

## Über den Minierkrieg in hochalpinen Fels- und Eisregionen (1. Weltkrieg, SW-Front, Tirol 1915-1918) aus ingenieurgeologischer Sicht

### On subsurface warfare in high alpine rock and ice regions (World War I, southwestern front, Tyrol 1915-1918) from engineering geological view

Daniela Angetter<sup>1</sup> & Josef-Michael Schramm<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Neuzeit- und Zeitgeschichtsforschung, Forschungsbereich Österreichisches Biographisches Lexikon der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) Wien

<sup>2</sup> Fachbereich Geographie und Geologie, Universität Salzburg

#### Zusammenfassung

Nach der Kriegserklärung des Königreichs Italien an das Kaiserreich Österreich-Ungarn im Mai 1915 begannen die Kampfhandlungen im südalpinen Hochgebirge nur zögerlich und erstarrten alsbald zu einem erbitterten Stellungskrieg. Um die statische Front aufzubrechen und zwecks Geländegewinn gingen beide Seiten zu einem in Fels und Eis unterirdisch geführten Minierkrieg über. Die gegenseitigen Vortriebsarbeiten (Stollen, Gegenstollen, Horchstollen und Kavernen) erfolgten sowohl mit einfachen bergmännischen Mitteln (Hammer und Meißel), als auch mittels verbessertem technischen Aufwand (pneumatisches und elektrisches Bohren, konventioneller Sprengvortrieb). Bis 1918 wurden insgesamt 34 exponierte Gipfelstellungen gesprengt.

Der Einfluss ingenieurgeologischer Faktoren (z. B. Lithologie, Struktur: räumliche Orientierung von Trennflächen, Zahl und Abstand von Kluftflächen, Kluftletten, Bergwasser) auf den Stollenvortrieb und Sprengenerfolg wird an ausgewählten Beispielen (Lagazuoi, Col di Lana und Monte Sief, Marmolada, Monte Cimone und Pasubio) erläutert.

Die Erfahrungen aus den spektakulären, jedoch taktisch wie auch operativ unbedeutenden Sprengungen, haben in der Nachkriegszeit wesentlich zur Entwicklung einer modernen Ingenieurgeologie (insbesondere bei Untertage-Projekten für den Verkehrswege- und Kraftwerksbau) beigetragen.

#### Abstract

Soon after the Kingdom of Italy declared war on the Austro-Hungarian Empire in May 1915, the hostilities in the high mountains of the Southern Alps began hesitantly and at once solidified to a fierce positional war. In order to break the static front and for territorial gains, both sides proceeded to a subsurface warfare in hard rock and glacier ice (mining war). Simple mining tools (hammer and chisel) as well as increased technical equipment (drilling by means of pneumatic and electric hammers and blasting) were applied to the mutual tunneling operations (galleries, counter galleries, galleries to locate enemy tunnels and caverns). Until 1918, a total of 34 peak positions were blown up.

The impact of engineering geological factors (e.g. lithology, structure: spatial orientation of bedding planes, number and distance of joints, seam filling, groundwater) on tunnel driving and blasting success is explained by selected examples (Lagazuoi, Col di Lana and Monte Sief, Marmolada, Monte Cimone and Pasubio).

The experience from the spectacular blasting operations, both tactically and operationally insignificant, contributed essentially to the development of modern engineering geology (especially subsurface projects of roads, rails and power plants) in the postwar period.

## 1. Einleitung

Bis zur zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts galt der Gebirgskrieg nur als Abart des infanteristischen Kampfes. Krieg im Winter und in extremen Höhen *hatte* einfach nicht stattzufinden, weshalb auch keine spezifischen Weisungen und Ausbildungsvorschriften existierten. Italien formierte 1872 fünfzehn Kompanien „Alpini“ (die erste Hochgebirgstruppe) und Frankreich stellte seine „Chasseurs Alpins“ 1888/89 auf. In Österreich-Ungarn gründete man 1906 erst auf Betreiben des späteren k.u.k. Generalstabschefs Franz Conrad von Hötzendorf (1852-1925) eine Gebirgstruppe (zuerst drei Gebirgsregimenter, ab 1911 bestanden fünf Gebirgsregimenter mit 51 Gebirgs-Kompagnien und 16 Gebirgs-Maschinengewehrabteilungen). Diese hatten die Hochgebirgsgrenze zwischen dem Ortlermassiv und den Julischen Alpen zu schützen, zumal Conrad von Hötzendorf als Landesverteidigungskommandant von Tirol auf Grund der besonderen Situation an der Grenze zu Italien bereits früh eine bevorstehende Gefahr aus dem Süden erkannte und ab 1907 Überlegungen zum „Kriegsfall I“ (I = Italien) anstellte.

Vor einem Jahrhundert wurden während des Ersten Weltkrieges erstmalig systematische Kampfhandlungen mit großen Truppenstärken in hochalpinen und vergletscherten Gebirgsregionen vorgenommen. Die dort herrschenden, bereichsweise extremen Naturbedingungen stellten an Mensch, Tier und Material bislang nicht bekannte Herausforderungen dar. Unter derartigen topographisch wie klimatisch äußerst schwierigen Bedingungen waren die bis dahin gültigen Grundsätze militärischer Operationen nicht mehr anwendbar. Das exponierte Terrain erforderte ein zielgerechtes taktisches und logistisches Vorgehen, wie es die gegnerischen Armeen Österreich-Ungarns und Italiens vorher nie üben konnten. Dennoch erfolgte die hochalpine Kriegsführung zwischen Österreich-Ungarn und Italien zunächst nach traditionell bewährten militärischen Grundsätzen für einfache Bedingungen im Bergland. Jedoch wurde der militärischen Führung erst nach und nach bewusst, dass im Hochgebirge eine gezielte Anwendung geomorphologischer und geologischer Kenntnisse wesentlich zum Erfolg von militärischen Operationen beitragen kann (Schramm 2011b).

Da beim Hochgebirgskrieg ab 1915 aber nicht alleine geomorphologische und geologische Aspekte, sondern klimatische Faktoren die Taktik und Logistik maßgeblich beeinflussen (K.u.k. Landesverteidigungs-Kmdo in Tirol 1915, Abbildung 1), mussten in der österreichisch-ungarischen Armee erneut Soldaten zum Kampf unter schwierigsten Bedingungen im hochalpinen Gelände ausgebildet werden, zumal die bewährten Gebirgs-Regimenter an der ostwärtigen Front gegen Russland stärkste Verluste hinzunehmen hatten. Zudem berieten Geologen der gegnerischen Streitkräfte ihre Truppen bei der Anlage und Befestigung von Stellungen, beim Bau von Kavernen und Stollen, bei der Versorgung mit Trinkwasser und Entsorgung von Abwasser sowie hinsichtlich der Verfügbarkeit mineralischer Baurohstoffe. Somit entwickelte sich die Militärgeologie während des Ersten Weltkrieges zu einem ersten Höhepunkt in ihrer Geschichte, was in Friedenszeiten letztlich die Entwicklung zur modernen Ingenieurgeologie bzw. Technischen Geologie förderte.

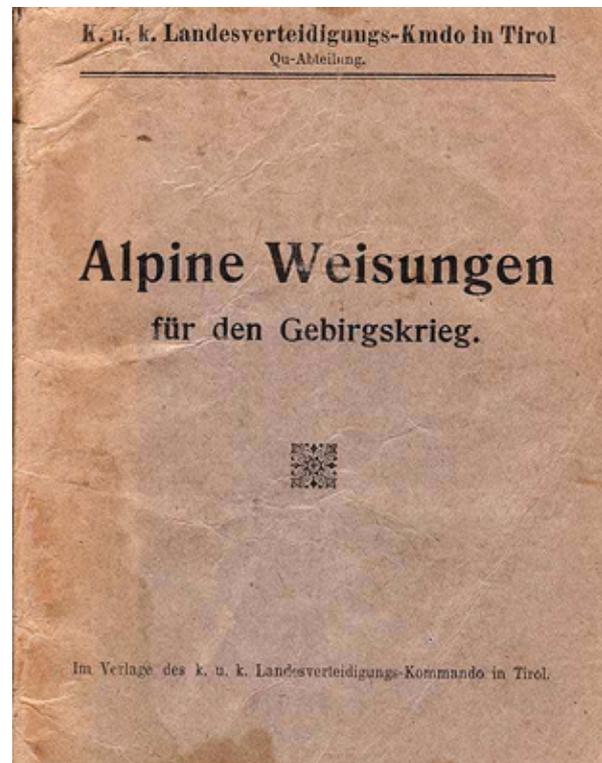


Abb. 1: Buchdeckel (Faksimile) „Alpine Weisungen für den Gebirgskrieg“, gedruckt 1915.

Fig. 1: Book cover (facsimile) „Alpine instructions for mountain warfare“, printed in 1915.

## 2. Geschichtlicher Abriss

Zusammen mit den Kaiserreichen Österreich-Ungarn und Deutschland gehörte das Königreich Italien vor dem Ersten Weltkrieg dem mitteleuropäischen Dreieck an. Die Ermordung des österreichisch-ungarischen Thronfolgers Erzherzog Franz Ferdinand von Österreich-Este (1863-1914) in Sarajevo (Bosnien-Herzegowina) am 28. Juni 1914 führte Schritt-um-Schritt zu gegenseitigen Kriegserklärungen: Österreich-Ungarn und Deutschland gegen Serbien sowie alle Entente-Mächte, und umgekehrt. Nach Kriegsausbruch setzte Italien jedoch seine Verpflichtungen gegenüber dem Dreieck aus und verhielt sich zunächst neutral.

Als die triple-Entente (Frankreich, Großbritannien und Russland) Italien im Geheimvertrag von London (26. April 1915) große Gebietsgewinne zu Lasten österreichisch-ungarischen Gebietes (Tirol südlich des Alpenhauptkammes) nach Ende des Krieges in Aussicht stellte (URL 6), entsprach dies ganz der italienischen Ideologie von Risorgimento und Irredenta. Dies forcierte den Seitenwechsel und die Kriegserklärung Italiens an Österreich-Ungarn am 23. Mai 1915. Beim Eintritt in den Ersten Weltkrieg verfügte die österreichisch-ungarische Monarchie mit dem 14. Armeekorps über eine bestens geschulte alpine Truppe. Jedoch wurden die speziell ausgerüsteten und ausgebildeten Regimenter von der Tiroler Südgrenze, zu deren Schutz die Gebirgstruppe jahrelang ausgebildet worden war, auf Grund ihrer Leistungsfähigkeit zur ostwärtigen Front gegen Russland abgezogen. In den Ebenen Galiziens und in den Karpaten verblutete im ersten Kriegsjahr die Elite der bergerfahrenen Soldaten Tirols, Salzburgs und Kärntens, sodass mit Kriegseintritt Italiens kaum noch alpin ausgebildete Truppen zur Verteidigung der Südgrenze verfügbar waren. Neben 22 „Landsturmataillonen“ sowie den Besatzungen der ständigen Grenzsperren wurden in aller Eile Landes- und Standschützen aufgebildet, allesamt nicht mehr oder noch nicht militärpflichtig (Abbildung 2). Auch das Deutsche Alpenkorps half an der Tiroler Grenze aus. Trotz permanenter Unterlegenheit an Truppenstärke und Bewaffnung gelang es der Donaumonarchie jedoch, ihr Territorium mit Ausnahme operativer Frontbegradigungen entlang der alten Tiroler

Grenze bis zum Waffenstillstand (unterzeichnet am 3. November 1918) zu verteidigen.

Schließlich legte der Vertrag von Saint-Germain (10. September 1919) anhand sprachlich falscher Landkarten (fake maps: Glockenkarkopf bzw. Klockerkarkopf 2911 m, durch den Nationalisten und später faschistischen Politiker Ettore Tolomei 1905 zur „Vetta d'Italia“ italienisiert, Abbildung 3) und unter Missachtung vorhandener ethno- und geographischer Fakten unter anderem fest, die jahrtausendlang bestehende ethnische Einheit Tirols durch eine neue Grenzlinie zu teilen, welche rund 90 Kilometer (Luftlinie) nördlich der historischen Sprachgrenze entfernt liegt (Salurner Klause – Brenner)! Die internationale Exekution dieser strategischen Teilung Tirols widersprach und widerspricht sowohl völkerrechtlichen Normen als auch den Punkten 9 und 10 der „Vierzehn Punkte“ von Präsident Woodrow Wilson (programmatische Rede vor beiden Häusern des US-Kongresses, 8. Jänner 1918), und birgt bis zur jüngsten Vergangenheit ein latentes Konfliktpotential (URL 8). Leider wird aus historischen



Abb. 2: K.k. Standschützen im Alter von 15 bis 18 Jahren als Angehörige regulärer Truppen gemäß der Haager Landkriegsordnung von 1907 an der Tiroler Front. Bildquelle: Kaiserjäger-Archiv in Innsbruck.

Fig. 2: K.k. Standschützen in ages between 15 and 18 years as privileged combatants according to the Hague Convention of 1907 at the Tyrolean front. Source: Kaiserjäger Archives at Innsbruck.

Fehlern nicht gelernt und es ist weltweit zu beobachten, dass nationalistisch motivierte Grenzziehungen der internationalen Völkergemeinschaft

ausnahmslos Probleme bereiten. Glücklicherweise sind solche von Menschen gezogene Grenzen für geologische Zonen irrelevant - Geologie ist und bleibt grenzenlos!

