

Regelgeometriebasiertes Ist-Modell für den Innenausbau von Megayachten¹

Standard Geometric Based Actual Model for Interior Construction

Martin Meister, Fabian Gierschner, Michael Geist, Lisa Knaack

Der folgende Beitrag beschreibt eine am Fraunhofer Anwendungszentrum für Großstrukturen in der Produktionstechnik (AGP) in Rostock entwickelte Methode für die Rekonstruktion von Schiffsinnenräumen aus Punktwolken unter Berücksichtigung der zugehörigen Konstruktionsdaten. Diese Methode wurde für die Bearbeitung von großen Datenmengen entwickelt. Sie ist auf den Schiffbau angepasst, da hier in der Regel große, ebene Bereiche und andere Regelgeometrien existieren. Ziel ist es, ein Werkzeug für den Innenausbau zu entwickeln, mit dem der Ist-Zustand schnell und effizient erfasst und automatisch ausgewertet werden kann.

Schlüsselwörter: Rekonstruktion, Punktwolke, CAD

The following article describes a method for the reconstruction of ship interior spaces from point cloud data, taking into account the associated design data, which was developed at the Fraunhofer Applications Centre for Large Structures in Production Engineering (AGP) in Rostock. This method has been developed for processing large amounts of data. It has been adapted to shipbuilding, because usually there are large flat areas and other standard geometrics. The aim is to develop a tool for interior construction, which can detect the actual condition quickly and efficiently as well as analyse it automatically.

Keywords: Reconstruction, point cloud, CAD

1 PROBLEMSTELLUNG

Im Schiffbau und vor allem bei Megayachten (*Abb. 1*), muss der Großteil der Fertigungskapazitäten für den Innenausbau aufgewendet werden. Infolge der zeitlichen Ablaufplanung und des daraus entstehenden Zeitdrucks erfolgt eine Vorbereitung bzw. Vorfertigung der Ausrüstung und Anbauteile, die anhand der Soll-Daten geplant werden. Dabei kann es passieren, dass aufgrund von unterschiedlichen Toleranzanforderungen in der Schiffsfertigung /VSM 2003/ und im Innenausbau viele Anpassungs- und Nacharbeiten während der jeweiligen Bauphasen erfolgen müssen. Um diese Arbeiten möglichst gering zu halten – und als Grundlage für die geometrische Gestaltung, Fertigung und Montage der Ausrüstung –, werden die Ist-Aufmaße benötigt. Die Innenausbauer sind

aktuell gezwungen, aufwendig eigene Aufmaße aufzunehmen und daraus Konstruktionsmodelle abzuleiten, die den Ist-Zustand zu Beginn der Ausrüstung darstellen. Dies führt aufgrund von unterschiedlichen Bezügen, Messmethoden und Auswertungsstrategien zu Fehlern und redundanten Arbeiten. Die einzelnen Gewerke der Werft bzw. deren Unterauftragnehmer erstellen dabei ihre aufgabenbezogenen Aufmaße größtenteils mit Tachymetern oder händischen Messmitteln. *Abb. 2* (oben) zeigt das erstellte Aufmaß mit einem Tachymeter. Eine solche Messung und Auswertung kann mehrere Tage in Anspruch nehmen. Während dieser Zeit sind diese Bereiche für andere Gewerke blockiert. Hinzu kommt, dass aufgrund der Komplexität der vorhandenen Strukturen die Gefahr

¹ Überarbeiteter und erweiterter Beitrag der Oldenburger 3D-Tage 2016



Abb. 1 | Megayacht und Innenraum /Lürssen 2016/

einer ungenügenden Erfassung von relevanten Strukturen für die Kollisionskontrollen erfolgt.

Ziel ist es, ein Ist-Modell mit hohem Detaillierungsgrad möglichst schnell zu erstellen, um den Anteil der Nacharbeiten zu verringern, den Vorfertigungsgrad zu erhöhen und somit die Durchlaufzeiten zu mindern. Als Messmittel bieten sich dafür Laserscanner an, die eine schnelle, umfassende und flächenhafte geometrische Erfassung von Objekten ermöglichen (Abb. 2 unten). Teilweise kommen sie bereits zum Einsatz, spielen aber derzeit noch immer eine untergeordnete Rolle, weil sie zum einen sehr große Datenmengen produzieren (über eine Milliarde Punkte für ein Deck) und zum anderen die

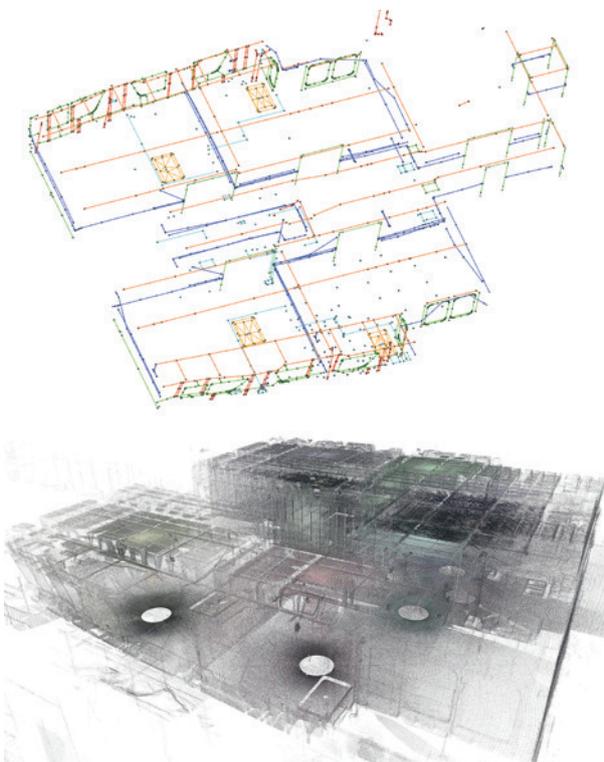


Abb. 2 | Aufnahme mit Tachymeter (oben) und Laserscanner (unten)

manuelle Datenauswertung sehr aufwendig ist. Dabei kann das Verhältnis für den Zeitaufwand von Digitalisierung zu Auswertung zwischen 1:5 bis 1:30 liegen /Marbs et al. 2010/.

