

Daniela ANGETTER & Josef-Michael SCHRAMM

Engineering geological aspects of subsurface warfare in the high alpine rock and ice regions of Tyrol during World War I

Ingenieurgeologische Aspekte des Minierkrieges in den hochalpinen Fels- und Eisregionen Tirols während des Ersten Weltkrieges

Daniela ANGETTER, Biographisches Lexikon, Öster. Akademie Wissenschaften Wien, Daniela.Angetter@oeaw.ac.at

Josef-Michael SCHRAMM, Fachbereich Geographie und Geologie, Universität Salzburg, josef-michael.schramm@sbg.ac.at

Geological knowledge, applied at the right place and at the right time, essentially contributed to the success of military operations since the dawn of warfare. The first highlight in military geology's history happened during World War I with the construction and consolidation of trenches, mining-warfare as well as the supply with water and mineral construction material. In most of the belligerent nations, among others the Empire of Austria-Hungary (SCHRAMM 2011b), geologists advised troops on subsurface activities and water-supply.

In high alpine terrain, such as the Southern Alps, geologic aspects influenced tactics and logistics extremely. Thus for the very first time both, Austrian-Hungarian and Italian Armies trained soldiers to live, fight and survive in difficult conditions. The campaign 1915 - 1918 at the Tyrolean border along Ortler, Adamello, Presanella, Dolomites and Carnic Alps became a static war, gaining only little ground for the antagonistic armies.



Fig. 1: Inside the glacier of Marmolata./ Im Inneren des Marmolatagletschers. (ANGETTER 2009).

Engineer troops constructed roads, light railways, cableway transport systems, path and climbing trails, they also excavated shelters, galleries and caverns in rock as well as in the ice of glaciers (ANGETTER 2001, SCHRAMM 2006b).

The construction of rock cavities ensured

- fortifying the own positions,
- protection against high-angle fire from large-calibre guns and
- bullet-proof supply lines.

- Another important application possibility of underground tunnels was the undermining of enemy positions for blowing up (ANGETTER 2009, SCHRAMM 2006a). From 1916 to 1918 thirty four blast off summits (table 1) are recorded (SCHRAMM 2011a), which permanently reshaped some of the landscape, e.g. the peaks of Monte Cimone, Col di Lana and Monte Sief, Lagazuoi, and Pasubio.

During the fighting around the Marmolata glacier the Tyrolean officer Leo Handl summarized a plan to traverse the entire Marmolata with a dense network of ice galleries. So far, he transferred the war into the interior of the mountain, to save the lives of his comrades and to keep the glacier occupied. Under tremendous effort and with using simple tools tunnels, caverns, and wooden bridges were built (Fig. 1 and 2). All tools, implements, wood planks for interior decoration, etc. had to be carried up under the most difficult conditions. Life in the glacier commanded great caution, each step along the precipices or along the glacial streams demanded most attention. Many soldiers fell on the icy platforms, gutters, wooden bridges and ladders or got lost in the maze of crevasse. Special patrols had to watch the ice by day and night, because it was moving constantly and moved caverns, trails and climbing plants.



Fig. 2: Simple digging tools for the construction of ice galleries./ Einfache Grabwerkzeuge zur Errichtung der Eisstollen. / (ANGETTER 2009).

Detailed studies and observations documented where and how quickly cracks and fissures formed in the ice or if there could be unexpected water leaks. Although the incessant groaning and creaking of the glacier and the dimly lit tunnels demoralized sometimes the psyche of the soldiers, and although they felt cramped because of the ice above them, they were safe from the enemy's artillery fire, and also from avalanches and the chance of survival increased significantly despite the damp and uncomfortable environment.

Experience gained during the construction of ice galleries in the Marmolata glacier have been applied in other ice front sections (Adamello, Presanella, and Ortler). The ice galleries had a combined length of 24 km and sometimes showed differences in altitude of 1,000 m (ANGETTER 2004, 2012).

West of Cortina d'Ampezzo in the surroundings of Falzarego pass three hard-fought peaks were targeted by blasting: Col di Lana, Monte Sief (Fig. 3), and Lagazuoi (Fig. 4). For instance, the summits and escarpments of Lagazuoi have been excavated by branched systems of tunnels, emplacements and encampments. Galleries with diameters up to 2 meters were driven partly by hand, but mainly by means of pneumatic hammers, yielding 1 m per day (STRIFFLER 1993).

Gently dipping bedded dolomitic rocks with close spaced joints build the Lagazuoi. Due to the lithology and structure as well as negligible ingress of water any rock support systems were dispensable. Those tunnels, used as supply service trails during wartimes, enable unhindered safe access at present time - almost 9 decades later! Neither overmine nor overbreak is evident, and attest the good rock quality of Hauptdolomit (dolomia principale).

