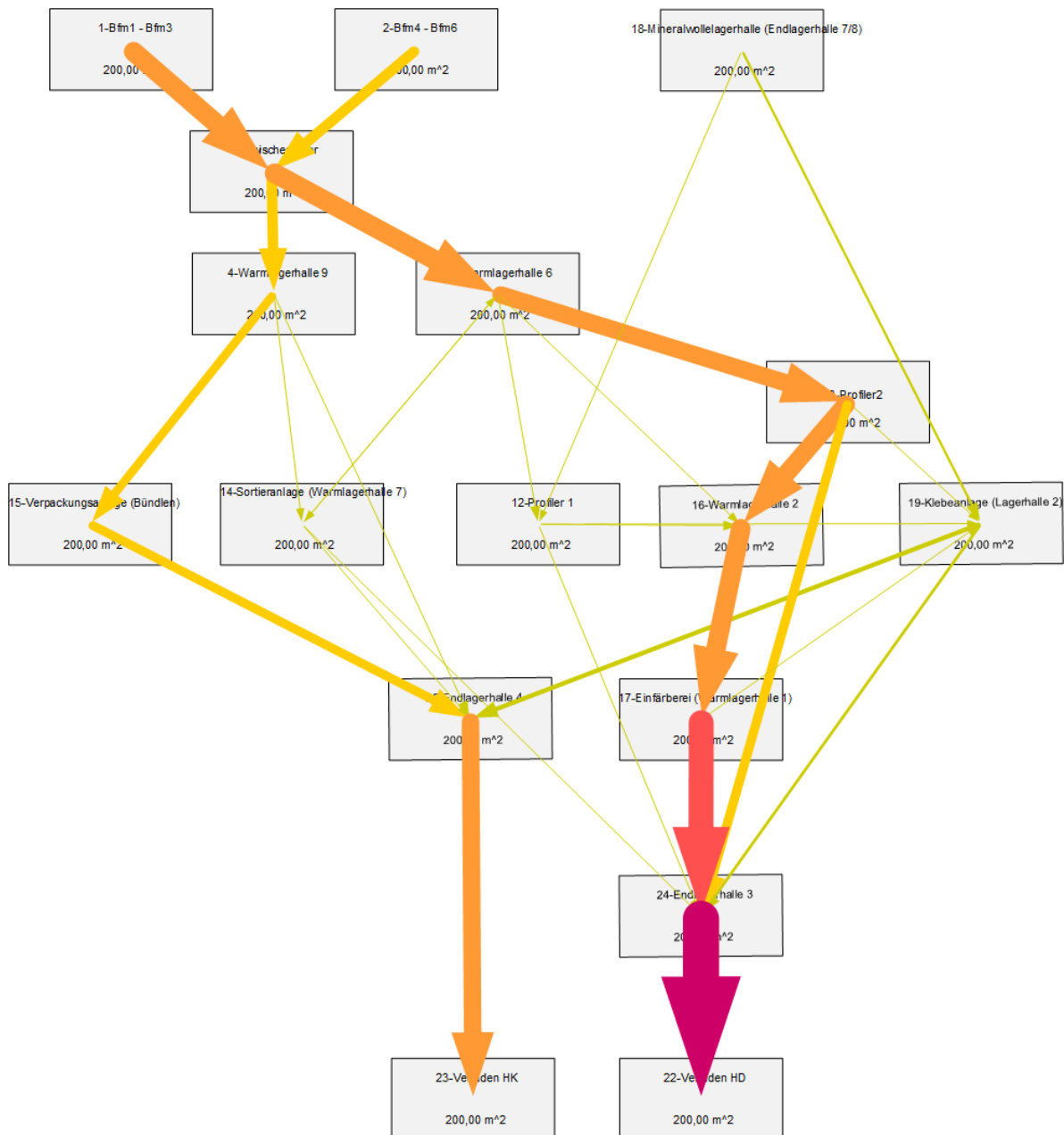


Abbildung 41: Sankey-Diagramm-Unternehmen A

3.1.3 Kreisverfahren

Bereiche mit großer Transportintensität werden nebeneinander angeordnet, dies ist sehr gut durch die Farbe und Linienstärke der Pfeile zu erkennen.

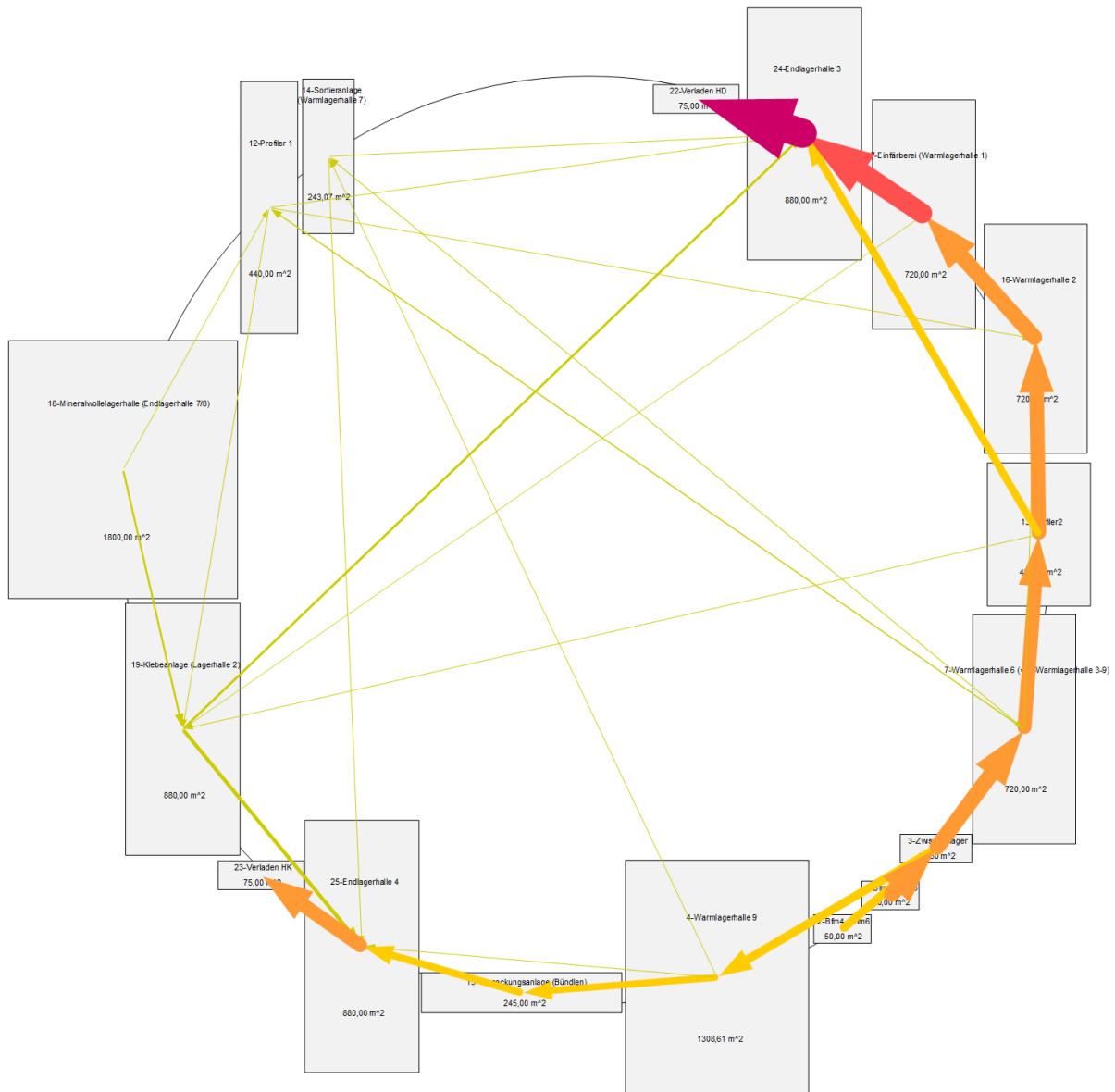


Abbildung 42: Kreisverfahren-Unternehmen A

Im nächsten Schritt wird die Kreisform beliebig verändert, um eine möglichst gute Layoutvariante zu erhalten. In der folgenden Abbildung 43 ist der Kreis zu einer Ellipse deformiert, dargestellt. Orthogonal angeordnete Pfeile stellen mögliche Transportwege der Fördereinheiten dar. Das Kreisverfahren gibt eine gute Näherungslösung und ist eine Ausgangsbasis für weitere Optimierungsschritte.

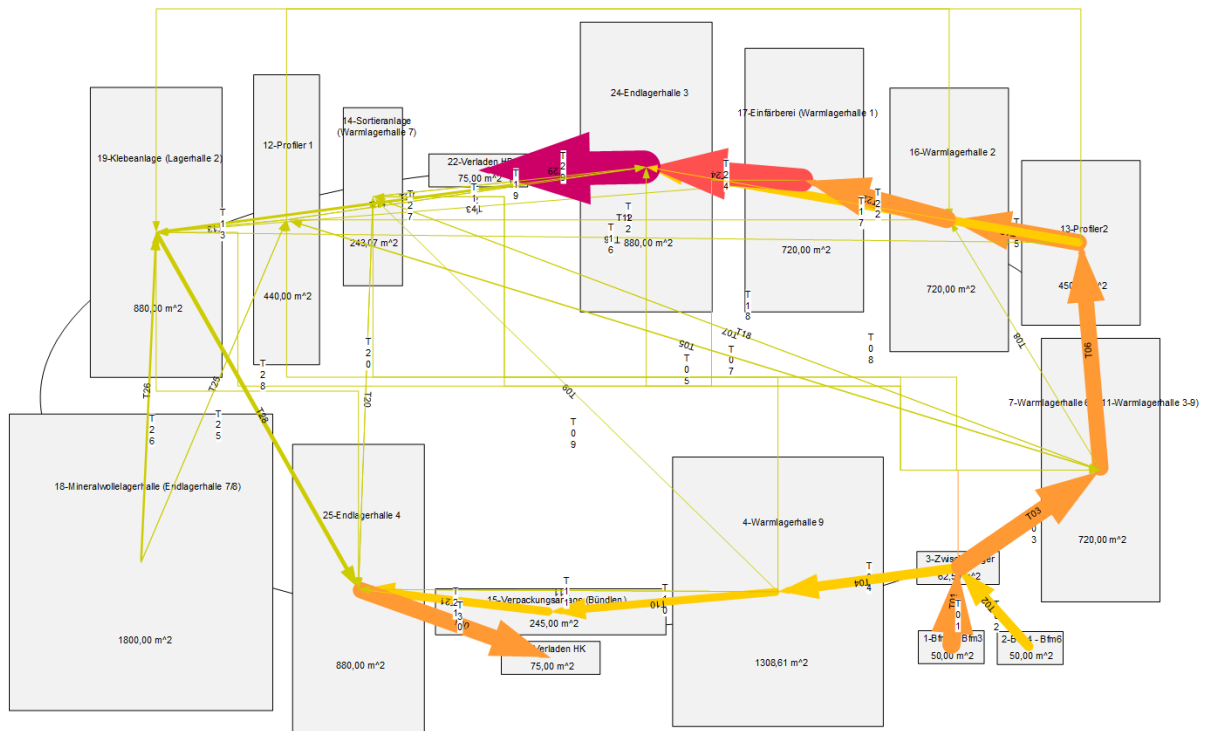


Abbildung 43: Kreisverfahren mit abgeänderter Grundstruktur-Unternehmen A

3.1.4 Viereckmethode

Bei dem Viereckverfahren bzw. der Viereckmethode werden die einzelnen Bereiche oder Abteilungen auf einem Viereckraster angeordnet. Die Transportwege sind dem Viereck-Raster nachempfunden. Die Ausgangswerte zur Berechnung sind wie beim VDI 2498 - Verfahren aus der Transportmatrix entnommen. Die Reihenfolge der Anordnung ist auf die Dreieck-Berechnungsmethode in Tabelle 15 zurückzuführen.

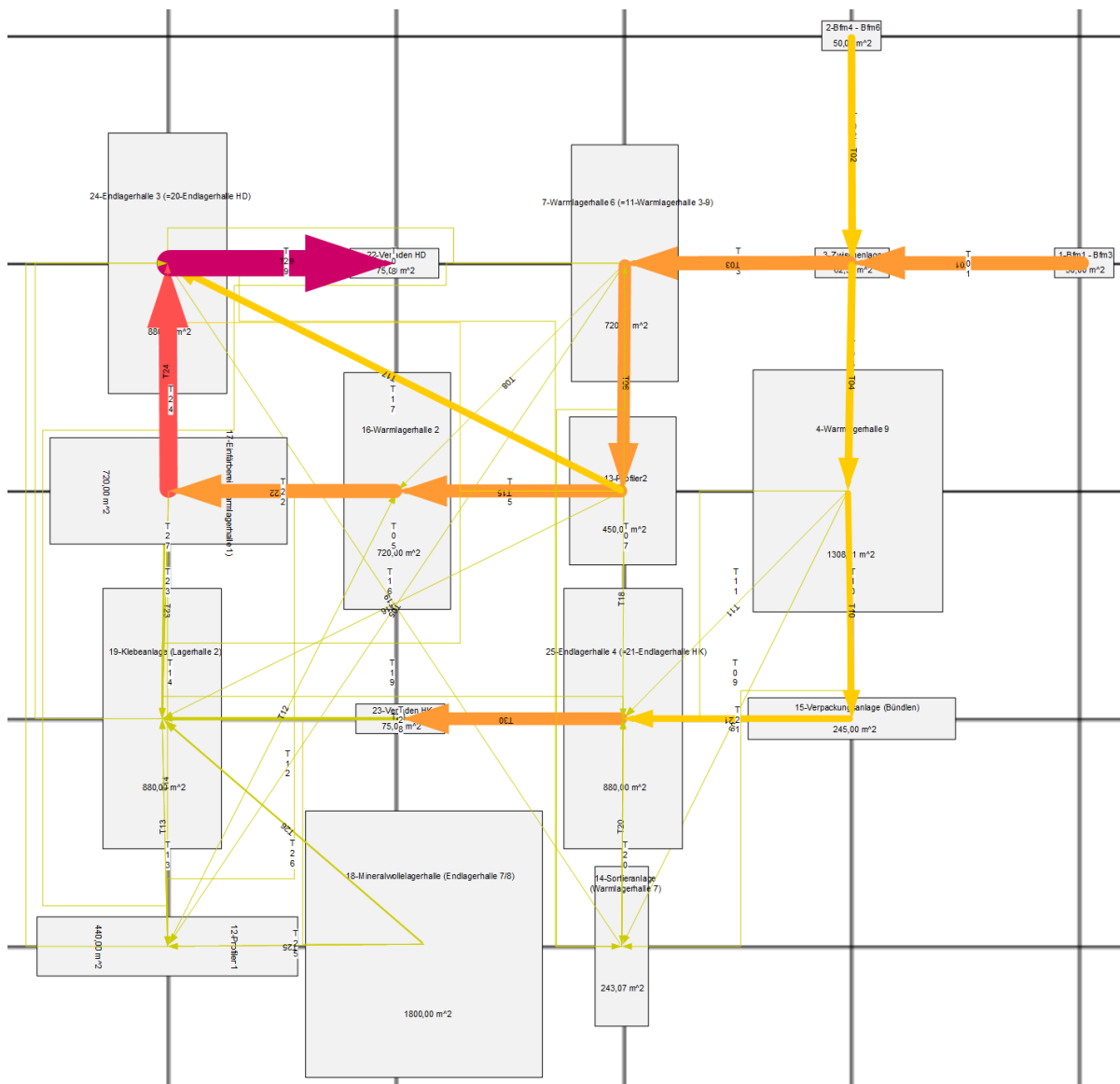


Abbildung 44: Viereckverfahren-Unternehmen A

3.1.5 Dreiecksmethode

Die Anordnung der einzelnen Stationen erfolgt auf einem Raster von gleichseitigen Dreiecken (Abbildung 45). Die Transportwege, die ein Flurförderzeug oder ein Stapler zurücklegt, sind wie schon beim Viereckverfahren, dem Raster nachempfunden. Bei der Dreiecksmethode werden alle Rückflüsse, unter der blauen Linie, in der Matrix (Tabelle 15), zu den Zuflüssen (rechter oberer Bereich über der blauen Linie) addiert. Für die Berechnung ist die transportierte Menge und nicht deren Richtung von Bedeutung.

		1-Bfm1 - B	2-Bfm4 - B	3-Zwischer	4-Warmlag	11-Warmla	12-Profilier	13-Profilier	14-Sortiera	15-Verpac	16-Warmla	17-Einfärb	18-Minera	19-Klebear	20-Endlage	21-Endlage	22-Verlade	23-Verlade	Summe
	1-Bfm1 - Bfm			20293															20293
	2-Bfm4 - Bfm			10962															10962
	3-Zwischenkl				10962	20293													31255
	4-Warmlage							679	8827							1456			10962
	11-Warmlag						1523	18000	629						459				20385
	12-Profilier 1									1356		166		100	954				2450
	13-Profilier2									18822				227	9700				28749
	14-Sortieran				226										635	338			1199
	15-Verpacku															9364			9364
	16-Warmlag										20219								20219
	17-Einfärber													366	25872				26238
	18-Mineralw					166								2459					2625
	19-Klebeanl														3013	4696			7709
	20-Endlagerf																37580		37580
	21-Endlagerf																	18241	18241
	22-Verladen																		0
	23-Verladen																		0
	Summe	0	0	31255	10962	20519	1525	18000	1082	8827	20218	20219	166	3152	40633	15854	37580	18241	248231

Reihung	Stations-ID																		
1	20					459	954	9700	635		25872		3013				37580		
2	22																		
Σ						459	954	9700	635	0	0	25872	0	3013	0	0	0	0	
3	17										20219								
Σ						459	954	9700	635	0	20219	0	3379	0	0	0	0	0	
4	16						1396	18822											
Σ						459	2350	28522	635	0		0	3379	0	0	0	0	0	
5	13						18000							227					
Σ							18459	2350	635	0		0	3606	0	0	0	0	0	
6	11				20293			1523	629										
Σ					20293	0		3873	1264	0		0	3606	0	0	0	0	0	
7	3	20293	10962		10962														
Σ		20293	10962		10962			3873	1264	0		0	3606	0	0	0	0	0	
8	1																		
Σ			10962		10962			3873	1264	0		0	3606	0	0	0	0	0	
9	2																		
Σ					10962			3873	1264	0		0	3606	0	0	0	0	0	
10	4							679	8827							1456			
Σ								3873	1943	8827		0	3606	0	1456	0	0	0	
11	15															9364			
Σ								3873	1943			0	3606	0	10820		0	0	
12	21								338					4696				18241	
Σ								3873	2281			0	8302	0				18241	
13	23																		
Σ								3873	2281			0	8302	0					
14	19							100					2459						
Σ								3973	2281				2459	0					
15	12												166						
Σ									2281				2625	0					
16	18																		
Σ									2281										
17	14																		

Tabelle 15: Dreieckverfahren-Unternehmen A

Bei dieser Berechnung wird die Reihenfolge für die Anordnung am Dreiecksraster erarbeitet (siehe rotes Rechteck Tabelle 15). Die Bildung von mehreren Layoutvarianten und der anschließende Vergleich bzw. Auswertung ist erstrebenswert. Nachfolgend ist eine mögliche Layout-Variante des Dreieckverfahrens dargestellt.

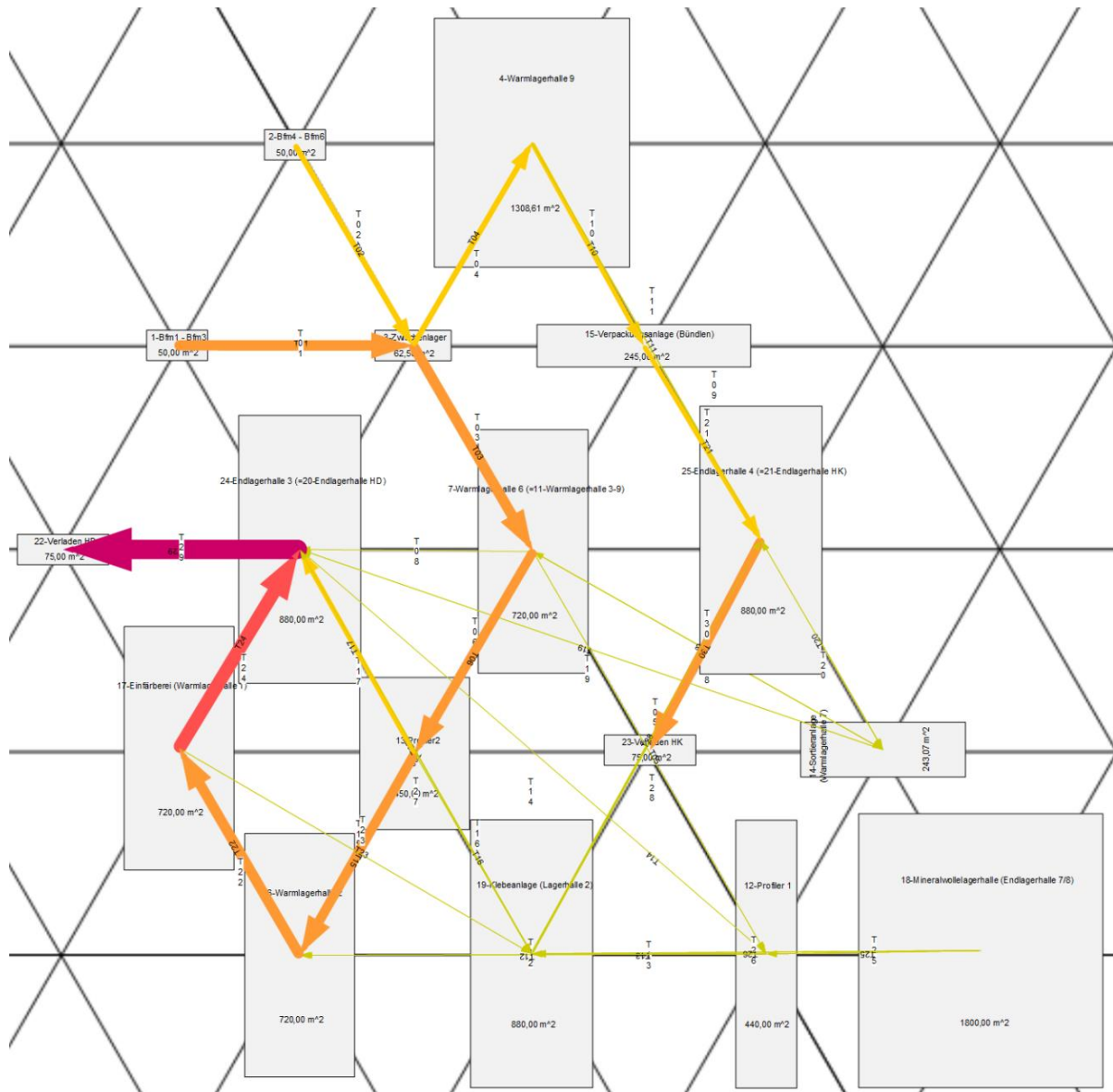


Abbildung 45: Dreiecksmethode-Unternehmen A

3.1.6 Dreiecksmethode mit überarbeiteten Flächen

Die Weiterentwicklung der Dreieck-Berechnungsmethode stellt das Dreieckverfahren mit überarbeiteten Flächen dar (Abbildung 46). Dabei ändern sich die Konturen der einzelnen Bereiche / Abteilungen von rechteckigen Flächen zu Quadraten, eine genaue Erklärung folgt in Kapitel 4. Bewertung der Vorgehensweise. Die Flächen der Bereiche bleiben unverändert, die Transportpfeile sind noch nicht den realen Transportwegen angepasst.

Berechnungsvorgang ist ident mit der Dreieck-Berechnungsmethode in Tabelle 15.

