

# 1 Einleitung

Globalisierung, Urbanisierung und Individualisierung sind wesentliche Megatrends unserer Zeit. In weltweiten logistischen Netzwerken organisieren sich international agierende Unternehmen im Wettbewerb um Marktanteile. Nachhaltigkeit und Produktdiversifizierung werden zu entscheidenden Wettbewerbsfaktoren. Die sich ergebenden Folgen - Atomisierung der Sendungsgrößen, kürzere Bestellzyklen und eine Zunahme des elektronischen Warenhandels - sind seit Jahren zu beobachten und nehmen in ihrer Intensität weiter zu (vgl. [Sta14]; [bev14]; [Seh14]). Qualität, Kosten, Zeit und Ressourceneffizienz sind die wesentlichen Treiber für logistische Leistungen vor dem Hintergrund der gestiegenen Anforderungen an Dienstleistung und Lieferservice.

Veränderungen für die technische Logistik ergeben sich innerhalb der logistischen Knoten wie z. B. bei der Gestaltung der Materialflusstechnik in Distributionszentren und Flughäfen. Eine zunehmende Automatisierung und die Installation komplexer Systeme prägen die Intralogistik von heute. Hochleistungs-Sortiersysteme bilden das Rückgrat dynamischer Logistiknetzwerke. Die Hochleistungs-Sortiertechnik stellt ein Kernelement bei der Kommissionierung von Aufträgen bei wachsenden Gutströmen dar.

## 1.1 Motivation und Problemstellung

Die Bedeutung von Sortiersystemen ist vor dem Hintergrund des weltweit steigenden Internethandels, immer kleinerer Sendungsgrößen und vermehrten Stückgutaufkommens in den Industrienationen und Schwellenländern in den letzten Jahren immer weiter gestiegen. Mit dem Ausbau logistischer Netzwerke in wirtschaftlich aufstrebenden Nationen wie China, Indien und Brasilien und auf internationaler Ebene wie in Osteuropa findet eine zunehmende Automatisierung früher manuell durchgeführter Prozesse in Paketverteil- und Distributionszentren statt. In den wirtschaftlich stärksten Industrienationen werden immer größere automatische Stückgut-Sortiersysteme realisiert. Dies zeigt bspw. der im Jahr 2010 erweiterte UPS-Worldport, das von der Fa. UPS betriebene, weltweit größte vollautomatische Paket-Sortiersystem (vgl. [UPS11]). Dort können nach Betreiberangaben 416.000 Güter pro Stunde

