

# Wissensbasierte Objekterkennung in 3D-Punktwolken und Bildern

**ANDREAS MARBS, FRANK BOOCHS, HELMI BEN HMIDA & HUNG QUOC TRUONG<sup>1</sup>**

*Ziel unseres Vorhabens ist die Entwicklung effizienter, intelligenter Methoden für eine automatisierte Auswertung von terrestrischen Laserscanner- und Bilddaten. Im Gegensatz zu den bisherigen Ansätzen wird hier das Ziel verfolgt, bereits vorhandenes Wissen über die zu vermessenden Objekte in die Auswertung einfließen zu lassen. Dieses Vorwissen kann beispielsweise in Datenbanken, Bestands- oder Bauplänen enthalten sein und gestattet somit eine gezielte, objektorientierte Detektion, Identifizierung und gegebenenfalls Modellierung von komplexen Geometrien und Objekten. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Abbildung und Formalisierung des Wissens, damit es zur Unterstützung der Punktwolkenverarbeitung taugt. Im nachfolgenden Beitrag sollen erste Konzeptideen und Lösungsansätze des erst kürzlich gestarteten Forschungsvorhabens präsentiert werden.*

## 1 Einleitung

Seit einigen Jahren haben sich Terrestrische Laserscanner (TLS) als „Arbeitspferd“ für die Vermessung von Objekten und Gelände zur Bestandserfassung und Kartenfortführung etabliert. Diese Geräte bieten den Vorteil dass sie in sehr kurzer Zeit eine große Menge an 3D-Informationen automatisch erfassen können. Neuere Gerätegenerationen, insbesondere die so genannten Phasen-Scanner, bieten eine immer schnellere Erfassung bei immer besser werdender geometrischer Punktwolkenqualität und gleichzeitig höherer Reichweite. Die seit 2002 durchgeführten Untersuchungen auf den Laserscanner-Testeinrichtungen des i3mainz sowie die praktischen Erfahrungen mit fünf verschiedenen terrestrischen Laserscannern, die im Besitz des i3mainz sind bzw. waren, belegen dies (BÖHLER & MARBS 2010).

Vor allem die großen, in kurzer Zeit zu gewinnenden Datenmengen führen zu einem veränderten Verhalten des Benutzers im Außendienst. Während bei den langsameren Impuls-Scannern Scanausschnitt und Auflösung aus Zeitgründen in der Regel gezielt an die Aufgabenstellung angepasst werden müssen, können mit einem Phasen-Scanner üblicherweise Vollscans mit einer Auflösungsstufe ausgeführt werden, die vor allem für nähere Objektbereiche eine sehr hohe, jedoch in dieser Dichte meist nicht benötigte Auflösung liefert. Weiterhin liegen oft noch zusätzlich gewonnene Daten vor, z.B. in Form von Panoramaaufnahmen vom Scannerstandpunkt oder extern gewonnenen Fotoaufnahmen der gescannten Szene.

Die Beschleunigung der Arbeit im Außendienst führt jedoch aufgrund der riesigen Datenmengen zu einer zunehmenden Verschiebung des Arbeitsaufwandes in den Innendienst. Das hat nicht selten – je nach Aufgabenstellung – zur Folge, dass das Verhältnis der Arbeitszeit im Außendienst zum Zeitaufwand im Innendienst zwischen 1:5 und 1:30 liegt. Die

---

<sup>1</sup> i3mainz, Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik, FH Mainz, Lucy-Hillebrand-Str. 2, 55128 Mainz; E-Mail: (marbs, boochs, benhmida, truong)@geoinform.fh-mainz.de

Auswertetechniken bestehen dabei überwiegend aus manuellen, interaktiven Tätigkeiten. Dazu gehören das Löschen von unnötigen Bereichen, das Navigieren in der komplexen Punktwolke, das Selektieren von Teilbereichen und das Extrahieren bzw. Modellieren von Geometrien. Dabei ist es unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten anzustreben, die in einem automatischen Messvorgang gewonnenen Daten auch in einem größeren Maße automatisiert auszuwerten.

