

25. GEOFORUM UMHAUSEN 19.-20. OKTOBER 2023



JAHRE

Tagungsband

Grußworte 2023 von Landesrätin Astrid Mair, BA MA

Sehr geehrte Tagungsteilnehmerinnen und Tagungsteilnehmer,
sehr geehrte Vortragende, liebes Organisationsteam!



Das Geoforum Umhausen ist eine weithin angesehene Expertentagung, die seit ihrer Gründung 1999 nun schon zum 25. Mal unverzichtbar für die Bewohner und Urlauber und damit natürlich auch für die Politiker der alpin geprägten Regionen wie Tirol hier in Umhausen im Ötztal zusammenkommt.

Als Landesrätin der Tiroler Landesregierung für Sicherheit und für den Zivil- und Katastrophenschutz beeindruckt es mich sehr, dass das Geoforum Umhausen als zwar „kleine, aber sehr feine“ interdisziplinäre und internationale Fachtagung jedes Jahr hochkarätige Beiträge liefert und diskutiert, die gerade auch im Sinne der laufenden Klimaänderungen praktikable Lösungsvorschläge und Vorgehensweisen aufzeigt, die geeignet sind, unseren alpinen Lebensraum so sicher wie möglich und damit auch zukünftig lebenswert zu halten.

Der Meinungs austausch zwischen Experten der Praxis und solchen der Wissenschaften wird hier besonders gepflegt.

Für Tirol ist natürlich wichtig, dass das mit 01.02.2021 gegründete und unter der Leitung von Elmar Rizzoli stehende „Tiroler Zentrum für Krisen- und Katastrophenmanagement“ sich verstärkt in die Geoforumstagungen einbringt. Die Landesgeologie ist - wie auch die Landeswarnzentrale und der Lawinenwarndienst - Teil dieser wichtigen Organisation. Die Ersterfahrungen bei der Bewältigung des Felssturzes am Fluchthorn 2023 sind daher genauso, wie die Erfahrungen mit den Einsätzen von Drohnen wichtiges Thema des 25. Geoforums Umhausen.

In Anbetracht des zu erwartenden Fortschreitens der Klimaänderungen in Verbindung mit dem von den Menschen immer intensiver genutzten Naturraum unterstütze ich das Geoforum Umhausen sehr und hoffe, dass diese jährlichen Tagungen noch viele Jahre lang abgehalten werden können. Ich danke den Veranstaltern des Vereins Geoforum Tirol ebenso, wie auch dem Bürgermeister Jakob Wolf und seiner Gemeinde Umhausen sehr dafür, dass sie diese Erfolgsgeschichte des Geoforums Umhausen nunmehr ein Vierteljahrhundert getragen haben. Die Tiroler Landesregierung hat ihre große Wertschätzung nicht zuletzt auch mit der Verleihung der Verdienstmedaille des Landes Tirol 2022 an den Präsidenten des Vereins Geoforum Tirol HR Dr. Gunther Heißel zum Ausdruck gebracht.

Astrid Mair, BA MA

(Landesrätin für Sicherheit, ArbeitnehmerInnen, Generationen, sowie Zivil- und Katastrophenschutz)

**Grußworte von LA Klubobmann Bgm. Mag. Jakob Wolf,
Bürgermeister von Umhausen**

Sehr geehrte Tagungsteilnehmerinnen und Tagungsteilnehmer,
sehr geehrte Vortragende, liebes Organisationsteam!



Das Jahr 2023 hat in vielen Regionen der Welt teils katastrophenartige Wettereinflüsse über die betroffenen Menschen gebracht. Auch 2023 blieb das Ötztal nicht von heftigen Auswirkungen intensiver Regenfälle verschont. Es ist dabei viel Sachschaden entstanden und wir müssen froh sein, dass keine Menschenleben zu beklagen sind. Freilich muss uns bewusst sein, dass das Leben in einem gebirgigen Land wie Tirol - so wie in der Vergangenheit - auch in Zukunft immer wieder von Schadensereignissen, die durch heftige Niederschläge verursacht werden, betroffen sein wird und wir nie den Zustand der absoluten Sicherheit erreichen werden.

Wichtig ist es aber, dass die Menschen im alpinen Raum vermehrt danach trachten, Strategien zu entwickeln und umzusetzen, die eine größtmögliche Schadensbegrenzung gewährleisten können.

Mit dem Geoforum Umhausen, das heuer zum 25. Mal in Umhausen tagt, leisten wir seit der 1. Tagung vor einem Vierteljahrhundert qualitativ erstrangige und wertvolle Beiträge mit dem Ziel den alpinen Lebensraum so sicher wie möglich und damit so lebenswert wie möglich zu gestalten.

Das Geoforum Umhausen als interdisziplinäre und internationale Expertentagung hat von Anfang an gezeigt, dass es nicht nur die aktuellen Probleme durch Naturgefahren erkennen und ansprechen kann, sondern auch auf hohem Niveau wissenschaftliche Erkenntnisse mit den Erfahrungen der Praktiker verknüpfen und so umsetzbare Lösungswege und Lösungen entwickeln kann.

Als Bürgermeister der Gemeinde Umhausen und als Gründungsmitglied des Vereins Geoforum Tirol, der ja der Trägerverein der jährlichen Tagungen Geoforum Umhausen ist, bin ich stolz, dass Umhausen die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der erfolgreichen Tagungen des Geoforum Umhausen heuer zum 25. Mal hier in Umhausen/Niederthai begrüßen darf. Von den Gründungsteilnehmern der ersten Stunde stehen nur noch Wolfram Mostler und Gunther Heißel an meiner Seite. Sie und das kleine, aber sehr effiziente Organisationsteam mit Petra Nittel-Gärtner und Thomas Figl sorgen für den klaglosen Ablauf der jeweiligen Tagungen.

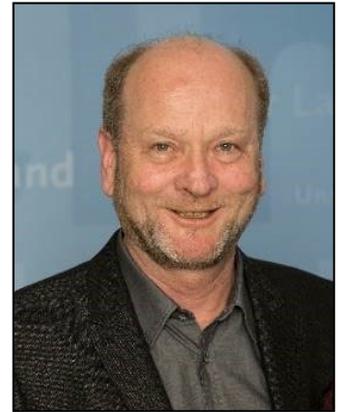
Ich hoffe, dass das Geoforum Umhausen noch viele Jahre seinen so erfolgreichen Weg hier bei uns in Umhausen, also „im Herzen des Ötztals“ weiter gehen wird!

Mag. Jakob Wolf

(Klubobmann der Volkspartei im Tiroler Landtag und Bürgermeister von Umhausen)

Grußworte von Hofrat Dr. Gunther Heißel

**25 Jahre Geoforum Umhausen – eine interdisziplinäre
Erfolgsgeschichte, stets am Puls des Geschehens, geschätzt für 25
Jahre des Aufzeigens von Problemen und praktikablen
Problemlösungen für ein sicheres Leben im alpinen Raum**



1999, beim 1. Geoforum Umhausen war bereits klar, dass die Verbreitung von Angst und Panik im Falle des Eintretens von mehr oder weniger katastrophalen Naturereignissen der falsche Weg ist, um die Menschen, die davon betroffen sind oder sein können zu überzeugen, die nötigen Maßnahmen gemeinsam mit den Krisenstäben und ihren Expertinnen und Experten zu setzen. Dieser Anspruch des Geoforums – verbunden mit sachlicher Darstellung von Befunden und Schlussfolgerungen zeichnet die Tagungen des Geoforums Umhausen seit 1999 aus und begründet ihren seit 25 Jahren andauernden Erfolg.

Bereits das 1. Geoforum Umhausen 1999 hat sich mit seinem ersten Vortrag (Heinz Surbeck) zum Ziel gesetzt, die hohen natürlich bedingten Radonbelastungen in Umhausen zu thematisieren, um neben den bereits bekannten Gefahren des Radons die Nutzbarmachung zum Wohle der Menschen aufzuzeigen. Radon als geogen bedingte Naturgefahr blieb im Rahmen mehrerer Geoforum-Tagungen ein Thema. So konnte das Geoforum in seiner Funktion als Wegbereiter wertvolle Beiträge leisten, um auch die positiven „Seiten“ des Edelgases Radon aufzuzeigen. Nicht zuletzt deshalb konnte in Umhausen ein angesehenes Radon-Kurzentrums verwirklicht werden.

Auch wenn der Öffentlichkeit bei geogen bedingten Naturgefahren meist nur Schlagworte wie Permafrost, Felssturz, Hangrutsch, „das Zerbröseln der Alpen“, Muren und Hochwasser vermittelt werden, hat sich das Geoforum stets bemüht diesen viele Aspekte umfassenden Themenkreis sachlich und umfassend zu behandeln. Dies war stets nur als interdisziplinäre Tagung und unter Teilnahme österreichischer und internationaler Experten und Expertinnen aus den unterschiedlichsten Fachbereichen möglich und sinnvoll.

So hat sich das Geoforum mehrfach dem Problemkreis der geogen bedingten Naturgefahr des Gipskarstes gewidmet, um gangbare Lösungen für die betroffenen Siedlungsräume – nicht nur in Tirol – zu erarbeiten.

Wenn man von den Klimaänderungen spricht, sollte man dies nicht nur auf die Freisetzung der Treibhausgase reduzieren. Das Geoforum hat von Anfang an versucht, beispielsweise die Diskussion der Sicherung von Rohstoffen für die Zukunft im Hinblick auf den Klimawandel zu führen. An vorderster Linie sind hier die Sicherheit und Gewährleistung der Trinkwasserversorgung durch Grund- und Quellwasser für die Bevölkerung im Lichte der sich ändernden klimatischen Bedingungen zu sehen. So widmen sich auch heuer wieder mehrere Vorträge diesem Thema, z. B. mit der Erschließung der Stöttlquellen aus dem Mieminger Gebirge. Es werden somit Wege und Methoden für einen zukunftsorientierten Umgang mit dem Rohstoff (Trink)wasser aufgezeigt und zur Diskussion gestellt. Der heutige Öffentliche Abendvortrag zeigt auf, wie die Menschen in Nordtirol in früheren Zeiten auf Klimaänderungen reagiert und erfolgreich ihre landwirtschaftlichen Flächen künstlich bewässert haben.

Die möglichen Änderungen des Wasserhaushaltes durch den starken klimabedingten Rückgang der Vergletscherung in Teilen der Alpen wurde im Rahmen der Geoforum-Tagungen nicht zuletzt am Beispiel des Einzugsgebietes der Öztaler Ache eindrucksvoll aufgezeigt.

Der Wald, nicht nur in seiner Aufgabe als Erholungsraum, sondern vor allem auch als erneuerbarer Rohstoff und im Hinblick auf seine Aufgaben zum Erosionsschutz im steilen Gelände und zum Schutz alpiner Grundwässer und Quellen war ebenfalls bereits mehrfach Thema von Geoforumstagungen, und wird auch heuer beim 25. Geoforum 2023 in Form eines Betrages präsentiert. Den Wald „klimafit“ zu machen ist eine Aufgabe der Forstbetriebe und -verwaltungen, die teilweise auch durch geologische Expertisen unterstützt werden, wie die Vorträge beim Geoforum eindrucksvoll gezeigt haben.

Das vernetzte System unseres alpinen Lebensraumes ist ein Spannungsfeld verschiedenster darin wirkender Einflüsse. Es ist ein Spannungsfeld zwischen intensiver Freizeitnutzung, Forstwirtschaft, Jagd, Besiedelung und der dazu gehörenden Verkehrswege, sowie der Wiederansiedlung der großen Beutegreifer. Dieses multiple vernetzte System zu betrachten und zu erörtern, wie damit am besten umzugehen ist, hat sich das Geoforum in vielen Beiträgen zur Aufgabe gemacht.

Neben den bereits angeführten Rohstoffen ging es gerade in den letzten Jahren vor allem auch um die Frage, ob für die geplante E-Mobilität die dazu nötigen Rohstoffe überhaupt ausreichend vorhanden sein werden und ob die Nutzung dieser Rohstoffe nicht mit neuen politischen Abhängigkeiten einhergehen würde. Das Ergebnis dieser fundierten Expertise war eher ernüchternd. Dies gilt auch für die Frage der Nutzung von Tiefengeothermie zur Abdeckung des „Energiehungers“ der Welt. Tiefengeothermie wird wie mehrfach beim Geoforum thematisiert - unweit Tirols z. B. sogar mitten im Stadtgebiet von München erfolgreich genutzt; auch in Teilen Österreichs könnte die Nutzung dieser erneuerbaren Energie stärker zum Einsatz kommen.

Den Gefahren, die von Felsstürzen, Steinschlag, Muren, Hochwasser und ähnlichen Ereignissen ausgehen, ist nicht nur durch Frühwarnsysteme, Sicherungen und Schutzbauten entgegenzutreten, sondern durch einen sorgsameren Umgang mit der Natur, die den inneralpinen Siedlungsraum umgibt. Maßnahmen zur Reduktion der Abflussgeschwindigkeiten von Niederschlagswässern und die Erhaltung und Verbesserung der Versickerungsfähigkeit des Untergrundes sind unabdingbare Zielsetzungen, die es längst gilt, konsequent umzusetzen. Man muss nicht ständig die laufenden Klimaänderungen „beklagen“, um zu erkennen, dass die Natur im Wandel begriffen ist. Es gibt viele Anpassungsstrategien, um die Auswirkungen dieser Änderungen so gering wie möglich zu halten. Man denke z. B. an die dauerhafte Verlegung alpiner Wege zur Umgehung von alpinen Gefahrenzonen. Derartige Maßnahmen sind nicht selten problemlos durchführbar, was mehr oder weniger bei allen Geoforum-Tagungen eindrucksvoll aufgezeigt wurde. Auch bei Verkehrswegen können streckenweise Verlegungen aus den Gefahrenzonen heraus sinnvoll sein, was nach Möglichkeit auch praktiziert wird.

Das Geoforum Umhausen hat jedenfalls stets auch darauf Wert gelegt, diesen Themenkreis vernetzt und umfassend zu behandeln. So wurde bewusst auch darauf Wert gelegt, Fachleute nicht nur aus dem Inland, sondern z. B. auch aus der Schweiz, aus Deutschland und Südtirol zu Wort kommen zu lassen, damit sie ihre Erfahrungen mit teils großen und auch spektakulären Ereignissen präsentieren zu können. So erfolgte stets ein Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen inländischen und ausländischen Expertinnen und Experten über ihre Erfahrungen mit den ebenfalls oft auch komplex ablaufenden Großereignissen in Österreich.

Gerade die geogenen gravitativen Naturgefahren sind jedenfalls ein Themenkreis, der so komplex ist, dass bei einigen Geoforumstagungen auch „scheinbar fachfremde“ Expertinnen und Experten um Darlegung ihrer Erfahrungen gebeten wurden. So kamen Fachleute der Krisenkommunikation zu Wort, um den Einsatzstäben die richtige Art der Kommunikation mit der jeweils von Naturereignissen betroffenen Bevölkerung zu vermitteln. Dies ist unter dem Eindruck gerade ablaufender und für die Menschen bedrohlicher oder zumindest bedrohlich wirkender Naturprozesse besonders wichtig. Expertinnen und Experten der Landeswarnzentrale bzw. der damaligen Zivil- und Katastrophenschutzabteilung wurden ebenfalls mehrfach um die Darlegung ihrer Sicht gebeten. Erfahrene Juristen haben aufgezeigt, welches die Aufgaben und Pflichten von Fachleuten in derartigen Situationen sind und in welcher Weise sie Verantwortung tragen müssen.

Das Geoforum Umhausen war stets bestrebt auch die Bevölkerung an den Tagungen teilhaben zu lassen. Die Einwohner von Umhausen und der umliegenden Gemeinden sollten Einblicke in die Tätigkeiten der Experten und Expertinnen bekommen. Seit vielen Jahren sind die Öffentlichen Abendvorträge und Öffentlichen Podiumsdiskussionen bei der Bevölkerung sehr beliebt und sprengen teilweise die Saalkapazitäten, sodass derartige Vorträge entweder wiederholt werden mussten oder in die größeren Vortragsräumlichkeiten im Radon-Kurzentrum verlegt wurden. Die Zuhörerschaft kommt längst nicht mehr nur aus Umhausen, sondern aus dem gesamten Ötztal, weiten Teilen des Inntales und aus den benachbarten Tälern wie Kaunertal, Pitztal und Stanzertal und darüber hinaus. Hauptthemen sind dabei nicht nur Felsstürze, Hangrutschungen und ähnliche Prozesse in Tirol, sondern auch aus dem Ausland (z.B. Felsstürze im Gebiet des Eiger). Die Zukunft der Ötztaler Gletscher im Klimawandel wurde mit besonderem Interesse von den Leuten aufgenommen. Mehrfach war auch die Frage, ob es sich im Gebiet von Niederthai wirklich um einen großen, etwa 10.000 Jahre alten Bergsturz handelt, oder ob andere geologische oder gar extraterrestrische Prozesse die Landschaft bis zu ihrem heutigen Erscheinungsbild formten, wahrscheinlicher sind. Mit sehr großem Interesse verfolgte die Bevölkerung die Theorien, dass der Einschlag eines kosmischen Körpers Ursache eines großen Bergsturzes gewesen sei und wenige Jahre später die Erläuterungen dazu, dass zwar ein kosmischer Körper im Wesentlichen über Köfels und Niederthai in der Luft explodiert sei, aber nur einige wenige „Splitter“ auch im Gelände eingeschlagen sind. Die eigentliche Ursache für den Felsriegel, der zwischen Längenfeld und Umhausen die Tallinie des Ötztals unterbricht, ist demnach in der erosiven fensterartigen Freilegung der dortigen Orthogneise aus der Umhüllung der umgebenden Paragneise. Der Bimsstein von Köfels, die Zertrümmerung der Rundhöcker am Tauferberg, die zahlreichen Spaltenbildungen bei Niederthai und Köfels, die bis Farnst und in den Raum Piburger See die Landschaft kennzeichnen, sind demnach im Wesentlichen durch die Explosion des kosmischen Körpers in der Luft entstanden (ähnlich dem Meteoriten von Tscheliabinsk 2013) und nicht durch einen Bergsturz. Neben dem weitgehenden Fehlen von Sturzblöcken im Gebiet von Köfels und Niederthai gibt es noch zahlreiche andere Hinweise und Argumente, dass hier kein großer Bergsturz stattgefunden hat. Im Übrigen finden sich im alten Sondierstollen bei Umhausen entgegen der Literatur keine Bergsturzblöcke, sondern nur gut gerundete Bachgerölle.

So hat das Geoforum Umhausen auch mehrfach Beiträge und Argumente geliefert, die an bisher gängigen wissenschaftlichen Ansichten „rütteln“ (z. B. Fernpass: nicht durch Bergsturz, sondern durch Gipskarst entstanden; Tschirgant: nur kleinere Felsstürze auf den späteiszeitlichen Inntalgletscher; Verlauf der Südgrenze der Kalkalpen nicht entlang der Nordgrenze des Inn- und Stanzertales, sondern fast ausschließlich entlang oder gar südlich des südlichen Talrandes).

Das Geoforum Umhausen kann so auf seine Leistungen der letzten 25 Jahre, die allesamt im Detail den Tagungsbänden - siehe www.geoforum-umhausen.at - zu entnehmen sind, stolz sein. Es sind die exzellenten

Leistungen der Vortragenden und der Teilnehmerinnen und Teilnehmer, die diesen Erfolg ermöglicht haben. Auch der eher „familiäre“ Charakter der Tagungen mag an diesem Erfolg beteiligt sein, ebenso wie der Einsatz des kleinen, sehr effizienten Organisationsteams. Die stete Unterstützung des Bürgermeisters von Umhausen Mag. Jakob Wolf und sein großes Interesse am Geoforum Umhausen sind besonders zu erwähnen. Das Interesse der Landespolitik ist seit dem 1. Geoforum 1999 ungebrochen und kam besonders in der Verleihung der Verdienstmedaille des Landes Tirol 2022 an den Unterfertigten zum Ausdruck. Allen hier Genannten gebührt daher mein besonderer Dank für diese 25 Jahre andauernde und hoffentlich noch lange fortdauernde Erfolgsgeschichte Geoforum Umhausen!

Hofrat Dr. Gunther Heißel

(Präsident des Vereins Geoforum Tirol)

Inhaltsverzeichnis

<i>Goldgrube Deponie?</i>	<i>9</i>
<i>Kurzpräsentation zum Bergsturz am Fluchthorn</i>	<i>18</i>
<i>Drohneinsatz im Landesdienst – Lageerhebung von Naturgefahrenprozessen und weitere Unterstützungsleistung.....</i>	<i>22</i>
<i>Wasser Wasser aus dem Berg – Trinkwassergewinnung aus dem Mieminger Gebirge.....</i>	<i>32</i>
<i>PFAS-Kontamination in der Steiermark</i>	<i>43</i>
<i>Erfahrungen aus hydrogeologischer Sicht beim Vortrieb des Erkundungsstollens des Brenner Basistunnel in der Hochstegenzone: Vorausbohrungen als Hilfsmittel zur hydraulischen Charakterisierung und Festlegung der Injektionswürdigkeit des Gebirges.....</i>	<i>46</i>
<i>„Der Objektschutzwald in Osttirol - hart geprüft durch die Natur“</i>	<i>70</i>
<i>Erkenntnisse aus einem 20-jährigen Monitoring der Kalk-Mergel- Wechselfolge am Hornbergl in Tirol, TU München.....</i>	<i>78</i>
<i>Blocksturz Steyr/Christkindl, ein Ereignis mit tödlichen Folgen.....</i>	<i>85</i>
<i>Einige ungewöhnliche Rutschungen in Salzburg –.....</i>	<i>93</i>
<i>ABENDVORTRAG</i>	<i>98</i>
<i>Hangrutsch Hörbranz-Hochreute.....</i>	<i>99</i>
<i>Tiefengeothermie im süddeutschen Molassebecken – Bohrtechnische Erschließungsgeschichte und Weiterentwicklungen.....</i>	<i>102</i>
<i>Silvretta Therme ISCHGL – Baugrube und Untergrundnutzung.....</i>	<i>112</i>
<i>Reizthema technische Beschneigung:</i>	<i>122</i>

Goldgrube Deponie?

Heinz Surbeck ¹, Simon Werthmüller ²

¹ Nucfilm GmbH, Cordast, Schweiz, ² GEOLOGIK AG, Luzern, Schweiz

Abstract

Methane emissions from domestic waste landfills account for only a small part of total greenhouse gas emissions, but this still amounts to 10,000 to 15,000 t per year for Switzerland alone. This corresponds to a CO₂ equivalent of about 300'000 t CO₂ per year. These emissions could be reduced with pump wells, with simultaneous thermal utilization of the methane. Using the example of a landfill, which despite its old age still produces a lot of methane, we try to show that pump wells could also be financially interesting. Thermal utilization and/or trading of CO₂ certificates could probably finance more than just the construction and operation of the infrastructure. In the long term, methane concentrations in the landfill body could be massively reduced. This would make housing development much easier. Today, many of these landfills are located within residential areas.

Einleitung

Weltweit wird inzwischen versucht die Emissionen von Treibhausgasen zu reduzieren. Viele Länder haben sich zu konkreten Zielen zur Reduktion verpflichtet. Sie unterstützen Projekte zur Reduktion mit finanziellen Anreizen und einem Abbau regulatorischer Hindernisse. Es ist in der Schweiz zum Beispiel deutlich einfacher geworden Baubewilligungen für Solaranlagen, thermisch oder photovoltaisch, zur Substitution fossiler Energieträger zu erhalten. Ein wichtiges Instrument ist auch der Handel mit CO₂-Zertifikaten geworden, deren Preis sich Richtung 100 Euro / t CO₂ bewegt.

Die Methanemissionen von Hausmülldeponien machen zwar nur einen kleinen Teil der gesamten Treibhausgasemissionen aus, aber das sind allein für die Schweiz nach wie vor 10'000 bis 15'000 t pro Jahr. Das entspricht einem CO₂-Äquivalent von etwa 300'000 t CO₂ pro Jahr (Fig.1).

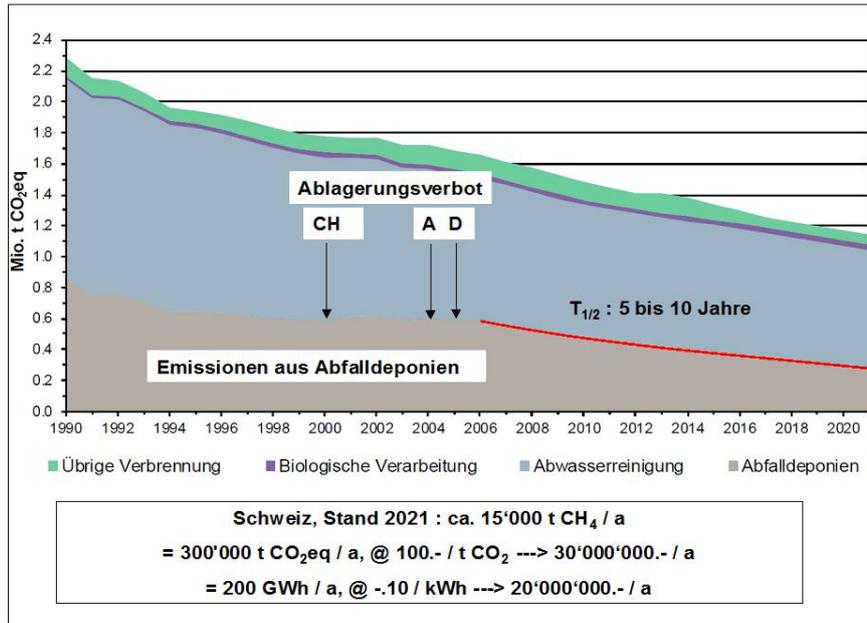


Fig. 1: Methanemissionen aus Schweizer Hausmülldeponien. FOEN 2023, BAFU 2023.

Diese Emissionen könnten mit Pumpbrunnen reduziert werden, bei gleichzeitiger thermischer Nutzung des Methans. Am Beispiel einer Deponie, die trotz ihres hohen Alters immer noch sehr viel Methan produziert (Fig.2) versuchen wir zu zeigen, dass Pumpbrunnen auch finanziell durchaus interessant sein könnten.



Fig. 2: Die untersuchte Deponie

Bisherige Messungen

Die Bohrung in Figur 2 wurde 2021 mit einem Multiparameter-Monitor (Nucfilm GmbH) ausgerüstet. Leider war 2021 noch kein 100 Vol% CH₄-Sensor verfügbar. Einzelmessungen und die kontinuierlichen Messungen (Fig.3 und 4) zeigten eine für das Alter der Deponie (letzte Einlagerungen etwa 1987 und Ueberdeckung 1993) erstaunlich hohe Methankonzentration von etwa 50 Vol%, bei gleichzeitig tiefer CO₂ Konzentration von etwa 8 Vol% und extrem tiefer O₂ Konzentration, deutlich unter 2 Vol%. Die Deponie befindet sich offenbar immer noch in der Methanphase mit einer nur sehr schwachen Oxidation des Methans zu CO₂.

Bei den kontinuierlichen Messungen konnte eine deutlich negative Korrelation zwischen dem Luftdruck und den CH₄- und CO₂-Konzentrationen beobachtet

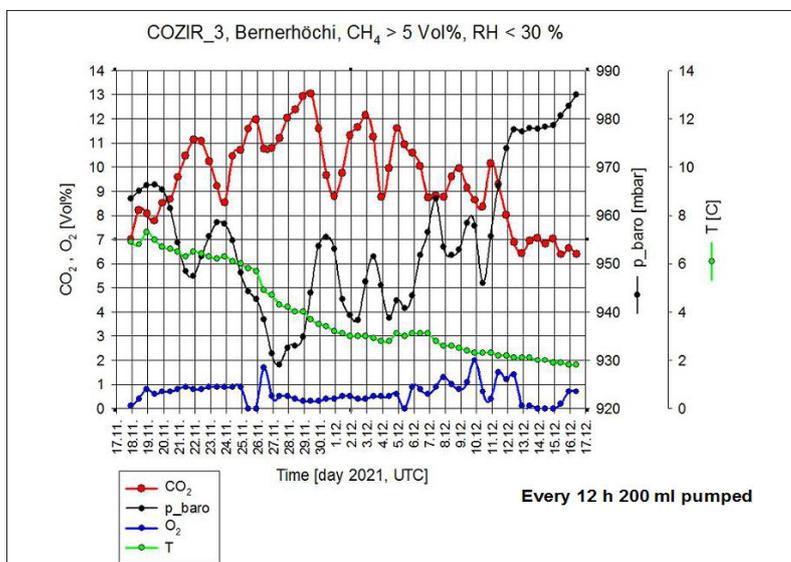


Fig. 3: Kontinuierliche Messungen 2021

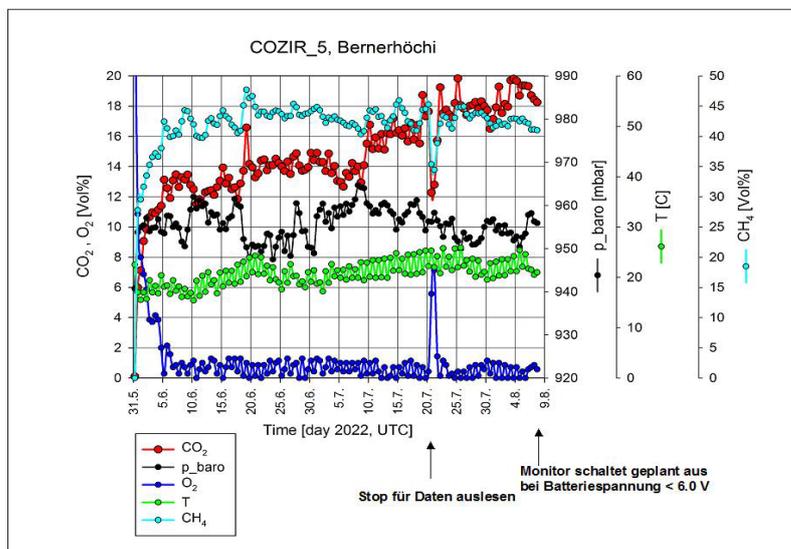


Fig. 4: Kontinuierliche Messungen 2022

werden. Dies bedeutet, dass ein Anstieg des Luftdrucks offenbar zu einer verstärkten Infiltration von Aussenluft in den Deponiekörper führt. Das heisst aber auch, dass bei sinkendem Luftdruck Methan trotz der Abdeckung in die Atmosphäre abgegeben wird.

