

Spielzeitreduktion autonomer Drohnen für den Transport eiliger Güter durch den Einsatz automatisierter Lastaufnahmemittel im Kontext eines ganzheitlich automatisierten Gesamtsystems

Running time reduction of autonomous drones for transport of urgent goods through use of automated load carrying devices in the context of an automated integral system

Philipp Wrycza¹
Mathias Rotgeri¹
Michael ten Hompel²

¹Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund

² Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen
Fakultät Maschinenbau
Technische Universität Dortmund

Der Einsatz von Drohnen für den Transport von Gütern wird seit einigen Jahren kontrovers diskutiert und erprobt. Insbesondere für eilige Güter hat ihr Einsatz grundsätzlich ein enormes Potential. Heutige Prozesse mit Drohnen sind üblicherweise noch manuell. Dadurch wird der große Geschwindigkeitsvorteil des Transportweges mit Drohnen durch zeitaufwändige Prozesse vor und nach dem Transport relativiert. Der Einsatz automatisierter Lastübergabeeinrichtungen kann die Spielzeit des gesamten Transportprozesses enorm steigern.

[Schlüsselwörter: Drohnen, Flugroboter, Automatisierte Lastübergabe, Spielzeitreduktion]

For some years now, there has been a controversial discussion on transporting goods by the means of UAVs and pilot projects testing these. Especially the transportation of urgent goods has enormous potential. Current processes with flight robots are usually still manual. As a result, time-consuming processes before and after the transport soften the high-speed advantage of the transport routes with flight robots. The use of automated load transfer devices can enormously increase the playing time of the entire transport process.

[Keywords: UAV, drones, autonomous loading device, cycle time reduction]

1 EINLEITUNG

Laut einer Studie des US-Marktforschungsunternehmens Tractica wird sich der weltweite Absatz von

Drohnen bis 2021 im Vergleich zur Nachfrage von 2015 verzehnfachen [Tra16]. Auch in der Produktion und Logistik haben Drohnen Einzug erhalten. So gibt es vor allem im Bereich der Intralogistik einige Pilotprojekte von namhaften Unternehmen, wie die „Prime Air“ Drohne von Amazon oder der „Paketkopter“ von DHL [DHL16]. Durch die Nutzung der dritten Dimension ermöglichen Drohnen ganz neue Transportwege und können, gerade kleine und leichtgewichtige Güter, teilweise deutlich schneller und wirtschaftlicher als Konkurrenztechnologien wie Routenzug oder Rohrpost transportieren. In der Identifikation dieser Nischen liegt die Herausforderung für die Schnittstelle aus technologischer („Was kann eine Drohne technologisch leisten?“) und prozessualer Sichtweise („Wie lässt sich eine Drohne in bestehende Prozesse integrieren?“). Die zuvor genannten Pilotprojekte zeigen, dass sich ein Kernproblem bei der Lastaufnahme und -abgabe zeigt, da diese entweder manuell erfolgen muss oder aufwändige Infrastruktur benötigt, was wiederum aufwändige und damit teure Personalaufwände verursacht.

Die vorliegende Studie befasst sich mit der Fragestellung nach der möglichen Spielzeitreduktion von Transportprozessen durch Drohnen. Zunächst wird dazu die Drohrentechnologie und bekannte Anwendungsszenarien näher beschrieben. Anschließend werden hierzu die Prozessschritte ausgewählter, repräsentativer Transportaufträge beschrieben und analysiert. Dazu wurden Spielzeiten berechnet, aufgenommen und ausgewertet. Anschließend werden diese mit solchen Transportaufträgen verglichen, bei denen die Lastübergabeprozesse automatisiert sind. Der Vergleich erfolgt für die drei Ausprägungen Status quo,

Drohne mit manuellem Lastwechsel und Drohne mit automatischem Lastwechsel.

2 STAND DER TECHNIK – DROHNEN

Am Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik IML wird in mehreren Forschungsprojekten der nutzenbringende Einsatz von Drohnen in unterschiedlichen logistischen Anwendungsszenarien untersucht.

Bin:Go, die rollende Transportdrohne, ist das jüngste Drohnenprojekt. Dabei steht der energieeffiziente und sichere Transport von kleinen und leichtgewichtigen Gütern im Fokus. Die Drohne ist von einer runden Konstruktion umgeben, die die rollende Fortbewegung über den Boden ermöglicht und zugleich eine Schutzfunktion übernimmt. Nur zur Überwindung von Hindernissen geht die Drohne in den Flug über. Auf diese Weise kann der Energiebedarf um 70% reduziert werden. Dieses Projekt befindet sich jedoch noch in der frühen Entwicklungsphase (vgl. [Fra16b]). In der folgenden Abbildung ist der die rollende Transportdrohne Bin:Go dargestellt.

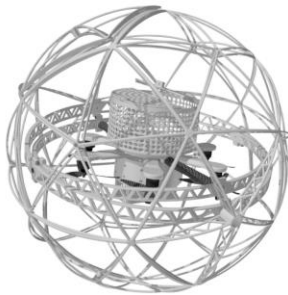


Abbildung 1. Bin:Go (eigene Darstellung)

Das Projekt InventAIRy hingegen ist bereits in der Entwicklung in Richtung Marktreife. Diese Drohnenlösung dient der automatischen Inventur im Lager. Durch ein Identifikationssystem an der Drohne können die Warenbestände im Regal während des Fluges automatisch erfasst werden. Dabei fliegt die Drohne autonom und orientiert sich selbstständig im Lager. Die Daten der Warenerfassung werden zudem automatisch an das Lagerverwaltungssystem übermittelt, sodass auf diese Weise der zeitaufwändige manuelle Inventurprozess automatisiert wird (vgl. [Fra16c]).

