

Fabrik- und Produktionsplanung im digitalen Modell durch automatisierte Punktwolkenverarbeitung

Factory and production planning in the digital model through automated point cloud processing

*Dominik Melcher
Benjamin Küster
Malte Stonis
Ludger Overmeyer*

IPH – Institut für Integrierter Produktion Hannover gGmbH

Die strukturierte und zukunftsorientierte Planung von Fabriklayouts stellt einen wichtigen Faktor für die Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen dar. Hierbei stoßen konventionelle Planungsmethoden mit 2D-Layouts jedoch an ihre Grenzen, da sie die immer komplexer werdenden Fabrikstrukturen nicht mehr detailliert abbilden können. Alternativen dazu bieten 360° Umgebungsscanverfahren, die aktuell jedoch meist nur als Vorlage für eine Nachmodellierung dienen. In diesem Beitrag wird eine Methode vorgestellt, die eine Planung direkt in dem gescannten Fabrikabbild ermöglicht. Damit soll der Fabrikplanungsprozess effizienter und weniger fehleranfällig gestaltet werden.

[Schlüsselwörter: Fabrikplanung, Produktionsplanung, 3D-Fabriklayout, Punktwolkenverarbeitung, 3D-Fabriklayoutscan, Punktwolkensegmentierung]

Abstract: The structured and future-orientated planning of factory layouts is an important factor in maintaining the competitive ability. However, conventional planning methods with 2D Layouts reach their limits because they can no longer map the increasingly complex factory structures in detail. Alternatives are offered by 360° environmental scanning methods, which currently only serve as a template for post-modeling. This article presents a method for planning directly in the factory image. The aim is to make the factory planning process more effective and less error-prone.

[Keywords: factory planning, production planning, 3D-factory layout, point cloud processing, 3D-factory layout scan, point cloud segmentation]

1 EINLEITUNG

Durch die ständig steigende Verfügbarkeit von leistungsstarken Computersystemen steigt das Interesse an komplexen Planungsmodellen, die eine effizientere und zuverlässigere Planung ermöglichen. In der produzierenden

Industrie spielt dies im Bereich Fabrikplanung eine große Rolle. Eine Studie von TOMPKINS ET AL. zeigt, dass durch ein gut geplantes Fabriklayout die Betriebskosten um bis zu 50% reduziert werden können [Tom03]. Aktuell werden Fabrikplanungsprojekte vor allem bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zumeist in 2D-Layouts bearbeitet. Mit steigender Komplexität und der Forderung nach höherer Effizienz sind diese 2D-Layouts nicht mehr ausreichend. Die Erstellung von 3D-Layouts für die Fabrikplanung ist aktuell noch mit hohem Aufwand verbunden, da eine händische Nachmodellierung der Fabrik notwendig ist. Vor allem bei Unternehmen, die keine dreidimensionalen Modelle ihrer Fabrikobjekte besitzen (z. B. CAD-Modelle von Maschinen) ist die Erstellung eines exakten 3D-Fabriklayouts sehr aufwendig. Aus diesem Grund werden umfassende Fabrikplanungsprojekte besonders von KMU nicht oder nur teilweise durchgeführt. Eine Teillösung für diese Problemstellung liefern 360°-Laserscanner [Gue11]. Mit dieser Technik ist es möglich in kurzer Zeit ein dreidimensionales Abbild einer Fabrik zu erstellen. Das Ergebnis ist eine hochdetaillierte, dreidimensionale Punktwolke. Diese Technik stellt deshalb nur eine Teillösung dar, da es nur eingeschränkt möglich ist in diesen Punktwolken Fabrikplanung zu betreiben. Verschiedene Ansätze nutzen den Scan als Grundlage, um daraus ein nachmodelliertes 3D-Fabriklayout zu erstellen [Gue11]. Das bedeutet, der Aufwand für das Nachmodellieren bleibt weiterhin bestehen, es ist jetzt nur möglich die reale Fabrik von einem Computer aus zu betrachten. Aus diesem Grund soll in diesem Beitrag eine Methode vorgestellt werden, die es ermöglicht, direkt in der dreidimensionalen Punktwolke die Fabrik zu planen und somit den Aufwand im Fabrikplanungsprozess zu reduzieren. Weiterhin zeigt dieser Beitrag eine Methode auf, mit der es möglich ist, die Bodenflächen eines Fabriklayouts automatisiert zu analysieren und daraus die Breite von Transportflächen zu berechnen. Dies soll den Fabrikplaner dabei unterstützen frühzeitig transportrelevante Routen in dem Fabriklayout zu erkennen und bei der Planung zu berücksichtigen.

