

Zeitschrift: Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft
Herausgeber: St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft
Band: 95 (2024)

Artikel: Neue Erkenntnisse zur Geologie und Hydrogeologie des Zwinglipasses (geologisches Steinmandli und unterirdischer See)
Autor: Wohlwend, Stephan / Graf, Richard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098734>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Neue Erkenntnisse zur Geologie und Hydrogeologie des Zwinglipasses (geologisches Steinmannli und unterirdischer See)

Stephan Wohlwend und Richard Graf

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	355
1 Einleitung	355
2 Geologisches Steinmannli	357
3 Gesteine im Alpstein und sein geologischer Aufbau	358
4 Die Welt unter dem Zwinglipass	360
4.1 Die Schneehöhle	360
4.2 Wasser im Untergrund	361
4.3 Temperaturverlauf in der Schneehöhle	365
4.4 Woher stammt das Wasser und wohin geht es?	366
4.5 Ausblick	367
4.6 Dank	367
5 Literaturverzeichnis	368

Kurzfassung

In einer Eishöhle nahe der Clubhütte des SAC Toggenburg auf dem Zwinglipass im Alpstein wurde in den letzten Jahren ein sporadisch auftauchender unterirdischer See beobachtet. Die Installation eines Temperatur- und Drucksensors am 20.10.2016 lieferte Daten zur hydrogeologischen Situation. Der vorliegende Beitrag präsentiert aktuelle Erkenntnisse der Messrei-

he vom 22.10.2016 bis zum 17.05.2020 und behandelt die Entdeckung und Erforschung dieses Naturphänomens sowie die Auswirkungen von Schneeschmelze und Niederschlägen auf den unterirdischen See. Geplante zukünftige Massnahmen zur weiteren Überwachung und Erforschung werden ebenfalls diskutiert.

1 Einleitung

Die Autoren haben in den vergangenen Jahren regelmässig den Zwinglipass besucht, sei es aus geologischem oder speläologischem Interesse. Was sie vereint, ist die Begeisterung für die Natur und die Gesteine der Region. Die Gesteine des Alpsteins und des gesamten Kantons St. Gallen erzählen eine Geschichte, die die letzten gut 300 Mio. Jahre umspannt. Anlässlich des Jubiläums «150 Jahre SAC Sektion Toggenburg» entstand auf vielfachen Wunsch, die Geologie greifbarer zu machen, unter der Leitung eines der Autoren ein «geologisches Steinmannli» unmittelbar neben der Hütte (Abbildung 1). Dieses Projekt umfasst neben der geologischen Skulptur auch drei Sitzgelegenheiten, die zum Verweilen einladen und einen besonderen Blick auf die Landschaft rund um den Zwinglipass ermöglichen.

Die ältesten sedimentären Gesteine des Kantons St. Gallen sind die typischen rötlichen

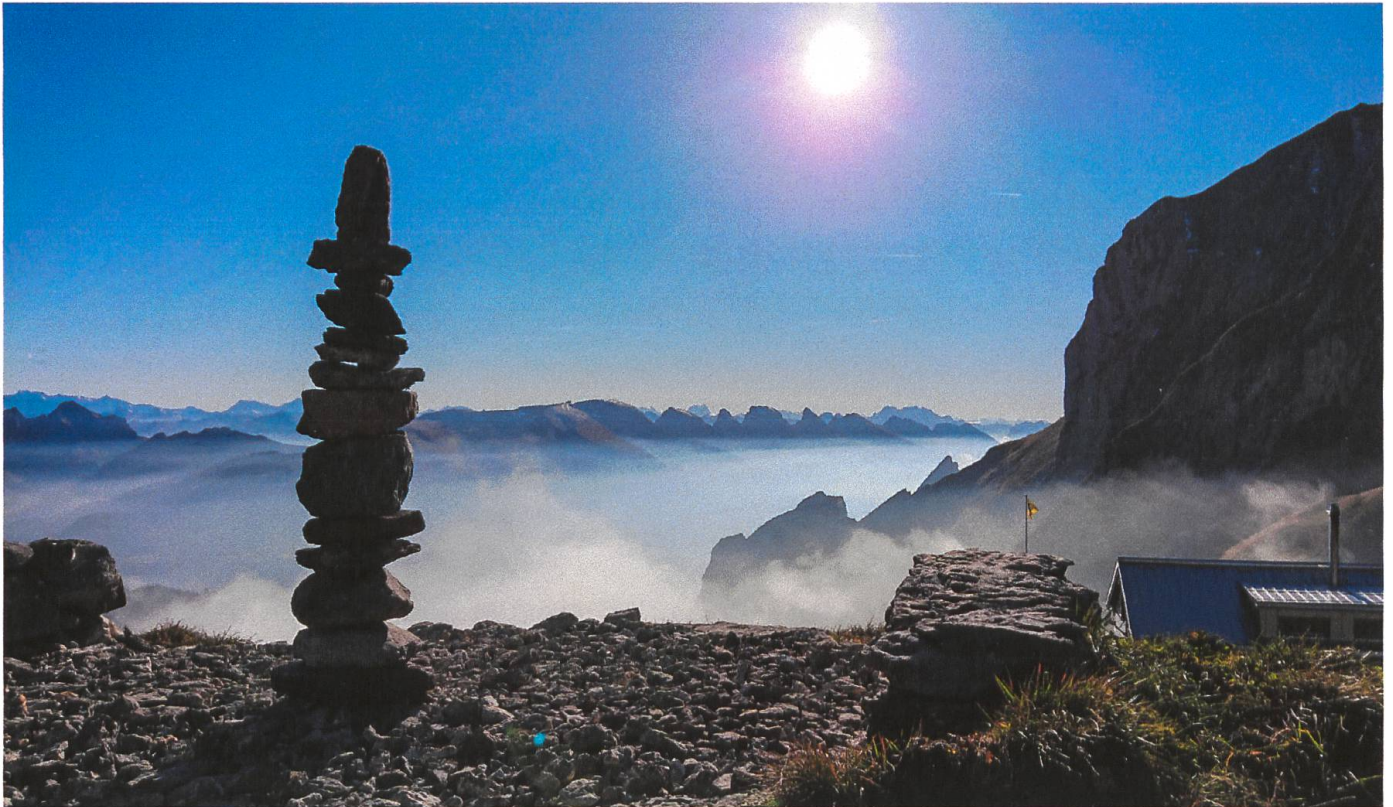


Abbildung 1:
Geologisches Steinmannli vom Zwinglipass direkt oberhalb der Clubhütte des SAC Toggenburg.

Gesteine der Verrucano-Gruppe, die vor allem im St.Galler Oberland zu finden sind. Diese wurde vor rund 350 bis 300 Mio. Jahren an Land in grossen Senken und Gräben abgelagert. Mit dem Beginn der Trias vor rund 250 Mio. Jahren änderte sich die Landschaft drastisch. Die wüstenartigen Bereiche wurden langsam vom Meer überflutet, und die Ablagerungen änderten sich von terrestrischen hin zu marinen Ablagerungen. Die unterschiedlichen marinen Sedimentgesteine der Trias, des Jura und der Kreide belegen die sich laufend ändernden Umweltbedingungen zwischen 250 und 80 Mio. Jahren vor heute. Ab der Späten Kreide führte die nordwärts gerichtete Bewegung der afrikanischen Kontinentalplatte zur Kollision der adriatischen mit der europäischen Platte, was zur Gebirgsbildung führte. Dabei wurden die Gesteine in die Tiefen versenkt, verfault und übereinander geschoben. Die fortschreitende Kollision hob die heutigen Alpen langsam empor und setzte gleichzeitig die Erosion in Gang, wodurch die Gesteine

langsam wieder abgetragen wurden. Karbonathaltige Gesteinen, wie hier im Alpstein, werden durch chemische Verwitterung aufgelöst und bilden dabei Karstlandschaften und Höhlen. Das Regenwasser versickert durch Karren, Schratzen und Dolinen in den Untergrund, fliesst dort durch grosse Karstsysteme und tritt schliesslich im Tal an Karstquellen wieder zutage. Auf diesem unterirdischen Weg löst das Wasser Kalkstein auf und formt so immer grössere Hohlräume.

Das Gebiet um den Zwinglipass ist zwar nicht das grösste und bekannteste Karstsystem im Alpstein, beherbergt jedoch beeindruckende Naturphänomene wie die Schneehöhle nördlich des Girespitz. Darin befinden sich faszinierende Eisformationen, und in den letzten Jahren wurde ein gelegentlich auftauchender unterirdischer See festgestellt. Diese Arbeit versucht, die Verbindung zwischen der Oberflächengeologie und der Hydrogeologie im Untergrund des Zwinglipasses näher zu beleuchten.

