

Analyse der Materialflussauswirkung eines bionisch inspirierten Ansatzes zur Planung eines Fabriklayouts

Philipp Gödl

Diplomarbeit an der TU-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

An dieser Stelle möchte ich mich bei den Personen bedanken, die diese Diplomarbeit überhaupt ermöglicht haben. An erster Stelle bei Institutsvorstand Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Jodin, für die Möglichkeit, meine Diplomarbeit unter seiner Schirmherrschaft erstellen zu können, sowie für die großzügiger Weise zur Verfügung gestellte Institutsinfrastruktur. Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Univ.-Ass. Mag.rer.soc.oec. Daniel Tinello, der mit großen Engagement diese Diplomarbeit betreut hat. Er kommt mit seinem ruhigen und strukturierten Auftreten sowie seiner freundlichen Ausstrahlung dem Idealbild eines Betreuers sehr nahe. Keinesfalls unerwähnt bleiben darf Frau Daniela Starcevic, die mich nicht nur bei der Koordination des Prüfungssenates unterstützt hat, sowie alle Mitarbeiter des Instituts für Technische Logistik, bei denen ich mich für das freundliche Arbeitsklima bedanken möchte. Einen wesentlichen Beitrag zu meinem Studienerfolg hat meine Familie geleistet, die mich durch die Höhen und Tiefen begleitet hat und bei denen ich mich hiermit bedanken möchte. Vor allem bei meiner Frau Romy, die mich stets unterstützt hat und großes Verständnis für so ein zeitraubendes Studium aufgebracht hat. Desweiteren bei meinem Bruder Rene', der mir stets ein guter Diskussionspartner war und mich motiviert hat. Ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich nicht nur immer mental unterstützt haben, sondern mir dieses Studium erst ermöglicht haben. Dank ihrer Förderung stehe ich jetzt an diesem Punkt. Ähnliches gilt für meine Großeltern, die ich hier ebenfalls explizit erwähnen möchte. Auch möchte ich mich bei meinen Freunden bedanken. Vor allem bei Gernot, dessen Eifer auch mich zu Höchstleistungen angespornt hat, sowie bei Christoph der mich nicht nur als Korrekturleser dieser Diplomarbeit unterstützt hat.

Graz, Februar 2014

Philipp Gödl

Kurzfassung

In den letzten Jahren haben sich die Anforderungen an eine Fabrik stark verändert. Die Produktlebenszyklen haben sich verkürzt, damit wird eine kurze Produkteinführungszeit immer wichtiger. Die in einer Fabrik produzierten Produkte durchlaufen in immer kürzerer Zeit den Lebensweg, vom „Question Mark“ zum „Poor Dog“, der BCG-Matrix. Um den Veränderungen eines derart dynamischen Marktes begegnen zu können, ist eine wandlungsfähige Fabrik erforderlich.

Im Rahmen dieser Arbeit soll geklärt werden, ob ein bionisch inspiriertes Fabriklayout den aktuellen Anforderungen an eine wirtschaftliche und wandlungsfähige Fabrik gerecht werden kann. Hierfür wird ein, vom Institut für Technische Logistik definiertes, Prinzip der belebten Natur auf seine Anwendbarkeit für Fabriklayouts und dessen Auswirkung auf den Materialfluss geprüft.

Eine wandlungsfähige Fabrik charakterisiert sich durch Flexibilität, Rekonfigurierbarkeit, Effizienz und Skalierbarkeit. Diese Eigenschaften korrelieren gut mit jenen von biologischen Systemen. Deshalb wurden in Form eines Technologie-Pulls, biologische Beispielkataloge nach geeigneten Prinzipien für die Fabriklayoutplanung durchsucht. Infolge dessen konnte die Fibonacci-Folge als vielversprechendes Prinzip identifiziert und als Form und Funktion stiftendes Kriterium für die Layout-Erstellung herangezogen werden.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden drei Industriebetriebe hinsichtlich deren Fabriklayout und Materialfluss untersucht. Dazu wurde zuerst der Ist-Zustand des Layouts und Materialflusses in einem Modell abgebildet. Um den Ist-Zustand mit den bionisch inspirierten Layouts zu vergleichen, wurde die Transportintensität als Referenzwert definiert. Im Anschluss an die Modellbildung des Ist-Zustandes wurden bionisch inspirierte Layoutvarianten, nach Vorbild der Fibonacci-Spirale erstellt. Bei den dabei erstellten Layouts handelt es sich um Ideallayouts auf Bereiche-Ebene. Ein Ideallayout unterliegt

keinen Restriktionen, funktioneller, monetärer oder rechtlicher Natur. Die Abstraktion auf Bereiche-Ebene stellt den zweithöchsten Detaillierungsgrad dar, lediglich die Arbeitsstationen-Ebene geht weiter ins Detail. Die flächenmäßige Ausdehnung der Bereiche, der bionisch inspirierten Layouts, entspricht ihren realen Pendants. Für die Anordnung der Bereiche, in den bionisch inspirierten Layouts, wurde auf verschiedene bekannte Anordnungsverfahren aus der Literatur zurückgegriffen, wobei sich das Kreisverfahren als geeignetstes identifizieren ließ. Unter den Layoutvarianten waren jene in Form von einfachen Fibonacci-Spiralen und doppelten Fibonacci-Spiralen am erfolgreichsten, wobei das doppelspiralige Layout stets bessere Ergebnisse verbuchen konnte. Als besonders effektiv erwies sich das doppelspiralige Layout bei ausgeprägter Werkbankfertigung und sehr verzweigtem Materialfluss. Im Vergleich zu den Ist-Zuständen ergaben sich Einsparungspotenziale hinsichtlich der Transportintensität von bis zu 65%.

Um die bislang erarbeiteten Ergebnisse weiter zu verifizieren, sollte die Erstellung von Reallayouts der betrachteten Unternehmen Gegenstand weiterer Forschung sein. Daraus können die realen Einsparungsmöglichkeiten und damit die erfolgsversprechendsten Einsatzgebiete der bionisch inspirierten Layouts ermittelt werden.

Abstract

In recent times the requirements of factories have changed dramatically. This is due in part to technological advances causing short product life cycles, resulting in the need to speed up product development times to get products to market quicker. This in turn leads to shorter whole life product cycles resulting in each phase of the cycle to be shorter, from “Question mark” to “Poor Dog” in the BCG matrix. With this the requirements for modern factories to be highly adaptable to market and product changes are ever more important.

This thesis focuses on whether these requirements are met with a biometrics inspired factory layout, and whether these principles allow for a functional factory with regards to material flow paths.

An adaptable factory is characterised by its ability to be flexible, reconfigurable, efficient and its scalability. Utilising biological technical libraries the principles of an adaptable factory can be found. From this, the Fibonacci sequence has been identified and the form and functions utilised for the basic criteria of the factory layout. Three existing factories have been analysed for their layout and material flow. Firstly the current layout was modelled, and the transport intensity calculated. This is then compared to various biometrical Fibonacci spiral inspired layouts utilising the transport intensity as a reference. These ideal layouts are on a departmental level. In an ideal layout there are no restrictions on function, cost or local governance.

The departmental analysis is the second highest detailed level after the individual work stations. In the current layouts the departments physical size remains the same as in an biometrical layout. From analysing the material flow, departments with high transport intensity can be placed next to each other in order to minimise distance travelled. The best procedure for the positioning of departments has been found to be the “Kreisverfahren nach Schwerdtfeger”

Layouts from simple spirals and double spiral designs were analysed to observe which gives the best results. From here it was found that a double Fibonacci spiral

offers the most significant improvements, particularly from an individual's work flow across various departments. Using this process the transport intensity has been improved by 65% over the current factory layout.

Further work would be to include optimisation of the ideal layout with respect to restrictions as previously detailed. From here the biometrical real layouts could be compared to the current factory layouts, this would show the effective improvement over current designs. From this it would be possible to identify which production structure a biometrical layout would bring the most improvements.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Einleitung..... | 3 |
| 2 | Problemstellung | 5 |
| 3 | Entwicklung der Vorgehensweise | 6 |
| 3.1 | Struktur- und Layoutplanung..... | 6 |
| 3.1.1 | Ablauf der Struktur- und Layoutplanung | 8 |
| 3.1.2 | Zielplanung | 13 |
| 3.1.2.1 | Wandlungsfähigkeit..... | 14 |
| 3.1.2.2 | Flexibilität..... | 15 |
| 3.1.2.3 | Rekonfigurierbarkeit..... | 15 |
| 3.1.2.4 | Umrüstbarkeit..... | 16 |
| 3.1.3 | Erste Phase - Analyse..... | 16 |
| 3.1.3.1 | ABC-Analyse | 17 |
| 3.1.3.2 | Materialflussmatrix (Von-Nach-Matrix)..... | 20 |
| 3.1.3.3 | Transportintensitätsmatrix..... | 22 |
| 3.1.3.4 | Sankey-Diagramm | 24 |
| 3.1.3.5 | Wertstromanalyse..... | 27 |
| 3.1.4 | Zweite Phase - Struktur-Design..... | 29 |
| 3.1.4.1 | Struktur-Entwicklung | 30 |
| 3.1.4.2 | Struktur-Dimensionierung..... | 33 |
| 3.1.5 | Dritte Phase - Layout-Gestaltung..... | 34 |
| 3.1.5.1 | Ideallayout..... | 35 |
| 3.1.5.2 | Verfahren zur Anordnungsoptimierung..... | 37 |
| 3.1.5.3 | Reallayout..... | 42 |
| 3.2 | Bionik | 45 |
| 3.2.1 | Begriffserklärung und Entwicklung..... | 45 |
| 3.2.1.1 | Bionik..... | 45 |
| 3.2.1.2 | Analogie..... | 48 |
| 3.2.2 | Analogieforschung | 50 |
| 3.2.3 | Bionische Vorgehensmodelle..... | 52 |
| 3.2.4 | Prinzip aus der belebten Natur - Die Fibonacci-Spirale..... | 55 |
| 4 | Methodik der Vorgehensweise..... | 62 |
| 4.1 | Bionisch inspiriertes Layout | 62 |
| 4.1.1 | Analogiegegenüberstellung | 63 |
| 4.1.2 | Vorgehen nach VDI..... | 66 |
| 4.2 | Materialflussberechnungs-Software | 67 |
| 4.3 | Untersuchung des Unternehmen 1 | 73 |
| 4.3.1 | Referenzzustand Unternehmen 1 | 73 |
| 4.3.2 | Bionisch inspirierte Layouts Unternehmen 1 | 76 |
| 4.3.2.1 | Layout mit Anordnung der Stationen nach VDI 2498 | 76 |
| 4.3.2.2 | Einfachspiraliges Layout..... | 78 |
| 4.3.2.3 | Doppelspiraliges Layout | 81 |
| 4.3.2.4 | Optimiertes Doppelspiralenlayout | 84 |
| 4.4 | Untersuchung des Unternehmen 2..... | 87 |
| 4.4.1 | Referenzzustand Unternehmen 2 | 87 |
| 4.4.2 | Bionisch inspirierte Layouts Unternehmen 2 | 90 |
| 4.4.2.1 | Einfachspiraliges Layout..... | 91 |
| 4.4.2.2 | Doppelspiraliges Layout | 94 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.5 | Untersuchung des Unternehmen 3..... | 97 |
| 4.5.1 | Referenzzustand Unternehmen 3..... | 97 |
| 4.5.2 | Bionisch inspirierte Layouts Unternehmen 3..... | 101 |
| 4.5.2.1 | ABC-Analyse der Stationen..... | 101 |
| 4.5.2.2 | Einfachspiraliges Layout..... | 102 |
| 4.5.2.3 | Doppelspiraliges Layout..... | 105 |
| 4.6 | Gegenüberstellung der Ergebnisse..... | 108 |
| 4.6.1 | Materialflussauswirkungen in Unternehmen 1..... | 108 |
| 4.6.2 | Materialflussauswirkungen in Unternehmen 2..... | 110 |
| 4.6.3 | Materialflussauswirkungen in Unternehmen 3..... | 112 |
| 5 | Bewertung der Vorgehensweise..... | 114 |
| 6 | Zusammenfassung..... | 116 |
| 7 | Verzeichnisse..... | 118 |
| 7.1 | Literaturverzeichnis..... | 118 |
| 7.2 | Internet-Quellen..... | 120 |
| 7.3 | Sonstige Quellen..... | 120 |
| 7.4 | Abbildungsverzeichnis..... | 121 |
| 7.5 | Tabellenverzeichnis..... | 124 |
| 7.6 | Gleichungsverzeichnis..... | 125 |
| 8 | Anhang..... | 126 |
| 8.1.1 | Unternehmen 1..... | 126 |
| 8.1.1.1 | Weitere Layout-Varianten..... | 126 |
| 8.1.1.2 | Referenzlayout..... | 129 |
| 8.1.1.3 | Layout nach VDI 2498..... | 130 |
| 8.1.1.4 | Einfachspiraliges Layout..... | 131 |
| 8.1.1.5 | Doppelspiraliges Layout..... | 132 |
| 8.1.1.6 | Optimiertes doppelspiraliges Layout..... | 133 |
| 8.1.2 | Unternehmen 2..... | 134 |
| 8.1.2.1 | Referenzlayout..... | 134 |
| 8.1.2.2 | Einfachspiraliges Layout..... | 134 |
| 8.1.2.3 | Doppelspiraliges Layout..... | 135 |
| 8.1.3 | Unternehmen 3..... | 136 |
| 8.1.3.1 | Referenzlayout..... | 136 |
| 8.1.3.2 | Einfachspiraliges Layout..... | 137 |
| 8.1.3.3 | Doppelspiraliges Layout..... | 138 |

1 Einleitung

Die Produktlebenszyklen haben sich in den vergangenen Jahrzehnten stark verkürzt, eine Umkehr dieses Trends ist nicht absehbar. Betrachtet man etwa den Netbook-Boom 2009: die Unternehmen waren nicht in der Lage, den Bedarf an diesem, eigentlich für einen Nischenmarkt konzipierten, Produkt zu befriedigen. Lange Lieferzeiten und unzufriedene potentielle Kunden waren die Folge. Als die Produktionskapazitäten erhöht wurden, um den Bedarf zu befriedigen, war die Nachfrage bereits nahe einer Sättigungsphase. Gab es im Jänner 2010 noch ein Wachstum zum Vorjahr von +76% am US-Markt, so verblieben im Dezember ein Minus von 41% [CTR11]. Die Konsumenten hatten zu mittlerweile am Markt erhältlichen Substitutionsprodukten gegriffen, Mitbewerber konnten eigene Produkte auf den Markt bringen.

Unternehmen müssen auf solche, schnell veränderliche Gegebenheiten rasch und akkurat reagieren können. Sie haben sich den, sich immer schneller ändernde Kundenbedürfnissen, sowie der Verknappung von Rohstoffen mit erhöhter Kreativität und Effizienz entgegen zu stellen. Dies ist zum einen notwendig, um wettbewerbsfähig zu bleiben und zum anderen um auch nachfolgenden Generationen, und damit potentiellen Kunden die Möglichkeit zu geben, ihre Bedürfnisse zu befriedigen. [BRU87]

Genau in diesen Punkten kann die Natur als Vorbild dienen. „Die in der lebenden Natur ablaufenden komplexen Prozesse sind durch Selbstorganisation gekennzeichnet und laufen materialarm, regelungssicher und recyclingfreundlich ab. Biologische Systeme sind dynamisch, selbstorganisierend und multifunktionale Konstruktionen. Diese Tatsache macht sie für die Vielzahl der Lösungen technischer Probleme bedeutsam.“ ([HIL99], S. 58) In dieser Aussage beschreibt Hill sehr präzise die Anforderungen an eine moderne Fabrik und damit auch an deren Layout und Materialflüsse.

Aufgrund dieser Ähnlichkeiten bietet sich eine Untersuchung der Materialflussauswirkungen eines bionisch inspirierten Fabriklayouts an. Dabei

soll geklärt werden, ob ein solches Layout den Anforderungen einer modernen Fabrik besser entsprechen kann als ein mittels konventioneller Verfahren erstelltes Layout. Speziell hinsichtlich der Erweiterbarkeit und Effizienz bietet die Natur großes Potential. Wachstumsprozesse kommen in der belebten Natur mannigfaltig vor und können als Inspiration für ein Fabriklayout dienen. Darüber hinaus sind biologische Systeme sehr effizient, sie gehen nur selten unnötige Umwege, weshalb mit positiven Auswirkungen auf den Materialfluss bzw. auf die Transportdistanzen zu rechnen ist.

Im nachfolgenden Kapitel wird die Problemstellung, die hier einleitend schon umrissen wurde, erläutert um daraus die Ziele abzuleiten.

2 Problemstellung

Damit eine moderne Fabrik die, an sie gerichteten Erwartungen erfüllen kann, muss sie einerseits den wechselnden Anforderungen des Marktes gerecht werden, andererseits muss sie sich mit höchst möglicher ökonomischer Effizienz dem Wettbewerb stellen. Den schwankenden Bedingungen des Marktes kann durch hohe Wandlungsfähigkeit der Struktur und des Layouts begegnet werden. Eine möglichst hohe ökonomische Effizienz kann unter anderem durch einen effektiven Materialfluss erreicht werden. Je nach Branche kann der innerbetriebliche Materialfluss einen Selbstkostenanteil von 50% und mehr verursachen, weshalb sich eine Untersuchung und Optimierung des Materialflusses anbietet [MAR06]. Ein bionisches Layout kann an diesen Punkten ansetzen um die Wandlungsfähigkeit einerseits und die Materialflusseffizienz andererseits zu begünstigen. Da die Bionik bislang hauptsächlich als Vorbild für konstruktive Lösungen Anwendung gefunden hat, jedoch kaum in Zusammenhang mit materialflussoptimierten, wandlungsfähigen Fabriklayouts gebracht wurde, betritt man mit diesem Ansatz zum Teil Neuland.

Ziel dieser Arbeit ist die Prüfung eines Prinzips der belebten Natur auf seine Anwendbarkeit für Fabriklayouts und dessen Auswirkung auf den Materialfluss. Hierfür wird das vom Institut für Technische Logistik definierte Prinzip nach Gesichtspunkten der Analogie zwischen Materialflüssen und der Layoutplanung analysiert und zu bionischen Layoutvarianten entwickelt [TTJ12]. Zur Verifizierung der Varianten, werden die Transportintensitäten des Ist-Layouts dreier Produktionsbetriebe betrachtet und mit den jeweiligen bionischen Layouts verglichen. Damit soll die Frage der prinzipiellen Eignung von bionisch inspirierten Layouts für die Fabrikplanung beantwortet werden.

Dazu werden in den Kapiteln „3.1 Struktur- und Layoutplanung“ und „3.2 Bionik“ die Grundlagen der beiden ungleichen Wissenschaftszweige in einem für die Problemlösung notwendigen Umfang erörtert und Methoden abgeleitet.

3 Entwicklung der Vorgehensweise

Im Rahmen dieses Kapitels werden die theoretischen Grundlagen der Struktur- und Layoutplanung einerseits und jene der Bionik andererseits behandelt. Aus diesem Wissen wird die Vorgehensweise zur Problembehandlung abgeleitet. Das Kapitel wird mit der Struktur und Layoutplanung eröffnet und geht einleitend auf deren Bedeutung für eine wettbewerbsfähige Fabrik ein. Im Weiteren werden der Planungsablauf sowie dessen Ziele erörtert. Im zweiten Teil wird auf die Bionik als Wissenschaft, samt ihrem Vorgehensmodell und der dafür notwendigen Analogieforschung eingegangen.

3.1 Struktur- und Layoutplanung

Wie bereits einleitend erwähnt, ist es heutzutage nicht mehr ausreichend für den wirtschaftlichen Erfolg, ein Produkt in der richtigen Qualität am Markt anzubieten. Vielmehr zeichnet sich eine wettbewerbsfähige Fabrik durch die Fähigkeit der reaktionsschnellen Erfüllung von sich ändernden, individuellen Kundenwünschen aus. Des Weiteren hat sich die Logistikleistung als Differenzierungsmerkmal und strategischer Wettbewerbsfaktor herausgestellt ([WIE05]; [AIK+08]). Unter Logistikleistung fallen je nach Betrachtungsebene „material- und warenflussbezogene Dienstleistungen“, die „Führung derartiger Dienstleistungen“ und die „Verankerung von Flussfähigkeiten in allen Teilen der Unternehmung“ ([KLA08], S. 387). Im nachfolgenden bezieht sich die Logistikleistung auf den innerbetrieblichen Material- und Warenfluss. Um hohe Logistikleistungen zu erzielen, ist ein geeignetes Fabrikkonzept eine grundlegende Notwendigkeit. Eine Fabrik bündelt Produktionsfaktoren, mit deren Hilfe ein definierter Teil der Wertekette abgebildet wird. Zu den wesentlichen Produktionsfaktoren zählen Material, Betriebsmittel, Personal, Qualifikation, technisches und organisatorisches Wissen, Kapital, Gebäude und Grundstück ([VDI09]; in [AIK+08] S. 307).

Da es sich bei einer Fabrik um ein vielschichtiges, sich durch hohe Komplexität auszeichnendes Gebilde handelt, werden die verschiedenen Produktionsfaktoren und Objekte der Fabrik differenziert betrachtet. Zur besseren Veranschaulichung

werden die Objekte in die übergeordneten Gestaltungsfelder Mittel, Organisation und Raum nach Abbildung 3-1 eingeteilt ([AIK+08], S. 307-312). „Die Mittel umfassen dabei alle für die Produktion notwendigen physischen Elemente wie Fertigungs-, Montage-, Transport- und Lagermittel. Das Gestaltungsfeld Organisation deckt organisatorische Bestandteile wie die Aufbau- und Ablauforganisation, das Arbeitszeitmodell und die Logistik der Fabrik ab. Das Gestaltungsfeld Raum ist eng mit der Architektur verzahnt und fasst schließlich Aspekte wie das Grundstück, das Gebäude, das Layout der Fabrik oder Außenanlagen zusammen.“ ([AIK+08], S. 307) Der Mensch hingegen ist kein gestaltbares Objekt und wird daher aus der Betrachtung in der Struktur- und Layoutplanung ausgeschlossen, da er überwiegend in der nachfolgenden Phase des Fabrikbetriebs behandelt wird. Zwischen den Elementen der Gestaltungsfelder laufen Energie-, Informations-, Kapital-, Kommunikations-, Medien- oder Personalflüsse ab, die sie verbinden. ([WIH01]; [AIK+08])

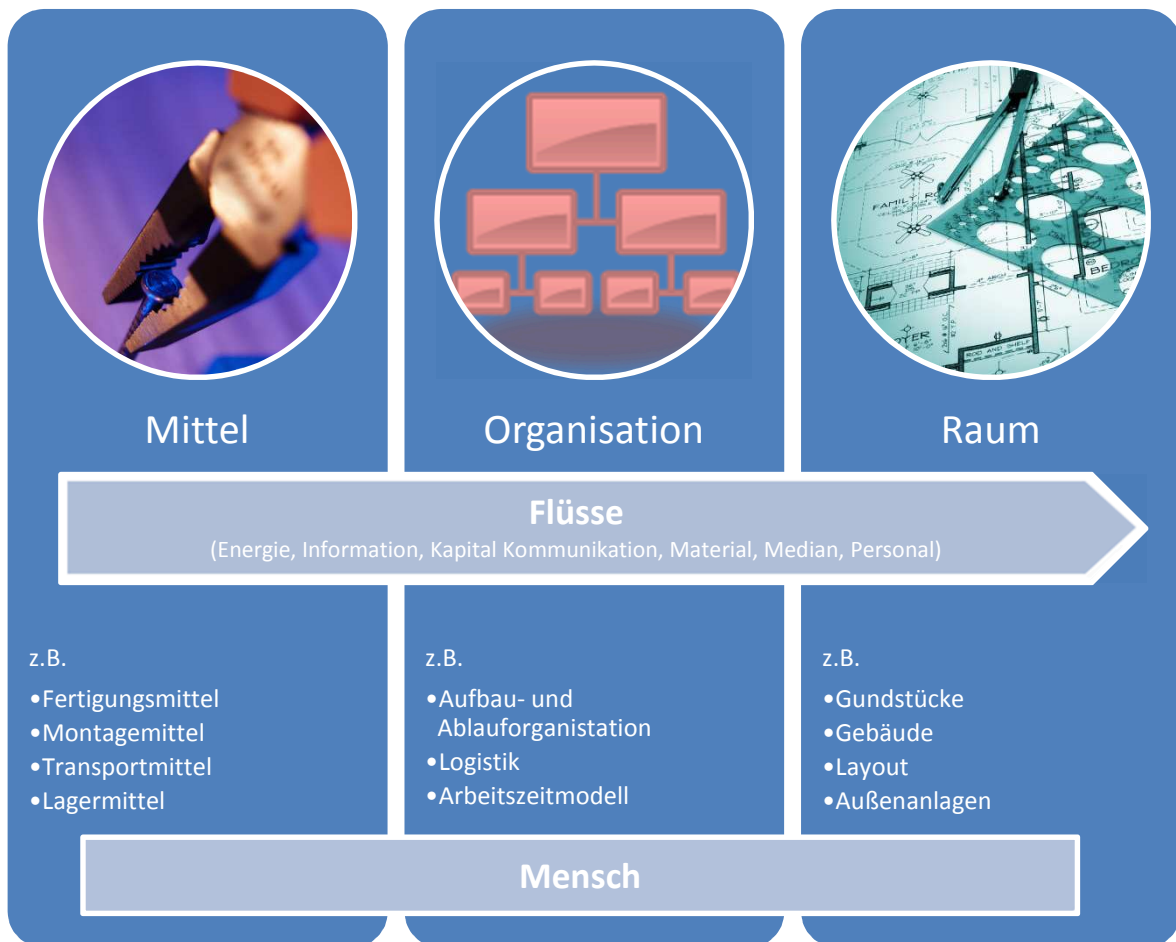


Abbildung 3-1: Gestaltungsfelder der Fabrik (Eigene Darstellung in Anlehnung an [AIK+08])

Im nachfolgenden Kapiteln wird zuerst der Ablauf der Struktur- und Layoutplanung mit seinen drei Phasen erklärt, um im Weiteren näher auf die Ziele und Phasen detailliert einzugehen.

3.1.1 Ablauf der Struktur- und Layoutplanung

„Der Ablauf der Struktur- und Layoutplanung kann in inhaltlich-methodisch abgrenzbare und logisch strukturierte Planungsprozessphasen gegliedert werden.“ ([GRU00]; in [AIK+08], S. 308)

Dies führt zu den drei Planungsprozessphasen Analyse, Struktur-Design und Layout-Gestaltung, die vom Projektmanagement begleitet werden (Abbildung 3-2). Besonders hervorzuheben ist die enge Verknüpfung von Struktur- und Layoutplanung mit der Logistikplanung. Die Konzeptionierung von Fabriken unter logistischen Zielsetzungen wird als „logistikgerechte Fabrikplanung“ bezeichnet.

Als effektivste Art der Integration der Logistikplanung und der Struktur- und Layoutplanung haben sich abwechselnde Phasen von Konzentration und Kommunikation gezeigt. In den Konzentrationsphasen arbeiten die Teams unabhängig voneinander an den jeweiligen Planungsabschnitt, in den Kommunikationsphasen werden die Planungsergebnisse ausgetauscht und abgeglichen.

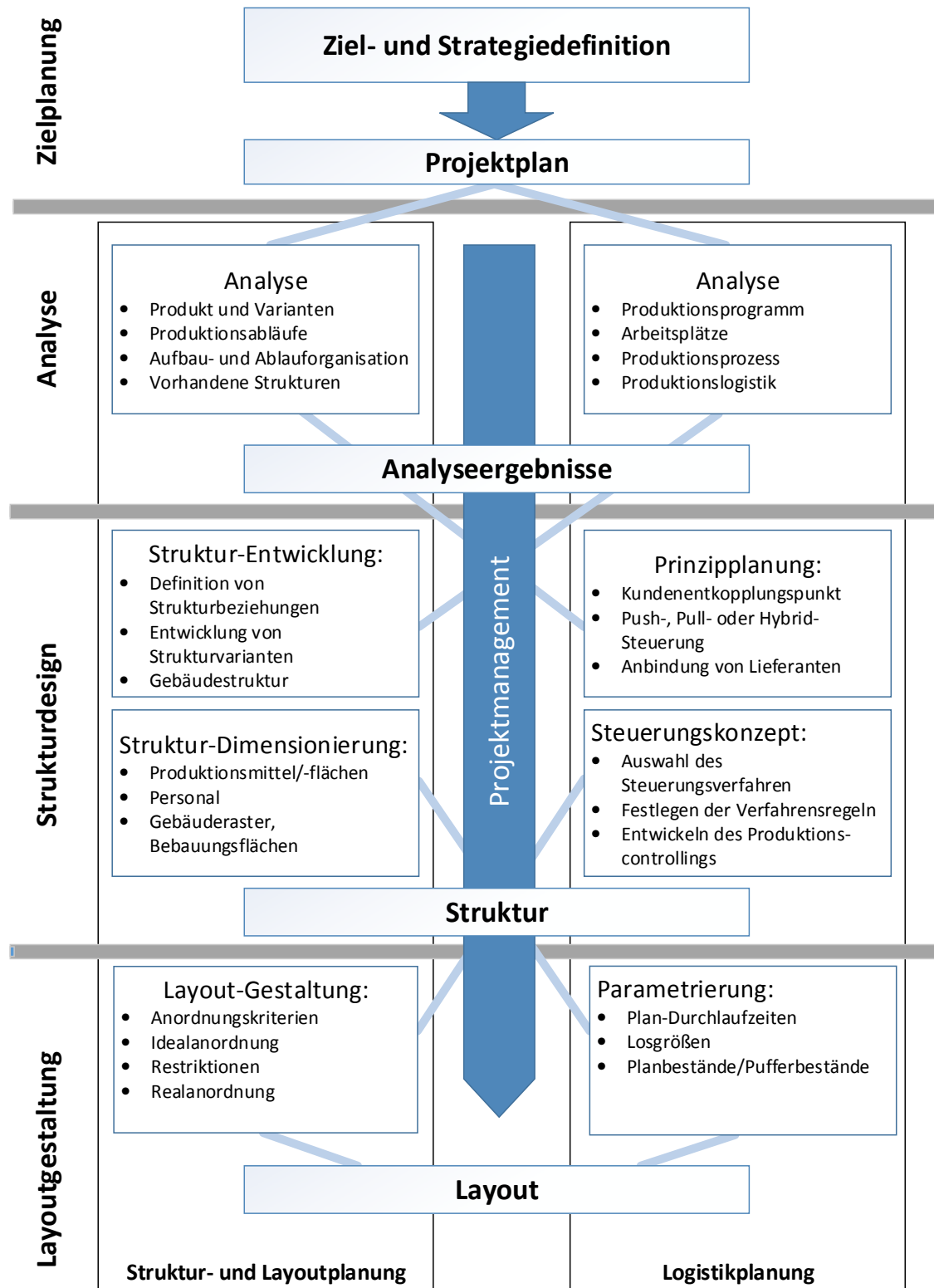


Abbildung 3-2: Ablauf der Struktur- und Layoutplanung (Eigene Darstellung nach ([AIK+08], S.309))

In der ersten Phase, der Analyse, werden Rahmenbedingungen für die beiden Planungsdisziplinen untersucht. Im Falle der Struktur- und Layoutplanung werden beispielsweise Produkte, Produktionsabläufe und Organisationen, bzw. bei bestehenden Strukturen, deren Stärken und Schwächen aufgenommen. Für die Logistikkonzeption werden unter anderem das Produktionsprogramm, die Arbeitsplätze und der Produktionsprozesse betrachtet. ([GRU12]; [KSG84]; [AIK+08])

In der anschließenden Phase des Struktur-Designs werden vorerst, auf Basis der vorliegenden Strukturbeziehungen bzw. Gebäudestrukturen, mehrere Strukturvarianten für die Struktur- Layoutplanung ermittelt. Nachfolgend wird die Anzahl der notwendigen Betriebsmittel, die Anzahl der Mitarbeiter und der Gebäuderaster und Bebauungsflächen für die Struktur dimensioniert. Im Rahmen der Logistikkonzeptionierung wird das Grundprinzip durch die Festlegung der Kundenentkopplungspunkte, der Steuerungsart und der Lieferantenanbindung geplant und in ein Steuerungskonzept umgesetzt. Die eingangs erwähnte, enge Verknüpfung von Struktur- und Layoutplanung mit der Logistikplanung wird beispielsweise in der Auswirkung der Wahl des Steuerungsverfahrens auf die Anzahl der Puffer und damit auf die Fabrikstruktur deutlich. Die Fabrikstruktur beeinflusst wiederum die Logistik in Form der Lieferantenanbindung. ([GRU12]; [KSG84]; [AIK+08])

In der dritten Phase, der Layout-Gestaltung, wird die bislang erarbeitete Struktur in ein Ideallayout umgesetzt. Dieses Ideallayout wird durch Berücksichtigung von Restriktionen in ein Reallayout überführt. Wiederum parallel erfolgt die Parametrierung des Steuerungskonzeptes in der Logistikkonzeptionsplanung, die mit der Layout-Gestaltung in Wechselwirkung steht. ([GRU12]; [KSG84]; [AIK+08])

Die im „Dilemma der Ablaufplanung“ nach Gutenberg beschriebene Forderungen nach einer hohen Auslastung bei Minimierung der Durchlaufzeiten schlägt sich beispielsweise auch im Transport- sowie Lagerkonzept und damit in der Layoutplanung nieder. Durch die Flächenanordnung wird gleichzeitig der

Produktionsprozess beeinflusst, sodass die logistische Effizienz der Anordnung durch das Produktions-Controlling überprüft werden muss. [AIK+08]

Im Folgenden wird zuerst auf die Zielplanung eingegangen und anschließend auf jede der drei Planungsphasen im Detail.

3.1.2 Zielplanung

Das globale Ziel der Struktur- und Layoutplanung ist die Errichtung einer, über ihre Lebensdauer, wirtschaftlich arbeitenden Fabrik. Dieser wirtschaftliche Erfolg lässt sich nicht länger aus Investitionssumme und Gesamtflächenbedarf ermitteln, er hängt entscheidend mit weiteren Teilzielen zusammen (Abbildung 3-3).



Abbildung 3-3: Teilziele zur wirtschaftlichen Fabrik (Eigene Darstellung nach ([AIK+08], S.310))

Ein wichtiges Teilziel ist eine hohe Logistikleistung. Diese wird durch einen bestandsarmen, durchlaufzeitminimalen und reaktionsschnellen Materialfluss erreicht ([WIE05] in [AIK+08], S. 310). Die Vernetzungsfähigkeit beschreibt die Anforderungen an eine Fabrik, schnell innerhalb eines logistischen Produktionsnetzwerkes handeln zu können. Im Rahmen des „Sustainable Development“ gewinnen die Zielfelder Nachhaltigkeit und Ökologie immer mehr an Bedeutung [BRU87]. Die Übersichtlichkeit und Produktqualität begünstigen meist ebenfalls die Wirtschaftlichkeit. Durch die Schaffung einer Unternehmensidentität, Kommunikation zwischen den Mitarbeitern, einer Mitarbeiterorientierung sowie Attraktivität wird die Fabrik auf die Bedürfnisse der Arbeitskräfte ausgerichtet. Da der Mensch als Kapazität in einer Fabrik großen Einfluss auf die Produktivität hat, wirkt sich eine Optimierung dieser Teilziele in der Regel positiv auf die Wirtschaftlichkeit aus.

Ein entscheidendes Teilziel ist die Wandlungsfähigkeit einer Fabrik, auf welches im nächsten Punkt genauer eingegangen wird. [AIK+08]

3.1.2.1 Wandlungsfähigkeit

Aus der hohen Dynamik der Märkte, die bereits eingangs exemplarisch umrissen wurde, resultierten Planungsunsicherheiten, denen durch eine akkurate Wandlungsfähigkeit der Fabrik begegnet werden kann. Die Wandlungsfähigkeit beschreibt die Fähigkeit, sich je nach Situation reaktiv an Veränderungen anzupassen bzw. sich proaktiv zu entwickeln. Der Duden beschreibt proaktiv mit „eine Situation herbeiführend od. beherrschend, indem man, anstatt auf etw. Geschehenes zu reagieren, durch differenzierte Vorausplanung u. zielgerichtetes Handeln die Entwicklung eines Geschehens selbst bestimmt“ [WER10]. Eine allgemeine gültige Definition der Wandlungsfähigkeit hat sich bislang nicht etabliert. Zur Klassifizierung der Veränderungsfähigkeit der Produktion können die Ebenen einzeln differenziert betrachtet werden. Hierbei werden die Fabrikebenen den Produktebenen gegenübergestellt. In der höchsten Ebene wird die Fabrik in das globale logistische Produktionsnetz integriert und das gesamte Produktportfolio des Netzwerkes untersucht. Die Fähigkeit eines solchen Netzwerkes proaktiv neue Märkte zu finden, in diese einzudringen sowie, wenn

erforderlich, das Produkt den dortigen Anforderungen anzupassen bzw. neue Produkte zu entwickeln, wird als Agilität bezeichnet. Eine Ebene tiefer wird die Fabrik hinsichtlich ihrer reaktiven und proaktiven Fähigkeiten auf veränderte oder neue Produkte untersucht - auf ihre Wandlungsfähigkeit. ([GRU12]; [AIK+08])

Die Wandlungsfähigkeit einer Fabrik wird durch die Eigenschaften von ihren Objekten hinsichtlich deren Wandlungsfähigkeit definiert. Zu jenen Eigenschaften zählt die Universalität, sie charakterisiert ein Objekt hinsichtlich dessen Gestaltung und Dimensionierung dahingehend, dass es für verschiedenen Anforderungen, Zwecke und Funktionen einsetzbar ist. Eine weitere Eigenschaft ist die Mobilität, sie beschreibt die uneingeschränkte lokale Bewegungsfreiheit. Die Skalierbarkeit hingegen definiert die technische, räumliche und personelle Expansionsfähigkeit und Reduzierbarkeit. Der Modularität liegt der Gedanke von autark funktionsfähigen, standardisierten Einheiten zugrunde. Die Kompatibilität beschreibt die Vernetzungsfähigkeit von Objekten untereinander hinsichtlich deren Material, Informationen, Medien oder Energie. [AIK+08]

3.1.2.2 Flexibilität

Auf der nächst tieferen Fabrikebene stellt die Flexibilität die Fähigkeit dar, sich mit vergleichsweise wenig Aufwand auf neue, aber verwandte Produktgruppen durch Veränderung des Produktionsprozesses und der Logistik einzustellen. [AIK+08]

3.1.2.3 Rekonfigurierbarkeit

Unter Rekonfigurierbarkeit versteht man die Fähigkeit eines Montage- oder Produktionsbereiches, sich durch Komplettieren oder Streichen von funktionellen Elementen auf bestimmte Bauteile bzw. Baugruppen umzustellen. [AIK+08]

3.1.2.4 Umrüstbarkeit

Auf der tiefsten Ebene beschreibt die Umrüstbarkeit die Fähigkeit einer Arbeitsstation an einem Werkstück unterschiedliche Operationen mit kleinstmöglichem Aufwand durchzuführen. [AIK+08]

In der anschließenden Analyse Phase werden die Methoden, die zur Erlangung eines Überblickes notwendig ist, um anschließende Planungsschritte zu setzen behandelt.

3.1.3 Erste Phase - Analyse

Die Analyse, die als Ausgangsbasis für die Struktur- und Layoutplanung dient, beruht auf den Gestaltungsobjekten. Dabei werden die Gestaltungsfelder (Abbildung 3-1) mit den Detaillierungsebenen einer Fabrik (Abbildung 3-4) zu den Gestaltungsobjekten (Abbildung 3-5) kombiniert. So kann jedem Objekt ein Gestaltungsfeld zugeordnet werden, wobei es stets in die höchste Ebene eingeteilt wird, in der es auftritt. Objekte können jedoch auch Beziehungen zu darunter liegenden Ebenen haben und weiter unterteilt werden.

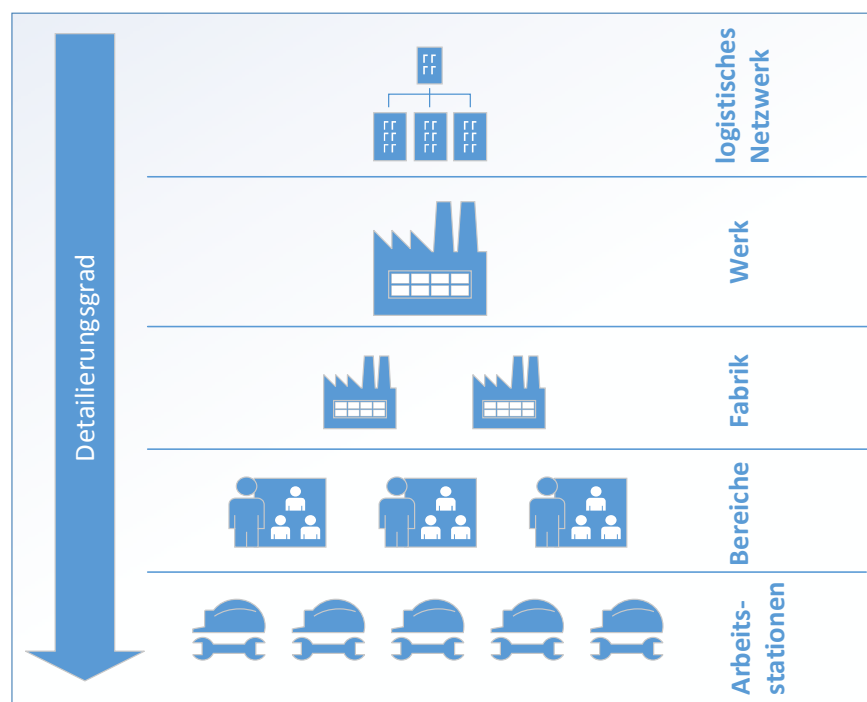


Abbildung 3-4: Gliederung einer Fabrik nach Detaillierungsebenen (Eigene Darstellung vgl. ([AIK+08], S. 312))

Es ist projektspezifisch zu entscheiden, welche Fabrikobjekte betrachtet werden. Zum einen um den Aufwand auf ein notwendiges Maß zu beschränken, zum anderen erfordern Neuplanungen und Reorganisationsplanung divergierende Maßnahmen. Beispielsweise wird bei Neuplanungen restriktionsfrei vorgegangen, es sind für alle Fabrikobjekte Vorgaben zu erarbeiten, da nicht auf vorhandene Werte zurückgegriffen werden kann. Bei der Reorganisationsplanung hingegen werden vorhandene Produktionssysteme aus Rationalisierungsgründen an neue Produktionsprogramme angepasst. Dabei ist es unnötig alle Gestaltungsobjekte zu betrachten, da es beispielsweise bei einer Reorganisation des innerfabriklichen Montagebereiches überflüssig ist das gesamte Werksaußengelände zu betrachten. [AIK+08]


| Gestaltungsfelder | | Mittel | Organisation | Raum |
|-------------------------------|---|--|---|--|
| Detailierungsebene der Fabrik | |  |  |  |
| Werk |  | <ul style="list-style-type: none"> • Technische Anlagen - Zentralen | <ul style="list-style-type: none"> • Aufbauorganisation | <ul style="list-style-type: none"> • Grundstück • Generalbebauung • Außenanlagen |
| Fabrik |  | <ul style="list-style-type: none"> • Technische Anlagen – Verteilung • Informationstechnik | <ul style="list-style-type: none"> • Produktionskonzept • Logistikkonzept • Struktur | <ul style="list-style-type: none"> • Layout • Bauform • Tragwerk • Hülle • Anmutung |
| Bereich, System |  | <ul style="list-style-type: none"> • Lagermittel • Transportmittel | <ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsorganisation | <ul style="list-style-type: none"> • Ausbau |
| Arbeitsstation |  | <ul style="list-style-type: none"> • Produktionstechnologie • Produktionsmittel • Sonstige Mittel | <ul style="list-style-type: none"> • Qualitätssicherungskonzept | <ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsplatzgestaltung |

Abbildung 3-5: Gestaltungsobjekte der Fabrik (Eigene Darstellung nach ([AIK+08], S. 311))

Als erstes wird die ABC-Analyse betrachtet, die zur Identifikation von Merkmalausprägungen in Bezug auf die Menge herangezogen wird.

3.1.3.1 ABC-Analyse

Die ABC-Analyse eignet sich beispielsweise zur Analyse des Produktionsprogrammes hinsichtlich der Mengenanteile jedes Produktes an der Gesamtausbringungsmenge in Gegenüberstellung zu dessen Umsatzbeteiligung am Gesamtumsatz. Dies wird graphisch dargestellt und dient zur Identifikation

von Merkmalausprägungen, wie beispielsweise von umsatzträchtigen Produkten. ([AIK+08]; [GRU12])

Im Allgemeinen gibt diese Analysemethode Auskunft über die Einflussstärke spezieller Elemente einer Menge. Elemente eines Systems werden nach ausgewählten Merkmalen, wie Kosten, Gewinn, Umsatz, Verbrauch etc. geordnet und in einer Summenkurve dargestellt. Anschließend werden die Elemente in frei wählbare Klassen eingeteilt. Eine gängige Einteilung stellt die in drei Klassen dar. [GRU12]

Tabelle 3-1: Klassen einer ABC-Analyse (vgl. ([GRU12], S. 63)

| Klassen einer ABC-Analyse | |
|---------------------------|---|
| A-Klasse | Dieser Klasse kommt hohe Bedeutung zu, da eine relativ geringe Anzahl an Elementen einen hohen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat. |
| B-Klasse | Dieser Klasse kommt mittlere Bedeutung zu, sie trägt in etwa im Umfang ihrer Elemente zum Gesamtergebnis bei. |
| C-Klasse | Diese Klasse hat hingegen nur geringen Einfluss auf das Gesamtergebnis obwohl sie aus einer relativ hohen Anzahl von Elementen besteht. |

Im Folgenden wird die Vorgehensweise der ABC-Analyse näher erörtert. Zuerst werden die prozentualen Anteile der Elemente hinsichtlich ihrer Mengen und Wertanteile berechnet (Tabelle 3-2). Anschließend erfolgt eine Reihung nach dem Wertanteil der Elemente. Schließlich werden die Wert- und Mengenanteile nach ihrer Reihung kumuliert. Daraus ergibt sich die Einteilung in Klassen (Tabelle 3-1), häufig bilden 20% der Elemente einen Wertanteil von 70%-80%, während 40%-50% der Elemente nur einen Wertanteil von 5%-10% stellen.