## **2 Stand der Wissenschaft und Technik**

Entsprechende Entwicklungen von Auswertelgorithmen konzentrierten sich in der Vergangenheit zu einem großen Teil auf den Bereich des Airborne Laserscanning z.B. zur Dachrekonstruktion für 3D-Stadtmodelle. Hierbei sind vor allem Arbeiten der TU Delft (VOSELMAN et al. 2004) und der TU Dresden (HOFMANN et al. 2003, SCHWALBE 2004) zu nennen. Hier werden verschiedene bekannte Verfahren zur Punktwolken- und Bildverarbeitung, wie z.B. Region Growing, Parameterraumanalyse, Projektionsverfahren oder Linienverfolgung geschickt kombiniert, um zum Ziel zu kommen. Auf Bildverarbeitungsalgorithmen basierende Techniken werden auch bei der Segmentierung und Klassifizierung von Bäumen (morphologische Operatoren) und bei der automatischen Modellierung von Zylindern und Ebenen in technischen Anlagen (Parameterraumanalyse) aus TLS-Daten eingesetzt (VOSELMAN et al. 2004). Alle genannten Methoden sind jedoch ausschließlich daten-getrieben und bedürfen der gezielten Auswahl und Steuerung durch einen Fachmann.

Für die Erkennung von komplizierten Objekten sind rein daten-getriebene Methoden jedoch weniger gut geeignet, weil mit wachsender Komplexität des Datenmaterials die Mehrdeutigkeiten in Bezug auf seine Bewertung zunehmen und die Grundlage für eindeutige Entscheidungen verloren geht. Diese Problematik lässt sich nur durch weitergehende Zusatzinformationen umgehen, die der Algorithmik einen Rahmen geben, mit dem die Bewertungsvielfalt eingeschränkt und damit die Entscheidungsgrundlage robuster wird.

Beispiele für die Nutzung von semantischen Informationen und Vorwissen über die zu erkennenden Objekte finden sich in der Literatur unter anderem bei PU & VOSELMAN (2006), die mittels sogenannter „Feature constraints“ Bedingungen über die Größe, die Position, die Richtung oder die Topologie von Objekten definieren und somit die Erkennung von Objekten steuern. Eine noch konsequentere Einbindung von objektbezogenem Vorwissen wird unter anderem in CRUZ & BOOCHS (2007) und GRAU (2000) präsentiert. Das Vorwissen über die aufgenommene Szene mit ihren Objekten und Nachbarschaftsbeziehungen wird hier in Form eines semantischen Netzes bzw. einer Ontologie abgelegt, wodurch nach einer Vorsegmentierung bzw. Geometrieerkennung in einer Szene schrittweise eine Bedeutungszuweisung ermöglicht wird.

## **3 WIDOP**

Die Idee eines etwas anderen Ansatzes für die Nutzung von Ontologien zur Objekterkennung in räumlichen Daten wurde bereits in BOOCHS et al. (2008) vorgestellt. Anders als bei den obigen Ansätzen sollen hier nicht nur bereits erkannten oder segmentierten Objekten Bedeutungen zugewiesen werden. Stattdessen soll die Semantik bereits von Anfang an objektbezogen die

mathematische Algorithmik zur Detektion und gegebenenfalls Modellierung bzw. Rekonstruktion der jeweiligen Objekte steuern. Dies ist z.B. dann möglich, wenn bereits umfangreiches Vorwissen in Form von Bestands- oder Planungsdaten (CAD, GIS) mit detaillierten geometrischen Objektbeschreibungen, kombiniert mit einem anwendungsbezogenen Regelwerk vorhanden ist. Eine solche Regel könnte beispielsweise lauten: „Wenn Raum x ein Büro der Größe y ist, befinden sich dort zwei Schreibtische und zwei Drehsessel“. Die Punktwolkenalgorithmik könnte dann gezielt so ausgewählt und parametrisiert werden, dass das Inventar des Büroraums auf Basis bekannter Geometrien der Möbel und ggf. vorhandener Nachbarschaftsbeziehungen automatisiert gesucht, erkannt und lokalisiert wird.

Eine solche Zielsetzung ist in vielen Anwendungsbereichen von Interesse und wird am i3mainz im Rahmen des Projektes WiDOP – Wissensbasierte Detektion von Objekten in Punktwolken für Anwendungen im Ingenieurbereich – verfolgt. Die exemplarischen Anwendungsbereiche finden sich hier bei der Bahnvermessung (Partner: DB Netz AG, Metronom Automation GmbH) sowie beim Facility Management (Partner: Fraport AG). Die Aufgabenstellungen sind in beiden Fällen ähnlich. Es sollen fortlaufend 3D-Daten der interessierenden Bereiche (Streckennetz, Gebäude) aufgenommen und analysiert werden, um vorhandene Bestandspläne zu aktualisieren und für Engstellenanalysen (Bahn) oder die Planung von Wartungs- und Umbauarbeiten (Fraport) bereitzustellen. Dieser Prozess ist bislang von erheblichem interaktivem Aufwand geprägt. Punktwolken und Bilddaten der Bahnstrecken bzw. Gebäude werden manuell durchsucht und die interessierenden Geometrien und Objekte werden erkannt, identifiziert und gegebenenfalls modelliert. Die auf diesem Wege gefundenen bzw. veränderten Objekte werden dann in die aktualisierten Bestandsdaten aufgenommen.