Für eine Reduzierung des Auswerteaufwands müssen Automatismen entwickelt werden, die eine 3D-Objektrekonstruktion ermöglichen. Dazu wird aus den Messdaten ein CAD-Modell erstellt, da Punktwolken bzw. Polygonmodelle nicht als Konstruktionsgrundlage geeignet sind. Dabei kann zwischen datengetriebenen („bottom-up“) und modellgetriebenen („top-down“) Modellierungsansätze unterschieden werden /Becker 2011/. Beim datenbasierten Ansatz werden direkt aus den erfassten Daten einfache Grundelemente wie Kanten oder Flächen extrahiert. Diese werden dann schrittweise zu komplexeren Strukturen zusammengeführt. Dieser Prozess kann durch die Einbindung geometrischer Bedingungen stabilisiert werden. Im Gegensatz dazu

steht der modellbasierte Ansatz, dessen Ziel es ist, durch die Zerlegung eines gegebenen Modells Einblick in dessen Subkomponenten zu erlangen und somit die notwendigen Informationen zur Rekonstruktion zu erhalten. Dieses A-priori-Wissen, z.B. aus Konstruktionsdaten, kann für den Rekonstruktionsprozess genutzt werden. Dabei müssen die Modelle bzw. deren Subkomponenten bezüglich ihrer Parameter optimal an die beobachteten Daten angepasst werden. Das Objekt wird somit über die Zerlegung in seine Grundbestandteile modelliert, wobei jedes dieser Basiselemente eine semantische Bedeutung impliziert. Sowohl Bottom-up- als auch Top-down-Ansätze werden bereits seit vielen Jahren erfolgreich für die Gebäuderekonstruktion aus luftgestützt erfassten Daten eingesetzt /Brenner 2005, 2010/, /Baillard & Zisserman 1999/, /Fischer et al. 1998/. Dabei haben beide Verfahren, einzeln für sich betrachtet, Nachteile (Tab. 1), die nur mit hohem Aufwand ausgeglichen werden können. Die Abhängigkeit von der Datenqualität ist dabei ein generelles Problem des datengetriebenen Verfahrens. Da direkt aus den Messdaten Modelle abgeleitet werden, wirken sich fehlerhafte bzw. unvollständige Daten direkt auf die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Modellierung aus. Eine automatische Überprüfung der Messdaten würde komplexe und zeitaufwendige Plausibilitätsprüfungen beinhalten. Außerdem können allein aus den Beobachtungsdaten keine Metainformationen wie Material, Baugruppe oder Nomenklatur erstellt werden. In dieser Hinsicht sind modellbasierte Verfahren robuster, da sie aufgrund von Wissen über Form und Anordnung der Objektstruktur die Datenunsicherheit kompensieren

Modellgetrieben	Datengetrieben
Rekonstruktion nur von modellierten Daten	Datenlücken beeinflussen die Modellierung
Aufwendiges Zuordnen von CAD- und Messdaten	Aufwendige Konstruktion von Nicht-Regelgeometrien
Aufwendiges Aufteilen von Baugruppen	Keine Bereitstellung semantischer Informationen

Tab. 1 | Nachteile der datengetriebenen und modellgetriebenen Objektrekonstruktion

können. Ein offensichtlicher Nachteil bei den modellgetriebenen Verfahren besteht darin, dass nur die Rekonstruktion von bekannten Modellen möglich ist. Außerdem birgt das automatische Zuordnen von Messdaten und Konstruktionsmodellen ein großes Fehlerpotenzial.

Schon die Arbeiten von /Marbs et al. 2010/, /Truong et al. 2010/ und /Truong et al. 2013/ basieren darauf, Wissen über die zu vermessenden Objekte in die Analyse einfließen zu lassen, damit ein robustes, flexibles und adaptives Verfahren für die Detektion von Objekten in Punktwolken entwickelt werden kann. In dem hier vorgestellten Projekt werden aus diesem Grund der daten- und modellgetriebene Ansatz kombiniert, um so die jeweiligen Nachteile weitestgehend zu kompensieren. Dabei wird das Wissen für die Analyse der Punktwolke ausschließlich aus den Konstruktionsdaten bezogen.

Als Grundlage für die Kombination beider Verfahren muss ein einheitliches Bezugssystem existieren. Im Schiffbau bietet sich das Schiffskordinatensystem (SKS) an. Für die Ausrichtung der Scans zueinander werden bereits teilautomatisierte Lösungen von der Laserscansoftware angeboten. Um anschließend die Punktwolke im SKS zu registrieren, wurden bereits bei der Konstruktionsphase des Schiffs Markerpositionen angelegt, die während der Fertigung eingearbeitet werden. Somit existiert eine gute Vorausrichtung, die die endgültige Zuordnung der Subkomponenten zu den Messdaten beschleunigt und vereinfacht. Die Modellierung von Regelgeometrien aus den Messdaten verringert dabei im ersten Schritt den Speicherbedarf im Verhältnis von 1:800; so werden aus mehreren Gigabyte Messdaten wenige Megabyte. Somit ist es z. B. möglich, die semantischen Informationen aus den Konstruktionsdaten zu nutzen und diese bei der Modellierung des Ist-Zustands zu integrieren. Außerdem ermöglicht die Kombination beider Verfahren, Elemente zu modellieren, die nicht konstruiert wurden. Kleinere Datenlücken können mithilfe der Modelldaten überprüft und plausibilisiert werden.

