

# Optimierung von Fabrikplanungsprozessen durch Drohneneinsatz und automatisierte Layoutdigitalisierung

Optimization of factory planning processes by using a drone and automated layout digitalization

*Dominik Melcher  
Benjamin Küster  
Malte Stonis  
Ludger Overmeyer*

*IPH – Institut für Integrierter Produktion Hannover gGmbH*

**D**ie Layoutaufnahme und Layoutauswertung stellen bei Fabrikplanungsprojekten einen hohen Aufwand dar, da sie durch manuelle Prozesse geprägt sind. Mit dem Einsatz von Drohnen und automatisierten Auswertelgorithmen sollen diese Prozesse beschleunigt und verbessert werden. Durch diesen Beitrag wird das steigende Digitalisierungsbedürfnis in der Industrie aufgegriffen und erste Ansätze für die digitale Aufnahme und Weiterverarbeitung eines Fabriklayouts aufgezeigt. Der Schwerpunkt liegt in dem Einsatz einer Drohne innerhalb eines Fabrikgebäudes und der Aufbereitung von dreidimensionalen Punktwolkenmodellen für Fabrikplanungsprozesse.

*[Schlüsselwörter: Drohne, Fabrikplanung, 3D-Fabriklayout, Objekterkennung]*

**A**bstract: For factory planning projects the layout capturing and layout processing process need a huge amount of effort, because they are typically done by hand. These processes could be accelerated and optimized by using a drone and automated analysis algorithms. Furthermore, this article shows a way to raise the digitization level for industrial processes. The key aspect lies on the usage of a drone in indoor environment and the processing of three-dimensional point cloud models for factory planning processes.

*[Keywords: drone, factory planning, 3D-factory layout, object recognition]*

## 1 EINLEITUNG

Die logistische Planung einer Fabrik stellt einen komplexen Prozess dar, der aus verschiedenen Teilprozessen besteht [Gru15]. Ein besonders ressourcenintensiver Teilprozess bildet die Aufnahme der vorhandenen Fabrikstrukturen. Aktuell werden diese Aufnahmen händisch von einem oder mehreren Experten vor Ort durchgeführt. Die Dauer der Aufnahme nimmt dabei teilweise die Hälfte des

gesamten Fabrikplanungsprojekts in Anspruch. Aufwendig ist hierbei vor allem die Aufnahme, Zuordnung und Interpretation von vorhandenen Fabrikflächen und Betriebseinrichtungen. Dieser hohe Aufwand wirkt insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen abschreckend. Aus diesem Grund werden umfassende Fabrikplanungsprozesse nicht durchgeführt, wodurch Potenziale verloren gehen und eine frühzeitige Ausrichtung der Produktion auf die steigenden Marktanforderungen nicht möglich ist. Aus diesem Grund wird in diesem Beitrag eine neue, zukunftsorientierte und aufwandsärmere Methode der Datenaufnahme und -auswertung vorgestellt [Mel18].

Die Kernidee zur Verbesserung des Fabrikplanungsprozesses umfasst den Einsatz einer Drohne für die Aufnahme des IST-Layouts und eine automatisierte dreidimensionale Datenverarbeitung des aufgenommenen Layouts. Eine Drohne besitzt im Gegensatz zu dem Menschen verschiedene Vorteile. Sie ist zum einen nicht bodengebunden, kann über Anlagen oder Maschinenkomplexe hinwegfliegen und somit umfassendere Daten des Layouts liefern. Weiterhin ist der Drohnenflug automatisierbar. Das bedeutet die Aufnahme des IST-Layouts kann autonom geschehen und erfordert keinen Experten vor Ort. Angewendet wird das autonome Fliegen bereits im Outdoorbereich beim Digitalisieren von z. B. Baustellen [Gue11].

Mit entsprechenden Sensoren bestückt, ist die Drohne in der Lage direkt ein digitales 3D-Layout zu erzeugen. Aktuell wird vom Menschen ein 2D-Layout aus den gemessenen Daten erstellt und bei Bedarf, durch zusätzlichen Aufwand, in ein 3D-Layout erweitert. Für den Fabrikplanungsprozess wird durch ein 3D-Layout die Anschaulichkeit der Daten erhöht und es sind mehr räumliche Informationen als bei einem 2D-Layout vorhanden. Weiterhin bietet ein 3D-Layout die Möglichkeit neue Techniken, wie bspw. Virtual Reality oder Augmented Reality einzusetzen.

