



Texturiertes Oberflächenmodell des Ölberges in Überlingen (SfM)

#### MODERNE MESS- UND DOKUMENTATIONSMETHODEN

Pläne und Zeichnungen bilden wichtige Grundlagen für Umbau- oder Sanierungsmaßnahmen in der Denkmalpflege. Bei der Erstellung von Bauaufnahmen haben sich Methoden wie das Handaufmaß, die Bildentzerrung oder die computergestützte Tachymetrie etabliert. Daneben werden inzwischen weitere digitale Methoden wie Structure from Motion oder terrestrisches Laserscanning für Bauaufnahmen angeboten. Um diese Methoden im Vergleich zu den Standardverfahren besser einschätzen und bewerten zu können, werden sie im Folgenden kurz vorgestellt und ihre Möglichkeiten und Grenzen bei der Erstellung von Bauaufnahmen umrissen.

#### STRUCTURE FROM MOTION-VERFAHREN (SfM)

SfM ist eine automatisierte Form der Mehrbildphotogrammetrie, bei der in Fotos identische Pixel identifiziert werden. Mit Hilfe dieser Pixel können die Fotos zu einem dreidimensionalen Bildverband in Form von Punktwolken und Oberflächenmodellen mit oder ohne Textur zusammengesetzt werden. Durch tachymetrisch gemessene Passpunkte oder Referenzmaße kann das Modell georeferenziert und maßstabsgetreu skaliert werden. Qualität und Genauigkeit der Modelle hängen von der Auflösung und Schärfe der Fotos sowie der Software mit ihren Parametern ab. Für SfM sind eine Fotoausrüstung, ein leistungsstarker PC und Software zur Bildbearbeitung und Datenauswertung erforderlich. Für die Georeferenzierung wird ein Tachymeter benötigt.

Die Vorteile des Verfahrens liegen in der Erstellung eines fotorealistisch texturierten und dreidimensionalen Abbildes von Objektoberflächen, bei dem kleinste Verformungen sichtbar werden. Es ist besonders effizient bei unregelmäßigen, amorphen Objekten einsetzbar. Die dafür nötigen Fotos sind schnell anzufertigen. Nachteilig sind die großen Datenmengen, die mit einem hohen Rechenaufwand bei der Datenauswertung einhergehen. Durch den automatisierten Rechenprozess können zudem „versteckte“ Fehler entstehen, die nur durch eine umfassende Objektkennntnis erkennbar sind.

#### TERRESTRISCHES LASERSCANNING (TLS)

Ein Laserscanner tastet die Oberfläche eines Objektes rasterförmig ab und berechnet von jedem Objektpunkt eine dreidimensionale Koordinate. Die so entstandenen Punktwolken einzelner Scannerstandpunkte werden über tachymetrisch erfasste Passpunkte oder ein Oberflächenmatching zusammengesetzt. Die Punktwolken können durch Dreiecksvermaschung und Texturierung in Oberflächenmodelle umgewandelt werden. Für eine hochauflösende Texturierung werden zusätzliche



Foto

Orthofoto (SfM)

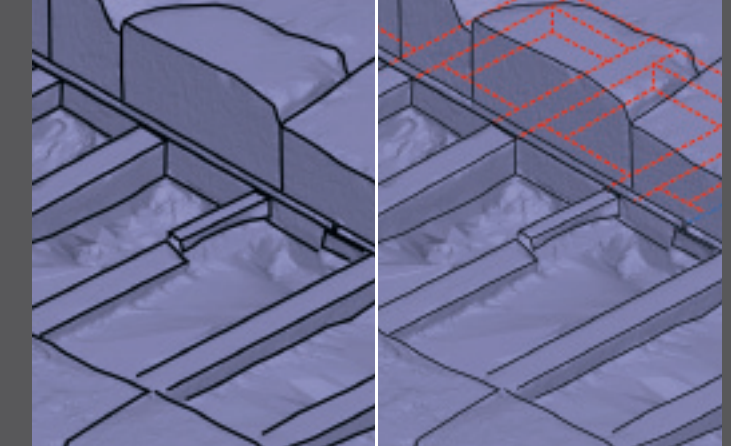
Kanten, die im Originalfoto geradlinig verlaufen, werden im Orthofoto (SfM) kurvig abgebildet