Ziel des Projektes WiDOP ist es nun, diesen Prozess mittels wissenschaftlicher Verfahren zu automatisieren. Von entscheidender Bedeutung sind dabei zum einen die Abbildung und Formalisierung des Wissens, um es für den Rechner verarbeitbar zu machen (Idee des Semantic Web) und zum anderen die Verarbeitung des Wissens zur gezielten Steuerung mathematischer Algorithmen zur Punktwolken- und Bildverarbeitung. In den folgenden Absätzen sollen diese beiden Schwerpunkte näher erläutert werden.

### **3.1 Wissensbasis**

Das ursprüngliche Konzept des Semantic Web, das auf einer Idee des World-Wide-Web-Mitbegründers Tim Berners-Lee basiert, sieht vor, die Bedeutung der im Internet auf Webseiten dargebotenen Inhalte mit Hilfe von Annotationen zu erfassen und somit eine semantische Vernetzung zwischen verschiedenen Webseiten zu ermöglichen. Dies würde es beispielsweise gestatten, Suchergebnisse viel gezielter an die Anfragen des Benutzers anzupassen oder sogar neues Wissen auf Basis der weltweit vorgehaltenen Daten zu generieren.

Voraussetzung ist eine einheitliche Beschreibungssprache, mit der Webseiten annotiert werden und die von Computern „verstanden“ und verarbeitet werden kann. Eine solche standardisierte Sprache ist die Web Ontology Language OWL, die vom World Wide Web Consortium (W3C) entwickelt und spezifiziert wurde. Diese muss jedoch nicht auf Webseiten limitiert sein sondern kann grundsätzlich auf beliebige „Ressourcen“ angewandt werden, und somit eine Form der Wissensrepräsentation für unterschiedlichste Anwendungen darstellen.

Das Konzept des Semantic Web mit der Beschreibungssprache OWL aufgreifend, treten bei WiDOP die zu detektierenden Objekte sowie die mathematischen Algorithmen an die Stelle von Webseiten. Es muss das Ziel sein, alle verfügbaren Informationen über diese vorhandenen „Ressourcen“ in einer ontologie-basierten Wissensbasis abzubilden, über Relationen und Regeln miteinander zu verknüpfen und dieses Wissen für eine intelligente, automatisierte Objekterkennung zu nutzen.

Die Strukturierung einer solchen Ontologie und ihre Befüllung mit Inhalten, die aus der vorhandenen Wissensbasis abgeleitet sind, ist der erste Schwerpunkt des WiDOP-Projektes. Wie oben erwähnt, sind die zu hinterlegenden Informationen im Wesentlichen zwei Hauptklassen zuzuordnen, den Objekten und den Algorithmen. Die Objektinformationen bestehen z.B. aus Position und Ausrichtung, Form und Größe, Oberflächenbeschaffenheit und Farbe, Nachbarschaftsbeziehungen und vielen mehr. Weiterhin können Informationen über die Objektrepräsentation in der Punktwolke hinterlegt werden. Beispielsweise werden bei der Bahnvermessung Objekte im Umgebungsbereich des Gleises nur aus einer Richtung, nämlich vom fahrenden Lichttraummesszug erfasst. Dementsprechend bildet sich ein Objekt in der zugehörigen Punktwolke nur partiell ab. Ebenso könnten Informationen über die zu erwartende Punktdichte auf dem Objekt hinterlegt bzw. generiert werden, sofern die verwendete Scanauflösung und die Entfernung zum Scanner bekannt sind. Die Algorithmen zur Objekterkennung lassen sich mit solchen Informationen viel gezielter steuern und sind damit robuster und effektiver.

### 3.2 Algorithmik

In der zweiten Hauptklasse werden die Informationen über die Algorithmen selbst hinterlegt. Diese werden zunächst in mehrere Unterklassen unterteilt, wie z.B. Algorithmen zur Vorverarbeitung, Segmentierung, Objekterkennung und Modellierung. Nachfolgend seien exemplarisch einige Algorithmen aufgeführt.