Neben der reinen Aufnahme des Fabriklayouts umfasst die Forschungsarbeit eine automatisierte Auswertung

der Layoutdaten. Aktuell ist es mit großem Aufwand verbunden die verschiedenen funktionalen Flächen, wie bspw. Transportwege, Gehwege oder Lagerflächen und Objekte in einer Fabrik zu erkennen und richtig zu interpretieren. Im Rahmen der Forschungsarbeit soll der Fabrikplaner von Algorithmen für die Flächen- und Objekterkennung unterstützt werden. Damit sollen Materialflusssimulationen, Layoutplanungen oder Layoutanalysen direkt in dem dreidimensionalen Modell möglich sein. Beispiele hierfür sind die Analyse und Optimierung von vorhandenen Transportsystemen oder die Optimierung von Lagerflächen und Transportwegen.

## 2 DIGITALISIERUNG DURCH DROHNENEINSATZ

Drohnen werden für Digitalisierungsaufgaben in verschiedenen Bereichen verwendet. Hierbei kommt der Vorteil der hohen Flexibilität, die Möglichkeit der Automatisierung und die Möglichkeit der Steuerung über Remotesysteme von überall auf der Welt zum Tragen. LANDROCK und BAUMGÄRTEL zeigen eine Möglichkeit, dreidimensionale Geländemodelle über einen vorgegebenen Scanbereich automatisch per Drohne und Kamera erfassen zu lassen [Lan18]. Im Bereich der Landwirtschaft werden Drohnen zur visuellen Unterstützung von Mähreschern oder zum Kartographieren von Feldflächen verwendet [Lan18]. Auch im Indoorbereich nimmt der Einsatz von Drohnen zu. MACHILL und FREUND beschreiben bspw. einen Ansatz die Lagerinventur von Hochregallagern automatisiert durch eine Drohne durchführen zu lassen [Mac17].

Der Einsatz von Drohnen im Indoorbereich bringt verschiedene Herausforderungen mit sich. Hierzu zählt, dass eine Navigation über GPS nicht möglich ist. Weiterhin sind die Räumlichkeiten begrenzt und nicht alle Bereiche der Halle zum Landen geeignet. Das bedeutet bei einer Störung des Systems kann nicht in jedem Fall eine direkte Landung durchgeführt werden. Auch das Zusammenspiel mit dem Menschen und produzierenden Maschinen stellt bei dem Einsatz von Drohnen innerhalb von Fabriken eine Herausforderung dar. Aus diesem Grund wird in der Forschungsarbeit aktuell ein manueller Flug mit einem Piloten durchgeführt. In Zukunft soll über automatisierte Umgebungsauswertung der Flug Schritt für Schritt automatisiert werden.

Das Ziel der Digitalisierung in diesem Beitrag ist die Erstellung eines digitalen dreidimensionalen Abbildes der realen Fabrikumgebung. Hierzu gibt es verschiedene Scannertechniken auf dem Markt, die für die Digitalisierung in Frage kommen. TOMONO nutzt bspw. eine Stereokamera, um eine 3D-Karte der Umgebung zu erzeugen. Über einen Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Algorithmus wird jede Einzelaufnahme der Kamera zu einer Gesamtkarte zusammengefügt [Tom09]. Ein ähnliches Verfahren ist mit einem Laserscanner möglich, wie es bei JAAKKOLA ET AL. genutzt wird. Der Laserscanner nimmt

hierbei kontinuierlich Daten auf und berechnet über einen SLAM-Algorithmus eine Umgebungskarte [Jaa17]. Im Bereich des Braunkohleabbaus wird der Einsatz von Time-Of-Flight-Kameras untersucht. Dies sind 3D-Kamerasysteme, die auf der Laufzeitmessung von Wellen basieren und so Distanzen messen können. Das Ziel ist es die Umgebung eines Schaufelradbaggers während des Abbaus dreidimensional darzustellen [Ste10]. Eine weitere Aufnahmetechnik ist die Photogrammetrie. Sie wird bereits in Kombination mit Drohnen im Outdoorbereich verwendet [Alr16, Suh17].

Für die digitale Abbildung einer Fabrik wird als erster Ansatz die Photogrammetrie genutzt. Die Photogrammetrie besitzt die Vorteile, dass zum einen Farbdaten in dem digitalen Modell abgebildet werden. Mithilfe der Farbdaten wird die nachgelagerte Datenauswertung unterstützt. Ein weiterer Vorteil der Photogrammetrie ist die verbreitete Anwendung im Outdoorbereich. Die vorhandenen Erfahrungswerte und Auswertelgorithmen können bei der Forschungsarbeit genutzt werden.

