

Die Geologie des Burgfelsens von Burg Summersberg in Gufidaun/Südtirol und seine geotechnischen Herausforderungen bei den Sicherungsarbeiten

The geology of the castle rock of Castle Summersberg in Gufidaun/South Tyrol and its geotechnical challenges in securing works

Peter Ellecosta¹, Bernhard Lempe², Kuroschi Thuro³

¹ M.Sc. Peter Ellecosta, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie, Technische Universität München, p.ellecosta@tum.de

² Dr. Bernhard Lempe, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie, Technische Universität München, lempe@tum.de

³ Prof. Dr. Kuroschi Thuro, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie, Technische Universität München, thuro@tum.de

Zusammenfassung

Burg Summersberg in Gufidaun (Südtirol) thront auf einer Felskuppe aus Metagabbro über dem Villnößtal. In der Vergangenheit kam es bereits 1957 und 1987 zu Abbrüchen am Burgfelsens. Deswegen beschloss die Autonome Provinz Bozen, den Hang unterhalb der Burg zu sichern. Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde die Druckfestigkeit der betreffenden Gesteine untersucht und eine ingenieurgeologische Detailkartierung mit Hauptaugenmerk auf den Trennflächen durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass der Burgfelsens einen schalenartigen Aufbau besitzt und die Druckfestigkeit vom Kern (im Mittel knapp über 100 MPa) nach außen auf ca. 52 MPa abfällt. Bei der Trennflächenanalyse zeigte sich, dass der Burgfelsens von vielen, hangparallelen Störungen durchzogen, und der Felsverband erheblich aufgelockert ist, was als sehr kritisch für die Hangstabilität angesehen wird. Damit konnte gezeigt werden, dass nicht die Festigkeit der Gesteine sondern die starke Auflockerung in Kombination mit der Orientierung der Trennflächen für die Instabilitäten verantwortlich ist. Auf diesen Erkenntnisse aufbauend wurde vom Amt für Wildbach- und Lawinenverbauung Nord ein Sicherheitskonzept für den Hang ausgearbeitet, welches aus einer Kombination von Netzen, verspannten Ankern, Ankerbalken und Spritzbeton besteht.

Schlüsselworte: Burg Summersberg, Gufidaun, Hangbewegungen, Felssicherungen, Druckfestigkeiten

Abstract

Castle Summersberg in Gufidaun (South Tyrol), situated on a hill of metagabbro above the Villnöß-valley, had in the past two dramatic events. In 1957 and 1987, parts of the castle hill collapsed and pulled sections of the castle down in the valley bottom and endangered an important link road. Out of this, the government of the Autonomous Province of Bolzano decided to ensure the castle hill.

The basic geological structure is known since the early 1920's, but not the detailed geological structure of the castle rock, and the reasons for its instability and landslides. For this reason, the compressive strength of the relevant rocks and a detailed engineering geological mapping with emphasis on the fracture system was investigated. Results suggest, that the castle hill has a shell-like structure: the core consists of an unfoliated to slightly foliated metagabbro, in which the primary magmatic microstructure is preserved, foliation and the alteration increases towards the edge of the hill. The compressive strength of samples sourced from the inner region is commonly slightly higher than 100 MPa, while the outer part decreases to approximately 50 MPa. Field mapping indicates the fracture network is dominated by the effects of persistent faults spaced at 5 – 10 m. In addition, most of the faults and associated fractures are very steep and run parallel to the slope. Therefore, we suggest a strong negative control on the natural slope stability. Our findings suggest that not the strength of the rocks, but the kinematic freedom allowed by the orientation of the discontinuities is responsible for the instability. On this basis, a security concept for the slope was drafted. It is comprised of steel networks, braced anchors, anchor beams and shotcrete designed to increase friction and shear stress across the weathered joint surfaces.

Keywords: castle Summersberg, Gufidaun, landslides, rock consolidations, compressive strength

1 Einleitung

Mittelalterliche Burgen sind für viele ein romantischer Traum. Doch viele Burgen und Schlösser haben seit Beginn ihres Bestehens Probleme mit ihrer Standsicherheit. Ein aktuelles Beispiel ist Burg Summersberg in Gufidaun (Südtirol). Dort stürzten bereits mehrfach größere Teile des

Burgfelsens und der Nordmauer in das ca. 70 m tiefer liegende Villnößtal, in dem eine wichtige Landesstraße verläuft und gefährdeten diese (HEPPERGER, o.J.). Deswegen beschloss die Landesregierung von Südtirol den Burgfelsens zu sichern. Diese Aufgabe übernahm das Amt für Wildbach- und Lawinenverbauung Nord. Die Sicherungsarbeiten begannen 2009 und wurden im Winter 2011 abgeschlossen.



