

# Laserscanning von historischen Gebäuden und Bauwerken

Erwin Christofori

## Zusammenfassung

Das terrestrische Laserscanning stellt eine wesentliche Ergänzung der bisher vorliegenden Vermessungstechnologien dar. In verschiedensten Bereichen von der Vermessung im Anlagenbau, der Architekturvermessung, der Archäologischen Dokumentation bis zur Visualisierung und Rekonstruktion lässt sich diese Technologie einsetzen. Nach einer rasanten Entwicklung der Scanner steht nun ein konsequenter Ausbau der Softwareangebote an. Anhand verschiedener Anwendungen aus dem Bereich der Architekturvermessung und Vermessung historischer Bauwerke wird der Stand der Technik präsentiert und mittels praktischer Beispiele dargestellt und erläutert.

## Summary

*Terrestrial laser scanning is a substantial supplement to currently available surveying technologies. The technology can be applied to various areas of surveying from plant engineering, architectural surveying, archaeological documentation to visualization and reconstruction. After a dynamic development of scanners a consistent expansion of the range of software is now on the agenda. Based on different applications from the area of architectural surveying and the surveying of historical monuments the state of the art is explained and outlined on the basis of practical examples.*

**Schlagworte:** Terrestrisches Laserscanning, Architekturvermessung, Vermessung in der Archäologie, Baudokumentation, Visualisierung

## 1 Allgemeines

Laserscanning ist in verschiedene Anwendungsbereiche zu unterteilen. Die folgenden Ausführungen befassen sich mit dem terrestrischen Laserscanning. Terrestrisches Laserscanning bedeutet den Geräteeinsatz von einem festen Standpunkt (Stativ). Die Scanner besitzen eine Reichweite von 0,8 m bis etwa 800 m. Anwendungsbereiche wie Nahbereichsscanning mit hochauflösender Datenerfassung, dynamisches Laserscanning von Schienenfahrzeugen oder Straßenfahrzeugen sowie AIRBORNE-Scanning von Flugzeugen werden im Rahmen des Beitrags nicht weiter erläutert.

## 2 Bisherige Methoden

Das terrestrische Laserscanning ist in seiner Anwendung die konsequente Weiterentwicklung der erprobten und eingeführten Methoden zur Architektur- und Bauwerksvermessung. Das Handaufmaß durch Zollstock, Maßband, der Einsatz des Distometers, die dreidimensionale Vermessung durch räumliche Schnurgerüste oder das tachymetrische Gebäudeaufmaß sind erprobte Methoden in der Architekturvermessung. Das terrestrische Laserscanning stellt eine Ergänzung und/oder wirtschaftliche Alternative zu diesen Methoden dar.

## 3 Möglichkeiten

Die bisherigen Methoden zielen auf die Erstellung zweidimensionaler Planunterlagen ab. Die erfassten Informationen werden auf konventionelle Träger – wie Papier oder Karton – aufgetragen, für Planungs- und Baumaßnahmen verwendet sowie archiviert. Eine Auswertung durch CAD ist ebenfalls möglich. Aus der tachymetrischen Vermessung lassen sich dreidimensionale Daten ableiten. Diese werden wiederum in zweidimensionale Pläne umgesetzt. Es lassen sich auch 3D-Modelle aus den Messergebnissen generieren.

Beim terrestrischen Laserscanning werden grundsätzlich dreidimensionale Informationen erfasst. Vergleichbar wie beim Tachymeter werden Strecken und Winkel gemessen und daraus Koordinaten ermittelt. Die Messrate liegt je nach Geräteausführung des Laserscanners bei bis zu 1.000.000 Punkten pro Sekunde. Unterschieden werden Geräte mit Impulslaufzeitverfahren oder Phasendifferenzverfahren. Die Geräte unterscheiden sich in der Messgeschwindigkeit, dem Messrauschen und in der Reichweite. Die unterschiedlichen Verfahren haben jeweils ihren optimalen Einsatzbereich, der je nach Einsatzfall individuell zu wählen ist. Durch die Möglichkeit zur Kombination verschiedener Messstandorte lassen sich auch von komplizierten Bauwerken und Gebäudesituationen komplexe Punktwolken erstellen. Die Messergebnisse sind dreidimensionale Koordinaten mit zusätzlichen Farbinformationen. Durch die Nachbearbeitung mit spezieller Software wird eine Auswertung als 2D-Dokumentation – vergleichbar mit den bisherigen konventionellen Messmethoden – oder auch in dreidimensionalen Modellen, Rekonstruktionen und Visualisierungen möglich. An verschiedenen Beispielen sollen nachfolgend die Möglichkeiten des Messverfahrens dargestellt werden.

