

# Geodätische Projekte für Archäologie und Denkmalschutz als Bestandteile eines praxisbezogenen Studiums

**Tilman Müller**

Fakultät für Informationsmanagement und Medien, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft  
E-Mail: tilman.mueller@hs-karlsruhe.de

## Zusammenfassung

Die Mitarbeit in archäologischen Projekten und bei Aufgaben des Denkmalschutzes bietet Studierenden die Möglichkeit, neue Technologien praktisch zu erproben, erprobte Technologien auf neue Probleme anzuwenden und kreative Lösungen zu entwickeln. Studierende können Projekte selbständig durchführen, ihre praktischen Erfahrungen erweitern und teilweise auch Auslandserfahrung sammeln.

## 1 Einleitung

Theoretische Studieninhalte mit praktischen Anwendungen zu verbinden ist gerade an den Hochschulen für Technik ein wesentliches Merkmal des Studienaufbaus. In vielen praktischen Übungen und kleinen Projekten wird dieses Ziel im Laufe des Studiums verwirklicht. Von besonderem Reiz sind jedoch Projekte, bei denen die Ergebnisse nicht nur für den Studierenden selbst von Bedeutung sind, sondern die auch darüber hinaus für andere Nutzen bringen. Im Bereich der Archäologie und des Denkmalschutzes werden viele Projekte mit geringem Budget und großem Idealismus durchgeführt, bei denen auch geodätische Aufgaben anfallen. Wenn es gelingt, solche Projekte in den Studienablauf einzubinden, wird zum einen die Motivation der Studierenden gestärkt, andererseits können neue Verfahren und Technologien ohne allzu großen Erfolgsdruck getestet werden. Schließlich wird damit auch ein Beitrag zur gesellschaftlichen Aufgabe der Hochschule geleistet, die oft auch als „Third Mission“ bezeichnet wird.

## 2 Service Learning im Hochschulstudium

Beim Service Learning werden der Wissenserwerb und die Entwicklung fachlicher Fähigkeiten mit sozialem Engagement und der Generierung von Nutzwert für die Gesellschaft verknüpft. Dadurch erhöhen sich einerseits die Lernbereitschaft und der Leistungswille der beteiligten Studierenden, andererseits werden ihre kommunikativen und organisatorischen Fähigkeiten gefordert und weiterentwickelt. Schließlich kommen die Erfolge ihrer Tätigkeit der Gesellschaft zugute. Die Theorie und die praktische Anwendung dieses Ansatzes wurden in den USA bereits seit den 1960er Jahren entwickelt und an Schulen und Hochschulen eingeführt. In Deutschland wird das Thema erst seit dem 21. Jahrhundert thematisiert, obwohl der Grundgedanke bei praktischen Projekten seit vielen Jahren immer wieder im Hintergrund steht. Dabei wurde diese Methodik zunächst vor allem im schulischen Bereich eingesetzt. In den letzten Jahren wird das Thema jedoch auch verstärkt an Hochschulen aufgegriffen (Backhaus-Maul und Roth, 2013).

An der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft wird Service Learning seit 2017 an der Fakul-



tät für Elektro- und Informationstechnik institutionalisiert eingeführt. Im geodätischen Bereich werden jedoch bereits seit vielen Jahren Projekte durchgeführt, die den Gedanken des Service Learnings aufnehmen. Sie werden von Studierenden teils als verpflichtende Projektarbeiten, teils als freiwillige Projektteilnahmen oder im Rahmen ihrer Abschlussarbeit durchgeführt. Sie konfrontieren die Studierenden mit den Anforderungen von Auftraggebern, die in der Regel selbst keine geodätischen Kenntnisse haben. Die selbständig zu erarbeitenden Lösungen werden für die praktische Verwendung benötigt, was alle Mitwirkenden zu besonderen Anstrengungen motiviert.

### 3 Kooperationsprojekte mit Denkmalämtern und archäologischen Institutionen

Bei der geodätischen Begleitung von archäologischen Ausgrabungen ebenso wie bei der Dokumentation des kulturellen Erbes werden die Studierenden nicht nur mit neuen geodätischen Fragestellungen konfrontiert. Sie lernen darüber hinaus Fragestellungen aus anderen Fachgebieten und ein interdisziplinäres Arbeitsumfeld kennen.