Abb. 1: Ostflanke des Burgberges mit deutlich sichtbarer, nach Süden einfallender Störung und parallelem Kluftsystem. Die Raumlage der Störung samt Kluftsystem entspricht in etwa der Raumlage der Villnößer Linie. (Foto 26.04.2012)

Fig. 1: Eastern flank of the castle hill with a fault parallel fracture system dipping to south. The spatial position of the fault including the fracture system is similar to the spatial position of the Villnößer Linie. (photo 26/04/2012)

Parallel zu den Sicherungsarbeiten wurden der geologische Aufbau und einige wichtige Gesteinseigenschaften des Burgfelsens im Rahmen einer Bachelorarbeit (ELLECOSTA 2010) näher untersucht. Dabei wurde der gesamte Burgberg in einer ingenieurgeologischen Detailkartierung aufgenommen, wobei ein besonderes Augenmerk auf dem Trennflächengefüge lag. Ergänzend wurden im Labor mehrere petrographische Dünnschliffe hergestellt und Gesteinskennwerte wie die einaxiale Druckfestigkeit bestimmt.

2 Situation in Gufidaun

2.1 Geographisch-historischer Überblick

Das Dorf Gufidaun, welches zur Gemeinde Klausen gehört, befindet sich auf einer leicht nach Nordwesten ansteigenden, terrassenartigen Geländestufe der östlichen Talflanke des Eisacktales südlich der Einmündung des Villnößtales auf ca. 720 m s.l.m. Die Terrasse wird im Nordosten durch eine teils klammartige Schlucht des Villnößer Baches begrenzt und bildet dabei bis zu 120 m hohe, steile Hänge, aus denen einzelne, senkrechte Felswände und -sporne herausragen. An einer solchen Steilwand erhebt sich auch die Felskuppe, auf der die erstmals 1211 erwähnte Burg Summersberg steht (WEINGARTNER 1998: 375).

Die im Kern aus dem 13. Jahrhundert stammende Burg wurde in den folgenden Jahrhunderten öfters umgebaut und erweitert. Bei den Erweiterungen wurden v. a. auch die Randlagen der Felskuppe bebaut. Diese exponierten Standorte in Verbindung mit Auffüllungen für ebene Bauflächen und Gartenterrassen führten zu Stabilitätsproblemen und folglich auch zu Mauereinstürzen. Belegt sind jedoch nur Ereignisse aus den Jahren 1957 und 1989 (HEPPERGER, o.J.). Hinzu kommt, dass auch die Straße, die unterhalb der Burg im Talgrund verläuft und nach Teis, St. Peter sowie zum Würzjoch führt, durch die drohenden Stein- und Blockschlag- sowie Felssturzereignisse gefährdet war.

2.2 Geologisch-tektonischer Überblick

Geologisch gesehen befindet sich das Arbeitsgebiet in der tektonischen Großeinheit des Südalpins. Den Untergrund von Gufidaun bilden Gesteine des südalpinen Grundgebirges, der Brixen-Einheit (Brixener Quarzphyllit).

Das Villnößtal selbst folgt einer im Perm angelegten (BRANDNER et al. 2007: 99), während der alpinen Orogenese reaktivierten (GRUBER et al. 2006), E-W-verlaufenden Störungszone, der sogenannten Bruchlinie von Villnöß (MOJSISOVICS 1879: 121ff), der Villnößer Linie (CORNELIUS-FURLANI 1924: 125ff, MUTSCHLECHNER 1933: 94) bzw. der Villnößlinie, entlang derer das Gestein stark zerlegt bis zermahlen vorliegt. Laut CORNELIUS-FURLANI (1924: 128), MUTSCHLECHNER (1933: 94) und KLEBELSBERG (1935: 375) handelt es sich bei der Störungszone um eine Ost-West streichende, nach Norden gerichtete Überschiebung mit einem vertikalen Versatz von bis zu 1000 m (Abb. 1).

