Güteabwägung

DIGITALE VERFAHREN FÜR DIE BESTANDSAUFNAHME

von Lars Sörensen

Grundsätzlich sind alle digitalen Aufnahmeverfahren als Werkzeuge für die Objekterfassung in der Bauaufnahme anzusehen. Sie bilden die Grundlage für eine qualifizierte Untersuchung des Bauwerks oder Objekts, welches es zu dokumentieren gilt, und ergänzen oder ersetzen die klassischen Aufmaßverfahren. In der Praxis des denkmalgerechten Bestandsaufmaßes und der Bauaufnahme sind die Verfahren des 3D-Scanning und der digitalen Photogrammetrie längst etabliert. Gleichzeitig ist die Vielfalt der unterschiedlichen Sensoren und Verfahren immer größer geworden, sodass die geeignete Auswahl der Sensortechnologie immer schwieriger wird. Darüber hinaus wird allzu oft die Flexibilität bei der Auswertung der erfassten Daten durch die vom Hersteller mitgelieferte Software eingeschränkt.
Daraus folgend ist häufig weder auf Seiten der Auftraggeber noch vonseiten der Dienstleister eine vollumfängliche Kenntnis über die Möglichkeiten der Aufnahme und Datenverarbeitung vorhanden. Ein möglicher Ausweg ist die Einteilung der Aufnahmetechnologien sowie der ausgewerteten Ergebnisse für die digitale 3D-Vermessung in maßstabsabhängige Qualitätsstufen.

GENAUIGKEIT UND DETAILLIERUNG IN ABHÄNGIGKEIT DES SENSORS

Neben den physikalischen Eigenschaften der Messverfahren ist zu unterscheiden zwischen den Scannern zur dreidimensionalen Erfassung der Objektgeometrien und den Kamerasensoren zur Aufnahme der Oberflächenfarbe. Auch wenn viele der heutigen 3D-Scanner integrierte Farbsensoren besitzen oder einige nach dem Prinzip der Stereophotogrammetrie ohne Laserlicht arbeiten und dabei automatisch Farbwerte erfassen, ist deren Aufnahmeauflösung für die Oberflächentextur von geringerer Qualität als die der Geometrie.
Die geometrische Auflösung von 3D-Laserscannern ist höher als die maximale Auflösung der Farbaufnahme mittels der integrierten Sensoren, was in der Regel zu einer geringeren Abbildungsqualität der Farbinformation führt. Darüber hinaus ist die Farbaufnahme von der Lichtsituation abhängig, während die Graustufen mit einem Laserscanner durch Intensitätswerte tageslichtunabhängig erfasst werden. Aber längst nicht jede Software stellt diese Grauwerte auch gut dar.
Wenn die Anforderungen an die Textur höher sind als an die geometrische Qualität, dann sollten die Farbwerte mit einer kalibrierten Kamera aufgenommen werden, um die aus Scandaten resultierenden Oberflächenmodelle höher aufgelöst einfärben zu können. Für viele Anwendungen in der Restaurierung und Denkmalpflege gibt es hierfür kaum eine Alternative.
Wenn die Anforderungen an die geometrische Qualität eine übergeordnete Rolle spielen, dann ist die Qualität des 3D-Scanners, dessen Kalibrierung und die ausreichend genaue Orientierung aller Scans besonders wichtig. Auftraggeber und Nutzer der Ergebnisse sollten immer einen qualifizierten Nachweis über die Genauigkeit der Ergebnisse einfordern und sich nicht auf die Angaben in Datenblättern verlassen.
Die höchstmögliche Detaillierung in der geometrischen Abbildung wird mit Streifenlichtscannern und Messarmen oder für große Objekte mit terrestrischen Laserscannern erreicht. Für eine höchstmögliche Texturqualität der farbigen Oberfläche ist ein großer Kamerasensor in Kombination mit hochwertigen Objektiven erforderlich. Bei extremen Anforderungen empfiehlt sich daher die Kombination beider Aufnahmeverfahren, was im Wettbewerb leider nicht immer zur wirtschaftlichsten Lösung führt.

AUSWAHL DES AUFNAHMEVERFAHRENS UND QUALITÄTSSTUFEN

Die Auswahl des Aufnahmeverfahrens bedingt maßgeblich die Qualität der Dokumentationsergebnisse und ist somit von übergeordneter Bedeutung.

