



### **Jan Böhm**

Dipl.-Inform. M.Sc. Jan Böhm ist Leiter der Forschungsgruppe „Terrestrial Positioning Systems and Computer Vision“ am Institut für Photogrammetrie (ifp) der Universität Stuttgart

Adresse: Geschwister-Scholl-Str. 24, D-70174 Stuttgart

E-Mail: [jan.boehm@ifp.uni-stuttgart.de](mailto:jan.boehm@ifp.uni-stuttgart.de)



### **Sara Schuhmacher**

Dipl.-Ing. Sara Schuhmacher ist Mitarbeiterin der Forschungsgruppe „Terrestrial Positioning Systems and Computer Vision“ am Institut für Photogrammetrie (ifp) der Universität Stuttgart

Adresse: Geschwister-Scholl-Str. 24, D-70174 Stuttgart

E-Mail: [Sara.Schuhmacher@ifp.uni-stuttgart.de](mailto:Sara.Schuhmacher@ifp.uni-stuttgart.de)

## **Erste Erfahrungen mit dem Laserscanner Leica HDS 3000**

### **Abstract**

In this paper we present the first results obtained at the Institute for Photogrammetry, University of Stuttgart using the new Leica Geosystems HDS 3000 laserscanner in the course of two projects. In these examples we show the potential this new technology offers for both outdoor and indoor applications. The first application we present is concerned with the augmentation of an existing virtual city model by

integrating high resolution terrestrial laser scans of the facade structures. The second application details the recording and modeling of an industrial facility.

## **Zusammenfassung**

Dieser Beitrag beschreibt die ersten Erfahrungen, die am Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart beim Einsatz des terrestrischen Laserscanners HDS 3000 der Firma Leica Geosystems im Rahmen von zwei Projekten gewonnen wurden. Es werden beispielhaft die Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt, die diese neu entwickelte Technologie sowohl für den Einsatz bei Aufnahmen im Außenbereich, als auch für Innenraumanwendungen bietet. Die erste Anwendung beschäftigt sich mit der Anreicherung der Daten des dreidimensionalen Stadtmodells von Stuttgart durch das Aufbringen von hoch aufgelöster dreidimensionaler Textur aus terrestrischen Laserdaten. In der zweiten Anwendung wird am Beispiel einer Maschinenhalle die Aufnahme und Modellierung von Objekten im industriellen Kontext beschrieben.

## **1. Einleitung**

Mit dem Begriff High Definition Surveying (HDS) bezeichnet die Firma Leica Geosystems ihre neuesten Entwicklungen im Bereich der terrestrischen Laserscanner. Der Laserscanner HDS 3000 repräsentiert dabei die neueste Generation aus dieser Produktlinie. Die auffälligste Neuerung gegenüber dem Vorgängergerät, dem mittlerweile als HDS 2500 bezeichnetem Scanner, ist die dreißigfache Vergrößerung des Scanbereichs. Das Gerät erlaubt es, in nur einer Aufnahme einen Bereich von 360° horizontal und 270° vertikal aufzunehmen. Somit entfällt die häufige Neuausrichtung des Geräts. Diese Bereiche können mit einer frei wählbaren Auflösung von maximal 20.000 beziehungsweise 5.000 Punkten erfasst werden. Die Einzelpunktgenauigkeit am Objekt wird vom Hersteller dabei mit 6 mm angegeben. Bei Verwendung spezieller Zielmarken wird jedoch, wie in den im Folgenden beschriebenen Projekten, eine Genauigkeit von 1 bis 2 mm erreicht. Diese Genauigkeit, die an den Verknüpfungs- oder Passpunkten erreicht wird, ist entscheidend für die Genauigkeit der Registrierung von mehreren Datensätzen.

