3D-Fotogrammetrie - Neue Dokumentationsmethoden für die Grundlagenermittlung

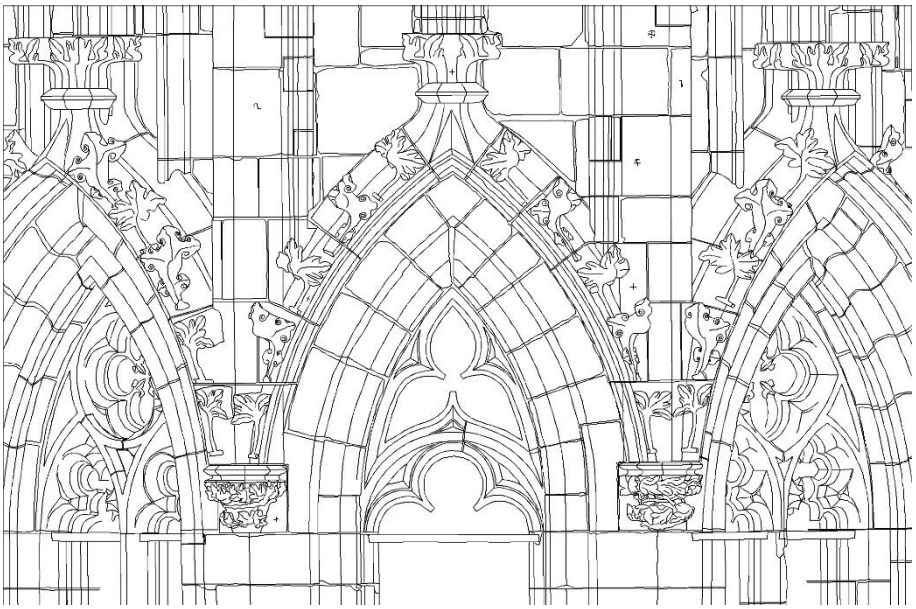
Andreas Bruschke

1 Architekturvermessung - ein kurzer Überblick

Die Photogrammetrie, die Vermessung aus Bildern, hat in der Architekturvermessung eine lange Tradition. Durch die Leistungsfähigkeit der neuesten Rechentechnik wurden aktuell enorme Fortschritte erzielt. Die traditionellen Messbildkammern werden durch digitale Aufnahmesysteme abgelöst, wodurch unter anderem Multikopter zur Aufnahme unzugänglicher Bauwerksabschnitte eingesetzt werden können. Besonders im Bereich der Orthofototechnik können neue Qualitäten erzielt werden. Der Laserscannertechnik ist durch die 3D-Fotogrammetrie eine ernsthafte Konkurrenz entstanden.

Photogrammetrie und Laserscanning sind indirekte Methoden. Auswertungen finden in Bildern bzw. Punktwolken statt. Die Aufnahmeplanung für Messbilder bzw. Laserscans muss den Anforderungen an Detailerkennbarkeit gerecht werden. Die daraus abzuleitenden Erkenntnisse sind nur so gut, wie es diese Daten hergeben. Die rein geometrisch betrachtete Auflösung (die Pixelgröße in Bildern bzw. der Punktabstand eines Scans) ist ein wichtiges aber kein ausreichendes Kriterium. Durch flexiblen Einsatz von verschiedenen Brennweiten und Aufnahmeplattformen kann auf unterschiedlichste Objekt- und Umgebungsbedingungen photogrammetrisch besser reagiert werden, als mit dem an ein Stativ gebundenen Laserscanner.

Eine Besonderheit der Photogrammetrie ist das Stereoverfahren. Die stereoskopische, räumliche Betrachtung zweier parallel aufgenommen Bildern ist eine entscheidende Interpretationshilfe für zeichnerische Auswertungen. Und die Messgeschwindigkeit ist bei gleichzeitig hoher Punktdichte und Präzision unschlagbar.



Freiburger Münster, südlicher Hahnenturm, Ausschnitt aus Stereoauswertung

Abbilder sind aber nicht das Objekt selbst. Sie ersetzen auch bei bester Qualität nicht die Auseinandersetzung mit dem Original. Die Interaktion mit dem Objekt beeinflusst entscheidend die Informationen, die wir vom Denkmal erhalten. Direkte Methoden sind dabei im Vorteil. Zeichnerische Auswertungen sind immer eine bewusste Interpretation und Bewertung. Traditionelle Handaufmaße bieten selbstverständlich die intensivste Möglichkeit der Beobachtung am Objekt, können aber nur in Ausnahmefällen ausgeführt werden. Dafür hat sich das tachymetrische Aufmaß zum Standard entwickelt. Die dreidimensionale örtliche Vermessung mit dem Tachymeter und gleichzeitiger Kartierung online am Bildschirm wird in der Regel noch mit örtlichen Beobachtungen und händischen Ergänzungsmessungen fertiggestellt.