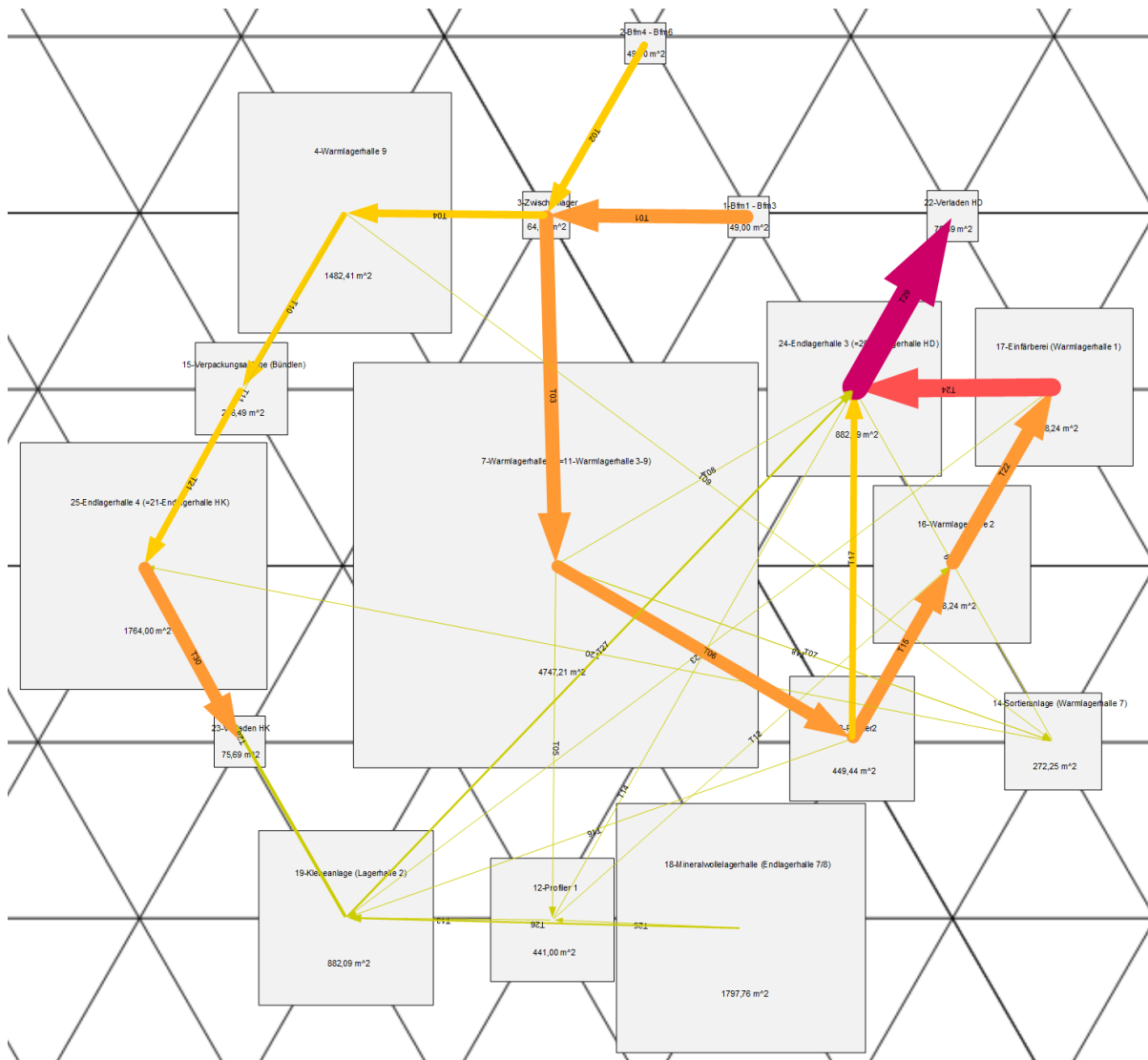


Abbildung 46: Dreieckmethode mit überarbeiteten Flächen-Unternehmen A

3.1.7 Idealisiertes Layout

Diese Anordnung der einzelnen Stationen stellt eine von vielen möglichen Varianten des Ideallayouts dar. Die Transportwege folgen realen Bedingungen, Gebäude werden umfahren und Straßen zwischen einzelnen Stationen sind berücksichtigt. Dieses Layout, in Abbildung 47 dargestellt, ist eine Weiterentwicklung des Dreieck-Modells. Heuristische Verfahren (siehe Kapitel 2.3) bieten eine gute Näherung eines verbesserten Layouts, jedoch ist es wahrscheinlich, dass durch eine erneute Weiterentwicklung und Verfeinerung dieser Variante eine Verbesserung erzielt werden kann. Wenn die Entscheidung für eine Variante getroffen wurde, kann diese verfeinert, genauer betrachtet und auf ein Reallayout übergeführt werden.

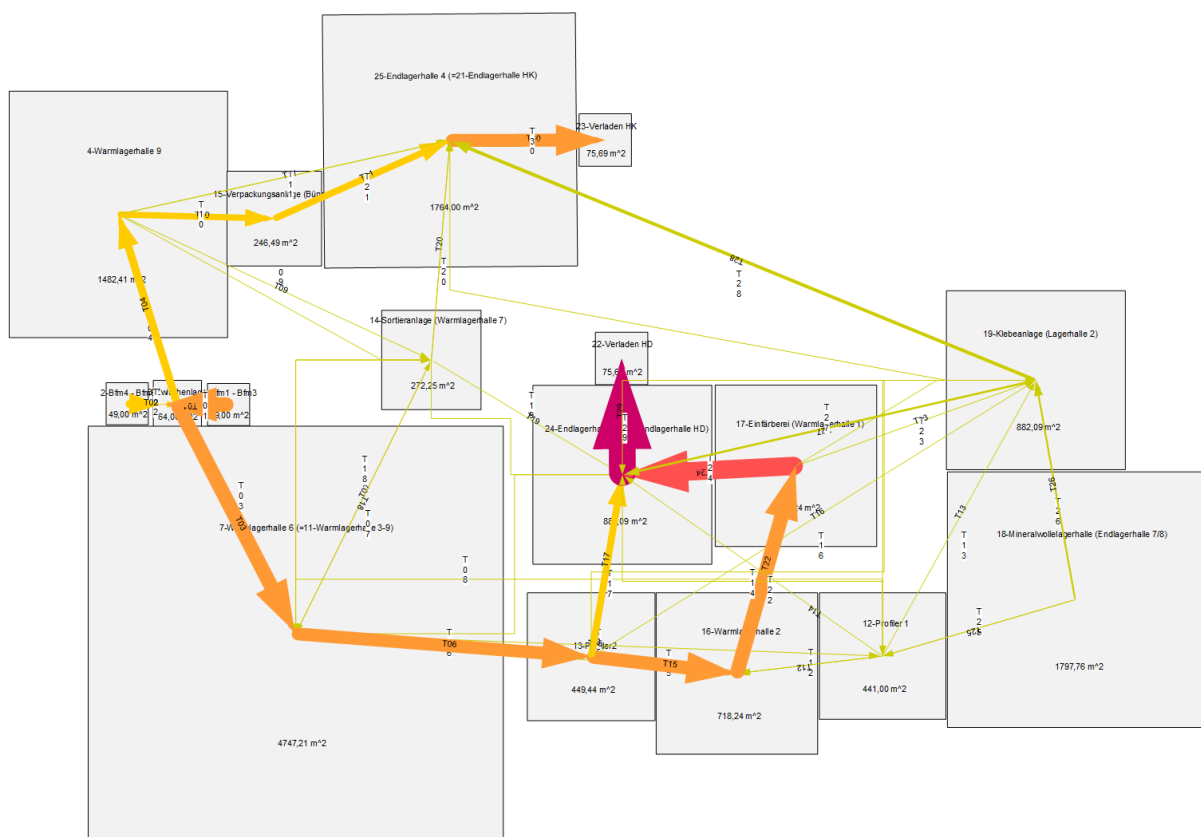


Abbildung 47: Idealisertes Layout-Unternehmen A

3.2 Unternehmen B

Nachfolgend sind Grundrissplan, sowie die Transportwege und -mengen von Unternehmen B dargestellt.

Dieser Industriebetrieb ist der übersichtlichste, aller drei Unternehmen und die Materialflüsse sind sehr überschaubar. Der Bereich „2-Produktion“ ist zu einer Einheit zusammengefasst und die internen Wege werden in der gegenwärtigen Abstraktionsebene nicht weiter betrachtet. Es gibt drei verschiedene Rampen für die LKW-Verladung.



Abbildung 48: Unternehmen B

3.2.1 VDI 2498

Ausgangsbasis der Berechnung ist die Transportmatrix. Dabei wird der Quotient gebildet, Dividend ist die Zeilensumme, Divisor die Spaltensumme eines Bereichs. Die Zeile und Spalte mit dem größten Quotient wird jeweils gelöscht und dieser Schritt so lange wiederholt bis eine eindeutige Reihenfolge feststeht.

	1-Wareneingang	2-Produktion	3-Lieferanten	4-Hauptlager	5-Kunden	6-Kommissoinierung	7-MLP Slowakei	8-Qualitätsprüfung	9-Warenausgang	Summe
1-Wareneingang				409						409
2-Produktion				197						197
3-Lieferanten	221									221
4-Hauptlager		221				550		65		836
5-Kunden										0
6-Kommissoinier									550	550
7-MLP Slowakei	188									188
8-Qualitätsprüfur										0
9-Warenausgang					439		111			550
SummeSumme	409	221	0	606	439	550	111	65	550	2951
	1	1	#DIV/0!	1	0	1	2	0	1	

Tabelle 16: Transportintensitätsmatrix - VDI 2498

Reihung	Abteilung
1	3-Lieferanten
2	1-Wareneingang
3	4-Hauptlager
4	6-Kommissoinierung
5	9-Warenausgang
6	2-Produktion
7	5-Kunden
8	7-MLP Slowakei
9	8-Qualitätsprüfung

Tabelle 17: Reihenfolge VDI-Verfahren

Durch die Neuordnung der Bereiche nach der berechneten Reihenfolge konnte eine Einsparung von 385 Transporteinheiten erzielt werden.

	3-Lieferanten	1-Wareneingang	4-Hauptlager	6-Kommissoinierung	9-Warenausgang	2-Produktion	5-Kunden	7-MLP Slowakei	8-Qualitätsprüfung	Summe
3-Lieferanten		221								221
1-Wareneingang			409							409
4-Hauptlager				550		221			65	836
6-Kommissoinierung					550					550
9-Warenausgang							439	111		550
2-Produktion			197							197
5-Kunden										0
7-MLP Slowakei		188								188
8-Qualitätsprüfung										0
Summe	0	188	606	550	550	221	439	111	65	2951

Tabelle 18: Neuordnung der Transportmatrix

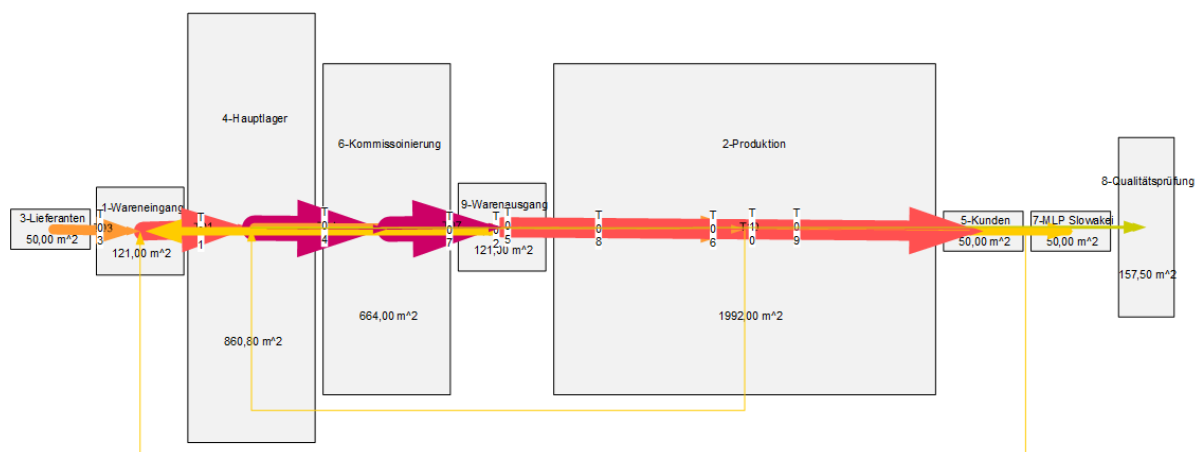


Abbildung 49: Rückflussoptimierte Anordnung

Das VDI 2498-Verfahren soll einen Überblick hinsichtlich der Rückflüsse geben, wurde aber nicht weiter modifiziert.

3.2.2 Sankey-Diagramm

Wie bereits zuvor wurden die Flächen der einzelnen Bereiche auf eine einheitliche Form gebracht, da sie keinerlei Einfluss auf den Materialfluss in diesem Diagramm haben. Diese Maßnahme dient lediglich der besseren Übersicht und soll die Optik der Abbildung verbessern.

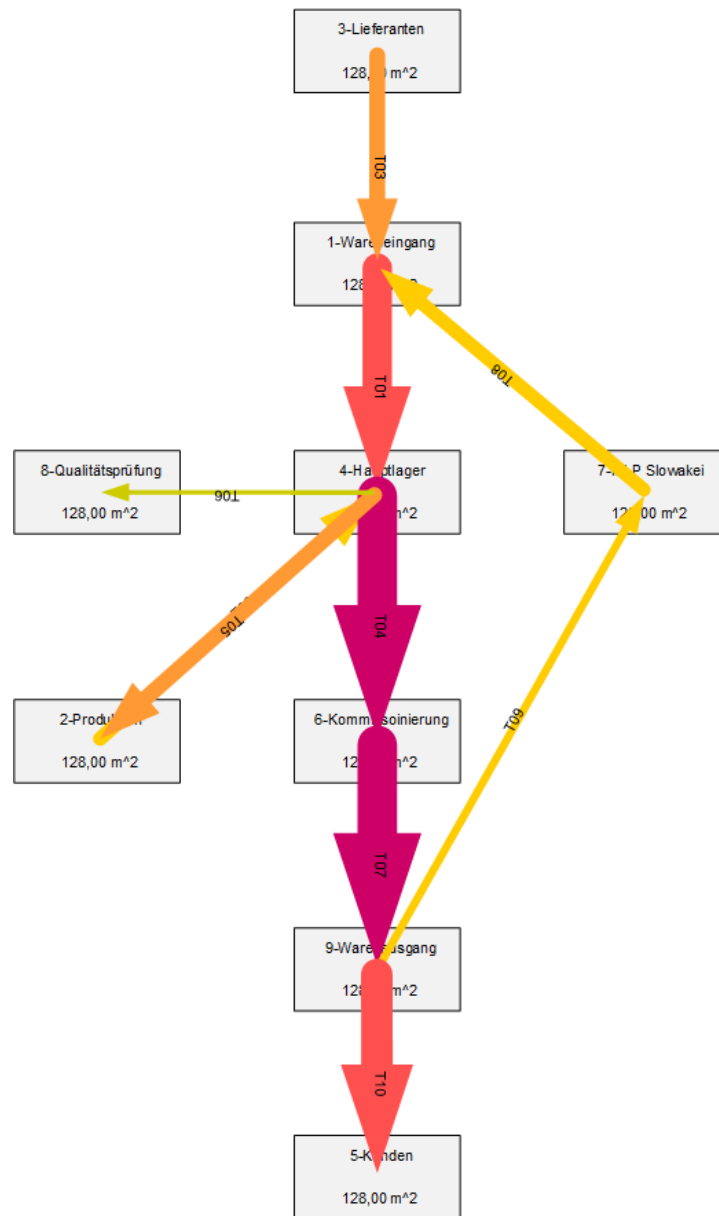


Abbildung 50: Sankey-Diagramm-Unternehmen B

3.2.3 Kreisverfahren

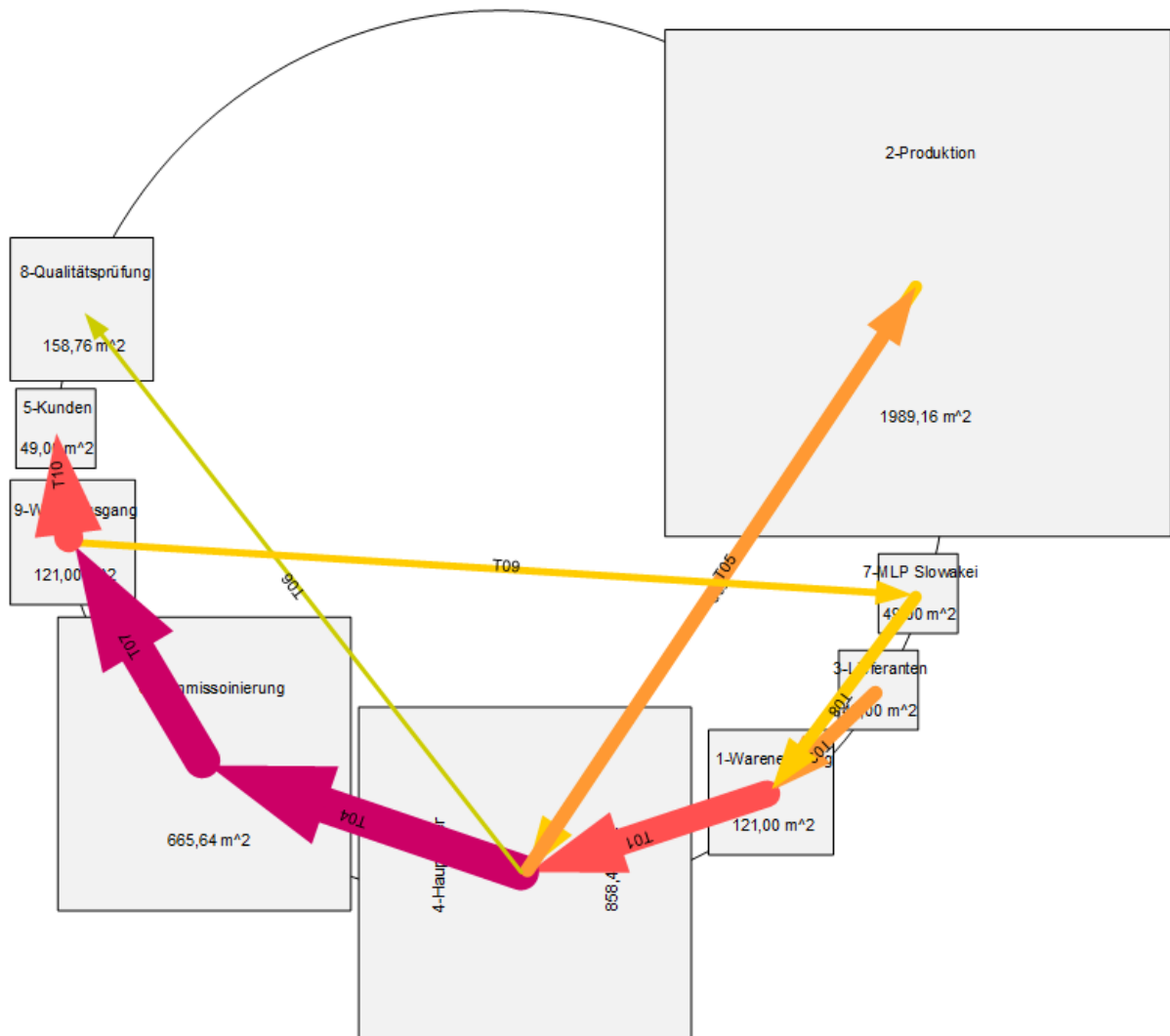


Abbildung 51: Kreisverfahren-Unternehmen B

Im nächsten Bild ist der Kreis zu einer Ellipse deformiert und stellt eine mögliche Weiterentwicklung bzw. Verbesserung dieses Verfahrens dar. Andere zusammenhängende geometrische Formen wären auch denkbar. Es wurde schon wie im vorigen Kapitel 3.1.2 der Kreis zu einer Ellipse gestaucht, andere geometrische Formen wurden nicht weitergehend untersucht.

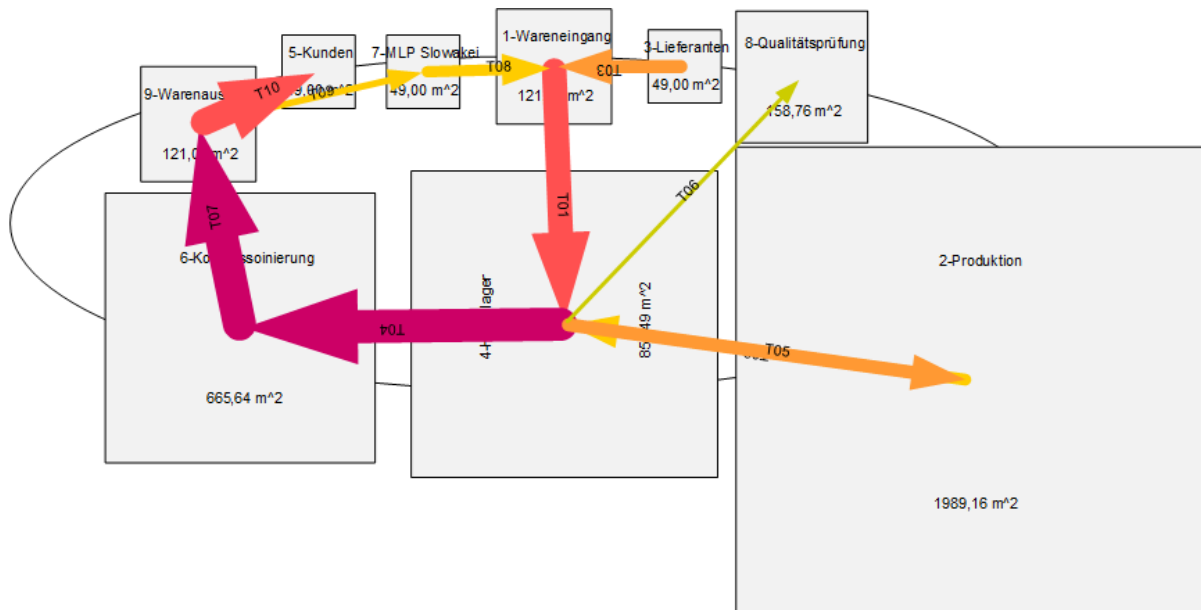


Abbildung 52: Weiterentwicklung Kreisverfahren-Unternehmen B

3.2.4 Viereckmethode

Beim Viereckverfahren bzw. der Viereckmethode werden die einzelnen Bereiche oder Abteilungen auf einem Viereckraster angeordnet. Die Transportwege sind dem Raster nachempfunden. Ausgangswerte zur Berechnung sind wie beim VDI 2498 - Verfahren der Transportmatrix entnommen. Die Reihenfolge der Anordnung ist der Dreieck-Berechnungsmethode aus Tabelle 19 zu entnehmen.