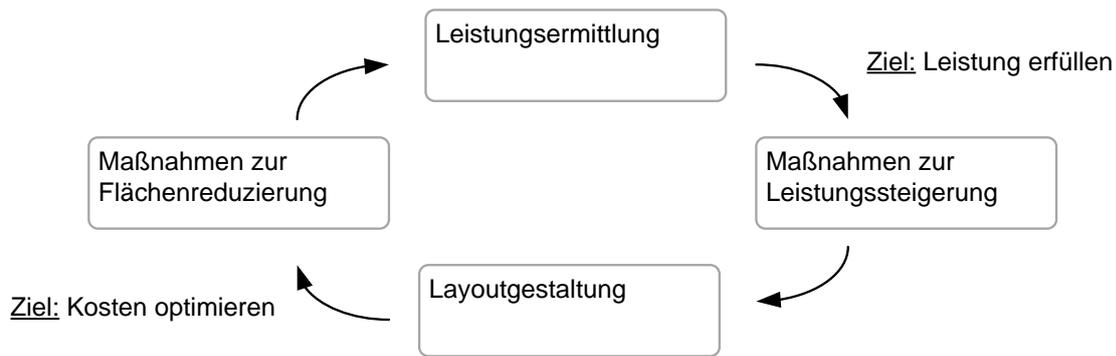


Abbildung 1.1: Interdependenzen der Leistungsermittlung und Layoutgestaltung

durch neunzehn über- und nebeneinander geschaltete Kippschalensorter und mit über 280 km Stetigförderertechnik automatisch sortiert werden (vgl. [UPS11]). Ein wichtiges Merkmal der von UPS eingesetzten Kippschalensorter ist die Loopstruktur (auch: Ringstruktur), welche die Bauform geschlossener, horizontal verlaufender Sortiersysteme bezeichnet. Neben dem Kippschalensorter wird der Quergurtsorter – ebenfalls ein Sortiersystem in Loopstruktur – häufig im Bereich der Hochleistungsstückgutsortierung (Leistung > 10.000 Stk./h) eingesetzt (vgl. [JH12], [Arn01] u. a.). Bei Sortiersystemen in Loopstruktur können - solange ein geschlossener Kreislauf entsteht - Geraden und Kurven realisiert werden, wodurch sich eine komplexere Streckenführung als bei anderen Sortiersystemstrukturen ergibt (vgl. [JH12]). Der durch den Sorter gebildete Kreislauf bietet die Möglichkeit der Rezirkulation von Gütern. Die in der Praxis (vgl. [Wie05], [Beu08]) häufig zur Leistungssteigerung verwendete Anordnung von mehreren, sich abwechselnden Ein- und Ausschleusstellen am Sorter trägt zur Komplexität der Leistungsberechnung und Auslegung des Gesamtsystems bei. Zudem lässt sich die Leistung durch die Anordnung mehrerer Sorter zu einem Multisortersystem weiter steigern. Es existiert bisher keine strukturierte Vorgehensweise zur Auslegung von Sortiersystemen, welche die Leistungsermittlung und Layoutgestaltung miteinander verbindet. Zwar werden in der Literatur (s. Kap. 2) einige Ansätze zur Leistungsermittlung und teilweise auch zur Layoutgestaltung gegeben, allerdings werden diese immer getrennt voneinander betrachtet. Eine integrierte Betrachtung, welche die Interdependenzen zwischen Leistung und Layout berücksichtigt, existiert jedoch bislang nicht. Sowohl die Leistungsermittlung als auch die Layoutgestaltung von Sortiersystemen in Loopstruktur liegen daher im Fokus der vorliegenden Arbeit.

Grundlegende Erkenntnis hierbei ist, dass Maßnahmen zur Leistungssteigerung existieren, die einen Einfluss auf das Layout eines Sorters in Loopstruktur besitzen und analog dazu beeinflussen einige Maßnahmen zur Flächenreduzierung des Layouts die Leistung. Dabei gehört die Leistung zu den Basisanforderungen an ein Sortiersystem, während die Flächenoptimierung dem Ziel der Kostenreduktion dient. Das Hauptziel der Planung ist ein flächen-

optimales (kostenoptimales) Layout, mit welchem die Leistungsanforderungen an den Sorter erfüllt werden. Die Interdependenzen zwischen Leistungsermittlung und Layoutgestaltung sind dabei zu berücksichtigen (Abb. 1.1).

## 1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist die erstmalige Entwicklung eines analytisch-wissenschaftlichen Ansatzes zur systematischen Auslegung von Stückgut-Sortiersystemen in Loopstruktur vor dem Hintergrund der Interdependenzen von Leistungsermittlung und Layoutgestaltung.

Bezüglich der Leistungsermittlung ist das Ziel der Arbeit die Entwicklung eines mathematischen Ansatzes, welcher wesentliche leistungsbeeinflussende Parameter berücksichtigt. Dazu gehört insbesondere die Leistungsberechnung für Sortiersysteme mit beliebig vielen Ein- und Ausschleusbereichen und beliebigen Gutverteilungen auf die Ausschleusbereiche.

Da die Gutverteilung auf die Ausschleusbereiche im Tagesverlauf schwankt, ist darüber hinaus zu untersuchen, inwieweit sich diese Schwankungen auf die Gesamtleistung des Sortiersystems auswirken. Aufgrund der anzunehmenden Leistungsveränderungen durch Schwankungen der Gutverteilungen im Tagesverlauf soll der beschriebene Ansatz erweitert werden, um zeitliche Leistungsveränderungen abzubilden.

Darüber hinaus soll ein mathematischer Ansatz zur Leistungsberechnung von Multisortersystemen entwickelt werden, so dass die Leistung von Sortiersystemen, die aus mehreren, miteinander verbundenen Sortern bestehen, berechnet werden kann.

Ein weiteres Ziel ist die Berechnung der optimalen Teilung eines Sorters unter einem gegebenen Zweischaleranteil und für ein gegebenes Stückgutspektrum.