Bei der Photogrammetrie werden Bilder aus verschiedenen Winkeln von einem Objekt aufgenommen. Hierbei ist es wichtig, dass die Bildbereiche der einzelnen Bilder überlappen. Durch die Überlappung kann über mathematische Algorithmen die Position der Kamera während der Aufnahme berechnet und damit die dreidimensionale Form des aufgenommenen Objektes rekonstruiert werden. Die Aufnahme der Bilder geschieht in der Forschungsarbeit über zwei Action-Cams. Mithilfe der Serienbildfunktion werden während des Fluges kontinuierlich zwei Bilder pro Sekunde aufgenommen. Der Flug wird manuell durchgeführt und die Flugroute innerhalb der Halle von dem Piloten je nach Anwendungsfall individuell festgelegt. Innerhalb von Fabrikhallen kann es verschiedene Bereiche geben, die mit der Drohne nicht befliegen werden können. Hierzu zählen Bereiche mit herunterhängenden Kabel oder Ketten, die die Drohne beschädigen könnten oder Bereiche bei denen zwischen Hallendecke und Fabrikobjekt zu wenig Platz zum befliegen ist. Sollen diese Bereiche ebenfalls aufgenommen werden, ist eine nachträgliche Aufnahme von Bildern ohne Drohne möglich. Um den Piloten bei dem Flug zu unterstützen, werden ein Höhenhaltemodus und ein Optical-Flow-Modul verwendet. Das Optical-Flow-Modul ist eine nach unten gerichtete Kamera, die die Verschiebung des Bodens in Bezug zur Drohne registriert. Dies dient zur Stabilisierung des Flugs, sodass die Drohne auch ohne ein GPS-Signal stabil innerhalb der Halle fliegen kann. Um ein möglichst umfassendes und exaktes Ergebnis für die Layouterfassung zu erhalten, wird versucht jedes Objekt aus möglichst vielen Perspektiven und mindestens von allen vier Seiten aufzunehmen. Nur so ist es möglich, die gesamte Objektgeometrie zu digitalisieren. Weiterhin ist es wichtig darauf zu achten, dass die Aufnahmen möglichst scharf sind (kurze Belichtungszeit) und bei gleichmäßiger Hallenausleuchtung durchgeführt werden. Bei variierenden Lichtverhältnissen schwankt die Helligkeit der

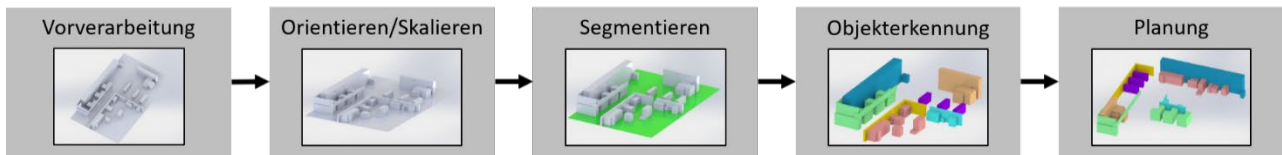


Abbildung 1. Automatisierte Datenauswertung für die Fabrikplanung

aufgenommenen Bilder. Dies kann zu Problemen bei der Bildauswertung führen.

Die von dem Kamerasystem aufgenommenen Bilder werden lokal auf der Drohne gespeichert und im Nachgang des Fluges ausgewertet. Die Auswertung geschieht über das Photogrammetrieprogramm Agisoft. Es spielt bei der Erstellung der dreidimensionalen Punktwolke aus den Aufnahmen keine Rolle wo oder zu welcher Zeit die Bilder aufgenommen wurden, da die Software alle Bilder untereinander abgleicht und zusammensetzt.

Als Ergebnis der photogrammetrischen Auswertung entsteht eine dreidimensionale, texturierte Punktwolke. Um das Ergebnis zu verbessern, ist es möglich nachträglich weitere Bilder von der Fabrikhalle aufzunehmen. Diese können den vorherigen Bildern hinzugefügt und in die Berechnung integriert werden.

### 3 METHODE DER DATENAUSWERTUNG

Auf Basis der dreidimensionalen Punktwolke, die den IST-Zustand repräsentiert, soll der Fabrikplaner bei der Auswertung und Interpretation durch automatisierte Auswerteprozesse unterstützt werden. Hierfür wird die gescannte dreidimensionale Punktwolke in mehrere kleinere Punktwolken unterteilt. Jede kleinere Punktwolke besteht nur aus einem Objekt, wobei alle Punktwolken gemeinsam wieder das gesamte Fabriklayout ergeben. Durch die Unterteilung ist es möglich, nicht relevante Objekte in dem Layout auszublenden, zu verschieben oder zu ersetzen. Basierend darauf wird eine Objekt- und Flächenerkennung durchgeführt. Die Erkennung stellt eine Vorinterpretation von Objekten und Flächen in dem Layout dar und soll den Fabrikplaner bei der Analyse und Bearbeitung des Modells unterstützen. Der Prozessablauf für die Auswertung des dreidimensionalen Modells ist auf Abbildung 1 dargestellt [Mel18].

