



Auto
Modal

AutoModal

Schlussbericht

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

26.04.2023

Autoren:

Maximilian Schellert, Agnes Eiband



AutoModal

Automatisierung von trimodalen Terminals

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

Joseph-von-Fraunhofer Str. 2-4
44227 Dortmund

Förderkennzeichen: **19H19003B**

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



Inhaltsverzeichnis

1.1	Aufgabenstellung.....	4
1.2	Projektvoraussetzungen (Stand 2018)	5
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	5
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn	8
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	9
2.1	Projektergebnisse.....	10
2.1.1	Arbeitspaket 1: Bestandsaufnahme.....	11
2.1.2	Arbeitspaket 2: Identifikation von Techniken und Lösungen.....	12
2.1.3	Arbeitspaket 3: Entwicklung und Umsetzung Automatisierungslösungen	16
2.1.4	Arbeitspaket 4: Implementierung von Lösungen und Testphase	17
2.1.5	Arbeitspaket 5: Betrachtung von Anwendungsszenarien und Roadmap	17
2.1.6	Arbeitspaket 6: Systemische Übertragung und Ergebnistransfer	18
2.1.7	Arbeitspaket 7: Projektmanagement und –koordination	18
2.2	Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	19
2.3	Notwendigkeit der geleisteten Arbeit	19
2.4	Nutzen der Arbeiten und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	19
2.4.1	Kosten-Nutzen-Analyse.....	21
2.4.2	Nutzen für die deutsche Hafenwirtschaft	22
2.4.3	Nutzen für Umwelt und Allgemeinheit.....	22
2.5	Fortschritt auf dem Gebiet	22
2.6	Veröffentlichungen.....	23

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Umsetzungsreihenfolge Automatisierung im Projekt	4
Abbildung 2: Arbeitsplan	7
Abbildung 3: Gantt-Chart.....	8
Abbildung 4: Projektziele und Rolle Fraunhofer	10
Abbildung 6: Prozesskette des Umschlags per Kran oder Flurfördermittel	12
Abbildung 7: Vorgehensweise Sensorik	13
Abbildung 8: Außenaufnahme bei Sonneneinstrahlung mit Mobotix	14
Abbildung 9: Aufnahme von Indoor-Hallenkran mit Axis Kamera P3228-LVE.....	15
Abbildung 10: Vibrationstest auf "Noppenboden" mit Axis Kamera P1435-LE	15
Abbildung 11: Umsetzungsreihenfolge Automatisierung im Projekt	16
Abbildung 12: Ausbaustufen am Referenzportalkran	17
Abbildung 13: Roadmap zur Umsetzung automatisierter Kranumschlag	18

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

Projektzusammenfassung

1.1 Aufgabenstellung

Das Ziel des Projekts „AutoModal“ war die Automatisierung in den Umschlagprozessen in Hinterlandterminals voranzutreiben, indem die Automatisierung des Umschlagkrans prototypisch technisch umgesetzt wird.

Eine Automatisierung von trimodalen Terminals im Hinterland war bis dahin nicht vorhanden, die Lösungen in den Seehäfen sind nicht übertragbar, da diese zum einen für andere Layouts und Umschlagskapazitäten ausgelegt sind und zum anderen Prozessabläufe anders gestaltet sind.

Allerdings ist eine Automatisierung für Hinterlandterminals notwendig, damit multimodale Verkehre wettbewerbsfähiger gegenüber der Straße werden. Aus diesem Grund wurden im Projekt Lösungen zur Automatisierung von trimodalen Terminals erarbeitet, die einen wirtschaftlichen Betrieb erlauben.

Eine Lösung für eine automatisierte Kransteuerung wurde prototypisch in der Praxis an einem Bestandskran realisiert und getestet.

AutoModal verfolgte eine lineare Arbeitsfolge (s. Abbildung 1), bei der im ersten Schritt „Einordnen“ der aktuelle Stand der Technik der Automatisierung und Digitalisierung in Umschlagterminals und den zur Automatisierung benötigten Sensoren und Technologien ermittelt wurde. Im zweiten Schritt „Erfassen“ wurden passende Sensoren zur Erfassung ermittelt und parametrisiert. Im dritten Schritt „Erkennen“ wurden die im vorherigen Schritt erfassten Daten mittels Mustererkennungsverfahren interpretiert. Dies diente in erster Linie die Personenerkennung zu gewährleisten. Auf dieser Grundlage konnten im vierten Schritt „Reagieren“ Verfahren erarbeitet werden, wie im operativen Betrieb automatisierte Verfahren durchgeführt werden. Im abschließenden fünften Schritt „Gestalten“ wurden die neu geschaffenen Möglichkeiten der Automatisierung des Umschlages in neu gestaltete bzw. angepasste Prozessabläufe im Terminalbetrieb integriert.

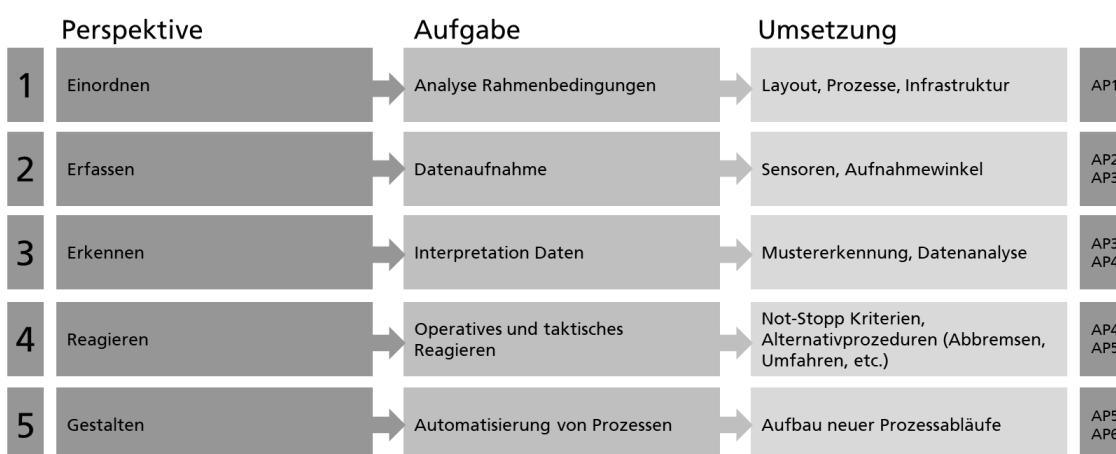


Abbildung 1: Umsetzungsreihenfolge Automatisierung im Projekt

Gefördert durch:



Durch die Bereitstellung der entwickelten Softwarekomponenten als Open Source werden auch andere Terminals an der Lösung partizipieren und somit ist für diesen Bereich kein neuer Entwicklungsaufwand, sondern nur Adoptionsaufwand notwendig.

1.2 Projektvoraussetzungen (Stand 2018)

Eine Automatisierung von bestimmten Prozessen ist in Terminals bereits heutzutage möglich, bspw. das Gate-In. Allerdings gibt es noch keine Umsetzung einer Automatisierungslösung für einen Portalkran in einem Hinterlandterminal. Im Straßenverkehr wird die Automatisierung stark vorangetrieben und ist in den letzten Jahren erheblich fortgeschritten. Es wird erwartet, dass sich diese Entwicklung in den kommenden Jahren fortsetzen wird. Es gibt jedoch noch viele Herausforderungen zu bewältigen, wie die Integration von selbstfahrenden Fahrzeugen in das bestehende Verkehrssystem, die Gewährleistung der Sicherheit und Zuverlässigkeit von automatisierten Fahrzeugen und die Entwicklung von Standards und Vorschriften für selbstfahrende Fahrzeuge. Die größte Herausforderung liegt in einer zuverlässigen Personenerkennung. Hierzu werden verschiedene Sensoren, wie beispielsweise Lasersensoren (LiDAR), Radarsensoren und visuelle Kameras, eingesetzt. Automatisierte Fahrzeuge verwenden fortschrittliche KI- und maschinelle Lernalgorithmen, um Muster in den erfassten Daten zu erkennen und Entscheidungen zu treffen. Diese Technologie ermöglicht es dem Fahrzeug, Hindernisse zu erkennen, Verkehrssituationen vorherzusagen und die Fahrt dynamisch anzupassen. Allerdings gelingt es bisher keiner Sensorgattung eine zuverlässige Personenerkennung durchzuführen. In der Außerbetrieblichen Logistik ist man bestrebt die technologische Weiterentwicklung auf Anwendungsfälle wie im Umschlagterminal zu übertragen.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Innerhalb des Projekts wurden 7 Arbeitspakete bearbeitet (vgl. Abbildung 2). Ausgangspunkt für das Projekt war die Bestandsaufnahme der Automatisierung im trimodalen Terminal, die in Arbeitspaket 1 beschrieben wurde. Die aktuelle Situation wurde dargelegt und die Rahmenbedingungen und Anforderungen für ein automatisiertes Terminal festgelegt. Hierzu wurde eine SWOT-Analyse durchgeführt um Stärken, Schwächen, Chancen und Potenziale für Automatisierungstechniken im trimodalen Terminal darzustellen und Alternativen im Hinblick auf den Faktor „Mensch im Terminal“ angeboten. Des Weiteren wurde eine systematisierte Literaturrecherche bestehender Projekte durchgeführt.