2 FABRIKPLANUNG DURCH PUNKTWOLKENSEGMENTIERUNG

Detailgetreue dreidimensionale Modelle in Form von Punktwolken werden bereits in verschiedenen Bereichen zur Verbesserung von Prozessen eingesetzt. Ein Beispiel hierfür ist Virtual Reality (VR), die es ermöglicht, Umgebungen virtuell zu betrachten, ohne physisch anwesend zu sein. Dieser Ansatz wird bereits im Rahmen der Fabrikplanung eingesetzt, um das Fabriklayout dreidimensional zu modellieren. In der virtuellen Umgebung können bspw. Messungen durchgeführt oder Objekte importiert werden. Soll darüber hinaus Fabrikplanung, z. B. in Form von einer Restrukturierung, angewendet werden, ist es notwendig Zusammenhänge in der Punktwolke zu definieren, die das Gesamtmodell segmentieren. Das bedeutet, Objekte in dem Fabriklayout müssen einzeln anwählbar und positionierbar sein, ohne dass sich die Geometrie des jeweiligen Objekts verändert.

Die grundlegende Punktwolke aus einem Umgebungscan enthält Informationen über die räumliche Lage der gemessenen Punkte und (je nach Scanverfahren) Farbinformationen. Die einzelnen Punkte besitzen jedoch keine Informationen darüber welchem Objekt sie zuzuordnen sind. Das bedeutet die Punktwolke muss derart aufgearbeitet werden, dass jeder Punkt zusätzlich zu seiner Positionsinformation ein Attribut enthält, das seine Zugehörigkeit widerspiegelt. Die Attribute werden in dieser Arbeit als Label bezeichnet. Jedes Objekt im Fabriklayout bekommt ein eigenes Label. Bei den Punkten in der Punktwolke wird dies über die Zuordnung einer Zahl zu den Punktinformationen gelöst. Punkte, die der gleichen Zahl zugeordnet sind, gehören zu einem Label und damit zu demselben Objekt. Die Label ermöglichen ein differenziertes Betrachten der verschiedenen Objekte in einem Fabriklayout. Während der Erstellung der Label wird auch die Geometrie der verschiedenen Objekte festgehalten. Somit behalten Objekte auch bei einer Neuorientierung im Fabriklayout konsistent ihre Originalgeometrie.

Für die Segmentierung von Punktwolken gibt es bereits verschiedene Ansätze. LALONDE ET AL. zeigen bspw. einen Ansatz wie aus einer Geländepunktwolke Baum- und Bodenelemente automatisiert extrahiert und segmentiert werden [Lal06]. Als Grundlage werden hier geometrische Eigenschaften wie z. B. Rundheit eines Baumstammes oder Höhenwerte für die Bodenbestimmung genutzt. In dem vorliegenden Beitrag werden die Ansätze von DOUILLARD ET AL. und VOSSELMAN ET AL. aufgegriffen [Dou11, Vos14]. Für eine Punktwolkensegmentierung wird hier das Gesamtmodell in ein Voxel-Modell überführt. Voxel beschreiben volumenbehafte Pixel. Weiterhin wird der Ansatz von RABBANI ET AL. auf die Fabrikplanungsanwendung übertragen [Rab14]. Sie zeigen, dass eine Segmentierung mit dem region growing-Verfahren und der Auswertung von Flächennormalen möglich ist. Von ZHAN ET AL. wird eine Segmentierung auf Basis der RGB-Werte

der Punkte vorgestellt [Zah09]. Der Nachteil dieses Verfahrens ist, dass nicht jedes Scanverfahren RGB-Werte liefert. Im Baustellenbereich oder für Gebäudesegmentierung zeigen JOCHEM ET AL., RIVEIRO ET AL. und JUNG ET AL. Verfahren, die die Segmentierung einer Punktwolke auf Basis von Flächenmerkmalen ermöglichen [Joc11, Riv16, Jun17].