Pumpversuche

Es wurden zwei Pumpversuche durchgeführt. Der erste am 25.8.2022, mit einer Pumprate von 3 bis 6 Litern pro Minute, der zweite am 11.10.2022 mit einer maximalen Pumprate von etwa 35 Litern pro Minute. Beim ersten Pumpversuch wurde innert etwa 3.5 Stunden total rund 1 m³ Gas gefördert, beim zweiten Pumpversuch innerhalb der gleichen Zeit etwa 7 m³. Beim Pumpversuch vom 25.8.2022 stieg nach einem vollständigen Austausch des Rohrvolumens die Methan-Konzentration auf etwa 65 Vol% an und pendelte sich dann bei etwa 55 Vol% ein. Während des ganzen Pumpversuchs betrug der Unterdruck < 20 mbar. Die Gaspermeabilität des Deponiematerials in unmittelbarer Umgebung der Bohrung ist daher sehr hoch. Das nach etwa 3.5 Stunden bei 6 Liter / h geförderte Gasvolumen von 1'250 Litern entspricht etwa dem 12-fachen Volumen der Filterstrecke (13 m, 8 Liter/m). Bei einer angenommenen Porosität des Deponiekörpers von 20 % wurde damit Gas aus einer Entfernung von einigen Dezimetern ausserhalb des Filterrohrs angesaugt. Somit lieferte dieser Pumpe nur Information über die unmittelbare Umgebung der Bohrung, aber die dabei beobachtete grosse Gaspermeabilität und die konstant hohe Methankonzentration sprachen bereits dafür, dass sich diese Bohrung als „Methanbrunnen“ eignen würde.

Um Information über ein grösseres Volumen um die Bohrung herum zu bekommen wurde ein zweiter Pumpversuch mit grösserer Gasfördermenge durchgeführt (Fig.6). Begonnen wurde mit dem Versuchsaufbau vom 25.8.2022, bei 6 Liter pro Minute um einen Anschluss an den ersten Pumpversuch zu haben. Nach 25 Minuten, nach einem gepumpten Volumen von 150 Litern, etwas mehr als dem totalen Rohrvolumen, betrug die gemessenen Gaskonzentrationen (Gasmonitor GA 5000):

CH₄ : 53.3 Vol%, CO₂ : 7.7 Vol%, O₂ : 1.2 Vol%, H₂S : 7 ppm.

Diese Werte entsprechen ziemlich gut den stationären Werten des Pumpversuchs vom 25.8.2022. Dann wurde eine stärkere Gaspumpe (Axiallüfter) installiert. Der Durchsatz wurde am oberen Ende des Abluftrohrs mit einem Anemometer bestimmt. Nach dem Umbau (Fig.5) wurde zuerst versucht, mit einem kleinen Axiallüfter (max. 78 m³/h, max Unterdruck 80 Pa) Gas abzupumpen. Das war kein Erfolg. Es wurde kaum etwas abgepumpt, bei einem Unterdruck von 50 Pa (0.5 mbar). Die Strömungsgeschwindigkeit lag unterhalb des Messbereichs des Anemometers, entsprechend einer Pumprate von weniger als 3 Liter pro Minute. Dieser Pumpversuch wurde abgebrochen und ein stärkerer Axiallüfter eingebaut (max. 178 m³/h, max. Unterdruck 800 Pa). Damit war es dann möglich eine Pumprate von etwa 35 Liter pro Minute (ca. 2.1 m³/h) zu erreichen. Während 200 Minuten wurden dann etwa 7 m³ Gas abgepumpt, bei einem Unterdruck von 400 Pa (4 mbar).

Die Gaskonzentrationen am Ende des Pumpversuchs betrug:

CH₄ : 47.0 Vol%, CO₂ : 7.0 Vol%, O₂ : 4.4 Vol%, H₂S : 6 ppm

Im Vergleich zum Pumpversuch vom 25.8.2022 konnte mit dem Versuch vom 11.10.2022 die Pumpleistung von 360 l/h auf 2'100 l/h gesteigert werden.

Die Zeitreihe des Pumpversuchs vom 11.10.2022 zeigt, dass auch bei einer Pumprate von etwa 2 m³/h über mehrere Stunden die Methan-Konzentration nicht wesentlich unter 50 Vol% fällt.

Selbst bei dieser hohen Pumprate betrug der Unterdruck nur etwa 400 Pa (4 mbar). Das zeigt erneut, dass die Gaspermeabilität des Deponiematerials in der Umgebung der Bohrung sehr hoch ist.

Das nach gut drei Stunden geförderte Gasvolumen von etwa 7'000 Litern entspricht etwa dem 70-fachen Volumen der Filterstrecke (13 m, 8 Liter/m, Fig.4 a). Bei einer angenommenen Porosität von 20 % wurde damit Gas aus einer Entfernung von bis zu etwa einem Meter ausserhalb der Filterstrecke angesaugt.

Bei der hohen Pumprate von 35 l/min waren sowohl die CH₄ als auch die CO₂ Konzentrationen etwa 10% tiefer als bei der tieferen Pumprate von 6 l/min. Die O₂ Konzentration war dagegen etwa 3 Vol% höher. Das liesse sich mit einem Atmosphärenluft-Anteil (N₂/O₂ = 4/1) von etwa 10% im geförderten Deponiegas erklären. Das für die Messung abgepumpte Gas wurde unterhalb des Ventilators entnommen, in einem sicher sehr gut abgedichteten Teil der Versuchsanordnung. Deshalb ist es sehr unwahrscheinlich, dass dieser Anteil an Atmosphärenluft auf Lecks zurück zu führen ist. Vielmehr dürfte es sich um Porenluft aus der mit der Atmosphäre in Kontakt stehenden Deckschicht handeln. Das wäre, wie schon die bei den kontinuierlichen Messungen beobachtete Reaktion auf Luftdruckschwankungen, ein Hinweis darauf, dass die Deckschicht nicht wirklich dicht ist. Der bei 2 m³/h gemessene Unterdruck von 4 mbar liegt in der gleichen Grössenordnung wie die Luftdruckschwankungen bei den kontinuierlichen Messungen.

Es besteht auch die Möglichkeit, dass der Deponiegas-Austausch mit der Atmosphäre nicht im Bereich der Deponieabdeckung, sondern an den Deponieflanken (ohne Deponieabdeckung), oder punktuell über präferenzielle Fliessweg erfolgt, z.B. über die in den 90er Jahren verlegten Sickerrohre.

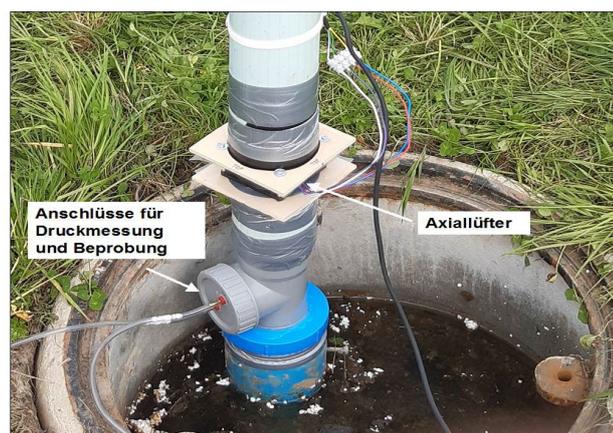


Fig. 5: Armatur für den Pumpversuch vom 11.10.2022.

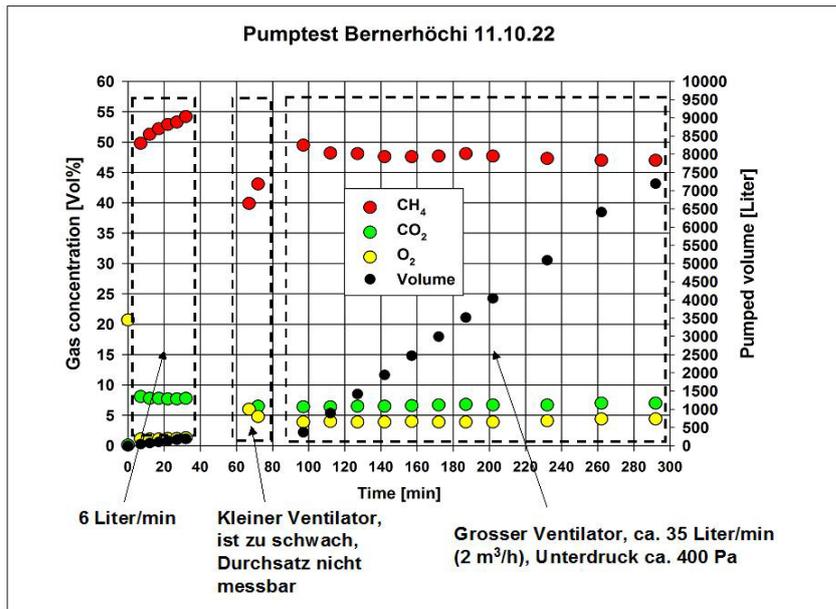


Fig. 6: Pumpversuch. Die Gaskonzentrationen wurden mit einem Gasmonitor GA 5000 gemessen.

Abschätzung der Ergiebigkeit eines Pumpbrunnens und Ausblick

Beim Pumpversuch vom 11.10.2022 wurde bei einer Pumprate von etwa 2 m³/h auch nach gut 3 Stunden kaum eine Abnahme der Methankonzentration beobachtet. Das heisst aber nicht, dass pro Stunde 1 m³ Methan neu im Einzugsgebiet des Pumpbrunnens produziert wurde. Das heisst nur, dass im Einzugsgebiet des Pumpbrunnens ein Inventar von einigen m³ Methan vorhanden ist. Eine Aussage über das Langzeitverhalten ist das nicht.

Figur 7 zeigt eine Abschätzung der Produktion, des Inventars und der diffusen Emission. Sie stützt sich auf die Arbeit von Fellner et al. 2003 und die Abschätzungen im Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2021 (FOEN 2023).

Wie weit das der Realität entspricht wird sich dann bei den geplanten intermittierenden Langzeitpumpversuchen zeigen (Fig.9).

Figur 8 zeigt, was unter der Annahme, dass die Abschätzung der Produktion realistisch ist jährlich eingenommen werden könnte.

Danach könnten mit thermischer Nutzung und/oder dem Handel mit CO₂-Zertifikaten wahrscheinlich der Aufbau und der Betrieb der Infrastruktur für 10 Pumpbrunnen innert weniger Jahre amortisiert werden. Da die Deponiefläche wegen der hohen Methankonzentrationen kaum landwirtschaftlich nutzbar ist, dürfte es auch kaum Probleme mit der Installation einer Photovoltaikanlage zum Betrieb der Pumpen geben. Thermische Sonnenkollektoren könnten die Wärmeproduktion bei schönem Wetter tagsüber übernehmen. In dieser Zeit, bei ausgeschalteten Pumpen, kann wieder Methan von ausserhalb des abgepumpten Volumens nachströmen. Langfristig könnten damit auch die Methankonzentrationen im Deponiekörper massiv reduziert werden. Das würde eine Überbauung wesentlich erleichtern. Viele dieser Deponien liegen heute innerhalb der Siedlungsgebiete (Schenker 2021). Das weitere Vorgehen hängt nun aber von den Resultaten der Langzeitpumpversuche ab.

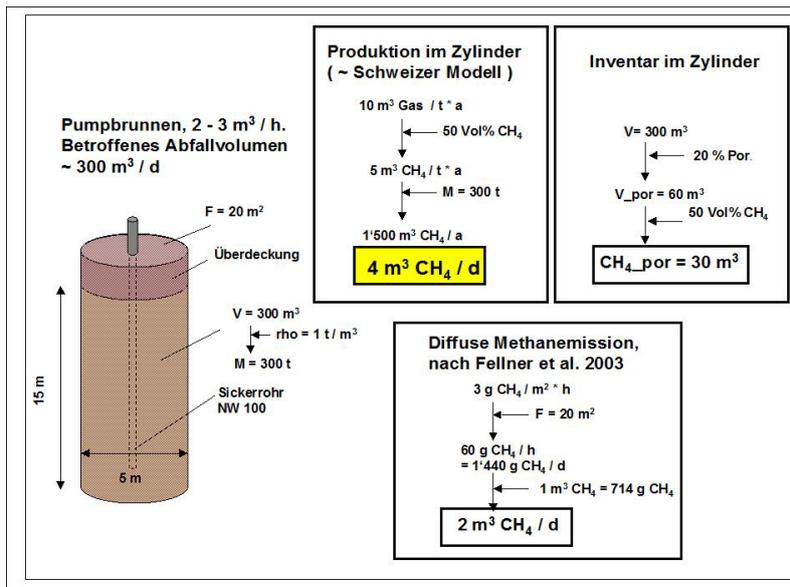


Fig. 7: Abschätzung der Produktion, des Inventars und der diffusen Emission.

Hochrechnung auf 10 Pumpbrunnen, 40 m³ CH₄ / d

Vermiedene Emission : 14'600 m³ CH₄ / a = 10 t CH₄ / a = 210 t CO₂eq / a
 ---> ca. **CHF 20'000.- / a** CO₂ Zertifikate

Verbrennung von 40 m³ CH₄ / d ---> 400 kWh / d
 ---> @ CHF -.10 / kWh ---> CHF 40.- / d = **CHF 15'000 / a**

Hochrechnung auf gesamte Deponie, 4'000 m³ CH₄ / d

Vermiedene Emission : 1'460'000 m³ CH₄ / a = 1'040 t CH₄ / a = 22'000 t CO₂eq / a
 ---> ca. **CHF 2'000'000.- / a** CO₂ Zertifikate

Verbrennung von 4'000 m³ CH₄ / d ---> 40 MWh / d
 ---> @ CHF -.10 / kWh ---> CHF 4'000.- / d = **CHF 1'500'000 / a**

Fig. 8: Hochrechnungen

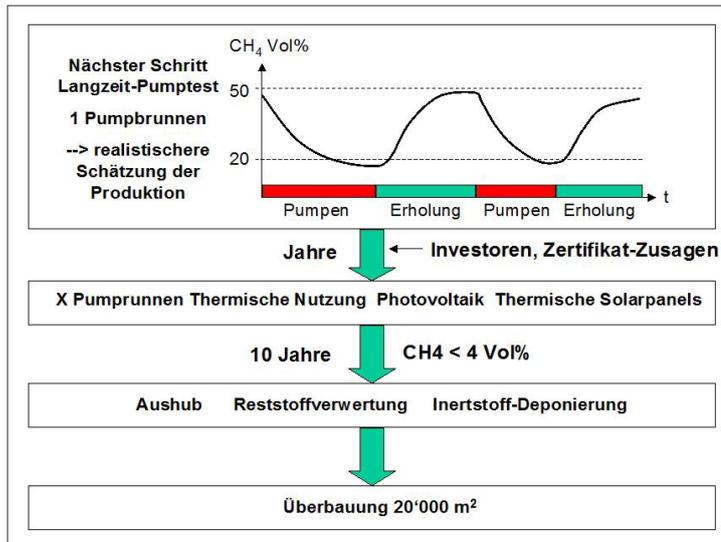


Fig. 9: Weiteres Vorgehen.

Verdankungen

Ein besonderer Dank gilt der „Maria und Heinrich Th. Uster Stiftung“ für die finanzielle Unterstützung der bisherigen Untersuchungen. Wir hoffen, mit unserer Arbeit im Sinne des Stiftungszwecks gehandelt zu haben: „Durch Revitalisierung von brachliegenden Flächen in den Siedlungsräumen soll verhindert werden, dass umliegende Freiflächen genutzt werden müssen, um den wachsenden Bedarf zu decken.“ Wir möchten uns auch bei Franz Schenker und Angela Graf für ihre Mithilfe herzlich bedanken.

Referenzen

BAFU 2023, Kenngrößen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz 1990–2021, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Klima, 2023

https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/kenngrößen_thg_emissionen_schweiz.pdf.download.pdf/Kenngr%C3%B6ssen_2022_DE.pdf

Johann Fellner, Petra Schöngrundner, Paul H. Brunner, (2003), Methanemissionen aus Deponien, Bewertung von Messdaten (METHMES), Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt

<https://www.bmvit.gv.at/dam/bmvitqv.at/content/themen/klima/abfall/deponierung/Methanemissionen.pdf>

FOEN 2023: Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2021: National Inventory, Document and reporting tables (CRF). Federal Office for the Environment, Bern, 2023

<https://www.bafu.admin.ch/greenhouse-gas-inventory>

Geologische Beratungen Schenker Richter Graf AG (2021): Bauvorhaben auf alten Siedlungsabfalldeponien - Zum Abbau von organischem Material als Ursache von belastetem Sickerwasser, Deponiegas und Setzungen.

https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/alllasten/externe-studien-berichte/bauvorhaben-auf-alten-siedlungsabfalldeponien.pdf.download.pdf/Bericht_dt_Final_2021-03-29_mit%20Impressum.pdf

Kurzpräsentation zum Bergsturz am Fluchthorn

Maria Attwenger¹, Matthias Rieckh¹, Thomas Figl²

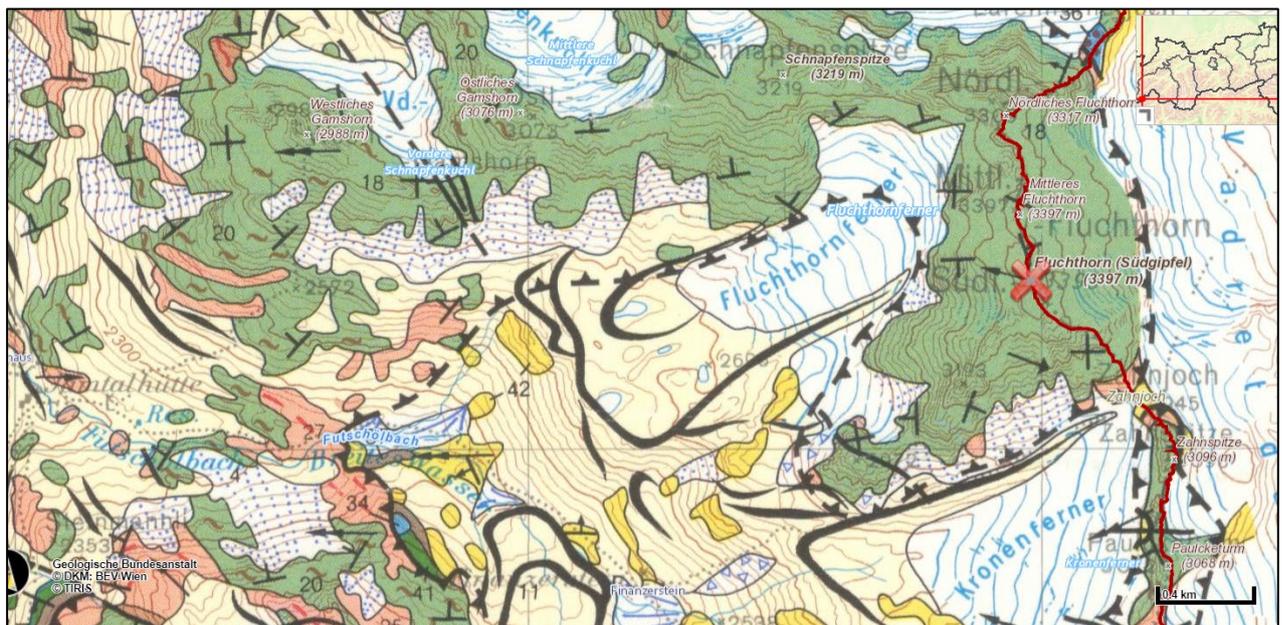
¹AdTL Abt. Geoinformation, ²AdTL Abt. Krisen und Gefahrenmanagement, Landesgeologie

Geologischer Überblick:

Am 11.06.2023 kam es im Bereich des Fluchthorns (Südgipfel) zu einem Bergsturzereignis mit einer Kubatur von 980.000m³. Das Material stürzte in ein Kar und breitete sich über eine Länge von 2 km aus. In weiterer Folge kam es zu einer Flut- und Schlammwelle (ausgelöst auf Grund der Schneelage), welche bis in den Bereich der Jamtalhütte ersichtlich war.

Auslöser für das Ereignis war das Auftauen des Permafrostes, Niederschlagsereignisse sowie die geologischen Verhältnisse mit Amphiboliten des Silvrettakristallins auf Schiefnern des Penninikums (Hart auf Weich).

Durch das Ereignis wurde ein Wanderweg verschüttet, welcher in weiterer Folge auf die andere Bachseite (orographisch links) des Futschölbaches verlegt wurde.



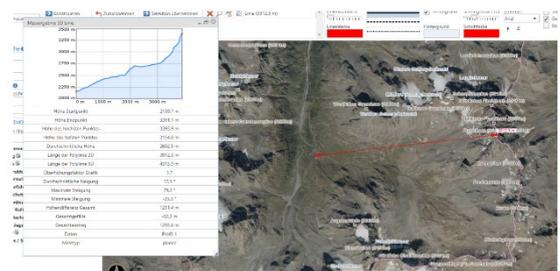
Ausschnitt aus der geologischen Karte der Republik Österreich Blatt 170 Galtür (Amphibolite grün, Schiefer gelb)

Bergsturz am Fluchthorn, ALS-Kampagne zur Kubaturermittlung

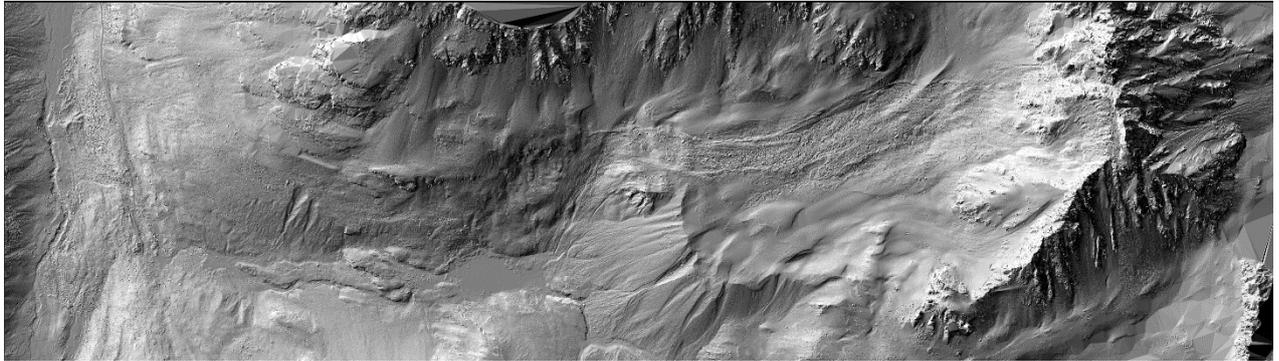
Interessensgebiet:

Höhendifferenz 1220m, Fläche 3-4km²

- Dauer inkl. Anflug ab Karres: 1,5 Stunden davon ca. 30 Minuten Messflug
- Prozessierungsdauer: 12 Stunden
- Ergebnis der Datenerfassung und -prozessierung:



- ALS-Punktwolke
Punktdichte: ca. 20 Punkte/m²
- 50cm-Digitales Oberflächenmodell
- Nebenprodukt: Bildmaterial von geringer Qualität und daraus 10cm-Orthofoto



Schummerung des 50cm-DOM

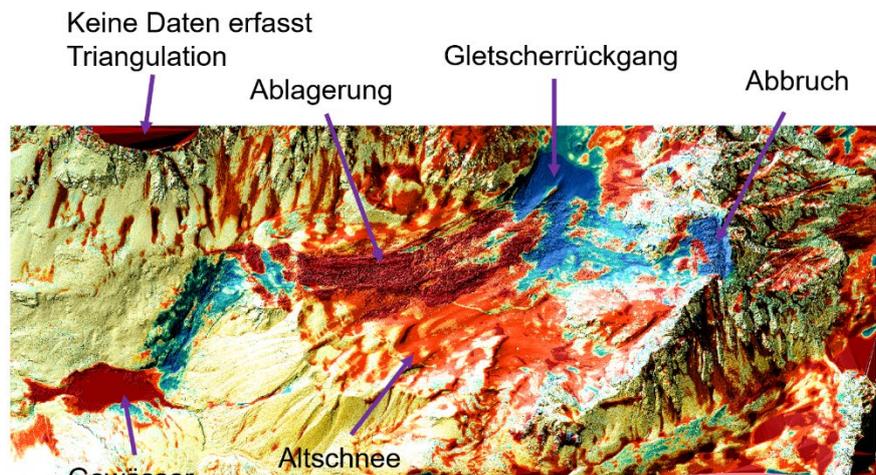


Orthofoto

Kubaturermittlung

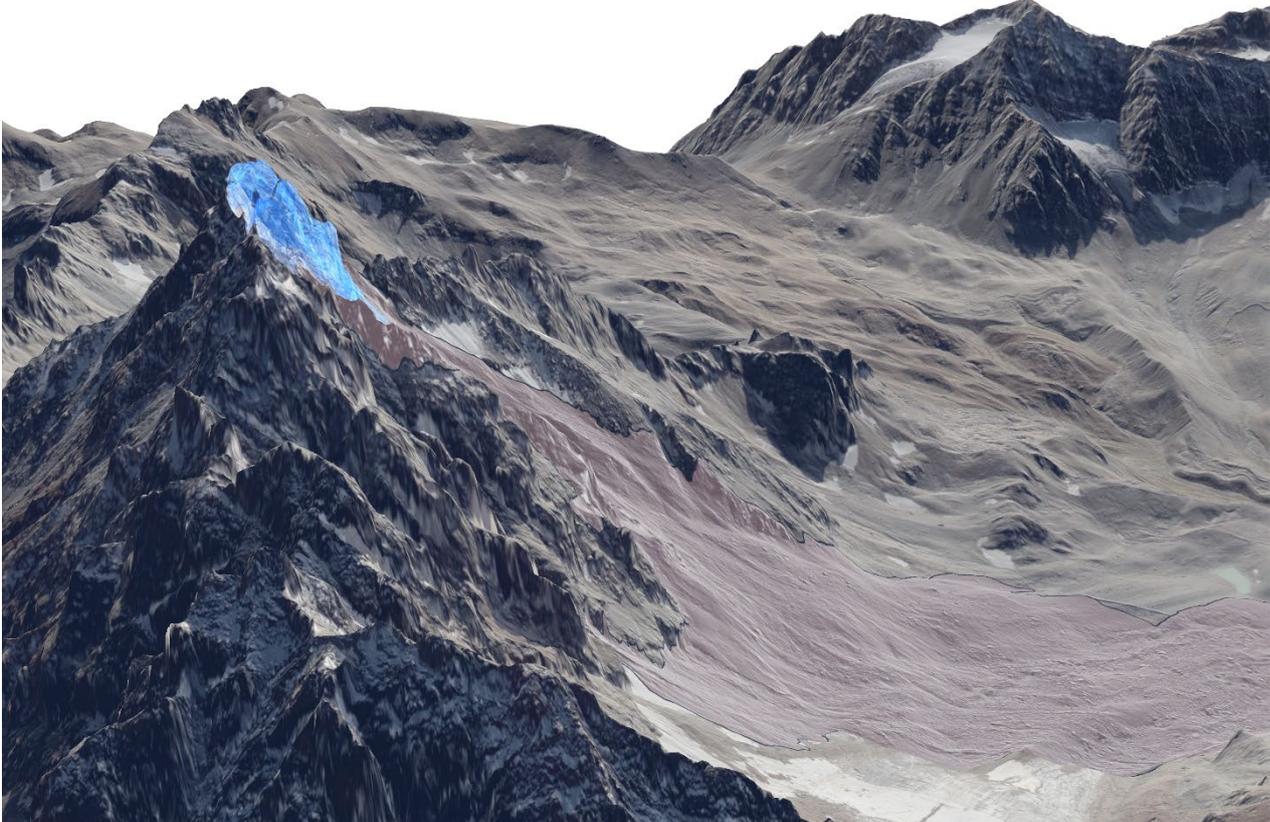
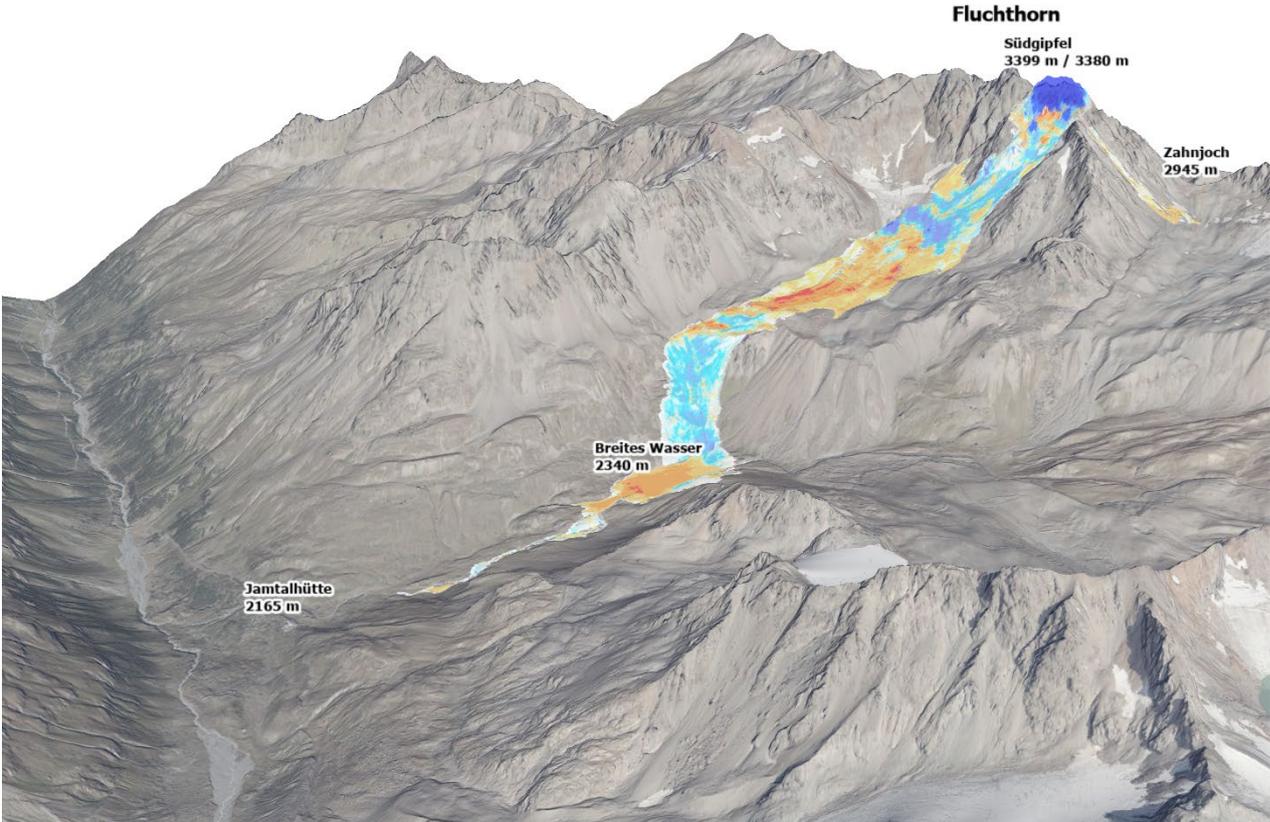
Herausforderung und Genauigkeitshemmer:

- Generell: Abgrenzung im Differenzmodell
- erschwert im Bereich der Ablagerung:
 - Gletscherrückgang im Vergleich zu 2018
 - aktuell bestehender Altschnee

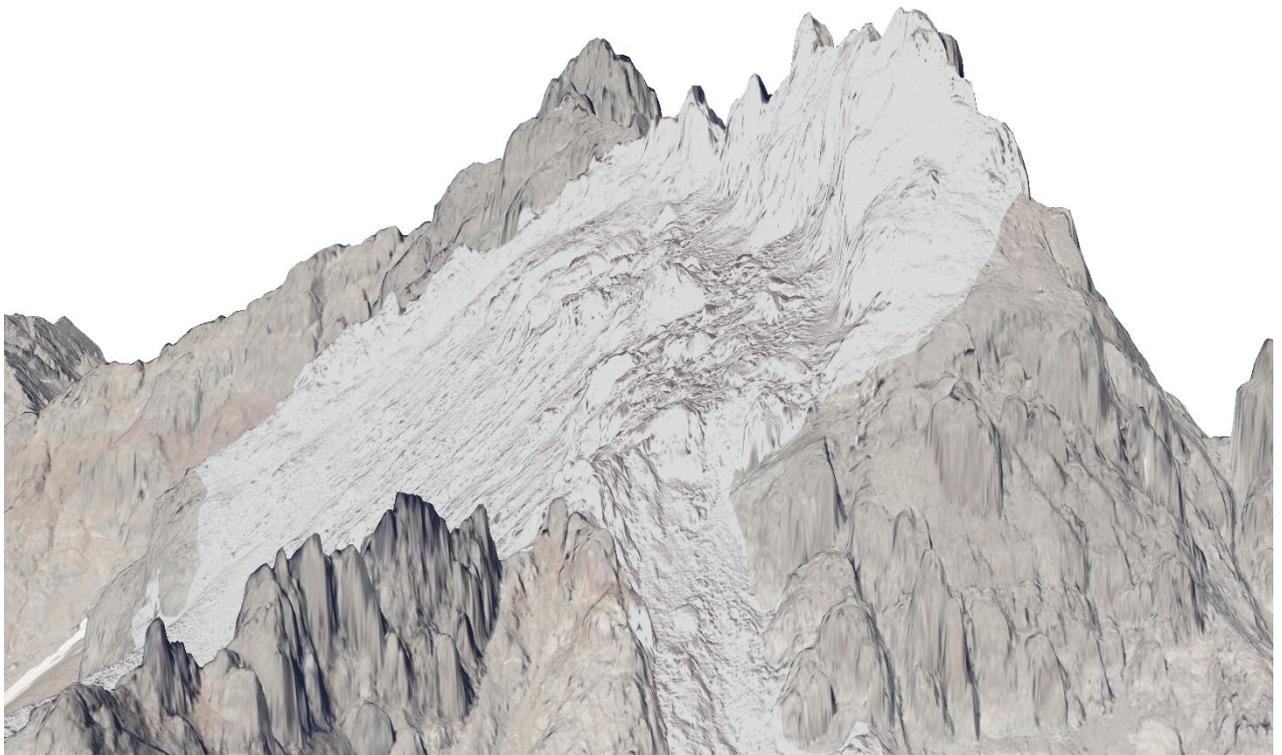
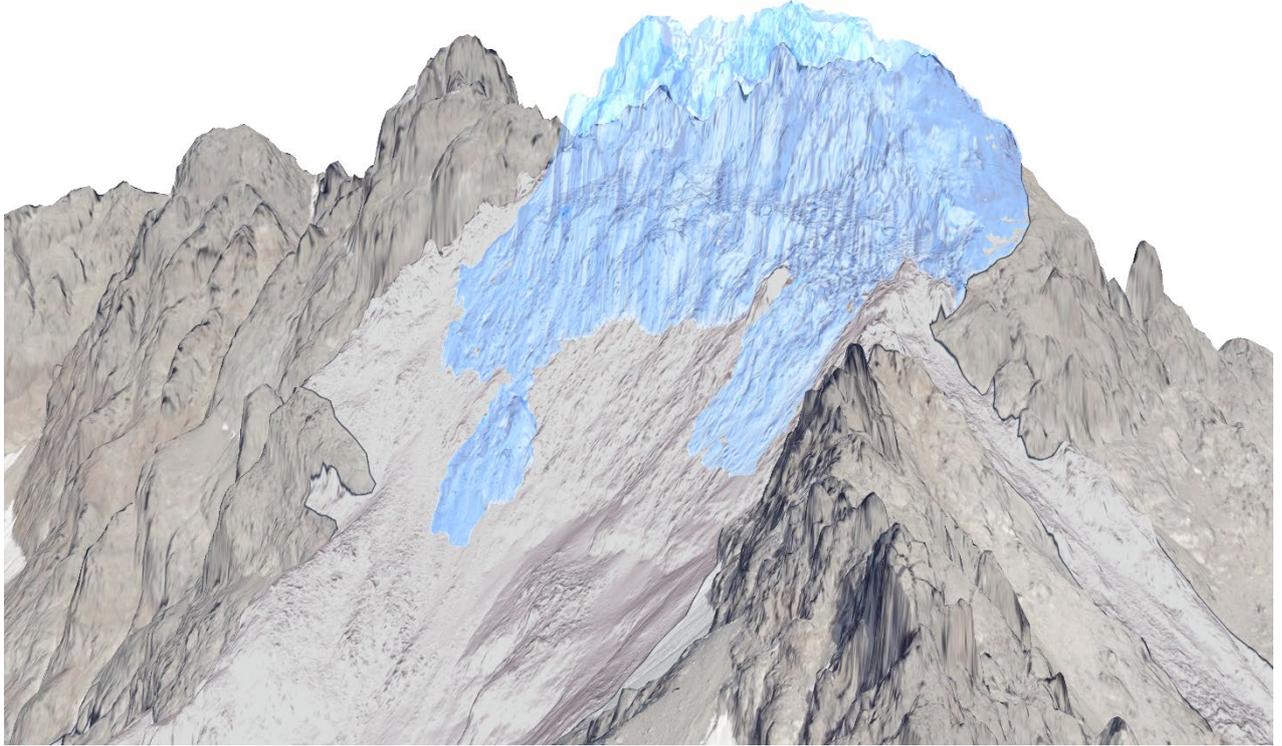


ALS-Differenzmodell: 2023 - 2018

Ergebnisse



Südgipfel
3399 m / 3380 m



Drohneneinsatz im Landesdienst – Lagerhebung von Naturgefahrenprozessen und weitere Unterstützungsleistung

Benedikt Englmeier

Amt der Tiroler Landesregierung: Tiroler Zentrum für Krisen- und Katastrophenmanagement – Leitstellenwesen und Landeswarnzentrale

Mit fortschreitender Verbesserung der Drohnentechnologie gelangte diese auch zunehmend in den Fokus von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS). Die Entwicklung des Kompetenzzentrums für den Drohneneinsatz im Landesdienst geht bereits bis in die Jahre 2018/2019 zurück. Diese Konzeptionsphase wurde jedoch durch die COVID-19-Pandemie zunächst unterbrochen. Seit dem Ankauf der Mavic2 Enterprise Advanced (M2EA) der Marke DJI im August 2021 begann jedoch eine intensive Evaluierungsphase der Einsatzmöglichkeiten. Dabei erfolgte die Definition von ersten Einsatzszenarien. Zudem lag der Fokus auf der Generierung eines nachhaltigen Konzeptes für die Einsatzdokumentation und eines bewussten Risikomanagements. Das fliegerische und taktische Fundament wurde dabei durch zahlreiche Übungsflüge und erste Einsätze gefördert. Im August 2022 konnte mit dem Ankauf weiterer Geräte, der DJI M30T und der M300, die Evaluierungsphase abgeschlossen und ein standardisierter Einsatzbetrieb gestartet werden. Dabei wurden die folgenden Einsatzbereiche festgelegt:

- Unterstützung der behördlichen Lageführung im Ereignisfall bzw. für Erhebungen und Vorbeugemaßnahmen im Sinne des Katastrophenschutzes (Gemeinden, Bezirkshauptmannschaften)
 - Erkundung und Unterstützung von ExpertInnen bei Schadenerhebungen
 - Erfassung und Unterstützung bei der Ersteinschätzung von Naturgefahrenprozessen
 - Wartung und Monitoring von Digitalfunkstandorten sowie von Wetterstationen
3. Im Bedarfsfall Unterstützung anderer Dienststellen der Landesverwaltung
- Unterstützung von Hilfs- und Rettungsorganisationen

Die praktische Nutzung der drei Geräte erfolgt entsprechend ihrer spezifischen Eigenschaften (siehe Abb. 1). Die M2EA wird überwiegend als Trainingsgerät und zu Ausbildungszwecken genutzt. Das geringe Gewicht und das gute Handling können dabei als wichtige Eigenschaften genannt werden. Für die meisten Einsätze wird das Modell M30T verwendet. Es besticht durch seine präzise Sensorik, wie etwa dem Laserentfernungsmesser und einer hochauflösenden Zoomkamera. Zudem kann es auch unter den schwierigsten Wetterbedingungen genutzt werden. Ein weiterer großer Vorteil ist die lange Flugzeit mit einem Akkupaar von bis zu 40min.

Als Spezialeinsatzgerät wird das Modell M300 genutzt. Die Kompatibilität mit der Site Scan App von *Esri* ist dabei ihr wichtigster Faktor. Hiermit können automatisierte Befliegungen sicher und praktikabel (Terrain-Following Funktion) geplant und durchgeführt werden. Die anschließende photogrammetrische Auswertung

zeichnet sich durch die hohe Auflösung (Ground Sampling Distance von 0,5cm bei einer Flughöhe von 60m) aus. Dies gelingt mit Hilfe der 48mp Vollformatkamera P1 (DJI). Die Verwendung der RTK-Technologie bietet hohe relative Lagegenauigkeiten. Mithilfe von Ground Control Points (GCPs) kann außerdem eine sehr gute absolute Genauigkeit erzielt werden. Als weitere Kamera wurde das Modell H20N (DJI) angeschafft. Diese erweitert das Einsatzspektrum vor allem nachts und bietet ein Zoom-Wärmebild und eine Restlichtfunktion. Weitere technische Eigenschaften der Drohnen können <https://www.dji.com/at> entnommen werden.

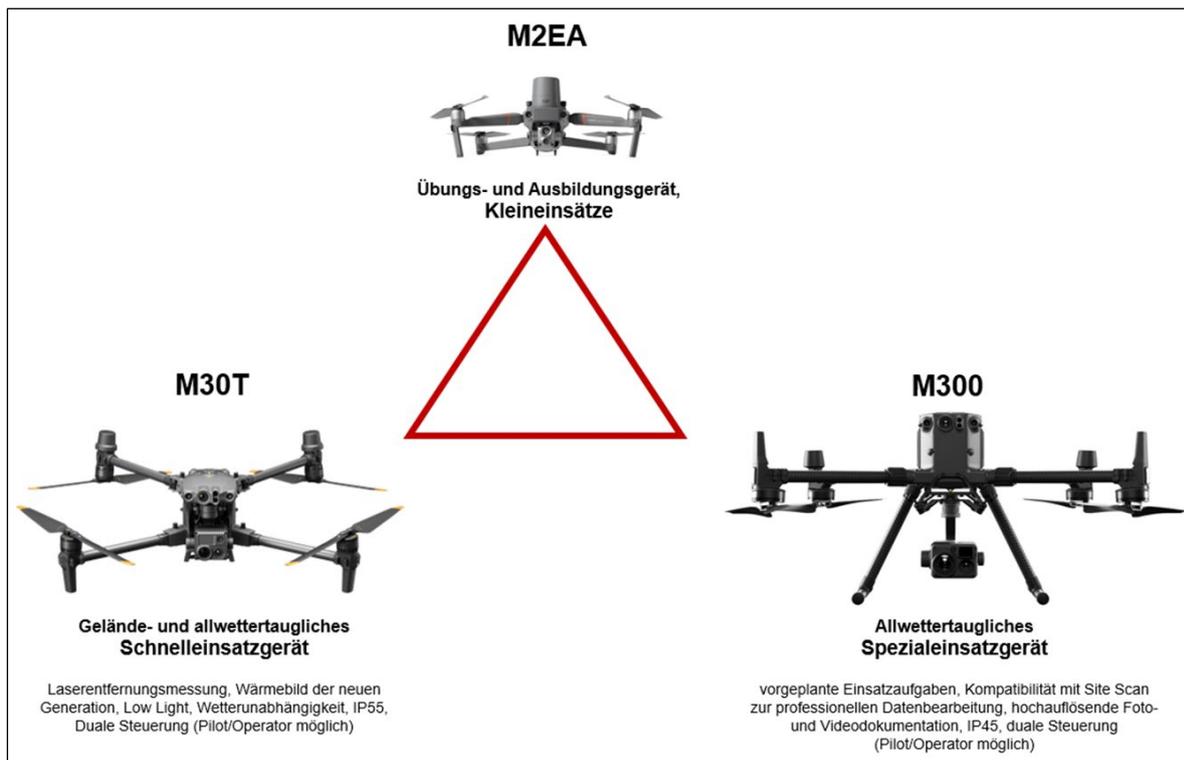


Abb.1: Verwendete Drohnen (Gerätebilder <https://www.dji.com/at>).

Um sämtliche sicherheitsspezifische Aspekte zu berücksichtigen, befindet sich ein Betriebskonzept mit dem Ziel der spezifischen Kategorisierung gemäß den Vorgaben der EASA und der Austro Control in Ausarbeitung. Hierbei soll für alle potentiellen Einsatzszenarien eine größtmögliche Flexibilität erhalten werden. Um die Abdeckung des Drohnenbetriebes zu gewährleisten, wurde ein modulares Ausbildungskonzept entwickelt. In Ergänzung zu den Drohnenscheinen A1/A2/A3 werden die derzeit acht Mitglieder der Einsatzgruppe geschult um eigenständig Drohneneinsätze entweder als PIC (Pilot in Command), Operator (Co-Pilot) oder als unterstützendes Bodenpersonal zu absolvieren. Der Fokus liegt dabei neben der sicheren Bedienung der Fluggeräte, auch auf einsatztaktischen Aspekten und der Flugauswertung.

Für eine effiziente Abwicklung der Einsätze stehen ein Allrad VW-Bus (siehe Abb. 2) mit Einsatzzubehör (Abspermaterial, Stromgenerator, Bildschirme, StarLink, etc.) und für schwieriges Gelände ein Pinzgauer zur Verfügung. Damit sich der PIC auf den Flug und den Luftraum konzentrieren kann, wird die Kamera der

Drohne von einem Operator gesteuert (siehe Abb. 3). Bei den meisten Einsätzen erfolgt dabei eine direkte Bewertung der Drohnenbilder vor Ort z.B. durch ExpertInnen der Landesgeologie an einem separaten Bildschirm. Zusätzlich können die Bilder sofort georeferenziert in katGIS (Katastrophen-GIS) implementiert werden. Bei Bedarf wird zudem ein Livestream gestartet, welcher beispielsweise in der Landeswarnzentrale aufgerufen werden kann. Sollten photogrammetrische Bildprodukte wie Orthophotos oder 3D Punktwolken benötigt werden, kann auf die bereits erwähnte Anwendung Site Scan von *Esri* zurückgegriffen werden. Voraussetzung hierfür ist aber die Befliegung des Untersuchungsgebietes mit einer ausreichenden Überlappung der Einzelbilder. Dies kann etwa durch eine automatisierte Befliegung erreicht werden.



Abb. 2: Einsatzfahrzeug Allrad VW-Bus.



Abb. 3: Operator am Outdoorbildschirm.

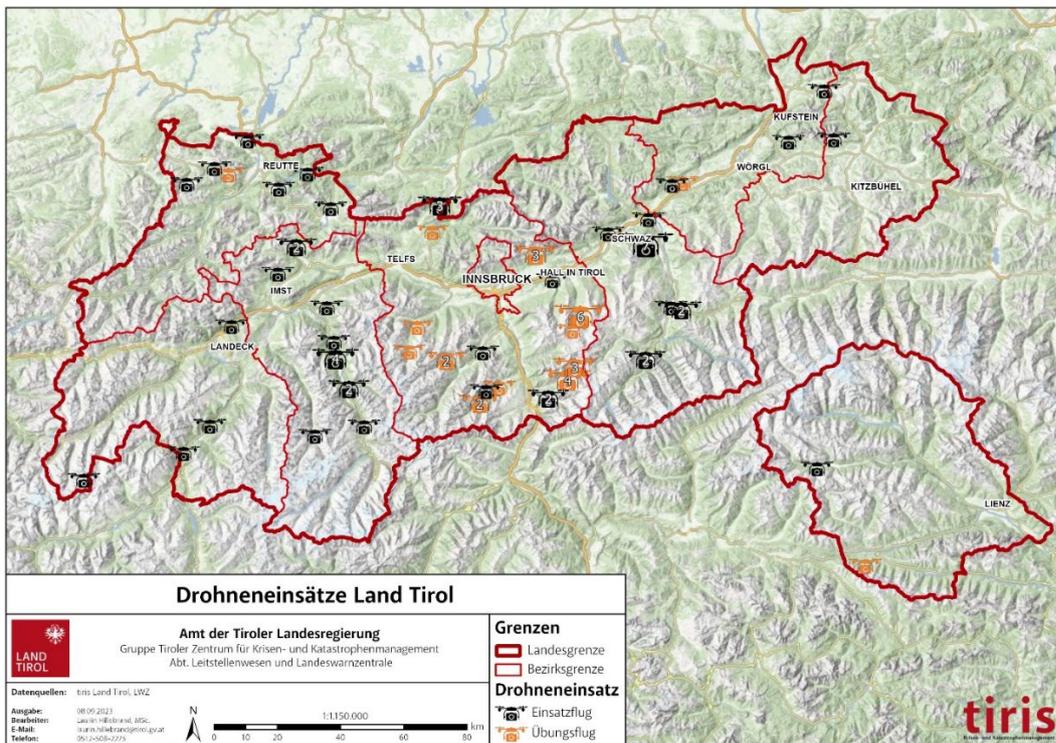


Abb. 4: Durchgeführte Drohneinsätze (Stand September 2023).

Die Karte in Abb. 4 zeigt, dass in jedem Tiroler Bezirk bereits mindestens ein Drohneinsatz stattgefunden hat. Insgesamt wurden seit August 2021 49 Einsatzflüge durchgeführt. Während die meisten Übungsflüge im Bezirk Innsbruck-Land stattfinden, weisen die Bezirke Schwaz und Imst die höchste Dichte an Einsatzflügen auf. Dies steht auch im Zusammenhang mit den jüngsten Sturm- und Niederschlagsereignissen.



Abb. 5: Erhebung Windwurfflächen Gemeinde Fügenberg Juli 2023.



Abb.6: Erhebung Windwurfflächen Gemeinde Fügenberg Juli 2023.

Für die BH-Schwaz und den Waldaufseher der Gemeinde Fügenberg erfolgte eine Erhebung der vom Sturmereignis am 11.07.2023 besonders betroffenen Waldflächen rund um das Spieljoch. Dabei wurde ein Areal von über 1.000 Hektar befliegen und die Windwurfflächen punktuell kartiert (siehe Abb. 5 & Abb. 6).

Das Hochwasserereignis vom 28.08.2023 führte insbesondere im Ötztal zu großen Schäden. Hervorzuheben ist der Bereich der „Köfler Gerade“. Dort wurde die B186 unterspült, was dazu führte, dass das hintere Ötztal während fünf Tagen auf dem Straßenweg nur über das Timmelsjoch erreichbar war. Die durchgeführten Erhebungen mit der Drohne, offenbarten die Auswirkungen des Hochwassers an der Köfler Brücke. Dort änderte die Ötztaler Ache ihren Verlauf und erodierte vor allem das orographisch linke Ufer stark. So wurde der Straßenabschnitt nach der Brücke und die Stromversorgung unterbrochen (siehe Abb. 7 & und Abb. 8).



Abb. 7: Orthophoto Drohne Brücke Köfels 29.08.2023. (Geoinformation)



Abb. 8: Orthophoto Brücke Köfels 2020 (Abt. Geoinformation)

Eine große Anzahl der Drohneneinsätze findet für Erhebungen der Landesgeologie statt. Als charakteristisches Beispiel kann die Erkundung mittels Drohne nach einem Blocksturz in Strass i. Zillertal im Bereich von Maria Brettfall genannt werden. Anhand der Weitwinkelaufnahme (siehe Abb. 9) konnte die Abbruchstelle nicht identifiziert werden. Die Verwendung des bis zu 16-fach optischen Zooms der M30T ermöglichte jedoch anschließend die eindeutige Erfassung der Abbruchstelle (siehe Abb. 10).



Abb. 9: Blocksturz Maria Brettfall Weitwinkelaufnahme 2023 (Roter Kreis ungefähre Lage der Abbruchstelle).



Abb. 10: Blocksturz Maria Brettfall Zoomaufnahme Abbruchstelle 2023.

Als große Herausforderung erwies sich die Befliegung des Fluchthorn-Bergsturzes im Juni 2023. Nach einer umfassenden Flugplanung (siehe Abb. 11) erfolgte eine automatisierte Befliegung des Akkumulationsbereichs bis zur Endmoräne des Fluchthornferners. Aufgrund der begrenzten Akkukapazitäten (Höhenlage und Logistik) und der Größe des betroffenen Gebietes konnte weder der Abbruchbereich am Südgipfel noch der Bereich zwischen Breitem Wasser und der Jamtalhütte beflogen werden. Zusätzlich erschwerten weitere Faktoren wie starker Wind, ein Zwischenfall mit einem Greifvogel und mehrere Hubschrauber-/Gleitschirmflüge den Drohneneinsatz. Dennoch konnte ein hochauflösendes Orthophoto (siehe Abb. 12) und eine dichte Punktwolke generiert werden.

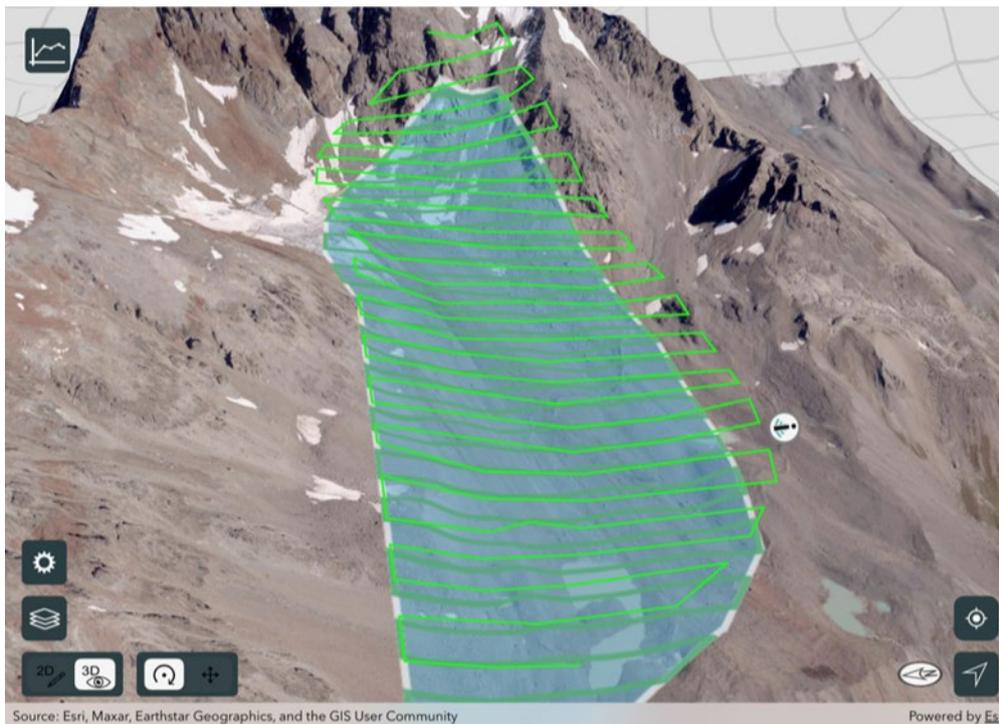


Abb. 11: Flugplanung des Fluchthorn-Bergsturzes mit SiteScan.

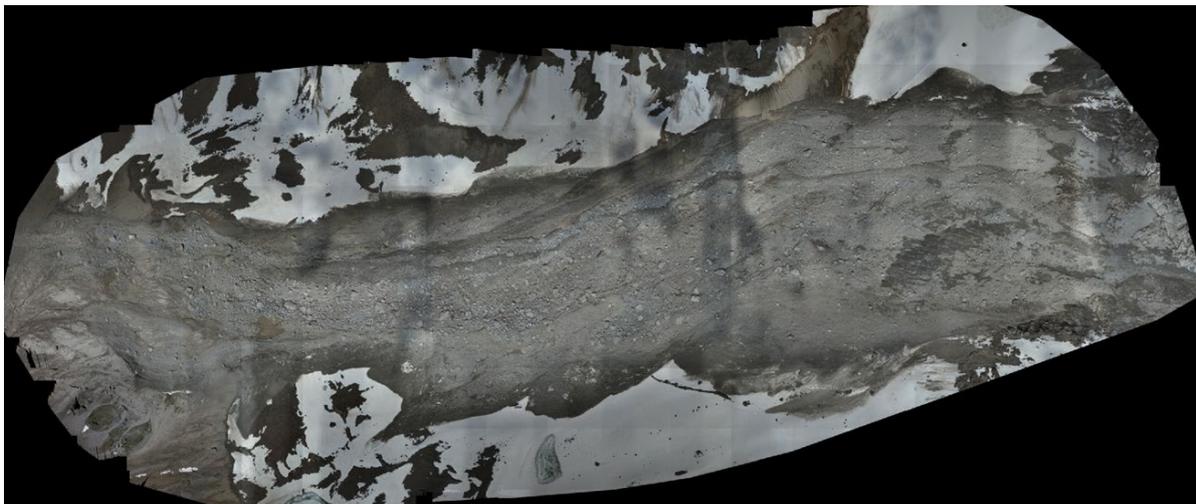


Abb. 12: Orthophoto des Akkumulationsbereichs am Fluchthorn-Bergsturz.

Da es nicht möglich war GCPs zu legen und die RTK-Base Station aufgrund der starken Schneeschmelze mehrmals die Position verlor, gestaltete sich die Georeferenzierung als schwierig. Dies bestätigte auch der Vergleich mit der ALS-Punktwolke der Abt. Geoinformation. Dennoch kann mit einem berechneten Ablagerungsvolumen von ca. 1,3 mio m³, unter Berücksichtigung der Porosität, des Gletscherrückgangs und des bestehenden Altschnees, auch mit der Drohnenerhebung das Abbruchvolumen von 1 mio m³ abgeschätzt werden (siehe Abb. 13).