Der erste Schritt bei der Datenauswertung besteht aus dem Vorverarbeiten, Orientieren und Skalieren des Modells. Damit können innerhalb des Layouts Messungen durchgeführt werden. Daran schließt die Segmentierung an. Dies bezeichnet die Unterteilung des Modells in kleinere Punktwolken. Beim Segmentieren werden innerhalb der Punktwolke zusammenhängende Objekte gesucht. Dies geschieht auf Basis von Farbinformationen und geometrischen Ausprägungen. Durch die Segmentierung entstehen aus dem Gesamtmodell mehrere Punktwolken, die individuell verändert werden können. Weiterhin ist es möglich zusätzliche dreidimensionale Modelle, wie z. B. CAD-

Modelle, der Punktwolke hinzuzufügen und so das Layout zu verändern. Als Ergebnis entsteht ein digitales Layout bestehend aus einzelnen Objekten und Flächen, die individuell angepasst und verändert werden können. Damit ist es möglich direkt in dem Modell Fabrikplanung, z. B. in Form von einer Neustrukturierung des Fabriklayouts, Materialflussanalysen oder einer Optimierung der Transportlogistik, zu praktizieren.

### 4 ERGEBNISSE

Das im Rahmen der Forschung entwickelte Drohnensystem verfügt über verschiedene Assistenzsysteme, wie eine Höhenhalteunterstützung und ein Optical-Flow-Modul. Weiterhin wurde die Drohne mit zwei Kameras bestückt. Im Rahmen der Forschung wurden verschiedene Industriehallen gescannt. Aus vertraulichen Gründen wird hier die Halle des IPHs gezeigt. Die Flugdauer zum Scannen dieser Halle mit einer Größe von ca. 250 m<sup>2</sup> beträgt fünf Minuten. Mithilfe der Bilddaten, die während des Fluges aufgenommen wurden, konnte ein 3D-Modell der Halle erstellt werden. Das Modell ist in Abbildung 2 dargestellt.

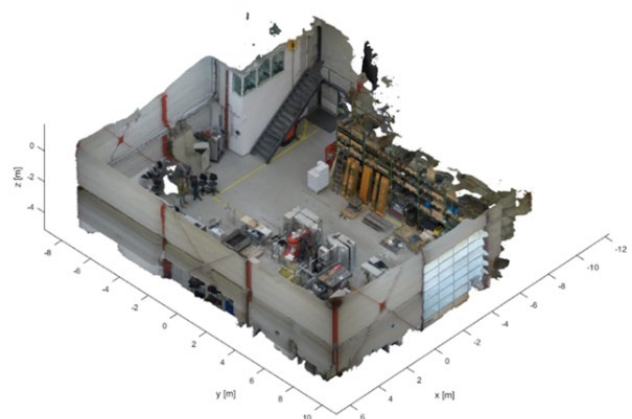


Abbildung 2. 3D-Modell IPH-Halle

Für die Auswertung der Daten wurde die Punktwolke in die Programmierumgebung Matlab eingeladen und in einem ersten Schritt orientiert, sodass die x-, y-, und z-Achse parallel zu den Wänden der Halle verlaufen. Für die weitere Bearbeitung müssen die Größenverhältnisse innerhalb des Modells skaliert werden. Hierfür wird ein Objekt innerhalb der Punktwolke ausgewählt, von denen die realen Abmessungen bekannt sind. Basierend darauf wird über eine Transformationsmatrix die gesamte Punktwolke skaliert. Anschließend wird auf Basis von Histogrammen zu den x-, y-, und z-Werten eine Boden- und Außenwanderkennung

durchgeführt. Zu sehen ist dies beispielhaft für eine Außenwand (grün markiert) auf Abbildung 3.



