
Naturräumliche Gegebenheiten und dreidimensionale Vermessung des Luftschutzstollens Schloss St. Martin, Graz

Viktor Kaufmann, Christian Bauer, Bostjan Strmsek und Thomas Mikl

Zusammenfassung

In Graz (Bundesland Steiermark, Österreich) wurden während des Zweiten Weltkrieges mehrere Luftschutzstollen angelegt. Sie dienten gleichermaßen der NS-Administration, der Wehrmacht und der Zivilbevölkerung als Schutz vor Fliegerbomben. Der bekannteste ehemalige Luftschutzstollen ist jener im Grazer Schloßberg. Über kleinere Luftschutzstollen ist wenig bekannt, da sie im Laufe der Zeit meist in Vergessenheit geraten sind. Im Rahmen der 100-Jahre-Feier des Bildungshauses Schloss St. Martin im Jahre 2019 wurde u.a. auch die NS-Zeit näher beleuchtet, und im Zuge dessen wurde der im Nahbereich des Schlosses St. Martin befindliche Luftschutzstollen erstmals 3D vermessen, sowie einer detaillierten ingenieurgeologischen und auch archäologischen Untersuchung unterzogen. In diesem Beitrag werden schwerpunktmäßig die geologische Situation und die dreidimensionale Vermessung der Stollenanlage beschrieben.

1 Einleitung

In Vorbereitung der 100-Jahre-Feier des Bildungshauses Schloss St. Martin im Jahre 2019 wurde die Geschichte des Schlosses und des Bildungshauses detailliert erforscht und in einem Jubiläumsband umfassend dokumentiert (BERGMANN-PFLEGER et al. 2019). Spezielles Augenmerk wurde auf die NS-Zeit (1938-1945) gelegt. In einem Gastbeitrag (THEUNE et al. 2019) wurden die Forschungsergebnisse zum Luftschutzstollen Schloss St. Martin erstmals einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt. Zur Erforschung und Dokumentation des Stollens wurde eine 3D-Vermessung und auch eine geologische Kartierung durchgeführt. Der vorliegende Aufsatz soll nun vertiefende Einblicke in die durchgeführten Arbeiten geben.

2 Geographische Lage und geologische Situation

Das Schloss St. Martin (Abb. 1, links) liegt auf einem östlichen Felsensporn des Plabutsch-Buchkogel-Zuges, der die nordwestliche Begrenzung des Grazer Feldes bildet. Geologisch besteht der Bergzug überwiegend aus Gesteinen des Paläozoikums, wobei die Schichtglieder vom Liegenden zum Hangenden allgemein mit Sandsteinen beginnen, dann zunehmend in eine dolomitische Fazies bzw. nachfolgend in eine kalkige Fazies übergehen. Die Karbonate des Plabutsch-Buchkogel-Zuges sind allgemein stark verkarstungsfähig. So ist das Gebiet einerseits durch eine intensive Dolinenbildung an der Oberfläche, andererseits durch eine

ausgeprägte unterirdische Entwässerung gekennzeichnet (FLÜGEL 1983). Der Luftschutzstollen selbst wurde in der sogenannten Flösserkogel Formation vorangetrieben. Die dominierende Lithologie dieser, zur Rannach-Decke zugehörigen Formation sind Dolomite, teilweise mit Einschaltungen von Sandsteinen (HUBMANN 2003). Weitere geologische Besonderheiten im Stollenbereich werden später im Text an geeigneter Stelle erläutert. Der derzeit einzige Zugang zum Stollensystem ist über den Eingangsbereich (Abb. 1, rechts) am nördlichen Ende des Gebäudekomplexes Bildungshaus Schloss St. Martin gegeben (vgl. dazu die Karte in Abb. 7).



Abb. 1: Links: Blick in nordöstlicher Richtung auf den Felsensporn mit dem Schloss St. Martin und der dazugehörigen Schlosskirche. Rechts im Bild liegt das Grazer Feld mit der Landeshauptstadt Graz; rechts: Zugang zum ehem. Luftschutzstollen Schloss St. Martin. Photos: V. Kaufmann, 4.10.2019.

3 Bau und Nutzung des Luftschutzstollens

Im Zweiten Weltkrieg war Graz als Eisenbahnknotenpunkt und Standort von wichtigen Industrieanlagen Ziel von zahlreichen Luftangriffen der Alliierten. Im Laufe des Luftkrieges in den Jahren 1941-1945 wurden auf Graz mindestens 16500 Sprengbomben und ca. 11750 Brandbomben im Gesamtgewicht von 3700 Tonnen abgeworfen und damit, abgesehen von Gebäudeschäden, über 1700 Menschen getötet (BRUNNER 1989). Zum Schutz der Zivilbevölkerung sowie der NS-Administration und der Wehrmacht wurden im Stadtgebiet bis Kriegsende 16 Luftschutzstollen sowie ein Luftschutzbunker errichtet. Das Stollensystem im Grazer Schloßberg war das größte und konnte bis zu 40000 Personen aufnehmen (BRUNNER 1989). Die sonstigen Luftschutzräume boten oft keinen ausreichenden Schutz bei Bombeneinwirkung. Die nationalsozialistische Politik verhinderte durch falsche Selbsteinschätzung (Österreich sei „Luftschutzkeller des Reiches“) und gezielte Propaganda eine rechtzeitige, adäquate Vorbereitung auf Bombenangriffe aus der Luft. 1939 wurde noch ein Vorschlag von Major Hermann Noltsch zum Ausbau des Schloßbergstollens bei Androhung einer Strafe (Konzentrationslager) abgelehnt. Noltsch meinte zurecht, dass nur Luftschutzstollen ausreichend Schutz böten (NOLTSCH 1948, BEER & KARNER 1992). Am 19.12.1944 und am 9.3.1945 erfolgten u.a. zwei für das Schloss St. Martin und den angrenzenden dörflichen Raum am Kehlberg folgenschwere Luftangriffe mit großen Schäden an Gebäuden und mehreren Todesfällen (BRUNNER 1989, YOUTUBE 2019a).