Im Arbeitspaket 2 wurden Techniken und Lösungswege für die Automatisierung identifiziert. Dafür wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen abgesteckt und Techniken im Rahmen einer Machbarkeitsstudie analysiert.

Arbeitspaket 3 und 4 beschäftigten sich mit der konkreten Entwicklung und Umsetzung von Automatisierungstechniken für den Umschlagkran. Die Automatisierung im wasserseitigen Umschlag

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

wurde beleuchtet, Sicherheitstechniken unter der Prämisse „Mensch im Terminal“ erarbeitet und darauf basierend eine automatisierte Kransteuerung entwickelt. Hier lag ein besonderer Fokus auf der Harmonisierung der Schnittstellen. In Arbeitspaket 4, der Implementierung der Lösungen, wurde der automatisierte Kran in einem Testumfeld eingesetzt und getestet.

In Arbeitspaket 5 wurden, basierend auf den vorherigen Ergebnissen, verschiedene Anwendungsszenarien beschrieben und untersucht und eine Roadmap abgeleitet, die Anwendern dabei helfen soll, Automatisierungstechniken leichter im intermodalen Container-Hinterlandterminal zu implementieren. Über den gesamten Projektzeitraum hinweg werden die Ergebnisse evaluiert und dokumentiert (Arbeitspaket 6) und das Projekt durch Contargo koordiniert (Arbeitspaket 7).

Das Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer automatisierten Kransteuerung für trimodale Terminals in Binnenhäfen. Des Weiteren wurden auch andere Automatisierungslösungen untersucht, jedoch nicht in der Praxis getestet. Durch die Veröffentlichung der entwickelten Komponenten als Open Source ist ein unternehmensübergreifender Nutzen für die Hafenwirtschaft gegeben.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

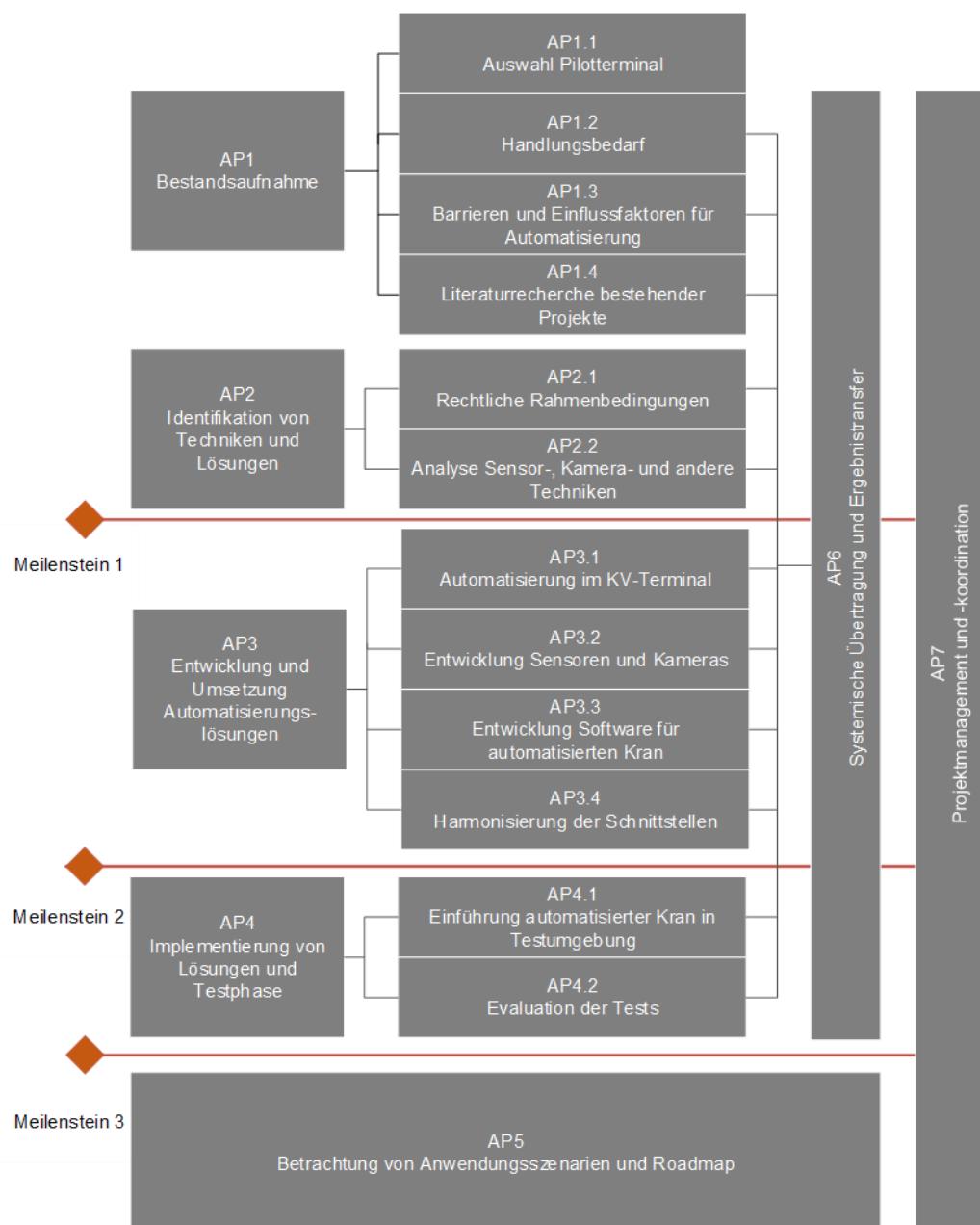


Abbildung 2: Arbeitsplan

Das Projekt AutoModal ist über drei Jahre und acht Monate (03/2019-10/2022) durchgeführt worden. Bedingt durch die Corona-Pandemie und Ausfall eines Dienstleisters, wurde das Projekt um 8 Monate verlängert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

Abbildung 3: Gantt-Chart

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn

Die Vorteile einer Automatisierung, die bereits in vielen Bereichen der Industrie Einzug gehalten hat, wurden in den letzten Jahrzehnten auch von der Hafenindustrie entdeckt. Dabei sind die Seehäfen den Binnenhäfen in der Entwicklung schon weit voraus. Bereits 1993 wurde mit dem „Delta Dedicated North Terminal“ in Rotterdam das erste automatisierte Containerterminal (ACT) in Betrieb genommen. ACTs charakterisieren sich durch den Einsatz von automatisierten Umschlagsgeräten für Transport und Lagerung der Container. (Yang und Li) differenzieren ACTs bereits in mehrere Generationen. Das „Xiamen Ocean Gate Container Terminal“ bezeichnen sie heute als die vierte Generation automatisierter Containerterminals.