Abbildung 3. Flächenerkennung im Fabriklayout

Um die Punktwolke in kleinere Punktwolken segmentieren zu können, werden die Wand- und Bodenflächen aus dem Modell entfernt. Somit besteht das Modell jetzt nur aus den Objekten, die sich innerhalb der Halle befinden. Das Segmentieren der Objekte in kleinere Punktwolken funktioniert auf Basis von Entfernung- und Farbmerkmalen. Für die Erkennung wird zu Beginn ein Labeling Algorithmus genutzt, der Punkte, die keine Verbindung zu anderen Punkten in dem Modell besitzen, in einer eigenen Punktwolke zusammenfasst. Das Prinzip ist auf Abbildung 4 durch die verschiedenen Farben in der Punktwolke dargestellt.

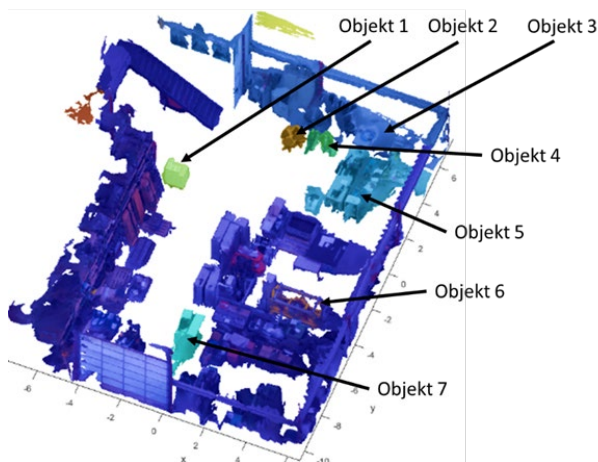


Abbildung 4. Segmentierte Objekte auf Basis von Entfernungsmerkmalen

Da in dem Modell noch verschiedene Objekte zusammenhängend dargestellt sind, werden im Anschluss auf Basis von Farbmerkmalen die Punktwolken weiter verkleinert.

Bei der Erstellung und automatischen Auswertung der Punktwolken kann es zu fehlerhaften Erkennungen kommen,

deshalb ist bei diesen Verarbeitungsschritten ein manueller Eingriff möglich. Somit können verschiedene Punktwolken wieder vereint oder weiter aufgeteilt werden. Eine fehlerhafte Erkennung wird auf Abbildung 4 anhand des dunkelblauen Bereichs (Objekt 6) sichtbar. Hier werden verschiedene Objekte zusammengenommen und als eine zusammenhängende Punktwolke dargestellt.

Auf Basis der Segmentierung wird die Punktwolke automatisiert ausgewertet und von Algorithmen interpretiert. Bei der Interpretation wird zwischen Objekten und Flächen unterschieden. Objekte sind alle Körper innerhalb der Halle, wie z. B. Anlagen, Maschinen, Flurförderfahrzeuge, Paletten oder Tische. Flächen beschränken sich in erster Linie auf Bodenflächen, da diese für die Auswertung und Interpretation eines Layouts von großer Relevanz sind. Hieraus ist es möglich ein Raumbuch zu erstellen und wesentliche Informationen über die zukünftige Layoutgestaltung zu erhalten, wie bspw. die Position von Förderwegen, Fluchtwegen oder Lagerflächen.

Die automatisierte Interpretation von Objekten geschieht mittels eines maschinellen Lernalgorithmus. Hierfür werden verschiedene Objektdatenbanken mit jeweils mehreren tausend Bildern angelegt. Anhand der Datenbanken lernt der Algorithmus und ist in der Lage das erlernte Objekt auf einem bisher unbekanntem Bild wiederzuerkennen und zuzuordnen. Die Datenbank orientiert sich dabei an Objekten, die im Vorhinein durch den Menschen erkannt wurden und soll kontinuierlich durch weitere Fabrikobjekte erweitert werden. Ist ein Fabrikobjekt, z. B. eine Palette, in der Datenbank angelegt, wird jedes Objekt innerhalb der Fabrik damit verglichen. Dies geschieht, indem von jedem Objekt in der Punktwolke aus vier senkrecht zueinanderstehenden Richtungen zweidimensionale Bilder erzeugt werden. Abbildung 5 zeigt das Prinzip hinter der Erkennung anhand einer Lagerpalette auf dem Boden.



Abbildung 5. Erstellung von vier 2D-Bildern eines Objekts aus verschiedenen Perspektiven für die Objekterkennung

Die Bilder werden anschließend von dem angelernten Algorithmus analysiert und bei einer Erkennung zugeord-

net. Da es auch hier, aufgrund von Fehlern in der Punktwolke, zu falschen Erkennungen kommen kann, ist eine manuelle Änderung der Erkennung möglich. Die Erkennung von Flächen wird im Rahmen der Forschungsarbeit ebenfalls angestrebt.