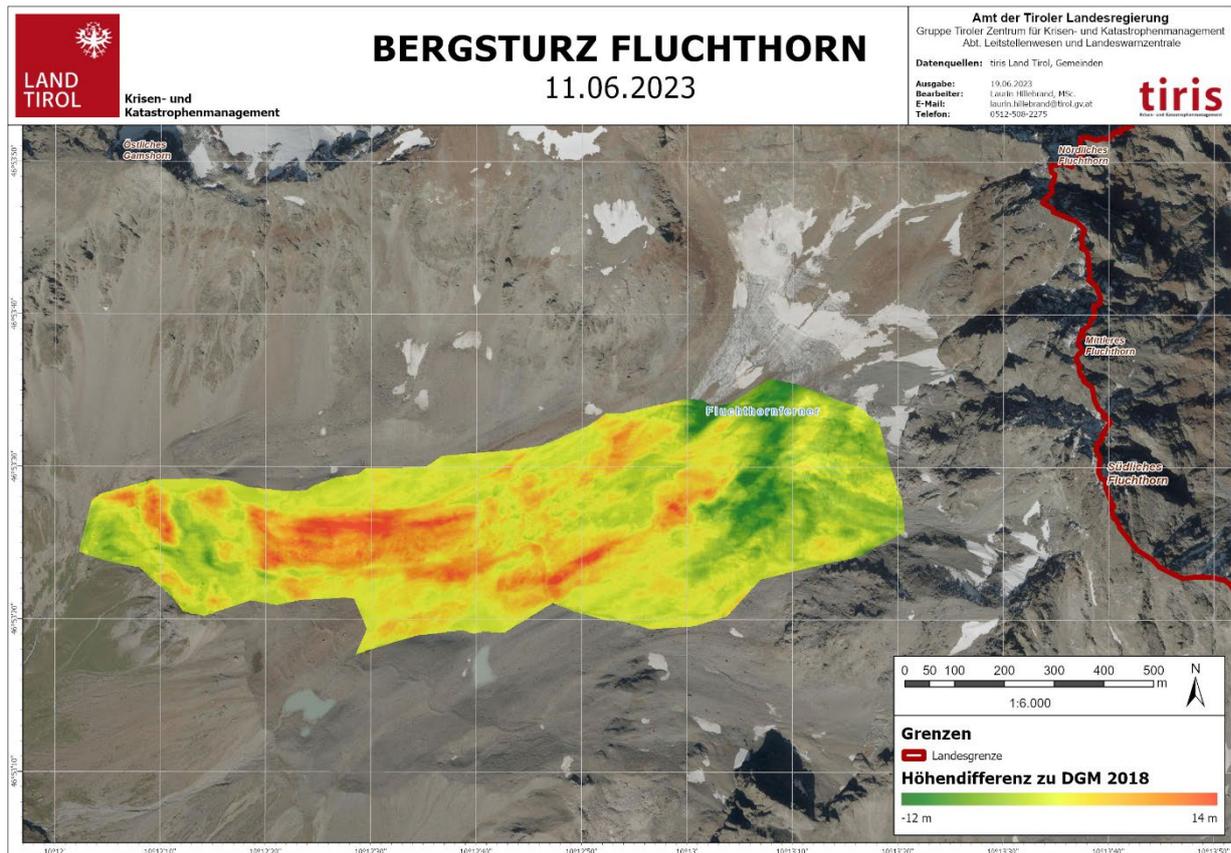


Abb. 13: Fluchthorn-Bergsturz. Höhendifferenz DGM-Drohne 2023 / ALS-DGM 2018 (Abt. Geoinformation).

Als diverse weitere Drohneneinsätze können etwa die Dokumentation des Waldbrandes in Pinswang im März 2022 für die Abt. Waldschutz, die Befliegung einer Deponie in Volders für die Abt. Agrarwirtschaft sowie mehrere Wildbestandserhebungen für die BH Innsbruck-Land (siehe Abb. 14) genannt werden.

In Summe verdeutlichen diese Beispiele das große Anwendungsspektrum des Drohneneinsatzes im Landesdienst. Als Charakteristika können die hohe zeitliche und räumliche Auflösung der gewonnenen Daten sowie eine bestimmte Witterungsunabhängigkeit aufgeführt werden. Zudem erweist sich der Einsatz von Drohnen häufig als kostengünstigere Alternative zu bewährten Methoden. Weitere technische Neuerungen und die kontinuierliche Entwicklung der Sicherheits- und Betriebsstandards werden das Potential sicher noch erweitern.

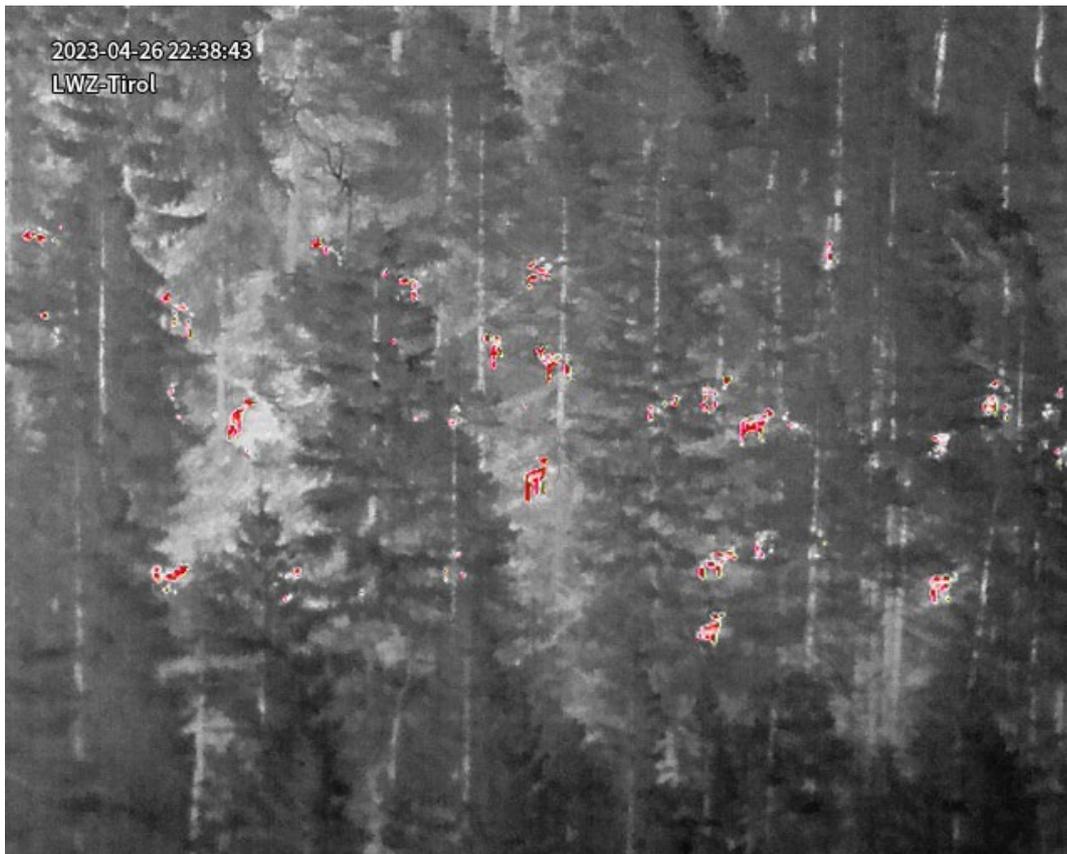


Abb. 14: Wildbestandserhebung Leutasch April 2023.

Zusammenfassung:

Seit 2021 wird sich durch die Abteilung Leitstellenwesen und Landeswarnzentrale im Rahmen des „Kompetenzzentrums Drohneneinsatz im Landesdienst“ mit dieser sich stark entwickelnden Technologie beschäftigt. Neben der Durchführung von komplexen Einsätzen, die primär der Unterstützung der behördlichen Lageführung im Ereignisfall bzw. für Erhebungen und Vorbeugemaßnahmen im Sinne des Katastrophenschutzes dienen, werden weitere Unterstützungsleistungen für andere Dienststellen des Landes und externe Organisationen angeboten. Dabei kommen drei verschiedene Geräte der Marke DJI zum Einsatz. Diese zeichnen sich durch hochauflösende Sensorik und robuste Eigenschaften aus. Neben der internen Schulung der Piloten liegt ein großer Fokus auf der kontinuierlichen Entwicklung von Betriebs- und Sicherheitskonzepten.

Abstract:

Since 2021, the “Abteilung Leitstellenwesen und Landeswarnzentrale” has been dealing with the rapidly developing technology within the framework of the "Competence Centre for Drone Operations in the Provincial Service". In addition to the implementation of complex missions, which primarily serve to support the official situation management in the event of an incident or for surveys and preventive measures in the

sense of disaster control, further support services are offered for other departments of the province and external organisations. For this purpose, three different devices of the brand DJI are used. These are characterised by high-resolution sensor technology and robust features. In addition to the internal training of pilots, a major focus is on the continuous development of operational and safety concepts.

Wasser Wasser aus dem Berg – Trinkwassergewinnung aus dem Mieminger Gebirge

(Geologische Arbeiten im Auftrag der Wassergenossenschaft Obermieming Untermieming Fiecht)

Denise Braunhofer, Wolfram Mostler

Ingenieurgeologie Mostler – Technisches Büro für Geologie

Abstract/ Zusammenfassung

The combination of the knowledge of a very potent mountain water body and the need for high quality drinking water without vulnerabilities due to surface influences pushes the idea to develop another water resource in Tyrol, more precisely in the Mieminger Mountains.

Until the successful utilization of the high quality water of the Mieminger Mountains, a long time passed with intensive explorations and investigations. Until completion, continuous adaptations to the geological and constructional conditions were necessary.

Finally, a water volume of about 60 l/s could be tapped by the targeted drilling of three horizontal boreholes perpendicular to the main separation surfaces of the Wetterstein limestone. 25 l/s of the tapped water is now used for the drinking water supply for the households of the municipality of Mieming and parts of the municipality of Barwies. In addition, a further share of the tapped mountain water is used for energy production.

Die Kombination aus der Kenntnis eines sehr potenten Bergwasserkörpers und dem Bedarf an qualitativ hochwertigem Trinkwasser ohne ständige Verletzlichkeiten durch Oberflächeneinflüsse forciert den Gedanken eine weitere Wasserressource in Tirol, genauer im Mieminger Gebirge zu erschließen.

Bis zur erfolgreichen Nutzung des hochwertigen Wassers des Mieminger Gebirges verging eine lange Zeit mit intensiven Erkundungen und Untersuchungen. Bis zur Fertigstellung waren fortlaufend, an die geologischen und bautechnischen Rahmenbedingungen angepasste, Adaptierungen erforderlich.

Schlussendlich konnte durch die gezielte Abteufung von drei Horizontalbohrungen, senkrecht zu den Haupttrennflächen des Wettersteinkalks eine Wassermenge von rund 60 l/s erschloten werden. 25 l/s des erschlossenen Wassers dient nunmehr der Trinkwasserversorgung der Haushalte der Gemeinde Mieming und Teilen der Gemeinde Barwies. Darüber hinaus wird ein weiterer Anteil des erschlossenen Bergwassers zur Energiegewinnung genutzt.

1. Einleitung

Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel. Es kann durch nichts ersetzt werden. Österreich hat das Glück den Bedarf an Trinkwasser fast ausschließlich aus natürlichen Grund- und Bergwasservorkommen zu decken.

Laut einer Studie 2021 des BML, Studie Wasserschatz Österreich beträgt der jährliche Gesamtwasserbedarf Österreichs 3,14 km³ (= 3 000 Milliarden Liter). Dies entspricht einem durchschnittlichen Verbrauch, ohne Einbeziehung von Gewerbe, Industrie und Großverbrauchern von 130 l pro Tag und pro Person.

Zur Gewährleistung des stetig wachsenden Wasserbedarfs und unter Berücksichtigung des sich verändernden Klimas ist es wichtig, insbesondere qualitativ hochwertige Wasserspeicher zu erschließen und einer Trinkwassernutzung zuzuführen. In Tirol leisten neben den ergiebigen Grundwasservorkommen des Inntals und seiner Seitentäler, die Berg- und Quellwasservorkommen einen wesentlichen Betrag zur Wasserversorgung. Im Speziellen sind das die Bergwasservorkommen des Karwendels, des Mieminger Gebirges und der Heiterwand.

Es ist vor allem der Bau und die Zusammensetzung der Nördlichen Kalkalpen, welche für Qualität und Ergiebigkeit der Bergwasservorkommen sorgt, wie nachfolgend am Beispiel der Trinkwassergewinnung aus dem Mieminger Gebirge am Ursprung des Stöttlbaches dargestellt wird.

2. Warum genau am Stöttlbach?

Die bestehenden Quellfassungen zur Versorgung der Ortsteile Obermieming, Untermieming und Fiecht, sowie Teile von Barwies mit Trinkwasser können während und unmittelbar nach Starkregenereignissen, Trübungen und Verunreinigungen der Quellwasser zeigen. Zudem stellt die exponierte Lage der gefassten Quellaustritte eine erhebliche Verletzlichkeit der Quellwässer durch Murgänge und Lawinen dar.

Die Probleme der Trinkwasserqualität am Sonnenplateau, Kenntnis des bedeutenden Bergwasserkörpers des Mieminger Gebirges, welcher bis dato zu wenig genutzt wurde und über mehrere frei austretende Quellen ersichtlich ist, sowie ein nahezu unberührtes Einzugsgebiet wurden als Anlass genommen, das Quellgebiet des Stöttlbachs im Detail zu untersuchen und eine Fassung der frei austretenden Quellen am Stöttlbachursprung (Stöttlbachquellen) anzustreben.

3. Befundaufnahme

Zur Ausarbeitung eines fundierten geologisch-hydrogeologischen Projekts wurde eine detaillierte Studie und Befundaufnahme des Mieminger Gebirges mit Augenmerk auf die Stöttlbachquellen in Zusammenarbeit mit der Wasser Tirol durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war durch projektbezogene Aufnahme der geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten ein Verständnis über den komplexen Gebirgsbau und folglich über den hydrogeologischen Wasserkreislauf zu bekommen, um die Ergiebigkeit sowie Verletzlichkeit des Bergwasserkörpers abzuschätzen.

3.1. Großtektonischer Überblick

Den großtektonischen Rahmen des Mieminger Gebirges bildet die Nördlichen Kalkalpen. Die Nördlichen Kalkalpen stellen den ehemaligen Kontinentalrand des Meliata Ozeans (Neotethys) dar und liegen heute durch intensive Gebirgsbildungsprozesse als Deckenkomplex vor. Dieser wird im Projektgebiet in die Lechtal Decke (tiefere Deckeneinheit) und die Inntal Decke (höhere Deckeneinheit) untergliedert. Begrenzt werden die Nördlichen Kalkalpen im Norden von der Flyschzone und im Süden vom Ötztal-Stubai-Kristallin.

Das Gesteinsspektrum der Nördlichen Kalkalpen reicht von marinen bis zu terrigenen Sedimenten. Der Hauptanteil des zentralen Mieminger Gebirges wird vom Wettersteinkalk der Inntal Decke gebildet. Dieser liegt in einer E-W streichenden Sattelstruktur mit einer nach Westen ansteigenden Sattelachse und der unterlagernden Raibler- und Hauptdolomit Formation vor. Begrenzt wird die stratigraphische Abfolge von der Deckengrenze zur Lechtaldecke knapp unterhalb des Stöttlbachursprungs.

Die wasserundurchlässigen Raibler Tonschiefer und die tektonische Grenze der beiden Deckensysteme in Kombination mit wasserundurchlässigen Lithologien (Juragesteine, Störungsgesteine) bilden hydrogeologische Barrieren für das Wasser im Berg. Die Entstehung eines mächtigen einheitlichen Bergwasserkörpers im Wettersteinkalk in Form einer sinnbildlichen Badewanne ist die Folge.

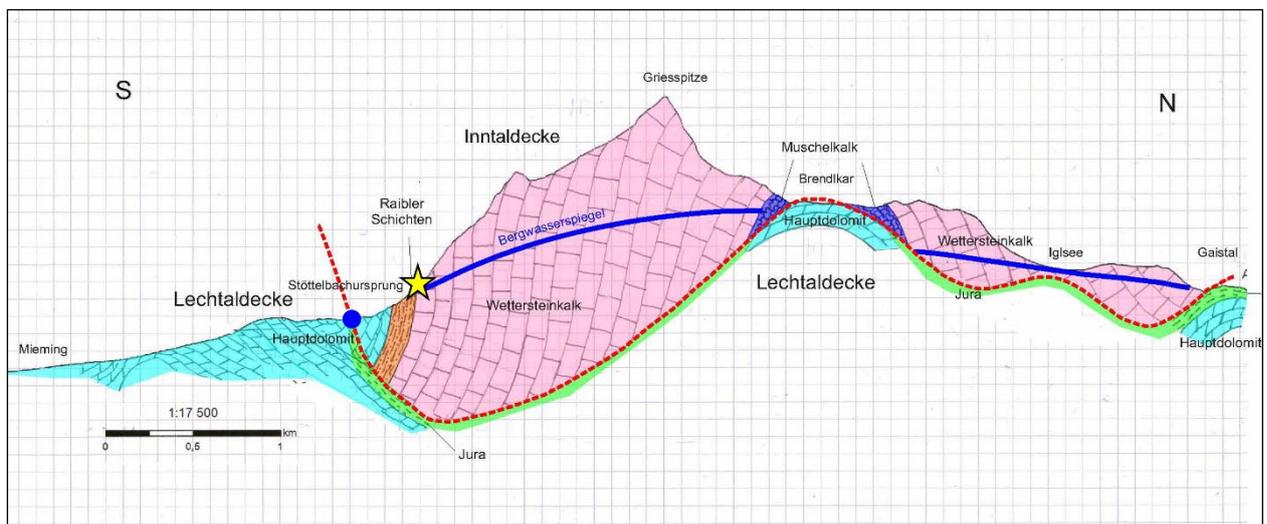


Abb. 1: Geologischer Profilschnitt durch das Mieminger Gebirge mit Darstellung des komplexen Gebirgsbau der Nördlichen Kalkalpen unterteilt in die höhere Inntal- und tiefere Lechtal-Decke. Die Raibler Tonschiefer sowie die tektonische Deckengrenze in Kombination mit wasserstauenden Lithologien (Jura-, Störungsgesteine) stellen im Projektgebiet die wesentlichen hydrogeologischen Barrieren des potenten Bergwasserkörpers im Wettersteinkalk dar.

3.2. Bergwasserkörper Wettersteinkalk

Aus hydrogeologischer Sicht wird der Bergwasserkörper des Mieminger Gebirges von dem mehr oder weniger einheitlichen, mächtigen Wetterstein-Aquifer bestimmt. Dieser wird als Kluftaquifer mit Ansatz zur Verkarstung charakterisiert. Die Verkarstung hat zu einer Erweiterung von Trennflächen (Schicht- und Störungsflächen) im Gestein geführt, entlang dieser die Niederschlagswässer eindringen, sich sammeln und schließlich wieder austreten können.

Die Wetterstein Formation an sich stellt eine bis zu 3000 m mächtige Karbonat-Plattform der Trias mit einem Ablagerungsraum in der Lagunen- und Riffazies dar.

Der homogene Aufbau des Wettersteinkalks, die Mächtigkeit und die mineralogische Zusammensetzung des Gesteins lassen die Speicherung qualitativ hochwertiger Quellwässer, die gestaut durch die unterlagernden Raibler Tonschiefer (und der wasserstauenden Deckengrenze) im Bereich des Stöttlbachursprunges frei an der Oberfläche austreten, zu.

Insgesamt werden am Stöttlbachursprung auf einer Seehöhe zwischen etwa 1355 m üA und 1400 m üA zehn Einzelaustritte im Wettersteinkalk mit einer Niederwasser-Gesamtschüttung von 100 l/s, drei Austritte an der Grenze zu den Raibler Tonschiefern mit einer Niederwasser-Gesamtschüttung von 50 l/s und drei Austritte im unterlagernden Hauptdolomit mit einer Niederwasser-Gesamtschüttung von 7 l/s verzeichnet.

Je nach Austrittsstelle sind die Wässer durch unterschiedliche hydrogeologische Eigenschaften gekennzeichnet. Die Wässer aus dem Wettersteinkalk und der Grenze zu den Raibler Tonschiefern weisen, belegt durch elektrische Leitfähigkeiten zwischen 150 und 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und chemischen Wasseranalysen, eine deutlich geringere Mineralisierung als die Wässer, welche dem Hauptdolomit entspringen, auf. Auch die Wassertemperatur der aus dem Wettersteinkalk/ Grenze zu Raibler Tonschiefer entspringenden Quellwässer sind gut 2°C niedriger.

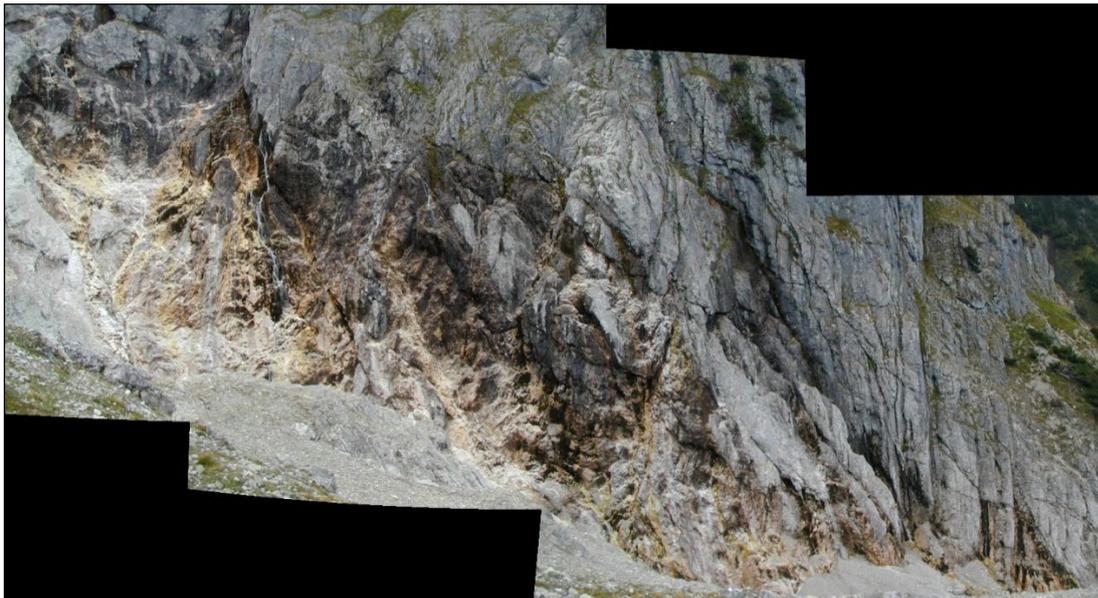


Abb. 2: *Frei austretende Quellaustritte am Ursprung des Stöttlbach zeigen den steil ansteigenden Bergwasserspiegel des Wettersteinkalk-Aquifers im Anschnitt an.*

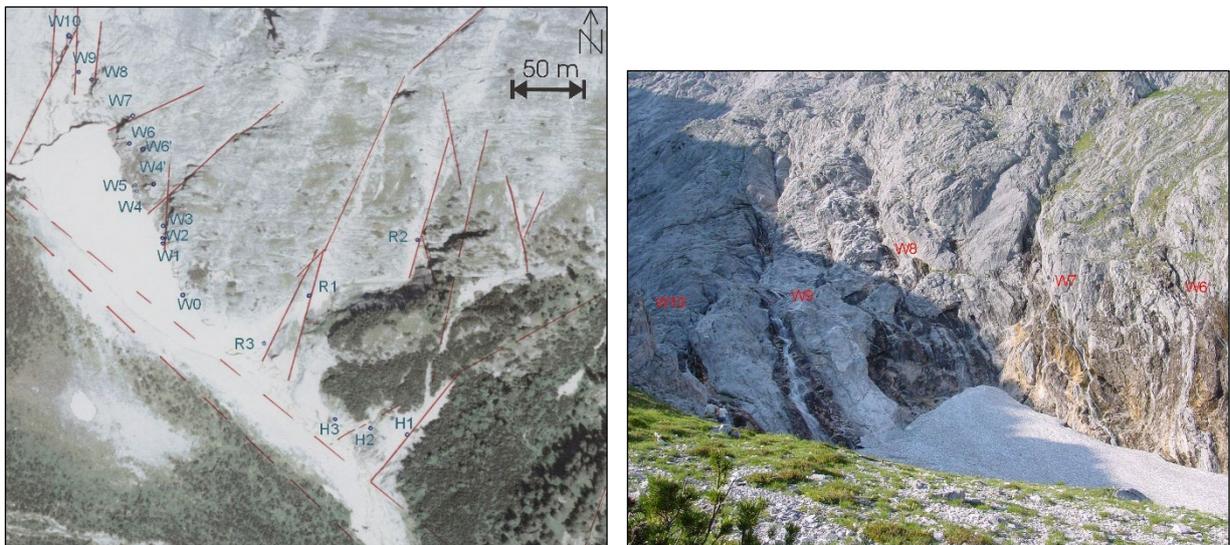


Abb. 3: Detailaufnahme der Einzelaustritte am Ursprung des Stöttlbach. Die Initialen „W“, „R“ und „H“ stehen für die jeweilige geologischen Lithologien „Wettersteinkalk“, „Grenze zu Raibler Tonschiefer“ und „Hauptdolomit“, an welcher die Wässer austreten.

Lithologie	NW-Schüttung [l/s]	Elektr. Leitfähigkeit [μS/cm]	Wassertemperatur [°C]
Wettersteinkalk („W“)	106	152	4,8
Grenze zu Raibler Tonschiefer („R“)	50	163	4,9
Hauptdolomit („H“)	7	291	7

Tab. 1: Zusammenfassung der hydrogeologischen Messwerte der Einzelaustritte zu einer Niederwasserperiode.

Auf Basis dieser hydrogeologischen Differenzierung der Quellen, die als Quellkranz um den gesamten Gebirgszug der Mieminger Ketter weiterverfolgt werden können, ist eine Unterscheidung und Abgrenzung des Wettersteinkalk-Aquifers vom Hauptdolomit-Aquifers möglich. Folglich kann das Einzugsgebiet des projektrelevanten Wettersteinkalk-Aquifers auf eine Fläche von etwa 60 km² eingrenzt werden.

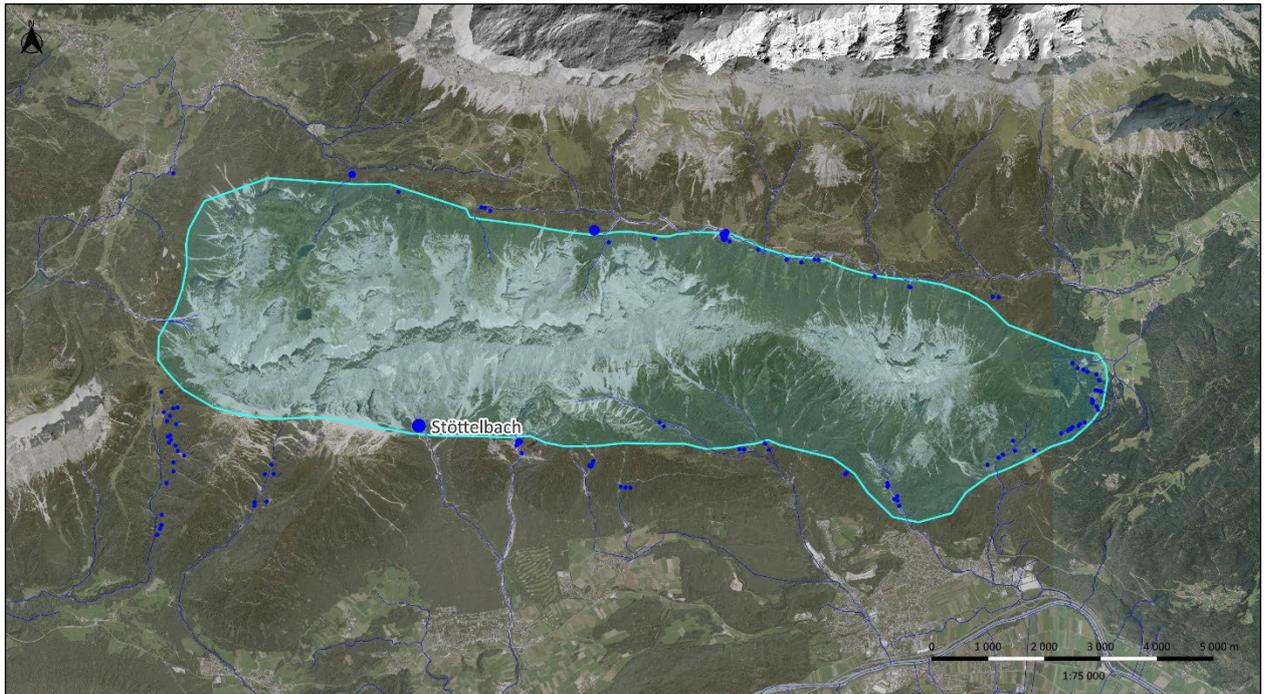


Abb. 4: Eingrenzung des Einzugsgebiets des Wetterstein-Aquifers basierend der hydrogeologischen und -chemischen Eigenschaften der Quellaustritte entlang eines Quellkranzes um das Mieminger Gebirge. Die blauen Punkte stellen, kategorisiert nach ihrer Schüttungsmenge, Quellaustritte dar.

Multipliziert man die Einzugsgebietsfläche mit einer der Literatur entnommenen Abflussspende für das Projektgebiet von 48 l/skm^2 (= Niederschlagsspende: 59 l/skm^2 – Verdunstungsrate: 11 l/skm^2) fallen in dem Projektgebiet durchschnittlich insgesamt ca. 2880 l/s Wasser an. Circa ein Fünftel bis die Hälfte dieser Wassermenge (576 l/s – 1440 l/s) werden unseren Schätzungen nach dem unterirdischen Abfluss zugerechnet, die für die Speisung des potenten Bergwasserkörper sorgen.

Bezogen auf eine durchschnittliche Entnahme von 100 l/s bedeutet dies, dass die entnommene Wassermenge zwischen 7% und 19% des frei ausfließenden Berg-Quellwassers bzw. $3,5 \%$ des gesamten Oberflächenabflusses für das Mieminger Gebirge einnimmt.

Um die Auswirkungen der Wasserentnahme grob abzuschätzen, wurde der gegenständliche Aquifer, obwohl es sich um schwach verkarsteten Kluftaquifer handelt, dessen hydraulischen Eigenschaften im Wesentlichen vom Trennflächengefüge bestimmt wird, der Einfachheit halber als Porenaquifer angenommen und folgende Überlegung angestellt:

In der Literatur werden für vergleichbare Kalk- und Dolomitgesteine meist Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte) zwischen $x \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ bis $x \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ angegeben. Um für die vorgegebene Bohrungsgeometrie (Durchmesser $0,18 \text{ m}$ bei 300 m Bohrlänge) eine Menge von bis zu 100 l/s erschoten zu können, muss bei einem angenommenen Gefälle von 1° eine mittlere Gebirgsdurchlässigkeit von mindestens $7 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ gegeben sein.

