

# 1 Einleitung

Die Kosten für den innerbetrieblichen Materialtransport hängen direkt und unmittelbar von den Entfernungen ab, die innerhalb eines Materialflusssystem zurückgelegt werden müssen. Normalerweise wird der eigentliche Transport innerhalb eines intralogistischen Systems nicht wertschöpfend genutzt, so dass eine Verkürzung der Transportwege unmittelbaren Einfluss auf die Logistikkosten hat. Entsprechend hoch ist der Nutzen einer Optimierung der innerbetrieblichen Transporte. Insbesondere vor dem Hintergrund der zunehmenden Systemflexibilität, beispielsweise durch die Trends zur Modularisierung und Wandelbarkeit, können kurzfristige Umbauten zu langfristigen Ersparnissen führen.

Wandelbare Systeme können dabei ad hoc restrukturiert werden, so dass sich mögliche Planungsvorläufe stetig verringern. Dieser Tatsache kann begegnet werden, indem der Planungsprozess durch computerbasierte Assistenzsysteme unterstützt wird. In der vorliegenden Arbeit wird ein Verfahren vorgestellt, das einen solchen Planungsprozess im Bereich der Anordnungsplanung intralogistischer Systeme unterstützt.

Die Notwendigkeit, ein solches Verfahren zu entwickeln und langfristig in Planungsprozesse zu integrieren, wird in Abschnitt 1.1 ergänzend zu den bisherigen Inhalten dargestellt. Dies zeigt den Bedarf für ein solches Verfahren und begründet direkt das Ziel dieser Arbeit, welches in Abschnitt 1.2 explizit formuliert wird. Um dieses Ziel zu erreichen, bedarf es einer generellen Vorgehensstrategie. Diese wird in Abschnitt 1.3 erläutert. Die Anwendung dieser wissenschaftlichen Methode definiert entsprechend den Inhalt dieser Arbeit, die sich in unterschiedliche Arbeitsschritte gliedert. Diese sind der Kapitelstruktur zugeordnet, welche in Abschnitt 1.4 beschrieben wird.

## 1.1 Motivation für die Arbeit

Intralogistische Systeme unterliegen einem zunehmenden Zwang zur Wandelbarkeit. Die fortschreitende Kundenindividualisierung diversifiziert die Produktionsschritte und führt aufgrund des zunehmenden Direktvertriebs durch den E-Commerce zu geringeren Losgrößen. Die Reaktion auf dieses Verhalten besteht in der Modularisierung technischer Werke, um kurze Konfigurationszeiten zu ermöglichen. Diese Trends haben sich in der Logistik durch den Paradigmenwechsel hin zur dezentralen Steuerung im Internet der Dinge durchgesetzt. Gleichzeitig entstehen Bestrebungen im Bereich der Produktion, die benötigten Technologien zu modularisieren und somit eine Erhöhung der Flexibilität zu ermöglichen. Dies führt zu einem gesteigerten Bedarf an neuen planerischen Methoden, die diese Wandelbarkeit abbilden können.

Mit diesen Trends haben intelligente Komponenten in die Materialflusssysteme Einzug gehalten. Diese zunehmende Intelligenz ist die Folge der vierten industriellen Revolution und ermöglichen es, dass sich Maschinen untereinander abstimmen, um die an das Gesamtsystem gestellten Aufgaben zu erfüllen. Gleichzeitig wird die Steuerung mit der Funktion in einem Gewerk gekapselt. Dadurch wird ein kurzfristiger Austausch solcher intelligenter Komponenten ermöglicht, um Systemfunktionalitäten zu verändern oder Kapazitäten an geänderte Gegebenheiten anzupassen.

Dies dient dem Ziel, auf die Anforderungen der Kunden zu reagieren. Diese haben sich aufgrund des zunehmenden E-Commerce, des gestiegenen Bedarfs nach individuellen Produkten und der kürzeren Produktlebenszyklen in den vergangenen Jahren verändert. Es entstehen dadurch volatile Märkte, welche von zentralistischen Produktionen und Distributionen nur durch erhöhten Transportaufwand versorgt werden können.