Automatisiert fahrende Umschlagfahrzeuge finden sich bereits auf zahlreichen Containerterminals. Allerdings wurden diese immer nur auf neu errichteten Hafenterminals, sogenannten Greenfields, eingeführt. Das Pilotprojekt „STRADegy“ befasst sich mit der Einführung automatisiert fahrender Umschlagfahrzeuge auf bereits bestehenden Terminals, sogenannten Brownfields. Dabei liegt der Fokus auf der Betrachtung technischer und wirtschaftlicher Risiken bei der Automatisierung bestehender Umschlagterminals. Dafür erprobt die Eurogate GmbH vier automatisierte 4-hoch-Straddle-Carrier auf einer nicht betrieblich genutzten Fläche im Wilhelmshavener JadeWeserPort.

Ein vollautomatisiertes Terminal, bei dem sich die menschliche Arbeit auf die Fernüberwachung und -steuerung beschränkt, verfügt über automatisiertes Terminalequipment, wie Kaikrane, Stapelkrane und fahrerlose Transportsysteme, über eine umfassende Digitalisierung, eine Integration von Informationen und Datenfluss und über hochentwickelte Fernsteuerungs- und Steuerungssysteme.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

Überwachungseinrichtungen. Zu den technologisch fortschrittlichsten Terminals weltweit gehören das Container Terminal Altenwerder (CTA) in Hamburg, das Euromax Container Terminal (ECT) in Rotterdam, das Hong Kong International Terminal 6-7 und die Norfolk International Terminals in Virginia, USA.

Am Markt für Kranautomatisierung sind verschiedene Komponenten verfügbar, u.a. das Final Landing System, die Anti-Kollisionssysteme, die Sway Control (Pendeldämpfung), Container Number recognition und Fernsteuerstände. Sie werden bereits in der Praxis als Assystemzsysteme eingesetzt in Seehäfen oder vereinzelt in Binnenhäfen. In abgezäunten Geländen ermöglichen sie die Prozessautomatisierung.

Personenerkennung wird nicht in Hinterlandterminals eingesetzt. Die Technik der Personenerkennung mittels Maschine Learning Verfahren ist vor allem durch die Forschung und Entwicklung im Bereich des Automatisierten Fahrens im Straßenverkehr getrieben. Dort sind zahlreiche Algorithmen und Verfahren in der Erprobung, jedoch noch kein Verfahren so ausgereift, dass es eine sicherheitszertifizierte Personenerkennung ermöglicht.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Bei der Realisierung der Kranautomatisierung wurde mit mehreren Dienstleistern zusammengearbeitet:

- proCTec GmbH
- PBI PLANUNG-BAU- INBETRIEBNAHME von elektrischen Industrieanlagen GmbH (bis Insolvenz)
- SIP Elektroanlagen GmbH
- Polo Know How Industrie-Engineering GmbH
- LASE Industrielle Lasertechnik GmbH
- Dekra GmbH - Kranbeauftragter

Das Projekt wurde während der Laufzeit auf Messen und Veranstaltungen vorgestellt. Hierbei kam ein Austausch zu anderen Projekten und Unternehmen zustande. Insbesondere auf der IHATEC Konferenz haben sich die Projektpartner mit anderen Projekten ausgetauscht und mit anderen Anwendern diskutiert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

2 Verwendung der Zuwendung

2.1 Projektergebnisse

Wie in Kapitel 1 dargestellt, wurden im Projekt 7 Arbeitspakete bearbeitet. Ein Großteil der Arbeiten wurde in Zusammenarbeit der Partner (Contargo, synyx und Fraunhofer) durchgeführt. Durch das kleine aber dadurch flexibles Team wurden viele Entscheidungen gemeinsam getroffen und die Aufgaben gleichmäßig aufgeteilt.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Projektziele, ihren Erfüllungsgrad im Projekt sowie Aufgaben, die Fraunhofer bei diesen hatte.

Projektziel	Erfüllungsgrad	Rolle Fraunhofer
Prozessdefinition für die Anwendungsfälle und Prozessanalyse	Erfüllt	Aufnahme Prozessabläufe je Use Case Erstellung von Ist- und Soll-Prozessketten
Erhebung der Anforderungen für Kranautomatisierung	Erfüllt	Erarbeitung eines Anforderungskatalogs für den Einsatz Anforderungsbestimmung je Use Case Darstellung der Herausforderungen
Auswahl passender Sensorik für Personenerkennung	Erfüllt	Test verschiedener Sensoren im Labor Vorauswahl Technologie Evaluation Sensorik im Labor
Teilumsetzung der Automatisierung am Beispiel eines Portalkrans in einem der Terminals von Contargo umzusetzen	Erfüllt	Gestaltung der Systemarchitektur Erarbeitung Maschine Learning Modell für Anwendungsfall Modellauswahl Modell Training Modell Evaluation & Vergleich Ausführung des Modells
Open Source Entwicklung	Erfüllt	Einbringung Maschine Learning Computer Vision Zoo Softwareentwicklung für Personenerkennung, Krananbindung und Auftragsverwaltung
Ableitung einer Roadmap für Terminals	Erfüllt	Bewertung der Leistungsfähigkeit Ableitung einer Umsetzungsroadmap

Abbildung 4: Projektziele und Rolle Fraunhofer

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

Nachfolgend wird eine Übersicht der geleisteten Arbeiten dargestellt. Die Projekterkenntnisse sind dem gemeinsamen Gesamtbericht (AUTOMODAL - AUTOMATISIERUNG VON TRIMODALEN TERMINALS, Gesamtbericht, 2023) zu entnehmen.

2.1.1 Arbeitspaket 1: Bestandsaufnahme

Ausgangspunkt für das Projekt „AutoModal“ ist die Bestandsaufnahme der Automatisierung in trimodalen Terminals aus dem Jahr 2019. Durch diese sollte der Stand der Technik in der Automatisierung, bereits bestehende Automatisierungslösungen und Herausforderungen einer Implementierung dieser in KV-Terminals dargestellt werden.

Im Ersten Schritt fand die Auswahl des Pilotterminals statt, welches im Zuge des Projekts als Referenzportalkran (Prototyp) und damit als Untersuchungsschwerpunkt dient und in dem Automatisierungstechnologien implementiert und erprobt werden sollen. Bei der Auswahl wurden die Ziele des Projekts (u.a. Betrachtung von Terminals und Umschlägen) und aktuelle Entwicklungen der Transportströme unter Beachtung der Schaffung von Redundanzen von Umschlagskapazitäten berücksichtigt. Als Referenzportalkran wird auf einem nicht im Rahmen der KV-Richtlinie geförderten Portalkran aufgebaut. Das Ergebnis des AP 1.1 war die Festlegung eines Pilotterminals im Terminal Wörth. Fraunhofer IML leistete hierbei die methodische Vorgehensweise nach dem Entscheidungsbaumverfahren sowie Systematisierung der zu Grunde liegenden Entscheidungsmerkmale.

Des Weiteren wurde im zweiten Teilarbeitspaket die wirtschaftliche Bedeutung des Kombinierten Verkehrs sowie eine umfangreiche Prozessanalyse durchgeführt. Diese Auswertungen verdeutlichen die Relevanz des KV für die Transportwirtschaft und geben darüber hinaus eine klare Struktur für die weiteren Arbeitspakete. Nachfolgend werden exemplarisch die Prozessschritte des Umschlagkran beschrieben. Das Verbindungselement der Prozessketten der Verkehrsträger ist der Umschlag. Dieser kann sowohl mithilfe eines Krans als auch durch ein anderes mobiles Umschaggerät, wie z.B. in einem KV-Terminal üblich durch einen Reach Stacker, realisiert werden. Die Aufgabe des Umschaggeräts besteht folglich entweder darin, ein ankommendes Verkehrsmittel zu entladen oder Ladeeinheiten aus dem Terminal auf das Verkehrsmittel umzuschlagen.