Die Verarbeitung der Punktwolke in dieser Arbeit geschieht über das Programmierungstool Matlab. Für die dreidimensionale Fabrikplanung gibt es bereits verschiedene Softwaretools, die über umfassende Funktionalitäten verfügen. Die vorgestellte Lösung soll keine weitere Alternativsoftware darstellen, sondern als Vorbereitungsschritt für die Verwendung von vorhandenen Planungstools dienen. Aus diesem Grund werden die Daten nach der Verarbeitung in gängige CAD-Formate übertragen, wie bspw. .stl, die ein Exportieren der Daten in andere Planungstools zulassen. Eine Übersicht über das Segmentierungskonzept mit den einzelnen Teilschritten gibt Bild 1.

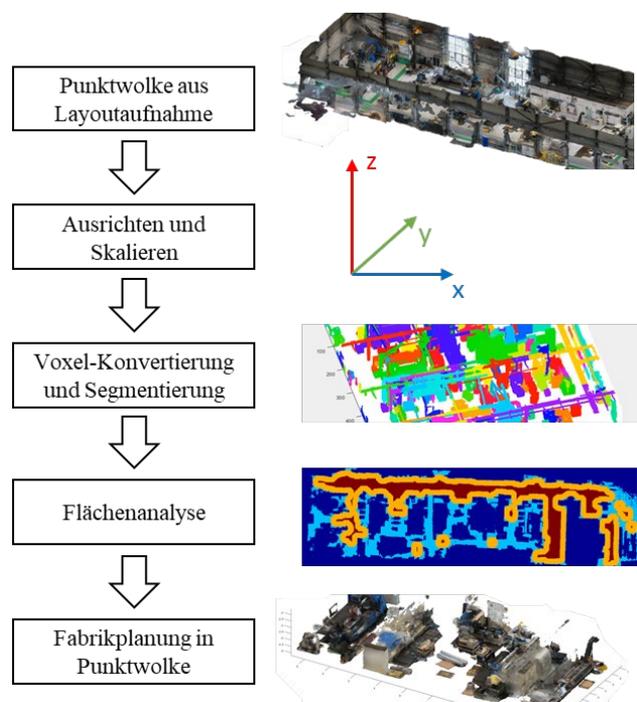


Bild 1: Verarbeitungskonzept der Punktwolke

3 SEGMENTIERUNGSKONZEPT

Eine Fabrikplanung im aufgenommenen Modell ist nur möglich, wenn das aufgenommene Modell aufbereitet wird. Das Ziel dabei ist eine vollautomatisierte Aufbereitung. Die Planung einer Fabrik ist beliebig komplex und kann sich auf verschiedene Bereiche beziehen. Aus diesem Grund wird die Aufbereitung der aufgenommenen Layouts in diesem Lösungsansatz auf die folgenden Einsatzzwecke eingegrenzt:

- Messen von Strecken, Flächen und Volumina in dem dreidimensionalen Modell
- Importieren und Exportieren von Objekten in und aus dem Fabriklayout
- Neuordnen vorhandener und importierter Strukturen
- Löschen von Strukturen in dem Fabriklayout
- Extrahieren des Bodenbereiches für die Analyse und Planung von Wegen und Flächen
- Erstellung von verschiedenen Layern, die individuell ein- oder ausgeblendet werden können.

Wie auf Bild 1 abgebildet, besteht die Datenaufbereitung der Punktwolke aus verschiedenen Teilschritten. Die Ausgangssituation stellt eine vermaschte Punktwolke des Fabriklayouts dar. Die Vermaschung ist deshalb wichtig, weil sie den Transfer in CAD-Programme und die Verwendung der Daten erleichtert. Der erste Schritt zur Datenaufbereitung ist die Ausrichtung des Modells. Abhängig von der Scanmethode kann es sein, dass die Elemente schief im Raum liegen. Die Ausrichtung spielt vor allem für den Import und Export eine wichtige Rolle. Als Referenz für die Ausrichtung wird der Boden gewählt. Hierfür werden die Flächennormalen aller Flächen in dem Mesh berechnet und in einem Histogramm eingetragen. Mit der Annahme, dass der Großteil der Flächen zum Boden gehört und damit der größte Teil aller Flächennormalen im rechten Winkel zur Decke zeigt, kann daraus das Modell nach dem Boden ausgerichtet werden. Die Ausrichtung der weiteren Ebenen geschieht in Analogie relativ zu den Außenwänden. Sollten in dem Layoutscan keine Außenwände vorhanden sein, die als Referenz genutzt werden können, ist eine manuelle Ausrichtung notwendig.