Bezogen auf die Intralogistik jedes betroffenen Unternehmens bedeutet dies, dass die Planungshorizonte von zehn und mehr Jahren nahezu obsolet sind (siehe [Gud12a, S. 78 und S. 149]). Zudem können bestehende, statische Systeme nur während Stillstandszeiten modifiziert und an die Marktsituationen angepasst werden. Dies verändert die Planung von Materialflusssystemen insofern, dass die verfügbare Zeit für die Planung zunehmend kürzer und damit der Planungsvorlauf reduziert wird.

Um weiterhin optimale Systeme zu realisieren, werden Assistenzsysteme für die beteiligten Planer angeboten. Diese Software-Applikationen unterstützen mithilfe von Computern einzelne Entscheidungsprozesse mit optimalen Teillösungen, die manuell nicht oder nur mit hohem zeitlichen Aufwand erzeugt werden können.

Ein grundlegender Schritt jeder Planung eines Materialflusssystems ist die Anordnungsplanung. Diese hat zum Ziel, ein Layout zu erstellen, das einen optimalen Materialfluss ermöglicht. Die Lösungsfindung kann mithilfe von Softwarewerkzeugen unterstützt werden, indem komplexe Berechnungen zur optimalen Anordnung auf die Eingabeparameter eines Planers angewandt werden.

Hierzu wird eine mathematische Problemstellung formuliert und diese mit aktuellen Meta-Heuristiken gelöst. Diese Lösungsalgorithmen haben zum Ziel, eine optimale Anordnung von Materialflusskomponenten zu erzeugen und diese auf einer vorgegebenen Fläche zu platzieren. Die Berechnungen dieser Algorithmen sind dabei auf die vorhandenen Gewerke eines Materialflusssystems fokussiert, da deren Positionierung entscheidend die Weglängen beeinflusst.

Diese Gewerke sind allerdings nicht ausschließlich für die Nutzung der verfügbaren Fläche verantwortlich, da weitere Bereiche für den innerbetrieblichen Transport benötigt werden. Wenn diese Transportsysteme flurgebunden ausgeführt sind, werden Gassen für Flurförderzeuge oder Installationsflächen für aufgeständerte Stetigfördertechnik benötigt. Diese werden im aktuellen Stand von Technik und Wissenschaft nicht berücksichtigt, sondern sind zumeist Teil nachgelagerter Planungsprozesse, die nicht mehr von der Anordnungsplanung erfasst werden.

Es entsteht somit der Bedarf nach einem effizienten Verfahren zur ganzheitlichen Anordnungsplanung, welches sowohl die Anordnung von Komponenten als auch deren Verbindungen ermöglicht.

## 1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es somit, eine Methode zu entwickeln, die den Planungsschritt der Anordnungsplanung ganzheitlich durchführt. Gleichzeitig soll eine effiziente Möglichkeit geschaffen werden, die an einem Planungsprozess beteiligten Personen durch ein entsprechendes Vorgehensmodell zu unterstützen.

Im Detail bedeutet dies, dass ein Verfahren entwickelt werden soll, das eine Anordnungsplanung vollständig innerhalb eines Planungsprozesses durchführen kann. Die Ergebnisse der vorgelagerten Planungsphasen sollen genutzt werden, um eine Anordnung für die Komponenten und deren Verbindungen zu finden, welche vorgegebene Gütekriterien erfüllt. Bei den Eingaben handelt es sich beispielsweise um die Ergebnisse von Kapazitäts- und Flächenbedarfsplanungen und damit konkrete Flächenvorgaben für die Komponenten und die Materialstromstärken ihrer Verbindungen. Aus diesen Informationen sollen Anordnungsvarianten errechnet werden, welche nach definierten Optimierungskriterien erstellt wurden. Hierbei kann es sich beispielsweise um die kumulierten Transportintensitäten eines Materialflusssystemes handeln, welche durch eine geeignete Platzierung der Gewerke und Fördertechnikstrecken minimiert werden.

Diese Methode wird zudem so in den Planungsprozess eingebettet, dass keine zusätzlichen Vor- und Nacharbeiten den bisherigen Arbeitsablauf unterbrechen. Es ist somit das erklärte Ziel des Verfahrens und des zugehörigen Ablaufmodells, die bestehenden logistischen Planungs- und Datenmodelle zu integrieren und sinnvoll zu erweitern.

