

Information zum Referenten:

Dipl. Ing. FH

Nicola Haggenmacher



Studium

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Winterthur, Schweiz

- Elektrotechnik, Fachrichtung Mechatronik

Derzeitiger Arbeitgeber / Institution

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

School of Engineering

IMS Institut für Mechatronische Systeme

Technikumstrasse 5

CH-8401 Winterthur

www.ims.zhaw.ch - www.engineering.zhaw.ch

nicola.haggenmacher@zhaw.ch

Sortierbox Studie für die Schweizerische Post

Nicola Haggenmacher, IMS Institut für Mechatronische Systeme, ZHAW
Hans Peter Grütter, PostMail, Schweizerische Post
Richard Hüppi, IMS Institut für Mechatronische Systeme, ZHAW

Zusammenfassung

Die Schweizerische Post untersuchte im Rahmen der Optimierung der Logistikstrategie bei PostLogistics Automatisierungsmöglichkeiten im Bereich Zustellung von Postsendungen mit Botenfahrzeugen.

Mit der Studie SORTIERBOX wurden verschiedenste Lösungskonzepte hinsichtlich technischer Machbarkeit sowie den damit zu erzielenden finanziellen und qualitativen Ergebnissen untersucht. Die hier näher erläuterten Lösungskonzepte wurden im Auftrag der Post am Institut für Mechatronische Systeme IMS der ZHAW erarbeitet.

Das Konzept sieht vor, die Feinsortierung der Pakete während der Fahrt zwischen den Zustellpunkten durchzuführen. Eine automatische Anlage direkt auf dem Botenfahrzeug ist dafür verantwortlich, dass die Pakete rechtzeitig bereit stehen. Dadurch sollte das Beladen der Fahrzeuge schneller geschehen und die Verteiltouren flexibel gestaltet werden können. Pakete, wie sie von der Post verarbeitet werden, weisen eine enorme Vielfalt an Dimensionen, Grössenverhältnissen und Gewichten auf, zusätzlich kann die Verpackung verschiedenste Steifigkeiten und Oberflächenbeschaffenheiten aufweisen. Das Handling eines solchen Spektrums an verschiedenen Objekten kann nicht mit einem herkömmlichen Robotergreifer erfolgen, insbesondere nicht wenn die Beschaffenheit des Gegenstands nicht im Voraus bekannt ist. Von der fahrenden Sortieranlage wird gefordert, dass sie das gesamte Spektrum an Paketen sowohl festhalten wie auch bewegen und sortieren kann. Aufgrund dieser Schwierigkeiten erscheint es als nicht sinnvoll, die Pakete überhaupt lose zu behandeln, sondern diese bereits vor der Einführung ins Fahrzeug einem einheitlichen, automatisch handhabbaren und sicherbaren strukturierten Element mit bekannten Schnittstellen zuzuordnen.

In dieser Studie wurden zwei mögliche Konzepte generiert bei denen diese Schnittstellen sehr unterschiedlich ausgeprägt sind, mittels Simulationen wurden die optimalen Parameter für einen konkreten Entwurf ermittelt.

Das erste Konzept sieht vor, dass die Pakete in Plastikbehälter geeigneter Grösse abgelegt werden welche dann von einem Manipulator sicher gefasst und in einem Hochregallager befestigt werden können. Während der Fahrt zum Kunden muss der Manipulator in Form eines Portalroboters die richtigen Behälter aus der Wand ausklinken und zum Ausgabeschacht befördern.

Beim zweiten Konzept werden die Pakete an einem Haken festgezurr, dieser wird hängend in einem Schienensystem geführt. Das Lager- und Sortiersystem auf dem Fahrzeug besteht aus verschiedenen Schienenschlaufen in denen die Pakete über eine Kreislaufbewegung in die Ausgabeschlaufen aussortiert werden. Um die Platzausnutzung zu optimieren ist der Längsabstand zwischen den Paketen variabel gehalten.

1 Einführung

Heute werden bei PostLogistics die Pakete mehrheitlich durch Paketboten mit Zustellfahrzeugen zugestellt. Der Paketbote nimmt die Pakete in einer Distributionsbasis oder in einem Sortierzentrum entgegen. Vor seiner Zustelltour muss er die Pakete manuell in das Fahrzeug sortieren, so dass die Auslegeordnung der Gangfolge der Zustelltour entspricht. Auf der Tour muss er zudem Pakete mehrfach umschichten, so dass sie besser aus dem Fahrzeug entnommen werden können. Diese Tätigkeiten generieren einen beträchtlichen Arbeitsaufwand.

Eine Automatisierung dieser Arbeitsschritte würde einen grossen Effizienzgewinn bedeuten. Eine Voraussetzung für die Sortierung, ist dass sämtliche Paketdaten vorhanden sind und es genügend Stauraum hat um sie in die richtige Reihenfolge zu bringen. Sollte die Gangfolgesortierung in den aktuellen Sortierzentren erfolgen, müssten diese über enorme Zwischenlager verfügen, ausserdem liesse sich aufgrund der hohen Stückzahl der Sortierprozess nicht in der gewünschten Zeit durchführen. Die Gangfolgesortierung könnte auch in den Distributionsbasen erfolgen, das Problem würde jedoch lediglich verteilt und einen Mehraufwand der Infrastruktur sowie der Anzahl manuellen Operationen mit sich ziehen (umladen vom Fahrzeug auf die Sortieranlage und wieder auf das Fahrzeug). Dieses Dilemma lässt sich lösen, indem die Pakete zwar weiterhin korrekt getrennt auf die Zustellfahrzeuge verladen werden, jedoch automatisch und in beliebiger Reihenfolge, das Sortieren der Pakete erfolgt erst während der Fahrt zu den Empfängern. Diese Lösung erfordert eine automatisierte Anlage, welche auf einem Botenfahrzeug platz findet und in diesem engen Raum die Sortierung ausführen kann, diese wird Sortierbox genannt. Die Einführung solcher Sortierboxen würde eine Vereinfachung und Effizienzsteigerung des Verteilnetzes ermöglichen.

Die hier vorgestellte Arbeit befasst sich mit der automatisierten Handhabung von Paketen sowie der Grobentwicklung solcher Sortierboxen.

2 Handhabung der Pakete

2.1 Definition der Pakete

Pakete wie sie von PostLogistics bearbeitet werden, umfassen ein enormes Spektrum an Grössen, Gewichten und Stabilitätseigenschaften. So kann ein maschinell verarbeitbares Paket als Minimalmasse 10 x 100 x 140 mm aufweisen, die Maximalmasse sind 600 x 600 x 1000 mm, die Masse eines Pakets darf zwischen 100 g und 30 kg variieren. Nebst den herkömmlichen Kartonverpackungen können auch Versandboxen aus Kunststoff oder Stoffbeutel verwendet werden. Pakete die diesen Vorgaben nicht entsprechen, werden von Hand bearbeitet und sind zuschlagspflichtig. Dazu gehören Pakete die die Maximalen Abmessungen übersteigen, Sendungen die nicht mit konventionellen Materialien verpackt werden (z.B. Holz, Metall, Styropor), Sendungen welche zylindrische Verpackungen aufweisen sowie nicht verpackte Güter (z.B. Skis, Velos).

In Abbildung 1 sind sowohl das kleinste (1) wie das grösste (2) maschinell verarbeitbare Paket dargestellt, sowie einige Beispiele von zuschlagspflichtigen Paketen (3 – 5) welche manuell verarbeitet werden.