## 4 Terrestrisches Laserscanning an historischen Gebäuden und Bauwerken

### 4.1 Sakrale Bauwerke

#### 4.1.1 Allgemeines

Besonders sakrale Bauwerke haben durch ihre Größe, Komplexität und Bauform erhebliches Potenzial für den Einsatz des terrestrischen Laserscannings. Die Vorteile des Messverfahrens lassen sich hierbei optimal nutzen. Durch die Vielzahl von unregelmäßigen Formen, die Größe der Bauwerke und die verschiedenen Anforderungen an die Dokumentation lässt sich die Wirtschaftlichkeit des terrestrischen Laserscannings hier besonders deutlich erkennen. Dies wird im Folgenden an verschiedenen Beispielobjekten gezeigt.

#### 4.1.2 St. Sebalduskirche in Nürnberg

Die St. Sebalduskirche ist eines der besonderen Kirchenbauwerke in der Stadt Nürnberg. Das Bauwerk wurde in verschiedenen Bauphasen ab 1225 errichtet. Ein wesentlicher Einschnitt in die Baugeschichte war die Zerstörung im Zweiten Weltkrieg sowie der bis 1957 andauernde Wiederaufbau der Kirche. Seitdem werden fortlaufend Re-



Abb. 1: St. Sebald Punktelwolke

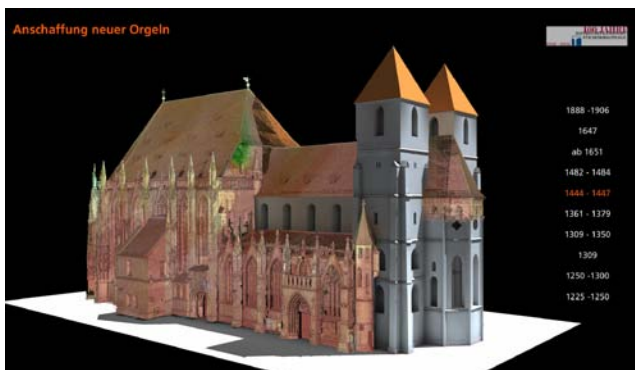


Abb. 2: St. Sebald Modell mit Punktelwolke (mit Erlaubnis des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Außenstelle Nürnberg, Robert Frank)

novierungsarbeiten an der Kirche durchgeführt. Im Jahr 2005 erfolgte eine Vermessung der Fassaden mittels terrestrischem Laserscanning (Abb. 1) und darauf aufbauend (in Zusammenarbeit mit Vertretern der Kirchengemeinde, der Stadt Nürnberg und des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Außenstelle Nürnberg) eine Rekonstruktion der unterschiedlichen Bauzustände über die Jahrhunderte (Abb. 2). Dies wurde in eine Videoanimation eingearbeitet und dargestellt. In den Folgejahren erfolgte eine Fortführung des Kirchenaufmaßes durch terrestrisches Laserscanning. Im Jahr 2011 wurden im Wesentlichen der Langhaus-Außen- sowie der Langhaus-Innenbereich und die Langhaus-Dachstuhlbereiche gescannt. Hieraus wurden Bestandsdokumentationen in Form von steingerechten Einlinienzeichnungen sowie Schnitt- und Ansichtszeichnungen des bestehenden Bauwerks erstellt. Nach Vorgabe der planenden Architektin sowie der zuständigen Fachbehörden erfolgte die Auswertung als zweidimensionale Bestandsunterlagen und für einzelne Bereiche des Gewölbes als dreidimensionale Gewölbe-Modelle für weiterführende statische Untersuchungen.

#### 4.1.3 St. Lorenzkirche in Nürnberg

Die St. Lorenzkirche stellt ein weiteres wichtiges Kirchenbauwerk der Stadt Nürnberg dar. Die Lorenzkirche ist die Pfarrkirche des südlich der Pegnitz gelegenen Teils des alten Stadtkerns der ehemaligen freien Reichsstadt Nürnberg. Die Kirche wurde zwischen 1250 und 1477 als gotischer Kirchenbau errichtet. Im Zweiten Weltkrieg wurde die Lorenzkirche stark beschädigt. Für laufende Sanierungsmaßnahmen im Jahr 2009 wurde der Innenraum des Chors durch terrestrisches Laserscanning auf der Grundebene und der Brüstungsebene erfasst (Abb. 3). Ausgewertet wurden Abwicklungen des Kircheninnenraumes in Form von steingerechten Einlinienzeichnungen (Abb. 4). Diese Ausarbeitungen dienten als Grundlage für die Steinbeurteilung durch die zuständigen Restauratoren. Die erstellten Planunterlagen dienten als Grundlage der Planungs- und Ausschreibungsmaßnahmen zur Kirchensanierung.