Foto

Orthofoto (SfM)

Schrägaufnahmen (SfM) oder spitzwinklige Scanwinkel erzeugen verzerrte Geometrien



vor Ortsabgleich

nach Ortsabgleich

„Versteckter“ Befund – Kartierung sichtbarer (schwarz) und unsichtbarer (rot) Befunde im 3D-Oberflächenmodell

Fotos benötigt. Voraussetzung für TLS sind ein Laserscanner, ein leistungsstarker PC sowie Spezialsoftware zur Datenauswertung. Optional können ein Tachymeter zur Georeferenzierung sowie eine Kamera für zusätzliche Fotos zum Einsatz kommen.

Die Vorteile des Verfahrens liegen in der Erstellung eines dreidimensionalen Abbildes von Oberflächengeometrien, bei der auch kleinste Verformungen sichtbar werden. Es ist besonders effizient bei unregelmäßigen, amorphen Objekten einsetzbar. Während die Datenerfassung und -aufbereitung schnell erfolgt, liegen die Nachteile nicht nur in den hohen Investitionskosten für Scanner und Software, sondern auch in der Erzeugung großer Datenmengen.

#### Anwendungsmöglichkeiten

Die mit Hilfe von SfM oder TLS erzeugten 3D-Oberflächenmodelle dienen als Analyse-, Präsentations- oder Rekonstruktionswerkzeuge. Die Punktwolken können ferner als Grundlage zur Erstellung von Strichzeichnungen genutzt werden. Mit Hilfe von SfM können hochaufgelöste Orthofotos für Zeichnungen oder Kartierungen erstellt werden. Diese kön-

nen auch aus Punktwolken des Laserscans erzeugt werden, jedoch nur mit Hilfe zusätzlicher, hochauflösender Fotos.

#### HINWEISE BEI DER NUTZUNG

##### Geometrieerfassung

- bei zu wenigen Verknüpfungspunkten (SfM) oder einer zu geringen Punktdichte (TLS) ist eine exakte Kantenerfassung schwierig
- durch zu spitzwinklige Aufnahmen (SfM) bzw. Auftreffwinkel des Laserstrahls (TLS) werden falsche Geometrien erzeugt

##### Befunde hinter der Oberfläche

- Erfassung ausschließlich von Oberflächen, verdeckte Informationen werden nicht dokumentiert (SfM und TLS)

##### Materialabhängiges Ergebnis

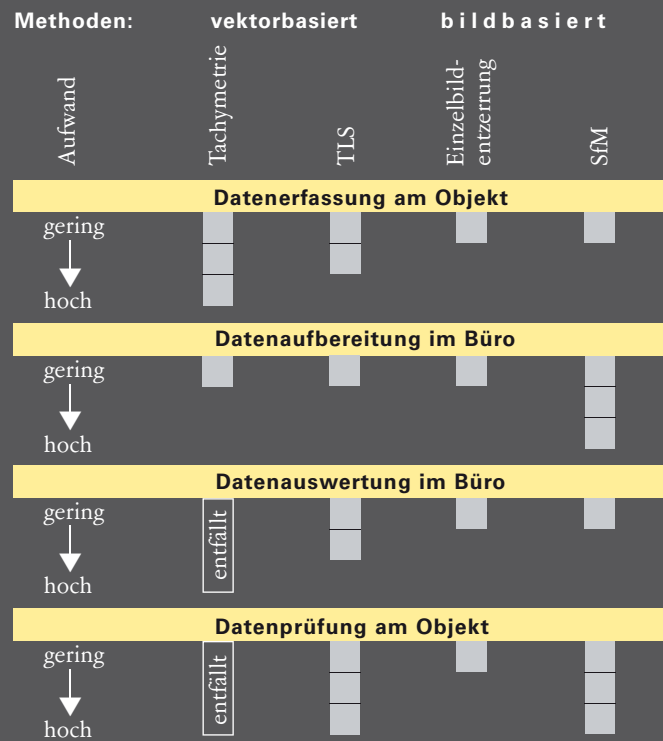
- kein Ergebnis bei einfarbigen, strukturarmen oder transparenten Oberflächen, wie einfarbige glatte Wände, lackiertes Holz, Metall, Glas (SfM) oder schwarze Oberflächen, Metall, Glas und Wasser (TLS)