Der HDS 3000 verwendet die Impulslaufzeitmessung zur Distanzbestimmung. Dabei kommt ein grüner Laser mit 532 nm Wellenlänge zum Einsatz. Der Durchmesser des Laserpunktes wird vom Hersteller mit 6 mm in 50 Metern Entfernung angegeben, die Reichweite mit bis zu 100 Metern. In der praktischen Anwendung im Außenbereich konnten jedoch problemlos Messungen bis über 200 Meter durchgeführt werden. Die Punktrate wird mit bis zu 2000 Punkten pro Sekunde angegeben. Dieser Wert hängt jedoch stark von der gewählten Auflösung ab und kann nur bei hoher Punktdichte in vertikaler Scanrichtung erreicht werden. Wird die Punktdichte verringert, verringert sich auch die Punktrate. Für Rundumaufnahmen mit hoher Auflösung müssen pro Standpunkt 1 bis 2 Stunden eingerechnet werden. Abbildung 1 zeigt das Gerät im praktischen Einsatz auf einem Standpunkt.



Abbildung 1: HDS 3000 auf dem Dreibein

Die Kenndaten des HDS 3000 platzieren das Gerät zwischen den Laserscannern mit extrem hoher Reichweite aber geringerer Genauigkeit und Scannern mit extrem hoher Punktrate aber geringerer Reichweite. Die oben beschriebenen Charakteristika zeigen die Eignung des Scanners einerseits für Aufnahmen im Außenbereich, da der gepulste Laser völlig unempfindlich gegen Tageslicht ist und zudem die Reichweite für Aufnahmen im Stadtgebiet völlig ausreichend ist. Andererseits machen die hohe Genauigkeit und insbesondere das innovative Zwei-Fenster-Design den Scanner genauso für Innenraumaufnahmen geeignet, bei denen es besonders wichtig ist, nahezu die gesamte Innenfläche einer gedachten Sphäre mit nur einer Aufnahme zu erfassen.

Diese universelle Einsatzfähigkeit und die Flexibilität des HDS 3000 wurden am Institut für Photogrammetrie (ifp) in zwei Beispielanwendungen untersucht. Der zweite Teil dieses Beitrags beschreibt den Einsatz des Laserscanners bei der Innenraumaufnahme im industriellen Umfeld. Dabei wurde eine Maschinenhalle mit dem Laserscanner aufgenommen und anschließend mit der Software Cyclone 5.1 in CAD-Daten überführt. Die nächsten Abschnitte motivieren jedoch zunächst den Einsatz des Laserscanners im Außenbereich zur Aufnahme von Gebäuden und Fassaden.

Dem interessierten Anwender werden heute von den Landesvermessungsämtern, den Stadtmessungsämtern aber auch von privatwirtschaftlicher Seite eine Fülle von digitalen Geodaten angeboten. Dieses Angebot beinhaltet digitale Karten, digitale Oberflächenmodelle und nun auch vermehrt digitale dreidimensionale Stadtmodelle. Auf Basis dieser Daten können bereits diverse ortsbezogene Anwendungen realisiert werden, so genannte Location Based Services (LBS), einem der lukrativen Zukunftsmärkte für räumliche Daten im städtischen Gebiet. So besteht beispielsweise die Möglichkeit des Angebots virtueller Stadtführungen zur Förderung des Tourismus oder allgemeiner die Unterstützung der Navigation von Fußgängern.

Prototypen für derartige Systeme werden seit einiger Zeit im Rahmen des Projekts NEXUS am ifp entwickelt (Fritsch et. al. 2000).

Die zunächst vorhandenen Daten eines virtuellen Stadtmodells weisen allerdings nur eine stark generalisierte Darstellung der Gebäude auf, die in Anwendungen, die mit Techniken der virtuellen Realität (VR) arbeiten, einen unrealistischen Eindruck der Umgebung vermitteln. Es ist möglich, die groben räumlichen Strukturen zur besseren Visualisierung mit ebenen Texturen aus terrestrischen Digitalbildern zu versehen. Dies wurde für das virtuelle Stadtmodell der Stadt Stuttgart bereits für hunderte von Gebäuden im Innenstadtbereich unter Verwendung tausender von Bildern durchgeführt und die Entwicklung von automatisierten Verfahren wird weiter vorangetrieben (Böhm, 2004).