Abb. 3: St. Lorenz Punktelwolke, Innenraum

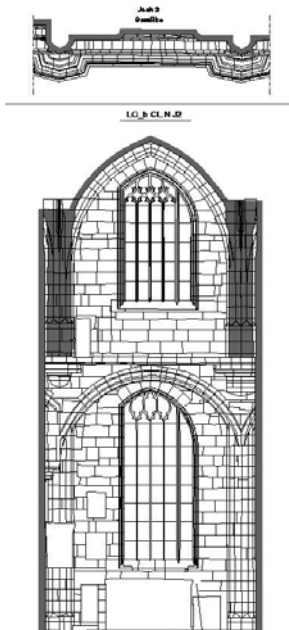


Abb 4:  
St. Lorenz,  
steingerechte  
Zeichnung  
Joch 2

#### 4.1.4 St. Marthakirche in Nürnberg

Die St. Marthakirche liegt östlich der Königstraße in der Lücke zwischen zwei Häusern. Die Kirche wurde ab dem Jahr 1363 errichtet. Die vorliegenden Bestandsunterlagen des Kirchenbauwerkes stammen aus dem späten 19. Jahrhundert und wurden mit den damals vorhandenen Methoden des Handaufmaßes in hervorragender Qualität erstellt. Nicht in den Unterlagen enthalten sind die im Zweiten Weltkrieg entstandenen Beschädigungen des Daches und des Chorgewölbes. Als Grundlage für

- den weiteren Bauunterhalt,
- eine statische Untersuchung
- sowie eine bauphysikalische Optimierung des Gebäudes

wurde eine vollständige Bestandsaufnahme des Fassadenbereiches, des Kircheninnenraumes sowie des Dachstuhlbereiches durchgeführt. Zur Anwendung kamen hier die Scanner HDS6000 und C10 der Firma Leica, die entsprechend ihren optimalen Randbedingungen parallel zur Erfassung eingesetzt wurden. Unter Verwendung eines Polygonzuges erfolgte die Verknüpfung der gewonnenen Messdaten zu einer vollständigen Punktwolke des Gesamtbauwerkes (Abb. 5 und 6). Aus der Punktwolke wiederum wurden Gebäudeansichten in zweidimensionaler Darstellung sowie die Kirchengrundrisse und Kirchenquer- und -längsschnitte (Abb. 7) sowie Details des Dachstuhls in Abstimmung mit den beteiligten Fachingenieuren und dem zuständigen Architekten erstellt. Die Messzeit zur Erfassung der Gesamtkirche lag bei ca. drei Arbeitstagen, der Auswertumfang durch entsprechend geschulte Architekten, Ingenieure und Denkmalpfleger unter Verwendung spezieller Software lag bei etwa drei Wochen.