2 Geologisches Steinmandli

Das Steinmandli, traditionell als Wegweiser in den Bergen genutzt, hat eine jahrhundertalte Tradition. Wenn man die Steine nun auch noch in der zeitlichen Abfolge ihrer Ablagerung aufeinander stapelt, entsteht gleichzeitig ein Turm, der die Geschichte der Ablagerung in sich trägt. Bei der Auswahl des Standorts für das Steinmandli wurde nach einer räumlichen Verbundenheit mit der Clubhütte und guter Rundschau auf die Landschaft gesucht. Der Standort sollte auch so gewählt werden, dass die in der näheren Umgebung anstehenden Gesteinstypen der Schrattekalk-, der Garschella- und der Seewen-Formation studiert werden können. Diese bilden nämlich den direkten Untergrund rund um die Clubhütte und sind auch massgeblich an der Tektonik und der Landschaftsgestaltung im gesamten Alpstein beteiligt. So kristallisierte sich der Hügel direkt hinter der Hütte als idealer Standort heraus. Die erhöhte Lage ermöglicht eine freie Sicht von der Chreialp über den Moor und den Altmann bis fast hinunter zum Fählensee.

Ursprünglich war geplant, ausschliesslich Gesteine aus der näheren Umgebung des Zwinglipasses zu verwenden. Bei genauerer Betrachtung der lokalen Geologie zwischen Chreialp und Altmann (Abbildung 2A) stellte sich jedoch heraus, dass die hier anstehenden Gesteine nicht die erhoffte Vielfalt boten, um einen auch optisch attraktiven Steinturm zusammenzustellen. Der farbliche Unterschied der lokalen Gesteinsformationen war mit lediglich verschiedenen Grautönen etwas monoton. Deshalb wurde beschlossen, den Blickwinkel auf das gesamte Helvetikum von Vättis über das Seeztal bis zum Alpstein zu erweitern und damit fast die gesamte Gesteinsabfolge des Kantons zu erfassen; nur die jungen Ablagerungen des Paläogens und Neogens (ehemals Tertiär) wurden nicht berücksichtigt (siehe Abbildungen 3 und 4). Dies bedeutete jedoch auch, dass ortsfremde Steine auf den Zwinglipass gebracht werden mussten.

Zur Erläuterung der Geschichte der aufgestapelten Gesteine, ihrer Bildung in einem

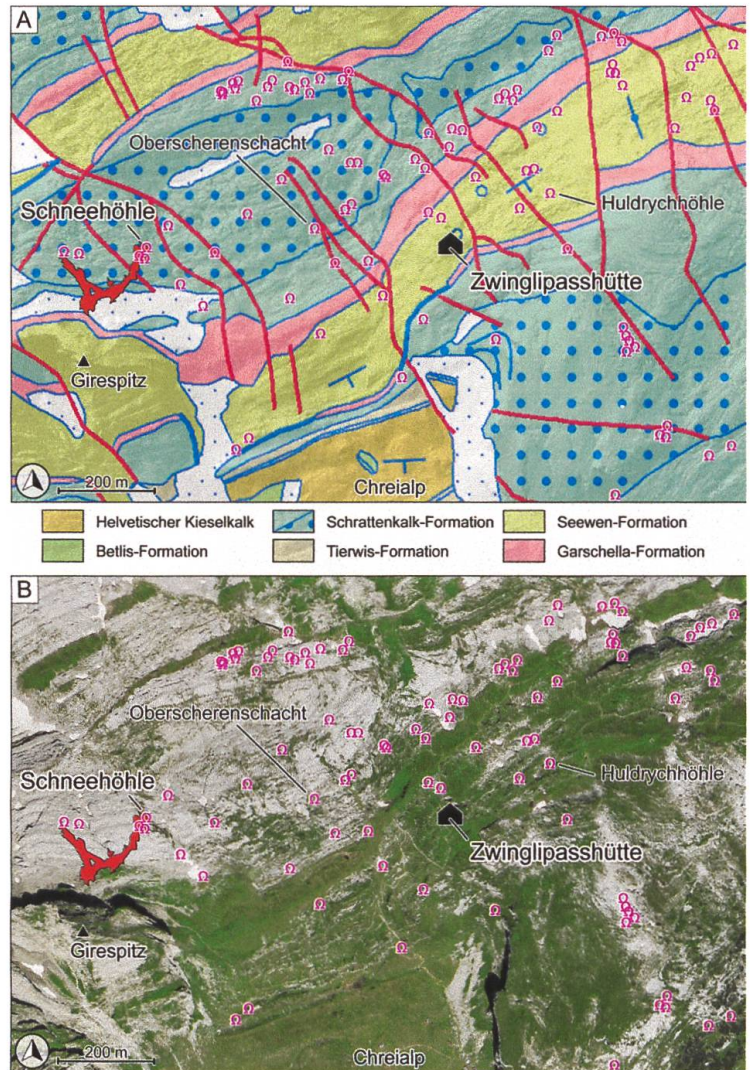


Abbildung 2:
A: Ausschnitt der Geologischen Karte zwischen Chreialp und Zwinglipass (nach EUGSTER et al. 1987) mit den bekannten Höhleneingängen und der Ausdehnung der Schneehöhle (rot dargestellt). B: gleicher Ausschnitt mit dem Luftbild.

einstigen Meer und der anschliessenden Deformation während der Alpenbildung wurde ein Büchlein mit dem Titel «Geologie rond om de Zwinglipass – Die Entstehung des geologischen Steinmandlis» verfasst (WOHLWEND 2022). Das Büchlein wurde vom SAC Toggenburg gedruckt und ist entweder auf der Clubhütte oder direkt beim SAC Toggenburg erhältlich. Es kann auch auf der Homepage des SAC Toggenburg heruntergeladen werden.

In dieser umfangreichen Arbeit werden die Gesteine des Alpsteins und darüber hinaus des

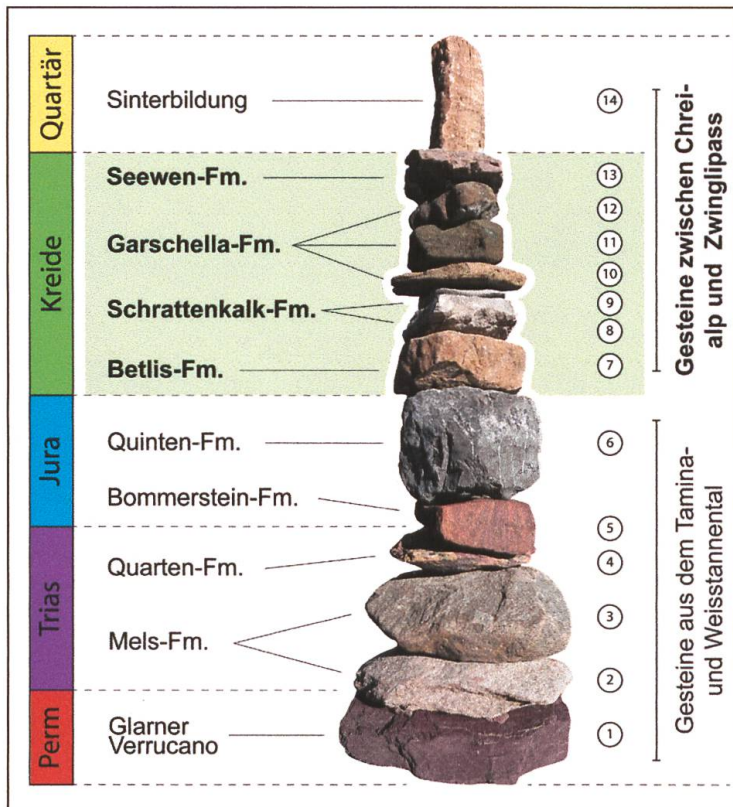


Abbildung 3: Geologisches Steinmannndli mit den dazugehörigen Altern. Das Steinmannndli ist von drei Steinbänken umgeben; grau = Schrattenkalk-Formation, grünlich = Garschella-Formation, rötlich = Seewen-Formation (rote Varietät); Die Zahlen von 1–14 entsprechen den Herkunftsorten auf der tektonischen Karte des Kantons St. Gallen (siehe Abbildung 4).

gesamtem Helvetikums chronologisch beschrieben, wie sie exemplarisch im Steinmannndli von unten (= alt) nach oben (= jung) zusammengefasst sind. Anhand von Zeitablen, Profilschnitten und Kartendarstellungen wird auch die geologische Geschichte von der Entstehung der Gesteine über die Aufaltung des Alpsteins bis zur Bildung der heutigen Landschaft erläutert. Dabei wird ersichtlich, dass die geologische Geschichte als Kreislauf beschrieben werden kann, wo die Gesteine nach ihrer Entstehung verformt, umgewandelt und wieder abgetragen werden. Es wird auf die Erosion durch die eiszeitlichen Gletscher eingegangen, welche eine hervorragende Rolle bei der Landschaftsgestaltung spielten. Als jüngste Ereignisse werden die Verkarstung und die Entstehung der Höhlensysteme behandelt, die auch auf dem Zwinglipass häufig vorzufinden sind, wie die zwei Karten in der Abbildung 2 mit den vielen Höhleneingängen belegen.