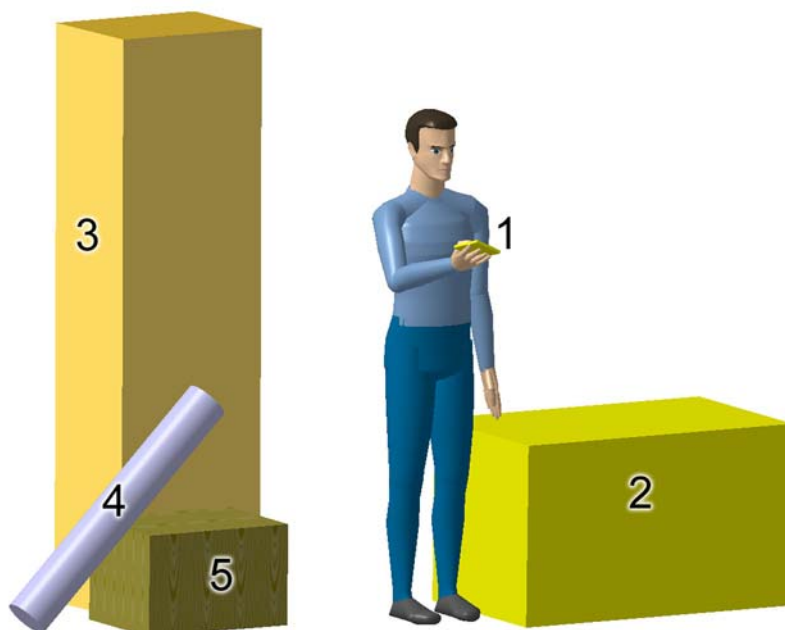


Abbildung 1: Vielfältigkeit des Paketspektrums

2.2 Statistische Verteilung der Pakete

Von der Sortierbox wurde anfänglich erwartet, dass sie eine zufällige Stichprobe mit 300 maschinell verarbeitbaren Paketen zu 95% fassen vermag. Die abgewiesenen Pakete würden zusammen mit dem Sperrgut in einem nicht automatisierten Fach transportiert. Zu einem späteren Projektzeitpunkt musste jedoch mehr Gewicht auf die Abmessungen der Sortierbox gelegt werden, so dass die Forderung an das Fassungsvermögen gelockert werden musste (siehe 3.3).

PostLogistics hat drei Datensätze an je 300 Pakete zur Verfügung gestellt, eine Analyse dieser Daten zeigt auf, wie häufig die unterschiedlichen Paketgrößen vorkommen.

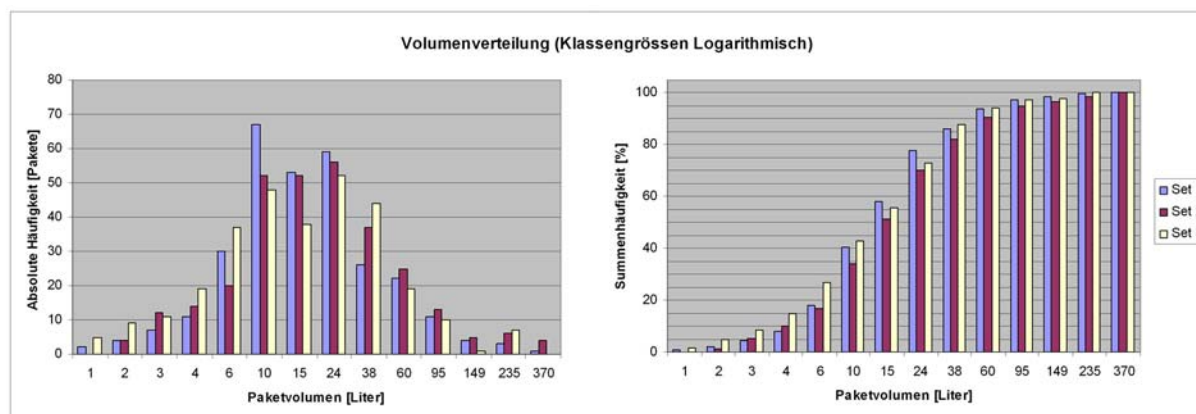


Abbildung 2: Häufigkeit der vorkommenden Paketvolumen

Aus der Darstellung in Abbildung 2 ist ersichtlich, dass Pakete über 95 Liter Volumen sehr selten sind und weniger als 5% der Gesamtmenge ausmachen. Die Sortierbox kann deshalb so ausgelegt werden, dass die Anforderungen eingehalten werden, ohne dass sie für Pakete grösser als 95 Liter ausgelegt werden muss. Was auf den ersten Blick eine wesentliche Vereinfachung zu sein scheint, ist in Wirklichkeit kein so grosser Vorteil. Erstens hat man zwischen dem kleinsten und dem grössten

berücksichtigten Paket noch immer einen Volumenfaktor von 100, zweitens gibt das Volumen eines Paketes noch keinen Aufschluss über seine Abmessungen. Hinter sehr kleinen Volumen können sich Pakete mit sehr grosser Grundfläche (z.B. Kalender, Bilder,...) oder lange dünne Pakete verstecken.

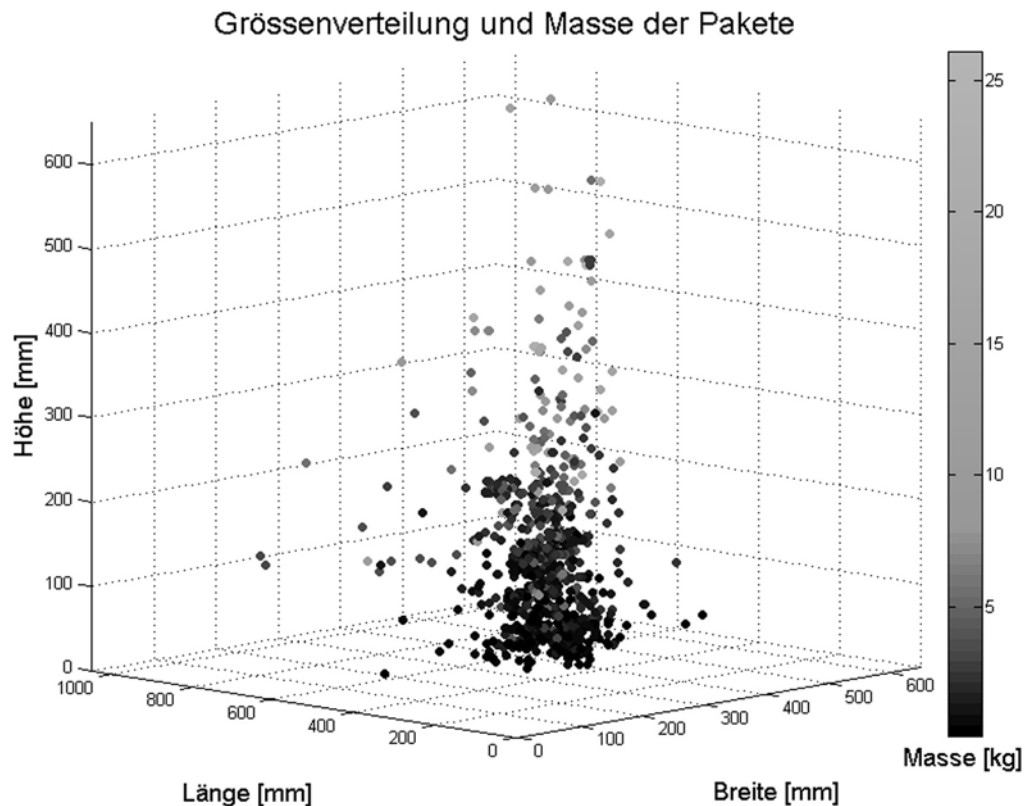


Abbildung 3: Streuung der Paketdimensionen (mm) und Paketmasse (kg)

Wie die Abmessungen der Pakete, weisen auch deren Massen ein grosses Streuungsspektrum auf. Dennoch ist in Abbildung 3 klar ersichtlich, dass der Grossteil der Pakete leichter als 2 kg ist, und Pakete über 10 kg selten sind. Dem muss die Sortieranlage gerecht werden, sowohl bei der aktiven Handhabung wie auch beim Sichern der Pakete. Die Mechanik muss einerseits fein genug sein, um mit kleinen oder leichten Paketen umzugehen, andererseits aber gross und robust genug, um selbst unter starken externen Beschleunigungen nicht selbst von den grossen und schweren Paketen beschädigt zu werden.