Die Anlage des Luftschutzstollens Schloss St. Martin geht auf einen Bauplan im Maßstab 1:200, welcher beim Straßen- und Brückenbauamt der Stadtverwaltung Graz Anfang Dezember 1943 ausgefertigt wurde, zurück (Abb. 2). Das Stollensystem wurde größtenteils durch Wehrmachtsangehörige der nahegelegenen „Jägerkaserne“ (jetzt Gablenz-Kaserne) erbaut, wobei der Vortrieb über zwei Längsstollen erfolgte. Während die Erstplanung nur einen einzigen Querstollen (Kaverne) vorsah, umfasst der Endausbau neben einem weiteren Querstollen, einen zusätzlichen Annex im Norden und den jetzigen Zugang über einen schrägverlaufenden Stollen (im Bauplan bereits mit Bleistift angedeutet mit verbauter Betonstiege). Der Stollenbau wird wohl das ganze Jahr 1944 gedauert haben. Die geplante alleinige Nutzung des Stollens durch die Reichsgauleitung musste wegen Materialmangels und Widerstands der lokalen Zivilbevölkerung aufgegeben werden. In der Folge fanden im Stollen bei dualer Nutzung Wehrmachtsangehörige und Zivilbevölkerung gleichermaßen Schutz. Noltsch bezifferte das Fassungsvermögen des Stollens mit 1 550 Personen. 1945 war im Stollen eine Luftnachrichtenabteilung untergebracht (NOLTSCH 1948). Nach Kriegsende (9. Mai 1945) wurde der Stollen geräumt. Ein Photo aus dem Jahr 1955 (siehe THEUNE et al. 2019, S. 107) zeigt den Eingangsbereich des südlichen Längsstollens bereits stark verfallen. Zeitzeugen (u.a. Karlheinz Kern, Graz) berichteten, dass sie als Kinder bzw. Jugendliche den Stollentrakt in den 1970er- bzw. frühen 1980er-Jahren betreten bzw. das Stollensystem auch mit Rädern abfahren konnten. Der Ausstieg über die Betonstiege war jedoch durch ein Gitter verwehrt (vgl. dazu auch Abb. 3). 1982 ließ die Schlossverwaltung aus Sicherheitsgründen die beiden Längsstollen in ihren Eingangsbereichen verfüllen (BERGMANN-PFLEGER et al. 2019). Am 4.10.2019 wurde im Zuge einer eigenen Begehung eine kleine Tagöffnung im Bereich des südlichen Längsstollens entdeckt, durch die Sonnenlicht in das Stolleninnere gelangen konnte. Es ist zu vermuten, dass auch Kleintiere, wie z.B. Fuchs, Igel, etc. diesen Zugang zeitweise benutzen. Ein Einflugloch im jetzigen Eingangsbereich ermöglicht Fledermäusen den dauernden Zugang zum Stollensystem. Die Autoren führten Begehungen des Luftschutzstollens in den Jahren 2017, 2018 und 2019 durch.

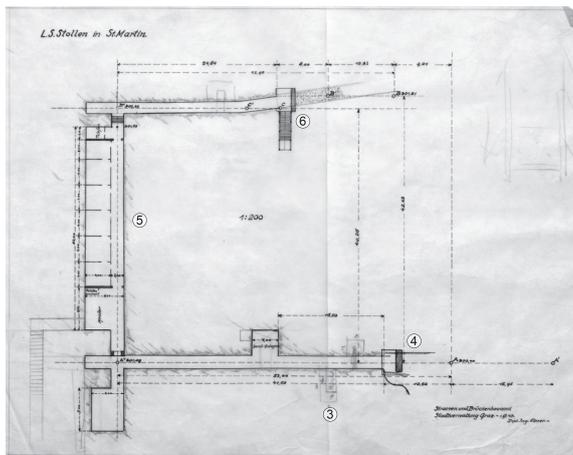


Abb. 2: Bauplan des Luftschutzstollens Schloss St. Martin, Originalmaßstab 1:200, datiert mit 1.12.1943. Die beigegefügte Nummern ③-⑥ dienen der Lagezuordnung mit Hilfe der Abb. 7. Quelle: Stadtarchiv Graz, Signatur AT-STARG 4.2.1.17.15-AC8/05/01-8.

4 Erstvermessung

Die beiden Höhlenforscher Karl Pawlija und Josef Flack haben das Stollensystem am 2.11.1970 mit einfachen Messmitteln, wie Bussole und Maßband, erstmals vermessen und als Ergebnis einen Lageplan im Maßstab 1:200 erstellt (Abb. 3). Aufschlussreich sind die zahlreichen zeichnerischen Details, wie z.B. Längs- und Querprofile, Hinweise zu Bodenunebenheiten oder Ablagerungen, Wassereintrag und Absperrungen im jetzigen Eingangsbereich.

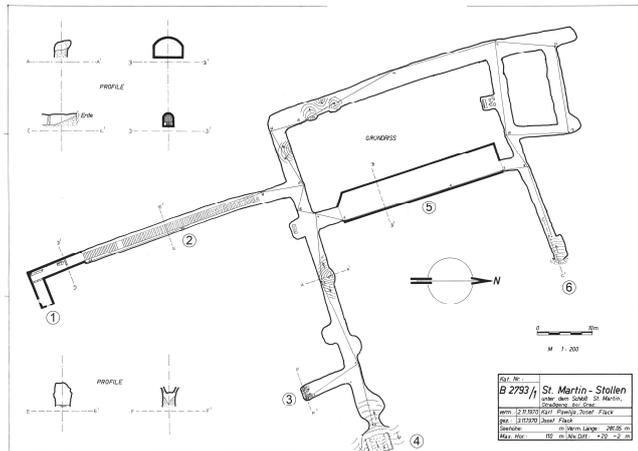


Abb. 3: Lageplan des Luftschutzstollens Schloss St. Martin, Originalmaßstab 1:200, datiert mit 3.11.1970. Die beigefügten Nummern ①-⑥ dienen der Lagezuordnung mit Hilfe der Abb. 7. Quelle: Landesverein f. Höhlenkunde in der Steiermark, B 2793/1.