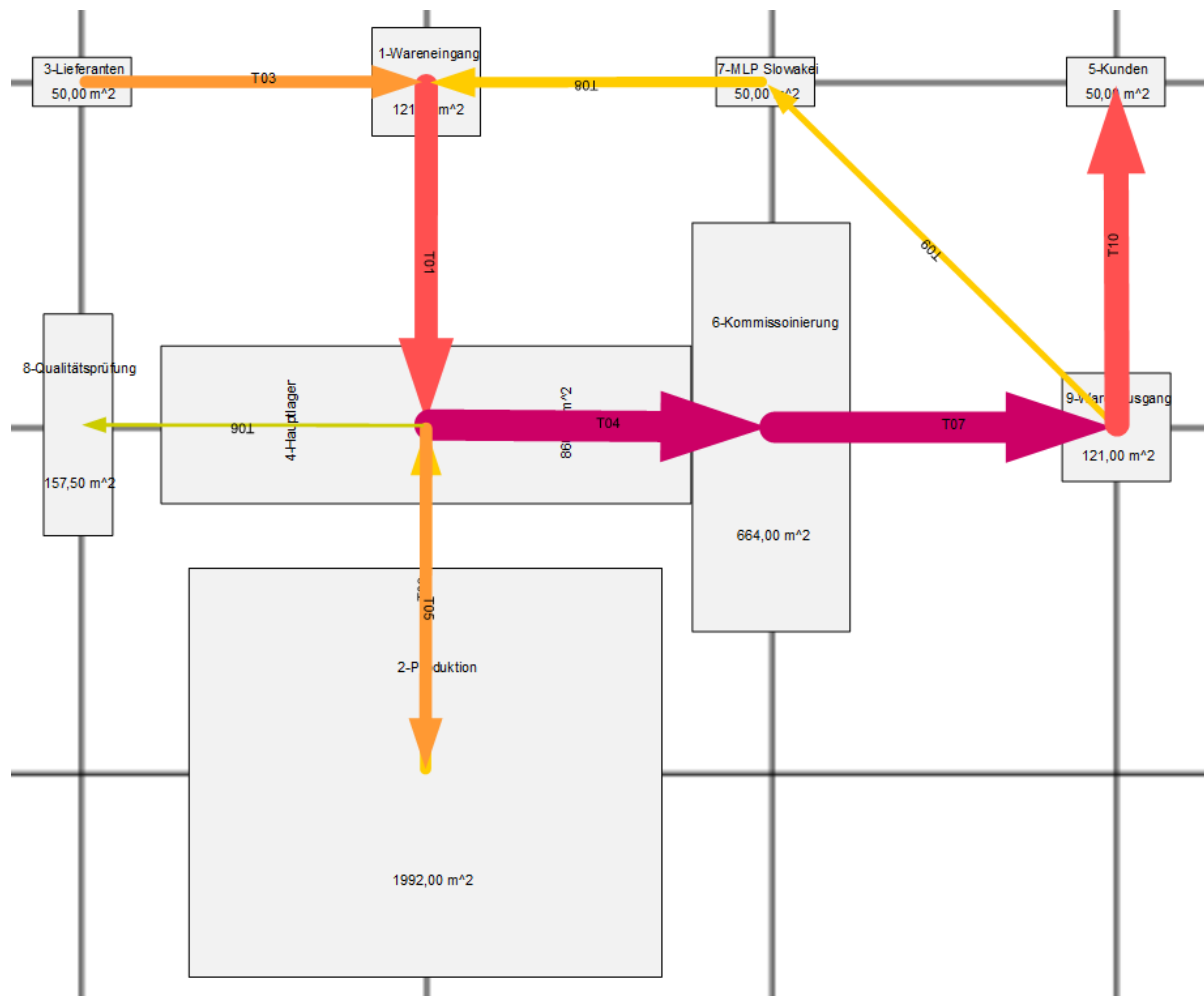


Abbildung 53: Viereckmethode-Unternehmen B

3.2.5 Dreieckmethode

Die Anordnung der einzelnen Stationen erfolgt auf einem Raster von gleichseitigen Dreiecken. Die Transportwege sind wie schon beim Viereckverfahren dem Raster nachempfunden. Bei der Dreiecksmethode werden alle Rückflüsse (unter der blauen Linie) in der Matrix, zu den Zuflüssen addiert. Für die Berechnung ist die transportierte Menge und nicht deren Richtung von Bedeutung.

		1-Wareneingang	2-Produktion	3-Lieferanten	4-Hauptlager	5-Kunden	6-Kommissoinierung	7-MLP Slowakei	8-Qualitätsprüfung	9-Warenausgang	Summe
1-Wareneing				221	409			188			409
2-Produktion					418						197
3-Lieferante		221									221
4-Hauptlager			221				550		65		836
5-Kunden										439	0
6-Kommissio										550	550
7-MLP Slowa		188								111	188
8-Qualitätsp											0
9-Warenausg						439		111			550
Summe		409	221	0	606	439	550	111	65	550	2951

Reihung	Stations-ID									
1	4	409	418				550		65	
2	6									550
Σ		409	418	0	0	0		0	65	550
3	9					439		111		
Σ		409	418	0	0	439		111	65	
4	5									
Σ		409	418	0	0			111	65	
5	2									
Σ		409		0	0			111	65	
6	1			221				188		
Σ				221	0			299	65	
7	3									
Σ					0			299	65	
8	7									
Σ					0				65	
9	8									

Tabelle 19: Dreieckverfahren-Unternehmen B

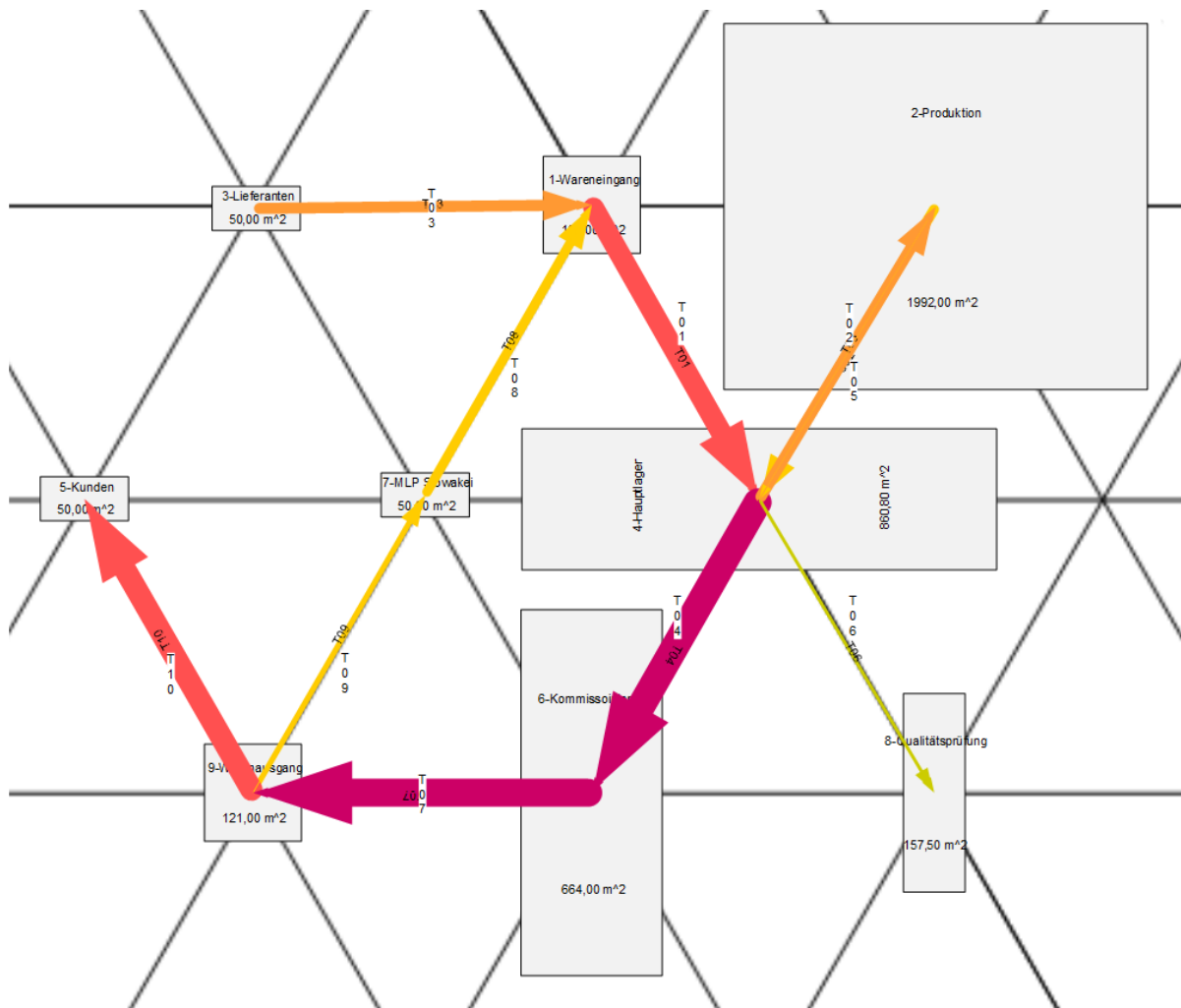


Abbildung 54: Anordnung Dreiecksmethode-Unternehmen B

3.2.6 Dreiecksmethode mit überarbeiteten Flächen

Die Weiterentwicklung der Dreieck-Methode stellt das Dreieckverfahren mit überarbeiteten Flächen dar. Dabei werden die Konturen der einzelnen Bereiche / Abteilungen von rechteckigen Flächen zu Quadraten geändert. Die Flächen der Bereiche bleiben unverändert. Die Transportpfeile sind noch nicht den realen Transportwegen angepasst.

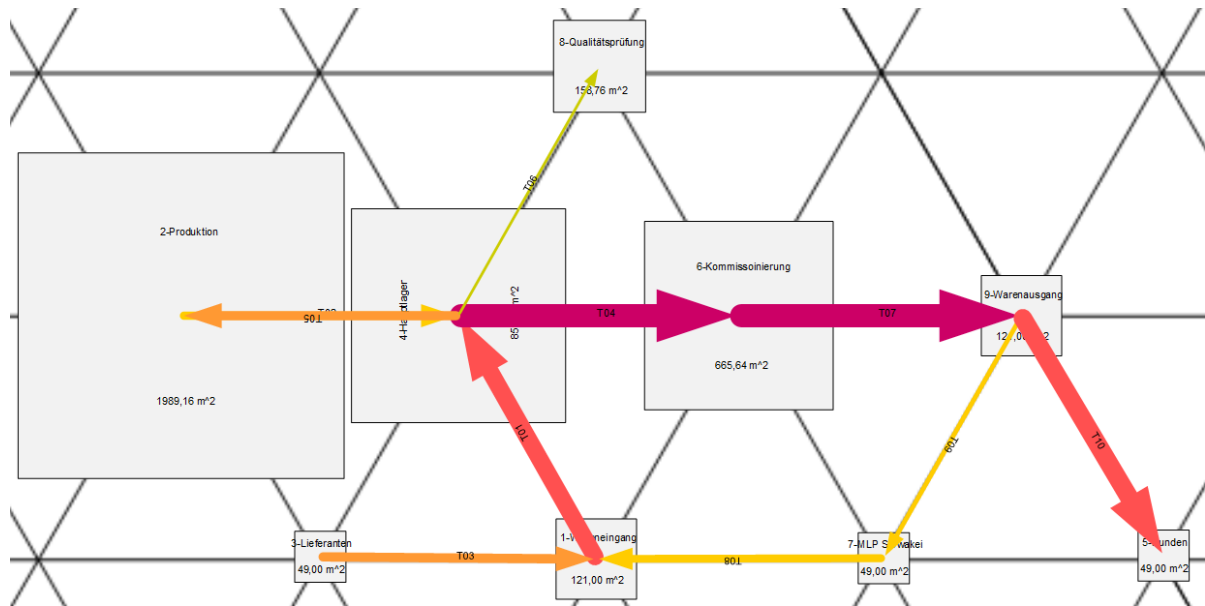


Abbildung 55: Dreiecksmethode - Überarbeitete Flächen

3.2.7 Idealisiertes Layout

Diese Anordnung der einzelnen Stationen stellt eine von vielen möglichen Varianten des Ideallayouts dar. Die Transportwege folgen realen Bedingungen, Gebäude werden umfahren und Straßen zwischen einzelnen Stationen sind berücksichtigt. Das Layout, in Abbildung 56 dargestellt, ist eine Weiterentwicklung des Dreieck-Modells. Dieses heuristische Verfahren bietet eine gute Näherung eines verbesserten Layouts, jedoch ist es wahrscheinlich, dass durch eine erneute Weiterentwicklung dieser Variante eine Lösungen mit etwas geringeren Transportwegen zu erzielen ist.

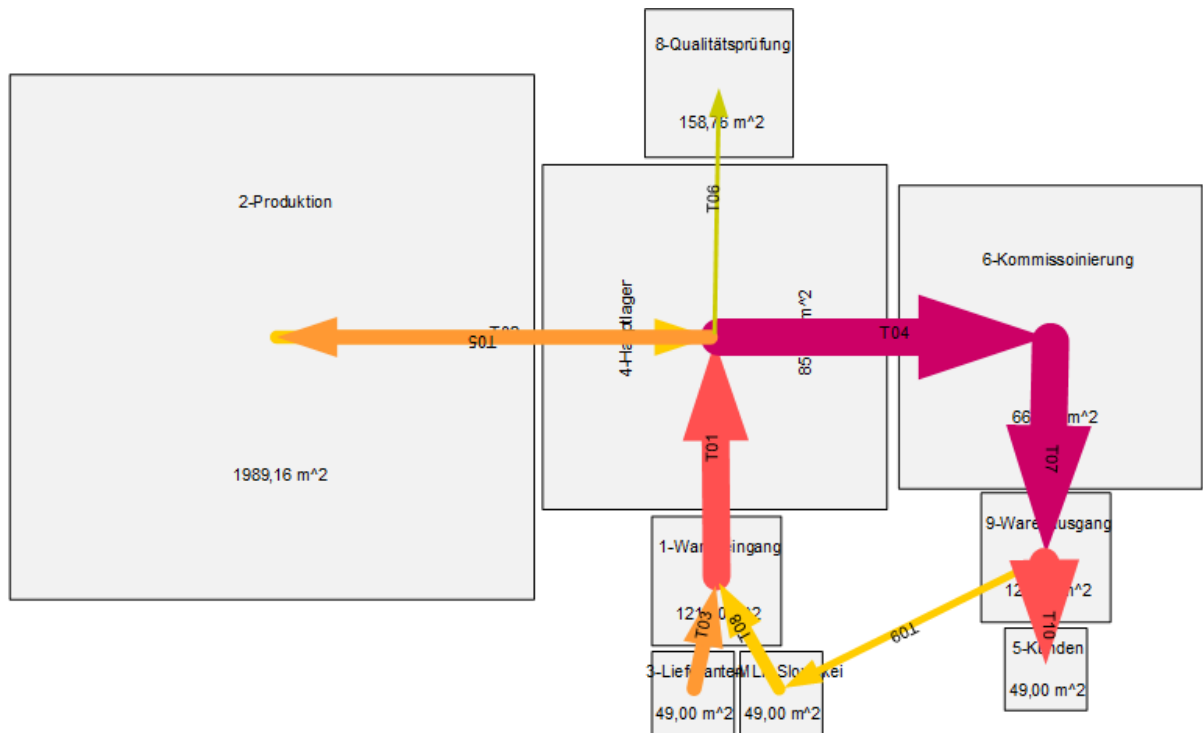


Abbildung 56: Idealisiertes Layout

Die Zeile und Spalte mit dem größten Quotient wird jeweils gelöscht und dieser Schritt so lange wiederholt bis eine eindeutige Reihenfolge feststeht (siehe Tabelle 21).

	1-Verladerampe	2-Wareneingangslager	3-Lacklager	4-Digitaldruckerei	5-Kantenbiegerei	6-Holzkerne, Ablängerei PU	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	9-Beschichtung, Siebelager	10-GFM, Stanzeri	12-SWN-Laminierung	13-Kaschiererei	14-PU-Schäumerei	15-Trockenkammer	16-Schleiflinien	17-PLT-Anlage	18-Finish	Summe	
1-Verladerampe		3852																	3852
2-Wareneingangslager				90	212	759	248	659		416	1014	67	358				29		3852
3-Lacklager								150											150
4-Digitaldruckerei								319											319
5-Kantenbiegerei											255								255
6-Holzkerne, Ablängerei PU		230					13				89	449	199						980
7-Sublimation						16		51		449	339						100		955
8-Siebdruckerei										302		182		361					845
9-Beschichtung							298												298
10-GFM, Stanzeri							57				1435	47	192					47	1778
12-SWN-Laminierung													25		1020		1066		2111
13-Kaschiererei														315					315
14-PU-Schäumerei														1288					1288
15-Trockenkammer						156	270		298	197									2209
16-Schleiflinien													21				413	2008	2442
17-PLT-Anlage													124						124
18-Finish	3500												64		1133				4697
Summe	3500	4082	0	90	212	931	1205	860	298	1364	2793	1084	983	1964	3441	542	3121		26470
	1,10	0,94	#DIV/0!	3,54	1,20	1,05	0,79	0,98	1,00	1,30	0,76	0,29	1,31	1,12	0,71	0,23	1,50		

Tabelle 20: Transportintensitätsmatrix - VDI 2498

Reihung	Abteilung
1	3-Lacklager
2	4-Digitaldruckerei
3	18-Finish
4	1-Verladerampe
5	2-Wareneingangslager
6	8-Siebdruckerei
7	5-Kantenbiegerei
8	6-Holzkerne, Ablängerei
9	14-PU-Schäumerei
10	15-Trockenkammer
11	9-Beschichtung,
12	7-Sublimation
13	10-GFM, Stanzeri
14	12-SWN-Laminierung
15	16-Schleiflinien
16	13-Kaschiererei
17	17-PLT-Anlage

Tabelle 21: Reihenfolge VDI-Verfahren

Durch die Neuordnung der Bereiche, nach der Abfolge der Stationen aus der Berechnungsgrundlage von Tabelle 20, konnte eine Einsparung von 2.023 Transporteinheiten erzielt werden. Im Ausgangszustand waren Rückflüsse von 6.364 Transporteinheiten, durch die Anwendung des VDI-2498-Verfahren konnten die Materialrückflüsse auf 4.341 Transporteinheiten gesenkt werden, das entspricht einer Reduktion bzw. Einsparung von 31,79%.

	3-Lacklager	4-Digitaldruckerei	18-Finish	1-Verladerampe	2-Wareneingangslager	8-Siebdruckerei	5-Kantenbiegerei	6-Holzkerne, Ablängerei PU	14-PU-Schäumerei	15-Trockenkammer	9-Beschichtung, Siebelager	7-Sublimation	10-GFM, Stanzerei	12-SWN-Laminierung	16-Schleiflinien	13-Kaschiererei	17-PLT-Anlage	Summe	
3-Lacklager						150													150
4-Digitaldruckerei												319							319
18-Finish				3500					64						1133				4697
1-Verladerampe					3852														3852
2-Wareneingangslager		90				659	212	759	358			248	416	1014		67	29		3762
8-Siebdruckerei										361			302			182			845
5-Kantenbiegerei														255					255
6-Holzkerne, Ablängerei						230			199			13		89		449			980
14-PU-Schäumerei										1288									1288
15-Trockenkammer								156			298	270	197		1288				2209
9-Beschichtung, Siebelager												298							298
7-Sublimation						51		16					449			339	100		955
10-GFM, Stanzerei			47						192			57		1435		47			1731
12-SWN-Laminierung			1066						25						1020				1045
16-Schleiflinien			2008						21									413	434
13-Kaschiererei										315									315
17-PLT-Anlage									124										124
Summe	0	90	3121	0	4082	710	212	931	919	1964	298	886	1364	2793	2308	1084	542		18093

Tabelle 22: Neuordnung der Transportmatrix

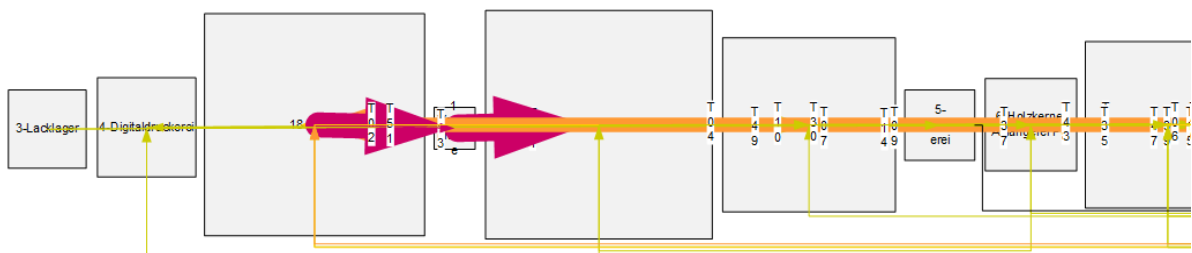


Abbildung 58: Rückflussoptimierte Anordnung (linker Bereich)

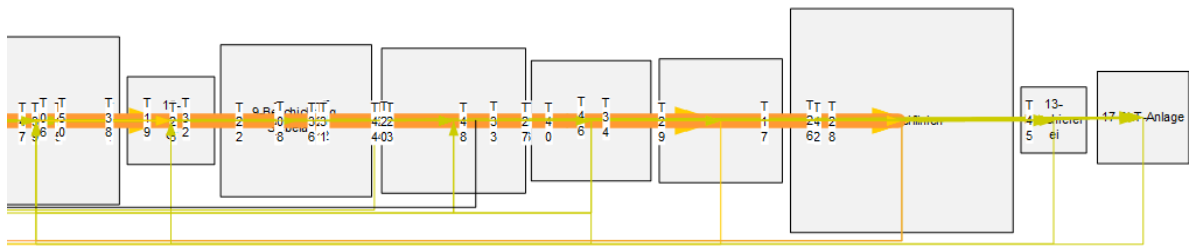


Abbildung 59: Rückflussoptimierte Anordnung (rechter Bereich)

Das VDI 2498-Verfahren soll einen Überblick hinsichtlich der Rückflüsse geben, wurde aber nicht weiter modifiziert, da eine zu große Variantenvielfalt die Überschaubarkeit beeinflusst hätte.

3.3.2 Sankey-Diagramm

Wie bereits zuvor, wurden die Flächen der einzelnen Bereiche auf eine einheitliche Form gebracht, da diese keinerlei Einfluss auf den Materialfluss in diesem Diagramm haben. Diese Maßnahme dient lediglich der besseren Übersicht und soll die Optik der Abbildung verbessern. Bei Unternehmen C ist die verzweigte Struktur gut erkennbar.

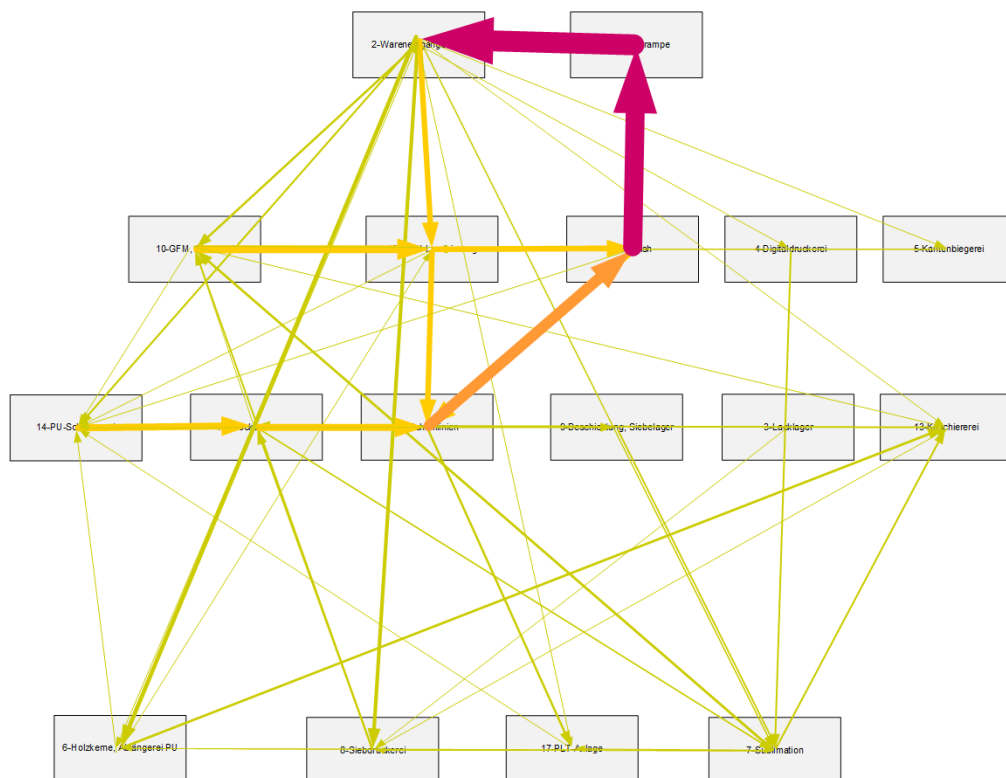


Abbildung 60: Sankey-Diagramm-Unternehmen C

3.3.3 Kreisverfahren

Bereiche mit großer Transportintensität werden nebeneinander angeordnet, dies ist sehr gut durch die Farbe und Linienstärke der Pfeile zu erkennen.