Unter diesen Voraussetzungen wird eine Entnahme von 100 l/s zur Beeinträchtigung des Bergwasserkörpers mit einer maximalen Absenkung des Wasserspiegels von weniger als 1 m und einem Absenktrichter mit einem Radius zwischen ca. 50 m und 112 m (*je nach Berechnungsmethode, nach SICHARD oder KUSAKIN*) führen.

Bezogen auf die große Einzugsgebietsfläche entspricht dies einem kleinräumigen Beeinträchtigungsbereich. Die bekannten Quellen um den Gebirgszug der Mieminger Kette, die dem Wetterstein-Aquifer zugeordnet werden, entspringen alle in einer weitaus größeren Entfernung. Eine Beeinträchtigung kann daher ausgeschlossen werden.

Zusammenfassend stellt sich aus den vorlaufenden Untersuchungen im Mieminger Gebirge der betrachtete Bergwasserkörper im Wettersteinkalk als ein potenter Kluftaquifer mit guten Aussichten auf die Gewinnung von Trinkwasser höchster Güte, gleichbleibender Qualität und konstanter Menge dar. Eine erfolgreiche Erschließung dieses wertvollen Rohstoffes zur Trinkwasserversorgung war damit zu erwarten.

4. Bautechnische Rahmenbedingungen

Die geologischen Rahmenbedingungen waren nach den Ergebnissen der geologisch hydrogeologischen Erkundungen als gut abgesichert. Die exponierte Lage der Stöttlbachquellen bringt jedoch neben der hohen Schutzwirkung des Einzugsgebiets auch bautechnische Herausforderung mit sich.

Die Erschließung über einen Zufahrtsweg konnte noch bis auf ein Brückenbauwerk ohne große technische Einbauten im reinen Erdbau umgesetzt werden. Der Fassungsbereich der Quellen war an die untersten Quellaustritte auf rund 1355 m üA gebunden und kam direkt unter einer steilen Felswand mit potenzieller Steinschlaggefährdung zu liegen. Größere Felsausbrüche waren aus dieser Wand zwar nicht zu erwarten, ein Schutz vor Steinschlag und Lawinen jedoch erforderlich.

Daher wurde die Fassung der Quellwässer über eine Fassungs-Kaverne bestehend aus Wasserkammer, Armaturenraum und einer davon ausgehenden 300 m langen und 2 ‰ geneigten Horizontalbohrung geplant.

Die guten Aufschlussverhältnisse ließen ein eindeutiges Bild über die anzutreffenden geologischen Verhältnisse zu. Somit war klar, dass die Bohrung auf gesamter Strecke (relativ) weiche Gesteine der Wettersteinkalk Formation mit E-W streichenden Haupttrennflächen durchörtern wird. Breitere Störungszonen, ein Gesteinswechsel, eine markante Änderung der Trennflächengeometrie sowie tiefgreifende Verkarstungserscheinungen waren nicht zu erwarten.

Zur Erschötung der potenziell, maximal verfügbaren Wassermenge wurden die Horizontalbohrungen so festgelegt, dass die Vortriebsrichtung nach Norden gerichtet ist, um damit das Gestein rechtwinkelig zu seinen Haupttrennflächen mit einer tolerierbaren Abweichung von $\pm 5^\circ$ zu durchörtern. Zur zusätzlichen

Erweiterung der bestehenden Trennflächen wurde eine Hammerschlagbohrung als möglichst „trennflächenöffnende“ Vortriebsart gewählt.

Die erschotbare Wassermenge kann somit erhöht werden und für die weiteren Planungsschritte war davon auszugehen, dass - trotz der Unsicherheiten - die abgeschätzte Niederwassermenge der frei austretenden Quellen von 100 l/s erreicht werden wird.

Zur Kontrolle und nachhaltigen Behandlung des Bergwasserkörpers waren zwei Maßnahmen vorgesehen. Eine diente zur kontrollierten Dosierung der Wasserentnahme aus dem Berg und die andere zum sofortigen Erkennen möglicher Beeinträchtigungen von Quellen, die vom selben Bergwasserkörper gespeist werden, durch ein Beweissicherungsprogramm.

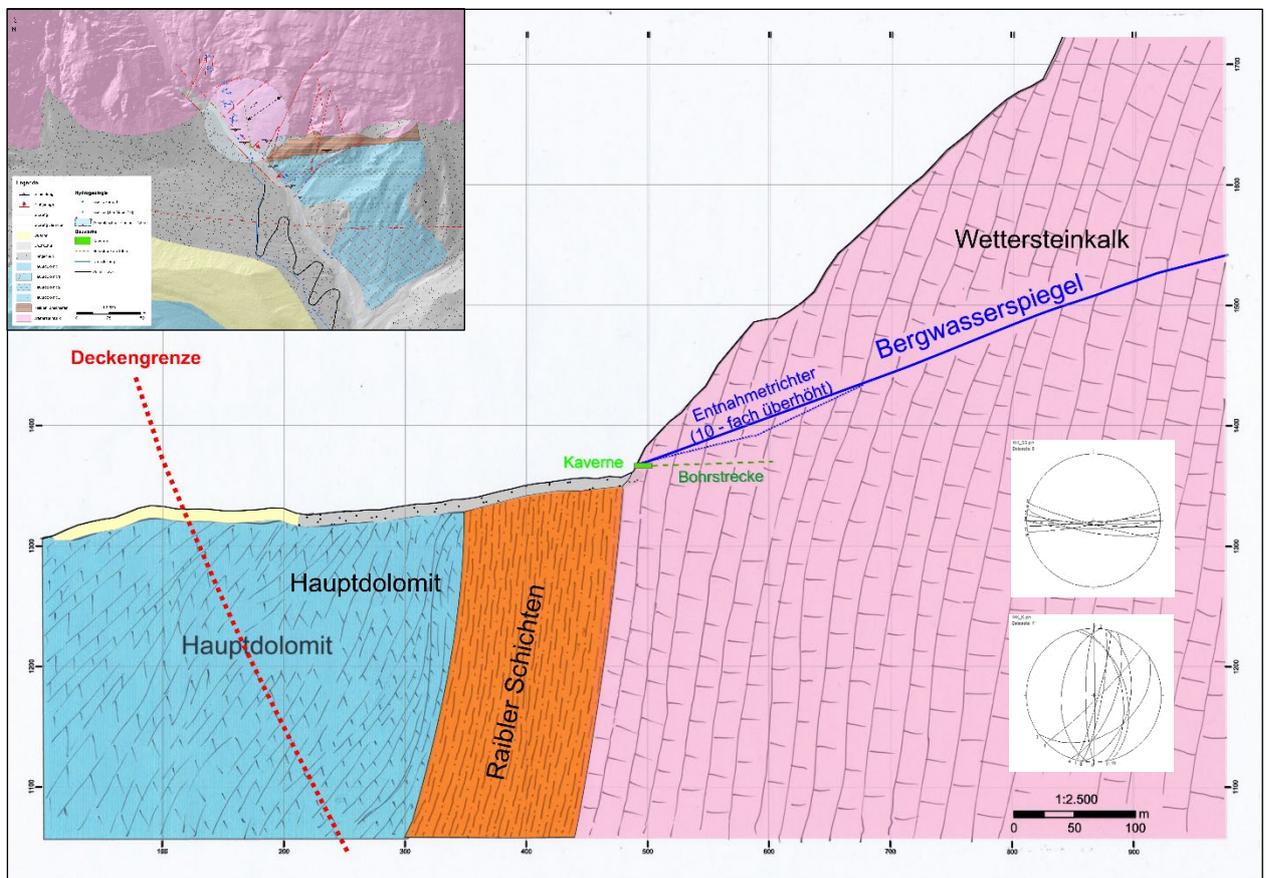


Abb. 5: Profilschnitt mit Darstellung der geologisch-hydrogeologischen Untergrundverhältnisse und geplanten Fassungsmaßnahmen mit einer Kaverne und einer davon ausgehenden 300 m langen und 2 % geneigten Horizontalbohrung (grün).

Die lawinengünstige Geländeform oberhalb des Fassungsbereichs bringt noch eine weitere bautechnische Rahmenbedingungen mit sich, die insbesondere für den Bauzeitplan zu berücksichtigen ist. Lawinenschnee kann den Portalbereich oft bis in die Frühlingsmonate mit Schnee bedecken und ein Arbeiten unmöglich machen. Realistisch kann im Portalbereich nur in den Sommermonaten gearbeitet werden. Die Bauphase ist somit, je nach Schneelage, auf 2-3 Jahre Bauzeit zu kalkulieren und die Einzelbauschritte sind darauf abzustimmen.

5. Bauausführung

Im Herbst 2017 wurde nach wasser-, forst- und naturschutzrechtlicher Bewilligung des Projekts mit ersten vorbereitenden Rodungsarbeiten zur Erschließung des Portalbereichs mit einem Zufahrtsweg begonnen. Nach Fertigstellung des Zufahrtsweges im Frühjahr 2018 konzentrierten sich die Arbeiten auf die Herstellung eines steinschlagsicheren Portalbereichs. Dazu wurde in Abstimmung mit der geotechnischen Baubegleitung ein Steinschlagsicherungskonzept mit einem Steinschlagschutznetz über die Breite des Arbeitsplanums ausgearbeitet und umgesetzt.

Die erfolgreiche Umsetzung der Steinschlagschutzmaßnahmen, Überlegungen zur möglichst schonenden und dennoch ergiebigen Erschließung des Bergwasserkörpers sowie unter Berücksichtigung der nur kurzen Bauzeit pro Jahr, führten zu einer Umplanung der projektierten Ausführung der Neufassung mit dem ursprünglichen Kavernen-Bau und einer davon ausgehenden Horizontalbohrung.

Man einigte sich darauf, eine Sondierbohrung am Anschlagpunkt der geplanten Kaverne am Verschnitt einer wasserführenden Haupttrennfläche mit einer mittelsteil nach Osten abfallenden Kluftschär abzuteufen und je nach Fündigkeit, den weiteren Ausbau zu planen.

Schüttungsmessungen parallel zum Bohrfortschritt führten schlussendlich zur Ausführung von drei Bohrungen, eine mit 150 m und zwei mit je 200 m, parallel zur Kaverne, in der die erforderlichen technischen Einrichtungen untergebracht sind. Die Abteufung einer weiteren Bohrung hätte aus geologisch-hydrogeologischer Sicht keine Steigerung der Schüttungsmenge zur Folge, da sich dadurch die Quellwässer nur auf die vier Bohrungen verteilen würden.

Zur Minimierung schädlicher Oberflächeneinträge wurden die ersten 25 m der Bohrungen mit einem Edelstahlrohr verschlossen, damit keine tagnahen Wässer zutreten, sondern nur die Wässer aus größerer Tiefe zur Trinkwassernutzung herangezogen werden können.

Im Durchschnitt konnten mit diesen drei ausgeführten Bohrungen insgesamt rund 60 l/s erschlossen werden, wovon etwa 25 l/s als Trinkwasser für die Gemeinden Obermieming, Untermieming, Fiecht und Teile von Barwies genutzt werden. Die ausgesprochen gute Wasserqualität konnte durch Wasseranalysen des erschlossenen Bergwasserkörpers bestätigt werden.

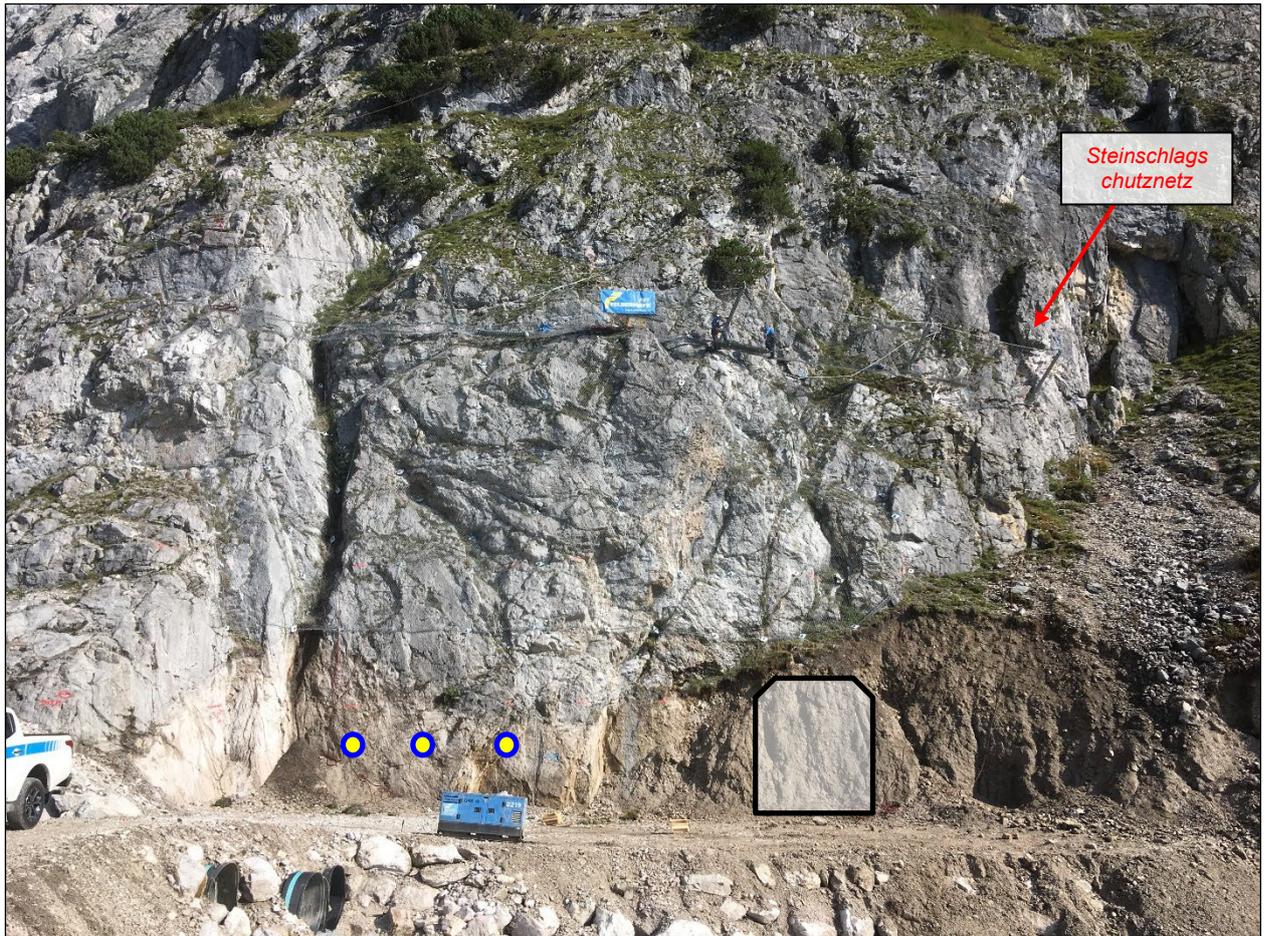


Abb. 6: Fertiggestellte Steinschlagsicherungsmaßnahme mit Steinschlagschutznetz über die gesamte Breite des Arbeitsplanums. Die gelb-blau markierten Kreise stellen die neu geplanten Bohrerschlagpunkte der Horizontalbohrungen und das weiße Polygon die Lage des davon getrennten Kavernenbauwerks schematisch dar [Foto Ingenieurbüro ZT GmbH Gstrein & Partner, 2018].



Abb. 7: Fertiggestellte Horizontalbohrungen mit Austritt der erschlossenen Wassermenge [Foto Ingenieurbüro ZT GmbH Gstrein & Partner, Stand: 21.11.2018].

6. Inbetriebnahme

Seit mittlerweile drei Jahren, nach Inbetriebnahme im Herbst 2020 ist die Trinkwasseranlage der Stöttlbachquellen ohne Störungen in erfolgreichem Betrieb und versorgt die Haushalte in den Weilern Obermieming, Untermieming und Fiecht der Gemeinde Mieming und Teile der Gemeinde Barwies mit qualitativ hochwertigem Quellwasser des Mieminger Gebirges.

Neben der Nutzung der Wässer als Trinkwasser wurde die Anlage auch zur energetischen Nutzung ausgebaut.

7. Danksagung

Wir bedanken uns für die gute und erfolgreiche Zusammenarbeit und Unterstützung bei dem Auftraggeber der Wassergenossenschaft Obermieming Untermieming Fiecht, Vertretern der Landesgeologie, der Wasser Tirol und bei den Generalplanern des Ingenieurbüros ZT Gmbh Gstrein+Partner.

8. Verwendete Unterlagen

- [1] Ingenieurbüro ZT Gmbh Gstrein+Partner 2018: Versorgungssicherheit mit Weitblick Fallbeispiel Mieming. - ÖVGW-Infotag Trinkwasser Tirol, Hall 13.11.2018
- [2] Mostler W. (2021): Schlussbericht der Geologischen Bauaufsicht | Wasserversorgungsanlage Obermieming Untermieming Fiecht | Neufassung des Stöttlbachursprungs samt Quellableitung, Neubau eines Erschließungsweges, Neubau eines Wasserkraftwerkes.– Ingenieurgeologie Mostler, Innsbruck 2021.
- [3] Mostler W. (2015): Geologisch-hydrogeologischer Bericht | WVA WG Ober-, Untermieming, Fiecht | Erweiterung 2015 | Neufassung Stöttlbachursprungquelle.– Ingenieurgeologie Mostler, Innsbruck 31.03.2015.
- [4] Mostler W. (2007): Stellungnahme zur Sanierung/ Neufassung der bestehenden Quelfassungen beim Stöttlbach der Gemeinde Mieming. – Ingenieurgeologie Mostler, Innsbruck 2007.
- [5] Mostler W. (2006): Bohrung im Bereich des Stöttlbachursprungs zur Erkundung des Bergwasserkörpers der zentralen Mieminger Kette. – Ingenieurgeologie Mostler, Innsbruck Dez 2006.
- [6] Mostler W. (2005): Hydrogeologische Geländeaufnahmen. Erkundung des Gebirgswasserspeichers Mieminger Gebirge. – Ingenieurgeologie Mostler, Innsbruck 2005.
- [7] Mostler W. (2003): Hydrogeologische Untersuchungen zur Erkundung des Bergwasserspeichers Mieminger Kette mit Erschließung der Stöttelbachquellen. – Ingenieurgeologie Mostler, Innsbruck 21.11.2003.

PFAS-Kontamination in der Steiermark

Karin Sundl-Bauer

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, A15 – Energie, Wohnbau, Technik, Referat Gewässeraufsicht und Gewässerschutz

Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (abgekürzt als PFAS bezeichnet) zählen zu den organischen Spurenstoffen anthropogenen Ursprungs. Sie gelten als persistent, toxisch und bioakkumulierbar.

PFAS finden seit 1950 in der Industrie und in kommerziellen Anwendungsgebieten ihren Einsatz. Die Kohlenstoff-Fluor-Bindung ist extrem stark und stabil. Aufgrund der chemischen und thermischen Stabilität derartiger Substanzen und ihren sowohl lipo- als auch hydrophoben Eigenschaften, ergeben sich vielseitig einsetzbare und langanhaltende Eigenschaften für breit gefächerte Anwendungen wie Allwetterkleidung/Textilien, Beschichtung auf Kochutensilien und Lebensmittelverpackungen mit Antihafteigenschaften, Farben, Lacke, Feuerlöschschäume, Benetzungsmittel, Pestizide, Kosmetika, Medizinprodukte usw. (Buck, Robert C. et al., 2011), (Berghof Analytik und Umweltengineering GmbH, 2014) (EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2020), (Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, 2013). Obwohl PFAS keinen natürlichen Ursprung haben, sind sie ubiquitär – auch weit entfernt von ihrem Ursprung – anzutreffen. Diese auch als Mikroverunreinigungen oder -schadstoffe der Umwelt bezeichneten Spurenstoffe sind sowohl auf die ursprünglich hergestellten Chemikalien als auch auf deren metabolische Abbauprodukte zurückzuführen.

So zeigt sich, ihre Anwendungsgebiete sind vielfältig, ihre Verbreitung in der Umwelt ist weit fortgeschritten, ihre Persistenz ist unumstritten und gleichzeitig sind ihre Auswirkungen auf Mensch und Umwelt bedenklich. Aus diesem Grund waren und sind die gesundheitlichen Folgen dieser Verbindungen Gegenstand zahlreicher Untersuchungen.

Auf Ebene der EU wird seit einigen Jahren intensiv über Grenzwerte und Beschränkungen in sämtlichen Bereichen (Grundwasser, Boden, Lebens-, Futtermittel, Löschschäume etc.) diskutiert und dementsprechende Verbote für einzelne PFAS werden erlassen.

Jedoch ist die Anzahl der Einzelsubstanzen enorm: Je nach Informationsquelle wird sie mit zwischen ca. 4730 (EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2020) und 14735 (United States Environmental Protection Agency, 2022) angegeben. Die Analyse ist aufwendig, sehr niedrige Bestimmungsgrenzen sind erforderlich und zusätzlich problematisch erweist sich die große Vielzahl an Verbindungen, da für nur wenige von ihnen analytische Standards verfügbar sind. Abhängig von der jeweiligen PFAS-Verbindung sind Bestimmungsgrenzen von 0,0003 µg/l bzw. Nachweisgrenzen von 0,00025 µg/l in Wasser derzeit realisierbar (Quelle: Laborergebnisse UBA).

Die Eintragungspfade von PFAS in das Grundwasser sind ebenfalls vielseitig. Sie reichen beispielsweise von der Infiltration nach Deposition aus der Atmosphäre, über den Einsatz von kontaminierten Düngemitteln bis hin zu Sickerwässern von Deponien. Eine Verunreinigung kann aber auch über Migration (Uferfiltration) aus Oberflächengewässern hervorgerufen werden, in welche gereinigte Abwässer (belastet durch Industrie und Haushalt) über Kläranlagen gelangen oder durch Untergrund-(Boden-)Kontaminationen aus Altlasten bzw. Verdachtsflächen und nicht zuletzt durch den Einsatz von Löschschäumen bei Brandereignissen.

Im Rahmen des GZÜV-Sondermessprogramms „Spurenstoffe im Grundwasser“ wurden in den Jahren 2016 und 2017 in zwei Beprobungsdurchgängen österreichweit Wasserproben aus 65 Grundwassermessstellen auf ausgewählte prioritäre Stoffe bzw. Stoffgruppen gemäß Wasserrahmenrichtlinie analysiert, darunter auch zwei sogenannte „langkettige“ PFAS, genauer PFOA (Perfluorooctansäure) und PFOS (Perfluorooctansulfonsäure).

Bei beiden Durchgängen wurden in mind. 25% der beprobten Messstellen PFOA und PFOS detektiert. Dabei wurden in den meisten Fällen für PFOA und PFOS Konzentrationen unter 0,0050 µg/l nachgewiesen. Darauf folgende Untersuchungen schlossen auch sogenannte „kurzkettige“ PFAS ein, da aufgrund von (bevorstehenden) Verboten davon auszugehen war, dass vermehrt kurzkettige PFAS als Ersatzstoffe in den Produkten ihren Einsatz finden und sie als Nebenprodukte bei der Herstellung langkettiger PFAS gelten (BMNT, 2018).

Im Rahmen des Projektes POPMON des BMLRT wurden in der Steiermark acht Brunnen, die zur öffentlichen Wasserversorgung dienen, und zwei Netzprobenahmestellen in zwei Regionen (Lebring und Leibnitz) ausgewählt. In beiden Regionen konnten in vorangegangenen Untersuchungen im Rahmen der Trinkwasserüberwachung des Bundesministeriums für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz, erhöhte Konzentrationen von PFAS gefunden werden (BMNT, BMASG, 2019). Es wurden in der Steiermark bewusst diese beiden Regionen und Probenahmestellen ausgewählt, da aufgrund des Einzugsgebietes Kontaminationen als wahrscheinlich anzunehmen waren. Im Umfeld der für die Untersuchungen ausgewählten Probenahmestellen liegen landwirtschaftlich genutzte Flächen, Teiche, Deponien für Reststoffe und Kompostieranlagen, Versickerungsanlagen, die die Einleitung von Oberflächen- und Kühlwässern umfassen, Gewerbe- und Industrieanlagen, das Betriebsgelände einer Zivilschutz- und Feuerweherschule sowie ein Autobahnabschnitt, Einleitungen von Abwässern kommunaler Kläranlagen, Altstandorte, Altablagerungen und Altlasten (BMNT, BMASG, 2019).

Daraufhin erfolgte die Beprobung und Analyse der ausgewählten Messstellen durch das Umweltbundesamt im Jahr 2020. Zehn gezogene Wasserproben wurden auf 22 PFAS untersucht.

Im Dezember 2020 wurde die Neufassung der EU-Trinkwasser-Richtlinie veröffentlicht, in der für die „Summe der PFAS“ ein Parameterwert von 0,1 µg/l angegeben ist, den es ab Jänner 2026 einzuhalten gilt. Die im Zuge der Untersuchungen im Jahr 2020 genommenen Proben zeigten zumindest teilweise Konzentrationen für die „Summe der PFAS“, die deutlich über dem in der Neufassung der EU-Trinkwasser-Richtlinie veröffentlichten Parameterwert für die „Summe der PFAS“ von 0,1 µg/l lagen.

Aufgrund dieser Erkenntnis und des Vorliegens einer fachübergreifenden Umweltbeeinträchtigung erfolgte ein rascher und umfassender Informationstransfer an die zuständigen Behörden und Organisationseinheiten (Umwelt, Wasser, Lebensmittel, Gesundheit), ein Krisenstab wurde eingerichtet, die durch PFAS verunreinigten Brunnen wurden gesperrt und vom Versorgungsnetz genommen, Stellen zur Informationsweitergabe definiert und Öffentlichkeitsarbeit geleistet um die Bevölkerung umgehend zu informieren (Postwurfsendung, Pressemitteilung, Informationsveranstaltung) sowie Wiederholungsmessungen zur Verifizierung veranlasst.

Die Wiederholungsmessungen bestätigten die Überschreitungen und die Suche nach dem/den Verursacher/n wurde notwendig. Daher wurden ergänzende Untersuchungen gemäß § 13 ALSAG durch

das BMK veranlasst. Ziel der Untersuchungen war es, einen Überblick über die Grundwasserqualität hinsichtlich altlastenrelevanter Schadstoffe, insbesondere PFAS, zu erlangen, die Schadstofffahnen abzugrenzen, die Phytoextraktion von PFAS bei der Gartenbewässerung mit PFAS-belastetem Grundwasser zu beurteilen und die Schadstoffbelastungen zu potentiellen Schadstoffquellen zurückzuverfolgen. Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes erfolgte unter Berücksichtigung der schadstoffrelevanten Altstandorte und der hydrogeologischen Verhältnisse.

Die Untersuchungsergebnisse von über 300 Beprobungen und Analysen zeigten eine PFAS-Fahne mit Konzentrationen über 0,1 mg/l Summe der PFAS in einem Ausmaß von über 5 km. Als Verursacherin der Kontamination wurde die Feuerweherschule Lebring festgestellt.

Derzeit laufen an der Feuerweherschule Lebring Untersuchungen nach § 13 ALSAG um einzelne Schadstoffherde zu ermitteln. Die Herausforderungen sind groß: Es gibt kleine Schadstoffherde auf großer Fläche, sehr schmale Fahnen, keine optische und organoleptische Ansprache des Schadstoffes bei vergleichsweise langen Analysezeiten und keinem Schnelltest.

Eine Ausweisung der Feuerweherschule als Altlast wird erwartet.

Literaturverzeichnis

Buck, Robert C. et al. (2011). Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins. Integrated Environmental Assessment and Management — Volume 7, Number 4, S. 513–541.

Berghof Analytik und Umweltengineering GmbH. (2014). PFC in der Altastenerfassung, Pilotstudie.

BMNT, BMASG. (2019). POPMON II – Zwischenbericht.

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain). (2020). Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. EFSA Journal.

Landesbetrieb Hessisches Landeslabor. (2013). Poly- und perfluorierte Chemikalien – Eigenschaften, Verwendung, Verhalten in der Umwelt und Nachweis in verschiedenen Matrices. Präsentation, Dr. Thorsten Stahl.

United States Environmental Protection Agency. PFAS/EPA: PFAS structures in DSSTox (update August 2022). Von https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical_lists/PFASSTRUCT abgerufen.

Anschrift VerfasserIn:

Mag. Karin Sundl-Bauer
AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG
A15 – Energie, Wohnbau, Technik
Referat Gewässeraufsicht und Gewässerschutz
Landhausgasse 7, 8010 Graz
Telefon: +43 316 877-4797
Mobil: +43 676 8666-4797
E-Mail: karin.sundl-bauer@stmk.gv.at

Erfahrungen aus hydrogeologischer Sicht beim Vortrieb des Erkundungsstollens des Brenner Basistunnel in der Hochstegenzone: Vorausbohrungen als Hilfsmittel zur hydraulischen Charakterisierung und Festlegung der Injektionswürdigkeit des Gebirges

Burger Ulrich¹, Hofmann Matthias¹, Maurer Christof², Orsi Georg¹

¹ Brenner Basistunnel BBT SE, ² ILF Consulting Engineers Austria GMBH

Abstract

Die Hochstegenzone wird beim Projekt Brenner Basistunnel (BBT) als hydrogeologisch bedeutende Zone eingestuft. Der Begriff Hochstegenzone wird dabei beim BBT für jene lithologischen Einheiten verwendet, die im Brennergebiet, sowie in angrenzenden Bereichen die Oberflächengeologie bestimmen, von hydrogeologischer Bedeutung sind und sich im Wesentlichen aus heterogenen triassischen Gesteinen an der Basis der Flatschspitzdecke, sowie aus dem jurassischen Hochstegenmarmor zusammensetzen.