Tab. 1: Auswahl einiger Algorithmen

Klasse	Algorithmus	Parameter / Input	Verwendung für
Vorverarbeitung	Noise reduction	Filtermatrix	Punktwolken
	Uniform sampling	Punktabstand	Punktwolken
	Histogrammstreckung	Anfangs- /Endgrauwert	Bilder
	Projektion	Projektionsebene	Punktwolken
Segmentierung	Bounding Box	Koordinaten	Punktwolken
	Region Growing	Startpunkte, Ähnlichkeitswert	Punktwolken, Bilder
	Krümmungsbasierte S.	Ähnlichkeitswert	Punktwolken
Objekterkennung	Hough-Transformation	Geometrieparameter	Punktwolken, Bilder
	Kantenoperatoren	Filtermatrix	Bilder
Modellierung/ Rekonstruktion	Best Fit	Punktauswahl, Objekt	Punktwolken
	Template Matching	Template	Punktwolken, Bilder

Die hier aufgeführte Auswahl besteht aus sehr einfachen und etablierten Verfahren zur Verarbeitung von Punktwolken und Bildern. Dies ist auch beabsichtigt. Das Konzept sieht vor, einen sehr grundlegenden, modular aufgebauten „Werkzeugkasten“ vorzuhalten, aus dem sich die Wissensverarbeitung entsprechend der Regeln und der Wissensbasis bedienen kann. Dadurch werden auch komplexere kombinierte Verarbeitungsverfahren ermöglicht. Beispielsweise kann es nötig sein, zunächst eine Segmentierung der Punktwolke mittels einer Bounding Box durchzuführen. Dies ist selbstverständlich nur dann möglich, wenn die ungefähre Objektposition aus der Wissensbasis bekannt ist (z.B. aus Entwurfsplänen). Anschließend könnte eine Rauschreduktion durchgeführt werden, wenn das Objekt z.B. mit einem qualitativ schlechten Scanner erfasst wurde und die Datenqualität dadurch mangelhaft ist. Als letzter Schritt kann ein 3D-Template-Matching-Verfahren durchgeführt werden. Voraussetzung ist, dass es ein 3D-Modell des zu erkennenden Objektes gibt, welches entweder aus früheren Durchläufen der Objekterkennung stammt oder aus einem vorhandenen Objektkatalog bekannt ist.

Ein solcher Entscheidungs- und Verarbeitungsprozess wäre sehr flexibel und an verschiedenste Objektkonstellationen und Rahmenbedingungen adaptierbar. Selbstverständlich muss das zugrunde liegende Regelwerk die Basis für eine solche Entscheidungsfindung liefern (welche Algorithmen sind in welcher Reihenfolge mit welchen Parametern auszuführen?). Näheres dazu soll weiter unten erläutert werden.

## 4 Wissensmodellierung / Ontologie

Der Aufbau einer Ontologie für das Projekt WiDOP ist derzeit noch in der Entwicklung. Grundsätzlich soll ein zweistufiger Ansatz verfolgt werden. Erstens der Aufbau einer allgemein gültigen Ontologie, welche Klassen und Relationen für die wissensgestützte Objekterkennung in räumlichen Daten liefert. Zweitens eine Spezialisierung dieser Allgemeinontologie für bestimmte Anwendungen, hier beispielsweise für die Bahnvermessung und das Facility Management auf einem internationalen Flughafen.

Ein exemplarischer Ausschnitt aus der noch im Aufbau befindlichen WiDOP-Ontologie ist in Abb. 1 dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine vereinfachte grafische Darstellung der Klassen in der Ontologie. Die Klassenstruktur bildet das Grundgerüst für die Festlegung von Relationen (*properties*). Die dargestellten „is-a“-Verbindungen legen lediglich die Beziehung der Klassen zueinander fest (Hauptklassen, Unterklassen) und sind bedeutsam für Vererbungsvorgänge. So würde eine Eigenschaft, die der Klasse „Edge\_operators“ zugewiesen wird, auch auf die Unterklassen „Laplace\_operator“ und „Sobel\_operator“ vererbt.

Das eigentliche Wissen steckt allerdings in den noch zu definierenden Relationen zwischen den Klassen – und dementsprechend dann auch zwischen den Instanzen der Klassen, also den eigentlichen Daten, die sich innerhalb jeder Klasse befinden. Ein einfaches Beispiel sei im Folgenden beschrieben.