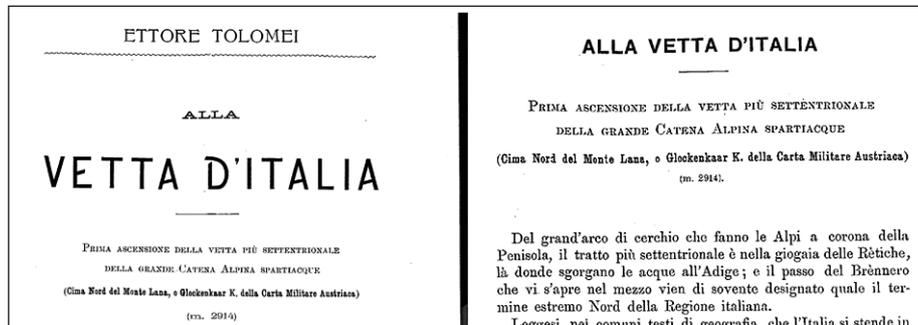


Abb. 3: Ausschnitte (Faksimile) von Titelblatt und Einleitung des Pamphlets von Tolomei (1865-1952) über den 1904 vermeintlich „erstbestiegenen“ Glockenarkopf in Tirol. In Wirklichkeit hatte die Erstbesteigung bereits 1895 stattgefunden. Die Übersetzung (rechts im Bild) lautet sinngemäß: „Der große Bogen, den die Alpen in der Krone der [italienischen] Halbinsel bilden, also der nördlichste Abschnitt der Rhätischen Ausbuchtung, dort wo die Wasser der Etsch entspringen und sich in der Mitte der Brenner-Pass öffnet, werden oft als die äußerst nördliche italienische Region bezeichnet“.

Fig. 3: Cutouts (facsimile) of title page and introduction from the pamphlet of Tolomei (1865-1952) about the alleged “first ascent” of the Glockenarkopf in Tyrol. In fact, the first ascent had already taken place in 1895. Rough translation (right): “The great arch, formed by the Alps in the crown of the [Italian] peninsula, which is the northernmost section of the Rhaetian bulge, where the Adige river and its tributaries originate and the Brenner Pass opens in the middle, are often designated as the term most northern Italian region”.

### 3. Einfluss von Geländeoberfläche und -untergrund auf militärische Operationen

Die gesamte Grenzlinie zwischen Österreich-Ungarn und Italien querte bis 1919 Hochgebirgsmassive und -ketten (Ortler- und Adamello-Preanella-Gruppe, Brenta, Vicentinische früher Lessinische Alpen, Fleimstaler Alpen, Dolomiten mit Marmolada, Karnische Alpen, Julische Alpen) sowie dazwischen liegende Täler und Senken. Dieses ausgeprägte Relief hat seinen Ursprung in einer kontrastreichen Geologie mit kristallinen und karbonatischen Gesteinen und deren speziellen Strukturen (Bosellini et al. 2003). Die bereichsweise sehr schroffen Geländeformen

mit steilen Flanken und tief eingeschnittenen Tälern schränkten die Möglichkeiten für einen italienischen Vormarsch mit großen Verbänden in Richtung österreichisches Kernland stark ein. Im Trentino (Welschtirol) folgten entsprechende Bewegungslinien den Tälern zwischen Tonale-Pass und Cles, dem Judikariental, entlang des Gardasees, dem Etsch-, Tesina- und Suganatal. Aus dem Veneto boten das Piave- und Tagliamentotal Vormarschmöglichkeiten und im slowenischen Karst das Isonzotal (Abbildung 4).

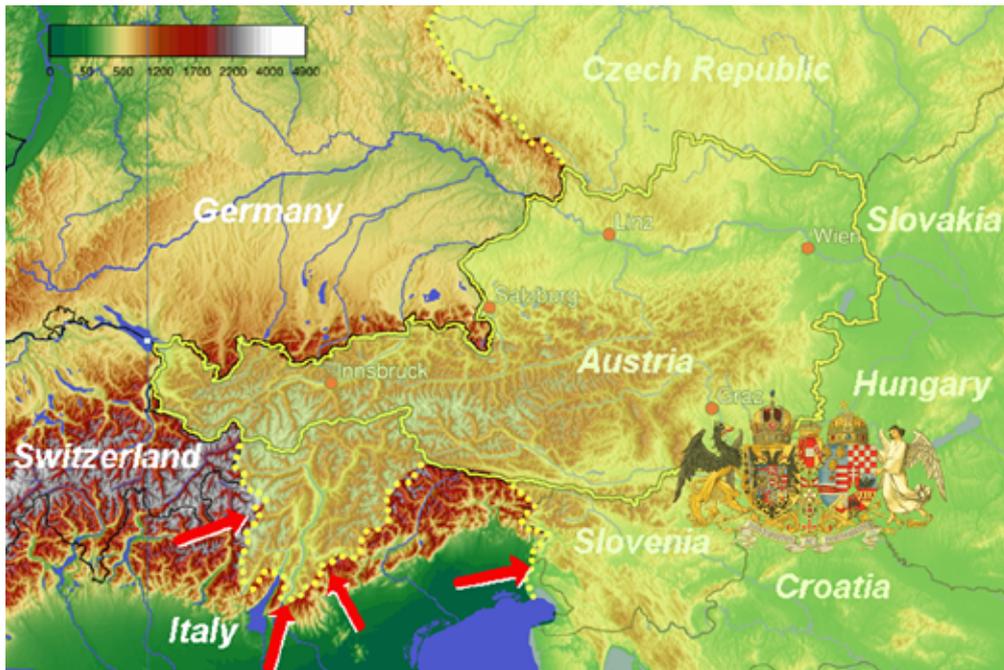


Abb. 4: Digitales Höhenmodell von Mitteleuropa (Shuttle Radar Topography Mission data, version 3). Gelbe Punkte = Grenzen der Österreichisch-Ungarischen Monarchie. Rote Pfeile = italienische Vormarschlinien im Ersten Weltkrieg.

Fig. 4: Digital elevation model of Middle Europe (SRTM data, v3). Yellow dots = border of the Austro-Hungarian Monarchy. Red arrows = Italian lines of advance during WW I.

Schwere permanente Befestigungsanlagen (so genannte „Werke“) sowie Sperren wurden an den erwarteten italienischen Vormarschlinien errichtet (URL 2) und bildeten das Rückgrat der österreichisch-ungarischen Verteidigung gegen Italien. Einige dieser Anlagen entsprachen jedoch nicht mehr dem Stand der damaligen Militärtechnik und waren extrem anfällig für Steilfeuer großkalibriger Waffen aus den modernen Panzerforts der italienischen Seite, welche allesamt taktisch optimal positioniert waren (URL 5). Das österreichische Armeekommando unterteilte Tirol südlich des Alpenhauptkammes (einschließlich Trentino) in fünf Verteidigungszonen oder Rayons (Abbildung 5).

- Die Truppen im Rayon I hatten den hochalpinen Bereich zwischen der Schweizer Grenze und dem Ortler, vor allem die Pass-Straße über das Stilfser Joch zu sperren.
- Nach Süden überwachte Rayon II das Grenzgebiet Presanella und den Tonale Pass.
- Im Rayon III hatte die Verteidigung einen italienischen Vormarsch entlang zahlreicher Routen zu neutralisieren, die zwischen dem Chiese- und Sugana-Tal nach Trient zusammenliefen.
- Rayon IV umfasste die Kämme der Fassaner Alpen.
- Rayon V hatte die Dolomiten bis zur Kärntner Grenze nahe dem Kreuzbergpass (Passo Monte Croce di Comelico) abzuriegeln.

Die Karnischen Alpen, insbesondere deren Hauptkamm, gelten aus gutem Grund als natürliche Barriere. Zwischen dem Eingang des Pustertals bei Sexten und dem Triglav, also entlang einer Strecke von rund 120 Kilometern, existieren nur vier durchgängige Pässe, u. a. Plöckenpass und Nassfeld. Eine vollständige Kontrolle über die Gipfelkämme und deren südlichen Abhänge verminderte die Chancen auf erfolgreiche Angriffe drastisch.

Vor dem italienischen Angriff (mit 44 Infanterie- und 4 Kavallerie- Divisionen !) gaben die zahlenmäßig unterlegenen österreichisch-ungarischen Streitkräfte ausgewählte Bereiche entlang der etwa 450 km langen Grenze freiwillig auf (URL 1). Somit konnte die Frontlinie um mehr als 100 Kilometer verkürzt werden.

Ab 23. Mai 1915 begannen überlegene italienische Truppen auf etwa 100 km Breite in die Region Trentino einzudringen. Sie besetzten die geräumten Bereiche um Ala, Strigno und Cortina d'Ampezzo und bezogen Stellungen. Die Front verlief vom Ortler über Adamello-Presanella, durch das Gardasee-Bergland, die Vizentiner Alpen, die Dolomiten zu den Karnischen und Julischen Alpen (URL 3).

Vom Sommer 1915 bis Mitte 1917 änderte sich die Frontlinie nur punktuell, beide Seiten erzielten keine nennenswerten Fortschritte. Im Laufe dieses hochalpinen Stellungskrieges errichteten

Pioniere vor allem gesicherte Pfade, Feld- und Seilbahnen, hoben Unterstände aus und trieben Stollen und Kavernen vor. Es galt, die eigenen Stellungen zu verstärken, die Versorgung zu sichern und gegnerische Stellungen einzunehmen, auch durch unterminieren und sprengen. Am Hauptkamm der Karnischen Alpen fanden nur unbedeutende Scharmützel statt, mit Ausnahme des Plöckenpasses und Nassfelds, wo schwer um die befahrbaren Bewegungslinien gekämpft wurde. Auch elf Schlachten am Isonzo brachten Italien bei enormen Verlusten kaum Geländegewinn. Allerdings entwickelte sich die zwölfte Isonzoschlacht zu einem Desaster für die Zweite und Dritte Italienische Armee, sodass im Herbst 1917 die italienischen Truppen die Front entlang einer 120 km-Linie von den Karnischen Alpen bis zur Adria nach Westen zurücknehmen mussten. Deshalb endeten die Kampfhandlungen in den Dolomiten und Karnischen Alpen im November 1917. Nur mit Unterstützung durch die Alliierten vermochte Italien die Front im venezianischen Tiefland am Piave-Fluss zu stabilisieren. Entlang der Linie Ortler – Tonale Pass – Gardasee – Arsiero – Piave (Tiefebene bis Mündung) setzte sich der Abnutzungskrieg fort. Nach der Schlacht von Vittorio Veneto im Herbst 1918 konnte Italien geringe Vorteile erringen und beendete den Ersten Weltkrieg. Der Waffenstillstand trat am 4. November 1918 in Kraft (URL 4).

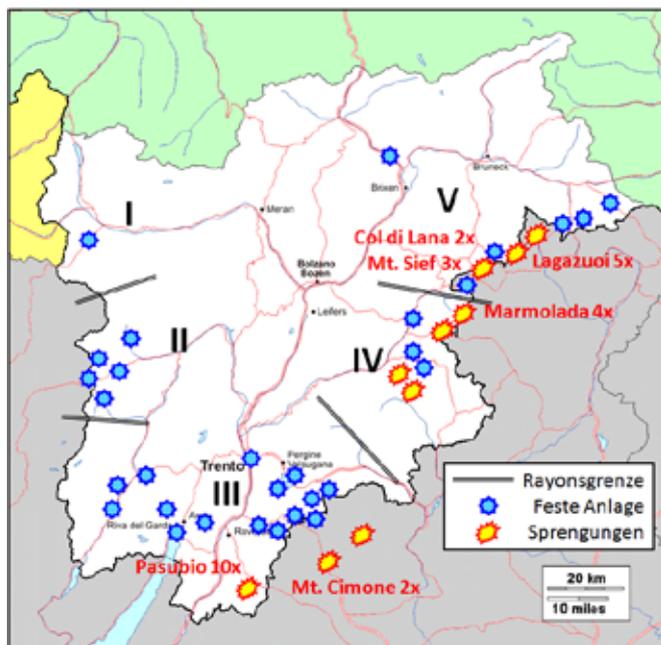


Abb. 5: Skizze von Tirol südlich des Alpenhauptkammes (einschließlich Trentino) mit Rayongliederung und Positionen der Befestigungsanlagen (Werke) und Gipfelsprengungen.

Fig. 5: Sketch map of Tyrol south of Alpine main ridge (incl. Trentino) with 5 defence zones and position of permanent fortifications and blasting operations of summits.

#### 4. Taktische Grundsätze unter hochalpinen Bedingungen

Nirgendwo war Kriegsführung so spektakulär wie an der hochalpinen – örtlich höher als 3000 Meter verlaufenden – Frontlinie zwischen Italien und Österreich. Zunächst versuchten beide Seiten, traditionelle militärische Fähigkeiten und Abläufe den Bedingungen eines einfachen Berglandes anzupassen (Angetter 2004, 2009). Beispielsweise wurden folgende traditionelle taktische Prinzipien angewandt:

- Wer die Höhen besitzt, kontrolliert die Täler.
- Die maximale Kampfkraft ist am Punkt der Entscheidung einzusetzen.