Im nachfolgend dargestellten Beispiel bilden ca. 6% der Elemente einen Wertanteil von ca. 76% und sind damit A-Elemente (Tabelle 3-3). Auf die B-Elemente folgt ein Wertanteil von ca. 9% bei einem Mengenanteil von ca. 18%. Die C-Elemente schließlich bilden bei einem Wertanteil von lediglich ca. 6% einen Mengenanteil von ca. 75% ab. [TEM06]

Tabelle 3-2: Berechnung von prozentualen Bestand und Preis

| Teil | Name | Preis in GE | Anzahl in # | Wert in GE | Anteil Wert in % | Anteil Bestand in % |
|------|-------------------|-------------|-------------|------------|------------------|---------------------|
| 1 | Scheiben | 2 | 200 | 400 | 0,25 | 22,81 |
| 2 | Muttern | 3 | 98 | 294 | 0,18 | 11,17 |
| 3 | Schrauben | 3 | 85 | 255 | 0,16 | 9,69 |
| 4 | Blech | 10 | 84 | 840 | 0,52 | 9,58 |
| 5 | Winkel | 15 | 80 | 1200 | 0,75 | 9,12 |
| 6 | Verschleißblech 1 | 25 | 76 | 1900 | 1,18 | 8,67 |
| 7 | Verschleißblech 2 | 30 | 72 | 2160 | 1,34 | 8,21 |
| 8 | Bolzen | 40 | 47 | 1880 | 1,17 | 5,36 |
| 9 | Hydraulikzylinder | 150 | 30 | 4500 | 2,80 | 3,42 |
| 10 | Lagerbock | 200 | 26 | 5200 | 3,23 | 2,96 |
| 11 | Rotorwelle | 800 | 25 | 20000 | 12,44 | 2,85 |
| 12 | Generator | 1100 | 22 | 24200 | 15,05 | 2,51 |
| 13 | Nebenantrieb | 1500 | 20 | 30000 | 18,65 | 2,28 |
| 14 | Getriebe | 4000 | 7 | 28000 | 17,41 | 0,80 |
| 15 | Hauptantrieb | 8000 | 5 | 40000 | 24,87 | 0,57 |
| | | | | | 100,00 | 100,00 |

Tabelle 3-3: Reihung nach Preisanteil und Klassifizierung durch Kumulierung der Anteile

| Teil | Name | Anteil bestand in % | kumulierter Wert in % | kumulierter Lager in % | Klasse |
|------|-------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|--------|
| 15 | Hauptantrieb | 0,57 | 24,87 | 0,57 | A |
| 13 | Nebenantrieb | 2,28 | 43,52 | 2,85 | A |
| 14 | Getriebe | 0,80 | 60,93 | 3,65 | A |
| 12 | Generator | 2,51 | 75,98 | 6,16 | A |
| 11 | Rotorwelle | 2,85 | 88,42 | 9,01 | B |
| 10 | Lagerbock | 2,96 | 91,65 | 11,97 | B |
| 9 | Hydraulikzylinder | 3,42 | 94,45 | 15,39 | B |
| 7 | Verschleißblech 2 | 8,21 | 95,79 | 23,60 | C |
| 6 | Verschleißblech 1 | 8,67 | 96,97 | 32,27 | C |
| 8 | Bolzen | 5,36 | 98,14 | 37,63 | C |
| 5 | Winkel | 9,12 | 98,89 | 46,75 | C |
| 4 | Blech | 9,58 | 99,41 | 56,33 | C |
| 1 | Scheiben | 22,81 | 99,66 | 79,13 | C |
| 2 | Muttern | 11,17 | 99,84 | 90,31 | C |
| 3 | Schrauben | 9,69 | 100,00 | 100,00 | C |

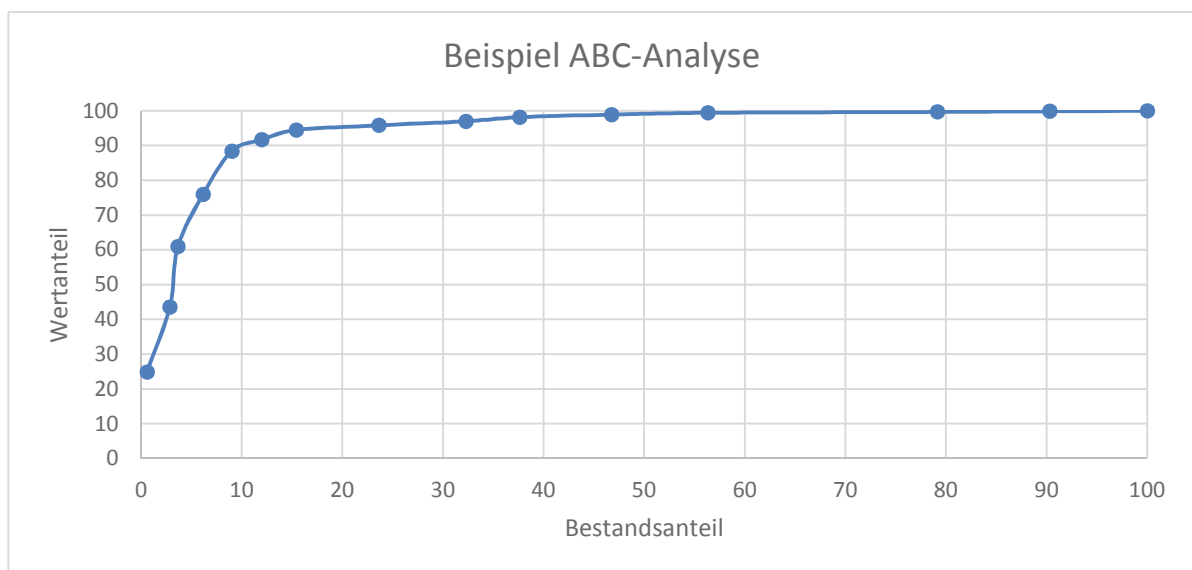


Abbildung 3-6: Beispiel ABC-Analyse (Eigene Darstellung)

Im nachfolgenden Kapitel wird auf die Materialflussmatrix, die zur Analyse der Materialflussbeziehungen dient, eingegangen. Sie wird auch als Von-Nach-Matrix bezeichnet, da sie den Materialfluss mit seinen Quellen und Senken abbildet.

3.1.3.2 Materialflussmatrix (Von-Nach-Matrix)

Ziel von Materialflussanalysen sind zum einen die Wahrung des Überblickes über alle Flussbeziehungen der einbezogenen Objekte, der Materialflussvernetzung und zum anderen die Erlangung von quantitativen Werten der Materialflussschwerpunkte hinsichtlich der Materialflussintensität. Ein Mittel zur Zielerreichung ist die Materialflussmatrix. Hierbei werden die ermittelten Mengenbeziehungen des Materialflusses tabellarisch in Matrixform gebracht. Der betriebliche Materialfluss wird in Materialfluss- und Transportmatrix gegliedert. Die Materialflussmatrix beschreibt die Mengenbeziehungen der Funktionseinheiten zwischen Absende- und Empfangselement. Die Absendeelemente werden in der senkrechten Spalte dargestellt, die Empfangselemente in der waagrechten Zeile, dadurch ist eine Zuordnung von der Bewegungen entsprechenden einer Von-Nach-Beziehung gewährleistet. Durch die Eintragung entsprechender Maßzahlen erfolgt die qualitative und quantitative Vernetzung der Funktionseinheiten. Zur Anordnung der Quellen und Senken in der Matrix sollte die generalisierte Produktionslogik herangezogen werden. Diese folgt dem Technologiestrom, also dem dominanten technologischen Produktionsfortschritt des Sortimentes. Dazu eignen sich das Funktionsschema und Operationsfolgediagramm besonders. [GRU12]

In der Materialflussmatrix werden die Kennzahlen in Form von zeitraumbezogenen Auftrags-, Stück- und Losanzahlen zwischen den jeweiligen Produktionseinheiten entsprechend des technologischen Flusses eingetragen. In der untersten Zeile bzw. der rechten Spalte wird durch Addition der Matrixelemente die Summengröße der empfangenen bzw. abgesendeten Gesamtstückzahlen ausgewiesen. Es treten sowohl vorwärtsgerichtete Hinflüsse als auch rückwärtsgerichtete Rückflüsse auf, diese sind oberhalb bzw. unterhalb der Matrixdiagonale ersichtlich. [GRU12]

Bei der qualitativen Vernetzung wird der Materialfluss in Form von richtungsorientierten, zweiseitigen Materialflussmatrizen dargestellt. Rückflüsse im Materialfluss entstehen wenn Produkte entgegen des generalisierten Produktfortschrittes von einer Funktionseinheit höherer Ordnung auf eine Funktionseinheit niedrigerer Ordnung, die in der Flusslogik vorher lokalisiert ist, zurückspringen. [GRU12]

Bei der quantitativen Beziehungsmatrix hingegen werden die Materialflüsse richtungsunabhängig zusammengefasst und den Elementen oberhalb der Diagonale zugeordnet. Es entsteht eine einseitige Materialflussmatrix, die dann als reine quantitative Beziehungsmatrix bezeichnet wird. [GRU12]

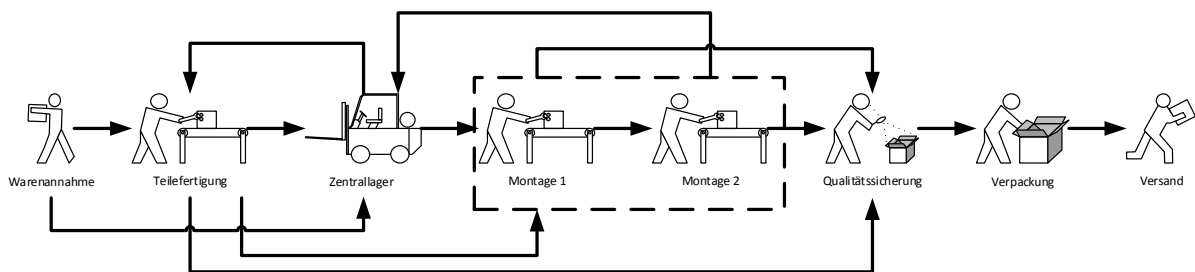


Abbildung 3-7: qualitatives Modell der Materialflussvernetzung (eigene Darstellung vgl. ([GRU12], S.122))

Für die Strukturplanung ist es notwendig, den Transportaufwand zwischen den Funktionseinheiten zu kennen, da aus der Materialintensität alleine keine ausreichenden Rückschlüsse auf den Transportaufwand getroffen werden können. Dies wird klar wenn man beispielsweise nur das unterschiedliche Fassungsvermögen von einzelnen Förderhilfsmitteln bedenkt. Der Transportaufwand resultiert aus den Materialflussbeziehungen und bildet die Transportmatrix, die Auskunft über die Anzahl der Transporteinheiten zwischen den Funktionseinheiten pro Zeitraum gibt. In weiterer Folge können durch Einbeziehung der gleichzeitig transportierten Transporteinheiten durch die Fördermittel, die zeitraumbezogenen Transportspielanzahlen ermittelt werden. Dadurch ermöglicht die Transportmatrix Aussagen über den Charakter des Materialflusses und zu zeitraumbezogene realen Transportaufwänden. [GRU12]

| | WE | TF | ZL | M1 | M2 | QS | VP | VS | Σ |
|----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| WE | | 2000 | 4000 | | | | | | 6000 |
| TF | | | 1500 | 1000 | | 500 | | | 5000 |
| ZL | | 1500 | | 800 | 800 | | | | 6100 |
| M1 | | 1000 | | | 800 | 200 | | | 2000 |
| M2 | | | 400 | | | 800 | | | 1200 |
| QS | | 800 | | | | | 1000 | | 1500 |
| VP | | | | | | | | 1000 | 1000 |
| VS | | | | | | | | | |
| Σ | | 6000 | 5900 | 1800 | 1600 | 1500 | 1000 | | |

| | WE | TF | ZL | M1 | M2 | QS | VP | VS |
|----|----|-----|-----|----|----|-----|----|----|
| WE | | 10 | 20 | | | | | |
| TF | | | 7,5 | 5 | | 2,5 | | |
| ZL | | 7,5 | | 2 | 4 | | | |
| M1 | | 5 | | | 4 | 1 | | |
| M2 | | | 2 | | | 4 | | |
| QS | | 4 | | | | | 5 | |
| VP | | | | | | | | 5 |
| VS | | | | | | | | |

100 Stück pro Behälter
2 Behälter pro Transportspiel

Abbildung 3-8: Materialfluss und Transportmatrix (Eigene Darstellung vgl. ([GRU12], S. 122))

Aus den Transportaufwänden alleine kann allerdings noch keine Aussage über die Effizienz des Materialflusses, bezogen auf das Layout getätigt werden. Dazu wird die im Folgenden beschriebene Transportintensitätsmatrix verwendet.

3.1.3.3 Transportintensitätsmatrix

Die Transportintensitätsmatrix dient der Aussage über den Zusammenhang zwischen Transportkosten und Transportwegen. Gebildet wird die Transportintensitätsmatrix aus dem Produkt der Transportmatrix, die den tatsächlichen Transportaufwand in Transporteinheiten widerspiegelt und der Distanzmatrix, die die Wege zwischen Quelle und Senken repräsentiert. Dadurch werden die Transportkosten je Meter, die für die Investitionskostenrechnung bei Materialflussoptimierungsmaßnahmen herangezogen werden, gebildet. [AIK+08]

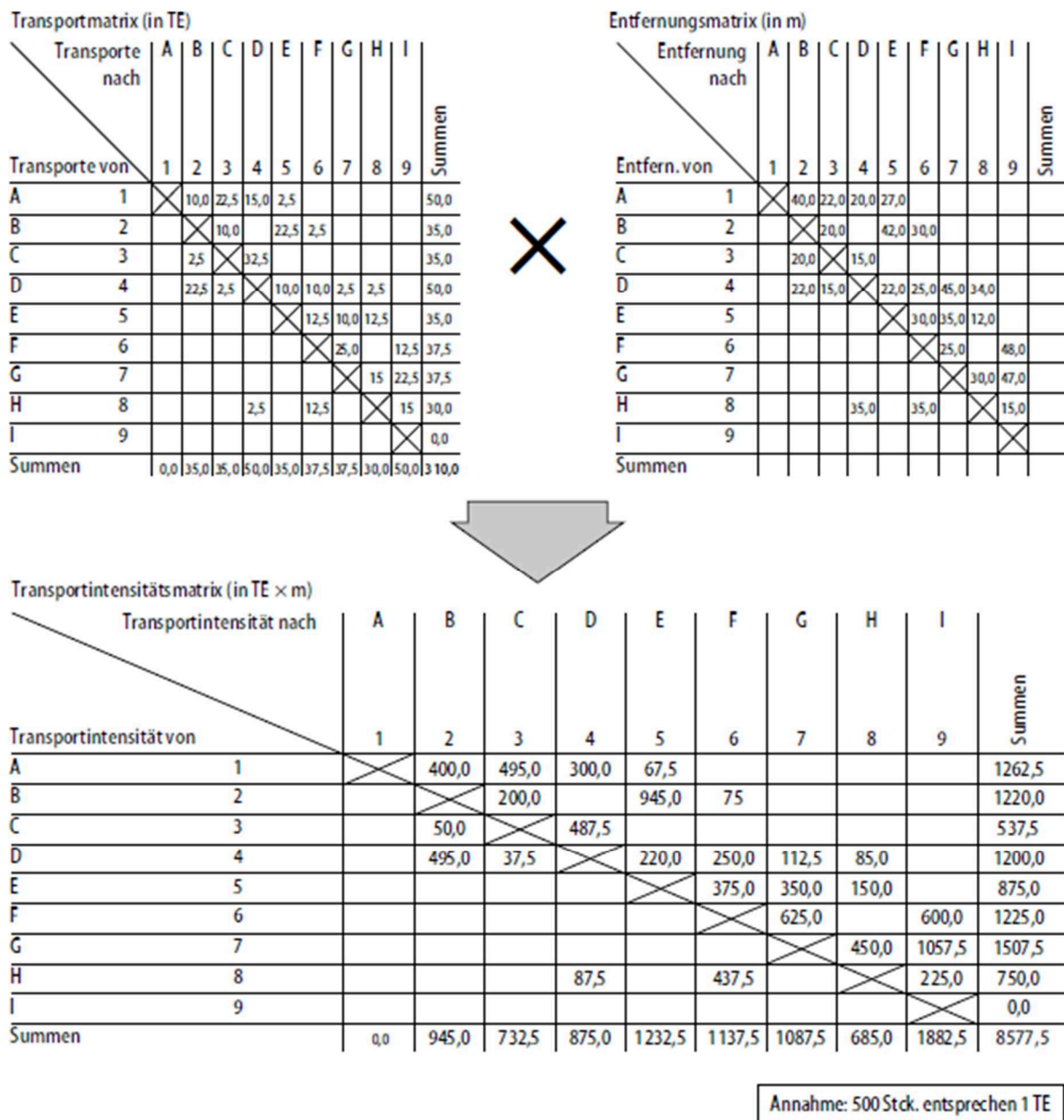


Abbildung 3-9: Erstellung einer Transportintensitätsmatrix nach ([AIK+08], S. 395)

Die Transporte lassen sich nicht nur in Matrixform darstellen, sondern können auch zur besseren Verständlichkeit visualisiert werden. Hierfür ist das, im nächsten Kapitel beschriebene, Sankey-Diagramm als besonderes geeignet.

3.1.3.4 Sankey-Diagramm

Das Sankey-Diagramm eignet sich sehr gut zur Darstellung von Energie- und Materialströmen. Es wurde im ausgehenden 19. Jahrhundert vom irischen Ingenieur Captain Herny Riall Sankey, der sich mit der Messung und Verbesserung vom Wirkungsgrad der Dampfmaschine beschäftigte, zur Darstellung von Verlusten verwendet. Daraufhin erfreute sich dieses Darstellungsverfahren großer Beliebtheit. Es wurde in weiterer Folge von Professor Alois Riedler, der den ersten PKW-Rollenprüfstand aufbaute, zur Veranschaulichung seiner Ergebnisse bezüglich des Wirkungsgrades verwendet. Das Sankey-Diagramm ermöglichte erstmals die Darstellung von Energieverlusten von Kraftfahrzeugen und diente als Ausgangsbasis für Optimierungsmaßnahmen. Im frühen 20. Jahrhundert hat sich das Sankey-Diagramm der Ingenieurwissenschaft etabliert, in der chemischen Industrie bzw. in der Verfahrenstechnik wurde es zum Standard. Mit dem Erfolgsgang der computergestützten Datenverarbeitung wurde es weitgehend durch einfache Diagramme ersetzt. Erst das Life Cycle Management und die Stoffstromanalyse führten das Sankey-Diagramm zu einem Revival. Dies begründet sich in der hohen Komplexität der Stoff- und Energieströme, die sich durch eine graphische Aufbereitung gut verdeutlichen lassen. ([HIM12]; [MEL+13]; [GRU12]; [PAW08])

In nachfolgender Aufzählung werden die Anforderungen an ein Sankey-Diagramm erläutert:

- Es werden Mengen dargestellt, diese müssen sich im gesamten Diagramm auf eine einheitliche Bezugsgröße, in Form einer Objektmenge oder Zeiteinheit beziehen.
- Bei den Mengengrößen handelt es sich um extensive Größen, d.h. sie sind proportional der Stoffmenge.
- Die Mengen sind der Pfeilbreite proportional, dementsprechend resultiert aus der doppelten Menge ein doppelt so breiter Pfeil.

- Bestandsgrößen werden nicht berücksichtigt, d.h. es gibt keine Lagerbildung.
- Es wird von Energie- und Masseerhaltung ausgegangen.

Die Annahme der nicht vorhandenen Bestandsbildung ist bei Energiegrößen wie Dampf oder elektrischen Strom plausibel, bei massebehaftetem Fluss können allerdings Bestände auftauchen. Dies führt zu Problemen in der Darstellung, da die Erfüllung der Bilanzgleichung eine grundlegende Anforderung an das Sankey-Diagramm darstellt. Da die Summe der Inputs, jenem der Outputs entsprechen muss, können in Kombination mit der Mengenskala Unstimmigkeiten einfach durch die graphische Darstellung im Diagramm aufgezeigt werden. Dies ist eine klare Stärke des Sankey-Diagramms, setzt jedoch eine exakte graphische Umsetzung, sowie das Vermeiden von Beständen voraus. ([HIM12]; [MEL+13]; [GRU12]; [PAW08])

In den Anforderungen wurde die Masseerhaltung zum Gebot erklärt, in bestimmten Analysen wie beispielsweise innerbetrieblichen Materialflüssen ist es jedoch erforderlich Bestände innerhalb eines Systems darzustellen. Es werden Anfangs- und Endbestände eingeführt, die beim Ausgleich von Input- und Output-Strömen berücksichtigt werden müssen (Abbildung 3-10). Eine wichtige Grundannahme dafür ist der zeitliche Periodenbezug, auf den sich die Mengengleichung referenziert. Es gibt somit einen Anfangs- und Endzustand.

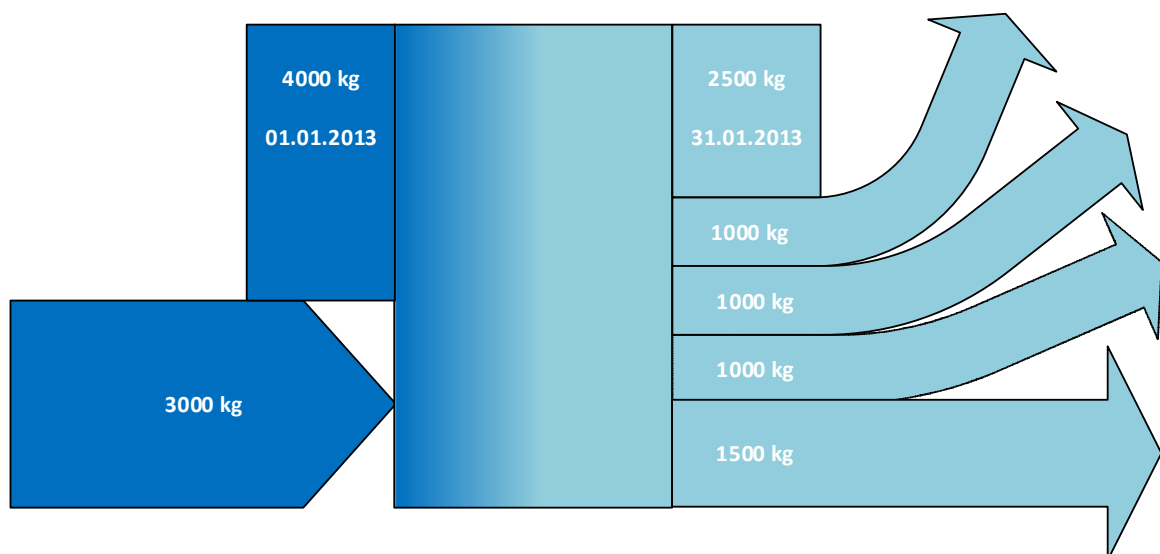


Abbildung 3-10: Sankey-Diagramm mit Beständen (Eigene Darstellung vgl. ([HIM12], S. 267))

Eine weitere Schwierigkeit stellt die Darstellung von monetär bewerteten Größen im Sankey-Diagramm. Diese stellen aber im betrieblichen Umfeld einen wichtigen Faktor dar, da oft der ökonomische Wert der Flüsse von Interesse ist. Energie und Massen können keine negativen Werte annehmen, der ökonomische Wert von Flussobjekten kann jedoch sehr wohl negativ sein, beispielsweise wenn sich beim Verkauf des Objektes Kosten für den bisherigen Eigentümer einstellen. Diesem Umstand kann man durch umkehren der Flussrichtung, wodurch sich eine mathematische Vorzeicheninversion ergibt, begegnen. Es ergibt sich daraus eine neue Darstellungsart, die nicht auf dem Bilanzsystem hinsichtlich Input gleich Output basiert, sondern die Ströme nach Aufwand und Ertrag sortiert. Die Kostenbestandteile werden auf der linken Seite eines jeden Prozesses dargestellt, auf der rechten Seite werden die Kosten von einem Kostenträger vollständig übernommen, bzw. gegebenenfalls an den nächsten Prozess weitergeleitet. Dadurch kann die Bilanzregel angewendet werden und auch immaterielle Kosten wie Verwaltungskosten und Abschreibungen dargestellt werden. [HIM12]

In der betrieblichen Praxis ist es eine große Erleichterung, sowohl das physische als auch das wertbezogene Mengengerüst darzustellen. Für ein Unternehmen ist es von vorrangiger Bedeutung die Wertebene darzustellen. Dafür ist aber eine Analyse der technischen Ebene hinsichtlich der Materialströme zwingend notwendig. Die Analyseergebnisse beider Ebenen können einheitlich dargestellt werden und zur unternehmensinternen Kommunikation, sowohl auf Mitarbeiter- als auch auf Managementebene genutzt werden (Abbildung 3-11). Die Grundlage für die technische Ebene bilden Stücklisten, Rezepturen, Messungen etc., durch Kombination mit Rohstoffpreisen, Arbeitslöhnen, Abschreibungen usw. kann zum jeweiligen Materialfluss des Prozesses ein Wertefluss angegeben werden. Durch die Darstellung der Kosten kann ein wertvoller Beitrag zur Systemanalyse bzw. der Identifikation von Effizienzsteigerungspotentialen geleistet werden. [HIM12]

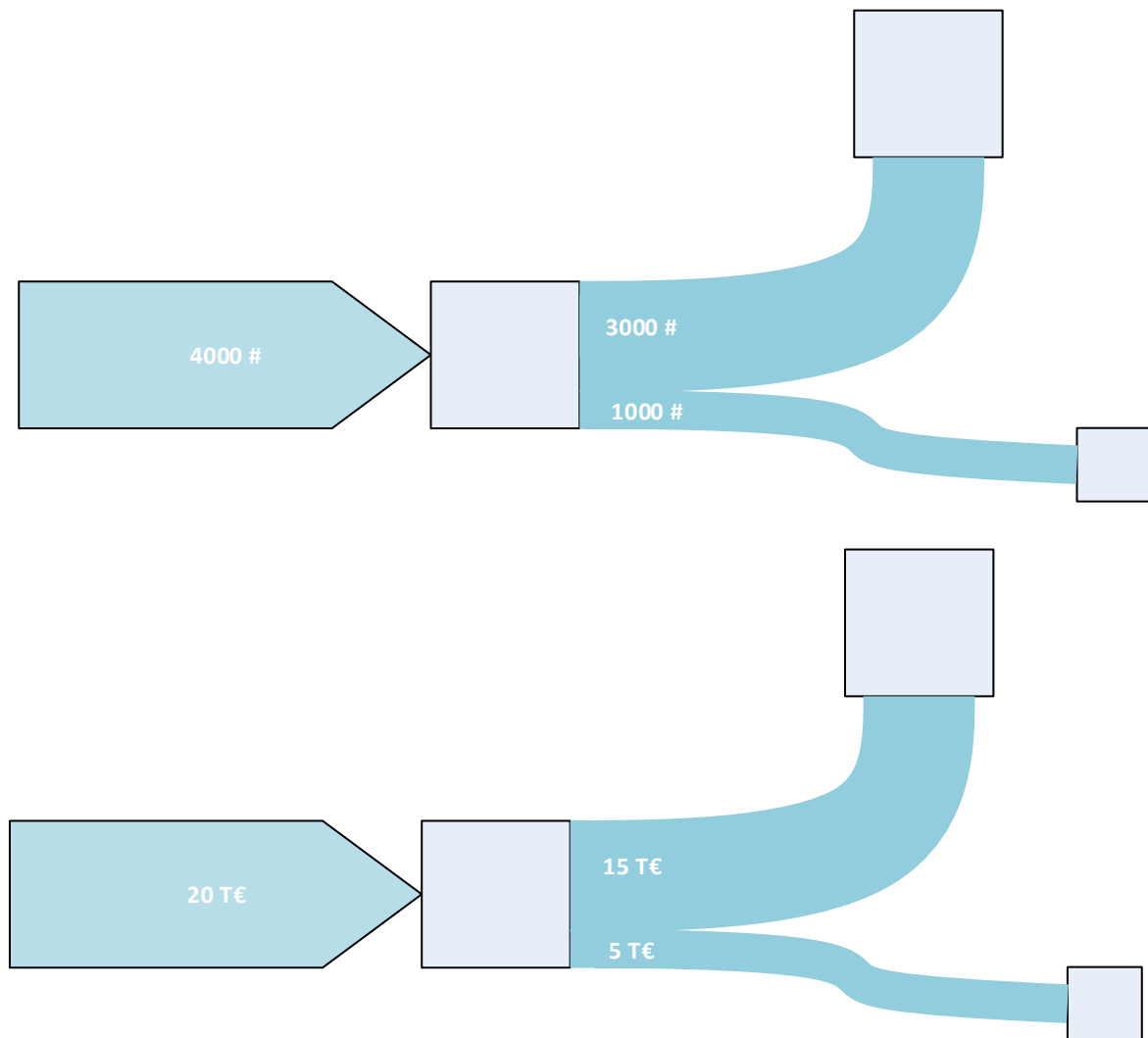


Abbildung 3-11: Sankey-Diagramm mit Materialströmen (oben) und Kostenströmen (unten) (Eigene Darstellung vgl. ([HIM12], S. 269))

Im nächsten Kapitel wird auf die Wertstromanalyse eingegangen. Diese Analyse zeigt Wartezeiten im Materialfluss auf und dient der Dokumentation und Bewertung von existierenden, beziehungsweise von sich in Planung befindlichen Materialflüssen.

3.1.3.5 Wertstromanalyse

Mithilfe der Wertstromanalyse werden Wartezeiten im Materialfluss aufgezeigt. Die Methode entstammt aus dem Toyota Produktionssystem und wurde von John Shook und Mike Rother in „Sehen Lernen“ ([RSW06]) detailliert beschrieben. [ARF09] Mit der Wertstromanalyse können Strukturen von vorhandenen bzw. geplanten Materialflüssen analysiert, dokumentiert und bewertet werden, wodurch sie sich auch für den Einsatz in der Strukturplanung eignet. Sie bildet

die Grundlage für das anschließende Wertstromdesign, das die gezielte Neugestaltung des Materialflusses zum Ziel hat. [GRU12]

Der Wertstrom definiert den Fluss eines Produktes durch ein logistisches System, dabei werden sowohl wertschöpfende als auch nicht-wertschöpfende Tätigkeiten betrachtet. Die Methode dient zur prozessdirekten und durchgängigen Betrachtung der Materialflussfunktionen, die im Rahmen des Herstellungsprozess erforderlich sind. Die Analyse wird in der Regel auf Produkte- bzw. Produktgruppen, vom Kunden über den Prozess bis hin zum Lieferanten, also von Rampe zu Rampe oder auf die gesamte Logistikkette (Supply Chain) angewendet. Es werden sowohl Material- als auch Informationsflüsse betrachtet. Zielsetzung ist die Identifikation von ineffizienten Bewegungen der Produkte innerhalb des Materialflusses. Es werden Verschwendungen von Ressourcen in Form von Maschinen, Personal oder Zeit ermittelt sowie die Gründe, die zum Erliegen des Materialflusses führen. Im Weiteren werden diese komplexen Funktionen und Abläufe visualisiert, der Ist-Zustand bewertet und eine Ableitung für den Sollzustand getroffen. ([GRU12]; [ARF09])

„Die Methode ist besonders geeignet für spezielle Sortimentsbereiche (Produktfamilien) und durchgängige, abgrenzbare Materialflussprozesse. Sie sichert eine hohe Anschaulichkeit und ermöglicht eine betont wertstromorientierte ganzheitliche Strukturplanung von Materialflussprozessen.“ ([ARF09]; [GRU12], S.132)

Die Wertstromanalyse bildet den Gesamtprozess durchgängig von Rampe zu Rampe, unter Verwendung von spezieller Wertstromsymbolik, ab. Diese Symbole sind in gängigen Visualisierungsprogrammen wie Microsoft Visio enthalten. Der Materialfluss wird rückwärts vom Kunden über die Produktion bis zum Lieferanten vor Ort erfasst und mit bereits erwähnter Symbolik graphisch abgebildet. In der Darstellung werden Material- und Informationsfluss integriert. Anschließend erfolgt eine Bewertung des Istzustandes der strukturierten Flussdarstellung im Team unter Einbeziehung von Ideal- bzw. Vergleichsziffern.

Es werden Schwachstellen und Verschwendungen gesucht. Daraus wird ein Wertstrom-Mapping erarbeitet, das eine ganzheitliche Darstellung der Abläufe und Zusammenhänge enthält. Schließlich erfolgt die Erarbeitung eines Neukonzeptes des Materialflusses durch Umstrukturierung bzw. Neustrukturierung der Logistikelemente, Entfernung der Schwachstellen, Kapazitätserweiterungen, Veränderung der Logistikprinzipien etc. Dies wird als Materialflussdesign-Sollkonzept bezeichnet.

Die nachfolgend behandelte zweite Phase der Planung, beschäftigt sich mit dem Struktur-Design.

3.1.4 Zweite Phase - Struktur-Design

Im Rahmen des Struktur-Designs werden technisch, organisatorisch und ökonomisch sinnvolle sowie funktionstüchtige Struktureinheiten gebildet. Komplexe Strukturen werden aus Struktureinheiten, die als Baustein dienen und eine Funktion erfüllen, aufgebaut. Die Grundlage für diese Überlegung ist in der Systemtheorie begründet, die aufgrund von häufig auftretenden Problemen in ähnlicher Form, in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen, entstanden ist. [AIK+08]

Zur Definition des Systembegriffs kann laut Rophol die „Mengenalgebra“ herangezogen werden, da die Mathematik als Wissenschaft von Strukturen und Relationen als Strukturwissenschaft schlechthin bezeichnet werden kann. Aus der Mengenalgebra ist das Relationengebilde hervorgegangen, das sich als Menge von Elementen und Relationen definiert. [ROP09]

Demzufolge ist ein System eine Menge von Elementen die untereinander in Relationen, oder weniger mathematisch ausgedrückt, die untereinander in Beziehung stehen. Die Struktur ist das Netz dieser Relationen der Elemente. Die Struktur richtet sich nach dem Systemzweck. Elemente können zwar selbst Systeme sein, bilden jedoch für ein betrachtetes System das kleinste System. Exemplarisch sei das Produktionsmittel, wie in Kapitel 2.3, Abbildung 3-5 beschrieben ist, angeführt. Im System der Fabrik stellt es eines der kleinsten

Elemente dar, ist in sich jedoch wieder ein System. Bezogen auf die Struktur- und Layoutplanung stellt die Struktur die übergeordnete Gliederung der Fabrik dar. [AIK+08]

3.1.4.1 Struktur-Entwicklung

Die Entwicklung der Struktureinheiten ist abhängig von der Ausrichtung der Produktion. Man unterscheidet dabei grundlegend zwischen rein funktioneller und prozessorientierter Ausrichtung. Das Strukturierungsprinzip beschreibt demnach den Optimierungsschwerpunkt, unter dem Struktureinheiten gebildet werden.

So werden bei einer Funktionsorientierung die ausgeführten Tätigkeiten innerhalb einer Struktureinheit zusammengefasst. Daraus resultieren eine hohe Auslastung sowie ein hohes Technologie-Know-how durch Konzentration auf die eingesetzten Technologien. Vor allem die hohe Auslastung ist als Vorteil dieser Ausrichtung hervorzuheben. Auf Veränderungen im Produktionsprogramm kann einfach reagiert werden. Demzufolge zeichnet sich die Kapazität der Struktureinheit durch hohe Anpassungsfähigkeit aus.

Bei der prozessorientierten Ausrichtung steht hingegen der durchgängige Prozess vom Beginn bis zur Fertigstellung eines Produktes im Vordergrund. Es werden alle Elemente zur Herstellung von Produkten aus gleichen Materialien zu Struktureinheiten zusammengefasst, sowie Elemente zur Herstellung von Produkten für die dieselben Qualitätsanforderungen gelten. Die daraus resultierende, durchgängige Verantwortung für den Gesamtprozess und dessen Teile, die eine hohe organisatorische Nachvollziehbarkeit zur Folge hat, stellt einen Vorteil dieser Ausrichtung dar. Ein weiterer Vorteil kann die Konzentration auf das Prozess-Know-how darstellen. Mehrheitlich sind prozessorientierte Struktureinheiten durch einen gerichteten Materialfluss, der zu einer Vereinfachung der logistischen Produktionssteuerung führen kann, charakterisiert. [AIK+08]

Durch Strukturierungsmerkmale werden die beiden grundsätzlichen Strukturierungsprinzipien weiter detailliert. Dabei sind die Merkmale stark planungsprojektabhängig und unterscheiden sich nach Branche und Produktionsart, sowie zum Teil auch nach Ebene der Strukturbildung. Demnach ist eine Fülle von Strukturierungsmerkmalen vorhanden, auf die im Nachfolgenden anhand der in Abbildung 3-5: Gestaltungsobjekte der Fabrik (Eigene Darstellung nach ([AIK+08], S. 311)) exemplarisch eingegangen wird. [AIK+08]

Im Bereich der Fabrikebene kann nach Kundengruppen strukturiert werden, denen dann jeweils ein Bereich zugeordnet wird, in dem die erforderlichen spezifischen Produktgruppen hergestellt werden. In der, der Bereichebene untergeordneten Arbeitstationenebene wird diesen Produkten ein Fertigungsprinzip je nach geplanter Stückzahl zugewiesen. Während auf Fabrikebene die Unterteilung der Produktion nach diversen Merkmalen, wie beispielsweise den Kundengruppen erfolgen kann, sind auf Fertigungs- und Montagebereichsebene fünf Strukturvarianten etabliert (Tabelle 3-4). [AIK+08]

Tabelle 3-4: Fünf Strukturebenen der Fertigungs- und Montageebene (vgl. [AIK+08], S. 314)

| Prinzip | Strukturierungsmerkmal | Beispiel |
|--|------------------------------------|---|
| Werkbankprinzip | Mensch | Handwerkliche Arbeitsplätze (Spenglerei) |
| Baustellenprinzip | Produkt | Groß- und Sondermaschinenbau (Werften, Brecher) |
| Verrichtungs- oder Werkstättenprinzip | Arbeitsaufgabe | Zerspanende Fertigung, Montage (Dreherei, Fräserei) |
| Insel- oder Gruppenprinzip | Arbeitsfolge einer Teilefamilie | Fertigungssegmente, Fertigungs- oder Montageinseln |
| Fließprinzip | Arbeitsfolge definierter Varianten | Fertigungs- oder Montagelinie |

Das Werkbankprinzip ist ein mittlerweile selten gewordener Strukturtyp. Es wird bei hauptsächlich handwerklicher Tätigkeit, mit dementsprechend geringem Maschinenaufwand angewandt. Typische Anwendungsbeispiele stellen der Vorrichtungs- und Werkzeugbau sowie die manuelle Montage dar. Der Strukturtype ist durch das Strukturierungsmerkmal Mensch charakterisiert. Beim Baustellenprinzip tritt hingegen das Produkt als Strukturmerkmal auf. Vor allem bei Produkten mit großen Abmessungen wie sie im Sonder-, Anlagen- und Großmaschinenbau auftreten, findet diese Prinzip Anwendung. Das Verrichtungs- oder Werkstättenprinzip findet bei Strukturierung nach Arbeitsaufgaben Anwendung. Hierbei findet sich eine Funktionsorientierung durch die Zusammenfassung von Arbeitsplätzen nach eingesetzten Verfahren wieder. Als Beispiel bietet sich die zerspanende Fertigung an, in der nach Fräs-, Dreh- und Borhabteilungen strukturiert werden kann. Bei der Arbeitsfolge als Strukturierungsmerkmal muss zwischen jener innerhalb einer Teilefamilie und von definierten Varianten unterschieden werden. Wird innerhalb einer Teilefamilie strukturiert, entsteht das Insel- oder Gruppenprinzip. Als Teilefamilie definiert Klaus: „Verschiedenartige Teile bilden eine Teilefamilie, wenn sie einander formähnlich sind und dadurch bedingt auch bezüglich des Fertigungsablaufes weitgehende Übereinstimmung aufweisen.“ ([KLA08], S. 563) Demnach werden sämtliche Betriebsmittel zur möglichst vollständigen Herstellung eines Erzeugnisses räumlich und organisatorisch zusammengefasst. Wird die Arbeitsfolge nach definierten Varianten strukturiert, d.h. nach den Arbeitserfordernissen des Erzeugnisses ergibt sich das Fließprinzip. Dabei folgen die Erzeugnisse, einem geradlinigen Ablauf von Arbeitsstation zu Arbeitsstation, in denen sie jeweils nur kurz verweilen und ohne Wartezeit weitertransportiert werden. Klassische Beispiele hierfür sind Fertigungs- und Montagelinien wie sie in der Automobilindustrie auftreten. [AIK+08]

Im folgenden Kapitel wird die Struktur-Dimensionierung erläutert, aus dieser resultiert im Weiteren, die für die Layoutplanung wichtigen Flächenanteile.

3.1.4.2 Struktur-Dimensionierung

Im Rahmen der Struktur-Dimensionierung wird die Anzahl der erforderlichen Betriebsmittel, Maschinenflächen und das zur Bedienung notwendige Personal festgelegt. Als Betriebsmittel bezeichnet man „die gesamte technische Apparatur, die neben den anderen Elementarfaktoren, menschliche Arbeitsleistung und Werkstoffe, entlang einer logistischen Kette erforderlich ist, um Sachgüter oder Dienstleistungen zu erstellen. Allgemeine Beispiele sind Gebäude, Maschinen, Werkzeuge, Fuhrpark, Betriebs- und Geschäftsausstattung, Fördermittel und auch Software“. ([KLA08], S. 70)

Aus der Dimensionierung der Produktionsmittellanzahl ergeben sich die für die Struktur- und Layoutplanung wichtigen Flächenanteile. Die für Fertigung, Montage und Prüfung der Erzeugnisse erforderlichen Flächenanteile sind die sogenannten Produktionsflächen. Die für den Produktionsprozess erforderlichen Bereitstellungsflächen für Betriebsmittel, sowie die An- und Ablieferflächen werden als Lagerflächen einer Produktionseinheit bezeichnet. Als Büroflächen werden die für administrative Bereiche benötigten Anteile tituliert. Die Sozialflächen zählen mit den Sanitärflächen zu den Nebennutzflächen und dienen der Gesundheit und Betreuung der Menschen.([GRU12]; [AIK+08]) Als Haupttransportflächen werden jene Flächenanteile bezeichnet, die exklusiv zum Zweck der Beförderung bzw. Transport von Personal und Werkstücken verwendet werden. Des Weiteren existieren gegebenenfalls Reserveflächen, die für eine mögliche Expansion der Fabrik vorgehalten werden. [AIK+08]

Es existieren zwei grundlegende Verfahren zur Ermittlung des Flächenbedarfs, zum einen kennzahlenbasierende Verfahren, zum anderen rechnerische Verfahren. Die kennzahlenbasierenden Verfahren, die auch globale Verfahren genannt werden, sind Überschlagsrechnungen und eignen sich damit gut für die Planungsphase. Zu den rechnerischen Verfahren zählen sowohl die funktionale Flächenermittlung als auch das Ersatzflächenverfahren. Beide liefern detaillierte Ergebnisse. Basis für diese Verfahren ist die Maschinengrundfläche, die unter Zuhilfenahme von Zuschlagsfaktoren zur Gesamtmaschinenarbeitsplatzfläche führt. Die beiden Verfahren unterscheiden sich in den Zuschlagsfaktoren,

während bei der funktionalen Flächenermittlung eigene Flächenelemente unter anderem für Wartung und Transport zur Maschinengrundfläche zugeschlagen werden begnügt sich das Ersatzflächenverfahren mit dem Zuschlag von Flächen für Transporteinheiten. Zu dem ermittelten Maschinenflächenbedarf können noch Personalressourcen, die für die Maschinenbedienung benötigt werden, hinzugerechnet werden. [AIK+08]

In einem weiteren Schritt werden die Bearbeitungsanforderungen der Erzeugnisse anhand von Arbeitsplänen und Stücklisten zu einem Bedarfsprofil verdichtet. Sind keine Arbeitspläne vorhanden, können aus für die Erzeugnisse repräsentativ berechneten Aufträgen, die Anforderungen abgeleitet werden. Das Bedarfsprofil wird dann unter Einbeziehung von Störgrößen zum Maschinenprofil verdichtet. Diese ermöglicht Aussagen hinsichtlich der Kapazität jedes Bearbeitungsverfahrens pro Zeitperiode.

Nun erfolgt die tatsächliche Dimensionierung durch Gegenüberstellung von notwendigen und erforderlichen Kapazitäten unter Betrachtung sowohl von technologischen und organisatorischen, als auch von wirtschaftlichen Kriterien. Daraus resultieren mehrere Aussagen: Zum einen kann bestimmt werden, ob mit dem bestehenden Maschinenbestand die produktionsnotwendige Kapazität gedeckt werden kann, zum anderen ergibt sich auch die Gesamtanzahl der erforderlichen Maschinen. Daraus lässt sich der Bedarf an direkt produktiven Personal, das zur Maschinenbedienung erforderlich ist ableiten. Schließlich lässt sich durch die Betriebsmittelgrundfläche die vorzuhaltende Fläche ableiten. Auf das damit abgeschlossene Struktur-Design folgt die Layout-Gestaltung. [AIK+08]

In der dritten Phase, mit dem sich folgendes Kapitel beschäftigt, hat die Vorgehensweise bei der Layout-Gestaltung zum Thema. Es werden neben den Ideal- und Reallayout auch Anordnungs- und Optimierungsverfahren erörtert.

3.1.5 Dritte Phase - Layout-Gestaltung

Zunächst muss der Begriff Layout definiert werden. Allgemein wird ein Layout als „Darstellung eines Systems in seiner flächenmäßigen oder räumlichen

Anordnung in Form von Zeichnungen oder Modellen“ definiert ([KLA08], S. 308). Im Kontext des Struktur-Designs kann diese Aussage um den Strukturbegriff erweitert werden. Damit ist ein Layout die räumliche Anordnung von betrieblichen Struktureinheiten. Zieht man die in Abbildung 3-4 dargestellten Ebenen einer Fabrik in die Betrachtung mit ein, resultieren divergierende Layoutarten, die sich in der Detaillierung je nach Abstraktionsebene unterscheiden. Auch hier gilt der, in der Technik beliebte Ansatz vom Groben ins Feine. Auf Werksebene stellt das Werkslayout einen Überblick über sämtliche Struktureinheiten innerhalb des Werksgeländes als makroskopische Darstellung dar. Dabei liegt der Fokus auf der Beschreibung der Gebäude und Straßen am Gelände zueinander. Im Groblayout werden die einzelnen Produktionseinheiten innerhalb des Fabrikgebäudes mit Fokus auf die interne Logistik dargestellt. Die interne Logistik wird durch Betrachtung der Haupttransport- und Materialflusswege dargestellt. Ein weiterer Gesichtspunkt ist die in Kapitel 3.1.2.1 beschriebene Wandlungsfähigkeit, es werden die Erweiterungsmöglichkeiten bzw. Erweiterungsrichtungen in die Betrachtung miteinbezogen. Im Feinlayout ist der Detaillierungsgrad bereits sehr hoch, es wird auf der Bereichsebene die genaue Anordnung und Position der Betriebsmittel abgebildet, sowie die Lage der Gebäudetechnik und Medienversorgung dargelegt. Mit Erreichen der Arbeitsstationenebene ist der höchste Detaillierungsgrad erreicht. Im Arbeitsstationenlayout wird in einer mikroskopischen Darstellung die Anordnung sämtlicher Maschinen, Werkzeuge und Materialien exakt abgebildet.