Die texturierte Darstellung ist allerdings nur aus größerer Entfernung und unter eingeschränktem Blickwinkel zufrieden stellend. Um die Fassadenstrukturen aus der Nähe realistisch wiedergeben zu können, reicht eine rein zweidimensionale Textur nicht aus. Eine realistische Wiedergabe kann nur durch die Integration von hoch aufgelösten dreidimensionalen Strukturen erreicht werden. Eine geeignete Methode zur Erfassung der benötigten Daten besteht in der Aufnahme mittels eines terrestrischen Laserscanners. Hierdurch können die existierenden dreidimensionalen Gebäudedaten in einigen Bereichen des Stadtmodells verdichtet und mit Details angereichert werden. Bedingt durch den, im Vergleich zu einer Befliegung des Gebiets, enormen Zeitaufwand für die Messung, kann die Verbesserung des Stadtmodells allerdings nur in einigen ausgewählten Teilbereichen erfolgen.

## **2. Außenaufnahmen der historischen Fassaden am Schillerplatz in Stuttgart**

Ein Beispiel für einen bedeutungsvollen Bereich im Innenstadtbereich Stuttgarts ist der Schillerplatz. Es handelt sich um einen historischen Stadtplatz, der als einziger Platz der Stuttgarter Innenstadt nach dem Zweiten Weltkrieg originalgetreu wieder aufgebaut wurde. Um das zentral gelegene Denkmal des Dichters Friedrich Schiller befinden sich zahlreiche geschichtsträchtige Gebäude. Eingerahmt wird der Platz vom Alten Schloss, dem Prinzenbau, dem Fruchtkasten, der Alten Kanzlei sowie der Stiftskirche. Diese Situation und die Bedeutung des Platzes legen es nahe, diesen historisch interessanten Teil der Stadt in einem dreidimensionalen Modell detaillierter zu erfassen und darzustellen.

Für den Innenstadtbereich von Stuttgart existieren diverse Geodatensätze, die auch schon Ausgangspunkt früherer Untersuchungen am ifp waren (Haala, et. al. 2002). Unter anderem sind ein digitales Oberflächenmodell flächendeckend für den gesamten Bereich Baden-Württembergs sowie ein dreidimensionales Stadtmodell der Stadt Stuttgart vorhanden. Das digitale Oberflächenmodell des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg wurde aus flugzeuggestütztem Laserscanning abgeleitet. Die Befliegung wurde von TopScan unter Verwendung des Systems ALTM 1225 der Firma Optech durchgeführt. Der mittlere Punktabstand der aufgenommenen Daten beträgt 1.5 m, die erreichte Höhengenaugigkeit der Laserpunkte liegt bei 0.15 m (Schleyer, 2001). Des Weiteren stellt das Stadtmessungsamt Stuttgart ein dreidimensionales Stadtmodell des gesamten Stadtgebiets zur Verfügung. Die Datengrundlage für die Ableitung der Strukturen

bildeten hierfür die Gebäudegrundrisse aus der Amtlichen Liegenschaftskarte (ALK) sowie Farbluftbilder einer aktuellen Befliegung des Stadtgebiets. In einem ersten Schritt erfolgte die Erzeugung eines digitalen Geländemodells (DGM) aus den vorhandenen Luftbildern. Über den Schnitt dieses DGM mit den Gebäudegrundrissen aus der ALK wurden im Anschluss dreidimensionale Gebäudegrundrisse bestimmt. Die für die Darstellung der Fassaden benötigte Bestimmung der Dachhöhen an den Eckpunkten der Grundrisspolygone erfolgte aus den Stereopaaren der Luftbilder. Zusätzlich wurden die genauen Dachformen aus den Bildflugdaten abgeleitet. Die Genauigkeit der bestimmten Gebäudestrukturen liegt bei 0.3 m bis 0.5 m in der Höhe, die Lagegenauigkeit ergibt sich aus der gegebenen Genauigkeit der Grundrissdaten im cm-Bereich (Wolf, 1999).

Für die Erfassung der Gebäudefassaden wurde der oben beschriebene Laserscanner HDS 3000 der Firma Leica Geosystems verwendet. Zur Aufnahme des gesamten Schillerplatzes waren Scans im 360°-Modus von drei verschiedenen Standpunkten aus notwendig. Hierdurch wurden Lücken im terrestrischen Laserdatensatz vermieden, die durch Verdeckungen entstehen, verursacht vor allem durch das Denkmal in der Mitte des Platzes. Für die spätere detailgetreue Wiedergabe der dreidimensionalen Strukturen der Fassaden wurde eine Auflösung von 10 cm am Objekt gewählt. Abbildung 2 zeigt die Situation des Platzes, mit einer Seitenlänge von etwa 100 Metern und die ausgewählten Standpunkte in einer digitalen Karte.