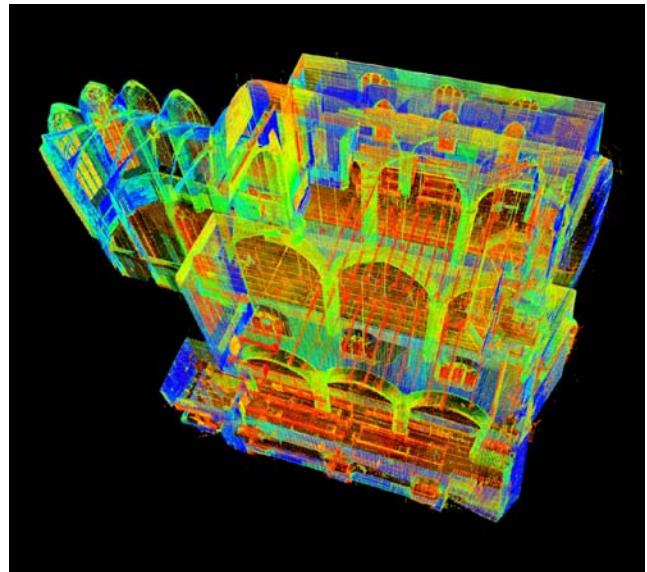


Abb. 5: St. Martha, Innenpunktwolke

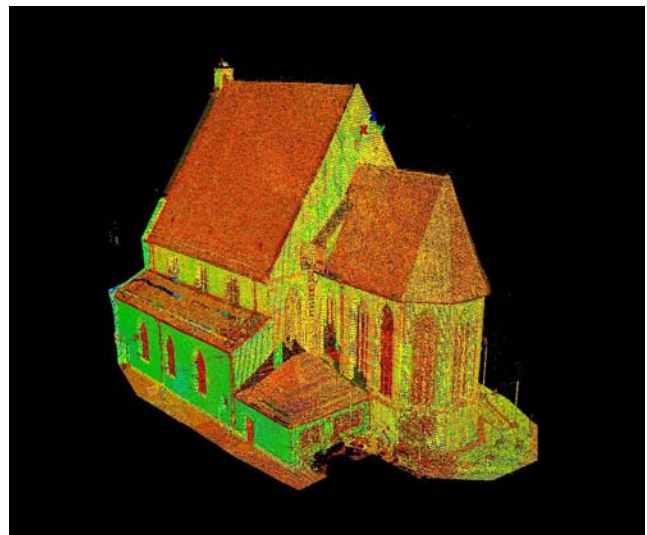


Abb. 6: St. Martha, Außenpunktwolke

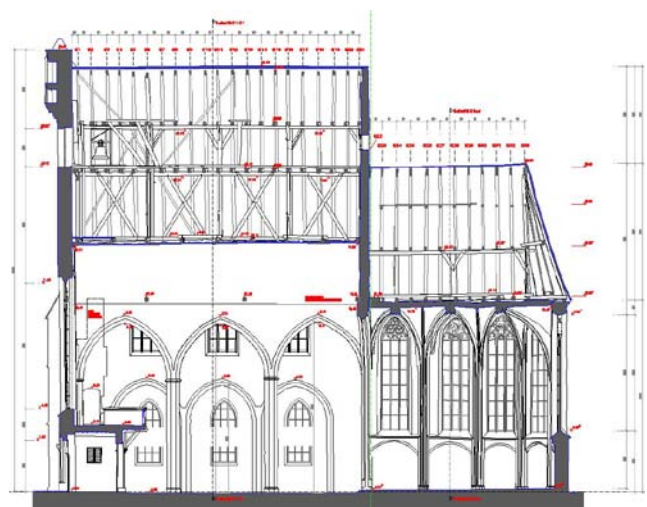


Abb. 7: St. Martha, Schnittzeichnung



#### 4.1.5 Münsterumfeld Heilsbronn

Die ehemalige Klosterkirche Heilsbronn wurde zwischen 1132 und 1139 als romanische Basilika errichtet, später gotisch umgebaut und erweitert. Nach Auflösung des Klosters Heilsbronn nach 1578 erfolgten bis in das 19. Jahrhundert starke Umgestaltungen der ehemaligen Klosteranlagen. Der früher direkt an die Münsterkirche anschließende Kreuzgang wurde im 18. Jahrhundert



Abb. 8: Münsterumfeld Heilsbronn, Visualisierung



Abb. 9: Münsterumfeld Heilsbronn, Visualisierung

abgebrochen. Der Raum zwischen dem noch verbliebenen Refektorium und einem Teilbereich des Religionspädagogischen Zentrums wurde im Jahr 2010 im Rahmen der Altstadtanierung Heilsbronn um- und neugestaltet. Als Grundlage zur Planungsvisualisierung wurden die Münsterkirche sowie die anliegenden profanen und kirchlichen Gebäude mittels 3D-Laserscanning mit externem Kamerasystem erfasst und dokumentiert und in eine farbige Punktwolke umgesetzt. Zur Visualisierung der Planungsideen der beauftragten Planer wurde eine wirklichkeitsgetreue, dreidimensionale Modellierung der Neugestaltung durchgeführt und mit den Ergebnissen des Laserscannings überlagert (Abb. 8 und 9). Die Planungsideen wurden sowohl in der Öffentlichkeit als auch in den politischen Gremien ausführlich diskutiert. Durch das terrestrische Laserscanning war es möglich, eine wirtschaftliche dreidimensionale Umsetzung der Bestandsdaten in Verbindung mit den Planungsideen vorzunehmen und damit eine optimale Beteiligung der politischen Gremien und der Öffentlichkeit zu ermöglichen.

#### 4.1.6 St. Matthäuskirche Wiesenthau

Bei der St. Matthäuskirche Wiesenthau handelt es sich um die ursprüngliche Schlosskapelle Wiesenthau, die im 15. und 16. Jahrhundert mit spätgotischen Elementen umgestaltet und im 19. Jahrhundert umfassend erneuert, ausgebaut und renoviert wurde. Da über den aktuellen Bauzustand keine verwertbaren Planunterlagen vorhanden waren, wurde eine vollständige Bestandsvermessung der Kirchenfassaden sowie der Kircheninnenräume durchgeführt (Abb. 10). Hieraus wurden steingerechte Ansichtszeichnungen und Fassadenabwicklungen erstellt sowie Grundriss- und Schnittzeichnungen (Abb. 11) ausgearbeitet. Die Durchführung der Arbeiten erfolgte mit dem Laserscanner HDS6000, der sowohl im Innen- als auch im Außenbereich eingesetzt wurde. Auf Grundlage der generierten Punktwolken war es möglich, optimale verfor-



