

# Genesys

## Generisches Entladesystem

Dr.-Ing. André Richter  
Grenzebach Automation GmbH  
Geschäftsbereich Airportlogistics  
Wikingerstraße 11, 76189 Karlsruhe

### Kurzfassung

Das Vorhaben soll einen Beitrag zur Logistik in der Produktion und im Dienstleistungsbereich leisten. Entladevorgänge können sowohl in der Produktion, als auch in der Transportlogistik nicht automatisiert durchgeführt werden, wenn die zu entladenden Stückgüter, z.B. Gepäck, verklemmen, bzw. überlappen.

Insbesondere bei der manuellen Entladung führen die kurze zur Verfügung stehende Zeit, sowie die schweren Güter zu starker gesundheitlicher Schädigung der betroffenen Arbeiter. Diese Arbeitsplätze gilt es zu entlasten.

Das Projekt GENESYS (**Generisches Entladesystem**) setzt sich zum Hauptziel, die Realisierung eines neuen, universellen, hochflexiblen, roboter- und sensorgestützten Entladesystems, welches für obige Logistikaufgaben in der Produktion und im Service geeignet ist. In GENESYS soll die Automatisierung bei deutlich erschwerten Randbedingungen angegangen werden und Gegenstände depalletiert bzw. entladen werden, die in der Form nur durch ihre maximalen erlaubten Abmessungen definiert werden bzw. die sich zusätzlich noch in Verklemmungen befinden.

## 1. Einleitung

### 1.1 Ausgangssituation/Thematisierung der Problematik

Roboter sind heute ein wichtiges Werkzeug zur Handhabung von Objekten in der flexiblen Produktion. Sie werden vor allem bei großen Losgrößen eingesetzt, wenn die Teilelage nicht variiert und nicht durch Sensoren erfasst werden muss. Viele Handhabungs-, Kommissionier- und Entladevorgänge, z.B. aus Behältern, können nicht mit dem Roboter automatisiert werden, weil die Teile entweder in ihrer Lage (Position und Orientierung), Form und Gewicht nicht exakt bekannt sind oder durch Verklemmungen nicht bewegt werden können. Diese Aufgabenstellungen treten in vielen Branchen auf. In der Produktion werden für die Fertigung und Montage Teile in Behältern zur Weiterverarbeitung angeliefert. In Warenverteil-

zentren und Versandhäusern müssen Teile von Paletten entladen und wieder neu kommissioniert werden. Dasselbe trifft auch für die Brief- und Paketzustellung zu. Auf Flughäfen müssen Container mit Gepäckstücken be- und entladen werden.

## 1.2 Abgrenzung und ausführliche Behandlung des Problembereiches

Ziel dieses Projektes ist es, ein neues, universelles, hochflexibles, roboter- und sensorgestütztes Entladesystem zur Handhabung und Manipulation von Einzelteilen und Teilkonglomeraten zu realisieren.

Die in GENESYS entwickelten Verfahren sollen einerseits anhand der flexiblen automatischen Gepäckentladung aus Flugzeug-Containern demonstriert werden. Andererseits soll eine Pilotanlage zum Entladen von Bauteilkonglomeraten aufgebaut werden. Bei der Gepäckentladung soll dies zu einer längst überfälligen Humanisierung dieses Arbeitsplatzes beitragen (Gepäckstücke bis 50kg, s. Abbildung 1(a)). Das Beladen und Palettieren ist aus Sicht des Projektteams weitgehend bearbeitet und in der Regel robotergestützt durchführbar. Dahingegen sind beim Entladen die Herausforderungen durch die Variantenvielfalt (unbekannte Formen und Gewichte) und den nicht geordneten Zusammenhang (möglichen Verklemmungen und Überlappungen) gegeben (s. Abbildung 1(b)) und bislang noch nicht gelöst.



(a)



(b)