2.3 Fassen der Pakete

Eine Sortierung der Pakete erfordert die Fähigkeit diese kontrolliert zu bewegen. Dazu müssen die Pakete sicher gegriffen werden können, was bei dem vorhin dargestellten Spektrum an Grössen und Massen eine grosse Herausforderung darstellt. Als zusätzliche Schwierigkeit kommt hinzu, dass die Verpackungen sehr unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheiten und Wandsteifigkeiten aufweisen können. Die meisten in der Industrie gängigen Greifer, sind zwar für einzelne Anwendungen sehr gut geeignet, diesem Spektrum an möglichen, meist ungünstigen Kombinationen der Stückguteigenschaften, sind sie jedoch nicht gewachsen.

Greifer, welche die Last durch Klemmkraft heben, können sowohl kleine, wie grosse, leichte wie schwere Pakete heben, unter der Voraussetzung, dass die Verpackung formstabil ist. Bei grossen Greifkräften kann es sogar passieren, dass der Greifer die Verpackung beschädigt. Ausserdem sind Greifer, welche solch grosse und schwere Pakete zu fassen vermögen, meist selbst auch sperrig und

schwer und somit nicht für den mobilen Einsatz geeignet. In [1] ist ein System beschrieben und verwendet, mit dem Pakete des gleichen Grössenspektrums gegriffen und gestapelt werden. Die Versuche sind jedoch erst mit leichten Paketen erfolgt, obwohl die Ziellast ebenfalls 30 kg betragen sollte. Bei dieser Anlage handelt es sich zudem um einen Roboter, der Fahrzeuge von aussen her beladen soll, dieser hat den Vorteil, dass er die Pakete nicht aus dem Stapel greifen muss, dass er keine unangenehme Beschleunigungen durch das Fahrzeug erfährt, und schliesslich auch, dass er keiner Grössen- und Gewichtsbegrenzung untersteht. Eine ähnliche Anlage wurde vom Bremer Institut für Produktion und Logistik [2] erfolgreich entwickelt, sie umfasst unter anderem eine Maschine zum entladen von Frachtcontainern und einen Roboter welcher Stückgut palettieren oder in Rollboxen ablegen kann [3]. Die Pakete werden hier über Vakuumgreifer gegriffen, diese sind bezüglich der Form und Steifigkeit des Stückgutes weniger sensibel als Klemmgreifer, jedoch kann die Verpackung auch so beschaffen sein, dass ein Greifen durch Vakuum nicht möglich ist (z.B. raue oder luftdurchlässige Oberfläche). Im Übrigen, kann auch ein Sauggreifer die Verpackung beschädigen (und dabei das Paket verlieren) wenn diese zu schwach ist um das ganze Gewicht des Paketes zu tragen (z.B. schwacher Karton oder Packpapier). Auch in diesem Falle lassen die Abmessungen dieser Maschinen einen mobilen Einsatz keinesfalls zu. Das Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik [4], hat einen Greifer entwickelt, welcher Stückgut unabhängig von dessen Grösse, Form und Steifigkeit zu greifen vermag [5].

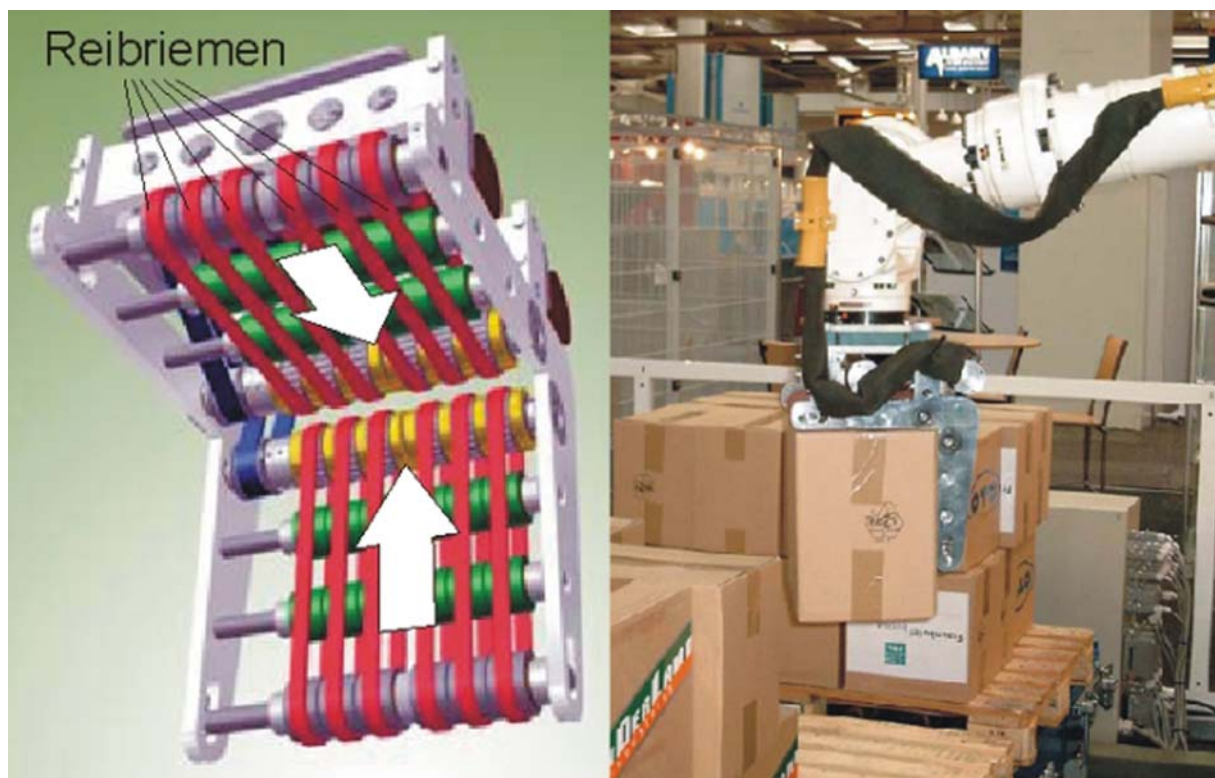


Abbildung 4: Bandgreifer, Prinzipzeichnung und im Einsatz, [Quelle: Fraunhofer IML]

Dadurch, dass dieser Greifer reib- und nicht formschlüssig arbeitet, genügen dem Greifprozess zwei freie aneinander liegende Flächen wie in Abbildung 4 rechts sichtbar ist. Leider ist auch dieser Greifer für den Einsatz in der Sortierbox nicht geeignet, seine Nutzlast ist auf lediglich 10 kg beschränkt, und er kann schwächere Verpackungen (Packpapier, weicher Karton) zerreißen.

In [6] wird der Entwurf von Greifern, welche möglichst wenige Einschränkungen gegenüber den menschlichen Fähigkeiten aufweisen, als eine sehr grosse Herausforderung dargestellt. Will man nicht die Komplexität des Greifers ins unermessliche steigen lassen um sämtliche vorkommende

Sonderfälle zu behandeln, so muss der Greifprozess auf der anderen Seite vereinfacht werden. So wie generisches Stückgut in eine mehr oder weniger normierte Umhüllung (meist Kartonschachtel) verpackt wird, kann dieses Konzept erweitert werden, indem diese Hülle wiederum einem „Behältnis“ zugeordnet wird, welches über normierte Schnittstellen verfügt, die eine automatisierte Handhabung ermöglichen.

- Dieser „Container für Pakete“ kann mit völlig unterschiedlichen Ausprägungen implementiert werden, wichtig ist jedoch die Beachtung folgender Punkte:
- Der Container muss maschinell handhabbar sein, er soll eine standardisierte Schnittstelle zwischen dem generischen Paket und dem Handhabungsgerät der Sortierbox darstellen.
- Das Paket und der Container dürfen sich nicht selbstständig voneinander trennen.
- Nebst der aktiven Handhabung beim Sortieren, muss der Container auch so fixiert werden können, dass er gegen selbstständiges Verrutschen gesichert ist.
- Der Container muss auch bei Beschleunigung des Fahrzeuges (z.B. Kurvenfahrt, Notbremsung) den Kräften welche durch das schwerste Paket entstehen, standhalten.
- Das Paket muss noch immer eindeutig identifizierbar sein, entweder über den Barcode oder den Container dem es zugeordnet ist.
- Bei der Zustellung des Paketes muss dieses möglichst leicht vom Container getrennt werden können, letzterer muss danach wieder verstaut werden

Beim weiteren Verlauf dieser Studie wurden zwei Lösungen erarbeitet, welche das Containerprinzip auf unterschiedlichste Weise umsetzen.