Im Stellungskrieg waren Systeme von Befestigungsanlagen, Gräben, Feldwachen, Unterständen und Stollen erforderlich. Bereits lange vor dem Weltkrieg wurde eine mögliche Verwendung von Minenstollen für Unterkunft- und Depot-Zwecke erwogen (Nerad 1900). Auch natürlich entstandene Höhlen wurden militärisch genutzt (Saar 1964). Die topographisch und klimatisch äußerst schwierigen Bedingungen erschwerten jegliche Versorgung. Es wurde bald erkannt, dass im alpinen Gelände neben den klimatischen Faktoren auch geologische und hydrogeologische Untergrundverhältnisse folgende militärischen Aktivitäten wesentlich beeinflussen:

- Beweglichkeit von Truppen (Begehbarkeit oder Gangbarkeit, Befahrbarkeit, Stellungswechsel).
- Deckung (Grabbarkeit als Zeitfaktor: Schaufelboden, Krampenboden, Sprengfels. Anstehender Fels erfordert Lösen mittels Sprengen).
- sprödes Hartgestein vervielfacht die Splitterwirkung bei Beschuss (insbesondere Steilfeuer).

#### 5. Militärgeologie in hochalpinen Bereichen

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

Naturereignisse (Steinschlag, Felsstürze, Lawinen) beeinträchtigten die militärischen Aktivitäten in diesem exponierten Gelände außerordentlich oft und intensiv. Die Kämpfe im hochalpinen Gelände der Ortler-Gruppe (3905 m) und der Adamello-Presanella-Gruppe (3556 m) wurden bis Kriegsende, in den Dolomiten (3343 m), den Karnischen (2780 m) und Julischen Alpen (2864 m) ab Sommer 1915 bis Herbst 1917 als Stellungskrieg geführt (Schaumann 1993a, 1993b, 1993c, 1993d, 1995).

Pioniereinheiten der gegnerischen Armeen errichteten Versorgungslinien (Steige und Pfade, Straßen, Feld- und Seilbahnen) sowie unterirdische Hohlraumbauten in Hartgestein und Gletschereis (Ortler, Marmolada). Der mächtigste Gletscher in den Dolomiten überdeckt die sanft abfallende Nordflanke der Marmolada, wo noch heute Reste der „Eisstadt“ ausapern. Österreichische Soldaten hatten vor knapp einem Jahrhundert dieses außergewöhnliche Labyrinth von etwa acht Kilometern Stollen und Kavernen unter dem Eis vorgetrieben.

ersten traurigen Höhepunkt (Angetter 2009; Bányai 1915; Gortani 1920; Hradil 1915; König 1915; Sacco 1916; Schramm 2006b).

Zur Beendigung eines zuerst monatelangen, schließlich mehrere Jahre andauernden zermürbenden Stellungskrieges wollten die Kommanden aller Ebenen eine Entscheidung herbeiführen,

indem beide kriegführenden Seiten innovative technische und taktische Lösungen erarbeiteten, z. B. systematische Minier- und Sprengoperationen (Langes 1943; Kranz 1936a, 1936b; Striffler 1988, 1993, 1996, 1999, 2001; Tosti 1935). Von

1916 bis 1918 wurden entlang der Tiroler Front 34 Gipfel und Grate gesprengt (Schramm 2011a): 20 von italienischen und 14 von österreichischen Mineuren (Tabelle 1).

Tab. 1: Österreichisch-ungarische (Ö-U) 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).

Tab. 1: Listing of Austro-Hungarian (Ö-U) 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 (Schramm 2011a).

Örtlichkeit	Datum	Auslöser	Sprengstoffmenge (Tonnen)	Auswirkungen (m)	Opfer
Buso del Oro	1917-10-10	I	?	Gegenmine	1 Ö-U
Castelletto	1916-07-11	I	35,00	Felssturz	13 Ö-U
Col di Lana	1916-04-06	Ö-U	0,11	Gegenmine	0
	1916-04-17	I	5,02	Krater 35 x 25, 12 tief	100 Ö-U
Colbricon	1917-04-12	I	0,80	Felssturz	12 Ö-U
	1917-07-16	I	4,00	Gipfeleinsturz	25 Ö-U
	1917-09-19	I	?	Felssturz	0
Lagazuoi	1916-01-01	Ö-U	0,30	Felssturz	0
	1917-01-14	Ö-U	16,00	Krater 37 x 37, 45 tief	0
	1917-05-22	Ö-U	24,00	200 x 140, Felssturz	4 I
	1917-06-20	I	32,60	Krater 25 x 25, 20 tief	0
	1917-09-16	Ö-U	5,00	Felssturz	0
Marmolada	1917-09-26	Ö-U	1,25	Felssturz	15 I
	1917-10-24	I	0,45	Eisstolleneinsturz	0
	1917-10-29	I	1,00	Eisstolleneinsturz	0
	1917-11-03	Ö-U	?	Eisstolleneinsturz	0
Monte Cimone di Tonezza	1916-09-17	I	?	Gegenmine	0
	1916-09-23	Ö-U	14,2	Krater 50 x 50, 22 tief	1137 I
Monte Rotondo	1917-06-10	I	?	Krater 25 x 25	0
Monte Sief	1917-03-03	I	?	Krater 40 x 40, 17 tief	0
	1917-09-27	I	?	Gegenmine	4 Ö-U
	1917-10-21	Ö-U	45,00	Krater 80 x 40, 35 tief	51 I
Monte Zebio	1917-06-08	I	?	Krater 35 x 35, 10 tief	35 Ö-U 200 I
Pasubio	1917-09-29	Ö-U	0,50	Gegenmine	32 I
	1917-10-01	I	16,00	Krater 40 x 40, 20 tief	12 Ö-U
	1917-10-22	I	1,00	Gegenmine	0
	1917-12-24	Ö-U	6,40	Gipfeleinsturz	50 I
	1918-01-21	I	0,60	Gegenmine	0
	1918-02-02	Ö-U	3,80	Gegenmine	5 I
	1918-02-13	I	?	Gegenmine	8 Ö-U
	1918-02-24	Ö-U	?	Gegenmine	0
	1918-03-05	I	?	Gegenmine	0
1918-03-13	Ö-U	50,00	Gipfeleinsturz	491 I	
Zoughi	1916-11-17	I	?	Krater 20 x 20, seicht	0

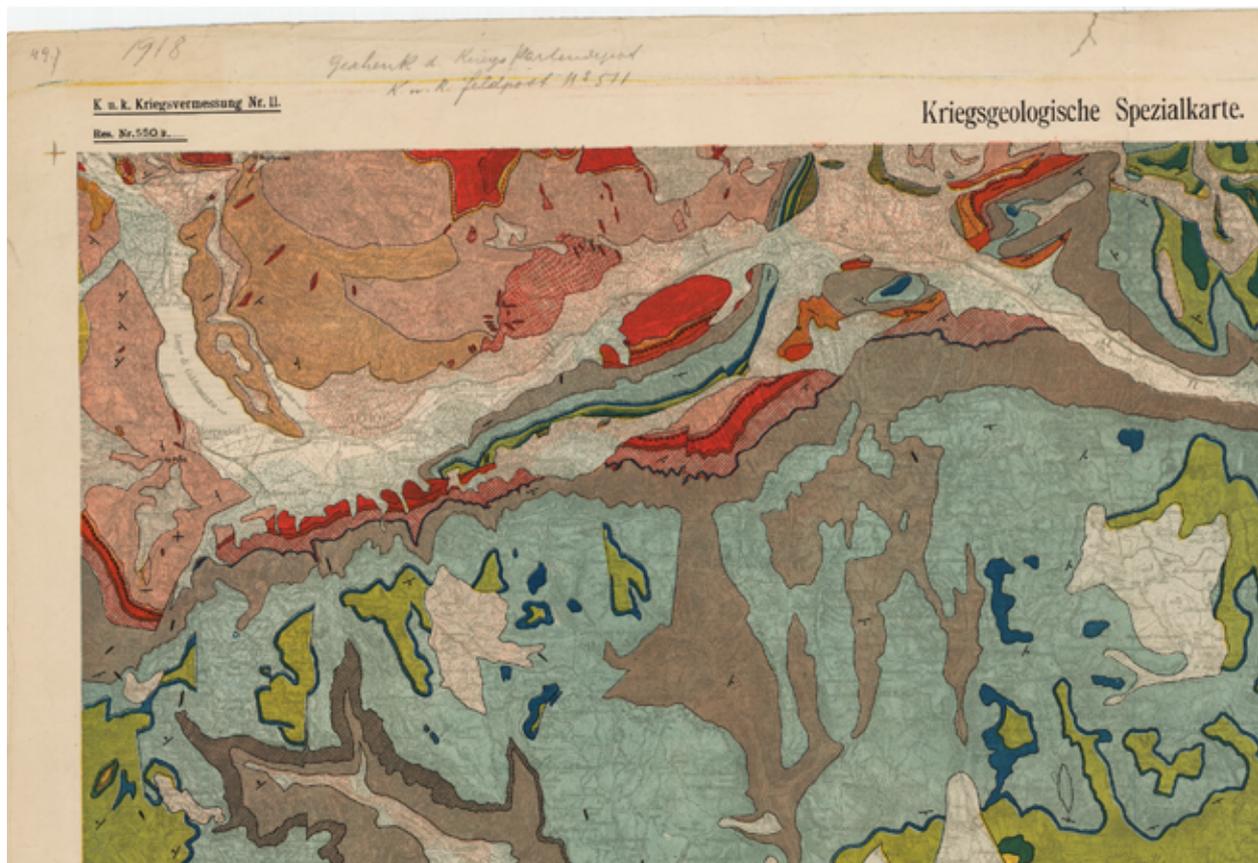


Abb. 6: Ausschnitt aus der „Kriegsgeologischen Spezialkarte“ 1 : 75.000, Bereich Caldonazzo-See und Sugana-Tal (ca. 15 km ESE Trient). 1917/18 aufgenommen von Geologen (u. a. von Pia) der k.u.k. Kriegsvermessung Nr. 11, gedruckt im Juli 1918.  
 Fig. 6: Detail from a „Kriegsgeologische Spezialkarte“ (war geologic special map) 1 : 75.000, lake Caldonazzo and Sugana valley area (about 15 km ESE from Trento). 1917/18 surveyed by geologists (inter alia von Pia) of „k.u.k. Kriegsvermessung Nr. 11“, printed in July 1918.

Gemessen am immensen Aufwand hielt sich der taktische Erfolg meist in Grenzen. Jedoch veränderten diese Sprengungen die hart umkämpften Gipfel, Kämme und Abhänge bzw. Felswände von Lagazuoi, Col di Lana, Monte Sief, Monte Cimone und Pasubio teilweise nachhaltig. Wie in den Sextener Dolomiten geräumte Stollensysteme samt ungeladenen Sprengkammern bekunden, hatten italienische Mineure noch weitere Gipfelsprengungen vorbereitet, z. B. Monte Piano (Schemfil 1998; URL 7). Infolge des Rückzugs nach der zwölften Isonzoschlacht im Spätherbst 1917 kam es glücklicherweise nicht mehr dazu. Der unterirdische Felshohlraumbau diente nicht alleine dazu, um gegnerische Stellungen an exponierten Positionen zu unterminieren und zu sprengen, sondern auch der Befestigung, dem Schutz gegen Steilfeuer und einer beschusssicheren Versorgungsführung.

Prominente Geologen berieten vor Ort ihre Truppen an der hochalpinen Südwestfront, z. B. Dr. Michele Gortani (1883-1966, nach dem Ersten Weltkrieg Professor an der Universität von Bologna), Dr. Norbert Herz (1858-1927), Dr. Julius von Pia (1887-1943), Dr. Robert Schwinner (1878-1953, Oberleutnant, nach dem Ersten Weltkrieg Professor an der Universität in Graz) und Dr. Albrecht Spitz (1883-1918, vermisst am Ortler). Die Ergebnisse der damaligen militärgeologischen Feldarbeiten („kriegsgeologische Karten 1:25.000“) konnten später in modernere geologische Karten einbezogen werden (Abbildung 6). Die geotechnischen Eigenschaften von Fest- und Lockergesteinen und deren Verfügbarkeit sowie nützliche Informationen über die Hydrogeologie wurden in separaten Anlagen zu den Kartenblättern dargestellt sowie in Kartenerläuterungen beschrieben.

Der stratigraphische Aufbau der Dolomiten umfasst Gesteinsformationen vom Perm bis zur Kreide. Die geotechnischen Eigenschaften der Gesteine variieren stark. Klastische Sedimente wie Schiefer und Sandsteine böschten weniger steil wie Karbonatgesteine (Dolomit- und Kalkstein), welche Felswände mit einigen hundert Höhenmetern bilden können. Pfade und Klettersteige nützen häufig lithologische Grenzen und Trennflächen. Während Dolomitgesteine (Hauptdolomit, Dolomia Principale) steile teilweise überhängende Felswände aufbauen, bilden die leichter verwitterbaren Kalkmergel (Raibl-Formation) flachere schmale Schultern, was die Gangbarkeit erleichterte, z. B. entlang des inmitten der Südwände des Kleinen Lagazuoi befindlichen Felsvorsprungs „Cengia Martini“.