Abb. 10: St. Matthäus, Außenpunktwolke

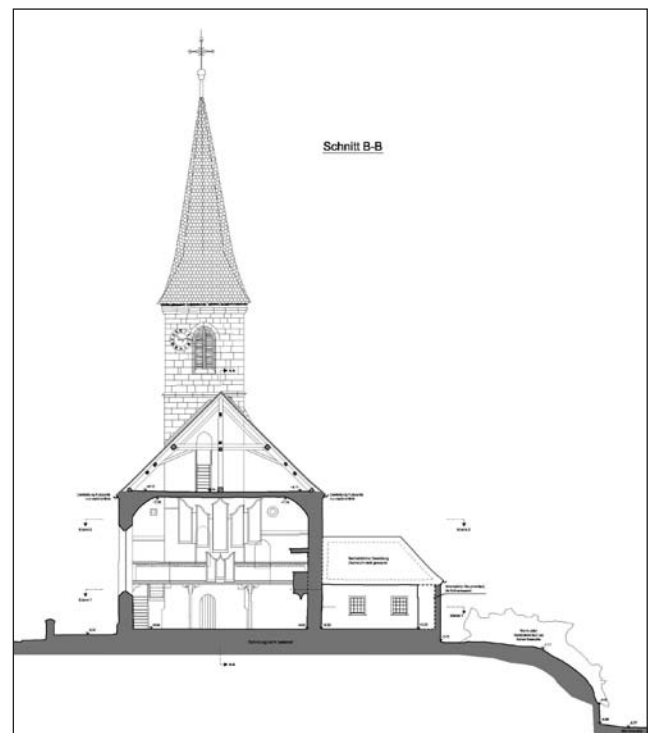


Abb. 11: St. Matthäus, Schnittzeichnung

munsgetreue und steingenaue Darstellungen zu erstellen. Mit einem optimal geschulten Vermessungsteam aus drei Fachleuten war die Arbeitszeit an der Kirche mit ca. zwei Tagen zu veranschlagen. Die etwa vierwöchige Nachbearbeitung erfolgte mit einer Arbeitsgruppe aus Vermessungsingenieuren, Architekten und Denkmalpflegern.

## 4.2 Profane Gebäude und Bauwerke

### 4.2.1 Allgemeines

Auch im Bereich von profanen Gebäuden (auch kleiner Gebäude), Brückenbauwerken und Gewölben ergeben sich bei entsprechender Projektvorbereitung gute Möglichkeiten zur Anwendung des Laserscannings als Grundlage für die Architekturdokumentation.

### 4.2.2 Kaiserstallung Nürnberg – Kaiserburg

Die Kaiserstallung Nürnberg stellt den östlichen Abschluss der ehemaligen Kaiserburg zwischen dem Fünfeckturm und dem Luginsland dar. Das Bauwerk wurde im Zweiten Weltkrieg stark zerstört. Im Rahmen des Wiederaufbaues wurden die Innenräume aus einer Stahlbetonkonstruktion errichtet. Die Fassadenbereiche bestehen aus Originalfassadenresten sowie ergänzendem Natursteinmauerwerk.



Abb. 12: Kaiserstallung, Außenpunktewolke

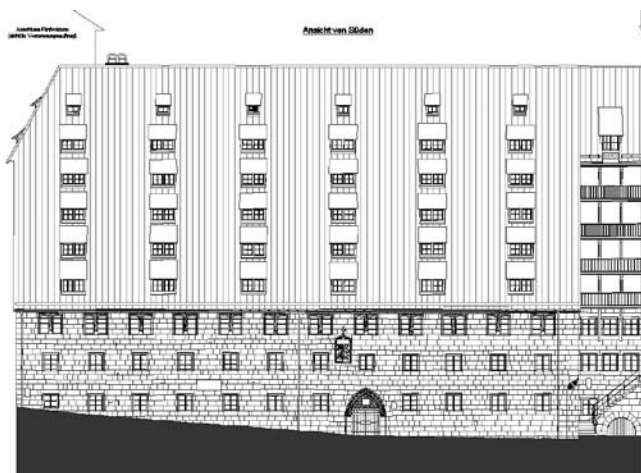


Abb. 13: Kaiserstallung, steingerechte Zeichnung

Die Jugendherberge wird nach modernen Gesichtspunkten umgestaltet. Dabei ist auch eine Fassadenrenovierung vorgesehen. Aufgabenstellung war die Erstellung von Fassadenplänen als steingerechte Einliniendarstellung und die Ausarbeitung von Gesamtfassadenplänen. Mittels des Laserscanners C10 erfolgte eine vollständige Fassadenvermessung des Objektes mit Farberfassung durch ein externes Kamerasystem (Abb. 12). Aus den gewonnenen Daten wurden maßgenaue Fassadenpläne unter Verwendung der Leica Auswertesoftware in Verbindung mit AutoCAD erstellt (Abb. 13). Die mittlere Genauigkeit der am Objekt erfassten Punkte liegt hier bei unter  $\pm 1\text{ cm}$  und bietet eine ausreichend genaue Kartierungsgrundlage für die Restauratoren zur Beurteilung des Natursteins und Festlegung des Sanierungsumfangs.

### 4.2.3 Pfarrhof St. Lorenz

Beim Pfarrhof St. Lorenz steht eine Fassadensanierung an. Durch die verwinkelte Bauform der Nordfassade ist eine fotogrammetrische Erfassung der einzelnen Fassadenabschnitte mit einem erheblichen Aufwand an Hebebühnen und Gerüstbau verbunden. Aufgrund des großen Anteils an nicht unmittelbar vermessungstechnisch bedingten Nebenkosten entschied sich der Bauherr wegen des wirtschaftlichen Vorteils für eine Fassadenvermessung durch terrestrisches Laserscanning. Mit einem Auf-