Locality	Datum	Trigger	Explosives (tons)	Crater (m)	Casualties
Buso del Oro	1917-10-10	I	?	countermine	1 A-H
Castelletto	1916-07-11	I	35,00	rockfall	13 A-H
Col di Lana	1916-04-06	A-H	0,11	countermine	0
	1916-04-17	I	5,02	35 x 25, 12 deep	100 A-H
Colbricon	1917-04-12	I	0,80	rockfall	12 A-H
	1917-07-16	I	4,00	peak collapse	25 A-H
	1917-09-19	I	?	rockfall	0
Lagazuoi	1916-01-01	A-H	0,30	rockfall	0
	1917-01-14	A-H	16,00	37 x 37, 45 deep	0
	1917-05-22	A-H	24,00	200 x 140, rockfall	4 I
	1917-06-20	I	32,60	25 x 25, 20 deep	0
	1917-09-16	A-H	5,00	rockfall	0
Marmolata	1917-09-26	A-H	1,25	rockfall	15 I
	1917-10-24	I	0,45	ice gallery collapse	0
	1917-10-29	I	1,00	ice gallery collapse	0
	1917-11-03	A-H	?	ice gallery collapse	0
Monte Cimone di Tonezza	1916-09-17	I	?	countermine	0
	1916-09-23	A-H	14,2	50 x 50, 22 deep	1137 I
Monte Rotondo	1917-06-10	I	?	25 x 25	0
Monte Sief	1917-03-03	I	?	40 x 40, 17 deep	0
	1917-09-27	I	?	countermine	4 A-H
	1917-10-21	A-H	45,00	80 x 40, 35 deep	51 I
Monte Zebio	1917-06-08	I	?	35 x 35, 10 deep	135 A-H
Pasubio	1917-09-29	A-H	0,50	countermine	30 I
	1917-10-01	I	16,00	40 x 40, 20 deep	12 A-H
	1917-10-22	I	1,00	countermine	0
	1917-12-24	A-H	6,40	peak collapse	50 I
	1918-01-21	I	0,60	countermine	0
	1918-02-02	A-H	3,80	countermine	5 I
	1918-02-13	I	?	countermine	8 A-H
	1918-02-24	A-H	?	countermine	0
	1918-03-05	I	?	countermine	0
	1918-03-13	A-H	50,00	peak collapse	40 I
Zoughi	1916-11-17	I	?	20 x 20, shallow	0

Table 1: Listing of Austro-Hungarian (A-H) and Italian (I) blasting operations. Locations in alphabetical order, time-data in chronological order, explosives in metric tons (as far as reconstructable) and effects on terrain and casualties. The charge (note: 50 tons at Pasubio!) was proportional to the often poor quality of explosives. / Österreichisch-ungarische (A-H) und italienische (I) Minensprengungen. Örtlichkeiten in alphabetischer, Daten in chronologischer Reihenfolge, Sprengstoffmengen in metrischen Tonnen (soweit rekonstruierbar), Auswirkungen auf das Zielgelände und Zahl der Todesopfer. Die meist schlechte Sprengstoffqualität musste durch große Ladungsmengen (z. B. 50 Tonnen beim Pasubio) kompensiert werden (SCHRAMM 2011a).

Five mines were detonated: four of these Austrian targeting the ledge Cengia Martini, occupied by an Italian outpost, and one Italian to gain a pre-summit of Lagazuoi, held by Austrian troops. Preparing the 3rd Austrian mine explosion, 93 meters must be tunnelled (galleries 1.8 m high, 0.8 m wide) including the explosion chamber (58 cubic meters). In May 1917 the charge of 24 tons explosives (Chlorate, Dynamon G, Dynamon M, Ekrasite, plus initiating charge) with 37 m tamping plug was detonated, targeting the rock jag Trincea Avanzata with exposed Italian emplacements.

The Italian position was destroyed, indeed strategically insignificant.

The scarp of displaced rock masses is about 200 m high and 136 m wide, 200,000 cubic metres of dolomite rocks have been released and disintegrated to gravel-sized debris, generating huge cones

(figure 4). In the aftermath bit by bit another 30,000 cubic metres of crushed rock break down (SCHRAMM 2011a). Both troops, persisting more than 2 years in high alpine terrain, fought not only against each other but also against extremely hard conditions (in particular the Winter 1916/17 with 12 meters snowfall and minus 30 degrees Celsius)!