2.4 Sichern der Pakete

Wie bereits in [6] betont wurde, ist ein Roboter unfähig Stückgut zu fassen, wenn er nicht mit Sicherheit weiss wo sich das Objekt befindet und um was es sich dabei handelt. Deshalb müssen die Pakete während der Fahrt gegen das selbstständige Verrutschen gesichert werden, da man davon ausgehen kann, dass der Sortierapparat seiner Aufgabe nur nachkommen kann, wenn die Pakete an ihrem zugeordneten Platz bleiben. Bei der Paketsicherung stellen sich mehr oder weniger die selben Probleme wie beim Greifen, auch hier ist eine maximale Flexibilität bei minimalen technischen Aufwand gefordert. Um den Automatisierungsaufwand gering zu halten soll die Paketsicherung ebenfalls nicht auf das Paket direkt einwirken, sondern auf den standardisierten „Container“ dem das Paket zugeordnet wird.

2.5 Sortieren der Pakete

Muss ein Mensch einen Stapel Pakete sortieren, so dass diese in der Ablieferungsreihenfolge zu liegen kommen, geht dies am besten, wenn er sie vom ungeordneten Stapel aussuchen und einen neuen geordneten Stapel erstellen kann. Dies ist der Vorgang wie er zurzeit in den Distributionsbasen erfolgt, die Pakete sind ungeordnet in den Rollboxen, über eine manuelle Gangfolgesortierung werden sie in die Botenfahrzeuge befördert. Im Innern der Sortierbox kann dieser Prozess nur in beschränktem Masse nachgebildet werden, es ist nicht genügend Platz vorhanden, um sämtliche Pakete umzuwälzen, deshalb soll der sortierte Stapel auch nur die Pakete für die nächsten Kunden enthalten. Dies hat aber den Nachteil, dass nicht alle Pakete direkt zugänglich sind, und deshalb andere verschoben werden müssen um die gewünschten zu erreichen. In diesem Fall ist es erforderlich einen Stauraum zur Verfügung zu haben.

Ein anderer Ansatz sieht vor, dass alle Pakete so gelagert werden, dass sie jederzeit einzeln zugänglich sind. Dadurch entfällt das eigentliche Sortieren, es wird keinen Stauraum benötigt, der Zugriff kann schneller erfolgen.

3 Lösungskonzept 1: Automatisches Hochregallager

Dieser Ansatz sieht vor, dass die Sortierbox wie ein automatisches Hochregallager funktioniert. Jedes Paket wird einzeln eingelagert, es ist also kein Sortierprozess notwendig, das Ein- und Auslagern wird durch einen Portalroboter ausgeführt. Wie in den vorhergehenden Kapiteln aufgeführt wurde, ist es nicht angebracht, die Pakete lose zu behandeln. Dem wird auch hier Rechnung getragen, indem die Pakete vor dem Einlagern in Kisten gelegt werden welche durch das Regalbediengerät sicher gefasst werden können. Mehr noch, diese Kisten bilden gleich selbst die Regale, sie können an die Regalwände eingeklinkt werden, somit sind sie auch bereits gegen unkontrolliertes Verschieben gesichert.

3.1 Kisten, Stapel, Wände, Lager

Die Basiseinheit dieser Sortierbox ist die Kiste, diese besteht aus verstärktem Kunststoff. Sie ist in verschiedenen, dem Paketspektrum angepassten, Grössen verfügbar. Die Kiste verfügt über keinen Deckel und relativ tiefe Seitenwände, diese sorgen dafür, dass sich einerseits das Paket nicht verselbstständigt und andererseits eine möglichst dichte Stapelung möglich ist. Auf der Rückwand ist sie mit einem Mechanismus ausgestattet, welcher ein Einklinken und ein aktives Sichern in die Regalwand ermöglicht. Vorderseitig ist die Schnittstelle zum Greifer des Regalbediengerätes angebracht.

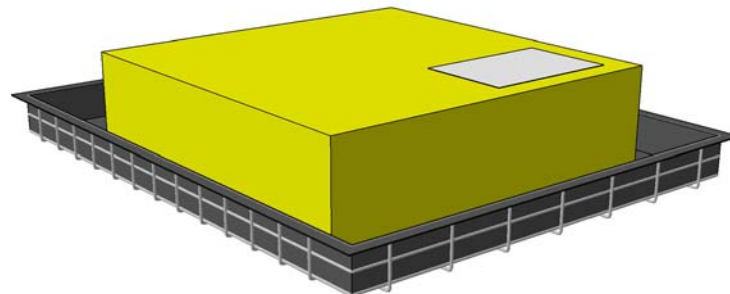


Abbildung 5: Kunststoffkiste mit Paket

Verschiedene Kisten des selben Typs bilden, wenn sie übereinander an eine Regalwand gehängt werden, einen Stapel. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass es sich hierbei nicht um einen LIFO-Stapel handelt, jede Kiste ist individuell an der Wand fixiert und kann jederzeit unabhängig von den anderen aus dem Stapel entfernt werden. Die Wände sind so gestaltet, dass die „Stapelungsdichte“ der Kisten auf die Höhe der Pakete angepasst werden kann. Die Kisten werden so nahe übereinander gestapelt, wie es die Rasterung erlaubt.

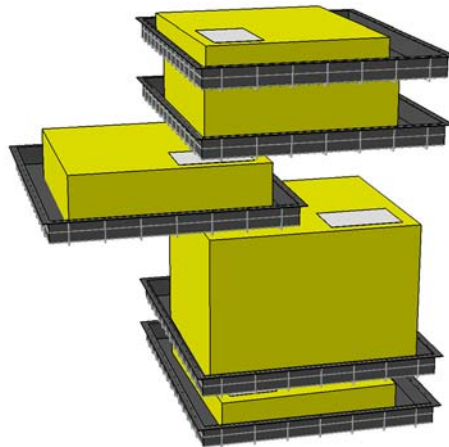


Abbildung 6: Stapel aus gleichen Kisten, eine davon leicht herausgezogen

Eine Regalwand kann mehrere Stapel, auch aus unterschiedlichen Kisten bestehend, aufnehmen. Sie steht quer zur Fahrtrichtung des Fahrzeuges und nimmt die gesamte Breite der Sortierbox ein. Damit sich das Regalbediengerät dennoch zwischen den verschiedenen Regalen fortbewegen und Pakete verschieben kann, haben die Wände eine Aussparung in der unteren rechten Ecke.

Wie es auch in gängigen Lager und Archiven vorkommen kann, ist der Platz in der Sortierbox stark begrenzt, es ist also nahe liegend, die selbe Lösung dafür zu verwenden. In Anlehnung an die Schieberegale Archive [7], sind die Zwischenwände in der Sortierbox ebenfalls verschiebbar. Dies bedeutet, dass der Platz welcher als Gang zwischen den Wänden gehalten werden muss, nur einmal anfällt, was eine deutliche Platzeinsparung mit sich bringt.