2 MODELLIERUNGSANSÄTZE UND -GRUNDLAGEN

Der Modellierungsprozess wird in die Teilschritte Vorverarbeitung, Segmentierung/Klassifizierung, die eigentliche Objektrekonstruktion und die anschließende Erstellung eines CAD-Modells aufgeteilt. Diese Schritte lassen sich generell bei der Verarbeitung von Punktwolken wiedererkennen. Das Schema (Abb. 3) beschreibt den Ablaufplan der Modellierung. Ausgehend von einer ausgerichteten und registrierten Punktwolke beginnt im ersten Schritt der Vor-

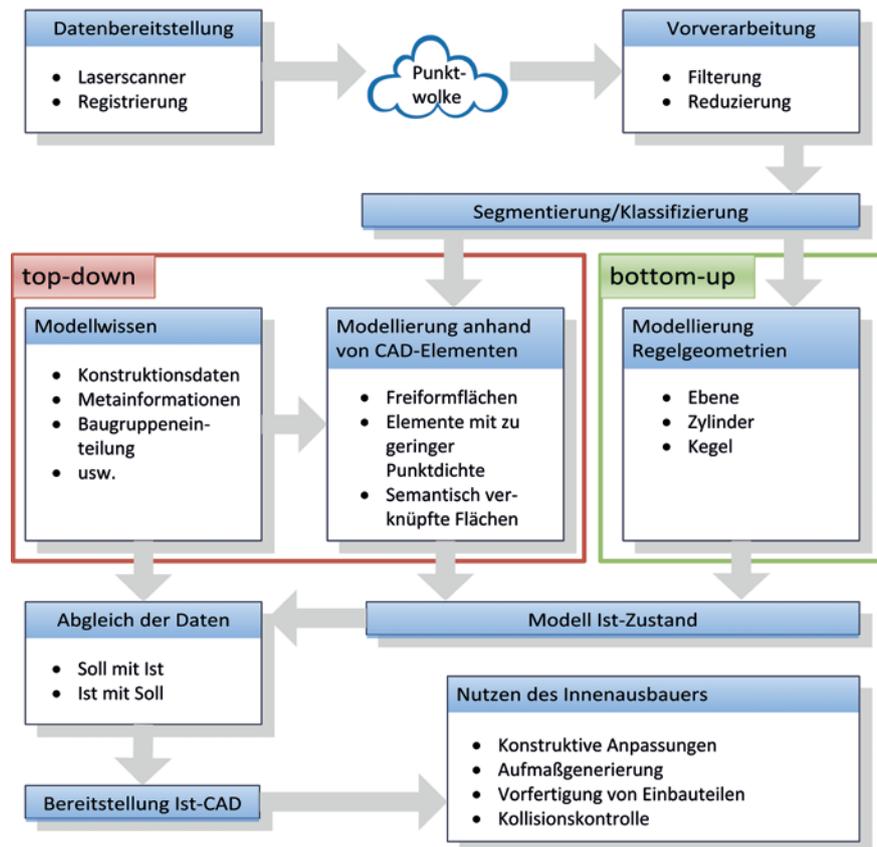


Abb. 3 | Ablaufplan der Modellierung

arbeitungsprozess. Dabei kommen verschiedene Filterverfahren zum Einsatz /Kersten et al. 2008/, wie:

- Single-Pixel: Einzelne Störpunkte werden gelöscht, die z. B. durch Dampf oder Staubpartikel entstehen.
- Mixed-Pixel: Entfernt Punkte, die an Kanten entstehen (sog. „Kometenschweif“).
- Range-Filter: Löscht Punkte, die außerhalb eines Entfernungsbereichs liegen.

Durch die Filterung ergibt sich eine reduzierte Punktwolke, in der eine Klassifizierung erfolgt. Das Ziel ist dabei, Teilmengen von der Punktwolke zu segmentieren, die eine Regelgeometrie repräsentieren. Dazu kann lediglich die Lage der Punkte zueinander genutzt werden. Ansätze wie bei /Matti et al. 2013/, die eine Klassifizierung über Farb- bzw. Intensitätswerte benutzen, sind hierbei nicht zielführend, da ein einheitliches Material (z. B. Stahl) gescannt wird. Ein effizientes Verfahren, um Nachbarschaftsbeziehungen innerhalb von Punktwolken herzustellen, ist die Überführung der Punktwolke in eine Octree-Voxel-Struktur.

Ein Octree ist eine mathematische Baumstruktur für 3D-Daten. Ausgehend von der Wurzel (gesamter Raum) hat jeder Knoten acht Kindknoten, welche die acht Oktanten repräsentieren. Abb. 4 zeigt am Beispiel des Stanford-Hasen sechs verschiedene Level eines Octrees. Diese Struktur ermöglicht die Segmentierung von zusammenhängenden Flächen und dient somit als Grundlage für die Klassifikation. Für den Fall der datenbasierten Modellierung wird z. B. dadurch ein ebener Bereich mithilfe der Ausgleichsrechnung (Methode der kleinsten Quadrate) als Ebene klassifiziert. Jedoch ist

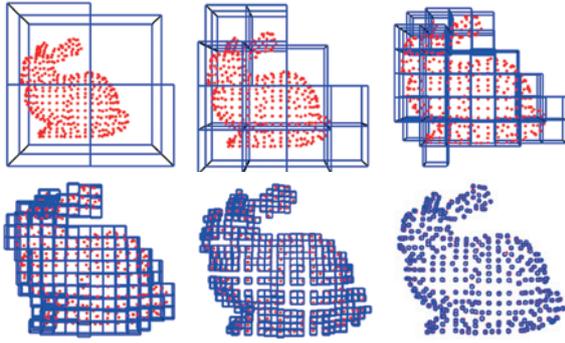
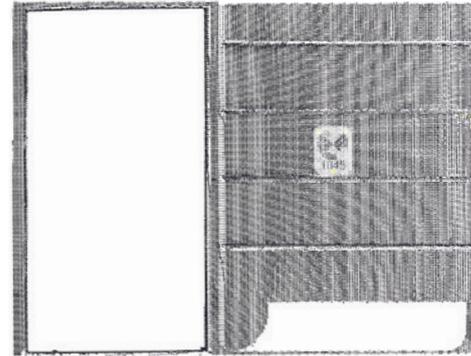