### **5.1. Felshohlraumbau zwecks Minierkrieg**

Der Minierkrieg der Neuzeit umfasste den Vortrieb von Stollen unter die jeweils gegnerischen Stellungen bei meist gleichzeitigen Abwehrmaßnahmen durch Gegenminen. Während das Minieren ursprünglich gegen obertägige Verteidigungsbauten gerichtet war (von Hauser 1817; Landmann 1815; Villeneuve 1826), zielten Miniermaßnahmen der jüngeren Kriegsgeschichte auf gegnerische Felshohlraumbauten ab (Kutzlnigg 1899; Zimmer 1852). Jedenfalls galt es, dem Gegner unter Tage zuvor zu kommen und dessen Stollenanlagen mit so genannten Quetschminen zu zerstören, ohne die eigenen Stollensysteme zu beeinträchtigen. Gegen bereits geladene gegnerische Minen setzte man Quetschladungen ein, bei deren Sprengung dann die gegnerischen Ladungen infolge des Schlagladungseffektes ebenfalls detonierten. Mit subtilen Ablenkungsmanövern versuchten die Mineure den Gegner zu täuschen (z. B. Scheinvortrieb). Häufig wurden auch Horchstollen angelegt, um feindliche Miniertätigkeiten

zu orten. Mitunter lenkte jedoch die Brechung der Schallwellen (Bohrgeräusche, Abschläge) an stofflichen Inhomogenitäten von Schichten, z. B. tonige Zwischenlagen im gebankten Hauptdolomit, von der tatsächlichen Richtung zur Schallquelle ab. Wurde eine Gegenmine folglich zu seicht angesetzt, dann verfehlte sie den Abwehrzweck. Hinsichtlich technischer Ausstattung war die italienische Armee im Vorteil (Tabelle 2).

Der spektakuläre Minierkrieg im hochalpinen Gelände war nach dem Ersten Weltkrieg Gegenstand zahlreicher Berichte (u. a. von Brunner 1921; von Fischer-Poturzyn 1921; Heyer 1920, 1924; Krantz 1936a, 1936b; Langes 1933; Tosti 1935). Es ist bemerkenswert, dass sämtliche Gipfelsprengungen an der Tiroler Front ohne technische Pannen (Zündversagen) erfolgten. Den Berichten beider Seiten zufolge detonierten also 100% der eingesetzten Sprengmittel, womit kein Gefahrenpotential verblieb – abgesehen von diversen (teils scharfen) Kampfmittel-Relikten entlang der ehemaligen Frontlinie. Völlig anders stellte sich die Situation an der Westfront in Flandern (Belgien) dar. Unverfestigter, leicht minierbarer Ypernton (Paleogen, unterstes Eozän) baut das flache Hügelland um Messines und Wytschaete auf, wo die erstarrten Fronten ab 1915 einen Minierkrieg auslösten. Das bis zu 30 m unter der Geländeoberfläche angelegte Stollensystem aus Minen und Gegenminen war mehr als 8 km lang (Willig 2011). Als Auftakt zur dritten Flandernschlacht zündeten die Briten am 17. Juni 1917 3 Uhr 10 nahezu gleichzeitig 25 Sprengkammern, von denen 19 Minen mit einer Gesamtladungsmenge von knapp über 500 Tonnen Ammonal detonierten. Von den verbliebenen Ladungen detonierte eine im Juli 1955 nach einem Blitzschlag, weitere mindestens 61,5 Tonnen an explosiver Altlast bilden bis zur Gegenwart ein nachhaltiges Gefahrenpotential (Willig 2012, 2013).

Tab. 2: Vergleich des Stollenbaus durch österreichisch-ungarische und italienische Mineure.  
 Tab. 2: Comparison of tunnel construction by Austrian and Italian miners.

	Höhe	Breite	Ausbruch	Vortriebsleistung	Besonderheit
Italienische Stollen	1,8 m	1,8 m	Schlägel und Stößel; Brechstange; pneumatisches und elektrisches Bohren; konventionelles Sprengen	4 bis 5,6 m / Tag	meist steigender Vortrieb, gravitativ erleichtertes Schüttern
Österreichische Stollen	bis 1,5 m	bis 1,2 m	Hammer und Meißel; Brechstange; pneumatisches und elektrisches Bohren; konventionelles Sprengen	0,3 bis 1,75 m / Tag	meist fallender Vortrieb, schlechte Bewetterung, händisches Schüttern nach oben

## 6. Ausgewählte Beispiele des hochalpinen Minierkrieges

Außer den Hauptbewegungslinien durch den Raum Trient bestanden folgende alternative Vormarschlinien von der venezianischen Tiefebene in Richtung Norden:

Piave-Tal flussaufwärts durch das Cadore über den Kreuzbergpass (Passo Monte Croce di Comelico). Ampezzo-Tal (Agordino) flussaufwärts über den Tre Croci Pass über die Pässe Falzarego und Valparola (Val Badia), um Toblach im Pustertal zu erreichen. Die genannten Pässe und die umliegenden Hochebenen und Gipfel waren daher heftig umkämpft. In der näheren Umgebung des Falzarego Passes westlich von Cortina d'Ampezzo waren vier Gipfel Ziele von Sprengungen, und zwar Casteletto, Lagazuoi, Col di Lana und Monte Sief.

### 6.1. Lagazuoi (östliche Dolomiten)

Mittel- bis obertriassische Karbonatgesteine, und zwar Schlerndolomit „Gruppo dello Sciliar“, Kalkmergel (Raibl-Formation) und Hauptdolomit „Dolomia principale“ bauen das Lagazuoi-Massiv auf. Die Schichtflächen fallen flach nach NNW ein und sind von einem engscharigen Kluftsystem ohne Vorzugsrichtung durchzogen. Ein verzweigtes System an Laufgräben, gedeckten Gängen und Stollen, Stellungen und Feldlagern durchörterte die Gipfel und Vorberge des Lagazuoi (Abbildung 7).

Der Felsabtrag bzw. Vortrieb erfolgte teils händisch, meist jedoch mittels Pneumatikhämmern (Schlagbohrmaschinen). Aufgrund dieser günstigen Lithologie und Struktur (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. Die Vortriebsleistungen betragen durchschnittlich 1 Meter pro Tag (Striffler 1993). 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 (geologisch bedingte Überprofile) berichtet, noch zeigen die Stollenlaibungen Hinweise auf voluminöse Nachbrüche. Dies dokumentiert die hervorragende Standfestigkeit der örtlichen Dolomitgesteine (Schramm 2006b).

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.

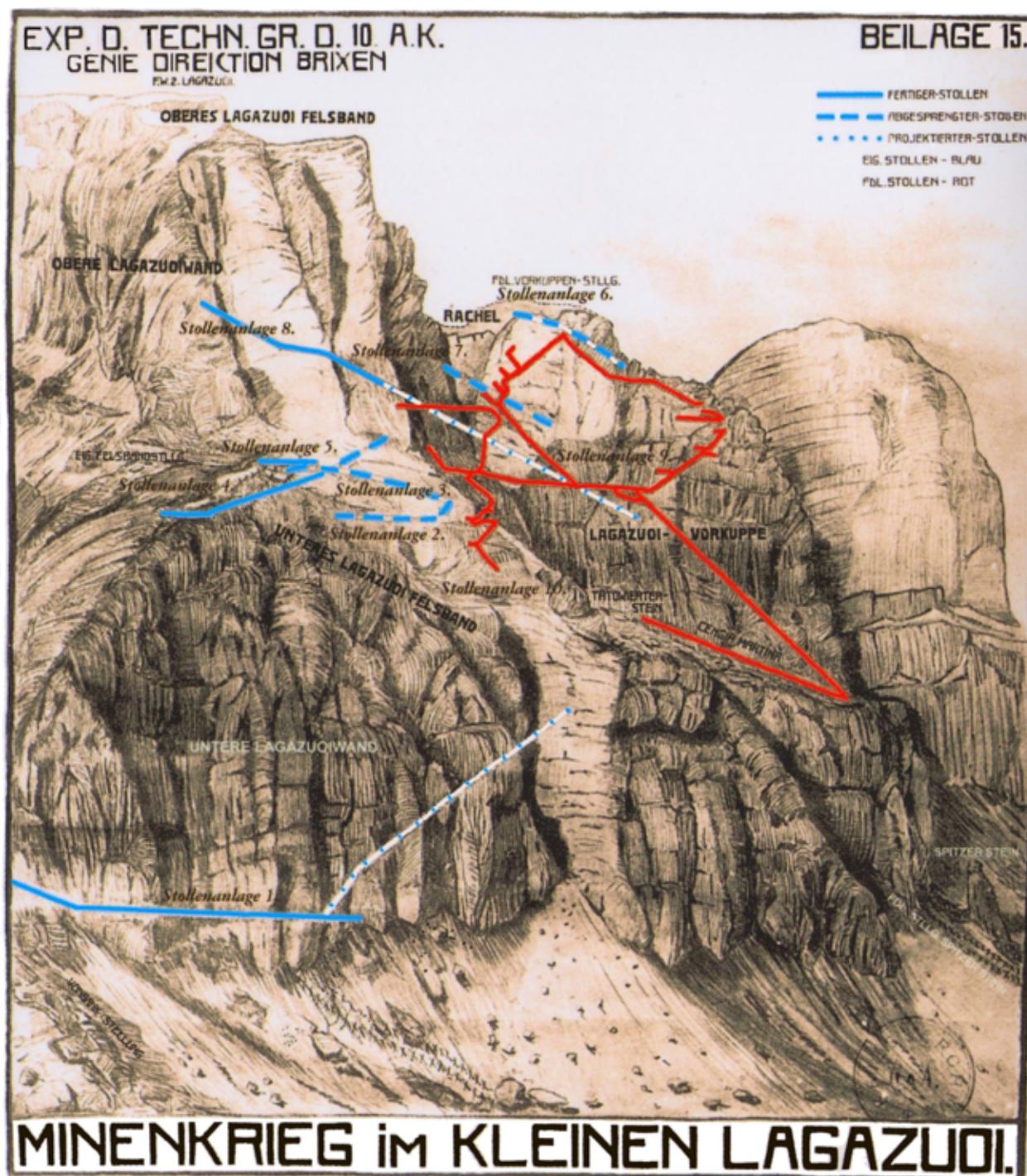


Abb. 7: Schematische Übersichtsskizze zum Stollenbau im Lagazuoi (1916-1917).  
 Blau = Österreichische Stollen. Rot = Italienische Stollen. Bildquelle: Österreichisches Kriegsarchiv, Wien.  
 Tab. 7: Schematic sketch of the tunneling operations within Piccolo Lagazuoi (1916-1917).  
 Blue = Austrian galleries. Red = Italian galleries. Source: Austrian War Archives, Vienna.



Abb. 8: Südwand und Wandfuß des Kleinen Lagazuoi (Blick vom Falzarego Pass nach Nord-west). Die beiden durch Minenexplosionen verursachten Schuttkegel beinhalten 200.000 m<sup>3</sup> (Schramm 2011a). Etwa in mittlerer Wandhöhe befindet sich ein ostwärts absinkendes Felsband, die von einem italienischen Vorposten besetzte „Cengia Martini“. Foto: Schramm.

Fig. 8: Actual situation at Falzarego pass (view to northwest). Debris cones of totally 200,000 cubic metres, generated by mine explosions (Schramm 2011a). Note the ledge “Cengia Martini”, location of an Italian outpost in the middle of the southern rock face. Foto: Schramm.

Zur Vorbereitung der dritten österreichischen Minensprengung mussten rund 93 Meter Stollen (1,8 m hoch, 0,8 m breit) 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 Verband gelöst. Die Gesteinsmasse wurde auf

Block-, Stein- bis Kiesgröße (> 2 mm) zerlegt und bildet die nördlich des Falzarego Passes erkennbaren riesigen Schuttkegel (Abbildung 8). 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 hier zwei Jahre in hochalpinem Gelände und hatten nicht nur gegeneinander zu kämpfen, sondern auch gegen die extremen Witterungsverhältnisse, zumal im Winter 1916/1917 insgesamt 12 Meter Schnee fielen und die Temperaturen bis zu -30°C erreichten. Gegen solche Bedingungen konnte nur eine Eliteeinheit bestehen, wie die Kaiserjäger-Streifkompagnie Nr. 6 mit ihrem Kompaniekommandanten Hauptmann Carl Raschin (188?-1952), Edler von Raschinfels, hier diente u. a. auch Luis Trenker (1892-1990)!

Striffler (1993) zitiert aus einem ärztlichen Bericht zu den Minierarbeiten: „Bei Sappeurkompagnien, welche längere Zeit im Minendienst standen, wurde ein abnorm großer Abgang an Kranken wahrgenommen. Die genaue, längere Zeit dauernde ärztliche Beobachtung stellte hauptsächlich Erkrankungen der Nieren, des Herzens und der Nerven fest. Die zwei erstgenannten Erkrankungen sind auf Mangel an Sauerstoff, großen Durst und schwere physische Arbeit in konstant gebückter Stellung zurückzuführen. Als Folge der Herzschwäche, dann der Angst, von einer feindlichen Mine eingequetscht zu werden, tritt eine große Nervosität ein. Sie wurde selbst bei kaltblütigen, kriegsgewohnten Leuten beobachtet. Diese Erkrankungen wurden auch durch Fieberscheinungen begleitet, so wurden bei einem 48 Mann starken Sappeurzug 29 Mann mit Fieber von 37,8 konstatiert. Die Nervosität teilt sich auch den Offizieren mit“.

Der Blick vom Lagazuoi nach SW zeigt den 20 m tiefen Krater der Lagazuoi-Vorkuppe, erzielt mit 33 Tonnen Sprengstoff (italienische Minensprengung am 20. Juni 1917). Man achte auf die Alpinistengruppe am Grat als Größenmaßstab (Abbildung 9).



verwunderlich, dass bald nach der Kriegserklärung Italiens an Österreich-Ungarn ein zähes und blutiges Ringen um diesen Kampfabschnitt erfolgte.