Die Klasse „Room“ steht mit den Klassen „Wall“, „Ceiling“ und „Floor“ in einer Beziehung. Alle sind gleichzeitig Unterklassen der Klasse „Object“. „Room“ kann mehrere „Walls“ enthalten aber nur einen „Floor“ und „Ceiling“. Gleichzeitig kann definiert werden, dass „Walls“ und „Floor“ bzw. „Ceiling“ senkrecht aufeinander stehen. Objekteigenschaften werden in der Klasse „Characteristics“ verwaltet. So würde man die Unterklasse „plane“ (eben) und „Wall“

miteinander in Beziehung setzen. Zusätzlich könnte man definieren, dass „Walls“ immer senkrecht stehen, indem man eine Unterklasse der Klasse „plane“ einführt, die „normal\_vector“ lautet und das Attribut „horizontal“ besitzt. Damit wäre für jede Instanz der Klasse „Room“ eines Gebäudes klar, dass der Raum aus Wänden aufgebaut ist, die ebene Objekte sind, die senkrecht zueinander stehen. Diese Information ist für einen Menschen ohne weiteres nachvollziehbar. Für einen Computer ist das jedoch nicht der Fall, sondern muss explizit mittels einer solchen Ontologie festgelegt werden. Erst die Festlegung und Strukturierung dieses Wissens in Form von Relationen erlaubt es dem Rechner, automatisiert logische Rückschlüsse zu ziehen und in diesem Fall die passende Algorithmik zu Detektion von senkrechten Ebenen anzuwenden.



Abb. 1: Exemplarischer Ausschnitt aus der WiDOP-Ontologie

Die technische Grundlage zur Erstellung einer Ontologie bildet der freie Ontologie-Editor Protégé. Diese JAVA-basierte Anwendung gestattet die Definition von Klassen und Relationen sowie das Füllen der Ontologie mit Instanzen. Protégé beruht auf der Ontologiesprache OWL. Neben dem rein manuellen Aufbau einer Ontologie können bestimmte Quelldaten (Vorwissen) auch automatisiert in OWL überführt werden. So verwaltet WiDOP-Projektpartner Metronom die mittels Lichtraummesszug erfasste Daten und Objekte bei der Bahnstreckenvermessung in einer XML-Struktur. Da auch OWL eine XML-basierte Sprache ist, können die Daten mit geeigneten Tools automatisiert konvertiert werden. Im Falle des Facility Management bietet das IFC-Format als Standard für die Beschreibung von Gebäudemodellen eine gute Grundlage zur Erzeugung einer Ontologie für die Gebäudestruktur. Entsprechende Konverter sind in der Entwicklung (siehe SCHEVERS & DROGEMULLER, 2006) und werden derzeit hinsichtlich ihrer Eignung für WiDOP untersucht.

## 5 Wissensverarbeitung

Die größte Herausforderung ist jedoch nicht die Strukturierung und Formalisierung des Vorwissens, sondern dessen geschickte Nutzung und Verarbeitung für die Objekterkennung in den Messdaten. Die Kernproblematik ist dabei die Frage, wie die Beziehung zwischen den zu erkennenden Objekten und den zu verwendenden Algorithmen hergestellt wird.

Der naheliegende Ansatz besteht darin, Objekte und Algorithmik über jeweils gemeinsame Objektcharakteristiken miteinander zu verknüpfen. Wenn beispielsweise ein Algorithmus in der Lage ist, mittels Projektion einer Punktwolke in die Horizontalebene und anschließender Linienverfolgung senkrecht stehende Ebenen zu erkennen, so ist es naheliegend, diesen Algorithmus mit den entsprechenden Objektcharakteristiken in der Ontologie zu verknüpfen. Auf diese Weise würden alle Instanzen, die über diese Eigenschaften verfügen (hier z.B. die verschiedenen Wände der Klasse „Walls“, siehe oben), automatisch mit dem entsprechenden Algorithmus verbunden und könnten somit in der Punktwolke gefunden werden.

Ein solches Vorgehen, das rein auf Relationen zwischen Klassen beruht, wird jedoch nur in einfachen Fällen funktionieren. Komplexere Entscheidungsprozesse sind nur über ein Regelwerk, also mit Hilfe von *rules* durchführbar. Ein solches Regelwerk muss sich sowohl des Wissens über die Objekte einer bestimmten Domain, hier also Bahnvermessung oder Facility Management, bedienen, als auch dem Wissen über die Auswirkung der mathematischen Verfahren bis hinunter zur Parametrisierung der einzelnen Algorithmen (z.B. geschickte Wahl der Filtermatrizen für den Kantenoperator). Weiterhin soll ein Feedback der Algorithmik zur Wissensbasis gewährleistet sein, so dass das Ergebnis einer Objekterkennung in Form eines Binärwertes (TRUE, FALSE) oder einer qualitativen Aussage (Standardabweichung o.ä.) in die Wissensverarbeitung zurückgegeben wird und so gegebenenfalls die Anpassung der Algorithmik für eine zweite Iteration bewirkt.