Im Zuge der Genehmigung wurde die Hochstegenzone zwischen Projektkilometer PK 28,80 und PK 30,33 (Abschnitt Querung Venntal bis Griesbergtal) als „Teilabschnitt mit sehr hoher quantitativer Restbelastung“ eingestuft, Vorerkundungen in Form von überlappenden, preventergeschützten Vorausbohrungen wurden vorgeschrieben. Hauptziel der Erkundungen ist dabei, injektionswürdige Abschnitte festzulegen. In diesen sind vor Vortrieb gebirgsverbessernde Maßnahmen zu setzen. Dabei sind die hydraulischen Durchlässigkeiten des, die Tunnelröhren umgebenden Gebirges dermaßen zu reduzieren, dass es bei Auffahren der Tunnel zu keinen Änderungen der Wasserspiegelhöhen seichter Grundwasserkörper kommt. Erfahrungen aus hydrogeologischer Sicht, insbesondere bei Durchführung der Vorauserkundungen im Erkundungsstollen auf österreichischer Seite, werden für die Durchörterung der Hochstegenzone aufgezeigt.

1. Die Hochstegenzone aus geologischer Sicht

1.1 Genereller geologischer Überblick

Beim Projekt Brenner Basistunnel (BBT) verwendet man den Begriff „Hochstegenzone“ für jene lithologischen Einheiten, die in der Brennerregion den Zentralgneis-Kern umrahmen und von hydrogeologischer Bedeutung sind. Die wesentlichen Lithologien sind dahingehend:

- eine heterogene, lithologische Abfolge der Trias an der Basis der Flatschspitzdecke
- der jurassische Hochstegenmarmor.

Im Wesentlichen sind diese Einheiten östlich des Wipptals, zwischen dem Valsertal im Norden und dem Pfitschtal im Süden, an der Oberfläche aufgeschlossen und reichen auch über den Talschluss dieser Seitentäler hinaus.

Wie aus der geologischen Karte in Abb. 1 hervorgeht, ist dahingehend der Hochstegenmarmor die dominante Lithologie an der Oberfläche. Die Trias an der Basis der Flatschspitzdecke ist vergleichsweise gering verbreitet.

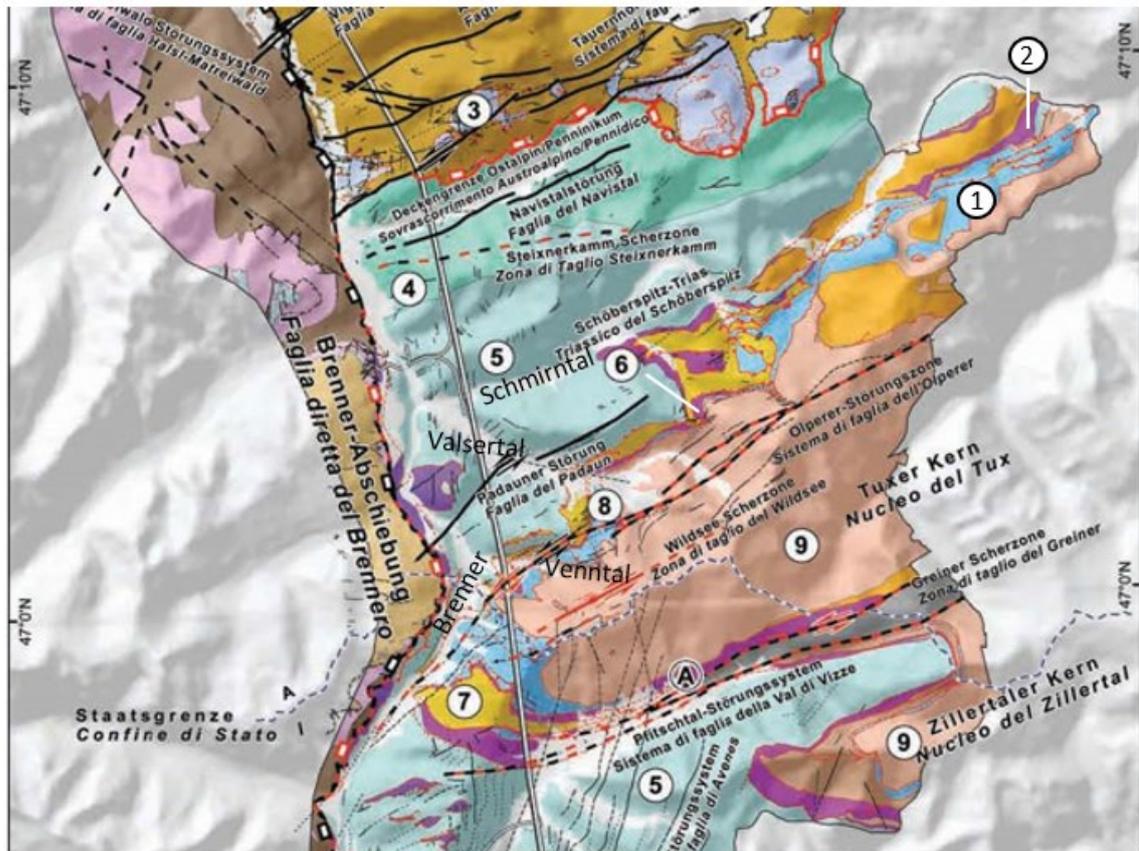


Abb. 1: Veränderter Ausschnitt aus der Geologischen Karte in Brandner et al. (2008): wesentliche geologische Einheiten: 1) Hochstegenmarmor, 2) Trias an der Basis der Flatschspitzdecke, 3) Innsbrucker Quarzphyllit, 4) und 5) Glockner Decke / Bündnerschiefer, 6) Aigerbach Formation, 7) Kaserer Formation, 9) Zentralgneis)

Die folgenden Erläuterungen beschränken sich auf vorgefundene Verhältnisse beim Vortrieb des Erkundungsstollens im Baulos H52 „Hochstegenzone“, in welchem bei der Querung des Venntales die Hochstegenzone in ca. 680m Tiefe aufgefahren wurde.

Gemäß geologischen Längsschnitt (Abb. 2) für den Teilabschnitt Projektkilometer PK 26 und PK 32 des BBT (Stand Ausschreibungsplanung 2019) fallen die lithologischen Einheiten am Westrand des Tauernfensters generell in Richtung Nordwesten ein. Von Süden nach Norden betrachtet, folgt dem Zentralgneis als strukturell tiefste Einheit der Hochstegenmarmor, der an der Basis vom Basiskalkmarmor unterlagert werden kann. Überlagert wird der Hochstegenmarmor von der lithologisch heterogenen Abfolge der Trias an der Basis der Flatschspitzdecke. Diese weist aus hydrogeologischer Sicht potentiell lösungsfähige Lithologien auf. Bei den Tiefbohrungen konnten gerade beim Übergangsbereich zum Hochstegenmarmor intensive Lösungserscheinungen festgestellt werden, die sich in Form von rauhwackoiden Gesteinen und Lösungsresidual mit Lockergesteinscharakter zeigen (Abb. 3). Diese Einheiten wurden bei den Tiefbohrungen jedoch über Tunnelniveau in dieser Form angetroffen. Ob Lösungserscheinungen auch bis auf das Tunnelniveau vorkommen, galt es durch den Erkundungsstollen zu klären.

Die Trias erstreckt sich weiter in Richtung Norden, weist dort aber keine Lösungserscheinungen mehr auf. Nördlich der Trias schließt die Kaserer Formation an, deren Alters-Einstufung als nicht gesichert gilt und die sich durch eine heterogene Abfolge von metaklastischen Gesteinen auszeichnet. Tektonisch quert die Olperer Störung mit vorwiegend NE-SW Streichen den Projektraum, wobei der nördlich der Störung gelegene Block als Hangendscholle, der südliche Block als Liegendenscholle bezeichnet wird.

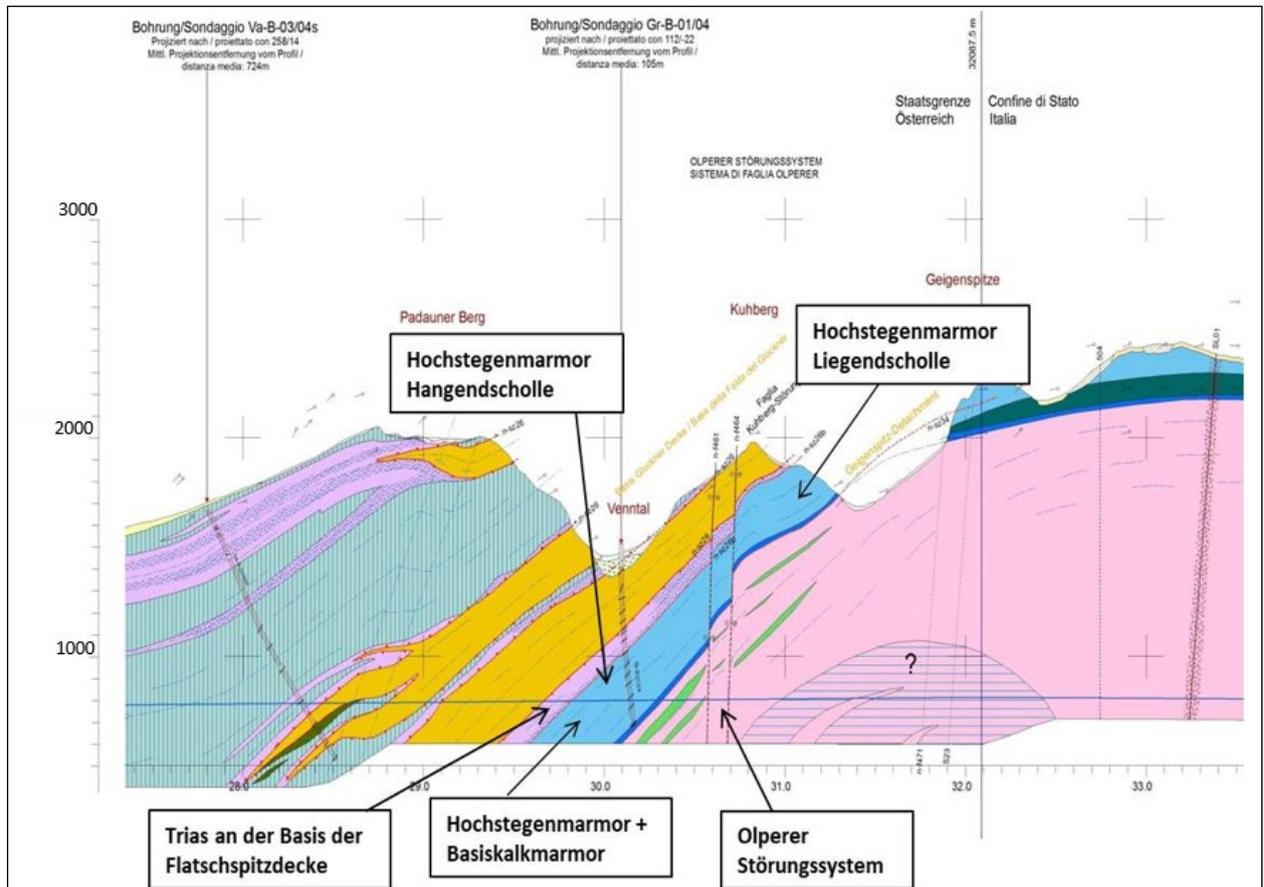


Abb. 2: Geologischer Längsschnitt Baulos „H52 Hochstegen“



Abb. 3: Trias an der Basis der Flatschspitzdecke: Rauhwacke sowie rauhwackoid angelöster Dolomitmarmor (gelb) und Chloritphyllit (grünlich) an der Basis der Triasabfolge in der Bohrung Gr-B-01/04 (473-478m Bohrteufe).

1.2 Geologie der Trias an der Basis der Flatschspitzdecke

Die Trias an der Basis der Flatschspitzdecke ist aufgrund von tunnelbaurelevanten Lösungserscheinungen in einen nördlichen und einen südlichen Abschnitt zu unterteilen. Im nördlichen Abschnitt tritt eine bunte Abfolge an Lithologien auf bestehend aus Kalkglimmerschiefern, Marmorbänken, Chloritglimmerschiefern, Metaquarziten und graphitischen Phylliten. In diesem Abschnitt treten keine Lösungserscheinungen auf, der Abschnitt ist als gering hydraulisch durchlässig zu charakterisieren.

Der südliche Abschnitt der Trias zeigt im Nahbereich zum Hochstegenmarmor Lösungserscheinungen, wobei diese an bestimmte lithologische Einheiten und dort vorwiegend Schieferungs-gebunden sind.

Der südliche Abschnitt wird aus geologischer Sicht dominiert durch:

- eine Wechsellagerung zwischen Chloritglimmerschiefern und Serizitphylliten
- an der Basis der Einheit tritt ein unterschiedlich mächtiger Dolomitmarmor auf,
- welcher beim Erkundungsstollen durch rauhwackoide Gesteine überlagert und unterlagert wird
- geringmächtige, rauhwackoide Lithologien, welche unregelmäßig verteilt sind

Lagenweise liegen auch geringmächtig Residualgesteine vor, welche Lockergesteinscharakter haben und siltig – feinsandiger Natur sind.

Die Länge des Abschnittes mit Lösungserscheinungen auf Tunnelniveau beträgt beim Erkundungsstollen 33m (östliche Ulm) bis 46m (westliche Ulm).

1.3 Geologie des Hochstegenmarmors

Beim Hochstegenmarmor handelt es sich um einen Kalkmarmor, der sich im Jura am Südrand der europäischen Plattform abgelagert hat. Charakteristisch für den Marmor sind zum einen gut gebankte bis hin zu massig wirkende Kalkmarmor Bänke. Oft ist das Erscheinungsbild auch plattig und abschnittsweise aufgrund von Einlagerungen von glimmerreichen Lagen ist die Schieferung ausgeprägter.

Im Untersuchungsgebiet hat der Hochstegenmarmor eine regionale Verbreitung an der Oberfläche (siehe Abb. 4). Dabei ist die große Mächtigkeit gemäß Hinterwirth (2022) auf großmaßstäbliche isoklinale Faltungen und interne Überschiebungen der Hochstegen-Formation zurückzuführen.

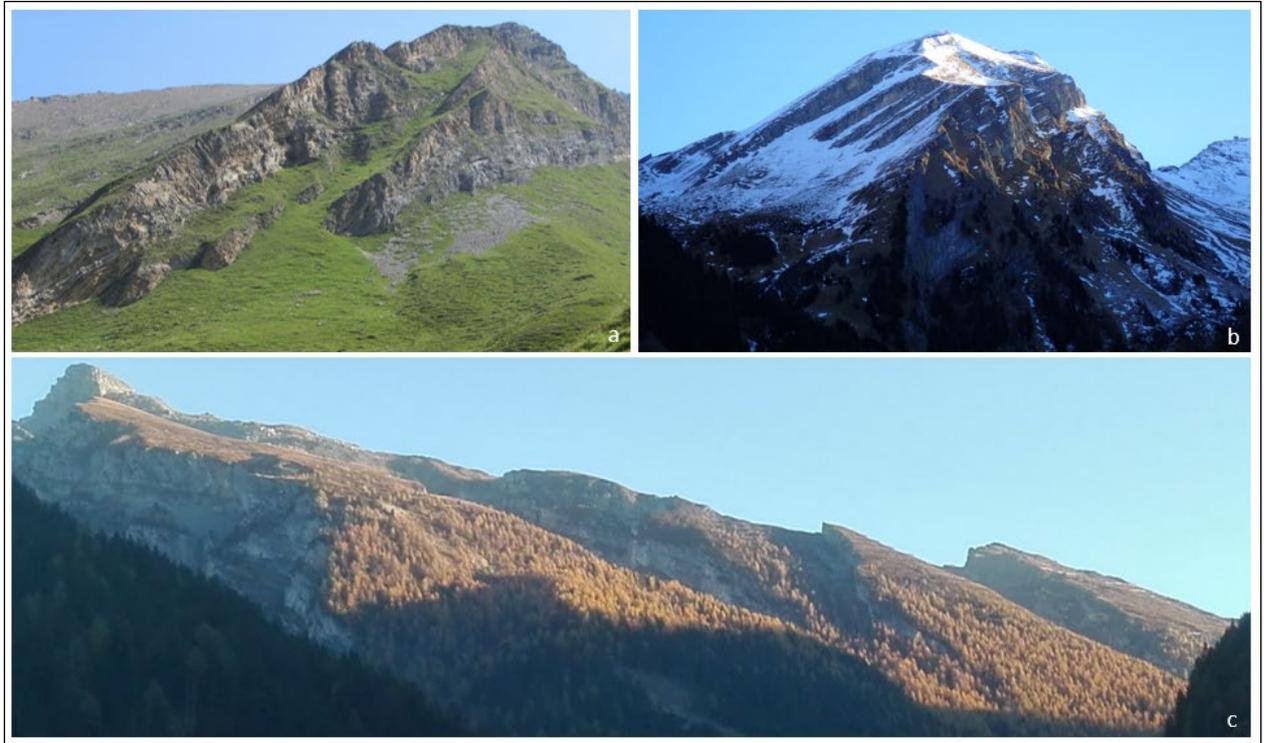


Abb. 4: Aufschlüsse der Trias und des Hochstegenmarmors im Bereich Wildlahnertal (a); mächtiger Hochstegenmarmor der Saxalmwand, hinteres Venntal (b); Hochstegenmarmor mit regionaler Verteilung und W-Einfallen in Richtung Wipptal-Furche in der Brenner Region (c)

In verschiedenen Erkundungsbohrungen konnte der Hochstegenmarmor auch bis zu einer maximalen Bohrtiefe von knapp 800 m aufgeschlossen werden. Dabei zeigt der Marmor auch einen sehr variierenden Tektonisierungsgrad, sowie auch Lösungserscheinungen an Diskontinuitäten. Es überwiegt aber ein massig bis bankig wirkender Marmor mit RQD Werten meist > 90% (siehe Abb.5).



Abb. 5: Fototafel von Bohrkernen der Bohrung Gr-B-01/15, Venntal (zunehmender Durchtrennungsgrad von a nach d):
 a: Bohrkern aus der Hochstegenformation mit RQD gleich 100%, keinen Lösungserscheinungen und auffälligen Diskontinuitäten (geringer Durchtrennungsgrad)
 b: Bohrkern aus der Hochstegen-Formation mit einzelnen Diskontinuitäten, mäßiger Durchtrennungsgrad
 c: Kalkmarmor mit zum Teil lösungserweiterten Klüften, z.B. 772,3 bis 772,8m
 d: Hochstegen Marmor mit Diskontinuitäten mit erhöhtem Durchtrennungsgrad; die Klüfte sind dahingehend steilstehend (ca. parallel zum vertikalen Bohrloch)

2. Hydrogeologische Prognose Ausschreibungsplanung und Bescheidaufgaben

2.1 Hydrogeologische Prognose

Aufbauend auf dem geologischen Modell und den hydrogeologischen Erkundungsergebnissen wurden im Zuge der Ausschreibungsplanung die beiden geologischen Formationen den hydrogeologischen Homogebereichen (HB) HB4 Hochstegenmarmor, HB5.1 Trias ohne Lösungserscheinungen, HB5.2 Trias mit Lösungserscheinungen zugeordnet und zusammenfassend wie folgt beschrieben:

Die hydraulischen Durchlässigkeiten der Metakarbonate der Hochstegen Formation (HB4) sind als „dual“ einzustufen, mit einem gering durchlässigen Gebirge geringer primärer Porosität. Offene Klüfte, lösungserweiterte Diskontinuitäten und Mikrokarsterscheinungen führen zu einer sekundären Porosität und dahingehend zur Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeiten. Mikrokarsterscheinungen zeigten sich in der Tiefbohrung Gr-B-01/05, welche im Venntal bis auf 800m abgeteuft wurde. In diesem Fall wurde eine wenige cm breite, schlauchartige Struktur in 494m Tiefe (also ca. 180m über Tunnelniveau) aufgeschlossen

(Abb. 6). Diese ist aber durch feinkörniges, gering durchlässiges Material verfüllt, wodurch bei der hydraulischen Betestung sehr geringe hydraulische Durchlässigkeiten festgestellt werden konnten ($K = 2,1 \cdot 10^{-9} \text{m/s}$ in Teststrecke 489,0m bis 509,1m). Im Zusammenhang mit den offenen bzw. lösungserweiterten Diskontinuitäten können die hydraulischen Durchlässigkeiten auch abschnittsweise hohe Werte von $10^{-6} \text{m/s} < K < 10^{-4} \text{m/s}$ erreichen, für Festgesteine also als hoch einzustufende Werte.



Abb. 6: Mikrokarst-Struktur im Hochstegenmarmor, aufgeschlossen in der Bohrung Gr-B-01/04 bei Teufe 494m

Bei der geologischen Prognose im Zuge der Genehmigungsplanung wurde davon ausgegangen, dass die Trias an der Basis der Flatschspitzdecke am Kontakt zum Hochstegenmarmor auch auf Tunnelniveau Lösungserscheinungen (HB5.2) aufweist. Diese lithologische Abfolge bestimmt auf ca. 20m den Tunnelvortrieb. Am Kontakt zum Hochstegenmarmor hin können die Lösungserscheinungen dermaßen sein, dass nur mehr eine Rauhwacke vorliegt, aus einem Gerüst aus nicht lösbarem, porösem Festgesteinen und einem Lösungsresidual mit siltig – feinsandiger Zusammensetzung. Gerade aufgrund der Feinkörnigkeit wurde Großteils dieser Feinkorn-dominierten Abfolge eine geringe hydraulische Durchlässigkeit zugeordnet. Rauhwackoide Lithologien mit erhöhter Lösungsporosität können jedoch auch hohe hydraulischen Durchlässigkeiten haben, welche in der Größenordnung von $10^{-6} \text{m/s} < K < 10^{-4} \text{m/s}$ liegen können. Richtung Norden nimmt im hydrogeologischen Homogenbereich HB5.1. der Anteil an Lithologien mit Lösungspotential ab. Die hydraulischen Durchlässigkeiten sind generell gering ($K < 10^{-8} \text{m/s}$).

Durch die Messungen der Wasserspiegelhöhen in verschiedenen Grundwassermessstellen ist laut Prognose von hohen, hydraulischen Drucken auf Tunnelniveau auszugehen, die je nach topografischen Gegebenheiten zwischen 75 und 85bar schwanken können.

Wesentlich für die Projektentwicklung ist die Einstufung der instationären und stationären Zutritte aus dem Hochstegenmarmor.

In Kombination mit den hohen hydraulischen Durchlässigkeiten und den nachgewiesenen hohen hydraulischen Drucken auf Tunnelniveau kommt es laut Prognose beim Auffahren der Metakarbonate im Bereich des Venntals zu großen instationären Wasserzutritten, die größer sein können als 10l/s/10m. Möglich sind diesbezüglich auch sogenannte flush flows (plötzliche und kurz anhaltende Wasserzutritte), die sehr lokal und mit großen Wassermengen auftreten und in der Größenordnung von ca. 150l/s sein können. Trotzdem sind in diesem Homogenbereich aber Abschnitte dominant, die trocken sind bzw. Wasserzutritte sehr geringen Ausmaßes (Klasse 0,1-1l/s/10m). Unter der Annahme einer weiten Erstreckung der hydraulisch aktiven Strukturen sind in diesem Abschnitt HB4 auch große stationäre Abflüsse zu erwarten in der Größenordnung von 80l/s bezogen auf den Erkundungsstollen ohne Haupttunnelröhren.

Aufgrund der zu erwartenden hohen stationären Zutritte sind die Absenkungen der Wasserspiegelhöhen schlussendlich auch als relevant einzustufen und weisen regionalen Charakter auf, wobei numerische hydrogeologische Modelle zeigen, dass diese bis in das Valsertal reichen können (Abb. 7).

Die Metakarbonate sind wesentlich für die unterirdische Wasserzufuhr im hinteren Valsertal, in dem ein Natura 2000 Gebiet liegt. Zudem sind von den Absenkungen das Venntal betroffen, in dem Quellen liegen, die zum einen von ökologischer Bedeutung sind, da sie die Hauptspender für den Vennbach sind, welcher wiederum der Hauptspender für den Brenner See ist. Zum anderen haben einzelne Quellen im Venntal auch eine hohe wasserwirtschaftliche Bedeutung, da sie die Trink- und Nutzwasserversorgung in der Brennerregion bilden.

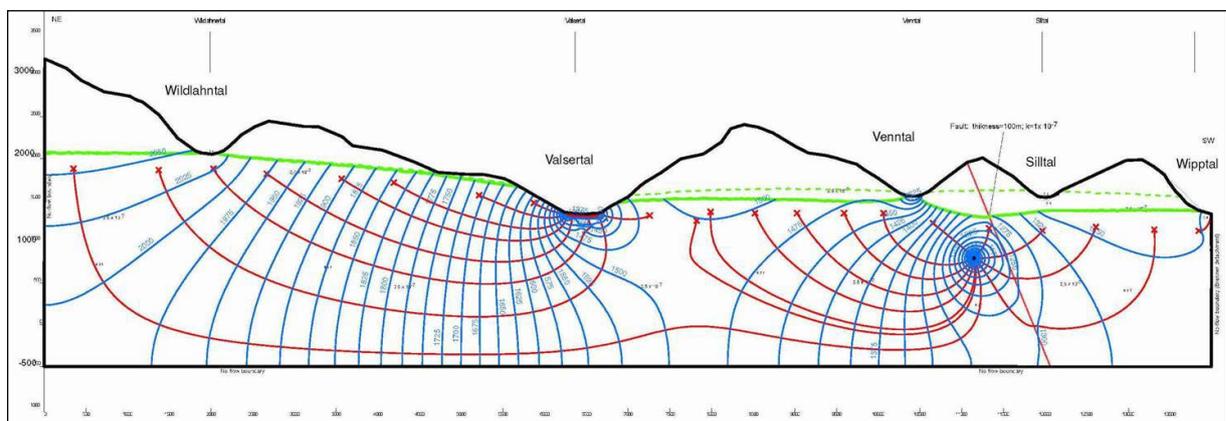


Abb. 7: Ergebnis einer numerischen 2-dimensionalen Modellierung mit Darstellung der Erstreckung des Einflussbereiches durch den dränierend wirkenden Tunnelabschnitt im Venntal (Genehmigungsplanung Brenner Basistunnel 2008)

2.2 Bescheidauflagen

Aufgrund der hydrogeologischen Prognose und der zu erwartenden Auswirkungen auf die ökologisch und wasserwirtschaftlich bedeutenden Wasserressourcen wurden folgende Bescheidauflagen spezifisch für die Hochstegenzone im Wasserrechtsbescheid vom 16.04.2009 verfasst: „In den Teilabschnitten mit „sehr hoher quantitativer Restbelastung“ sind von der Ortsbrust oder aus Nischen überlappende, präventergeschützte Vorausb Bohrungen durchzuführen. Die austretenden Wässer sind zu messen (Menge Q, Temperatur T und elektrische Leitfähigkeit eLF), weiters zu beproben, chemisch zu analysieren und der

Wasserdruck (p) zu messen. Es sind für die mit den Horizontalbohrungen vorauserkundeten Bereiche jene Stellen (Vortriebsmeter) zu fixieren, wo Zutritte zu erwarten sind und es ist in den Erkundungsstollen sowie Haupttunnelröhren das Ausmaß der Zutritte zu berechnen und die Art der Wasserwege einzuschätzen. Unter Heranziehung des geologisch - hydrogeologischen Modells sind die Auswirkungen auf Oberflächenwässer in Abhängigkeit von den ermittelten Zutrittsmengen rechnerisch abzuschätzen. Wenn die Vorauserkundungen ergeben, dass Belastungen für seichte Aquifere oder für Oberflächenwässer und Bodenwässer zur erwarten sind (Grundwasserspiegelabsenkungen > 30 cm im Bereich von Natura 2000-Gebieten bzw. Beeinträchtigung von Wassernutzungen) sind Sondermaßnahmen festzulegen, die die Wasserzutritte bestmöglich verringern. Dabei ist zwischen gebirgsverbessernden Maßnahmen, die vor dem Vortrieb zu machen sind, und gebirgsverbessernde Maßnahmen im Nachgang zu entscheiden (unter Nachgang wird verstanden, dass die Maßnahmen spätestens nach Durchgang des eigentlichen Vortriebsbereiches gesetzt werden)“.

3. Konzept der Vorauserkundungen und deren Analyse

Die Vorauserkundungen in Form von preventergeschützten Vorausbohrungen spielen beim Baulos Hochstegen eine wesentliche Rolle.

Abhängig von den dokumentierten Wasserzutritten und der gesamten Abflussmenge nach Erreichen der Endteufen, sowie der Reaktion der Wasserspiegelmhöhen in ausgewählten Grundwassermessstellen wird die Injektionswürdigkeit des vorauserkundeten Abschnittes ermittelt. Numerische hydrogeologische Modelle dienen als Werkzeuge, um die systemrelevanten Parameter mittels Kalibrierung zu quantifizieren, deren Zusammenhänge zu ermitteln und die Prognosen numerisch zu untermauern.

In den folgenden Kapiteln wird auf die Erfahrungen der Vorauserkundungen in den beiden hydrogeologisch sensiblen Bereichen der Hochstegenzone eingegangen. Zur Orientierungshilfe dient die Abb. 8, in der die wesentlichen lithologischen Übergänge und die in den folgenden Kapiteln behandelten Vorauserkundungsbohrungen schematisch dargestellt sind.