5 Neuvermessung

In den Jahren 2017 und 2018 führte das Institut für Geodäsie (Arbeitsgruppe für Fernerkundung und Photogrammetrie) der Technischen Universität Graz im Auftrag der Direktion des Bildungshauses Schloss St. Martin eine Neuvermessung der Stollenanlage mit modernen Methoden durch. Ergänzungsarbeiten und weitere Begehungen erfolgten 2019. Wesentliche Arbeiten, wie z.B. die Messung des Grundlagnennetzes, das Laserscanning und die 3D-Modellierung, wurden im Rahmen einer Masterarbeit (2019 noch nicht abgeschlossen) durchgeführt. Die Ergebnisse der Vermessung und auch der 3D-Modellierung sind als wichtige Grundlagen für (1) Planungen (Instandhaltung, zukünftige Neunutzung), (2) denkmalpflegerische Maßnahmen, (3) Bauforschung, (4) Bürgerinformation (Beiträge zur Zeitgeschichte) sowie für (5) etwaige Rettungsmaßnahmen im Falle des Einschlusses von Personen anzusehen. Ein interessantes Beispiel einer Dokumentation eines Stollensystems (Roggendorf-Stollen östlich von Melk, Niederösterreich) aus der NS-Zeit findet sich in BURGHART & HERTENBERGER (2018). Höhlenvermessungen (Karst, Eis) können mit den unterschiedlichsten Methoden durchgeführt werden (HÄMMERLE et al. 2014, PETERS et al. 2019).

5.1 Grundlagentnetz

Als geometrische Basis für die 3D-Dokumentation des Stollensystems wurde ein untertägliches, vermarktes Polygonnetz gemessen. Der geodätische Anschluss an das übergeordnete Landeskoordinatensystem (Gauß-Krüger MGI M34) erfolgte über lokale Festpunkte, Fernziele und zusätzliche RTK-GNSS-Messungen (VRS APOS). Ausgehend vom Polygonnetz wurden die an den Stollenwänden vermarkten, für die Georeferenzierung der terrestrischen Laserscans und photogrammetrischen Aufnahmen benötigten Passpunkte (insgesamt 17), zusätzliche Boden-, Gewölbe- und Firstpunkte, sowie in regelmäßigen Abständen 22 Querprofile gemessen. Alle geodätischen Arbeiten und auch sonstigen Begehungen erfolgten unter Einhaltung der naturschutzrechtlichen Vorgaben zum Fledermausschutz (Winterruhe).

5.2 Terrestrisches Laserscanning

Als Grundlage für die 3D-Modellierung des Stollensystems erfolgte am 24.10.2017 eine Aufnahme mit dem handgehaltenen Laserscanner GeoSLAM ZEB-REVO (GEOSLAM 2019; Abb. 4, links). BADFORD (2019) beschreibt eine erfolgreiche 3D-Aufnahme eines weitläufigen Stollensystems aus dem Zweiten Weltkrieg unter Verwendung eines ähnlichen Aufnahmesystems. Die gegenständliche Gesamtaufnahme setzt sich aus zwei sich überlappenden Rundgängen mit insgesamt ca. 50 Mill. Einzelpunkten zusammen. Die Passpunkte wurden mit Referenzkugeln von Leica (Styropor, $\varnothing = 15$ cm, M8-Gewinde) signalisiert (Abb. 4, rechts). Die Georeferenzierung der beiden Punktwolken erfolgte in zwei getrennten Schritten (relativ, absolut) mittels CloudCompare (CLOUDCOMPARE 2019). Der mittlere Punktlagefehler errechnete sich mit 1.5 cm. Die weitere Modellbildung erfolgte mit dem Programm 3DReshaper. Spezielles Hauptaugenmerk wurde auf die Rauschunterdrückung gelegt.



Abb. 4: Terrestrisches Laserscanning mit dem System GeoSLAM ZEB-REVO (links); Signalisierung mit einer Kugelkalotte aus Styropor (rechts). Photos: V. Kaufmann, 24.10.2017.

Zusätzlich zur GeoSLAM-basierten 3D-Aufnahme wurden zwei ausgewählte Objekte, nämlich die großräumige Kaverne im östlichen Querstollen und eine kleinflächige Felsritzung im südlichen Längsstollen, durch terrestrisch-photogrammetrische Aufnahme mit einer digitalen Spiegelreflexkamera Nikon D300 ($f=20$ mm, Auflösung 4288 x 2848) dokumentiert. Im Vergleich zur Laserscan-Aufnahme können mit der gewählten photogrammetrischen Auswertemethode (Structure-from-Motion) höher aufgelöste, genauere Oberflächenmodelle erstellt werden. Überdies ist eine Texturierung des so erstellten Modells leicht möglich.

5.3 Terrestrisch-photogrammetrische Aufnahme der Kaverne

Die Kaverne (5.3 x 33 m) im östlichen Querstollen hat ausbetonierte Seitenwände und ein mit Betonsteinen ausgeformtes Gewölbe. Die Seitenwände sind mit Graffiti aus den 1970er- und frühen 1980er-Jahren versehen (THEUNE et al. 2019). Am Boden der Kaverne befinden sich diverse kleinformatige Relikte aus der Nachkriegszeit. Für die Georeferenzierung der Bilddaten wurden insgesamt 7 Passpunkte mit retroreflektierenden Schwenk-Targets signalisiert. Der gesamte Raum wurde in relativ kurzer Zeit (ca. 100 Minuten) in Form mehrerer linearer, überlappender Aufnahmesequenzen freihändig mit der Kamera Nikon D300 aufgenommen. Für die Ausleuchtung der Objektoberfläche wurde nur der interne Blitz der Kamera verwendet. Die Fokussierung erfolgte auf eine mittlere Aufnahmeentfernung von ca. 4 m und blieb während der photographischen Aufnahme (durch Klebeband fixiert) unverändert. Der rechteckige Bodenbereich konnte bei gegebener Augenhöhe des Photographen nur mittels Schrägaufnahmen aufgenommen werden.