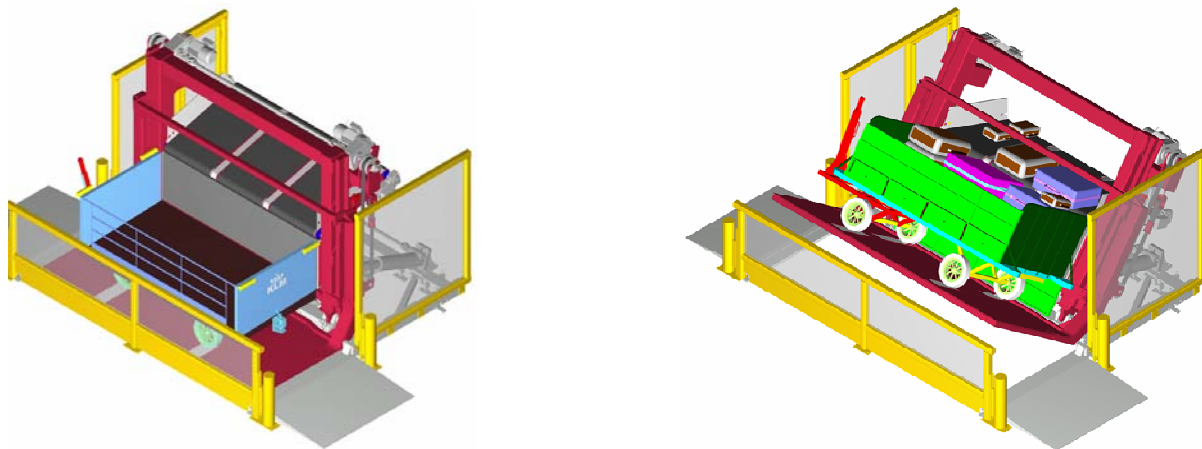
**Abbildung 1:** (a) Manuelle Entladung von schweren Gepäckstücken (bis zu 50kg pro Gepäckstück); (b) Beispiel einer Entladeaufgabe in der Produktion.

In der Produktion ist die Aufgabenstellung „Entladung von Objekten“ aus einem Behälter, wenn diese z.B. in Form, Größe und Gewicht variieren, überlappen und verklemmen heute noch nicht automatisierbar. Dies liegt zum einen an der Sensortechnik- und Auswertung, zum anderen auch an fehlenden robusten Strategien, um Verklemmungen bzw. nicht eindeutig interpretierbare Szenen aufzulösen. Hier soll GENESYS einen wichtigen Beitrag leisten. Bei der Gepäckbeladung beispielsweise ist die Automatisierung durch Roboter weitestgehend gelöst. Dies gilt nicht für die Entladung. So werden zwar Gepäck-Container schon halbautomatisiert aus dem Flugzeugrumpf entnommen und mit einem Zugfahrzeug bis in das Flughafengebäude transportiert. Die Entladung der Container und Übergabe der Gepäckstücke auf das vollautomatische Gepäckverteilungssystem des Flughafens geschieht jedoch manuell.

Dabei haben 1 bis 2 Werker pro Container in 3 Minuten etwa 40 Gepäckstücke mit durchschnittlich 20kg und in Einzelfällen bis zu 50kg aus dem Container auf das Transportband zu heben. Die automatisierte Entladung bzw. Depalettierung ist auch in der flexiblen Produktion ein bekanntes Problem. So existieren derzeit schon einige Forschungs- und Pilotanlagen in diesem Aufgabenfeld. Vorausgesetzt wird hierbei jedoch stets, dass die angelieferten Gegenstände eine vorher bekannte und eindeutige Form besitzen (z.B. Automobilbereich: Getriebe, Kurbelwellen, Felgen, usw.). In GENESYS soll die Automatisierung bei deutlich erschwerten Randbedingungen angegangen werden und Gegenstände depalettiert bzw. entladen werden, die in der Form nur durch ihre maximalen erlaubten Abmessungen definiert werden bzw. die sich zusätzlich noch in Verklemmungen befinden.

Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass aktuelle Sensoren in den bei diesen Aufgabenstellung engen Arbeitsräumen nur schwer unterzubringen sind, ohne dass deren Sichtfeld stark beeinträchtigt wird. Zudem ist die Sensorauswertung und 3D-Szenenrekonstruktion mit derzeitigen Verfahren immer noch so zeitaufwendig, dass die erforderlichen Zykluszeiten nicht erreicht werden. Daher sind auch hier neue Sensorkonzepte und Auswertungsverfahren zu konzipieren, die auf neuartigen Sensortechnologien aufbauen.

Es existieren de facto in der Logistik trotz Humanisierungswunsch keine allgemein praktikablen Lösungen für das Problem Entladung. Eine erste Speziallösung hat Firma Grenzebach Onero GmbH für die Entladung von Gepäckwagen entwickelt (s. Abbildung 2).