Über viele Jahre hinweg wurde die Topographieausbildung an der Hochschule Karlsruhe durch gemeinsam mit dem Landesdenkmalamt durchgeführte Feldübungen ergänzt, bei denen Bodendenkmale in Baden-Württemberg für den Atlas archäologischer Bodendenkmäler detailliert aufgenommen wurden. Auch wenn die Messungen und Auswertungen aus den 90er Jahren zum Teil erst heute publiziert werden (Morissey und Müller, 2017), so war den Studierenden doch die Bedeutung der Aufgabe bereits bei der Aufnahme und Ausarbeitung der Pläne bewusst. Die gesellschaftliche Bedeutung des Engagements der Hochschulen Karlsruhe und Stuttgart und ihrer Studenten wurde bereits 1998 durch den baden-württembergischen Archäologiepreis gewürdigt.

Die Erprobung neuer Technologien in studentischen Projekten erfolgt meist im Rahmen von Abschlussarbeiten, bei denen in den vergangenen Jahren etliche Kirchen, Burganlagen oder Kellersysteme dokumentiert wurden. Die Erprobung betrifft zum einen die Messtechnologien. Während in den 90er Jahren der automatische Datenfluss und der Ein-

satz des elektronischen Feldbuchs optimiert wurden, stehen heute die verschiedenen Möglichkeiten des 3D-Laserscannings, aber auch der Nahbereichs- und UAV-Photogrammetrie sowie die Kombination dieser Methoden im Zentrum des Interesses. Zum anderen werden effiziente Wege der Datenaufbereitung für Visualisierungen, Computeranimationen und die interaktive Erkundung der generierten 3D-Modelle erarbeitet.

## 4 Terrestrisches 3D-Laserscanning bei studentischen Projekten

Projekte mit terrestrischem 3D-Laserscanning können vom Umfang und der Aufgabenstellung her häufig so eingegrenzt werden, dass sie von Studierenden von der Messung bis zum Ende der Auswertung selbständig durchgeführt werden können.



Abbildung 4.1: Ausschnitt aus dem 3D-Modell des Asamsaals im Ettlinger Schloss (Weinmann, 2008).

Beispiele für den Einsatz des Laserscannings sind die von Weinmann (2008) und Holländer (2009) durchgeführten Aufnahmen des Ettlinger Schlosses (vgl. Abb. 4.1). Die Aufnahmen dienen zum einen der Dokumentation des baulichen Istzustands und als Grundlage möglicher Renovierungsmaßnahmen. Zum anderen lassen sich verschiedene Messausrüstungen und Softwaretools an einem praxisrelevanten Beispiel auf ihre Einsatztauglichkeit prüfen. Gerade bei detailreichen, vielfach gekrümmten Objekten ist eine Modellierung sehr aufwändig. Reine Punktwolken oder daraus triangulierte Oberflächen weisen hingegen nicht nur eine enorme Datenmenge auf, sondern darüber hinaus viele Datenlücken, da solche Objekte mit vertretbarem Aufwand nicht komplett gescannt werden können. Hier sind optimierte Strategien erforderlich, um dreidimensionale Modelle ausreichender Genauigkeit

und Detailtreue mit möglichst geringem Aufwand erstellen zu können.

Bei Auslandseinsätzen kommen zusätzliche Anforderungen hinzu. Abgelegene Messgebiete mit schlechter Infrastruktur erschweren die Messungen. Auftretende Probleme müssen so kompensiert werden, dass die Ziele des Projekts dennoch erreicht werden können. Bei geodätischen Arbeiten zur Dokumentation der ehemaligen uighurischen Hauptstadt Karabalgasun in der heutigen Mongolei waren viele dieser Fähigkeiten gefragt. Bei der Darstellung der oberirdisch erhaltenen Reste dieser aus Lehm errichteten, seit dem 9. Jahrhundert zerfallenden Anlage sind sehr unregelmäßige Strukturen abzubilden (vgl. Abb. 4.2). Dies gelingt grundsätzlich durch Triangulation der Punktwolke, wobei jedoch vorhandene Höhlungen, die auf ursprünglich verbaute hölzernen Balken zurückgehen, nicht vollständig eliminiertes Bewuchs und andere störende Einflüsse die Vermaschungsalgorithmen vor erhebliche Probleme stellen und zu vielen Fehlvermaschungen führen. Trotz Optimierung des Vorgehens bleibt ein erheblicher Nachbearbeitungsaufwand, der weit über die Dauer der Messkampagne vor Ort hinausgeht.