Die Wartezeiten zwischen zwei Aufträgen kann das Umschaggerät dazu nutzen, sich für den nächsten Auftrag innerhalb seines Arbeitsbereichs strategisch günstig zu positionieren. In den Prozessketten wurde dieser Umschlag bisher lediglich als ein Element dargestellt. Im Folgenden soll dieses Element näher betrachtet werden. Sobald das Umschaggerät einen Auftrag erhält, erfolgt eine Leerfahrt, mit dem Ziel sich über der umzuschlagenden Ladeeinheit zu positionieren.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

Nachdem dieser Punkt erreicht ist, wird auch der Spreader in die richtige Position gebracht und anschließend gesenkt. Daraufhin wird die Last aufgenommen und mit dem Spreader angehoben. Die folgende Lastfahrt bringt die Ladeeinheit zu ihrem vorab definierten Ziel. Dort wird der Spreader wieder gesenkt, sodass die Last abgegeben werden kann. Die Prozesskette endet mit dem erneuten Heben des Spreaders, woraufhin mit der Leerfahrt ein neuer Umschlagprozess beginnt. Solange ein Kranführer oder Fahrer des Umschlaggerätes zur Verfügung steht sowie stetig umzuschlagende Ladeeinheiten vorhanden sind, kann dieser Prozess beliebig oft wiederholt werden. Zur Verdeutlichung ist die Prozesskette außerdem in Abbildung 5 dargestellt.

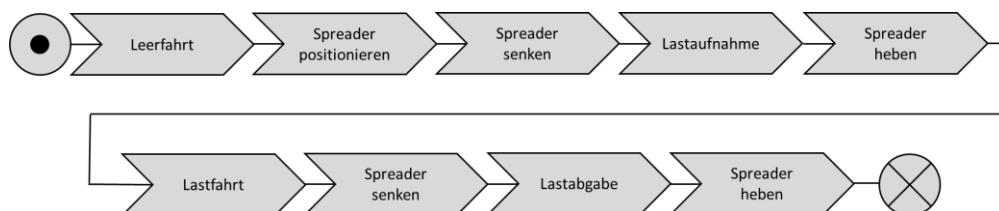


Abbildung 5: Prozesskette des Umschlags per Kran oder Flurfördermittel

In AP 1.3 wurden Rahmenbedingungen und Restriktionen der Prozesse in Terminals identifiziert. Daraus wurden die Barrieren und Einflussfaktoren für die Einführung von Automatisierungslösungen mit Hilfe einer SWOT-Analyse bewertet sowie in AP 1.4 bestehende Projekte recherchiert und dargestellt

2.1.2 Arbeitspaket 2: Identifikation von Techniken und Lösungen

Hierzu wurden zunächst geeigneter Sensortechnologien recherchiert. Das Ziel war es, ein zuverlässiges Set an Sensoren auszuwählen, die Menschen in der Nähe des Kranes zuverlässig erfassen können. Im ersten Schritt wurde im Projektkonsortium ein Anforderungserhebung durchgeführt, die technische Parameter der angestrebten Sensorik beschreibt. Nach umfangreicher Desk-Research wurden Fachgespräche mit Herstellern und Anwendern durchgeführt und verschiedene Sensortypen und Modell im Labor getestet.

Das Vorgehen der Sensoranalyse lässt sich in 4 Phasen unterteilen. Diese sind in Abbildung 6 dargestellt und werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafttechnologien

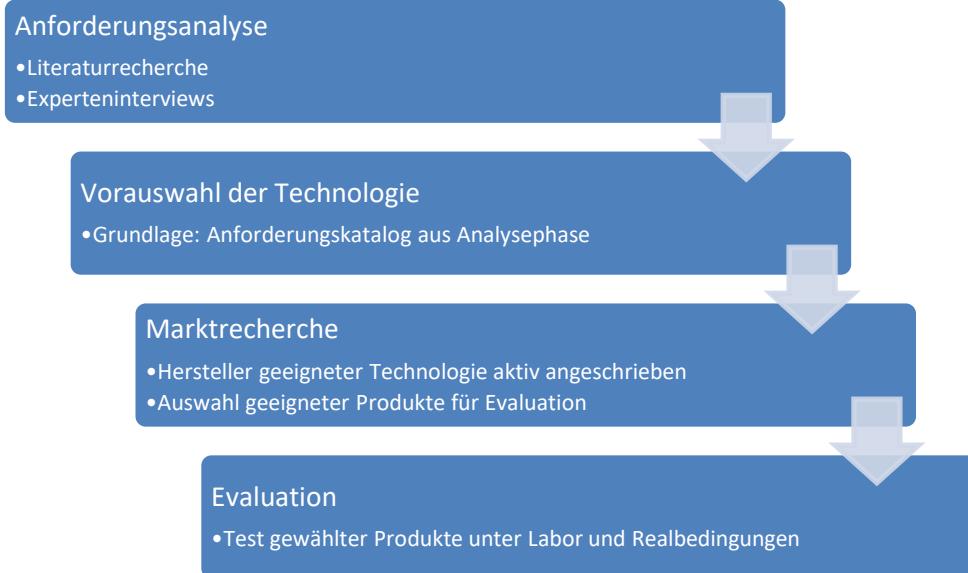


Abbildung 6: Vorgehensweise Sensorik

Die wichtigsten Quellen für Anforderungen in AutoModal sind die Stakeholder-Gruppen „Anwender“ und „Kran-Automatisierer“, sowie Dokumente und Normen aus dem Bereich Maschinen / Personen-Sicherheit.

Anhand der zuvor gefundenen Anforderungen wurden vier grundlegende Technologien identifiziert, die aufgrund ihrer grundlegenden Eigenschaften für den Einsatz in AutoModal geeignet sind:

- Klassische Video- / Überwachungskameras
- Wärmebildkameras
- Ultraschallsensoren
- LIDAR, Radar, Laser und ähnliche Technologien
-

Im Rahmen der Marktrecherche wurden über 20 Hersteller von Sensorsystemen recherchiert und angefragt, ob diese Sensorik anbieten, die die Anforderungen erfüllt. Positive Rückmeldungen gab es zu den klassischen Video- / Überwachungskameras, den Wärmebildkameras und den LIDAR ähnlichen Technologien. Geeignete Produkte auf Basis von Ultraschallsensoren konnten nicht recherchiert werden.

Für die Evaluationsphase wurden folgende Produkte gewählt und beschafft:

- LIDAR Laser Sensor
 - Velodyne Lidar VLP-16 Puck
 - SICK outdoorScan3
- Wärmebild-Kameras

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

- Infratec HD HEAD
- Mobotix Mx-M16TB-R079
- Visuelle (+IR) Kamera
 - Axis-P1435-le
 - Axis-P3228-lve

Für die Evaluation der Sensorik wurde ein Testplan erstellt. Dieser konnte Coronabedingt nicht durchgeführt werden. Stattdessen wurde kurzfristig ein vorgezogener „ad hoc Test“ mit der verfügbaren Hardware¹ durchgeführt.

Dieser bestand im Wesentlichen aus:

- Auswertung von Aufnahmen die während der Inbetriebnahme der Sensorik entstanden
- Aufnahmen von einem am Fraunhofer IML verfügbaren indoor-Hallenkran
- Erschütterungs- / Vibrationstest mithilfe einer mobilen Plattform
- Außenaufnahmen bei Sonneneinstrahlung

Im Labor wurden folgende Modelle getestet:

- Visuelle Kameras
 - Axis-P1435-le
 - Axis-P3228-lve
- Wärmebild-Kamera
 - Mx-M16TB-R079
 - Infratec HD HEAD

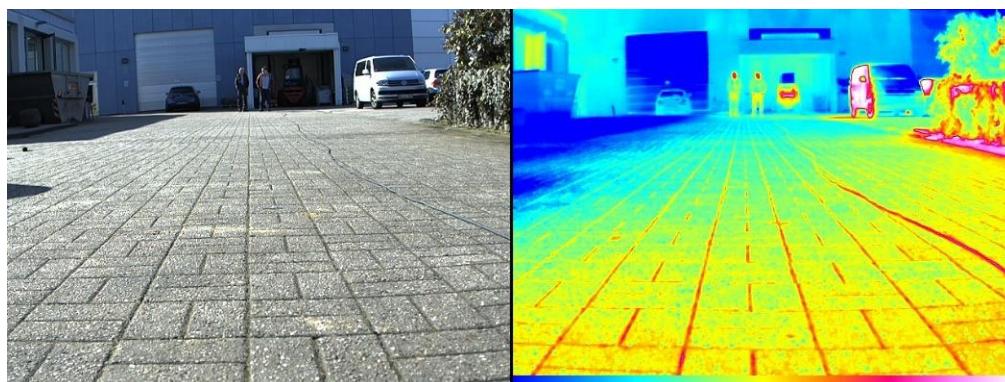


Abbildung 7: Außenaufnahme bei Sonneneinstrahlung mit Mobotix

¹ Die Infratec HD HEAD war zum Testzeitpunkt wegen technischer Probleme nicht einsatzbereit. Die SICK outdoorScan3 und der Velodyne Lidar VLP waren zum Testzeitpunkt noch nicht verfügbar.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