Das Drohnenprojekt DelivAIRy beschäftigt sich ebenfalls mit der Automatisierung manueller Prozesse. Dabei wurde ein Modul entwickelt, das ein flexibles und vollautomatisches Greifen von Gütern mit nahezu jeder beliebigen Drohne ermöglicht. Dazu wird ein Adapter an das Transportgut angebracht und ein Greifer an die Drohne montiert. Dieser Greifer verfügt über eine Bildverarbeitungstechnologie und übersetzt damit Bildinformation in Steuerbefehle an die Drohne. Über die Flugsteuerung der

Drohne wird diese in die Nähe der zu greifenden Last navigiert. Die Last muss einen standardisierten Aufnahmeadapter besitzen. Dieser wird von dem Algorithmus erkannt und als Ansteuerpunkt genutzt. Sobald die Drohne auf dem Transportgut gelandet ist, werden die Lamellen des Greifers, analog einer Fotoblende, automatisch ausgefahren, um den Adapter formschlüssig zu umschließen. Dadurch wird die Last auch ohne Energiezufuhr sicher unter der Drohne fixiert, was bspw. bei einem Spannungsabfall einen deutlichen Mehrwert gegenüber aktiven Lösungen wie Elektromagneten darstellt. Die Lastabgabe erfolgt ebenfalls automatisch durch die selbstständige Entkopplung der Last von der Drohne. Die Flugsteuerung der Drohne während des Transports erfolgt autonom über eine Kombination aus GPS, Ultraschall und einer Kamera mit integrierter Bildauswertungssoftware. Die autonome Flugsteuerung und die einfach gehaltene Mechanik des Lastaufnahmemoduls ermöglichen einen schnellen und vollautomatischen Transport. Nachfolgende Prozessdarstellung veranschaulicht den Ablauf der Lastaufnahme und -abgabe.

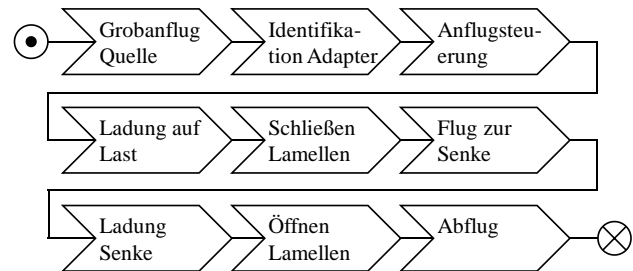


Abbildung 2. Prozess Lastaufnahme

Somit bietet DelivAIRy eine effiziente und kostengünstige Alternative für zeitintensive, manuelle Transportprozesse wie beispielsweise dem innerbetrieblichen Transport von Teilen auf einem Werksgelände mit einem Fahrrad (vgl. [Fra16a]).

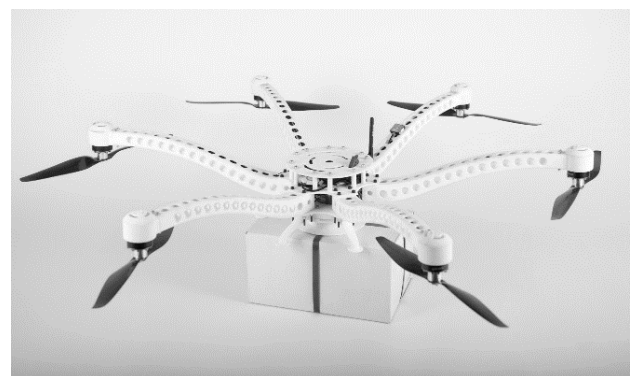


Abbildung 3. Lastaufnahme – DelivAIRy

2.1 TECHNIK UND MODELLE

Technologische Fortschritte haben die Weiterentwicklung von unbemannten Luftfahrzeugen (kurz: UAV für Unmanned Aerial Vehicle) in den letzten Jahren stetig vorangetrieben. Die Systeme werden hinsichtlich diverser

Ausprägungen wie Gewicht, Energieeffizienz und Reichweite immer weiter optimiert. Die Bandbreite eingesetzter Systeme und damit in Verbindung stehender Einsatzfelder hat in den vergangenen Jahren sehr stark zugenommen.

Im Allgemeinen können unbemannte Luftfahrzeuge in die folgenden vier Kategorien entsprechend ihrer spezifischen Charakteristiken unterteilt werden (vgl. [Non10]):

- Flächenmodelle mit starren Flügeln
- Drehflügler mit Rotoren
- Luftschiffe
- Flugzeuge mit Schlagflügeln