Abbildung 4.2: Blick auf die Stupa im Zentrum der Festungsanlage von Karabalgasun (oben) und zugehöriger Ausschnitt aus dem 3D-Modell (unten) (Kollowa und Laryea, 2008).

## 5 Nahbereichsscanning und andere Messverfahren

Für Objekte mit besonders feinen Oberflächenstrukturen können Linienscanner oder andere nach dem Triangulationsprinzip arbeitende Systeme eingesetzt werden. Sie erfassen Oberflächen mit Punktgenauigkeiten im Millimeterbereich und besser in wenigen Sekunden. Wenn Oberflächengenauigkeiten von wenigen Zehntelmillimetern benötigt werden, ist das Messfeld auf einige Quadratdezimeter beschränkt. Diese Technologie wird in der Regel im Labor oder in Werkshallen zur Vermessung von Industrieprodukten eingesetzt und ist entsprechend optimiert. Aber auch bei archäologischen Projekten können diese Systeme gute Dienste leisten, wenn Objekte feine geometrische Oberflächenstrukturen tragen. Bei großen Objekten oder wenn die Vermessung im Freien erfolgen muss, weil die Objekte nicht vom Fundort entfernt werden können, müssen die üblichen Mess- und Auswerteverfahren modifiziert werden.

Am Göbekli Tepe bei Şanlıurfa im Süden der Türkei wurde eine Vielzahl großer T-förmiger steinerner Stelen gefunden (vgl. Abb. 5.1), von denen viele reichhaltige Reliefs auf der rauen Sandsteinoberfläche aufweisen.



Abbildung 5.1: Teilweise ausgegrabene kreisförmige Anlage am Göbekli Tepe (Seitz, 2008).

Sie sind in kreisförmigen, durch Steinmauern verbundenen Anlagen um jeweils zwei Zentralpfeiler aufgestellt. Mit einem Alter von über 10.000 Jahren werden diese steinzeitlichen Anlagen als die weltweit frühesten bekannten Tempelanlagen interpretiert (Schmidt, 2007).

Die Pfeiler erreichen Höhen von über 4 m und wiegen mehrere Tonnen, so dass sie am Fundort verbleiben müssen. Mit dem Auge sind viele Reliefstrukturen nur bei bestimmten Lichtverhältnissen gut zu erkennen, da

sie sich farblich nicht vom Untergrund abheben. Sie stellen Tiergestalten dar, während der Pfeiler selbst als menschliche Form interpretiert werden kann.