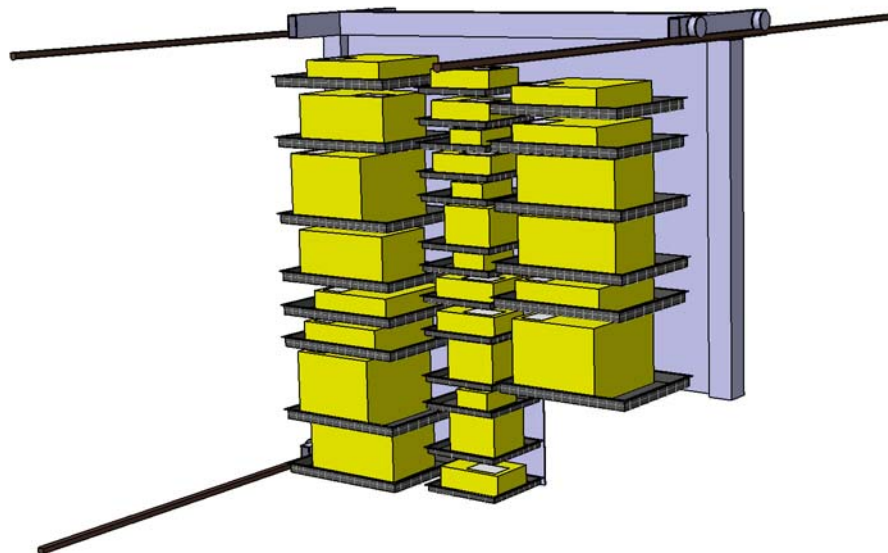


Abbildung 7: Verfahrbare Regalwand, bestückt mit beladenen Kisten

3.2 Gesamtlayout

Das Gesamtlayout der Sortierbox wurde basierend auf den Elementen welche im vorhergehenden Kapitel definiert wurden aufgebaut. Die genauen Abmessungen der Kisten und Regalwände wurden mit einem Simulationsprogramm, welches in 3.3 vorgestellt wird, ermittelt.

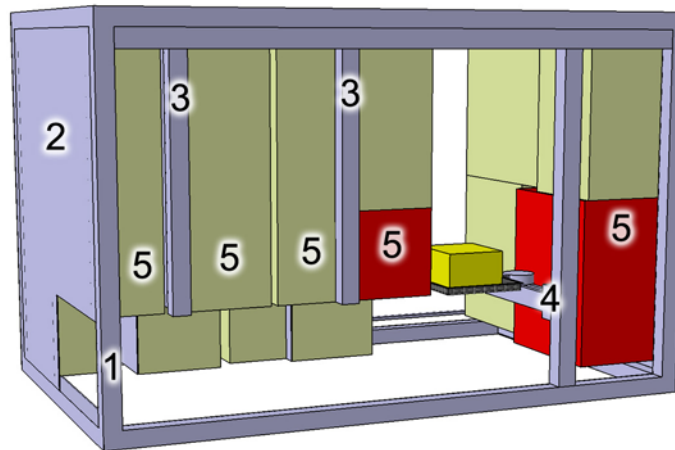


Abbildung 8: Gesamtansicht der Sortierbox mit Hochregallager

In Abbildung 8 ist die Sortierbox abgebildet, sichtbar ist der tragende Rahmen (1) die fixen (2) sowie die verschiebbaren Regalwände (3), das Regalbediengerät (4) sowie eine schematische Darstellung der Stapel (5). Die rot eingefärbten Stapel bezeichnen den Ausgabebereich, hier werden die Kisten mit den Paketen welche demnächst abgegeben werden durch das Regalbediengerät hingebbracht. Nur dieser Bereich ist dem Postboten zugänglich, er muss lediglich das Richtige Paket aus seiner Kiste nehmen und dem Kunden übergeben. Nur in diesem Bereich werden Kisten verschiedener Grösse gestapelt.

Das Regalbedienungsgerät besteht aus einem 3-Achsigem Portalroboter welcher einen vertikal drehbaren Greifer trägt. Dieser Greifer kann die Kisten fassen und diese an den Regalwänden sichern bzw. entsichern. Während der Fahrt führt er die notwendigen Operationen durch, um beim nächsten Empfänger die richtigen Pakete im Ausgabeschacht bereit zu halten.

3.3 Simulationsprogramm

Zur Ermittlung der optimalen Abmessungen der diversen Elementen aus denen die Sortierbox besteht, wurde ein Simulationstool erstellt, welches es ermöglicht die Aufnahmeleistung der Sortierbox in Abhängigkeit diverser Parametern zu berechnen sowie letztere zu optimieren. Die Parameter die man verändern kann, sind die Anzahl verschiedener Kistengrößen, deren Abmessungen, die Anzahl und Art der Stapel sowie Anzahl und Abmessungen der Regalwände.



Abbildung 9: Interface des Simulationsprogramms für das automatische Hochregallager

Mit Hilfe dieses Programms konnten die oben genannten Parameter optimiert werden um anschliessend das entstandene Layout auf dessen Aufnahmeleistung zu prüfen. Die wichtigsten Funktionen welche zur Verfügung stehen sind das Befüllen eines Sortierboxentwurfes, das Optimieren der Kistengrössen nach heuristischen sowie metaheuristischen Methoden, das wiederholte Befüllen mit zufällig ausgewählten Paketen sowie das Durchlaufen eines bestimmten Parameters um dessen Einfluss abzuschätzen. Um den Ablauf solcher Sequenzen besser zu kontrollieren, kann man auch Parameter wie die Anzahl der Kisten und Stapel fix beibehalten.

Nach jedem Simulationsdurchlauf, gibt das Programm Auskunft über die Anzahl verwendete Kisten und daraus gebildeten Stapel, die Anzahl der untergebrachten Pakete sowie weitere Details welche zur Auswertung eines Layouts nützlich sein können.

Das wichtigste Ergebnis welches aus diesen Simulationen hervorkommt, ist die Auswertung der wiederholten Befüllungen, dieses wird als Häufigkeitsdiagramm wie in Abbildung 10 dargestellt. Daraus lässt sich die zu erwartende Aufnahmeleistung der Sortierbox abschätzen. Während dem Projektverlauf wurde bekannt, dass die zulässigen Abmessungen der Sortierbox stark eingeschränkt werden mussten, um den Fahrzeugen den Dienst in engen Altstadtgassen zu ermöglichen. Deshalb musste das ursprüngliche Ziel, ein Fassungsvermögen von 300 Pakete zu erreichen, zu Gunsten kleinerer Aussenmasse aufgegeben werden. Dies hat auch Auswirkungen auf die Verlässlichkeit der Ergebnisse aus der Simulation. Da diese darauf ausgelegt ist möglichst viele Pakete in der Sortierbox unterzubringen, werden kleine Pakete den grossen gegenüber bevorzugt behandelt, die übrig gebliebenen grossen Pakete würden im Sperrgutfach mitbefördert. Wird das Fassungsvermögen aber stark eingeschränkt, so müssen die noch vorhandenen Pakete in einem weiteren Fahrzeug mitgeführt werden, dieses würde aber mit vielen grossen Paketen belastet und deshalb eine deutlich schlechtere Aufnahmeleistung aufweisen. Damit der Algorithmus nicht neu ausgelegt werden musste, wurde das Ergebnis aufgrund von Schätzungen korrigiert. Für das derzeitige Layout der Sortierbox ist somit mit einer Aufnahmeleistung von cirka 177 Paketen zu rechnen, etwa 25 Pakete weniger als die Simulation ergibt.

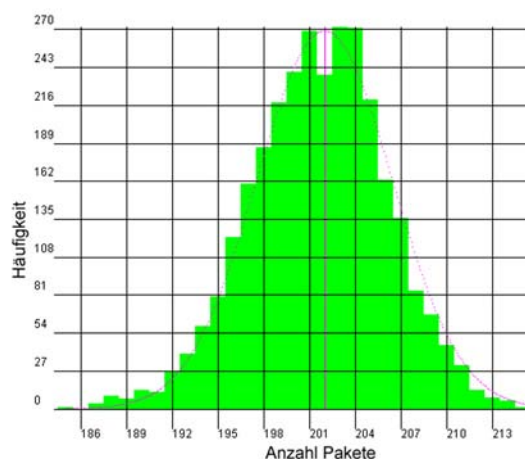


Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung der Aufnahmeleistung bei wiederholtem Befüllen

3.4 Performance

Wie bereits in Kapitel 3.3 dargelegt, kann für diese Ausführung der Sortierbox eine Aufnahmeleistung von ungefähr 170 Paketen gerechnet werden. Dies ist jedoch nicht der einzige Leistungsfaktor der Sortierbox. Genau so wichtig ist, wie schnell die Sortierbox befüllt werden kann, und wie lange sie benötigt um die Pakete zur Entnahme bereitzustellen. Dazu wurden die Durchschnittlichen