Neben den beschriebenen Layoutarten, die sich hinsichtlich ihres Detaillierungsgrades unterscheiden, wird auch nach Ideal- und Reallayout differenziert. [AIK+08]

3.1.5.1 Ideallayout

Ein Ideallayout definiert sich durch eine ideale, räumlich flussgerechte Anordnung von Struktureinheiten, ohne Berücksichtigung von Restriktionen durch die Realität. (vgl. [GRU12]; [AIK+08]) Die wichtigsten Einflüsse auf das Ideallayout stellen, unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Struktur-

Designs, der Materialfluss und die angestrebte Materialflussform dar. Durch die hohe Vernetzung moderner Fabriken gewinnen Informations-, Kommunikations- und Personalfluss zunehmend an Bedeutung für die Layoutplanung.

Um die, aufgrund der hohe Dynamik der Märkte erforderliche, Wandlungsfähigkeit gewährleisten zu können, sind Flächenanordnungen erforderlich, die eine Erweiterbarkeit bzw. Reduzierbarkeit des Layouts ermöglichen, ohne negative Auswirkungen auf Leistungsfähigkeit der Fabrik. Das im Rahmen des Struktur-Designs erarbeitete Logistikkonzept, mit den zugrundeliegenden Fertigungsprinzipien bildet einen weiteren Einflussfaktor. [AIK+08]

Ausgangsbasis für Entwicklung des Ideallayouts bildet das ideale Funktionsschema. Das Funktionsschema entspricht den Struktureinheiten mit deren qualitativen Materialflusses-Verknüpfungen, die zur Produktherstellung erforderlich sind, so dass der Produktionsablauf erkennbar ist. [GRU12]

Demnach ist das Funktionsschema ein Spiegelbild der Verknüpfungen der funktionellen und ablaufgerechten Zuordnung der Struktureinheiten. Die Struktureinheiten werden in ein vorerst noch beliebig wählbares Gebäuderaster, unter möglichst weitgehender Einhaltung der idealen Zuordnung zum Ideallayout, zusammengefasst. Dies erfolgt meist in Groblayoutform in Blöcken. Davon ausgehend wird vom Groben zum Feinen weiter detailliert. [AIK+08]

Das unter flussoptimierten Gesichtspunkten entwickelte Ideallayout, ist wie eingangs erwähnt, durch keine restriktiven Rahmenbedingungen eingeschränkt. Es bildet eine Vergleichsbasis zur Bewertung des realen Fabrikkonzepts, die jeglichen Restriktionen berücksichtigt. Zur Bewertung des Konzeptes kann die Nutzwertanalyse eingesetzt werden bzw. bezogen auf den Materialfluss, die Transportintensität verglichen werden. [AIK+08]

Zur materialflussoptimierten Anordnung der Struktureinheiten im Layout kann auf verschiedene Anordnungsverfahren zurückgegriffen werden, die im nachfolgenden Kapitel erörtert werden.

3.1.5.2 Verfahren zur Anordnungsoptimierung

Die Methoden zur Anordnungsoptimierung und Layoutgestaltung können in graphische und mathematische Verfahren unterteilt werden (Abbildung 3-12). Zu den graphischen Verfahren zählt das in Kapitel 3.1.3.2 eingehend beschriebene Sankey Diagramm. Dabei werden die Wege mit hohen Materialströmen, also breiten Pfeilen, möglichst kurz gehalten. Es dient eher zur groben Zuordnung, da es bei einer hohen Anzahl von Struktureinheiten rasch unübersichtlich wird. Ein weiteres graphisches Verfahren ist das Probierversahren. Es fußt auf dem Prinzip „Versuch und Irrtum“. Dabei wird die Anordnung der Struktureinheiten mittel maßstäblichen Schablonen solange verändert, bis sich eine flussgerechte Anordnung ergibt. Das Kreisverfahren ist ebenfalls ein zeichnerisches Verfahren. Dabei werden die Struktureinheiten durch vertauschen und umsordieren nach der Stärke der Materialflussbeziehungen möglichst dicht nebeneinander auf einem Kreis angeordnet.

Zu den mathematischen Verfahren zählen Tausch-, Aufbau- und kombinierte Verfahren. Bei den Vertauschungsverfahren wird, ausgehend von der bestehenden bzw. gegebenen Anordnung der Nutzflächen der Betriebsmittel, durch iteratives Vertauschen, der minimale Transportaufwand ermittelt. Bei aufbauenden Verfahren wird von den beiden Elementen mit der stärksten Flussbeziehung zueinander ausgegangen. Diese werden je nach Verfahrensvariante auf einem drei- oder viereckigen Raster nebeneinander positioniert. Dann wird Schritt für Schritt das Betriebsmittel mit der nächst stärksten Flussbeziehung zu den bestehenden Elementen hinzugefügt. Die kombinierenden Verfahren bestehen zumeist aus zwei Verfahrensschritten. Im ersten Schritt werden die Betriebsmittel nach einem aufbauenden Verfahren angeordnet, im zweiten Schritt wird diese Anordnung durch ein Tauschverfahren dem Grundriss des Reallayouts angepasst. [AIK+08]

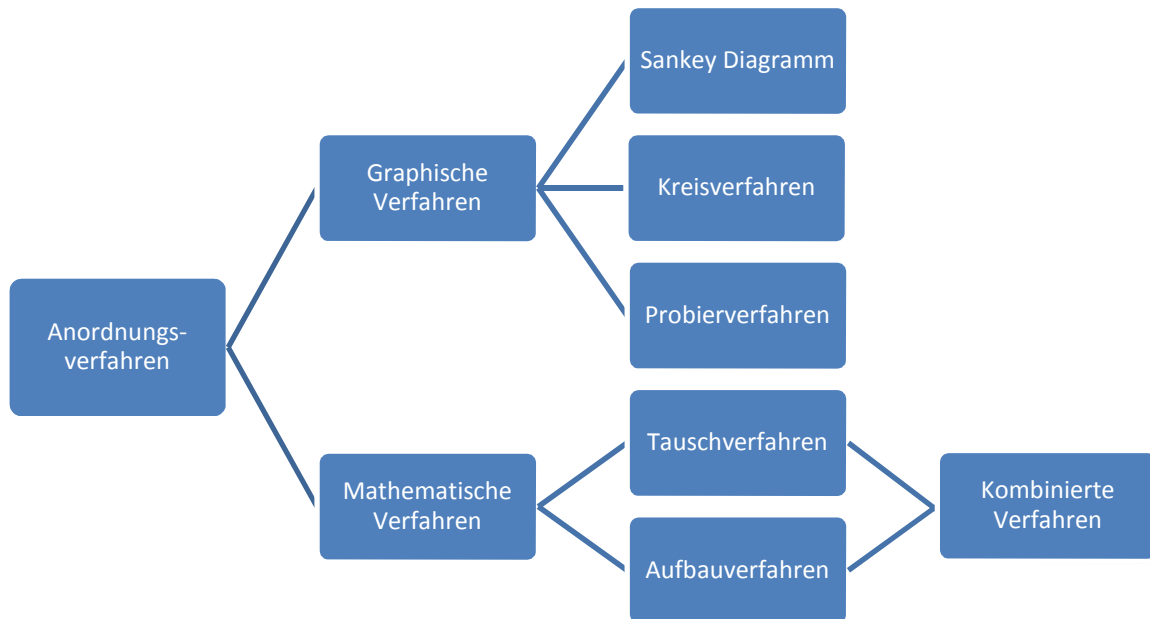


Abbildung 3-12: Layoutgestaltungsverfahren zur flussgerechten Anordnung von Struktureinheiten (Eigene Darstellung nach ([AIK+08], S.319))

Im Folgenden werden zwei Gestaltungsverfahren, zur flussgerechten Anordnung von Struktureinheiten bzw. Stationen detaillierter umrissen.

- **Kreisverfahren**

Das Kreisverfahren nach Schwerdtfeger zählt zu den grafischen Verfahren der Layoutplanung. Dabei werden die Stationen des Materialflusses auf einem Kreis angeordnet. Die Beziehungen des Materialflusses zwischen den Stationen werden durch, ihrer Transportintensität proportionalen Pfeilen beschrieben. Es wird durch iterative Anordnung versucht, die transportintensiven Stationen möglichst distanzminimiert zu platzieren. Demnach sollen Pfeile hoher Transportintensität den Kreis möglichst nicht queren sondern tangential am Umfang angeordnet sein. [GRU12]

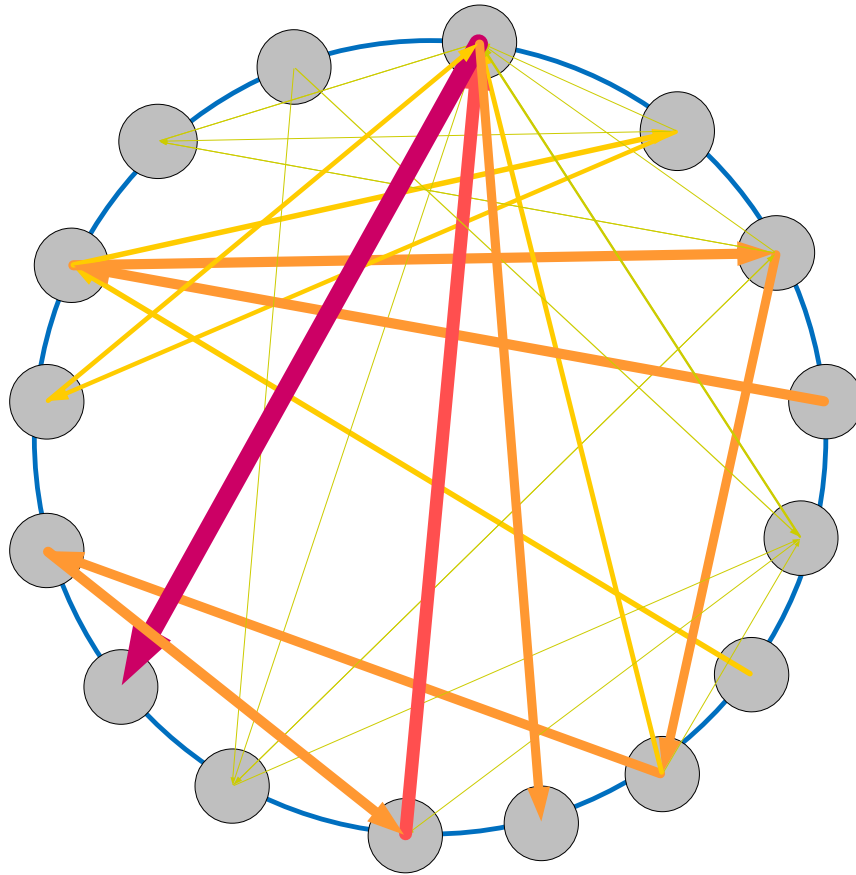


Abbildung 3-13: Ausgangszustand Kreisverfahren (Eigene Darstellung)

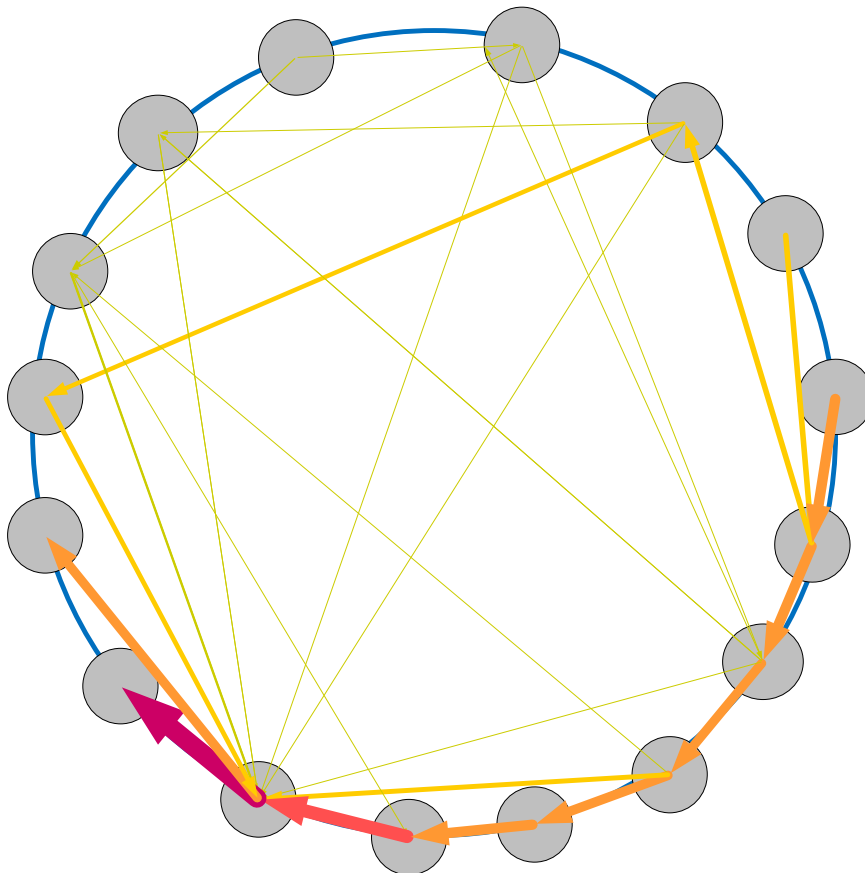


Abbildung 3-14: Zielzustand Kreisverfahren (Eigene Darstellung)

Die Ergebnisse des Kreisverfahrens können durch Adaption des Kreises an die Form des jeweiligen Layouts umgesetzt werden. [ACB09]

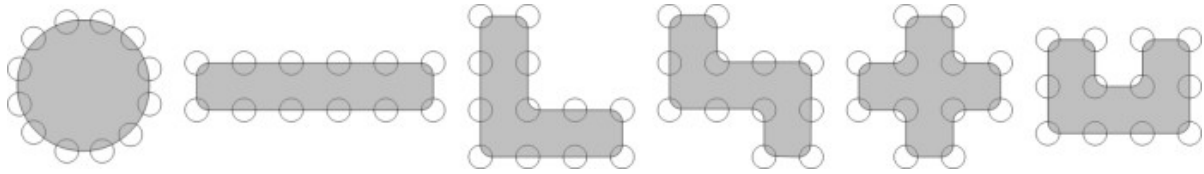


Abbildung 3-15: Deformation des Grundkreises nach ([ACB09], S. 25)

Die VDI-Richtlinie 2498 beschreibt in Blatt 2 ein Verfahren zur Minimierung von Rückflüssen im Materialfluss, das nachfolgend beschrieben wird.

- **Optimierung der Materialflussmatrix nach VDI 2498**

Bei der Materialflussoptimierung nach VDI 2498 Blatt 2 soll die Reihenfolge der Stationen des Materialflusses flussoptimal zur Herstellung der Produktgruppen angeordnet werden. Ziel ist deshalb die Minimierung der Rückflüsse durch Vertauschen der Reihenfolge der Arbeitsstationen. Als Ausgangsbasis für die Optimierung wird die „Von/Nach-Matrix“ verwendet. Der Methode liegt die Identifizierung der Station, die am meisten versendet im Verhältnis zu dem was sie erhält zugrunde. Die somit ermittelte Station wird in der Reihung notiert und aus der Matrix entfernt. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis alle Stationen gereiht sind. Die somit ermittelte Reihenfolge entspricht näherungsweise einem flussrichtungsoptimiertem Materialflussverhalten. [VDI08]

Vorgehensschritte:

- Berechnung der Zeilen- und Spaltensumme
- Quotient aus Zeilen- und Spaltensumme jeder Arbeitsstation
- Identifikation des größten Quotienten
- Zeilen und Spalten der Arbeitsstation mit dem größten Quotienten aus der Matrix eliminieren
- Eliminierte Arbeitsstation in der Reihenfolgenliste notieren
- Schritte 1-5 wiederholen bis alle Arbeitsstationen gereiht sind

Im folgenden Beispiel besitzt die Station „10-Eingangsrampe“ den größten Quotienten, nämlich unendlich. Damit wird die Station als erster in die Reihenfolgeliste eingetragen und aus der Matrix gelöscht.

Tabelle 3-5: Quotienten aus Zeilen- und Spaltensumme

| | 1-Wareneingang | 2-Produktion | 4-Hauptlager | 6-Kommissoinierung | 8-Qualitätsprüfung | 9-Warenausgang | 10-Eingangsrampe | 11-Ausgangsrampe | Summe |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------|------------------|------------------|-------|
| 1-Wareneingang | | | 409 | | | | | | 409 |
| 2-Produktion | | | 197 | | | | | | 197 |
| 4-Hauptlager | | 221 | | 550 | 65 | | | | 836 |
| 6-Kommissoinierung | | | | | | 550 | | | 550 |
| 8-Qualitätsprüfung | | | | | | | | | 0 |
| 9-Warenausgang | | | | | | | | 550 | 550 |
| 10-Eingangsrampe | 409 | | | | | | | | 409 |
| 11-Ausgangsrampe | | | | | | | | | 0 |
| Summe | 409 | 221 | 606 | 550 | 65 | 550 | 0 | 550 | 2951 |
| Quotient | 1 | 0,8914 | 1,37954 | 1 | 0 | 1 | ∞ | 0 | |

Die Station, die nach entfernen der Ersten, den nächst größten Quotienten besitzt ist Station „4-Hauptlager“, auch sie wird gereiht und aus der Matrix eliminiert. Nach diesem Schema wird die gesamte Matrix aufgelöst.

Tabelle 3-6: Identifikation der zweiten Station

| | 1-Wareneingang | 2-Produktion | 4-Hauptlager | 6-Kommissoinierung | 8-Qualitätsprüfung | 9-Warenausgang | 11-Ausgangsrampe | Summe |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------|------------------|-------|
| 1-Wareneingang | | | 409 | | | | | 409 |
| 2-Produktion | | | 197 | | | | | 197 |
| 4-Hauptlager | | 221 | | 550 | 65 | | | 836 |
| 6-Kommissoinierung | | | | | | 550 | | 550 |
| 8-Qualitätsprüfung | | | | | | | | 0 |
| 9-Warenausgang | | | | | | | 550 | 550 |
| 11-Ausgangsrampe | | | | | | | | 0 |
| Summe | 409 | 221 | 606 | 550 | 65 | 550 | 550 | 2951 |
| Quotient | 1 | 0,8914 | 1,37954 | 1 | 0 | 1 | 0 | |

Das, unter Verwendung von Anordnungsverfahren, entwickelte Ideallayout wird durch Berücksichtigung von Restriktionen in ein Reallayout überführt. Dieser Thematik widmet sich das nachfolgende Kapitel.

3.1.5.3 Reallayout

Das Reallayout entwickelt sich aus dem, um vorhandene Restriktionen, das vorgesehen Grundstück und betriebsspezifische Rahmenbedingungen erweiterte Ideallayout. ([AIK+08]; [KLA08]) Bei den bereits mehrfach erwähnten Restriktionen handelt es sich um Einschränkung bezüglich der Anordnung von Struktureinheiten. Man unterscheidet zwischen behördlichen und betrieblichen Restriktionen (Tabelle 3-7). Betriebliche Restriktionen können häufig nur mit hohem finanziellem Einsatz verändert werden. Exemplarisch seien bestehende Grundstück und Betriebsmittel aufgeführt. So sind gegebenenfalls Anpassungen des Layouts an die Grundstücksgröße erforderlich. Es können aufgrund von Niveauunterschieden bauliche Veränderungen notwendig werden. Die Lage bereits bestehender Fixpunkte für Anlagen soll möglichst nicht verändert werden. Vorhandene Betriebsmittel sind in ihren räumlichen Abmessungen und Leistungskennwerten unter Umständen nicht veränderbar. Sollen sie weiterverwendet werden, muss die Planung dementsprechend angepasst werden. Beispielsweise kann eine Struktureinheit im Ideallayout zwar im ersten Stock eines Gebäudes angeordnet werden, aufgrund von auftretenden Schwingungen im Betrieb ist das aber in der Realität nicht mehr möglich. Sowie auch die Anordnung eines Messlabors neben einer Stanzmaschine zu Problemen führen kann. Die angeführten Probleme könnten meist technisch bzw. baulich gelöst werden, diese Lösungen sind jedoch häufig aufgrund der begrenzten monetären Ressourcen nicht möglich. Dementsprechend sind die eingeschränkten monetären Ressourcen eine weitere Restriktion im Rahmen der Planung. Behördliche Restriktionen wie beispielsweise Gesetze können nicht verändert werden, sie sind in der Planung unbedingt zu beachten. ([AIK+08]; [GRU12])

Tabelle 3-7: Restriktionsarten der Layoutplanung (vgl. [AIK+08], S. 320)

| Betriebliche Restriktionen | Behördliche Restriktionen |
|----------------------------|---------------------------|
| Grundstück | Fixpunkte |
| Betriebsmittel | Gefälle |
| Monetäre Ressourcen | Rechtliche Grundlagen |

Besonders Augenmerk ist auf die Anordnung der Verkehrswege innerhalb der Fabrik zu legen, da diese von immenser Bedeutung für die darüber abgewickelte innerbetriebliche Logistik sind. Bei der Planung der Verkehrswege ist eine nutzbringende Erschließung der Struktureinheiten unter Betrachtung der gesetzlichen Vorbehalte und einer guten Raumnutzung zu berücksichtigen. Für die Qualität des Verkehrswegesystems, das die Last- und Leerfahrten festlegt, ist unter anderem die Symmetrie ein guter Indikator. Bei Abweichungen von Symmetrie ergeben sich Schwierigkeiten bei der Umsetzung von Änderungen, bei gleichzeitiger Beibehaltung eines reibungslosen Flusses und hoher Produktivität. ([AIK+08]; [GRU12])

Hilfsmittel zur methodischen Reallayoutplanung können in rechnergestützte und manuelle Planungstechniken unterteilt werden. Bei den manuellen Planungstechniken handelt es sich um flächenmaßstäbliche zwei- oder dreidimensionale Schablonen der Struktureinheiten, die zur Anordnung im Layout verwendet werden. Bei den rechnergestützten Techniken werden Simulationen oder Visualisierungsverfahren eingesetzt. Bei Simulationsverfahren werden die dynamischen Prozesse eines Systems in einem Modell nachgebildet. Im Fall der Struktur- und Layoutplanung werden Parameter, Struktur und Dynamik eines Systems betrachtet. Die typische Fragestellung bezieht sich meist auf die Modifizier- und Optimierbarkeit bestehender Systeme und die Funktionskontrolle sowie Leistungsbewertung neuer Systeme. Unter den Visualisierungsverfahren eignet sich besonders die „Virtuelle Realität“ zum Einsatz in der Layoutplanung. Zum einen ermöglicht diese Technik dem Betrachter einen detaillierten Einblick in die Produktionsanlage bzw. den Produktionsprozess, zum anderen sind damit ergonomische Betrachtungen möglich.

Eine durchdachte Planung ist die Grundlage für eine effiziente Produktion. Mit der beschriebenen Vorgehensweise zur Struktur- und Layoutplanung kann der Planungsablauf in effizienter Weise umgesetzt werden.[AIK+08]

Damit ist die Theorie zur Layout- Strukturplanung abgeschlossen, der nächste Abschnitt beschäftigt sich mit dem zweiten großen Punkt dieser Arbeit, der Bionik.

3.2 Bionik

Mit Hilfe der Bionik sollen innovative Lösungsansätze, vor allem im Bereich der Technik, durch inspiratives Studium der belebten Natur gefunden werden.

Da die Natur keine Baupläne liefert, ist die Bionik in Folge als eine Wissenschaft der Analogiefindung, Abstraktion und Prinzip-Bildung für eine technische angemessene Umsetzung zu sehen. [NAC08]

Im Rahmen der Fabrikplanung stellt das bionisch inspirierte Layout eine neue Herangehensweise dar. Im Folgenden Kapitel soll geklärt werden, ob der Einsatz von Bionik in der Layoutplanung zielführend ist und unter welchen Gesichtspunkten die Analogie zu sehen ist. Als erstes sollen die Begriffe Bionik und Analogie definiert werden, da diese von essenzieller Bedeutung für die Identifizierung von übertragbaren Prinzipien sind. Anschließend wird ein vom Institut für Technische Logistik definiertes Prinzip aus der belebten Natur diskutiert.

3.2.1 Begriffserklärung und Entwicklung

3.2.1.1 Bionik

Der Begriff Bionik geht auf das englische „bionics“, das von John E. Steel Ende der 1960 Jahre geprägt wurde zurück. Bionics leitet sich vom griechischen „bios“ „das Leben, belebte Welt als Teil des Kosmos“ ([WER10], S. 158) und der Endung -ics aus dem Englischen für ein intellektuelles Themengebiet ab. Im angelsächsischen Sprachraum wurde der Begriff „bionics“ später von „biomimetics“ abgelöst. Biomimetics ist synonym für „Lernen von der Natur für die Technik“ und entspricht sinngemäß dem deutschen Bionik. ([SEI12]; [NAC08])

Das Lernen von der Natur hat allerdings eine viel längere Tradition. Bereits der große Leonardo da Vinci studierte den Vogelflug zwecks Entwicklung eines Fluggerätes. In den 1940er Jahren entstand die Kybernetik geprägt durch die

interdisziplinäre Forschungsgruppe um Norbert Wiener und Arturo Rosenblueth, die die Analogie hinsichtlich der Funktion, zwischen Synapsen im lebenden Gewebe und (damals) modernen Vakuumröhren erkannten. Die Kybernetik wird unter anderem als Wissenschaft der Kommunikation und Regelung bezeichnet. Dazu werden strukturelle Zusammenhänge in organisierten Systemen sowie Organismen gesucht und die charakteristischen Zusammenhänge in Modellen abgebildet. Durch solche abstrakte Funktionsmodelle kann das Wirkgefüge, von noch so komplexen Systemen modellmäßig dargestellt werden. Frederic Vester legte Ende der 1970er Jahre den Fokus auf Biotop und Ökosysteme, daraus entstand die Bio-Kybernetik. Da sich biologische Systeme durch ihre Überlebensfähigkeit charakterisieren, beschäftigte sich Vester mit den typischen Eigenschaften und Regeln eines biologischen Systems. Dabei erkannte er Analogien hinsichtlich Kommunikationsvorgängen, Steuerungsmechanismen sowie Austausch- und Regulierungsprozesse von einzelnen Zellen oder Organen eines Organismus und jenen von Lebewesen in einem Biotop, einem Ökosystems oder einer Volkswirtschaft. [SEI12]

Parallel zur Entwicklung der Kybernetik bzw. Bio-Kybernetik, entstand die Bionik als Bereich der Naturwissenschaften. Werner Nachtigall definiert die Bionik als in den 1970er Jahren als: „Lernen von der Natur für eigenständiges ingenieurmäßiges Gestalten.“ ([NAC08], S.10)

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) definiert 1993: „Bionik als wissenschaftliche Disziplin befasst sich mit der technischen Umsetzung und Anwendung von Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme.“ ([NAC08], S.10) Dieser Definition zufolge kann die Bionik als Anwendungsdisziplin in jene drei Grunddisziplinen eingeteilt werden.

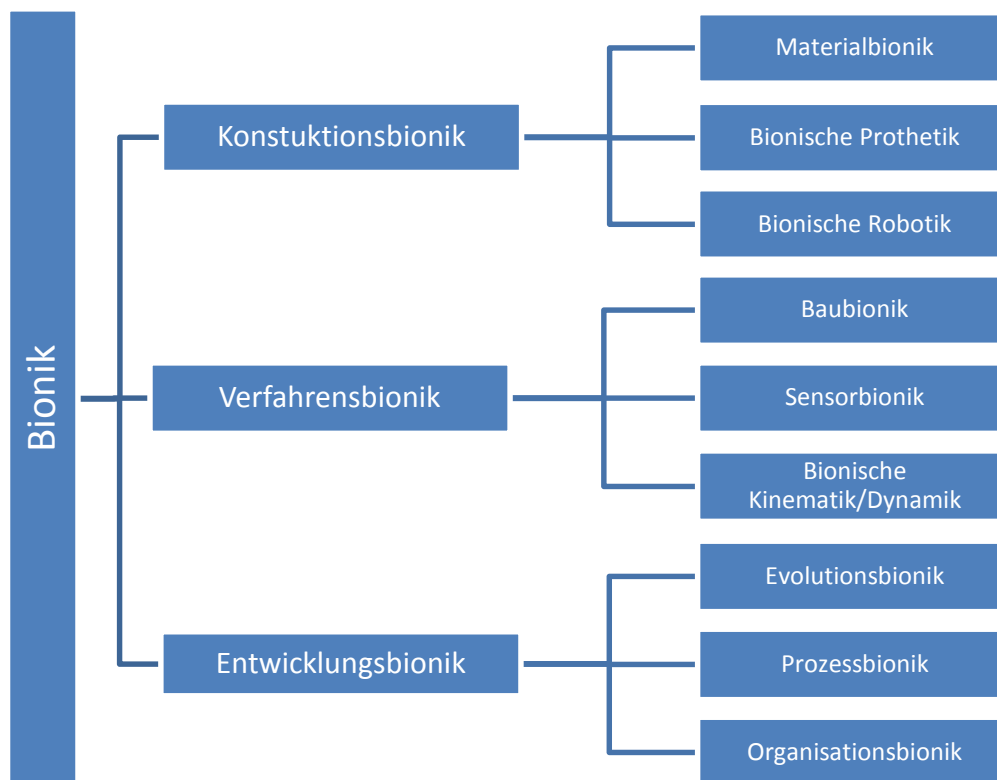


Abbildung 3-16: Grunddisziplinen und Aspekte der Bionik (eigene Darstellung vgl. ([NAC08], S.11))

Da die VDI-Definition ursprünglich aus Gründen der Abgrenzung und Präzisierung sehr eng gewählt wurde, hat Werner Nachtigall 2002 eine Alternative vorgeschlagen. Bei dieser „Zukunftsadaptiven Definition“ wird ein elementarer Aspekt der Bionik, die Beeinflussung der Technik zum besseren Nutzen für Mensch und Umwelt, stärker gewichtet.

„Lernen von den Konstruktions-, Verfahrens-, und Entwicklungsprinzipien der Natur für eine positive Vernetzung von Mensch, Umwelt und Technik.“([NAC08], S. 12)

Um Bionik zu betreiben, ist eine interdisziplinäre Kooperation von Biologen, Ingenieuren und Mathematikern erforderlich, da diese Kooperation grundlegende Voraussetzung für die Realisierung von Synergien ist. Der Biologe darf sich nicht mit der schlichten Anhäufung von Daten begnügen, sondern muss aktiv auf den Ingenieur zugehen und seine Erkenntnisse offerieren. Der Ingenieur andererseits muss offen für Abweichungen von altbewährten Prinzipien

sein. Er soll sich beim reichhaltigen Erfahrungsschatz der Natur immer dort bedienen, wo es sinnvoll ist. ([SEI12], [NAC08])

Um Bionik aktiv zu betreiben ist eine Analogieforschung, der Vergleich zwischen biologischen und technischen System, hinsichtlich Form und Funktion, von essenzieller Bedeutung. Deshalb ist der Analogiebegriff von zentraler Bedeutung und soll im folgenden Kapitel näher erläutert werden.

3.2.1.2 Analogie

Der Duden bezeichnet die Analogie als „...Entsprechung, Ähnlichkeiten bzw. Übereinstimmungen im Allgemeinen“ ([WER10], S. 83). Im Bereich der Biologie wird die „gleiche Funktion von Organen verschiedener entwicklungsgeschichtlicher Herkunft“ ([WER10], S. 83) als Analogie bezeichnet. So können sich zwei Gegebenheiten zueinander analog verhalten, auch wenn deren Bestandteile zwar unterschiedlich sind, jedoch über ein gemeinsames Bezugsmuster verfügen. [SCH12]

So kann beispielsweise das Wachstum des Schleimpilzes *Physarum polycephalum* zu seiner Nahrung, mit einem Bahnnetz zwischen seinen Stationen als Analogie betrachtet werden. Der Pilz baut effiziente Verbindungen zur Nahrungsquelle auf, das Bahnnetz effiziente Verbindungen zwischen den Stationen. Obwohl die jeweiligen Bestandteile divergieren, ist deren Bezug ähnlich. Laut Abbott ist die Analogie oft nur der Startpunkt für eine weitere Untersuchung, die sorgfältig und kritisch ausgearbeitet werden muss. „... analogie often provides only the starting point for an argument, which must then be carefully elaborated and critically worked out on its own.“ ([ABB04], S. 55)

Archimedes entdeckte beispielsweise beim Baden, dass sein Körper unter Wasser leichter war als außerhalb. Diese Erkenntnis nützte er als es zu klären galt, ob die Krone von König Hieron von Syrakus aus reinem Gold gefertigt war. Er nützte die Erkenntnis seines Bades als Analogiequelle und wandte sie auf die Problemstellung mit der Krone als Analogieziel an. Er legte die Krone und ein gleich schweres Stück Gold auf eine Waage. Anschließend wurden die beiden

Waagschalen in Wassergefäße getaucht, das Goldstück sank aufgrund des geringeren Volumens und somit geringeren Auftriebs. Damit konnte Archimedes zerstörungsfrei beweisen, dass die Krone nicht aus reinem Gold gefertigt war.

Ein solches analoges Schlussfolgern wird von Gick und Holyoak sogar als Kernelement des intelligenten Denkens, sowie als Kennzeichen menschlicher Kognition gesehen. [SCH12]

Es ist also der Analogieschluss, der die Erkenntnis einer Analogie erst verwertbar macht. Ein Analogieschluss ist laut Duden eine „...Folgerung von der Ähnlichkeit zweier Dinge auf die Ähnlichkeit zweier anderer od. aller übrigen“ ([WER10], S. 83). An diesem Punkt setzt die „Borrowing a Method“ an. Oft werden die in einer Fachdisziplin althergebrachten, lokale Methoden verwendet, die die Innovationsfähigkeit eventuell dämpfen. Es kann förderlich sein Methoden anderer Fachdisziplinen auszuborgen. Typischerweise erfolgt das Ausborgen von Methoden nach folgendem Schema: „if only I could make an analogy between X and G, I could use all those methods people have invented for analyzing G.“ ([ABB04], S. 55). Darauf baut die Bionik im großen Maß auf. Meist ist das Wissen über einen Bereich wesentlich ausgeprägter als über den Anderen. Man überträgt nun die erprobten Prinzipie und Methoden eines Bereiches, nachdem man eine Analogie der Bereich festgestellt hat, auf den anderen.

Eine Methode einer solchen Analogieforschung, die als Startpunkt für jeden biologisch-technischen Vergleich steht, wird im folgenden Kapitel erörtert.

3.2.2 Analogieforschung

Die Analogieforschung stellt somit den Ausgangspunkt jedes bionischen Vergleiches dar. Zum Anfang der Untersuchung werden die Ist-Zustände des technischen und biologischen Systems einander gegenübergestellt. Jedes biologische System hat zum Zeitpunkt der Beobachtung einen gewissen Ist-Zustand, ebenso wie ein technisches System, das sich anschließend über den Anforderungskatalog zum Endprodukt hin entwickelt. Diese Gegenüberstellung kann auf zwei verschiedenen Ebenen erfolgen, der des Formvergleichs und auf der des Funktionsvergleichs.

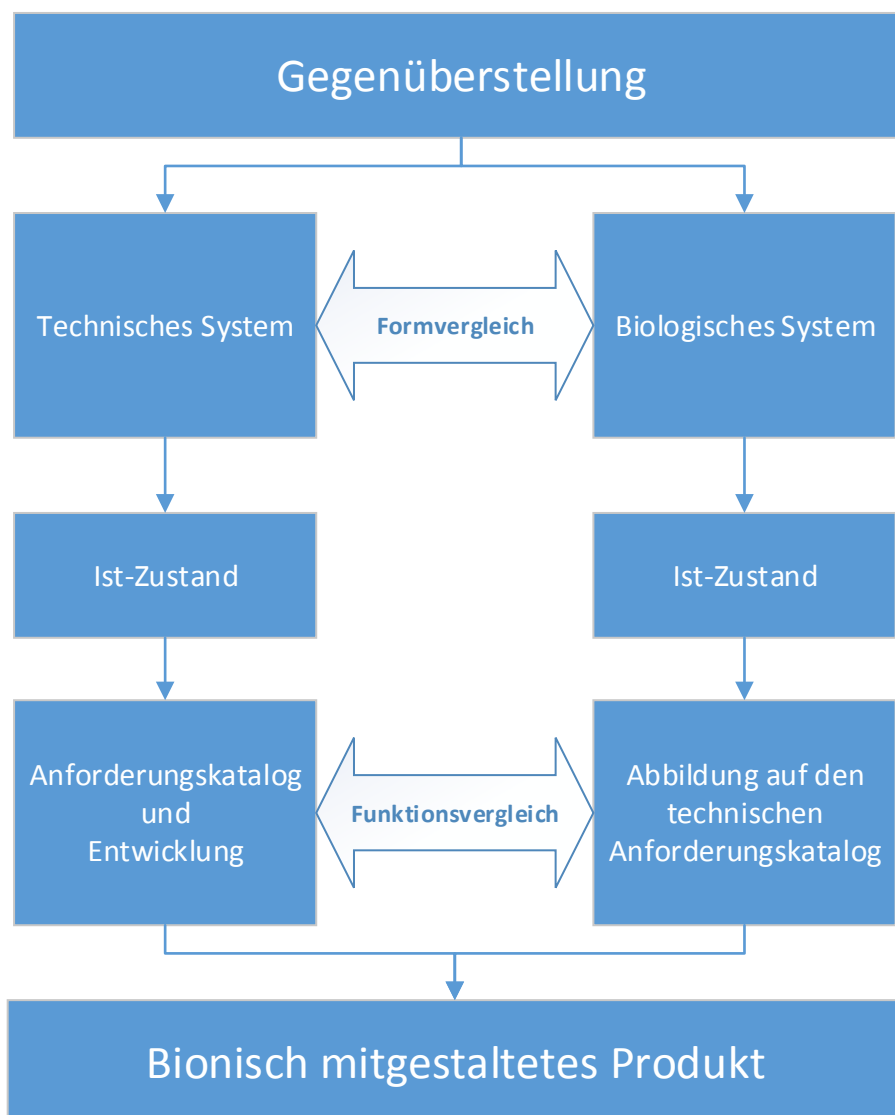


Abbildung 3-17: Form- und Funktionsvergleich in der Analogieforschung (nach ([NAC08].S 46))

Im Rahmen des Formvergleiches werden in der Natur Vorbilder mit gewisser Formähnlichkeit zum technischen System gesucht. Dieser Formvergleich wird gerne von Designern eingesetzt. Meist hat das Endprodukt jedoch nur gestalterische Ähnlichkeiten mit den Eigenschaften des Vorbilds, jedoch keine Funktionellen. Dies führt zu einem bionisch inspirierten Design. [NAC08]

Der Funktionsvergleich ist bionisch bedeutsamer, da er durch definierte Vergleichsparameter zu einem bionisch mitgestalteten, technischen Produkt führt, das mit Funktionen des natürlichen Vorbilds ausgestattet ist. Bei diesen Gegenüberstellungen fallen laut Werner Nachtigall 90% der verglichen Systeme, hinsichtlich der Anwendbarkeit der Analogie, durch.

Als Beispiel für eine unzulässige Analogie dient Nachtigall der Vergleich eines Grashalmes mit einem Schornstein. Da es sich bei beiden um „... zentrisch achsparallel belastete Hochbausysteme“ ([NAC08], S. 48) handelt. Allerdings liegen hier nicht lineare Dimensionsabhängigkeiten vor. Die Überlegenheit der Natur in Form des Grashalmes relativiert sich dadurch. ([NAC08]; [NAW13])

Im nachfolgenden Kapitel sollen die Bedeutung bionischer Vorgehensmodelle, die neben der Analogie eine weitere Methode in der Bionik darstellen, behandelt werden.

3.2.3 Bionische Vorgehensmodelle

Die bionischen Vorgehensmodelle stellen neben der Analogie ein weiteres essenzielles Element der Bionik dar. Dabei bekleiden die Vorgehensmodelle die Position einer strukturierten Verfahrensanleitung, die zur Ableitung und im Weiteren zur Nutzbarmachung von Erkenntnissen aus der belebten Natur dient. Im Allgemeinen sind Modelle eine abstrakte, vereinfachte Darstellung eines natürlichen oder künstlichen Systems. Dabei wird die spezifische Sicht des Beobachters bei der Modellbildung hinsichtlich der Zielsetzung und der damit verbundenen Fokussierung auf bestimmte Details und Ausschnitte des Originals, wiedergegeben. In der Technik sind Modelle vereinfachte, zweckorientierte Gebilde, die aufgrund ihrer Analogie zum Original, Rückschlüsse auf eben dieses zulassen. Modelle eignen sich gut zur Darstellung vielschichtiger Sachverhalte und Fragestellungen, da sie aufgrund ihrer Zweckorientierung, diese auf das Wesentliche abstrahieren. [SEI12]

Ein zentrales Merkmal von allgemeinen Vorgehensmodelle ist ein Aufeinanderfolgen von Analyse- und Syntheseschritten, das in einer Zielfestlegung bzw. einer finalen Analyse endet. Spezifische Vorgehensmodelle charakterisieren sich hingegen, additional zu den Aktionen der allgemeinen Vorgehensmodelle, durch definierte Instruktionen hinsichtlich der Detailierung des Verfahrens. [SEI12]

Im Nachfolgenden wird ein bionisches Vorgehensmodell, das gut mit der Aufgabenstellung dieser technischen Diplomarbeit korreliert vorgestellt, nämlich dem des Vereins Deutscher Ingenieure.

- **Vorgehensmodell nach VDI-Richtlinie 6220**

Die VDI-Richtlinie 6220 beschreibt ein dreiphasiges bionisches Vorgehensmodell, das sich in die „Ideenfindung“, die „Analyse und Abstraktion“ sowie in „Planung und Invention“ gliedert.

Startpunkt dieses Modelles ist die Ideenfindung, wobei diese erste Phase zwei Verläufe annehmen kann. Zum einen kann aufgrund einer technischen Fragestellung in der Biologie, im Sinne eines Technologie-Pull, nach Lösungsansätzen gesucht werden. Andererseits können erfolgversprechende Erkenntnisse aus der Biologie, im Sinne eines Biologie-Push, genutzt werden um in der Technik nach möglichen Anwendungsmöglichkeiten zu forschen.

Im Rahmen der zweiten Phase erfolgt, wie in Abbildung 3-18 dargestellt, die systematische Untersuchung der möglicherweise nutzbaren biologischen Systeme, hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf die technische Fragestellung. Dabei werden mögliche Lösungsansätze mithilfe von Analogie und Abstraktion, die Zusammenhänge zwischen dem biologischen und technischen System aufzeigen, identifiziert. Zur Anwendung kommt ein dreistufiges Analogiemodell, das in der ersten Stufe analogierelevante Aspekte sammelt, diese in der zweiten Stufe bezüglich ihrer Zusammenhänge und Wechselwirkungen im technischen und biologischen Bereich betrachtet und letztlich in der dritten Stufe die erkannte Beziehungen miteinander vergleicht und in Deckung bringt.

In der dritten Phase finden sich alleinig klassische Aktionen der Produkt- und Prozessentwicklung wieder. Die Phase müssen nicht wie in der Abbildung dargestellt linear und nacheinander durchlaufen werden, sie können auch parallel und retrograde verlaufen, wenn das in der Praxis notwendig ist.

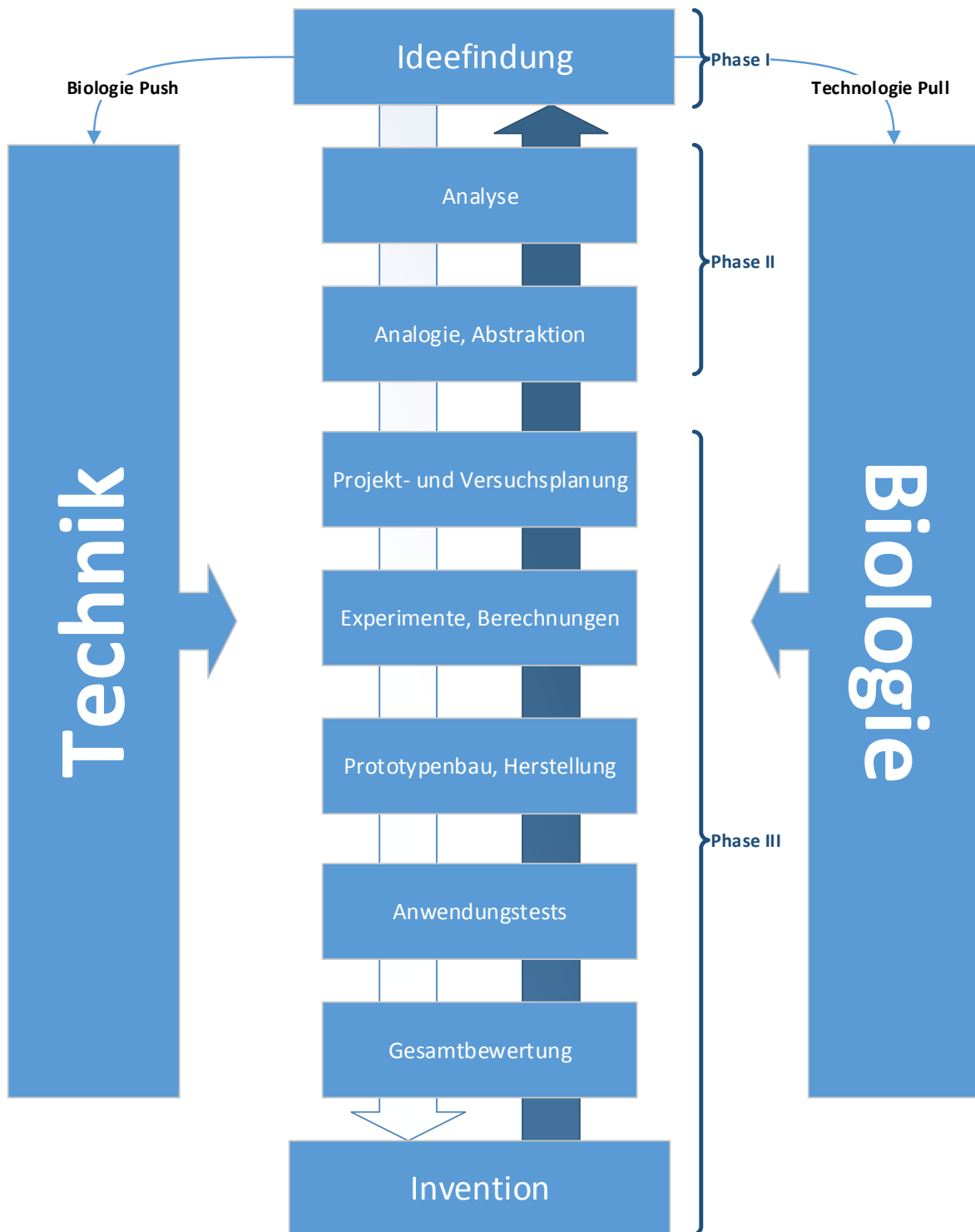


Abbildung 3-18: Darstellung VDI 2011 (Eigene Darstellung nach ([SEI12], S. 81))

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Methoden bzw. Vorgehensweisen sollen nun auf ein, vom Institut für Technische Logistik vorgegebenes, Prinzip angewendet werden.