Für die photogrammetrische Auswertung in Agisoft Photoscan 1.4 (AGISOFT 2019) standen insgesamt 378 Photos zur Verfügung. Der durch Blitzwirkung und Weitwinkeloptik bedingte starke radiale Lichtabfall in den Photos wurde durch Histogrammmodifikation in Photoshop CS2 (Bild Anpassen Tiefen/Lichter) ausreichend gut beseitigt. 34 Aufnahmen des Bodenbereichs konnten leider nicht referenziert werden, da einerseits im Bodenbereich keine Passpunkte vorhanden und andererseits kein für die automatische Bildzuordnung ausreichender Überlapp geringer Verzerrung mit den übrigen Aufnahmen gegeben war. Für die Georeferenzierung (in einem nunmehr lokalen auf die Längsachse bezogenen Koordinatensystem) wurden alle 7 Passpunkte berücksichtigt. Die Bündelausgleichung in Agisoft Photoscan ergab einen mittleren Rückprojektionsfehler von 0.642 Pixel. Die mittleren Restfehler in den Passpunkten betragen: $m_x=7.2$ mm, $m_y=6.5$ mm und $m_z=0.5$ mm. Für die Modellierung der inneren Orientierung der Kamera wurden folgende Parameter gewählt: F, Cx, Cy, K1, K2, B1, B2, P1 und P2.

Aus der dichten Punktwolke (ca. 10.67 Mill. Punkte) wurde ein 3D-Maschennetz (ca. 2.13 Mill. Maschen) zur Modellierung der Oberfläche abgeleitet. Für die 4 Hauptansichten wurden Orthophotos mit einer Bodenauflösung von 2 x 2 mm gerechnet (Abb. 5). Für die 3D-Visualisierung wurde ein phototexturiertes Modell mit einer hochauflösten Texture Map (12288 x 12288) erstellt und im Format PLY exportiert. Die anschauliche Visualisierung der Kaverne in Form eines virtuellen Rundgangs erfolgte mit dem Programmsystem CloudCompare. Ein Video im Format MP4 ist auf YOUTUBE (2019b) bzw. KAUFMANN (2019) bereitgestellt.



Abb. 5: Orthophoto der östlichen Längsseite der Kaverne. Aufnahmedatum: 24.10.2017.

5.4 Terrestrisch-photogrammetrische Aufnahme einer Felsritzung

Im Zuge einer Stollenbegehung am 4.10.2019 wurde am unteren Ende des betonierten Stiegenabgangs an der westlichen Ecke eine weitere Felsritzung in Form einer Doppelraute ca. 50 cm oberhalb des Bodenniveaus entdeckt (Abb. 6). Diese Ritzung ist im Vergleich zu den in THEUNE et al. (2019) publizierten nicht in hartem Material (Beton) ausgeführt, sondern in einer äußerst weichen Verwitterungsschicht, welche durch mechanische Beanspruchung leicht zerstört werden könnte. Die Bedeutung der gegenständlichen Ritzung ist unklar. Die relativ frische Farbe in den Vertiefungen lässt vermuten, dass die Ritzung nicht aus der NS-Zeit stammt, sondern eher danach ausgeführt wurde. Um die Ritzung für die Nachwelt zu dokumentieren, wurde eine terrestrisch-photogrammetrische Aufnahme mit einfachen Mitteln durchgeführt, wobei für die Aufnahme die vorhin beschriebene Kamera im gleichen Aufnahmemodus eingesetzt wurde. Für die Ableitung des Maßstabs wurden 4 Referenzpunkte (R1-R4) mit Stecknadeln (Plastikhalter mit Zentrierpunkt, vgl. Abb. 6, links) temporär und oberflächenschonend in der Felsoberfläche markiert. Mit einem Rollmeter wurden alle 6 Sperrmaße gemessen. Insgesamt wurde ein für die photogrammetrische Auswertung günstiger Block von 15 Aufnahmen (im Quer- und Hochformat) aufgenommen. Die Auswertung und Analyse der Photos erfolgte im Wesentlichen nach der in MIKL & KAUFMANN (2019) beschriebenen Vorgangsweise. Der mittlere Rückprojektionsfehler ergab sich mit 0.235 Pixel, bei einer Relativgenauigkeit im Modellraum von ca. 1:520. Das berechnete 2.5D Oberflächenmodell besitzt eine Rasterauflösung von 0.5 mm. Das Orthophoto wurde mit einer Auflösung von 0.2 mm gerechnet (Abb. 6, links). Für die Detailanalyse der Oberflächenstruktur haben sich Beleuchtungssimulationen (Abb. 6, rechts) in Kombination mit farbkodierter Höhen-/Tiefendarstellung bewährt. Anschauliche Visualisierungen siehe KAUFMANN (2019).

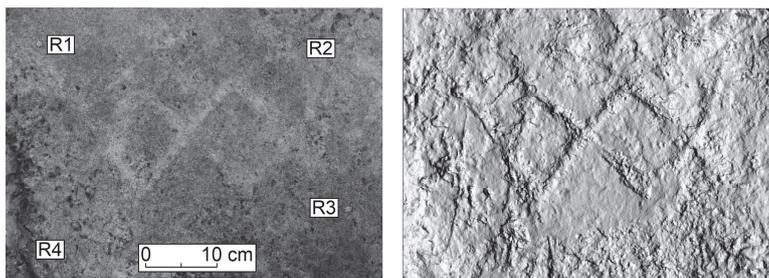


Abb. 6: Dokumentation der Felsritzung. Orthophoto (links), geschummertes Oberflächenmodell (rechts). Aufnahmedatum: 4.10.2019.