Abb. 9: Blick zur Lagazuoi-Vorkuppe mit Sprengkrater (italienische Sprengung). Blickrichtung SE. Foto: Schramm.

Fig. 9: View to pre-summit of Piccolo Lagazuoi (Italian blasting operation, 1917-06-20). Foto: Schramm.

## 6.2. Col di Lana und Monte Sief (Zentrale Dolomiten)

Westlich des Falzarego Passes befinden sich die hart umkämpften Gipfel des Col di Lana (2464 m) und Monte Sief (2424 m), an denen insgesamt fünf Sprengungen vorgenommen wurden. Mitteltriadische vulkanische Gesteine mit Hyaloklastiten und Pillowlaven bauen die Gipfelregion des Col di Lana auf. Der Monte Sief besteht aus Konglomeraten, Sandsteinen und Tuffen (La Valle Formation, Mitteltrias). Die vorherrschenden geologischen Strukturen fallen flach nach Norden ein (in Abbildung 10 rechts). Diese geomechanisch wirksamen Trennflächen verursachten die deutlich sichtbare Asymmetrie des 35 m tiefen Sprengkraters zwischen dem Knotz und dem Monte Sief.

Von allen Kampfgebieten im Ersten Weltkrieg galt der Col di Lana als einer der heiß umkämpften Schauplätze, weil er infolge seiner vorgeschobenen Lage das umliegende Kampfgebiet vollkommen beherrschte, dem Gegner jede Einsicht in die nördlich gelegenen Kampfabschnitte verwehrte und dadurch unmittelbar ein gewaltsames Vordringen in das Pustertal, das als die große Schlagader der Südtiroler Front bezeichnet wurde, erheblich erschwerte. Daher ist es nicht weiter



Abb. 10: Col di Lana (links, 2 Sprengungen), Knotz (Mitte rechts) und Monte Sief (rechts, 3 Sprengungen), Blickrichtung SSW. Die Asymmetrie des durch 3 Sprengungen zwischen Knotz und Monte Sief entstandenen Kraters ist von den nordfallenden Trennflächen geprägt. Foto: Angetter.

Fig. 10: Col di Lana (left, 2 blasting operations), Knotz (center right) and Monte Sief (right, 3 blasting operations), view to SSW. The north dipping bedding planes shaped the asymmetry of the crater between Knotz and Monte Sief, caused by 3 blasting operations.

Der deutsche Militärgeologe Kranz (1936a) fasste in seiner Studie über „Feldminierkampf und Kriegsgeologie“ österreichische und italienische Unterlagen zu Skizzen über die Gipfelsprengungen des Monte Sief (Abbildung 11) und Col di Lana (Abbildung 12) zusammen.

Im Juni 1915 verteidigten zunächst österreichische Gendarmen den Col di Lana gegen die ersten italienischen Angriffe, unterstützt wurden sie dann von Tiroler Standschützen, österreichischen Landstürmern und bayerischen Pionieren. Vorerst blieben die Angriffe der 12 italienischen Infanterie- und 14 Alpini-Kompanien erfolglos, im Herbst wurden jedoch die Angriffe und Gefechte heftiger. Mittlerweile waren die bayerischen Truppen wieder abgezogen und Tiroler Kaiserjäger sowie Kaiserschützen an diesen Frontabschnitt versetzt. Doch der Vormarsch der italienischen Truppen war nicht zu stoppen. Sie nahmen die österreichischen Stellungen und Feldwachen rund um den Gipfel ein und erschwerten die

Nachschubversorgung für die k.u.k. Truppen, welche nur mehr über den Monte Sief möglich war. Nachdem der italienische Pionierleutnant Don Gelasio Caetani (1877-1934) einen Plan zur Unterminierung des Col di Lana ausgearbeitet hatte, begannen im Dezember 1915 die nötigen Arbeiten. Um die Grabungsarbeiten geheim zu halten, wurde zunächst auf Bohrmaschinen verzichtet. Mittels Handbohrer, Meißel, und Schlegel schufeten jeweils nur zwei Mann in den engen Stollen und errichteten ein dichtes Netz von unterirdischen Gängen. Erst im März 1915 registrierten die österreichischen Truppen das italienische Vorhaben, entwickelten aus der Not heraus Gegenmaßnahmen und gruben aus einer Gipfelkaverne heraus einen Gegenstollen (Angetter 2009). Striffler (1996) beschreibt den Arbeitsablauf beim Minieren im Col di Lana nach italienischen Rapporten:  
*„Gearbeitet wurde mit vier Schichten zu acht Stunden rund um die Uhr ... Die Soldaten ... wurden mit gestaffelten Prämien für alles über 80 Zentimeter*

je Tag ... angespornt. ... So gingen die Mineure im Col di Lana den Stein mit Schlegel und Stößel, mit der Brechstange, bei weniger hartem Gestein mit einem Handbohrer an. Die Tiefe der Bohrungen für die Sprengpatronen betrug 80 Zentimeter. Der ausgesprengte Abraum wurde mit sogenannten Minenhunden [sic! Bergmannssprache: Hunt = kastenförmiger offener Förderwagen] nach außen transportiert. Für frische Luft sorgte ein von Hand betriebener Ventilator, der viel leiser war als ein elektrischer. ...“

Am 12. April 1916 war der italienische Stollen fertiggestellt, inklusive aller Abzweigungen 105 m lang. Der Angriff war bis ins Detail geplant: Von den umliegenden italienisch besetzten Bergen wurde der Col di Lana tagelang heftig beschossen. In der Nacht vom 15. auf den 16. April wurden die beiden Minenkammern mit 5.000 kg Nitrogelatine, je 100 Rollen Schießbaumwolle und je 100 Sprengkapseln geladen und die Sprengkammern durch Sandsäcke und Eisenträger verdammt. Unmittelbar nach der Sprengung sollten über den Zweigstollen „Trieste“ zwei Kompanien den Gipfel erstürmen und einnehmen.

Die österreichischen Truppen konnten den Zeitpunkt des Angriffs nur erahnen, vom Divisionskommando erging allerdings der Befehl „Der Col di Lana ist unter allen Umständen bis auf den letzten Mann zu halten.“ Um 22 Uhr 30 des 17. Aprils meldete ein österreichischer Unteroffizier das Vorrücken der italienischen Soldaten. Oberleutnant Anton Tschurtschenthaler von Helmheim

(1888-1967) ließ die Hälfte seiner Kompanie in die Kaverne zurückgehen, zwei Züge verblieben in der Stellung. Eine Stunde später zündeten die Italiener die Sprengladung: Da spaltete sich der Berg und Flammen schossen empor. Etwa zehntausend Tonnen Fels wurden hochgeschleudert, dazwischen Soldaten zerfetzt. Die mittlere Auswurfweite von großem Blockwerk betrug knapp 200 Meter, kleinere Blöcke und Steine flogen bis zu 500 Meter weit. In der Kaverne wurden die Kaiserjäger ebenfalls durcheinander geworfen, während von außen italienische Sturmtruppen über den Zweigstollen „Trieste“ angriffen und die Posten des linken Flügels der österreichischen Kompanie, der von der Sprengung noch verschont geblieben war, überrannten, bis die Österreicher kapitulierten. Etwa 200 Soldaten waren der Sprengung und dem nachfolgenden Gefecht zum Opfer gefallen, der Rest der österreichischen Kompanie ging in Gefangenschaft.

Tschurtschenthaler berichtete über die Sprengung Folgendes: „... Der Berg erzitterte, als wollte er in sich selbst zusammenstürzen. Alles sprang auf, wollte zum Ausgang, doch umsonst – Felsblöcke und sonstiges Material verlegte den niederen Eingang – wir waren eingesperrt. Durch das kleine, noch offengebliebene Loch vernahmen wir das Poltern und Krachen der noch immer kollernden Steine und Schuttmassen, den Höllenlärm des im Moment der Sprengung einsetzenden feindlichen Trommel-feuers sowie Wehklagen und Hilferufe gräßlich verstümmelter, ... Mannschaften. ...“

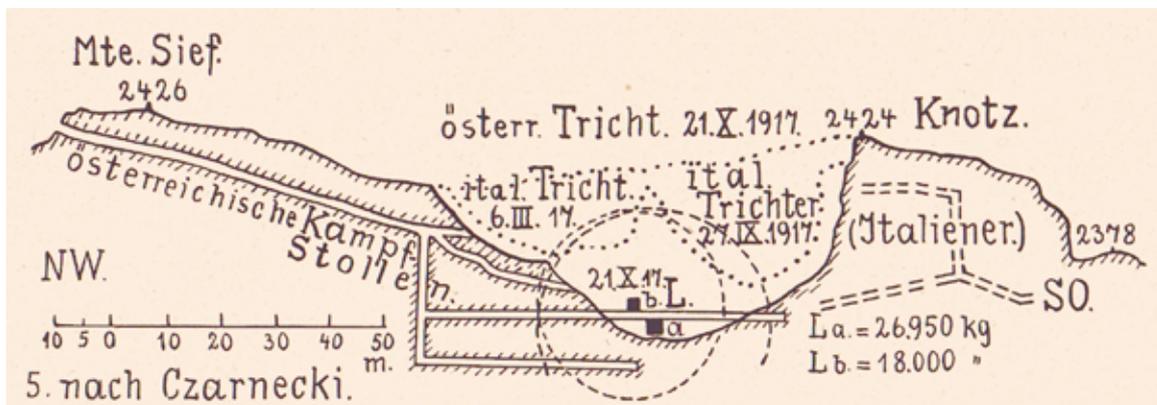


Abb. 11: Schnitt Monte Sief – Knotz mit ursprünglicher Geländeoberfläche, Stollen, Ladekammern und Kratern (Krantz 1936a). Nota bene: hier gegensätzliche Blickrichtung wie in Abb. 8, also nach NE.

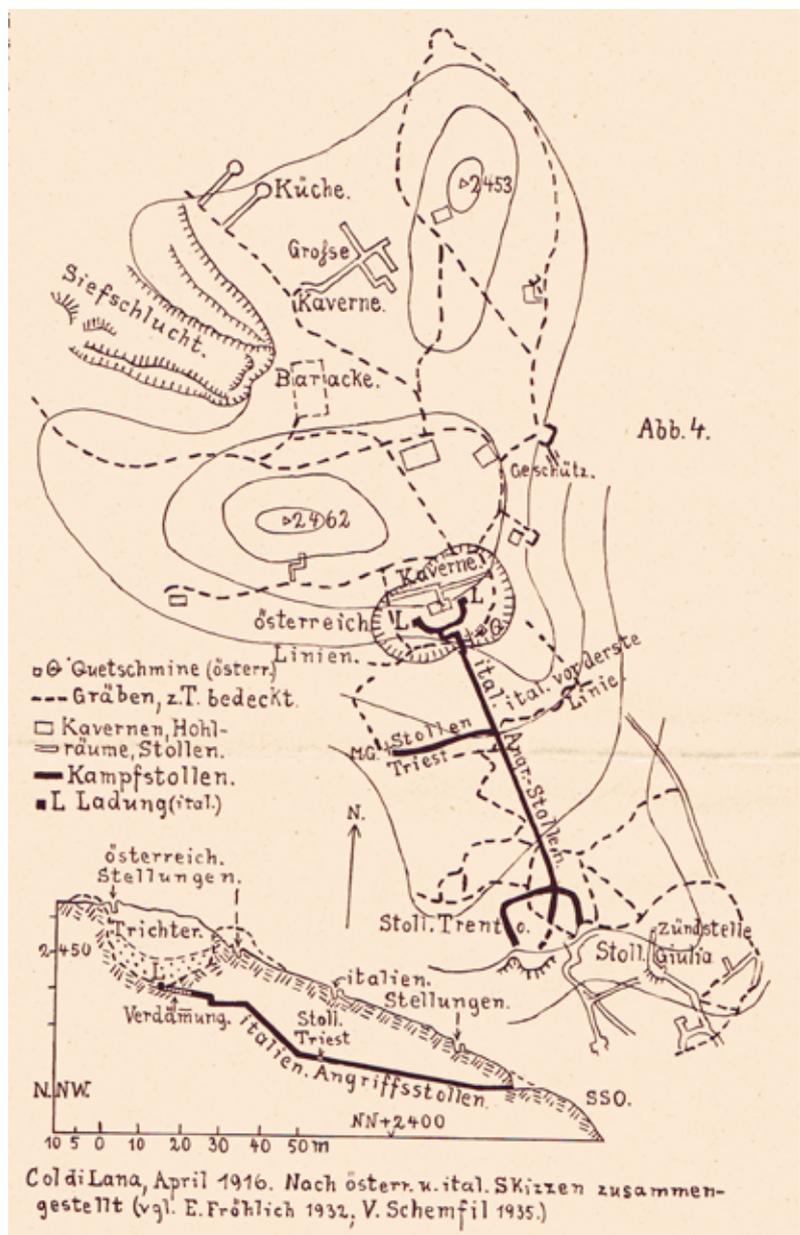
Fig. 11: Cross section Monte Sief – Knotz with original terrain surface, galleries, explosion chambers and craters (Krantz 1936a). nota bene: here opposing view direction as shown in figure 8, towards NE.