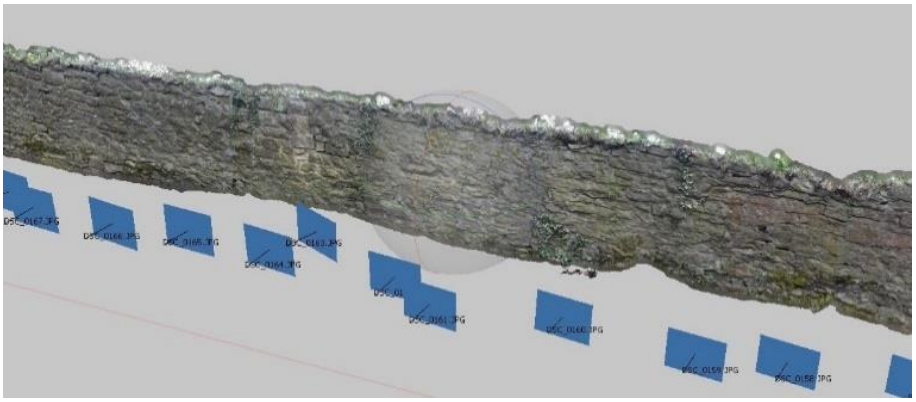
2 3D-Fotogrammetrie für Orthofotos

Obwohl Bauwerke auch stereophotogrammetrisch dimensional vermessen werden können, wird durch aktuelle automatisierte Verfahren der Bildauswertung eine absolut neue Qualität erreicht, die hier durch den Begriff **3D-Fotogrammetrie** ausgedrückt werden soll. Durch den Einsatz handelsüblicher Digitalkameras und entsprechender Software erlebt die Photogrammetrie eine neue Verbreitung und zunehmende Anwendung. Die weitgehend automatische Berechnung und dreidimensionale Rekonstruktion der aufgenommenen Oberflächen und daraus abgeleitete Orthofotos entsprechen zwar technisch den Ergebnissen von 3D-Scannern, lassen aber bei einer hohen Wirtschaftlichkeit eine weit bessere Qualität erwarten. Sie haben Dank der sprunghaft gestiegenen Rechnerleistung Einzug in der Architektur- und Archäologiedokumentation gehalten.

Die Verfahren stammen aus dem Bereich Computer Vision (maschinelle Wahrnehmung von Bildinhalten) und sind unter dem Begriff Structure-from-Motion (SfM) bekannt geworden. Dabei wird mit >Motion< ausgedrückt, dass bei einer Serie sich stark überlappender Bilder zwischen den Bildern eine Bewegung stattgefunden hat. Die automatische Identifizierung von Referenzpunkten aus dem Vergleich von Texturmerkmalen in mehreren benachbarten Bildern ist die Grundlage für die gegenseitige Orientierung der Aufnahmen und der gleichzeitigen Berechnung einer Punktwolke. Deren Dichte und Genauigkeit entspricht der Auflösung der verwendeten Bilder. Daraus wird die texturierte 3D-Oberfläche bzw. das Orthofoto abgeleitet.

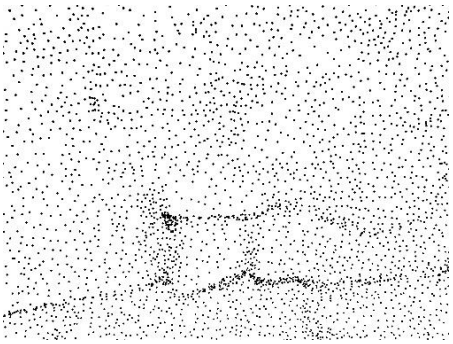
An einem einfachen Beispiel, einem kleinen Ausschnitt einer 270 m langen historischen Stadtmauer in Goslar soll diese Abfolge demonstriert werden. Der nahe Teich, Bäume und Sträucher lassen für die Aufnahmen nur einem Platz von meist weniger als 1,5 m.

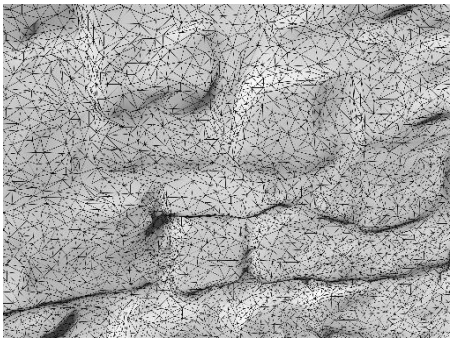
Mit einem Weitwinkel wurde durchschnittlich ein Bild pro Meter aufgenommen und damit jedes Mauerstück in mindestens drei Aufnahmen abgebildet. Der erste Schritt der Berechnung dient der Orientierung des Bildverbandes und erzeugt eine dichte Punktwolke (Punkte mit 3D-Koordinaten) der Maueroberfläche.