6 Räumliche Ausprägung und Lage des Luftschutzstollens

Für die anschauliche Visualisierung des Raumbezugs des Stollensystems wurden Karten bzw. kartenähnliche Produkte (Abb. 7-9), Computeranimationen und auch ein taktiles Modell mittels 3D-Druck (Modellierung mit Rhino 3D unter Verwendung von nur 30% aller Scanpunkte, Druck mit einem alphacam-Printer) erstellt.

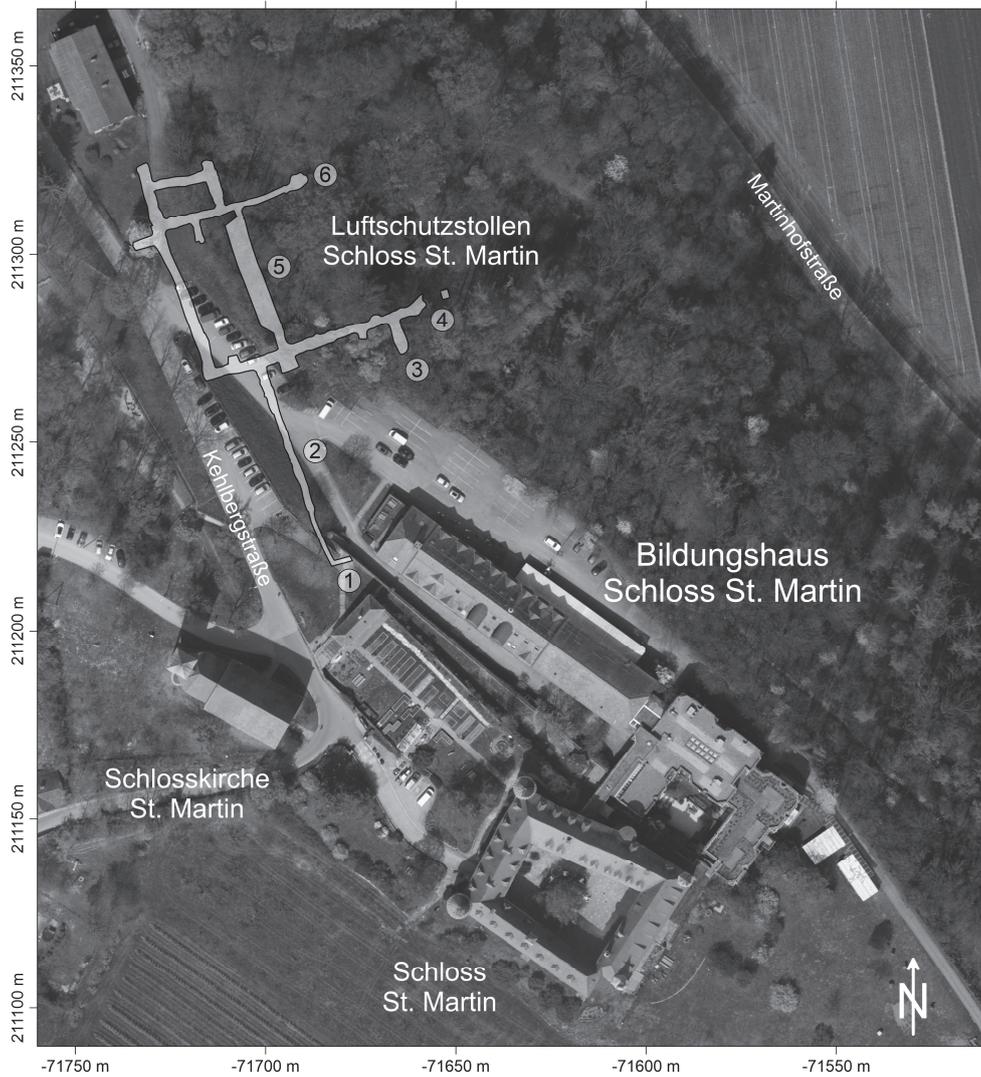


Abb. 7: Lage des Luftschutzstollens Schloss St. Martin im Orthophoto (2015). Legende: ① Oberer Stolleneingang (Höhe ü. A.: 401.43 m), ② Stollenzugang über Betonstiege, ③ vermutete Lüftungsöffnungen, ④ verfallener Stolleneingang (bergseitig) mit betoniertem Eingangsbereich, ⑤ Kaverne, ⑥ verfallener, zweiter Stolleneingang (bergseitig). Lagebezug: Gauß-Krüger-Kartenprojektion (M34). Orthophoto: Magistrat Graz, Stadtvermessungsamt. Die geometrischen Kenngrößen (gerundete Werte) des Stollensystems sind: Gesamtlänge 328 m, davon 62 m im Zugang; Gesamtfläche 894 m², davon 112 m² im Zugang; Fläche der Kaverne ca. 164 m², bei einer Breite von 5.3 m und einer Länge von ca. 33 m.