Nach der Sprengung rückten die Italiener auf den Gipfel vor, Kaiserschützen und Kaiserjäger konnten jedoch noch den benachbarten Monte Sief halten. Dieser wurde am 16. März 1917 von den Italienern gesprengt, jedoch ohne jegliche Auswirkungen auf den Frontverlauf und auch ohne Verluste. Am 27. September 1917 erfolgte eine zweite ebenso erfolglose Minenzündung seitens der Italiener, am 21. Oktober desselben Jahres sprengten die österreichischen Soldaten mit ungefähr 45.000 kg Sprengstoff den Verbindungsgrat zwischen Monte Sief und Col di Lana. Auch dieser Angriffsversuch brachte keinen Frontwechsel. Anfang November 1917 zogen sich die

Italiener aufgrund der zwölften Isonzoschlacht zurück (Angetter 2009).

Tschurtschenthaler (1957) resümiert: „Die Sprengung des Col di Lana war für die Italiener rein technisch unleugbar ein wesentlicher Erfolg, ein Ereignis, das im ganzen Königreich beredten Widerhall fand. Taktisch-strategisch aber blieb die Einnahme des Berges ohne wesentliche Bedeutung, weil die Italiener sich überraschenderweise mit dem rein örtlichen Gewinn zufrieden gaben, anstatt über die zweite, nur schwach befestigte Linie vorzustoßen und damit zu dem Erreichen des weitgesteckten Operationszieles beizutragen.“

Abb. 12: Skizze und Schnitt der Stollenanlagen am Col di Lana (Krantz 1936a).  
Fig. 12: Sketch map and cross section of the galleries at Col di Lana (Krantz 1936a).



### 6.3. Marmolada (westliche Dolomiten)

Bereits kurz nach dem Eintritt Italiens in den Ersten Weltkrieg kam es auf der Marmolada zunächst zu kleineren Gefechten. Die Marmolada galt grundsätzlich während des gesamten Krieges eher als Nebenschauplatz, dennoch waren die Österreicher bestrebt, diesen Frontabschnitt auszubauen, strategische Positionen zu besetzen und die Front gegen die Italiener zu halten. Demzufolge begannen auch die Italiener ihrerseits mit dem Ausbau von Befestigungen, konnten die österreichischen Truppen 1916 erfolgreich zurückdrängen und eroberten den Serrautakamm. In dieser bedrängten Situation fasste der Tiroler Spitzenalpinist und Kaiserjägeroffizier Oberleutnant Dipl.-Ing. Leo Handl (1887-1966) den Plan, den gesamten Marmoladagletscher 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. Die Idee dazu hatte er im Mai 1916, als er gemeinsam mit den Männern seiner Bergführerkompanie vor dem italienischen Beschuss Schutz in einer Gletscherspalte suchte.

*„Es war Ende Mai. Ich war mit sechs Sappeuren in Abständen am Weg nach ‚S‘ – so hieß diese Stellung -, bald springend, bald kriechend kamen wir langsam näher; wütend bellten die Maschinengewehre, sie hatten unsere Schatten bemerkt. Ich wich vom Weg ab – wir hatten Schneereifen angelegt – und gelangte an den Rand des Bergschrundes. Am Seil ging's etwa 15 Meter in die Tiefe auf eine gute Brücke. ... Von hier aus ein Eistunnel 150 m lang – bis ‚S‘ und die Stellung war uneinnehmbar, so schoß es mir durch den Kopf.“*

Zunächst fertigte Handl eine Handskizze des Gebietes im Maßstab 1 : 75.000 an, in die er den Verlauf der Eisstollen einzeichnete. Diese waren über 8 km lang und wiesen einen Höhenunterschied von über 1.000 m auf. Danach seilten sich Soldaten möglichst tief in die Gletscherspalten ab und erkundeten, ob das Innere des Berges für den Bau von Eisstollen geeignet sei. Daraufhin wurde ein kartographisches Messtischblatt der k.u.k. Kriegsvermessungsabteilung präzise mit dem Verlauf der Eisstollen versehen, analog dazu Höhenprofile/Schnitte kartographisch angelegt. Damit konnten die eigentlichen Arbeiten beginnen.



Abb. 13: Einfache Grabwerkzeuge zur Errichtung der Eisstollen (Angetter 2009).

Fig. 13: Simple digging tools for the construction of ice galleries (Angetter 2009).

Unter enormen Kraftaufwand und mit einfachen Werkzeugen, darunter Hohlbohrer, Meißel, Stemm-eisen, Spitzhacken, wurden im Gletscher-eis Gräben, Stollen und Kavernen errichtet (Abbildung 13). Die Soldaten standen oft wochenlang knietief im Eisaushub, es herrschte extreme Kälte und nahezu absolute Finsternis. Jedes einzelne Arbeitsgerät, alle Werkzeuge, Holzbretter für die Inneneinrichtung usw. mussten unter schwierigsten Bedingungen von den Tälern hinauf transportiert werden. Versuche, die Stollen mittels Sprenggasen auszuhöhlen, mussten rasch wieder aufgegeben werden, da die Sprenggase die eigenen Soldaten vergifteten.

Darüber hinaus bestand die Gefahr, dass die Sprengeräusche dem Gegner die Lage der Stollen verrieten. Errichtet wurden Unterkunfts- und Versorgungsstollen genauso wie Kavernen für Geschütze (Abbildung 14) sowie Kampfstollen, aus denen heraus man den Feind im Nahkampf

zu bezwingen hoffte. Zur Tarnung wurden echte und unechte Eingänge errichtet, die Nachschubversorgung erfolgte ausschließlich nachts.

Striffler (1988) zitiert einen Bericht des Pionier-Oberleutnants Julius Plaichinger (1892-19??) über die Folgen der Lagerung von Sprengmitteln in Eiskavernen: „Die Sprengmunition – Dynamon P – leidet durch den Transport und die Deponierung im Eis durch Feuchtigkeit derart, daß nur ein kleiner Teil der Ladung ganz zu Explosion gelangt; der andere zerstäubt oder vergast vollkommen. Nach jeder Sprengung muß ein bis zwei Stunden gewartet werden, bis sich die Explosionsgase verzogen haben ...“

Das Leben innerhalb des Gletschers gebot höchste Vorsicht. Jeder Schritt entlang der Abbrüche oder entlang der Gletscherbäche verlangte größte Aufmerksamkeit. Zahlreiche Soldaten stürzten von den eisigen Steigen, Rinnen, Holzbrücken und Leitern ab oder verirrteten sich im Spaltengewirr (Abbildung 15). Sonderpatrouillen mussten das Eis Tag und Nacht beobachten, denn dieses bewegte sich fortwährend und verschob



Abb. 14: Im Inneren des Marmoladagletschers, Geschützkaverne im Bereich U-Nord. Fotoquelle: Österreichische Nationalbibliothek, Bildarchiv.  
Fig. 14: Inside the glacier of Marmolada, gun cavern at U-North. Source: Austrian National Library, Picture Archives.

Kavernen, Wege und Steiganlagen. Genaue Untersuchungen und Beobachtungen dokumentierten, wo und wie rasch sich Risse und Spalten im Eis bildeten oder ob die Gefahr unvermuteter Wassereintritte bestand, denn die Stollen verliefen bis zu 40 Meter unter der Eisoberfläche. 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. Trotz der feuchten und unbequemen Umgebung stieg die Überlebenschance jedoch beträchtlich, zumal die Soldaten vor dem feindlichen Artilleriefeuer, aber auch vor Lawinen sicher waren.

Leo Handl initiierte mit dem Bau der Eisstollen den Beginn der modernen Glaziologie. Die im Marmoladagletscher beim Eisstollenbau gewonnenen Erfahrungen wurden auch in anderen vereisten Frontabschnitten (u. a. Ortler, Lares-Gletscher und Adamello-Presanella) angewandt. Diese Eisstollen waren bis zu 24 km lang, wiesen mitunter Höhenunterschiede von 1.000 m auf und zählten zu den längsten Eisstollen, die jemals errichtet worden waren (Angetter 2004, 2012).

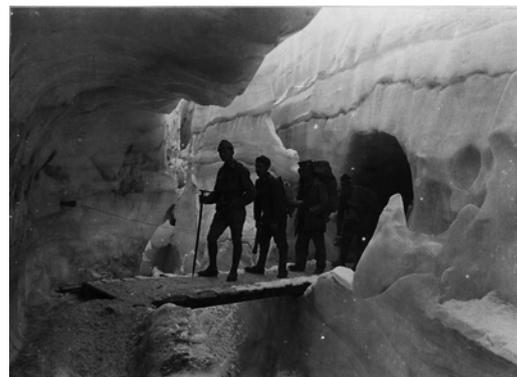


Abb. 15: Im Inneren des Marmoladagletschers, U-Stollen mit Brücke (Angetter 2009). Fotoquelle: Österreichische Nationalbibliothek, Bildarchiv.  
Fig. 15: Inside the glacier of Marmolada, U-gallery with footbridge (Angetter 2009). Source: Austrian National Library, Picture Archives.

#### 6.4. Monte Cimone (Vizentiner Alpen)

In den Vizentiner Alpen etwa 10 km nördlich der venezianischen Tiefebene liegt die Ortschaft Arsiero am Tesina Fluss (Valdastico). Unmittelbar nördlich bauen jurassische Kalksteine der „Calcari grigi“ Formation den schmalen Kamm des Monte Cimone (1230 m) auf und setzen sich zum Plateau von Tonezza (durchschnittlich 990 m hoch gelegen) fort. Diese geschichteten feinkörnigen Kalksteine mit Dezimeterbänken fallen flach nach Norden ein und weisen eine geringe Klüftung ohne Vorzugsrichtung auf. Anhand zahlreicher Felshohlraumbauten zeigte sich beste Standfestigkeit, an den Ulmen und der Firste waren keine Sicherungs- und Stützmaßnahmen nötig. Mit Ausnahme örtlicher Tropfstellen gab es oberflächennah keine nennenswerten Wassereintritte (Krantz 1936a).

Nach der Eroberung des Cimone-Gipfels durch italienische Truppen am 23. Juli 1916 musste dieser wichtige Beobachtungspunkt rasch zurückgewonnen werden. Da eine konventionelle

Operation mit Infanterie und Artillerieunterstützung auf Grund der topographischen Verhältnisse kaum Erfolg versprach, wurde der Sappeur-Oberleutnant Albin Mlaker (1890-1946) beauftragt, den Gipfel zu sprengen (Striffler 2001).

Innerhalb von knapp drei Wochen wurde die Stollenanlage zunächst händisch (!), später mit konventionellen Mitteln vorgetrieben. Mit unterschiedlichen Bohrladungen in einem Haupt- und Nebenstollen wurde der Gegner getäuscht, weshalb eine italienische Gegenmine mit einer Quetschladung fehlschlug. 10 m unterhalb der italienischen Stellung wurden die Sprengkammern angelegt, mit 14.200 kg geladen und verdammt (Abbildung 16).

Nach der Zündung am 23. September 1916 (5 Uhr 45) entstand ein asymmetrischer Trichter mit 20 m Durchmesser. Zentnerschwere Blöcke flogen etwa 300 m und trafen auch österreichische Stellungen. Die italienische Gipfelstellung wurde vollständig zerstört. Die Opferbilanz war mit 1.137 Mann enorm, zumal eine angebotene

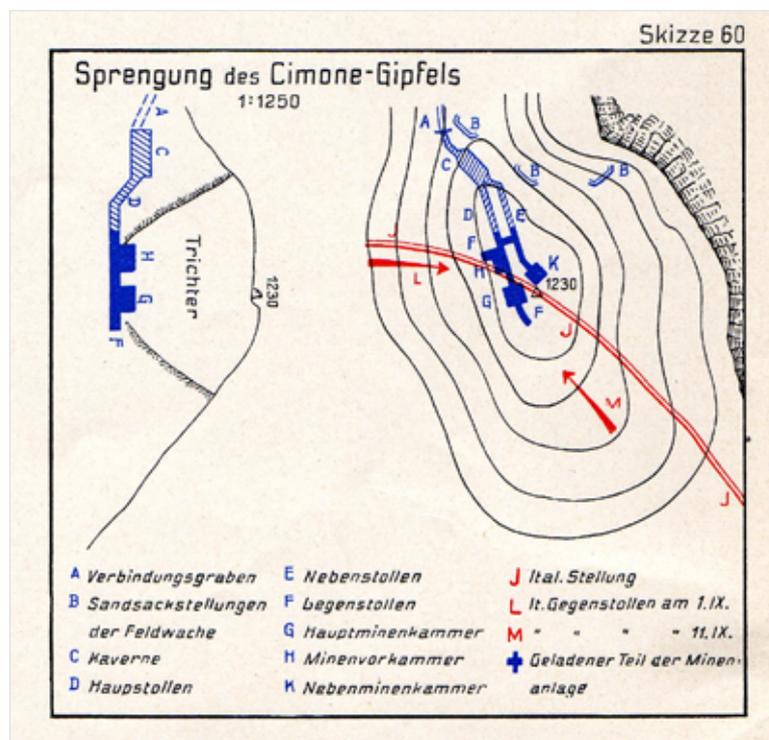


Abb. 16: Lageskizze und Schnitt des Monte Cimone. Stollenanlagen und Sprengkammern nach Mlaker (v. Hoen 1931).

Fig. 16: Sketch map and cross section of Monte Cimone. Galleries and blasting chambers after Mlaker (v. Hoen 1931).