Flächenmodelle mit starren Flügeln benötigen für das Abheben vom Boden eine Start- und Landebahn oder ein Katapult für einen Katapultstart. Die starren Flügel nutzen aerodynamische Gesetze sehr effektiv aus, wodurch diese Flugobjekte hohe Geschwindigkeiten und große Reichweiten erreichen können. Jedoch ist es mit ihnen weder möglich senkrecht zu starten oder zu landen, noch die Position in der Luft auf einer Stelle stabil zu halten. *Drehflügler mit Rotoren* hingegen haben den Vorteil senkrecht starten und landen zu können. Darüber hinaus besitzen Drehflügler die Fähigkeiten in der Luft zu schweben und schnell zu manövrieren. Aufgrund dessen sind diese unbemannte Luftfahrzeuge insbesondere im privaten Gebrauch sehr populär. Drehflügler sind in unterschiedlichen Ausführungen, wie Helikopter oder Multikopter, verfügbar. Nachteilig ist der hohe Energieverbrauch dieser Systeme. *Luftschiffe* wie z.B. Ballons oder Zeppeline haben eine hohe Reichweite, sind jedoch in der Regel durch das benötigte Auftriebsmittel sehr groß und erreichen dadurch nur geringe Geschwindigkeiten. Zudem geht mit der Größe eine starke Anfälligkeit für Witterung einher. Ein weiterer Nachteil ist die Wartungsintensität durch Diffusionseffekte, d.h. dass ein nahezu tägliches Auffüllen des Auftriebsmittels notwendig wird. Der größte Vorteil dieser Luftfahrzeuge liegt in der Energieeffizienz, da der benötigte Auftrieb größtenteils passiv, also ohne Energiebedarf realisiert ist. *Flugzeuge mit Schlagflügeln* besitzen flexible und/oder bewegliche Flügel. Sie wurden von der Natur wie Vögeln und fliegenden Insekten inspiriert. In der Realität werden diese Luftfahrzeugtypen jedoch nur sehr selten eingesetzt.

Neben diesen Hauptgruppen gibt es hybride Konfigurationen welche einzelne Typen miteinander kombinieren, also z.B. die wie Flugzeuge fliegen jedoch senkrecht starten können. In logistischen Anwendungen werden jedoch momentan noch häufiger Multikopter wie Quad- oder Hexakopter mit vier bzw. sechs Rotoren eingesetzt. Die Rotoren dienen dem Auftrieb der Drohne. Dafür wird jeder Rotor über einen Motor mit Motorregler angetrieben, die über einen Akku mit Strom versorgt werden. Eine zentrale Flugsteuerung ermöglicht die Stabilisierung der Drohne. Zu-

sätzlich können Peripheriegeräte wie eine Kamera, Sensorik oder GPS angebunden werden. Neben der Stabilisierung der Fluglage dient die Flugsteuerung der Verarbeitung der ankommenden Steuerbefehle und deren Weiterleitung an den angeschlossenen Motorregler. Bei der Steuerung von Drohnen wird zwischen vier Steuerbefehlen unterschieden. Diese dienen dem dreidimensionalen Manövrieren der Drohne in der Luft. Der Steigflug und Sinkflug (Throttle) von Drohnen wird durch die Regulierung der Motorendrehzahl und dem dadurch generierten Schub gesteuert. Das Gieren (Yaw) ermöglicht die Drehung der Drohne um die eigene Hochachse. Um die Gier-Bewegung zu realisieren müssen die Drehzahlen der beiden konträr drehenden Rotorpaare unterschiedlich hoch sein. Das Nicken (Pitch) ermöglicht durch die Entstehung eines Vortriebs den Geradeausflug einer Drohne. Der Vortrieb wird erzeugt indem die beiden hinteren Rotorpaare eine höhere Drehzahl haben als die vorderen. Umgekehrt kann ein Rückwärtsflug der Drohne umgesetzt werden. Durch das Rollen (Roll) wird die Neigung der Drohne nach rechts oder links eingestellt, sodass die Richtung in die die Drohne fliegen soll bestimmt werden kann.

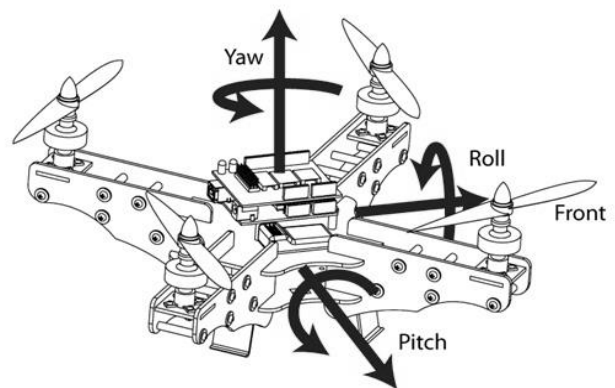


Abbildung 4. Flugbewegungen [Qua16]

2.2 EINSATZFELDER

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) unterscheidet prinzipiell zwischen drei potenziellen Einsatzfeldern von Drohnen im zivilen Bereich:

- Drohnen zur Übertragung von Daten durch Implementierung von Sensorik
- Transport von Gütern und Personen
- Fliegen von Drohnen als Sportart

Drohnen zur Übertragung von Daten durch Implementierung von Sensorik werden in zahlreichen Anwendungsfeldern genutzt. Die Ausstattung von Drohnen mit Sensoren dient der Informationsbeschaffung und einfachen Datenübertragung zur späteren Auswertung. Dazu werden