Im Anschluss an die Segmentierung und Objekterkennung wird das Gesamtmodell wieder aus den Einzelmodellen zusammengesetzt. Ab diesem Schritt kann mit der Planung innerhalb der Fabrik begonnen werden. Durch die Skalierung, Orientierung und Segmentierung ist es weiterhin möglich, neue dreidimensionale Modelle, z. B. CAD-Modelle, in das digitalisierte Layout zu importieren. Die importierten Objekte werden innerhalb des Layouts analog zu den vorhandenen Objekten als eigene Punktwolke dargestellt und sind nachträglich veränderbar. Als Beispiel hierzu wird auf Abbildung 6 das Importieren eines Knickarmroboters in das Layout gezeigt.

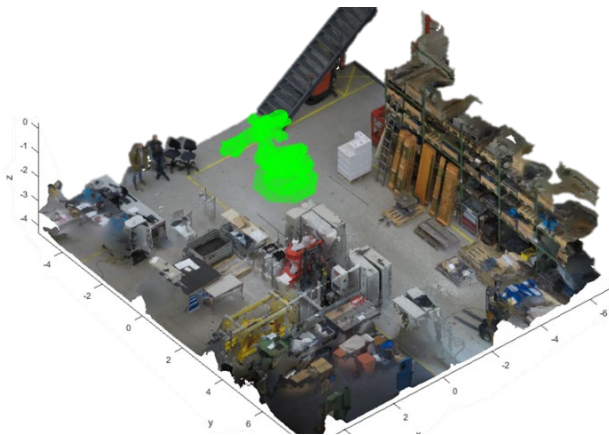


Abbildung 6. Erweiterung des Layouts durch einen Knickarmroboter (grün)

## 5 OPTIMIERUNG UND AUSBLICK

Neben der Objekterkennung ist für die automatisierte Auswertung eines digitalisierten Layouts eine Flächenerkennung geplant. Diese soll anhand von definierten Auswahlkriterien Funktionsflächen wie Förderwege oder Lagerplätze erkennen und kennzeichnen. Auswahlkriterien können z. B. die Vorgabe von Breitenmaßen für Förderwege oder die Erkennung von Bodenmarkierungen sein. Die Flächenerkennung soll bei einer Neugestaltung eines

Layouts dabei helfen funktionale Flächen effektiver zu nutzen und auch bei einer Neustrukturierung einen reibungslosen Produktionsablauf sicherstellen. Aus der Flächenerkennung kann im Anschluss ein Raumbuch erstellt oder eine Flächennutzungsberechnung angestellt werden.

Im Bereich der Aufnahmetechnik soll die Photogrammetrie in Zukunft durch einen Laserscanner erweitert werden. Die ersten Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass die Photogrammetrie beim Scan eines Fabrikgebäudes von innen Schwächen aufweist. Exemplarisch sind einige Fehlermöglichkeiten auf Abbildung 7 dargestellt. Abbildung 7 (links) zeigt Löcher in dem Modell. An diesen Stellen konnte der Photogrammetriealgorithmus aus dem Bildmaterial keine Geometrien berechnen. Die Prüfung des Bildmaterials zeigt jedoch, dass diese Bereiche aufgenommen wurden. Abbildung 7 (mittig) zeigt das Verschmelzen von verschiedenen Objekten. Die dritte Fehlermöglichkeit auf Abbildung 7 (rechts) zeigt eine fehlerhafte Berechnung, die durch Gegenlicht an einem Fenster entsteht.

Als Erweiterung für das Kamerasystem soll ein Lidar Laserscanner genutzt werden. Der Vorteil der Lasertechnik ist unter anderem die Robustheit gegenüber Helligkeitsunterschieden. Die Kombination aus natürlichem Licht (Fenster), künstlichem Licht (Hallenbeleuchtung) und Verschattungen (bedingt durch Maschinen und Anlagen in der Halle) stellen für die Photogrammetrie eine Herausforderung dar. Eine Kombination aus Laserscanner und Photogrammetrie soll ein möglichst robustes System bilden, das auch bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen auswertbare Ergebnisse liefert. Weiterhin wird untersucht, ob die Datenqualität der Photogrammetrie durch alternative Kamerasysteme oder einer aktiven Belichtung verbessert werden kann.