Abb. 4 | Octree am Beispiel des Stanford-Hasen /Kammerl et al. 2012/

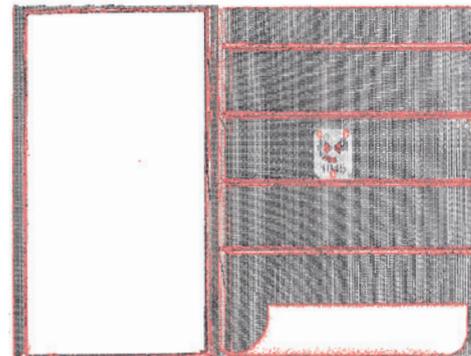
für die erfolgreiche Rekonstruktion einer Fläche die Berandungskontur entscheidend. Dabei können gerade für den ebenen Fall, mithilfe von entsprechenden Projektionen /Hu & Wallner 2004/, bekannte Algorithmen aus der digitalen Bildverarbeitung genutzt werden. Neben der Kontur einer Fläche sind Öffnungen innerhalb der Fläche ein wesentlicher Bestandteil für eine erfolgreiche Rekonstruktion. Hierfür sei auf /Knaack et al. 2015/ verwiesen, wo ein Verfahren sowohl für die Konturidentifizierung als auch für die Klassifizierung von Bauteilöffnungen entwickelt wurde (Abb. 5). Diese Verfahren können für Rekonstruktionen von CAD-Elementen genutzt werden. Für andere Bereiche der Punktwolke, die nicht zu einer entsprechenden Regelgeometrie zugeordnet werden können, wird der modellbasierte Ansatz verfolgt. Dabei müssen zunächst die Ausmaße der zusammenhängenden Punktmenge bestimmt werden, um den entsprechenden Bereich aus der Konstruktionsdatei zu erfassen. Ist dies erfolgt, wird dieser Bereich des Modells in seine Subkomponenten zerlegt und entsprechend der Messdaten an die Position gefittet und ggf. die Form angepasst. Werden in der Punktwolke keine zusammenhängenden Strukturen mehr erkannt, erfolgt der Abgleich von Soll-CAD und Ist-Zustand. Dabei kann es passieren, dass im Ist-Zustand etwas erfasst wurde, z.B. Werkzeugkisten, Leitern, Personen oder Gerüste, was nicht im Soll-CAD konstruiert wurde. Außerdem ist es möglich, dass konstruierte Soll-CAD-Elemente noch nicht gefertigt wurden. In beiden Fällen erfolgt eine Interaktion des Nutzers, die entscheidet, ob es sich um relevante Bauteile handelt. Wurde der Abgleich erfolgreich durchgeführt, wird der „as-build“-Zustand der Innenräume eines Schiffs in einem standardisierten Austauschformat, wie IGES, STEP oder JT, bereitgestellt, womit weitere Bearbeitungsschritte, wie die konstruktive Anpassung, die Aufmaßgenerierung, die Vorfertigung von Einbauteilen oder die Kollisionskontrolle, ermöglicht werden.

3 UMSETZUNG DER SOFTWAREWERKZEUGE

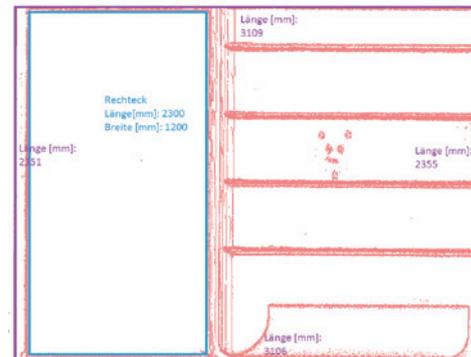
Bei der umfassenden Digitalisierung eines Schiffsdecks entsteht eine Punktwolke mit mehr als 500 Mio. Punkten, die als Grundlage für die Auswertung dient. Für eine automatisierte Bearbeitung solcher Datenmengen ist die Software in die drei folgenden Hauptschritte eingeteilt:



Punktwolke



Konturidentifizierung



Klassifizierung und Bemaßung

Abb. 5 | Konturidentifizierung und Klassifizierung von Bauteilöffnungen

- | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|
| 1. Grobklassifizierung | } | bottom-up |
| 2. Feinklassifizierung | | |
| 3. Abgleich zu den Konstruktionsdaten | } | top-down |

Dabei findet im ersten Schritt eine Grobklassifizierung statt, in der ausschließlich Ebenen mit einer großen Ausdehnung (Boden, Wände, Decke) modelliert werden. Dadurch ist eine Reduktion der Punktwolke auf ca. 30 % möglich (Abb. 7). Im zweiten Schritt findet die Feinklassifizierung in der reduzierten Wolke statt. Dazu werden zunächst wieder ebene Bereiche modelliert. Anschließend werden andere Regelgeometrien (Zylinder, Kugel, Kegel) identifiziert. Der dritte Schritt beinhaltet eine Überprüfung (Vollständigkeit und Existenz) von bereits rekonstruierten Elementen und eine Modellierung von nicht klassifizierten Bereichen anhand von Soll-Elementen.

