

1 Einleitung

Dieses Kapitel beschreibt die Motivation der Arbeit, basierend auf dem logistischen Anwendungsszenario der automatischen Entladung von Containern. Zudem wird die wissenschaftliche Problemstellung herausgearbeitet und die Aufgabenstellung spezifiziert. Abschließend wird die Gliederung der Arbeit vorgestellt.

1.1 Motivation und Problemstellung

Die rasanten Fortschritte in den Bereichen Sensorik, künstliche Intelligenz und Greiftechnologien ermöglichen die Entwicklung neuer kognitiver Robotersysteme, um logistische Prozesse effizienter und kostengünstiger zu gestalten. Gegenüber gewöhnlichen Industrierobotern, die vordefinierte Problemstellungen unter bekannten und konstanten Umgebungsbedingungen lösen, können hierdurch flexiblere Robotersysteme für Prozesse mit dynamischen Umgebungsbedingungen entwickelt werden. Speziell die Handhabung von logistischen Objekten, wie die Entladung von Stückgütern aus Containern oder die Depalettierung sind Aufgaben, für die durch neue Sensoren und Analysealgorithmen intelligente Robotersysteme entwickelt werden können. Auch Logistikunternehmen sehen großes Potenzial für Roboterlösungen innerhalb logistischer Prozesse. Basierend auf einer Studie zum Einsatz von Robotern in der Logistik (BIB, 2012) planen 75 % aller teilnehmenden Unternehmen zukünftig eine oder mehrere Roboterlösungen einzusetzen. Zudem sehen 70 % der Unternehmen einen hohen Investitionsbedarf bezüglich Robotersystemen innerhalb der nächsten fünf Jahre. Ebenso weisen führende Logistikdienstleister Roboter- und Automatisierungssystemen eine hohe Relevanz zu und sehen ein sehr großes Potenzial zur signifikanten Optimierung logistischer Prozesse in den nächsten fünf Jahren (DHL, 2013). Neben den wirtschaftlichen Vorteilen können zudem Arbeitnehmer physisch entlastet werden, indem körperlich belastende Prozessschritte durch Robotersysteme übernommen werden. Die automatische Entladung von Standardladungsträgern, wie Containern, Wechselbrücken oder eines *Unit Load Device* (ULD), ist hierfür ein gutes Beispiel. Die Entladung von lose transportierten Stückgütern ist der einzige Prozessschritt innerhalb des Warenumschlages, der auch heute noch hauptsächlich manuell durchgeführt wird (Kirchheim, 2011). Neben der Rationalisierung des physisch belastenden Prozessschrittes hat die Entwicklung eines flexiblen und zuverlässigen Entladeroboters eine hohe wirtschaftliche Relevanz. Das amerikanische Marktforschungsinstitut IHS Global Insight prognostiziert die Zunahme des Containerverkehrs von 128 Millionen *Twenty-foot Equivalent Unit* (TEU) im Jahre 2013 um knapp ein Viertel auf 158 Millionen TEU im Jahr 2017 (BVL, 2013). Allerdings sind nicht alle Arten von transportierten Stückgütern für die automatische Entladung geeignet. Hauptkriterien sind hierbei die Form, das Gewicht sowie das Material des zu entladenen Stückgutes. Basierend auf diesen Kriterien sind in Europa beispielsweise 63,8 % der importierten Stückgüter für die automatische Entladung geeignet (Akbiyik u. a., 2009). Diese lassen sich in die drei Formklassen quaderförmig, zylindrisch sowie sackförmig unterteilen. Dabei umfassen quaderförmige Stückgüter hauptsächlich Pakete und machen 46,7 % aller Stückgüter aus. Zylindrische Stückgüter beinhalten Fässer sowie verpackte Autoreifen und stellen einen geringen An-

teil von 0,05 % der entladbaren Stückgüter dar. Im Gegensatz zu den beiden genannten Formklassen sind sackförmige Stückgüter lokal deformierbar und ihre Form ist abhängig von dem jeweiligen Füllgrad sowie der Position innerhalb des Standardladungsträgers. Mit 15,1 % stellen sie den zweitgrößten Teil der entladbaren Stückgüter dar. Die verbleibenden 36,2 % der Stückgüter sind aufgrund von Sonderformen oder Materialien nicht für eine automatische Entladung geeignet oder werden palettiert transportiert. Palettierte Stückgüter können bereits mit mechanischen oder semi-automatischen Systemen entladen werden. (Akbiyik u. a., 2009) (Kirchheim, 2011)