3 Gesteine im Alpstein und sein geologischer Aufbau

Der Fokus des geologischen Steinmannndlis liegt natürlich auf den Gesteinen (Formationen) der Kreide, die in Abbildung 3 grün hinterlegt sind. Die ältesten Gesteine gehören zur Betlis-Formation, die sich sowohl bei der

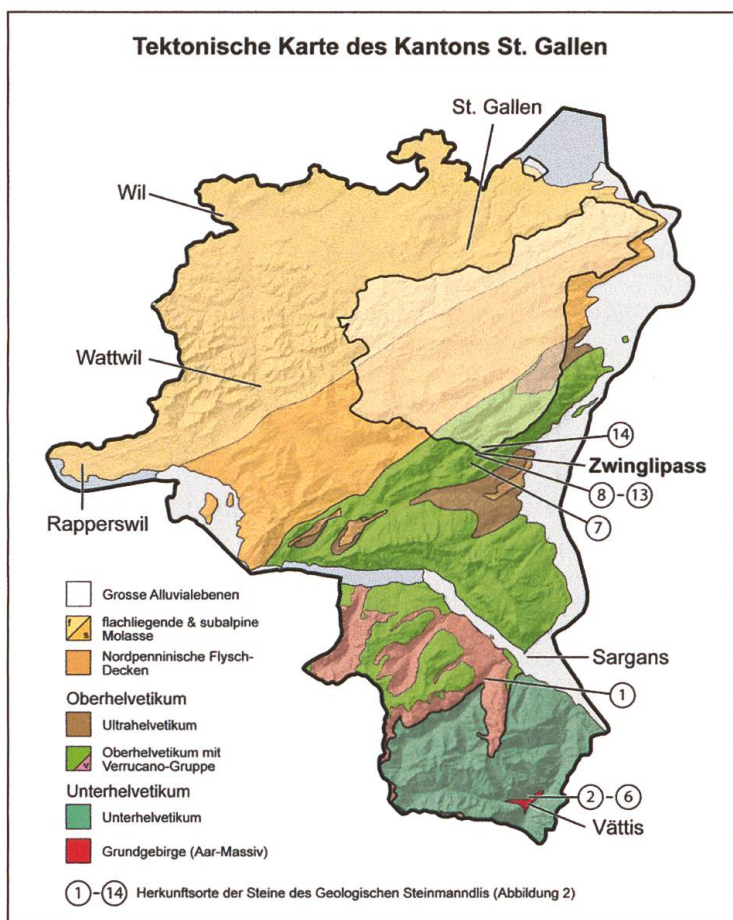


Abbildung 4: Tektonische Karte des Kantons St. Gallen mit der Nummerierung (1–14) der Herkunftsorte der verwendeten Steine für das geologische Steinmannndli (Abbildungen 1 und 2).

Chreialp und etwas westlich davon, als auch oben beim Altmannsattel finden lassen. Die jüngsten Gesteine des Zwinglipasses werden als Seewen-Formation zusammengefasst und sind in der direkten Umgebung der Clubhütte zu finden, welche auf diesem Gestein errichtet wurde (Abbildung 2A).

Die mineralogische Zusammensetzung eines Gesteins bildet die Grundlage für sein Verhalten bei der Deformation und der Ausbildung der Landschaft. Je härter und verwitterungsresistenter ein Gestein ist (wie beispielsweise der Schrattekalk), desto eher widersteht es der Verwitterung und bildet steile karge Felswände. Ist ein Gestein jedoch anfällig für Verwitterung, wie die mergeligen bis tonreichen Gesteine des Drusberg-Members oder der Garschella-Formation, bilden diese eher flachere Passagen mit üppigen Wiesen und Alpweiden. Dieser Gegensatz der Landschaftsausprägung ist im Luftbild der Abbildung 2B ersichtlich.

Auch die Wasserlöslichkeit eines Gesteins, also die Fähigkeit zur Karstbildung, wird durch die Mineralogie bestimmt. Im Alpstein sind das vor allem die hellen Kalksteine des Schrattekalks, aber auch untergeordnet jene des Seewer-, Betlis- und Öhrlikalks. Ist jedoch ein Gestein wenig wasserdurchlässig, wie z.B. die Garschella-Formation, wirkt es als Stauer und es können sich kleine Seen oder Tümpel bilden. Diese Tatsache wird im Zwinglipassgebiet von den Älplern geschätzt, weil diese Flächen das knappe Wasser für die Viehwirtschaft zurückzuhalten können.

Natürlich prägt die alpine Deformation und Verfaltung den Alpstein. Abfolgen wiederholen sich. Steigt man beispielsweise von der Zwinglipasshütte Richtung Altmann auf, durchquert man drei Mal die Garschella-Formation (siehe Abbildung 2). Mit einem geschulten Auge erkennt man, dass sich das Landschaftsbild im Alpstein immer wieder ähnelt, sei es durch Karren und Schratzen in der Schrattekalk-Formation oder durch die üppige Vegetation auf der Garschella-Formation oder dem Helvetischen Kieselkalk. Albert Heim und vor ihm Arnold Escher von der

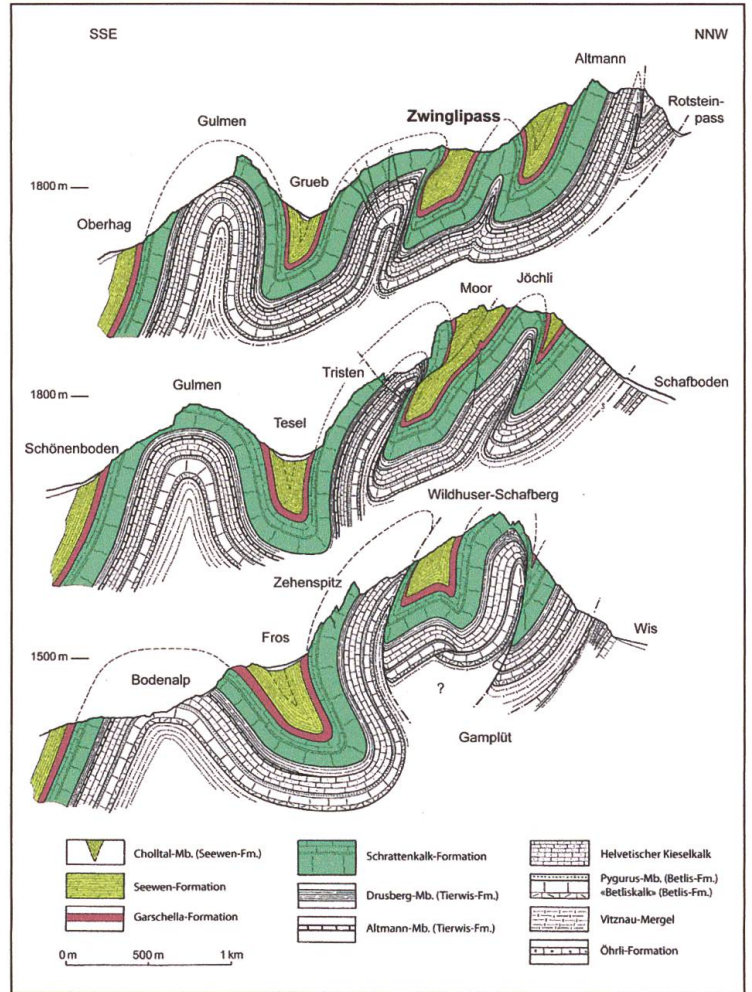


Abbildung 5: Drei Querprofile zwischen Altmann und Wildhuser Schofberg (nach KEMPF 1966).