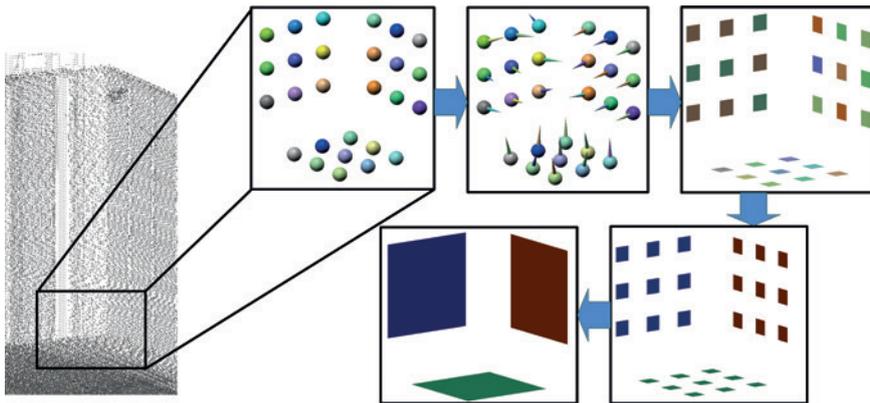


Abb. 6 | Schematische Darstellung der Identifizierung von ebenen Bereichen

3.1 Identifizierung und Modellierung von ebenen Bereichen in der Punktwolke

Ein wesentlicher Bestandteil der entwickelten Software ist ein robustes und performantes Verfahren für die Segmentierung bzw. Klassifizierung und anschließende Modellierung von ebenen Bereichen einer Punktwolke. Das verwendete Verfahren ist schematisch in *Abb. 6* dargestellt. Für die Detektion von Ebenen wird zunächst die unsortierte Punktwolke in eine Voxel-Octree-Struktur überführt (siehe *Abb. 4*). Dadurch wird es möglich, Nachbarschaftsbeziehungen zwischen Punkten mit hoher Geschwindigkeit abzufragen. So sind z.B. bei einer Punktwolke mit 100 Mio. Punkten maximal 18 Vergleiche für die Bestimmung eines Nachbarpunkts notwendig. Dies liefert die Möglichkeit, dass für jeden Punkt anhand von mindestens zwei Nachbarpunkten eine Ausgleichsebene berechnet werden kann und man so eine Pseudonormale erhält. Werden mehr als drei Punkte für die Ausgleichsebene berücksichtigt, so ergibt sich die Möglichkeit einer Bewertung für die Pseudonormale. Damit wird vor allem während der Grobklassifizierung sichergestellt, dass nur Ebenen mit einer bestimmten Ausdehnung detektiert werden.

Durch die Berechnung der Pseudonormalen kann jedem Punkt eine Orientierung zugeordnet werden. Somit kann innerhalb eines Durchlaufs der Punktwolke eine Einteilung von ebenen Bereichen erfolgen. Dabei ist eine Reduzierung (Downsampling) der ursprünglichen Punktwolke auf 10 % für die Identifizierung während der Grobklassifizierung ausreichend.

Die mathematische Beschreibung einer Ebene kann aus der Identifizierung erfolgen, jedoch sind für die Erstellung von CAD-Flächen weitere Informationen, wie die Berandung oder Öffnungen, entscheidend. Da Ebenen im eigentlichen Sinne zweidimensionale Objekte sind, kann man durch eine Projektion aus der als eben klassifizierten Punktmenge ein Binärbild generieren. Dabei hat sich die durchschnittliche Punktdichte als zweckmäßig für die Wahl der Auflösung gezeigt.

Für die Bestimmung der Berandung wurde ein Verfahren angewendet, was den Bildrand „abtastet“ und anhand der Randpixel die entsprechenden 3D-Konturpunkte durch Polynome niedrigen Grads verbindet. So wird aus der klassifizierten Punktmenge eine Bildmatrix erzeugt, welche zeilenweise die äußersten Punkte der Ebene verbindet. Dieses Verfahren ermöglicht die Überprüfung und die direkte Herstellung der Nachbarschaftsbeziehung der Konturpunkte. Bei der Identifizierung von Öffnungen wird der gleiche Ansatz wie bei der Konturbestimmung verfolgt. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass ausgehend vom Öffnungszentrum „getastet“ wird. Damit können aus den identifizierten ebenen Bereichen der Punktwolke CAD-Elemente rekonstruiert werden. Für die weiteren Bearbeitungsschritte steht zudem nun eine erheblich verkleinerte Punktwolke zur Verfügung (*Abb. 7*).

3.2 Aufteilen der Punktwolke und Modellierung von Regelgeometrien

Im zweiten Schritt für die datenbasierte Modellierung erfolgt die Feinklassifizierung. Dazu wird die Punktwolke zunächst in gleichmäßige Boxen aufgeteilt (*Abb. 8*).

Jede Box wird unabhängig von den anderen untersucht. Dies hat den Vorteil, dass sich dieser Prozessschritt computertechnisch parallelisieren lässt. In jeder Box findet im ersten Schritt eine erneute Ebenensuche statt, jetzt mit der Prämisse, dass kleinere Ebenen,

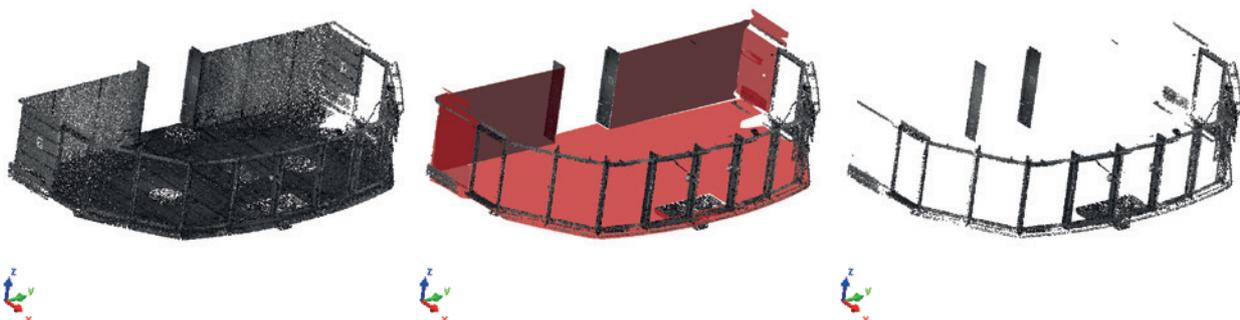


Abb. 7 | Reduzierung der Punktwolke durch die schrittweise Identifizierung und Modellierung von großen ebenen Bereichen

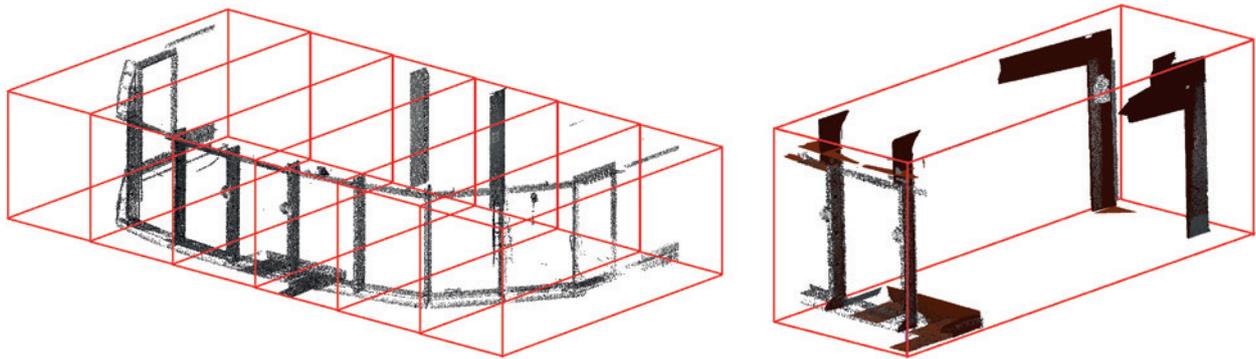


Abb. 8 | Aufteilung der Punktwolke in separate Boxen und Modellierung innerhalb der Boxen