Der Burgfelsens ist Teil eines Amphibolit/Metagabbro-Komplexes, der mit einem Kontakthof aus Hornfels in den Phylliten steckt. Dabei handelt es sich um einen basischen Intrusionskörper, der ebenfalls während der variszischen Orogenese metamorph überprägt wurde. Über das Intrusionsalter, das vermutlich prävariszisch ist, liegen bisher keine genaueren Informationen vor. (ROFNER et al. 2010: 39) Die Gesteine des Amphibolit/Metagabbro-Komplexes sind zäher und besitzen eine höhere Festigkeit als die umgebenden Phyllite. Daher wurden durch die Gletscher (Eisackgletscher, bzw. Villnößer Bachgletscher) während der Eiszeiten im Pleistozän vor allem weniger feste und zerrüttete Bereiche entlang der Villnößer Linie ausgeschürft und die zähen Amphibolite und Metagabbros als Rundhöcker herauspräpariert. Charakteristische Rundformen und zahlreiche Gletscherschliffe zeugen von der Tätigkeit der Gletscher. Aufgrund der exponierten Lage bot es sich an, einen besonders ausgeprägten Rundhöcker mit einer Burg zu bebauen.

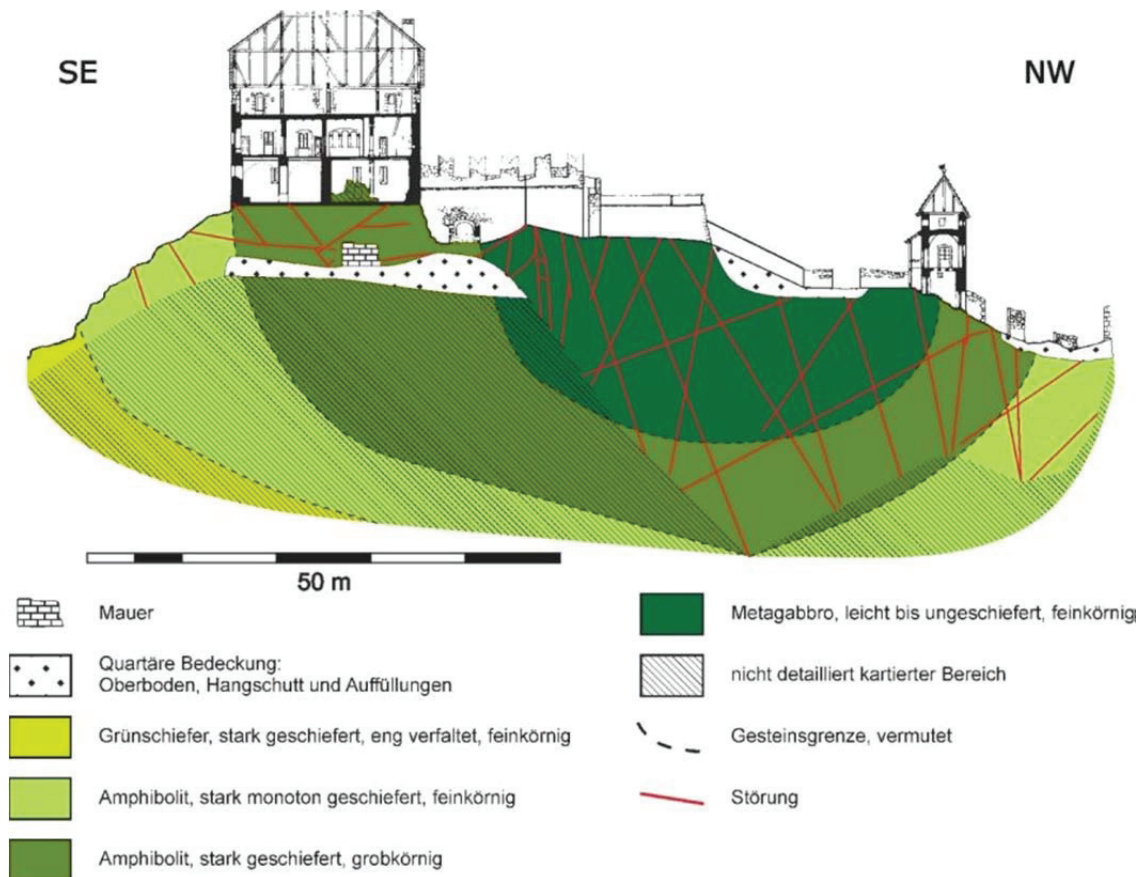


Abb. 2: Geologisches Profil des Burgberges; deutlich zu erkennen ist der schalige Aufbau. (Kartengrundlage: KULTURKOMMISSION BOZEN 1942)

Fig. 2: Geological profile of the castle hill; clearly visible is the shell-like structure.

2.3 Amphibolit/Metagabbro-Komplex von Gufidaun

Einer der Ersten, der den Amphibolit/Metagabbro-Komplex schriftlich erwähnte, war MOJSISOVIC (1879: 120). CORNELIUS & CORNELIUS-FURLANI (1922: 110), bzw. CORNELIUS-FURLANI (1924: 126) beschreiben bereits die wesentlichen lithologischen Charakteristika der Gesteine: Hügel, bei denen es Aufschlüsse gibt, zeigen im Zentrum ein massiges, gabbroides Gefüge das nach außen hin immer stärker geschiefert ist und als Amphibolit bezeichnet werden kann. Damit sind die groben lithologischen Verhältnisse seit den 1920er Jahren bekannt.