Die technische Machbarkeit einer Entladung von quaderförmigen Stückgütern durch ein Robotersystem wurde durch die Markteinführung des Paketroboters bewiesen (Echelmeyer u. a., 2008) (Scholz-Reiter u. a., 2008b). Dieser ist in der Lage, quaderförmige Objekte, wie Pakete oder Boxen, aus einem vordefinierten Größen- und Gewichtsspektrum vollständig automatisch aus einem Container zu entladen. Der Roboter setzt sich dabei aus den Komponenten Kinematik, Sensorik, Greifer und Steuerung zusammen. Als Sensorik wird ein Laserscanner verwendet, der ein genaues 3D-Abbild des Packszenarios erstellen kann. Dadurch können die Greifpunkte bzw. Greifregionen für den Greifer des Entladeroboters direkt bestimmt werden. Abbildung 1.1 zeigt den Paketroboter vor einem mit Paketen beladenen Container.



Abbildung 1.1: Paketroboter beim Entladen eines Containers (BIBA, 2011)

Die Haupteinschränkung des Systems liegt hierbei in der Betrachtung einer einzigen Formklasse von Stückgütern sowie auf der Festlegung auf einen vordefinierten Größen-

bereich. Dadurch sind vor allem sogenannte Mischcontainer, die Stückgüter unterschiedlicher Form und Ausmaße enthalten, nicht durch den Roboter entladbar. Die Entwicklung eines Entladeroboters für Container, die mit Stückgütern aus den genannten drei Formklassen beladen sind, würde die Flexibilität des Systems deutlich verbessern. Bisher existiert am Markt kein vollautomatisches Entladesystem, das in der Lage ist, diese Aufgabe durchzuführen. Allerdings ist das Thema Gegenstand vieler aktueller Forschungsarbeiten, wie z.B. im von der EU geförderten Forschungsprojekt ROBLOG¹. Ein Hindernis für die Markteinführung eines solchen Systems ist unter anderem das Fehlen einer Methode zur Erkennung und Lokalisierung einzelner Stückgüter aus einem unbekannten und ungeordneten Packszenario. Die Methode muss neben der Lokalisierung der Stückgüter auch die Lage bestimmen, um dem Entladeroboter die entsprechenden Greifkoordinaten übermitteln zu können. Die Ausmaße der Stückgüter sind dabei unbekannt und durch die gestapelte Anordnung und die Begrenzungen des Standardladungsträgers sind die einzelnen Stückgüter nur teilweise in den 3D-Bilddaten sichtbar. Durch den Einsatz im industriellen Umfeld bestehen zudem hohe Anforderungen an Geschwindigkeit, Robustheit sowie Präzision. Die Problemstellung ist dem sogenannten „Griff in die Kiste“-Problem zuzuordnen, das aufgrund der Komplexität in seiner Allgemeinheit bisher als ungelöst gilt (Siciliano u. a., 2009).

1.2 Zielstellung

Die Entwicklung eines flexiblen Entladeroboters für Container, der Stückgüter unbekanntes Ausmaßes aus den drei Formklassen quaderförmig, zylindrisch und sackförmig entladen kann, ist eine komplexe und vielseitige Aufgabenstellung. Neben der Bildverarbeitung stellt sie auch sehr hohe Anforderungen an andere Themenbereiche, wie die Entwicklung passender Greifsysteme, der Kinematik des Robotersystems oder der Trajektorienplanung. Das Themenfeld dieser Arbeit liegt ausschließlich in der Entwicklung einer Methode zur Objekt- und Lageerkennung einzelner Stückgüter in ungeordneten Packszenarien. Basierend auf den bisher existierenden Systemen sowie den Vorteilen von 3D-Bilddaten gegenüber 2D-Bildern oder alternativen Sensortechnologien bei der Bestimmung von Greifkoordinaten für den Roboter wird ein Laserscanner als Sensor verwendet. Dieser ist zudem weitestgehend unabhängig von den Umgebungsbedingungen und weist eine sehr hohe Messgenauigkeit auf. Die Erkennung einzelner Objekte aus Szenarien mit einem hohen Grad an Verdeckungen und unter Verwendung von möglichst wenig Vorwissen, welche Objekte in dem zu untersuchenden Szenario tatsächlich vorhanden sind, ist eine sehr komplexe Aufgabenstellung (Pang u. Neumann, 2013). Aufgrund der Verdeckungen sind die Objekte zudem nur teilweise in den Sensordaten sichtbar. Um die Komplexität zu verringern, haben *Bonini et al.* ein Schema entwickelt, um potenzielle Packszenarien in einem Container anhand von drei Eigenschaften zu charakterisieren (Bonini u. a., 2012). Das Schema sowie mögliche Auslegungen der einzelnen Eigenschaften sind in Tabelle 1.1 dargestellt.