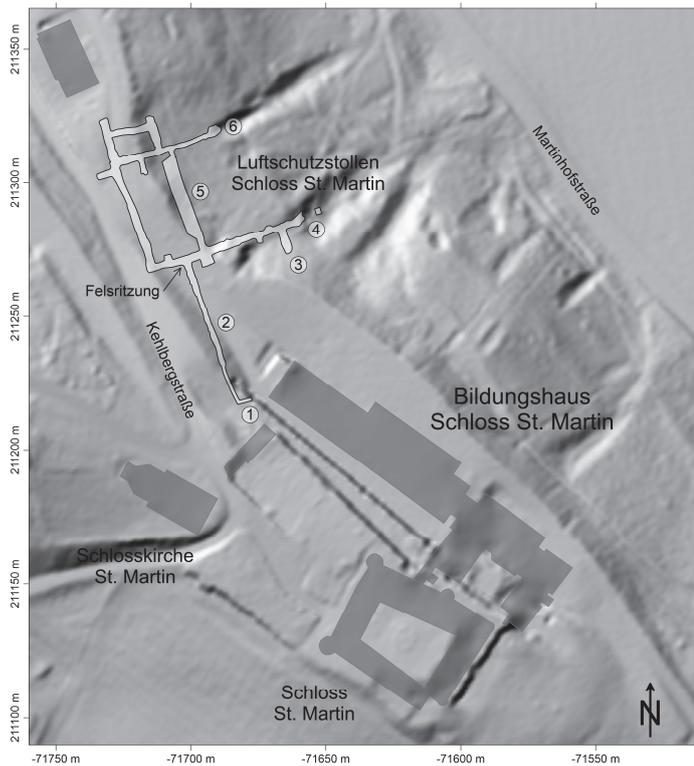


Abb. 8: Geschummertes Geländere relief mit Situationsdarstellung des Bildungshaus Schloss St. Martin, der Schlosskirche und des Luftschutzstollens. Legende siehe Abb. 7. Geländere relief: GIS-Steiermark, Amt der Steiermärkischen Landesregierung.

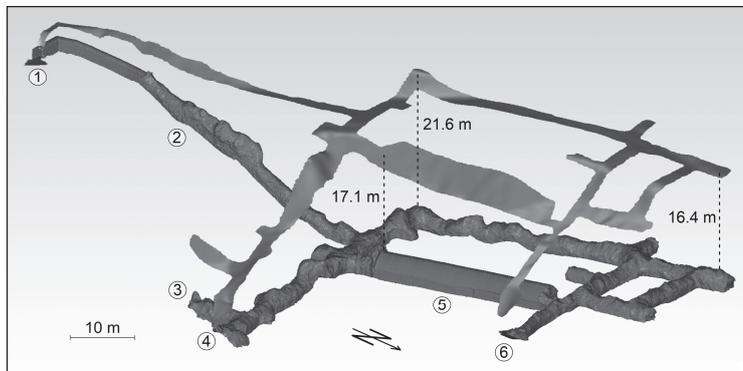


Abb. 9: Axonometrische Darstellung des Luftschutzstollens Schloss St. Martin. Die korrespondierende Geländeoberfläche ist darüber dargestellt. Die maximale Überdeckung des Stollensystems beträgt 21.6 m. Legende siehe Abb. 7. Digitales Geländemodell: GIS-Steiermark, Amt der Steiermärkischen Landesregierung.

7 Stollenbeschreibung

Die heutige Ausgestaltung des Innenraumes des Stollens ist einerseits das Ergebnis des Stollenbaues selbst, aber andererseits auch das Ergebnis intendierter bzw. nicht-intendierter anthropogener Modifikationen sowie natürlicher Prozesse seit dem Stollenbau (daher nach 1945).

Neben den bereits angesprochen Relikten aus der Zeit der Entstehung und/oder aus jüngerer Zeit (Felsritzungen), belegen Bohrlöcher an einigen Stellen im Stollen die Vortriebsmethode (Abb. 10D). Der Innenraum des Stollens weist einige morphologische Überprägungen auf, die zum Zeitpunkt des Vortriebes noch nicht bestanden haben können. Am auffallendsten ist dabei die Einschwemmung von Material durch eine Regenableitung von außen über die Treppe (Abb. 10A und B). Der Beginn, sowie die Dauer dieser Einleitung und Einschwemmung lässt sich auf Basis der derzeitigen Befunde nicht näher eruieren. Die durchaus beachtliche Quantität des akkumulierten Materials im Bereich der Stiege in Verbindung mit der kleinen Zuleitung, indizieren aber eine Einschwemmung über viele Jahre hindurch.

Sehr markant ist auch die, für anthropogene Hohlräume sehr unübliche, unebene Sohle in Teilbereichen des Stollens. So treten immer wieder Materialakkumulationen mit relativ gleichmäßigen kleinen Korngrößen in Erscheinung (Abb. 10C). Das Material entstammt dabei unmittelbar aus den Ulmen, die dementsprechend morphologisch durch kleinere Nischen hervortreten. Bemerkenswert ist, dass diese Formen bereits im Höhlenplan aus dem Jahr 1970 verortet worden sind (vgl. Abb. 3). Die Ursache ist in der spezifischen physikalischen Verwitterung des Dolomitgesteins (der sogenannten Vergrusung) begründet, deren Verwitterungsprodukt als unkonsolidiertes, gelbbraunes Material in Erscheinung tritt. Dieser Verwitterungsprozess ist in seinen Prozessraten effizienter als die sonst für Karbonatgesteine übliche Lösungsverwitterung (Korrosion/Verkarstung). Dementsprechend finden sich in diesen Bereichen auch keine nennenswerten Karstformen. Die Verwitterung des Gesteins in einzelne Kornfragmente zeigt sich eindrucksvoll in der Zerstörung des jungen Graffito mit nationalsozialistischer Symbolik durch die Erschütterungen des bei der Vermessung eingesetzten Bohrhammers. Aber auch in den angesprochenen Nischen lassen sich mit einem Geologenhammer sehr leicht weitere oberflächennahe Verwitterungsschichten von der Stollenwand abkratzen.