3.2.4 Prinzip aus der belebten Natur - Die Fibonacci-Spirale

Das im Rahmen dieser Diplomarbeit untersuchte Prinzip wurde von Herrn Daniel Tinello (Institut für Technische Logistik - Technische Universität Graz) definiert [TTJ12]. Dabei handelt es sich bereits um ein abstrahiertes Prinzip, das mannigfaltig in der Natur Verwendung findet - der Fibonacci-Spirale.

Die Fibonacci-Folge, aus der sich die Spirale entwickeln lässt, geht auf den italienischen Rechenmeister Leonardo Fibonacci zurück. Fibonacci beschrieb, mit der nach ihm benannten Folge, das Wachstum einer Kaninchenpopulation. Die Fragestellung der Kaninchenaufgabe war wie folgt: „Ein Kaninchenpaar wirft vom zweiten Monat an monatlich ein weiteres Paar, das wiederum vom zweiten Monat an jeden Monat ein Paar zur Welt bringt. Wie viele Kaninchenpaare leben nach n Monaten, wenn es zu Beginn genau ein Paar gibt und keines der Kaninchen stirbt?“ ([RES07], S. 45)

Die Zahlen der Folge ergeben sich immer aus der Summe der beiden vorhergegangenen Zahlen: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, Damit lässt sich die Folge durch das rekursive Bildungsgesetz als:

$$f_n = f_{n-1} + f_{n-2} \text{ für alle } n \geq 2 \text{ mit Anfangswerten } f_0 = 0 \text{ und } f_1 = 1 \text{ GL: 1}$$

definieren. Bei rekursiven, sprich zurücklaufenden Folgen müssen die vorigen Folgenglieder bekannt sein um die nachfolgenden zu berechnen.

Die Fibonacci-Spirale erhält man durch Konstruktion benachbarte Quadrate, mit den der Fibonacci-Zahlen entsprechenden Seitenlängen, deren Eckpunkte man mit einer Kurve verbindet (Abbildung 3-19).

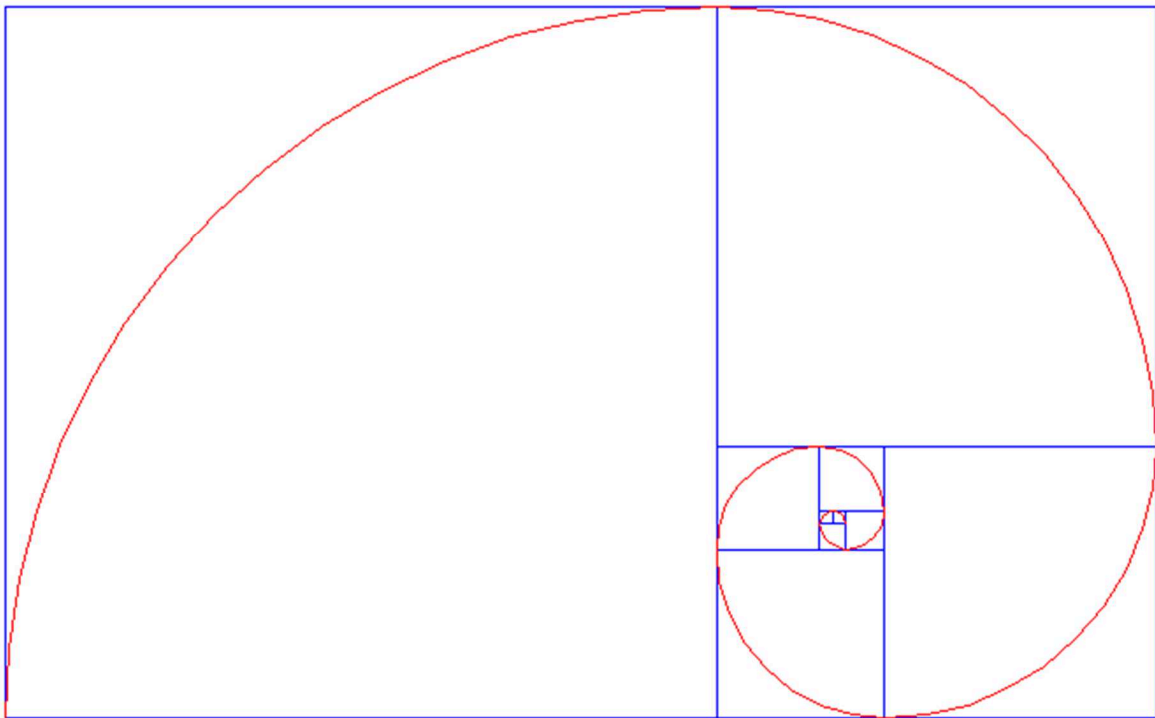


Abbildung 3-19: Aus Quadrate aufgebaute Fibonacci-Spirale (Eigene Darstellung)

Diese mathematische Reihe findet sich in vielen biologischen Wachstumsprozessen, unter anderem in der Botanik wieder. Beispielsweise wachsen sowohl bei Sonnenblume als auch bei Gänseblümchen die Früchte bzw. Einzelblüten entlang von Fibonacci-Spiralen (Abbildung 3-20). Die Abbildung zeigt einen sehr späten Blütenstand der Sonnenblume, wodurch sich die Fibonacci-Spirale besonders gut erkennen lässt. Häufig stehen auch die Blätter von Pflanzen, wie beim Tabak oder dem Mittlern Wegerich in einer spiraligen Anordnung um den Stängel. Verbindet man die Blattspitzen vom ältesten zum jüngsten Blatt, so ergibt sich ein überwiegend konstanter projizierter Winkel (Abbildung 3-21). Der Grenzwert dieser Winkelordnung strebt gegen 137 Grad und 30 Minuten, was einer Kreisteilung nach dem goldenen Schnitt entspricht. [NAW05]

Der goldene Schnitt ergibt sich durch Teilung der Einheitsstrecke durch den Punkt x nach GL 2.

$$\frac{1}{x} = \frac{x}{1-x}$$

GL: 2

Die daraus resultierende Streckenteilung wird seit der Antike als goldener Schnitt bezeichnet und gilt in der Kunst als besonders ästhetisch.



Abbildung 3-20: später Blütenstand einer Sonnenblume (Foto: [ASI09])

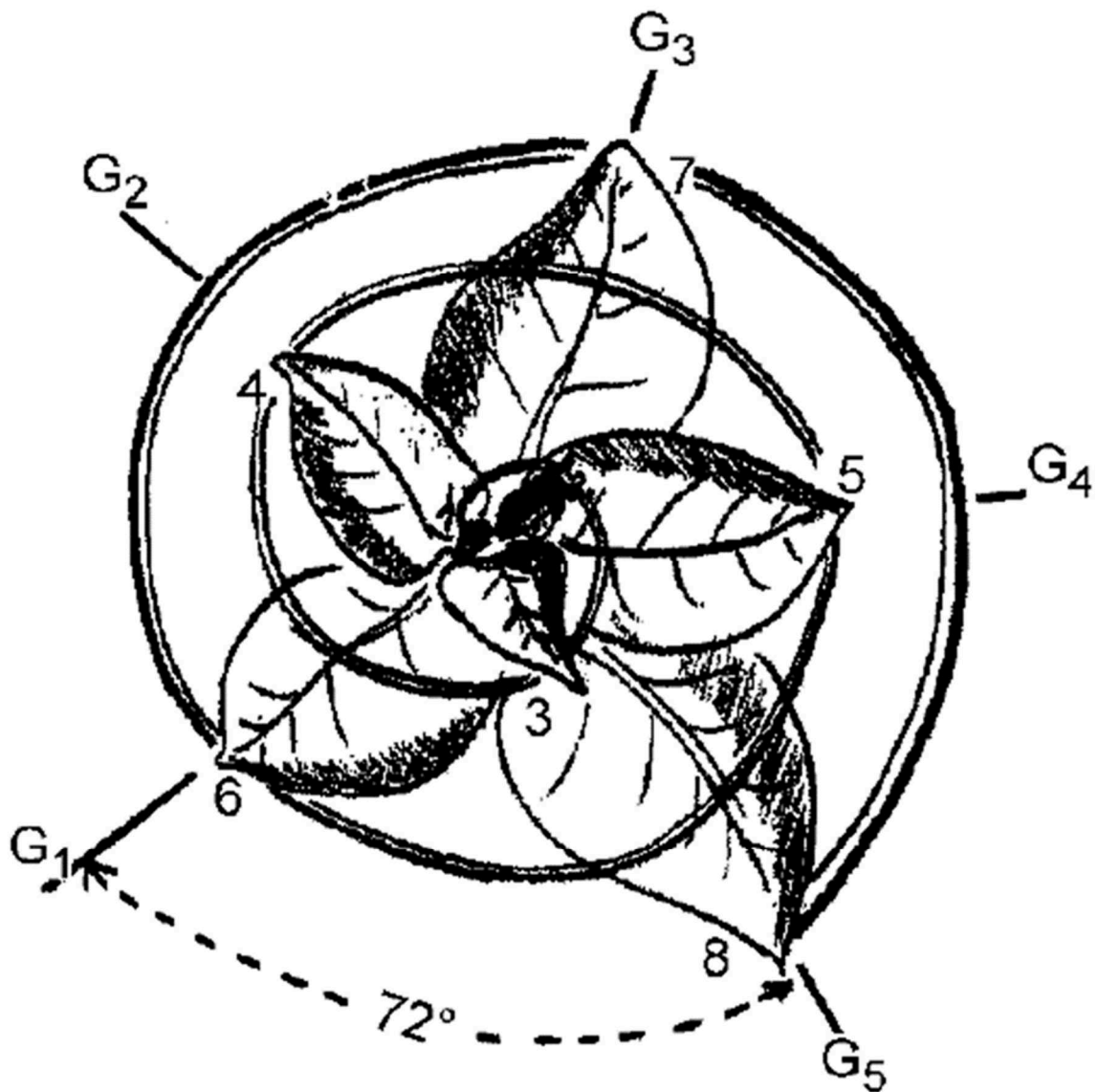


Abbildung 3-21: Fibonacci-Spirale beim Mittlerer Wegerich (nach ([NAW05], S. 237))

Das häufige Auftreten der Fibonacci-Spirale hat, wie vieles in der Natur, Effizienzgründe. Die Anordnung bietet Vorteile in der Flächennutzung, wie bei den Blüten bzw. Früchten der Sonnenblume gut ersichtlich ist. Auch ergibt sich bei der Anordnung der Blätter nach der Fibonacci-Spirale, wie beispielsweise beim Breitwegerichs, ein Minimum von gegenseitiger Beschattung (Abbildung 3-22). [NAW05]



Abbildung 3-22: Blattrosette des Breitwegerichs mit hoher Lichtausbeute (nach ([NAW05], S. 61)

Die spiralige Form findet aufgrund ihrer raumsparenden Bauweise auch Anwendung im Tierreich. So baut die rezenten Kopffüßler (*Nautilus spec.*) der Familie der Perlboot, das von ihnen bewohnte Kalkgehäuse ähnlich der Fibonacci-Spirale auf. Dabei bewohnt das Tier nur die letzte und somit jüngste Kammer des Gehäuses. Wenn die *Nautilus pompilius* wächst, dann baut sie eine größere Kammer und zieht um. Sie bleibt aber weiterhin mit den, durch Zwischenwänden getrennten, Kammer durch den zentral verlaufenden Siphon verbunden (Abbildung 3-23). Dieses Organ versorgt die Kammer mit Gas und dient damit zur Regulierung des Auftriebes.

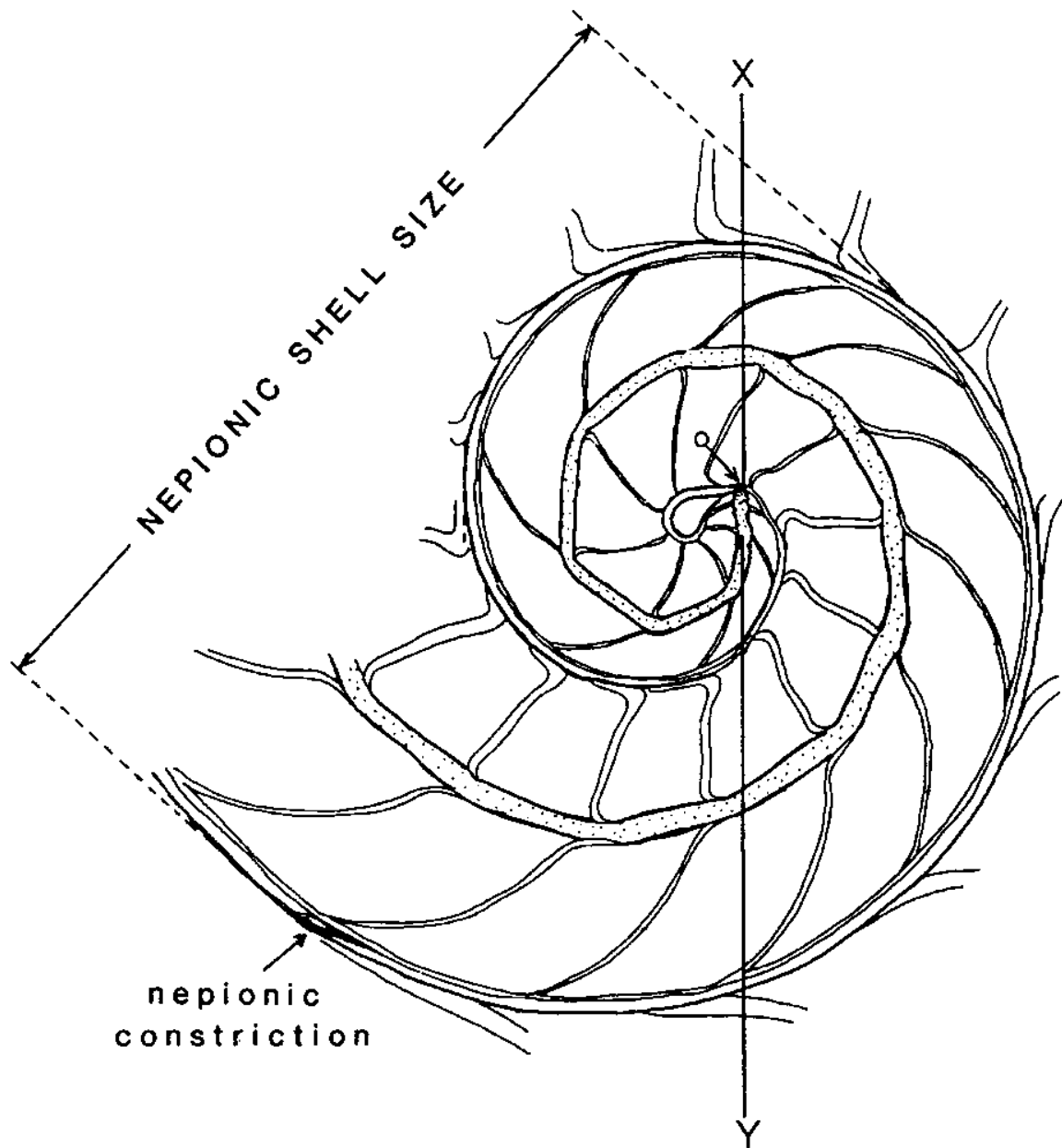


Abbildung 3-23: Schnitzzeichnung durch die *N. pompilius*, mit Siphon (nach ([SAL09], S. 107)



Abbildung 3-24: Schnitt durch das Gehäuse eines Perlbootes (Foto: [CHR04])

Aufgrund der mannigfaltigen Verwendung der Fibonacci-Spirale, in der Natur bei Wachstumsprozessen bzw. erweiterbaren Behausungen, drängt sich eine Untersuchung hinsichtlich der Verwertbarkeit dieses Prinzips in der Fabriklayoutplanung auf. Weshalb das Prinzip im Folgenden hinsichtlich der Analogie für die Bionik bewertet und für die Fabriklayoutplanung „ausgeborgt“ (3.2.1.2 Analogie) wird.

4 Methodik der Vorgehensweise

In diesem Kapitel werden zuerst Maßnahmen für die Umsetzung und Bewertung eines bionisch inspirierten Layouts angewendet. Am Anfang wird das bereits definierte Prinzip aus der belebten Natur anhand der im Kapitel „3.2 Bionik“ beschriebenen Vorgehensweisen analysiert und bewertet. Anschließend wird die Funktionsweise der Materialfluss-Software zur Bestimmung der Materialflussauswirkungen der Layouts vorgestellt. Nachfolgend werden drei Industriebetriebe hinsichtlich ihrer Transportintensität untersucht. Dabei wird zuerst ein Modell des Ist-Zustandes als Referenz aufgebaut. Anschließend werden die bionischen Layoutvarianten, unter Zuhilfenahme der in Kapitel „3.1 Struktur- und Layoutplanung“ vorgestellten Methoden, entwickelt.

4.1 Bionisch inspiriertes Layout

In diesem Kapitel wird die im Vorfeld beschriebene Methodik auf die Fibonacci-Spirale im Sinne der Bionik und der Layoutplanung angewandt. Als Ausgangspunkt der Analyse soll zuerst eine Gegenüberstellung hinsichtlich der Analogie erfolgen. Anschließend wird entsprechend dem Vorgehensmodell nach VDI, der Materialfluss von drei Unternehmen untersucht. Die Materialflussuntersuchung erfolgt bis zur Experiment- bzw. Berechnungsebene, in Phase III des Vorgehensmodells (Abbildung 4-1). Im Rahmen dessen wird ein Ideallayout erstellt, auf die Erstellung eines Reallayouts wird, aufgrund der dafür unzureichenden Datenlage, verzichtet. Allerdings bildet diese Thematik einen Ansatzpunkt für weitergehende Forschung.

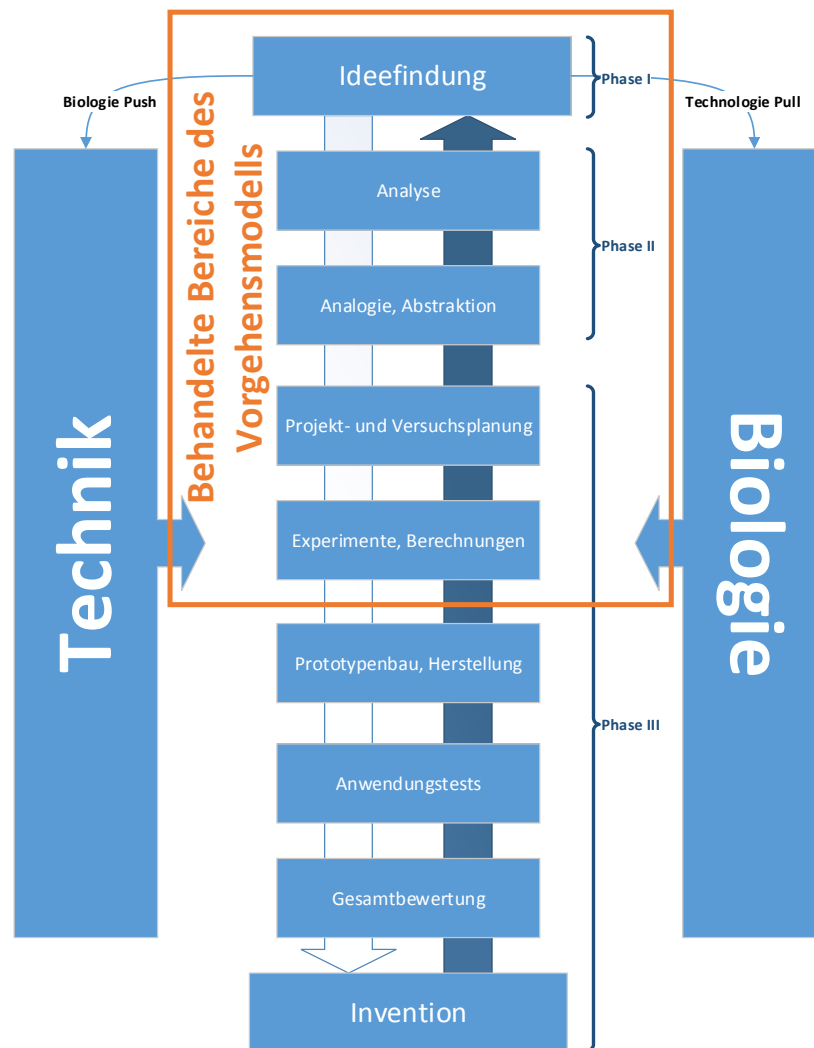


Abbildung 4-1: Behandelte Bereiche des Vorgehensmodells (Eigene Darstellung nach ([SEI12]S. 81))

4.1.1 Analogiegegenüberstellung

Wie in Kapitel Analogieforschung beschrieben, bildet der Ist-Vergleich des biologischen und des technischen Systems den Ausgangspunkt der Gegenüberstellung. Da die Fragestellung dieser Arbeit keine Aspekte hinsichtlich des Designs bzw. der Architektur beinhaltet, wird auf einen Formvergleich verzichtet. Ein ästhetisches Layout kann gegebenenfalls als durchaus erwünschtes Nebenprodukt angesehen werden. Wenngleich durch die Beziehung der Spirale zum goldenen Schnitt diesbezüglich durchaus Potential besteht.

Die beschriebenen biologischen Systeme zeichnen sich durch einen effizienten, ressourcenoptimierten, erweiterbaren Aufbau aus. Diese Fähigkeiten sind Anforderungen an ein Fabriklayout. Ein solches soll einen möglichst hohen

Flächennutzungsgrad aufweisen, sparsam mit Ressourcen umgehen, um ökonomisch konkurrenzfähig zu sein und je nach Situation seine Kapazitäten erweitern bzw. reduzieren kann. In diesen Punkten gibt es im Ist-Zustand der betrachteten Unternehmen Optimierungspotenzial, während die biologischen Systeme ihre Überlebensfähigkeit seit geraumer Zeit unter Beweis stellen. Nun sollen die Funktionen der biologischen Systeme, den Anforderungen der technischen Systeme gegenüber gestellt werden und hinsichtlich ihrer Analogie bewertet werden. Dazu wurden die Teilziele zur wirtschaftlichen Fabrik aus dem Kapitel „Zielplanung“, jedoch um die Teilziele der Strukturplanung reduziert, als Anforderungen gesetzt. So kann beispielsweise ein bionisches Layout nicht Kern der Unternehmensidentität sein, sehr wohl kann es Rahmenbedingungen für eine gute Kommunikation, durch günstige Gestaltung der Sozialräume schaffen. Im Folgenden wird allerdings der Schwerpunkt auf materielle Teilziele der Zielplanung gesetzt.

Tabelle 4-1: Anforderungskatalog und Funktionsvergleich

| Anforderungskatalog der Layoutplanung | Funktionen der dem Prinzip zugrundeliegenden biologisches System |
|---------------------------------------|---|
| Proaktivität | Die Nautilus pompilius betreibt den Behausungsausbau aktiv im Voraus, anstelle auf eine zu klein geworden Behausung zu reagieren. Auch bei den Pflanzen ist eine Expansion in der Konstruktion vorgesehen, dabei erfolgt diese ohne funktionellen Einschränkungen des Systems. |
| Ressourcenschonung | Biologische Prozesse laufen im Allgemeinen möglichst ressourcenschonend ab, dies ist Kennzeichen ihrer Überlebensfähigkeit. Kein biologisches System geht unnötig einen Umweg, es wählt stets den effizientesten Weg. Die Nautilus pompilius erweitert dabei das günstige Fläche- zu Umfangverhältnis des Kreises um den spiraligen Aufbau zu Gunsten der Expansionsfähigkeit. Damit lässt sich das Gehäuse mit vertretbarem Aufwand an die prognostizierte Körpergröße anpassen. |
| Rekonfigurierbarkeit | Die Sonnenblume konfiguriert ihre „Produktion“ von Blüten auf Früchte um und legt die Einheiten, nach Reifung der Früchte, still. Dabei werden die Früchte ausgegliedert. |
| Umrüstbarkeit, Flexibilität | Umrüsten von Blüten auf Früchte und deren Aussonderung. Ausrichtung der Blätter des Breitwegerichs entsprechend des Sonnenlichtes, bei minimaler Beschattung der eigenen Blätter. |

| | |
|----------------|---|
| Skalierbarkeit | Alle der Angeführten biologischen Systeme zeichnen sich besonders durch ihre Erweiterbarkeit, bzw. wenn man den Absatz der Früchte betrachtet, bzw. dem absterben von Blättern auch der Reduzierbarkeit aus. Die spirale Form ermöglicht eine Skalierung in Radialrichtung. |
|----------------|---|

So können durchaus Analogien zwischen den, dem abstrahierten Prinzip zugrundeliegend biologischen Systemen und den Anforderungen einer Fabrik gezogen werden.

4.1.2 Vorgehen nach VDI

Die Ideenfindung wurde im Rahmen eines Technologie Pull durchgeführt. Es wurde nach Möglichkeiten zur Layoutoptimierung gesucht. Eine Ideensuche bei biologischen Systemen war naheliegend, da deren Prozesse materialarm, reglungssicher sowie recyclingfreundlich ablaufen und sich durch eine dynamische, selbstorganisierende sowie multifunktionale Konstruktion auszeichnen. [HIL99]

Es wurde in bionischen Beispielkatalogen nach Wachstumsprozessen, raumsparenden Formen sowie „Bauten und Behausungen“ gesucht. Im Rahmen der Analyse von biologischen Systeme konnte häufig eine spirale Form abstrahiert werden. Bei näherer Betrachtung und Studium der einschlägigen Fachliteratur bestätigte sich diese als Fibonacci-Spirale.

Die Punkte bis hin zur „Analogie und Abstraktion“ des VDI-Vorgehensmodelles wurde bereits im Kapitel „Prinzip aus der belebten Natur - Die Fibonacci-Spirale“ bzw. im Kapitel „Analogiegegenüberstellung“ abgehandelt. So bleiben nur mehr die Punkte „Projekt- und Versuchsplanung“ sowie die „Experimente und Berechnungen“. Hinsichtlich der „Projekt- und Versuchsplanung“ sollten drei Industriebetrieben bezüglich der potentiellen Verbesserungen durch ein neues Fabriklayout analysiert werden. Dabei muss der Ist-Zustand der Materialflüsse

der Fabriken, die aufgrund vorhergegangener Projekte zahlenwertmäßig bekannt sind, in ein Modell überführt werden. Aus diesem abstrahierten Abbild der betrieblichen Materialflüsse wird die Ist-Transportintensität, als Referenzwert für die bionischen Layouts ermittelt. Anschließend sind bionisch inspirierte Layouts der Unternehmen zu konstruieren, die im Rahmen der „Experiment und Berechnungsebene“ mit den Referenzwerten verglichen werden. Daraus soll ein Ideallayout entstehen und bewertet werden.

Die „Experimente bzw. Berechnungen“ werden für jedes untersuchte Unternehmen explizit durchgeführt. Hierfür wird die, im nachfolgenden Kapitel behandeltet, Materialflussberechnungs-Software eingesetzt.

4.2 Materialflussberechnungs-Software

Im Rahmen der Materialflussberechnung wird ein Modell der Fabrik auf Bereichsebenen in Microsoft Visio aufgebaut. Die drei wesentlichen Eingangsgrößen des Modelles sind die Stationen (Bereiche), die Transportmengen sowie die Quellen- und Senken. Die Definition der Eingangsdaten in Microsoft Visio erfolgt durch ein verknüpftes Excel-Dokument. In diesem Excel-Dokument sind die Eingangsdaten, die in mehreren Mappen strukturiert sind, hinterlegt. So werden darin die Stationen des Materialflusses durch eine Identifikationsnummer, einem Eigennamen, ihren räumlichen Abmessungen, dem daraus resultierenden Flächenbedarf und einer Möglichkeit zur Aktiv- bzw. Passivschaltung definiert. Die zumeist quadratische Form der Stationen wird im bionischen Layout, Prinzip bedingt nicht beibehalten, sehr wohl aber deren räumliche Ausdehnung. Die Möglichkeit Station passiv zu schalten ist von Bedeutung um beispielsweise mehrere Lagerhallen zu einer zusammen zu fassen.

Tabelle 4-2: Aufbau der Stationen des Materialflusses

| ID-Stationen | Station | Breite [m] | Höhe [m] | Fläche [m2] | 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 |

Die Transportmengen sowie die Quellen und Senken werden einmal in Form von Sankey-Pfeilen und von Transportwegen definiert. Start- bzw. Endpunkt der Pfeile bilden die Flächenschwerpunkte der Stationen, bei Freiformflächen müssen diese approximativ gesetzt werden. Die Sankey-Pfeile stellen im Modell die Intensität des Materialflusses durch ihre jeweilige Pfeilbreite und Farbe, in Relation ihres prozentualen Anteils am größten Einzelmaterialefluss, dar. Dabei verlaufen sie direkt von Quelle zu Senke, ohne Rücksicht auf den Transportweg. Die Transportwege sind ebenfalls farblich nach prozentualer Größe der beförderten Transporteinheiten gekennzeichnet. Anders als die Sankey-Pfeile folgen sie den, zum Materialtransport vorgesehenen Wegen des Fabriklayouts. Die aus dem Verlauf der Transportwege resultierenden Distanzen bilden die Grundlage für die Berechnung der Transportintensität, die als Benchmark-Wert dient.

Tabelle 4-3: Eingangsgrößen der Transporte (exemplarischer Ausschnitt)

| 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 |
| T18 | 8-Siebdruckerei | 15-Trockenkammer | 361 | 34 | 7;30 |
| T19 | 8-Siebdruckerei | 10-GFM, Stanzerei | 302 | 34 | 7;31 |
| T20 | 8-Siebdruckerei | 13-Kaschiererei | 182 | 34 | 7;32 |
| T21 | 15-Trockenkammer | 7-Sublimation | 270 | 34 | 7;33 |
| T22 | 15-Trockenkammer | 9-Beschichtung, Siebela | 298 | 34 | 7;34 |

Nach der Definition der Eingangsgrößen erfolgen in Visio zuerst die Verknüpfung mit dem Eingangsgrößen-Excel-Dokument und anschließend die Vernetzung mit den Formen, die Stationen darstellen, und der Pfeile, mit den jeweiligen Daten. Anschließend werden die funktionellen Bezüge hergestellt, sprich die Sankey- und Transportpfeile werden mit den Stationen verbunden.

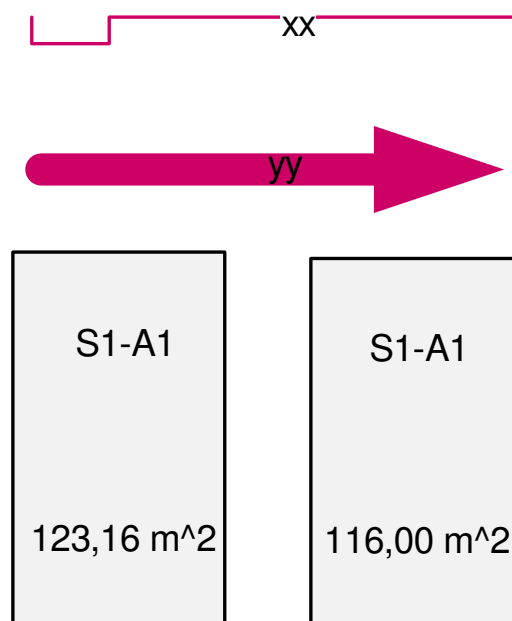


Abbildung 4-2: Einfügen der Elemente in Visio

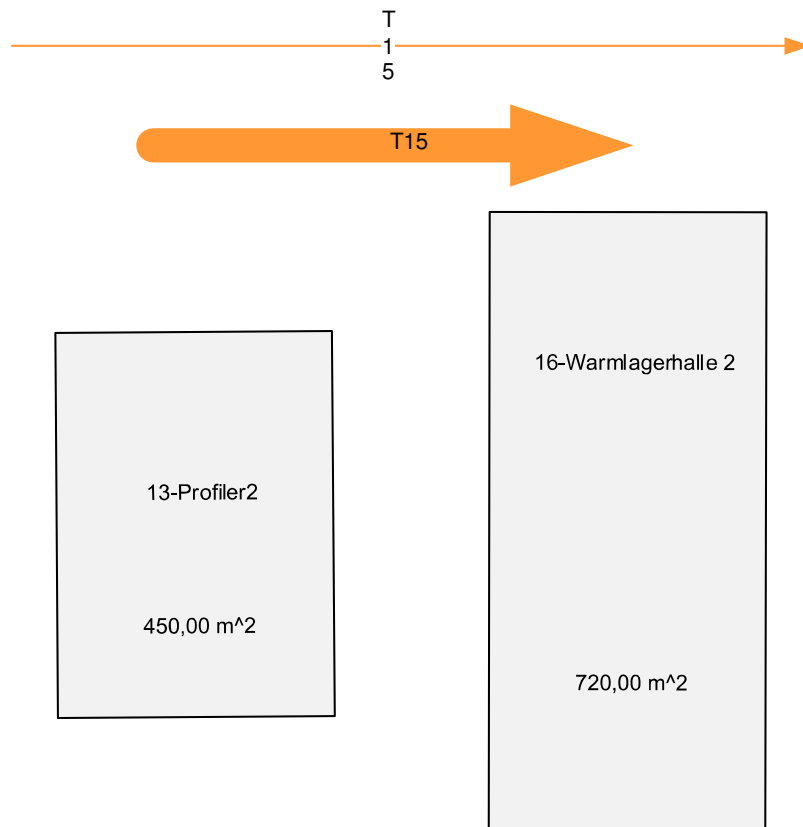


Abbildung 4-3: Verknüpfung der Eingangsdaten mit den Elementen

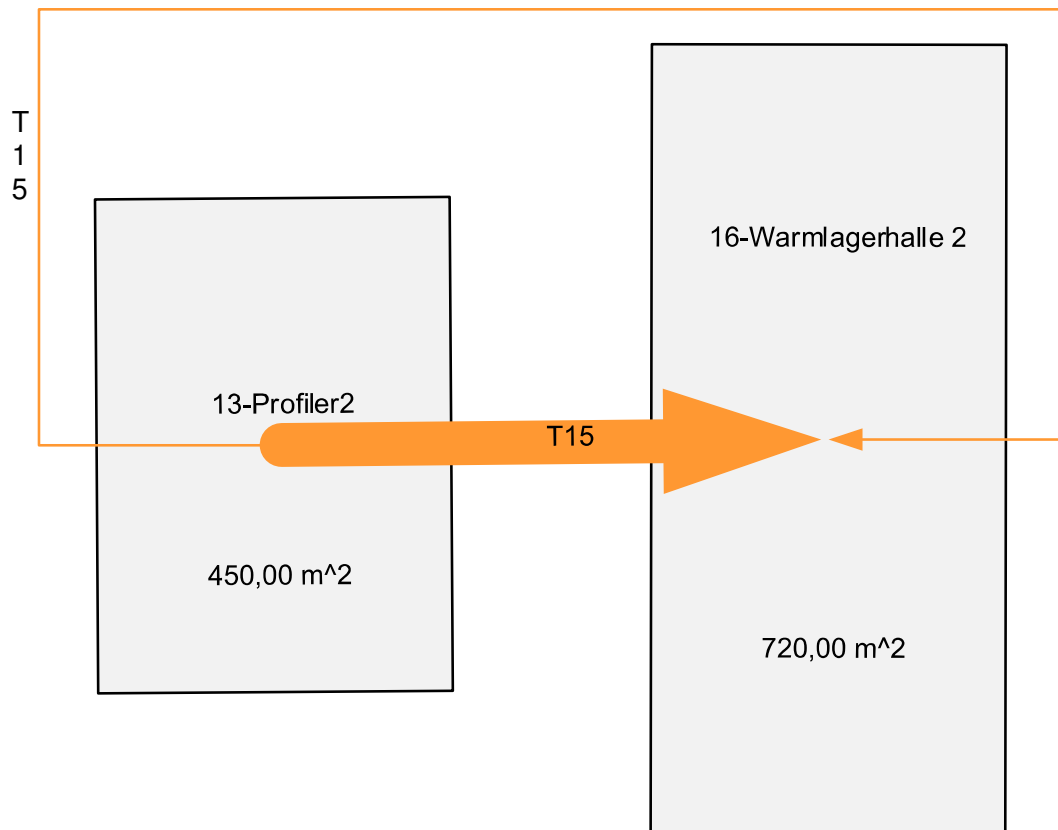


Abbildung 4-4: Anordnung der Elemente nach ihrem funktionellen Zusammenhang

Nach diesem Vorgehensmuster wird das Fabriklayout entsprechend des Grundrisses aufgebaut.

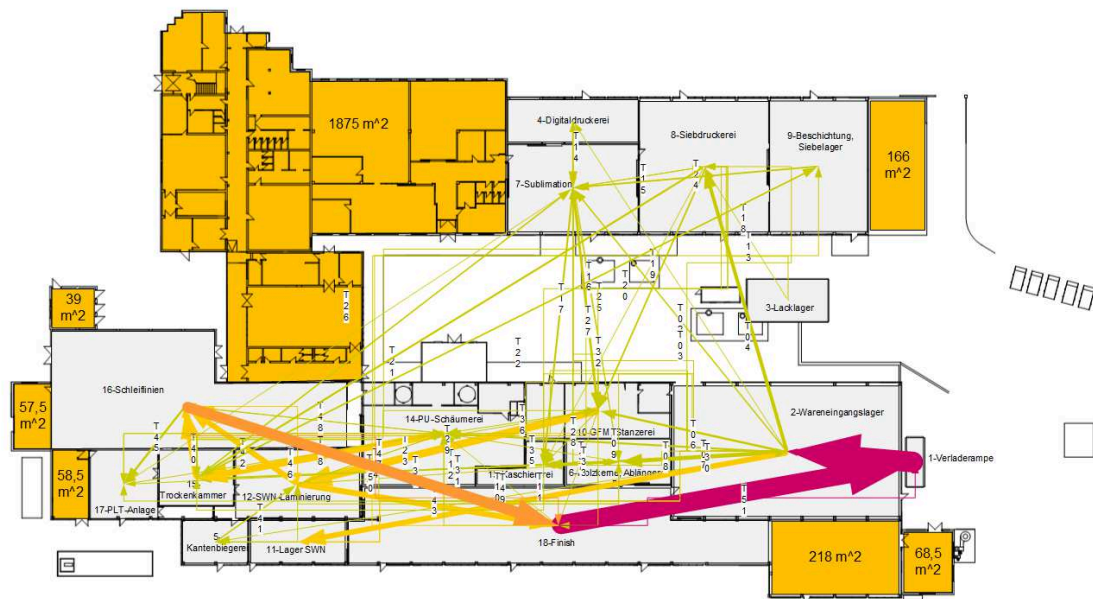


Abbildung 4-5 Ist-Zustand des dritten betrachteten Unternehmens

Wie in Abbildung 4-5 ersichtlich wird, ist die Zuweisung von Layer nach Type und Menge unbedingt notwendig, da sonst der Überblick zwangsläufig verloren geht.

Die Sankey-Pfeile dienen der Veranschaulichung der Materialströme, sind aber keine Ausgangsgrößen des Modells. Sie werden bei der Erstellung der bionischen Layouts eine wichtige Rolle für die Positionierung der Stationen spielen. Die Ausgangsgröße des Modells bilden die Transportwege, aus ihnen wird die Distanzmatrix aufgebaut. Die Transportmatrix kann bereits aus den Eingangsgrößen erstellt werden. Nach Import der Transportdistanzen in die Excel-Datei wird daraus die Distanzmatrix aufgebaut und mit der Transportmatrix multipliziert. Daraus ergibt sich die Transportintensitätsmatrix, deren Summe (rot in Abbildung 4-6 markiert) als Vergleichswert für die Qualität der betrachteten Layouts herangezogen wird.

| | 1-Verladerampe | 2-Wareneingangslag | 3-Lacklager | 4-Digitaldruckerei | 5-Kantenbiegerei | 6-Holzkerne, Abläng | 7-Sublimation | 8-Siebdruckerei | 9-Beschichtung, Sie | 10-GFM, Stanzerei | 12-SWN-Laminierur | 13-Kaschiererei | 14-PU-Schäumerei | 15-Trockenkammer | 16-Schleiflinien | 17-PLT-Anlage | 18-Finish | Summe | |
|----------------------------|----------------|--------------------|-------------|--------------------|------------------|---------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|---------------|-----------|-------|---------|
| 1-Verladerampe | 0 | 76351,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76351,7 |
| 2-Wareneingangslager | 0 | 0 | 0 | 7504,2 | 21524,4 | 50628,5 | 18136,2 | 58176,5 | 0 | 19319 | 109508 | 3050,51 | 26706,8 | 0 | 0 | 3244,23 | 0 | 0 | 317798 |
| 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 | 3269,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3269,75 |
| 5-Kantenbiegerei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5477,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5477,4 |
| 6-Holzkerne, Ablängerei PU | 0 | 5934,21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 637 | 0 | 0 | 0 | 5228,75 | 5168,38 | 8765,95 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25734,3 |
| 7-Sublimation | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 784 | 0 | 1040,43 | 0 | 17048,5 | 0 | 15933 | 0 | 0 | 0 | 11437 | 0 | 0 | 46243 |
| 8-Siebdruckerei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18388,8 | 0 | 13757,4 | 0 | 47922,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80068,9 |
| 9-Beschichtung, Siebelager | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11268,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11268,4 |
| 10-GFM, Stanzerei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2164,29 | 0 | 0 | 0 | 82311,6 | 554,677 | 4464 | 0 | 0 | 0 | 1113,43 | 0 | 90608 |
| 12-SWN-Laminierung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 593,751 | 0 | 29712,6 | 0 | 0 | 43195 | 0 | 73501,4 |
| 13-Kaschiererei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20490,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20490,8 |
| 14-PU-Schäumerei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 57573,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 57573,6 |
| 15-Trockenkammer | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13710,8 | 27585,9 | 0 | 42649,8 | 14156,4 | 0 | 0 | 0 | 14288,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 112392 |
| 16-Schleiflinien | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 837,825 | 0 | 0 | 6283,69 | 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 | 7055,6 |
| 18-Finish | 225575 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2026,88 | 0 | 85541,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 313143 |
| Summe | 225575 | 82286 | 0 | 7504,2 | 21524,4 | 65123,4 | 63061,6 | 64220,9 | 42649,8 | 68912,8 | 202525 | 38463,9 | 50450,8 | 125987 | 129543 | 20964,9 | 195912 | 0 | 1404705 |

Abbildung 4-6: Transportintensitätsmatrix

In den folgenden Kapitel werden, die aus der Fibonacci-Folge abgeleiteten, einfach- und doppelspiraligen Layoutvarianten auf den Materialfluss von drei Produktionsbetrieben angewendet und mittels, der in diesem Kapitel vorgestellten, Materialfluss-Software bewertet.

4.3 Untersuchung des Unternehmen 1

Das erste betrachtete Unternehmen stellt ein Produkt in zwei verschiedenen Ausführungen her. Es liegt ein weitgehend gerichtet Materialfluss vor, es besteht nur ein geringes Optimierungspotential hinsichtlich der Materialrückflüsse. Die Transportwege sind sehr lang. Dies ist den vielen Erweiterungen der Produktions- bzw. Lagerkapazitäten geschuldet, sowie dem aus dem ausgehenden 19. Jahrhundert stammenden Fabriklayout. In diesem findet modernes Flurförderzeug ebenso wenig Berücksichtigung, wie den LKW als hauptsächlicher Abnehmer des Warenausgangs. Es wird aktuell kaum mehr Ware mittels Eisenbahn transportiert, die Transportwege befinden sich allerdings immer noch auf der, der Schiene zugewandten Seite. Dadurch ist eine Erweiterung des sehr schmalen Transportweges nicht möglich.

4.3.1 Referenzzustand Unternehmen 1

In den folgenden Abbildungen ist der Ist-Zustand der Fabrik einmal mit den, die Transportmenge repräsentierenden, Sankey-Pfeilen und einmal mit den Transportwegen dargestellt. Der Grundriss wurde aufgrund der schmalen und langen Bauform in zwei Teile gegliedert.