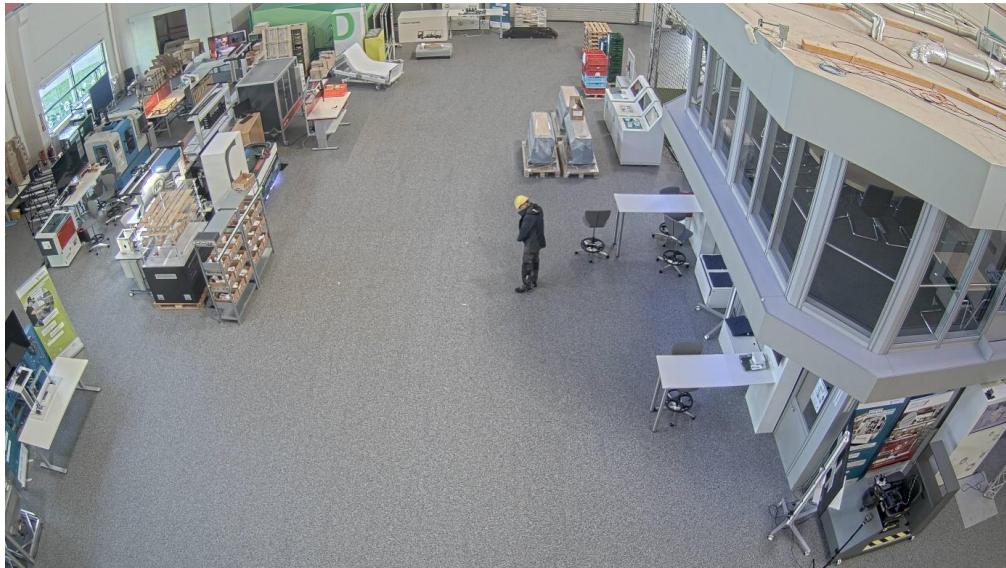


Abbildung 8: Aufnahme von Indoor-Hallenkran mit Axis Kamera P3228-LVE

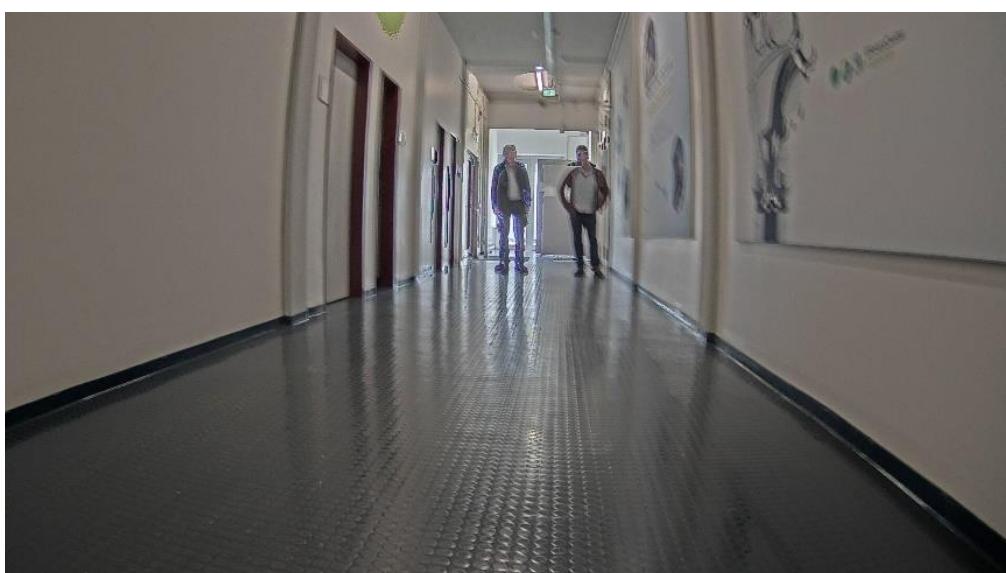


Abbildung 9: Vibrationstest auf "Noppenboden" mit Axis Kamera P1435-LE

Insgesamt zeigten die Axis Kameras und die Mobotix Wärmebildkamera gute Leistungen. Die Axis P1435-LE zeigte jedoch Schwächen im Vibrationstest (sichtbar in Abbildung 9), sodass im weiteren Projektverlauf die P3228-LVE verwendet wird.

Bei letzterer visueller Kamera wurden keine Nachteile durch Vibrationen festgestellt. Hinsichtlich der verwendeten Auflösung ist eine FullHD Auflösung ausreichend für eine Auswertung des Gesamtbildes. Sofern 4K Auflösung verwendet wird, können auch Teilbereiche einer Aufnahme ausgewertet werden.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



Die Wärmebild-Kamera zeigt keine Auffälligkeiten bei Erschütterungen. Die Auflösung ist ausreichend. Allerdings ist der Betrachtungswinkel stark eingeschränkt. Das Wärmebild ist des Weiteren störanfällig bei Sonnenschein.

Die Erprobung der LIDAR Sensorik wurde bei Probeläufen im Terminal am Referenzportalkran durchgeführt. Die Anforderungen an die Sensorik wurden erfüllt. Die eingesetzten LiDAR Sensoren hatten keine Einschränkungen durch Vibrationen während des Betriebs.

2.1.3 Arbeitspaket 3: Entwicklung und Umsetzung Automatisierungslösungen

Im Rahmen des Projekts AutoModal liegt der Schwerpunkt der technischen Entwicklung auf der Automatisierung des Portalkrans. Hierbei wird eine schrittweise Implementierung der Funktionen durchgeführt. AutoModal verfolgte eine lineare Arbeitsfolge (s. Abbildung 10), bei der im ersten Schritt „Einordnen“ der aktuelle Stand der Technik der Automatisierung und Digitalisierung in Umschlagterminals und den zur Automatisierung benötigten Sensoren und Technologien ermittelt wurde. Im zweiten Schritt „Erfassen“ wurden passende Sensoren zur Erfassung ermittelt und parametrisiert. Im dritten Schritt „Erkennen“ wurden die im vorherigen Schritt erfassten Daten mittels Mustererkennungsverfahren interpretiert. Dies diente in erster Linie die Personenerkennung zu gewährleisten. Auf dieser Grundlage konnten im vierten Schritt „Reagieren“ Verfahren erarbeitet werden, wie im operativen Betrieb automatisierte Verfahren durchgeführt werden. Im abschließenden fünften Schritt „Gestalten“ wurden die neu geschaffenen Möglichkeiten der Automatisierung des Umschlages in neu gestaltete bzw. angepasste Prozessabläufe im Terminalbetrieb integriert.