Da sich das Projekt WiDOP noch im Anfangsstadium befindet, können über den Teil der Wissensverarbeitung noch keine detaillierten Aussagen getroffen werden. Derzeit wird untersucht, ob das Regelwerk auf konventionelle IF-THEN-Regeln aufbauen wird, oder ob es geschickter ist, unscharfe Beschreibungen für bestimmte Zustände und Rahmenbedingungen einzuführen (Fuzzy Logic).

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag präsentiert erste Ideen und Ansätze zur Wissensbasierten Detektion von Objekten in Punktwolken und Bildern im gleichnamigen, erst kürzlich gestarteten Forschungsprojekt am i3mainz. Unsere Lösung wird ontologiebasiert sein und sich damit an den Konzepten des Semantic Web orientieren. Das Vorwissen über die zu erkennenden Objekte (z.B. aus Bestandsplänen), über die einzusetzende Objekterkennungsalgorithmik und über die eigentlichen Messdaten soll in einem Wissensmodell strukturiert werden, um es so für automatisierte rechnergestützte logische Entscheidungsprozesse zur Verfügung zu stellen. Die Wissensverarbeitung wird auf einem Regelwerk aufbauen, das im Wesentlichen die Wahl und Parametrisierung der Algorithmik zur Objekterkennung steuert.

Die Arbeiten in der näheren Zukunft werden sich auf den Auf- und Ausbau der Ontologie, die Strukturierung und Bewertung der vorhandenen Algorithmik und die logische Verknüpfung der Algorithmik mit den Objekten bzw. ihren Charakteristiken konzentrieren. Als nächster Schritt folgen dann der Aufbau des Regelwerks sowie die Implementierung der Wissensverarbeitung und Algorithmik zur Durchführung der ersten praktischen Tests. Das Projekt wird im Herbst 2012 abgeschlossen sein.

## 7 Dank

Das im vorliegenden Aufsatz beschriebene Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 1758X09 finanziert, wofür sich die Autoren herzlich bedanken.

## 8 Literaturverzeichnis

- BÖHLER, W. & MARBS, A., 2010: Investigating Laser Scanner Accuracy. [http://scanning.fh-mainz.de/scannertest/results\\_300305.pdf](http://scanning.fh-mainz.de/scannertest/results_300305.pdf) (aufgerufen am 26. Mai 2010).
- BOOCHS, F., KERN, F., MARBS, A., SCHÜTZE, R., 2009: Ansätze zur geometrischen und semantischen Modellierung von großen, unstrukturierten 3D-Punktmengen. DGPF Tagungsband 18 / 2009, Jena.
- CRUZ, CH. & BOOCHS, F., 2007: Reconstruction of Architectural Objects from 3D Scanner Survey. In: Seyfert, E. (Hrsg.): DGPF-Tagungsband 16: 95-102.
- GRAU, O., 2000: Wissensbasierte 3D-Analyse von Gebäudeszenen aus mehreren frei gewählten Stereofotos. Dissertation, Universität Hannover.
- HOFMANN, A.D., MAAS, H.-G., STREILEIN, A., 2003: Derivation of roof types by cluster analysis in parameter spaces of airborne laserscanner point clouds. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. 34, Part 3/W13, pp. 112-117.
- PU, S. & VOSSelman, G., 2006: Automatic extraction of building features from terrestrial laser scanning. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 36, part 5.
- SCHEVERS, H. & DROGEMULLER, R., 2006: Converting the Industry Foundation Classes to the Web Ontology Language. Proceedings of the First International Conference on Semantics, Knowledge, and Grid.
- SCHWALBE, E., 2004: 3D building model generation from airborne laser scanner data by straight line detection in specific orthogonal projections. ISPRS Commission III / WG3. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 35, Part B, S. 249-254.
- VOSSelman, G., GORT, B.G.H., SITHOLE, G., RABBANI, T., 2004: Recognising structure in laser scanner point clouds International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. 36, part 8/W2, pp. 33-38.