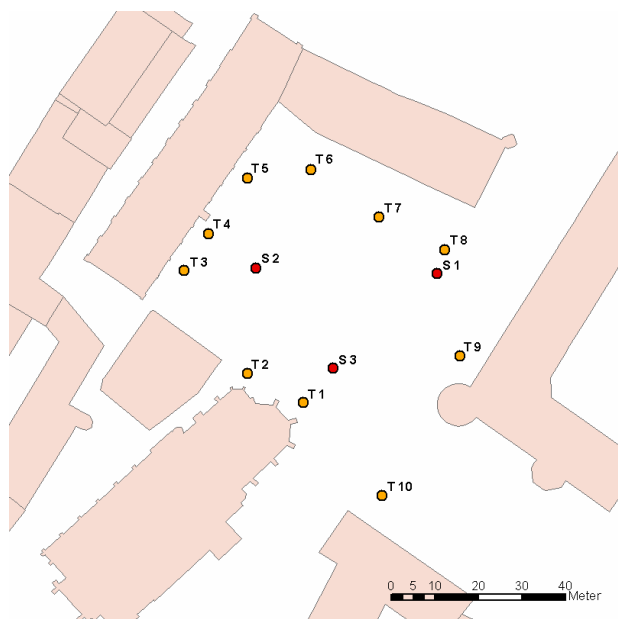


Abbildung 2: Aufnahmekonfiguration, Standpunkte S 1 bis S 3 (rot) und Zielmarken T 1 bis T 10 (gelb)

Die aufgenommenen Punktwolken enthalten circa zehn Millionen Punkte. Zur anschließenden Registrierung und Georeferenzierung der Punktwolken war die zusätzliche Aufnahme von zehn Verknüpfungspunkten im gesamten Bereich des Schillerplatzes notwendig. Verwendet wurden hierfür magnetische Zielmarken, die speziell für den HDS Laserscanner angeboten werden. Diese konnten problemlos an den um den gesamten Platz befindlichen Laternenmasten befestigt werden. Durch die gewählte Messanordnung war es möglich, nahezu alle Zielmarken von sämtlichen Standpunkten aus ohne Sichtbehinderung durch Fußgänger oder Fahrzeuge einzusehen. Die Lage- und Höhenkoordinaten der Zielmarken wurden



mithilfe eines Tachymeters in GK-Koordinaten bzw. NN-Höhen bestimmt. Die Genauigkeit der aufgenommenen Punktkoordinaten ergab sich hierbei zu einem Zentimeter. Durch das Wissen über die Landeskoordinaten ist es im Anschluss möglich, die aufgenommenen Punktwolken mit beliebig vielen anderen georeferenzierten Datensätzen zu überlagern und zu vergleichen. Der für die Aufnahme benötigte Zeitaufwand betrug acht Stunden. Bei der anschließenden Georeferenzierung der Daten ergab sich ein mittlerer absoluter Fehler von zwei Millimetern an den Zielmarken. Dieser angesichts der Objektgröße ausgezeichnete Wert reicht für die angestrebten Anwendungen vollkommen aus. Abbildung 3 zeigt die drei aufgenommenen Datensätze in einer integrierten Darstellung.