Abb. 17: Erfolgsmeldung von der Cimone-Gipfelsprengung. Ausschnitt aus der Sonntags-Ausgabe der Innsbrucker Nachrichten vom 24. September 1916 (63. Jahrgang, Nr. 442).  
 Fig. 17: Cheering message of Cimone summit blasting operation. Detail of Sunday edition of Innsbrucker Nachrichten of 24 September 1916 (63rd Year's issues, No. 442).

Waffenruhe zur Bergung der Verschütteten von italienischer Seite nicht nur abgelehnt wurde, sondern sich die Verluste durch schweres italienisches Artilleriefeuer auf den Sprengkrater nochmals erhöhten. Nach Erstürmung durch Soldaten des Infanterieregiments Nr. 59 „Erzherzog Rainer“ blieb der Cimonegipfel bis Kriegsende in österreichischer Hand.

Aus taktischer Sicht war die Sprengung ein voller Erfolg (Abbildung 17), sprengtechnisch wurde kritisiert, dass der eigentliche Gipfel durch die Sprengung nicht berührt wurde (Abbildung 18) und die Mine zu stark überladen war. Eine schwächere Ladung hätte denselben Trichtereffekt erzielt, ohne die österreichischen Stellungen zu gefährden (Hueber 1936).

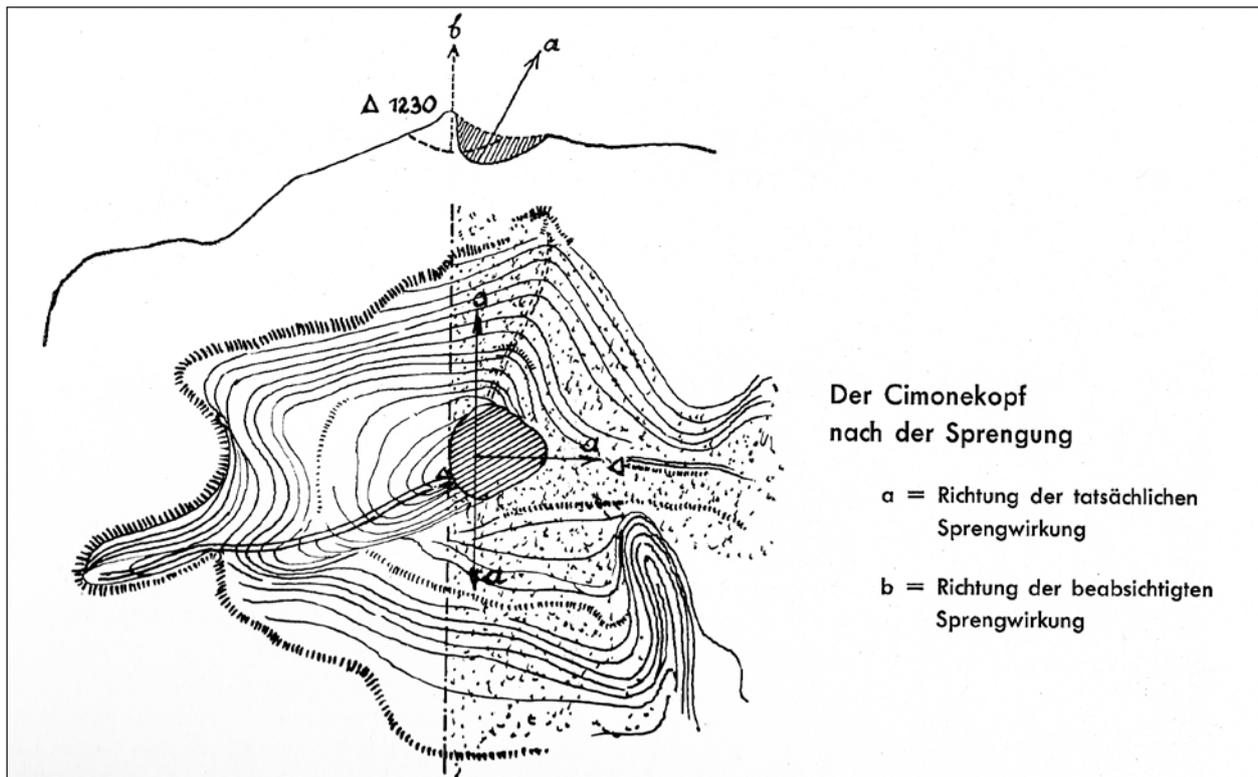


Abb. 18: Beabsichtigte und tatsächliche Sprengwirkung am Cimonegipfel (Hueber 1936).  
Fig. 18: Intended and actual explosive effect on Cimone peak (Hueber 1936).

### 6.5. Pasubio (Vizentiner Alpen)

Nahe der alten Reichsgrenze befindet sich nördlich der Straße von Rovereto nach Schio der Monte Pasubio (2236 m). Zwischen dem Pasubiokopf (Dente d'Italia) und der Pasubio-Platte (Dente Austriaco) liegt die Einsattelung zum Eselsrücken (Seletta). Mittel- bis obertriassische Dolomitgesteine (Kassianer Dolomit), tonige Mergelkalke (Raibl Formation) und Hauptdolomit (Dolomia principale) bauen diesen Höhenzug auf. Die meist dickbankigen Schichten enthalten häufig tonig-mergelige Zwischenlagen und fallen flach (um 20°) nach Norden ein. Die Bankungsflächen teilen zusammen mit steilstehenden weitständigen Kluftsyste men das Dolomitgestein in regelmäßige Blöcke und begünstigen die Verwitterung bis wenige Meter unter der Oberfläche. Im Berginneren verhalten sich die Dolomite als standfest, Ulmen und Firste von Stollen halten ohne Sicherungsmaßnahmen und Stützmittel – auch nach mehr als neun Jahrzehnten. Infolge der Kluftsyste me mit hohem Durchtrennungsgrad sind die Gesteine wasser durchlässig, somit

in jenen Bereichen trocken, wo Miniarbeiten erfolgten (Kranz 1936b). Der Pasubiokopf war in italienischer Hand, der Eselsrücken lag als Niemandsland zwischen den Fronten, die Pasubioplatte wurde von Soldaten der Kaiserjägerdivision gehalten. Ab November 1916 wurden zur Abwehr und zwecks Einleitung eines Angriffs Miniarbeiten gegen den Pasubiokopf begonnen. Dort existierte bereits ein verzweigtes italienisches Stollen system (Abbildung 19). Während des strengen Winters wurden auch Schneestollen, besonders beim Eselsrücken, vorgetrieben. Mehrere Sprengungen von Minen und Gegenminen forderten bei geringem Sachschaden vor allem Verluste nach Vergiftung durch rasch eindringende Explosionsgase, insbesondere nach der österreichischen Sprengung am 29. September 1917, 0 Uhr 30. 32 Mann kamen sofort um, bei den anschließenden Rettungsmaßnahmen weitere 61 durch Gasvergiftung. Es dauerte 14 Stunden, bis sich die Sprenggase soweit verflüchtigt hatten, dass die

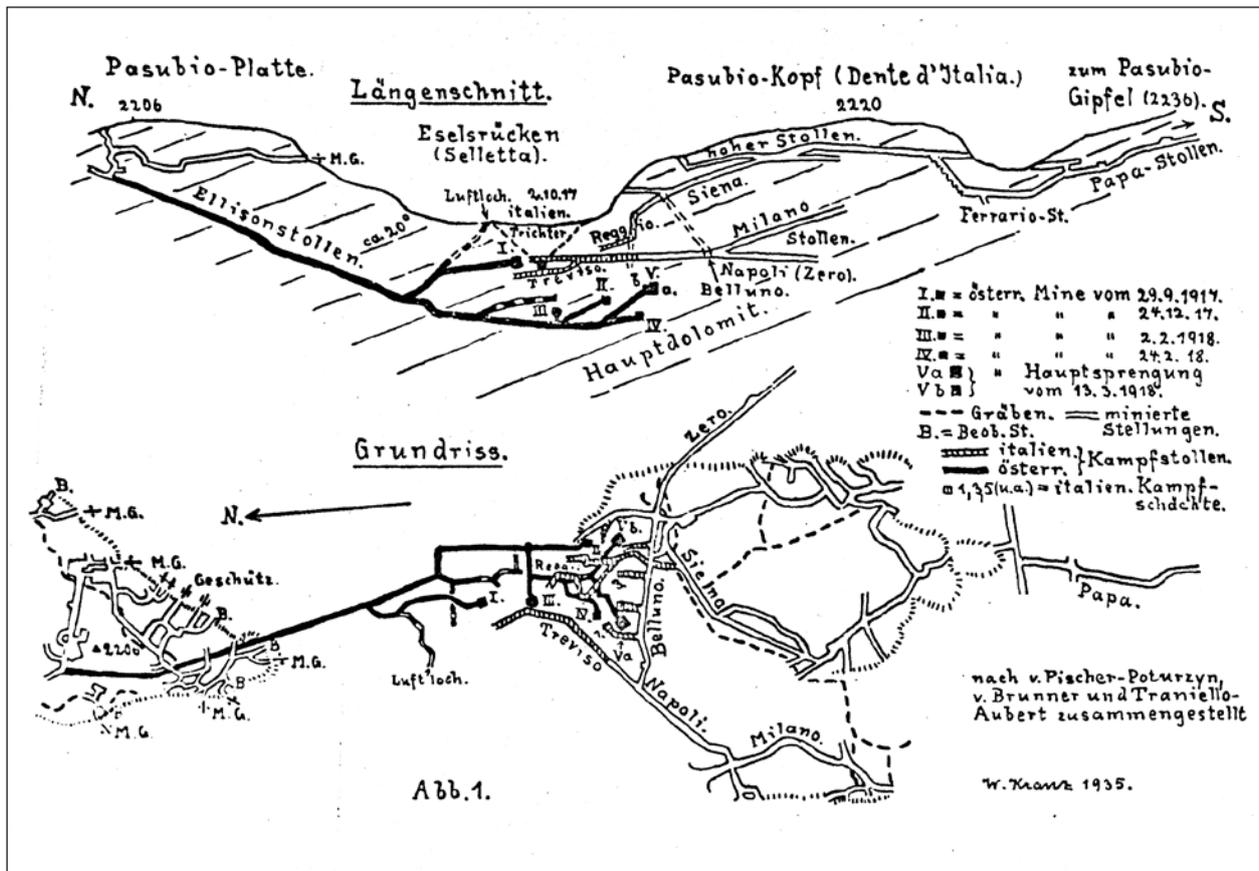


Abb. 19: Lageskizze und Schnitt der Minierstollensysteme auf dem Pasubiokopf, Eselsrücken und der Pasubioplatte (Kranz 1936b).  
 Fig. 19: Sketch map and section of mining galleries at Dente d'Italia, Seletta and Dente Austriaco (Kranz 1936b).

Minierarbeiten wieder aufgenommen werden konnten (Schemfil 1984). Das Heranbringen und die Zwischenlagerung der Sprengmittel, insbesondere für die österreichische Sprengung am 13. März 1918 (4 Uhr 30), war eine logistische Herausforderung. Der gestaffelte Antransport von rund 50 Tonnen durch Trägerkolonnen (40 kg je Mann) und Seilbahnen dauerte sieben Tage und wurde durch Schneestürme schwer beeinträchtigt. Das eigentliche Laden der Minenkammern erfolgte durch etwa 270 Stollenmeter bei 50m Höhenunterschied binnen 26 Stunden, die ostwärtige Kammer wurde mit 20.000 kg bestückt, die westliche mit 30.000 kg. Jede Ladung bestand zu 80% aus Dynamon und 20% Chlorat. Zur Verdämmung wurden 27,6 m Sandsäcke geschichtet und zwei dazwischenliegende Betonmauern errichtet. Als Zündsystem

dienten eine doppelte Zündleitung und eine achtfache Knallzündschnurleitung. Sämtliche Vorbereitungen wurden etwa zehn Stunden vor der größten Minensprengung des Ersten Weltkrieges abgeschlossen. In dem, während anderthalb Jahren Minierkriegs stark aufgelockerten, Dolomitgestein wirkte die Sprengung ähnlich wie die Kammersprengung unter einer Steinbruchwand. Überdies bot das aufgelockerte Gestein den Sprenggasen reichlich Wege; noch 6,5 Stunden nach der Hauptsprengung kam es zu rund 30 Explosionen von Gas-Luft-Gemischen („Nachschwaden“). Gemessen am Aufwand (1 Sappeur- und 1 Bohrkompagnie, 5 Bohr-, 2 Licht- und 2 Belüftungsmaschinen, 16 Monate Vorbereitungszeit) war die Sprengung zwar erfolgreich, aber nicht kriegsentscheidend.

## 7. Schlussbetrachtung

Die Einbeziehung einer geologischen Beratung und Geländebewertung in die militärische Praxis trägt zum Erfolg oder Misserfolg (je nach Perspektive) von militärischen Operationen bei und vermag vor Verlusten zu bewahren, also auch Leben zu retten. In diesem Kontext gebührt den unzähligen Opfern ein respektvolles Gedenken: Zusammengefasst forderten dreieinhalb Weltkriegsjahre (1915-1918) in den Südalpen auf beiden Seiten mehr als 60.000 durch Kampfgeschehen gefallene Soldaten, jedoch weitere 60.000 Todesopfer durch Naturereignisse (Lawinen, Steinschläge und Felsstürze)! Überdies kamen

unter den klimatisch extremen Bedingungen im Hochgebirge nochmals 60.000 Soldaten durch Erfrieren ums Leben! Die aus den so genannten Friedensverträgen von Saint Germain und Versailles als ungerecht empfundene Konsequenz führte nur wenige Jahrzehnte später zur nächsten Weltkriegskatastrophe (1939-1945). Erst nach dieser (zu langen) blutigen Geschichte scheinen die (meisten) Völker Europas lern- und friedensfähig geworden zu sein. Dies macht auch die damaligen Kriegsziele (vorwiegend Land- und Ressourcengewinn) aus der heutigen Sicht einer „grenzenlosen“ Europäischen Union bedeutungslos.

