

Meyer 3D: dreidimensionale Erfassung der Meyerstollen in Aarau

Y. Weidmann, K. Hilfiker,
M. Griesshammer, R. Gottwald

Im Ausbildungsprogramm zum Bachelor of Science in Geomatik an der FHNW (BSc Geomatik) spielt in den höheren Semestern das projektorientierte Arbeiten an realen Objekten eine zentrale Rolle. Aus diesem Grunde wurde vor vielen Jahren am Institut Vermessung und Geoinformation FHNW (IVGI) die Projektinitiative «3D Cultural Heritage» lanciert (www.fhnw.ch/habg/ivgi/forschung/3d-cultural-heritage), in welcher längerfristig ein virtuelles, digitales Archiv kulturhistorisch wertvoller Bauten und Objekte aufgebaut werden wird. Zentrales Element ist dabei der Einbezug von Studierenden des BSc Geomatik, die in diesen teilweise sehr anspruchsvollen Projekten das gesamte Register der 3D-Messtechnik zur Erfassung und der entsprechenden Informatikwerkzeuge zur Weiterverarbeitung und Visualisierung anwenden müssen. Im Laufe der Zeit ist so eine virtuelle Sammlung von Objekten – ausgehend von Burgen und Schlössern im Baselbiet (Homburg, Wildenstein, Ebenrain, Zwingen), der Römerstadt Augusta Raurica, der Stadt Solothurn (historisch) und des Schaffhauser Munots (2014) – entstanden. Für 2015 stand eine ganz besondere Herausforderung an: das Meyersche Stollensystem in Aarau. Acht Studierende der Abschlussklasse 2015 hatten zur Aufgabe, einen Teil des öffentlich nicht zugänglichen Stollensystems dreidimensional zu erfassen und darzustellen, um dem Besucher des «Aufschlusses Meyerstollen» eine trockene und «schlammfreie» Besichtigung der aufgenommenen Stollenteile am Bildschirm zu ermöglichen und um dem Tiefbauamt Aarau genaue Informationen über den höhenmässigen Verlauf der Stollen zu geben. Ermöglicht und unterstützt wurden die Arbeiten durch die Stadt Aarau (Stadtmuseum und Tiefbauamt) und Geoldee (Y. Weidmann).

Dans le programme d'enseignement du Bachelor of Science en géomatique à la HES du nord-ouest(FHNW) (BSc Geomatik) les travaux orientés projet d'objets réels des semestres supérieurs jouent un rôle central. Pour cette raison l'initiative projet «3D Cultural Heritage» a été lancée il y a quelques années (www.fhnw.ch/habg/ivgi/forschung/3d-cultural-heritage), dans laquelle une archive virtuelle numérique des bâtiments et objets de valeur historico-culturelle sera créée. La participation d'étudiants de BSc Geomatik constitue l'élément central; dans le cadre de ce projet exigeant ceux-ci devront appliquer le registre complet de la technique de mensuration 3D pour la saisie et les outils informatiques correspondants pour le traitement et la visualisation. Ainsi au fil du temps une collection virtuelle d'objets – tels que citadelles et châteaux de Bâle-Campagne (Homburg, Wildenstein, Ebenrain, Zwingen), ville romaine d'Augusta Raurica, ville de Soleure et Munot de Schaffhouse (2014) a été créée. Un défi tout particulier se présente en 2015: le système des galeries souterraines de Meyer à Aarau. Huit étudiants de la volée terminale 2015 avaient pour tâche de saisir en 3D une partie du système de galeries non accessibles au public afin de permettre au visiteur de «l'ouverture Meyerstollen» une visite sèche et «non boueuse» à l'écran ainsi que de donner aux Travaux Publics de la ville d'Aarau des informations sur l'altimétrie précise des galeries. Les travaux ont été possibles et soutenus par la ville d'Aarau (Travaux Publics et Musée de la ville) et Geoldee (Y.Weidmann).