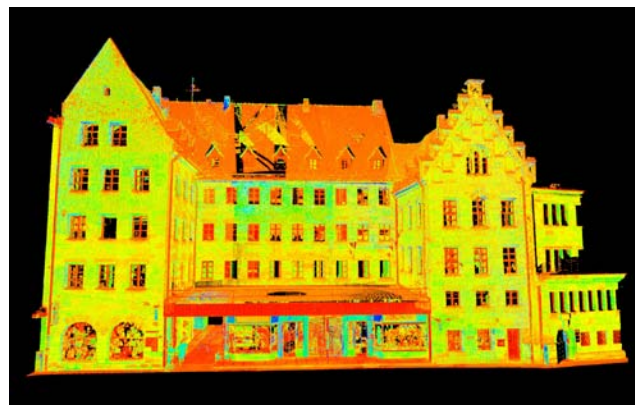


Abb. 14: Pfarrhof, Außenpunktewolke

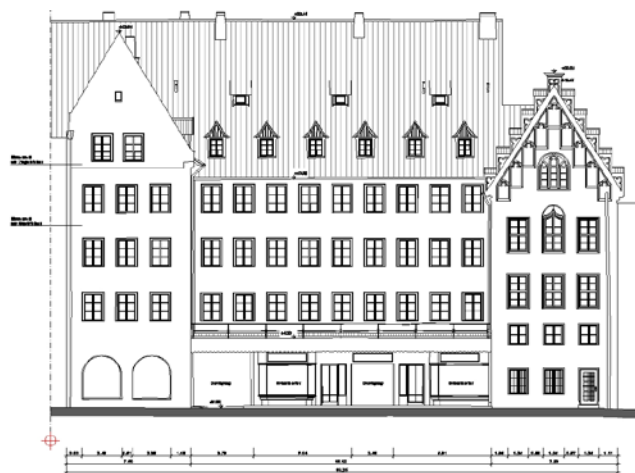


Abb. 15: Steingerechte Fassadenzeichnung



wand von ca. vier Stunden Messzeit konnte die gesamte Nordfassade mittels des Laserscanners C10 erfasst werden (Abb. 14) und eine steingerechte Einlinien-Fassadendarstellung und Fassadenabwicklung ausgearbeitet werden (Abb. 15). Diese diente der Kartierungsplanung des beauftragten Restaurators sowie als Planungsgrundlage für die Architekten zur Umgestaltung der Nordfassade.

#### 4.2.4 Stadtmauer Roth

Die in Teilbereichen noch vorhandene ehemalige Stadtbefestigung der Stadt Roth besteht aus sehr unterschiedlichen Materialien aus unterschiedlichen Bauphasen. Die Stadtmauer befindet sich inzwischen fast vollständig im Eigentum der Stadt Roth und muss aus statischen Gründen und zur Sicherung des langfristigen Bestandes saniert werden. Da auch hier eine fotogrammetrische Erfassung durch die Vielzahl von Teilflächen zu keinem wirtschaftlich vertretbaren Ergebnis geführt hätte, entschied sich der Auftraggeber für die Erstellung eines zusammenhängenden Laserscans der Mauer (Abb. 16). Dieser wurde als Grundlage für die Sanierungsplanung verwendet. Eine Farberfassung der Messergebnisse wurde durch externe Kamerasysteme durchgeführt. Nach der Überlagerung der Messergebnisse aus dem Laserscan mit der fotografischen Erfassung (Abb. 17) wurden maßgenaue, farbige Punktwolkendarstellungen abgeleitet. Diese bildeten die Grundlage der Sanierungsplanung der beauftragten Tragwerksplaner und Natursteinfachleute.

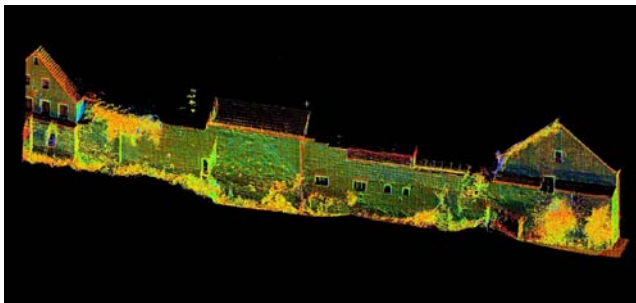


Abb. 16: Stadtmauer Roth, Punktwolke



Abb. 17: Stadtmauer Roth, Auswertung

#### 4.2.5 Schwabachgewölbe Heilsbronn

Das Schwabachgewölbe Heilsbronn ist ein unterirdischer, wasserführender Gewölbeverlauf der den ehemaligen Klosterbereich der Stadt Heilsbronn unterquert. Das Gewölbe ist die Vorflut für das gesamte westlich der Altstadt liegende Einzugsgebiet und ist mit Abflüssen zwischen 30 Liter/s im Trockenwetterfall und 2.500 Liter/s

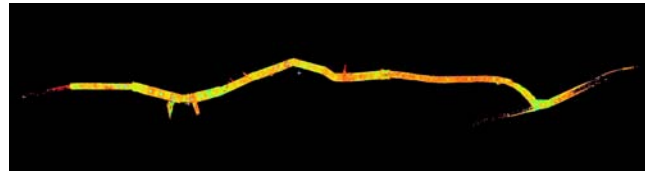


Abb. 18: Schwabachgewölbe, Aufsicht



Abb. 19: Schwabachgewölbe, Punktwolke im Detail

im Hochwasserfall als ein wichtiges Element im ehemals offenen Gewässerverlauf im Schwabachgrund einzustufen. Das Gewölbe wurde klosterzeitlich ab 1130 bis etwa 1570 errichtet und quert sowohl Verkehrsflächen als auch private und kirchliche Gebäude.