Linth haben sich bereits mit der dreidimensionalen Struktur des Alpsteins auseinandergesetzt. Auch sollte hier die Arbeit von KEMPF (1966) hervorgehoben werden. Seine drei Querprofile zwischen Altmann und Wildhuser Schofberg (Abbildung 5) zeigen anschaulich, wie schön die Kreidestratigraphie im Alpstein verfaltet wurde, wobei die drei Einheiten Schrattekalk-, Garschella- und Seewen-Formation farblich hervorgehoben wurden. Solche Zeichnungen und Profilschnitte bilden noch heute die Grundlage für viele neue Arbeiten, wie auch bei der 3D-Modellierung des Alpsteins von SALA et al. (2014).

4 Die Welt unter dem Zwinglipass

Wer entlang oder neben den Wanderwegen den Zwinglipass quert, wird aber auch schnell feststellen, dass die Region von zahlreichen Karren, Schratten, Dolinen, Donnerlöchern und natürlichen Höhlen durchzogen ist. Das gesamte Gebiet ist ein Karstgebiet mit vielen kleinen und grösseren Höhlen, wobei viele auch als vertikale Schachthöhlen ausgebildet sind. Die zahlreichen Eingänge bieten Zugang zur Welt unter dem Zwinglipass.

Bereits Ende der 1960er-Jahre wurden erste Erkundungen und Höhlenbegehungen in der Umgebung des Zwinglipasses unternommen (GRAF 2016). Eine wissenschaftliche Bearbeitung der Höhlen erfolgte allerdings erst einige Zeit später. Erst ab den 1980er-Jahren wurden etliche Höhlen vermessen und dokumentiert. Zu den grösseren und seit langem bekannten Objekten zählen der Oberscherenschacht (–210 m), die Schneehöhle (über 1 km Länge), die Huldrychhöhle und der Gruebensschacht (–167 m).

Ab dem Sommer 2007 begannen Mitglieder der Ostschweizerischen Gesellschaft für Höhlenforschung (OGH) erneut systematisch mit der Erforschung der Höhlen. Seit 2007 betreibt der Höhlenclub fast jedes Jahr ein Forschungslager auf dem Zwinglipass. Der Rückblick «10 Jahre Forschungslager auf dem Zwinglipass» einer der Autoren (GRAF 2016) gibt einen guten Überblick über die durchgeführten Aktivitäten und die bearbeiteten Objekte. In Abbildung 2 sind die Eingänge der erforschten Objekte auf dem Zwinglipass und die Ausdehnung der grösseren Höhlen dargestellt.

4.1 Die Schneehöhle

Ein einzigartiges Naturphänomen kann in der Schneehöhle beobachtet werden (Abbildung 6). Der grosse, elliptische Eingang ist schon seit langem bekannt und gut von der Zwinglipasshütte einsehbar. Er befindet sich in dem markanten, steilen Karrenfeld, das sich nördlich des Girespitz in westlicher Richtung gegen den Moor hinzieht. Der Zugang ist aber

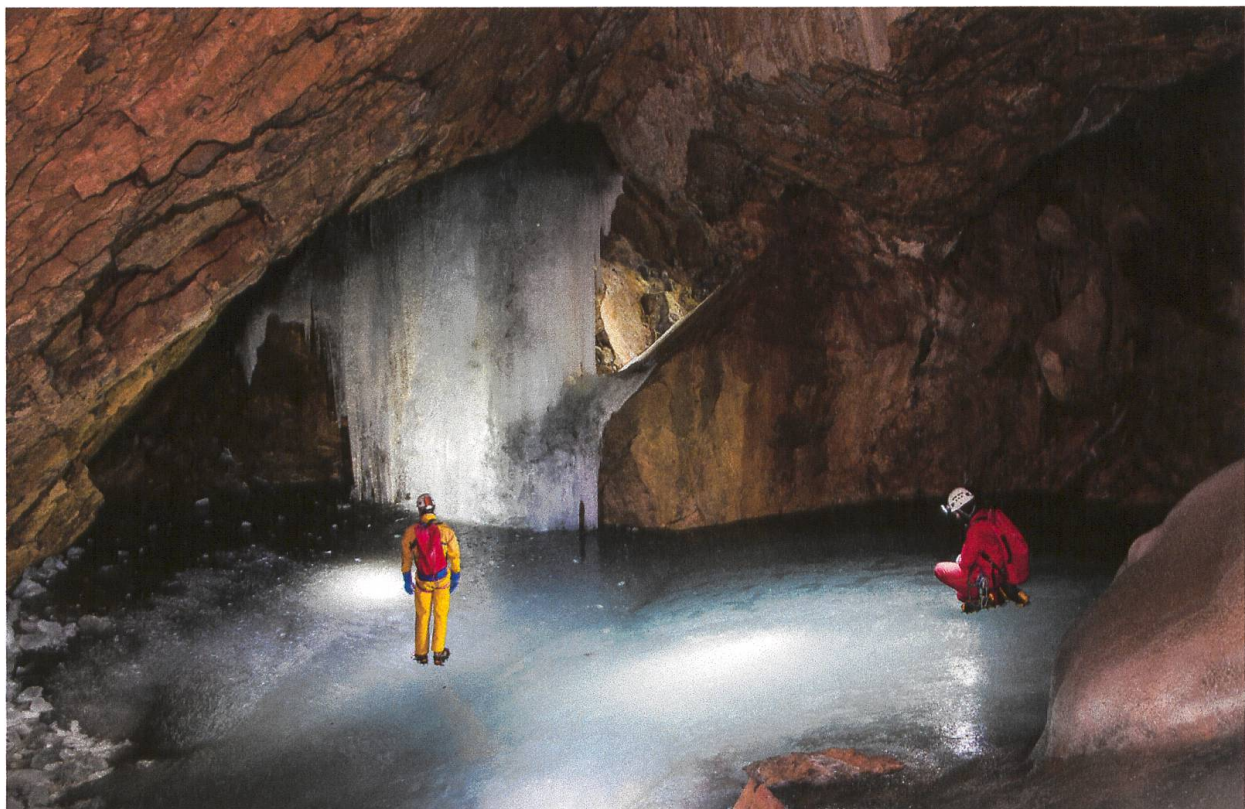


Abbildung 6: Das hintere Ende der Schneehöhle (Foto: Andreas Schwarz, 2012), Blickrichtung und Ort der Aufnahme in Abbildung 9A ersichtlich.

nicht einfach. Im Frühling versperrt normalerweise ein grosser Schneekegel den Zutrieb zur 25m langen Eingangshalle, die teilweise von Schnee und Eis erfüllt ist. In den 1980er-Jahren war der Boden der Halle vollständig von einem mit Schmelzwasser gefüllten Eissee bedeckt, der das ganze Jahr nicht austrocknete (LÄUBLI & GRAF 1988). Davon ist heute nicht mehr viel übrig, da der Schneekegel in den 1990er-Jahren so weit abgeschmolzen ist, dass die dahinter liegende Höhle zugänglich wurde.

Die Vermessung der Höhle hinter dem Schneekegel begann unter der Leitung von Kurt Winkler und seinen Kollegen vom SAC Albis. Am 28./29.09.1991 wurden die Eingänge E3 und E4 vermessen, gefolgt von den Eingängen E5 und E6 am 30./31.11.1991. Schon damals konnte eine Gesamtlänge von ca. 1'030m mit einer Höhendifferenz von ca. 170m befahren und dokumentiert werden (SCHERRER 1992). In den letzten Jahren wurde die Höhle unter der Leitung von Martin Reber und Kollegen vollständig neu vermessen. Eine komplette Dokumentation befindet sich derzeit in Bearbeitung.

Das Besondere an dieser Höhle ist das ganzjährige Vorhandensein von Eis. Beim Betrachten der Bilder von Andreas Schwarz aus dem Jahre 2012 (Abbildungen 6 und 7) kann man das Naturwunder nur annähernd erahnen, wenn in der absoluten Dunkelheit der Höhle die Eisschichten und Eisfälle im Schein der Stirnlampe zu leuchten beginnen. Es ist ein einmaliges Erlebnis für alle, die es zu Gesicht bekommen haben. Das Appenzeller Magazin veröffentlichte im Jahre 2013 (Magazin Nr. 10) weitere beeindruckende Bilder aus der Schneehöhle, aber auch von weiteren Eishöhlen des Alpsteins.