#### Anforderungen an SfM

- Fotos mit möglichst hoher Auflösung und Tiefenschärfe
- Kameraeinstellungen (Isowerte und Blende) für optimale Bildqualität
- möglichst gleichmäßige Belichtung bzw. Ausleuchtung
- Aufnahmen jedes Bereichs von mehreren Standpunkten
- Aufnahmepositionen über das gesamte Objekt verteilen (Überlappung von mindestens 60% besser 80%)
- keine spitzwinkligen Aufnahmen unter 30°
- freie Sicht auf das zu dokumentierende Objekt

#### Anforderungen an TLS

- sinnvolle Anzahl und Anordnung von Scannerstandpunkten zur vollständigen und gleichmäßigen Erfassung
- freie Sicht auf und richtiger Abstand zum zu dokumentierenden Objekt
- Auflösung und Punktabstand in Abhängigkeit vom zu erstellenden Endprodukt wählen
- Anhaltspunkt für Punktabstand: 1/3 bis 1/4 der Größe des kleinsten zu dokumentierenden Details. Ein geringerer Punktabstand bedeutet aber größere Datenmengen, die in vielen Bereichen nicht benötigt werden.



Grundlage der Diagramme bildet ein durchschnittlich komplexes Objekt.



Auswertung von Laserscandaten: Punktwolke, Orthofoto, Umzeichnung

### ARBEITSABLÄUFE UND ARBEITSZEITEN

Die Anwendung des jeweiligen Aufnahmeverfahrens ist sowohl objekt- als auch ergebnisabhängig. Je komplexer ein Objekt ist, umso effektiver und flexibler sind die modernen Verfahren einsetzbar. Mit steigender Komplexität nehmen die zu verarbeitende Datenmenge und der Anteil an Arbeits- bzw. Rechnerzeit im Büro bei der Datenaufbereitung, besonders beim SfM, erheblich zu. Für die modernen Verfahren sind, wie bei der Bildentzerrung oder Tachymetrie, Spezialkenntnisse der Hard- und Software nötig. Dabei erfolgt die Datenauswertung am besten durch eine fachkundige Person, die nicht nur über Kenntnisse der Aufnahmeverfahren verfügt, sondern die Ergebnisse am Objekt adäquat prüfen kann.

### DOKUMENTATIONSMETHODEN IM VERGLEICH

#### Vektorbasierte Pläne in Genauigkeitsstufe 1 und 2

Beim **TLS** erfolgt die Datenerfassung und -auswertung schnell, und es entstehen überschaubare Datenmengen. Da die vorrangig im Büro durchgeführte Auswertung auf Oberflächeninformationen des Objektes beschränkt bleibt, muss der Plan vor Ort kontrolliert und um verdeckte Informationen ergänzt werden. Bei der **computergestützten Tachymetrie**, bei der mit Hilfe eines Tachymeters Punkte am Objekt gemessen und direkt auf den Computer in eine CAD-Zeichnung übertragen werden, entstehen sehr geringe Datenmengen. Der große Vorteil dieser Methode liegt in der sofortigen Kontrolle der Zeichnung und Ergänzung um verdeckte Informationen.

#### Vektorbasierte Pläne in Genauigkeitsstufe 3 und 4

Durch die steigenden Anforderungen der Genauigkeitsstufen 3 und 4 erhöht sich der Aufwand bei der Datenerfassung beim **TLS** und bei der computergestützten Tachymetrie. Beim **TLS** kann die Datenauswertung bei gewisser Erfahrung dennoch effizient und schnell erfolgen. Die aus der Punktwolke entstandene Strichzeichnung muss vor Ort kontrolliert und um verdeckte Informationen ergänzt werden. Bei der **computergestützten Tachymetrie** sind mehr Messungen nötig, was bei komplexen Objekten mit einem hohen Zeitaufwand verbunden ist.