Edukt für den Amphibolit/Metagabbro-Komplex war ein Intrusionskörper aus Gabbro, der vermutlich vor der variszischen Orogenese in die Sedimente des Quarzphyllits intrudierte. Im Zuge der variszischen Orogenese vor 360 bis 310 Ma (ROFNER et al. 2010: 42) unterlag dieser Intrusionskörper erhöhten Temperatur- und Druckbedingungen (488-588 °C und 3 bis 5 kbar (ROFNER et al. 2010: 52)) was Änderungen des Gefüges sowie des Mineralbestandes bewirkte: Das ursprünglich regellose Gefüge weist nun, abgesehen von den Kernbereichen, eine deutliche Schieferung auf und besteht vorwiegend aus Amphibolen (u. a. Hornblenden), Plagioklasen, Klinozoisit/Epidot und Chlorit (ROFNER et al. 2010: 44ff). Der zentrale Bereich der Intrusion konnte weitestgehend sein primäres, magmatisches Gefüge beibehalten

und ist auch heutzutage noch eindeutig als Metagabbro zu bezeichnen.

Wie schon CORNELIUS & CORNELIUS-FURLANI 1922 beobachtet haben, ist der Komplex aus mehreren ungeschieferten „Kernen“ aufgebaut, die durch Scherzonen/-bahnen voneinander getrennt sind. In den Scherzonen ist der Metagabbro durch die Bewegung und den Fluss von Fluiden heute als Amphibolit und teilweise auch als Grünschiefer ausgebildet. Bei den tektonischen Bewegungen während der variszischen Orogenese muss in den überwiegend pelitischen, geschichteten Gesteinen, die das Edukt für den Brixener Quarzphyllit darstellten, der massige Intrusionskörper wie ein starrer Fremdkörper gewirkt haben. Die inkompetenten Pelite reagierten auf tektonische Spannungen und Bewegung eher duktil, der kompetente Gabbro eher starr und mit Sprödbrüchen, die dann bevorzugt als Scherbahnen wirken konnten.

3 Geologie und Petrographie des Burgfelsens

Am Burgberg selbst können bis zu vier Gesteinstypen auskartiert werden (

Abb. 2 und Abb. 3):

- Im Zentrum befindet sich ein nur leicht bis ungeschieferter Metagabbro, bei dem meist noch das magmatische Primärgefüge zu erkennen ist. Eine leichte Serizitisierung und Chloritisierung zeigt eine schwache Alteration an.