(a)

(b)

**Abbildung 2:** Pilotanlage der Fa. Grenzebach Onero GmbH zur automatischen Entladung von Gepäckwagen;(a) leerer Gepäckwagen auf Entladeeinheit; (b) Gepäckwagen im automatischen Entladevorgang

Der Gepäckwagen wird bei diesem Prototyp gekippt. Damit rutschen die Gepäckstücke aus dem Gepäckwagen auf das Förderband und werden von dort aus weiter in das automatische Transportsystem übergeben (s. Abbildung 2 (a) und (b)). Diese Strategie ist jedoch nur bei Gepäckwagen erfolgreich, da hier die Gepäckstücke schon weitgehend locker und vereinzelt vorliegen. Bei Großraumflugzeugen werden jedoch standardisierte Gepäck-Container (s. **Abbildung 3**) eingesetzt, die sich nicht durch einen einfachen Kippmechanismus entladen lassen.



**Abbildung 3:** Beispiel eines Flugzeugcontainers für den Transport von Stückgut bzw. Gepäckstücken.

Diese besitzen, wie **Abbildung 3** zeigt, eine an den Flugzeugrumpf angepasste Form. Das im Flug-Container befindliche Gepäck wird an der schrägen Wand nach unten gepresst und verkeilt somit die daneben liegenden Stücke. Zudem besitzen die Container nur relativ kleine Öffnungen, durch welche die Gepäckstücke entnommen werden müssen. Das Entladeproblem erreicht hierdurch einen sehr hohen Komplexitätsgrad. Es ist daher bis heute immer noch notwendig, die Entladung von Gepäck-Container vollständig manuell durchzuführen. Es existiert weder deutschlandweit, noch international eine Lösung für diese Problemstellung.

### **1.3 Ziele und innovativer Gehalt**

Ziel von GENESYS ist die Entwicklung einer flexiblen Roboterzelle, die Teile aus einem Behälter entladen kann, welche in der Lage, Form und Gewicht unbekannt sind und welche zusätzlich verklemmt sein können. GENESYS schließt somit eine wichtige Lücke im Bereich der Logistik bzw. Logistikkomponenten. Das Projekt ordnet sich daher in das Förderprogramm „Wandelbare Logistiksysteme für die Produktion“ ein.

Zum Erreichen dieses Gesamtzieles ergeben sich folgende Teilziele, deren Lösungen allgemeingültig für Entladeaufgaben und unabhängig von der konkreten Aufgabenstellung verwendet werden können:

- Erforschung, Entwicklung und Erprobung eines leistungsfähigen Sensorsystems, welches mittels 3D-Erfassung Objekte in ihrer Gestalt, Lage und gegenseitigen Abhängigkeiten erfassen kann.
- Erforschung, Entwicklung und Erprobung von Algorithmen und Verfahren zur Erkennung von Verklemmungen und deren Auflösung.
- Erforschung, Entwicklung und Erprobung von neuartigen Greiferkonzepten und -technologien zur Handhabung von Objekten nicht vordefinierter Form, Größe und Festigkeit.
- Erforschung, Entwicklung und Erprobung einer modularen, offenen Hard- und agentenbasierten Softwarearchitektur mit standardisierten Schnittstellen für ein hoch flexibles Entladesystem
- Erforschung, Entwicklung und Erprobung eines autonomen Robotersystems mit Standardschnittstellen für Greifer und Sensorik, welches „abso-

lut genau“ und kollisionsfrei, aufgrund der Sensorvorgaben positioniert werden kann.

- Erforschung, Entwicklung und Erprobung einer agentenbasierten Ablaufsteuerung mit Visualisierung und Nutzerschnittstelle, welche autonom den Entladeprozess steuern kann.

Mit Erreichung des Gesamtzieles werden für zwei spezifische Applikationen (Gepäckentladung, Bauteilentladung in einem Produktionsprozess) operative Prototypen vorliegen, die nach einem anschließenden Produktentwicklungsschritt direkt wirtschaftlich verwertet werden können. Auf Grund des zu entwickelnden modularen Aufbaus, sowohl der Hardware- als auch der Softwarekomponenten, wird GENESYS zudem einen „Werkzeugkasten“ für die Generierung weiterer Applikationslösungen darstellen, wobei die in den einzelnen Teilzielen entwickelten Komponenten flexibel und mit deutlich verringertem Entwicklungsaufwand eingesetzt, adaptiert oder ergänzt werden können.

Durch den generischen Ansatz soll GENESYS für die spätere wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung eine Plattform für weitere Entwicklungen darstellen.