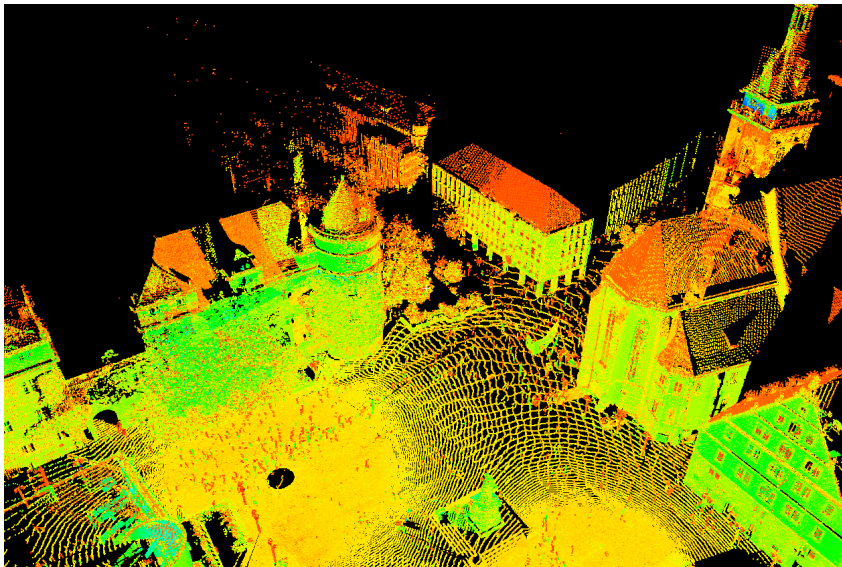


Abbildung 3: Referenzierte terrestrische Laserscannerdaten

Überlagert man die aufgenommenen terrestrischen Laserscannerdaten mit dem vorhandenen digitalen Oberflächenmodell aus flugzeuggestütztem Laserscanning, wie in Abbildung 4, lässt sich die Genauigkeit der Georeferenzierung der unterschiedlichen Datensätze verifizieren. Zu erkennen ist die flächenhafte Übereinstimmung sowohl in der Lage, als auch in der Höhe der beiden Datensätze.

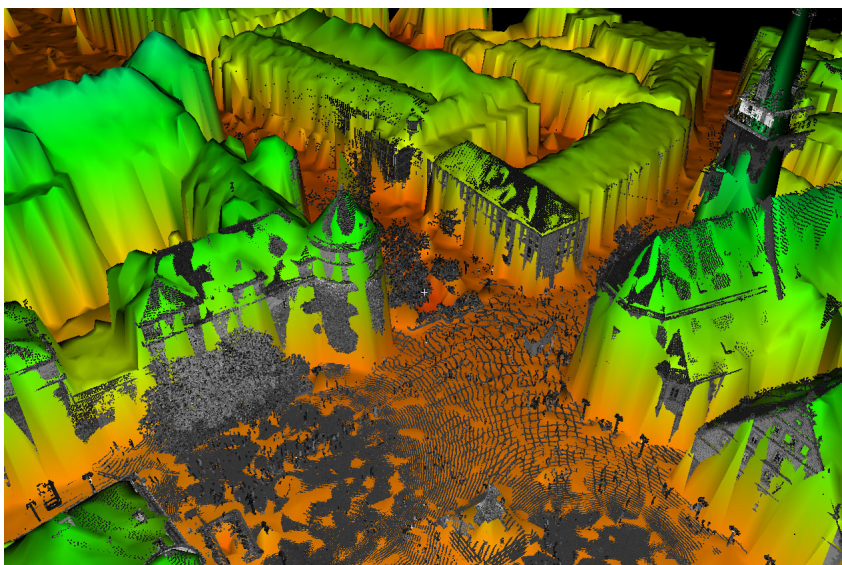


Abbildung 4: Fusion der terrestrischen Laserscannerdaten (grau) mit Luftlaserdaten (farbig)

Ziel der derzeitigen Arbeiten ist die Verbesserung der Fassadenstrukturen des dreidimensionalen Stadtmodells des Stadtmessungsamts Stuttgart. Bei der Überlagerung mit den terrestrischen Laserscannerdaten in Abbildung 5 und Abbildung 6 ist zu sehen, dass sich die beiden Datensätze durchdringen. Dies spricht für eine hohe geometrische Genauigkeit aller vorhandenen Daten. Ebenfalls lässt sich der Vorteil der dreidimensionalen Darstellung der Gebäudefassaden für Anwendungen mit VR Technologie erkennen. Sämtliche Details der historischen Fassaden sind im entstandenen Modell enthalten.