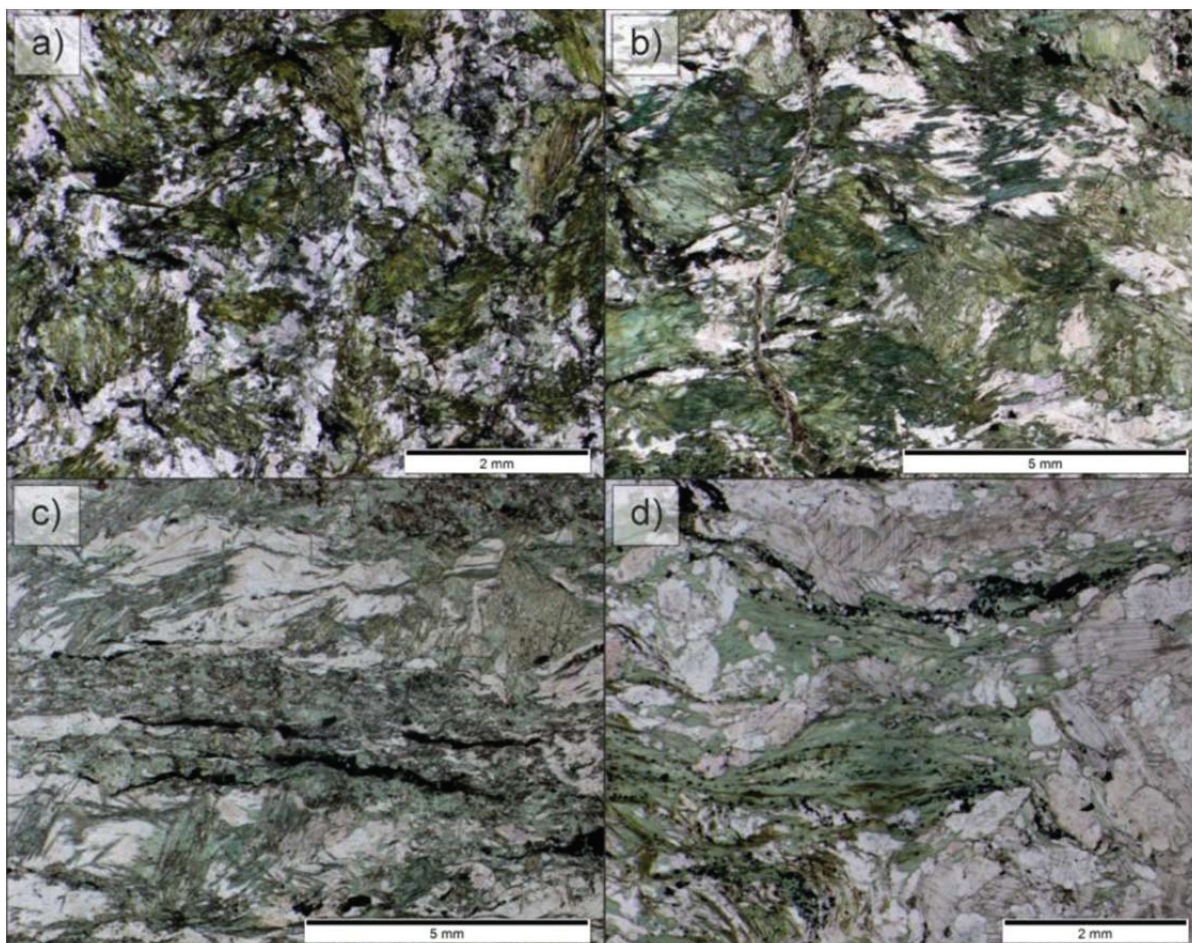


Abb. 3: Dünnschliffbilder aller vier Gesteinstypen des Burgfelsens: a) zeigt den ungeschieferten, massigen Kern, bei dem noch das regellose, magmatische Primärgefüge erhalten ist. b) zeigt den grobkörnigen Amphibolit, der den Kern umgibt. c) zeigt den feinkörnigen, stark monoton geschieferten Amphibolit. d) zeigt den stark geschieferten und gefalteten Grünschiefer.

Fig. 3: Petrographic thin sections of all four rock types of the castle hill: a) shows the bulky core with no foliation in which still the irregular, primary magmatic fabric is preserved. b): shows the coarse-grained amphibolite, which surrounds the core. c) shows the fine-grained amphibolite with a uniform foliation. d): shows the strongly folded and foliated greenschist.

- Umgeben wird der „Kern“ des Komplexes von einem grobkörnigen und mittelstark geschieferten Metagabbro (der wegen der Einregelung der Minerale bereits als Amphibolit klassifiziert werden kann). Die Alteration ist hier etwas stärker ausgeprägt.
- Weiter außerhalb ist der Amphibolit feinkörniger und stark geschiefert. Die Amphibole und Plagioklase haben bereits angefangen, sich in helle, plagioklasdominierte und dunkle, amphibolreiche Lagen zu separieren. Auffällig ist eine Häufung der opaken Minerale (Pyrit und Leukoxen) in den dunklen Lagen. Teilweise ist auch eine Krenulation durch Amphibole in hellen Lagen erkennbar. Die Alteration der Plagioklase und Amphibole ist deutlich zu erkennen und als mittelstark zu bezeichnen.
- Im südöstlichsten Bereich des Burgfelsens konnte noch ein feinkörniger, stark geschieferter und zusätzlich verfalteter Grünschiefer auskartiert werden. Die Separation der Plagioklase und Amphibole ist hier ebenfalls sehr ausgeprägt, ebenso die Häufung von opaken Mineralen (Pyrit und Leukoxen) in den dunklen Lagen. Zusätzlich

treten hier Calcit und Quarz auf, welche vor allem in Linsen angeordnet sind. Die Alteration ist bei dieser Gesteinseinheit am stärksten ausgeprägt: Die Plagioklase sind stark serizitisiert, die Amphibole nahezu vollkommen in Chlorit umgewandelt.