An die Ausrichtung schließt sich die Skalierung an. Diese ist nicht bei jedem Modell notwendig, da bspw. 360°-Laserscanner bereits skalierte Modelle liefern. Für die Skalierung werden mehrere Referenzmaße im Layout gewählt, von denen die realen Abmaße bekannt sind. Das Verhältnis zwischen Modellmaß und Realmaß wird für alle Stellen gemittelt und anschließend das Modell mit dem Verhältnis skaliert. Nach diesem Berechnungsschritt ist es möglich Messungen in dem Modell durchzuführen.

Um aus dem aufgenommenen Modell weitere Planungsmöglichkeiten, wie z. B. das Verschieben von Objekten, ermöglichen zu können, ist es notwendig das Gesamtmodell zu unterteilen. Die Unterteilung segmentiert das Modell in kleinere zusammengehörende Bereiche. Das bedeutet den Punkten in der aufgenommenen Punktwolke wird neben der Position und den Farbinformationen ein Label hinzugefügt. Punkte, die zu demselben Objekt gehören,

bekommen dasselbe Label und werden so miteinander verknüpft. Somit ist es möglich durch Anwählen eines Punktes das gesamte Objekt, zu dem der Punkt gehört, auszuwählen. Weiterhin ermöglicht dies das Umorientieren des Objektes in der Gesamtpunktwolke.

Die Segmentierung der Punktwolke basiert darauf, alleinstehende Objekte zu labeln. In dem Ausgangsmodell sind alle Objekte über den Boden miteinander verbunden. Aus diesem Grund werden im nächsten Schritt die Punkte in der Punktwolke identifiziert, die zum Boden gehören und anschließend mit einem Label versehen. Für die Erkennung des Bodens werden die Höhenwerte aller Punkte in ein Histogramm übertragen. Mit der Annahme, dass der am häufigsten auftretende Höhenwert dem Boden der Fabrik entspricht, befinden sich die Punkte des Bodens bei dem Maximum des Histogramms. Alle Punkte in dem Maximum des Histogramms werden mit einem Label versehen und aus der Punktwolke extrahiert. Dadurch entsteht eine neue Fabriklayoutdarstellung, die nur noch die Objekte innerhalb der Fabrik enthält. Ein Beispiel für die Segmentierung des Bodens zeigt Bild 2.