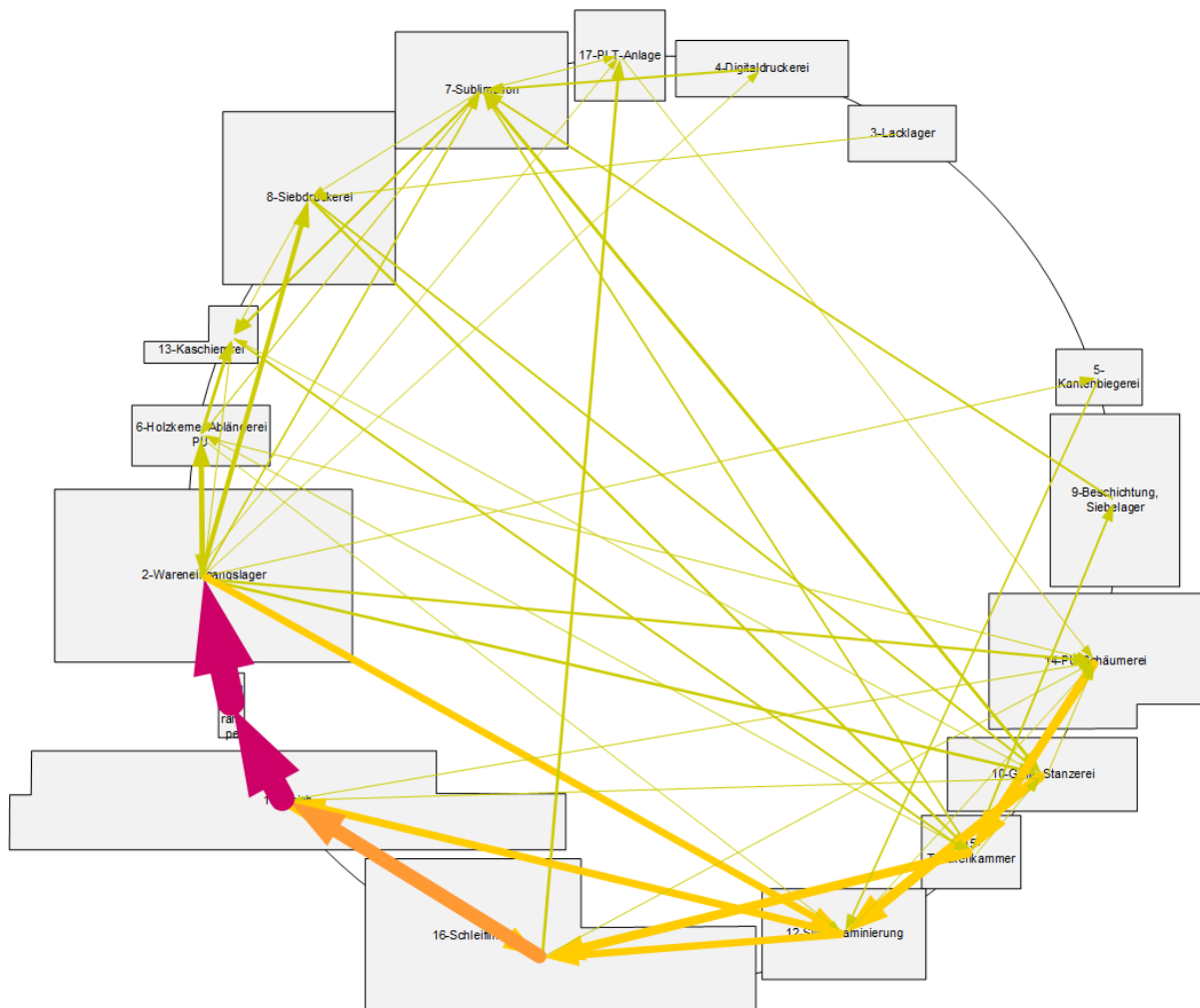


Abbildung 61: Kreisverfahren-Unternehmen C

Im nächsten Bild ist der Kreis zu einer Ellipse deformiert und stellt eine mögliche Weiterentwicklung bzw. Verbesserung dieses Verfahrens dar, da die Entfernungen der einzelnen Stationen oder Bereiche geringer werden und sich die Wege für die Flurförderzeuge verkürzen.

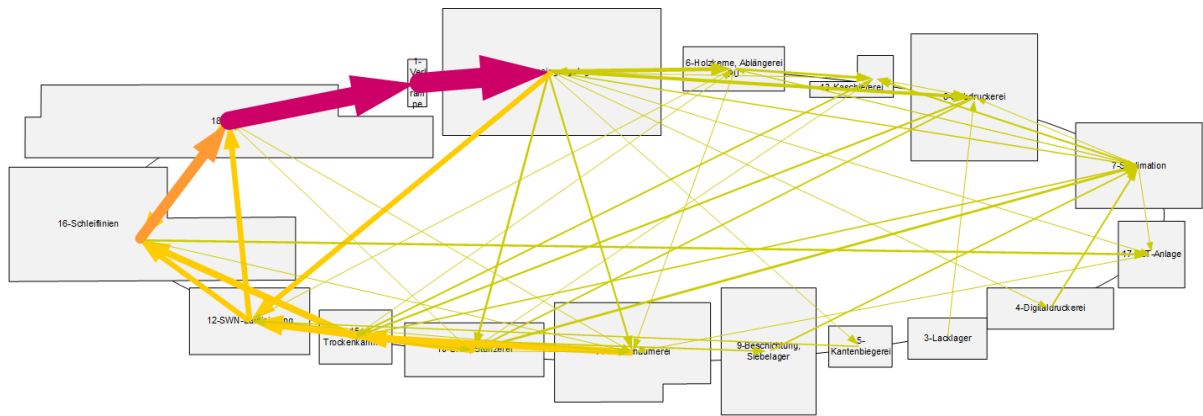


Abbildung 62: Weiterentwicklung Kreisverfahren-Unternehmen C

3.3.4 Viereckmethode

Beim Viereckverfahren oder Viereckmethode werden die einzelnen Bereiche oder Abteilungen auf einem Viereckraster angeordnet. Die Transportwege sind dem Raster nachempfunden. Die Ausgangswerte zur Berechnung sind wie beim VDI 2498 - Verfahren aus der Transportmatrix entnommen. Die Reihenfolge der Anordnung ist der aus der Tabelle 23, der Dreieck-Berechnungsmethode zu entnehmen.

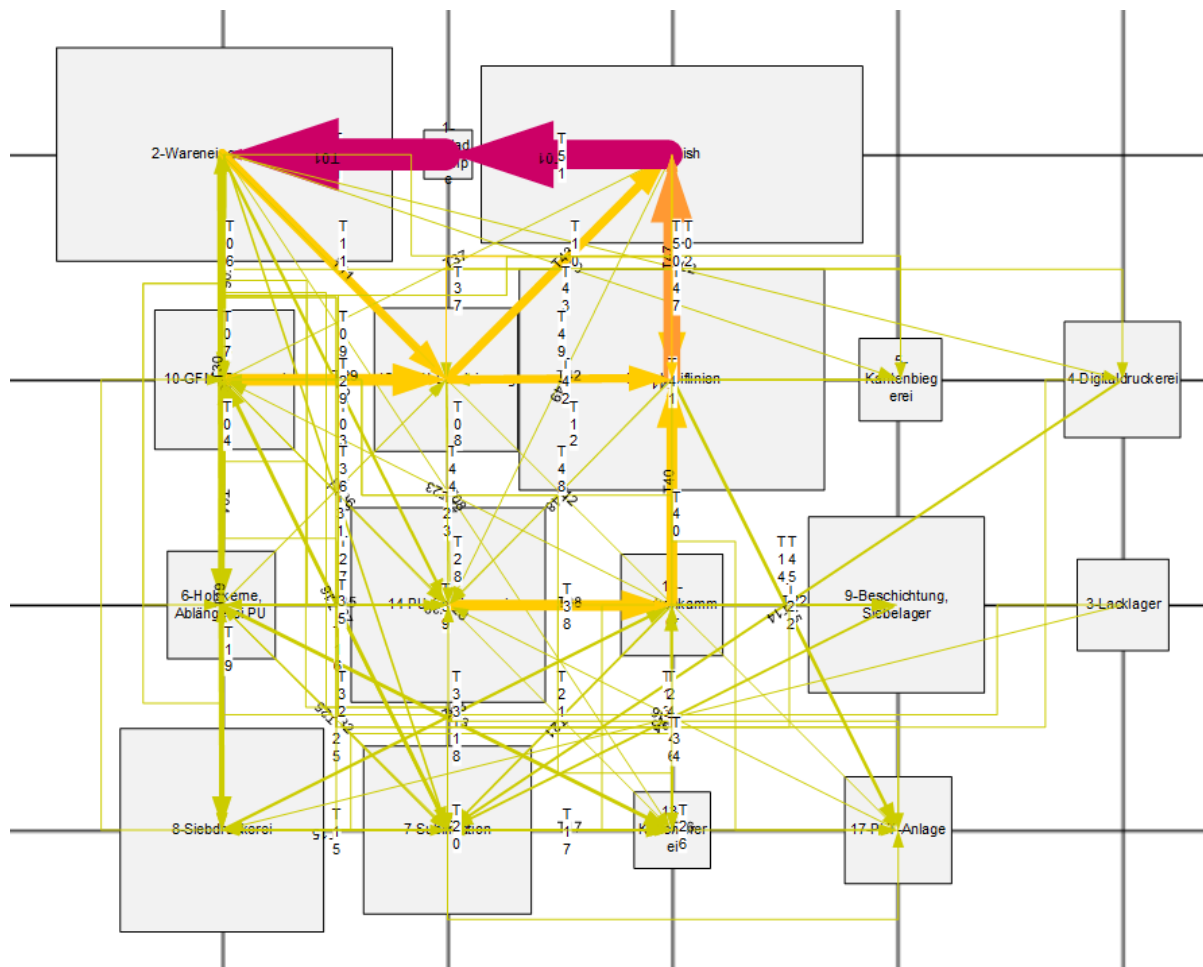


Abbildung 63: Viereckmethode-Unternehmen C

3.3.5 Dreiecksmethode

Die Anordnung der einzelnen Stationen erfolgt auf einem Raster von gleichseitigen Dreiecken. Die Transportwege sind wie schon beim Viereckverfahren dem Raster nachempfunden. Bei der Dreiecksmethode werden alle Rückflüsse (unter der blauen Linie) in der Matrix, zu den Zuflüssen addiert. Für die Berechnung ist die transportierte Menge und nicht die Richtung von Bedeutung.

		1-Verladerampe	2-Wareneingangslager	3-Lacklager	4-Digitaldruckerei	5-Kantenbiegerei	6-Holzkerne, Ablängerei PU	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	9-Beschichtung, Siebelager	10-GFM, Stanzer	12-SWN-Laminierung	13-Kaschiererei	14-PU-Schäumerei	15-Trockenkammer	16-Schleiflinien	17-PLT-Anlage	18-Finish	Summe	
	1-Verladerampe		3852																3500	7352
	2-Wareneingangslager				90	212	989	248	659		416	1014	67	358				29		4082
	3-Lacklager								150											150
	4-Digitaldruckerei							319												319
	5-Kantenbiegerei											255								255
	6-Holzkerne, Ablängerei PU		230				29				89	449	199	156						922
	7-Sublimation						16		51	298	506	339	270				100			1564
	8-Siebdruckerei										302	182	361							845
	9-Beschichtung, Siebelager												298							298
	10-GFM, Stanzer							59				1435	47	192	197				47	1918
	12-SWN-Laminierung													25		1020			1066	2111
	13-Kaschiererei														315					315
	14-PU-Schäumerei															1288	21	124	64	1497
	15-Trockenkammer						156	270		298	197									1288
	16-Schleiflinie													21				413	3141	3554
	17-PLT-Anlage														124					0
	18-Finish		3500											64		1133				4697
	Summe	3500	4082	0	90	212	931	1205	860	298	1364	1779	1084	983	1964	3441	542	3121	31167	

Reihung	Stations-ID																			
1	1		3852																	3500
Σ				90	212	989	248	659	0	416	1014	67	358	0	0	29	0			
2	2			90	212	989	248	659	0	416	1014	67	358	0	0	29	3500			
Σ									47	1066		64			3141					
3	18			90	212	989	248	659	0	463	2080	67	422	0	3141		29			
Σ											1020		21	1288		413				
4	16			90	212	989	248	659	0	463	3100	67	443	1288		442				
Σ					255	89				1435		25								
5	12			90	467	1078	248	659	0	1898		67	468	1288		442				
Σ							506	302			47	192	197							
6	10			90	467	1078	754	961	0		114	660	1485		442					
Σ						156	270	361	298		315	1288								
7	15			90	467	1234	1024	1322	298		429	1948			442					
Σ						199									124					
8	14			90	467	1433	1024	1322	298		429				566					
Σ						29					449									
9	6			90	467		1053	1322	298		878				566					
Σ					150			51			182									
10	8			150	90	467		1104		298		1060			566					
Σ					319				298			339			100					
11	7			150	409	467			596			1399			666					
Σ																				
12	13			150	409	467			596						666					
Σ																				
13	17			150	409	467			596											
Σ																				
14	9			150	409	467														
Σ																				
15	5			150	409															
Σ																				
16	4			150																
Σ																				
17	3																			

Tabelle 23: Dreieckverfahren-Berechnungsmethode-Unternehmen C

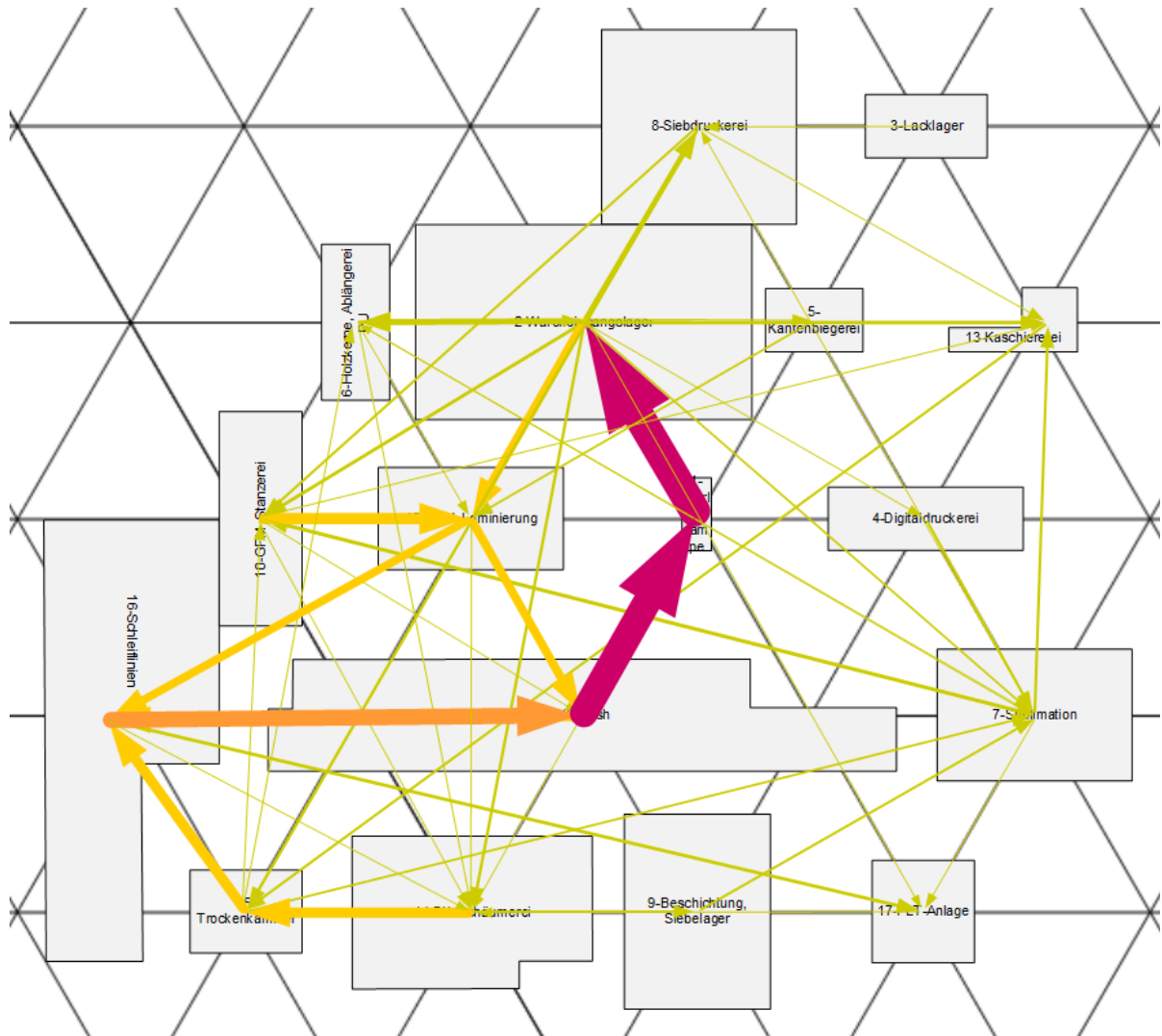


Abbildung 64: Dreiecksmethode-Unternehmen C

3.3.6 Dreiecksmethode mit überarbeiteten Flächen

Die Weiterentwicklung der Dreieck-Methode stellt das Dreieckverfahren mit überarbeiteten Flächen dar. Dabei haben sich die Konturen der einzelnen Bereiche / Abteilungen von rechteckigen Flächen zu Quadraten geändert. Die Flächen der Bereiche bleiben unverändert. Die Transportpfeile sind noch nicht den realen Transportwegen angepasst.

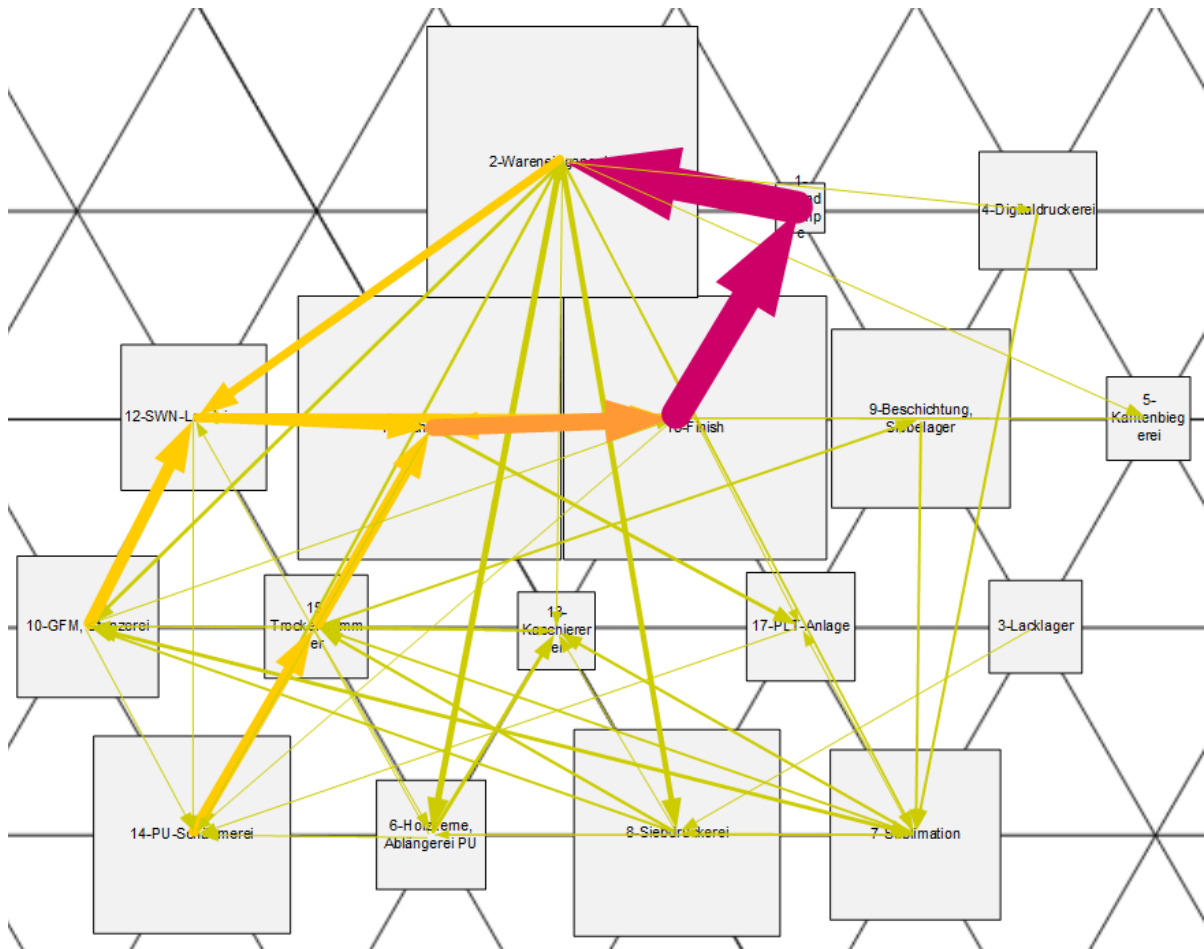


Abbildung 65: Dreiecksmethode mit überarbeiteten Flächen-Unternehmen C

3.3.7 Idealisertes Layout

Diese Anordnung der einzelnen Stationen stellt eine von vielen möglichen Varianten des Ideallayouts dar. Die Transportwege folgen realen Bedingungen, Gebäude werden umfahren und Straßen zwischen einzelnen Stationen sind berücksichtigt. Dieses Layout ist eine Weiterentwicklung des Dreieck-Modells. Heuristische Verfahren bietet, wie schon zuvor erwähnt, eine gute Näherung eines verbesserten Layouts, jedoch ist es wahrscheinlich, dass durch eine erneute Weiterentwicklung dieser Variante eine etwas bessere Lösungen zu erzielen ist.

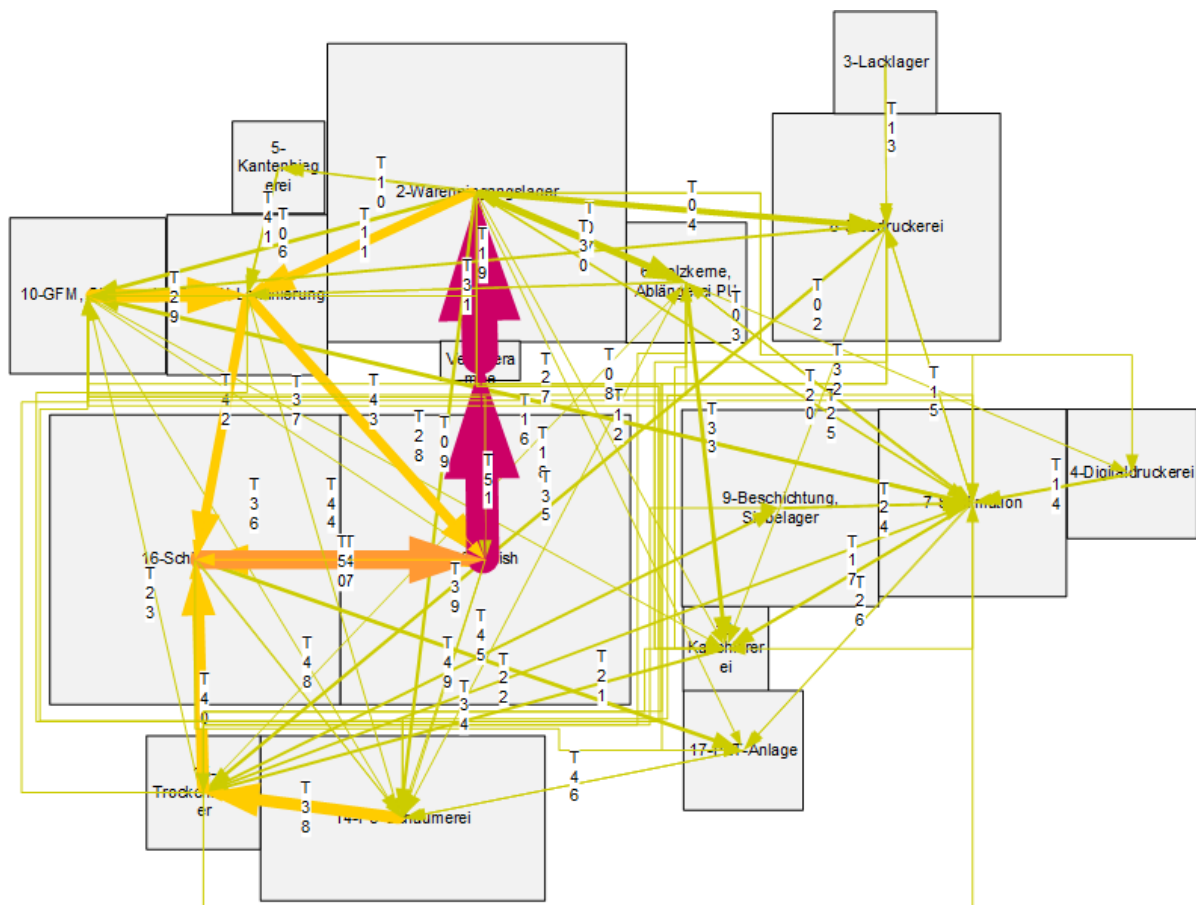


Abbildung 66: Idealisertes Layout-Unternehmen C

Das Kapitel 3 beschreibt einen genauen Überblick der angewendeten Methoden. Jeweils die aussagekräftigsten Varianten der verschiedenen Methoden aller Unternehmen wurde vorgestellt, die übrigen Ergebnisse sind dem Anhang aus Kapitel 7 zu entnehmen.