4.2 Wasser im Untergrund

Die Eisformationen, wie sie von Andreas Schwarz im Jahre 2012 fotografisch festgehalten wurden (Abbildung 7), verändern sich fortlaufend, und es ist immer wieder faszinierend,

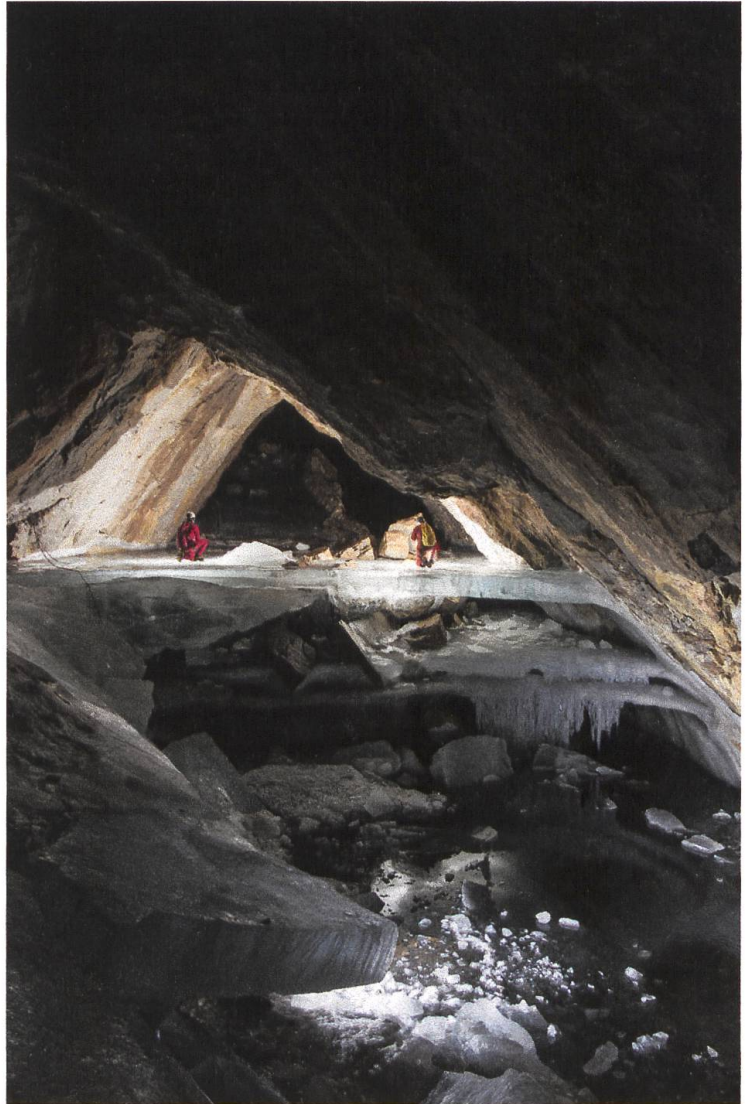


Abbildung 7: Die vordere Halle, Blickrichtung und Ort der Aufnahme in Abbildung 9A ersichtlich (Foto: Andreas Schwarz, 2012). Die Halle mit den Eisformationen stand in den letzten Jahren mehrere Male komplett unter Wasser. Ganz hinten oben ist der Stein ersichtlich, auf dem Richi Graf auf der Abbildung 8A sitzt. Der Drucksensor wurde ca. 0,5m über der Eisfläche rechts unten montiert (Abbildungen 8B und 9A).

in diese Eiswelt einzutauchen und die Veränderungen zu beobachten. So geschehen auch Ende Juni 2014 nach der sogenannten «Hötte-trägete» des SAC Toggenburg, als einige Mitglieder der SAC-Sektion der Höhle einen Besuch abstatteten. Im darauf folgenden Jahr wollten Mitglieder der OGH während ihres Forschungslagers im Juli 2015 die Höhle befahren. Zu ihrer Überraschung war der Ab-

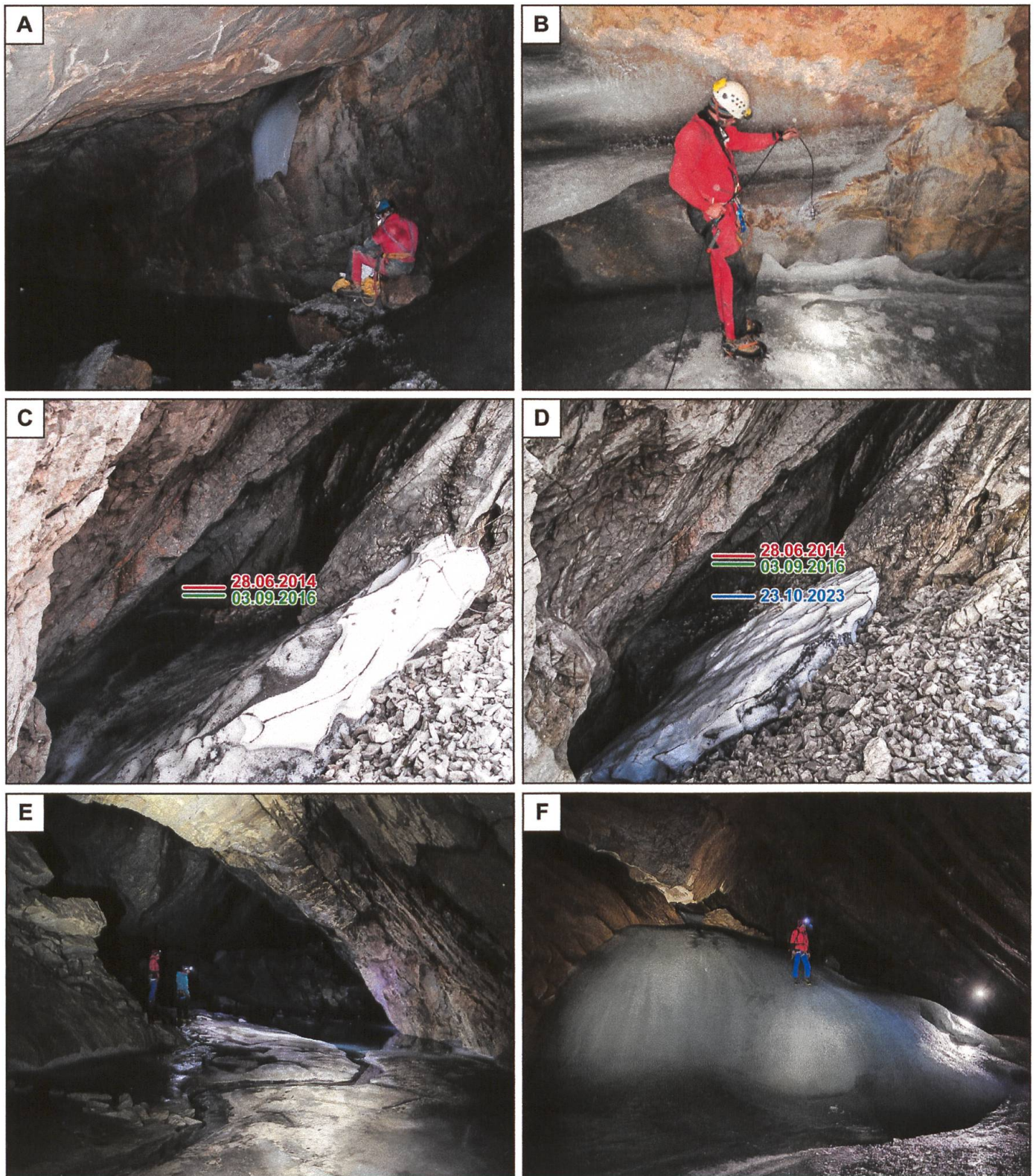


Abbildung 8:

Fotos aus der Schneehöhle: A) kurze Rast auf dem Stein beim vollgelaufenen unterirdischen See am 03.09.2016; B) Installation des Drucksensors am 20.10.2016 ca. 0,5m oberhalb des Eisspiegels (Foto: Rolf Sorg); C) Blick am 03.09.2016 vom Eingang der Schneehöhle hinunter in die Eingangshalle mit dem Eissees und älteren Eisniveaus aus den Jahren 2014 und 2015; D) selber Blick am 23.10.2023; E) vordere Halle mit dem natürlichen Überlauf des Sees (23.10.2023); F) hintere Halle mit dem Eisdome (23.10.2023).

stieg zu den Eisformationen durch einen aufgestauten See versperrt und verhinderte den Zugang zu den dahinterliegenden Bereichen.