Bearbeitungszeiten des Portalroboters, der verschiebbaren Wänden und des Greifers geschätzt. Das Befüllen der Sortierbox sieht für jedes Paket vor, dass der Roboter eine leere Kiste aus der Sortierbox an deren hinteres Ende führt, wo das Paket ab dem Förderband darin platziert wird, danach wird die Kiste in einem geeigneten Stapel untergebracht. Für das Beladen wird eine maximale Geschwindigkeit von 2.5 m/s und eine Beschleunigung von 2.5 m/s² zugelassen, damit erreicht man eine durchschnittliche Bearbeitungszeit von 16.8 s pro Paket. Bei einem Fassungsvermögen von 170 Paketen, ergibt dies eine Befüllzeit von 47 min. Für die Bereitstellung der Pakete, welche bei fahrendem Fahrzeug erfolgt, wurden die zulässige Geschwindigkeit und Beschleunigung um 0.5 m/s bzw. m/s² gesenkt. Für diese Operationen (Entfernen einer leeren Kiste aus dem Ausgabeschacht, Ablegen der leeren Kiste, Greifen einer vollen Kiste und Einklinken derselben im Ausgabeschacht) wurde eine durchschnittliche Zeit von 18.1 s berechnet, dies ergibt etwa 10 Pakete in 3 Minuten.

Aus den CAD-Skizzen konnte das ungefähre Gewicht der Sortierbox ermittelt werden, das Leergewicht beträgt knapp 1 T, befüllt fast 1.5 T.

3.5 Weitere Abklärungen

Dieses Konzept von der Sortierbox basiert weitgehend auf marktüblichen Elementen. Deren Kombination und der Einsatz auf einem Fahrzeug machen daraus aber ein komplexes System. Dieses Konzept hat sich durch hohe Flexibilität beim Layout ausgezeichnet: durch die modulare Zusammenstellung der Sortierbox lässt sich sehr effizient auf veränderte Anforderungen reagieren.

Diese Lösung bringt noch viele offene Punkte mit sich. Bevor ein Prototyp gebaut werden kann, müssen sämtliche Elemente fertig konstruiert und auf ihre statische und dynamische Festigkeit überprüft werden. Insbesondere der Greifer und dessen Gegenstück an den Kisten, sowie der Sicherungsmechanismus an den Kisten sind noch vollständig zu entwerfen.

4 Lösungskonzept 2: Schienensystem - Hängebahn

Bei diesem Sortierbox-Konzept wird der „Container für Pakete“ auf abstrakte Weise umgesetzt. Die Pakete werden nicht in einen physikalischen Container gelegt, sondern an einem normierten Haken befestigt. Wie bereits die in 3.1 vorgestellte Kiste, bildet dieser Haken die Schnittstelle zwischen den Paketen und der Sortierbox, über ihn werden die Pakete gesichert und verschoben. Anders als in der vorhergehenden Lösung, erfolgt hier kein Schnittstellenwechsel, wenn ein Paket bewegt werden muss (Greifen, Entsichern, Bewegen, Sichern, Loslassen), der Haken wird nämlich in einer Schiene geführt welche er nie verlässt. Das Sortieren der Pakete erfolgt über das Verschieben entlang dieser Schiene. Die Sortierbox umfasst drei solche Schienensysteme, in denen die Pakete grob nach Grösse sortiert eingeschleust werden.

Selbstverständlich muss ein Schienensystem auch Kurven aufweisen, und hier treten auch die ersten Schwierigkeiten auf. Werden die Pakete so in das Schienensystem eingeschleust, dass sie sich in den Kurven nicht gegenseitig behindern, muss ein ziemlich grosser Längsabstand eingehalten werden. Dieser wird aber auf den geraden Strecken nicht benötigt und bedeutet dort lediglich eine Platzverschwendung. Eine schlechte Platzausbeute kann man sich auf dem beschränkten Raum der Sortierbox auf keinen Fall leisten. Aus diesem Grund wird der Längsabstand zwischen den Paketen nicht fix gehalten, sondern vor den Kurvenstücken erhöht um gleich danach wieder zurückgesetzt zu werden (siehe Abbildung 11).

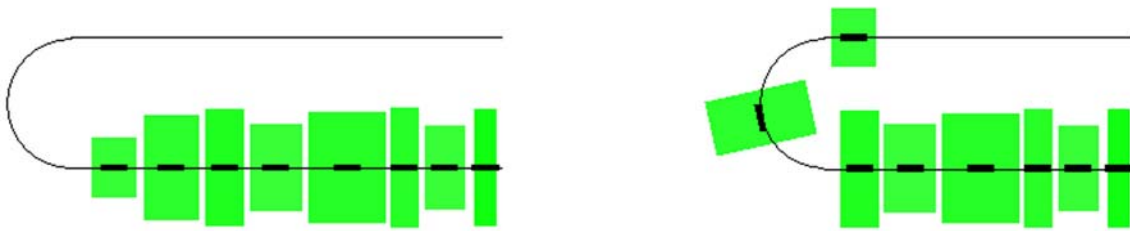


Abbildung 11: Abstand zwischen den Paketen im Schienensystem

Dieser veränderbare Abstand wird erreicht, indem an den betroffenen Stellen eine höhere Geschwindigkeit gefahren wird. Die Pakete haben somit immer den gleichen zeitlichen Abstand, nicht aber den räumlichen.

4.1 Abläufe

Die Pakete werden ausserhalb der Sortierbox an die Haken befestigt und an die Schiene fixiert, danach sind die Pakete bereit für die Befüllung der Sortierbox. Diese muss lediglich mit dem Schienensystem der Distributionsbasis gekoppelt werden: in einem einzigen Durchgang lassen sich sämtliche in der Sortierbox vorhandenen leeren Haken hinausbefördern, gleichzeitig gelangen bereits die Pakete in die Sortierbox. Während der Fahrt werden die Pakete welche als nächste benötigt werden in die Ausgabeschlaufe umgeleitet.

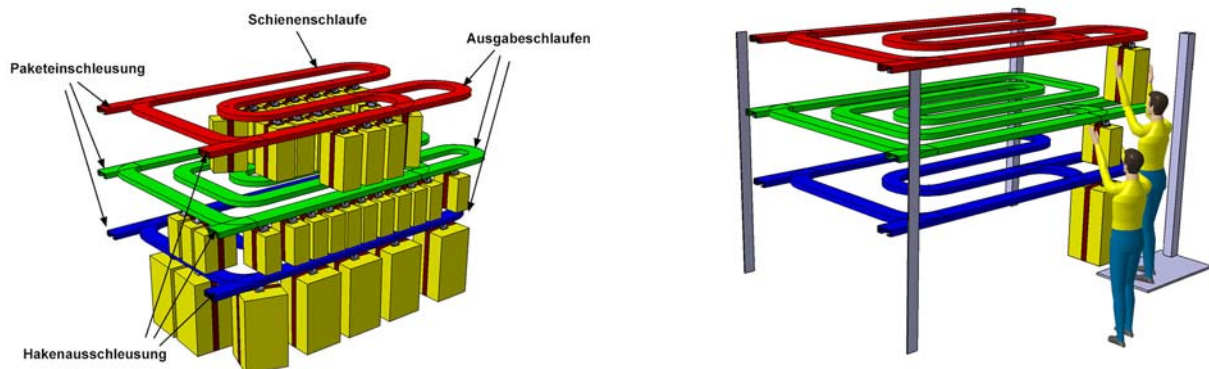


Abbildung 12: Elemente des Schienensystems, Entnahme von Paketen

Wie in Abbildung 12 rechts ersichtlich ist, kann der Postbote ein Paket welches in der Ausgabeschlaufe ist, einfach fassen und der Maschine den Befehl geben dieses zu lösen. Anschliessend wird der leere Haken wieder in die Hauptschlaufe eingeschleust, ein weiteres Paket kann dem Postboten zur Verfügung gestellt werden. Da dieser Vorgang parallel auf den drei Ebenen abläuft, wird die Wartezeit für den Postboten reduziert.