Mauerabschnitt mit orientierten Bildern und dichter Punktwolke

Aus der Punktwolke wird durch Vermaschung eine 3D-Oberfläche erzeugt, die z.B. in grauschattierter Darstellung anschaulich plastisch erscheint (s. Detailausschnitt).





Bei der anschließenden Texturierung wird die 3D-Oberfläche mit der aus den referenzierten Bildern vorhandenen Fototextur überlagert. Jedes Pixel eines Fotos wird geometrisch exakt einer definierten Stelle in einer Dreiecksmasche zugeordnet.

Die texturierte 3D-Oberfläche - projiziert auf eine definierte Rissebene (vgl. Beispiel Beeskow Marienkirche, 3D-Modell und Orthofoto) - stellt im Ergebnis das Orthofoto dar. Dieses entspricht der orthogonalen Projektion einer maßgerechten Aufrisszeichnung und kann demzufolge hochgezeichnet werden.

Die Ableitung von Verformungen und Schiefstellungen der Maueroberfläche ist zum Beispiel durch Horizontal-, Vertikalprofile oder Isohypsen in kolorierter Darstellung möglich.

3 Aufnahmeplanung und Sensorplattformen

Das Verfahren ist durch flexible Aufnahmedispositionen vielseitig einsetzbar, von kleinsten Objekten aufgenommen mit Makroobjektiven zur Erfassung von Oberflächenstrukturen bis zu Geländeaufnahmen. Durch beliebige Aufnahmeabstände in Kombination mit variablen Objektivbrennweiten lassen sich verschiedenste Genauigkeiten bzw. Objektauflösungen erreichen. Das einzige Aufnahmegerät ist die Digitalkamera mit einigen Objektiven – preiswert im Vergleich zu den 3D-Scannern. Sensorgrößen von 24 bis 36 MPixel sind ausreichend, die Auflösung der verwendeten Objektive muss damit allerdings korrespondieren. Wahllos geschossene Fotos werden jedoch keine guten Ergebnisse bringen. Einige wichtige Regeln sind:

- ausreichende Bildüberdeckung für jeden Fassadenabschnitt mit mindestens drei Aufnahmen
- Keine Aufnahmen vom gleichen Standpunkt: zwischen jeder Aufnahme muss eine Bewegung stattgefunden haben.
- möglichst gleicher Bildmaßstab / gleiche Aufnahmeentfernung
- ähnliche Perspektiven, keine starken Konvergenzen
- Bildauflösung / Pixelgröße am Objekt im Verhältnis zur gewünschten Detailerkennbarkeit des späteren Ergebnisses
- möglichst frontale Aufnahmeposition zur Fassade
- optimale ausgeglichene Lichtverhältnisse: keine Schlagschatten, kein Gegenlicht

im Dom in Fulda in 35 m Höhe

intensiver Lichteinsatz in der Porta Nigra in Trier

Allein die Photogrammetrie ist durch den Einsatz von Arbeitsbühnen, Hubschraubern und Multikoptern, also bewegten Objekten, in der Lage, sonst unzugängliche Bauteile in guter Abbildungsqualität zu erreichen. Die Aufnahme ist nicht wie bei allen anderen Methoden an ein Stativ gebunden (entsprechend kurze Belichtungszeit vorausgesetzt).

Heute werden den Mulikoptern, Flugrobotern bzw. ferngesteuerten Drohnen alle Möglichkeiten zugeschrieben. Oft sind sie auch die einzige Alternative und haben ihren Nutzen schon vielfach unter Beweis gestellt. Es wäre aber falsch, nicht auch hier die konkreten äußeren Bedingungen und die Wirtschaftlichkeit abzuwägen und zu vergleichen.

- Eine hohe Bildauflösung oder verwinkelte Bauteile erzwingen oft einen kurzen Abstand der Drohne zur Fassade. Schwierige Windverhältnisse in Straßen und an Türmen gefährden die Sicherheit.
- Die erlaubte Flughöhe beträgt 100 m.
- Der Pilot muss immer eine Sichtbeziehung zum Fluggerät haben.
- Die Position der Drohne wird durch GPS gesteuert oder stabil gehalten. Der GPS-Empfang kann durch enge Gebäude unterbrochen werden.
- Start, Landung in der Nähe von oder der Flug über Menschengruppen stellen eine Gefährdung dar.
- Große Bauwerke mit gezielten Aufnahmepositionen abzufliegen erfordert wegen der begrenzten Akkuladung eine Vielzahl von Starts.

Multikopter an der Petrikirche Lübeck

aus dem Helikopter an der Nikolaikirche Hamburg in 140 m Höhe

Der Einsatz von Helikoptern kann durchaus eine wirtschaftliche Alternative sein, zum Beispiel an Burgen oder besonders hohen Türmen. Allerdings ist ein genügender Abstand über Dächern oder benachbarten Gebäuden zu gewährleisten. Bei der Planung von Arbeitsbühnen ist nicht nur deren erforderliche Höhe und Gelenkigkeit, sondern auch Gewicht und Platzbedarf zu berücksichtigen.

4 Anwendungen und interdisziplinäre Zusammenarbeit

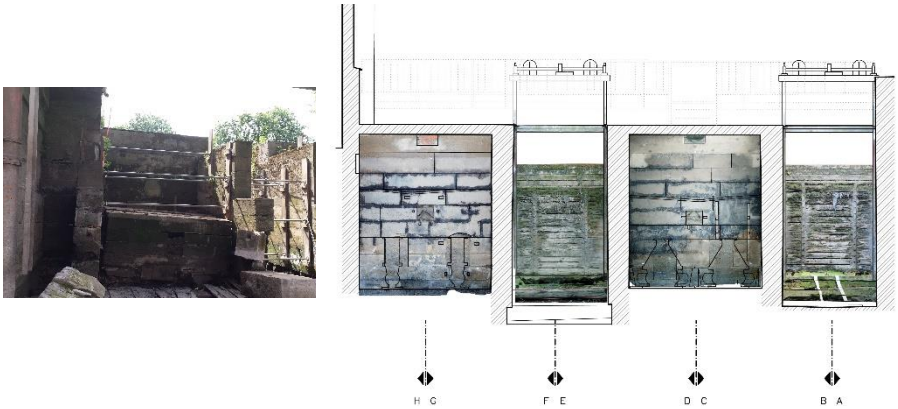
Die Photogrammetrie ist ein indirektes Messverfahren. Die zeichnerische Auswertung aus Stereomessbildern oder Orthofotos findet eben in Bildern und nicht am Objekt statt. In der Regel wird es notwendig sein, zusätzlich örtliche Erkundungen und Ergänzungen vorzunehmen. Eindeutig definierte Absprachen zu Darstellungsinhalten und eine organisierte Zusammenarbeit mit anderen Fachdisziplinen sichern die Qualität.

Orthofotos werden durch die fotografische Qualität definiert. Insbesondere die Bildauflösung (in mm) entscheidet darüber, ob Befunde sicher interpretiert werden können. Typische Anwendungen und Bildauflösungen sind:

- Putz-, Steinoberflächen: Verwitterungsschäden und Steinbearbeitung (< 2mm)
- Betonoberflächen: Körnung und Rissbildung (< 1mm)
- Wandmalerei, Fresken: Schäden und Maltechnik (< 1mm bis 0,5mm)
- Sicherungsdokumentation und Rekonstruktion von Skulpturen (< 1mm)
- Verformungsanalyse

Orthofotos können Bauaufnahmezeichnungen sinnvoll ergänzen. Sie erhöhen deren Aussagekraft und Informationsgehalt durch die anschauliche fotografische Wiedergabe. Aufmaß und Darstellungsinhalt beschrängen sich auf Baukonstruktionen. Gegebenfalls wird das Fugenbild in den Zeichnungen ergänzt. Verschiedene Materialien, Zustand und Schäden sind in den Orthofotos deutlich sichtbar. Der Aufwand für

Aufmaß und zeichnerische Erfassung wird deutlich gesenkt. Auch am Beispiel der barocken Wasserkunst in Herrenhausen wird angesichts der äußerst engen Aufnahmebedingungen die Flexibilität der photogrammetrischen Methode deutlich.



Bauaufnahmen und Orthofotos sind Bestandteil der Grundlagenermittlung. Sie dienen der Analyse des Bauwerks, werden als Kartierungsgrundlage und zur Kalkulation, Ausschreibung und Abrechnung benötigt. Die konkreten Anforderungen an Bauaufnahmen leiten sich aus diesen Aufgabenstellungen ab und werden idealerweise in interdisziplinärer Zusammenarbeit konzipiert.

5 Weiterführende Literatur

Bruschke, Andreas: Methoden der Bauaufnahme - ein Überblick. In: Natursteinbauwerke. Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag und Theiss Verlag, 2015, S. 17-24

Bruschke, Andreas: Bauwerke erkunden - vermessen - verstehen. Was können Vermessungsdrohnen leisten? In: Special 2015 - Messtechnik im Bauwesen, Berlin, Ernst&Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, 2015, S. 27-30

Bruschke, Andreas: Hoher Dom zu Fulda und Porta Nigra in Trier: Was können heutige Bauaufnahmemethoden leisten und sind die „Genauigkeitsstufen“ noch zeitgemäß? In: Tagungsband Natursteinsanierung Stuttgart 2014, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart, 2014

Dr.-Ing. Andreas Bruschke

www.messbildstelle.de