Drohnen z.B. mit optischen, akustischen, induktiven, mechanischen oder kapazitiven Sensoren ausgestattet. Beispielhafte Einsatzfelder von Drohnen mit Sensoren sind im Folgenden näher beschrieben. Im Bereich der *Infrastruktur und Konstruktion* werden Drohnen z.B. für die Vermessung von Gebäuden und Grundstücken eingesetzt. Darüber hinaus können Drohnen für die Inspektion von Infrastruktur wie Strommasten oder Gebäuden eingesetzt werden. Durch die Nutzung der Flugplattform müssen sich keine Menschen (i. d. R. Industriekletterer) in Gefahr begeben. Gleichzeitig können die Daten archiviert werden und mit Vermessungsdaten kombiniert werden. Die so erzeugten 3D-Modelle können dann z.B. auch für die Restauration genutzt werden. Die wohl größte Bekanntheit haben Drohnen durch ihren Einsatz im Bereich der *Medien und Unterhaltung* erlangt. In zahlreichen Filmen, Serien und Dokumentation sind bereits heute Luftaufnahmen mit Drohnen zu sehen. Die günstigeren Kosten im Vergleich zur Konkurrenztechnologie Hubschrauber haben in diesem Anwendungsfall Drohnen früh einen Durchbruch beschert. In der jüngeren Vergangenheit zeigen sich immer mehr Anwendungsfälle für Drohnen in der *Land- und Forstwirtschaft*. So hat der Weltmarktführer für Multirotorsysteme DJI Technology mit der AgrasMG-1 neben Film- und Entwicklungsdrohnen mittlerweile auch eine Agrar-Anwendungen spezialisierte Drohne im Portfolio. Anwendungen für Land- und Forstwirtschaftlich genutzte Drohnen liegen bspw. in der Überwachung von Flächen, der Identifikation von Schäden und dem Abwurf von Dünge- und Schädlingsbekämpfungsmitteln. Im Bereich der *Sicherheit und Notfallrettung* können Drohnen vielfältige Unterstützungsaufgaben übernehmen. Sie können staatliche Organe wie Polizei oder Feuerwehr bei der Überwachung und Datengenerierung aus der Luft unterstützen und so bspw. schwer zugängliche Gebiete erkunden. Ergänzt um weitere Sensorik wie z.B. Wärmebildkameras kann der Mehrwert von Drohnen bis hin zur Rettung von Menschenleben reichen. Die Perspektive aus der Luft ermöglicht auch die Unterstützung im Bereich des *Bergbaus und der Rohstoffgewinnung*. Mittels geeigneter Sensorik kann eine Drohne dort bspw. systematisch nach Bodenschätzen suchen, Abbaugebiete vermessen und Arbeitsfortschritt kontrollieren. Erste Pilotierungen mit Drohneneinsatz im Bereich der *Telekommunikation* zeigen vielversprechende Ergebnisse [Cer13]. So können Drohnen dort bedarfsgerecht WLAN oder Mobilfunknetze aufbauen.

Neben diesen zahlreichen Anwendungen im Bereich der Drohnen zur Übertragung von Daten durch Implementierung von Sensorik spielen Drohnen zum Transport von Gütern und Personen eine immer größere Rolle. Wie im Eingang bereits beschrieben gibt es hierbei zahlreiche Pilotprojekte und es ist davon auszugehen, dass auch zukünftig neue Anwendungsfälle zum Transport mit Drohnen aufgenommen werden. Die bislang bekannten Anwendungsfälle sind im Folgenden kurz beschrieben. Die zuvor beschriebenen Entwicklungen von DHL und Amazon werden dem Bereich Logistik zugeordnet. Hierzu gehören alle Drohnen

die zum inner- und außerbetrieblichen Transport von Gütern aller Art eingesetzt werden, so wie bspw. die individuelle Paketzustellung auf der letzten Meile oder in ländlichen Regionen. Transportaufgaben für Drohnen im Bereich der Land- und Forstwirtschaft wurden bereits zuvor kombiniert mit der Nutzung von Sensorik beschrieben. Im Bereich der Sicherheit und Notfallrettung können Drohnen eine Vielzahl an Transportaufgaben übernehmen. Beispielhaft genannt seien hier Medikamente, Bluttransfusionen oder Defibrillatoren, sowie der Abwurf von Rettungswesten oder –inseln. Junge Unternehmen wie die deutsche Firma Volocopter GmbH entwickeln Lösungen für den Transport von Personen mit Drohnen. Dies kann als luxuriöses Transportmittel zum schnellen Überfliegen von bspw. Innenstädten genutzt werden. So werden in Dubai bereits Drohnen-Taxen pilotiert. Darüber hinaus können personentragende Drohne aber auch zur Rettung von Menschen aus gefährlichen Gebieten eingesetzt werden.

Neben der Nutzung von Drohnen zur Übertragung von Daten durch Implementierung von Sensorik und zum Transport von Gütern und Personen ist das dritte Einsatzfeld Drohnen für sportliche Zwecke. Dabei kann zwischen den beiden neuen Sportarten *Wettrennen* und *Kunstfliegen* mit Drohnen unterschieden werden.

3 AUTOMATISCHE LASTAUFNAHME DES IML

Drohnen werden zum Transport unterschiedlicher Lasten eingesetzt. Dabei kann zwischen fest mit der Drohne verbundenen Lasten sowie auswechselbaren Lasten unterschieden werden.

Für den Einsatz im Bereich des Materialtransports werden Lastaufnahmemittel benötigt, die verschiedenartige Transportgüter aufnehmen und abgeben können. Im Bereich der Flugroboter werden heute üblicherweise manuelle Systeme eingesetzt, bei denen Transportgüter durch einen menschlichen Mitarbeiter an der Drohne befestigt werden.

Eine automatische Lastaufnahme für Drohnen ist aus mehreren Gründen praktisch, jedoch herausfordernd umzusetzen. Zwei Wirkprinzipien lassen sich unterteilen:

- **Mit Infrastruktur:** Eine stationäre Vorrichtung, die eine gelandete Drohne mit einer Last ausstattet, die vorher in der Vorrichtung platziert wurde.
- **Infrastrukturlos:** Eine autonome Lastaufnahme der Drohne, bei der die Drohne auf dem Transportgut (je nach Geometrie und Größe des Transportguts auf einem Hilfgestell) landet und die Last selbstständig aufnimmt.