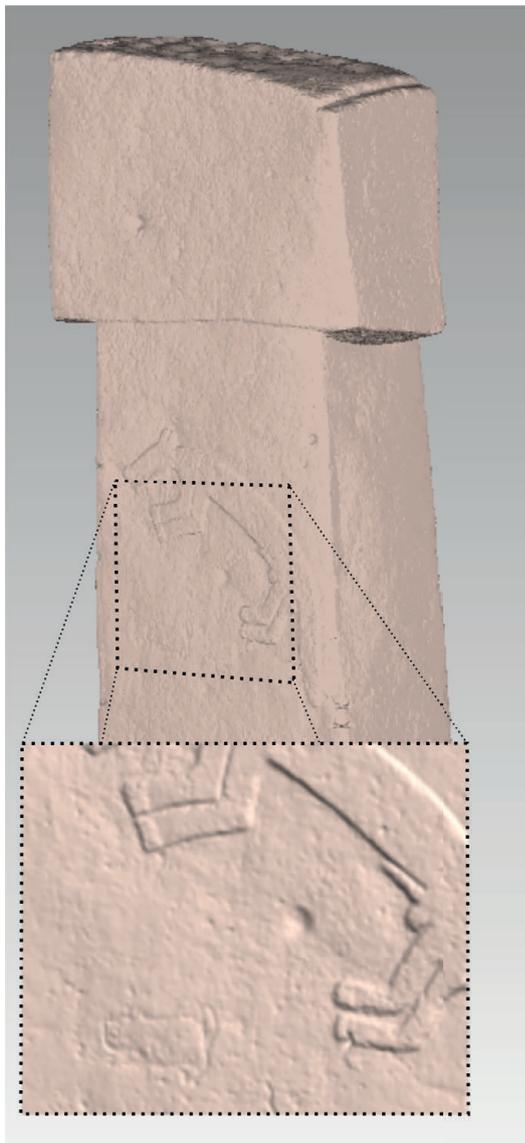


Abbildung 5.2: 3D-Modell eines T-Pfeilers und Detailausschnitt aus dem Relief eines Fuchses mit einer kleinen Ritzzeichnung darunter, die vermutlich ein Wildschwein darstellen soll (Bühler und Kesapidis, 2006).

Durch Witterungseinflüsse und möglichen Vandalismus sind die Pfeiler nach ihrer Ausgrabung gefährdet. Daher sollen sie so detailgetreu wie möglich digitalisiert werden (vgl. Abb. 5.2). Außerdem wurden Repliken einiger Pfeiler für eine Ausstellung im Badischen Landesmuseum in Originalgröße hergestellt, die auch in der Oberflächenstruktur den Originalen entsprechen sollten. Die Auflösung am Objekt darf daher nicht geringer als etwa 1 mm werden, so dass für die Erfassung eines T-Pfeilers teilweise mehrere hundert einzelne Scans durchgeführt und gemeinsam registriert wer-

den müssen. Dabei wird zum einen eine Anpassung der Messkonstellation auf die grabungsbedingt ungünstigen und beengten Platzverhältnisse sowie eine Abschattung des Sonnenlichts durch zeltartige Konstruktionen erforderlich. Zum anderen muss die auf der lokalen Anpassung benachbarter Scans beruhende Registrierung mit ICP-Algorithmen modifiziert und für manche Fälle mit Ausgleichsmethoden ergänzt werden. Damit kleine systematische Restfehler in den Überlappungsbereichen der Punktwolken nicht zu Qualitätsminderungen bei der Generierung des Gesamtmodells eines Pfeilers führen, müssen darüber hinaus die Einzelscans manuell nachbearbeitet werden.

In Kooperationsprojekten mit ausländischen Hochschulen kann das Verantwortungsbewusstsein für das kulturelle Erbe mit der internationalen Zusammenarbeit verbunden werden. Im 2015 gestarteten Kooperationsprojekt „Geomatik für die Erhaltung des kulturellen Erbes“ arbeiten Professoren, Mitarbeiter und Studierende der Hochschule Karlsruhe zusammen mit Kollegen der Universidad Politécnica de Valencia und der Aristoteles Universität Thessaloniki gemeinsam an je einem Projekt in jedem Land. Dabei werden verschiedene Mess- und Auswertetechnologien kombiniert. In Deutschland werden 2008 Aufnahmen im Bereich der Weltkulturerbestätte Kloster Maulbronn durchgeführt.

## 6 Einsatz moderner Präsentationstechniken

An die Darstellung der Messungsergebnisse werden ständig steigende Anforderungen gestellt. Während in den 90er Jahren die Ausarbeitung eines Plansatzes mit graphischer Datenverarbeitung dem Stand der Technik entsprach, werden heute dreidimensionale Modelle abgeleitet oder Geoinformationssysteme aufgebaut. Durch die Belegung der modellierten Flächen mit Fotos oder künstlichen Texturen können realistische Bilder und Animationen erzeugt werden. Auch ein interaktiver Gang durch die erzeugten Modelle wird möglich.