## **2. Projektstatus**

Die Konzeption eines generischen Robotersystems für das Entladen von Behältern erfordert eine detaillierte Analyse der Anforderungen. Diese Anforderungen an Hardware und Software des Entladesystems werden in einem Lastenheft aufgenommen und führen auf ein Pflichtenheft, das die Leistungen und Lösungsansätze (Technische und betriebliche Konzepte, Prozessabläufe, etc.) ausführlich darlegt. Dieses Pflichtenheft dient als Referenz für alle folgenden Entwicklungsaufgaben.

Aufbauend auf geeigneten, bereits vorhandenen Standardschnittstellen soll eine offene, komponentenbasierte Systemarchitektur in Hard- und Software entwickelt werden, welche eine hohe Wiederverwendbarkeit und einen Austausch der Komponenten Roboter, Endeffektor, Steuerungen, Sensoren und Hardware für die Mensch-Maschine-Schnittstelle ermöglicht. Die Software-Architektur beinhaltet die Integrationsplattform für die einzelnen Software-Komponenten und z.B. die Steuerungsalgorithmen, die Sensoralgorithmen und die Mensch-Maschine-Schnittstelle. Eine durchgängige und teleservice-gerechte Diagnose- und Fehlerermittlungsfähigkeit der einzelnen Komponenten und des Gesamtsystems ist dabei ebenso grundlegendes Ziel, wie eine hohe Skalierbarkeit, um z.B. dem wachsenden Logistikaufkommen in der Produktion und auf Flughäfen in Zukunft gerecht werden zu können. Daher wird eine Multiagenten-Architektur gewählt, bei der die einzelnen Softwareagenten autonom sind und über Standardschnittstellen mit anderen Agenten im Sinne einer gesamten Zielerreichung kommunizieren und handeln.

Vom Projektteam werden insbesondere die Komponenten für die sensorüberwachte Manipulation und Vereinzelung der Objekthaufen mit Standardindustriroboter und der Endeffektor entwickelt. Für Letzteren muss ein sehr flexibler Hebe-/Saug-/Greif-/Fördermechanismus entworfen werden, da die Objekte in ihrer Form, Masse Flexibilität und Oberflächenbeschaffenheit sehr variieren. Hierbei werden geeignete Technologien untersucht. Solche grundle-



### 3. Erfahrungen, Bewertung

Während des Projektverlaufes – innerhalb der zurückliegenden, ersten sechs Monate – konnte der erste Meilenstein erreicht werden. Von der Anforderungsliste konnten Lasten- und Pflichtenheft erarbeitet und bereits erste Untersuchungen bezüglich einer geeigneten Greifertechnologie vorgenommen werden.

Beispielhaft werden nachfolgend einige Erfahrungspunkte, stichwortartig aufgeführt.

#### **Firma Grenzebach/Kuka: Ladebildanalyse Rampcart:**

- Abhängig von Gepäckstruktur
- Erste Lage stehend, Schmalseite nach vorne, dann liegend
- „chaotisch“, zum Teil einfach aufgeworfen

#### **Container:**

- Meist liegend, zum Teil mit „Press-Passung“ in Lücken gedrückt
- Durch Rütteln während Flug teilweise verkantet

#### **Greifertest Bandgreifer:**

- Förderband-Technik als Entladewerkzeug bei Gepäckcontainern
- Methode nur in optimalen Situationen erfolgreich
- Glatter Untergrund
- Keine oder sehr geringe Behinderung
- Gute Angriffsfläche für Förderband
- Abnutzung an Band sehr hoch

Fazit: ungeeignet für real gepackte Container

#### **Greifertest Sauggreifer:**

- Unmodifizierter Sauggreifer von Fa. Schmalz
- Test nur an Rampcart
- 2 Kompressoren parallel (7,5 KW und 4,0 KW)

Ergebnisse

- Wenn Greifer dicht abschließt: guter Erfolg
- Greifpunkt weit von Schwerpunkt: teilweise instabil
- Bei geringer „Nebenluft“: Gepäckverlust

Fazit:

- Saugglocken in Ausrichtung flexibel
- Besser mehrere kleine als eine große Glocke
- Möglichst gute Analyse der Oberflächen

**Firma Ifm:** Bestimmung des Flächenkriteriums: Die Klassifikation von Flächen basiert auf den Grundbegriffen der Differentialgeometrie. Flächenmerkmale wie Normalenvektor und Krümmung werden verwendet, um die Form der gemessenen 3D-Punktwolken zu charakterisieren. Es wurden klassische Verfahren (LMS,PCA) in Kombination mit verschiedenen Flächenfunktionen (Polynom 1. bzw 2. Grades) untersucht und insbesondere bezüglich ihrer Robustheit unter verrauschten Daten und der Geschwindigkeit evaluiert. Es wurden eigene Ansätze entwickelt und getestet.