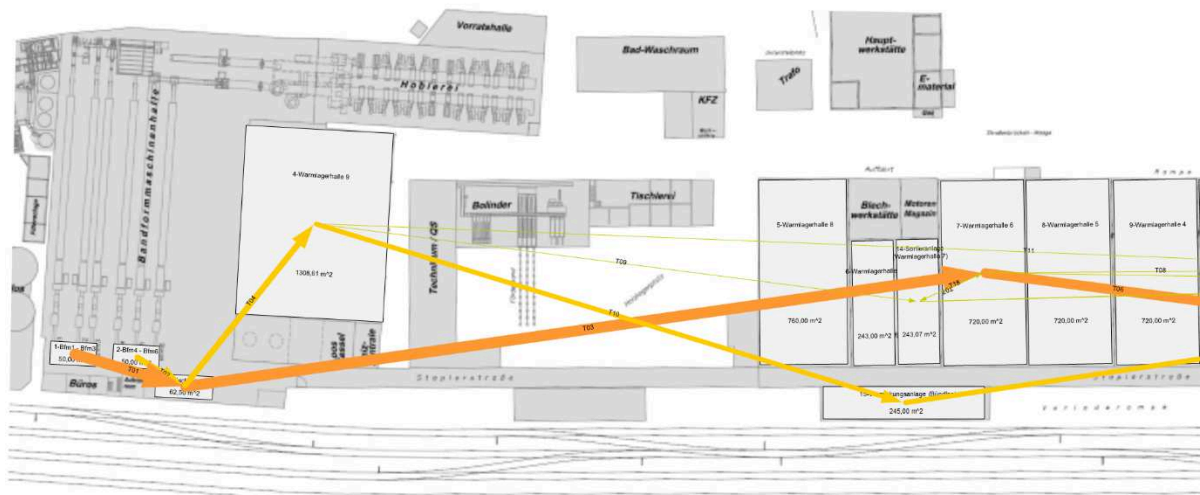


Abbildung 4-7: Grundriss Unternehmen 1 mit Sankey-Pfeilen, Teil 1



Abbildung 4-8: Grundriss Unternehmen 1 mit Sankey-Pfeilen, Teil 2

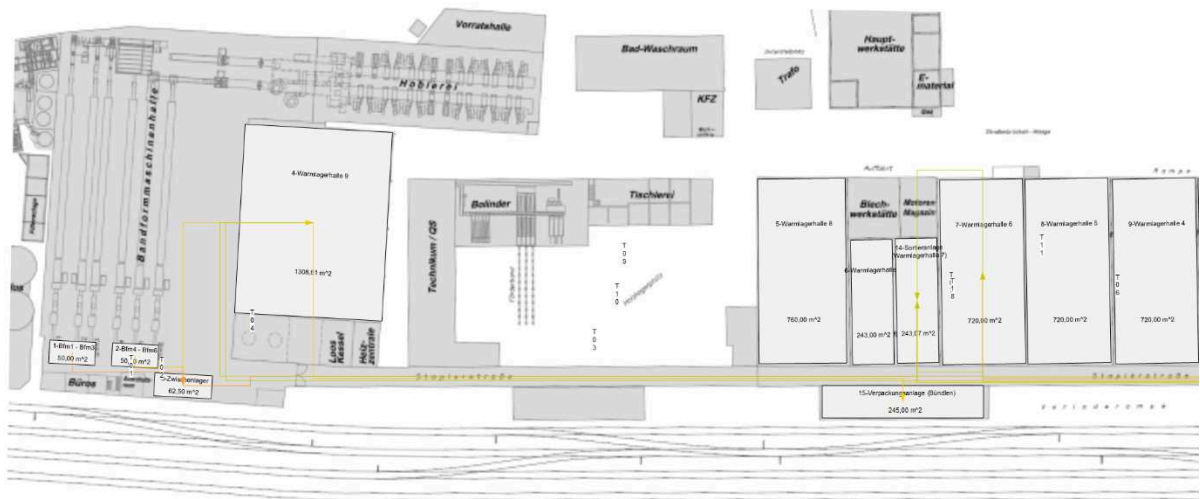


Abbildung 4-9: Grundriss Unternehmen 1 mit Transportwegen, Teil 1

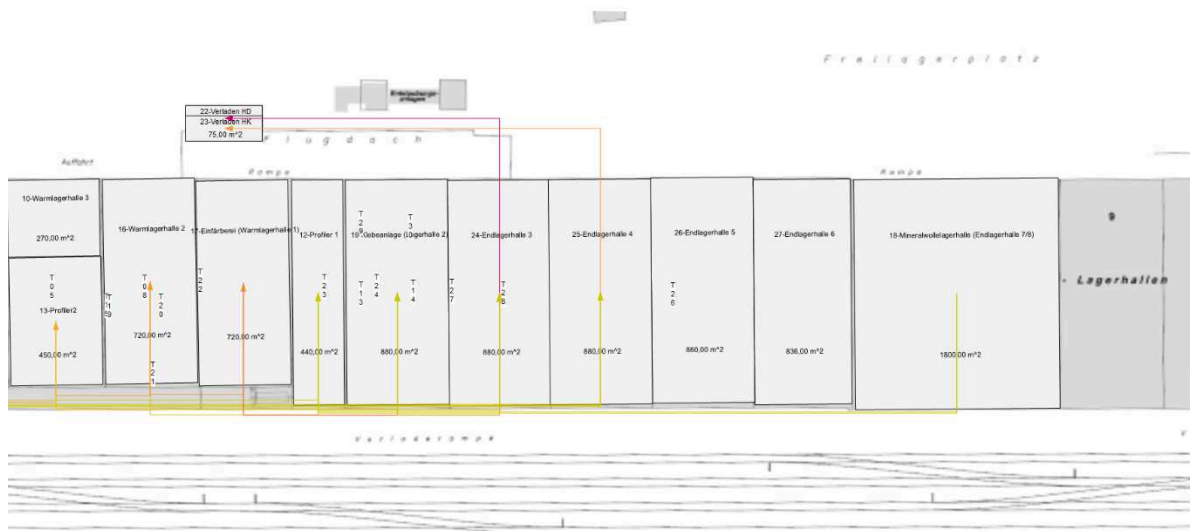


Abbildung 4-10: Grundriss Unternehmen 1 mit Transportwegen, Teil 2

Das Referenzmodell des ersten Unternehmens stand bereits zur Verfügung. Dabei wurden bereits Schwerpunkte des Materialflusses im Bereich der Lagerhallen gelegt. Wie in Abbildung 4-8 ersichtlich ist, findet eine Konzentration des Materialflusses in Endlagerhalle 3 und 4 statt. Auf diesen bereits vorhandenen Erkenntnissen wird auch in der folgenden Entwicklung der bionischen Layouts aufgebaut. Durch die schmale Bauweise und die ungünstige Positionierung der Werkstätten, die nicht direkt materialflussbeteiligt sind ergeben sich lange Transportwege, die sich hauptsächlich auf eine Straße konzentrieren. Dadurch ergibt sich eine sehr hohe Transportintensität (3.1.3.3 Transportintensitätsmatrix) von 26.905.861,49 Transporteinheiten (Tabelle 4-4) mal Meter [TE·m].

Tabelle 4-4: Transportintensität, Ist-Zustand Unternehmen 1

| | 1-Bfm1 - Bfm3 | 2-Bfm4 - Bfm6 | 3-Zwischenlager | 4-Warmagerhalle 9 | 11-Warmagerhalle | 12-Profiler1 | 13-Profiler2 | 14-Sortieranlage (W) | 15-Verpackungsanl | 16-Warmagerhalle | 17-Einfärberei (Wär) | 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-Warmagerhalle 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150208 | 1471196 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 585749 | 0 | 0 | 2207153,27 |
| 11-Warmagerhalle 3-9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 230597 | 1715220 | 25993,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86774 | 0 | 0 | 0 | 2058584,88 |
| 12-Profiler1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 115700 | 0 | 0 | 6274 | 77789,2 | 0 | 0 | 0 | 199763,64 |
| 13-Profiler2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1041233 | 0 | 0 | 24232,3 | 3650222 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4715687,785 |
| 14-Sortieranlage (Warmagerhalle 7) | 0 | 0 | 0 | 0 | 11602,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 125171 | 73403,5 | 0 | 0 | 0 | 210177,5 |
| 15-Verpackungsanlage (Bündeln) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1935445 | 0 | 0 | 0 | 1935445,16 |
| 16-Warmagerhalle 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1258431 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1258430,56 |
| 17-Einfärberei (Warmagerhalle 1) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29258 | 2583578 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2612835,96 |
| 18-Mineralwollelagerhalle (Endlagerhalle 7/8) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28420,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 384563 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 412983,87 |
| 19-Klebeanlage (Lagerhalle 2) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 132451 | 394323 | 0 | 0 | 0 | 526774,6 |
| 20-Endlagerhalle HD (Endlagerhallen 3,5,6) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3306288 | 0 | 3306288,4 |
| 21-Endlagerhalle HK (Endlagerhallen 4) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1924608 | 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 | 176202 | 1471196 | 1156934 | 1258431 | 0 | 444327 | 6655986 | 2988921 | 3306288 | 1924608 | 26905861,49 |

4.3.2 Bionisch inspirierte Layouts Unternehmen 1

Im Rahmen der Layoutentwicklung wurde der Materialfluss nach dem Kreisverfahren und der VDI-Richtlinie 2498 untersucht. Diese Anordnungsverfahren wurden ausgewählt, da sich die resultierende Stationen-Reihenfolge gut in eine sich öffnende geometrische Form, wie jener der Fibonacci-Spirale, übertragen lässt. Bei anderen Anordnungsverfahren ergibt sich eine Clusterbildung von transportintensiven Stationen, die dem Transportwegkonzept des spiralförmigen Layouts widersprechen. Entsprechend den Ergebnissen wurden die Stationen, in einem spiralförmigen bzw. doppelspiralförmigen Layout, in mehreren Iterationsschritten angeordnet. Die im Folgenden behandelten Layouts repräsentieren die Performantesten der jeweiligen Kategorie. Die vielen weniger erfolgreichen, im Rahmen der Iterationsschritte erstellten Layouts werden hier nicht erläutert, befinden sich jedoch im Anhang. Die Flächenschwerpunkte der Freiformflächen, im bionisch inspirierten Layout wurden approximativ gesetzt, da die eingesetzte Software keine Möglichkeit einer exakten Bestimmung bietet. Im nachfolgenden wird zuerst ein Layout mit einer Stationen-Anordnung nach VDI 2498 behandelt, anschließend mehrere Layoutvarianten mit einer Anordnung nach Vorbild des Kreisverfahrens.

4.3.2.1 Layout mit Anordnung der Stationen nach VDI 2498

Ausgehend von der Transportmatrix des Ist-Zustandes wurde, entsprechend der VDI-Richtlinie, eine Matrizenoptimierung vorgenommen.

Tabelle 4-5: Transportmatrix des Ausgangszustandes

| | 1-Bfm1 - Bfm3 | 2-Bfm4 - Bfm6 | 3-Zwischenlager | 4-Warmagerhalle 9 | 11-Warmagerhalle | 12-Profilier 1 | 13-Profilier 2 | 14-Sortieranlage (W) | 15-Verpackungsanl | 16-Warmagerhalle | 17-Einfärberei (War | 18-Mineralwolllag | 19-Klebeanlage (Lag | 20-Endlagerhalle HE | 21-Endlagerhalle HK | 22-Verladen HD | 23-Verladen HK | Summe |
|---|---------------|---------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|----------------------|-------------------|------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|-------|
| 1-Bfm1 - Bfm3 | | | 20293 | | | | | | | | | | | | | | | 20293 |
| 2-Bfm4 - Bfm6 | | | 10962 | | | | | | | | | | | | | | | 10962 |
| 3-Zwischenlager | | | | 10962 | 20293 | | | | | | | | | | | | | 31255 |
| 4-Warmagerhalle 9 | | | | | | | | 679 | 8827 | | | | | | 1456 | | | 10962 |
| 11-Warmagerhalle 3-9 | | | | | | 1523 | 18000 | 403 | | | | | | 459 | | | | 20385 |
| 12-Profilier 1 | | | | | | | | | | 1396 | | | 100 | 954 | | | | 2450 |
| 13-Profilier 2 | | | | | | | | | | 18822 | | | 227 | 9700 | | | | 28749 |
| 14-Sortieranlage (Warmagerhalle 7) | | | | | 226 | | | | | | | | | 635 | 338 | | | 1199 |
| 15-Verpackungsanlage (Bündeln) | | | | | | | | | | | | | | | 9364 | | | 9364 |
| 16-Warmagerhalle 2 | | | | | | | | | | | 20219 | | | | | | | 20219 |
| 17-Einfärberei (Warmagerhalle 1) | | | | | | | | | | | | | 366 | 25872 | | | | 26238 |
| 18-Mineralwollagerhalle (Endlagerhalle 7/8) | | | | | | 166 | | | | | | | 2459 | | | | | 2625 |
| 19-Klebeanlage (Lagerhalle 2) | | | | | | | | | | | | | | 3013 | 4696 | | | 7709 |
| 20-Endlagerhalle HD (Endlagerhallen 3,5,6) | | | | | | | | | | | | | | | | 37580 | | 37580 |
| 21-Endlagerhalle HK (Endlagerhallen 4) | | | | | | | | | | | | | | | | | 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 | |
| | #DIV/0! | #DIV/0! | 1 | 1 | 0,99347 | 1,45056 | 1,59717 | 1,10813 | 1,06084 | 1,00005 | 1,29769 | #DIV/0! | 2,44575 | 0,92486 | 1,15056 | 0 | 0 | |

Dies führt zu folgender optimierten Transportmatrix:

Tabelle 4-6: nach VDI 2498 optimierte Matrix

| | 1-Bfm1 - Bfm3 | 2-Bfm4 - Bfm6 | 18-Mineralwollelag | 3-Zwischenlager | 4-Warmlagerhalle 9 | 15-Verpackungsanl. | 11-Warmlagerhalle | 13-Profiler2 | 12-Profiler 1 | 14-Sortieranlage (W) | 16-Warmlagerhalle | 17-Einfärberei (War | 19-Klebeanlage (Lag | 20-Endlagerhalle HF | 21-Endlagerhalle HK | 22-Verladen HD | 23-Verladen HK | Summe |
|---|---------------|---------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------|---------------|----------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|-------|
| 1-Bfm1 - Bfm3 | | | | 20293 | | | | | | | | | | | | | | 20293 |
| 2-Bfm4 - Bfm6 | | | | 10962 | | | | | | | | | | | | | | 10962 |
| 18-Mineralwollelagerhalle (Endlagerhalle 7/8) | | | | | | | | | 166 | | | | 2459 | | | | | 2625 |
| 3-Zwischenlager | | | | | 10962 | | 20293 | | | | | | | | | | | 31255 |
| 4-Warmlagerhalle 9 | | | | | | 8827 | | | | 679 | | | | | 1456 | | | 10962 |
| 15-Verpackungsanlage (Bündeln) | | | | | | | | | | | | | | | 9364 | | | 9364 |
| 11-Warmlagerhalle 3-9 | | | | | | | | 18000 | 1523 | 403 | | | | | 459 | | | 20385 |
| 13-Profiler2 | | | | | | | | | | | 18822 | | 227 | 9700 | | | | 28749 |
| 12-Profiler 1 | | | | | | | | | | | 1396 | | 100 | 954 | | | | 2450 |
| 14-Sortieranlage (Warmlagerhalle 7) | | | | | | | 226 | | | | | | | 635 | 338 | | | 1199 |
| 16-Warmlagerhalle 2 | | | | | | | | | | | | 20219 | | | | | | 20219 |
| 17-Einfärberei (Warmlagerhalle 1) | | | | | | | | | | | | | 366 | 25872 | | | | 26238 |
| 19-Klebeanlage (Lagerhalle 2) | | | | | | | | | | | | | | 3013 | 4696 | | | 7709 |
| 20-Endlagerhalle HD (Endlagerhallen 3,5,6) | | | | | | | | | | | | | | | | 37580 | | 37580 |
| 21-Endlagerhalle HK (Endlagerhallen 4) | | | | | | | | | | | | | | | | | 18241 | 18241 |
| 22-Verladen HD | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| 23-Verladen HK | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| Summe | 0 | 0 | 0 | 31255 | 10962 | 8827 | 20519 | 18000 | 1689 | 1082 | 20218 | 20219 | 3152 | 40633 | 15854 | 37580 | 18241 | |

Daraus resultiert nachfolgende Reihung der Stationen.

Tabelle 4-7: Reihung der Station nach VDI 2498

| Reihenfolge | Station |
|-------------|---------------------------|
| 1 | 1-Bfm1 - Bfm3 |
| 2 | 2-Bfm4 - Bfm6 |
| 3 | 18-Mineralwollelagerhalle |
| 4 | 3-Zwischenlager |
| 5 | 4-Warmlagerhalle 9 |
| 6 | 15-Verpackungsanlage |
| 7 | 11-Warmlagerhalle 3-8 |
| 8 | 13-Profiler2 |
| 9 | 12-Profiler 1 |

| Reihenfolge | Station |
|-------------|---------------------|
| 10 | 14-Sortieranlage |
| 11 | 16-Warmlagerhalle 2 |
| 12 | 17-Einfärberei |
| 13 | 19-Klebeanlage |
| 14 | 20-Endlagerhalle HD |
| 15 | 21-Endlagerhalle HK |
| 16 | 22-Verladen HD |
| 17 | 23-Verladen HK |

Im Rahmen der Optimierung reduzierten sich die Rückflüsse um 46,35% von 392 TE auf 226 TE. Im Vergleich zum gesamten Materialfluss sind die Rückflüsse in jedem Fall sehr gering. Es findet nun nur mehr ein Rückfluss von der Sortieranlage zur Warmlagerhalle 3-8 statt. Nach dieser Reihung wurde ein spiralisches Layout aufgebaut (Abbildung 4-11).



Abbildung 4-11: spirales Layout nach VDI mit Sankey-Pfeilen

Daraus resultierte eine Transportintensität von 14.357.557,91 [TEM] und dem entsprechend eine Verbesserung zum Referenzlayout von 46,64%.

Im folgenden Abschnitt werden die Stationen nach Vorbild des Kreisverfahrens in einfach- und doppelspiraligen Layoutvarianten angeordnet.

4.3.2.2 Einfachspiraliges Layout

Wie in der Abbildung des VDI-Layouts mit Sankey-Pfeilen ersichtlich ist, existieren mengenmäßig intensive Transporte mit langen Transportwegen. In den folgenden, nach dem Vorbild des Kreisverfahrens erstellten Layouts werden die Distanzen zwischen diesen Stationen optimiert. Das im Nachfolgenden abgebildete Kreisverfahrensmodell des Unternehmens bildet die Ausgangsbasis

für die bionisch inspirierten Layouts. Dabei ist zu erwähnen, dass keine visuelle Verknüpfung zwischen der Transportintensität und der Pfeilbreite in der eingesetzten Software besteht. Deshalb wurden die Stationen zuerst anhand der transportäquivalenten Sankey-Pfeile angeordnet und anschließend die Transportintensität berechnet. Diese Methode ist zwar umständlich aber leider erforderlich. Die Transportdistanz liegt in Visio nicht direkt vor, sie müssen aus den einzelnen Wegpunkten der Transportwege in Excel berechnet werden.

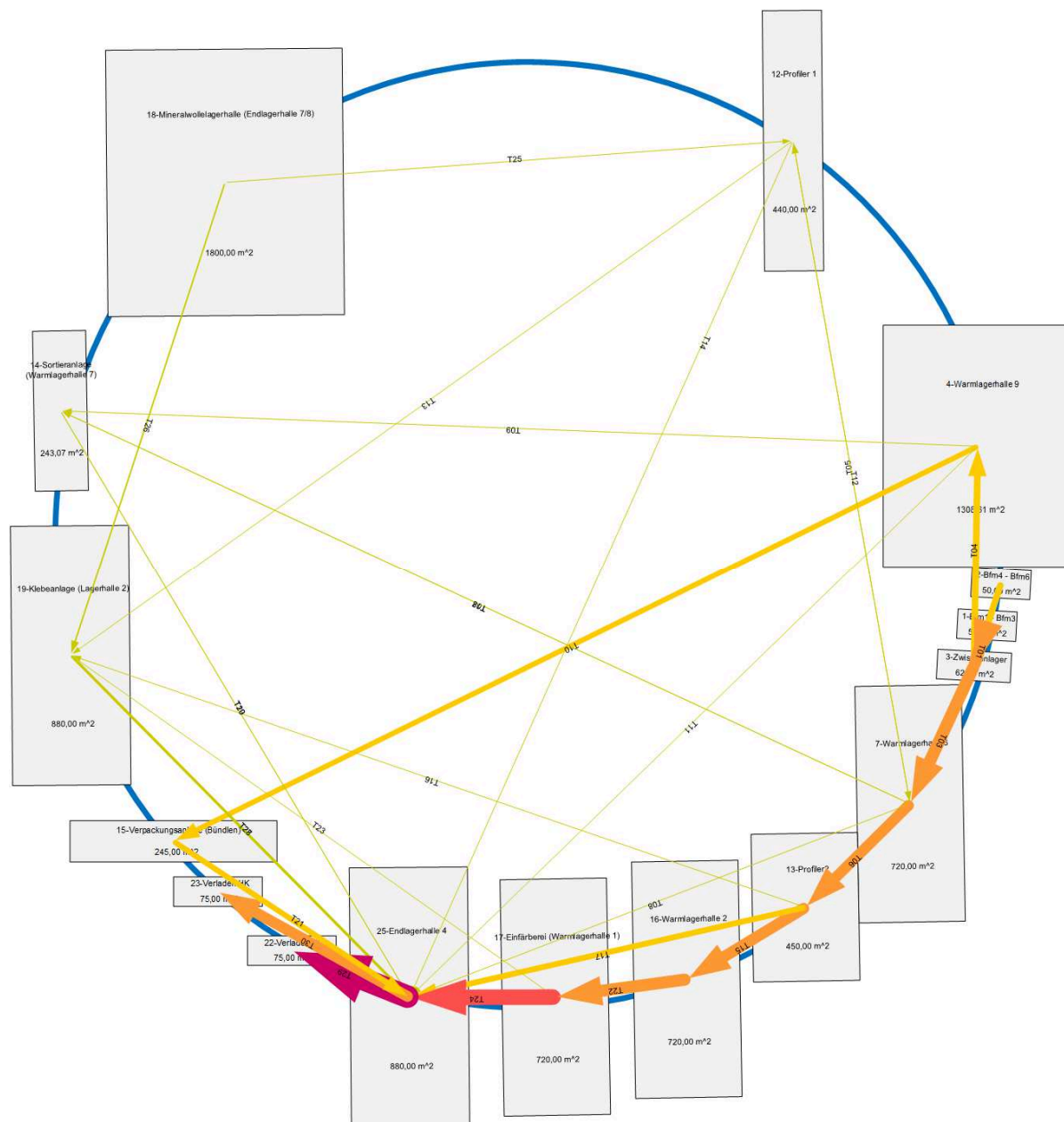


Abbildung 4-12: Kreisverfahren des Unternehmens 1

Die in Abbildung 4-12 dargestellte Anordnung besitzt nicht nur Gültigkeit für das in diesem Abschnitt behandelte einfachspiralige Layout sondern auch für die doppelspiraligen Variationen.

Das einfachspiralige Layout, nach der Fibonacci-Spirale, hat die Nautilus pompilius zum Vorbild. Dabei soll der Siphos als zentraler Transportweg verwendet werden und die Stationen ähnlich den Kammern des Gehäuses angeordnet werden.

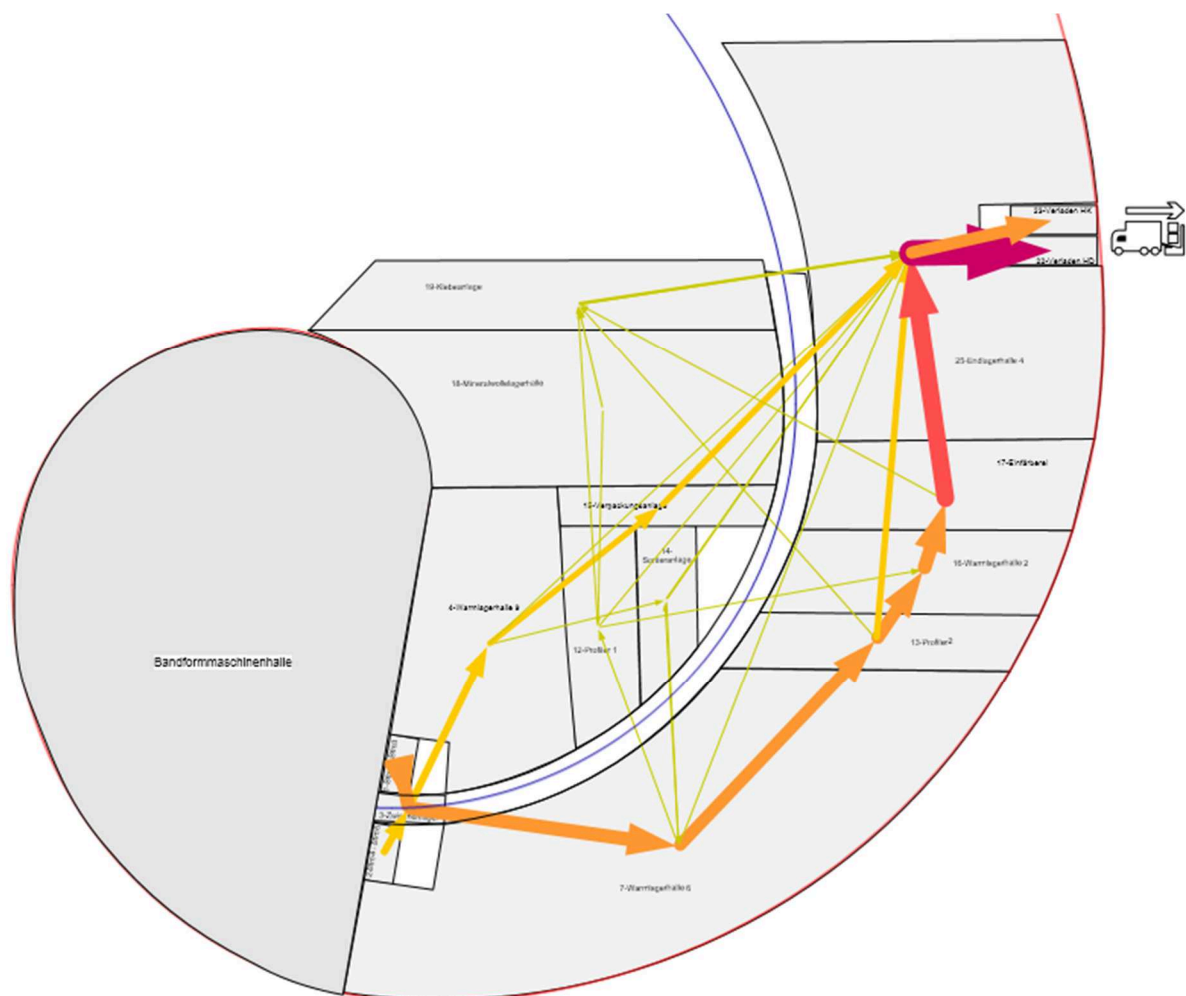


Abbildung 4-13: Transportmengen als Sankey-Pfeile im einfachen Spiralenlayout

Aus dieser Anordnung ergeben sich wie in Abbildung 4-14 dargestellte Transportwege. Beim Transport von „6-Warmalagerhalle 2“ nach „15-Verpackungsanlage“ wurde eine direkte Verbindung zwischen den Stationen vorgesehen und auf einen Umweg über den zentralen Transportweg verzichtet. Dieses Layout erreicht eine Transportintensität von 12.846.882,06 [TEM] und

damit eine Verbesserung von 52,25% zur Referenz (4.3.1 Referenzzustand Unternehmen 1).

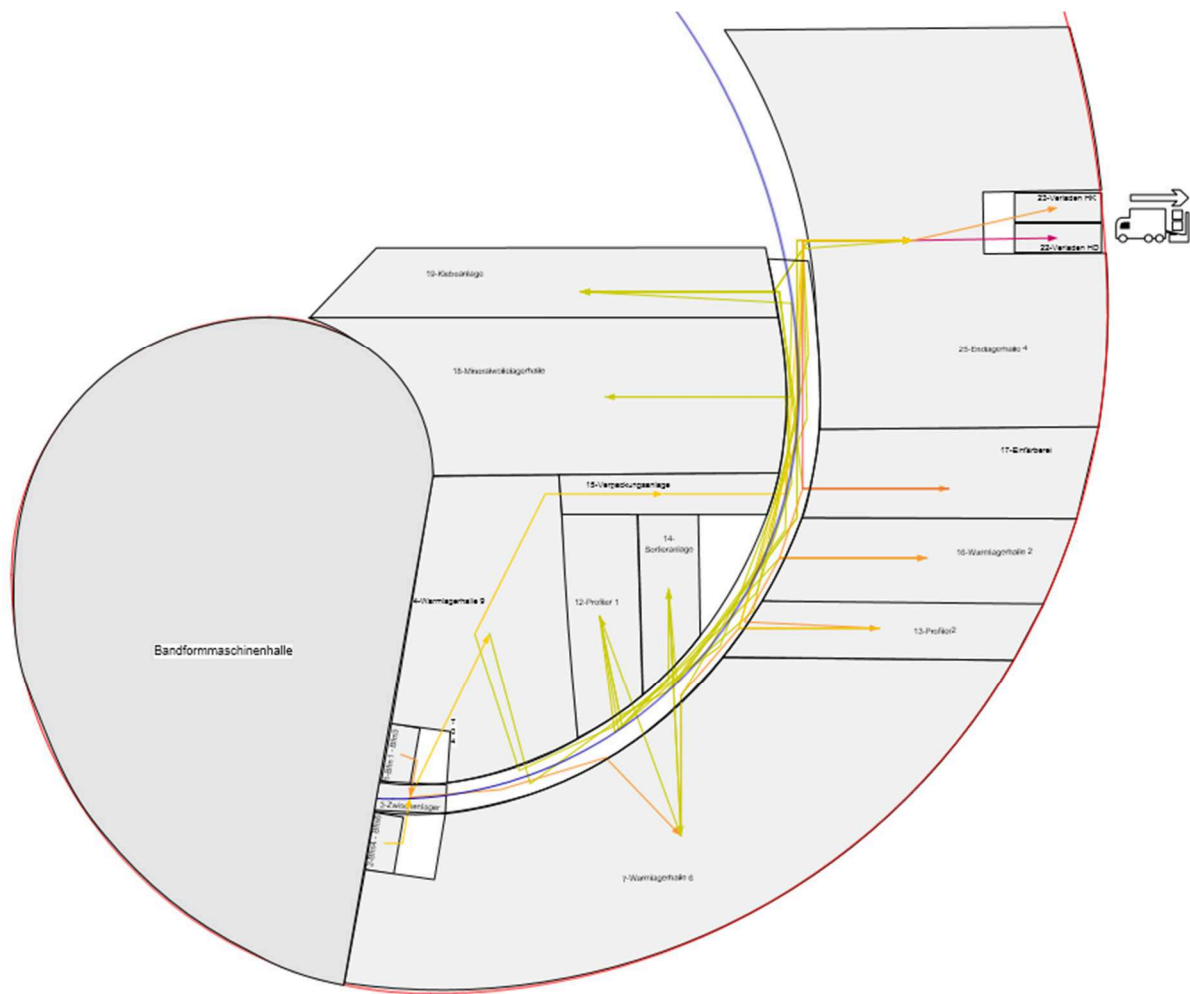


Abbildung 4-14: Transportwege im einfachen Spiralenlayout

4.3.2.3 Doppelspiraliges Layout

Bei dieser Layoutvariante stand die Sonnenblume Pate. Das Layout folgt zwei spiegelbildlich verlaufenden Fibonacci-Spiralen. Grundidee dieser Variante ist optimierte Anordnung von Stationen in denen sich der Materialfluss verzweigt. Damit sollen die Transportwege in verschiedene Richtungen minimiert werden.

Bei dieser Anordnung erfolgt die Anordnung wie beim Kreisverfahren hinsichtlich der der distanzminimalen Positionierung der Stationen. Allerdings erfolgt die Anordnung nicht tangential am Kreis, sondern im Zick-Zack-Muster zwischen den beiden Spiralen. Damit ergibt sich eine kurze Verbindung zwischen den Stationen, da der Transportweg zumeist geradlinig von einer Halle in die Andere führt.

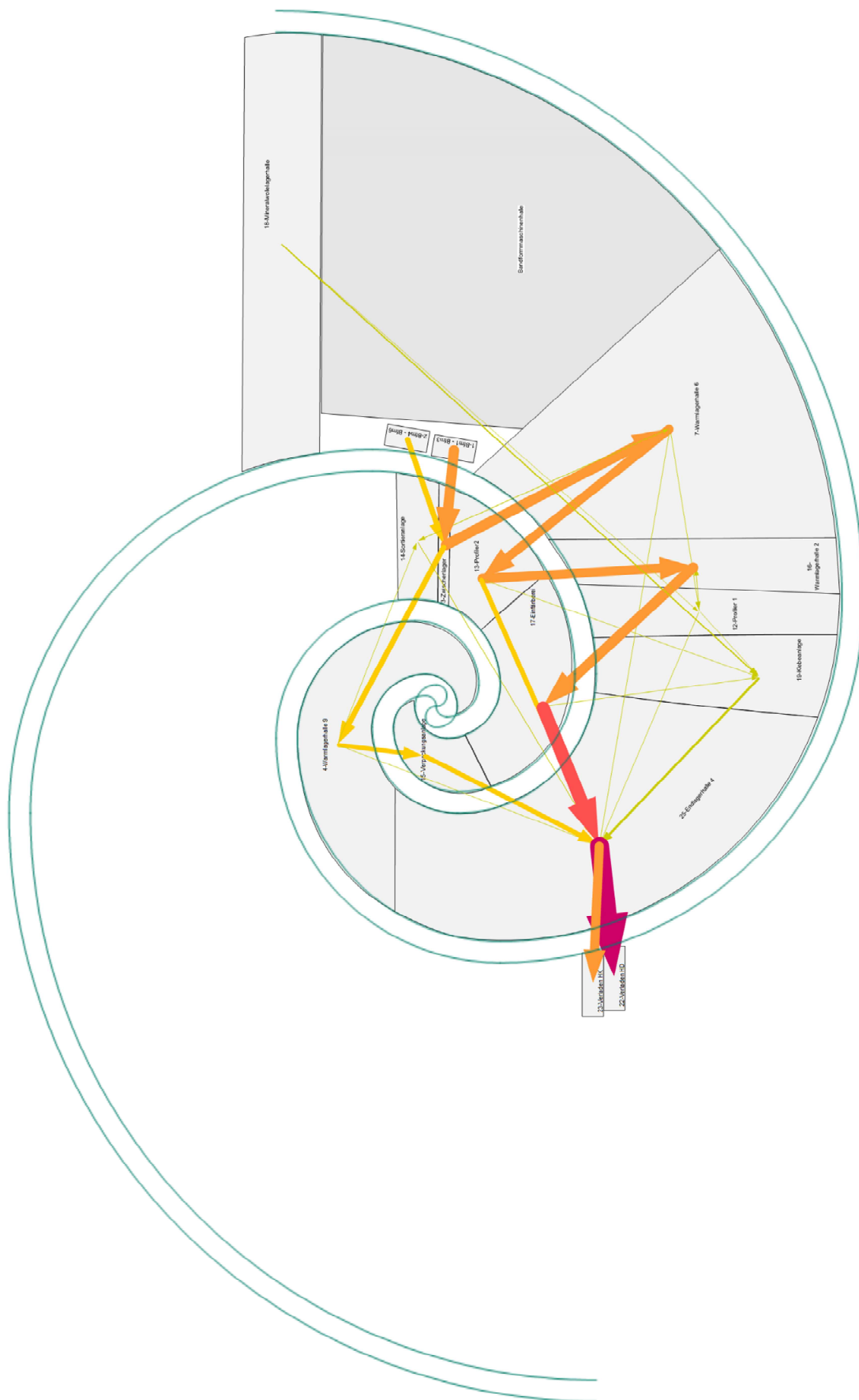


Abbildung 4-15: Transportmengen als Sankey-Pfeile im Doppelspiralenlayout

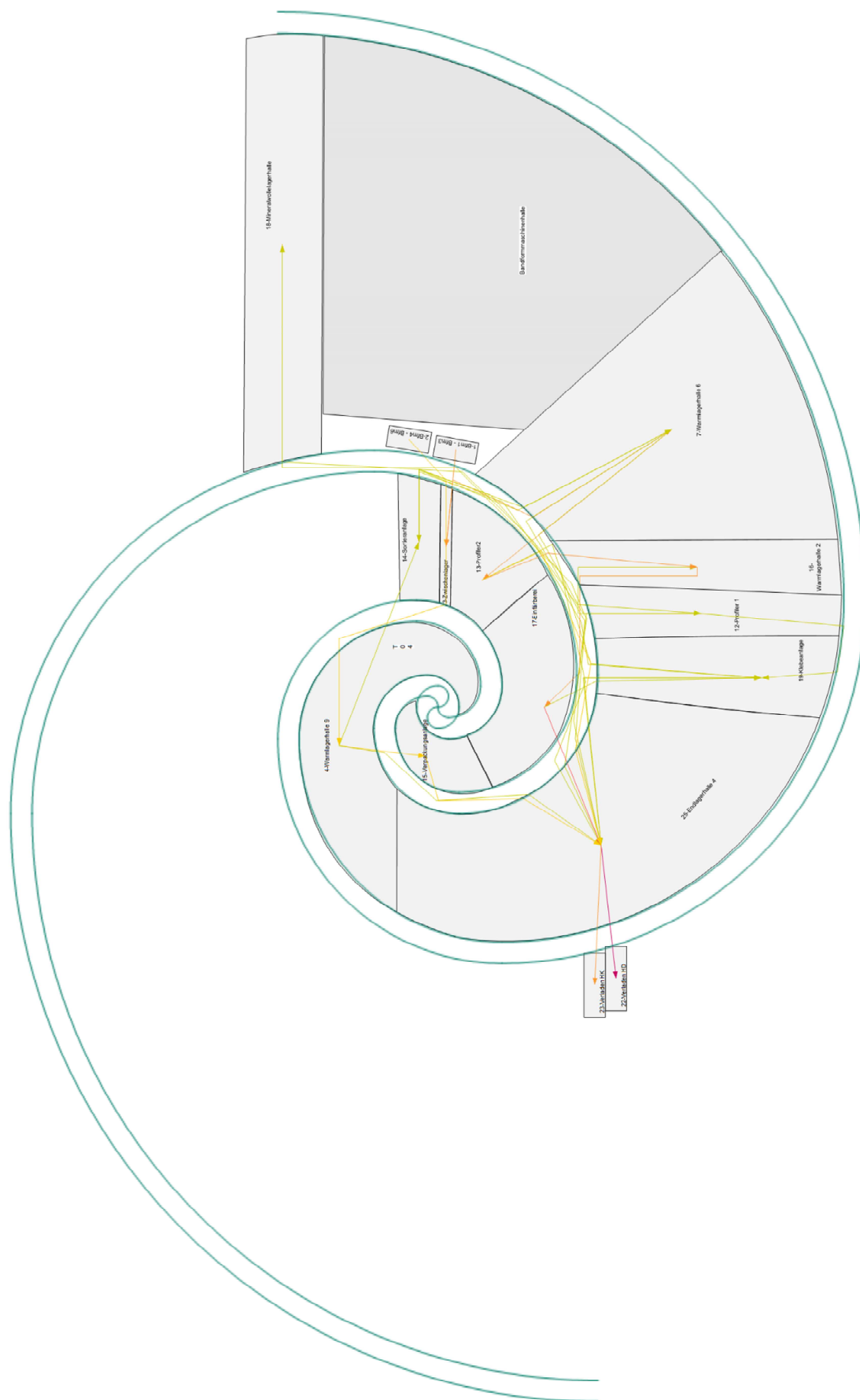


Abbildung 4-16: Transportwege im Doppelspiralenlayout

In dieser Ausführung erreicht das Layout eine Transportintensität von 12076057,40 TEm und somit eine Verbesserung von 55,12%.

4.3.2.4 Optimiertes Doppelspiralenlayout

Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse des Doppelspiralenlayout wurde der Ansatz, mit dem Ziel der besseren Ausnutzung der zweiten Spirale und Erweiterbarkeit der Lagerhallen noch einmal komplett neu aufgebaut. Dabei wurden die transportintensiven Stationen geometrisch neu geformt und noch zentraler zu dem Doppelsiphon angeordnet. Stationen mit weniger intensiven aber verzweigten Transporten, wurden im Layout absolut gesehen, zentraler positioniert. In den nachfolgenden Abbildungen wird der Aufbau des Layouts mit zunehmender Abstraktionstiefe der Transportmengen in Form von Sankey-Pfeilen dargestellt.

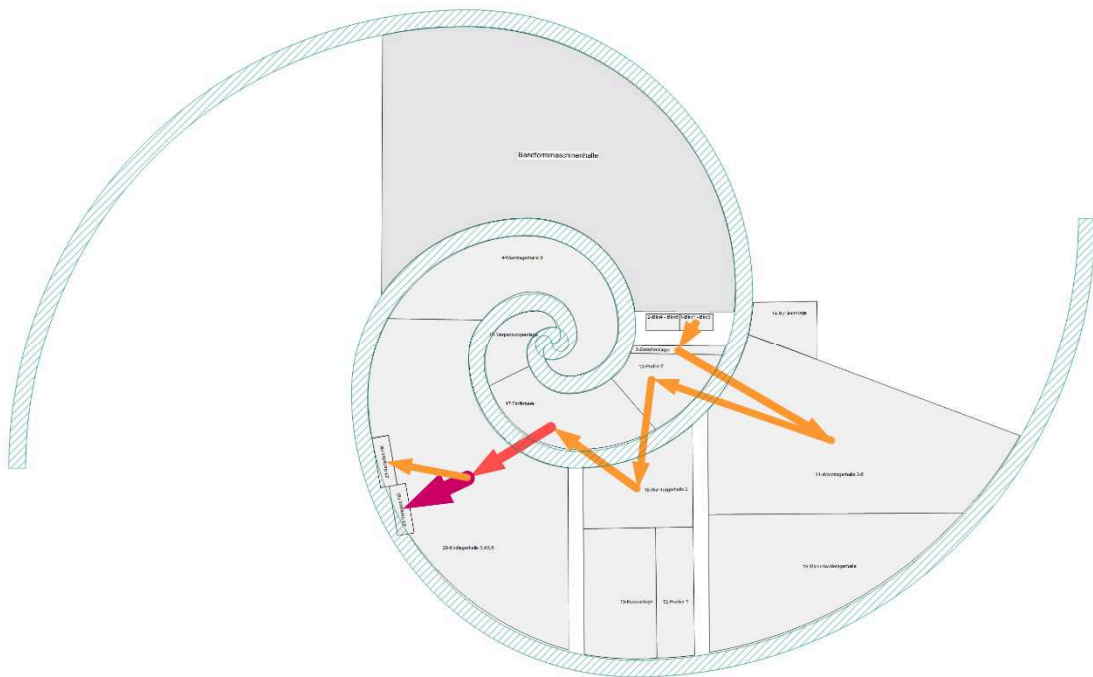


Abbildung 4-17: Transportmengen von 40%-100% des größten Transportes als Sankey-Pfeile

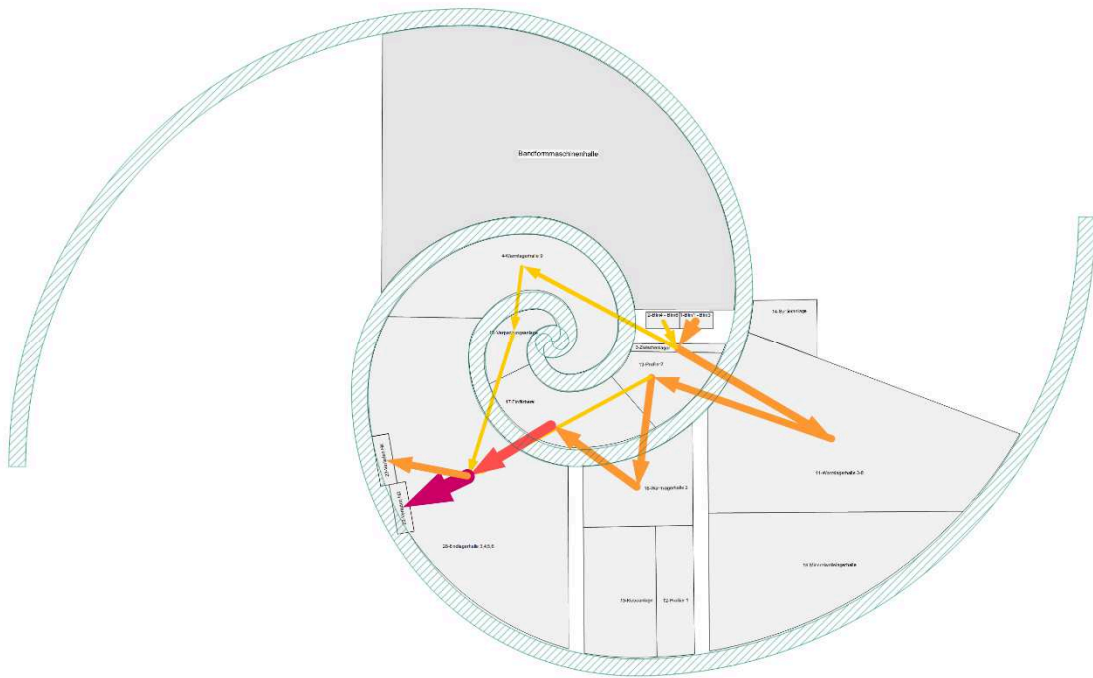


Abbildung 4-18: Transportmengen von 20%-100% des größten Transportes als Sankey-Pfeile

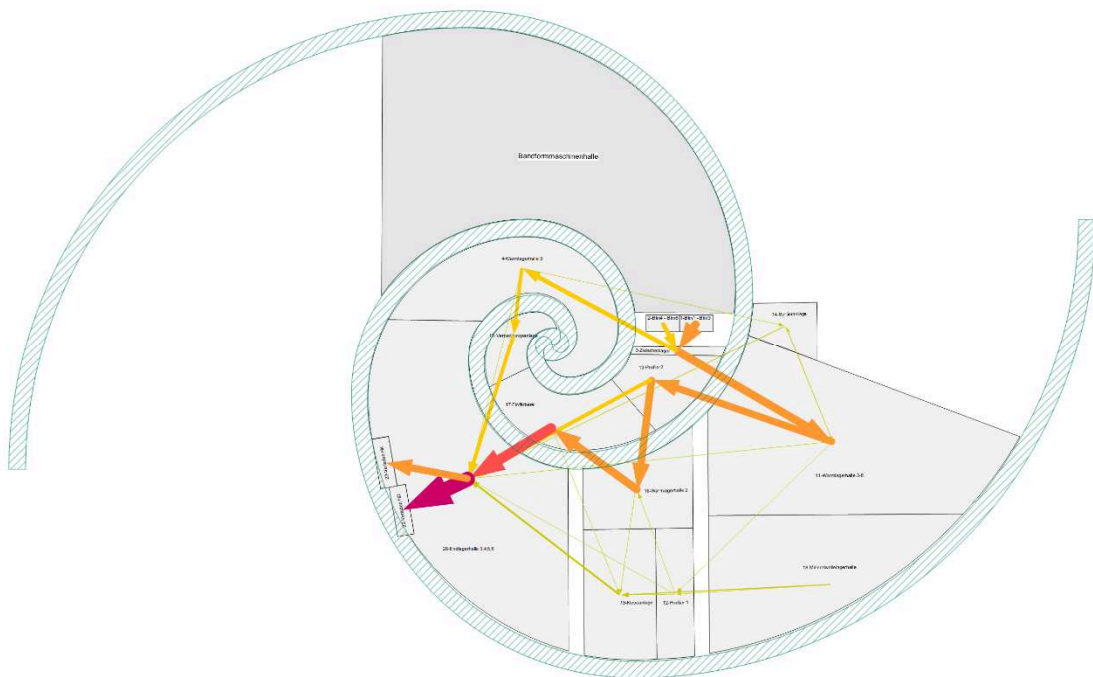


Abbildung 4-19: gesamte Transportmengen als Sankey-Pfeile

Im Layout wurde zusätzliche radiale Wege, angelehnt an die Kammerwandungen der Nautilus pompilius, vorgesehen. Diese dienen der besseren Anbindung der Stationen geringerer Transportintensität bei gleichzeitig zentralerer Lage.

Dieses Layout erreichte mit einer Transportintensität von 9.189.692,21 [TEm] und einer damit einhergehenden Reduktion von 65,85% zum Referenzzustand das beste Ergebnis.

4.4 Untersuchung des Unternehmen 2

Das zweite betrachtete Unternehmen besitzt im Vergleich zum Ersten, ein Referenzlayout neuern Baujahres. Da die der Untersuchung zugrundeliegenden Daten aus einem Projekt mit Fokus auf den Materialfluss zwischen dem Hauptlager und den Bereichen stammen, existieren im Vergleich zu den anderen betrachteten Unternehmen nur wenige Stationen. Die Produktion wird als einzelner Bereich behandelt, es erfolgt keine Zergliederung in Arbeitsstationen. Der Materialfluss ist gerichtet, es liegt nur ein Rückfluss vor.

4.4.1 Referenzzustand Unternehmen 2

Das Unternehmen wird in acht betrachtete Stationen gegliedert, diese sind in den Abbildungen grau dargestellt. Die orangen Stationen stellen Bereiche dar, über die keine Daten vorliegen. Da ein bidirektionaler Materialfluss zu einer Fabrik desselben Unternehmens im Ausland vorliegt, wurden diese Transporte als Zu- bzw. Abflüsse den Verladerampen zugeordnet.