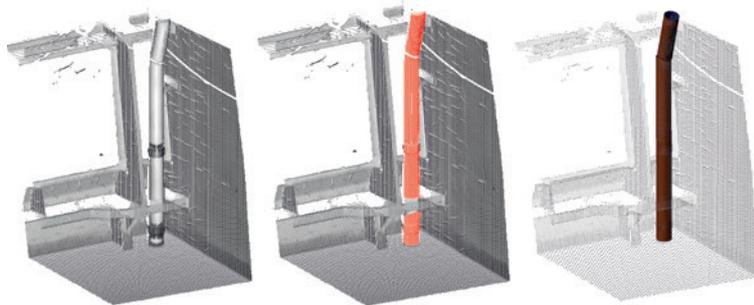


Abb. 9 | Identifizierung von Zylindern

wie sie z. B. bei Profilen oder Knieblechen möglich sind, identifiziert werden. Da im Schiffbau neben ebenen Paneelen auch viele Rohre verarbeitet werden, erfolgt nach dem Ansatz von /Beder & Förstner 2006/ eine Untersuchung auf Zylinderform für andere zusammenhängende Punktmengen (Abb. 9). Andere Regelgeometrien, wie Kugeln oder Kegel, werden aufgrund des zu seltenen Auftretens im Schiffbau nicht rekonstruiert.

Wurden in allen Boxen Zylinder bzw. Ebenen klassifiziert, findet im Anschluss eine Überprüfung statt, ob Teile des klassifizierten Objekts in den benachbarten Boxen ebenfalls enthalten sind. Sollte dies der Fall sein, werden für die Modellierung auch die Daten aus den andern Boxen verwendet. Ansonsten werden die Teile in den einzelnen Boxen modelliert und in den Ist-Zustand übertragen.

3.3 ABGLEICH MIT DEN KONSTRUKTIONSDATEN

Im dritten und letzten Prozessschritt der automatischen Modellierung findet der Abgleich mit den Soll-Daten statt. Für eine effiziente Verarbeitung von Informationen aus den Soll-Daten wurden die CAD-Formate STEP, IGES und JT untersucht. Zusammenfassend sei auf /Friedewald et al. 2011/ verwiesen. Sie kommen zu dem Resultat, dass das IGES-Format trotz der hohen Verbreitung als überholt anzusehen ist, da gegen Ende der 1990er-Jahre die Bestrebungen für eine Weiterentwicklung eingestellt wurden. Auch das weit verbreitete STEP-Format bietet zum Thema Mechanismen zur Minimierung der Dateigröße erhebliches Verbesserungspotenzial und ist somit nicht geeignet für eine Vielzahl von Prozessen. Hingegen konnte das JT-Format aufgrund seiner konstanten Weiterentwicklung als neutrales Austauschformat überzeugen. Eine Vielzahl an Metainformationen können bei der Konstruktion gespeichert werden. Allein der nicht kostenlose Zugang zur JT-SDK kann als nachteilig angesehen werden.

Für den weiteren Ablauf wird der modellbasierte Ansatz verfolgt, dazu wird das aus Regelgeometrien erstellte CAD mit dem Soll-CAD verglichen. Für den Vergleich muss zunächst eine entsprechende Zuordnung stattfinden. Da die Punktwolke schon vorausgerichtet ist, muss in einem geringen Umfeld ein korrespondierendes Element gefunden werden. Die endgültige Zuordnung wird dann durch die spezifischen Merkmale (Orientierung, Ausdehnung) festgelegt. Somit wird gewährleistet, dass Störelemente (z. B. Personen,

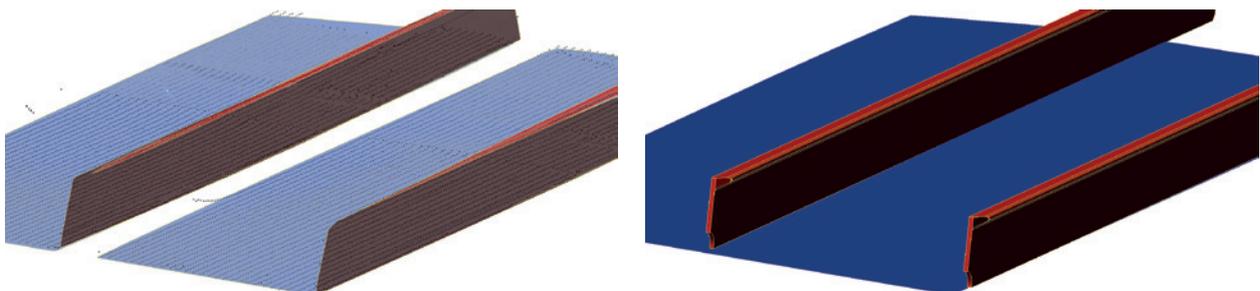


Abb. 10 | Rekonstruktion von Ebenen aus der Punktwolke (oben), Resultat nach dem Abgleich mit dem Soll-CAD (unten) am Beispiel eines Hollandprofils