Segmentierung: Es wurden kantenbasierende Segmentierungsverfahren wie Sobel- oder Canny-Filter auf den Matrizen des Flächenkriteriums getestet. Es hat sich jedoch gezeigt, dass regionenbasierende Verfahren (DCC - Distance Connected Components) zu bevorzugen sind. Damit kann ein Flächenmodell aus den Messdaten erzeugt werden.

Das Flächenmodell soll in die Greifpunktbestimmung wie auch in die kollisionsfreien Bahnplanung einfließen.

#### 4. Ausblick

Für einen weiteren, erfolgreichen Projektverlauf steht als Zielsetzung der Aufbau der betriebsbereiten Referenzzelle des Verladesystems im Hause der Firma Grenzebach Automation in Karlsruhe.

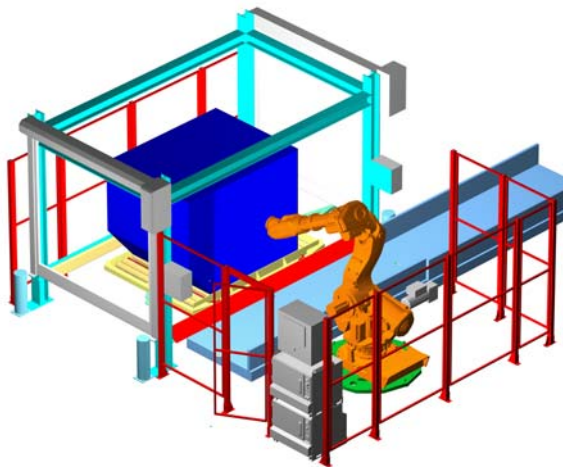


Abbildung 4: Endladezelle

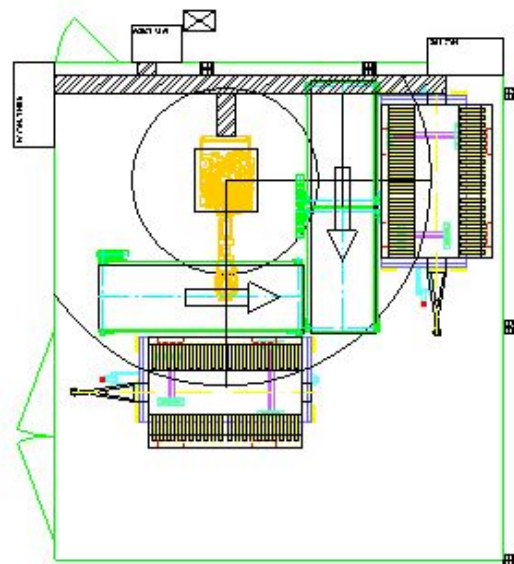


Abbildung 5: Layout Endladezelle

## **Zu erwartete Ergebnisse**

Das Gesamtergebnis des Verbundprojektes ist die Entwicklung eines generisch einsetzbaren Systems zur automatisierten Entladung komplex geformter Güter aus Transportbehältern.

Anwendungsbeispiele hierzu sind:

- Entladung von Gepäckstücken aus Luftfrachtcontainern
- Entladung von Bauteilen aus Transportbehältern in der Fertigungsindustrie
- Entladung von Paketen o.ä. in Logistikanwendungen

Neben dem gemeinsamen Hauptergebnis des Verbundprojektes sind durch die geplanten Entwicklungsarbeiten in dem Verbundprojekt auch Teilergebnisse z.B. in folgenden Gebieten zu erwarten:

- Sensorik zur Lage-/Objekt-/Szenenerkennung
- Softwaremodule zur Sensordatenverarbeitung
- Mechatronische Komponenten zur Handhabung von Transportbehältern
- Mechatronische Komponenten zur Handhabung von Stückgütern (z.B. Greifersysteme)
- Algorithmen zur Robotersteuerung und Verfahrberechnung
- (Agentenbasierte) Steuerungskonzepte
- Methoden für die Mensch-Maschine-Kommunikation

Diese Teilergebnisse sind mindestens teilweise auch außerhalb des eigentlichen Zwecks des Verbundprojektes GENESYS verwendbar und sollen im Anschluss an das Verbundvorhaben durch die Partner entsprechend übernommen, weiterentwickelt und verwertet werden.