Die Geschichte der Meyerstollen

Die Meyerstollen sind ein faszinierendes, rund 200 Jahre altes Baudenkmal, das in seiner Verwendung und Bauweise einzigartig ist. Erbaut wurde das Stollensystem zwischen 1791 und ca. 1811 in mehreren Etappen. Auftraggeber war Johann Rudolf Meyer Sohn, ältester Sohn des Seidenbandindustriellen Johann Rudolf Meyer, bekannt als Vater Meyer.

Das System erstreckt sich auf einer Gesamtlänge von 1700 m und führt auf drei Ebenen in 4 bis 17 Meter Tiefe durch den Aarauer Untergrund. Mit einer Fläche von rund 9 Hektaren vom Gebiet des heutigen Torfeld, unter dem Bahnhof Aarau hindurch, bis zur Laurenzenvorstadt. Zweck des Stollenbaus war es, sauberes Wasser für die Färberei im Keller der Villa von Rudolf Sohn, heute das katholische Pfarramt, zu sammeln. Gleichzeitig dienten die Stollen der Entwässerung seines Grundstückes. Mit dem Bau einer neuen Fabrik im Jahr 1810 wurde ein Wasserrad installiert, welches das grösste unterirdische Rad seiner Zeit in Europa war. Mit diesem Rad wurden Geräte zur Veredelung von Seidenbändern und ein Blasbalg für die Färberei angetrieben.

Die Stollen wurden später in mehreren Etappen laufend ausgebaut, um die Leistung des Wasserrades auf bis zu 50l/s zu erhöhen. Um 1860 ersetzte die Familie Feer, welche den Meyer'schen Seidenbandbetrieb 1830 übernahm, das Wasserrad durch eine Turbine, um noch mehr Energie zu erzeugen. Das System blieb bis 1881 in Betrieb, bis dann 1888 alle Stauvorrichtungen aus den Stollen entfernt wurden.

Mit dem Neubau des Bahnhofs Aarau von 2008 bis 2010 wurde der nördliche Teil der Stollen aufgeschlossen. So wurde erstmals ein kleiner Teil der Stollen öffentlich zugänglich gemacht. Die Meyerstollen können im 3. UG des Bahnhofs Aarau im «Aufschluss Meyerstollen» des

Nel programma di formazione per il Bachelor of Science in Geomatica della FHNW (BSc Geomatica) il lavoro progettuale, orientato su oggetti reali, svolge un ruolo essenziale durante gli ultimi semestri. Per questo motivo molti anni fa presso l'Istituto di Misurazione Geoinformazione della FHNW (IVGI) è stata lanciata l'iniziativa del progetto «3D Cultural Heritage» (www.fhnw.ch/habg/ivgi/forschung/3d-cultural-heritage), in cui si provvede ad allestire un archivio digitale virtuale di edifici e oggetti preziosi dal punto di vista storico e culturale. A riguardo, un elemento centrale è costituito dal coinvolgimento degli studenti del BSc Geomatica che devono utilizzare, in questi progetti in parte molto esigenti, tutto il registro della tecnica di misurazione 3D per il rilevamento nonché i relativi strumenti di informatica per l'ulteriore elaborazione e visualizzazione. Col passare del tempo, si è arrivati a una raccolta virtuale di oggetti: partendo dai castelli della regione di Basilea (Homburg, Wildenstein, Ebenrain, Zwingen), ci si è estesi alla città romana di Augusta Raurica e alla città storica di Soletta e fino ad arrivare al Munot di Sciaffusa nel 2014. Nel 2015 la sfida è stata ancora più grande: rappresentare il sistema delle gallerie sotterranee di Meyer. Otto studenti dell'ultimo anno si sono prefissati di rilevare e rappresentare in 3D una parte del sistema di gallerie non aperte al pubblico per consentire al visitatore di ammirare, stando comodamente davanti allo schermo, le parti nascoste e dare all'Ufficio tecnico di Aarau delle informazioni precise sull'andamento altimetrico delle gallerie. Questo lavoro è stato appoggiato e incentivato dalla città di Aarau (Museo civico e Ufficio tecnico) e da Geoldee (Y. Weidmann).