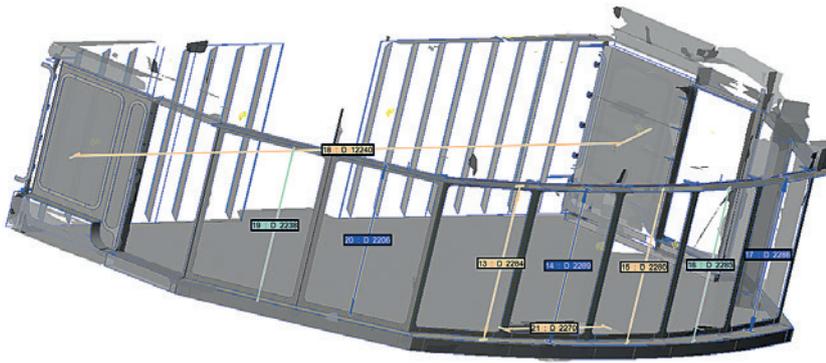


Abb. 11 | Ergebnis der Modellierung und Aufmaßbestimmung

Werkzeuge oder Gerüste) nicht mit in das resultierende Ist-CAD übernommen werden. Nach der Zuordnung findet eine Überprüfung der rekonstruierten Elemente statt, dadurch können Datenlücken, die aufgrund von Überschattung entstehen, geschlossen werden. Außerdem werden topologische Informationen, z.B. ob sich zwei Wände berühren, aus den Soll-CAD genutzt und auf das Ist-CAD angewandt. Im Anschluss werden die Teile der Punktwolke, die noch keiner Regelgeometrie zugeordnet werden konnten, sei es aufgrund einer zu geringen Punktdichte oder einer zu komplexen Struktur, aus den Konstruktionsdaten an die entsprechende Position gesetzt. Dabei werden die konstruierten Volumenkörper aus dem Soll-Modell in ihre Bestandteile zerlegt, um eine bestmögliche Ausrichtung und Anpassung zu gewährleisten. Im Anschluss werden die so rekonstruierten Einzelteile wieder zu Baugruppen und Volumenkörpern zusammengefasst. *Abb. 10* zeigt am Beispiel eines Hollandprofils, dass eine vollständige Aufnahme von feingliedrigen Strukturen nur bedingt möglich ist. Daher werden solche Elemente aus dem Soll-CAD an die Punktwolke angepasst.

Kommt es zu Konflikten bezüglich des Vergleichs, wird eine Interaktion des Bedieners erforderlich. *Abb. 11* zeigt das Resultat der erfolgreichen Modellierung. Andere Metainformationen, wie Farbe, Material oder die Nomenklatur, können von dem Konstruktionsmodell aufgrund der Zuordnung in das Ist-Modell übertragen werden. Dies erleichtert die Bearbeitung für die weiteren konstruktiven Anpassungen, da eine qualitativ bessere Grundlage geschaffen wird. Außerdem lässt sich dieses Verfahren für andere Anwendungen, wie zur Bauzustandskontrolle, nutzen.

4 FAZIT UND AUSBLICK

Durch das vorgestellte Verfahren können die bisherigen, aufwendigen und manuellen Messverfahren durch flächenhafte 3D-Messverfahren ersetzt werden. Die damit einhergehende aufwendige Rekonstruktion von Punktwolken erfolgt dabei softwaregestützt in wesentlich weniger Arbeitsstunden, da der Großteil automatisch abläuft. Durch das so erstellte Ist-CAD können

mit vorhandener Konstruktionssoftware die Innenräume geplant, kontrolliert und ggf. angepasst werden, ohne punktuelle Objektbeschreibungen manuell bearbeiten zu müssen. Dadurch wird den Werften und Zulieferern ein Hilfsmittel zur Hand gegeben, das bereits im Vorfeld der Ausbauarbeiten an Bord die Möglichkeit bietet, für den Anwendungsfall maßgeschneiderte Einbauten zu konstruieren und zu fertigen. Dies führt zu einer direkten Verringerung

der Aufwände, zu besserer Planbarkeit von Zeiten und Terminen, zu einer erhöhten Fertigungssicherheit und damit auch zu einer Verkürzung der Durchlaufzeiten. Geplant ist, durch die Neuentwicklung mindestens 10 % der Fertigungskapazitäten einzusparen. Für die Unterauftragnehmer ergibt sich zusätzlich eine Risikominimierung bei der Aufmaßbestimmung in Bezug auf Nacharbeiten infolge falsch aufgenommenen Maße bzw. eines zwischenzeitlich geänderten Bauzustands. Dadurch sind Werften bzw. Stahlbauer, die bereits Laserscanner zur Datenaufnahme nutzen, in der Lage, den Prozess der Aufnahme, Auswertung und Dokumentation deutlich zu beschleunigen.

Für eine erfolgreiche Integration in die Fertigung muss die Prozesskette für die Herstellung einer Yacht neu strukturiert werden (*Abb. 12*). Außerdem muss die Schnittstelle für die Datenübergabe an die Innenausbauer neu organisiert werden, da nicht mehr ausschließlich CAD-Soll-Daten übergeben werden, sondern auch CAD-Ist-Daten.

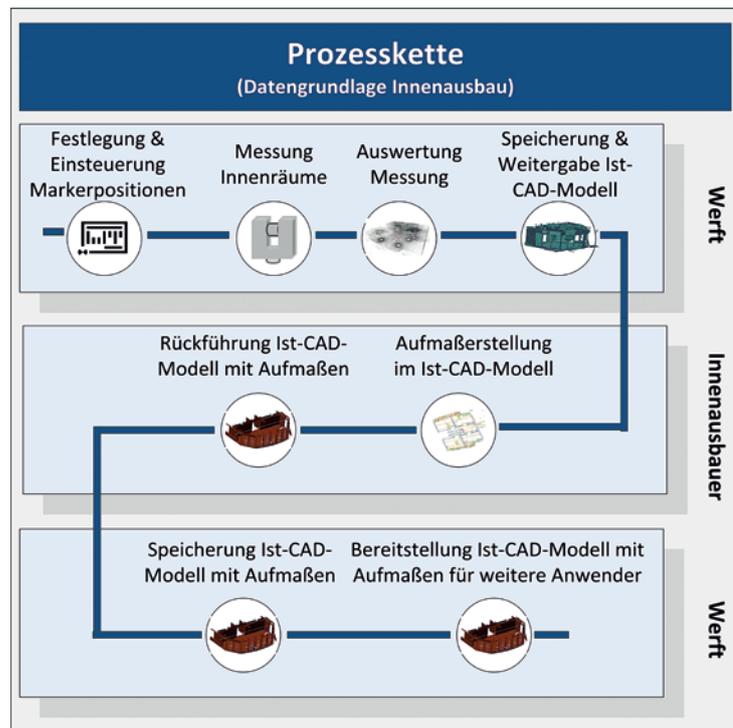


Abb. 12 | Neustrukturierte Prozesskette

Der Fokus sollte nun auf weiterer Entwicklungsarbeit bezüglich der Modellierung und Klassifizierung von Nicht-Regelgeometrien liegen. Ebenfalls müssen weitere Untersuchungen zur Verifikation der Ergebnisse erfolgen, um die Klassifizierung zu verbessern. Zudem gilt es, die Genauigkeit des so konstruierten CAD-Modells zu validieren. Dazu wird ein händisches Aufmaß als Vergleichsobjekt herangezogen. Die Ansätze des vorgestellten Verfahrens können auch in andere Anwendungen im Schiffbau (z. B. Digitaler Maschinenraum, Reparatur, Umbauten) oder in anderen Industriezweigen (z. B. Digitale Fabrik, Offshore o. Ä.) teilweise übertragen werden.