4.2 Bedeutungsvolle technische Elemente

Schienen: Die Sortierbox besteht aus drei verschiedenen, unabhängigen Schienenebenen. Wie in Abbildung 13 dargestellt ist, sind diese Lagen darauf ausgelegt, durch die unterschiedliche Höhe der Ebenen und der mehr oder weniger engen Schienenführung, Pakete unterschiedlicher Grösse aufnehmen zu können.

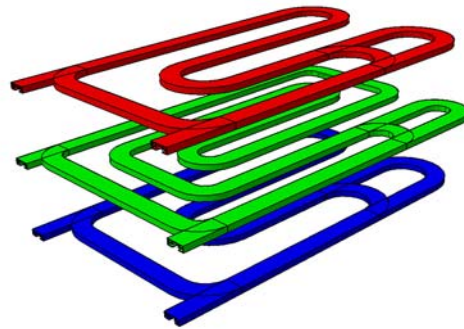


Abbildung 13: Die Schienenebenen der Sortierbox

Die Schiene (Abbildung 14) dient nicht nur dafür die Haken zu tragen, sondern auch um diese anzutreiben. Im Schieneninnern laufen zwei Ketten- / Riemenantriebe welche die Haken mitziehen, der eine ist für den Vortrieb auf den geraden Stücken verantwortlich, der andere sorgt für Antrieb in den gebogenen Abschnitten. Darunter liegt die tragende Ebene der Schiene, hier liegen die Haken mit ihrem Gewicht auf.

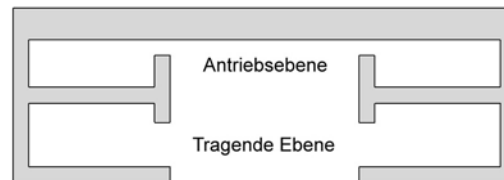


Abbildung 14: Schienenquerschnitt

Pakethaken: Der Pakethaken ist weit mehr als ein einfacher Haken an dem die Pakete aufgehängt werden. Er verfügt über ein aufgerolltes Gewebeband (1), mit dem die Pakete festgezurt werden, Laufrollen (2) die das Gewicht auf die Schienen übertragen, einen Mitnehmer (3) der sich in die Antriebskette einhakt und den Haken vorwärts zieht sowie einer Kupplung (4) welche den Mitnehmer in die richtige der zwei Antriebsketten einhaken lässt.

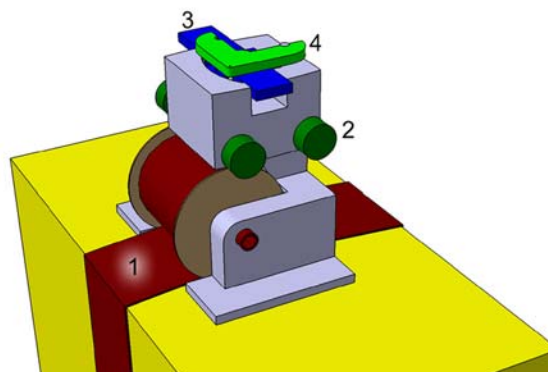


Abbildung 15: Haken mit befestigtem Paket

Kupplung: Für eine platzeffiziente Implementation einer Lösung mit Schienen, werden die Abstände zwischen den Paketen dynamisch an den befahrenen Schienenabschnitt anzupassen sind. Die hier vorgesehenen Kettenantriebe lassen sich zwar in die Schiene einbauen, da sie aber auf der ganzen Schienenlänge die selbe Geschwindigkeit aufweisen, können sie von selbst keine Anpassungen der Abstände hervorrufen. Aus diesem Grund werden in jeder Schiene zwei Antriebe mitgeführt: ein erster

der die Haken auf den geraden Segmenten befördert und ein zweiter der um einen konstanten Faktor schneller läuft und für die Fortbewegung auf den gebogenen Abschnitten verantwortlich ist.

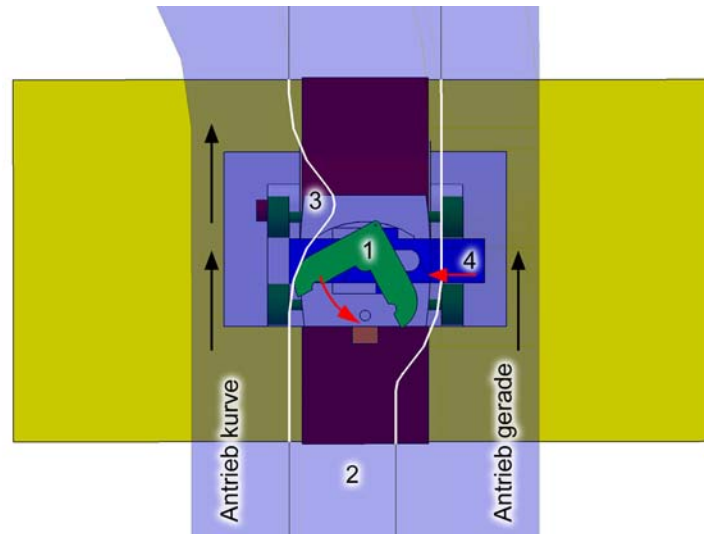


Abbildung 16: Oberansicht des Hakens in der Schiene (Semitransparent)

Die Kupplung (1) mit der jeder Haken versehen ist wird in einer Nut (2) im oberen Schienenteil geführt. Kurz vor und kurz nach den Kurvensegmenten, wird die Kupplung über einen Nocken (3) in der Nut gedreht (siehe Abbildung 16), diese Drehung wird als seitliche Schiebbewegung auf den Mitnehmer (4) übertragen, dieser wechselt somit von einem Antriebssystem zum anderen.

Da beim Kuppeln starke Beschleunigungen auf den Haken einwirken, könnte es sich als notwendig erweisen, zwischen dem Mitnehmer und dem Paket ein dämpfendes Federerelement einzubauen. Dieses würde die entstehenden Rucke reduzieren.

Weichen: Für die verschiedenen Ein- und Ausschleuseoperationen, muss das Schienensystem über Weichen verfügen. Diese müssen einerseits die Haken umleiten, andererseits aber die Antriebsketten korrekt weiterführen. Ein Entwurf einer möglichen Weichenausführung ist in Abbildung 17 dargestellt. Diese ist speziell für die Konfiguration in der Sortierbox ausgelegt und sieht vor, dass der Hauptschienenstrang (1) eine Kurve durchführt während der Abzweiger (2) geradeaus weiterläuft. In diesem Fall wird die Antriebskette für die geraden Abschnitte (3), welche sich auf der Kurvenaussenseite befinden muss, angehoben und über den abzweigenden Strang hinweggeführt. Der abzweigende Strang verfügt über einen eigenen Antrieb (4). Eine bewegliche Lasche (5) in der Schiene sorgt für das Umlenken der Haken, die Nut (6) in der Schiene sorgt für die korrekte Wahl des Antriebes.

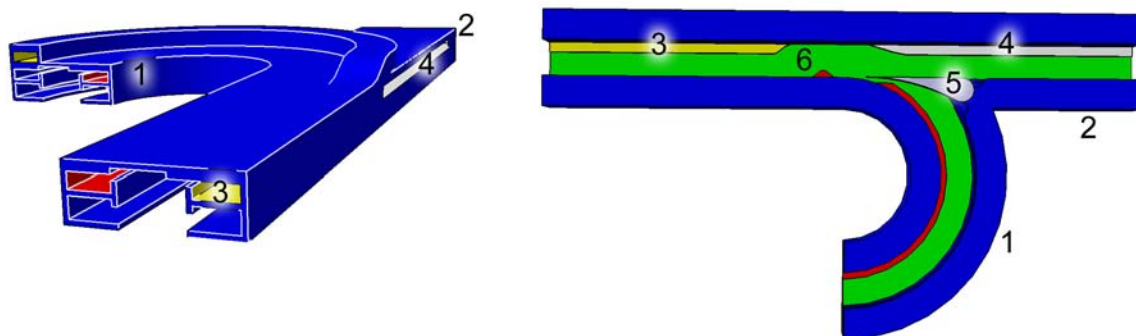


Abbildung 17: Weiche für das Ausschleusen von Haken

4.3 Simulation

Dieser Ansatz der Sortierbox verfügt über weitaus weniger Parameter als der Vorhergehende, deshalb wurde hier kein Programm zur Ermittlung der optimalen Kenngrössen erstellt. Dieses Simulationsprogramm dient der Anschauung des Verhaltens der Pakete im Übergang zwischen geraden und gebogenen Schienenabschnitten und der Berechnung der Aufnahmekapazität der Sortierbox. Über die Simulation lässt sich eine Sortierbox gegebener Grösse befüllen, bis kein Platz mehr vorhanden ist. Alle Schienenebenen können angeschaut und die Pakete darin verschoben werden (Abbildung 18). Damit das Fassungsvermögen statistisch relevant abgeschätzt werden kann, lässt sich die Simulation auch zyklisch wiederholen.