Das Referenzmodell hat in dieser Abstraktionsstufe eine Transportintensität von 118.090,36 [TEm].

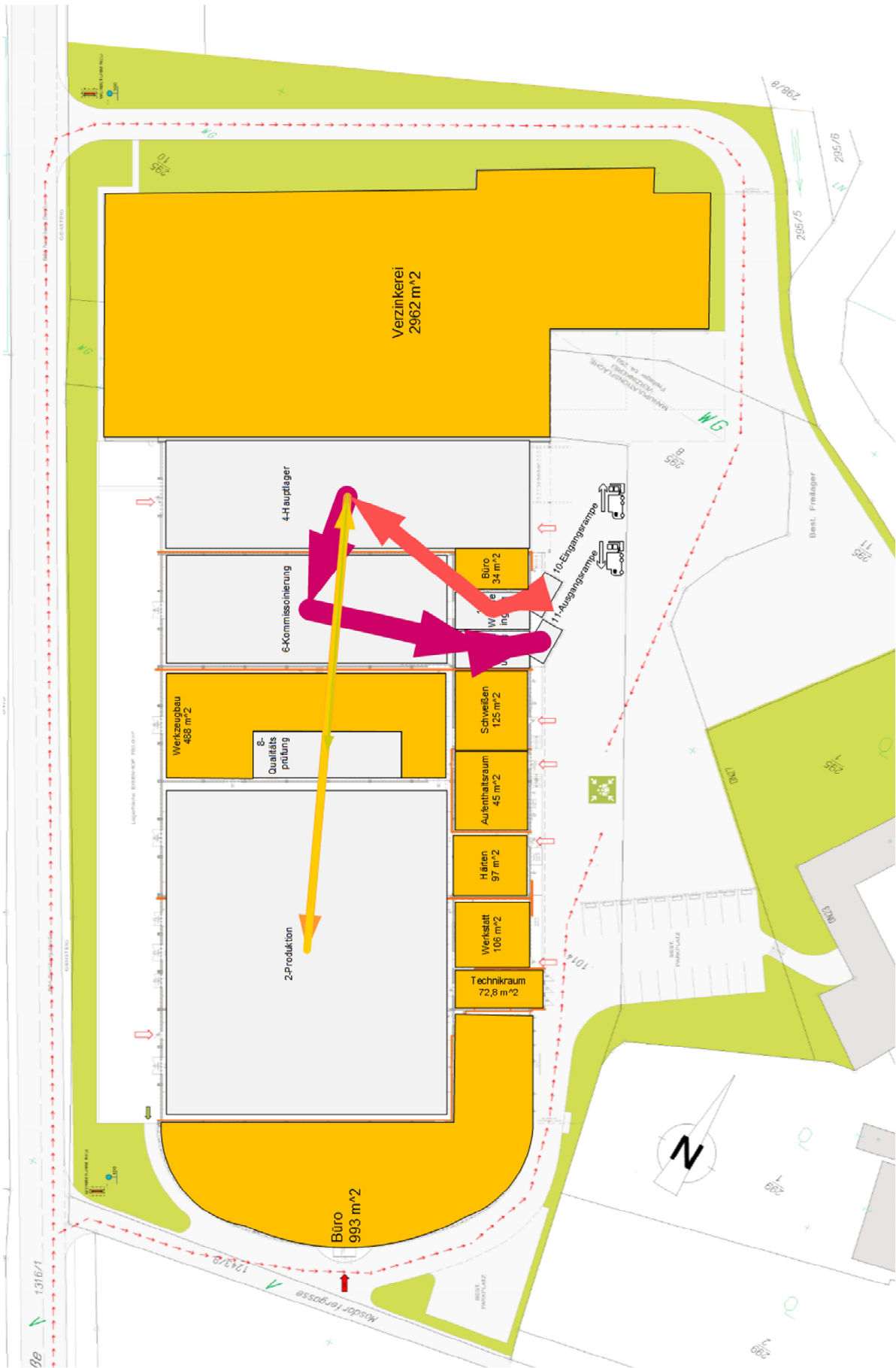


Abbildung 4-21: Transporte im Unternehmen 2 als Sankey-Pfeile



Abbildung 4-22: Transportwege im Unternehmen 2

4.4.2 Bionisch inspirierte Layouts Unternehmen 2

Unternehmen 2 wurde ebenfalls nach VDI-Richtlinie 2498 und mittels Kreisverfahren untersucht. Aus dem VDI-Verfahren resultierte lediglich eine Reduktion der Rückflüsse um 3,8% von 630 TE auf 606 TE. Aufgrund dessen und aus den Erfahrungen aus Unternehmen 1, wurde auf ein Layout mit entsprechender Anordnung der Stationen auf Basis der VDI-Richtlinie verzichtet.

Tabelle 4-8: Ausgangs-Transportmatrix zur Optimierung nach VDI 2498

| | 1-Wareneingang | 2-Produktion | 4-Hauptlager | 6-Kommissoinierung | 8-Qualitätsprüfung | 9-Warenausgang | 10-Eingangsrampe | 11-Ausgangsrampe | Summe |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------|------------------|------------------|-------|
| 1-Wareneingang | | | 409 | | | | | | 409 |
| 2-Produktion | | | 197 | | | | | | 197 |
| 4-Hauptlager | | 221 | | 550 | 65 | | | | 836 |
| 6-Kommissoinierung | | | | | | 550 | | | 550 |
| 8-Qualitätsprüfung | | | | | | | | | 0 |
| 9-Warenausgang | | | | | | | | 550 | 550 |
| 10-Eingangsrampe | 409 | | | | | | | | 409 |
| 11-Ausgangsrampe | | | | | | | | | 0 |
| Summe | 409 | 221 | 606 | 550 | 65 | 550 | 0 | 550 | 2951 |
| Quotient | 1 | 0,8914 | 1,37954 | 1 | 0 | 1 | ∞ | 0 | |

Tabelle 4-9: Reihung der Stationen nach VDI 2498

| |
|--------------------|
| Stationen-Reihung: |
| 10-Eingangsrampe |
| 4-Hauptlager |
| 6-Kommissoinierung |
| 9-Warenausgang |
| 1-Wareneingang |
| 2-Produktion |
| 11-Ausgangsrampe |
| 8-Qualitätsprüfung |

Deshalb wurden die Anordnungen nach dem Vorbild des Kreisverfahrens direkt in den beiden Grundtypen durchgeführt. Es kamen wieder ein einfachspiraliges und ein doppelspiraliges Layout zum Einsatz. Bedingt durch die geringe Anzahl der in den Materialfluss integrierten Stationen, im Vergleich zur Fabrikgröße, wurden auch die nichtbeteiligten Stationen im Layout berücksichtigt. Dabei wurden zuerst die am Materialfluss beteiligten Stationen positioniert und anschließend die Nichtbeteiligten, äquivalent ihrer Fläche ins Layout integriert.

4.4.2.1 Einfachspiraliges Layout

Dieses Layout wurde wieder nach Vorbild der Nautilus pompilius aufgebaut. Dabei flossen die Erkenntnisse aus dem einfachspiraligen Layout des Unternehmens 1 hinsichtlich der, zusätzlich zum Siphon angeordneten, Wege ein. In Abbildung 4-23 ist gut ersichtlich, dass der logistische Materialfluss vom Wareneingang über Hauptlager und Kommissionierung zum Warenausgang dreht. Es besteht eine bidirektionale Verbindung zwischen Hauptlager und Produktion. Die Qualitätssicherung wurde abseits der der transportintensiven Stationen angeordnet, da lediglich ein Zufluss stattfindet.

Das Layout sieht ein mögliches Wachstum des Unternehmens in Radialrichtung vor. Die radialen Wege sollen ein solches Wachstum, im Falle zusätzlicher Stationen begünstigen. Im Bereich der nicht im Materialfluss berücksichtigten Stationen dienen sie als Geh- und Transportwege für Kapazitäten und Betriebsmittel. Das Büro wurde süd-west seitig ausgerichtet, der Aufenthaltsraum der Produktionsmitarbeiter neben dem Meisterbüro.

Das einfachspiralige Layout erreicht eine Transportintensität von 79.373,13 [TE_m] und damit eine Verbesserung von 32,8% zur Referenz (4.4.1 Referenzzustand Unternehmen 2).

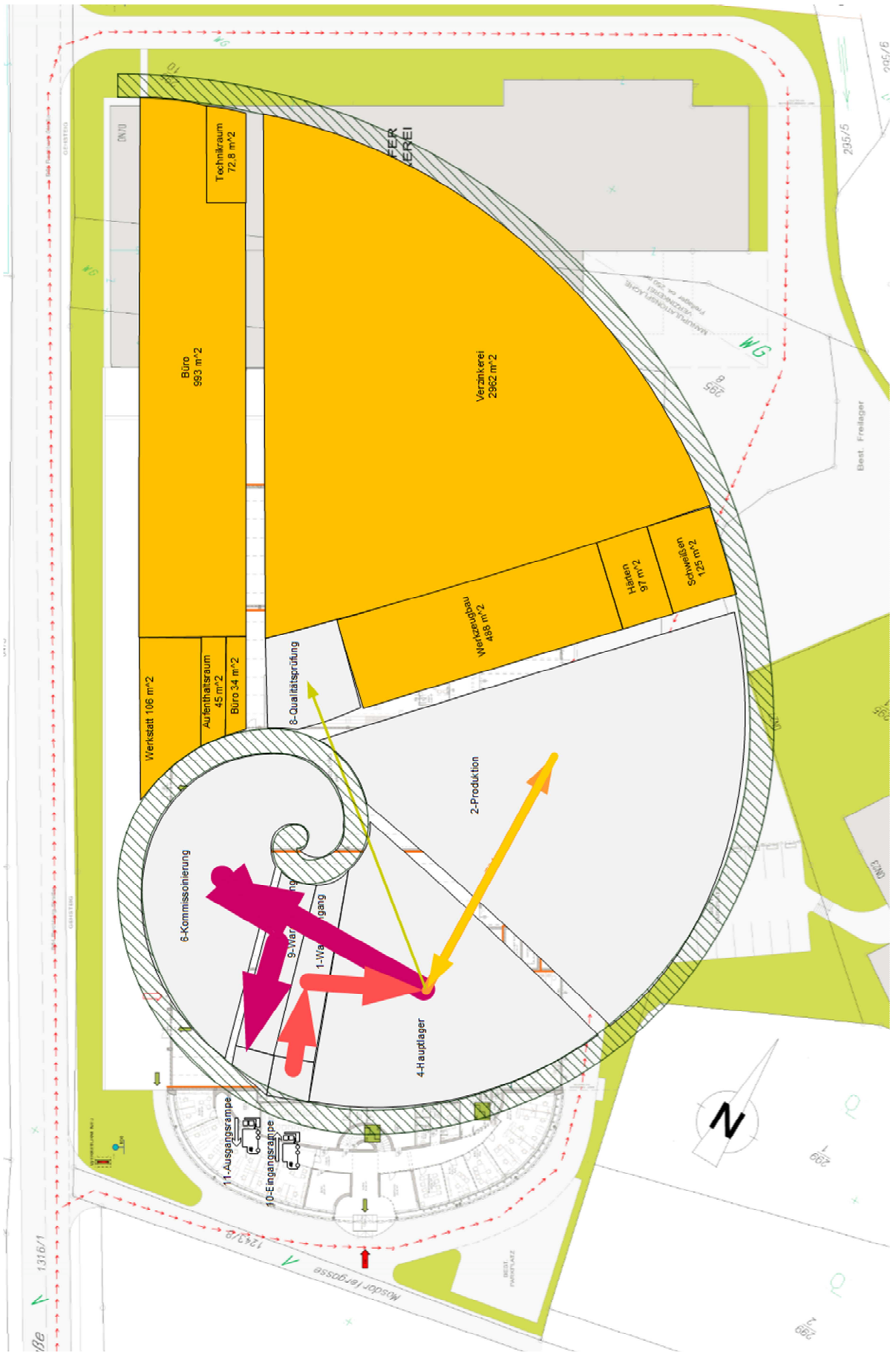


Abbildung 4-23: Transporte in Form von Sankey-Pfeilen des Unternehmens 2



Abbildung 4-24: Transportwege im einfachspiraligen Layout des Unternehmens 2

4.4.2.2 Doppelspiraliges Layout

Das doppelspiralige Layout wurde wiederum der Sonnenblume entliehen. Zusätzlich wurde auch dieses Layout mit den bewerteten radialen Wegen ausgestattet. Betrachtet man die Transporte, so ist ein sehr gerichteter Materialfluss erkennbar. Die Qualitätsprüfung konnte zentraler angebunden werden. Durch die beiden Siphos kreuzen sich die Transportwege nicht. Das Layout bietet sowohl in Radial-, als auch in Tangentialrichtung Expansionsmöglichkeiten.

Das doppelspiralige Layout erreicht eine Transportintensität von 76.698,72 [TE_m], demnach eine Verbesserung von 35,1% zum Referenzlayout (4.4.1 Referenzzustand Unternehmen 2).

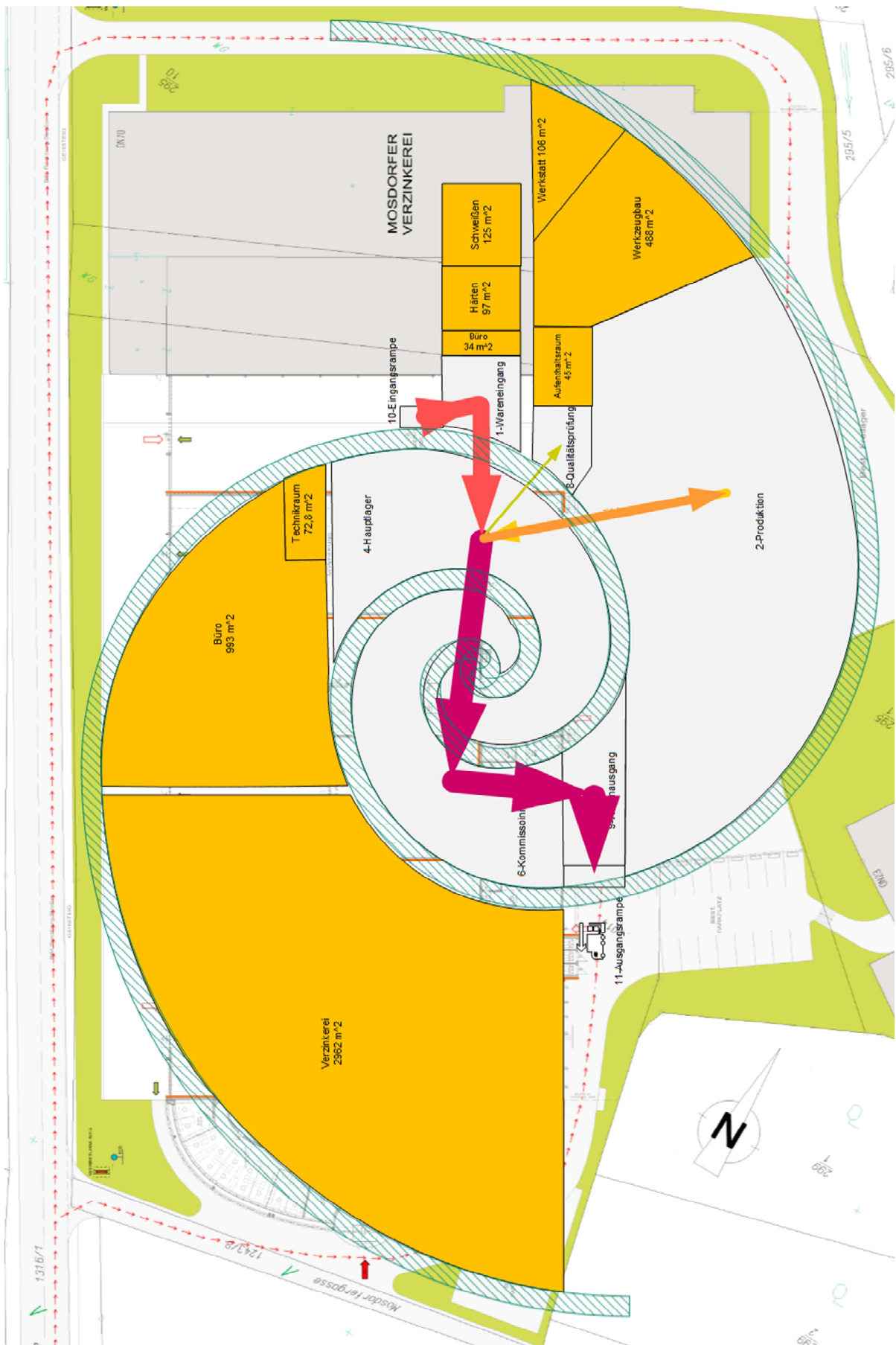


Abbildung 4-25: Transporte im doppelspiraligen Layout von Unternehmen 2

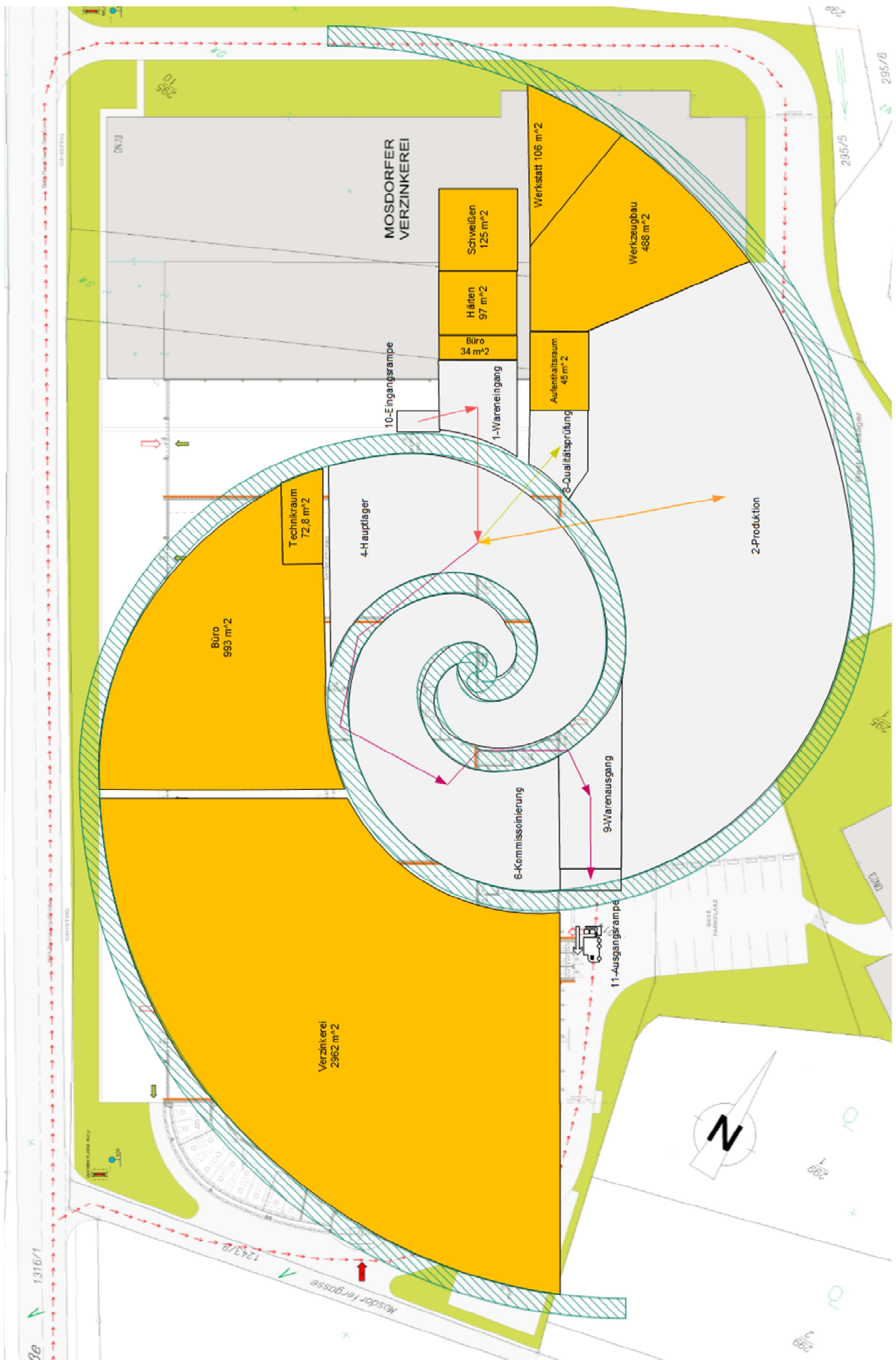


Abbildung 4-26: Transportwege im doppelspiraligen Layout von Unternehmen 2

4.5 Untersuchung des Unternehmen 3

Unternehmen 3 zeichnet sich durch eine ausgesprochene Werkbankfertigung aus. Der Materialfluss ist sehr zergliedert. Es liegen Materialflussdaten des Unternehmens bis hin zur Arbeitsstationenebene vor. Dabei sind zwar die Materialflussdaten gut dokumentiert, aber es liegen keine Informationen über den tatsächlichen Flächenbedarf der Einheiten vor. Allein aufgrund der Maschinen-, bzw. Werkbankflächen kann keine Aussage über die tatsächliche Größe der Arbeitsstation getroffen werden, da der Arbeitsraum der Kapazitäten unberücksichtigt bliebe. Deshalb wurden die Arbeitsstationen in die nächst höhere Bereichebene abstrahiert. Dies erfolgte auf Basis ihrer räumlichen Anordnung, es wurde alle Arbeitsstationen in einem Raum, einem Bereich zugeordnet. Die Transporte wurden entsprechend dem Bereich zugeordnet. Die am Materialfluss beteiligten Stationen sind wieder in grau, die unbeteiligten in orange dargestellt.

In dem Projekt, dem die Daten zugrunde liegen, wurde auch ein Ideallayout entwickelt, dieses erbrachte mit ähnlichen Abstraktionen hinsichtlich der Bereiche, eine Reduktion der Transportintensität von 31,33%.

4.5.1 Referenzzustand Unternehmen 3

Im Gegensatz zu den ersten beiden Unternehmen ist der Materialfluss nicht gerichtet. Die Fabrik besteht aus zwei Hallen, die Transportwege verlaufen zum Teil quer über den Innenhof bzw. laufen durch andere Stationen. In den nachfolgenden Abbildungen werden die Transporte, zur besseren Übersichtlichkeit, in absteigender Transportmenge in Form von Sankey-Pfeilen dargestellt.

Das Layout setzt mit einer Transportintensität von 1.404.705,32 [TEM] den Referenzwert.

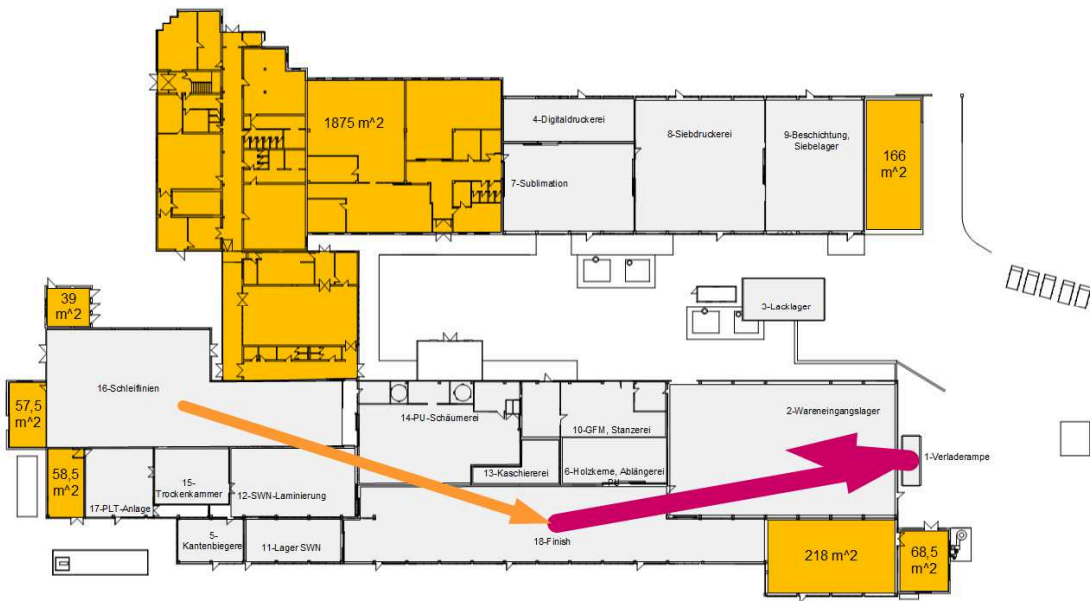


Abbildung 4-27: Unternehmen 3 mit Transporten $\geq 40\%$ des größten Transportes

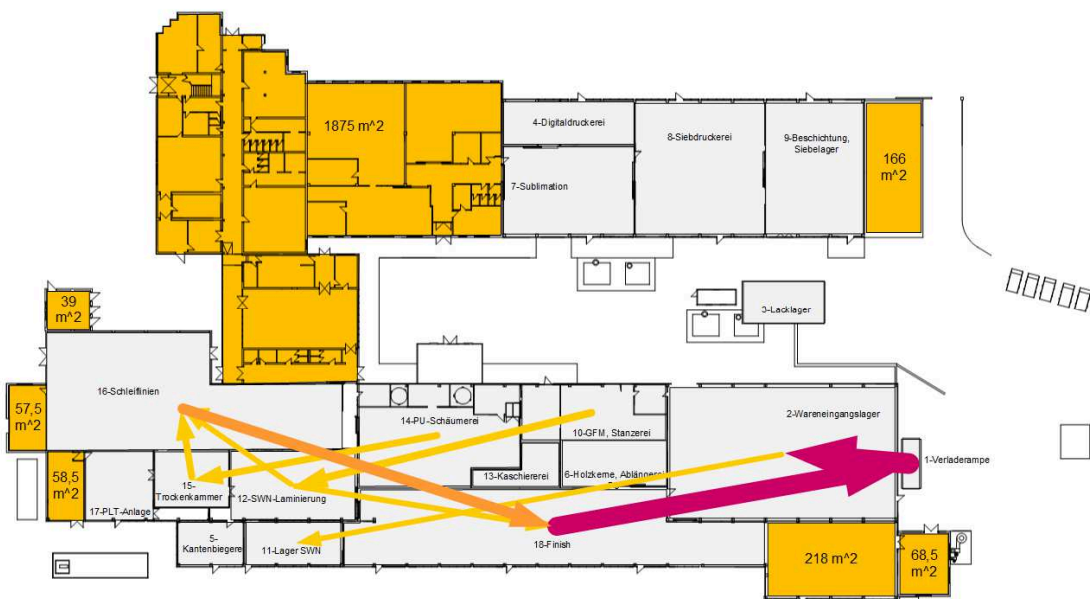


Abbildung 4-28: Abbildung 4 22: Unternehmen 3 mit Transporten $\geq 20\%$ des größten Transportes

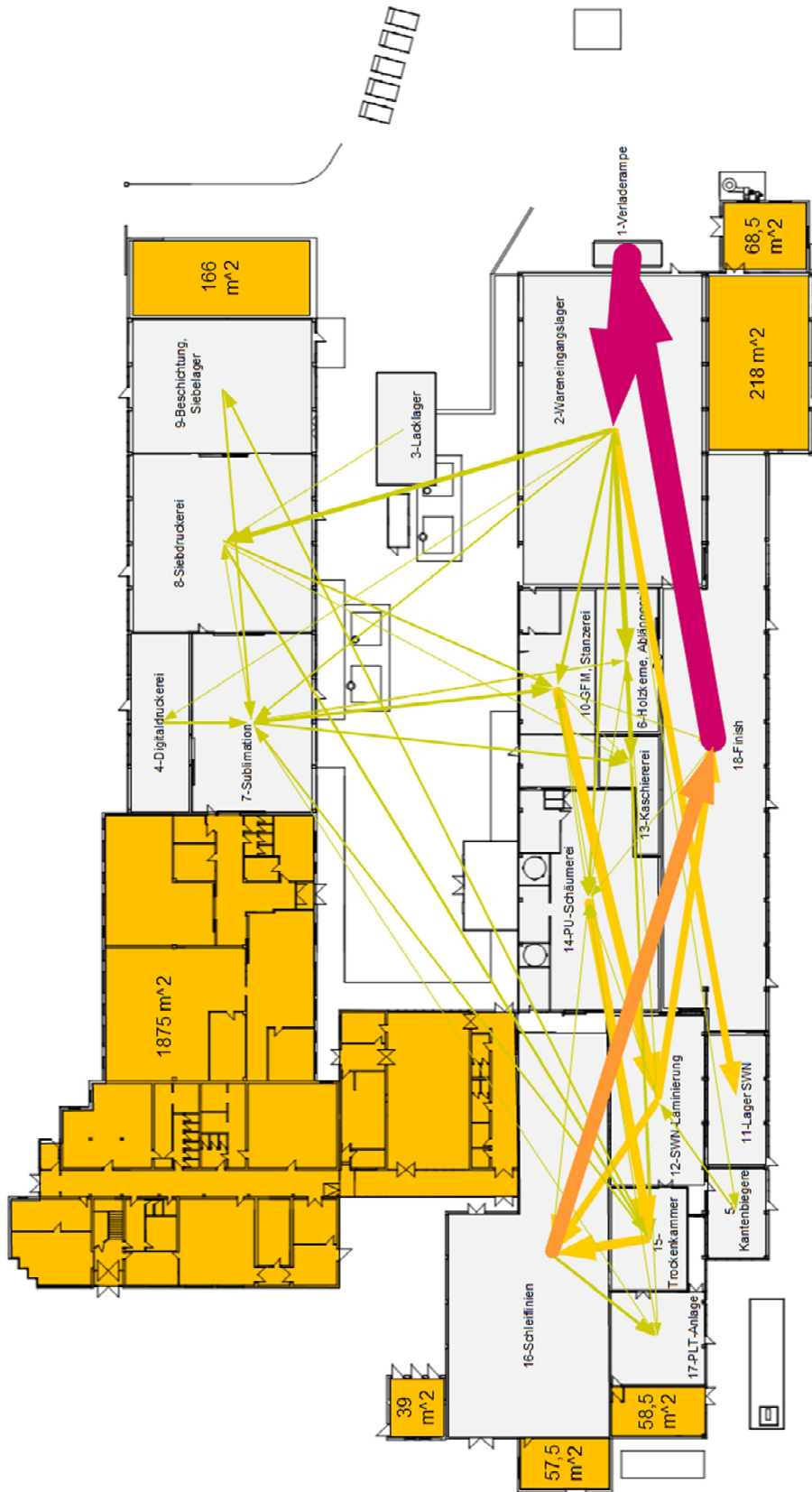


Abbildung 4-29: Transporte in Unternehmen 3

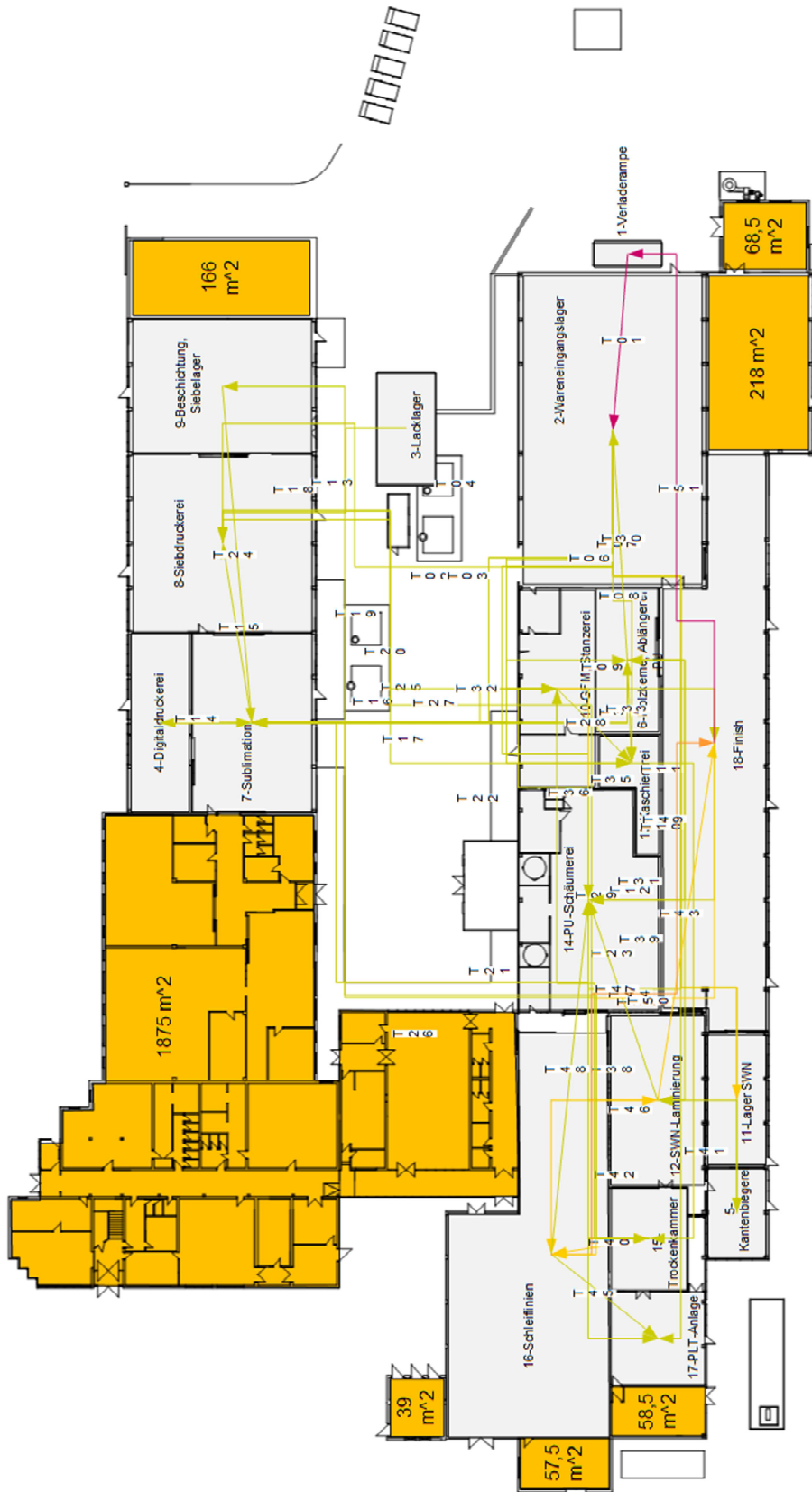


Abbildung 4-30: Transportwege in Unternehmen 3

4.5.2 Bionisch inspirierte Layouts Unternehmen 3

Im Rahmen der Layouterstellung wurden wieder eine einfache und eine doppelte Spirale betrachtet. Die Anordnung der Stationen erfolge zunächst, nach Vorbild des Kreisverfahrens im jeweiligen bionischen Layout. Aufgrund des zergliederten, nicht gerichtet Materialflusses und des suboptimalen Referenzlayouts wurden große Erwartungen in die bionischen Layouts gesetzt. Ob sich die Erwartungen, hinsichtlich der Distanzminimierung der peripheren Station über die Siphon bestätigen, ist Gegenstand dieses Kapitels.

Da eine hohe Anzahl von Transporten, die prozentual kleiner als 20% des maximalen Einzeltransportes sind, wurde ein zusätzlicher Sankey-Layer eingeführt. Dieser repräsentiert normierte Transporte kleiner 10%. Daraus kann aber noch keine Aussage über Knotenstationen, also Stationen in den eine Vielzahl mengenmäßig kleiner Transporte zusammenlaufen, gemacht werden. Diese sind aber hinsichtlich der Transportintensität von Relevanz. An diesem Punkt offenbart sich die Schwäche der eingesetzten Software, da die Transportintensität nicht direkt in Visio berechnet und dargestellt werden kann. Deshalb wurde eine ABC-Analyse der Stationen bezüglich ihres Gesamtumschlages an Transporteinheiten vorgenommen.

4.5.2.1 ABC-Analyse der Stationen

Ziel der ABC-Analyse war die Identifizierung von transportmengenintensiven Stationen. Dazu wurden die Gesamtanzahlen der Zu- und Abflüsse der Stationen in Transporteinheiten gebildet. Bei Knotenstationen ergibt sich in Summe ein höherer Wert als bei einfachen Peripheriestationen. Von besonderer Bedeutung für die nachfolgende Positionierung waren die B-Stationen bzw. deren Differenzierung zu den C-Stationen. Die A-Stationen waren ohnehin, auch ohne ABC-Analyse klar erkennbar.

Tabelle 4-10: ABC-Analyse, Berechnung der Transportanteile

| ID_Station | TE-Zufluss | TE-Abfluss | TE-Gesamt | TE-Anteil [%] | Anzahl der zugeflossenen Transporte | Anzahl der abgeflossenen Transporte | Gesamtanzahl Transporte | Transport-Anteil [%] |
|----------------------------|------------|------------|-----------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1-Verladerampe | 3500 | 3852 | 7352 | 13,89 | 0 | 1 | 1 | 1,00 |
| 2-Wareneingangslager | 4082 | 3852 | 7934 | 14,99 | 3 | 10 | 13 | 13,00 |
| 3-Lacklager | 0 | 150 | 150 | 0,28 | 0 | 1 | 1 | 1,00 |
| 4-Digitaldruckerei | 90 | 319 | 409 | 0,77 | 1 | 1 | 2 | 2,00 |
| 5-Kantenbiegerei | 212 | 255 | 467 | 0,88 | 1 | 1 | 2 | 2,00 |
| 6-Holzkerne, Ablängerei PU | 931 | 980 | 1911 | 3,61 | 3 | 5 | 8 | 8,00 |
| 7-Sublimation | 1205 | 955 | 2160 | 4,08 | 6 | 5 | 11 | 11,00 |
| 8-Siebdruckerei | 860 | 845 | 1705 | 3,22 | 3 | 3 | 6 | 6,00 |
| 9-Beschichtung, Siebelager | 298 | 298 | 596 | 1,13 | 1 | 1 | 2 | 2,00 |
| 10-GFM, Stanzerie | 1364 | 1778 | 3142 | 5,94 | 4 | 5 | 9 | 9,00 |
| 12-SWN-Laminierung | 2793 | 2111 | 4904 | 9,26 | 4 | 3 | 7 | 7,00 |
| 13-Kaschiererei | 1084 | 315 | 1399 | 2,64 | 5 | 1 | 6 | 6,00 |
| 14-PU-Schäumerei | 983 | 1288 | 2271 | 4,29 | 7 | 1 | 8 | 8,00 |
| 15-Trockenkammer | 1964 | 2209 | 4173 | 7,88 | 3 | 5 | 8 | 8,00 |
| 16-Schleiflinien | 3441 | 2442 | 5883 | 11,11 | 3 | 3 | 6 | 6,00 |
| 17-PLT-Anlage | 542 | 124 | 666 | 1,26 | 3 | 1 | 4 | 4,00 |
| 18-Finish | 3121 | 4697 | 7818 | 14,77 | 3 | 3 | 6 | 6,00 |
| | | | Summe: | 100,00 | | | Summe: | 100,00 |

Tabelle 4-11: ABC-Analyse mit Klassifizierung

| ID_Station | TE-Zufluss | TE-Abfluss | TE-Gesamt | TE-Anteil [%] | kumulierter TE-Anteil [%] | Stationen-Klasse |
|----------------------------|------------|------------|-----------|---------------|---------------------------|------------------|
| 2-Wareneingangslager | 4082 | 3852 | 7934 | 14,99 | 14,99 | A |
| 18-Finish | 3121 | 4697 | 7818 | 14,77 | 29,75 | A |
| 1-Verladerampe | 3500 | 3852 | 7352 | 13,89 | 43,64 | A |
| 16-Schleiflinien | 3441 | 2442 | 5883 | 11,11 | 54,75 | A |
| 12-SWN-Laminierung | 2793 | 2111 | 4904 | 9,26 | 64,02 | A |
| 15-Trockenkammer | 1964 | 2209 | 4173 | 7,88 | 71,90 | A |
| 10-GFM, Stanzerie | 1364 | 1778 | 3142 | 5,94 | 77,84 | A |
| 14-PU-Schäumerei | 983 | 1288 | 2271 | 4,29 | 82,13 | B |
| 7-Sublimation | 1205 | 955 | 2160 | 4,08 | 86,21 | B |
| 6-Holzkerne, Ablängerei PU | 931 | 980 | 1911 | 3,61 | 89,81 | B |
| 8-Siebdruckerei | 860 | 845 | 1705 | 3,22 | 93,04 | B |
| 13-Kaschiererei | 1084 | 315 | 1399 | 2,64 | 95,68 | C |
| 17-PLT-Anlage | 542 | 124 | 666 | 1,26 | 96,94 | C |
| 9-Beschichtung, Siebelager | 298 | 298 | 596 | 1,13 | 98,06 | C |
| 5-Kantenbiegerei | 212 | 255 | 467 | 0,88 | 98,94 | C |
| 4-Digitaldruckerei | 90 | 319 | 409 | 0,77 | 99,72 | C |
| 3-Lacklager | 0 | 150 | 150 | 0,28 | 100,00 | C |

4.5.2.2 Einfachspiraliges Layout

Es wurde in mehreren Iterationsschritten versucht, die in Beziehung stehenden transportintensiven Stationen möglichst nahe zueinander zu positionieren. Weiteres wurde ein besonderes Augenmerk auf wichtige Knotenstationen wie z.B. die „Sublimation“ gelegt. Nach Anordnung der Stationen wurde das Layout um die nicht am Materialfluss beteiligten Stationen ergänzt.

Mit diesen Maßnahmen erreichte das einfachspiralige Layout eine Transportintensität von 1040829,9 TE_m und damit eine Einsparung von 25,9%.