Stadtmuseums Aarau besichtigt werden (www.aufschlussmeyerstollen.ch). Der Eintritt ist gratis.

Messkampagne Ausgangslage

Als Grundlage für die 3D-Aufnahme der Stollenanlage diente die Vermessung eines Polygonzuges entlang der Stollenachse der Firma Ackermann + Wernli AG von Aarau aus dem Jahre 2000. Im Rahmen dieser zweidimensionalen Kartierung der bis dahin noch weitestgehend unbekanntesten Stollenverläufe wurden Fixpunkte mit SBB-Bolzen vermarktet. Diese konnten nun als Basis wiederverwendet werden. Die detaillierte Planung und Vorgehensweise für die dreidimensionale Erfassung wurde im Rahmen zweier Feldbegehungen mit dem Stadtmuseum Aarau, der Sektion Gewässer des Stadtbauamts Aarau, dem Institut Vermessung und Geoinformation der FHNW und dem Büro Geoldee erarbeitet. Während dieser Begehungen wurden die unterschiedlichsten Anforderungen an die neue Erfassung der Stollen formuliert und ausgearbeitet. Dabei standen die Dokumentation der historischen

Anlagen und die mögliche Erarbeitung eines interaktiven Informationssystems für das Museum im Vordergrund. Weiter war das Ziel, ein 3D-Modell der Anlagen zu erschaffen, welches dem Stadtbauamt für die weitere Planung der Entwässerung und des Unterhalts der Stollen dienen soll.



Abb. 1: Arbeiten im Meyerstollen unter massiv erschwerten Bedingungen (Foto: Yvo Weidmann, Geoldee).

Methodik und Vorgehensweise

Im Vordergrund bei der Wahl des Instrumentariums stand die Anforderung, die Instrumente und die benötigte Beleuchtung ohne Stromanschluss betreiben zu können. So wurden zwei 3D-Laserscanner Focus3D X 330 der Firma FARO (www.faro.com/de-de/produkte/3d-vermessung/laserscanner-faro-focus-3d/ueberblick) und Akku LED Scheinwerfer mit einer Leistung von je 20 Watt eingesetzt (Abb. 1). Für die effiziente und kostengünstige Markierung der Fix- und Verknüpfungspunkte wurden handelsübliche Styroporkugeln mit einem Durchmesser von 7 cm verwendet. Die Verfügbarkeit einer grossen Anzahl solcher Kugeln aus dem Baumarkt ermöglichte es, grosse Abschnitte der Stollenanlage gleichzeitig zu signalisieren und parallel in zwei Gruppen zu scannen. Durch dieses Vorgehen konnte eine sehr hohe Effizienz bei der Erfassung erreicht werden.

Jede Gruppe, bestehend aus zwei bis drei Studierenden, erfasste die ihnen zugewiesenen Stollenteile abschnittsweise in einer Auflösung von 7 mm auf 10 m Aufnahmedistanz. Pro 360 Grad-Scan benötigte man mit diesen Einstellungen ca.



Abb. 2: Hängende Stationierung des Scanners mit Beleuchtung und Verknüpfungspunkten (Foto: Yvo Weidmann, Geoldee).

6 min. Um eine Abschattung der Ganganlagen durch die Operateure zu vermeiden, wurden einzelne Scans über die WiFi-basierte Fernsteuerung der Scanner ausgelöst.

Mit jedem Scan wurden rund 20 m Gangabschnitt erfasst. Um eine möglichst optimale Abdeckung und einen hohen Detaillierungsgrad zu erreichen, wurde die Stationierung rund alle 3 m bis 5 m wiederholt. Somit konnte die Geometrie der Gänge und die Struktur an den Stollenwänden des Stollenbaus hochgenau erfasst werden. Zudem wurden die markierten Fix- und Verknüpfungspunkte von mindestens drei unterschiedlichen Scans erfasst. Dies führte zu einer sehr stabilen relativen Verknüpfung der einzelnen Scans zu einem Gesamtmodell. Zusätzlich wurde der Scanner bei einer Stationierung sowohl in aufrechter wie auch in hängender Stationierung verwendet (Abb. 2).