Ein dreidimensionales Modell ist heute Bestandteil vieler Abschlussarbeiten. Als Beispiel sei hier die Klosterkirche Frauenalb genannt, die durch Heiker (2010) aufwendig modelliert wurde (vgl. Abb. 6.1).



Abbildung 6.1: 3D-Modell der Klosterkirche Frauenalb (Heiker, 2010).

Für ein verformungsgerechtes Aufmaß und aktuelle Planunterlagen wurde der Baukörper zunächst mit Laserscanning erfasst. Als Bestandteil eines interdisziplinären Projekts wurde daraus ein 3D-CAD-Modell erzeugt, das zur Visualisierung des aktuellen Zustands, als geometrische Grundlage für bauphysikalische Untersuchungen und deren Dokumentation sowie für Studienprojekte der Bauingenieur-Studierenden zu möglichen Baumaßnahmen an einem solchen Gebäude diente.

Die Präsentation des Modells in einer Animation gibt einen besonders guten Eindruck vom aktuellen Gebäude, der sich durch Hinzufügen von geplanten Teilen mit möglichen künftigen Zustände vergleichen lässt.

Als Beitrag zum 300. Stadtgeburtstag von Karlsruhe

im Jahre 2015 wurden im Zuge vieler Studien- und Abschlussarbeiten 3D-Modelle konstruiert und texturiert, die Karlsruhe zu verschiedenen Zeitpunkten zeigen. Dazu wurden in Kooperation mit dem Stadtmuseum und dem Liegenschaftsamt Karlsruhe historische Fotos und Zeichnungen, Pläne und andere Dokumente mit den heute noch bestehenden Gebäuden, dem digitalen Gelände- und Höhenmodell und dem in weiten Bereichen unveränderten Stadtgrundriss kombiniert, um einen lebendigen Eindruck der Stadt in den Jahren 1715, 1834, 1915, 1945 und 2015 zu erhalten und die verschiedenen Zustände direkt vergleichen zu können (vgl. Abb. 6.2). Die Visualisierung und Publikation der Ergebnisse erfolgte in unterschiedlichen Ausgabeformaten. Videosequenzen von einigen vordefinierten Routen durch die Stadt erlauben es, das Aussehen der Stadt zu verschiedenen Zeiten vom gleichen Standpunkt aus gesehen direkt zu vergleichen (Günther-Diringer, 2015). Mit einer Laufzeit- und Entwicklungsumgebung für Computerspiele wie der Spiel-Engine Unity kann sich der Betrachter selbst durch die entsprechend aufbereiteten Modelle navigieren und diese z.B. mit einer VR-Brille dreidimensional betrachten kann.