Im folgenden Kapitel 3.4 werden die bereits erarbeiteten Varianten gegenübergestellt und verglichen. Ein aussagekräftiges Ergebnis, über Einsparungen und Verbesserungen was das Layout bzw. den Materialfluss betrifft, ist zu erwarten.

3.4 Gegenüberstellung der Ergebnisse

In den folgenden drei Unterpunkten werden die Varianten aus Kapitel 3.1 bis 3.3 bewertet und miteinander verglichen.

3.4.1 Vergleich der Methoden - Unternehmen A

Das Unternehmen A hat das größte Verbesserungspotential hinsichtlich Einsparung der Transportwege, würde man eine neue Fabrik errichten. Im bestehenden Layout konnten schon vorab lange Transportwege festgestellt werden, dennoch eine Verbesserung von 70,8%, bezogen auf den aktuellen Ist-Zustand des Layouts, war nicht zu erwarten (siehe Tabelle 24).

Dreieck- und Viereckmethode liefern nahezu dieselben Werte, was wiederum auf die gemeinsame Berechnungsgrundlage zurückzuführen ist. Beim Kreisverfahren wurden die einzelnen Stationen auf einer elliptischen Kontur am Umfang angeordnet. Das Kreisverfahren liegt auf den zweiten Rang, dies ist auf das bereits im vorigen Absatz erwähnte Rechteck-Quadrat Transportproblem zurückzuführen. Dieser Wert stellt eine geschönte Layoutvariante dar.

Beim idealisierten Layout sind sämtliche Transportstraßen berücksichtigt, aber auch die Wege der Flurförderzeuge realitätsgetreu abgebildet.

Allgemein kann man feststellen, dass großes Verbesserungspotential besteht. Eine genauere Betrachtung sowie eine Investitionsrechnung bei Umplanung wären empfehlenswert.

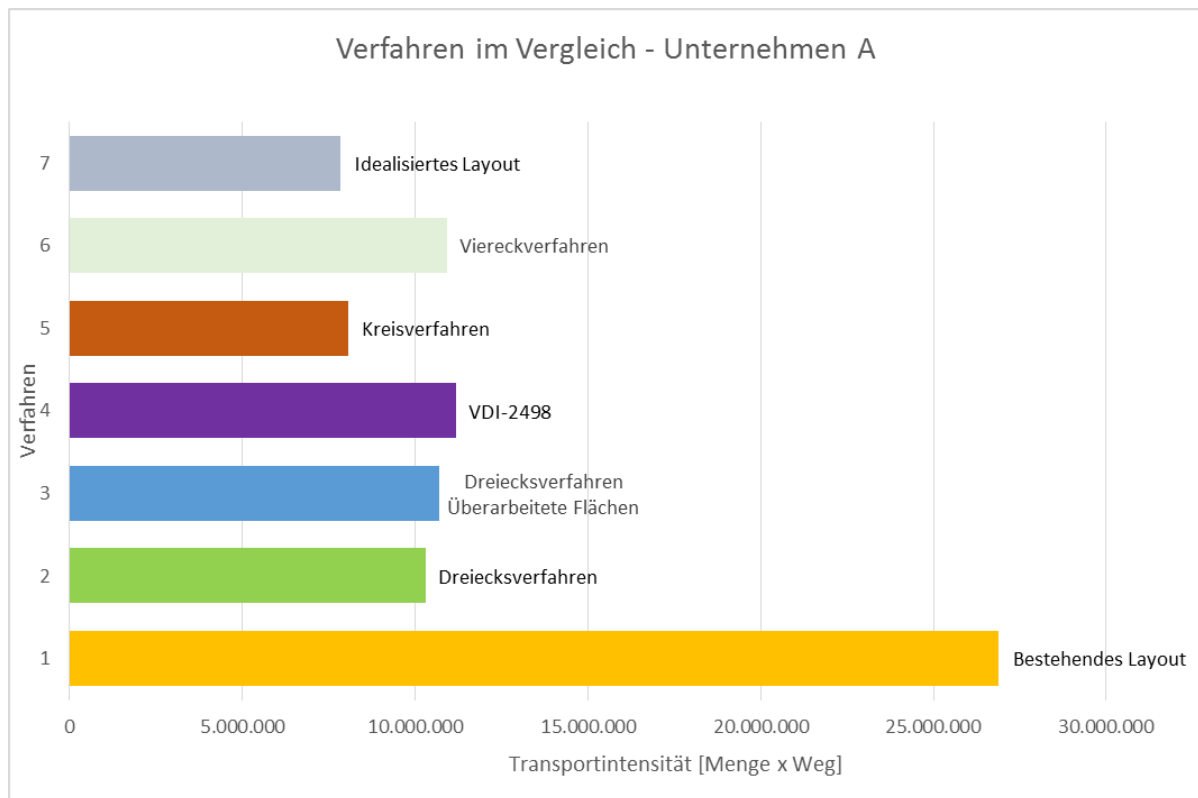


Abbildung 67: Vergleich Unternehmen A

Verfahren	Menge x Weg	Verbesserung in %
Bestehendes Layout	26.894.698	
Dreiecksverfahren	10.301.192	61,7
Dreiecksverfahren Überarbeitete Flächen	10.689.349	60,3
VDI-2498	11.194.350	58,4
Kreisverfahren	8.073.362	70,0
Viereckverfahren	10.929.409	59,4
Idealisiertes Layout	7.841.408	70,8

Tabelle 24: Verbesserungspotential Unternehmen

3.4.2 Vergleich der Methoden - Unternehmen B

Das Unternehmen B ist hinsichtlich der Stationen bzw. Abteilungen der kleinste der drei Betriebe. Dreieck- und Viereckverfahren liefern wie schon bei Unternehmen A sehr ähnliche Ergebnisse. Das VDI 2498-Verfahren soll einen Überblick hinsichtlich der Rückflüsse geben, wurde aber nicht weiter modifiziert. Das Kreisverfahren mit angepassten Flächen in quadratischer Form bietet eine

sehr gute Ausgangsbasis für eine weitere Layoutoptimierung. Jedoch sind die Transportwege noch nicht zur Gänze an die Realität angepasst. Das idealisierte Layout mit einem Verbesserungspotential von 53,7% stellt eine Überarbeitung der Dreiecksmethode dar und ist dem Ergebnis der Kreismethode sehr ähnlich.

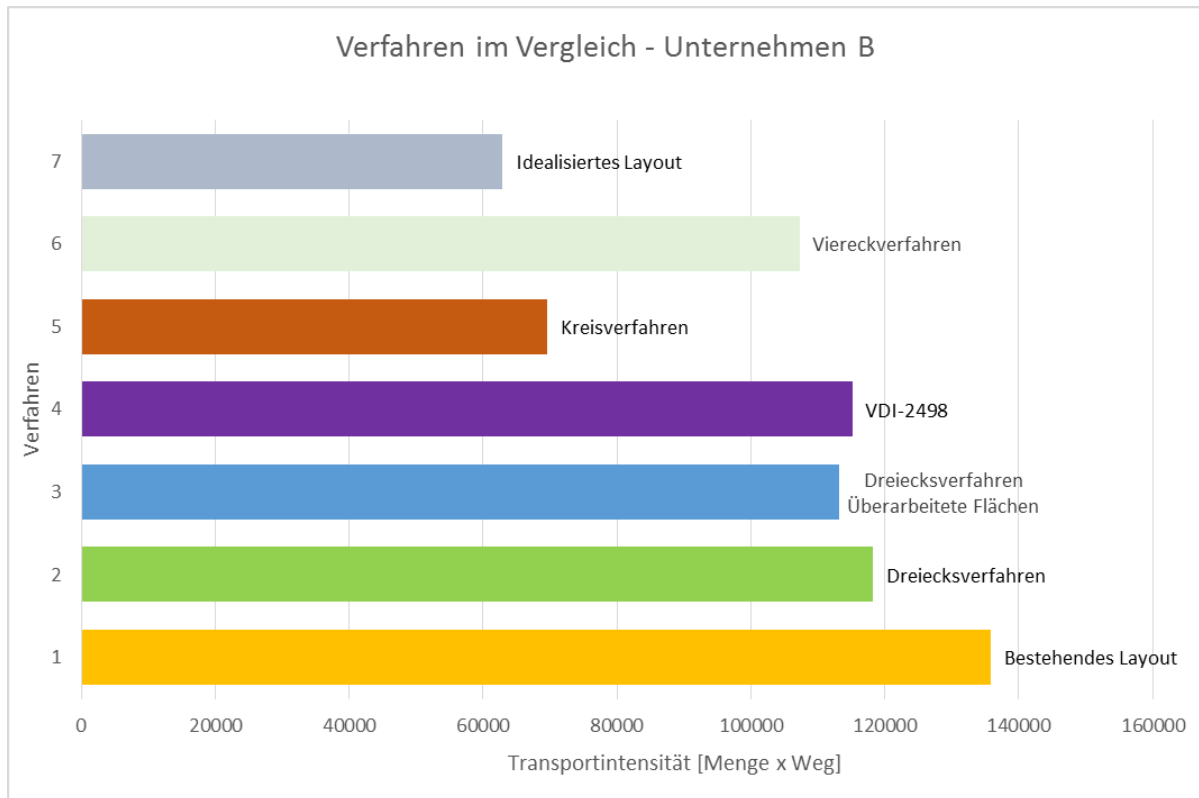


Abbildung 68: Vergleich Unternehmen B

Verfahren	Menge x Weg	Verbesserung in %
Bestehendes Layout	135.820	
Dreiecksverfahren	118.288	12,9
Dreiecksverfahren Überarbeitete Flächen	113.171	16,7
VDI-2498	115.268	15,1
Kreisverfahren	69.620	48,7
Viereckverfahren	107.262	21,0
Idealisiertes Layout	62.819	53,7

Tabelle 25: Verbesserungspotential Unternehmen B

3.4.3 Vergleich der Methoden - Unternehmen C

Bei der Gegenüberstellung der Varianten von Unternehmen C, sticht als größter Wert das VDI 2498-Verfahren heraus. Diese Methode soll einen Überblick hinsichtlich der Rückflüsse geben. Die einzelnen Stationen sind hintereinander gereiht und stellen daher auch kein realitätsnahes Layout dar. Aufgrund der Vielzahl von Rückflüssen und der geraden, aufeinanderfolgenden Anordnung, somit sehr lange Wege, erklärt sich die Verschlechterung gegenüber dem aktuellen Layout. Würde man jedoch das Layout in derselben Reihenfolge, aber einer abgeänderten Form darstellen, wäre auch hier eine Optimierung zu erzielen. Eine mögliche Anordnungsstruktur ist nach Fuchs [FUC09] in der Abbildung 69 dargestellt.

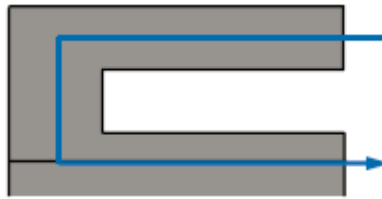


Abbildung 69: Strukturvariante (nach [FUC09] S. 22)

Die Dreiecksmethode ist beim Unternehmen C um einige Prozentpunkte, bezogen auf den Ist-Zustand, besser im Vergleich zur Viereck-Methode was wieder auf die dem Viereck angenäherte Transportwege zurückzuführen ist.

Das idealisierte Layout weist wie bereits bei den vorigen Unternehmen realitätsgetreue Transportwege auf, Stationen und Abteilungen wurden umfahren. Restriktionen wie Grundstücksgrenzen, bauliche Einschränkungen waren nicht zu berücksichtigen. Eine Verbesserung von 39,3% würde durch eine Neugestaltung der Fabrik erzielt werden.

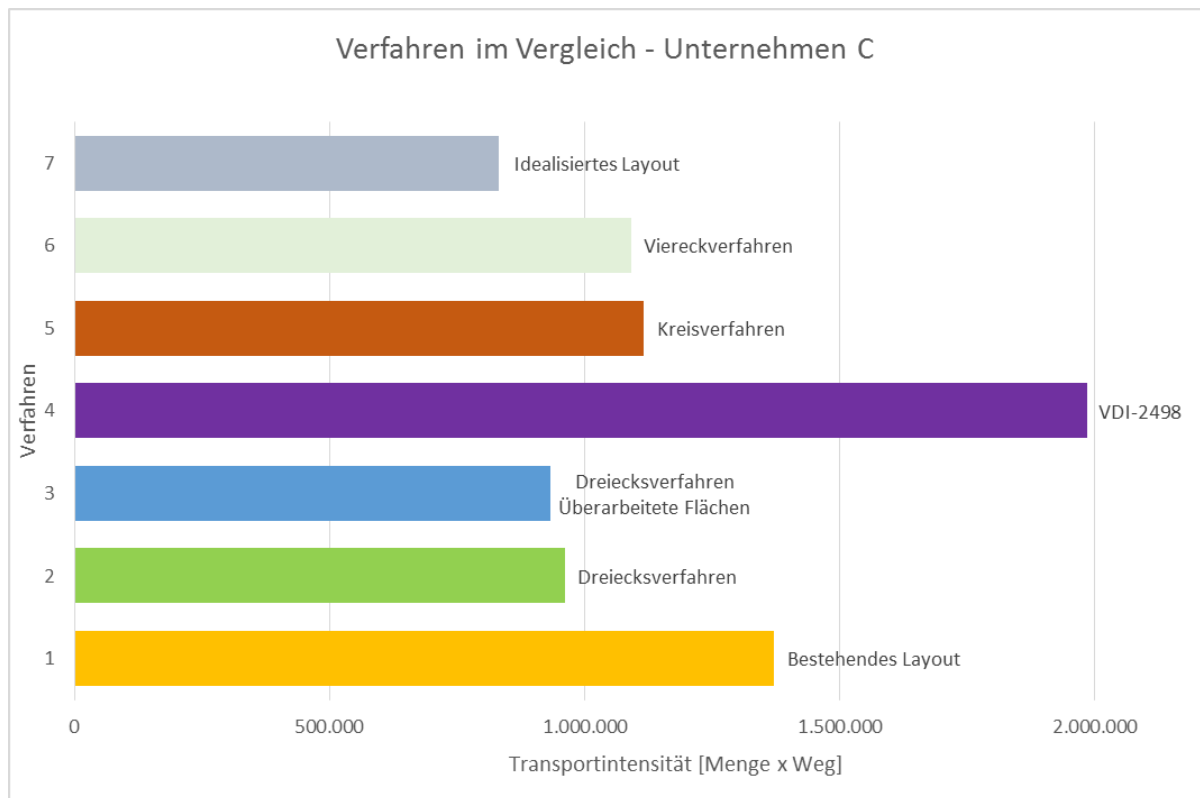


Abbildung 70: Vergleich Unternehmen C

Verfahren	Menge x Weg	Verbesserung in %
Bestehendes Layout	1.370.960	
Dreiecksverfahren	961.164	29,9
Dreiecksverfahren Überarbeitete Flächen	931.886	32,0
VDI-2498	1.984.036	-44,7
Kreisverfahren	1.116.494	18,6
Viereckverfahren	1.091.744	20,4
Idealisiertes Layout	832.686	39,3

Tabelle 26: Verbesserungspotential Unternehmen C

Abschließend ist nochmals zu erwähnen, dass sämtliche Transporteinheiten in den vorigen Ergebnissen auf Paletten-Meter normiert wurden, mit dem Ziel, eine gemeinsame Transporteinheit und damit verbunden die Vergleichbarkeit der Transporte darstellt.

4 Bewertung der Vorgehensweise

Im vorigen Kapitel wurden verschiedene Layoutplanungsmethoden auf die drei Unternehmen angewendet, abgewandelt und optimiert. In diesem Kapitel werden die Methoden einander gegenübergestellt, mit der bestehenden Fabrikstruktur verglichen und plausibilisiert. Richtwert und Benchmark stellt jeweils das aktuell bestehende Ist-Layout der Unternehmen dar. Der Fokus und die Ergebnisse dieser Arbeit beziehen sich auf eine Neuplanung der Fabrikgebäude, Reorganisation oder Umplanung der Bereiche bzw. Stationen war nicht Teil der Aufgabenstellung und wurde nicht behandelt. Das Ideallayout beschreibt die Anordnung der Stationen unter Berücksichtigung des Flächenbedarfs in Form einer „Grünen Wiese“-Variante. Sie zeigt gegenüber dem Ist-Layout das maximale Verbesserungspotential ohne jegliche Restriktionen auf. Der Flächenbedarf ist vom bestehenden Layout übernommen worden ([PAW08]; [KLA08]).

Es wurde bei den idealisierten Layouts, der drei Unternehmen, Zusatzflächen wie Meisterbüro, Gemeinschaftsräume, etc. nicht berücksichtigt. Freie Flächen sind für diverse Peripherie in den Layouts vorhanden und bieten Platz für die zuvor erwähnten Räumlichkeiten. Transportwege, Verkehrsflächen und Kreuzungen oder Umladebereiche sind in dieser Layoutentwicklung berücksichtigt [PAW08].

Bei den idealisierten Layouts wurde für die Gebäudeformen das Quadrat verwendet, da der Transportweg vom Schwerpunkt ausgehend, jeweils im 90 Grad Winkel gleich weit von den Station- bzw. Gebäudeabgrenzungen entfernt ist. Würde man an dieser Stelle Rechtecke verwenden mit unterschiedlichen Seitenverhältnis, und diese eng nebeneinander stellen, dann wären die Transportwege kürzer, das Ergebnis wäre nicht aussagekräftig bzw. vergleichbar und die Zahlen nicht repräsentativ. In den nächsten zwei Bildern (Abbildung 71 und Abbildung 72) sind die Unterschiede und die Abweichung des Transportweges zwischen den Stationen „Rechteck“ und „Quadrat“ dargestellt.

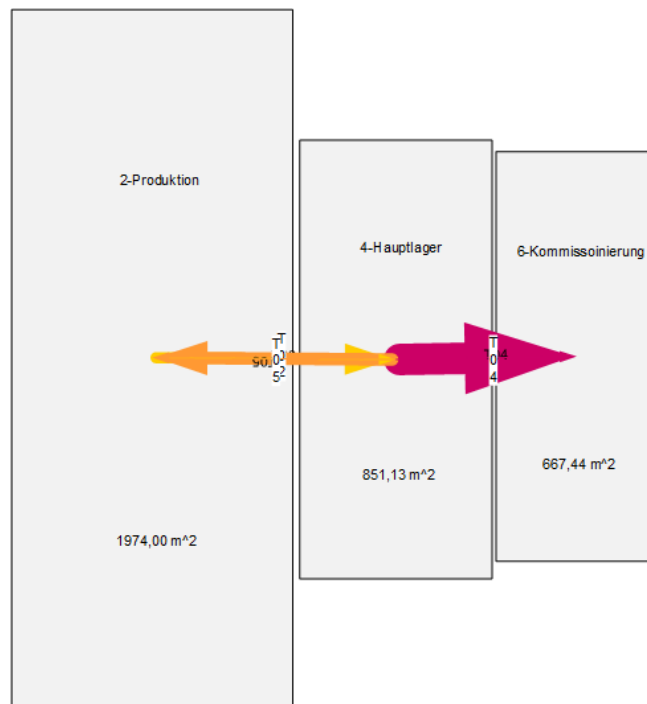


Abbildung 71: Stationen rechteckiger Form

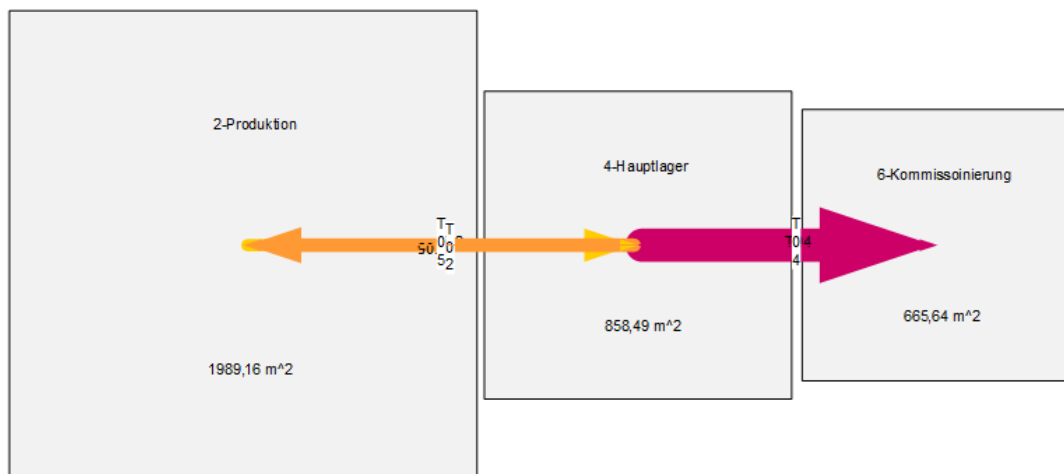


Abbildung 72: Stationen quadratischer Form

5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit erfolgte nach der Einarbeitung in die Materialfluss- und Layoutplanung eine genauere Studie der Layoutplanungsmethoden (Kapitel 2). Der Ist-Zustand der drei untersuchten Firmen wurde hinterfragt und aufgearbeitet. Als Arbeitsgrundlage wurde das Groblayout der Firmen in Microsoft Visio dargestellt, die einzelnen Stationen / Bereiche / Abteilungen dem Ist-Zustand nachgebildet. Sämtliche Daten über Materialflüsse und Transportwege wurden auch vom Institut für technische Logistik bereitgestellt. Mit dieser Visualisierung aller Materialbewegungen zwischen den Bereichen konnten die Längen der Transportwege berechnet, ausgelesen und exportiert werden.

Sämtliche Verfahren und Methoden wurden auf diese Art aufgebaut und Varianten daraus erarbeitet (Kapitel 3). Mögliche Fehlerquellen wurden in Kapitel 3.4 anfangs erläutert und auf eine Verfälschung der Ergebnisse, die im Laufe der Materialfluss- und Layoutgestaltung auftreten können, dezidiert hingewiesen.

Die verschiedenen Varianten und Verfahren wurden ausgewertet und gegenübergestellt. Durch die grafische Aufarbeitung ist ein mögliches Verbesserungspotential gut zu erkennen. Daraus resultieren Einsparungspotentiale der Transportwege, von bis zu 70%, gegenüber der Ausgangssituation bzw. dem Ist-Layout.

Der Fokus dieser Arbeit bezieht sich auf eine Neuplanung der drei Unternehmen. Dieses Ideallayout beschreibt die Anordnung der Stationen unter Berücksichtigung des Flächenbedarfs in Form einer „Grünen Wiese“-Variante nach Pawellek. Sie zeigt gegenüber dem Ist-Layout das maximale Verbesserungspotential ohne Berücksichtigung jeglicher Restriktionen. Der Flächenbedarf ist vom bestehenden Layout übertragen worden [PAW08].

Folgende Punkte oder Problemstellungen wurden im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht behandelt und stellen mögliche Potentiale oder Fragestellungen für zukünftige Untersuchungen, Forschungsprojekte oder Master- bzw. Bachelorarbeiten dar:

- Das Ideallayout könnte durch Restriktionen und mögliche Randbedingungen auf ein Reallayout übergeführt werden. Die bestehenden Gebäudemauern, Fundamentpläne für große Anlagen oder auch Sicherheitsvorschriften könnten mögliche Bedingungen für ein Reallayout darstellen.
- Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung sowie eine Kosten-Nutzen Rechnung und die Ermittlung der Amortisationszeit bei einer Neuplanung oder auch bei einer Reorganisation wäre durchaus ein interessanter Gesichtspunkt.
- Der Unterschied von heuristischen Methoden (Kapitel 2.3) zu mathematisch exakten Verfahren wäre ein interessanter Ansatz, der einen möglichen Ausgangspunkt für weitere Forschung darstellt

Im Rahmen dieser Arbeit kann zusammenfassend festgestellt werden, dass jedes der drei untersuchten Unternehmen ein gutes Verbesserungspotential hinsichtlich Materialfluss- und Layoutplanung hat. Sollten auch nur einzelne Lösungsansätze aus dem vorigen Kapitel realisiert werden, wären positive Veränderungen des Materialflusses und eine damit verbundene Kosteneinsparung zu erwarten.

