

Potenzialuntersuchung von Punktwolken für ingenieurgeodätische Zwecke

FE 2.444

Forschungsstellen: Bietergemeinschaft Point Cloud Technology GmbH, Potsdam
 Infrastructure Management Consultants (IMC) GmbH, Mannheim

Bearbeiter: Hajdin, R. / Blumenfeld, T. /
 Diederich, H. / Richter, R. /
 Morgenstern, U.

Auftraggeber: Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Bonn

Abschluss: August 2023

1 Aufgabenstellung

In den letzten Jahren ist eine Vielzahl neuer Verfahren für die Erzeugung von Punktwolken für ingenieurgeodätische Zwecke auf den Markt gekommen oder erschwinglich geworden. Dies betrifft sowohl terrestrische als auch mobile und airborne Laserscan-Messsysteme (TLS, MLS, ALS) sowie photogrammetrische Systeme, welche von Drohnen (UAV) getragen werden.

Ziel des Forschungsprojekts war es zu untersuchen, für welche Anwendungen in der Straßenbauverwaltung Punktwolken sowohl unter technischen als auch unter qualitativen Gesichtspunkten eingesetzt werden können. Es wurden die Vor- und Nachteile der Erfassungsverfahren aufgezeigt sowie Spezifikationen für die Auswahl einzelner Messsysteme bezüglich der Datenerfassung, -aufbereitung und -bereitstellung zusammengestellt. Dabei wurden auch Aspekte der Verkehrssicherheit und der Reduzierung der Verkehrsbeeinträchtigung berücksichtigt. Über den rein ingenieurgeodätischen Aspekt hinaus sollte die Frage beantwortet werden, inwieweit die Qualität einer Punktwolke in Hinblick auf einzelne Anwendungsfälle beurteilt werden kann und ob durch den Einsatz neuer Verfahren ein Mehrwert für anschließende Arbeitsprozesse aus den Bereichen Planung, Bau und Betrieb von Straßen zu erzielen ist. Weiterhin bestand die Aufgabe darin, eine Analyse der am Markt befindlichen Hard- und Softwaresysteme bezüglich Punktwolkenerfassung und -verarbeitung durchzuführen. Dabei wurden die vorhandenen Systeme (auf Technologieebene) auf ihre Eignung mit den hier erörterten Einsatzbereichen evaluiert. Der Anpassungsbedarf von Regelwerken hinsichtlich Punktwolken wurde auch evaluiert.

2 Grundlagen zur Punktwolkenerfassung

Punktwolken können durch unterschiedliche Scanning-Verfahren erzeugt werden. Hierbei spielen grundsätzlich zwei Erfassungstechnologien eine Rolle – Laserscanning und fotogrammetrische Verfahren.

- **LiDAR - Lichterkennung und Entfernungsmessung:** Ein Verfahren zur Erfassung von Punktwolken von Oberflächen durch Aufzeichnung reflektierter und gebrochener Laserstrahlen, die von einem LiDAR-Abtastgerät emittiert werden. Aufgrund von immer leistungsfähiger und einfach zu bedienender Erfassungshardware ist der Einsatz von flächendeckenden Laserscans, auch in zeitlich wiederkehrenden Rhythmen, kostengünstig möglich. Die Erfassung hat sich in vielen Branchen etabliert.
- **Fotogrammetrie:** Eine Methode zur Erzeugung von Punktwolken auf der Grundlage von Bilddaten, bei der mehrere Bilder eines bestimmten Objekts nacheinander aufgenommen werden. Die Differenz zwischen den Betrachtungswinkeln wird verwendet, um eine 3D-Vektorkoordinate für jedes Pixel (jeden Punkt) zwischen den entsprechenden Bildern zu erzeugen. Im Gegensatz zur LiDAR-Technologie sind durch Fotogrammetrie erstellte Punktwolken weniger abhängig von GPS-Daten. Die fotogrammetrischen Verfahren zeigen ihre Schwächen insbesondere bei einfarbigen Flächen mit wenig Farbvarianz und bei schwierigen Aufnahmebedingungen, beispielsweise bei Verschattungen, Reflektionen und Spiegelungen. Zudem ist die Berechnung der Punktwolken aus den Bilddaten sehr aufwändig und rechenintensiv. Je nach Anzahl der Bilder können mehrere Tage Berechnungsaufwand durch die Fotogrammetriesoftware erforderlich sein. LiDAR-Systeme liefern direkt 3D-Punktwolken, die gegebenenfalls noch zueinander registriert werden müssen.