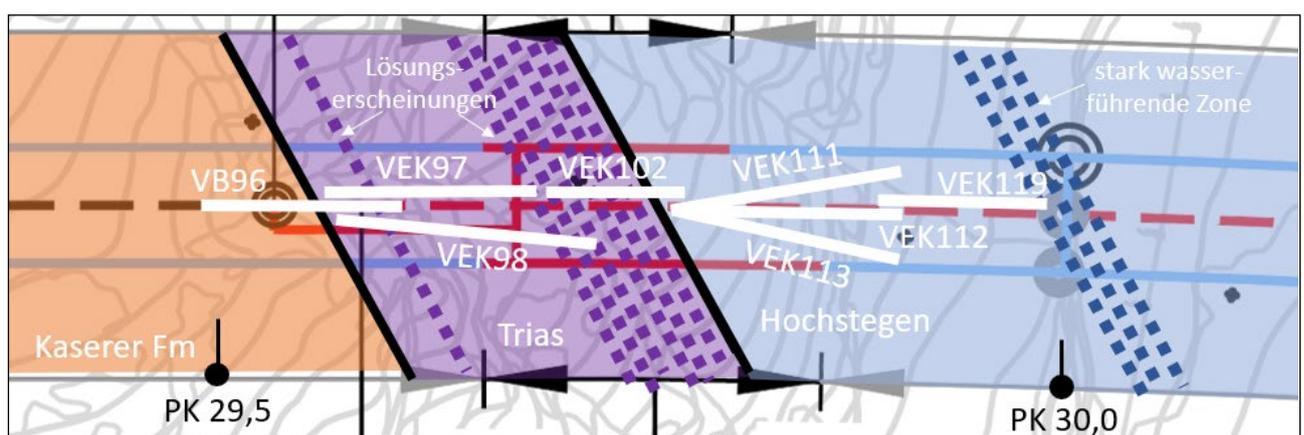


Abb. 8: Schematischer geologischer Horizontalschnitt auf Tunnelniveau des Erkundungsstollens BBT mit den wesentlichen geologischen Formationsgrenzen und den wesentlichen Vorauserkundungsbohrungen von der VB96 im Norden bis zur VEK119 im Süden

4. Hydrogeologische Erfahrungen im Abschnitt Trias an der Basis der Flatschspitzdecke

4.1 Die Vorauserkundungsbohrung VB96

Bescheidgemäß wurden beim Vortrieb des Erkundungsstollens überlappende, preventergeschützte Vorausbohrungen gefordert zur Feststellung wasserführender Zonen.

Als erste Bohrung wurde dahingehend die 126m lange Vorausbohrung VB96 mit Bohransatzpunkt bei PK 29+490,00 noch vom vorhergehenden Baulos H51 durchgeführt und zwar bereits am 11.10.2020. Die Horizontalbohrung wurde mit Durchmesser von 95mm mit ca. 10° ansteigend Richtung SSO (ca. 160° Azimuth) ausgeführt. Aus geologischer Sicht konnte bei einer Teufe von ca. 84m die lithologische Grenze zwischen der Kaserer Formation mit Paragneisen und Quarziten im Norden und der Trias an der Basis der Flatschspitz-Decke im Süden, welche deutlich kalkreicher ist, festgestellt werden.

Nachdem in dem nördlich des Bohransatzpunktes gelegenen Tunnelabschnittes und auch im ersten Abschnitt der Vorausbohrung trockene Verhältnisse herrschten, wurden bei ca. 110 bis 120m Bohrteufe erstmalig Wasserzutritte aus klarem Wasser mit Zutrittsmengen von ca. 1l/s festgestellt. Im Wesentlichen sind diese an schieferungsparallelen kleinen Lösungserweiterungen gebunden. Die physikalischen Eigenschaften des austretenden Wassers im instationären Zustand sind: $Q_{\text{instat.}} = 1 \text{ l/s}$, $T = 25,7^\circ\text{C}$, $e_{\text{Lf}} = 2.870 \mu\text{S/cm}$ und $\text{pH} = 8,0$.

Bei einem Auslaufversuch wurde für knapp 2 Stunden das Bohrloch geöffnet und die physikalischen Parameter überwacht, im Anschluss das Bohrloch verschlossen und der Druckanstieg aufgezeichnet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass beim Auslaufversuch die Austrittsmenge leicht abnimmt (von 1,007l/s auf 0,923l/s), bei leicht ansteigender Temperatur (von 25,7°C auf 25,9°C) und leicht abfallender elektrischer Leitfähigkeit (von 2.870 $\mu\text{S/cm}$ bis 2.840 $\mu\text{S/cm}$). Nach Verschließen des Bohrlochs konnte ein Druckanstieg bis auf einen Wert von $p = 63,5\text{bar}$ gemessen werden.

Aus den Überwachungen obertage geht keine hydraulische Beeinflussung der Wasserressourcen durch die Erkundungsbohrung bzw. den Auslaufversuch hervor. Die aufgefahrne Bohrung erfüllt damit folgende Kriterien des im Wasserrechtsbescheides dargestellten Fall: $Q < 5\text{l/s}$ und hydraulische Druck $> 10\text{bar}$. Aufgrund der geringen hydraulischen Durchlässigkeiten ist der Druckabbau durch Auffahren der Bohrung bzw. in Folge des Tunnels als lokal zu definieren. Somit ist mit keiner Kommunikation mit der Oberfläche auszugehen. Zudem sind die beprobten und analysierten Wässer gemäß Klassifizierung im Wasserrechtsbescheid dem Fall 3a (keine Kommunikation mit Oberfläche + kein Trinkwasser) oder Fall 3b (keine Kommunikation mit Oberfläche, Trinkwasser, Nutzbarkeit nicht sinnvoll) zuzuordnen. Das Auslaufen kann als problemlos eingestuft werden; gemäß Fall 3a und 3b des Wasserrechtsbescheides kann somit der Vortrieb fortgesetzt werden.

Die Ergebnisse des Auslaufversuches und insbesondere die Ganglinien der beiden Grundwassermessstellen Gr-Br-01/15 (überwacht die Trias) und Gr-Br-02/16 (überwacht den Hochstegenmarmor) dienen zur Kalibrierung des numerischen, hydrogeologischen Modells mit Stand 2015 (siehe Abb. 9).

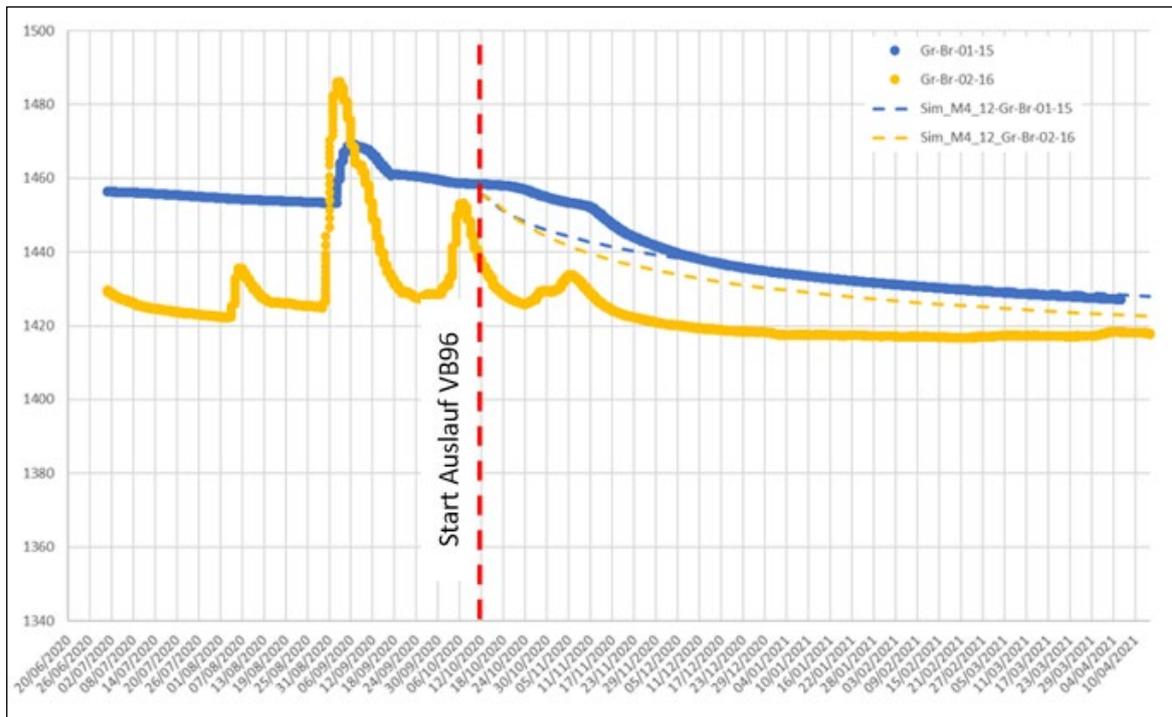


Abb. 9: Gemessene (durchgehende Linien) und modellierte (strichlierte Linien) Ganglinien der Wasserspiegelhöhen in den beiden Grundwassermessstellen Gr-Br-01/15 und Gr-Br-02/16 bei Durchführung der Vorausböhrung VB 96 und des Auslaufversuches

Als Tunnelbau-relevante Ergebnisse (Abb. 10) des numerischen Modells gelten die rückmodellierten, hydraulischen Durchlässigkeiten für die verschiedenen lithologischen Einheiten: Kaserer Formation, Trias ohne Lösungserscheinungen (HB5.1) und Trias mit Lösungserscheinungen (HB5.2), Hochstegen Marmor (HB4) und Zentralgneis (HB3).

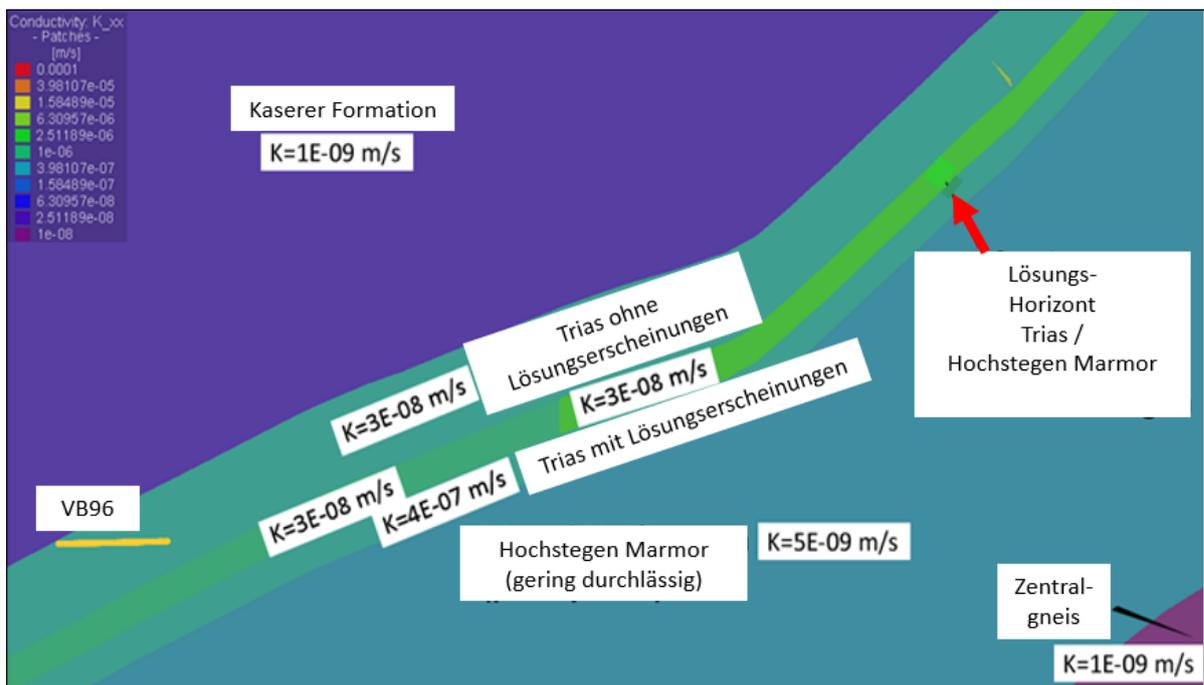


Abb. 10: Schematische Darstellung eines Längsschnittes aus dem, mit den Daten der Vorauserkundungsbohrung VB96 kalibrierten, numerischen hydrogeologischen Modell mit den ermittelten hydraulischen Durchlässigkeiten für die wesentlichen geologischen Formationen

Der Verlauf der Ganglinien lässt ableiten, dass eine Einheit mit höherer Durchlässigkeit zwischen der Trias im Norden und dem Hochstegenmarmor im Süden liegen muss. Eine Stabilisierung der Absenkung der Wasserspiegel in den Grundwassermessstellen beim Auslaufversuch durch die VB96-Bohrung lässt sich anhand dieser Annahme erzielen. Diese höher durchlässige Einheit hat eine hydraulische Durchlässigkeit in der Größenordnung von $9 \cdot 10^{-8}$ m/s bis $4 \cdot 10^{-7}$ m/s (in Abb. 10 dargestellt), je nachdem welche Simulation man heranzieht, jedenfalls ist sie 1 bis 2 Größenordnungen höher als jene der restlichen geologischen Einheiten. Es ist davon auszugehen, dass diese Einheit durch die geplanten Vorauserkundungsbohrungen VB97 und VB98 angetroffen wird und somit mit höheren Zutrittsmengen zu rechnen ist.

Eine Betrachtung der Ganglinien der Grundwassermessstellen Gr-Br-01/15 und Gr-Br-02/16 deuten darauf hin, dass die beiden hydrogeologischen Einheiten (Trias, Hochstegenmarmor) ein unterschiedliches hydraulisches Verhalten aufweisen. Die Ganglinien der Grundwassermessstelle Gr-Br-01/15, welche ihre Filterstrecke in der Trias hat, zeigt einen sanfteren Verlauf, während die Grundwassermessstelle Gr-Br-02/16 (verfiltert im Hochstegenmarmor) starke und rasche Änderungen zeigt. Dieser Trend deutet für die Trias auf einen porös-äquivalenten Grundwasserleiter hin, mit einem relativ höheren Speicherkoeffizienten als dem des Hochstegen Marmors. Dieser zeigt stattdessen ein Verhalten, das dem eines geklüfteten Grundwasserleiters mit einzelnen hydraulisch aktiven Diskontinuitäten ähnlicher ist.

Diese Grundaussagen sind wesentlich für die Eigenschaften des zu injizierenden Gebirges, damit der Wahl der Injektionsmethode und der Injektionsmittel.

4.2 Die Vorauserkundungsbohrungen VEK97 und VEK98

Nach Näherung durch den Vortrieb zur wasserführenden Zone, aufgeschlossen durch die Vorauserkundungsbohrung VB96, wurden die beiden Vorauserkundungsbohrungen VEK 97 und VEK 98 als preventergeschützte horizontale Vollbohrungen (ca. 5° ansteigend) abgeteuft.

Die Vorauserkundungsbohrung VEK 97 wurde am 13.03.2022 als 98 m lange Bohrung bei TM 4.273,50 bzw. PK 29+571,66 aus der Bohrnische links in Richtung SSO (158° Azimuth) ausgeführt.

Aus geologischer Sicht setzen sich die ersten 90m aus kalkigen Chloritphylliten zusammen, von 90m bis 98m (Bohrende) liegen kalkreiche, anhydritführende Serizitschiefer vor, die teilweise Auslaugungserscheinungen zeigen, also Rauhwacken zuzuordnen sind. Beim Bohren wurden die Wasserzutrittsmengen dokumentiert, bis ca. 26m waren es 0,50 l/s Bergwasser, bei 92m wurden ca. 10 l/s gemessen, die sich dann bis zum Ende bzw. Abbruch der Bohrung bis auf ca. 21 l/s steigerten. Nach Verschluss des Bohrlochs stieg der Druck rasch und innerhalb 20min auf 50 bar an.

Die Vorauserkundungsbohrung VEK 98 wurde am 15.03.2022 als 134 m lange Bohrung 5m weiter südlich der VEK97 von der Ortsbrust in Richtung S (ca. 182° Azimuth) ausgeführt.

Die Bohrung liegt innerhalb der Trias an der Basis der Flatschspitz Decke. Bis zur Bohrteufe von 122m dominieren gering durchlässige, kalkige Chloritphyllite, ausgenommen im Bereich von 30m bis 36m, wo, ähnlich wie in den Vorauserkundungsbohrungen VB96 und VEK97, wasserführende Lithologien vorkommen. Diese

konzentrieren sich bei dieser Bohrung auf Chloritphyllite und Serizitphyllite mit kleinen, schieferungsparallelen Lösungserweiterungen. Ab 122m bis 126 lässt das Bohrkleingut auf Chloritphyllite mit lokalen Auslaugungserscheinungen schließen. In diesem Bereich treten Wässer in der Größenordnung von 6-7l/s der Bohrung zu. Ab 126m bis zum Bohrende von 134m ist wiederum von härterem Gestein auszugehen. Im Zuge der Bohrarbeiten konnten Bergwasserzutritte von ca. 1 l/s bei Bm 30 und von ca. 6 l/s bei Bm 122 festgestellt werden. Nach Verschluss des Bohrlochs stieg der Druck rasch innerhalb weniger Minuten auf 33bar an, dann langsam bis ca. 44bar.

Ein Auslaufversuch wurde für ca. 32,5 Stunden vom 16.3.2022 (7:35 Uhr) bis zum 17.3.2022 (16:05) bei den beiden Vorausbohrungen durchgeführt.

Bei der Vorausbohrung VEK97 traten zu Beginn 22,60l/s mit einer elektrischen Leitfähigkeit von 1.382 $\mu\text{S}/\text{cm}$, einer Temperatur von 25,8 °C und der pH Wert von 7,73 zu. Die Werte blieben recht stabil über den Auslaufversuch hin und lagen am Ende bei einer Schüttung von 21,52l/s, einer Temperatur von 25,4°C, einer elektrischen Leitfähigkeit von 1.395 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und einem pH Wert von 7,53.

Aus der VEK98 traten zu Beginn 6,23 l/s mit einer elektrischen Leitfähigkeit von 1.431 $\mu\text{S}/\text{cm}$, einer Temperatur von 25,3 °C und der pH Wert von 7,6 zu. Am Ende lagen die Werte bei 4,65 l/s mit 1.295 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 26,2 °C und pH 7,6.

Während des Auslaufversuches wurden in Grundwassermessstellen die Wasserspiegelhöhen aufgezeichnet, die Ganglinien gehen aus der Abb.11 hervor.

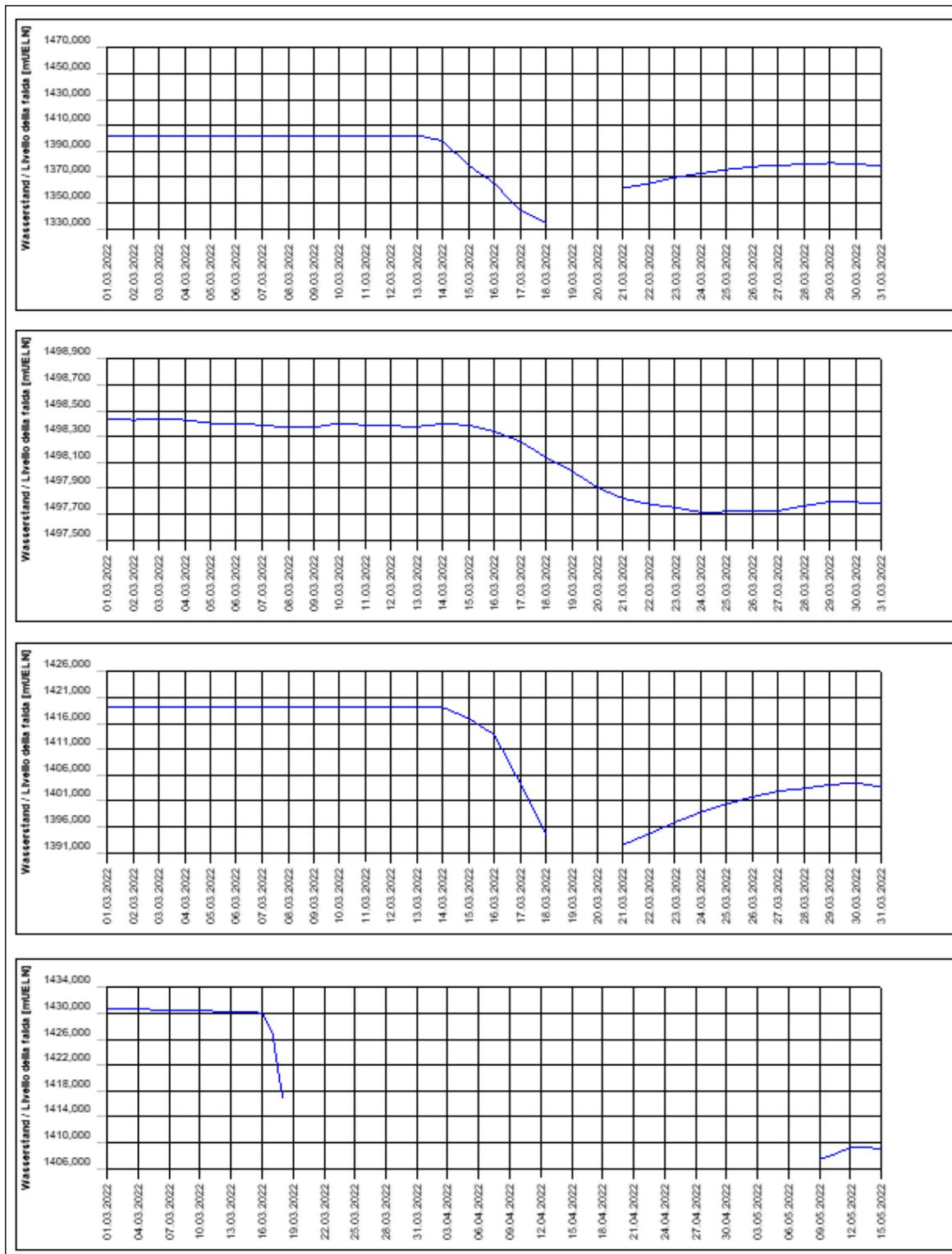


Abb. 11: Ganglinien der Wasserspiegelhöhen im Zeitraum März 2022 inklusive Abstand vom Endpunkt der VEK97 (ca. PK 29+670) zur jeweiligen Messstelle (von oben nach unten):

Gr-B-01/04 (Abstand: ca. 450m)

Gr-B-10/15 (Abstand: ca. 1.100m)

Gr-Br-02/16 (Abstand: 410m)

Gr-Br-01/15 (Zeitraum 01.03.-15.05) (Abstand: 405m)

Die Datenlücken sind auf Ausfälle der Datenlogger zurückzuführen (Wasserspiegel sank unterhalb Einbautiefe des Datensammlers), der generelle Trend in den Ganglinien ist aber trotz der Ausfälle ableitbar.

Anhand der Daten konnte das numerische, hydrogeologische Modell aktualisiert werden, aus dem als Tunnelbau-relevantes Ergebnis hervorging, dass der Wert der hydraulischen Durchlässigkeit des Horizonts zwischen der Trias und dem Hochstegenmarmor auf $K = 1,5 \cdot 10^{-6}$ m/s zu erhöhen ist (nach Kalibrierung des Modells mit der Bohrung VB96 lag der Wert noch bei $9 \cdot 10^{-8}$ m/s bis $4 \cdot 10^{-7}$ m/s), womit sich die prognostizierten Zutrittsmengen in dieser Zone auf ca. 60l/s erhöhten.

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wird der Bereich als injektionswürdiger Bereich eingestuft.

4.3. Injektionsmaßnahmen und Vortriebe in der Trias

Für die Durchörterung der Trias an der Basis der Flatschspitzdecke waren im Erkundungsstollen 3 Injektionskampagnen (IK) bestehend aus, in der Regel, 33m langen, ringförmig angeordneten Injektionsbohrungen notwendig (Abb. 12). Dabei konnten bei den Injektionskampagnen folgende hydrogeologisch wesentliche Werte festgehalten werden:

IK 1: p = von 19,0 bis 76,4 bar; $Q_{inst.}$ = von 0 bis 20 l/s

IK 2: p = von 1,1 bis 25,0 bar; $Q_{inst.}$ = von 0,6 bis 9,4 l/s

IK 3: p = von 2,5 bis 36,3 bar; $Q_{inst.}$ = von 0 bis 6,7 l/s

Als Injektionsmittel wurden unterschiedliche Materialien verwendet, von Zement bis Feinstzement, sowie untergeordnet auch Polyurethan-Harze.

Die Aufnahmefähigkeit wird dominiert durch die Porosität der Lithologien, dabei zeigte sich, dass die Poren generell sehr klein waren, meist als kleine poröse Lösungserscheinungen perlschnurartig angeordnet sind (Abb. 13), daher bei einigen Bohrungen die Aufnahmefähigkeit reduziert waren. Zudem enthielten die Lagen bestehend aus Lösungsresidual mit Lockergesteinscharakter auch einen sehr hohen Feinkorn Anteil (Abb. 13).

Beim schrittweisen Auffahren der Trias kam es weiterhin zu Wasserzutritten in der Größenordnung von einigen Litern/Sekunde. Nach Setzen der gebirgsverbessernden Maßnahmen und schlussendlich Durchörterung der Trias, konnte aus dem ca. 50m langen Abschnitt eine Restwassermenge von ca. 24l/s für den sogenannten hydrogeologischen Teilstrom („sectional discharge“ gemäß Burger et.al.2022) gemessen werden.



Abb. 12: Ortsbrust mit Injektionsbohrungen

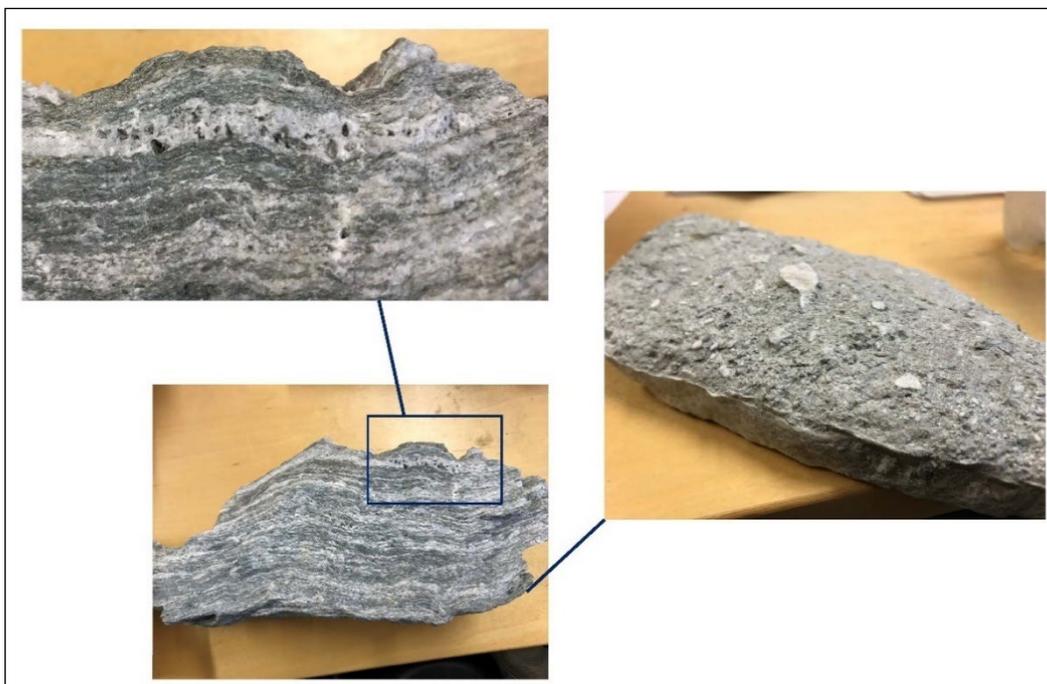


Abb. 13: Beispiel der schieferungs-gebundenen Porosität in der Trias mit kleinen, perlschnurartig angeordneten Lösungserscheinungen (Poren) und eine geringmächtige Lage aus Lösungsresidual an der Unterseite der Gesteinsprobe noch in Resten erhalten mit einem hohen Feinkornanteil.

5. Vorauserkundungen im Abschnitt Hochstegenmarmor

5.1 Der trockene nördliche Abschnitt des Hochstegenmarmors

Ab dem Tunnelmeter TM 4.390 bzw. PK 29+688,16 (östliche Ulme) und TM 4.404 bzw. PK 29+702,16 (westliche Ulme) tritt im Erkundungsstollen der in Richtung Nordwesten einfallende Hochstegenmarmor auf. Vor Auffahren desselben wurden überlappende, preventergeschützte Vorausbohrungen gemacht, um die hydrogeologischen Gegebenheiten zu prüfen. Dabei zeigte die horizontale, leicht nach oben ansteigende, 69,50m lange preventergeschützte Kernbohrung VEK102 (Bohransatzpunkt bei TM 4357,7 bzw. PK 29+655,9; L=69,5m) ab 48,9m einen trockenen Hochstegenmarmor.

Die Vorauserkundungsbohrungen VEK 111 bis 113 wurden alle drei als preventergeschützte Vollbohrungen mit einer Länge von 150m aus der Ortsbrust bei TM 4.419,80 bzw. PK 29+718,36 in Richtung Süden abgeteuft. Die Vorausbohrungen zeigen trockene Verhältnisse im Hochstegenmarmor, in dem die Gesamt-Zutrittsmengen der einzelnen Bohrungen kleiner 0,5l/s lagen. Somit konnte der vorauserkundete Abschnitt bis zur nächsten, durchzuführenden Vorauserkundungsbohrung (VEK119) als nicht injektionswürdiger Bereich eingestuft werden und mit Abschlagslängen von 2,2m ohne Ausführung von Sondermaßnahmen aufgefahren werden. Der Vortrieb bestätigte die Einschätzung, dass der Hochstegenmarmor über lange Abschnitte aus hydrogeologischer Sicht eine geringe bis mäßig hohe hydraulische Durchlässigkeit aufweist, dahingehend die Zutrittsmengen gering (Klasse 0-1l/s/10m) sind.

5.2 Die Vorauserkundungsbohrung VEK119

Mit der Vorauserkundungsbohrung VEK 119 änderte sich dann schlagartig die hydrogeologische Beschaffenheit des Hochstegenmarmors.