6 Quellenverzeichnisse

6.1 Literaturquellen

- [AF09] ARNOLD, Dieter ; FURMANS, Kai: *Materialfluss in Logistiksystemen*. 6., erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2009
- [DIC09] DICKMANN, Philipp: *Schlanker Materialfluss mit Lean-production, Kanban und Innovationen*. 2., aktualisierte und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer, 2009 (VDI-Buch)
- [DOM96] DOMSCHKE, Wolfgang: *Logistik*. 4., überarb. u. erw. Aufl. München [u.a.] : Oldenbourg, 1996 (Oldenbourgs Lehr- und Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften)
- [GRU12] GRUNDIG, Claus-Gerold: *Fabrikplanung : Planungssystematik, Methoden, Anwendungen*. 4., neu bearb. Aufl. München [u.a.] : Hanser, 2012
- [GÜN05] GÜNTHER, Hans-Otto: *Produktion und Logistik*. 6., verb. Aufl. Berlin, Heidelberg [u.a.] : Springer, 2005 (Springer-Lehrbuch)
- [HH09] HACHTEL, Günther ; HOLZBAUR, Ulrich: *Management für Ingenieure : Technisches Management für Ingenieure in Produktion und Logistik*. Wiesbaden : Vieweg + Teubner, 2009 (Studium)
- [HH11] HEIDENBLUT, Volker ; HOMPEL, Michael ten: *Taschenlexikon Logistik : Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik*. 3., bearb. und erw. Aufl. Berlin [u.a.] : Springer, 2011 (VDI-Buch)
- [HEI06] HEINECKER, Markus: *Methodik zur Gestaltung und Bewertung wandelbarer Materialflusssysteme*. München [u.a.], Technische Universität München, Maschinenwesen. 2006
- [KLA08] KLAUS, Peter: *Gabler-Lexikon Logistik : Management logistischer Netzwerke und Flüsse*. 4., komplett durchges. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2008
- [LW05] LOTTER, Bruno ; WIENDAHL, Hans-Peter (Hrsg.): *Montage in der industriellen Produktion : Ein Handbuch für die Praxis*. Berlin : Springer, 2005 (VDI)
- [PAW08] PAWELLEK, Günther: *Ganzheitliche Fabrikplanung : Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung*. Berlin, Heidelberg : Springer, 2008 (VDI)
- [SCH11] SCHUH, Günther: *Handbuch Produktion und Management*. 2. vollst. neu bearb. u. erw. Aufl. Berlin : Springer, 2011

- [TTJ12] TINELLO, Daniel ; TRUMMER, Wolfgang ; JODIN, Dirk: Efficient approach in modifying material flow systems. In: University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering (Hrsg.): *Proceedings of the XX International Conference on "MATERIAL HANDLING, CONSTRUCTIONS AND LOGISTICS"*. Belgrade, Serbia, 2012, S. 243–246
- [UNI12] University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering (Hrsg.): *Proceedings of the XX International Conference on "MATERIAL HANDLING, CONSTRUCTIONS AND LOGISTICS"*. Belgrade, Serbia, 2012
- [VDI99] VDI-RICHTLINIE, 3595: *Methoden zur materialflussgerechten Zuordnung von Betriebsbereichen und –mitteln, 1999*
- [VDI08] VDI-RICHTLINIE, 2498, Blatt 2: *Vorgehen bei der Materialflussplanung, Beispiel für ein Groblayout, 2008*

6.2 Sonstige Quellen

- [AB09] ACKERMANN, Jörg ; BÖRNER, Frank: *Layoutoptimierung für eine effiziente Produktion*. TU Chemnitz, Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme. 2009
- [FUC09] FUCHS, Sascha: *Fabrikplanung : Logistik II – Layoutplanung*. Aachen, Technischen Hochschule, Lehrstuhl für Produktionsmanagement. 2009

6.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einflüsse und Zielsetzung (nach [PAW08], Abb. 1.7)	5
Abbildung 2: Betriebsebenen.....	6
Abbildung 3: Betriebsstättenplanung	6
Abbildung 4: Materialflussmatrix – Transportmatrix (nach [GRU12] Abb. 3.22) .7	
Abbildung 5: Problemlösungsprozess (nach [PAW08] Abb. 2.17)	9
Abbildung 6: Materialflussebenen (Eigene Darstellung nach [HEI06] Abb. 2-7) 11	
Abbildung 7: Ablauf Materialflussplanung (Eigene Darstellung nach [HEI06], Abb. 3-1)	12
Abbildung 8: Vorgehensweise Strukturplanung (Eigene Darstellung nach [HEI06] Abb. 3-3).....	13
Abbildung 9: Methoden der Layoutplanung (Eigene Darstellung nach [GÜN05] Abb. 4.24)	16
Abbildung 10: Materialflussmatrix (nach [VDI08], Tabelle 3)	18
Abbildung 11: Materialflussmatrix – Quotient (nach [VDI08], Tabelle 5).....	19
Abbildung 12: Materialflussmatrix - Schritt 2 (nach [VDI08], Tabelle 12).....	19
Abbildung 13: Materialflussmatrix optimiert (nach [VDI08], Tabelle 4)	19
Abbildung 14: Sankey-Diagramm	21
Abbildung 15: Kreisverfahren IST-Zustand (nach [FUC09] S.19).....	22
Abbildung 16: Kreisverfahren Soll-Zustand (nach [FUC09] S.19)	22
Abbildung 17: Deformierung des Grundkreises (nach [AB09] S. 10)	23
Abbildung 18: Dreiecksraster mit Betriebsmittelanordnung (nach [AF09] Abb. 7.33).....	24
Abbildung 19: Layoutkern	25
Abbildung 20: Möglichkeit der Anordnung der dritten Station.....	26
Abbildung 21: Nächster Schritt der Layoutanordnung.....	29
Abbildung 22: Layoutvariante nach dem Dreieck-Berechnungsverfahren	29
Abbildung 23: Vergleich Dreieck- und Viereckraster (nach [VDI99] Bild 7).....	30
Abbildung 24: Vorgehen Dreieck- und Viereckverfahren (nach [FUC09] S.20)...	31
Abbildung 25: Koordinatenachse der Wegstrecke (Eigene Darstellung nach [BET13] Abb. 6).....	32
Abbildung 26: Standortwahl in einer homogenen Fläche (Eigene Darstellung nach [BET13] Abb. 7).....	34
Abbildung 27: Rastereinheiten.....	41
Abbildung 28: Austausch von Elementpaaren (Eigene Darstellung nach [BET13] Abb. 10)	42
Abbildung 29: Austausch eines Paares mit unterschiedlichen Platzbedarf (Eigene Darstellung nach [BET13] Abb.11)	44
Abbildung 30: Bsp. Dreiflächentauch (Eigene Darstellung nach [BET13] Abb. 12).....	44
Abbildung 31: Vorgehensweise Nutzwertanalyse (nach [SCH11], Abb. 11.7).....	46

Abbildung 32: Charakterisierung der Nutzwertanalyse ([SCH11], Abb.11.8).....	47
Abbildung 33: Bereich bzw. Abteilung.....	49
Abbildung 34: Transportpfeil zwischen zwei Bereichen.....	50
Abbildung 35: Farbpalette der Transportintensität.....	51
Abbildung 36: Sankey-Pfeil zwischen zwei Bereichen	52
Abbildung 37: Unternehmen A (linker Abschnitt)	56
Abbildung 38: Unternehmen A (rechter Abschnitt)	56
Abbildung 39: Rückflussoptimierte Anordnung (linker Bereich)	59
Abbildung 40: Rückflussoptimierte Anordnung (rechter Bereich)	59
Abbildung 41: Sankey-Diagramm-Unternehmen A	60
Abbildung 42: Kreisverfahren-Unternehmen A	61
Abbildung 43: Kreisverfahren mit abgeänderter Grundstruktur-Unternehmen A	62
Abbildung 44: Viereckverfahren-Unternehmen A.....	63
Abbildung 45: Dreieckmethode-Unternehmen A.....	65
Abbildung 46: Dreieckmethode mit überarbeiteten Flächen-Unternehmen A ...	66
Abbildung 47: Idealisiertes Layout-Unternehmen A	67
Abbildung 48: Unternehmen B.....	68
Abbildung 49: Rückflussoptimierte Anordnung	70
Abbildung 50: Sankey-Diagramm-Unternehmen B	71
Abbildung 51: Kreisverfahren-Unternehmen B	72
Abbildung 52: Weiterentwicklung Kreisverfahren-Unternehmen B.....	73
Abbildung 53: Viereckmethode-Unternehmen B.....	74
Abbildung 54: Anordnung Dreieckmethode-Unternehmen B.....	76
Abbildung 55: Dreieckmethode - Überarbeitete Flächen	77
Abbildung 56: Idealisiertes Layout	78
Abbildung 57: Unternehmen C.....	79
Abbildung 58: Rückflussoptimierte Anordnung (linker Bereich)	81
Abbildung 59: Rückflussoptimierte Anordnung (rechter Bereich)	82
Abbildung 60: Sankey-Diagramm-Unternehmen C	82
Abbildung 61: Kreisverfahren-Unternehmen C	83
Abbildung 62: Weiterentwicklung Kreisverfahren-Unternehmen C.....	84
Abbildung 63: Viereckmethode-Unternehmen C.....	85
Abbildung 64: Dreieckmethode-Unternehmen C.....	87
Abbildung 65: Dreieckmethode mit überarbeiteten Flächen-Unternehmen C ...	88
Abbildung 66: Idealisiertes Layout-Unternehmen C	89
Abbildung 67: Vergleich Unternehmen A.....	91
Abbildung 68: Vergleich Unternehmen B.....	92
Abbildung 69: Strukturvariante (nach [FUC09] S. 22)	93
Abbildung 70: Vergleich Unternehmen C	94
Abbildung 71: Stationen rechteckiger Form	96
Abbildung 72: Stationen quadratischer Form	96
Abbildung 73:Transportintensitätsmatrix Ist-Zustand	108

Abbildung 74: Transportintensitätsmatrix VDI 2498	108
Abbildung 75: Transportintensitätsmatrix Kreisverfahren.....	108
Abbildung 76: Kreisverfahren Variante 2.....	109
Abbildung 77: Transportintensitätsmatrix Viereckverfahren	109
Abbildung 78: Transportintensitätsmatrix Dreieckverfahren.....	109
Abbildung 79: Transportintensitätsmatrix Dreieckverfahren überarbeitete Flächen	110
Abbildung 80: Transportintensitätsmatrix idealisiertes Layout.....	110
Abbildung 81: Idealisiertes Layout Variante 2.....	110
Abbildung 82: Transportintensitätsmatrix Ist-Zustand	111
Abbildung 83: Transportintensitätsmatrix VDI 2498	111
Abbildung 84: Transportintensitätsmatrix Kreisverfahren.....	111
Abbildung 85: Kreisverfahren Variante 2.....	112
Abbildung 86: Transportintensitätsmatrix Viereckmethode	112
Abbildung 87: Transportintensitätsmatrix Dreiecksverfahren	113
Abbildung 88: Transportintensitätsmatrix Dreieckverfahren überarbeitete Flächen	113
Abbildung 89: Transportintensitätsmatrix idealisiertes Layout.....	113
Abbildung 90: Transportintensitätsmatrix Ist-Zustand	114
Abbildung 91: Transportintensitätsmatrix VDI 2498	114
Abbildung 92: Transportintensitätsmatrix Kreisverfahren.....	114
Abbildung 93: Kreisverfahren Variante 2.....	115
Abbildung 94: Transportintensitätsmatrix Viereckverfahren	115
Abbildung 95: Transportintensitätsmatrix Dreieckverfahren.....	115
Abbildung 96: Transportintensitätsmatrix Dreieckverfahren überarbeitete Flächen	116
Abbildung 97: Dreieckmethode überarbeitete Flächen Variante 2	116
Abbildung 98: Transportintensitätsmatrix idealisiertes Layout.....	117

6.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Transportintensitätsmatrix (Eigene Darstellung nach [PAW08] Abb. 4.29)	25
Tabelle 2: Reihenfolge Station 3 und 4 festgelegt.....	26
Tabelle 3: Zwischenschritt und Berechnung.....	27
Tabelle 4: Ergebnisse Dreieckverfahren	28
Tabelle 5: Auflistung der Bereiche / Stationen	50
Tabelle 6: Transporttabelle.....	51
Tabelle 7: Sankey-Tabelle.....	52
Tabelle 8: Transportmatrix.....	53
Tabelle 9: Distanzmatrix	53
Tabelle 10: Transportintensitätsmatrix.....	54
Tabelle 11: Konfigurationsoberfläche Excel.....	55
Tabelle 12: Transportmatrix – VDI 2498.....	57
Tabelle 13: Reihenfolge VDI-Verfahren	58
Tabelle 14: Neuordnung der Transportmatrix	58
Tabelle 15: Dreieckverfahren-Unternehmen A	64
Tabelle 16: Transportintensitätsmatrix - VDI 2498.....	69
Tabelle 17: Reihenfolge VDI-Verfahren	69
Tabelle 18: Neuordnung der Transportmatrix	70
Tabelle 19: Dreieckverfahren-Unternehmen B	75
Tabelle 20: Transportintensitätsmatrix - VDI 2498.....	80
Tabelle 21: Reihenfolge VDI-Verfahren	80
Tabelle 22: Neuordnung der Transportmatrix	81
Tabelle 23: Dreieckverfahren-Berechnungsmethode-Unternehmen C	86
Tabelle 24: Verbesserungspotential Unternehmen	91
Tabelle 25: Verbesserungspotential Unternehmen B	92
Tabelle 26: Verbesserungspotential Unternehmen C	94

6.5 Gleichungsverzeichnis

$K_S = k \cdot \sum_{r=1}^R X_r |y_S - y_r|$	Formel 1.....	33
$K_{S^*} = \min_{S=1}^R [K_S] = \min_{S=1}^R \left[k \cdot \sum_{r=1}^R X_r \cdot |y_S - y_r| \right]$	Formel 2	33
$\sum_{r=1}^{S^*-1} X_r < \frac{1}{2} \cdot \sum_{r=1}^R X_r$	Formel 3.....	33
$\sum_{r=1}^{S^*} X_r \geq \frac{1}{2} \cdot \sum_{r=1}^R X_r$	Formel 4.....	33
$y_{r,s} = \sqrt{(\bar{y}_{1,s} - \bar{y}_{1,r})^2 + (\bar{y}_{2,s} - \bar{y}_{2,r})^2}$	Formel 5	35
$K_S = k \cdot \sum_{r=1}^R X_r \cdot y_{r,S} = k \cdot \sum_{r=1}^R X_r \cdot \sqrt{(\bar{y}_{1,s} - \bar{y}_{1,r})^2 + (\bar{y}_{2,s} - \bar{y}_{2,r})^2}$	Formel 6.....	35
$\sum_{s=1}^S w_{m,s} = 1 \text{ (m=1(1)M)}$	Formel 7.....	38
$\sum_{m=1}^M w_{m,s} \leq 1 \text{ (s=1(1)S)}$	Formel 8.....	38
$\sum_{m=1}^M w_{m,s} = 1 \text{ (s=1(1)S)}$	Formel 9.....	38
$\min K = \sum_{l=1}^M \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^S \sum_{s=1}^S k \cdot X_{l,m} \cdot y_{r,s} \cdot w_{l,r} \cdot w_{m,s}$	Formel 10	38
$\sum_{s=1}^S w_{m,s} = 1 \text{ (m=1(1)M)}$	Formel 11	39
$\sum_{m=1}^M w_{m,s} \leq 1 \text{ (s=1(1)S)}$	Formel 12	39
$w_{m,s} \in \{0,1\} \text{ (m=1(1)M;s=1(1)S)}$	Formel 13.....	39
$ANW = \sum_{i=1}^n E_i \cdot G_i$	Formel 14.....	48
$RNW = \frac{ANW_i}{ANW_{IST}} \cdot 100\%$	Formel 15.....	48

7 Anhang

7.1 Veröffentlichter Kurzttext Deutsch

Die vorliegende Diplomarbeit hatte zum Ziel, drei österreichische Produktionsbetriebe hinsichtlich ihrer Materialflüsse und Layoutgestaltung zu analysieren und den daraus resultierenden Ist-Zustand, strukturiert und in elektronischer Form aufbereitet, darzustellen. Ausgehend von diesem Layout wurden Methoden erarbeitet, Layout-Varianten erstellt und mit dem Ist-Zustand verglichen. Diese Ergebnisse sollen Aufschluss über das Verbesserungspotential bei der Materialfluss- und Layoutplanung geben.

Basierend auf den Daten des Ist-Zustandes und einer theoretischen Studie von Fachbüchern, Veröffentlichungen und Skripten wurde, ohne Limitierung der einzelnen Varianten, jeweils ein neues Fabriklayout, ohne Berücksichtigung von Restriktionen, erarbeitet und geplant. Durch die Kombination einer grafischen Oberfläche, verknüpft mit Materialflussmatrizen, wurde für die weitere Layoutgestaltung eine adäquate Ausgangslage geschaffen, die für jedes Unternehmen zu einer Vielzahl an durchführbaren Planungsvarianten führten. Die Weiterentwicklung der einzelnen Betrachtungsvarianten ergab ein idealisiertes Layout, bei dem sämtliche Wege, Flächen und materialflussbehaftete Zusammenhänge berücksichtigt wurden.

Vorliegende Diplomarbeit wurde unter Verwendung heuristischer Modelle erstellt, weshalb durchaus Verbesserungspotenzial hinsichtlich weiterer gestalterischer Maßnahmen gegeben ist, wenngleich für weitere Verbesserungen jedenfalls eine Kosten-Nutzen-Analyse anzuraten wäre. In einem letzten Schritt wurden die gewonnenen Erkenntnisse ausgewertet, plausibilisiert, grafisch aufbereitet und gegenübergestellt. Durch die übersichtliche Aufbereitung des Datenmaterials war es möglich, die Einsparungspotenziale der einzelnen Konzepte darzustellen. Die, in dieser Diplomarbeit, entwickelten Methoden und Varianten zur Verbesserung des Materialflusses und des Fabriklayouts konnten im Vergleich zum Ist-Zustand der Layouts eine prozentuale Einsparung von Transportwegen und damit verbundenen Kosten erzielen. Eine Anwendung dieser Vorgehensweise, bei einer Neuplanung oder Restrukturierung eines Layouts,

ohne Miteinbeziehung weiterer Faktoren bzw. Randbedingungen, wäre vorerst anzuraten.

7.2 Veröffentlichter Kurzttext Englisch

Within this master thesis three production units were investigated in regard to their material flows and layouting. Afterwards their current conditions were structured and electronically edited.

Based on the data gained from the analysis and theoretical study of papers and publications a completely new layout was designed from scratch without any limit of the possible designing options. By using a graphical interface for the layouting process a vast range of possibilities was placed in action for the designing methods. The further development of the single options led to an idealized layout taking into account all the approaches, areas and connections.

By the use of heuristic model in this master thesis it was possible to achieve further room for improvement. However, these improvements need to be based on a structured cost and benefit analysis. In a final step the findings of this thesis were analysed and grafically edited. The use of structured data made it possible to show the potential savings of the specific concepts. The improvements that evolved from the material flows are more cost efficient than the current ones. Therefore it is highly recommened to apply a possible adoption of the conceps presented.

7.3 Unternehmen A

	1-Bfm1 - Bfm3	2-Bfm4 - Bfm6	3-Zwischenlager	4-Warmlagerhalle 9	11-Warmlagerhalle	12-Profiler 1	13-Profiler2	14-Sortieranlage (W)	15-Verpackungsanl	16-Warmlagerhalle	17-Einfärberei (War	18-Mineralwollelag	19-Klebeanlage (Lag	20-Endlagerhalle HD	21-Endlagerhalle HK	22-Verladen HD	23-Verladen HK	Summe
1-Bfm1 - Bfm3	0	0	633142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	633141,6
2-Bfm4 - Bfm6	0	0	186135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	186134,76
3-Zwischenlager	0	0	0	697402	4020449	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4717851,6
4-Warmlagerhall	0	0	0	0	0	0	0	150208	1471196	0	0	0	0	0	585749	0	0	2207153,27
11-Warmlagerha	0	0	0	0	0	230597	1715220	20972,1	0	0	0	0	86774	0	0	0	0	2053563,5
12-Profiler 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	109558	0	0	6274	77789,2	0	0	0	193621,24
13-Profiler2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1041233	0	0	24232,3	3650222	0	0	0	4715687,785
14-Sortieranlage	0	0	0	0	11602,8	0	0	0	0	0	0	0	125171	73403,5	0	0	0	210177,5
15-Verpackungsa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1935445	0	0	0	0	1935445,16
16-Warmlagerha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1258431	0	0	0	0	0	0	1258430,56
17-Einfärberei (V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29258	2583578	0	0	0	2612835,96
18-Mineralwolle	0	0	0	0	0	28420,9	0	0	0	0	0	0	384563	0	0	0	0	412983,87
19-Klebeanlage (	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132451	394323	0	0	0	526774,6
20-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3306288	0	0	3306288,4
21-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1924608	0	1924607,91
22-Verladen HD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-Verladen HK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe	0	0	819276	697402	4032052	259018	1715220	171181	1471196	1150791	1258431	0	444327	6655986	2988921	3306288	1924608	26894697,71

Abbildung 73: Transportintensitätsmatrix Ist-Zustand

	1-Bfm1 - Bfm3	2-Bfm4 - Bfm6	3-Zwischenlager	4-Warmlagerhalle 9	11-Warmlagerhalle	12-Profiler 1	13-Profiler2	14-Sortieranlage (W)	15-Verpackungsanl	16-Warmlagerhalle	17-Einfärberei (War	18-Mineralwollelag	19-Klebeanlage (Lag	20-Endlagerhalle HD	21-Endlagerhalle HK	22-Verladen HD	23-Verladen HK	Summe
1-Bfm1 - Bfm3	0	0	253881	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	253880,6777
2-Bfm4 - Bfm6	0	0	136193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136193,2662
3-Zwischenlager	0	0	0	256337	1862694	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2119031,412
4-Warmlagerhall	0	0	0	0	0	0	0	77734,8	338517	0	0	0	0	0	306875	0	0	723126,9148
11-Warmlagerha	0	0	0	0	0	22644,7	556357	18571	0	0	0	0	55563,6	0	0	0	0	653135,9413
12-Profiler 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64090,4	0	0	8493,95	101339	0	0	0	173923,5801
13-Profiler2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	564049	0	0	15666,9	875802	0	0	0	1455518,4
14-Sortieranlage	0	0	0	0	21388,6	0	0	0	0	0	0	0	47641,8	32553,7	0	0	0	101584,2
15-Verpackungsa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1620501	0	0	0	0	1620501,3
16-Warmlagerha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	373899	0	0	0	0	0	0	373898,5
17-Einfärberei (V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7548,07	1083020	0	0	0	1090568,6
18-Mineralwolle	0	0	0	0	0	8413,59	0	0	0	0	0	0	325750	0	0	0	0	334164,0
19-Klebeanlage (	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64146,8	199957	0	0	0	264104,2
20-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1518388	0	0	1518388,5
21-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	376331	376331,0
22-Verladen HD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
23-Verladen HK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Summe	0	0	390074	256337	1884083	31058,3	556357	96305,8	338517	628140	373899	0	357459	2227514	2159887	1518388	376331	11.194.350,4