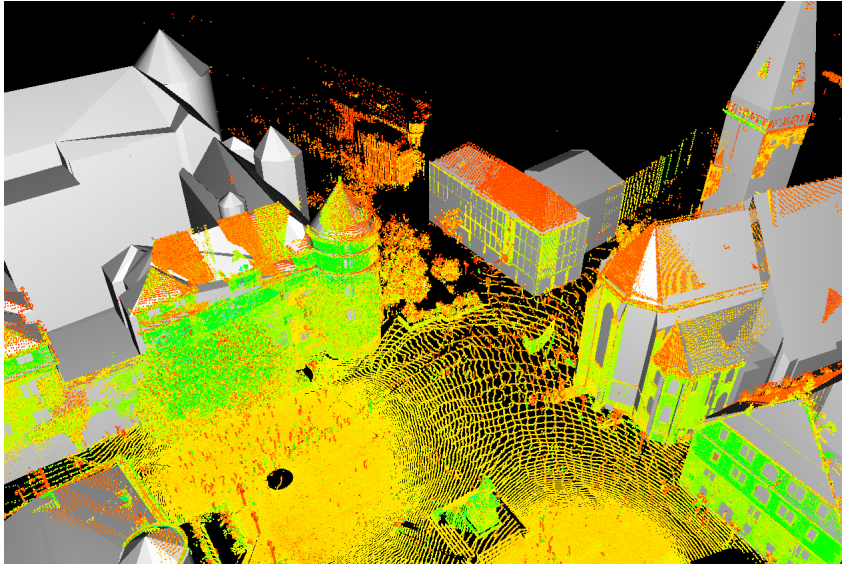


Abbildung 5: Fusion der terrestrischen Laserscannerdaten (farbig) mit dem 3D Stadtmodell (grau)

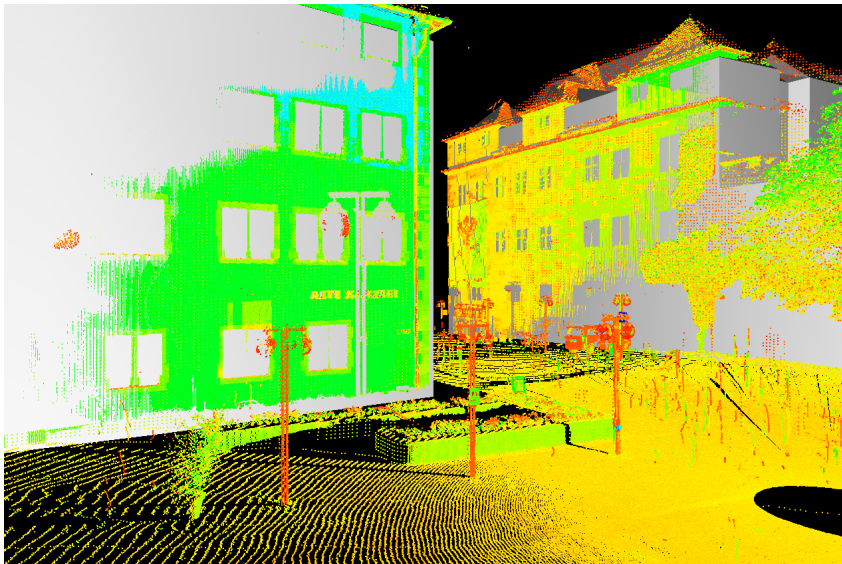


Abbildung 6: Visualisierung der Fassadenstruktur im Stadtmodell der Stadt Stuttgart

In einem weiteren Schritt ist es denkbar, die dreidimensionale Punktwolke des terrestrischen Laserscannerdatensatzes mit der Textur aus zusätzlich aufgenommenen digitalen Bildern zu versehen (siehe Abbildung 7). Die im Scanner HDS 3000 integrierte Digitalkamera liefert allerdings Bilder, die sowohl radiometrisch als auch geometrisch grobe Fehler aufweisen. Die Qualität dieser Bildinformationen reicht derzeit nicht aus, um ein zufrieden stellendes Ergebnis und eine qualitativ hochwertige Visualisierung der Gebäudefassaden zu erreichen. Wünschenswert



wäre eine Möglichkeit zur Integration extern aufgenommener Bilder mit einer höheren Qualität.