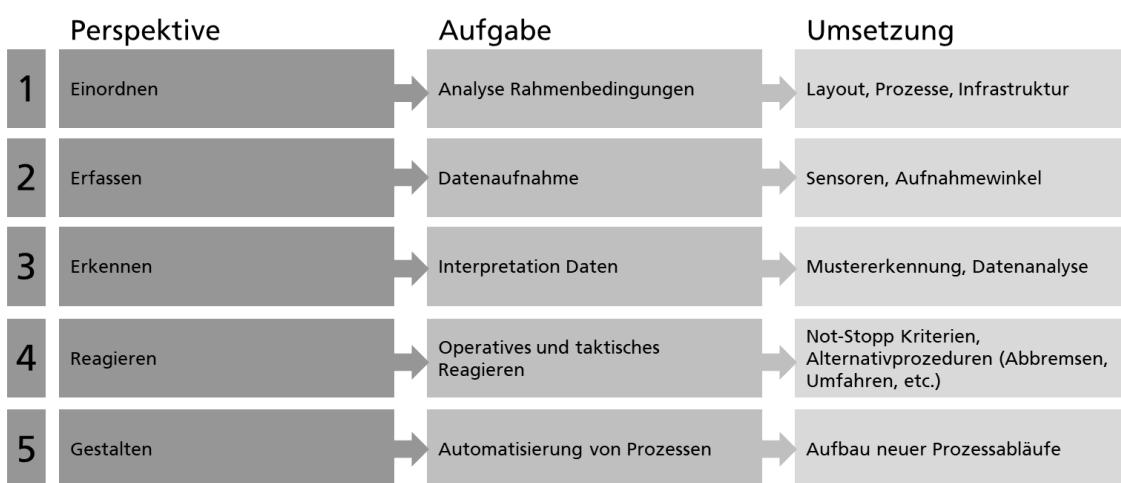


Abbildung 10: Umsetzungsreihenfolge Automatisierung im Projekt

Fraunhofer IML war in diesem Arbeitspaket bei der Erarbeitung eines ganzheitlichen Automatisierungskonzepts für das Terminal sowie die Entwicklung der Machine Learning Algorithmen eingebunden. Des Weiteren lag ein Schwerpunkt auf der Systemgestaltung und Aufbau des

Gefördert durch:



neuronalen Netzes für die Personenerkennung samt Verbesserung der Maschine Learning Algorithmen zur Erkennung.

2.1.4 Arbeitspaket 4: Implementierung von Lösungen und Testphase

Insgesamt wurden im Projekt drei Ausbaustufen umgesetzt. Diese befinden sich an den Gefahrenbereichen „Fahrbereich der Fahrwerke“ sowie „Unter Last“. Die Anbringung der Sensorik entlang der Ausbaustufen erfolgte sequenziell und jeweils in Etappen. In der nachfolgenden Grafik sind die Ausbaustufen am Referenzportalkran grafisch dargestellt.

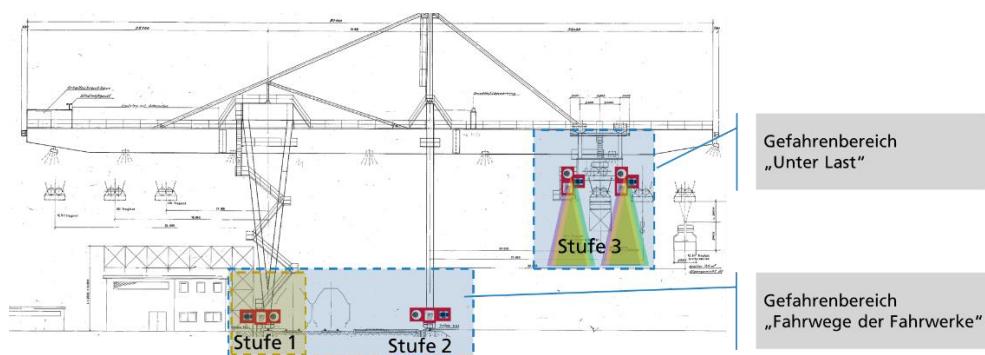


Abbildung 11: Ausbaustufen am Referenzportalkran

In den jeweiligen Ausbaustufen wurde die jeweilige Sensorkonfiguration ausgetestet, Anbringung und Ausrichtung optimiert. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden bei der Gestaltung der nächsten Ausbaustufe zu Grunde gelegt.

Flankiert wurde die Implementierung mit einem Sicherheitskonzept.

2.1.5 Arbeitspaket 5: Betrachtung von Anwendungsszenarien und Roadmap

Durch die Durchführung von Testfahrten in verschiedenen Phasen konnten sowohl lessons Learned der eingesetzten Sensorik abgeleitet also auch die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems im Automatikbetrieb evaluiert werden

Roadmap

Auf dem Weg zum automatisierten Kranumschlag wurden in AutoModal zwei wichtige Punkte geklärt. Zum einen konnte gezeigt werden, dass auch ein älterer Kran für eine nachträgliche Automatisierung geeignet ist und damit die Automatisierung sich nicht nur auf Neuanschaffungen beschränkt. Zum anderen wurde die Personendetektion in der Gefahrenzone entwickelt, die die Basis für die sicherheitstechnische Zulassung eines automatisierten Kranumschlags in einem nicht abgesperrten Bereich darstellt.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

Auf Basis der Ergebnisse der Tests im Sommer 2022 wurde folgende Roadmap für die Einführung der Kranautomatisierung entwickelt.

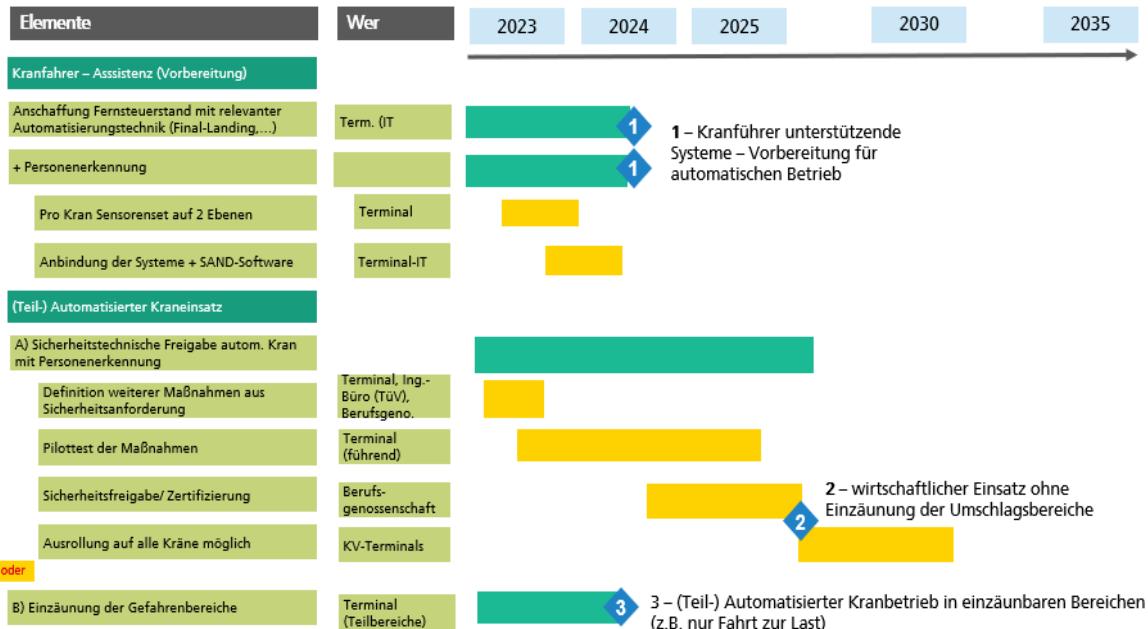


Abbildung 12: Roadmap zur Umsetzung automatisierter Kranschlag

2.1.6 Arbeitspaket 6: Systemische Übertragung und Ergebnistransfer

Für die Umsetzung des in AP 3.2 beschriebene Automatisierungskonzept, ist eine Software für den Austausch von Daten und Informationen von zentraler Rolle. Diese wurde im Rahmen des Projekts als Open Source Software ausgelegt. Eine Übertragbarkeit auf zukünftige Automatisierungsprojekte ist daher sowohl bei weiteren KV-Terminals von Contargo als auch bei Fremdterminals möglich.

Voraussetzung dafür ist bspw. die Vorbereitung der bestehenden Komponenten für die Software, sowie die Bereitstellung der dabei benötigten Schnittstellen.

Die im Projekt AutoModal entwickelten Softwaremodule wurden im Open Source veröffentlicht. Dies umfasst insgesamt vier Komponenten, siehe Kapitel 2.4.

2.1.7 Arbeitspaket 7: Projektmanagement und -koordination

In Arbeitspaket 7 haben die Mitarbeiter des Fraunhofer IML einen ständigen Austausch mit den Konsortialpartnern etabliert und verfolgt sowie die wissenschaftliche Koordination durchgeführt. Durch diesen engen Austausch konnten die zahlreichen Themen und Probleme sehr gut im Team

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

zusammen bearbeitet und gelöst werden. Auch fand in diesem Arbeitspaket eine regelmäßige Kommunikation mit dem Projektträger statt.