Abbildung 74: Transportintensitätsmatrix VDI 2498

	1-Bfm1 - Bfm3	2-Bfm4 - Bfm6	3-Zwischenlager	4-Warmlagerhalle 9	11-Warmlagerhalle	12-Profiler 1	13-Profiler2	14-Sortieranlage (W)	15-Verpackungsanl	16-Warmlagerhalle	17-Einfärberei (War	18-Mineralwollelag	19-Klebeanlage (Lag	20-Endlagerhalle HD	21-Endlagerhalle HK	22-Verladen HD	23-Verladen HK	Summe
1-Bfm1 - Bfm3	0	0	245238	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	245237,5256
2-Bfm4 - Bfm6	0	0	179378	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179378,016
3-Zwischenlager	0	0	0	302411	740289	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1042699,724
4-Warmlagerhall	0	0	0	0	0	0	0	82464,6	305719	0	0	0	0	92734,1	0	0	0	480917,9011
11-Warmlagerha	0	0	0	0	0	246132	623343	61256	0	0	0	0	52785	0	0	0	0	983516,4346
12-Profiler 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	229796	0	0	1988,29	52654	0	0	0	284437,8431
13-Profiler2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	382161	0	0	47629,1	649846	0	0	0	1079635,6
14-Sortieranlage	0	0	0	0	34352	0	0	0	0	0	0	0	26507	20155,1	0	0	0	81014,1
15-Verpackungsa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	275194	0	0	0	0	275194,0
16-Warmlagerha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	461064	0	0	0	0	0	0	461064,1
17-Einfärberei (V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55987	623080	0	0	0	679067,3
18-Mineralwolle	0	0	0	0	0	9378,59	0	0	0	0	0	0	123301	0	0	0	0	132679,7
19-Klebeanlage (	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	226147	398596	0	0	0	624743,5
20-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	958474	0	0	958474,2
21-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	565302	0	565301,6
22-Verladen HD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
23-Verladen HK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Summe	0	0	424616	302411	774641	255511	623343	143721	305719	611956	461064	0	228906	1631019	786680	958474	565302	8.073.361,5

Abbildung 75: Transportintensitätsmatrix Kreisverfahren

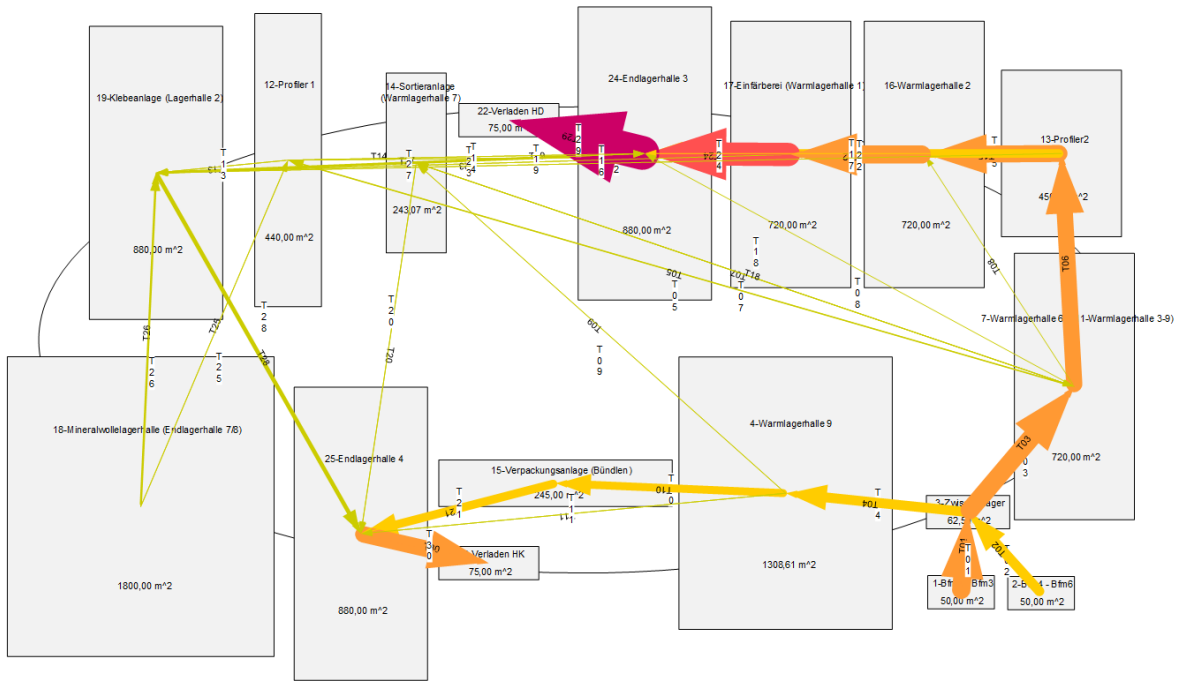


Abbildung 76: Kreisverfahren Variante 2

	1-Bfm1 - Bfm3	2-Bfm4 - Bfm6	3-Zwischenlager	4-Warmlagerhalle 9	11-Warmlagerhalle	12-Profilier 1	13-Profilier 2	14-Sortieranlage (W)	15-Verpackungsanl	16-Warmlagerhalle	17-Einfärberei (War	18-Mineralwollelag	19-Klebeanlage (Lag	20-Endlagerhalle HD	21-Endlagerhalle HK	22-Verladen HD	23-Verladen HK	Summe	
1-Bfm1 - Bfm3	0	0	794471	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	794470,95
2-Bfm4 - Bfm6	0	0	420614	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	420613,997
3-Zwischenlager	0	0	0	422440	778441	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1200880,77
4-Warmlagerhall	0	0	0	0	0	0	0	64511,8	339536	0	0	0	0	0	111238	0	0	0	515286,5939
11-Warmlagerha	0	0	0	0	0	314895	692307	51144,7	0	0	0	0	0	40901,5	0	0	0	0	1099248,751
12-Profilier 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	161531	0	0	3847,05	155655	0	0	0	0	321032,8529
13-Profilier 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	716554	0	0	26379,7	1118410	0	0	0	0	1861343,2
14-Sortieranlage	0	0	0	0	26076,1	0	0	0	0	0	0	0	114275	12999,7	0	0	0	0	153350,5
15-Verpackungs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	361357	0	0	0	0	361356,8
16-Warmlagerha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	780453	0	0	0	0	0	0	0	0	780453,4
17-Einfärberei (V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14081,9	995046	0	0	0	0	1009127,6
18-Mineralwolle	0	0	0	0	0	7188,05	0	0	0	0	0	0	202376	0	0	0	0	0	209563,7
19-Klebeanlage (	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	363549	400569	0	0	0	764117,4
20-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1438562	0	0	0	1438562,4
21-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
22-Verladen HD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
23-Verladen HK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Summe	0	0	1215085	422440	804517	322084	692307	115657	339536	878085	780453	0	246684	2787835	886164	1438562	0	0	10929408,9

Abbildung 77: Transportintensitätsmatrix Viereckverfahren

	1-Bfm1 - Bfm3	2-Bfm4 - Bfm6	3-Zwischenlager	4-Warmlagerhalle 9	11-Warmlagerhalle	12-Profilier 1	13-Profilier 2	14-Sortieranlage (W)	15-Verpackungsanl	16-Warmlagerhalle	17-Einfärberei (War	18-Mineralwollelag	19-Klebeanlage (Lag	20-Endlagerhalle HD	21-Endlagerhalle HK	22-Verladen HD	23-Verladen HK	Summe	
1-Bfm1 - Bfm3	0	0	784325	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	784324,87
2-Bfm4 - Bfm6	0	0	419064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	419064,4283
3-Zwischenlager	0	0	0	423001	794020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1217021,012
4-Warmlagerhall	0	0	0	0	0	0	0	78137,1	335803	0	0	0	0	109616	0	0	0	0	523555,5864
11-Warmlagerha	0	0	0	0	0	116338	691680	26567,7	0	0	0	0	17552,9	0	0	0	0	0	852138,9536
12-Profilier 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106724	0	0	3844,01	96669,8	0	0	0	0	207238,2746
13-Profilier 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	717512	0	0	8642,46	373066	0	0	0	0	1099221,0
14-Sortieranlage	0	0	0	0	14899	0	0	0	0	0	0	0	64182,2	13454,1	0	0	0	0	92535,4
15-Verpackungs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	348740	0	0	0	0	348740,0
16-Warmlagerha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	795113	0	0	0	0	0	0	0	795112,7
17-Einfärberei (V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24486,3	987818	0	0	0	0	1012304,4
18-Mineralwolle	0	0	0	0	5834,09	0	0	0	0	0	0	0	180938	0	0	0	0	0	186771,8
19-Klebeanlage (	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230587	364579	0	0	0	595165,6
20-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1456977	0	0	0	1456976,8
21-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	711021	0	711020,7
22-Verladen HD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
23-Verladen HK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Summe	0	0	1203389	423001	808919	122172	691680	104705	335803	824237	795113	0	217911	1769876	836389	1456977	711021	0	10301191,5

Abbildung 78: Transportintensitätsmatrix Dreieckverfahren

	1-Bfm1 - Bfm	2-Bfm4 - Bfm	3-Zwischenla	4-Warmlager	11-Warmlag	12-Profilier 1	13-Profilier2	14-Sortieran	15-Verpacku	16-Warmlag	17-Einfärber	18-Mineralw	19-Klebeanle	20-Endlagerf	21-Endlagerf	22-Verladen	23-Verladen	Summe	
1-Bfm1 - Bfm3	0	0	699323	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	699323,2794
2-Bfm4 - Bfm6	0	0	370011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	370010,501
3-Zwischenlager	0	0	0	379724	1208895	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1588618,909
4-Warmlagerhall	0	0	0	0	0	0	0	102138	306453	0	0	0	0	0	100707	0	0	0	509298,1916
11-Warmlagerha	0	0	0	0	0	91902,1	1052473	36211,9	0	0	0	0	0	27087,5	0	0	0	0	1207674,182
12-Profilier 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127066	0	0	3513,16	99152,9	0	0	0	0	229731,6209
13-Profilier2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	643388	0	0	20744,6	577549	0	0	0	0	1241681,451
14-Sortieranlage	0	0	0	0	20307,4	0	0	0	0	0	0	0	0	43754,5	53302,2	0	0	0	117364,1455
15-Verpackungs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	322596	0	0	0	322595,9973
16-Warmlagerha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	703938	0	0	0	0	0	0	0	703937,9511
17-Einfärberei (V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55129,1	881230	0	0	0	0	936359,233
18-Mineralwolle	0	0	0	0	0	5336,98	0	0	0	0	0	0	0	165423	0	0	0	0	170760,0753
19-Klebeanlage (	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	376151	324249	0	0	0	700400,6528
20-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1270930	0	0	1270930,307
21-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	620663	0	620662,7502
22-Verladen HD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-Verladen HK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe	0	0	1069334	379724	1229203	97239	1052473	138350	306453	770454	703938	0	244810	2004925	800854	1270930	620663	0	10689349,26

Abbildung 79: Transportintensitätsmatrix Dreieckverfahren überarbeitete Flächen

	1-Bfm1 - Bfm	2-Bfm4 - Bfm	3-Zwischenla	4-Warmlager	11-Warmlag	12-Profilier 1	13-Profilier2	14-Sortieran	15-Verpacku	16-Warmlag	17-Einfärber	18-Mineralw	19-Klebeanle	20-Endlagerf	21-Endlagerf	22-Verladen	23-Verladen	Summe	
1-Bfm1 - Bfm3	0	0	172491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	172491
2-Bfm4 - Bfm6	0	0	91213,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91213
3-Zwischenlager	0	0	0	362086	868941	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1231028
4-Warmlagerhall	0	0	0	0	0	0	0	39500,9	228526	0	0	0	0	0	82073,8	0	0	0	350101
11-Warmlagerha	0	0	0	0	0	181587	885559	27387,9	0	0	0	0	0	37000	0	0	0	0	1131535
12-Profilier 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34009,4	0	0	7119	69928,2	0	0	0	0	111057
13-Profilier2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	458093	0	0	27169,6	297202	0	0	0	0	782464
14-Sortieranlage	0	0	0	0	15359	0	0	0	0	0	0	0	0	32226,3	12353,9	0	0	0	59939
15-Verpackungs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	298761	0	0	0	0	298761
16-Warmlagerha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	724180	0	0	0	0	0	0	0	724180
17-Einfärberei (V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16026,6	746355	0	0	0	0	762382
18-Mineralwolle	0	0	0	0	0	5526,61	0	0	0	0	0	0	90956,4	0	0	0	0	0	96483
19-Klebeanlage (	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	254026	579629	0	0	0	833655
20-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	725684	0	0	725684
21-Endlagerhalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	470437	0	470437
22-Verladen HD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-Verladen HK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe	0	0	263704	362086	884300	187114	885559	66888,8	228526	492102	724180	0	141272	1436737	972818	725684	470437	0	7841408

Abbildung 80: Transportintensitätsmatrix idealisiertes Layout

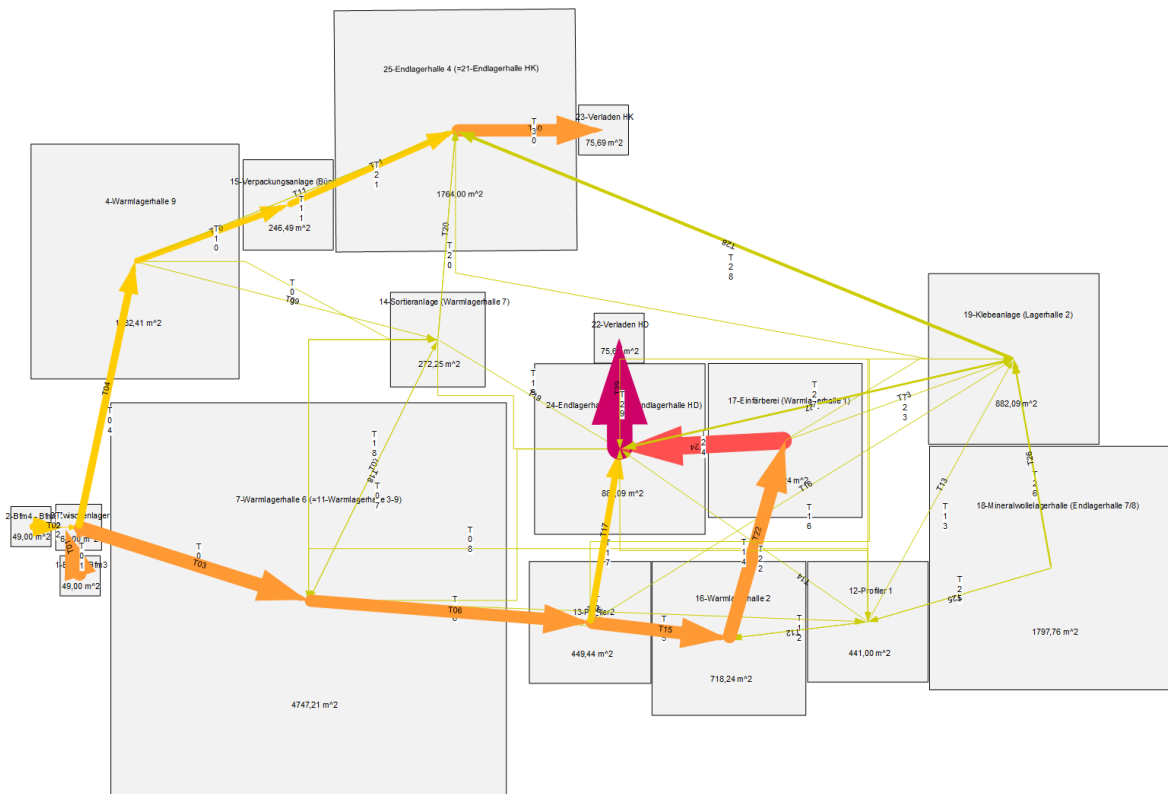


Abbildung 81: Idealisiertes Layout Variante 2

7.4 Unternehmen B

	1-Wareneingang	2-Produktion	3-Lieferanten	4-Hauptlager	5-Kunden	6-Kommissoinieru	7-MLP Slowakei	8-Qualitätsprüfun	9-Warenausgang	Summe
1-Wareneingang	0	0	0	16826,3	0	0	0	0	0	16826,3
2-Produktion	0	0	0	20484,1	0	0	0	0	0	20484,1
3-Lieferanten	3023,28	0	0	0	0	0	0	0	0	3023,28
4-Hauptlager	0	22763	0	0	0	28979,5	0	4619,55	0	56362,1
5-Kunden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-Kommissoinier	0	0	0	0	0	0	0	0	27830	27830
7-MLP Slowakei	3109,52	0	0	0	0	0	0	0	0	3109,52
8-Qualitätsprüfu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-Warenausgang	0	0	0	0	6497,2	0	1687,2	0	0	8184,4
Summe	6132,8	22763	0	37310,3	6497,2	28979,5	1687,2	4619,55	27830	135820

Abbildung 82: Transportintensitätsmatrix Ist-Zustand

	1-Wareneingang	2-Produktion	3-Lieferanten	4-Hauptlager	5-Kunden	6-Kommissoinieru	7-MLP Slowakei	8-Qualitätsprüfun	9-Warenausgang	Summe
1-Wareneingang	0	0	0	5728,34	0	0	0	0	0	5728,34
2-Produktion	0	0	0	12214	0	0	0	0	0	12214
3-Lieferanten	2491,23	0	0	0	0	0	0	0	0	2491,23
4-Hauptlager	0	13702	0	0	0	9350,36	0	7312,5	0	30364,9
5-Kunden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-Kommissoinier	0	0	0	0	0	0	0	0	7976,19	7976,19
7-MLP Slowakei	21996	0	0	0	0	0	0	0	0	21996
8-Qualitätsprüfu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-Warenausgang	0	0	0	0	26560,4	0	7936,69	0	0	34497,1
Summe	24487,2	13702	0	17942,4	26560,4	9350,36	7936,69	7312,5	7976,19	115268

Abbildung 83: Transportintensitätsmatrix VDI 2498

	1-Wareneingang	2-Produktion	3-Lieferanten	4-Hauptlager	5-Kunden	6-Kommissoinieru	7-MLP Slowakei	8-Qualitätsprüfun	9-Warenausgang	Summe
1-Wareneingang	0	0	0	10090,1	0	0	0	0	0	10090,1
2-Produktion	0	0	0	7696,41	0	0	0	0	0	7696,41
3-Lieferanten	2762,5	0	0	0	0	0	0	0	0	2762,5
4-Hauptlager	0	8634,04	0	0	0	17051,1	0	2130,78	0	27815,9
5-Kunden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-Kommissoinier	0	0	0	0	0	0	0	0	10948,3	10948,3
7-MLP Slowakei	2351,88	0	0	0	0	0	0	0	0	2351,88
8-Qualitätsprüfu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-Warenausgang	0	0	0	0	5505,03	0	2450,19	0	0	7955,22
Summe	5114,38	8634,04	0	17786,5	5505,03	17051,1	2450,19	2130,78	10948,3	69620,4

Abbildung 84: Transportintensitätsmatrix Kreisverfahren

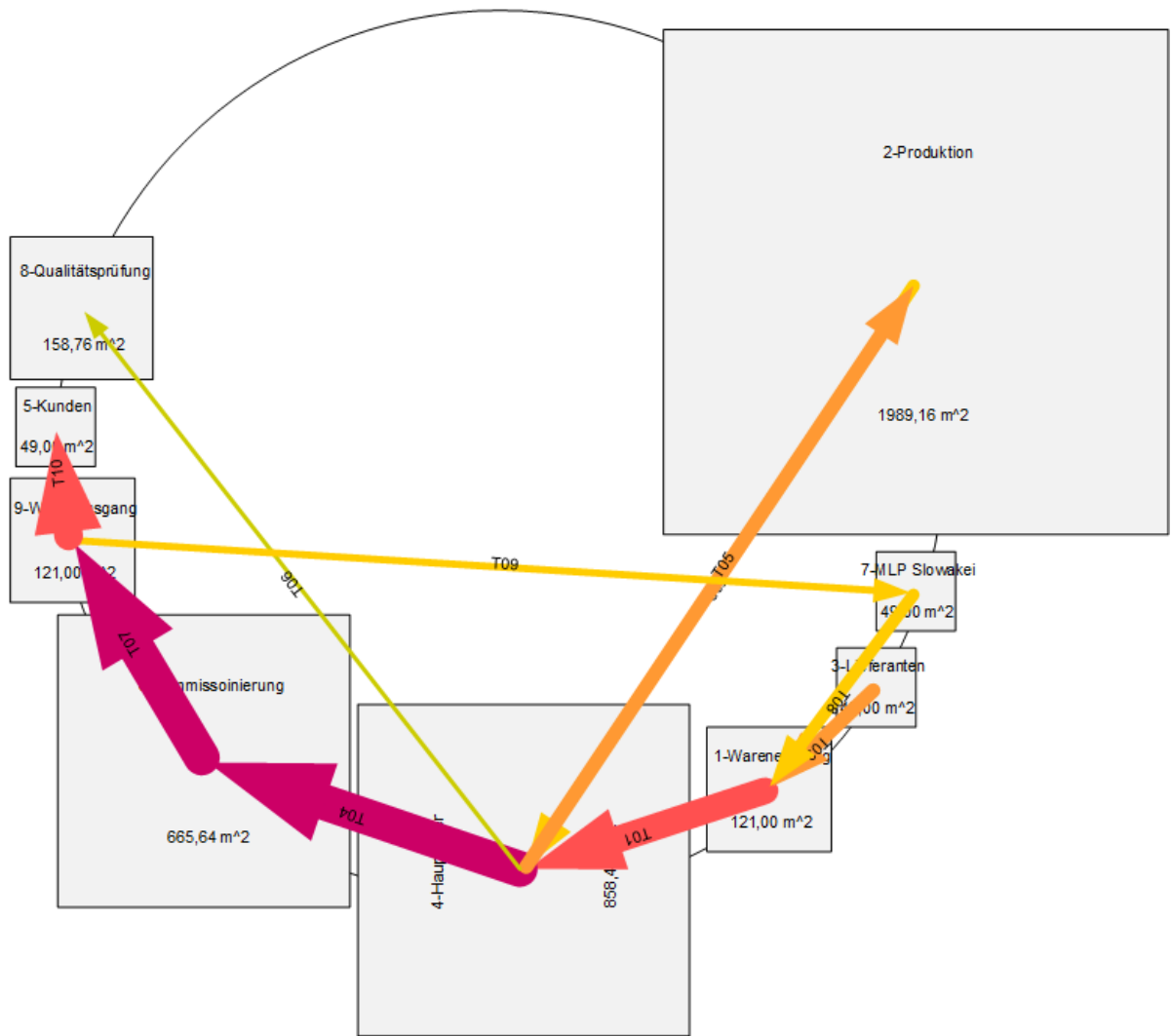


Abbildung 85: Kreisverfahren Variante 2

	1-Wareneingang	2-Produktion	3-Lieferanten	4-Hauptlager	5-Kunden	6-Kommissionierung	7-MLP Slowakei	8-Qualitätsprüfung	9-Warenausgang	Summe
1-Wareneingang	0	0	0	14237,3	0	0	0	0	0	14237,3
2-Produktion	0	0	0	6954,11	0	0	0	0	0	6954,11
3-Lieferanten	7723,95	0	0	0	0	0	0	0	0	7723,95
4-Hauptlager	0	7801,31	0	0	0	19267	0	2295,8	0	29364,1
5-Kunden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-Kommissionierung	0	0	0	0	0	0	0	0	19277,5	19277,5
7-MLP Slowakei	6472,84	0	0	0	0	0	0	0	0	6472,84
8-Qualitätsprüfung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-Warenausgang	0	0	0	0	15387	0	7845,48	0	0	23232,5
Summe	14196,8	7801,31	0	21191,4	15387	19267	7845,48	2295,8	19277,5	107262

Abbildung 86: Transportintensitätsmatrix Viereckmethode

	1-Wareneingang	2-Produktion	3-Lieferanten	4-Hauptlager	5-Kunden	6-Kommissoinierun	7-MLP Slowakei	8-Qualitätsprüfung	9-Warenausgang	Summe
1-Wareneingang	0	0	0	15713,7	0	0	0	0	0	15713,7
2-Produktion	0	0	0	7638,85	0	0	0	0	0	7638,85
3-Lieferanten	8405,09	0	0	0	0	0	0	0	0	8405,09
4-Hauptlager	0	8569,47	0	0	0	21067,4	0	2516,98	0	32153,9
5-Kunden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-Kommissoinier	0	0	0	0	0	0	0	0	21103,5	21103,5
7-MLP Slowakei	7128,72	0	0	0	0	0	0	0	0	7128,72
8-Qualitätsprüfu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-Warenausgang	0	0	0	0	16864,1	0	4331,15	0	0	21195,3
Summe	15533,8	8569,47	0	23352,6	16864,1	21067,4	4331,15	2516,98	21103,5	113339