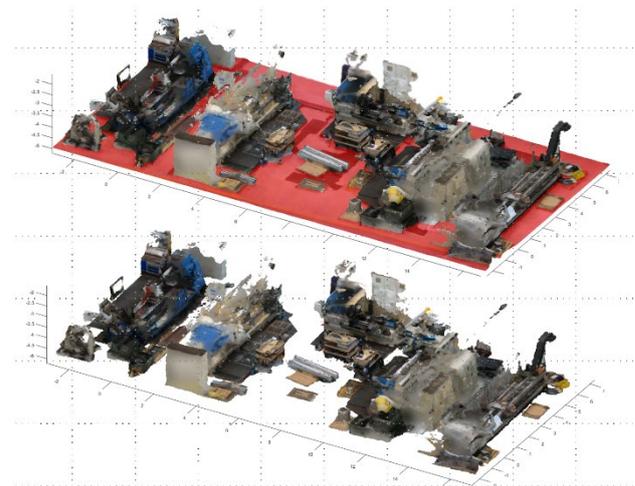


Bild 2: Bodensegmentierung

Für die weitere Unterteilung des Modells wird aus der Punktwolke ein Voxel-Modell erstellt. Das Voxel-Modell unterteilt das aufgenommene Modell in gleichmäßige Volumenquader. Der Vorteil dieser Darstellungsform ist die strukturierte Einordnung des Modells in einer Matrix. In der Matrix ist es möglich über Nachbarschaftsbeziehungen einzelne Voxellemente zu analysieren und Verbindungen zu weiteren Voxellementen zu bestimmen. Für die Voxel-darstellung wird für jeden Volumenquader geprüft, ob Punkte in dem Quader liegen oder der Volumenquader frei ist. Sollten Punkte in dem Quader liegen, wird er als „besetzt“ markiert. Sollten keine Punkte in dem Quader liegen, wird er als „frei“ markiert. Hierbei spielt es keine Rolle wie viele Punkte in einem Quader liegen. Sobald ein Punkt in einem Quader liegt, gilt er als besetztes Feld. Durch diese Aufteilung entsteht eine dreidimensionale Matrix, die je-

dem Volumenbereich in dem aufgenommenen Modell zugeordnet, ob sich ein Objekt dort befindet oder dort ein Leerraum ist.

Ein Beispiel für ein Voxel-Modell ist in Bild 3 dargestellt. Innerhalb der Voxel-Matrix wird der region growing-Algorithmus eingesetzt. Dieser sucht sich willkürlich einen Quader in der Matrix, der besetzt ist und prüft, ob in seiner direkten Umgebung weitere Quader besetzt sind. Sollte in der direkten Umgebung ein weiterer besetzter Quader sein, bekommen beide ein gemeinsames Label und gehören zusammen. Dieses Verfahren wird solange weitergeführt, bis um alle zusammengehörenden Quader nur noch freie Quader sind. Anschließend sucht sich der Algorithmus einen neuen besetzten Quader, der noch kein Label besitzt und sucht wieder in der direkten Umgebung nach besetzten Quadern. Der Algorithmus wird so lange weitergeführt, bis alle besetzten Quader ein Label besitzen. Jedes Label zeigt jetzt ein alleinstehendes Objekt an. Somit können automatisiert alleinstehende Objekte in einem Fabriklayout voneinander segmentiert werden.



Bild 3: Voxeldarstellung

Die Verwendung des region growing-Algorithmus ist dann sinnvoll, wenn die Maschinen und Anlagen in einem Fabriklayout physisch voneinander getrennt sind und keine Verbindung zueinander besitzen. Dies ist jedoch nicht immer der Fall, da verschiedene Anlagen bspw. über Absaugrohre oder Druckluftleitungen miteinander verbunden sein können. In diesem Fall würde die Verbindung dazu führen, dass der gesamte Anlagenkomplex ein Label bekommt. Da hiermit die Planung der Fabrik und das Verändern des Fabriklayouts nicht möglich ist, wird für diese Fälle ein watershed-Algorithmus nach dem region growing-Verfahren verwendet. Der watershed-Algorithmus erzeugt ein Wachstum aller besetzten Quader vom Boden aus. Er beginnt bei der untersten Schicht an Quadern und erzeugt anhand dieser Schicht Label für alle Regionen, die den Boden berühren. Anschließend wird für die Schicht darüber geprüft, welche Quader mit welchen zusammenhängen (eine direkte Nachbarschaft bilden). Dieses Verfahren wird immer weitergeführt, bis es irgendwann dazu kommt, dass verschiedene Label (z. B. an Rohrleitungen) aufeinander treffen. Hier wird dann eine Grenze definiert, sodass die Einzelobjekte vom Boden voneinander separiert sind. Mit dieser Lösung ist es möglich trotz physischer Verbindung zwischen zwei Objekten diese voneinander zu trennen und für Fabrikplanungskonzepte zu verwenden. Ein Beispiel

für die Segmentierung mit und ohne watershed ist in Bild 4 dargestellt.