Im Rahmen der Städtebausanierung werden verschiedene Teilbereiche der Altstadt umgestaltet. Hierzu ist im Vorlauf eine Sanierung der vorhandenen Ver- und Entsorgungsmedien – unter anderem auch des Schwabachgewölbes – notwendig. Da es sich bei dem Bauwerk um ein denkmalgeschütztes Objekt handelt, ist eine denkmalgerechte Sanierung notwendig.

Die Erfassung der vorhandenen Natursteinoberflächen sowie der Geometrie des Gewölbes und dessen Lage im Landeskoordinatensystem erfolgte mittels einer tachymetrischen Vermessung, die durch einen Laserscan zur Oberflächendarstellung ergänzt wurde. Der ca. 300m lange Gewölbeabschnitt im Altstadtbereich wurde durch den Laserscanner HDS6000 erfasst (Abb. 18 und 19) und daraus eine Lasergrammetrie der beiden Seitenflächen sowie der Gewölbedecke abgeleitet. Aus der erfassten Geometrie wurden die Grundlagen für die statische Nachrechnung der Gewölbetragsfähigkeit gewonnen, die Grundlagen für die Ausschreibung der Natursteinsanierungen abgeleitet sowie die Massenermittlung zum Leistungsverzeichnis erstellt.

### 4.3 Zusammenfassung der Arbeitsweisen

Alle beschriebenen Projekte wurden in etwa gleichartigen Arbeitsabläufen bearbeitet. Die Einzelstandpunkte der Laserscans wurden über Zielpunkte (Targets) miteinander verknüpft. Die Festlegung der Targets erfolgte gemäß den Anforderungen der Aufgabenstellung und der im Vorfeld mit dem Auftraggeber abgestimmten Gesamtgenauigkeit. Die Verknüpfung der einzelnen Targets wurde jeweils durch eine parallele Polygonzugvermessung realisiert, die es ermöglichte, die vermessungstechnischen Fehler zu reduzieren. Eine polygonzugfreie Vermessung der Objekte ausschließlich mit Laserscanning wurde nicht durchgeführt, da sich hieraus nur eine mindere Genauigkeit am Gesamtobjekt ableiten lässt. Jeweils in Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde eine Erfassung der Farben durch externe Kamerasysteme durchgeführt. Die internen Kamerasysteme der Scanner liefern derzeit noch keine ausreichende Qualität für die in die Projekte mit einbezogenen Fachbehörden, Denkmalpfleger und Architekten. Die gesamte Bearbeitung aller Projekte erfolgte jeweils in einem bürointernen, interdisziplinären Team, das sich für den Bereich der Vermessung aus speziell ausgebildeten Vermessungsingenieuren und für den Bereich der Auswertung der CAD Bestandsunterlagen aus speziell geschulten Architekten, Bauingenieuren und Denkmalpflegern zusammensetzt. Die erforderten Ergebnisqualitäten lassen sich ausschließlich in der Kombination dieses Fachwissens erreichen.

### 5 Archäologische Begleitdokumentation durch terrestrisches Laserscanning

Im Rahmen von archäologischen Ausgrabungen wird eine Vielzahl verschiedener Befunde freigelegt. Insbesondere in Deutschland finden Teile dieser archäologischen Untersuchungen im Vorfeld von vorgesehenen Baumaßnahmen statt. Dies bedeutet, dass die Befunde schnell, effektiv und kostengünstig dokumentiert werden müssen.

Die Vermessungstechnologie des Laserscannings wurde in Zusammenarbeit mit dem jeweiligen Bauherren und dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege unter anderem bei zwei Maßnahmen im klösterlichen Bereich als eine archäologische Begleitdokumentation eingesetzt. Sie erfolgte im Bereich des ehemaligen Kreuzganges der Klosteranlage Heilsbronn (Abb. 20) sowie im Bereich des ehemaligen Kreuzganges des Klosters Plankstetten (Abb. 21). Die Dokumentation wurde mittels des Laserscanners HDS6000 und einem externen Kamerasystem realisiert. Die gewonnenen Punktwolken wurden zu Visualisierungszwecken und zur Ergänzung der archäologischen Dokumentation verwendet. Diese Unterlagen stehen dreidimensional zur Verfügung, wurden zum Teil in Animationen und Visualisierungen eingebunden und sind insgesamt für zukünftige, wissenschaftliche Untersuchungen und Forschungen archiviert.