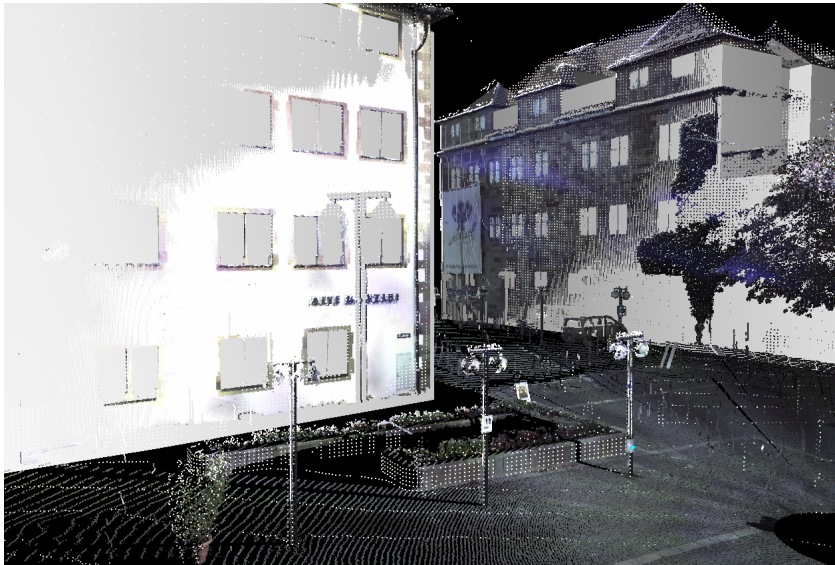


Abbildung 7: Mit Farben aus scannerinterner Digitalkamera texturierte Punktwolken

### 3. Innenaufnahmen einer Maschinenhalle

Ein weiteres mögliches Anwendungsgebiet für Laserscanning, das untersucht wurde, beschäftigt sich mit der Erfassung, Modellierung und Visualisierung von Industrieanlagen. Für erste Untersuchungen wurde die Maschinenhalle des Instituts für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart ausgewählt. Erfasst und dargestellt wird der Ist-Zustand der vorhandenen baulichen Anlagen. Nicht im Modell enthalten sind sämtliche variablen Aufbauten wie beispielsweise Maschinen sowie Einrichtungsgegenstände.

Für dieses umfangreiche Projekt war die Aufnahme des Objektes von acht Standpunkten aus notwendig. Erfasst wurden hierbei mehr als 30 Millionen Punkte. Zur späteren Registrierung der Aufnahmen wurden zusätzlich 18 Verknüpfungspunkte im gesamten Bereich der Halle angebracht. Abbildung 8 zeigt einen Grundriss der Halle, sowie die ausgewählten Standpunkte und Markierungen. Die Registrierung der Punktwolken erfolgte bei der vorliegenden Aufgabenstellung ausschließlich relativ zueinander, da keine Anbindung an ein übergeordnetes Netz oder die Fusion mit weiteren georeferenzierten Daten notwendig war. In Abbildung 9 ist die Komplexität der Szene und damit der aufgenommenen Daten zu erkennen. Die Restklaffungen nach der Registrierung an den Zielmarken liegen unter einem Millimeter. An dieser Größenordnung ist die hohe Messgenauigkeit des Laserscanners HDS 3000 zu erkennen.





benötigt wird. Dies liegt an der fehlenden Automatisierung dieses Arbeitsschrittes. Momentan ist eine manuelle Modellierung jedes einzelnen geometrischen Elementes, aus denen sich die Objekte zusammensetzen, notwendig.