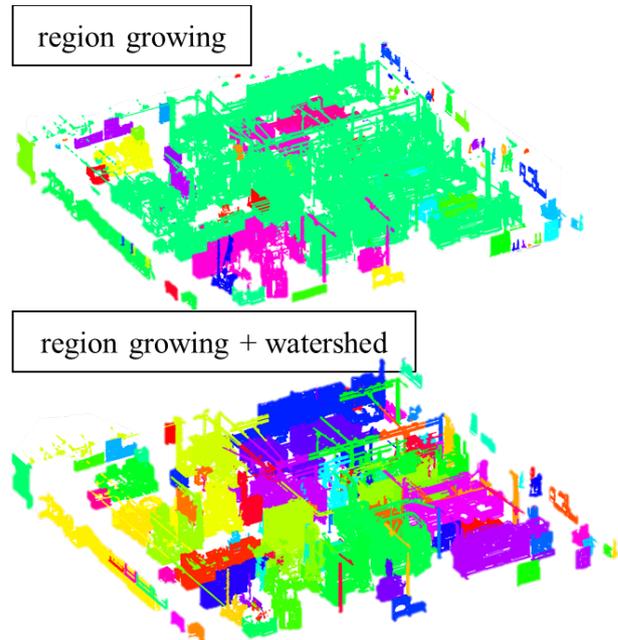


Bild 4: Oben: Segmentierung mit region growing, unten: Segmentierung mit region growing und watershed

Durch die Segmentierung entstehen aus einer Gesamtpunktwolke verschiedene Objektpunktwolken, die unabhängig voneinander sind und individuell bearbeitet werden können. Dadurch wird beispielsweise das Löschen von Objekten in dem dreidimensionalen Layout ermöglicht. Für den Fabrikplanungsprozess können so realitätsgetreue Alternativlayouts erstellt und miteinander verglichen werden. Für die Planung können in das Modell auch CAD-Daten eingeladen und beliebig ausgerichtet werden.

4 ANALYSE VON BODENFLÄCHEN

Da Transporte innerhalb von Fabrikhallen zu großen Teilen über den Boden geschehen, spielt bei der Fabrikplanung das Bodenlayout eine wichtige Rolle. Über den Ansatz in dieser Arbeit kann das Bodenlayout von den Objekten innerhalb der Fabrikhalle separiert und einzeln dargestellt werden. Darüber hinaus wird ein Konzept vorgestellt, das die Wegbreiten des Bodenlayouts analysiert und den Fabrikplaner dabei unterstützen soll, die Ist-Situation in dem Fabriklayout richtig zu interpretieren.

Für die Analyse des Bodenlayouts wird der kürzeste Abstand jedes Bodenpunktes zu einem Hindernis berechnet. Daraus ergibt sich eine Abstandskarte für das Bodenlayout. Wird dann vorgegeben, wie breit bspw. ein Transportfahrzeug ist, kann berechnet werden, wo sich das Fahrzeug im Layout bewegen kann. Analog ist dies mit Gehwegen für Menschen möglich. Die Breite der Wege kann z. B. aus den Technischen Regeln für Arbeitsstätten

(ASR A1.8) bezogen werden, die Richtlinien für Breiten von Verkehrswegen vorgibt.

Die obere Darstellung von Bild 5 zeigt eine vereinfachte Darstellung für die Analyse der Wegbreiten. Mit dunkelblau sind Hindernisse gekennzeichnet. Die hellblauen Bereiche stellen die Bodenflächen dar. Unten auf Bild 5 wurde die Wegbreitenberechnung durchgeführt mit einer Wegbreitenvorgabe von 0,875 m. Die rot markierten Flächen sind die Flächen, die mit einem Fahrzeug mit einer Breite von 0,875 m Breite befahren werden können. Die orangenen Bereiche stellen Randbereich dar, die 0,3 m außerhalb des eigentlich erreichbaren Wegbereichs liegen. Diese Flächen sind von einem Werker noch erreichbar, können aber nicht befahren werden.

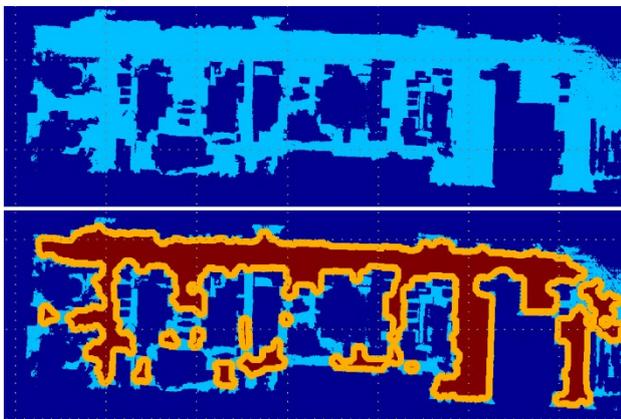


Bild 5: Wegbreitenanalyse, oben Bodenlayout Fabrikhalle, unten Wegbreitenberechnung für Bodenflächen

Die Bodenanalyse kann zu jedem Zeitpunkt der Fabrikplanung verwendet werden, um zu prüfen, ob alle relevanten Bereiche von den geplanten Transporteinheiten erreichbar sind. Weiterhin ist es möglich, die Wegbreitenanalyse für die Planung von Lagerplätzen oder Zwischenlagern zu nutzen.