Im Rahmen der gesamten 3D-Aufnahme der rund 300 m Stollenanlage wurden an 156 Stationen einzelne Scans durchgeführt. Zusammen mit den ebenfalls durch den FARO Focus3D erfassten Fotografien

wurde eine totale Rohdatenmenge von rund 20 GB gewonnen. Um eine Verknüpfung der Stollenanlagen mit der aktuellen Oberfläche zu erlangen, wurden durch zwei bestehende Vertikalschächte Anschlussmessungen durchgeführt.

Zum einen beim Bahnhofplatz mit Anschluss an das Netz der amtlichen Vermessung und zum anderen in die Tiefgarage unter dem Hotel Aarauerhof. Diese Anschlussmessungen dienen zur Qualitätskontrolle der Vermessung, ermöglichen aber auch eine sehr attraktive Visualisierung für das Museum.

Herausforderungen und Fazit

Neben den zum Teil sehr kurzen Zieldistanzen (unter 50 cm) waren die sehr kleinen Gangdimensionen eine der zentralen Herausforderungen. Die Verwendung von üblichen Stativen war nur an sehr wenigen Stellen möglich. Um trotzdem eine stabile und gute Stationierung der Geräte zu gewährleisten, wurden eigens adaptierte Stative entwickelt. Auf üblichen Türspannern aus dem Schreinereibedarf wurden Stativplatten montiert. Diese Stative konnten in den meistens knapp 60 cm breiten Gängen mühelos und stabil zwischen den beiden Wänden eingespannt werden (Abb. 3).

Für Mensch und Material war aber das nasse und sehr lehmige Umfeld die zentrale Herausforderung. So musste der Scanner an zum Teil sehr schwierigen Orten stationiert werden. Teilweise mussten die Stative bis 60 cm in zähflüssigem Lehm stabil aufgestellt werden. In einem Gangabschnitt stand für das Scannen und den Transport nur knapp 50 cm Luft über 50 cm Wasser zur Verfügung. Aber selbst diese Passagen wurden mit der eingangs definierten Qualität erfasst.

Neben der Gefahr des Umkippen oder Eintauchens der Geräte in Lehm und Wasser waren auch Transport und Manipulation der Geräte höchst spannend. Trotz diesen sehr widrigen Umständen war aber während dem gesamten Projekt kein einziger Ausfall von Mensch oder Maschine zu beklagen.

Auswertung und Resultate Co-Registrierung der Scans

Direkt nach der Erfassung der Scans wurden bereits vor Ort so viele Stationen wie möglich ausgewertet und grob co-registriert, um die Vollständigkeit der Stollenaufnahme sicher zu stellen und zu garantieren, dass sich die Scans später auch miteinander verknüpfen lassen. Die komplette Auswertung wurde mit der Software Trimble Real Works v9.1.1.336 durchgeführt.

Die Orientierung der Scans und damit verbunden die absolute Georeferenzierung (Lagerung) der 3D-Punktwolke erfolgte über die bereits im Stollen vorhandenen 3D-Fixpunktbolzen. Zusätzlich wurden sämtliche in den Scans sichtbaren Styroporkugeln detektiert oder manuell angemessen, um Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Scanorientierungen zu steigern. So konnte schlussendlich eine dreidimensionale Gesamtgenauigkeit von wenigen Zentimetern erreicht werden. Nachdem sämtliche Scans geo-



Abb. 3: Spannstativ mit aufgesetztem Scanner und Akkuscheinwerfer sowie mit Styroporkugeln signalisierte Verknüpfungspunkte. (Foto: Yvo Weidmann, Geoldee).