Aus der Beschreibung der vier Gesteinseinheiten geht hervor, dass nicht nur die Schieferung vom „Kern“ nach außen hin zunimmt, sondern auch die Alteration. Hierbei handelt es sich um eine hydrothermale Alteration, die vermutlich während der variszischen Orogenese stattfand. Durch die Suture der Villnößler Linie und der damit einhergehenden Zerrüttung des Amphibolit/Metagabbro-Komplexes und Zerschneidung in mehrere Scherzonen wurden Bereiche mit einer erhöhten Durchlässigkeit geschaffen. Dies erlaubte, v. a. entlang der Scherbahnen, einen erhöhten Fluss von fluider Phase. Diese Bereiche sind heute am stärksten alteriert und als Grünschiefer ausgebildet. In das Innere der einzelnen Scherzonen konnten kaum Fluide eindringen, so dass die „Kerne“ heute nahezu ungeschiefert und nur sehr schwach alteriert sind.

4 Felsmechanische Untersuchungen

Um die Gesteinseinheiten des Burgfelsens ingenieurgeologisch anzusprechen und zu charakterisieren, wurden von jeder Einheit größere Blöcke entnommen und im Labor des Lehrstuhls für Ingenieurgeologie der Technischen Universität München untersucht. Als einer der wichtigsten Parameter in Bezug auf Bauwerkslasten sei hier die einaxiale Druckfestigkeit herausgegriffen. Diese wurde mit Hilfe des einaxialen Druckversuchs und des Punktlastversuchs (Korrelationsfaktor $c = 17$) ermittelt.

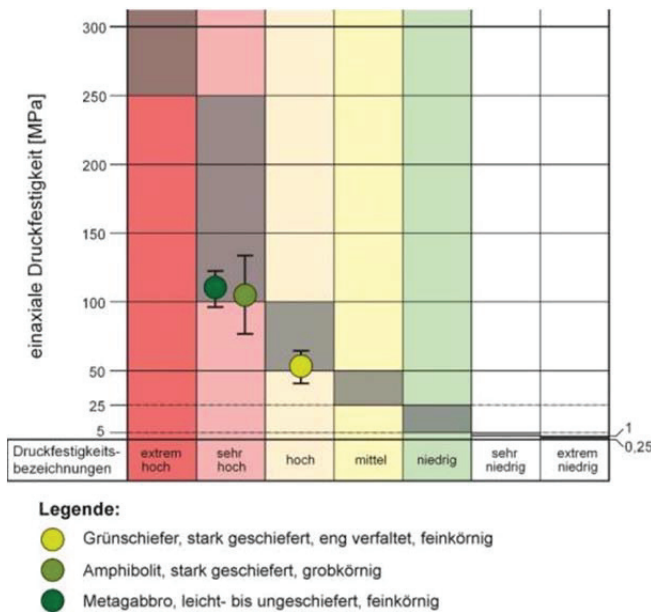


Abb. 4: Klassifikation der einaxialen Druckfestigkeit der Gesteine (ISRM 1978 b, verändert nach THURO 1996: 57, Abb. 24).

Fig. 4: Classification of the uniaxial compressive strength of the different rock-types.

Bei den Untersuchungen stellte sich heraus, dass der Kern aus Metagabbro sowie der grobkörnige Amphibolit eine mittlere Festigkeit von etwas über 100 MPa besitzen (Metagabbro: $112,3 \pm 10,0$ MPa, grobkörniger Amphibolit: $104,3 \pm 26,2$ MPa), was nach ISRM 1978 b als sehr hoch gilt. Lediglich im Bereich der Grünschiefer war die mittlere Festigkeit mit ca. $52,2 \pm 9,4$ MPa (nach ISRM 1978 b als hoch bezeichnet) nur halb so hoch (Abb. 4).

Üblicherweise besitzen Metagabbros und Amphibolite extrem hohe Festigkeiten im Bereich von über 250 MPa (ISRM 1978 b). Die niedrigen Festigkeiten der getesteten Gesteine sind der starken Alteration geschuldet, die die Minerale und das Gefüge „mürbe“ gemacht hat.

Auch wenn der schwächste Teil des Burgfelsens eine Festigkeit von 50 MPa aufweist, ist diese immer noch hoch genug, um die Bauwerkslasten von Gebäuden wie Burg Summersberg zu tragen. Eine zu geringe Festigkeit des Untergrunds kann damit als Versagensgrund für den Burgfelsens und Risse im Mauerwerk ausgeschlossen werden.

5 Trennflächenanalyse

Da die Gründe für das Versagen des Burgfelsens nicht in einer zu geringen Festigkeit des Untergrundes liegen, wurde der gesamte Burgfelsens in einer ingenieurgeologische De-

taillkartierung näher analysiert, wobei ein besonderes Augenmerk auf den Trennflächen lag. Es stellte sich heraus, dass die Randbereiche des Burgfelsens, und besonders die talnahen Bereiche durch etliche Störungen tiefgründig aufgelockert sind und das Gestein stark geklüftet ist (dicht- bis mittelständig nach ISRM 1978 a).