Q1

Für den Zielmaßstab M 1:100 ist das Tachymeteraufmaß nach wie vor das wirtschaftlichste Verfahren. Ein Laserscanner wird hierfür nur benötigt, wenn die resultierenden Punktwolken einen weiteren Zweck verfolgen. Das Indoormapping kann diese Qualitätsstufe des Aufmaßes ergänzen, auch wenn das Genauigkeitspotenzial derzeit noch eingeschränkt ist. Zur Erfassung der äußeren Gebäudehülle ist in dieser Genauigkeitsstufe auch SFM (Structure from Motion) ausreichend.
Für die Farbaufnahme reichen in der Qualitätsstufe 1 die in die 3D-Scanner integrierten Farbsensoren aus.

Q2

Ab Maßstab M 1:50 ist das terrestrische Laserscanning für die Bestandsaufnahme inzwischen als das wirtschaftlichste Verfahren anzusehen. 3D-Geometrien aus Bildverbänden mittels SFM, egal ob per Drohne oder terrestrischer Aufnahme, erreichen oft keine zuverlässigen Genauigkeiten und hängen stark von der Aufnahmekonfiguration ab.
Als 3D-Scanner für die Architekturvermessung im Innen- und Außenbereich kommen z. B. die Laserscanner von Faro oder Zoller&Fröhlich infrage. Auch Leica verfügt über gut funktionierende Systeme, mit der Einschränkung, dass die Daten in der Herstellersoftware verarbeitet werden müssen. Für die Aufnahme von hohen Bauwerken aus größerer Entfernung ist zusätzlich ein Langstreckenscanner wie z. B. eine Leica Scanstation, ein Riegl-Scanner oder der Optech Ilris geeignet.

Alle Rechte an diesem e-Magazine bei
laible verlagsprojekte
www.verlagsprojekte.de

Qualitätsstufe	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Maßstäbe	**M1:200 / M1:100**	**M1:100 / M1:50**	**M1:50/M1:25**	**M1:20/M1:10**	**M1:5 / M1:1**
Beschreibung	Schematisches Aufmaß	Einfacher Plansatz	Detailliertes Gebäudeaufmaß	Verformungsgetreue Gebäudedokumentation	Detailaufmaß
Genauigkeit	G1	G2	G3	G4	G5
	Genauigkeit <= +/- 5 cm	Genauigkeit <= +/- 2,5 cm	Genauigkeit <= +/- 2 cm	Genauigkeit <= +/- 1cm	Genauigkeit <= +/- 0,25cm
Semantik S1-S5	S2	S2	S3	S4	S4
	DIN 1356-6, Informationsdichte 1	S1 + DIN 18710 Teil1 L1/H1	S2 + Informationsdichte 2 + DIN 18710 Teil1 L2/H2	S3 + DIN 18710 Teil1 L2/H2 und L3/H3	S4 + DIN 18710 Teil 1 L4/H4 und L5/H5
	Eckstein Stufe I	Eckstein Stufe II	Eckstein Stufe III	Eckstein Stufe IV	Eckstein Stufe IV
	geringe Detaillierung	mittlere Detaillierung	hohe Detaillierung	sehr hohe Detaillierung	höchste Detaillierung
Verfahren	V1	V2	V3	V4	V5
	- Tachymetrie - Laserscanning - Indoormapping - SFM	V1 + UAV (bei Bedarf)	V2 + Photogrammetrie + UAV (Drohne)	V3 + Detailaufmaß + Feldkontrolle	V4 + Nahbereichscanner
Farbaufnahme	- integrierte Kamerasysteme	+ DSLR oder Systemkamera	+ Kamera mit Vollformatsensor	+ Kamera mit Mittelformatsensor	+ Makrooptik
Bildplan / Pixelgröße mm	B1	B2	B3	B4	B5
Auflösung dpi / Maßstab	100	50	25	10	1
400	6,4	3,2	1,6	0,6	0,1
2D Pläne	P1	P2	P3	P4	P5
2D-Daten	- Grundrisse - Schnitte - Ansichten	P1	P2 + zusätzliche Schnitte	P3 + Detailzeichnungen	P4 + nach Vereinbarung
3D Modelle	M1	M2	M3	M4	M5
3D Modelle	Schematisches 3D-Modell	BIM (Building Information Modell)	Q2 + Verformungstreues Modell	Q3 + verformungsgetreues Bauteilmodell mit Freiformflächen	Q4 + vollflächig verformungsgetreues Oberflächenmodell