In dieser Studie wird eine infrastrukturlose Lastaufnahme betrachtet. Wesentliches Ziel einer solchen Lastauf-

nahme ist die Entkopplung der manuell notwendigen Arbeitsschritte (z.B. Vorbereiten des Transportguts) von den automatischen Arbeitsschritten. Dadurch, dass die Drohne ein bereitgestelltes Ladegut selbstständig aufnehmen kann ist ein flexibler Einsatz in verschiedenen Anwendungsbe-
 reichen möglich.

3.1 FUNKTIONSPRINZIP

Die im Fraunhofer IML entwickelte Lastaufnahme funktioniert nach dem Prinzip einer Fotoblende. Ein mit dem Ladegut verbundener Zylinder wird über Formschluss mit der Blende aufgenommen. Die Blende besitzt eine Trichterförmige Öffnung, welche die Drohne bei der Landung stabilisiert und zentriert. Bei Anflug und Landung wird durch den Trichter ein höherer Toleranzausgleich erzielt. Abweichungen in Position und Neigung werden durch die Geometrie ausgeglichen. Dadurch kann eine höhere Prozesssicherheit gewährleistet werden.

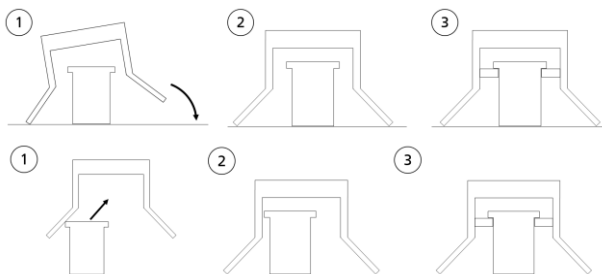


Abbildung 5. Funktionsprinzip Lastaufnahme

Die Aufnahme der Last erfolgt über einen Formschluss zwischen Lastaufnahmeblende und Gegenstück. Die Last kann durch die rotationssymmetrische Konstruktion in beliebiger Ausrichtung aufgenommen werden, wodurch vor der Landung keine angepasste Drehbewegung der Drohne erfolgen muss.

3.2 ANWENDUNGSBEREICHE

Die Lastaufnahme ist grundsätzlich geeignet für unterschiedlichste Anwendungsbereiche. Solange der individuell anpassbare Aufnahmezylinder auf einem Transportgut angebracht werden kann, lässt es sich im Normalfall mit einer Drohne transportieren. Einschränkungen gibt es bei den maximal möglichen Abmessungen, welche die Größe der Drohne nicht übersteigen dürfen. Außerdem verringert ein hohes Transportgewicht die mögliche Reichweite.

Mögliche Einsatzbereiche der Drohnen für den Materialtransport sind in Kapitel 2.2 bereits beschrieben worden. Die folgende Tabelle 1 stellt die Relevanz einer automatischen Lastaufnahme für unterschiedliche Einsatzbereiche dar. Bewertet wird dabei sowohl die notwendige Dringlichkeit (Wie dringlich ist ein Auftrag abzuschließen?) sowie die Flexibilität (Wie heterogen ist mein zu erwartendes Lastspektrum?).

Auf Basis der Relevanzmatrix wird in dieser Studie ein Vergleichsszenario im Bereich Automotive betrachtet. In diesem Szenario wird die Dringteilversorgung bei Lieferungen zum Produktionsband betrachtet. Solche Teile müssen in sehr kurzer Zeit nach Auftragsvergabe abgeschlossen werden, da ansonsten hohe Kosten durch Stillstand der Produktion entstehen.

	Dringlichkeit	Flexibilität
Wartung, Reparatur	○	+
Baustelle	—	○
Entlegene Orte	—	○
Offshore	—	○
Notfallversorgung	+	○
Exklusive Services	—	○
Katastrophen	○	○
Industrie (Automotive)	+	+
+	relevant	○ neutral
		— wenig relevant

Tabelle 1. Relevanzmatrix

4 ANALYSE DER SPIELZEIT

Bei der Ermittlung der Spielzeit werden drei Szenarien miteinander in Beziehung gesetzt. Der hierfür exemplarisch betrachtete Prozess ist die Dringteilversorgung in der Automobilindustrie. In der Produktion der OEMs (Original Equipment Manufacturer) kommt es vor, dass defekte oder falsche Komponenten an die Linie geliefert werden. Dies kommt sehr selten vor, jedoch besteht ein heutiges Auto aus mehr als 10.000 Teilen [Sue10], so dass selbst Fehler im niedrigen Promillebereich ausreichen, um regelmäßige Bandstillstände zu verursachen. Sobald ein solcher Fehler in der Produktion auffällt wird die Logistik des Werkes mit der Dringteillieferung beauftragt. Um den Bandstillzustand zu verhindern hat der Werker die Möglichkeit die Sequenz zu durchbrechen und ein typengleiches Teil, welches eigentlich für ein später zu fertigendes Auto bestimmt ist einzubauen. Dies verschafft der Logistik des Werkes einen zeitlichen Puffer um das Dringteil an den Verbauungsort zu befördern. Sollte dies m im Rahmen der gegebenen Zeit möglich sein bleiben nur die zwei Varianten das Band anzuhalten oder das Teil in einem aufwändigen Nachbearbeitungsschritt nach der Produktionslinie im Auto zu verbauen. Diese Entscheidung richtet sich vor allem nach Art des Teils und Aufwand für die Nachbearbeitung. Diese Betrachtung zeigt wie wichtig es ist das Dringteil möglichst schnell an den Verbauungsort zu befördern. Daher sollen nun für diese Problemstellung drei Varianten miteinander verglichen werden: Der heutige Status quo Prozess (sq), der Transport mit einer Drohne mit manuellem Lastwechsel (dm) und der Transport mit einer Drohne mit automatischem Lastwechsel (da), also mit automatischer Lastaufnahme und –abgabe wie es mit dem DelivAIRy System

möglich ist. Betrachtet werden hierbei nur die sich unterscheidenden Prozessschritte.