Fig. 3: Summits of Col di Lana (left, 1 blasting operation) and Monte Sief (right, 3 blasting operations) with craters. View to westsouthwest. Note the asymmetric walls of the craters due to the gently north dipping bedding planes of volcanic and clastic rocks. / Gipfel des Col di Lana (links, 1 Minensprengung) und Monte Sief (rechts, 3 Minensprengungen) mit den Explosionstrichtern. Blickrichtung SSW. Man beachte die asymmetrischen Trichterwände, beeinflusst durch flach nordfallende Trennflächen der vulkanischen und klastischen Gesteine (Photo: ANGETTER).

Summarizing, during three years of WW I in the Southern Alps both sides lost over 60,000 men (killed in action: company and battalion sized clashes, skirmishes between patrols at remote mountain tops), but another 60,000 would perish in natural disasters (avalanches, rock falls) and at least 60,000 more would freeze to death. Due to her bloody history the European peoples seem teachable and the former war objectives (territorial gains) are irrelevant from today's perspective (borderless European Union).

Ingenieurgeologische Aspekte des Minierkrieges in den hochalpinen Fels- und Eisregionen Tirols während des Ersten Weltkrieges

Seit Anbeginn der Kriegsführung trugen (wissentliche oder unbewusste) geologische Erfahrungen maßgeblich zum Erfolg militärischer Operationen bei. Im Ersten Weltkrieg erreichte die Militärgeologie etwa beim Stellungsbau, dem Minierkrieg, aber auch der Versorgung von Truppen mit Trinkwasser und mineralischen Baustoffen einen ersten traurigen Höhepunkt. Die meisten kriegführenden Staaten, auch Österreich-Ungarn (SCHRAMM 2011b) zogen zur Beratung u. a. bei Felshohlraumbauten Geologen bei.

Erstmalig in der Geschichte wurde vor einem Jahrhundert auch um hochalpines Gelände gekämpft. Unter derartigen topographisch wie klimatisch äußerst schwierigen Bedingungen waren die bis dahin gültigen Grundsätze militärischer Operationen nicht mehr anwendbar. Das exponierte Terrain erfor-

derte ein zielgerechtes taktisches und logistisches Vorgehen, wie es die gegnerischen Armeen Österreich-Ungarns und Italiens vorher nie üben konnten.

Die Kämpfe an der Tiroler Grenze entlang der Gebirgsmassive von Ortler, Adamello und Presanella sowie den Dolomiten und Karnischen Alpen entwickelten sich 1915 - 1918 überwiegend als erbitterter Stellungskrieg. Die Pioniertruppe beider Seiten errichtete Straßen, Feld- und Materialseilbahnen, gesicherte Pfade und Klettersteige sowie Stollen und Kavernen in Fels aber auch in Eis (ANGETTER 2001, SCHRAMM 2006b).

Der unterirdische Felshohlraumbau diente nicht alleine der Befestigung, Versorgung und dem Schutz gegen Steilfeuer, sondern auch dazu, um gegnerische Stellungen an exponierten Positionen zu unterminieren und zu sprengen (ANGETTER 2009, SCHRAMM 2006a). Von 1916 bis 1918 wurden in den Südalpen 34 Gipfel und Käme mit wechselndem taktischen Erfolg gesprengt (SCHRAMM 2011a): 14 durch Mineure der österreichisch-ungarischen und 20 der italienischen Armee (Tabelle 1). Diese Sprengungen veränderten die Landschaft teilweise nachhaltig, wie beispielsweise bei den Gipfeln des Monte Cimone, Pasubio, Col di Lana, Monte Sief (Fig. 3) und Lagazuoi (Fig. 4).