Quelle: Tagungsband Oldenburger 3D Tage 2019, DGPF Tagungsband 2011, aktuelle Fortführung April 2019 (Kurzfassung)

Maßstabsabhängige Qualitätsstufen, Aufnahmeverfahren und Ergebnisse (vereinfachte Kurzfassung)

Für die Farbaufnahme der Bauwerksoberflächen sollte eine digitale Kamera eingesetzt werden, deren Sensor die Größe APS-C nicht wesentlich unterschreitet. Für Innenaufnahmen sind je nach Anwendung geeignete Blitzanlagen zu verwenden. Deutlich kleinere Sensoren lassen sich entweder nicht richtig kalibrieren oder haben keine ausreichende Abbildungsleistung. Die in die Laserscanner integrierten Farbsensoren reichen im Außenbereich aufgrund der Auflösung und im Innenbereich aufgrund der Belichtungssituation nicht aus.

Q3

Für einen Zielmaßstab von M 1:25 sollten Laserscans bereits in einer höheren Auflösung aufgenommen werden. Terrestrische Laserscanner erreichen aufgrund der Strahlenaufweitung und der systematischen Fehler keine höhere Auflösung als ca. 3 mm. Die Genauigkeiten für M 1:25 erfordern eine präzise Orientierung aller Scans mit Netzausgleichung, was nicht in jeder Software der Scannerhersteller möglich ist. Als besonders gut hat sich hier die auf Architektur und Denkmalpflege ausgerichtete Software LupoScan (Lupos3D) in Kombination mit Scantra (Technet) erwiesen. Hiermit können die Datenformate aller wesentlichen Scannerhersteller sowie digitale Bilddaten verarbeitet werden. Zur höherwertigen Einfärbung von Oberflächenmodellen oder photogrammtrischen Anwendungen ist die Software metigoMAP sowie metigo3D der fokus GmbH Leipzig eine flexible und leistungsfähige Lösung.

Die SFM-Verfahren z. B. mittels Agisoft Photoscan stoßen in dieser Qualitätsstufe an ihre Grenzen, weil in diesem Zielmaßstab in den Rand- und Kantenbereichen Artefakte und Fehler sichtbar werden. Die Texturauflösung der resultierenden Modelle hat aufgrund einer Überlagerung sehr vieler Bilder erkennbare Unschärfen und damit Nachteile gegenüber der klassischen Messbildtechnik. Insbesondere ist je nach Geometrie der Bauwerksoberflächen abzuwägen, ob echte Orthofotos aus texturierten Oberflächenmodellen erforderlich sind oder ob bei näherungsweise ebenen Flächen aus Messbildern montierte Bildpläne die bessere Alternative sind. Die zuletzt genannte Variante ist in der Regel wirtschaftlicher erstellbar und erreicht eine höhere Abbildungsqualität.

Für die Farbaufnahmen sollten mindestens Vollformatkameras mit hochwertigen Objektiven eingesetzt werden. Je nach Anwendung muss das Kamerasystem kalibriert werden.

Bilder: Sörensen

3D-Modell des Denkmals der aufständischen Marinesoldaten als Grundlage für die statische Untersuchung

Alle Rechte an diesem e-Magazine bei
laible verlagsprojekte
www.verlagsprojekte.de

Q4
In der Qualitätsstufe 4 mit M 1:10 sind zusätzlich Detailaufmaße mit Handaufmaß oder Nahbereichscanner erforderlich. Spätestens für diese Zielmaßtäbe wird eine Feldkontrolle der Vermessungsergebnisse erforderlich.
Bei den Handscannern sind drei Arten von Systemen zu unterscheiden: die rein optischen Scanner (z. B. Creaform GoScan oder Artec), die Handlaserscanner (z. B. Creaform HandyScan) sowie die Streifenlichtsysteme (z. B. gom), die die höchste Genauigkeit und Detaillierung erreichen. Die rein optischen Scanner liefern immer auch eine Farbtextur, haben dafür aber eine geringere geometrische Qualität in Bezug auf Genauigkeit und Detaillierung.
Wenn die Anforderung an die Bildtextur besonders hoch ist, dann wird die Aufnahme mit einer externen Kamera erforderlich. Je größer die Objektoberflächen und die Zielmaßstäbe werden, um so sinnvoller ist der Einsatz einer digitalen Mittelformatkamera, deren Abbildungsleistung den Vollformatsensoren bei Weitem überlegen ist.