4.1 STATUS QUO PROZESS (SQ)

Im Status quo Prozess wird der Logistikmitarbeiter über die Notwendigkeit der Dringteillieferung informiert und damit der Sonderprozess ausgelöst. Daraufhin wird das entsprechende Teil kommissioniert und dabei für den Transport vorbereitet. Diese Vorbereitung ist stark vom jeweiligen Teil abhängig und kann bspw. ein Kleinladungsträger, Schutzmaterial etc. beinhalten. Anschließend wird das Teil manuell zum Verbausort transportiert. Der Transportvorgang kann dabei mittels Flurförderzeug, Fahrrad oder zu Fuß erfolgen und wird zumeist durch einen zweiten Mitarbeiter durchgeführt. In Ausnahmefällen kann jedoch die kommissionierende und die transportierende Person identisch sein. Auf diesem Transportweg müssen Bereiche (z.B. Forschung und Entwicklung, Lackierung) gemieden werden und oftmals Höhenunterschiede über Rampen oder Treppen überbrückt werden. Anschließend erfolgt die Übergabe des Dringteils an die Produktion. Visualisiert ergibt sich somit die nachfolgende Prozessdarstellung, wobei die Variable t die Prozesszeit repräsentiert.

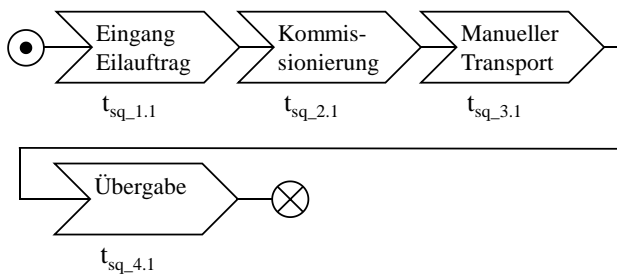


Abbildung 6. Status quo Prozess (sq)

4.2 TRANSPORT MIT EINER DROHNE MIT MANUELLEM LASTWECHSEL (DM)

Bei dem Transport mit manuellem Lastwechsel muss der Kommissionierer die Last unter der Drohne anbringen. Der Anflug der Drohne erfolgt zuvor zeitgleich mit dem Kommissionierprozess, wobei dieser durch spezielle Verpackungsanforderung zum Transport mit einer Drohne länger dauert. Nach der manuellen Anbringung der Last kann die Drohne bestehende Infrastruktur überfliegen und in der Nähe des Bedarfes landen. Anschließend muss sich der Werker dorthin begeben und die Last unter der Drohne entnehmen.

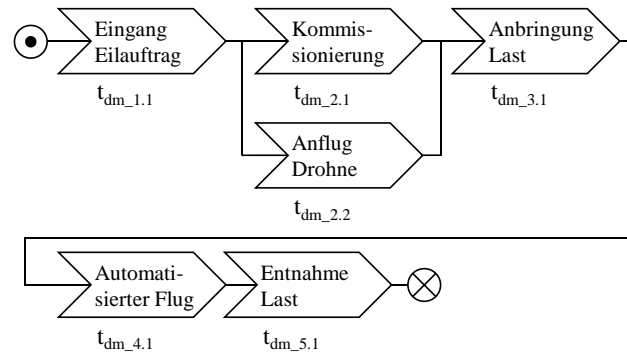


Abbildung 7. Drohne und manuellem Lastwechsel (dm)

4.3 TRANSPORT MIT EINER DROHNE MIT AUTOMATISCHEM LASTWECHSEL (DA)

Der zuvor beschriebene Prozess unterscheidet sich bei der automatischen Aufnahme und Abgabe der Last dadurch, dass der Anbringungsprozess und der Abnahmeprozess der Last entfallen und sich der Kommissionierer bzw. der Werker wieder früher auf seine eigentliche Tätigkeit fokussieren kann.

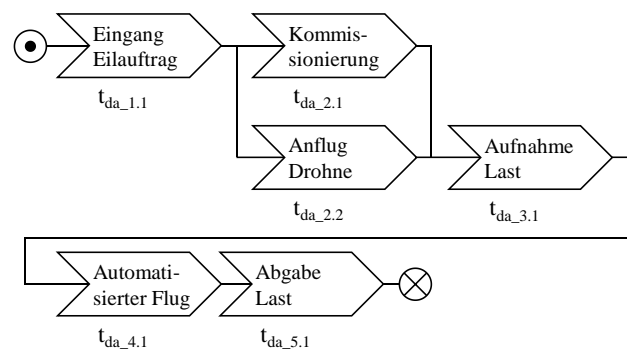


Abbildung 8. Drohne mit automatischem Lastwechsel (da)

4.4 SPIELZEITBERECHNUNG

Drohnen sind den Unstetigförderern zuzuordnen. Die Spielzeit ist die Zeitdauer, welche für die Ausführung eines Arbeitsspiels benötigt wird [DEF]. Für diese Studie wird ein einzelnes Arbeitsspiel betrachtet, da Doppelspiele bei der Lieferung von Dringteilen nur selten durchgeführt werden. Die Gesamtspielzeit ergibt sich durch die Addition der Zeitdauern der einzelnen Prozessschritte unter Berücksichtigung eventueller Überlagerungen.

Für die wegunabhängigen Arbeitsspielanteile können gemessene Werte mit geringen Abweichungen verwendet werden, während für die wegababhängigen Arbeitsspielanteile drei unterschiedliche Szenarien betrachtet werden.