5 FAZIT UND AUSBLICK

Mithilfe des vorgestellten Ansatzes ist es möglich das Fabriklayout in der dreidimensionalen Punktwolke zu planen. Es lassen sich in kurzer Zeit realitätsgetreue Layoutvarianten bilden und vergleichen. Weiterhin können CAD-Modelle in das Layout importiert werden, um den Einbau von neuen Fabrikobjekten zu prüfen und zu planen. Durch die Verwendung von konventionellen Punktwolkenformaten ist es möglich, die segmentierten Punktwolken in Fabrikplanungstools zu exportieren, um die umfassenden Funktionalitäten der Tools zu nutzen. Die Qualität der Segmentierung hängt von der Punktwolkenqualität ab. Bei schlechter Punktwolkenqualität und keiner klaren Abgrenzung zwischen den einzelnen Objekten in der Fabrik kann die Segmentierung nur grob ausgeführt werden. Weiterhin ist es mit dem Ansatz nicht möglich nah beieinanderste-

hende Objekte zu trennen, da der Algorithmus eine physische Trennung zwischen zwei Objekten benötigt. Hier soll in Zukunft ein kombinierter Ansatz gewählt werden, der eine Trennung mithilfe von RGB-Werten einschließt. Aufgrund der hohen Vielfältigkeit an Fabriklayouts ist in einigen Fällen ein manuelles Nacharbeiten bei der Segmentierung notwendig. Dies hängt u. a. davon ab, welches Ziel die Planung der Fabrik verfolgt und auf welcher Detailebene geplant wird. Ein weiterer Ansatz zur Verbesserung der Segmentierung ist die Analyse von Objektgeometrien. Hierzu sind bereits Ansätze vorhanden, die z. B. Rohrleitungen in Punktwolken erkennen und extrahieren. In Kombination mit den gezeigten Algorithmen könnte eine bedarfsbezogene Segmentierung durchgeführt werden, die auf die geometrischen Verhältnisse des Fabriklayouts anpassbar ist.

Die Analyse der Flächen stellt eine Unterstützung bei der Planung und Interpretation von Fabriklayoutplänen dar. Das aktuelle Konzept ist frei konfigurierbar und kann auf jegliche Breiten angewendet werden. Aktuell ist die Berechnung nur auf die Bodenebene beschränkt. In Zukunft soll eine dreidimensionale Transportwegprüfung möglich sein, die potenzielle Hindernisse oberhalb des Bodens mit einschließt.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Beitrag beschreibt eine Methode wie ein Fabriklayout direkt in der dreidimensionalen Fabriklayoutpunktwolke geplant werden kann. Das Kernelement stellt die Segmentierung der Punktwolke dar. Hiermit ist es möglich die verschiedenen Objekte und Flächen in einem Fabriklayout zu vereinzeln und individuell zu bearbeiten. Für die Segmentierung wird die Fabriklayoutpunktwolke in eine Voxel-Darstellung umgewandelt und anhand von Flächennormalen orientiert. Über eine Bodenerkennung mittels Histogramm wird die Bodenfläche von der Layoutpunktwolke extrahiert. Darauf folgt die Segmentierung mittels region growing-Algorithmus. Bei stark verzweigten Fabriklayoutmodellen ist die Erweiterung durch den watershed-Algorithmus möglich. Durch die Segmentierung werden alle Objekte mit einem unterschiedlichen Label versehen. Damit sind sie individuell bearbeitbar, können neu positioniert, exportiert oder ausgeblendet werden. Weiterhin ist der Import von CAD-Daten in das Fabriklayout möglich. Darüber hinaus wird in diesem Beitrag ein Ansatz vorgestellt, der über eine Wegbreitenanalyse den Fabrikplanungsprozess unterstützt. Durch die Visualisierung potenzieller Transportwege, bei vorgegebenen Breiten für die Transportfahrzeuge oder -güter, kann kontinuierlich die Erreichbarkeit zu Be- und Entladepositionen geprüft werden.