In Kombination mit dem Einsatz des Laserscanners soll der Drohnenflug innerhalb eines Gebäudes kontinuierlich automatisiert werden. Die Informationen aus dem Laserscanner sollen auf der Drohne oder per Funkverbindung mit einer Computereinheit live ausgewertet und basierend darauf Entscheidungen zur Flugroute getroffen werden. Der Pilot soll in Zukunft nur zur Überwachung des Fluges anwesend sein. Weiterhin wird angestrebt, die Layoutdaten während des Fluges auszuwerten. Somit kann direkt im Anschluss des Fluges beurteilt werden, ob die Aufnahme erfolgreich war oder ob weitere Flüge für den Layoutscan notwendig sind.

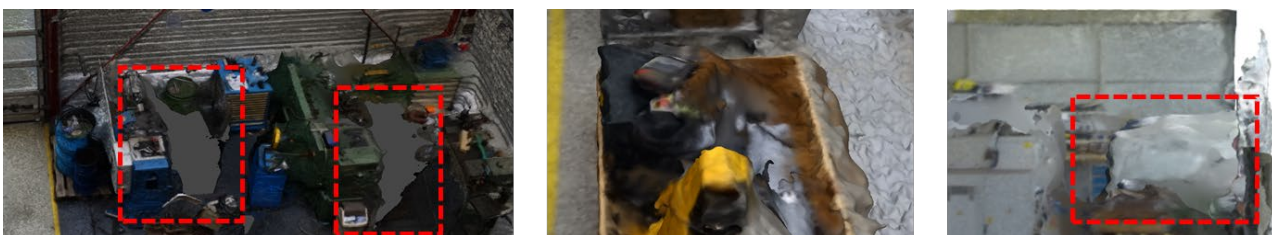


Abbildung 7. Fehlerhafte Rekonstruktion durch den Photogrammetriealgorithmus. Links: Löcher in dem Modell. Mitte: Verschmelzen von verschiedenen Objekten. Rechts: Bildung von Artefakten durch Lichteinfall.

Bei der Auswertung der Layoutdaten soll in Zukunft eine Produktionsreihenfolge zugeordnet werden können. Somit ist es möglich, eine Materialflusssimulation mit dem dreidimensionalen Layout zu kombinieren. Es wird angestrebt alle Layoutanalysen oder -bearbeitungen in einem Modell zu vereinen, um somit eine konsistente Datengrundlage zu ermöglichen.

Im Bereich der automatisierten Datenauswertung und Segmentierung sollen die vorhandenen Algorithmen weiter optimiert werden. In Abbildung 4 ist zu erkennen, dass bei der Objektsegmentierung teilweise noch verschiedene Objekte zusammenhängen. Stehen Objekte direkt nebeneinander oder übereinander, ist der Segmentierungsalgorithmus nicht in der Lage die Objekte automatisch zu trennen. Um diese Problematik zu lösen sollen Kantenerkennungsalgorithmen verwendet werden. Diese können Konturen, wie bspw. Schatten zwischen zwei Objekten, erkennen und auf dieser Basis eine erweiterte Segmentierung durchführen.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag wird eine Methode vorgestellt, wie die Aufnahme von Fabriklayouts verbessert und die Datenauswertung automatisiert werden kann. Die Layouterfassung für die Fabrikplanung wird mithilfe einer Drohne durchgeführt. Kombiniert mit einem Kamerasystem ist die Drohne in der Lage aus der Vogelperspektive umfassende Aufnahmen der Halle durchzuführen. Die Zeit der Aufnahme ist hierbei wesentlich kürzer als der konventionelle manuelle Prozess. Die Flexibilität der Drohne ist hierbei von Vorteil, da so auch Hallenbereiche überflogen werden können, die der Mensch nicht erreicht.

Der zweite Verbesserungsansatz in diesem Beitrag beschäftigt sich mit der automatisierten Auswertung der aufgenommenen Daten. Über verschiedene Algorithmen wird das digitale Fabriklayout in einzelne Objekte segmentiert und basierend darauf eine Objekterkennung durchgeführt. Dadurch wird das Layout derart aufbereitet, dass es möglich ist innerhalb des dreidimensionalen Modells Fabrikplanung, z. B. in Form einer Restrukturierung des Layouts, durchzuführen. Die Objekterkennung unterstützt den Fabrikplaner dabei Objekte innerhalb der Fabrik zu erkennen und richtig zu interpretieren.