Diese Entdeckung warf etliche Fragen auf, da jeder, der die Grösse des Hohlraums kennt, nur erahnen kann, wie viel Wasser das sein musste. Der Hohlraum der vorderen Halle (Abbildung 7) war fast komplett bis zur Decke mit Wasser gefüllt. Woher stammte diese enorme Wassermenge? Würde das Wasser wieder abfliessen, und blieben dann überhaupt noch Eisformationen übrig? Gibt es einen Zusammenhang mit Niederschlägen oder der Schneeschmelze? Diese Entdeckung weckte das Interesse, dieses Phänomen genauer zu untersuchen.

Daher stiegen Mitglieder der Jugendorganisation (JO) des SAC Toggenburg im Oktober 2015 erneut zur Schneehöhle auf und seilten sich in ihr Inneres ab. Das Wasser war wieder verschwunden, aber zum Glück war das Eis noch vorhanden. In der Mitte der Eisfläche, die sonst spiegelglatt war, klaffte nun jedoch ein riesiges Loch. Dieses Loch im Eis bildete sich vermutlich an der Stelle, wo damals bei der Vermessung von Kurt Winkler und Kollegen noch rund 30–40m weiter in die Tiefe abgestiegen werden konnte.

Im Frühling 2016 wollten Forscher der OGH die Schneehöhle erneut erkunden, aber der Hauptgang war erneut voller Wasser. Während des Sommers und Herbstes 2016 wurde die Höhle noch zwei weitere Male überprüft, aber der Zugang wurde jedes Mal durch eisiges Wasser blockiert. Der See füllt den Hauptgang jeweils bis zum Stein, auf dem Richi Graf in der Abbildung 8A sitzt. Der Wasserstand des Sees blieb während des Sommers 2016 konstant und änderte sich nicht. Zudem bildete sich eine dünne Eischicht auf der Oberfläche.

Da es recht aufwändig war, immer zum Zwinglipass aufzusteigen und sich in die Höhle abzuseilen, um zu sehen, ob noch Wasser vorhanden war oder nicht, entschied sich die OGH für die Installation eines Drucksensors für eine automatisierte Messung. Dieser wurde dann am 20.10.2016 montiert, nachdem der See im September doch noch abgelaufen war (Ab-

bildung 8B). Der Drucksensor war mit einem Kabel mit einer vor der Höhle montierten Übermittlungsstation verbunden. Diese sendete anschliessend regelmässig Daten über das GSM-Netz, sodass es möglich war, die Veränderung des Drucks in der Höhle und somit den Wasserstand praktisch in Echtzeit von zu Hause aus zu überwachen (GRAF 2017). Gleichzeitig wurde auch die Temperatur aufgezeichnet, entweder die Lufttemperatur in der Höhle oder die Wassertemperatur des Sees.

In den Abbildungen 9A und 9B ist schematisch die Ausdehnung des unterirdischen Sees dargestellt. Abbildung 9C zeigt die Besuche der Schneehöhle von 2014 bis 2023 sowie die Druckmessungen ab dem 20.10.2016.

Die Aufzeichnungen dauerten jedoch nicht lange an, denn bereits am 16.01.2017 wurde die Übertragung der Daten gestoppt. Das Problem lag vermutlich an einem gerissenen Kabel. Im April konnte dies behoben und die Box ersetzt werden. Allerdings gab es nun ein weiteres Problem mit der Batterie, die sich zu schnell entlud. Zu dieser Zeit stieg die Spannung unter den beteiligten Forschenden, da die Schneeschmelze bald einsetzte und noch immer kein Zugriff auf den Drucksensor möglich war. War die Höhle schon wieder voll? Ein Kontrollgang am 25.05.2017 von Mitgliedern der JO Toggenburg zeigte, dass die Höhle noch immer leer war und auch das Verbindungskabel intakt war. Beim Austausch der Batterie am 10.06.2017 erkannte man, dass der See sich wieder zu füllen begann. Der Drucksensor zeigte einen Wasserstand von 4,7m. In den folgenden 12 Tagen stieg dieser weiter auf 5,9m an, bevor ein erneuter Datenunterbruch einen zusätzlichen Kontrollgang erforderlich machte. Alles schien jedoch in der Höhle in Ordnung zu sein. Das Problem lag entweder an der GSM-Box oder der Batterie. Am 02.07.2017 wurde die Batterie erneut ausgewechselt, und zu diesem Zeitpunkt betrug der Wasserstand bereits 6,6m. Der Anstieg verlangsamte sich anschliessend etwas, und bis zum 24.07.2017 erreichte der Wasserstand 7,2m. Am 24., 25. und 26. Juli überquerten heftige Gewitter den Alpstein. Der Wasserstand stieg danach

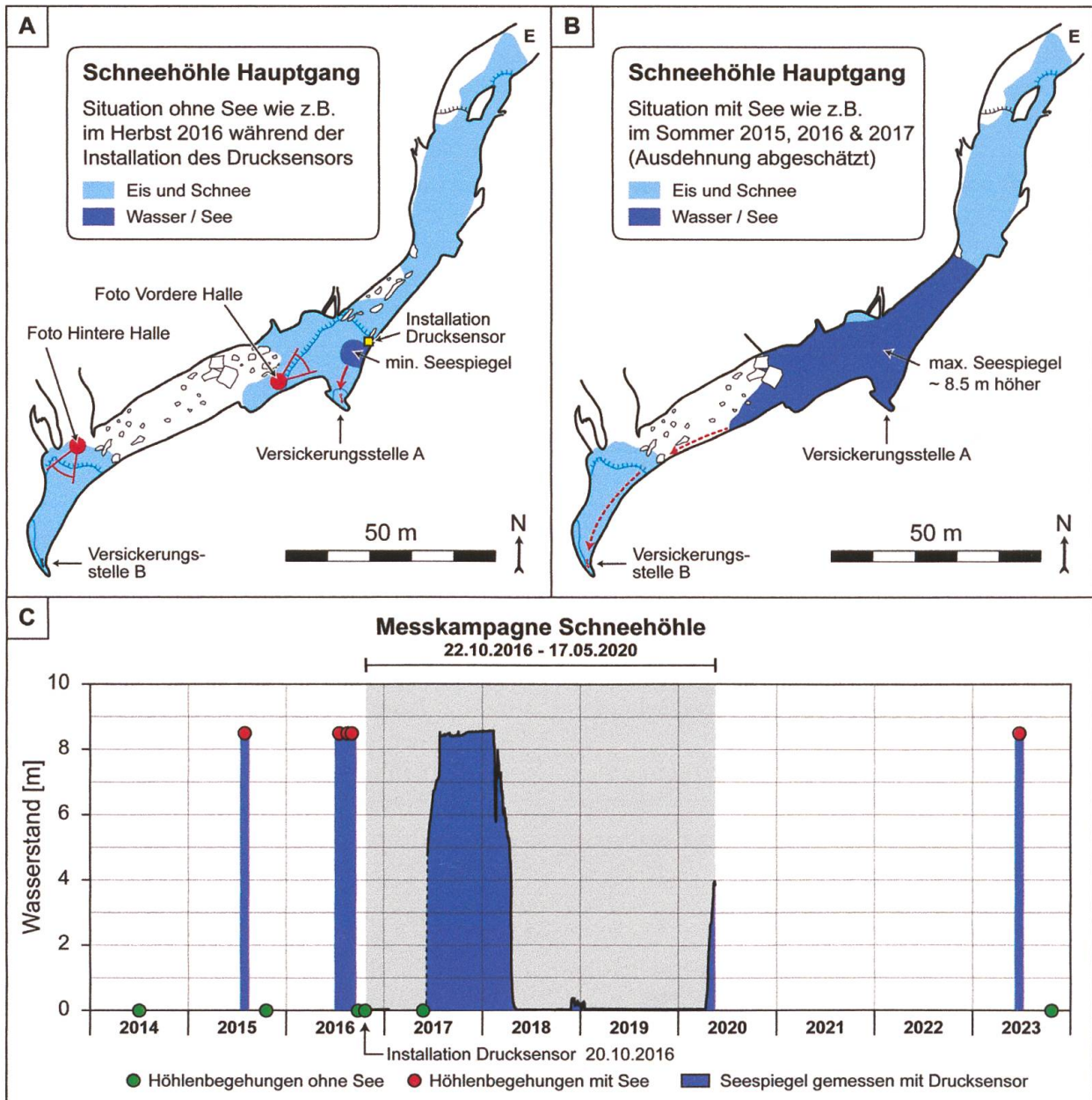


Abbildung 9:

A) Situation ohne See; B) schematische Ausdehnung des unterirdischen Sees bei dem Wasserstand von ca. 8,5 m. Entwässerung bei Situation A) über Versickerungsstelle A und bei vollem See hinüber in die hintere Halle zur Versickerungsstelle B. Der schematische Grundriss der Schneehöhle ist nach Plänen von Kurt Winkler; C) Befahrungen der Schneehöhle ab 2014 bis 2023 mit der Messkampagne zwischen dem 20.10.2016 und dem 17.05.2020.

schnell um weitere 1,3 m auf eine maximale Höhe von 8,5 m an. Dieser Pegel ($\pm 0,1$ m) blieb den ganzen Sommer über stabil, und auch im Herbst leerte sich der See nicht. Erst ab dem 12.02.2018 begann der Wasserstand langsam zu sinken und erreichte bis zum 12.04.2018 eine Höhe von 5,2 m. Dann beschleunigte sich

der Rückgang und bis zum 17.04.2018 sank er auf rund 4,0 m. Am 17.04.2018 von 20.30 Uhr bis um 23.30 Uhr fiel der Wasserstand dann um rund 3 m auf eine Höhe von nur noch 1,1 m. Danach verlangsamte sich die Entleerung erneut bis der Drucksensor am 08.05.2018 kein Wasser mehr registrierte.