Im Zuge der Kämpfe um den Marmolatagletscher, fasste der Innsbrucker Kaiserjägeroffizier Oberleutnant Dipl. Ing. Leo Handl den Plan, den gesamten Marmolatagletscher mit einem dichten Netz von Eisstollen zu durchziehen. Er verlegte damit die Kriegführung in das Innere des Berges, in erster Linie um das Leben seiner Kameraden zu retten und den Gletscher besetzt zu halten. Unter enormen Kraftaufwand wurden mit einfachen Werkzeugen Gletschergräben, -tunnel, -kavernen und Holzbrücken errichtet (Fig. 1 und Fig. 2). Jedes einzelne Arbeitsgerät, alle Werkzeuge, Holzbretter für die Inneneinrichtung usw. mussten unter schwierigsten Bedingungen von den Tälern hinauftransportiert werden. Das Leben im Gletscher gebot höchste Vorsicht. Jeder Schritt entlang der Abgründe oder entlang der Gletscherbäche verlangte größte Aufmerksamkeit. Zahlreiche Soldaten stürzten von den eisigen Steigen, Rinnen, Holzbrücken und Leitern ab oder verirrteten sich im Spaltengewirr. Spezielle Patrouillen mussten das Eis Tag und Nacht beobachten, denn dieses bewegte sich fortwährend und verschob Kavernen, Wege und Steiganlagen. Genaue Untersuchungen und Beobachtungen dokumentierten, wo und wie rasch sich Risse und Spalten im Eis bildeten oder ob es zu unvermuteten Wassereinbrüchen kommen könnte. Das unentwegte Ächzen und Knarren des Gletschers und die nur spärlich erleuchteten Stollen zermürbten zwar mitunter die Psyche der Soldaten, die sich angesichts der Hunderte Meter Eis über ihnen sehr eingeeengt fühlten, dennoch waren die Soldaten vor dem feindlichen Artilleriefeuer, aber auch vor Lawinen sicher und die Überlebenschance stieg trotz der feuchten und unbequemen Umgebung beträchtlich.

Die im Marmolatagletscher beim Eisstollenbau gewonnenen Erfahrungen wurden in anderen vereisten Frontabschnitten (Adamello, Presanella und Ortler) angewandt. Die Eisstollen waren bis zu 24 km lang und wiesen mitunter Höhenunterschiede von 1.000 m auf (ANGETTER 2004, 2012).

Westlich von Cortina d'Ampezzo wurden in der Umgebung des Falzarego Passes drei hart umkämpfte Gipfelstellungen gesprengt: Col di Lana, Monte Sief und Lagazuoi. Die Gipfel und Vorberge des Lagazuoi wurden mit einem verzweigten System an Laufgräben, gedeckten Gängen und Stollen (lichte Querschnitte bis zu 2 Meter), Stellungen und Feldlagern durchörtert. Der Felsabtrag erfolgte teils händisch, meist jedoch mittels Pneumatikhämmern (Schlagbohrmaschinen). Die Vortriebsleistungen betragen durchschnittlich 1 Meter pro Tag (STRIFLER 1993).

Der Lagazuoi wird größtenteils von dolomitischen Gesteinen aufgebaut. Diese weisen flach bis mittelsteil nach NNW einfallende Schichtflächen sowie engscharige Kluftsysteme ohne Vorzugsrichtung auf. Aufgrund der günstigen Lithologie und Gefügeverhältnisse (meist stumpfwinkliger Verschnitt der Stollenachse mit der regionalen Streichrichtung) sowie ohne nennenswerte Zutritte von Bergwasser waren weder Stütz- noch Sicherungsmittel (z. B. bergmännische Zimmerung mit Stempeln und Türstöcken) einzubauen. Noch heutzutage - immerhin nach einem Jahrhundert - ermöglichen viele der während der Kampfhandlungen zur Versorgung genutzten Stollen einen ungehinderten und sicheren Zu- und Durchgang! Es wurde zu Zeiten des Vortriebs weder über Mehrausbrüche (geolo-

gisch bedingte Überprofile) berichtet, noch zeigen die Stollenlaibungen Hinweise auf voluminöse Nachbrüche. Dies dokumentiert die hervorragende Standfestigkeit des örtlichen Hauptdolomits.



Fig. 4: Actual situation at Falzarego pass (view to northwest). Debris cones of totally 200,000 cubic meters volume, generated by mine explosions. Note the ledge "Cengia Martini", location of an Italian outpost in the middle of the southern rock face. / Südwand und Wandfuß des Kleinen Lagazuoi (Blick vom Falzarego Pass nach Nordwest). Die beiden durch Minenexplosionen verursachten Schuttkegel beinhalten ein Volumen von 200.000 m³. Etwa in mittlerer Wandhöhe befindet sich ein ostwärts absinkender Felsvorsprung, die von einem italienischen Vorposten besetzte „Cengia Martini“ (SCHRAMM 2011a).

Insgesamt fünf Minensprengungen erschütterten die Südflanke des Lagazuoi: davon zielten vier österreichische auf den Felsvorsprung Cengia Martini ab, in deren Mitte sich ein italienischer Vorposten mit Schussfeld auf österreichische Stellungen um Valparola eingenistet hatte. Verwitterungsanfällige tonreichere Schichten der Raibl Formation prägen diesen morphologisch auffälligen Felsvorsprung inmitten der steilen aus Dolomit aufgebauten Wandpartien. Mit der einzigen italienischen Sprengung eines Vorgipfels des Lagazuoi sollte die Erstürmung österreichischer Gipfelstellungen ermöglicht werden. Aufgrund des steigenden Vortriebes war die italienische Seite im Vorteil, was das Schuttern (= aus dem Berg heraus fördern) des anfallenden Haufwerks betraf.