## 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.
- ANGETTER, Daniela & SCHRAMM, Josef-Michael (2013): 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. – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, 101, p. 12-19, 4 Abb., 1 Tab., Wien.
- BOSELLINI, Alfonso, GIANOLLA, Piero & STEFANI, Marco (2003): Geology of the Dolomites. – Episodes, 26, no. 3, p. 181-185, Beijing (IUGS).
- BÁNYAI, Johann (1915): Hadviselés és a geológia [Kriegführung und Geologie]. – Földtani Közlöny, 45, p. 213-221, 7 Fig. (17-23), Budapest.
- BRUNNER, Moriz von (1921): Zwei Beispiele für Minenkampf im Hochgebirge. – Militärwissenschaftliche und technische Mitteilungen, 52, H. 11-12, p. 463-469, Wien.
- FISCHER-POTURZYN, Friedrich Andreas von (1921): Gesprengte Gipfel. – Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereines, 52, p. 28-39, 9 Abb., München.
- GORTANI, Michele (1920): La geologia e la guerra di posizione. – Atti della Societa Italiana per il progresso delle Science, 10, p. 329-333, Roma.
- HAUSER, Georg von (1817): Die Minen und der unterirdische Krieg. – viii, 164 p., 11 Taf., Wien (K. K. Hof- und Staatsdruckerei).
- HEYER, Walter (1920): Die Bergtechnik im Minenkrieg. – Braunkohle, 18, Nr. 50, p. 663-670, 12 Abb. (Nr. 303-314), Halle a. d. Saale.
- HEYER, Walter (1924): Die Sprengtechnik im Minenkrieg. – Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen, 19, H. 12, p. 180-186, 15 Fig., München.
- HOEN, Max von (1931): Geschichte des salzburgisch-oberösterreichischen K.u.k. Infanterie-Regiments Erzherzog Rainer Nr. 59 für den Zeitraum des Weltkrieges 1914-1918. – 865 p., illus., 5 Beil., Salzburg (Selbstverlag des Rainerbundes und der Rainer-Offiziers-Vereinigung).
- HRADIL, Guido (1935): Kriegsgeologie. – Innsbrucker Nachrichten, Jg. 1935, Nr. 105 (7.5.1935), p. 3-4, Innsbruck.
- HUEBER, Anton (1936): Die Rainer am Cimone. Erinnerungen an ruhmreiche Tage. – 406 p., illus., 2 Beil., Salzburg (Selbstverlag des Verfassers).

- K.u.K. LANDESVERTEIDIGUNGS-KMDO IN TIROL QU-ABTEILUNG (1915): Alpine Weisungen für den Gebirgskrieg. – 80 p., illus., Innsbruck (Verlag des k. u. k. Landesverteidigungs-Kommando in Tirol).
- KÖNIG, Friedrich (1915): Kriegsgeologie und ihre Beziehungen zur montanistischen Praxis. – Montanistische Rundschau, 7, Nr. 18, p. 621-626, Berlin, Wien.
- KRANZ, Walter (1936a): Feldminierkampf und Kriegsgeologie. Monte Cimone - Col di Lana - Monte Sief. – Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen, 31, Nr. 3, p. 73-75, Nr. 4, p. 118-121, 5 Fig., München.
- KRANZ, Walter (1936b): Minierkampf und Kriegsgeologie am Monte Pasubio 1916–18. – Wehrtechnische Monatshefte, 40, Nr. 1, p. 7-13, 2 Fig., Berlin-Frankfurt.
- KUTZLNIGG, Adolf (1899): Über den Minenkrieg und dessen Zukunft. – Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie- und Genie-Wesens, 30, p. 513-539, 1 Taf. (18), Wien.
- LANDMANN, Isaac (1815): A Treatise on Mines. For the Use of the Royal Military Academy at Woolwich. – 258 p., London (Bensley).
- LANGES, Gunther (1933): Front in Fels und Eis. Der Weltkrieg im Hochgebirge. – xv, 143 p., München (Verlag F. Bruckmann AG.).
- LANGES, Gunther (1943): Die großen Bergsprengungen im Alpenkrieg [1. Weltkrieg]. – Der Bergsteiger, 13, Jg. 1942/43, Nr. 6, p. 81, Wien.
- NERAD, J. (1900): Minengänge (Höhlen) für Unterkunfts- und Depot-Zwecke. – Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie- und Genie-Wesens, 31, p. 353-359, 1 Taf. (12), Wien.
- SAAR, Rudolf (1964): Erinnerung an den Höhlenkriegsdienst in Südtirol 1917-1918. – Die Höhle, 15, Jg. 1964, p. 41-48, Wien.
- SACCO, Federico (1916): La Geologia e la Guerra. – Saggi di Astronomia Popolare, 6, p. 3-27, Torino.
- SCHAUMANN, Walther (1993a): Schauplätze des Gebirgskrieges I a. 1915-17. Östliche Dolomiten. Sexten bis Cortina d'Ampezzo. – 4. Aufl., 305 p., 262 Bilder, 49 Front- u. Stellungsskizzen, Bassano di Grappa (Ghedina & Tassotti Editori).
- SCHAUMANN, Walther (1993b): Schauplätze des Gebirgskrieges I b. 1915-17. Westliche Dolomiten. Tofanen bis Marmolata. – 4. Aufl., xxvii, p. 306-579, Bassano di Grappa (Ghedina & Tassotti Editori).
- SCHAUMANN, Walther (1993c): Schauplätze des Gebirgskrieges II. Pellegripass – Pasubio. – 4. Aufl., 479 p., 190 Bilder, 2 Wegskizzen, 2 Übersichtskarten, 1 Frontkarte, Bassano di Grappa (Ghedina & Tassotti Editori).
- SCHAUMANN, Walther (1993d): Schauplätze des Gebirgskrieges III a. Westliche Karnische Alpen von Sexten bis zum Plöckenpass. – 4. Aufl., xxi, 374 p., 205 Bilder, 3 Übersichtskarten, 14 Frontkarten, Bassano di Grappa (Ghedina & Tassotti Editori).
- SCHAUMANN, Walther (1995): Schauplätze des Gebirgskrieges III b. Östliche Karnische Alpen. Kanaltal – westl. Julische Alpen. – 4. Aufl., xxi, p. 374-675, 3 Übersichtskarten, 14 Frontkarten, Bassano di Grappa (Ghedina & Tassotti Editori).
- SCHEMFIL, Viktor (1984): Die Pasubio-Kämpfe 1916–1918. Genaue Geschichte des Ringens um einen der wichtigsten Stützpunkte der Tiroler Verteidigungsfront, verfaßt auf Grund österreichischer Feldakten und italienischer kriegsgeschichtlicher Werke. – 2. Aufl., Schriftenreihe zur Zeitschichte Tirols, Bd. 4, x, 292 p., 83 Bilder, 33 Gefechtsskizzen, 3 Karten, Nürnberg (Buchdienst Süd-tirol, Elke Kienesberger).
- SCHEMFIL, Viktor (1998): Die Kämpfe am Monte Piano und im Cristallo-Gebiet (Südtiroler Dolomiten) 1915-1917. Verfasst auf Grund österreichischer Kriegsakten, Schilderungen von Mitkämpfern und italienischer kriegsgeschichtlicher Werke. – 3. Aufl., Schlern-Schriften, Bd. 273, 224 p., 27 Skizzen, 28 Taf., Innsbruck (Universitätsverlag Wagner).
- SCHRAMM, Josef-Michael (2006a): Tasks and challenges of Military Geology. – In: International Handbook Military Geography, vol. 1, p. 453-464, 5 figs., 3 tabs., Wien (Arbeitsgemeinschaft Truppendienst, Ministry of Defence).
- SCHRAMM, Josef-Michael (2006b): Gelände & Untergrund – das Operationsfeld der Militärgeologie. – Milgeo, Schriftenreihe des Militärischen Geowesens, Nr. 8, 208 p., 24 Abb., 4 Tab., 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 (1988): Der Minenkrieg in Tirol 1917. Colbricon, Buso del Oro, Marmolata. – Schriftenreihe zur Zeitschichte Tirols, Bd. 8, 253 p., illus., Nürnberg (Buchdienst Südtirol, Elke Kienesberger).

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

STRIFFLER, Robert (1996): Der Minenkrieg in Ladinien. Col di Lana 1915-1916. – Schriftenreihe zur Zeitschichte Tirols, Bd. 10, 332 p., illus., 1 Beil. [Luftaufklärung vom 18. August 1917], Nürnberg (Buchdienst Südtirol, Elke Kienesberger).

STRIFFLER, Robert (1999): Der Minenkrieg in Ladinien. Monte Sief 1916-1917. – Schriftenreihe zur Zeitschichte Tirols, Bd. 11, 482 p., 218 Bilder, Nürnberg (Buchdienst Südtirol, Elke Kienesberger).

STRIFFLER, Robert (2001): Der Minenkrieg auf dem Monte Cimone 1916-1918. – Schriftenreihe zur Zeitschichte Tirols, Bd. 12, 338 p., 151 Bilder, Nürnberg (Buchdienst Südtirol, Elke Kienesberger).

TOLOMEI, Ettore (1905): Alla vetta d'Italia: prima ascensione della vetta più settentrionale della grande catena alpina spartiacque (cima Nord del Monte Lana, o Glockenkaar K. della Carta Militare Austriaca) (m. 2194). – 46 p., illus., Kt., Torino (Candeletti).

TOSTI, Amadeo (1935): La Guerra sotterranea, episodi della guerra di mine sulla fronte italiana (1915-1918). – 233 p., 15 c. di tav., Milano (A. Mondadori).

TSCHURTSCHENTHALER, Anton von (1957): Col di Lana 1916. Erinnerungen des letzten Verteidigers. – Schlern-Schriften, Bd. 179, 62 p., 1 Skizze, 15 Bilder (8 Taf.), Innsbruck (Universitätsverlag Wagner).

VILLENEUVE, Décius (1826): Manuel Pratique du Mineur. – 168 p., pl., Paris (Demonville).

WILLIG, Dierk (2011): Mining Warfare in the Wyttschaete Ridge 1914-1917 – Advantages and Disadvantages of High Ground Emplacements. – In: International Handbook Military Geography, vol. 2 (Proceedings of the 8th International Conference on Military Geosciences, Vienna, Austria, June 15-19, 2009), p. 510-524, 13 figs., 2 tabs., Vienna (Arbeitsgemeinschaft Truppendienst, Ministry of Defence and Sports).

WILLIG, Dierk (2012): Der Minierkrieg im Wyttschaete-Bogen 1914-1917 erläutert am Beispiel des Frontabschnitts Petit Bois. – GeoInfoForum – Mitteilungen des Geoinformationsdienstes der Bundeswehr, Ausg. 2/2012, p. 13-17, 7 Abb., 1 Tab., Euskirchen.

WILLIG, Dierk (2013): DOVO/ SEDEE – Das Bombenräumkommando der Belgischen Armee und die „stählerne Ernte“. – GeoInfoForum – Mitteilungen des Geoinformationsdienstes der Bundeswehr, Ausg. 2/2013, p. 8-12, 9 Abb., 2 Tab., Euskirchen.

ZIMMER, Andreas von (1852): Abhandlung über die Kriegsminen. Zum Gebrauche der K.K. österr. Mineur-Schulen. – 3 Theile mit einem Atlas, 13 + 13 + 14 Taf., Wien (Foerster).

## Internet

- URL1: Austro-Hungarian Land Forces 1848-1918.  
<http://www.austro-hungarian-army.co.uk/index.htm> (dec 08 2013)
- URL2: Bunkeranlagen und Festungen vom ersten Weltkrieg in den Alpen.  
<http://www.moesslang.net/fotos2.htm> (dec 08 2013)
- URL3: Der Gebirgskrieg in den Dolomiten.  
<http://gebirge.twschwarzer.de/> (dec 08 2013)
- URL4: La Grande Guerra l'Italia contro l'Austria-Ungheria 1915-1918. Der große Krieg Italien gegen Österreich-Ungarn 1915-1918.  
<http://www.i-a-1915-1918.com/vorwort.htm> (dec 31 2009, nota bene: Domain 2013 geschlossen)
- URL5: Die Österreichisch-Ungarische Armee 1914-1918.  
<http://www.weltkriege.at/> (dec 08 2013)
- URL6: Documents of World War I.  
<http://www.mtholyoke.edu/acad/intrel/ww1.htm> (dec 08 2013)
- URL7: La Grande Guerra: The Italian Front 1915-1918.  
<http://www.worldwar1.com/itafront/> (dec 08 2013)
- URL8: The World War I Document Archive.  
[http://wwi.lib.byu.edu/index.php/Main\\_Page](http://wwi.lib.byu.edu/index.php/Main_Page) (dec 08 2013)