LITERATUR

- [Dou11] Douillard, B.; Underwood, J.; Kuntz, N.; Vlaskine, V.; Quadros, A.; Morton, P.; Frenkel, A.: On the segmentation of 3D LIDAR point clouds. In: 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2011, S. 2798-2805.
- [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.
- [Joc11] Jochem, A.; Höfle, B.; Wichmann, V.; Rutzinger, M.; Zipf, A.: Area-wide roof plane segmentation in airborne LiDAR point clouds. In: Computers, Environment and Urban Systems, 2012, 36. Jg., Nr. 1, S. 54-64.
- [Jun17] Jung, J.; Stachniss, C.; Kim, C.: Automatic room segmentation of 3D laser data using morphological processing. In: ISPRS International Journal of Geo-Information, 2017, 6. Jg., Nr. 7, S. 206.
- [Lal06] Lalonde, J. F.; Vandapel, N.; Hebert, M.: Automatic three-dimensional point cloud processing for forest inventory. 2006.
- [Rab14] Rabbani, T.; Van Den Heuvel, F. A.; Vosselman, G.: Segmentation of point clouds using smoothness constraint. In: ISPRS International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2006, 36. Jg., S. 248-253.
- [Riv16] Riveiro, B.; Dejong, M. J.; Conde, B.: Automated processing of large point clouds for structural health monitoring of masonry arch bridges. In: Automation in Construction, 2016, 72. Jg., S. 258-268.
- [Tom03] Tompkins, J. A.; White, J. A.; Bozer, Y. A.; Tanchoco, J. M. A.: Facilities planning. John Wiley & Sons, 2010.
- [Vos14] Vosselman, G.; Gorte, B. G.; Sithole, G.; Rabbani, T.: Recognising structure in laser scanner point clouds. In: International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 2004, 46. Jg.; Nr. 8, S. 33-38.
- [Zah09] Zhan, Q.; Liang, Y.; Xiao, Y.: Color-based segmentation of point clouds. In: Laser scanning, 2009, 38. Jg., Nr. 3, S. 155-161.

Dominik Melcher, M. Sc., Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Dominik Melcher, M. Sc. (*1990) studied mechanical engineering at the Technischen Universität Braunschweig. Since April 2017 he works as a project engineer at the IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH in the department of production automation. The focus of his work is the 3D image processing and the capturing of factory layouts with half automated drones.

Address: Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH, Hollerithallee 6, 30419 Hannover, Germany, Phone: +49 51127976223, Fax: +49 51127976888, E-Mail: melcher@iph-hannover.de

Benjamin Küster, M. Sc., Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Benjamin Küster, M. Sc. (*1988) studied industrial engineering at the Leibniz Universität Hannover. Since November 2014 he works as a project engineer at the IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH in the department of production automation. His working area is about the automated capturing and analysis of 8D reports. Since September 2017 Benjamin Küster is leader of the department of production automation.

Dr.-Ing. Malte Stonis, Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Dr.-Ing. Malte Stonis (*1979) studied mechanical engineering at the Leibniz Universität Hannover with a focus on vehicle systems and biomedical engineering. He has been working at IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH since 2006, initially as a project engineer in the field of process technology and from 2008 as head of department. In 2011, he received his doctorate with a thesis on "Multidirectional forging of flat aluminium parts". Since September 2016 Malte Stonis is coordinating managing director of the IPH.

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer, Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Professor Overmeyer obtained his diploma (“Dipl.-Ing.”) in electrical engineering from Hannover University in 1991, and a PhD degree (“Dr.-Ing.”) in laser engineering process control from Hannover University in 1996. From 1991, he worked as research assistant at Laser Zentrum Hannover (LZH) and became head of the department “Machines and Control” in 1994. In 1997, Professor Overmeyer began as project manager in the industry within the department of research and development at Mühlbauer AG, where he became head of research and development in 1998. Since 2002, he is full professor for transport and automation technology at Leibniz University Hannover and director of the Institute for Transport and Automation Technology, Leibniz University Hannover. And managing director of Laser Zentrum Hannover e.V. since 2013.