Der hohe Durchtrennungsgrad des Gebirges alleine ist aber noch nicht für die Stabilitätsprobleme verantwortlich; von entscheidender Bedeutung sind die Raumlage der Trennflächen zueinander und der Verschnitt mit dem Hang. Besonders auf der Nordflanke des Burgfelsens mit den Steilabbrüchen zum Villnößtal gibt es viele steil stehende, parallel und senkrecht zum Tal orientierte Trennflächensysteme (Abb. 5). Diese ungünstigen Verschnidungen erzeugen Kluftkörper, die nur noch durch ihre eigene Masse auf dem Untergrund aufsitzen, aber kaum noch mit dem restlichen Gebirge verbunden sind und nahezu keine Zugkräfte mehr aufnehmen können. Gibt die Wand im unteren Bereich nach, wird der darüber liegende Bereich ebenfalls instabil und droht abzustürzen.

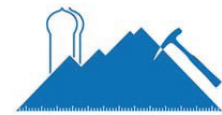


Abb. 5: Felsbereich unter dem Nordturm; deutlich zu erkennen sind die zahlreichen, hangparallelen und bis zu 10 cm weit geöffneten Trennflächen, die das Gestein/Gebirge zerlegen. (Foto 13.04.2010)

Fig. 5: Rock area below the north tower; clearly visible are the numerous, parallel to the slope and up to 10 cm wide opened Fractures that break down the rocks. (photo 13/04/2010)

Bei Starkniederschlägen können durch einen erhöhten Kluftwasserschub Sturzereignisse ausgelöst werden. Dies gilt auch für Frost, der die vorhandenen Klüfte erweitert. Nicht zu vernachlässigen ist ebenfalls der Wurzeldruck der Pflanzen, die auf dem Burgfelsens und dem Hang wachsen. Durch den Druck der Wurzeln wird der Gesteinsverband stetig gelockert, was das Problem verstärkt.

Zusätzlich wurde durch die Erosion der Gletscher und Schmelzwässer des Villnößers Bachgletschers und des heutigen Villnößers Baches das Villnößtal teilweise schluchtenartig ausgeformt und übersteilte Hänge hinterlassen. In Verbindung der talparallelen Raumlage der Trennflächen sind diese als instabil zu betrachten. Neben den oberflächlichen Sturzereignissen (Fallen) ist v. a. mit Kippbewegungen von exponierten Felswänden und -spornen sowie mit Gleitbewegungen zu rechnen, die größere Felsbereiche erfassen können (PRINZ & STRAUSS 2006: 346ff, TURNER & SCHUSTER 1996: 53ff).



6 Sicherungskonzept

Um die Burg vor weiteren Schäden zu bewahren und ein Abrutschen/Abbrechen zu verhindern wurde der Burgfelsen vom Amt für Wildbach- und Lawinenverbauung Nord der autonomen Provinz Bozen gesichert. In einem ersten Schritt ist der Nordhang von Bewuchs und losen Kluftkörpern befreit worden. Im zweiten Schritt wurde der zu sichernde Bereich mit einem Stahlnetz überspannt, mit Felsnägeln fixiert und eine Systemankerung (6 -12 m lange, vorgespannte Injektionsanker mit einer Ankerdichte von 1 Anker auf 1,5 m²) über den gesamten Bereich eingebracht (Abb. 5). In einem dritten Schritt wurden die Anker über Stahlseile miteinander verspannt und die Flächen mit Spritzbeton versiegelt. Zusätzlich erfolgte eine Sicherung der obersten Bereiche des Felsens, auf denen die Burg unmittelbar aufliegt, mit Ankerbalken (HEPPERGER, o.J.).

7 Fazit & Ausblick

Dank der umfangreichen Sicherungsarbeiten durch das Amt für Wildbach- und Lawinenverbauung Nord konnten die gefährdeten Bereiche der Burg und des Burgberges gesichert werden, so dass kein weiterer Verlust an Bausubstanz durch Absturzereignisse ins Villnößtal zu erwarten ist. Auch drohen nunmehr keine Stein- und Blockschläge aus dem unmittelbaren Burgbereich auf die im Talgrund verlaufende Straße abzugehen.

Im Rahmen der Sicherungsarbeiten begleitenden Bachelorarbeit wurden lithologisch-petrographische Erkenntnisse gewonnen, eine detaillierte Trennflächendokumentation aufgestellt, sowie im Labor felsmechanische Parameter ermittelt. Die Ergebnisse ermöglichen, den geologischen Bau des Burgberges sowie sein felsmechanisches Verhalten besser zu verstehen und sehr genau darzustellen.