2.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die beantragten Projektmittel wurden grundlegend gemäß des beantragten Finanzierungsplans ausgegeben. Im Rahmen des Projekts wurden durch Fraunhofer keine Mittel an Dritte gegeben. Auf Grund der Corona-Pandemie konnten nicht alle Reisekosten ausgegeben werden, da viele Meetings online stattfinden mussten.

2.3 Notwendigkeit der geleisteten Arbeit

Die Notwendigkeit für die geleistete Arbeit ergibt sich aus der Forschungslücke bezüglich des Einsatzes von Automatisierungstechnologien für Krananlagen im Hafenumfeld, da in diesem Bereich bis zum AutoModal Projekt noch nicht geforscht wurde. Daher war eine Erarbeitung der Anforderungen an Automatisierungslösungen im Hafen und der Test dieser erforderlich. Das Projekt hat gezeigt, unter welchen Voraussetzungen ein Einsatz sinnvoll ist und welche Anforderungen zu beachten sind. Die daraus resultierenden weiteren Schritte zur Terminalautomatisierung sind in einer Roadmap zusammengefasst, der es anderen Akteuren ermöglicht die nächsten Schritte zu planen. Ohne diese Fördermaßnahme hätten die Projektergebnisse in dieser Form nicht entstehen können. Daher war die geleistete Arbeit für das Vorhaben notwendig und angemessen.

2.4 Nutzen der Arbeiten und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das Projekt hat eine Grundlage für die Anwendbarkeit und den Einsatz von Kranautomatisierungs- und Personenerkennungstechnologien im Hafenumfeld geschaffen. Durch AutoModal wurde gezeigt, dass eine Umsetzung der Automatisierung unter bestimmten Bedingungen im Hafen sinnvoll ist. Die Projektergebnisse und insbesondere die im Projekt veröffentlichte Open Source Lösung, können von Unternehmen genutzt werden, um die Technologie zur Marktreife zu entwickeln. Der im Projekt erarbeitete Anforderungskatalog und die Hardwarebewertung geben einen Überblick über ein mögliches Umsetzungssetup. Die Tests am Referenzportalkran haben die Anwendbarkeit, aber auch Einschränkungen für den Einsatz aufgezeigt.

Die im Projekt AutoModal entwickelten Softwaremodule wurden Open Source veröffentlicht. Dies umfasst insgesamt vier Komponenten:

1. Komponente: Sensor and Neural Data Platform (SAND)

<https://gitlab.com/sand7/sand>

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

Mit den zur Verfügung gestellten Tools können Kamera-Streams (oder Video-Streams im Allgemeinen) vereinfacht werden, indem ein erweiterbares Framework zum Lesen, Manipulieren und Wiederveröffentlichen von Bildern bereitgestellt wird.

Es wurde entwickelt, um ein Objekterkennungssystem zu verwalten, das auf einem trimodalen Kran eingerichtet wurde. Der Fokus lag dabei auf der Erkennung von Menschen (und Lebewesen im Allgemeinen), um die Prozesse an Container-Häfen zu ermöglichen.

Im Projekt AutoModal wurde die Software für die Umfelderfassung entwickelt, um das Umfeld um den Kran zu überwachen und Personen sowie Fahrzeuge zu erkennen. Dies bildet die Grundlage für den Automatikbetrieb des Krans für den Umschlag von Containern im trimodalen Terminal.

Die Veröffentlichung im GitLab läuft unter dem Akronym SAND - Sensor and Neural Data Platform.

2. Komponente: Thing Action Management System (TAMS)

<https://github.com/Contargo/automodal-tams>

Das TAMS ist eine herstellerunabhängige Steuerung von Krananlagen. Es ermöglicht das Erzeugen und Überwachen von Aufträgen für Krane. Hierzu können Abhol-Aufträge (Pick) sowie Absetz-Aufträge (Drop) zu bestimmten Positionen in einem virtuellen Abbild eines Stack generiert werden.

Das kann ebenso in verschiedenen Modi betrieben werden, um eine Position zu konfigurieren oder zu initialisieren. Die Darstellung wird visualisiert und simuliert ein virtuelles Kranumfeld.

3. Komponente: CCS (Crane Control System) Beispielimplementierung

<https://github.com/Contargo/automodal-ccs-adapter>

Das CCS ist ein Adapter, um das TAMS an die Kransteuerung (SPS) anzuschließen. Diese Implementierung ist im GIT aktuell für unseren Referenzportalkran konfiguriert.

Es besteht aber die Möglichkeit diese auf jede andere weitere Kransteuerungen zu adaptieren.

4. Komponente: Thing Action Management Interface (TAMI)

<https://github.com/Contargo/automodal-tami>

Das TAMI ist eine Definition der Schnittstelle, die verwendet wird, um Fahraufträge an die Krananlage zu übermitteln.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

Hierfür wurde eine generalisierte Schnittstellenbeschreibung erstellt. In dieser können auch die oben genannten Job Beschreibungen gefunden werden.

Die Ergebnisse des Projekts werden an den Fraunhofer Instituten für weitere Forschungs- und Industrieprojekte verwendet. Die Open Source Komponenten werden in ähnlich gelagerten Anwendungsfällen (Personenerkennung im Logistikhof) verwendet.

Synyx

- Anwendung von Maschine Learning Verfahren für Kundenprojekte
- Einsatz von neuronalen Netzen
- Technische Anbindung neuer Krananlagen
- Entwicklung der COLA Komponenten (TAMS / CCS-Adapter)
- Veröffentlichung und Pflege der Open Source Komponenten

Contargo

- Personenerkennung kann in Fahrzeug- und Kennzeichenerkennung in anderen Terminals fortgeführt werden
- Contargo sieht in weiteren Terminals Automatisierungspotential (bspw. Neuss, Mannheim) und ist bestrebt diese nach den Maßgaben von AutoModal auszustatten

2.4.1 Kosten-Nutzen-Analyse

Fraunhofer IML hat im Projekt umfangreiche wissenschaftliche Leistungen erbracht. Dazu zählen Literaturanalysen, Prozessanalysen, Befragungen sowie die Entwicklung von Software für die Use Cases. Die Präsentation des Projektfortschritts in regelmäßigen Projekttreffen (Statustelko 2 mal im Monat, Konsortialtreffen 1 mal im Jahr) hat einen kontinuierlichen Überblick über die Projektergebnisse für alle Partner gegeben. Die Arbeiten des Fraunhofers haben zur Definition der Anforderungen an Automatisierungslösungen im Hafenumfeld sowie die Open Source Softwareentwicklung zur Personenerkennung, die auf andere Umschlagterminals aber auch auf andere Werksgelände wie

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

Chemieparks oder Logistik-Hubs sowie weitere Logistik-fremden Anwendungen (z.B. Baustellen-Geländeüberwachung).

Dadurch steht den Projektkosten auch nach Beendigung des Forschungsprojekts hinaus ein hoher Nutzen gegenüber.

2.4.2 Nutzen für die deutsche Hafenwirtschaft

Durch die prototypische Erprobung der Kranautomatisierung im Umschlagterminal wurde gezeigt, dass die Technologie eine Leistungsfähigkeit besitzt, um selbstständig Ladeeinheiten umzuschlagen. Die Hafenwirtschaft kann die im Projekt entwickelten Open Source Softwarekomponenten unternehmensübergreifend anwenden und zur Produktreife weiterentwickeln. Bei Erreichen dieser werden die Umschlagvorgänge im Terminal harmonisiert und zuverlässiger, es können Lastspitzen ausgeglichen werden sowie die Mitarbeitenden in ihren Tätigkeiten entlastet werden. Durch die Umrüstung und Ertüchtigung eines Bestandskranes aus dem Baujahr 1985 wurde unter Beweis gestellt, dass ein Retrofit auch bei Alt-Anlagen möglich ist.