Die Messungen liefen dann in den Jahren 2018 und 2019 weiter, aber der Drucksensor zeigte an, dass in dieser Zeit kein Wasser mehr aufgestaut wurde. Erst im Frühling 2020 zeigte der Drucksensor ab dem 12.04.2020 eine Zunahme des Druckes. Genau einen Monat später, am 12.05.2020, zeigt der Sensor einen Wasserstand von 3,9m an. Dieser stieg in den nächsten Tagen auf knapp 4,0m an und sank dann bis in der Nacht vom 17. auf den 18.05.2020 wieder auf 3,8m, bevor die Messungen erneut unterbrochen wurden.

4.3 Temperaturverlauf in der Schneehöhle

Die vollständige Messreihe vom 22.10.2016 bis zum 17.05.2020, mit einigen wenigen Unterbrüchen, liefert spannende Ergebnisse (Abbildung 10). Diese Daten aus der Schneehöhle können mit den Daten einer zweiten Messstation verglichen werden, die sich in der Nähe der Zwinglipasshütte befindet und alle 30 Minuten die Lufttemperatur, den Luftdruck, die relative Luftfeuchtigkeit und den Niederschlag misst (Abbildung 10A). Diese Niederschlagsmessstation wird von der OGH, der Arbeitsge-

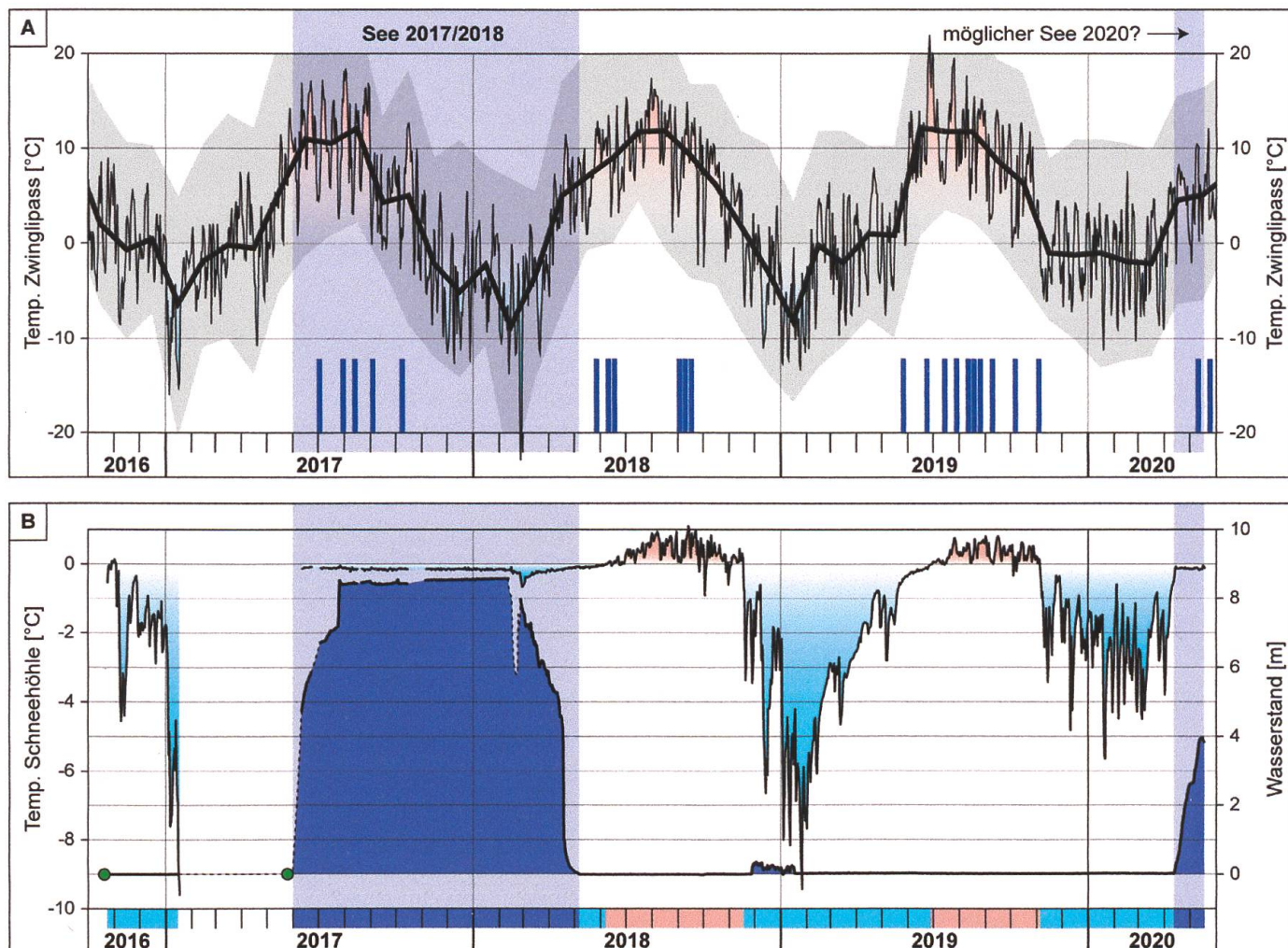


Abbildung 10: A) Temperaturmessungen vom Zwinglipass: Tages- und Monatsmitteltemperaturen, die Spanne der monatlichen Minimal- und Maximaltemperaturen ist in grau dargestellt. Die blauen Balken zeigen die wöchentlichen Niederschlagsmittelwerte mit mehr als 70mm/Woche während dem Sommer und Herbst. Dargestellt wird das Intervall vom 01.10.2016 bis zum 31.05.2020. B) Temperatur- und Wasserstandsmessungen in der Schneehöhle mit dem Drucksensor der Messreihe vom 20.10.2016 bis 17.05.2020.

meinschaft Nidlenloch und der SAC Sektion Toggenburg gemeinsam betrieben.

Die Temperaturkurve der Schneehöhle zeigt deutlich die beiden möglichen Situationen, entweder mit oder ohne Wasser, wie sie in Abbildung 10B auf der Zeitskala farblich markiert sind. Die Zeit, während welcher der Drucksensor einen aufgestauten See festgestellt hat, ist dunkelblau markiert. Dies betrifft die Seebildung in den Jahren 2017/2018 sowie diejenige im Frühling 2020. Der genaue Zeitpunkt der beginnenden Seebildung wurde aufgrund des Übermittlungsunterbruches nicht aufgezeichnet. Er muss jedoch nach dem 25.05.2017 liegen, da beim Kontrollgang zu diesem Zeitpunkt noch kein Wasser festgestellt werden konnte. Am 10.07.2017 betrug der Wasserstand bereits 4,7 m.

Der in der Abbildung 10 dunkelblau markierte Zeitabschnitt mit See lässt sich auch in der Temperaturkurve abgrenzen, wo sie während beiden Seebildungen auffallend konstant bei ca. $-0,1^{\circ}\text{C}$ verharrt. Im Winter 2017/2018 sank die Wassertemperatur langsam auf ca. $-0,2^{\circ}\text{C}$. Nachdem sich der Seespiegel ab dem 12.02.2018 langsam zu senken begann, sind auch kleine Veränderungen in der Wassertemperatur festzustellen. Diese sank am 28.02.2018 auf einen Minimalwert von $-0,7^{\circ}\text{C}$. Dieser minimale Wert korreliert auch mit der niedrigsten Temperatur, die in diesem Zeitraum auf dem Zwinglipass gemessen wurde. Der Niederschlagsmesser in der Nähe der Zwinglipasshütte registrierte während der drei Tage vom 26. bis zum 28.02.2018 Temperaturen unter -20°C , wobei die kälteste Periode in der Nacht vom 26. auf den 27. mit bis zu $-24,1^{\circ}\text{C}$ gemessen wurde. Somit drang diese Kälte sehr schnell in die Schneehöhle ein und kühlte die Wassertemperatur deutlich ab.