Aus geologischer Sicht sind Aufschlüsse im Berginneren immer interessant. Sie ermöglichen beispielsweise eine detailliertere stratigraphische Einordnung des Gesteinsverbandes oder bezeugen (teilweise reliktsche) morphologische Prozesse. In diesem Zusammenhang sind die Akkumulationen von Lehm zu nennen, der Diskontinuitäten im Gesteinsverband, insbesondere aber durch den Prozess der Verkarstung erweiterte Hohlräume ausfüllt (Abb. 10H). Diese Lehme sind als Residuen (d.h. nicht verwitterbare Rückstände) der Korrosion, aber auch als Relikte nicht-verkarstungsfähiger Auflagen auf dem Karbonatgestein zu sehen. In beiden Fällen erfolgte eine sukzessive Einschwemmung in den Gesteinskörper über Klüfte bzw. korrosionserweiterte Hohlräume. Ebenfalls eine Überprägung durch Verkarstungsvorgänge sind die kleineren Vorkommen von Kalksinter (Abb. 10G). Die Ausfällung von Kalksinter ist eine für Stollensysteme häufige Überprägung. Die nötigen Kalzium-gesättigten Wässer können dabei aus dem Umgebungsgestein entstammen (im Falle von St. Martin Kalk und Dolomit) oder auch durch Lösung aus Beton. Üblicherweise gelten bei Beton höhere Kalkumsatzraten, was sich in einem sehr raschen Wachstum von Kalksinter (typische Sinterrohrchen) niederschlägt. Im St. Martiner Stollen ist die Überprägung mit Kalksinter aber nur von untergeordneter Rolle.

Der normalerweise für Menschen nicht zugängliche Stollen erfüllt in den Wintermonaten eine wichtige Funktion als Fledermausrefugium. Gleiches gilt auch für einen weiteren ehemaligen Luftschutzstollen unter der Basilika Mariatrost in Graz, der diesbezüglich auch als Naturschutzgebiet ausgewiesen wurde (VERORDNUNG 2009).

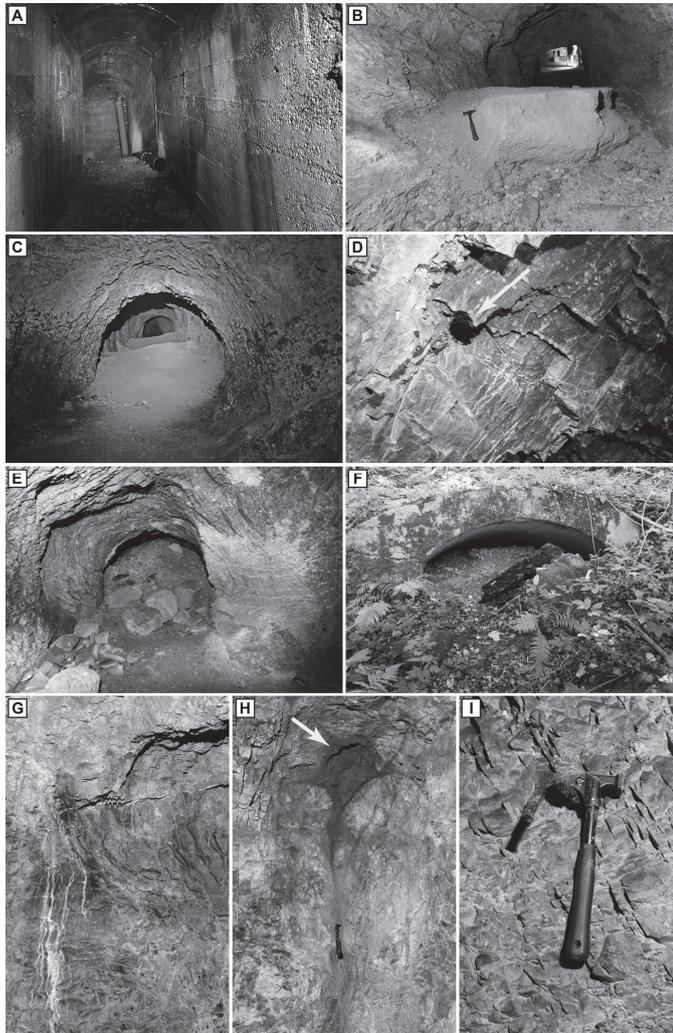


Abb. 10: Stollenbeschreibung. A-B: Einleitung von Regenwasser und Akkumulation des eingeschwemmten Materials im Bereich der Stiege. Der Geologenhammer dient zur Größenabschätzung (30 cm Länge); C: Akkumulation von Verwitterungsmaterial der Dolomitvergrusung. Auffallend ist die gelbbraune Färbung des Materials; D: Bohrloch; E-F: Innen- und Außenansicht eines verschütteten Zutritts des Stollens (vgl. ④ in Abb. 7); G: Kleine Sinterbildung (Wandsinter und Sinterröhrchen); H: Lehmgefüllter, korrosiv erweiterter Hohlraum; I: Relikte (vermutete Kabelstranghalterung) des originalen Stolleninnenausbaus. Photos: C. Bauer, 4.10.2019.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Der Luftschutzztollen beim Schloss St. Martin ist einer von insgesamt 6 ehemaligen Stollen aus dem Zweiten Weltkrieg im Plabutsch-Buchkogel-Zug und konnte im Rahmen des 100-Jahre-Jubiläums des Bildungshauses Schloss St. Martin erstmals näher untersucht und mit modernen Vermessungsmethoden dreidimensional erfasst werden. Die vermessungstechnischen Grundlagen vereint mit den Erkenntnissen aus der Geologie und der Archäologie bilden eine fundierte Basis für etwaige weiterführende Aktivitäten, wie z.B. der Erschließung als zeitgeschichtliches Denkmal oder als Ausstellungsraum. Der handgehaltene Laserscanner GeoSLAM ZEB-REVO hat sich zur schnellen Dokumentation von komplexen 3D-Räumen bewährt. Die Erfassung von kantenscharfen Strukturen wie z.B. von Betonstiegen ist jedoch aufgrund des hohen Rauschniveaus problematisch. Bei einer etwaigen Neunutzung des Stollensystems müssten insbesondere die hydrologisch-geologischen Gegebenheiten verstärkt berücksichtigt werden.