Die Spielzeit für die drei Prozesse SQ, DM und DA ergibt sich wie folgt:

$$t_{SQ} = t_{sq_1.1} + t_{sq_2.1} + t_{sq_3.1} + t_{sq_4.1}$$

$$t_{DM} = t_{dm,1.1} + \max(t_{dm,2.1}, t_{dm,2.2}) + t_{dm,3.1} + t_{dm,4.1} + t_{dm,5.1}$$

$$t_{DA} = t_{da,1.1} + \max(t_{da,2.1}, t_{da,2.2}) + t_{da,3.1} + t_{da,4.1} + t_{da,5.1}$$

Der Status quo (SQ) Prozess wird vollständig manuell durchgeführt und bedingt daher eine Summierung aller Teilprozesszeiten. Die Prozesse mit Drohne haben parallele Teilprozesse. Die Gesamtzeit ergibt sich daher aus dem langsameren Teilprozess.

4.5 METHODISCHES VORGEHEN

Für die wegunabhängigen Arbeitsspielanteile können empirisch ermittelte Werte verwendet werden, während für die wegababhängigen Arbeitsspielanteile ein Vergleichsszenario betrachtet wird. Die Zeiten wurden empirisch während projektbezogener Transportaufträge ermittelt.

Das Vergleichsszenario ist einem real analysierten Szenario im Automobilbereich nachempfunden. Die Strecke zwischen Kommissionierort und Produktionsband beträgt für einen manuellen Transport mit einem Flurförderfahrzeug 1500m. Das Flurförderfahrzeug fährt mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 10 km/h. Die Drohne kann mit einer höheren Durchschnittsgeschwindigkeit von 30km/h eine direktere Route mit einer Länge von 900m fliegen. Die manuelle Kommissionierung des benötigten Dringteils wird mit einem festen Wert angenommen. Für die beiden Prozesse mit Drohne wird eine kurze zusätzliche Kommissionierstrecke bis zur Drohne angenommen, welche den Zeitwert erhöht.

4.6 WERTE BEI MANUELLER LASTAUFNAHME

Die nachfolgenden Tabelle 2 zeigt die ermittelten sowie berechneten Teilprozesszeiten für den Status quo (SQ), Manuellen Lastwechsel (DM) sowie für den Automatischen Lastwechsel.

Status quo	Manueller Lastwechsel		Automatischer Lastwechsel		
$t_{sq,1.1}$	20 s	$t_{dm,1.1}$	20 s	$t_{da,1.1}$	10 s
$t_{sq,2.1}$	300 s	$t_{dm,2.1}$	350 s	$t_{da,2.1}$	350 s
		$t_{dm,2.2}$	24 s	$t_{da,2.2}$	24 s
		$t_{dm,3.1}$	60 s	$t_{da,3.1}$	10 s
$t_{sq,3.1}$	539 s	$t_{dm,4.1}$	108 s	$t_{da,4.1}$	108 s
$t_{sq,4.1}$	5 s	$t_{dm,5.1}$	60 s	$t_{da,5.1}$	10 s
t_{SQ}	864 s	t_{DM}	598 s	t_{DA}	498 s

Tabelle 2. Prozesszeiten

5 ERGEBNISSE

Die Ergebnisse sind im folgenden Diagramm (vgl. Abbildung 9) dargestellt. Es lassen sich die folgenden Erkenntnisse ableiten:

- Drohnen sind beim Transport der Güter deutlich schneller als der manuelle Transport im Status quo. Dies liegt an der höheren Geschwindigkeit sowie an kürzeren Distanzen. Dieser Vorteil steigt proportional zur Transportentfernung.

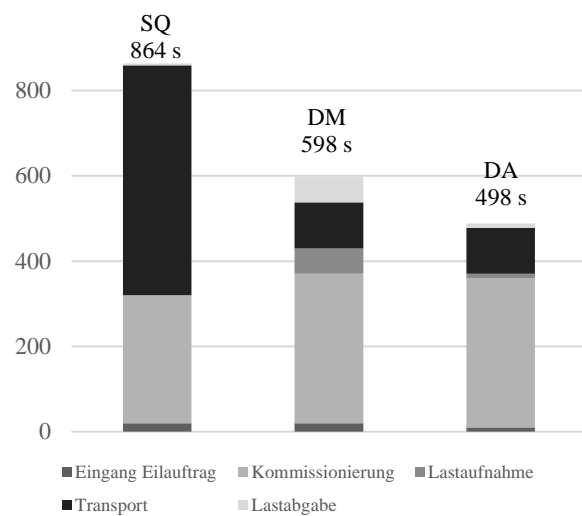


Abbildung 9. Prozesszeiten - Übersicht

- Der Lastübergabeprozess bei Drohnen ist deutlich langsamer als die manuelle Mitnahme von Teilen. Durch die automatische Lastaufnahme kann dieser Nachteil fast ausgeglichen werden. Die automatische Lastaufnahme ist weiterhin langsamer als eine direkte Mitnahme im Status quo Prozess.
- Die Gesamtprozesszeit konnte mit einer automatischen Lastübergabe gegenüber dem Status quo um 43% und gegenüber einer manuellen Lastübergabe um 17% gesenkt werden.
- Ein weiterer positiver Faktor ist beim automatische Transport mit automatischer Lastübergabe die Entkopplung des Prozesses von den vorherigen Prozessen. Ein menschlicher Mitarbeiter muss nicht auf die Drohne warten um diese zu beladen. Ebenso wird er für den Transportprozess nicht mehr benötigt. Der Mitarbeiter kann während der Zeit andere Aufgaben durchführen. Im Status quo ist er während des gesamten Transportprozesses notwendig.