In den Zeiträumen ohne unterirdischen See zeigt die Temperaturkurve jährliche Schwankungen. Am 16.01.2017, kurz vor dem Unterbruch, erreichte die Lufttemperatur ein Minimum von $-9,9^{\circ}\text{C}$. Praktisch dieselbe Temperatur von $-9,7^{\circ}\text{C}$ wurde auch am 25.01.2019 erreicht. Somit zeigen diese beiden Minimalwerte, dass die Abkühlung in der

Schneehöhle sehr direkt mit der Aussentemperatur gekoppelt ist. In den beiden Wintern zeigten jeweils die Monate Januar 2017 und 2019 die kältesten gemittelten Temperaturen auf dem Zwinglipass.

Im Sommer verhält es sich anders. Die Lufttemperatur in der Schneehöhle nähert sich langsam dem Gefrierpunkt. Am 02.06.2018 und am 27.06.2019 wurde dieser jeweils überschritten und hinkt damit etwa einen Monat hinter dem Tagesmittel der Messstation bei der Clubhütte her. Die Lufttemperatur bleibt während des Sommers und Herbstes bis zum 17.11.2018 und 04.11.2019 im positiven Bereich. Die maximale Lufttemperatur in der Schneehöhle wurde zwischen dem 20. und dem 23.09.2018 mit $+1,1^{\circ}\text{C}$ gemessen. Auch dieses Maximum tritt etwa einen Monat nach dem Maximum der Aussentemperatur auf.

4.4 Woher stammt das Wasser und wohin geht es?

Eine entscheidende Frage bleibt aber bislang unbeantwortet: Woher stammt das Wasser? Es scheint eine Kombination aus Schneeschmelze und starken Niederschlagsereignissen zu sein. In den Jahren 2015, 2016, 2017 und neuerdings auch 2023 wurde jeweils im Juni Wasser festgestellt (Abbildung 9), was eindeutig nach dem Beginn der Schneeschmelze liegt. Obwohl zu dieser Zeit noch beträchtliche Schneemengen auf dem steilen Karrenfeld nördlich des Girespitz in westlicher Richtung gegen den Moor liegen, hat der Niederschlag einen direkten Einfluss. Die Gewitter zwischen dem 24. und 26.07.2017 liessen den Wasserspiegel innerhalb weniger Stunden um die letzten 1,3 m ansteigen. In diesen drei Tagen verzeichnete der Niederschlagsmesser eine summierte Menge von 94,2 mm.

Nachdem im Oktober 2015 der erste aufgestaute See wieder abgelaufen war, klaffte dort, wo sich auf dem Foto von 2012 (Abbildung 7) eine Eisfläche befand, ein grosses Loch. Dieses Loch war in den folgenden Jahren stets mit Wasser gefüllt, wobei das Wasserlevel mit der

umgebenden Eisfläche ausgeglichen war. Das Wasser floss in südwestlicher Richtung über das Eis ab und verschwand in der Versickerungsstelle A (Abbildung 9A). Diese Versickerungsstelle muss jedoch sporadisch zufrieren, weil sich sonst kein See aufstauen könnte. Dies geschieht vermutlich nur, wenn kaum noch Wasser fliesst und die Lufttemperatur in der Höhle die minimalen Werte erreicht. Somit beginnt das im Frühling eindringende erste Schmelz- und Regenwasser sich aufzustauen. Der maximal gefüllte See erreicht dann eine Höhe von ca. 8,5 m. Diese Höhe muss mit der Ganghöhe zwischen der vorderen und der hinteren Halle korrelieren. Sobald die Marke von 8,5 m erreicht ist, fliesst das Wasser über diese Schwelle und erreicht die Versickerungsstelle B am Ende der hinteren Halle (Abbildung 9A).

Interessanterweise erfolgte das Entleeren des Sees im Frühling 2018 in drei Phasen. Zunächst gab es eine mehr oder weniger gleichmässige Entleerung des Wassers von 8,5 m auf 4,0 m zwischen dem 12.02.2018 und dem 17.04.2018, gefolgt von einem sehr schnellen Abfall um 3 m auf die Höhe von 1,0 m zwischen 20.30 und 23.30 Uhr am 17.04.2018. Anschliessend entleerte sich der letzte Meter komplett bis am 08.05.2018. Bis heute ist nicht klar, wohin das Wasser fliesst. Es ist jedoch anzunehmen, dass es ebenfalls in das grosse Karstsystem entwässert. Im Rahmen einer hydrologischen Untersuchung des Alpsteins, durchgeführt von R. Attinger von der Universität Bern, wurde am 01.07.1987 eine Wasserfärbung im «Oberscherenschacht» durchgeführt (Lokalität in Abbildung 5). Dabei wurden 5 kg Markierstoff (Uranin) eingespeist. Einen Tag später war die Thur bei Alt St. Johann grün gefärbt (ATTINGER 1988).

4.5 Ausblick

Die Wasserstandsmessungen wurden im Jahre 2020 aufgrund wiederholter Unterbrechungen eingestellt, da die Installation mit dem Kabel anfällig für Steinschlag und Eisbildung war.

Infolgedessen wurden der Drucksensor und die Übermittlungsstation abgebaut. Angesichts der erneuten Bildung eines Sees im Jahre 2023 stellt sich jedoch die Frage, ob nicht doch ein längeres Monitoring erforderlich ist. Es wird daher die Installation einer automatisierten Messstation in der Höhle erwogen, die mittels Cave-Link-Systems die Daten über eine VLF-Frequenz (VLF = Very Low Frequencies) an die Aussenstation übermittelt. Auf diese Weise könnte das Problem mit dem fehleranfälligen Kabel umgangen werden. Ausserdem wird die Möglichkeit eines Färbversuchs (Tracerversuch) in Betracht gezogen, da aus hydrogeologischer Sicht noch nicht geklärt ist, wohin der See entwässert wird.

4.6 Dank

Unser herzlicher Dank geht an alle, die in den letzten Jahren unermüdlich die Projekte des SAC Toggenburg und der OGH unterstützt haben. Wir möchten allen danken, die bei der Erstellung des geologischen Steinmannli tatkräftig mitgeholfen haben und durch zahlreiche Befahrungen und Kontrollgänge in der Schneehöhle, Reparaturen des Kabels und Batteriewechsel einen Beitrag geleistet haben. Felix Ziegler danken wir für die Bereitstellung der Messeinrichtungen (SIM-Karte, Übertragung und Serverkosten).

5 Literaturverzeichnis

- ATTINGER R. (1988): Grundzüge der Karsthydrologie des Alpsteins, Tracerhydrologische Untersuchung im Hinblick auf Gewässerschutzmassnahmen. – Publikation Gewässerkunde No. 101, Universität Bern.
- EUGSTER, H., FORRER, M., FRÖHLICHER, H., KEMPF, TH., SCHLATTER, L., BLASER, R., FUNK, H., SPÖRRI, M. & HABICHT, K. (1982): Blatt 1115 Säntis. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Karte 78.
- GRAF, R. (2016): Zwinglipassgebiet Alpstein/SG. – 10 Jahre Forschungslager 2007 bis 2016. Höhlenpost, 148, 2–13.
- GRAF, R. (2017): Wasserstandsmessung in der Schneehöhle. – Höhlenpost, 151, 44.
- KEMPF, T.A. (1966): Geologie des westlichen Säntisgebirges. – Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F. 128.
- LÄUBLI, R. & GRAF, R. (1988): Schneehöhle D1. – Höhlenpost, 77, 18–19.
- SALA, P., PFIFFNER, O. A. & FREHNER, M. (2014): The Alpstein in three dimensions: fold-and-thrust belt visualization in the Helvetic zone, eastern Switzerland. *Swiss Journal of Geosciences*, 107(2), 177–195.
- SCHERRER, R. (1992): OGH-Tätigkeitsbericht 1991. – Höhlenpost, 88, 18–25.
- WOHLWEND, S. (2022): Geologie rond om de Zwinglipass – Die Entstehung des geologischen Steinmannldis. SAC Toggenburg.