Dank

Die Autoren bedanken sich sehr herzlich bei der Direktorin des Bildungshauses Schloss St. Martin, Frau Dipl. Päd.ⁱⁿ Ing.ⁱⁿ Anna Thaller für die gewährte Unterstützung. Der Laserscanner wurde durch die Firma UTB Laser- und Vermessungstechnik GmbH, Oberwart dankenswerterweise im Rahmen einer Machbarkeitsstudie kostenlos zur Verfügung gestellt. Herr Ing. Alexander Kager (Firma UTB) hat das Laserscanning vor Ort technisch betreut und auch das Postprocessing durchgeführt. Dank gilt auch den Urhebern des Höhlenplans aus dem Jahr 1970 für die Erlaubnis des Abdruckes in diesem Beitrag. Der 3D-Druck wurde von Herrn Dr. Albert Wiltsche vom Institut für Architektur und Medien der Technischen Universität Graz perfekt umgesetzt. Quellenmaterial wurde von folgenden Organisationen bereitgestellt: Stadtvermessungsamt Graz, GIS-Steiermark – Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Stadtarchiv Graz und Steiermärkisches Landesarchiv.

Literatur

- AGISOFT (2019): <https://www.agisoft.com/>, letzter Zugriff 11.11.2019.
- BADFORD, J. (2019): World War Two Tunnels Surveyed with SLAM Technology. GIM International, <https://www.gim-international.com/content/news/ww2-tunnels-surveyed-with-slam-technology> (8.11.2019).
- BEER, S. & KARNER, S. (1992): Der Krieg aus der Luft. Kärnten und Steiermark: 1941-1945. Herbert Weishaupt Verlag, Graz, 391 S.
- BERGMANN-PFLEGER, K., STELZL-MARX, B. & STREIT, E. (2019): Bildungshaus Schloss St. Martin. begegnen – begeistern – bilden: 100 Jahre. Veröffentlichungen des Ludwig Boltzmann Instituts für Kriegsfolgenforschung, Graz-Wien-Raabs, Sonderband 22, Leykam Verlag, Graz-Wien, 256 S.
- BRUNNER, W. (1989): Bomben auf Graz. Die Dokumentation Weismann. Veröffentlichungen des Steiermärkischen Landesarchives, Band 18, Leykam Verlag, Graz, 405 S.

- BURGHART, W. & HERTENBERGER, G. (2018): Stollenanlage „Quarz“ bei Melk. Die NS-Rüstungsindustrie und tausende (fast) vergessene Tote. In: Österreichs gefährdetes Kulturerbe. Vom Umgang mit historischen Bauten: 70 Fallbeispiele. Schreybgsasse, Wien, 104-106,
- CLOUDCOMPARE (2019): <https://www.danielgm.net/cc/> (12.11.2019).
- FLÜGEL, W.W. (1983): Zur neogen-quartären Morphogenese und Verkarstung des Plabutschzuges westlich von Graz (Steiermark). Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark, 113: 15-23.
- GEOSLAM (2019): <https://geoslam.com/solutions/zeb-revo/> (11.11.2019).
- HÄMMERLE, M., HÖFLE, B., FUCHS, J., SCHRÖDER-RITZRAU, A., VOLLWEILER, N. & FRANK, N. (2014): Comparison of Kinect and Terrestrial LiDAR Capturing Natural Karst Cave 3-D Objects. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 11, No. 11, 1896-1900.
- HUBMANN, B. (2003): Plabutsch-Formation: nomen novum pro Barrandeikalk (Mitteldevon, Grazer Paläozoikum). In: PILLER, W. (Hrsg.): Stratigraphia Austriaca. – Österr. Akad. Wiss., Schriftenr. Erdwiss. Komm. 16: 269-292.
- KAUFMANN, V. (2019): Schloss St. Martin Luftschutztollen am Kehlberg, Graz Straßgang. https://www.staff.tugraz.at/viktor.kaufmann/Kehlberger_Luftschutztollen/Kehlberger_Luftschutztollen.html (7.11.2019).
- MIKL, T. & KAUFMANN, V. (2019): Kostengünstige 3D-Dokumentation von Skulpturen des Barockbildhauers Philipp Jakob Straub. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 28, T. Kersten (Hrsg.), 39. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 20.-22. Februar 2019, Universität für Bodenkultur, Wien, 597-605. <https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2019/proceedings/start.html> (25.11.2019).
- NOLTSCH, H. (1948): Luftschutztollenbauten in Graz. Maschinschriftliches Manuskript, Landesarchiv Steiermark, Sammlung Rudolf Weissmann, Signatur Weissmann-K-3-H-12, 10 Seiten.
- PETERS, C., MILIUS, J. & BUCHROITHNER, M.F. (2019): Eisriesenwelt: Terrestrial Laser Scanning and 3D Visualisation of the Largest Ice Cave on Earth. Web-Books im Austria-Forum, <https://austria-forum.org/web-books/doceisenriesen00enisds/000001> (7.11.2019), 10 Seiten.
- THEUNE, C., KAUFMANN, V., BAUER, C. & STRMSEK, B. (2019): Der Luftschutztollen Schloss St. Martin: Archäologie Untersuchungen. In: BERGMANN-PFLEGER, K., STELZLMARX, B. & STREIT, E. (2019): Bildungshaus Schloss St. Martin. begegnen – begeistern – bilden: 100 Jahre. Veröffentlichungen des Ludwig Boltzmann Instituts für Kriegsfolgenforschung, Graz-Wien-Raabs, Sonderband 22, Leykam Verlag, Graz-Wien, S. 101-111.
- VERORDNUNG (2009): Erklärung eines Naturschutzgebietes - Stollenanlage Mariatrost. Verordnung der Landeshauptstadt Graz, GZ.: A17-013504/2009/0005 <https://www.ris.bka.gv.at/> (Gemeinderecht) (22.11.2019).
- YOUTUBE (2019a): Schloss St. Martin zur Kriegsende: Zeitzeugen berichten (lange Version). <https://www.youtube.com/watch?v=Y8Kwtv1bHvo> (7.11.2019).
- YOUTUBE (2019b): Luftschutztollen (1944) Schloss St. Martin, Graz. <https://www.youtube.com/watch?v=t8QVE3mxi6Y> (7.11.2019).