Abbildung 87: Transportintensitätsmatrix Dreiecksverfahren

	1-Wareneingang	2-Produktion	3-Lieferanten	4-Hauptlager	5-Kunden	6-Kommissoinierun	7-MLP Slowakei	8-Qualitätsprüfung	9-Warenausgang	Summe
1-Wareneingang	0	0	0	15661,1	0	0	0	0	0	15661,1
2-Produktion	0	0	0	7476,15	0	0	0	0	0	7476,15
3-Lieferanten	8345,22	0	0	0	0	0	0	0	0	8345,22
4-Hauptlager	0	8386,95	0	0	0	21092,5	0	2549,72	0	32029,2
5-Kunden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-Kommissoinier	0	0	0	0	0	0	0	0	21268,5	21268,5
7-MLP Slowakei	7395,95	0	0	0	0	0	0	0	0	7395,95
8-Qualitätsprüfu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-Warenausgang	0	0	0	0	16757,1	0	4238,18	0	0	20995,3
Summe	15741,2	8386,95	0	23137,2	16757,1	21092,5	4238,18	2549,72	21268,5	113171

Abbildung 88: Transportintensitätsmatrix Dreieckverfahren überarbeitete Flächen

	1-Wareneingang	2-Produktion	3-Lieferanten	4-Hauptlager	5-Kunden	6-Kommissoinierun	7-MLP Slowakei	8-Qualitätsprüfung	9-Warenausgang	Summe
1-Wareneingang	0	0	0	8482,88	0	0	0	0	0	8482,88
2-Produktion	0	0	0	7417,05	0	0	0	0	0	7417,05
3-Lieferanten	2145,52	0	0	0	0	0	0	0	0	2145,52
4-Hauptlager	0	8320,65	0	0	0	15702,5	0	1401,58	0	25424,7
5-Kunden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-Kommissoinier	0	0	0	0	0	0	0	0	10309,3	10309,3
7-MLP Slowakei	2063,72	0	0	0	0	0	0	0	0	2063,72
8-Qualitätsprüfu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-Warenausgang	0	0	0	0	4170,5	0	2804,81	0	0	6975,31
Summe	4209,24	8320,65	0	15899,9	4170,5	15702,5	2804,81	1401,58	10309,3	62818,6

Abbildung 89: Transportintensitätsmatrix idealisiertes Layout

7.5 Unternehmen C

	1-Verladerampe	2-Wareneingangslager	3-Lacklager	4-Digitaldruckerei	5-Kantenbiegerei	6-Holzkerne, Abläng	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	9-Beschichtung, Sieb	10-GFM, Stanzer	12-SWN-Laminierur	13-Kaschiererei	14-PU-Schäumerei	15-Trockenkammer	16-Schleiflinien	17-PLT-Anlage	18-Finish	Summe
1-Verladerampe	0	76352	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76352
2-Wareneingang	0	0	0	7504,2	21524	50629	18136	58177	0	19319	90074	3050,5	26707	0	0	3244,2	0	298364
3-Lacklager	0	0	0	0	0	0	0	5004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5004
4-Digitaldruckerei	0	0	0	0	0	0	3269,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3270
5-Kantenbiegerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5477,4	0	0	0	0	0	0	5477
6-Holzkerne, Abl	0	5934,2	0	0	0	0	637	0	0	0	5228,8	5168,4	8766	0	0	0	0	25734
7-Sublimation	0	0	0	0	0	784	0	1040,4	0	17049	0	15933	0	0	0	6671	0	41477
8-Siebdruckerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18389	0	13757	0	47923	0	0	0	80069
9-Beschichtung, S	0	0	0	0	0	0	11268	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11268
10-GFM, Stanzer	0	0	0	0	0	0	2164,3	0	0	0	82312	554,68	7568,6	0	0	0	1113,4	93713
12-SWN-Laminie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	593,75	0	29713	0	0	0	73501
13-Kaschiererei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20491	0	0	0	0	20491
14-PU-Schäumer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57574	0	0	0	0	57574
15-Trockenkamm	0	0	0	0	0	1060,8	27586	0	42650	14156	0	0	0	0	14289	0	0	99742
16-Schleiflinien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	837,82	0	0	6283,7	151604	158726
17-PLT-Anlage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7055,6	0	0	0	0	7056
18-Finish	225575	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2026,9	0	85542	0	0	313143
Summe	225575	82286	0	7504,2	21524	52473	63062	64221	42650	68913	183091	38464	53555	125987	129543	16199	195912	1370960

Abbildung 90: Transportintensitätsmatrix Ist-Zustand

	1-Verladerampe	2-Wareneingangslag	3-Lacklager	4-Digitaldruckerei	5-Kantenbiegerei	6-Holzkerne, Abläng	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	9-Beschichtung, Sie	10-GFM, Stanzer	12-SWN-Laminierur	13-Kaschiererei	14-PU-Schäumerei	15-Trockenkammer	16-Schleiflinien	17-PLT-Anlage	18-Finish	Summe
1-Verladerampe	0	64346,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64346,85005
2-Wareneingang	0	0	0	7387,2	8369,77	37972,8	28202,6	16033,5	0	53863,7	146351	12226,2	23585	0	0	5589,18	0	339580,4488
3-Lacklager	0	0	0	0	0	0	0	13230,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13230,21258
4-Digitaldruckerei	0	0	0	0	0	0	52982,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52982,79643
5-Kantenbiegerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26736,8	0	0	0	0	0	0	26736,75304
6-Holzkerne, Abl	0	18163,1	0	0	0	0	827,97	0	0	0	8392,7	59470,1	3154,15	0	0	0	0	90007,98085
7-Sublimation	0	0	0	0	0	1181,92	0	5628,87	0	7076,24	0	23309,7	0	0	0	7901,09	0	45097,77716
8-Siebdruckerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31755,3	0	28783,3	0	20577	0	0	0	81115,60368
9-Beschichtung, S	0	0	0	0	0	0	5375,92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5375,92
10-GFM, Stanzer	0	0	0	0	0	0	2094,18	0	0	0	21309,8	2491	16239,4	0	0	0	8948,8	51083,09284
12-SWN-Laminie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1961,25	0	21165	0	218924	0	242050,67
13-Kaschiererei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40707,5	0	0	0	0	40707,45
14-PU-Schäumer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19899,6	0	0	0	0	19899,6
15-Trockenkamm	0	0	0	0	0	8058,96	8745,3	0	4276,3	9485,55	0	0	0	0	107870	0	0	138436,11
16-Schleiflinien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2658,18	0	0	11420,5	452563	466641,7484
17-PLT-Anlage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19263,4	0	0	0	0	19263,4
18-Finish	56822,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6323,2	0	224334	0	0	287479,4494
Summe	56822,2	82510	0	7387,2	8369,77	47213,7	98228,7	34892,6	4276,3	102181	202790	126280	73184,6	81184,1	353369	24910,8	680436	1984036

Abbildung 91: Transportintensitätsmatrix VDI 2498

	1-Verladerampe	2-Wareneingangslag	3-Lacklager	4-Digitaldruckerei	5-Kantenbiegerei	6-Holzkerne, Abläng	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	9-Beschichtung, Sie	10-GFM, Stanzer	12-SWN-Laminierur	13-Kaschiererei	14-PU-Schäumerei	15-Trockenkammer	16-Schleiflinien	17-PLT-Anlage	18-Finish	Summe	
1-Verladerampe	0	82132,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82132	
2-Wareneingang	0	0	0	7840,4	13816	21824,5	23291	44067,2	0	18900	62723,5	3414,31	16451,6	0	0	2871,46	0	215200	
3-Lacklager	0	0	0	0	0	0	0	5735,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5736	
4-Digitaldruckerei	0	0	0	0	0	0	8453,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8454	
5-Kantenbiegerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24628,6	0	0	0	0	0	0	24629	
6-Holzkerne, Abl	0	6613,5	0	0	0	0	855,294	0	0	0	7672,77	9990,53	9438,61	0	0	0	0	34571	
7-Sublimation	0	0	0	0	0	1052,67	0	1434,87	0	48910,1	0	14917,2	0	0	0	1414,21	0	67729	
8-Siebdruckerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26707,9	0	2926,98	0	37827,8	0	0	0	67463	
9-Beschichtung, S	0	0	0	0	0	0	19490,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19491	
10-GFM, Stanzer	0	0	0	0	0	0	6209,08	0	0	0	51350,1	3586,13	4800,61	0	0	0	2485,92	68432	
12-SWN-Laminie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1517,45	0	22076,9	0	0	0	33757,3	57352
13-Kaschiererei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28829,6	0	0	0	0	28830	
14-PU-Schäumer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56434,7	0	0	0	0	56435	
15-Trockenkamm	0	0	0	0	0	11415,9	34198,5	0	19456,1	3714,7	0	0	0	0	48277,5	0	0	117063	
16-Schleiflinien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1679,21	0	0	66082,4	47277,2	115039	
17-PLT-Anlage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10345,8	0	0	0	0	10346	
18-Finish	106222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4698,24	0	26675,8	0	0	137596	
Summe	106222	88746	0	7840	13816	34293	92498	51238	19456	98233	146375	34835	48931	123092	97030	70368	83520	1116494	

Abbildung 92: Transportintensitätsmatrix Kreisverfahren

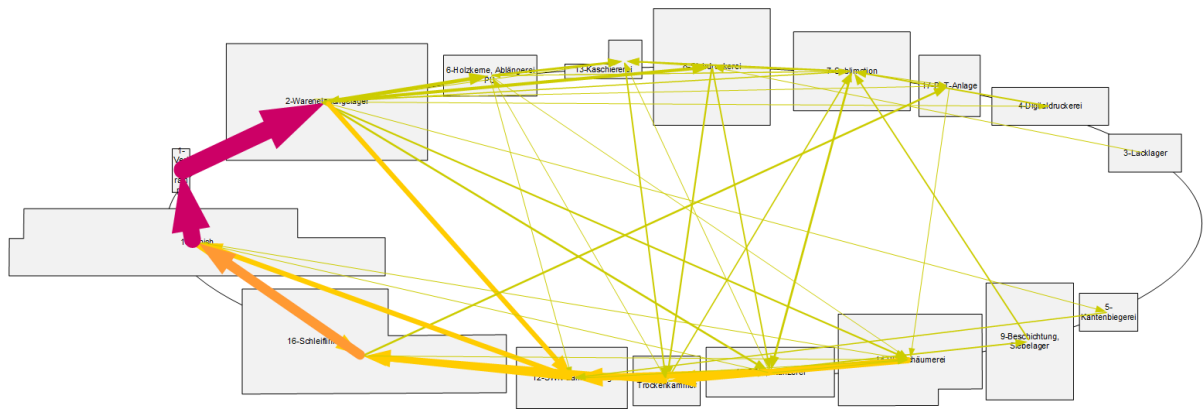


Abbildung 93: Kreisverfahren Variante 2

	1-Verladerampe	2-Wareneingangslager	3-Lacklager	4-Digitaldruckerei	5-Kantenbiegerei	6-Holzkerne, Ablängerei	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	9-Beschichtung, Stanzerei	10-GFM, Stanzerei	12-SWN-Laminiererei	13-Kaschiererei	14-PU-Schäumerei	15-Trockenkammer	16-Schleiflinien	17-PLT-Anlage	18-Finish	Summe	
1-Verladerampe	0	84744	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84744,0
2-Wareneingang	0	0	0	9939,6	18787,4	45524,8	21910,8	54156,6	0	9210,24	31506,2	7400,82	23728,2	0	0	3847,43	0	0	226012,2
3-Lacklager	0	0	0	0	0	0	0	16612,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16612,5
4-Digitaldruckerei	0	0	0	0	0	0	35297,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35297,4
5-Kantenbiegerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16967,7	0	0	0	0	0	0	0	0	16967,7
6-Holzkerne, Abl.	0	13979,4	0	0	0	0	407,959	0	0	2784,76	29849,5	4437,7	0	0	0	0	0	0	51459,3
7-Sublimation	0	0	0	0	0	502,104	0	1131,18	0	29728,3	0	7495,29	0	0	0	6186	0	0	45042,9
8-Siebdruckerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20620,6	0	8060,78	0	23966,8	0	0	0	0	52648,1
9-Beschichtung, S.	0	0	0	0	0	0	19754,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19754,4
10-GFM, Stanzerei	0	0	0	0	0	0	3773,97	0	0	0	31283	4151,04	5992,68	0	0	0	0	3108,58	48309,3
12-SWN-Laminier.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	553,523	0	22644	0	0	0	0	47266,4
13-Kaschiererei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6974,11	0	0	0	0	0	6974,1
14-PU-Schäumer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28336	0	0	0	0	28336,0
15-Trockenkamm	0	0	0	0	0	10280,4	11936,7	0	6579,84	13029,6	0	0	0	0	28516,3	0	0	0	70342,8
16-Schleiflinien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	655,449	0	0	27476,9	44457,1	0	0	72589,5
17-PLT-Anlage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8232,36	0	0	0	0	0	0	8232,4
18-Finish	207249	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5624,32	0	25084,6	0	0	0	0	237957,9
Summe	207249	98723,4	0	9939,6	18787,4	56307,3	93081,2	71900,3	6579,84	72588,7	82541,7	56957,5	49224,3	59276,9	76244,9	37510,3	94832,1	0	1091744

Abbildung 94: Transportintensitätsmatrix Viereckverfahren

	1-Verladerampe	2-Wareneingangslager	3-Lacklager	4-Digitaldruckerei	5-Kantenbiegerei	6-Holzkerne, Ablängerei	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	9-Beschichtung, Stanzerei	10-GFM, Stanzerei	12-SWN-Laminiererei	13-Kaschiererei	14-PU-Schäumerei	15-Trockenkammer	16-Schleiflinien	17-PLT-Anlage	18-Finish	Summe	
1-Verladerampe	0	88043,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88043,1
2-Wareneingang	0	0	0	3641,75	5016,1	17768,2	15218,8	15335,7	0	16141,7	23575,9	3193,22	22066,8	0	0	2023,87	0	0	123982
3-Lacklager	0	0	0	0	0	0	0	3498,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3498
4-Digitaldruckerei	0	0	0	0	0	0	7353,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7354
5-Kantenbiegerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10379,1	0	0	0	0	0	0	0	0	10379
6-Holzkerne, Abl.	0	5384,3	0	0	0	0	1046,56	0	0	2079,44	31910,4	12288,9	0	0	0	0	0	0	52710
7-Sublimation	0	0	0	0	0	1288,08	0	3543,76	0	36794,9	0	13656,2	0	0	2317,48	0	0	0	57600
8-Siebdruckerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18218,7	0	7475,29	0	33558,6	0	0	0	0	59253
9-Beschichtung, S.	0	0	0	0	0	0	11935,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11936
10-GFM, Stanzerei	0	0	0	0	0	0	4671,06	0	0	0	30938,6	3914,25	8811,04	0	0	0	0	0	1817,52
12-SWN-Laminier.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1010,51	0	43501,2	0	0	0	0	24709,6
13-Kaschiererei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32165,7	0	0	0	0	0	32166
14-PU-Schäumer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29920,5	0	0	0	0	0	29921
15-Trockenkamm	0	0	0	0	0	9595,18	22518,9	0	13806,3	7948,53	0	0	0	31274,2	0	0	0	0	85143
16-Schleiflinien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	889,768	0	0	35529	97895,1	0	0	134314
17-PLT-Anlage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5737,49	0	0	0	0	0	0	5737
18-Finish	83034,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1483,75	0	55236,7	0	0	0	0	139755
Summe	83034,5	93427,4	0	3641,75	5016,1	28651,4	62745	22377,5	13806,3	79103,8	66973,1	60149,4	52288,2	95644,8	130012	39870,3	124422	0	961164

Abbildung 95: Transportintensitätsmatrix Dreieckverfahren

	1-Verladerampe	2-Wareneingangslager	3-Lacklager	4-Digitaldruckerei	5-Kantenbiegerei	6-Holzkerne, Ablängerei PU	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	9-Beschichtung, Siebelager	10-GFM, Stanzer	12-SWN-Laminierung	13-Kaschiererei	14-PU-Schäumerei	15-Trockenkammer	16-Schleiflinien	17-PLT-Anlage	18-Finish	Summe	
1-Verladerampe	0	73279,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73279,4
2-Wareneingangslager	0	0	0	5983,07	3861,15	49737,3	17489	35791,7	0	14615,4	21619	4654,49	30362	0	0	2322,03	0	0	186435,0
3-Lacklager	0	0	0	0	0	0	0	2218,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2218,7
4-Digitaldruckerei	0	0	0	0	0	0	17297,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17297,8
5-Kantenbiegerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17867,9	0	0	0	0	0	0	0	17867,9
6-Holzkerne, Ablängerei PU	0	15071,9	0	0	0	0	442,27	0	0	0	6836,09	28408,2	3103,59	0	0	0	0	0	53862,1
7-Sublimation	0	0	0	0	0	544,332	0	943,602	0	44401,6	0	7763,47	0	0	0	1866,62	0	0	55519,6
8-Siebdruckerei	0	0	0	0	0	0	0	0	24824,4	0	9560,46	0	18454,3	0	0	0	0	0	52839,2
9-Beschichtung, Siebelager	0	0	0	0	0	0	14748	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14748,0
10-GFM, Stanzer	0	0	0	0	0	0	5636,73	0	0	0	20278,2	4598,01	11650,6	0	0	0	3314,91	0	45478,4
12-SWN-Laminierung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1874,25	0	23161,3	0	60303,6	0	0	85339,2
13-Kaschiererei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24963,8	0	0	0	0	0	24963,8
14-PU-Schäumerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23356,5	0	0	0	0	0	23356,5
15-Trockenkammer	0	0	0	0	0	4826,64	18306	0	28721,2	5847,93	0	0	0	25241,6	0	0	0	0	82943,4
16-Schleiflinien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	634,32	0	0	27716,4	58734,1	0	87084,9
17-PLT-Anlage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9766,24	0	0	0	0	0	9766,2
18-Finish	61211,4	88351,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4534,4	0	33140,3	0	0	0	98886,1
Summe	61211,4	88351,3	0	5983,07	3861,15	55108,2	73919,8	38954	28721,2	89689,3	66601,1	54984,7	61925,3	66774,6	81543,2	31905,1	12235,3	0	931886

Abbildung 96: Transportintensitätsmatrix Dreieckverfahren überarbeitete Flächen

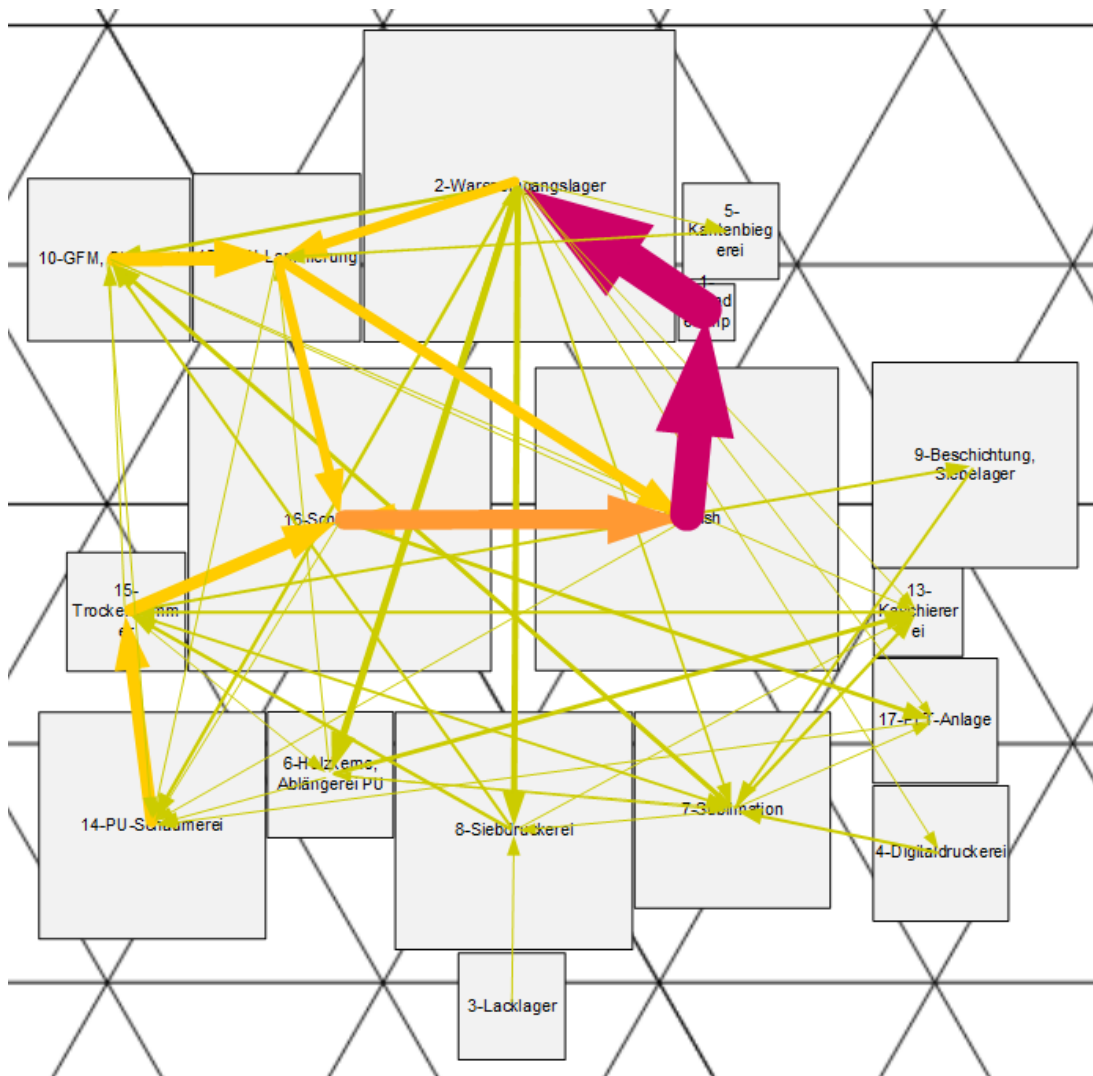


Abbildung 97: Dreieckmethode überarbeitete Flächen Variante 2

	1-Verladerampe	2-Wareneingangslager	3-Lacklager	4-Digitaldruckerei	5-Kantenbiegerei	6-Holzkerne, Abläng	7-Sublimation	8-Siebdruckerei	9-Beschichtung, Sieb	10-GFM, Stanzer	12-SWN-Laminierur	13-Kaschiererei	14-PU-Schäumerei	15-Trockenkammer	16-Schleiflinien	17-PLT-Anlage	18-Finish	Summe	
1-Verladerampe	0	56828,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56828,8
2-Wareneingang	0	0	0	7406,1	3721,34	15185,4	17563,4	23806,2	0	17983,7	22393	4151,32	33473	0	0	2101,05	0	0	147784,5
3-Lacklager	0	0	0	0	0	0	0	2167,55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2167,6
4-Digitaldruckerei	0	0	0	0	0	0	4542,62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4542,6
5-Kantenbiegerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2943,92	0	0	0	0	0	0	0	0	2943,9
6-Holzkerne, Abl	0	4601,65	0	0	0	0	412,989	0	0	0	3434,08	17479,6	14330	0	0	0	0	0	40258,3
7-Sublimation	0	0	0	0	0	508,294	0	1295,61	0	43081,6	0	11695,5	0	0	2965,73	0	0	0	59546,7
8-Siebdruckerei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27696,4	0	17163,5	0	39619,8	0	0	0	0	84479,7
9-Beschichtung, S	0	0	0	0	0	0	5038,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5038,2
10-GFM, Stanzer	0	0	0	0	0	0	5469,15	0	0	0	20090,3	4093,23	15753,6	0	0	0	2732,11	0	48138,4
12-SWN-Laminie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2418,75	0	24198,8	0	33371,5	0	0	59989,0
13-Kaschiererei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18449,6	0	0	0	0	18449,6
14-PU-Schäumer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22756	0	0	0	0	0	22756,0
15-Trockenkamm	0	0	0	0	0	13612,6	30674,7	0	22558,6	12407,1	0	0	0	0	26395,5	0	0	0	105648,4
16-Schleiflinien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	612,475	0	0	26824,4	51204	0	78640,8
17-PLT-Anlage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3784,67	0	0	0	0	0	0	3784,7
18-Finish	61269,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1528,15	0	28891,5	0	0	0	0	91689,0
Summe	61269,4	61430,4	0	7406,1	3721,34	29306,3	63701	27269,4	22558,6	101169	48861,3	54583,2	71900,6	80825,3	79485,8	31891,1	87307,6	0	832686

Abbildung 98: Transportintensitätsmatrix idealisiertes Layout