## 1.3 Lösungsstrategie der Aufgabenstellung

Das Ziel dieser Arbeit kann explizit in Form von Arbeitshypothesen formuliert werden. Diese dienen als Ausgangspunkt für die durchgeführten Arbeiten und werden im Verlauf dieser Arbeit in eine entsprechende Synthese des Ergebnisses überführt.

Zunächst wird die Behauptung aufgestellt, dass bislang für die Planungsprozesse zur Anordnung von intralogistischen Systemen kein ganzheitliches Verfahren existiert. Eine Optimierung wird insbesondere im Bereich der Flächenanordnung in Abhängigkeit von der Materialflusstärke durchgeführt. Zur Platzierung von Organisationseinheiten (OE) existieren manuelle und automatisierte Verfahren, welche allerdings die anschließende Planung des Transportsystems zwischen den angeordneten Flächen nicht wesentlich berücksichtigen. Somit können die Ergebnisse der reinen Flächenanordnung nicht direkt in die Realität übertragen werden, da die Platzforderungen der Transportmittel in einer anschließenden Planungsphase berücksichtigt werden müssen.

Diese Einschränkung in der Nutzbarkeit erzeugter Ergebnisse während der Anordnungsplanung kann beseitigt werden. Es existieren Verfahren, die nicht speziell für die Planung intralogistischer Systeme entwickelt worden sind, allerdings dennoch mit entsprechenden Anpassungen genutzt werden können. Dies resultiert in der zweiten Hypothese, die in dieser Arbeit betrachtet wird: Es ist möglich, die Anordnungsplanung von logistischen Gewerken und dem zugehörigen Transportsystem zu einem ganzheitlichen Verfahren zu vereinen. Dadurch wird eine Optimierung der gesamten Anordnung ermöglicht, welche die Potenziale nutzt, die bei einer exklusiven Optimierung der Flächenplanung einerseits und der Transportplanung andererseits unberücksichtigt bleiben.

In den folgenden Kapiteln wird es angestrebt, die erste Hypothese zu widerlegen. Dies ist der Fall, wenn bereits ein ganzheitliches Verfahren zur Anordnungsplanung existiert, das sowohl die Flächenbedarfe der logistischen Gewerke als auch die notwendigen Flächen für ein verbindendes Transportsystem berücksichtigt. Dazu wird der Stand der Technik und Forschung aufgearbeitet, um ein solches Verfahren dokumentiert aufzufinden.

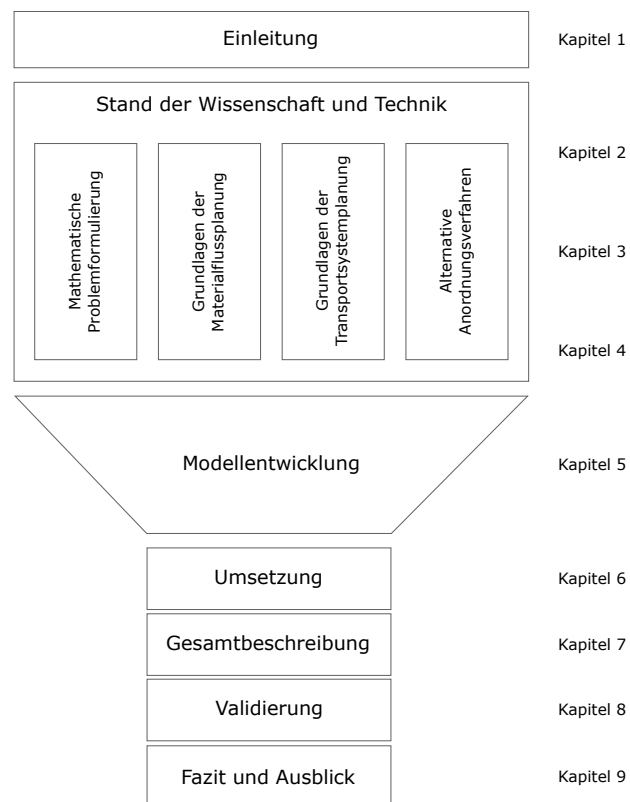
Die Lösung der Anordnungsplanung intralogistischer Systeme als ganzheitlicher Prozess wird anschließend entwickelt. Um die Funktionsfähigkeit des erarbeiteten Verfahrens zu überprüfen, werden empirische Untersuchungen und Experimente an bestehenden Planungsvorhaben durchgeführt. Durch dieses Vorgehen kann zum einen belegt werden, dass die ganzheitliche Planung möglich ist. Andererseits können qualitative Unterschiede zwischen einer reinen Flächenplanung und einer inkludierten Transportsystemanordnung herausgestellt werden.