Der aktuelle Trend bei der Erfassung von Objekten im Außenbereich geht dahin, entweder LiDAR- oder fotogrammetrie-basierte Methoden zu verwenden.

3 Anforderungsanalyse und Einsatzbereiche

Im Rahmen einer Anforderungsanalyse wurden die möglichen Einsatzbereiche von Punktwolken thematisiert. Dazu wurden zahlreiche Anwendungsfälle für den Einsatz von Punktwolken anhand von Studien aus der Literatur und Erfahrungen aus der Praxis vorgestellt. Die Darstellung dieser Anwendungsfälle war hierbei anhand der einzelnen Lebensphasen eines Infrastrukturbauwerks untergliedert. Dabei entfaltet sich das Potenzial von Punktwolken nicht nur bei geometrischen Problemstellungen, sondern dank KI-Anwendungen auch bei der Klassifizierung von Inventar und Schäden. In einigen Fällen sind die Kosten oft bereits bei einmaliger Anwendung gerechtfertigt. In anderen Fällen wiegt erst die Nutzung für mehrere Einsatzbereiche die Kosten auf.

4 Mehrwertanalyse, Bewertung der Einsatzbereiche und Einfluss auf den Straßenverkehr

Im Anschluss an die Anforderungsanalyse erfolgte die Analyse, welche Quernutzung von Scans über den Lebenszyklus möglich und sinnvoll sind. Es wurden mögliche Bündelungen von

Einsatzbereichen aufgezeigt. Dabei wurden auch Empfehlungen abgegeben, unter welchen Umständen vorausschauend eine Vorinvestition getätigt werden sollte, beispielsweise das Setzen von Passpunkten zur Verbesserung der Genauigkeit. Neben dem Mehrwert wurden die bei der Erfassung auch zu berücksichtigenden juristischen Aspekte sowie der Einfluss auf den Straßenverkehr beleuchtet. Aus Sicht der Autoren ergibt der Einsatz von Punktwolken insbesondere dann Sinn, wenn mehrere Fachgewerke beziehungsweise Fachabteilungen über mehrere Lebenszyklusphasen eines Bauwerks auf die mithilfe von Punktwolken erzeugten Datensätze zugreifen. Dies betrifft bspw. die Inventarisierung der Straßenraumausstattung. Mithilfe von Punktwolken kann die räumliche Lage der einzelnen Elemente des Straßenraums sehr gut beschrieben und dokumentiert werden. Gleiches gilt für die Grundplanerstellung sowohl mit als auch ohne lärmtechnische Daten, bei denen eine Verortung von Objekten innerhalb eines größeren Analysegebiets von Bedeutung ist. Innerhalb der Betriebsphase besteht ein großes Nutzenpotenzial in der Verwendung von Punktwolken zur Erstellung von BIM-Modellen bestehender Infrastrukturobjekte. Hierbei können die geometrischen Abmessungen der Bauwerke und Bauwerksteile mithilfe von (teil-)automatisierten Algorithmen identifiziert und in ein BIM-Modell integriert werden.