FÖRDERHINWEIS

Das Projekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert und vom Projektträger Jülich (PtJ) betreut.

LITERATUR

Baillard, C.; Zisserman, A. (1999): Automatic reconstruction of piecewise planar models from multiple views. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 23. – 25.06.1999, Fort Collins, Colorado, USA, 559–565.

Becker, S. (2011): Automatische Ableitung und Anwendung von Regeln für die Rekonstruktion von Fassaden aus heterogenen Sensordaten. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, 658. München.

Beder, C.; Förstner, W. (2006): Direkte Bestimmung von Zylindern aus 3D-Punkten ohne Nutzung von Oberflächennormalen. In: Luhmann, T.; Müller, C. (Hrsg.): Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik. Wichmann, Heidelberg, 206–213.

Brenner, C. (2005): Building reconstruction from images and laser scanning. In: International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 6(2005)3-4, 187–198.

Brenner, C. (2010): Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Kap. „Building Extraction“. Whittles Publishing, Dunbeath, UK, 169–212.

Friedewald, A.; Lödding, H.; Lukas, U. Freiherr v.; Mesing, B.; Roth, M.; Schleusener, S.; Titov, F. (2011): Benchmark neutraler Formate für den prozessübergreifenden Datenaustausch im Schiffbau. Forschungsbericht, Fraunhofer IGD.

Kammerl, J.; Blodow, N.; Rusu, R. B.; Gedikli, S.; Beetz, M.; Steinbach, E. (2012): Real-time compression of point cloud streams. In: Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference, 14. – 18. Mai 2012, St. Paul, MN, USA, 778–785.

Kern, F. (2003): Automatisierte Modellierung von Bauwerksgeometrien aus 3D-Laserscanner-Daten. Geodätische Schriftenreihe der TU Braunschweig, 19.

Kersten, T.; Sternberg, H.; Mechelke, K.; Lindstaedt, M. (2008): Datenfluss im terrestrischen Laserscanning – Von der Datenerfassung bis zur Visualisierung. In: Terrestrisches Laserscanning (TLS 2008), Schriftenreihe des DVW, 54 (Beiträge zum 79. DVW-Seminar in Fulda). Wißner, Augsburg, 31–56.

Knaack, L.; Geist, M.; Gierschner, F.; Meister, M. (2015): Einsatz von Laserscannern im Stahlkörperbau. In: Schiff & Hafen (2015)8, 36–39.

Lürssen Werft GmbH & Co. KG (2016): <http://www.luerssen-yachts.com/#de/die-yachten/galerie> (21.01.2016).

Marbs, A.; Boochs, F.; Ben Hmida, H.; Truong, H. Q. (2010): Wissensbasierte Objekterkennung in 3D-Punktwolken und Bildern. In: Kohlhofer, G.; Franzen, M. (Hrsg.): 100 Jahre ISPRS – 100 Jahre internationale Zusam-

menarbeit. 30. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF (Vorträge Dreiländertagung OVG, DGPF und SGPF). Publikationen der DGPF, 19, 220–227.

Matti, E.; Nebiker, S. (2013): Geometrie- und farbbasierte Punktwolkenklassifizierung von komplexen urbanen Laserscanningszenen mittels überwachter SOM-Klassifikation. In: Seyfert, E. (Hrsg.): Dreiländertagung D–A–CH. 33. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF (Vorträge). Publikationen der DGPF, 22, 228–236.

Truong, H. Q.; Ben Hmida, H.; Marbs, A.; Boochs, F. (2010): Integration of knowledge into the detection of objects in point clouds. In: Proceedings of ISPRS Commission III Symposium, 1.–3.09.2010, Saint-Mandé, Frankreich. IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 3B, 143–148.

Truong, H. Q.; Ben Hmida, H.; Boochs, F.; Habel, A.; Cruz, Ch.; Voisin, Y.; Nicolle, Ch. (2013): Automatic Detection and Classification of Objects in Point Clouds using multi-stage Semantics. In: Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation (PFG), (2013)3, 221–237.

VSM – Verband für Schiffbau und Meerestechnik (2003): Fertigungsstandard des deutschen Schiffbaus (FS). Hamburg.

Dipl.-Math. Martin Meister

FRAUNHOFER ANWENDUNGSZENTRUM
FÜR GROSSSTRUKTUREN IN DER
PRODUKTIONSTECHNIK

Albert-Einstein-Str. 30 | 18059 Rostock
martin.meister@hro.ipa.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. Fabian Gierschner

FRAUNHOFER ANWENDUNGSZENTRUM
FÜR GROSSSTRUKTUREN IN DER
PRODUKTIONSTECHNIK

Albert-Einstein-Str. 30 | 18059 Rostock
fabian.gierschner@hro.ipa.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. (FH) Michael Geist

FRAUNHOFER ANWENDUNGSZENTRUM
FÜR GROSSSTRUKTUREN IN DER
PRODUKTIONSTECHNIK

Albert-Einstein-Str. 30 | 18059 Rostock
michael.geist@hro.ipa.fraunhofer.de



M. Eng. Lisa Knaack

FRAUNHOFER ANWENDUNGSZENTRUM
FÜR GROSSSTRUKTUREN IN DER
PRODUKTIONSTECHNIK

Albert-Einstein-Str. 30 | 18059 Rostock
lisa.knaack@hro.ipa.fraunhofer.de



Manuskript eingereicht: 22.08.2016 | Im Peer-Review-Verfahren begutachtet