Insgesamt ist es somit das wissenschaftliche Ziel dieser Arbeit, nachweislich aufzuzeigen, dass die ganzheitliche Anordnungsplanung entgegen dem aktuellen Stand der Forschung möglich ist, indem Lösungen für ähnliche Problemstellungen gezielt zum Einsatz gebracht werden.

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Das Problem der optimalen Anordnung von intralogistischen Materialflusssystemen kann in Form einer mathematischen Fragestellung abgebildet werden. Dieses Optimierungsproblem liegt dieser Arbeit zugrunde. Zusätzlich existieren neben der grundlegenden Problemformulierung weitere Spezialisierungen, die unterschiedliche Aufgabenstellungen ansprechen. Dieses mathematische Problem und die bekannten Varianten werden in Kapitel 2 vorgestellt. Diese Beschreibung stellt eine der Grundlagen dieser Arbeit dar. Anschließend wird der aktuelle Stand der Wissenschaft und Technik im Bereich der intralogistischen Planung aufgezeigt. Im Kapitel 3 werden hierzu praktisch angewandte Verfahren und aktuelle Forschungsvorhaben vorgestellt, welche die Anordnungsplanung intralogistischer Systeme unterstützen.

Zur Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zur Anordnung von Funktionseinheiten werden Vorgehensweisen auf die Logistikplanung übertragen. Den Ausgangspunkt



**Abbildung 1.1: Aufbau der Arbeit**

bilden hierbei Methoden, welche eine ähnlich definierte Problemstellung lösen. Um den geplanten Transfer der Vorgehensweisen aus dem Bereich der Electronic Design Automation (EDA) durchzuführen, wird der Stand der Forschungen dieser Domäne ebenfalls erarbeitet. Dies geschieht in Kapitel 4.

Diese Grundlagen werden im anschließenden Kapitel 5 genutzt, um ein ganzheitliches Modell zur Anordnungsplanung intralogistischer Systeme zu entwickeln. Dieses beruht auf den Methoden der EDA und löst die Problemstellung der Intralogistik. Das Ergebnis ist eine generelle Entscheidung für ein konkretes Vorgehensmodell, welches in Kapitel 6 ausgearbeitet wird. Dieser Schritt besteht darin, die notwendigen Algorithmen auszuwählen und durch entsprechende Anpassungen für den Einsatz in der Logistikplanung vorzubereiten. Die daraus resultierenden Details sind in einer Modellbeschreibung in Kapitel 7 zusammengefasst. Diese Beschreibung wird um eine Schnittstellenbetrachtung zu den übrigen Planungsprozessen außerhalb der Anordnungsplanung ergänzt.

Abschließend wird die Anwendbarkeit der erarbeiteten Ergebnisse validiert. Dazu wird in Kapitel 8 ein Testablauf erarbeitet, der auf unterschiedlichen Szenarien beruht, die zur Bewertung der bekannten Anordnungsalgorithmen genutzt werden. Die erzielten Ergebnisse werden vorgestellt und interpretiert.

Nachdem diese Inhalte bearbeitet worden sind, schließt das Kapitel 9 diese Arbeit ab. Dazu werden die eingangs aufgestellten Anforderungen und Thesen kritisch hinterfragt und gegebenenfalls vorhandene Lücken für zukünftige Forschungen aufgezeigt.

Der gesamte Aufbau ist in Abbildung 1.1 graphisch dargestellt.