Die Automatisierung der Kransteuerung dient als Nukleus für die ganzheitliche Automatisierung im Umschlagterminal, die durch weitere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu Digitalisierungs- und Automatisierungstechnologien unterstützt werden. Beispielhaft sind in diesem Kontext automatisierte Rail-Gates für die Wagen- und Ladeeinheitenerkennung zu nennen, als auch das BMWK geförderte Forschungsprojekt „ANITA - Autonome Innovation im Terminal Ablauf“, welches die Automatisierung von Lkw im Umschlagterminal erforscht und damit das Projekt AutoModal ideal ergänzt.

2.4.3 Nutzen für Umwelt und Allgemeinheit

Der Nutzen für das Projekt ist auch für die Allgemeinheit und Umwelt von Bedeutung. Durch die Verbesserung von Abläufen in Binnen- und Seehäfen, lassen sich mehr Verkehre von der Straße auf die Schiene und Wasserstraße verlagern und die Verkehrsträger Schiene und Wasserstraße attraktiver gegenüber der Straße. Durch den Forschungscharakter des Projekts sind die Ergebnisse einer breiten Öffentlichkeit zugänglich und lassen sich auf andere Anwendungsbereiche übertragen.

2.5 Fortschritt auf dem Gebiet

Im Laufe des Vorhabens haben sich die beteiligten Partner in diversen Gesprächen mit anderen Beteiligten der Transportkette wie Häfen, KV-Betreibern und Anwendern ausgetauscht. Hierbei haben sich weitere Einsatzfelder in diesem Bereich ergeben.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

Durch den engen Austausch mit Kranherstellern, Sensor-/ Technologiebereitstellern, Kransachverständigen und anderen Forschungsprojekten wurde der technische Fortschritt verdeutlicht. Durch die Fusion der Sensordaten von LiDAR und visuellen Kameras, gepaart mit den auf die Daten angewandten Verfahren des Maschinellen Lernens konnte eine zuverlässige Personenerkennung aus der Vogelperspektive samt Mapping der Objekte auf einer virtuellen Karte erstmalig erprobt und damit die Grundlagen für die Automatisierung des Gesamtterminals gelegt werden.

Es ist in den nächsten Jahren mit einer Weiterentwicklung von Automatisierungsfunktionen im Umschlagterminal auszugehen, u.a. da gleichzeitig die Automatisierung auf anderen privaten Logistik-Flächen wie Logistikhöfen, Chemieparks oder Flughäfen, an der Prozessautomatisierung gearbeitet wird. Flankiert wird die Entwicklung durch die Bemühungen der Automobilindustrie, das automatisierte Fahren im öffentlichen Straßenverkehr zu etablieren, was wiederum Skaleneffekte bei den notwendigen Technologien erwirkt.

Im Verlauf des Projekts hatten wir als Projektteam diverse Gespräche mit Mitarbeitern des Terminal, Sachverständigen und Firmen, die mit dem Umbau und Programmierung des Krans beauftragt waren. Hierbei hat sich ein klares Bild der aktuellen Situation an Hinterlandterminals herauskristallisiert. Um den wirtschaftlichen Wettbewerb zu erhalten und auszubauen, ist es sehr wichtig, Krananlagen zu automatisieren. Auch der Fachkräftemangel ist hier ein entscheidender Punkt. Es gibt immer weniger qualifiziertes Personal für die Steuerung eines Portalkranks.

2.6 Veröffentlichungen

Im Laufe der Projektlaufzeit wurde das Projekt an bei verschiedenen Veranstaltungen, Messen und Vorträgen vorgestellt. Die beigefügte Aufzählung zeigt die wichtigsten Veröffentlichungen im Projektverlauf.

- Juni 2019: Vorstellung AutoModal auf der transport logistics in München
- September 2019: Vorstellung AutoModal auf dem Zukunftskongress Logistik in Dortmund
- September 2019: Vorstellung AutoModal mit Projekt-Pitch auf der IHATEC Statuskonferenz
- Oktober 2019: Artikel, AutoModal – die Zukunft von Contargo. Erschienen in: ContargoOpen
- Mai 2020: Artikel: AutoModal in Hinterlandterminals. Erschienen in: Schiffahrt Hafen Bahn und Technik Nr. 4 (Jun.)/2020 vom 11.05.2020, S.72-73 (Fachzeitschrift, Sankt Augustin)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



-
- Oktober 2020: Vorstellung AutoModal beim InnovationFestival ZKM Karlsruhe: „Achtung Mensch – Kranautomatisierung auf Binnenterminals“²
 - September 2022 Vorstellung AutoModal mit Marktstand auf der Digi-Test Konferenz
 - November 2023: Vorstellung der Ergebnisse beim SGKV Terminaltag 2023
 - Geplant: Mai 2023: Vorstellung der Ergebnisse bei der transport logistics München

Die Inhalte von AutoModal fließen ebenfalls in die Vorlesung an der TU Dortmund ein:

- SS22 und SS23: TU Dortmund, Institut für Verkehrslogistik: Umschlag- und Entsorgungstechnik, 10. Containerumschlag (Doppelvorlesung + Übung), Uwe Clausen und Dr. Agnes Eiband
- WS22/23: TU Dortmund, Institut für Verkehrslogistik: Verkehrslogistik 1, 9. Kombinierter Verkehr, Uwe Clausen und Dr. Agnes Eiband

² <https://media.karlsruhe.digital/mediathek/video/impulsvoertag-david-bauer/>

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel AutoModal Schlussbericht Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Schellert, Maximilian; Eiband, Agnes	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.10.2022	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation Monografie	
	8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Fraunhofer-Straße 2-4, 44227 Dortmund	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 19H19003B	11. Seitenzahl
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Digitales und Verkehr Invalidenstraße 44 D-10115 Berlin	13. Literaturangaben	14. Tabellen
		15. Abbildungen
	16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung Das Projekt AutoModal – Automatisierung von trimodalen Terminals untersuchte die durchgängige Automatisierung des Umschlagterminals. Wesentlicher Baustein ist hierbei die Automatisierung eines Portalkrans, der dafür prototypisch umgebaut wurde, sodass eigenständige automatisierte Prozesse durchgeführt werden konnten. Im Mittelpunkt der Arbeiten stand der Umbau sowie der prototypische Betrieb der Kranautomatisierung in einem Referenzterminal. Der Portalkran wurde hierfür mit zusätzlichen Sensoren ausgestattet, um eine sichere und zuverlässige Personenerkennung im Kranumfeld zu gewährleisten und einen automatisierten Betrieb zu ermöglichen. Begleitet wurde die technische Umsetzung der Personenerkennung und Automatisierungssteuerung mit einer Umsetzungs-Roadmap für Umschlagterminals. Alle Softwarekomponenten des Projektes sind Open Source veröffentlicht worden. Bei diesem Dokument handelt es sich um den individuellen Schlussbericht des Fraunhofer IML.		
19. Schlagwörter Umschlagkran, Container, Automatisierung, Kombinierter Verkehr, Open Source		
20. Verlag	21. Preis	

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Report	
3. title AutoModal Schlussbericht Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML		
4. author(s) (family name, first name(s)) Schellert, Maximilian; Eiband, Agnes	5. end of project 30.10.2022	6. publication date
	7. form of publication Monograph	
8. performing organization(s) (name, address) Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Fraunhofer-Straße 2-4, 44227 Dortmund	9. originator's report no.	10. reference no. 19H19003B
		11. no. of pages
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Digitales und Verkehr Invalidenstraße 44 D-10115 Berlin	13. no. of references	14. no. of tables
		15. no. of figures
16. supplementary notes		
17. presented at (title, place, date)		
18. abstract The AutoModal - Automation of Trimodal Terminals project investigated the end-to-end automation of the transshipment terminal. An essential component here is the automation of a gantry crane, which was prototypically converted for this purpose so that independent automated processes could be carried out. The focus of the work was on the conversion and prototypical operation of the crane automation in a reference terminal. For this purpose, the gantry crane was equipped with additional sensors to ensure safe and reliable detection of persons in the crane environment and to enable automated operation. The technical implementation of personnel recognition and automation control was accompanied by an implementation roadmap for handling terminals. All software components of the project have been published open source. This document is the individual final report of Fraunhofer IML.		
19. keywords Handling crane, container, automation, combined transport, open source		
20. publisher	21. price	