Bezüglich der Layoutgestaltung ist das Ziel dieser Arbeit die Entwicklung eines wissenschaftlich-systematischen Verfahrens zur Layoutauswahl und –optimierung. Die geeignete Unterstützung des Planenden durch das Layoutauswahl- und –optimierungsverfahren steht im Mittelpunkt, um in dem komplexen Spannungsfeld von Leistungsermittlung und Layoutgestaltung die Gesamtfläche und die Länge des Verteilförderers unter Einhaltung der Anforderungen (insb. der Leistung und des Stückgutspektrums) zu optimieren. Darauf aufbauend werden Gestaltungsregeln formuliert und Auswahl- und Entscheidungskriterien für die Auslegung aufgestellt.

Über die Layoutauswahl und –optimierung hinaus soll eine Vorgehensweise für die Auslegung von Sortiersystemen in Loopstruktur entwickelt werden, welche die Leistungsermittlung und Layoutgestaltung verbindet. Die Vorgehensweise zur Auslegung soll der Entscheidungsunterstützung im Planungsprozess von Sortiersystemen in Loopstruktur dienen.

## 1.3 Aufbau und Vorgehensweise

Zunächst wird der Stand der Wissenschaft und Forschung im Bereich der Sortiersysteme vorgestellt (*Kapitel 2*). Hierbei liegt der Fokus auf der Leistungsberechnung und der Layoutgestaltung von Sortiersystemen in Loopstruktur.

Im folgenden Kapitel werden Verfahren zur Leistungsberechnung vorgestellt (*Kapitel 3*). Nach der Einführung in die Thematik mit dem Gedankenmodell eines sich nach und nach füllenden Sorters wird ein analytisches Modell zur Leistungsbestimmung für eine beliebige Anzahl von Ein- und Ausschleusbereichen und für beliebige Gutverteilungen entwickelt. Dieses Modell wird für die häufigsten Anordnungen mit zwei, drei und vier Ein- und Ausschleusbereichen spezifiziert und für Gleichverteilungen verallgemeinert. Das Modell zur Leistungsermittlung wird durch die Betrachtung mehrerer, verbundener Sorter (Multisortersysteme), durch die Begrenzung von Einschleusleistungen und durch die Analyse von Leistungsschwankungen erweitert. Zur Belegung von zwei Plätzen auf dem Sorter durch sehr große Güter („Zweischaler“) wird ein mathematisches Modell aufgestellt, mit welchem in Abhängigkeit des Stückgutspektrums die optimale Schalengröße für eine optimale Leistung berechnet werden kann. In der Synthese werden die verschiedenen Verfahren zur Leistungsermittlung in einer Gleichung zusammengeführt. Die entwickelten Verfahren zur Leistungsermittlung werden anschließend durch Simulationsversuche validiert.

Am Beginn der Entwicklung einer Heuristik zur Layoutgestaltung steht die Anforderungsanalyse (*Kapitel 4*). Desweiteren wird ein Verfahren zur Bewertung erstellter Layouts vorgestellt. Im Folgenden wird ein Überblick über die Heuristik zur Layoutgestaltung gegeben, bevor die Generierung von Anfangslösungen und ein Verbesserungsverfahren im Detail erläutert werden. Die Generierung von Anfangslösungen berücksichtigt vorliegende Flächenrestriktionen und Steigungs- bzw. Gefällestrecken. In der Validierung werden die heuristisch erzeugten Layouts mit Standardlayouts der Praxis verglichen und bewertet.

Im nächsten Kapitel (*Kapitel 5*) werden alle Planungsphasen von der Aufnahme der Anforderungen bis zur Bestimmung des optimalen Layouts in eine Planungssystematik eingeordnet und in eine chronologische Reihenfolge gebracht. Die drei Hauptphasen der Planungssystematik werden detailliert beschrieben.

Im vorletzten Kapitel wird die Planungssystematik validiert (*Kapitel 6*). Hierzu werden auf der Basis beispielhafter Anforderungen die wesentlichen Phasen der Planungssystematik über die Leistungsermittlung bis zur Erstellung eines Ergebnislayouts durchlaufen.

Die Arbeit schließt mit einem Fazit und Ausblick (*Kapitel 7*).