Dafür besteht eine sofortige Kontrolle und Ergänzung des Planes vor Ort. Während sich die Datenmengen beim **TLS** durch die höheren Punktdichten erheblich vergrößern, bleiben die Datenmengen bei der computergestützten Tachymetrie überschaubar gering.

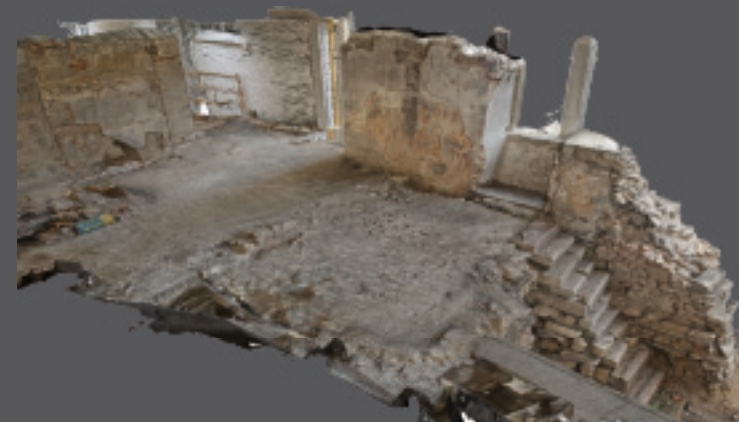
Die Planerstellung der Genauigkeitsstufe 3 und 4 ist aufgrund der besonderen Anforderungen nur durch erfahrenen Bauforscher möglich.

#### Bildbasierte Pläne von Objekten, ohne Tiefengliederung

Bildbasierte Pläne können mit Hilfe von **Bildentzerrungen** und mit **SfM** schnell und effizient erzeugt werden. Der Aufwand bei der Datenerfassung und Auswertung steigt jedoch mit Komplexität des Objektes und mit steigender Anzahl der Fotos. Bildpläne aus Bildentzerrungen sind dabei nur in einer, Orthofotos aus SfM jedoch in allen Entzerrungsebenen geometrisch korrekt.

#### Bildbasierte Pläne von Objekten mit starker Tiefengliederung

Für Orthofotos von Objekten mit starker Tiefengliederung bietet sich die Methode des **SfM** im Vergleich zur Bildentzerrung eher an, da im Ergebnis alle Projektionsebenen geometrisch korrekt dargestellt werden. Nicht zu vernachlässigen ist dabei jedoch die aufwändige Datenaufbereitung und große Datenmengen.



Texturiertes Oberflächenmodell des Jakobsbades in Horb am Neckar (SfM)

#### HERAUSGEBER

Landesamt für Denkmalpflege  
im Regierungspräsidium  
Stuttgart, Berliner Straße 12  
73728 Esslingen am Neckar  
[www.denkmalpflege-bw.de](http://www.denkmalpflege-bw.de)

#### GEFÖRDERT

vom Ministerium für Wirtschaft,  
Arbeit und Wohnungsbau  
Baden-Württemberg – Oberste  
Denkmalschutzbehörde

#### TEXT

Christiane Brasse

#### BILDNACHWEIS

Landesamt für Denkmalpflege,  
Ingenieurbüro Wüsteney, Esslingen  
(Abbildung zur Auswertung  
von Laserscandaten)

*Titelseite: Arbeitsschritte bei der Erstellung eines 3D-Oberflächenmodells:  
Punktwolke (oben)  
Vermaschte Punkte (Mitte)  
Texturinformationen (unten)*



#### ABONNIEREN

Sie unsere kostenlose Zeitschrift  
„Denkmalpflege in Baden-Württemberg“ unter:  
[nachrichtenblatt@denkmalpflege-bw.de](mailto:nachrichtenblatt@denkmalpflege-bw.de)

#### GESTALTUNG

Cornelia Frank Design,  
Kirchheim unter Teck

#### AUFLAGE

April 2019

DENKMALPFLEGE

MODERNE  
DOKUMENTATIONS-  
METHODEN



Baden-Württemberg

LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE  
IM REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTGART