

## 3D-Laserscanning und photogrammetrische Gebäudeaufnahme von denkmalgeschützten Bauwerken mit historischer und kultureller Bedeutung für die Region

Projektteam: Prof. Dr.-Ing. René Conchon, Dipl.-Ing.(FH) Michael Buschbacher,  
Dipl.- Ing. (FH) Thomas Killing, Selina Maidhof, Jana Roll



Eine mittels luftbildgestützter Photogrammetrie erstellte 3D-Punktwolke vom Museum Tucherschloss mit Hirsvogelsaal

Screenshot: Thomas Killing

### Zusammenfassung

Die dreidimensionale Gebäudeaufnahme gewinnt im Bauwesen immer mehr an Bedeutung. Ab 2020 müssen viele öffentliche Bauprojekte verpflichtend mit BIM (Building Information Modeling) geplant werden, große Bauprojekte werden schon heute oft mit dieser Methode abgewickelt. Auch Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) kommen verstärkt bei der Planung und Visualisierung von Gebäuden zum Einsatz. Um Bestandsgebäude für diese Zwecke schnell und wirtschaftlich erfassen zu können, sollen in diesem Lehrforschungsprojekt zwei sich ergänzende Aufnahmeverfahren kombiniert werden. 3D Laserscanner eignen sich zur Erfassung von Innenräumen und Teilbereichen der Fassade. Nicht einsehbare Bereiche wie Dachflächen sollen mittels luftbildgestützter Photogrammetrie aufgenommen werden. Um experimentell arbeiten zu können, wurde ein denkmalgeschütztes Gebäude gewählt, da hier - im Gegensatz zu aktuellen Bauprojekten - die Möglichkeit besteht, ohne Zeitdruck über einen längeren Zeitraum die verschiedenen Verfahren ausführlich im Vergleich untersuchen zu können.

Das Lehrforschungsprojekt ermöglicht Studierenden des Bachelor-Studiengangs, die im Wahlfach „3D Gelände- und Gebäudeaufnahme“ gewonnenen Grundlagen zu vertiefen.

## 1. Projektdaten

Fördersumme	7.848,- €
Laufzeit	März – November 2018
Fakultät	Bauingenieurwesen
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. René Conchon
Kontaktdaten	E-Mail: <a href="mailto:rene.conchon@th-nuernberg.de">rene.conchon@th-nuernberg.de</a>

## 2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Um Bestandsgebäude schnell und wirtschaftlich in ihren Abmessungen aufnehmen zu können, werden 3D Laserscanner eingesetzt. Sie sind in der Lage, pro Sekunde über 900.000 Bildpunkte zu erfassen. Als optische Geräte können sie jedoch nur Bereiche scannen, die vom Standpunkt des Gerätes aus eingesehen werden können. Nicht sichtbare Bereiche erfordern ein Umsetzen des Scanners. Das funktioniert in Innenräumen und im Fassadenbereich eines Gebäudes recht gut, Dachbereiche jedoch lassen sich nur dann erfassen, wenn der Scanner auf höheren Nebengebäuden positioniert werden kann. Das ist häufig nicht möglich. Mit dem Lehrforschungsprojekt soll nun versucht werden, diese Bereiche mittels luftbildgestützter Photogrammetrie aufzunehmen und beide Messverfahren miteinander zu kombinieren. Das Verfahren wird inzwischen erfolgreich bei der Geländeaufnahme eingesetzt, bei der Gebäudeaufnahme gibt es jedoch noch Schwierigkeiten, die genauer untersucht werden sollen:

- Für die Befliegung in dicht bebauten Bereichen gibt es keine Software, die einen sicheren, autonomen Flug gewährleistet. Die Flüge müssen in der Regel handgesteuert vorgenommen werden. Um die für das Verfahren der Photogrammetrie erforderliche Bildüberdeckung der einzelnen Fotos zu gewährleisten, sollen experimentell verschiedene Abflugroutinen ermittelt und optimiert werden.
- Um senkrechte Fassaden, horizontale Gebäudeflächen und schräge Dachbereiche aufzunehmen, sind mehrere Flüge mit verschiedenen Kameraneigungen erforderlich. Bei der Weiterverarbeitung der erzeugten Fotos soll untersucht werden, ob alle Bilder wirtschaftlich in einem Arbeitsschritt ausgewertet werden können oder ob für jeden Kamerawinkel eine eigene Berechnung erforderlich ist.

Neben diesen Fragestellungen soll auch untersucht werden, wie die einzelnen Punktwolken, die beide Verfahren als Ergebnis liefern, zu einer Gesamtpunktwolke des aufgenommenen Gebäudes numerisch zusammengefügt werden können. Hierzu ist es erforderlich, geeignete Marker am Gebäude anzubringen, die ein exaktes Zusammenfügen ermöglichen. Dazu müssen die Marker sowohl vom Scanner als auch von der Kamera erfasst werden können.

Abschließend werden noch die verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten der erzeugten digitalen Gebäudepunktwolke untersucht.

### 3. Herangehensweise und Lehrkontext

Aufbauend auf die Erfahrungen des Lehrforschungsprojekts „Akeakamai 3D Cave Survey Hawaii 2017“, bei dem Lavahöhlen und das darüber liegende Gelände mit den beiden kombinierten Aufnahmeverfahren vermessen wurden, sollte nun ein denkmalgeschütztes, historisches Gebäude im Raum Nürnberg dreidimensional erfasst werden. Die Suche nach einem solchen Gebäude gestaltete sich jedoch als schwierig, da die luftbildgestützte Photogrammetrie mit einem Multikopter erfolgt. Brütende Falken oder die Lage eines Gebäudes in einem Naturschutzgebiet erschweren oder verhindern den Drohneneinsatz mitunter.

Mit dem Museum Tucherschloss und Hirsvogelsaal, ganz in der Nähe der Hochschule, wurde aber das ideale Gebäudeensemble gefunden. Die Museumsleiterin Frau Ulrike Berninger M. A. und ihr Team haben das Projekt vorbildlich unterstützt, wofür ihr großer Dank gebührt.

Das Lehrforschungsprojekt finanzierte zwei Stellen für studentische Hilfskräfte, die an zwei Studentinnen des Bachelorstudiengangs vergeben wurden. Sie haben mit dem 3D Laserscanner das Innere des Hirsvogelsaals und die unteren Fassadenbereiche des Schlosses einschließlich Innenhof aufgenommen. Dabei wurden sie von einer chinesischen Gaststudentin und einem Teilnehmer des Wahlfachs unterstützt. Die Arbeiten dauerten 4 Tage. Für die Befliegung des ganzen Areals, der Dachbereiche und der kompletten Innenhoffassade waren 3-4 Flugstunden angesetzt. Außerdem wurden leicht zugängliche Details mit einer Digitalkamera überlappend fotografiert, um auch diese Bilder später photogrammetrisch auszuwerten.

Das gesammelte Scan- und Bildmaterial wurde für alle Beteiligten zugänglich auf einem Server abgelegt und durch die beiden Studentinnen und die beteiligten Mitarbeiter weiterverarbeitet. Gleichzeitig bekamen interessierte Studierende der fakultätseigenen Studentischen Forschungsgruppe STUFO Zugriff auf die Daten, um Material für eigene Auswertungen und Versuche, auch in den Bereichen VR und AR, zur Verfügung zu haben.

Der Vorteil der beiden Aufnahmeverfahren liegt darin, dass die eigentliche Aufnahme - im Gegensatz zur klassischen Vermessung - relativ wenig Zeit in Anspruch nimmt. Das ist immer dann von Bedeutung, wenn stark frequentierte Gebäude (hier Museum) aufgenommen werden sollen. Die Weiterverarbeitung der Daten ist im Vergleich zur Aufnahme wesentlich zeitaufwändiger. Zuerst wurden die einzelnen Scans stationiert. Daraus entstanden Punktwolken der einzelnen Scanbereiche.

Die Luftbilder wurden, wenn nötig nachbearbeitet und dann in verschiedenen Konstellationen (gesamtes Gelände, Dachbereiche, Fassaden) photogrammetrisch zu Punktwolken verarbeitet. Die so entstandenen Punktwolken beider Verfahren wurden anschließend in ein exportfähiges Dateiformat umgewandelt. Der spätere Verwendungszweck (3D-Modell des Gebäudes zum Erstellen von Konstruktionszeichnungen, Visualisierung, virtuelle Begehung mit einer VR-Brille etc.) entscheidet über die weiteren notwendigen Verarbeitungsschritte. Hierzu wurden, unter Berücksichtigung der jeweiligen Anwendungsziele, verschiedene Auswertmethoden und Programme von den beteiligten Studierenden selbständig erarbeitet und untersucht. In regelmäßigen Abständen wurden die erreichten Ziele mit den Betreuern besprochen und das weitere Vorgehen festgelegt.

### 4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/ Verwertung

Da ein 3D Laserscanner direkt Punktwolken erstellt, ist es nur noch erforderlich, die einzelnen Scans zu einer Punktwolke des gesamten gescannten Bereichs zusammensetzen. Die dazu aufgestellten Referenzkugeln ermöglichen eine automatische Stationierung, die zuverlässig funktioniert.

Selten war eine manuelle Stationierung erforderlich. Diese Punktwolken können bereits direkt mit einer VR-Brille „begangen“ werden.

Bei der Photogrammetrie müssen die Punktwolken erst über mathematische Beziehungen aus den einzelnen Fotos errechnet werden. Dazu ist es erforderlich, dass einzelne Bildpunkte auf mehreren Aufnahmen vorhanden sein müssen und von der Software erkannt werden. Im Gegensatz zu Geländebefliegungen mussten wir bei der Gebäudeaufnahme leider deutlich mehr Schattenbildungen feststellen. Die daraus resultierenden Belichtungsunterschiede erfordern eine Nachbearbeitung der Bilder, sonst werden in diesen Bereichen keine korrespondierenden Punkte von den Algorithmen zur Mustererkennung der Photogrammetrie Software erkannt. Das gilt insbesondere auch für die Bereiche, wo neben dem Gebäude der deutlich hellere Himmel auf einem Foto abgebildet wird. Hier wurden von dem Team geeignete Softwarelösungen zu einer weitestgehend automatisierten Bildnachbearbeitung gefunden und zur Anwendung gebracht.

In Bezug auf die verschiedenen Aufnahmewinkel der Kamera hat sich herausgestellt, dass es möglich ist, relative Winkelunterschiede bis maximal  $45^\circ$  in einem Arbeitsschritt berechnen zu lassen. Dadurch wird es erst möglich, dass auch Hinterschneidungen der Fassade abgebildet werden können. Sind die Unterschiede der Kamerawinkel jedoch größer, verschlechtert sich das Ergebnis. Hier müssen dann für jeden Aufnahmewinkel eigene Punktwolken berechnet werden, die in einem zweiten Arbeitsschritt zusammengesetzt werden.

Das Zusammenfügen der Punktwolken beider Verfahren erfolgte über das Open Source Programm Cloud Compare. Es zeigte sich, dass die Einzelpunktwolken vom Datenvolumen häufig zu groß für diese Software waren und daher vor der Weiterverarbeitung reduziert werden mussten. Das aber hat zur Folge, dass die Abbildegengenauigkeit des Verfahrens schlechter wird. Um dennoch gute Ergebnisse zu bekommen, wurde eine Methode entwickelt, detailarme Bereiche stärker zu reduzieren als detaillierte.

Um aus Punktwolken ein 3D-Modell zur Erstellung von Konstruktionszeichnungen erzeugen zu können, wurden aus Mitteln dieses Lehrforschungsprojekts 6 Lizenzen der Software „As Built“ des Scannerherstellers FARO angeschafft, die allen Studierenden zur Nutzung im Rechenzentrum unserer Fakultät zur Verfügung stehen.



Erstellen von Luftbildern mit einem Multikopter  
Fotos: Thomas Killing



Scannen des Hirsvogelsaals mit dem 3D Laserscanner

## 5. Fazit und Ausblick

3D Laserscanner und die luftbildgestützte Photogrammetrie sind zwei Verfahren zur Gebäudeaufnahme, die sich sinnvoll ergänzen. Leider gibt es jedoch im Softwarebereich keine Programme, die diese Ergänzung zufriedenstellend bewerkstelligen. Autodesk Recap bietet zwar erste Ansätze, kann jedoch nur mit einer stark beschränkten Anzahl von Fotos arbeiten, so dass immer nur kleine Gebäudebereiche für sich berechnet werden können.

Um komplexe Bauwerke bearbeiten zu können, muss man verschiedene Programme einsetzen. Die Lehrforschung ist hierfür der ideale Weg, ergebnisorientierte Lösungswege zu erarbeiten, die dann sowohl in der Lehre als auch für weiterführende Abschlussarbeiten weiterverwendet werden können. Die Fakultät Bauingenieurwesen bietet die Möglichkeit, ein Forschungsmasterstudium zu absolvieren. Hier setzt z.B. eine Studentin die in diesem Projekt gewonnenen Erfahrungen im Bereich von Virtual Reality und Augmented Reality ein.



Luftaufnahme Tucher Schloss  
Foto: Thomas Killing



Virtuelle Begehung des Hirsvogelsaals mit einer VR Brille  
Foto: Michael Buschbacher



Blick in die VR-Brille  
Screenshots: Thomas Killing



Fassadendetail des fertigen 3D-Modells