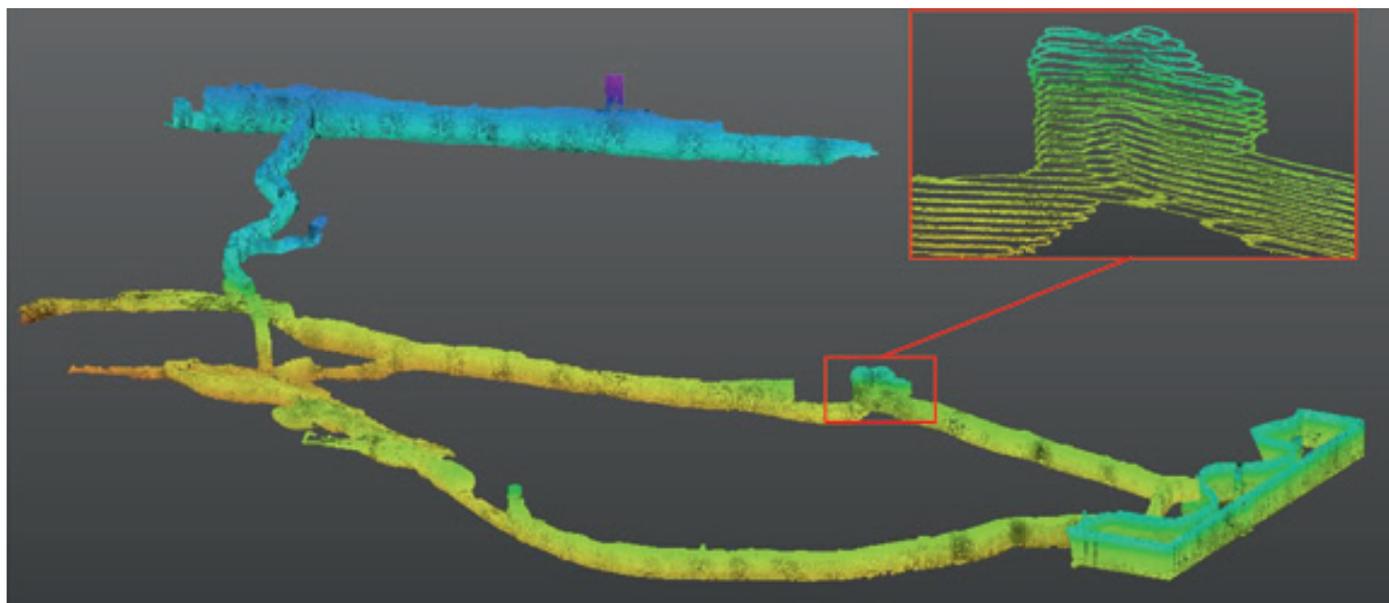


Abb. 4: Höhengschnitte durch den gesamten Stollen, eingefärbt nach Höheninformation.

referenziert waren, umfasste das Gesamtprojekt vier Milliarden Punkte. Deshalb wurde in einem nächsten Schritt die Punktwolke einheitlich auf ein Zentimeterteraster gefiltert und danach manuell bereinigt. Vor allem streuende Punkte durch Wasserreflexionen mussten gelöscht werden. Dadurch wurde eine Reduktion auf 59 Millionen Punkte erreicht, ohne dabei eine signifikante Qualitätseinbuße in Kauf nehmen zu müssen. Diese texturierte georeferenzierte 3D-Punktwolke diente dabei als Ausgangslage, um

nachfolgende Produkte daraus ableiten zu können.

Abgeleitete Produkte

Aus der Punktwolke konnte nun basierend auf dem bestehenden Fixpunktnetz, aber mit einer völlig unabhängigen Technologie, wiederum dieser Grundriss berechnet werden. Erfreulicherweise war ein Grossteil der Stollenverläufe praktisch deckungsgleich. Die Differenzen lagen im Bereich von wenigen Zentimetern. Weiter

wurden Produkte wie Quer- und Höhenprofile in Interessensbereichen (z.B. Wasserabflüsse) generiert. Zudem wurden über das gesamte Stollensystem Höhengschnitte gelegt, da für viele konkrete Anwendungsfälle (z.B. Wasserstandszenarien) von direktem Interesse ist, welche Punkte sich auf der gleichen Höhe befinden (Abb. 4). Dazu kommt, dass so die Navigation im Stollen für Benutzer um einiges einfacher und angenehmer wird.