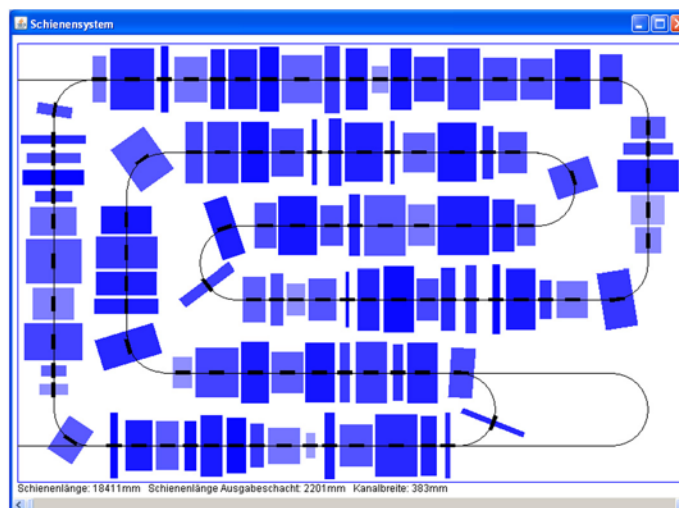


Abbildung 18: Ansicht einer Schienenebene

4.4 Performance

Aus der Simulation geht hervor, dass diese Sortierbox ein durchschnittliches Fassungsvermögen von 208 Paketen hat, dies ist eine deutliche Verbesserung gegenüber der Variante mit dem Hochregallager.

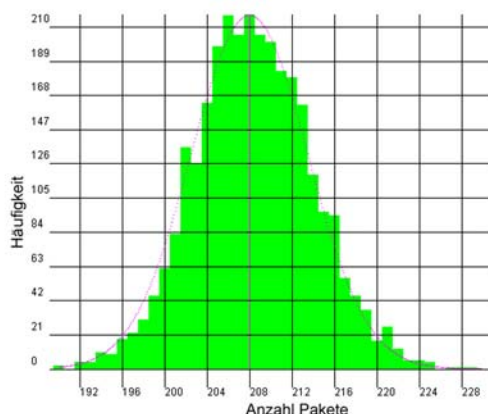


Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung der Aufnahmeleistung bei wiederholtem Befüllen

Dieses Ergebnis ist jedoch stark von der gewählten Breite der Sortierbox, und somit des Fahrzeugs, abhängig. Interessanterweise nimmt die Aufnahmeleistung mit sinkender Breite zu, was jedoch daran liegt, dass dann vermehrt grosse Pakete nicht mitgeführt werden können, was aber vom eigentlichen Ziel der Sortierbox abweicht.

Dank der Parallelisierung auf drei Schiensysteme, weisen diese eine relativ geringe Länge auf (maximal 18.4 m). Dies bewirkt, dass selbst bei einer geringen Geschwindigkeit der Haken, in sehr kurzer Zeit die komplette Sortierbox umgesetzt werden kann. So kann man mit einer Geschwindigkeit von 0.1 m/s die Sortierbox in 3 Minuten neu Befüllen oder Durchsortieren.

Für diese Sortierbox wurden ein Leergewicht von gut 1.1 T und ein Betriebsgewicht von gut 1.6 T berechnet.

4.5 Weitere Abklärungen

Das Konzept dieser Sortierbox ist bestechend einfach, dessen Umsetzung beinhaltet jedoch einige komplexe Konstruktionen, wie bereits hier aufgezeigt wurde. Zwischen dem aktuellen Stand und einem ersten Prototypen steht noch viel Entwicklungs- und Konstruktionsarbeit. Insbesondere den Kettenantrieben steht ein besonderes Augenmerk zu, alternative Antriebsmöglichkeiten (z.B. Kardanische Spindel mit variabler Steigung, Antrieb über Rollen) könnten einfacher zu realisieren sein.

5 Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungen zur Sortierbox, haben für die zwei hier vorgestellten Layouts folgende Leistungsmerkmale ergeben.

	Hochregallager	Schienensystem
Paketfassungsvermögen (Ø)	177	208
Abmessungen B x L x H [mm]	2160 x 3500 x 2250	2300 x 3500 x 2150
Eigengewicht [kg]	981	1'122
Gewicht beladen [kg]	1'471	1'635
Kosten für Serienprodukt [CHF]	58'250	64'000

Während das Fassungsvermögen sehr ausgiebig untersucht wurde, beruhen die Gewichts- und Preisangaben auf Schätzungen. Die dabei auftretenden geringen Unterschiede sind nicht relevant. Deshalb wird die Sortierbox mit dem Schienensystem klar favorisiert.

5.1 Schritte bei PostLogistics

Die Untersuchung SORTIERBOX wird bei PostLogistics vorerst nicht weitergeführt. Obwohl interessante, technisch machbare Lösungen gefunden wurden, gab es andere Kriterien, die zum vorläufigen Abbruch führten. Dies waren insbesondere die Zunahme an Grösse und Gewicht der benötigten Fahrzeuge in einem Masse, dass im Innenstadtverkehr deutliche Nachteile entstehen würden. Zudem war der Zeitgewinn für die Paketboten gegenüber der Ausgangslage geringer als erhofft. Ein ganz wesentlicher Punkt war, dass die Wirtschaftlichkeit nicht gegeben ist, es ist im Gegenteil mit heutigen Annahmen mit einem negativen Net Present Value zu rechnen.

Insgesamt wurden 12 verschiedene Konzepte mit unterschiedlichem Automatisierungsgrad untersucht. Eine wesentliche Erkenntnis war, dass der Paketbote an den Zustellpunkten nicht ins Fahrzeug einsteigen darf, um nicht zu viel Zeit zu verlieren. Die Paketentnahme erfolgt am besten von aussen ab Strassenniveau, die hier vorgestellten 2 Konzepte erreichen dies ziemlich gut.

Es hat sich gezeigt, dass der Einsatz von Sortierboxen auf Botenfahrzeugen nur dann zu realisieren wäre, wenn auch der Sortierprozess in den Sortierzentren weiter automatisiert werden könnte.

Obwohl keines der Lösungskonzepte kurz bis mittelfristig realisiert werden wird, waren die Erkenntnisse für zukünftige Logistikstrategien sehr hilfreich.

6 Literatur

- [1] H. H. Cheng, R. Penkar. Stacking irregular sized packages by a robot manipulator, IEEE Robotics & Automation Magazine, Band. 2, Nr. 4, Dezember 1995, ss. 12-20

- [2] <http://www.biba.uni-bremen.de/home.html> am 21.04.2010

- [3] http://www.thyssenkrupp-krause.de/index.php?option=com_content&task=view&id=73&Itemid=108&lang=de am 21.04.2010

- [4] <http://www.iml.fraunhofer.de/>

- [5] <http://www.iml.fraunhofer.de/1654.html> am 22.03.2010

- [6] E. Hall, R. Shell, G. Slutzky. Intelligent packaging and material handling, Intelligent robots and computer vision IX: Algorithms and techniques, SPIE – The International Society for Optical Engineering, Band 1381, 1990, ss. 162-170

- [7] <http://www.bruynzeel.de/?pid=226> am 29.03.2010