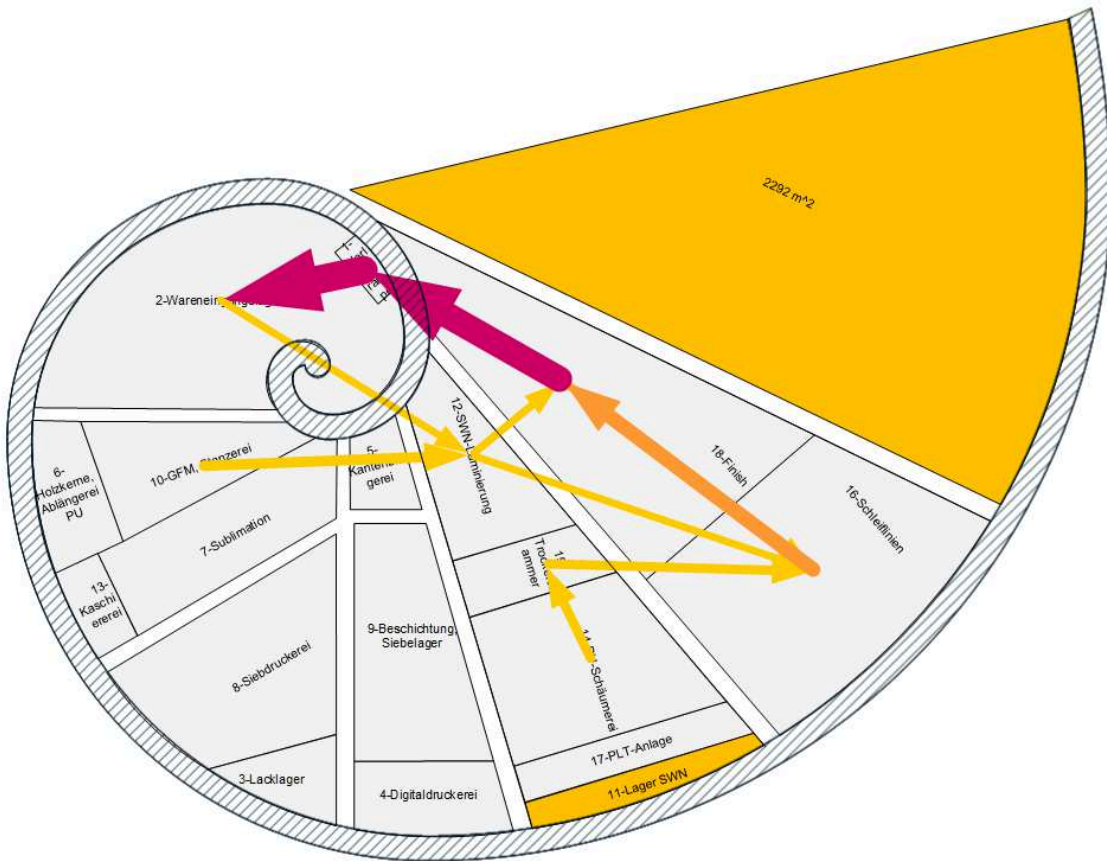


Abbildung 4-31: einfachspiraliges Layout mit Transporten $\geq 40\%$

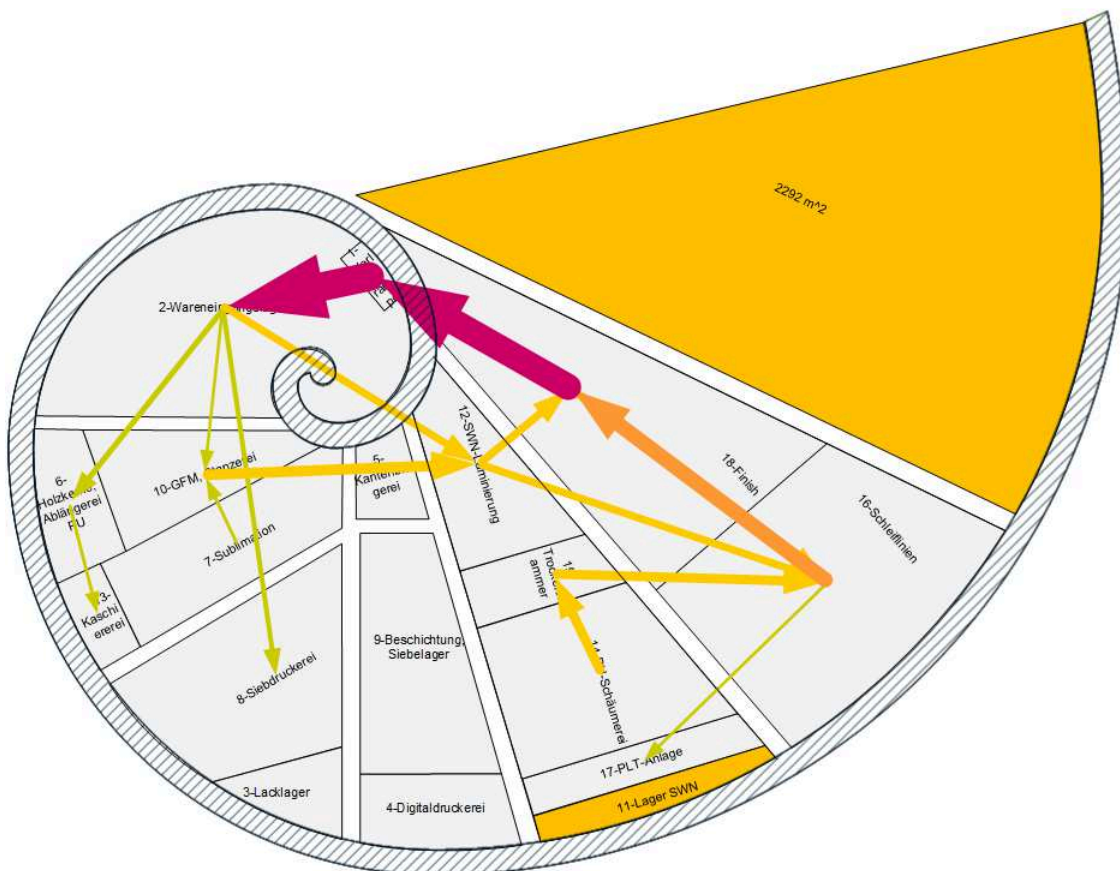


Abbildung 4-32: einfachspiraliges Layout mit Transporten $\geq 20\%$

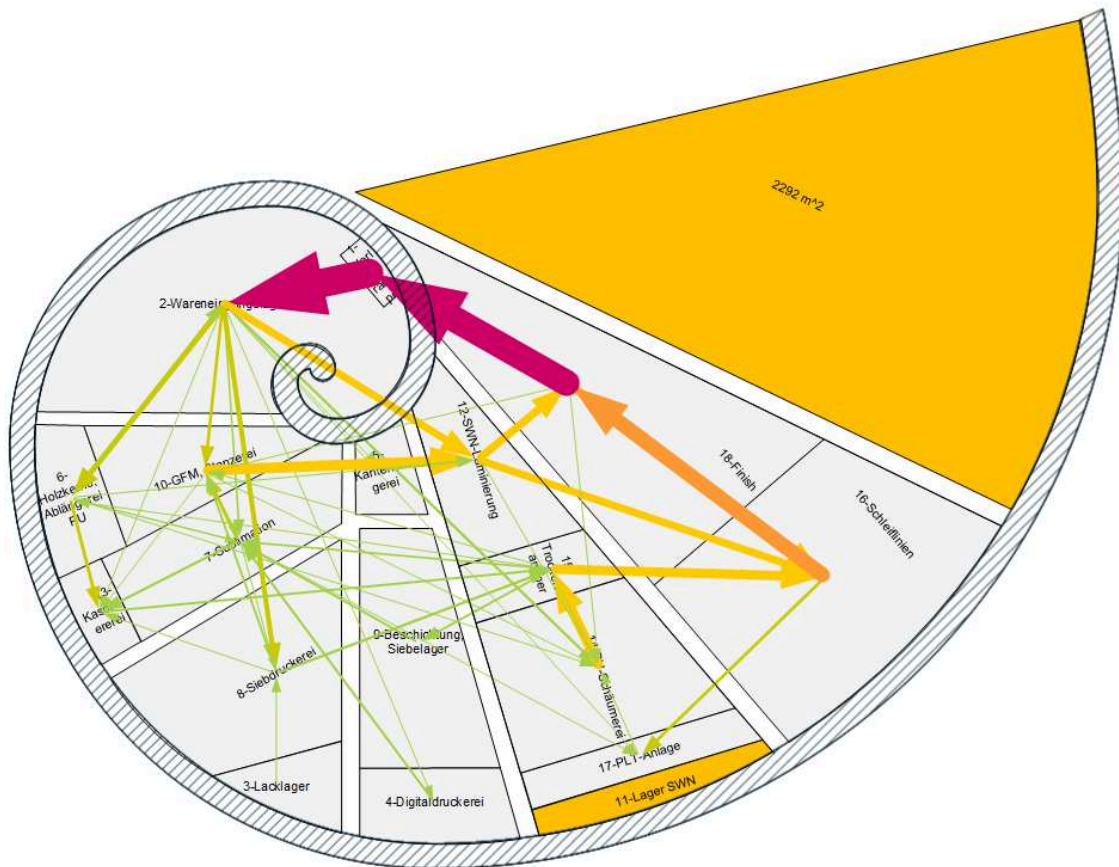


Abbildung 4-33: einfachspiraliges Layout mit allen Transporten

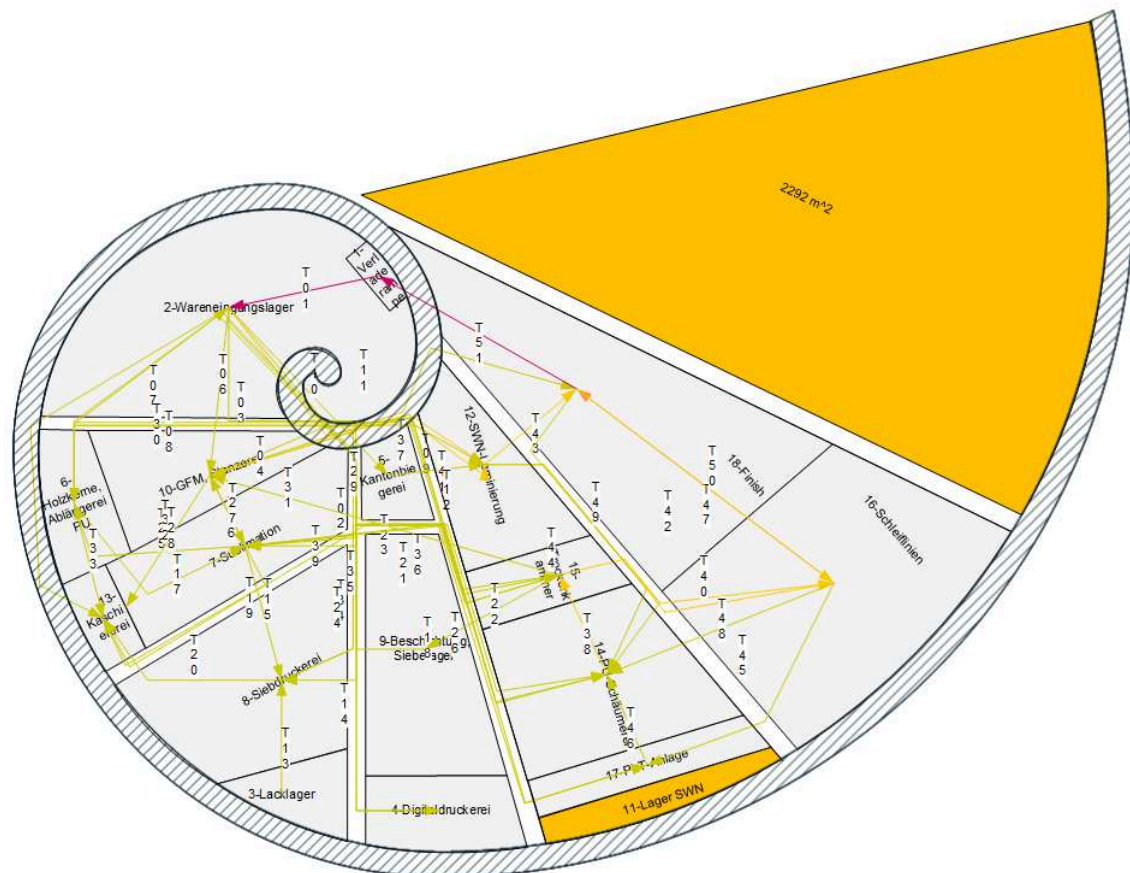


Abbildung 4-34: Transportwege im einfachspiraliges Layout

4.5.2.3 Doppelspiraliges Layout

Die Doppelspirale wurde wiederum um radiale Wege zusätzlichen zu den Siphons, erweitert. Die Anordnung der Stationen erfolgte in mehreren Iterationsschritten, freie Flächen wurden mit nicht Materialflussbeteiligten Stationen ausgefüllt.

Das doppelspiralige Layout erreichte eine Transportintensität von 775.233,37 [TE_m] und damit eine Einsparung von 44,8% zur Referenz (4.5.1 Referenzzustand Unternehmen 3).

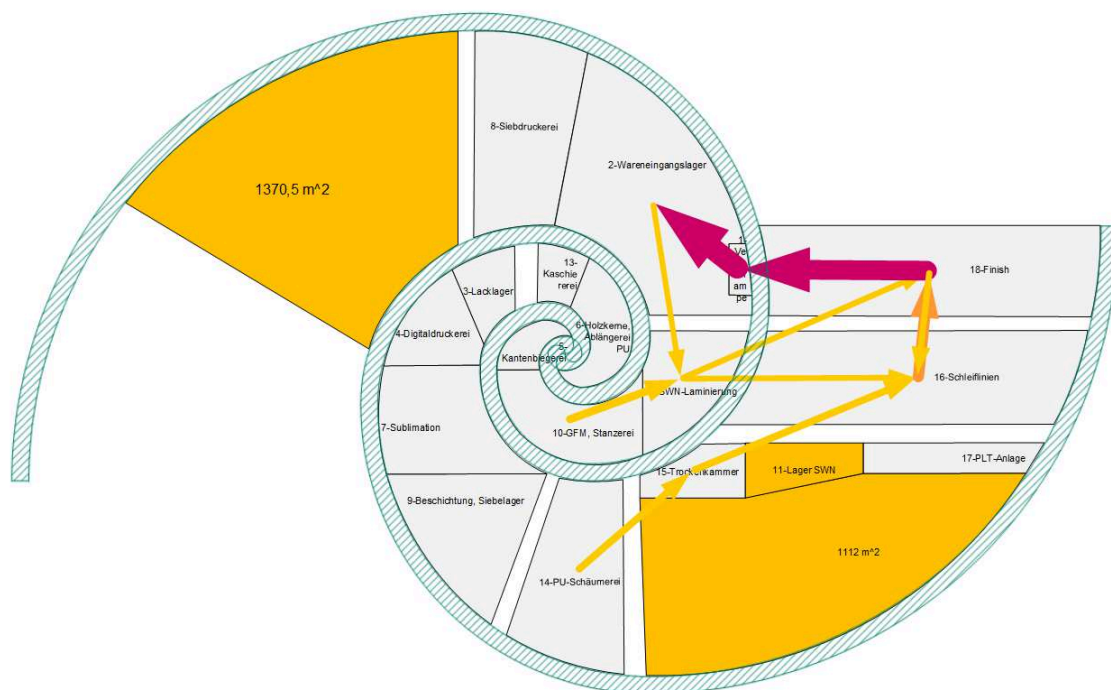


Abbildung 4-35: doppelspiraliges Layout mit Transporten $\geq 40\%$

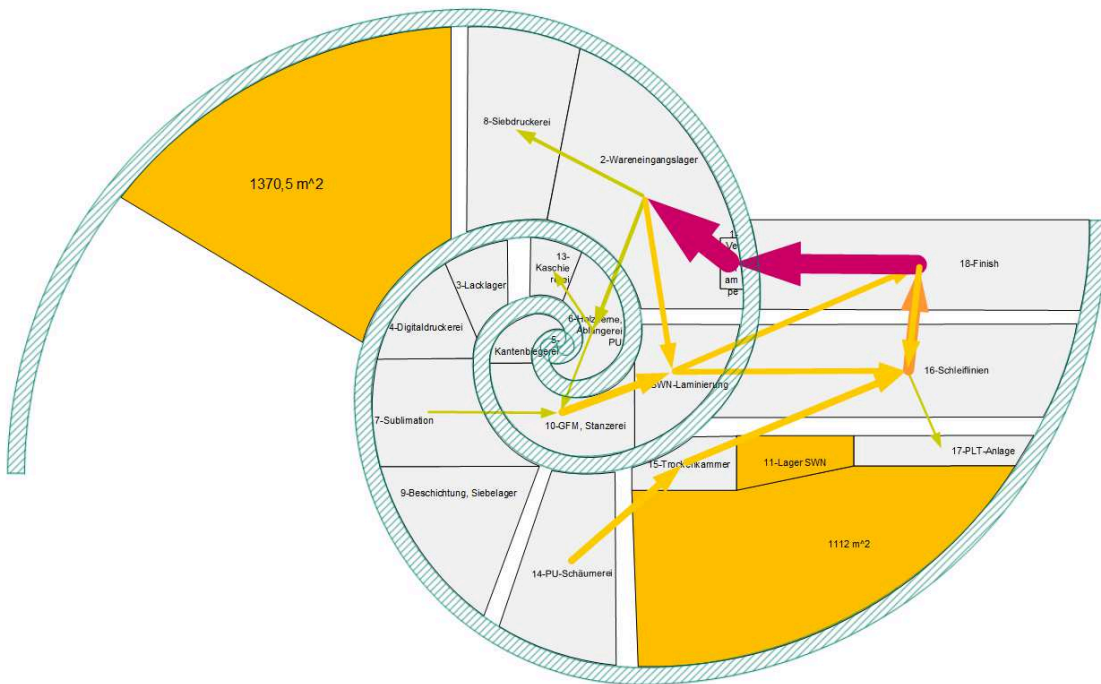


Abbildung 4-36: doppelspiraliges Layout mit Transporten $\geq 20\%$

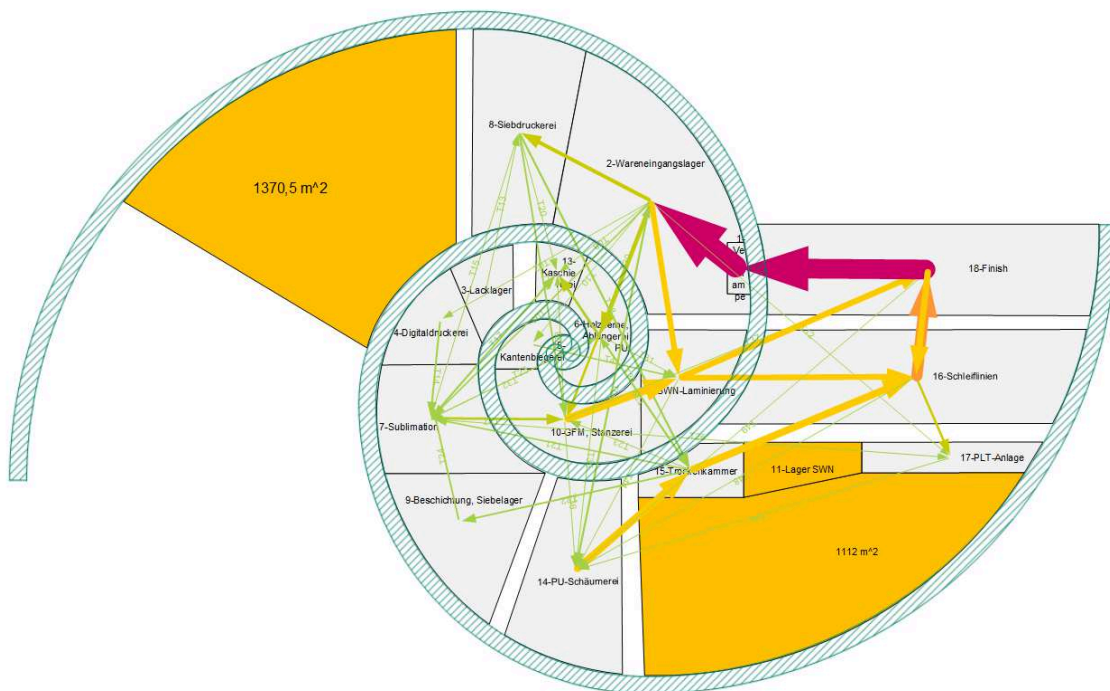


Abbildung 4-37: doppelspiraliges Layout mit allen Transporten

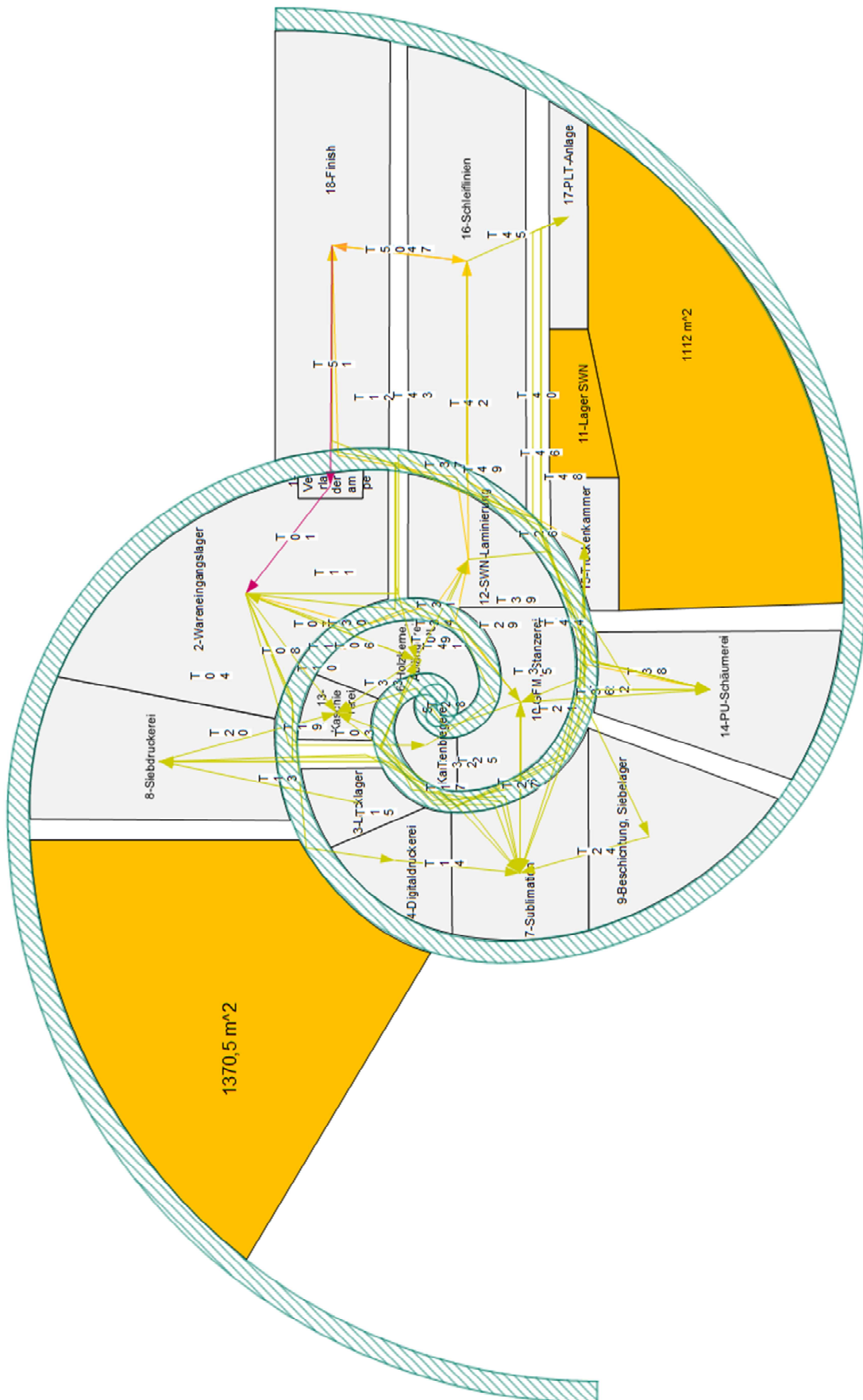


Abbildung 4-38: Transportwege im doppelspiraligen Layout

4.6 Gegenüberstellung der Ergebnisse

Im Rahmen dieses Kapitels werden die entwickelten Layouts untereinander und mit dem Ist-Zustand verglichen und bewertet. Daraus soll eine Aussage über die Einsatzmöglichkeiten bionisch inspirierter Fabriklayouts getroffen werden, bzw. Ansatzpunkte für weitere Forschung aufgezeigt werden.

4.6.1 Materialflussauswirkungen in Unternehmen 1

Die mit bis zu 65,85% sehr hohen Rationalisierungspotentiale (Tabelle 4-12), des Materialflusses der bionischen Layouts, werden durch das schlechte Referenzlayout etwas relativiert. Wie in der Abbildung 4-7 gut ersichtlich ist, sind die Transportwege unnötig lange, da Bereiche die nur indirekt an der Produktion beteiligt sind zwischen den Transportintensiven liegen. Die Anordnung der Hallen in dem langen und schmalen Grundriss der Fabrik begünstigt keine distanzoptimalen Materialflüsse der beiden Produktgruppen. So verläuft der Materialfluss des Produktes HK der Länge nach durch die Fabrik und zurück zur Verloaderampe. Deshalb empfiehlt sich der Vergleich der bionischen Layouts und der Anordnungsverfahren untereinander. Zu erwähnen ist, dass das Dreiecksverfahren im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt wird, da sich die Übertragung der Anordnung in ein spiralisches Layout als wenig praktikabel erwiesen hat und deshalb verworfen wurde.

Tabelle 4-12: Gegenüberstellung der Layoutvarianten Unternehmen 1

| Transportintensität [TEm] | Einsparung [%] | Modell | Verfahren |
|---------------------------|----------------|---|----------------|
| 9189692,21 | 65,85 | Doppelspirale 3 | Kreisverfahren |
| 12076057,40 | 55,12 | Doppelspirale 2, optimiert | Kreisverfahren |
| 12171842,26 | 54,76 | Doppelspirale 2 | Kreisverfahren |
| 12374518,59 | 54,01 | Doppelspirale 1 | Kreisverfahren |
| 12846882,06 | 52,25 | Einfachspirale 1 | Kreisverfahren |
| 14357557,91 | 46,64 | Einfachspirale VDI | VDI |
| 17153461,77 | 36,25 | Einfachspirale sequenzieller Aufbau | Kreisverfahren |
| 17662880,32 | 34,35 | Flächen als Fibonacci-Quadrate, Transportweg als Einfachspirale | Kreisverfahren |
| 26905861,49 | 0 | Ist-Zustand | - |

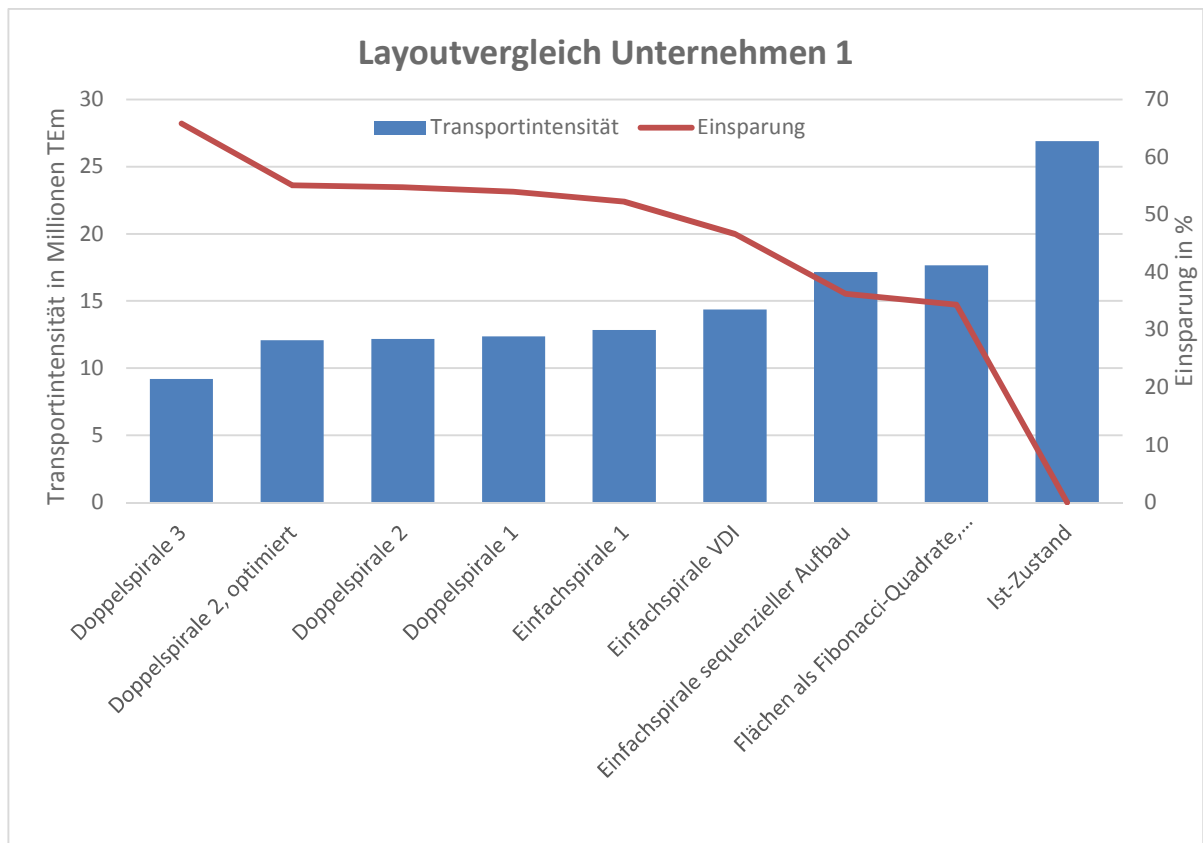


Abbildung 4-39: Layoutvarianten über Transportintensität und Einsparungspotential

Eine Anordnung der Stationen mit weitgehend rechteckigen Grundriss nach dem Schema der Quadrate mit Seitenlängen nach der Fibonacci-Reihe (Abbildung

3-19) brachte mit 34,34% Einsparung ein vergleichsweise schlechtes Ergebnis. Der Charme dieses Modelles ist die Beibehaltung der rechten Winkel, was gleichzeitig den Nachteil der Variante darstellt (Abbildung 8-2). Eine flächenäquivalente Anordnung der Station bei gleichzeitiger Distanzoptimierung erweist sich als schwierig.

Eine sequenzielle Anordnung der Stationen entlang der Fibonacci-Spirale erwies sich ebenfalls als wenig erfolgreich, da sie im Wesentlichen nur eine gekrümmte Modifikation des Ist-Zustandes darstellt (Abbildung 8-3). Der Vorteil dieser Variante ist die Trennung von Innerbetrieblichen- und Externen-Materialflüssen. So können an jeder Station Transporte ein- und ausgeschleust werden. Dieses Konzept bietet Potential für eine Linienfertigung, da die Wege von einem liniennahen Supermarkt kurz sind.

Bei den näher behandelten spiraligen Layouts wird ersichtlich, dass eine Anordnung nach VDI-Richtlinie 2498 nicht zielführend ist. Bei diesem Verfahren sind die Transportwege von Produkt HK zu lange, sie verlaufen entlang der Spirale bis zur Endlagerhalle. Bei den Layouts, die auf das Kreisverfahren aufbauen, ergeben sich durch gegenüberliegende Anordnung der Stationen bzw. durch Trennung der beiden Produkte kurze Wege (Abbildung 4-13, Abbildung 4-15 und Abbildung 4-19).

Das doppelspiralige Layout schneidet insgesamt besser als das einfachspiralige Layout ab. Das ist auf eine Teilung der unterschiedlichen Stationen der beiden Produktgruppen bei gleichzeitig kurzen Distanzen zurückzuführen. Auch können die Bandformmaschinen besser positioniert werden. Diese sind zwar Erzeuger des Materialflusses, sind aber im Zentrum eine Einfachspirale aufgrund ihrer flächenmäßiger Dominanz ungünstig. Bei der Doppelspirale können diese Maschinen in der Peripherie der zweiten Spirale angesiedelt werden.

4.6.2 Materialflussauswirkungen in Unternehmen 2

Das Referenzlayout des zweiten Unternehmens ist bezüglich der Anordnung von Produktion und Qualitätsprüfung ungünstig. Wenn man Abbildung 4-21

betrachtet, würde sich ein Anordnungstausch von Hauptlager und Werkzeugbau sowie Wareneingang und Warenausgang anbieten.

Tabelle 4-13: Gegenüberstellung der Layoutvarianten Unternehmen 2

| Transportintensität [TE _m] | Einsparung [%] | Modell | Verfahren |
|--|----------------|---------------------|----------------|
| 76698,72 | 35,1 | große Doppelspirale | Kreisverfahren |
| 77435,99 | 34,4 | Doppelspirale | Kreisverfahren |
| 79373,13 | 32,8 | Einfachspirale | Kreisverfahren |
| 118090,36 | 0,0 | Ist-Zustand | - |

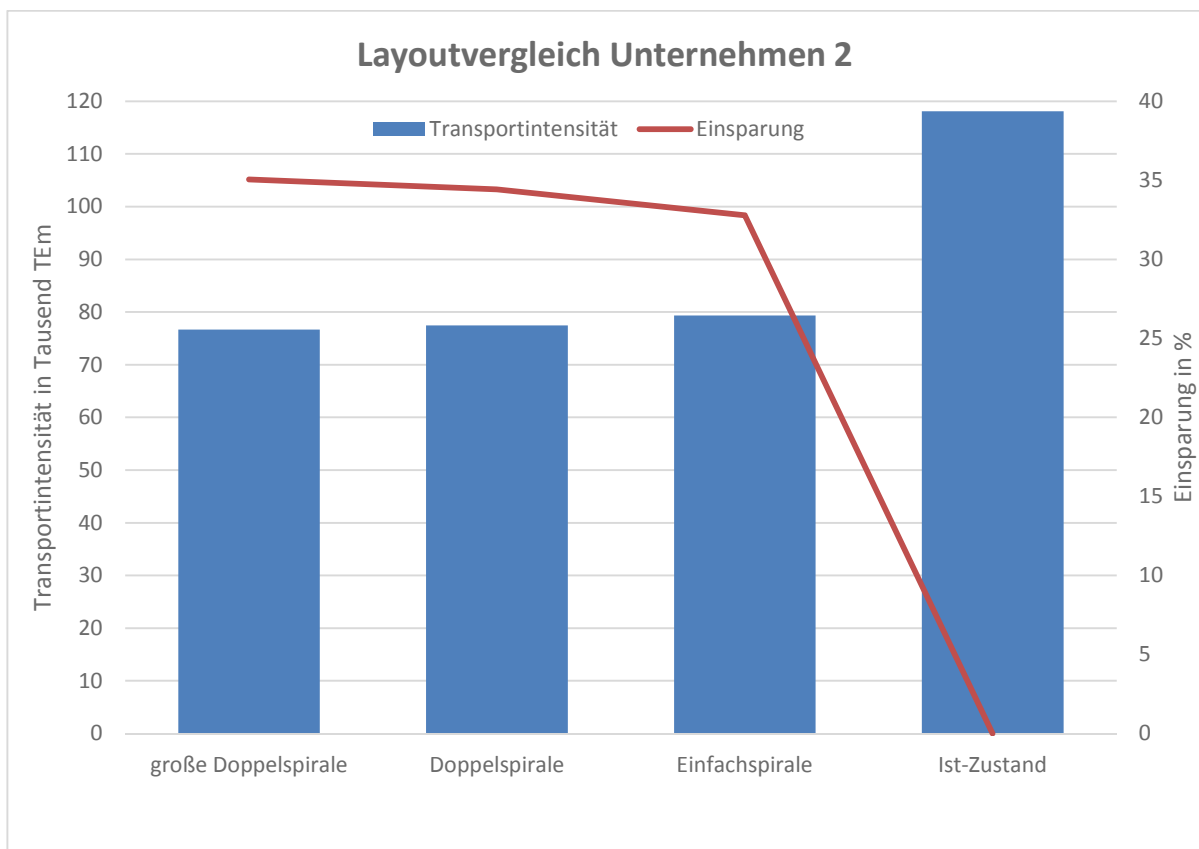


Abbildung 4-40: Layoutvarianten über Transportintensität und Einsparungspotential

Es zeigt sich bereits im einfachspiraligen Layout eine deutliche Verbesserung der Transportintensität durch Positionierung des Hauptlagers zwischen Kommissionierung und Produktion (Abbildung 4-23). Problematisch ist die Anordnung des Wareneingangs, da entweder die Transporte zwischen Hauptlager und Produktion oder Hauptlager und Kommissionierung behindert werden. Wird der Wareneingang im Winkelsektor des Hauptlagers integriert,

schränkt er die radiale Erweiterbarkeit ein. Die Stationen, die Supportfunktionen erfüllen, können in Produktionsnähe ansiedelt werden.

Beim doppelspiraligen Layout ergibt sich ein sehr gerichteter Materialfluss, die Produktion und die Kommissionierung sind über den Siphon gut an das Hauptlager angebunden (Abbildung 4-25). Auch die Position der Qualitätsprüfung ist im Vergleich zur Einfachspirale besser. Eine Erweiterung der Produktion ist mit geringem Aufwand möglich. Die bessere Transportintensität der Doppelspirale wird aber mit einer aufwendigeren Expansionsmöglichkeit der Kommissionierung und des Hauptlagers bezahlt, da beide Spiralen mit erheblichen Aufwand radial erweitert werden müssen.

4.6.3 Materialflussauswirkungen in Unternehmen 3

Da bei Unternehmen 3, im Gegensatz zu den anderen Unternehmen ein sehr verzweigter Materialfluss vorliegt, wurden bei beiden Spirale-Varianten ergänzende radiale Wege vorgesehen. Dadurch können die vielen transportmengenmäßig kleineren Stationen besser eingebunden werden.

Bei diesem, vergleichsweise komplexen Materialfluss, kann das Doppelspiralenlayout seine Vorteile ausspielen. Durch den erweiterten Siphon, ergänzt mit den radialen Wegen, ergeben sich günstiger Distanzen und eine Entlastung des Verkehrsaufkommens im Vergleich zum einfachspiraligen Layout. Die Skalierbarkeit der Layouts ist aufgrund der Vielzahl von kleinen Station bei Beiden nicht trivial. Die Erweiterung ist beim doppelspiraligen Layout, aufgrund des einem Sektor ähnlichen Aufbaus der Stationen besser. Dies Begründet sich in der günstigeren radialen Skalierbarkeit der Stationen, da sie sich nicht mehr als nötig, gegenseitig behindern. Beim einfachspiraligen Layout hingegen wirkt sich die Erweiterung der Station „Finish“ auch auf die „Schleiflinien“ aus.

Tabelle 4-14: Gegenüberstellung der Layoutvarianten Unternehmen 3

| Transportintensität [TEm] | Einsparung [%] | Modell | Verfahren |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 775233,37 | 44,80 | Doppelspirale | Kreisverfahren |
| 1040829,90 | 25,90 | Einfachspirale | Kreisverfahren |
| 1404705,32 | 0,00 | Ist-Zustand | - |

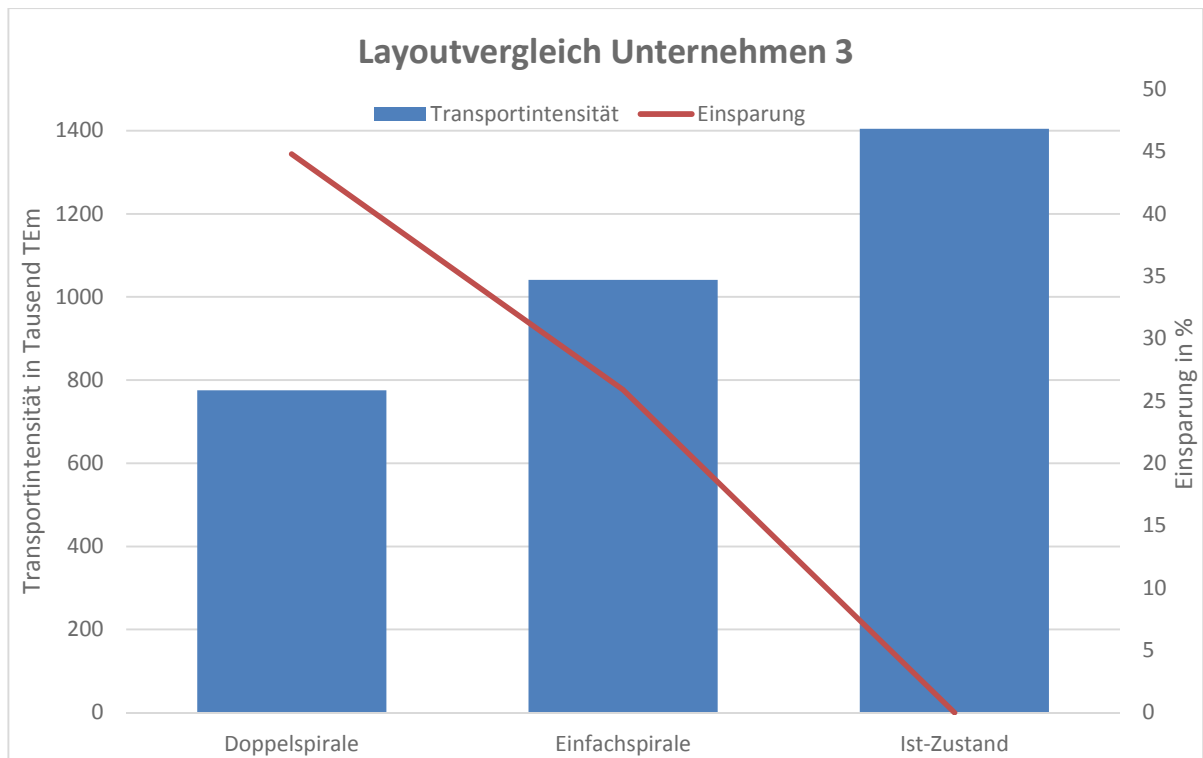


Abbildung 4-41: Layoutvarianten über Transportintensität und Einsparungspotential

5 Bewertung der Vorgehensweise

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine intensive Literaturrecherche, sowohl hinsichtlich der Struktur- und Layoutplanung, als auch der Bionik durchgeführt. Dabei stellte sich die Bionik als problematisch heraus. Es existieren zahlreiche Werke mit Focus auf betriebswirtschaftliche Aspekte, auch die Konstruktionsbionik ist gut dokumentiert. Im Bereich der Fabriklayoutplanung ist die Bionik allerdings Neuland. Dadurch waren die bionischen Vorgehensmodelle auch nur bedingt geeignet. Die daraus resultierende, unklare Definition des Analogiebegriffes bzw. die Differenzierung zwischen berechtigter und trivialer Analogie, stellten eine große Herausforderung dar. So kann in der Konstruktionsbionik über physikalische Größen eine Analogie belegt oder widerlegt werden. Soll beispielsweise ein Schiffsrumpf mit guten Strömungseigenschaften entwickelt werden, so kann eine Analogie mit Eselspinguinen über den Vergleich der Reynolds-Zahlen überprüft werden [NAC08]. Für ein Fabriklayout fehlen solche Parameter, die Skalierbarkeit oder Flexibilität ist schwer zu messen, sie müssen exemplarisch dargelegt werden. Im Zuge weiter Forschung empfiehlt sich die Erarbeitung eines bionischen Vorgehensmodells zur Erstellung von Fabriklayouts. Ein solches Vorgehensmodell benötigt eindeutige Richtlinien hinsichtlich der Analogieforschung, um die Zulässigkeit von Analogien klar zu regeln.

Die Vorgehensweise der Struktur- und Layoutplanung hat sich als geeignet für die Umsetzung eines bionisch inspirierten Ansatzes erwiesen. Sowohl die Zielplanung als auch der logische, in drei Phasen strukturierte Ablauf steht in keinem Widerspruch zur Bionik und kann problemlos angewandt werden. Eine Einschränkung muss lediglich bezüglich der Anordnungsverfahren getroffen werden. Es stellte sich heraus, dass sich besonders graphische Verfahren, wie das Kreisverfahren bzw. eine Anordnung mittels Sankey-Pfeilen, zur Anordnung im bionisch inspirierten Layout eignen. Eine rückflussoptimierter Anordnung, wie nach VDI 2498, wirkt sich bei einem spiralförmigen Layout negativ aus (4.3.2.1). Die spiralförmigen Layouts können aufgrund der Lage ihrer Transportwege Rückflüsse, bei gleichzeitig kurzen Distanzen zwischen den transportintensiven Stationen,

gut abwickeln (4.6.3). Andere Verfahren, wie das Dreiecksverfahren, lassen sich nur schlecht in eine spiralförmige Kontur überführen. Bei einer hohen Anzahl von Stationen und Transporten stellte sich die ABC-Analyse als geeignetes Hilfsmittel zur Identifikation von Knotenstationen heraus (4.5.2.1).

6 Zusammenfassung

Nach der „Entwicklung der Vorgehensweise“ und der Fixierung des „Prinzip aus der belebten Natur - Die Fibonacci-Spirale“, in Kapitel 3, wurden Modelle der drei Unternehmen aufgebaut. Dabei wurden auf Basis von Brandschutz- und Gebäudeplänen die Ist-Zustände modelliert. Anschließend erfolgte eine Verknüpfung mit den Materialflussdaten, die zum Teil noch abstrahiert werden mussten. Auch wurden Adaptionen in der Materialfluss-Software für Unternehmen 2 und Unternehmen 3 notwendig. Im Zuge dessen wurde eine automatische Import-Funktion implementiert, die den Datenrückfluss aus Microsoft Visio beschleunigt. Auch wurde die Prozesssicherheit durch löschen der Matrizen vor einer Berechnung gesteigert. Dies war erforderlich, da bei Passivschaltung von Stationen noch Werte der vorausgegangen Berechnung in der nun verkleinerten Matrix vorhanden waren. Es wurden für jedes Unternehmen iterativ Modelle nach verschiedenen Verfahren und Prinzipien aufgebaut. Aus den Transportintensitätswerten kristallisierte sich das Kreisverfahren als Anordnungsverfahren, kombiniert mit einfach- bzw. doppelspiraligen Layouts als am erfolgsversprechendsten heraus. Auf diesen Varianten lag im Zuge der Optimierung der Fokus.

Wie aus den Ergebnissen in Kapitel **„Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.“** hervorgeht, erzielen alle betrachteten bionisch inspirierten Layoutvarianten signifikante Verbesserungen zum Ist-Zustand. Dabei ist nicht Unternehmen 1 mit dem zahlenmäßig größten Einsparungspotential (4.6.1) herausragend, dies begründet durch den ungünstigen Ist-Zustand, sondern Unternehmen 3 (4.6.3). Bei dem hierbei vorliegenden komplexen, sehr verzweigten Materialfluss konnte ein doppelspiraliges Layout eine Verbesserung von 44,8% realisieren. Dies ist vor allem im Vergleich zu einem im Zuge eines vorangegangenen Projektes, mittels klassischer Verfahren erstelltem Ideallayout, das lediglich eine Einsparung von 31,33% verbuchen konnte, beachtlich.

Bei der Betrachtung der Einsparungswerte ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den Ist-Zuständen um Restriktionen unterliegenden Reallayouts handelt (3.1.5.3). Die bionischen Layouts sind Ideallayouts (3.1.5.1), die keinen Restriktionen unterliegen. Für eine endgültige Aussage über die Einsparungspotentiale, muss im Zuge weiterführender Forschung eine Überführung der Ideallayouts in Reallayouts erfolgen. Zudem ist eine Adaption der Materialfluss-Software, hinsichtlich der Implementierung von Transportintensitätswerten direkt in Visio ratsam. Dadurch wäre eine immanente Berechnung der gesamten Transportintensität nicht notwendig. Zumal eine Darstellung von, der Transportintensität proportionalen Verbindungen im Kreisverfahren vorgesehen ist. Da das menschliche Gehirn erstaunliche Fähigkeiten zur graphischen Problemlösung besitzt, auf welche auch das „Foldit“-Projekt zur Optimierung von Proteinen aufbaut, wäre mit schnelleren und besseren Ergebnissen zu rechnen [ESB+12]. Als Gegenstand weiter Forschung bietet sich das doppelspiralige Layout bei Problemstellungen mit verzweigten Materialfüßen, wie aus Kapitel 4.5.2 hervorgeht, an.