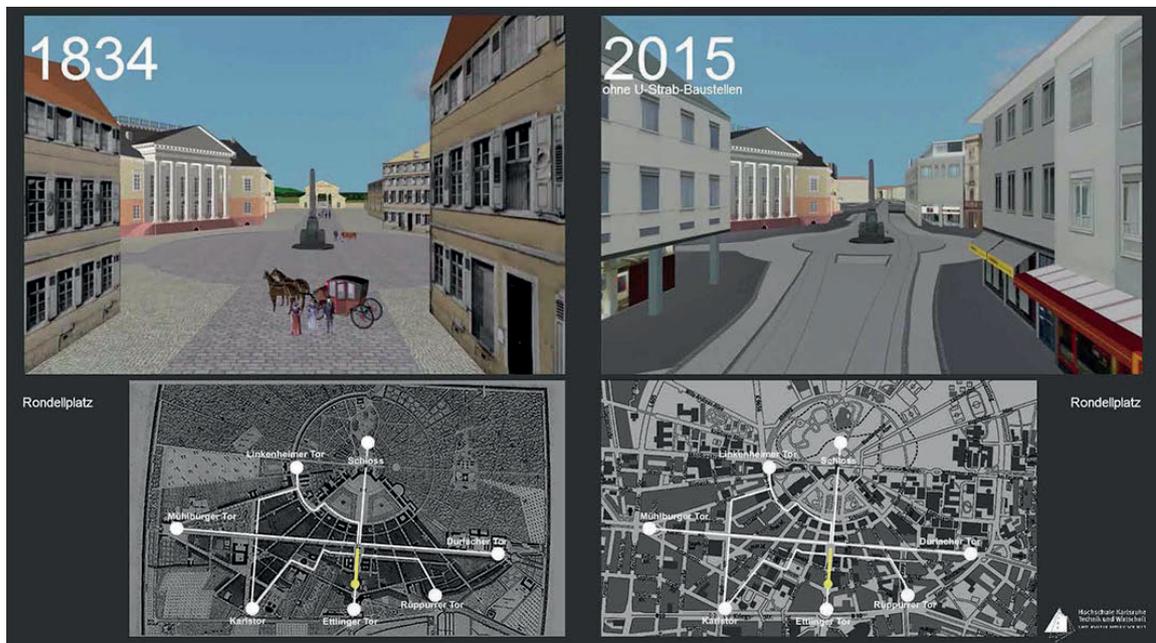


Abbildung 6.2: Ausschnitt am Rondellplatz aus den Videos zum Vergleich der 3D-Stadtmodelle von Karlsruhe der Zeitschnitte 1834 und 2015 (Günther-Diringer, 2015).

## 7 Fazit

Geodätische Projekte mit archäologischem oder denkmalschützerischem Hintergrund eignen sich gut als motivierende Elemente eines geodätischen Studiengangs. Im Sinne eines projektorientierten Studiums sind, ausgehend von einer praktischen Aufgabenstellung, alle notwendigen Messtechniken und Visualisierungsmethoden zu erarbeiten. Dadurch können die aus den Vorlesungen bekannten Grundlagen vertieft und erweitert werden. Durch die vielfach vorhandene Flexibilität bei der Aufgabenstellung können auch neue Technologien gut in die Aufgabenstellung integriert werden.

## Literatur

Backhaus-Maul, H. und Roth, C. (2013): Service Learning an Hochschulen in Deutschland. Springer Fachmedien, Wiesbaden. DOI: 10.1007/978-3-658-00124-7.

- Bühler, C. und Kesapidis, T. (2006): Untersuchungen zur Auswertung von hochauflösenden 3D-Scandaten großer Objekte am Beispiel steinzeitlicher Stelen auf dem Göbekli Tepe. Diplomarbeit, unveröffentlicht.
- Günther-Diringer, D. (2015): Karlsruhe im Wandel der Zeiten. Das digitale 3D-Stadtmodell der Jahre 1739 – 1834 – 1915 – 1945 und 2015. Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, Karlsruhe. ISBN: 978-3-89063-407-4.
- Heiker, S. (2010): 3D-Modell, Bestandspläne und Animation der Klosterkirche Frauenalb auf der Grundlage von terrestrischem 3D Laserscanning. Diplomarbeit, unveröffentlicht.
- Holländer, S. (2009): Untersuchung zur Auswertung von Messdaten eines 3D-Laserscannings am Ettlinger Schloss mit der Software Polyworks. Diplomarbeit, unveröffentlicht.
- Kollowa, J. und Laryea, S. (2008): Erstellung eines 3D-Modells der Befestigungsanlage Kharbalgas, Mongolei, aus terrestrischen Laserscandaten, Anfertigung von Schnitten und einer Animation. Diplomarbeit, unveröffentlicht.
- Morrissey, C. und Müller, D. (2017): Der Heidengraben auf der Uracher Alb. Vor- und frühgeschichtliche Befestigungen 23. Reichert Verlag, Wiesbaden.
- Schmidt, K. (2007): Sie bauten die ersten Tempel. 3. Aufl. C. H. Beck, München.
- Seitz, B. (2008): Optimierung der Auswertverfahren für hochauflösende 3D-Scandaten großer Objekte und Anwendung auf steinzeitliche Stelen des Göbekli Tepe, Türkei. Diplomarbeit, unveröffentlicht.
- Weinmann, K. (2008): Untersuchung zur Modellierung denkmalgeschützter Bauwerke auf der Grundlage von terrestrischem Laserscanning und Vergleich zur Videotachymetrie am Beispiel des Ettlinger Schlosses. Diplomarbeit, unveröffentlicht.