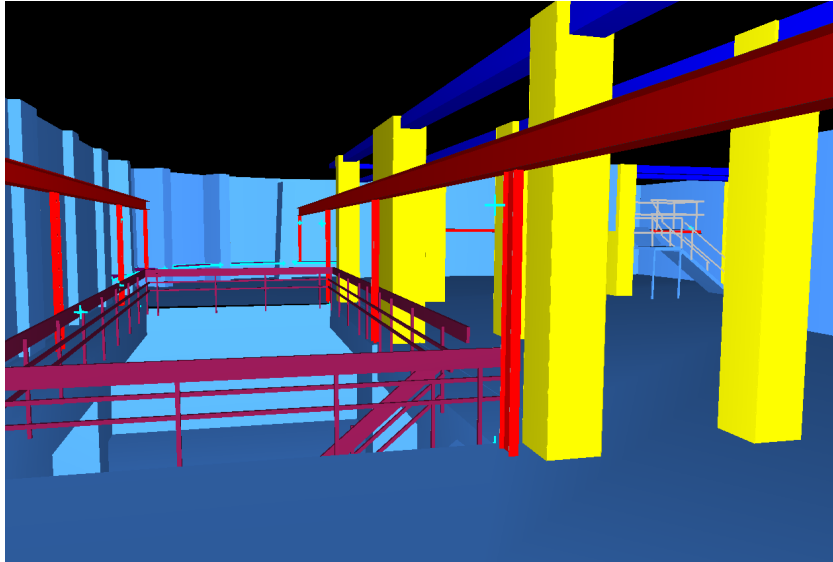


Abbildung 10: Modell der Maschinenhalle

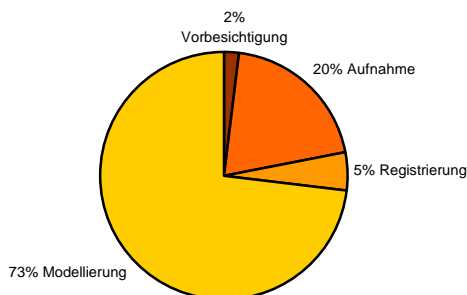


Abbildung 11: Benötigter Zeitaufwand des Projektes „Maschinenhalle“

## 4. Zusammenfassung

Anhand der beiden beschriebenen Projekte wurden erste Erfahrungen mit dem Laserscanner HDS 3000 der Firma Leica Geosystems gesammelt. Zu sehen war die universelle Einsatzfähigkeit sowohl für Aufnahmen im Außenbereich, beispielsweise für architektonische Aufgaben und für die Dokumentation von Kulturdenkmälern, als auch für Innenraumanwendungen zum Beispiel im industriellen Umfeld. Gezeigt haben sich die Vorteile dieser neuesten Technologie in der hoch genauen dichten dreidimensionalen Erfassung von Strukturen. Das schwächste Glied in der Auswertekette von der Aufnahme über die Registrierung zur Auswertung und Präsentation bildet zum jetzigen Zeitpunkt die Modellierung der Daten. Dies ist durch den hohen manuellen Aufwand dieses Arbeitsschrittes bedingt. Um die Technik des terrestrischen Laserscannings in Zukunft für den Praxiseinsatz attraktiver gestalten

zu können, müssen die bestehenden Auswertelgorithmen in Hinblick auf die Automatisierung der Modellierung geometrischer Primitive und damit der Modellierung von Objekten, die sich aus diesen Grundformen zusammensetzen, weiterentwickelt werden. Diese Anforderungen werden weiterhin maßgeblich die Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des räumlichen Sehens bestimmen.

## **Danksagung**

Wir danken Frau Sina Binder für die Auswertung der Laserdaten der Maschinenhalle im Rahmen ihrer Studienarbeit und für die Bereitstellung der entsprechenden Abbildungen.

## **Referenzen**

Böhm, J., 2004. Multi-image Fusion for Occlusion-free Facade Texturing. ISPRS Congress 2004, Volume 35, Part B, Istanbul, Turkey.

Fritsch, D., Klinec, D. und Volz, S., 2000. NEXUS - Positioning and Data Management Concepts for Location Aware Applications. In: Proc. of the 2nd International Symposium on Telegeoprocessing , pp. 171-184.

Haala, N., Böhm, J. und Kada, M., 2002. Processing of 3d Building Models for Location Aware Applications. In: ISPRS Commission III Symposium, International Archives on Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 34 Number 3, pp. 138–143.

Schleyer, A., 2001. Das Laserscan-DGM von Baden-Württemberg, Photogrammetric Week 2001.

Wolf, M., 1999. Photogrammetric Data Capture and Calculation for 3D City Models, Photogrammetric Week '99, pp. 305-313.