6 ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Studie wurden zunächst mögliche Einsatzfelder für Drohnen im Bereich der Intralogistik betrachtet. Ein relevantes Szenario im Bereich der Dringteillieferung wurde anschließend genauer betrachtet und ausgewertet. Fokus lag auf der Identifizierung der Prozesszeitreduktion durch den Einsatz von Drohnentechnologie sowie insbesondere einer automatischen Lastübergabe.

Die allgemeine Reduktion der Spielzeit durch den Einsatz von Drohnen lassen sich im betrachteten Einsatzszenario hohe Kosten einsparen. Dadurch, dass ein Dringteil in kürzerer Zeit am Einsatzort bereitgestellt werden kann reduziert Bandstillstände in der Produktion. Die dadurch eingesparten Kosten wiegen Anschaffungs- und Betriebskosten von Transportdrohnen um ein Vielfaches auf.

Ein Einsatz von infrastrukturloser Drohnentechnologie ist vergleichsweise kostengünstig realisierbar. Der beschriebene Transportprozess für Dringteile kann mit geringem Aufwand als Parallelprozess pilotiert werden, ohne dass bestehende Prozesse angepasst werden müssen. Das volle Potential von Drohnen wird sich erst durch Erfahrungen im Rahmen von Pilotprojekten ausschöpfen lassen.

7 AUSBLICK

Der Einsatz und die Verbreitung von Drohnentechnologie wird in vielen Branchen weiteransteigen. Die hohe Transportgeschwindigkeit von Drohnen kann Potentiale in unterschiedlichen Prozessen heben. Tractica prognostiziert eine Marktgröße von über 12 Milliarden Euro bis 2025 für den weltweiten Drohnenmarkt [Tra16].

Die größte Hürde für den Einsatz der Technologie ist Sicherheit und der gesetzliche Rahmen für den Einsatz. Mit der neuen Drohnenverordnung [BMV17] wird der gesetzliche Rahmen erstmals fokussiert betrachtet. Dabei ist insbesondere die Regelung der Flüge außerhalb der Sichtweite für die Industrie nutzbaren Anwendungsszenarien wichtig und hilfreich.

Perspektivisch ist für einen autonomen Transport von Teilen die Versorgung der Drohnen mit Energie eine zentrale Herausforderung. Eine automatische Lastübergabe ist nur dann hilfreich, wenn auch die anderen Prozessschritte automatisiert werden. Mit der vorgestellten Lastübergabe kann mit geringen Anpassungen (Stromführender Adapter und Greifelemente aus Kupfer) ein automatisches Ladesystem installiert werden. Eine alternative Lösung kann ein automatisierter Batterietausch sein.

LITERATUR

[BMV17] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): *Verord-*

nung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten, 30.03.2017, aus: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I Nr. 17, ausgegeben zu Bonn am 06.04.2017.

[Cer13] Michal Cerny: *Das fliegende WLAN*, 25.07.2013. URL: <http://heise.de/1921466> - Abrufdatum: 25.07.2017

[DHL16] Deutsche Post DHL Group (Hrsg.): *Einbindung des DHL-Paketkopters in die Logistikkette erfolgreich getestet*, 2016. URL: http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2016/einbindung_dhl_paketkopter_logistikkette_erfolgreich_getestet.html - Abrufdatum: 23.07.2017

[Fra16a] Fraunhofer IML (Hrsg.): *DelivAIRy – Modul zur vollautomatischen Lastaufnahme mit Drohnen*, 2016. - Firmenschrift

[Fra16b] Fraunhofer IML (Hrsg.): *Bin:Go - Die rollende Transportdrohne*, 2016. - Firmenschrift

[Fra16c] Fraunhofer IML (Hrsg.): *InventAIRy Identifikation mit autonomen Flugrobotern*, 2016. - Firmenschrift

[Non10] Nonami, Kenzo.; Kendoul, Farid.; Suzuki, Satoshi.; Wang, Wei.; Nakazawa, Daisuke. *Autonomous Flying Robots: unmanned aerial vehicles and micro aerial vehicles*. Berlin, Springer, 2010. - ISBN 978-4-431-53855-4

[Qua16] Quadcopterproject: *Quadcopter attitude axes*. URL: <https://quadcopterproject.files.wordpress.com/2011/10/figure-2.jpg> - Abrufdatum: 22.07.2017

[Sue10] Süddeutsche Zeitung: *10.000 Einzelteile in einem Auto - viel Potenzial für Fehler*. URL: <http://www.sueddeutsche.de/auto/rueckrufaktionen-pfusch-ab-werk-1.16544-2> - Abrufdatum: 26.07.2017

[Tra16] Tractica (Hrsg.): *Consumer Drones: Small Unmanned Aerial Vehicles for Aerial Imaging, Recreation, and Aerial Games: Global Market Analysis and Forecasts*, 2016.

Philipp Wrycza, M.Sc., Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik. Philipp Wrycza wurde 1987 in Datteln geboren. Zwischen 2008 und 2013 studierte er Logistik an der TU Dortmund.

Mathias Rotgeri, M.Sc., Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik. Mathias Rotgeri wurde 1989 in Dortmund geboren. Zwischen 2008 und 2014 studierte er Maschinenbau an der TU Dortmund.

Adresse: Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik, Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2-4, 44227 Dortmund, Telefon: +49 231 9743-695, E-Mail: philipp.wrycza@iml.fraunhofer.de