7 Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

- [ABB04] Abbott, Andrew Delano: *Methods of discovery : Heuristics for the social sciences*. New York : W.W. Norton & Co., 2004 (Contemporary societies). – ISBN 978-0393978148
- [ARF09] Arnold, Dieter ; Furmans, Kai: *Materialfluss in Logistiksystemen*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2009. – ISBN 978-3-642-01404-8
- [AIK+08] Arnold, Dieter ; Isermann, Heinz ; Kuhn, Axel ; Tempelmeier, Horst ; Furmans, Kai: *Handbuch Logistik*. 3. neu bearbeitete Aufl., Berlin : Springer, 2008 (VDI-Buch). – ISBN 978-3-540-72928-0
- [BRU87] Brundtland, Gro Harlem: *Unsere gemeinsame Zukunft : der Brundtland-Bericht*. Greven : Eggenkamp, 1987
- [ESB+12] Eiben, Christopher B. ; Siegel, Justin B. ; Bale, Jacob B. ; Cooper, Seth ; Khatib, Firas ; Shen, Betty W. ; Players, Foldit ; Stoddard, Barry L. ; Popovic, Zoran ; Baker, David: *Increased Diels-Alderase activity through backbone remodeling guided by Foldit players*. In: *Nature Biotechnology* 30 (2012), Nr. 2, S. 190–192
- [GRU00] Grundig, Claus-Gerold: *Fabrikplanung: Planungssystematik, Methoden, Anwendungen*, 2000. – ISBN 3446406425
- [GRU12] Grundig, Claus-Gerold: *Fabrikplanung : Planungssystematik, Methoden, Anwendungen*. 4., neu bearb. Aufl. München [u.a.] : Hanser, 2012. – ISBN 978-3-446-43250-5
- [HIM12] Hauff, Michael von ; Isenmann, Ralf ; Müller-Christ, Georg: *Industrial Ecology Management*. Wiesbaden : Gabler Verlag, 2012. – ISBN 978-3-8349-2361-5
- [HIL99] Hill, Bernd: *Naturorientierte Lösungsfindung : Entwickeln und Konstruieren nach biologischen Vorbildern*. Renningen-Malmsheim : Expert Verlag, 1999. – ISBN 3816917704
- [KSG84] Kettner, Hans ; Schmidt, Jürgen ; Greim, Hans-Robert: *Leitfaden der systematischen Fabrikplanung*. München, Wien : Hanser, 1984. – ISBN 3446138250
- [KLA08] Klaus, Peter (Hrsg.): *Gabler-Lexikon Logistik : Management logistischer Netzwerke und Flüsse*. 4., komplett durchges. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2008. – ISBN 978-3-8349-0149-1
- [MAR06] Martin, Heinrich: *Transport- und Lagerlogistik : Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik ; mit 38 Tabellen*. 6., vollst. überarb. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2006 (Viewegs Fachbücher der Technik). – ISBN 978-3-8348-0168-5

- [MEL+13] Müller, Egon ; Engelmann, Jörg ; Löffler, Thomas ; Jörg, Strauch: *Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben*. Berlin, Heidelberg : Springer, 2013. – ISBN 978-3-642-31945-7
- [NAC08] Nachtigall, Werner: *Bionik: Lernen von der Natur : Von der Natur lernen*. Orig.-Ausg. München : Beck C. H; Beck, 2008 (2436 : C. H. Beck Wissen). – ISBN 3406536360
- [NAW05] Nachtigall, Werner (Hrsg.); Wisser, Alfred (Hrsg.): *Biologisches Design*. Berlin/Heidelberg : Springer-Verlag, 2005. – ISBN 3-540-22789-X
- [NAW13] Nachtigall, Werner ; Wisser, Alfred: *Bionik in Beispielen: 250 illustrierte Ansätze (German Edition)*. Berlin, Heidelberg : Springer Spektrum, 2013. – ISBN 3642347665
- [PAW08] Pawellek, Günther: *Ganzheitliche Fabrikplanung : Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung*. Berlin, Heidelberg : Springer, 2008 (VDI). – ISBN 978-3-540-78402-9
- [RES07] Reiss, K. ; Schmieder, Gerald: *Basiswissen Zahlentheorie : Eine Einführung in Zahlen und Zahlbereiche*. 2. Aufl. Berlin, New York : Springer, 2007 (Mathematik für das Lehramt). – ISBN 978-3-540-45377-2
- [ROP09] Ropohl, Günter: *Allgemeine Technologie : Eine Systemtheorie der Technik*. 3., überarb. Aufl. Karlsruhe : Univ.-Verl. Karlsruhe, 2009. – ISBN 978-3-86644-374-7
- [RSW06] Rother, Mike ; Shook, John ; Wiegand, Bodo: *Sehen lernen : Mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen*. Dt. Ausg., Vers. 1.2, Mai 2006. Aachen : Lean Management Inst., 2006 (Workbooks für Lean Management). – ISBN ISBN 978-3-9809521-1-8
- [SAL09] Saunders, W. Bruce ; Landman, Neil H.: *Nautilus : The biology and paleobiology of a living fossil : reprint with additions*. Dordrecht, New York : Springer, 2009, c2010 (Topics in geobiology v. 6). – ISBN 978-90-481-3299-7
- [SCH12] Schulthess, Marc: *Die Nutzung von Analogien im Innovationsprozess : Eine Untersuchung der Bedingungsfaktoren und Wirkungen*. Wiesbaden : Gabler Verlag, 2012 (SpringerLink : Bücher). – ISBN 978-3-8349-4027-8
- [SEI12] Seipold, Peer: *Entwicklung eines bionischen Vorgehensmodells zur Gestaltung von Wertschöpfungsketten*. Münster : Monsenstein und Vannerdat; Verl.-Haus Monsenstein und Vannerdat, 2012 (Bd. 10). – ISBN 3869917024
- [TEM06] Tempelmeier, Horst: *Material-Logistik : Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und -steuerung in Advanced Planning-Systemen*. 6., neubearbeitete Aufl. Berlin : Springer, 2006. – ISBN 3540284257

- [VDI08] VDI-Richtlinie 2498 Blatt 2; 2008; *Vorgehen bei einer Materialflussplanung Beispiel für ein Groblayout*
- [VDI09] VDI-Richtlinie 5200; 2009; *Fabrikplanung*
- [WER10] Wermke, Matthias (Hrsg.); Kunkel-Razum, Kathrin (Mitarb.); Scholze-Stubenrecht, Werner (Mitarb.) : *Duden*. 10. aktualisierte Auflage. Mannheim, Leipzig, Wien [etc.] : Dudenverlag, op. 2010 (Der Duden in zwölf Bänden : das Standardwerk zur deutschen Sprache 5). – ISBN 978-3-411-04060-5
- [WIE05] Wiendahl, Hans-Peter: *Betriebsorganisation für Ingenieure : Mit 2 Tabellen*. 5., aktualisierte Aufl. München, Wien : Hanser, 2005. – ISBN 3446228535

7.2 Internet-Quellen

- [ASI09] Asio, otus: *Blütenstand (tellerförmiger Korb) einer Sonnenblume (Helianthus annuus) in Balve-Eisborn*. 14:11, 27 September 2009. URL <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pflanze-Sonnenblume1-Asio.JPG>
- [CHR04] Chris 73: *Nautilus shell cut in half. The chambers are clearly visible and arranged in a logarithmic spiral*. 12:40, 5 May 2004. URL <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:NautilusCutawayLogarithmicSpiral.jpg>

7.3 Sonstige Quellen

- [CTR11]: *Trends in devices - Notebooks & Netbooks*. 2011. URL http://www.clearwatercf.com/documents/library/Mobile_Report_FINAL.pdf, 20.02.2014.
- [ACB09] Ackermann, Jörg ; Börner, Frank: *Layoutoptimierung für eine effiziente Produktion* (Symposium Innovationsforum Digitale Fabrik). Zwickau, 2009. URL http://www.fh-zwickau.de/fileadmin/ugroups/amb/ifp/innovationsforum/vortraege/tuc_ackermann.pdf, 18.02.2014.
- [TTJ12] Tinello Daniel ; Trummer Wolfgang ; Jodin Dirk: Efficient approach in modifying material flow systems. In: BOŠNJAK, Srđan (Hrsg.): *XX International Conference on "Material Handling, Constructions and Logistics", MHCL '12, 3 - 5 October 2012, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering*. Belgrade, Serbia, 2012, S. 243–246
- [WIH01] Wirth, S. ; Hildebrand, T.: Von der funktionalen zur vernetzbaren Produktionsfabrik. In: Fraunhofer IPA (Hrsg.): *Vortragsband 3. Deutsche Fachkonferenz Fabrikplanung : Fabrik 2005+: Agilität und Produktivität im Fokus* : Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 2001

7.4 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 3-1: Gestaltungsfelder der Fabrik (Eigene Darstellung in Anlehnung an [AIK+08])..... | 8 |
| Abbildung 3-2: Ablauf der Struktur- und Layoutplanung (Eigene Darstellung nach ([AIK+08], S.309)) | 10 |
| Abbildung 3-3: Teilziele zur wirtschaftlichen Fabrik (Eigene Darstellung nach ([AIK+08], S.310)) | 13 |
| Abbildung 3-4: Gliederung einer Fabrik nach Detaillierungsebenen (Eigene Darstellung vgl. ([AIK+08], S. 312))..... | 16 |
| Abbildung 3-5: Gestaltungsobjekte der Fabrik (Eigene Darstellung nach ([AIK+08], S. 311)) | 17 |
| Abbildung 3-6: Beispiel ABC-Analyse (Eigene Darstellung) | 19 |
| Abbildung 3-7: qualitatives Modell der Materialflussvernetzung (eigene Darstellung vgl. ([GRU12], S.122)) | 21 |
| Abbildung 3-8: Materialfluss und Transportmatrix (Eigene Darstellung vgl. ([GRU12], S. 122))..... | 22 |
| Abbildung 3-9: Erstellung einer Transportintensitätsmatrix nach ([AIK+08], S. 395)..... | 23 |
| Abbildung 3-10: Sankey-Diagramm mit Beständen (Eigene Darstellung vgl. ([HIM12], S. 267)) | 25 |
| Abbildung 3-11: Sankey-Diagramm mit Materialströmen (oben) und Kostenströmen (unten) (Eigene Darstellung vgl. ([HIM12], S. 269))..... | 27 |
| Abbildung 3-12: Layoutgestaltungsverfahren zur flussgerechten Anordnung von Struktureinheiten (Eigene Darstellung nach ([AIK+08], S.319))..... | 38 |
| Abbildung 3-13: Ausgangszustand Kreisverfahren (Eigene Darstellung) | 39 |
| Abbildung 3-14: Zielzustand Kreisverfahren (Eigene Darstellung) | 39 |
| Abbildung 3-15: Deformation des Grundkreises nach ([ACB09], S. 25) | 40 |
| Abbildung 3-16: Grunddisziplinen und Aspekte der Bionik (eigene Darstellung vgl. ([NAC08], S.11)) | 47 |
| Abbildung 3-17: Form- und Funktionsvergleich in der Analogieforschung (nach ([NAC08].S 46)) | 50 |
| Abbildung 3-18: Darstellung VDI 2011 (Eigene Darstellung nach ([SEI12], S. 81)) | 54 |
| Abbildung 3-19: Aus Quadrate aufgebaute Fibonacci-Spirale (Eigene Darstellung) | 56 |
| Abbildung 3-20: später Blütenstand einer Sonnenblume (Foto: [ASI09])..... | 57 |
| Abbildung 3-21: Fibonacci-Spirale beim Mittlerer Wegerich (nach ([NAW05], S. 237))..... | 58 |
| Abbildung 3-22: Blattrosette des Breitwegerichs mit hoher Lichtausbeute (nach ([NAW05], S. 61) | 59 |
| Abbildung 3-23: Schnittzeichnung durch die <i>N. pompilius</i> , mit Siphon (nach ([SAL09], S. 107) | 60 |
| Abbildung 3-24: Schnitt durch das Gehäuse eines Perlbootes (Foto: [CHR04]).. | 61 |
| Abbildung 4-1: Behandelte Bereiche des Vorgehensmodells (Eigene Darstellung nach ([SEI12]S. 81))..... | 63 |
| Abbildung 4-2: Einfügen der Elemente in Visio | 69 |
| Abbildung 4-3: Verknüpfung der Eingangsdaten mit den Elementen | 70 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 4-4: Anordnung der Elemente nach ihrem funktionellen Zusammenhang..... | 70 |
| Abbildung 4-5 Ist-Zustand des dritten betrachteten Unternehmens | 71 |
| Abbildung 4-6: Transportintensitätsmatrix..... | 72 |
| Abbildung 4-7: Grundriss Unternehmen 1 mit Sankey-Pfeilen, Teil 1 | 73 |
| Abbildung 4-8: Grundriss Unternehmen 1 mit Sankey-Pfeilen, Teil 2 | 74 |
| Abbildung 4-9: Grundriss Unternehmen 1 mit Transportwegen, Teil 1 | 74 |
| Abbildung 4-10: Grundriss Unternehmen 1 mit Transportwegen, Teil 2 | 75 |
| Abbildung 4-11: spiralisches Layout nach VDI mit Sankey-Pfeilen | 78 |
| Abbildung 4-12: Kreisverfahren des Unternehmens 1..... | 79 |
| Abbildung 4-13: Transportmengen als Sankey-Pfeile im einfachen Spiralenlayout | 80 |
| Abbildung 4-14: Transportwege im einfachen Spiralenlayout..... | 81 |
| Abbildung 4-15: Transportmengen als Sankey-Pfeile im Doppelspiralenlayout | 82 |
| Abbildung 4-16: Transportwege im Doppelspiralenlayout..... | 83 |
| Abbildung 4-17: Transportmengen von 40%-100% des größten Transportes als Sankey-Pfeile..... | 84 |
| Abbildung 4-18: Transportmengen von 20%-100% des größten Transportes als Sankey-Pfeile..... | 85 |
| Abbildung 4-19: gesamte Transportmengen als Sankey-Pfeile | 85 |
| Abbildung 4-20: Transportwege des optimierten Doppelspiralenlayout | 86 |
| Abbildung 4-21: Transporte im Unternehmen 2 als Sankey-Pfeile..... | 88 |
| Abbildung 4-22: Transportwege im Unternehmen 2..... | 89 |
| Abbildung 4-23: Transporte in Form von Sankey-Pfeilen des Unternehmens 2 | 92 |
| Abbildung 4-24: Transportwege im einfachspiralen Layout des Unternehmens 2 | 93 |
| Abbildung 4-25: Transporte im doppelspiralen Layout von Unternehmen 2... .. | 95 |
| Abbildung 4-26: Transportwege im doppelspiralen Layout von Unternehmen 2 | 96 |
| Abbildung 4-27: Unternehmen 3 mit Transporten $\geq 40\%$ des größten Transportes | 98 |
| Abbildung 4-28: Abbildung 4 22: Unternehmen 3 mit Transporten $\geq 20\%$ des größten Transportes..... | 98 |
| Abbildung 4-29: Transporte in Unternehmen 3 | 99 |
| Abbildung 4-30: Transportwege in Unternehmen 3..... | 100 |
| Abbildung 4-31: einfachspirales Layout mit Transporten $\geq 40\%$ | 103 |
| Abbildung 4-32: einfachspirales Layout mit Transporten $\geq 20\%$ | 103 |
| Abbildung 4-33: einfachspirales Layout mit allen Transporten | 104 |
| Abbildung 4-34: Transportwege im einfachspiralen Layout | 104 |
| Abbildung 4-35: doppelspirales Layout mit Transporten $\geq 40\%$ | 105 |
| Abbildung 4-36: doppelspirales Layout mit Transporten $\geq 20\%$ | 106 |
| Abbildung 4-37: doppelspirales Layout mit allen Transporten | 106 |
| Abbildung 4-38: Transportwege im doppelspiralen Layout..... | 107 |
| Abbildung 4-39: Layoutvarianten über Transportintensität und Einsparungspotential | 109 |
| Abbildung 4-40: Layoutvarianten über Transportintensität und Einsparungspotential | 111 |
| Abbildung 4-41: Layoutvarianten über Transportintensität und Einsparungspotential | 113 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 8-1: Transportwege des nach VDI 2498 aufgebauten spiraligen Layouts | 126 |
| Abbildung 8-2: Bereiche in Fibonacci-Quadraten, Transportweg als Einfachspirale | 127 |
| Abbildung 8-3: einfachspiraliges Layout mit sequenzieller Anordnung nach dem Kreisverfahren | 128 |

7.5 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabelle 3-1: Klassen einer ABC-Analyse (vgl. ([GRU12], S. 63) | 18 |
| Tabelle 3-2: Berechnung von prozentualen Bestand und Preis | 19 |
| Tabelle 3-3: Reihung nach Preisanteil und Klassifizierung durch Kumulierung der Anteile | 19 |
| Tabelle 3-4: Fünf Strukturebenen der Fertigungs- und Montageebene (vgl. [AIK+08], S. 314)..... | 31 |
| Tabelle 3-5: Quotienten aus Zeilen- und Spaltensumme | 41 |
| Tabelle 3-6: Identifikation der zweiten Station | 41 |
| Tabelle 3-7: Restriktionsarten der Layoutplanung (vgl. [AIK+08], S. 320) | 43 |
| Tabelle 4-1: Anforderungskatalog und Funktionsvergleich..... | 65 |
| Tabelle 4-2: Aufbau der Stationen des Materialflusses | 68 |
| Tabelle 4-3: Eingangsgrößen der Transporte (exemplarischer Ausschnitt) | 69 |
| Tabelle 4-4: Transportintensität, Ist-Zustand Unternehmen 1 | 75 |
| Tabelle 4-5: Transportmatrix des Ausgangszustandes | 76 |
| Tabelle 4-6: nach VDI 2498 optimierte Matrix..... | 77 |
| Tabelle 4-7: Reihung der Station nach VDI 2498 | 77 |
| Tabelle 4-8: Ausgangs-Transportmatrix zur Optimierung nach VDI 2498..... | 90 |
| Tabelle 4-9: Reihung der Stationen nach VDI 2498 | 90 |
| Tabelle 4-10: ABC-Analyse, Berechnung der Transportanteile..... | 102 |
| Tabelle 4-11: ABC-Analyse mit Klassifizierung | 102 |
| Tabelle 4-12: Gegenüberstellung der Layoutvarianten Unternehmen 1..... | 109 |
| Tabelle 4-13: Gegenüberstellung der Layoutvarianten Unternehmen 2..... | 111 |
| Tabelle 4-14: Gegenüberstellung der Layoutvarianten Unternehmen 3..... | 113 |
| Tabelle 8-1: Transportintensitätsmatrix, Unternehmen 1, Ist-Zustand | 129 |
| Tabelle 8-2: Transportintensitätsmatrix, Layout nach VDI 2498, Unternehmen 1 | 130 |
| Tabelle 8-3: Transportintensitätsmatrix Einfachspiralgiges Layout, Unternehmen 1 | 131 |
| Tabelle 8-4: Transportintensitätsmatrix, doppelspiralgiges Layout, Unternehmen 1 | 132 |
| Tabelle 8-5: Transportintensitätsmatrix, optimiertes doppelspiralige Layout, Unternehmen 1 | 133 |
| Tabelle 8-6: Transportintensitätsmatrix, Ist-Zustand, Unternehmen 2 | 134 |
| Tabelle 8-7: Transportintensitätsmatrix, einfachspiralgiges Layout, Unternehmen 2 | 134 |
| Tabelle 8-8: Transportintensitätsmatrix, doppelspiralgiges Layout, Unternehmen 2 | 135 |
| Tabelle 8-9: Transportintensitätsmatrix, Ist-Zustand, Unternehmen 3 | 136 |
| Tabelle 8-10: Transportintensitätsmatrix, einfachspiralgiges Layout, Unternehmen 3 | 137 |
| Tabelle 8-11: Transportintensitätsmatrix, doppelspiralgiges Layout, Unternehmen 3 | 138 |

7.6 Gleichungsverzeichnis

| | | |
|---|------------|----|
| $f_n = f_{n-1} + f_{n-2}$ für alle $n \geq 2$ mit Anfangswerten $f_0 = 0$ und $f_1 = 1$ | GL: 1 ... | 55 |
| $1x = x1 - x'$ | GL: 2..... | 56 |

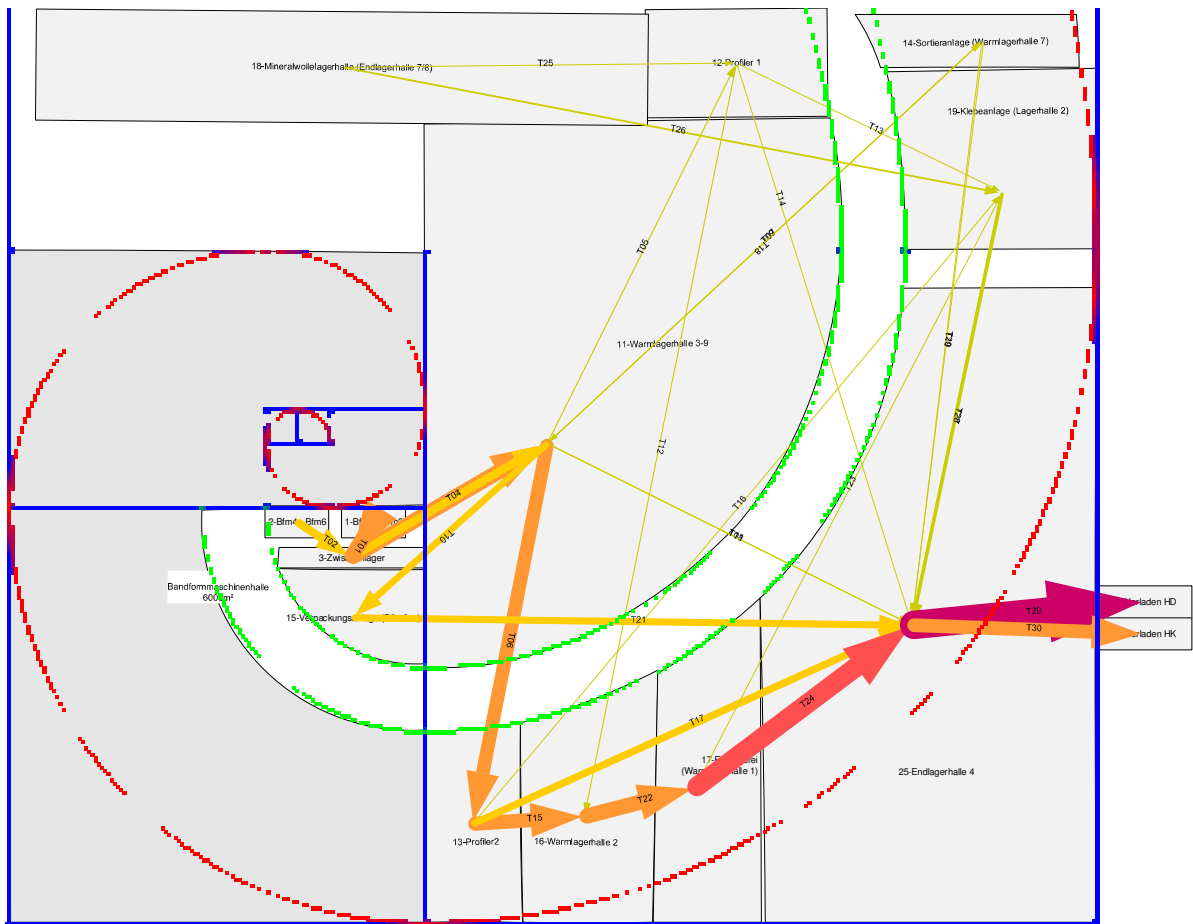


Abbildung 8-2: Bereiche in Fibonacci-Quadraten, Transportweg als Einfachspirale

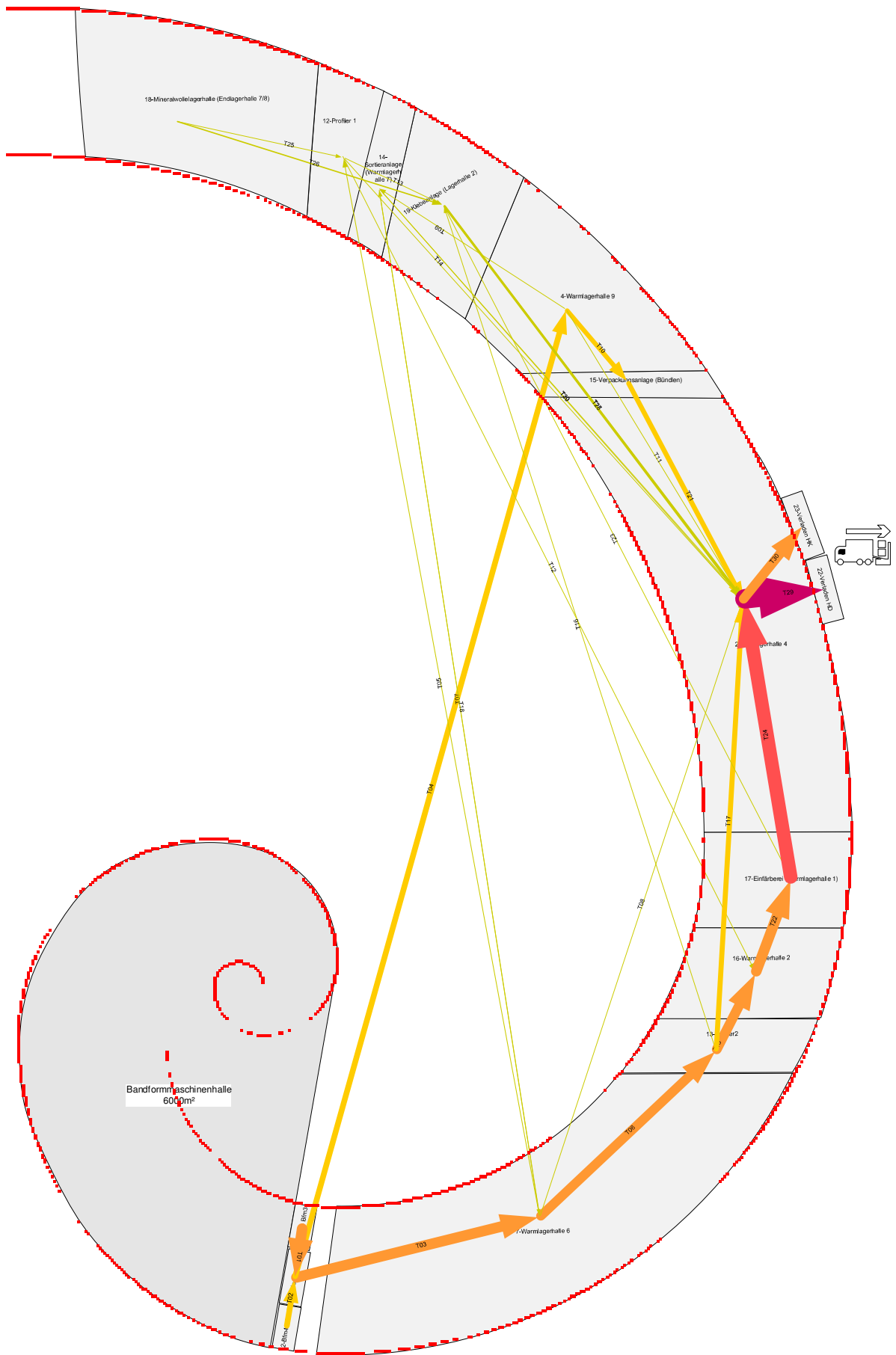


Abbildung 8-3: einfachspiraliges Layout mit sequenzieller Anordnung nach dem Kreisverfahren

8.1.1.2 Referenzlayout

Tabelle 8-1: Transportintensitätsmatrix, Unternehmen 1, Ist-Zustand

| | 1-Bfm1 - Bfm3 | 2-Bfm4 - Bfm6 | 3-Zwischenlager | 4-Warmlagerhalle 9 | 11-Warmlagerhalle | 12-Profilier 1 | 13-Profilier2 | 14-Sortieranlage (W | 15-Verpackungsant | 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-Warmlagerhalle 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150208 | 1471196 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 585749 | 0 | 0 | 2207153,27 |
| 11-Warmlagerhalle 3-9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 230597 | 1715220 | 25993,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86774 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2058584,88 |
| 12-Profilier 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 115700 | 0 | 0 | 6274 | 77789,2 | 0 | 0 | 0 | 199763,64 |
| 13-Profilier2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1041233 | 0 | 0 | 24232,3 | 3650222 | 0 | 0 | 0 | 4715687,785 |
| 14-Sortieranlage (Warmlagerhalle 7) | 0 | 0 | 0 | 0 | 11602,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 125171 | 73403,5 | 0 | 0 | 0 | 210177,5 |
| 15-Verpackungsanlage (Bündlen) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1935445 | 0 | 0 | 0 | 1935445,16 |
| 16-Warmlagerhalle 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1258431 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1258430,56 |
| 17-Einfärberei (Warmlagerhalle 1) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29258 | 2583578 | 0 | 0 | 0 | 2612835,96 |
| 18-Mineralwollelagerhalle (Endlagerhalle 7/8) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28420,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 384563 | 0 | 0 | 0 | 0 | 412983,87 |
| 19-Klebeanlage (Lagerhalle 2) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 132451 | 394323 | 0 | 0 | 0 | 526774,6 |
| 20-Endlagerhalle HD (Endlagerhallen 3,5,6) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3306288 | 0 | 0 | 3306288,4 |
| 21-Endlagerhalle HK (Endlagerhallen 4) | 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 | 176202 | 1471196 | 1156934 | 1258431 | 0 | 444327 | 6655986 | 2988921 | 3306288 | 1924608 | 26905861,49 |

8.1.1.3 Layout nach VDI 2498

Tabelle 8-2: Transportintensitätsmatrix, Layout nach VDI 2498, Unternehmen 1

| | 1-Bfm1 - Bfm3 | 2-Bfm4 - Bfm6 | 3-Zwischenlager | 4-Warmlagerhalle 9 | 11-Warmlagerhalle | 12-Profiler 1 | 13-Profiler2 | 14-Sortieranlage | 15-Verpackungsanl | 16-Warmlagerhalle | 17-Einfärberei | 18-Mineralwollelage | 19-Klebeanlage | 20-Endlagerhalle HD | 21-Endlagerhalle HK | 22-Verladen HD | 23-Verladen HK | Summe |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------------|--------------------|-------------------|---------------|--------------|------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|--------------------|
| 1-Bfm1 - Bfm3 | 0 | 0 | 203950 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 203949,7711 |
| 2-Bfm4 - Bfm6 | 0 | 0 | 107777 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 107776,9015 |
| 3-Zwischenlager | 0 | 0 | 0 | 419394 | 1626740 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2046134,171 |
| 4-Warmlagerhalle 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 71003 | 390410 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 227854 | 0 | 0 | 689266,7381 |
| 11-Warmlagerhalle 3-8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64912,8 | 850000 | 29304,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 53211,8 | 0 | 0 | 0 | 997429,1436 |
| 12-Profiler 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 74615,5 | 0 | 0 | 7038,61 | 84104,4 | 0 | 0 | 0 | 165758,5289 |
| 13-Profiler2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1581149 | 0 | 0 | 22832,3 | 1155895 | 0 | 0 | 0 | 2759876,686 |
| 14-Sortieranlage | 0 | 0 | 0 | 0 | 17520,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 61487,1 | 32728,5 | 0 | 0 | 111736,0231 |
| 15-Verpackungsanlage | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 884342 | 0 | 0 | 884342,4823 |
| 16-Warmlagerhalle 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1228393 | 0 | 0 | 2163549 | 0 | 0 | 0 | 3391941,747 |
| 17-Einfärberei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22992,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22992,5756 |
| 18-Mineralwollelagerhalle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19-Klebeanlage | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 248833 | 387670 | 0 | 0 | 636503,0481 |
| 20-Endlagerhalle HD | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1559447 | 0 | 1559446,887 |
| 21-Endlagerhalle HK | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 780403 | 780403,2131 |
| 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 | 311727 | 419394 | 1644260 | 64912,8 | 850000 | 100307 | 390410 | 1655764 | 1228393 | 0 | 52863,5 | 3767081 | 1532595 | 1559447 | 780403 | 14357557,92 |

8.1.1.4 Einfachspiraliges Layout

Tabelle 8-3: Transportintensitätsmatrix Einfachspiraliges Layout, Unternehmen 1

| | 1-Bfm1 - Bfm3 | 2-Bfm4 - Bfm6 | 3-Zwischenlager | 4-Warmlagerhalle 9 | 11-Warmlagerhalle | 12-Profilier 1 | 13-Profilier2 | 14-Sortieranlage (W | 15-Verpackungsanl | 16-Warmlagerhalle | 17-Einfärberei (War | 18-Mineralwollelage | 19-Klebeanlage (Lag | 20-Endlagerhalle HD | 21-Endlagerhalle HK | 22-Verladen HD | 23-Verladen HK | Summe |
|-------------------|---------------|---------------|-----------------|--------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|--------------------|
| 1-Bfm1 - Bfm3 | 0 | 0 | 192329 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 192329,2112 |
| 2-Bfm4 - Bfm6 | 0 | 0 | 122241 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 122240,6001 |
| 3-Zwischenlager | 0 | 0 | 0 | 345399 | 1082473 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1427871,706 |
| 4-Warmlagerhall | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 48228,4 | 418346 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 231758 | 0 | 0 | 698333,0301 |
| 11-Warmlagerha | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 61676,8 | 1149806 | 17233,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 57419,1 | 0 | 0 | 0 | 1286135,135 |
| 12-Profilier 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 118728 | 0 | 0 | 13710 | 128763 | 0 | 0 | 0 | 261200,9869 |
| 13-Profilier2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1154267 | 0 | 0 | 26805,1 | 1082683 | 0 | 0 | 0 | 2263754,881 |
| 14-Sortieranlage | 0 | 0 | 0 | 0 | 9664,57 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76605,4 | 40355,6 | 0 | 0 | 126625,592 |
| 15-Verpackungs | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 785577 | 0 | 0 | 785576,8984 |
| 16-Warmlagerha | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1280301 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1280301,177 |
| 17-Einfärberei (V | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34372,6 | 2253710 | 0 | 0 | 0 | 2288082,522 |
| 18-Mineralwolle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19993,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 208742 | 0 | 0 | 0 | 0 | 228736,0723 |
| 19-Klebeanlage (| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 187081 | 291333 | 0 | 0 | 478414,804 |
| 20-Endlagerhalle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 939633 | 0 | 0 | 939632,5729 |
| 21-Endlagerhalle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 467647 | 0 | 467646,876 |
| 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 | 314570 | 345399 | 1092137 | 81670,5 | 1149806 | 65462,1 | 418346 | 1272996 | 1280301 | 0 | 283630 | 3786261 | 1349024 | 939633 | 467647 | 12846882,06 |

8.1.1.5 Doppelspiraliges Layout

Tabelle 8-4: Transportintensitätsmatrix, doppelspiraliges Layout, Unternehmen 1

| | 1-Bfm1 - Bfm3 | 2-Bfm4 - Bfm6 | 3-Zwischenlager | 4-Warmlagerhalle 9 | 11-Warmlagerhalle | 12-Profilier 1 | 13-Profilier2 | 14-Sortieranlage (W | 15-Verpackungsanl | 16-Warmlagerhalle | 17-Einfärberei (War | 18-Mineralwollelage | 19-Klebeanlage (Lag | 20-Endlagerhalle HD | 21-Endlagerhalle HK | 22-Verladen HD | 23-Verladen HK | Summe |
|-------------------|---------------|---------------|-----------------|--------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|--------------------|
| 1-Bfm1 - Bfm3 | 0 | 0 | 462767 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 462766,9487 |
| 2-Bfm4 - Bfm6 | 0 | 0 | 312241 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 312240,9934 |
| 3-Zwischenlager | 0 | 0 | 0 | 709776 | 1518855 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2228630,956 |
| 4-Warmlagerhall | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34693,7 | 179666 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101190 | 0 | 0 | 315548,9981 |
| 11-Warmlagerha | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 133097 | 1018394 | 33183,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 55389,2 | 0 | 0 | 0 | 1240064,022 |
| 12-Profilier 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 94076,4 | 0 | 0 | 6202,07 | 78194,5 | 0 | 0 | 0 | 178473,0454 |
| 13-Profilier2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 971090 | 0 | 0 | 19874 | 850121 | 0 | 0 | 0 | 1841085,695 |
| 14-Sortieranlage | 0 | 0 | 0 | 0 | 18654,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81042,3 | 42629,2 | 0 | 0 | 142325,8738 |
| 15-Verpackungsa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 485791 | 0 | 0 | 485790,8695 |
| 16-Warmlagerha | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1055432 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1055431,8 |
| 17-Einfärberei (V | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19101,1 | 903878 | 0 | 0 | 0 | 922978,6357 |
| 18-Mineralwolle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27545,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 463974 | 0 | 0 | 0 | 0 | 491519,4014 |
| 19-Klebeanlage (| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 244038 | 379315 | 0 | 0 | 623353,1734 |
| 20-Endlagerhalle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1179104 | 0 | 0 | 1179103,507 |
| 21-Endlagerhalle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 596743 | 0 | 596743,491 |
| 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 | 775008 | 709776 | 1537509 | 160642 | 1018394 | 67877,5 | 179666 | 1065167 | 1055432 | 0 | 509151 | 2212663 | 1008925 | 1179104 | 596743 | 12076057,41 |

8.1.1.6 Optimiertes doppelspiraliges Layout

Tabelle 8-5: Transporentenitätsmatrix, optimiertes doppelspiralige Layout, Unternehmen 1

| | 1-Bfm1 - Bfm3 | 2-Bfm4 - Bfm6 | 3-Zwischenlager | 4-Warmlagerhalle 9 | 11-Warmlagerhalle | 12-Profilier 1 | 13-Profilier2 | 14-Sortieranlage | 15-Verpackungsanl | 16-Warmlagerhalle | 17-Einfärberei | 18-Mineralwollelage | 19-Klebeanlage | 22-Verladen HD | 23-Verladen HK | 28-Endlagerhalle 3,4 | Summe |
|------------------|---------------|---------------|-----------------|--------------------|-------------------|----------------|---------------|------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|--------------------|
| 1-Bfm1 - Bfm3 | 0 | 0 | 238518 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 238517,5732 |
| 2-Bfm4 - Bfm6 | 0 | 0 | 137994 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 137994,4326 |
| 3-Zwischenlager | 0 | 0 | 0 | 648331 | 1152259 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1800590,402 |
| 4-Warmlagerhall | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 62884,8 | 179666 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 98276,1 | 340826,6465 |
| 11-Warmlagerha | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 136520 | 1032322 | 15219,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 53685,5 | 1237747,02 |
| 12-Profilier 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 69664,7 | 0 | 0 | 1650,17 | 0 | 0 | 123668 | 194982,9171 |
| 13-Profilier2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 698484 | 0 | 0 | 21516,7 | 0 | 0 | 780622 | 1500622,286 |
| 14-Sortieranlage | 0 | 0 | 0 | 0 | 8535,05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38406,1 | 46941,1598 |
| 15-Verpackungsa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 442432 | 442431,8348 |
| 16-Warmlagerha | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 644469 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 644469,3578 |
| 17-Einfärberei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21578 | 0 | 0 | 757959 | 779536,7673 |
| 18-Mineralwolle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7759,16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 250692 | 0 | 0 | 0 | 258451,0626 |
| 19-Klebeanlage | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 268354 | 268353,9215 |
| 22-Verladen HD | 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 |
| 28-Endlagerhalle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 832081 | 466146 | 0 | 1298226,837 |
| Summe | 0 | 0 | 376512 | 648331 | 1160794 | 144279 | 1032322 | 78104,4 | 179666 | 768148 | 644469 | 0 | 295437 | 832081 | 466146 | 2563402 | 9189692,219 |

8.1.2 Unternehmen 2

8.1.2.1 Referenzlayout

Tabelle 8-6: Transportintensitätsmatrix, Ist-Zustand, Unternehmen 2

| | 1-Wareneingang | 2-Produktion | 4-Hauptlager | 6-Kommissoinierung | 8-Qualitätsprüfung | 9-Warenausgang | 10-Eingangsrampe | 11-Ausgangsrampe | Summe |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------|------------------|------------------|---------|
| 1-Wareneingang | 0 | 0 | 16920,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16920,3 |
| 2-Produktion | 0 | 0 | 20287,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20287,1 |
| 4-Hauptlager | 0 | 22758,6 | 0 | 28820 | 4633,85 | 0 | 0 | 0 | 56212,4 |
| 6-Kommissoinierung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26763 | 0 | 0 | 26763 |
| 8-Qualitätsprüfung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9-Warenausgang | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10934 | 10934 |
| 10-Eingangsrampe | 5235,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5235,2 |
| 11-Ausgangsrampe | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Summe | 5235,2 | 22758,6 | 37207,4 | 28820 | 4633,85 | 26763 | 0 | 10934 | 136352 |

8.1.2.2 Einfachspiraliges Layout

Tabelle 8-7: Transportintensitätsmatrix, einfachspiraliges Layout, Unternehmen 2

| | 1-Wareneingang | 2-Produktion | 4-Hauptlager | 6-Kommissoinierung | 8-Qualitätsprüfung | 9-Warenausgang | 10-Eingangsrampe | 11-Ausgangsrampe | Summe |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------|------------------|------------------|---------|
| 1-Wareneingang | 0 | 0 | 16749,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16749,1 |
| 2-Produktion | 0 | 0 | 4684,78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4684,78 |
| 4-Hauptlager | 0 | 5255,52 | 0 | 22305,7 | 3030,12 | 0 | 0 | 0 | 30591,3 |
| 6-Kommissoinierung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14043 | 0 | 0 | 14043 |
| 8-Qualitätsprüfung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9-Warenausgang | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8122,33 | 8122,33 |
| 10-Eingangsrampe | 5182,61 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5182,61 |
| 11-Ausgangsrampe | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Summe | 5182,61 | 5255,52 | 21433,9 | 22305,7 | 3030,12 | 14043 | 0 | 8122,33 | 79373,1 |

8.1.2.3 Doppelspiraliges Layout

Tabelle 8-8: Transportintensitätsmatrix, doppelspiraliges Layout, Unternehmen 2

| | 1-Wareneingang | 2-Produktion | 4-Hauptlager | 6-Kommissoinierun | 8-Qualitätsprüfung | 9-Warenausgang | 10-Eingangsrampe | 11-Ausgangsrampe | Summe |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|-------------------|--------------------|----------------|------------------|------------------|---------|
| 1-Wareneingang | 0 | 0 | 7771 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7771 |
| 2-Produktion | 0 | 0 | 6923,82 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6923,82 |
| 4-Hauptlager | 0 | 7753,89 | 0 | 28058,9 | 1954,66 | 0 | 0 | 0 | 37767,4 |
| 6-Kommissoinierung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14400 | 0 | 0 | 14400 |
| 8-Qualitätsprüfung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9-Warenausgang | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6352,54 | 6352,54 |
| 10-Eingangsrampe | 3483,91 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3483,91 |
| 11-Ausgangsrampe | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Summe | 3483,91 | 7753,89 | 14694,8 | 28058,9 | 1954,66 | 14400 | 0 | 6352,54 | 76698,7 |

8.1.3 Unternehmen 3

8.1.3.1 Referenzlayout

Tabelle 8-9: Transportintensitätsmatrix, Ist-Zustand, Unternehmen 3

| | 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 | 21524 | 50629 | 18136 | 58177 | 0 | 19319 | 109508 | 3051 | 26707 | 0 | 0 | 3244 | 0 | 0 | 317798 |
| 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 | 3270 | 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 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5477 |
| 6-Holzkerne, Abl | 0 | 5934 | 0 | 0 | 0 | 0 | 637 | 0 | 0 | 0 | 5229 | 5168 | 8766 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25734 |
| 7-Sublimation | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 784 | 0 | 1040 | 0 | 17049 | 0 | 15933 | 0 | 0 | 0 | 11437 | 0 | 0 | 46243 |
| 8-Siebdruckerei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18389 | 0 | 13757 | 0 | 47923 | 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 | 0 | 0 | 0 | 82312 | 555 | 4464 | 0 | 0 | 0 | 1113 | 0 | 90608 |
| 12-SWN-Laminie | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 594 | 0 | 29713 | 0 | 43195 | 0 | 73501 |
| 13-Kaschiererei | 0 | 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 | 0 | 57574 | 0 | 0 | 0 | 0 | 57574 |
| 15-Trockenkamm | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13711 | 27586 | 0 | 42650 | 14156 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14289 | 0 | 0 | 0 | 112392 |
| 16-Schleiflinien | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 838 | 0 | 0 | 6284 | 151604 | 0 | 158726 |
| 17-PLT-Anlage | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7056 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7056 |
| 18-Finish | 225575 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2027 | 0 | 85542 | 0 | 0 | 0 | 313143 |
| Summe | 225575 | 82286 | 0 | 7504 | 21524 | 65123 | 63062 | 64221 | 42650 | 68913 | 202525 | 38464 | 50451 | 125987 | 129543 | 20965 | 195912 | 0 | 1404705 |

8.1.3.2 Einfachspiraliges Layout

Tabelle 8-10: Transportintensitätsmatrix, einfachspiraliges Layout, Unternehmen 3

| | 1-Verladerampe | 2-Wareneingangslager | 3-Lacklager | 4-Digitaldruckerei | 5-Kantenbiegerei | 6-Holzkerne, Abläng | 7-Sublimation | 8-Siebdruckerei | 9-Beschichtung, Sie | 10-GFM, Stanzer | 12-SWN-Laminieru | 13-Kaschiererei | 14-PU-Schäumerei | 15-Trockenkammer | 16-Schleiflinien | 17-PLT-Anlage | 18-Finish | Summe |
|--------------------|----------------|----------------------|-------------|--------------------|------------------|---------------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|---------------|-----------|---------|
| 1-Verladerampe | 0 | 64972 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64972 |
| 2-Wareneingang | 0 | 0 | 0 | 6277 | 101340 | 22808 | 13008 | 36690 | 0 | 7732 | 37481 | 3408 | 25375 | 0 | 0 | 2471 | 0 | 256589 |
| 3-Lacklager | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1896 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1896 |
| 4-Digitaldruckerei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16555 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16555 |
| 5-Kantenbiegerei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2732 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2732 |
| 6-Holzkerne, Abl | 0 | 6937 | 0 | 0 | 0 | 0 | 322 | 0 | 0 | 0 | 4893 | 5842 | 18224 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36219 |
| 7-Sublimation | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 679 | 0 | 780 | 0 | 9958 | 0 | 9588 | 0 | 0 | 0 | 6822 | 0 | 27827 |
| 8-Siebdruckerei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 68473 | 0 | 4210 | 0 | 18665 | 0 | 0 | 0 | 91348 |
| 9-Beschichtung, S | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9552 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9552 |
| 10-GFM, Stanzer | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 494 | 0 | 0 | 0 | 47965 | 809 | 13178 | 0 | 0 | 0 | 2197 | 64642 |
| 12-SWN-Laminie | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 903 | 0 | 47393 | 0 | 13978 | 62274 |
| 13-Kaschiererei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20076 | 0 | 0 | 0 | 20076 |
| 14-PU-Schäumer | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15594 | 0 | 0 | 0 | 15594 |
| 15-Trockenkamm | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12095 | 10790 | 0 | 5051 | 65202 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42406 | 0 | 0 | 135544 |
| 16-Schleiflinien | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 566 | 0 | 0 | 24593 | 71352 | 96512 |
| 17-PLT-Anlage | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7928 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7928 |
| 18-Finish | 87827 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2482 | 0 | 40260 | 0 | 0 | 130569 |
| Summe | 87827 | 71909 | 0 | 6277 | 101340 | 35582 | 50721 | 39366 | 5051 | 151365 | 93072 | 23857 | 68656 | 54335 | 130059 | 33886 | 87527 | 1040830 |

8.1.3.3 Doppelspiraliges Layout

Tabelle 8-11: Tranportintensitätsmatrix, doppelspiraliges Layout, Unternehmen 3

| | 1-Verladerampe | 2-Wareneingangslager | 3-Lacklager | 4-Digitaldruckerei | 5-Kantenbiegerei | 6-Holzkerne, Abläng | 7-Sublimation | 8-Siebdruckerei | 9-Beschichtung, Sie | 10-GFM, Stanzerei | 12-SWN-Laminierun | 13-Kaschiererei | 14-PU-Schäumerei | 15-Trockenkammer | 16-Schleiflinien | 17-PLT-Anlage | 18-Finish | Summe |
|----------------------------|----------------|----------------------|-------------|--------------------|------------------|---------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|---------------|-----------|--------|
| 1-Verladerampe | 0 | 61606 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 61606 |
| 2-Wareneingangslager | 0 | 0 | 0 | 3712 | 7270 | 16147 | 12791 | 23872 | 0 | 15645 | 29821 | 1169 | 29761 | 0 | 0 | 2602 | 0 | 142792 |
| 3-Lacklager | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3564 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3564 |
| 4-Digitaldruckerei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4649 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4649 |
| 5-Kantenbiegerei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7073 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7073 |
| 6-Holzkerne, Ablängerei PU | 0 | 4893 | 0 | 0 | 0 | 0 | 476 | 0 | 0 | 0 | 1171 | 5007 | 11505 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23053 |
| 7-Sublimation | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 597 | 0 | 2409 | 0 | 26258 | 0 | 10990 | 0 | 0 | 0 | 7709 | 0 | 47963 |
| 8-Siebdruckerei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16259 | 0 | 3901 | 0 | 27110 | 0 | 0 | 0 | 47270 |
| 9-Beschichtung, Siebelager | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4656 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4656 |
| 10-GFM, Stanzerei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1134 | 0 | 0 | 0 | 27853 | 1156 | 4248 | 0 | 0 | 0 | 3134 | 37525 |
| 12-SWN-Laminierung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 920 | 0 | 35466 | 0 | 51310 | 87696 |
| 13-Kaschiererei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17798 | 0 | 0 | 0 | 17798 |
| 14-PU-Schäumerei | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37169 | 0 | 0 | 0 | 37169 |
| 15-Trockenkammer | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7339 | 10696 | 0 | 10650 | 4604 | 0 | 0 | 0 | 0 | 53006 | 0 | 0 | 86296 |
| 16-Schleiflinien | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1393 | 0 | 0 | 5329 | 31692 | 38414 |
| 17-PLT-Anlage | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6837 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6837 |
| 18-Finish | 97863 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5128 | 0 | 17882 | 0 | 0 | 120873 |
| Summe | 97863 | 66499 | 0 | 3712 | 7270 | 24084 | 34402 | 29845 | 10650 | 62766 | 65918 | 22223 | 59793 | 82078 | 106354 | 15640 | 86136 | 775233 |