Zur Vorbereitung der dritten österreichischen Minensprengung mussten rund 93 Meter Stollen (mit 1,8 m Höhe, 0,8 m Breite) sowie eine Sprengkammer (58 Kubikmeter) vorgetrieben werden. Im Mai 1917 wurden 24.000 kg Sprengstoff (Chlorat, Dynamon G, Dynamon M, Ekrasit, plus Zündmittel) hinter einer 37 m langen Verdämmungsstrecke zur Detonation gebracht, um die vorgeschobenen italienischen Stellungen auf dem Felssporn Trincea Avanzata auszulöschen. Die italienische Stellung wurde zwar vollständig zerstört, was jedoch ohne nachhaltige operative Bedeutung blieb.

Die Ausbruchsnische der weggesprengten Felsmassen misst etwa 200 m Höhe und 136 m Breite. Rund 200.000 Kubikmeter an dolomitischem Gestein wurden dabei aus ihrem ursprünglichen Ver-

band gelöst. Die Gesteinsmasse wurde auf Block-, Stein- bis Kiesgröße (> 2 mm) zerlegt und bildet die nördlich des Falzarego Passes erkennbaren riesigen Schuttkegel (Fig. 4).

Infolge der Veränderungen des ursprünglichen Spannungszustandes lösten sich nach und nach weitere 30.000 Kubikmeter an aufgelockertem Fels (SCHRAMM 2011a). Die Truppen beider Seiten verharrten über 2 Jahre in hochalpinem Gelände und kämpften nicht nur gegeneinander, sondern auch gegen die extremen Verhältnisse, zumal insbesondere im Winter 1916/1917 bei bis zu -30°C insgesamt 12 Meter Schnee fielen.

Zusammengefasst forderten die drei Weltkriegsjahre in den Südalpen auf beiden Seiten mehr als 60.000 Gefallene, weitere 60.000 Tote durch Naturereignisse (Lawinen, Steinschläge und Felsstürze), während nochmals 60.000 Soldaten erfroren! Nach ihrer Jahrhunderte langen blutigen Geschichte scheinen die Völker Europas lernfähig zu sein, was auch die damaligen Kriegsziele (vorwiegend Landgewinn) aus der heutigen Sicht einer grenzenlosen Europäischen Union bedeutungslos macht.

Literature / Literatur

ANGETTER, Daniela (2001): Geologische Aspekte in der Taktik und Logistik des Ersten Weltkrieges. - Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **56**, p. 21-22, Wien.

ANGETTER, Daniela (2004): Krieg im Inneren des Berges - Geologische Aspekte in der Taktik und Logistik des Ersten Weltkrieges. - Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **144**, no. 1, p. 9-13, Wien.

ANGETTER, Daniela (2009): Geologische Aspekte in der Kriegführung des Ersten Weltkrieges. - Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **149**, no. 2+3, p. 291-300, 7 Abb., Wien.

ANGETTER, Daniela (2012): Geologie und Militär - Streiflichter durch die Geschichte. - Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **96**, p. 6-8, Wien.

SCHRAMM, Josef-Michael (2006a): Tasks and challenges of Military Geology. - In: International Handbook Military Geography, p. 453-464, Wien (Arbeitsgemeinschaft Truppendienst, Ministry of Defence).

SCHRAMM, Josef-Michael (2006b): Gelände & Untergrund - das Operationsfeld der Militärgeologie. - MILGEO, Schriftenreihe des Militärischen Geowesens, no. **8**, 208 p., Wien.

SCHRAMM, Josef-Michael (2011a): Geology and High Alpine Warfare during World War I. - In: International Handbook Military Geography, vol. **2** (Proceedings of the 8th International Conference on Military Geosciences, Vienna, Austria, June 15-19, 2009), p. 443-456, 10 figs., 1 tab., Vienna (Arbeitsgemeinschaft Truppendienst, Ministry of Defence and Sports).

SCHRAMM, Josef-Michael (2011b): Wurzeln einer militärisch angewandten „Geognosie“ im alten Österreich vor 1918. - Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **89**, p. 46-52, 4 Abb., Wien.

STRIFFLER, Robert (1993): Der Minenkrieg in den Dolomiten 1915-1917. Kleiner Lagazuoi, Schreckenstein. - Schriftenreihe zur Zeitgeschichte Tirols, **9**, 491 p., ill., Nürnberg (Buchdienst Südtirol, Elke Kienesberger).