## LITERATUR

- [Alr16] Al-Rawebdeh, A.; He, F.; Moussa, A.; El-Sheimy, N.; Habib, A.: Using an Unmanned Aerial Vehicle-Based Digital Imaging System to Derive a 3D Point Cloud for Landslide Scarp Recognition. In: Remote Sensing, 2016, 8(2), 95.
- [Gue11] Günthner, W., A.; Borrmann, A. (Hrsg.): Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen: Werkzeuge und Methoden für das Bauen des 21. Jahrhunderts. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2011, S. 50ff.
- [Gru15] Grundig, C.-G.: Fabrikplanung: Planungssystematik – Methoden – Anwendungen. Aktualisierte Aufl., Carl Hanser Verlag, München, Wien 2015, S. 11ff.
- [Jaa17] Jaakkola, A. et al.: Autonomous Collection of Forest Field Reference – The Outlook and First Step with UAV Laser Scanning. In: Remote Sensing, 2017, 9(8), 785, S. 1.
- [Lan18] Landrock, H.; Baumgärtel, A.: Die Industriedrohne – der fliegende Roboter: Professionelle Drohnen und ihre Anwendungen in der Industrie 4.0. Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2018, S. 34ff.
- [Mac17] Machill, H.; Freund, M.: Indoor- und Outdoor- Inspektionsaufgaben aus der Luft im Rahmen von Industrie 4.0. In: Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; ten Hompel, M. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 (Bd. 3). In: Springer Reference Technik. Springer-Vieweg-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2017, S. 301 – 309.
- [Mel18] Melcher, D.; Küster, B.; Stonis, M.; Overmeyer, L.: Dreidimensionale Fabrikplanung durch Drohneneinsatz. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Carl Hanser Verlag, Vol. 113, No. 5, S. 267 – 271, 2018.
- [Ste10] Steyer, B.; Overmeyer, L.: Berührungslose Oberflächenerfassung mittels PMD-Kameratechnologie im Braunkohletagebau. In: Logistics Journal: Proceedings, 2010, Vol. 06, S. 117-128.

- [Suh17] Suh, J.; Choi, Y.: Mapping hazardous mining-induced sinkhole subsidence using unmanned aerial vehicle (drone) photogrammetry. In: Environmental Earth Sciences, Springer Berlin Heidelberg, 2017, Vol. 76, No. 144, S. 4f.
- [Tom09] Tomono, M.: Robust 3D SLAM with a Stereo Camera Based on an Edge-Point ICP Algorithm. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2009, pp. 4306-4311.

---

**Dominik Melcher, M. Sc.**, Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Dominik Melcher, M. Sc. (\*1990) studierte an der Technischen Universität Braunschweig Maschinenbau. Seit April 2017 ist er am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH als Projektingenieur im Bereich Produktionsautomatisierung tätig. Im Bereich der 3D-Bildverarbeitung beschäftigt sich Herr Melcher mit dem Erfassen von Fabriklayouts mittels einer teilautonom fliegenden Drohne.

Adresse: Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH, Hollerithallee 6, 30419 Hannover, Germany, Telefon: +49 51127976223, Fax: +49 51127976888, E-Mail: [melcher@iph-hannover.de](mailto:melcher@iph-hannover.de)

**Benjamin Küster, M. Sc.**, Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Benjamin Küster, M. Sc. (\*1988) studierte an der Leibniz Universität Hannover Wirtschaftsingenieurwesen mit den Schwerpunkten Produktionstechnik und Wirtschaftsinformatik. Am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH ist er seit November 2014 als Projektingenieur im Bereich Produktionsautomatisierung tätig. In Forschungs- und Beratungsprojekten beschäftigt sich Herr Küster unter anderem mit der automatisierten Erfassung und Auswertung von 8D-Reports. Seit September 2017 ist er Abteilungsleiter der Produktionsautomatisierung.

**Dr.-Ing. Malte Stonis**, Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Dr.-Ing. Malte Stonis (\*1979) studierte Maschinenbau an der Leibniz Universität Hannover mit den Schwerpunkten Fahrzeugsysteme und Biomedizintechnik. Am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH ist er seit 2006 tätig, zunächst als Projektingenieur im Bereich Prozesstechnik sowie ab 2008 als Abteilungsleiter. 2011 promovierte er zum Thema "Mehrdirektionales Schmieden von flachen Aluminiumlangteilen". Seit September 2016 ist Malte Stonis koordinierender Geschäftsführer des IPH.

**Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer**, Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer, Jahrgang 1964, erwarb 1991 sein Diplom im Bereich Elektrotechnik an der Universität Hannover und promovierte im Jahr 1996. Im Anschluss arbeitete Herr Overmeyer in der Industrie bei der Mühlbauer AG, wo er 1998 Leiter der Forschung und Entwicklung wurde. Seit 2002 ist er Professor an der Leibniz Universität Hannover und Direktor des Instituts für Transport- und Automatisierungstechnik. Im Jahr 2007 übernahm er die Leitung des Instituts für Integrierte Produktion Hannover.