Virtueller Panoramarundgang

Eine Teilgruppe beschäftigte sich mit der Auswertung von Spiegelreflexkameraaufnahmen, die am letzten Tag der Messkampagne mit einem Seitz Roundshot VR Drive Nodalpunktadapter (www.roundshot.com) durchgeführt wurden. Aus rund 80–100 Einzelbildern pro Standort mit einer Nikon D7000 wurden vollsphärische Panoramen prozessiert, welche in einen Panoramaviewer mit HTML/CSS und JavaScript implementiert wurden. In diesem Webviewer ist es möglich, den Stollen virtuell zu begehen und das Sichtfeld punktuell komplett frei zu bewegen (Abb. 5). Insgesamt wurden so 14 interessante Standorte im ganzen erfassten Bereich des Stollens abgelichtet. Da Besuchende des Museums nur einen sehr klei-



Abb. 5: Ansicht des Web-Panoramaviewers im nicht öffentlich zugänglichen Teil des Stollens.

nen Teil des Stollens selbst begehen können, ist die virtuelle Begehung des Stollens via Tablet, ohne sich dabei schmutzig zu machen, wohl eine willkommene Ergänzung für das Stadtmuseum Aarau und den Besuch im «Aufschluss Meyerstollen».

Fazit

Aus technischer Sicht konnte mit diesem Projekt gezeigt werden, dass eine 3D-Vermessung von komplexen und unterirdischen Räumen mit einer hohen Auflösung und Genauigkeit möglich ist. Die aktuelle Entwicklung bei den 3D-Scannern und Akkumulatoren ermöglicht eine immer grössere Autonomie des Instrumentariums.

Die Erfassung solcher Räume in der gewählten Auflösung bedingt ein sehr gutes Datenmanagement. Die hohe Auflösung bietet aber auch ein grosses

Potenzial für weitere und neuartige Auswertungs- und Darstellungsmethoden. Dankbarer Abnehmer des 3D-Modells und der daraus abgeleiteten Produkte ist neben dem Stadtmuseum Aarau und der Interessensgemeinschaft Meyersche Stollen auch die Sektion Gewässer des Stadtbauamts Aarau. Erstmals steht ihnen im gesamten Stollensystem nördlich des Bahnhofs Aarau auch die Höheninformation als enorm wichtige Komponente in einer extrem hohen Dichte und Qualität zur Verfügung. Daraus lassen sich Wasserverläufe studieren, um einen besseren Wasserdurchfluss zu ermöglichen oder mittels Höhenkurven Wasserstände im Stollen zu simulieren.

Literatur:

Genner, Peter: Von Aarau nach Bayern – Auswanderung und Niedergang der Unternehmerfamilie Meyer, in: Aarauer Neujahrsblätter 2011 und 2012.

Evers, Ernst August: Vater Johann Rudolf Meyer, Bürger von Aarau: eine Denkschrift; Aarau 1815.

Historisches Lexikon der Schweiz: www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D24701.php und www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D29127.php.

Yvo Weidmann
Geoldee
CH-8003 Zürich

Kevin Hilfiker
Reinhard Gottwald
Institut Vermessung und Geoinformation
FHNW
CH-4132 Muttenz
reinhard.gottwald@fhnw.ch

Marc Griesshammer
Stadtmuseum Aarau
CH-5000 Aarau

**„Mit Software
von rmDATA arbeiten
Sie bei Überwachungsmes-
sungen sicher, effizient
und profitabel.“**



Michael Schulz, Vertriebsleiter rmDATA Schweiz

Nutzen Sie unser aktuelles Top-Angebot – das individuelle rmDATA-Deformationspaket – zu besonders günstigen Konditionen. Erfahren Sie mehr unter 041 5112131

rmDATA Vermessung. Intelligente Software – konsequent einfach

rmDATA AG | Poststrasse 13, 6300 Zug | Tel: 041 5112131 | office@rmdatagroup.ch | www.rmdatagroup.ch