Abb. 20: Punktwolke des ehemaligen Klosters Heilsbronn



Abb. 21: Punktwolke Kloster Plankstetten

Ein weiterer Anwendungsbereich im Bereich der Archäologie ist die Ableitung von Baudokumentationen, die als Grundlage für wissenschaftliche Untersuchungen aber auch als Grundlage für Sanierungs- und Konservierungsplanungen verwendet werden. Diese Arbeitsweisen wurden bei internationalen Projekten unter besonderen Randbedingungen eingesetzt. Wegen der kritischen Sicherheitslage im Irak wurde für das Istar-Tor in Babylon (Abb. 22) sowie den Nabu Shakary Tempel in Babylon das terrestrische Laserscanning bei der Grundlagenermittlung eingesetzt. Durch eine gut vorbereitete und effektive Arbeitsdurchführung mit minimalem Personalaufwand (Abb. 23) konnte in kurzer Zeit ein erheblicher Umfang an Informationen für eine spätere Konservierungsplanung gewonnen werden.

Die als derzeit ältestes bekanntes Bauwerk der Menschheit geltende Anlage Göbekli Tepe in der Türkei wird seit



Abb. 22: Punktwolkenschnitt Istar Tor, Babylon (Irak)





Abb. 23: Messungsdurchführung in Babylon (Irak)

mehreren Jahren durch Professor Dr. Klaus Schmidt vom Deutschen Archäologischen Institut untersucht. Die Grabungsdokumentation erfolgt bisher über tachymetrische Vermessung und Handaufmaß. Eine zusammenhängende Vermessung der Gesamtanlage durch terrestrisches Laserscanning wurde vor 2009 durchgeführt (Abb. 24), wodurch der aktuelle Grabungsstand erfasst werden konnte. Eine Fortsetzung der Vermessungen (ab 2011) der weiteren Grabungsabschnitte und des Grabungsfortgangs sowie die Dokumentation und Archivierung ist eingeleitet.



Abb. 24: Punktwolke Göbekli Tepe (Türkei)

Chankillo stellt einen Teilbereich einer über Jahrtausende besiedelten Kulturlandschaft im Norden Perus dar. Die im Casma Tal gelegene Anlage setzt sich unter anderem aus einer Festungsanlage, dreizehn als Sonnenobservatorium genutzten Türmen sowie einer Vielzahl von administrativen Gebäuden zusammen. Die etwa 400 v.Chr. errichtete Anlage ist als Welterbe bei der UNESCO angemeldet. Vorab soll eine Konservierung der noch vorhandenen Bauwerke und Mauerreste erfolgen. Als Grundlage wurde eine möglichst umfassende Laserscanning-Vermessung der gesamten Anlage im Jahr 2010 begonnen (Abb. 25) und im Mai 2011 fortgeführt. Aus den Messergebnissen wurden über 500 Einzelzeichnungen als Grundlage für die Konservierungsplanung abgeleitet. Die Bearbeitung erfolgte durch vier unabhängig voneinander arbeitende Ingenieure, welche jeweils durch örtliche



Abb. 25: Messungsdurchführung Chankillo (Peru)

Hilfskräfte unterstützt wurden. Zwei Gruppen setzten jeweils die Laserscanner HDS6000 und C10 zur Vermessung ein. Die dritte Gruppe führte die Polygonzugsvermessung im gesamten Anlagenbereich durch. Die mehrere Quadratkilometer große Anlage konnte durch erheblichen Arbeitseinsatz innerhalb von 15 Arbeitstagen dokumentiert werden.

## 6 Ausblick

Das terrestrische Laserscanning stellt eine wichtige Ergänzung der vorhandenen Vermessungstechnologien dar. Es wird damit möglich, komplexe Situationen, Gebäude und Bauwerke hochgenau und detailliert zu erfassen. Die Vermessungsgeräte haben in den letzten Jahren eine unglaublich rasante Entwicklung durchschritten. Die Aufnahmeraten wuchsen von wenigen 100 Punkten pro Sekunde zu derzeit mehr als 1.000.000 Punkten pro Sekunde an. Wesentliche Voraussetzung für eine effektive Nutzung der Daten ist eine leistungsfähige Software und Hardware. Insbesondere im Softwarebereich besteht ein eminenter Handlungsbedarf für die Programmhersteller. Immer größer werdende Datenmengen müssen verarbeitet und gespeichert werden. Das hochkomplexe Know-how zum wirtschaftlichen Einsatz der Technologie liegt inzwischen vor. Interdisziplinäre Arbeitsgruppen ermöglichen eine kundengerechte Auswertung der Messergebnisse. Die weitere erfolgreiche Verwendung und Fortentwicklung der Technologie setzt das Vorhandensein leistungsfähiger Computer- und Programmsysteme voraus. Darin liegen in diesem Fachsegment die Anforderungen für die Zukunft.

### Anschrift des Autors

Erwin Christofori, Beratender Ingenieur  
Christofori & Partner, Beratende Ingenieure für Bau- und Vermessungswesen – 3D-Laserscanning  
Stuttgarter Straße 37, 90574 Roßtal-Buchschwabach  
erwin.christofori@christofori.de