5 Marktanalyse Hard- und Software bezüglich der Erfassung und Verwendung von Punktwolken

In diesem Abschnitt wurden zunächst die genauen Erfassungsarten erörtert. Diese umfassen beispielsweise Befliegung, terrestrisches Laserscanning und Mobile Mapping. In der Marktanalyse der Hard- und Software wurden die am Markt vorhandenen Systeme genauer untersucht. Bei der Hardware ging die Analyse auf die Erfassungsart, die Art des Trägersystems, die Scannerreichweite, die Datengenauigkeit, Datendichte und den erfassten Datentyp ein. Bei der Software wurden open source und proprietäre Software näher beleuchtet. Hier wurde recherchiert, ob die Software als Desktop- oder Cloud-Lösung verfügbar ist, welche Import- und Exportformate sie verarbeitet und welche Möglichkeiten die Software in der Verarbeitung von Punktwolken bietet, zum Beispiel Visualisierung, Messungen, Klassifizierungen etc. Weiterhin befasste sich dieser Abschnitt mit der Charakteristik von Punktwolkendaten, den Prozessketten hinsichtlich Erfassung und Auswertung und inwieweit diverse Erfassungssysteme für die hier skizzierten Anwendungsgebiete geeignet sind. Zum Beispiel eignen sich TLS-Systeme sehr gut für viele Anwendungen im Straßenbereich, auch weil sie eine hohe Genauigkeit der Daten erzeugen.

6 Empfehlungen zur Anpassung des Regelwerks

Zuletzt erfolgten eine Sichtung und Beurteilung von bestehenden Regelwerken. Es wurden zunächst den Lebensphasen eines Bauwerks Themenfelder zugeordnet.

Anschließend wurden die für die jeweiligen Themenfelder relevanten Regelwerke, Projektierungsnormen und Gesetze beziehungsweise Verordnungen zusammengetragen und beurteilt, inwieweit diese um das Thema Punktwolken ergänzt werden sollten. Insgesamt erfolgte eine Beurteilung von ca. 100 Regelwerken, Normen, Gesetzen und Verordnungen. Für die vier Lebensphasen ergeben sich vereinzelte Anpassungsempfehlungen der Regelwerke. Für die Planungsphase konnten die meisten Regelwerke identifiziert werden, die gegebenenfalls anzupassen sind. Dies betrifft vor allem das Themenfeld der Vermessung. In der Bau- und Betriebsphase von Straßen gibt es vereinzelte Empfehlungen zu Anpassungen. Die Änderungen der Regelwerke bezogen auf die Rückbau- und Umnutzungsphase erfordern keine Anpassungen, außer die mit der Planungsphase zusammenhängenden Regelwerke. Zusammenfassend ist festzustellen, dass kein unmittelbarer Handlungsbedarf zur Anpassung der derzeit geltenden Regelwerke in Hinblick auf den Einsatz von Punktwolken vorhanden ist. Gleichwohl wird bei ausgewählten Regelwerken eine Ergänzung des Themas Punktwolken im Rahmen der nächsten Überarbeitung empfohlen.

7 Empfehlungen und Ausblick

In den letzten Jahren konnte bei den Erfassungstechnologien ein rasanter Fortschritt beobachtet werden. Technologien, die zuvor eine Nischenanwendung im professionellen Bereich hatten, werden in reduzierter Form bereits in Unterhaltungselektronik (zum Beispiel LiDAR-Sensoren) verbaut. Die Technologien werden günstiger, die Handhabung von großen Datenmengen vereinfacht sich, nicht zuletzt eröffnet die KI neue Möglichkeiten der Datenverarbeitung.

In einigen Bereichen sind Punktwolken bereits etabliert. In anderen Bereichen sind Pilotprojekte empfehlenswert. Dabei sollten in Hinblick auf eine Weiternutzung Aspekte der Archivierung, der Plattformunabhängigkeit und der Dateneigentümerschaft berücksichtigt werden. Denkbar sind sowohl Pilotprojekte für einmalige Anwendungen in einzelnen Einsatzbereichen oder über einen längeren Zeitraum, um Synergieeffekte zu optimieren.

Vielfach sind Prozesse bereits digitalisiert, jedoch noch stark vom Umgang mit Papier im ursprünglichen Prozess geprägt. Wenn bei einer künftigen Überarbeitung der Managementsysteme Aspekte von BIM einfließen, werden Informationen aus der Punktwolke erst vollständig nutzbar.