Farbiges Oberflächenmodell eines Renaissanceportals als Grundlage für eine Schadenskartierung

Q5
Für Zielmaßstäbe bis M 1:1 werden zur Abbildung der Geometrie spezielle Nahbereichscanner erforderlich. Hierzu zählen ein Messarm mit Scankopf (z. B. von Faro oder Romer) oder ein Streifenlichtscansystem des Herstellers gom. Die einfacheren und günstigeren Photogrammetriesysteme (siehe Q4) unter den Handscannern liefern eine etwas geringere Detailqualität, sind aber je nach Detaillierung der Oberfläche auch verwendbar.

Farbtexturiertes Oberflächenmodell einer Zinnfigur, Friedrich Wilhelm I, ca. 9 cm

Für besonders hoch aufgelöste Oberflächenmodelle bietet sich ein detaillierter 3D-Scan und die nachträgliche Texturierung mit Aufnahmen einer kalibrierten Kamera mit einer Makro-Optik an. Die Objektgrößen dieser Oberflächenmodelle sind aufgrund der resultierenden Modellgrößen allerdings begrenzt.

VERFORMUNGSTREUE UND GENERALISIERUNG

Für jedes Dokumentationsergebnis ist aufgrund technologischer Grenzen und wegen der Verwendbarkeit der Daten und Modelle eine Generalisierung erforderlich. Diese entsteht im Rahmen der Datenauswertung, wofür ein ausreichendes Fachwissen im Hinblick auf die Zielanwendung der Ergebnisse erforderlich ist.
Der nach wie vor in der Bauaufnahme übliche 2D-CAD-Plan bietet die beste und wirtschaftlichste Möglichkeit, bei gleichzeitiger Vereinfachung der Geometrie eine hinreichende Verformungstreue zu erreichen. Die verformungsgerechte Darstellung hängt vom Zielmaßstab sowie der Qualitätsstufe ab.
Bei 3D-Modellen in der Architektur besteht immer häufiger die Zielsetzung BIM-konforme CAD-Modelle zu erstellen. Das sogenannte Building Information Modeling besteht im parametrisierten Aufbau von Bauteilen und Objekten, die neben der Geometrie semantische Informationen beinhalten. Auf Grundlage dieser Modelle sollen alle am Bauablauf beteiligten auf einer Datenplattform arbeiten können, sodass parallel zur gebauten Realität ein digitaler Zwilling entsteht, mit dem sich alle Prozesse des Bauens steuern und planen lassen.
Doch das BIM-Verfahren hat Grenzen. Zum einen gibt es noch kein reibungsfrei funktionierendes Datenformat zum Austausch der Modelle zwischen verschiedenen CAD-Plattformen. Zum anderen schränken die vorhandenen Werkzeuge eine verformungsgetreue Abbildung deformierter und unregelmäßiger historischer Bausubstanz ein. Daher reicht dieses Verfahren auf Grundlage der meisten CAD-Plattformen nur für eine stark generalisierte Abbildung bis zum Zielmaßstab M 1:100.
Ab einem Maßstab von M 1:50 bieten sich nach wie vor 2D-CAD-Pläne an. Folgende Lösungsansätze bestehen für 3D-Modelle: Ein Ausweg ist der Aufbau von Architekturobjekten mithilfe von Freiformflächen, was zwar funktioniert, aber noch nicht etabliert ist. Für Teilbereiche von Bauwerken oder figürlichen Bauschmuck stellt die Erstellung texturierter Oberflächenmodelle in der Kombination von 3D-Erfassung und Farbaufnahme eine Lösung dar. Für das Building Information Modeling wird es wohl zukünftig auf eine Kombination dieser zwei Ansätze hinauslaufen.

LARS SÖRENSEN
ist gelernter Zimmermann und Dipl.-Ing. für Architektur. Anfangs mit der Sanierung spätmittelalterlicher Holzkonstruktionen in der Hansestadt Lübeck befasst, später Mitarbeit am Institut für Baugeschichte, Architekturtheorie und Denkmalpflege der TU Berlin und Partnerschaft mit dem Büro Dienstleistung Denkmal. Er ist heute geschäftsführender Gesellschafter der Firma Scan3D. www.scan-3d.com

Alle Rechte an diesem e-Magazine bei
laible verlagsprojekte
www.verlagsprojekte.de