¹<http://www.roblog.eu> - Letzter Aufruf: 05.10.2014

Art der Stückgüter	Homogen / Heterogen
Packmuster	Ungeordnet / Geordnet
Kraftaufwendung zur Entnahme	Gering / Hoch

Tabelle 1.1: Charakterisierungsschema für Packszenarien in einem Container (Bonini u. a., 2012)

Entscheidend für die Objekterkennung sind dabei die Art der Stückgüter sowie die Kategorisierung des Packmusters. Packszenarien mit homogenen Stückgütern bestehen aus Stückgütern derselben Formklasse und weisen alle dieselben geometrischen Ausmaße auf. Dementsprechend bestehen Packszenarien mit heterogenen Stückgütern aus Stückgütern unterschiedlicher Ausmaße. Die Formklasse der Stückgüter muss dabei nicht zwangsläufig identisch sein. In geordneten Anordnungen weisen alle Stückgüter die selbe Orientierung auf und sind eng aneinander platziert, so dass einzelne Übergänge zwischen den Stückgütern kaum erkennbar sind. Diese Packszenarien eignen sich nicht für die Analyse mit 3D-Bilddaten. Hier kann keine korrekte Segmentierung der 3D-Bilddaten in Teilregionen durchgeführt werden, die einzelne charakteristische Flächen oder einen kompletten Objektkandidaten enthalten. Dies ist bspw. bei zwei identischen Paketen der Fall, die direkt übereinander gestapelt werden. Hier kann anhand der entsprechenden Sensordaten nicht zwischen den beiden Objekten unterschieden werden. Diese werden dementsprechend als ein einzelnes Objekt interpretiert. Aus diesem Grund fokussiert sich diese Arbeit auf die Erkennung von Stückgütern in ungeordneten Packszenarien. Die Art der Stückgüter kann dabei homogen sowie heterogen sein. Die ungeordnete Anordnung der Güter kann zwei Ursachen haben (Bonini u. a., 2012): Da bisher noch keine vollständig automatischen Beladungssysteme existieren, die die Stückgüter optimal in einem Container anordnen können, wird in der manuellen Beladung versucht, möglichst viele Stückgüter in dem Container zu positionieren. Im anderen Fall ändert sich die Anordnung der Stückgüter während des Transportprozesses. Dies ist häufig der Fall, wenn der Container nicht komplett beladen ist und die Stückgüter nicht durch zusätzliche Halterungen befestigt sind. Abbildung 1.2a und 1.2b zeigen exemplarische Beispiele für ungeordnete Packszenarien mit homogenen Stückgütern.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Objekterkennungsmethode für ungeordnete Packszenarien anhand von 3D-Bilddaten. Die Grundaufgabe der Objekterkennung liegt dabei in der zuverlässigen Erkennung möglichst vieler Stückgüter im ungeordneten Packszenario anhand der Sensordaten eines Laserscanners. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass nach jedem Entladeprozess eines Stückgutes erneut 3D-Bilddaten durch den Laserscanner aufgenommen werden. Daher ist die Hauptanforderung an die zu entwickelnde Methode, mindestens ein entladbares Stückgut innerhalb des Packszenarios zuverlässig erkennen und lokalisieren zu können. Ein Stückgut wird in diesem Zusammenhang als entladbar klassifiziert, wenn direkt über dem Stückgut kein weiteres platziert ist sowie aus Sicht des Sensors kein anderes Stückgut vor ihm positioniert ist. Ein entladbares Stückgut kann somit kollisionsfrei durch den Entladeroboter aus einem Container entnommen werden. Im Anschluss an den Entladevorgang des Stück-