8 Danksagung

An dieser Stelle sei dem Amt für Wildbach- und Lawinenverbauung Nord, namentlich stellvertretend Herrn Dr. Paul von Heppberger und dem Amt für Geologie und Baustoffprüfung, namentlich stellvertretend Herrn Dr. Volkmar Mair, für die gute Zusammenarbeit und Hilfe vor Ort gedankt. Ein weiterer Dank geht an den Eigentümer der Burg, der Familie Zingerle, für die große Kooperationsbereitschaft und die Bewohner der Unterburg für die Genehmigung, den privaten Garten betreten zu dürfen und auch Proben von dort zu nehmen.

Literatur

BARGOSSO, G.M., BOVE, G., CUCATO, M., GREGNANIN, A., MORELLI, C., MORETTI, A., POLI, S., ZANCHETTA, S. & ZANCHI, A. (2010): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Italien im Maßstab 1 : 50 000 Blatt 013 Meran. – 319 S., Kardaun (Amt für Geologie und Baustoffprüfung).

BRANDNER, R., GRUBER, A. & KEIM, L. (2007): Geologie der westlichen Dolomiten: von der Geburt der Neotethys im Perm zu Karbonatplattformen, Becken und Vulkaniten der Trias. – *Geo.Alp*, **4**: 95-121, Innsbruck.

CORNELIUS, H.P. & CORNELIUS-FURLANI, M. (1922): Über gangförmige Eruptivbreccien aus dem Villnößtal (Südtirol). – Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, **4**: 110-114, Stuttgart.

CORNELIUS-FURLANI, M. (1924): Zur Kenntnis der Villnösser Linie. – *Verh. Geol. B.-A.*, **7**: 125-131, Wien (Geologische Bundesanstalt).

ELLECOSTA, P. (2010): Ingenieurgeologische Trennflächenaufnahme am Burgfelsen von Schloss Summersberg in Gufidaun / Südtirol und Bestimmung felsmechanischer Parameter. – Unveröff. Bachelorarb., Lst. f. Ingenieurgeologie, TU München, 119 S., München.

GRUBER, A., BRANDNER, R. & KEIM, L. (2006): Permische Grabenbildung und ihre Vererbung in alpidischer Extensions- und Kompressionstektonik am Nordwestrand der südtiroler Dolomiten. – *Pangeo-Tagung Innsbruck*, 1 S., Abstract, Innsbruck.

HEPPERGER, P. v. (o.J.): Technischer Bericht zur Sanierung von Schloß Summersberg in Gufidaun. – Unveröff. Bericht, Autonome Provinz Südtirol, 2 S., Bozen.

ISRM – INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (1978 a): Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. – Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. – *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, **15**: 319-368.

ISRM – INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (1978 b): Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. – Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. – *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, **16**: 135-140.

KULTURKOMMISSION BOZEN (1942): Burg Summersberg Gufidaun, Lageplan und Längsschnitt, Maßstab 1 : 200. – Bozen (Familiarchiv Zingerle).

MOJSISOVICS, E. (1879): Die Dolomit-Riffe von Südtirol und Venetien. – 552 S., Wien (Kunst- und Buchdruckerei Steyrermühl).

MUTSCHLECHNER, G. (1933): Geologie der Peitlerkofelgruppe. – *Jb. Geol. B.-A.*, **83**: 75-112, Wien (Geologische Bundesanstalt).

PRINZ, H. & STRAUB, R. (2006): Abriss der Ingenieurgeologie. – 671 S., München (Elsevier – Spektrum akademischer Verlag).

ROFNER, V., TROPPER, P. & MAIR, V. (2010): Petrologie, Geochemie und Geologie des Amphibolit/Metagabbro Komplexes von Gufidaun (Südtirol, Italien). – *Geo.Alp*, **7**: 39-53, Innsbruck.

THURO, K. (1996): Bohrbarkeit beim konventionellen Sprengvortrieb. – *Münchener Geologische Hefte, Reihe B – Angewandte Geologie*, **1**, 145 S., 115 Abb., 39 Tab.; München (Pfeil).

TURNER, A.K. & SCHUSTER, R.L. (1996): Landslides – Investigation and Mitigation. – 675 S., Washington D.C. (National Academy Press).

WEINGARTNER, J. (1998): Die Kunstdenkmäler Südtirols, Band 1, Eisacktal, Pustertal, Ladinien. – 776 S., Bozen (Verlagsanstalt Athesia) und Innsbruck/Wien (Tyrolia-Verlag).