Die Bohrung VEK 119 wurde am 27. bis zum 28.11.2022 von der Ortsbrust aus bei TM 4.552,40 bzw. PK 29.850,56 als leicht steigende Horizontalbohrung in Richtung Süden mit einem Durchmesser von 120mm und einer Länge von 123,5m aufgefahren. Bis 119m wurde das Gebirge vom Bohrmeister als „hart und trocken“ dokumentiert, zwischen Bohrmeter 119,00 bis 119,40 war der Bohrwiderstand plötzlich sehr gering und es traten große, dunkelgefärbte Wassermengen (geschätzt 70l/s) am Bohrlochmund aus. Das aufgrund des hohen Anteils an Feinkorn (im Silt- und Tonbereich) braun gefärbte Wasser hatte bei einer Erstmessung eine elektrische Leitfähigkeit von 364 μ S/cm, eine Temperatur von 23,3°C und einen pH Wert von 8,1. Nach dem Wiederverschluss der Bohrung erfolgte innerhalb von 15 Minuten ein rascher Druckanstieg auf 45 bar.

Zur hydraulischen Charakterisierung der Zone wurde am 01.12.2022 ein Auslaufversuch durchgeführt. Diesbezüglich wurde, aufgrund der hohen zu erwartenden großen Auslaufmengen und des hohen Anteils an Feinkornmaterials, im Erkundungsstollen an drei Stellen, im Abstand von jeweils ca. 15m, ein Damm aus Ausbruchsmaterial von ca. 0,8m Höhe geschüttet. Damit wurden drei Absetzbecken im Tunnel errichtet (Abb. 14), in denen das auslaufende Wasser rinnen konnte und als stehendes Wasser das Feinkornmaterial sich absetzen konnte. Ziel war, den Feinkorngehalt zu reduzieren, insbesondere um Schaden an Rohrleitungen und an Pumpen, welche zunächst das Wasser in Richtung Drainageleitungen und im Anschluss zum Portal des Zugangstunnels Wolf mit einer Steighöhe von ca. 400m pumpen mussten, zu vermeiden.



Abb. 14: Im Vordergrund geschütteter Damm aus Ausbruchsmaterial und dahinter ein Absetzbecken im Erkundungsstollen für den Auslaufversuch an der Vorauserkundungsbohrung VEK 119 bei der Ortsbrust bei TM 4.552,40 bzw. PK 29.850,56

Der Auslaufversuch wurde am 01.12.2022 von 14:36 bis 16:06 Uhr durchgeführt (Abb. 15). Nach Verschließen der Bohrung wurde der Druckanstieg bis ca. 16:45 Uhr überwacht. Die relevanten Daten gehen aus der Abb. 16 hervor. Wesentlich ist, dass während des Auslaufversuches die Wassermenge augenscheinlich zurückging, aus Schätzungen und mittels Rückrechnungen von ursprünglich ca. 80l/s auf ca. 60l/s. Auffallend ist zudem der zunächst leicht abfallende Temperaturwert von ca. 23,3°C auf 22,9°C mit konstant bleibender elektrischer Leitfähigkeit von ca. 340 bis 350 μ S/cm. Nach ca. 1 Stunde an Auslaufen fällt dann sowohl der Anstieg der Temperatur von 22,9°C auf 23,3°C auf, ebenso der zeitgleiche Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit von 350 auf 472 μ S/cm.

Bezüglich der Drucke wurden vor Durchführung des Auslaufversuches 45bar gemessen, nach Durchführung des Auslaufversuches und Verschließen der Bohrung stieg der Druck innerhalb von knapp 40min stufenweise auf 35bar an.



Abb. 15: Auslaufversuch an der VEK 119 vom 01.12.2022 und mit Wasser aus dem Auslaufversuch gefülltes Becken

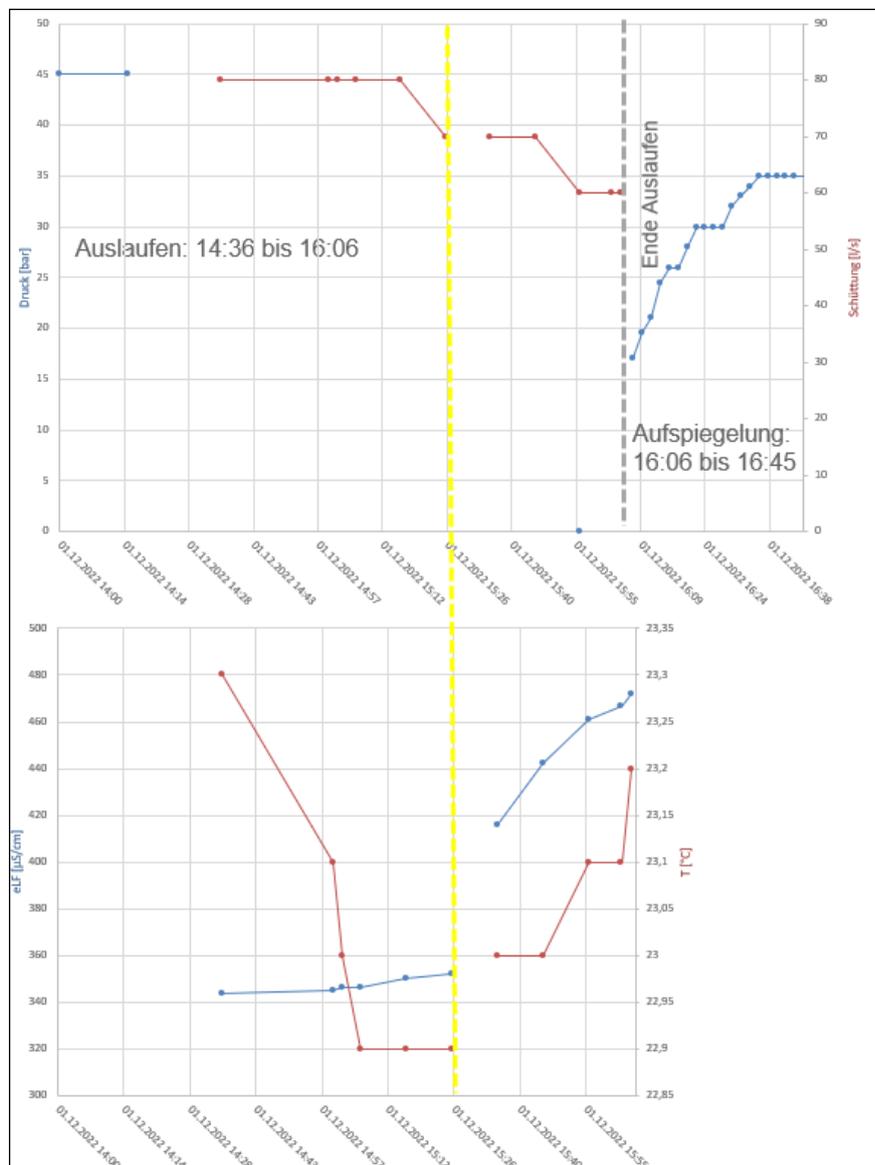


Abb. 16: Auslaufversuch an der VEK 119
 obere Darstellung: Verlauf Druck und Auslaufmenge
 untere Darstellung: Ganglinie T und eLF des ausfließenden Wassers

Die mit Datenloggern ausgestatteten Grundwassermessstellen zeichnen mit einer Frequenz von 15 min die Wasserspiegelhöhen auf. Da die Grundwassermessstellen in unterschiedlicher Entfernung zur Endteufe der Vorauserkundungsbohrung liegen und auch in unterschiedlichen Lithologien und Tiefen verfiltert sind, kann eine umfassende Aussage über die Reaktion der Wasserspiegelhöhen aufgrund der Dränierung durch die Vorauserkundungsbohrung VEK119 gemacht werden. Die Lage der Grundwassermessstellen und jene der VEK 119 im Erkundungsstollen gehen aus der Abb. 17 hervor.

Die Ergebnisse der Messungen in den Grundwassermessstellen gehen aus den Diagrammen in der Abb. 18 hervor.

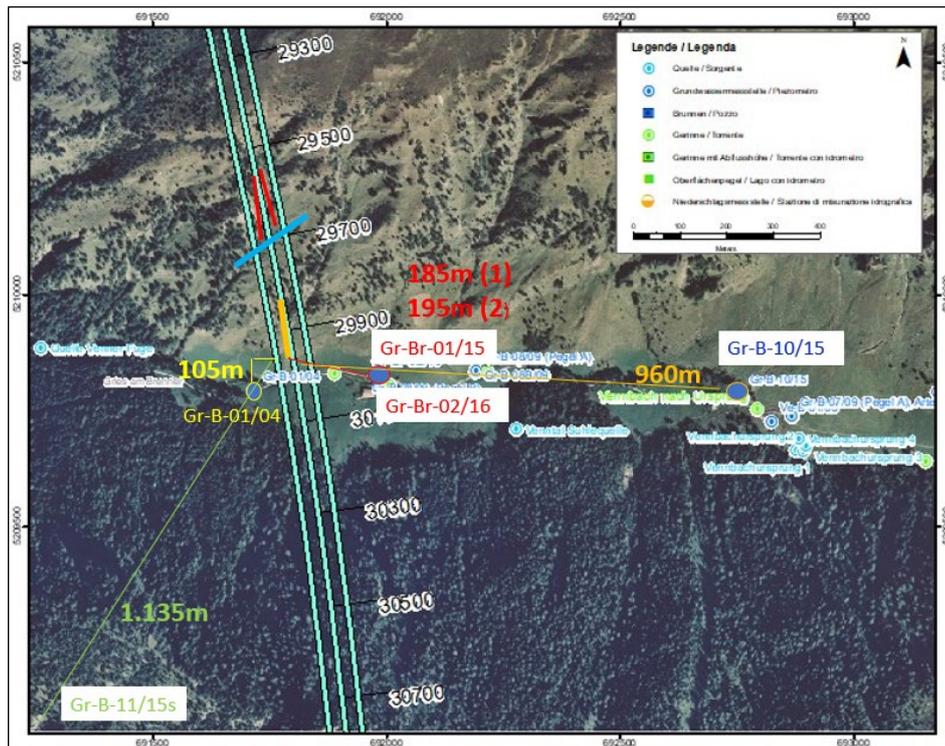


Abb. 17: Standorte der Grundwassermessstellen und Entfernungen zum Endpunkt der Vorauserkundungsbohrung VEK119 (orange Linie auf Tunneltrasse des Erkundungsstollens), Bereich Venntal

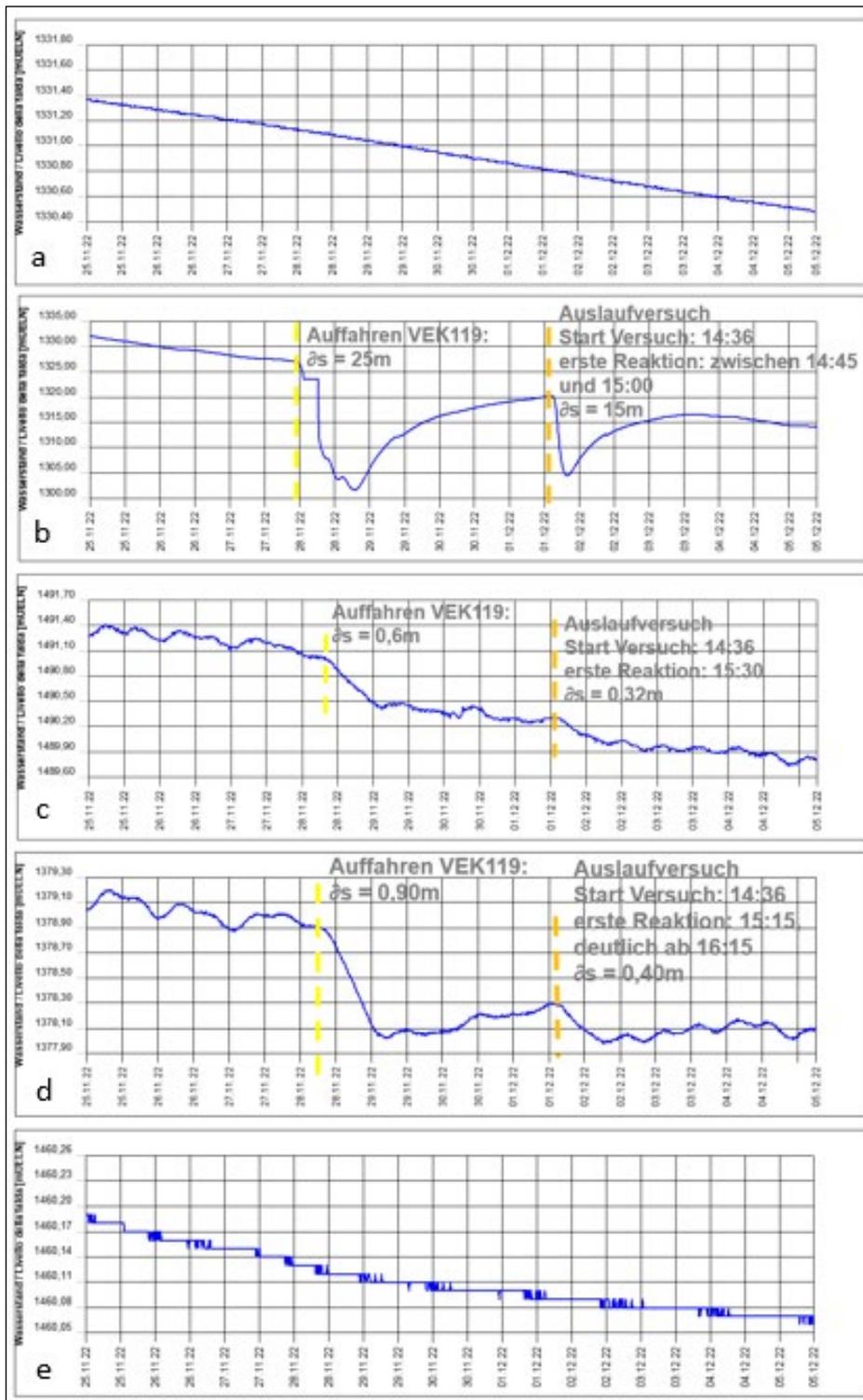


Abb. 18: Ganglinien der Wasserspiegelhöhen in den Grundwassermessstellen im Zeitraum 25.11.-05.12.2022: a) Gr-Br-01/15 (Trias), b) Gr-Br-02/16 (Hochstegenmarmor tief), c) Gr-B-10/15 (Hochstegenmarmor seicht), d) Gr-B-11/15 (Hochstegenmarmor tief), e) Gr-B-08B/09 (Lockergestein)

Aus den Ganglinien geht hervor, dass

- die Absenkungen der Wasserspiegelhöhen trotz kurzer Dauer des Auslaufversuches regionaler Natur sind

- die Wasserspiegelhöhen in den Grundwassermessstellen mit tiefen Filterstrecken stark betroffen sind
- die Wasserspiegelhöhe der in seichten Bereichen verfilterten Grundwassermessstellen im Hochstegenmarmor gering betroffen sind.
- die Wasserspiegelhöhen im Lockergestein nicht betroffen sind.

Aus den Daten konnte generell abgeleitet werden, dass es sich bei der aufgefahrenen, stark wasserführenden Struktur innerhalb des Hochstegenmarmors um eine regionale, mit der Oberfläche verbundenen, hoch durchlässigen Struktur handeln muss, deren langfristige Dränierung zu regionalen Absenkungen der Wasserspiegelhöhen führen würde. Nicht auszuschließen sind bei langfristiger Dränierung in diesem Tunnelabschnitt auch Auswirkungen auf seichte Grundwasserkörper. Aus diesem Grund wurde die aufgefahrene, stark wasserführende und unter hohen Drucken (max. gemessene Druck 53bar) stehende Zone als injektionswürdiger Abschnitt eingestuft. Aufgrund der großen Zutrittsmengen und der damit abzuleitenden großen Kluftweiten wurde empfohlen, die Injektionsmethodik und insbesondere das Injektionsmedium diesen Gegebenheiten, insbesondere der zu erwartenden großen Aufnahmefähigkeit der Strukturen, anzupassen.

5.3 Hydrogeologische Erfahrungen beim Auffahren der stark wasserführenden Zone im Hochstegenmarmor

Beim Erkundungsstollen wurde eine Zone zwischen ca. TM 4.675 bzw. PK 29+973,16 und TM 4.725 bzw. PK 30+023,16, also auf 50m, als regionale, stark wasserführende und damit injektionswürdige Zone eingestuft. Innerhalb dieser Zone ist mit schwer lokalisierbaren, lösungserweiterten Strukturen zu rechnen, deren Öffnungsweiten im cm bis hin zu mehreren dm Bereich liegen und aufgrund der hohen Drucke zu starken Wasserzutritten (flash flows mit ca. 150l/s) führen würden.

Die ringförmig angeordneten, auf 50m Länge ausgelegten, großkalibrigen Injektionsbohrungen (120mm) zeigten sehr stark variierende Zutrittsmengen, von trocken bis hin zu Wasserführungen bis zu ca. 80l/s. (siehe Abb. 19). Die gemessenen In-situ-Drucke belaufen sich auf max. 53bar.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Aufnahmefähigkeiten des Gebirges in den Injektionsbohrungen wurde grundsätzlich bei sehr stark wasserführenden Bohrungen ein Unterwasserbeton (Größtkorn 4mm) eingesetzt, welcher mit hohen Drucken (bis zu 100bar, also ca. 50bar größer als der In-situ-Druck) mit einer speziellen Betonpumpe verpresst wurde. Bei jenen Bohrungen mit geringeren Auslaufmengen wurden die bereits zur Gebirgsverbesserung im Abschnitt Trias erprobten Injektionsmaßnahmen mit Zement bis Feinstzement durchgeführt.

Zur Durchörterung der stark wasserführenden Zone im Hochstegenmarmor wurden in Summe 7 Injektionskampagnen durchgeführt. In Abb. 19 sind die Injektionsbohrungen und schematisch deren Zutrittsmengen ersichtlich. Der vorab injizierte Abschnitt wurde dann durch Tunnelabschnitte mit der Länge von 10m bis max 16m mit Abschlagslängen von 1,30m aufgefahren.

Die stark wasserführende Zone konnte aufgrund der Optimierung der Injektionsmaßnahmen erfolgreich durchörtert werden. Die Rest-Zutrittsmengen betragen aus dieser Zone nur einzelne Liter/Sekunde, sind somit vernachlässigbar.

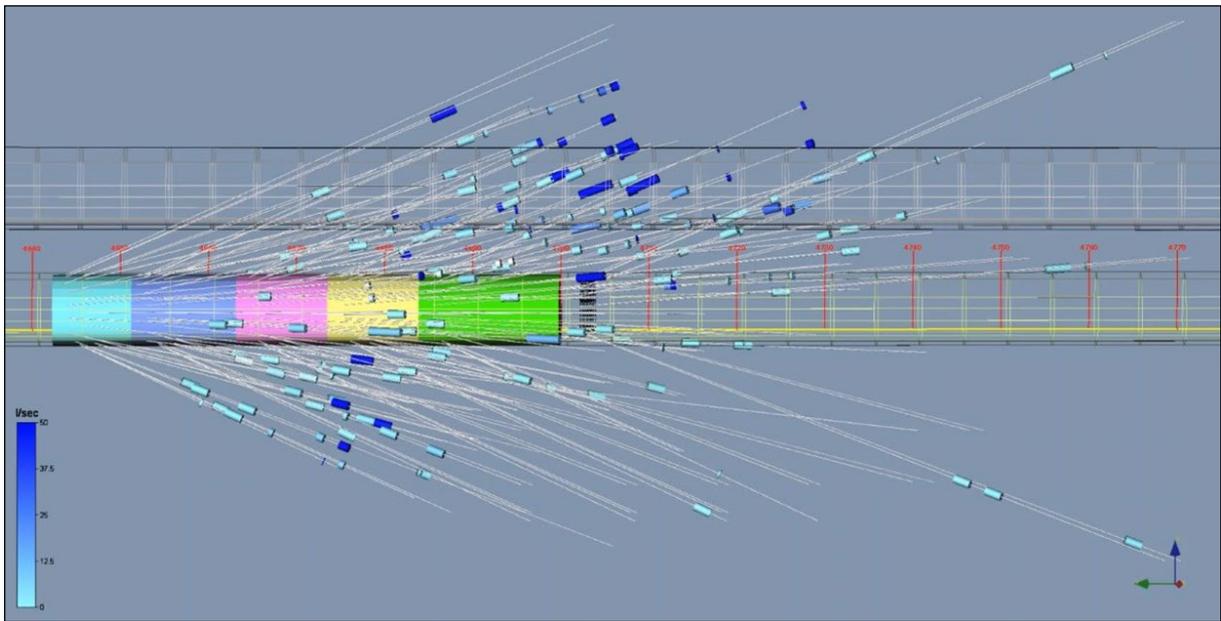


Abb. 19: 3D-Modell der Injektionsbohrungen und Vortriebsabschnitte des Erkundungsstollens durch die stark wasserführende Zone im Hochstegenmarmor. Die dunkelblauen Abschnitte zeigen schematisch die stark wasserführenden Zonen >50l/s, die hellblauen jene von einigen Litern/Sekunde

6. Schlussfolgerungen

Die Hochstegenzone erwies sich mit den beiden geologischen Einheiten der Trias an der Basis der Flatschspitzdecke und dem Hochstegenmarmor als hydrogeologisch herausforderndster Abschnitt des Projektes Brenner Basistunnel. Die Vorauserkundungsmaßnahmen in Form von preventergeschützten Vollbohrungen erwiesen sich als wertvolle Werkzeuge zur Einstufung der Injektionswürdigkeit des Gebirges. Die hydraulischen Gegebenheiten der beiden Zonen sind grundsätzlich verschieden. So dominieren in der Trias an der Basis der Flatschspitzdecke poröse Gesteine mit sehr kleinen Poren (<1mm). Die Injektionsmittel wurden dahingehend angepasst, wobei auch Feiszement zum Einsatz kam.

Herausfordernd zeigte sich die Gebirgsverbesserung in der stark wasserführenden Zone innerhalb des Hochstegenmarmors. Sowohl die Reaktion der dränierend wirkenden Vorausbohrungen, insbesondere der großen Schüttungen, aber auch die Aufnahmefähigkeit des Gebirges für das Injektionsgut zeigen wesentliche Unterschiede zur ersten Zone. Dahingehend mussten sowohl die Erkundungsmaßnahmen als auch die Injektionen diesen Gegebenheiten angepasst werden. Zur Anwendung kamen diesbezüglich großkalibrige Bohrungen (d = 120mm) und der Einsatz von Unterwasserbeton, der in großen Mengen (6 m³ pro Stunde) und unter hohen Drucken (100 bis 120bar) in die cm bis dm weit geöffneten Lösungshohlräumen verpresst werden konnten. Durch die, von allen Projektbeteiligten (Bauherr, Bauunternehmen, Örtliche Bauaufsicht und Behörde) gelebte, ziel- und lösungsorientierte Abwicklung des Projektes war eine erfolgreiche Gebirgsverbesserung und Durchörterung der hydrogeologisch anspruchsvollen Hochstegenzone möglich.

Literaturverzeichnis

Brandner R., Reiter F., Töchterle A. (2008): Überblick zu den Ergebnissen der geologischen Vorerkundung für den Brenner Basistunnel, Geo.Alp, Vol. 5, S. 165–174, 2008

Burger U., Geisler T., Lehner F., Cordes T., Marcher T. (2022): Sectional discharges as geothermal potentials of deep tunnels, Geomechanics and Tunneling 15, No. 1, <https://doi.org/10.1002/geot.202100089>

Hinterwirth S. (2022): 3D-Modellierung der Hochstegen-Formation des westlichen Tauernfensters im Bereich Brennerpass, Tirol-Südtirol; Hochschulschrift zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science (MSc), Institut für Geologie, Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften Universität Innsbruck

„Der Objektschutzwald in Osttirol - hart geprüft durch die Natur“

Strategien und gemeinsame Wege zum Wiederaufbau der Schutzwälder in Osttirol

Erich Gollmitzer

Leiter der Bezirksforstinspektion Osttirol - Dolomitenstraße 3, 9900 Lienz

1. Die ELEMENTAREREIGNISSE im Bezirk LIENZ

2018 - WINDWURF | 2019 SCHNEEBRUCH INGMAR | 2020 SCHNEEBRUCH VIRPY

Schadereignis	Angefallene Menge in m ³	Davon aufgearbeitet
Windwurf VAIA 18	710.000	702.000
Schneebruch INGMAR 19	900.000	760.000
Schneebruch VIRPY 20	800.000	710.000
SUMME	2,410.000 m³	2,172.000 m³

Aufarbeitungsstand 28.07.2023

Tabelle 1: Schadholzmengen nach Schadereignis

Rückblickend betrachtet war das Windwurfereignis 2018 mit flächigem Schadholzanfall (zum Teil schwerste Konzentrationen in einzelnen Gemeinden z. B. Kals) verhältnismäßig klar strukturiert abzuarbeiten.

2. FOLGESCHADEN - BORKENKÄFERSTEHENDBEFALL Osttirol

2021 beginnend bis heute

Die beiden Schneebruchereignisse mit den folgenden „langen Wintern“ und hohen Schneemengen im April 2021 haben aber dazu geführt, dass sich der Borkenkäfer in der bekannten Weise ausbreiten konnte.

Folgende Umstände haben den Borkenkäferstehendbefall in Osttirol massiv begünstigt:

- Schneebruch- und Schneedruckholz vom Talboden bis in die Hochlage – zum Teil in unbringbaren Lagen
- Unzählige abgebrochene Baumwipfel, die am Waldboden liegen, boten eine ideale Grundlage für die Vermehrung. Zudem konnten sich überalterte Fichtenbestände (Villgratental, Defereggental und Tiroler Gailtal) nicht entsprechend gegen den Befall „wehren“ (Einharzen).
- Die bekannte Klima- und Wettersituation (Niederschlagsdefizite, Temperaturhöchstwerte) führte dazu, dass in den Jahren 2021 und 2022 bis zu drei volle Generationen ausgebildet werden konnten.

- Die Schneehöhen im Frühjahr 2021 haben dazu geführt, dass das ausgearbeitete **Forstschutzkonzept 4.0** erst nach Ausaperung und Befahrbarkeit der Forststraßen (zum Teil aufgefäst) umgesetzt werden konnte.

Lage BORKENKÄFERFOLGESCHADEN – Stehendbefall im Bezirk Lienz

JAHR	Menge Schadholz Borkenkäfer
2021	105.000 m ³
2022	1,000.000 m ³
2023	Nicht abschätzbar Massenvermehrung voll im Laufen

Tabelle 2: Schadholzmengen - BORKENKÄFER

Mit Ende Juni sind laut Satellitenbilddauswertung des BFW rund **20% des „Osttiroler Waldes“** betroffen. Dies bedeutet einerseits eine „Überschirmungsverlust“ bzw. stockt auf diesen Flächen „abgestorbener Wald“. Rund **13.500 ha** sind von den Elementarereignissen und den Folgeschäden (Borkenkäfer) betroffen.

	Nichtholz- boden	OSW	SaE	SiE	WW	GESAMT	%
Schadfläche 2018	12	210	12	208	107	549	0,8%
Schadfläche 2019	51	1.263	13	984	361	2.671	3,9%
Schadfläche 2020	49	1.503	16	1.014	547	3.129	4,6%
Schadfläche 2021	55	1.713	53	1.415	581	3.816	5,6%
Schadfläche 2022	59	1.411	14	1.130	487	3.100	4,6%
Schadfläche 2023	2	69	1	66	34	172	0,3%
SUMME	228	6.168	108	4.816	2.117	13.438	
Ohne Schäden	776	19.425	2.542	26.482	5.301	54.527	80,2%
Gesamtergebnis	1.005	25.593	2.651	31.298	7.418	67.964	100,0%
		24%	4%	15%	29%	20%	

Tabelle 3: Waldflächen die von den Schadereignissen in Osttirol betroffen sind

3. Das SCHADEREIGNIS „Sturmschäden im Juli 2023“ in Osttirol

Nachstehende Schadholzmengen sind im Juli im Bezirk Lienz angefallen. Dabei handelt es sich aber mit wenigen Ausnahmen (Sillian und Obertilliach) um absolute Streulagen. Nichtsdestotrotz begünstigen auch diese Schadholzmengen bzw. der Schadholzanfall naturgemäß die weitere Borkenkäferentwicklung in Osttirol.

Gemeinde	Schadholzmenge in m³
Abfaltersbach	100
Ainet	0
Amlach	200
Anras	500
Assling	2.000
Außervillgraten	100
Dölsach	0
Gaimberg	25
Hopfgraten i.D.	250
Innervillgraten	100
Iselsberg-Stronach	0
Kals a.Gr.	100
Kartitsch	500
Lavant	450
Leisach	500
Lienz	500
Matrei i.O.	300
Nikolsdorf	100
Nußdorf-Debant	25
Oberlienz	0
Obertilliach	2.000
Prägraten a.G.	100
St. Jakob i.D.	300
St. Johann i.W.	300
St. Veit i.D.	300
Schlaiten	600
Sillian / Heinfels	5.000
Strassen	200
Thurn	0
Tristach	300
Untertilliach	1.000
Virgen	100
Gesamt	15.950

Tabelle 4: Schadholzmengen Sturmereignisse Juli 2023

4. Umgesetzte MASSNAHMEN zur SCHADHOLZBEWÄLTIGUNG 2018 - 2023

Im Zuge der Schadensbewältigung wurden alle Maßnahmen, die dem Stand der Wissenschaft entsprechen, in Betracht gezogen, bewertet und umgesetzt. Die Umsetzung erfolgte jeweils im Rahmen von ausgearbeiteten SCHADHOLZKONZEPTEN (Forstschutzkonzept 3.0 für das Jahr 2020 | Forstschutzkonzept 4.0 für das Jahr 2021 | Forstschutzkonzept 5.0 für das Jahr 2022 sowie das FORSTSCHUTZKONZEPT BORKENKÄFER für das Jahr 2023).

Die gesamte Maßnahmenplanung (und –finanzierung) erfolgte in enger Abstimmung zwischen BH Lienz | Gruppe Forst | BFW und dem zuständigen Bundesministerium.

MASSNAHME	UMSETZUNG
Schadholzaufarbeitung WINDWURF 2018 – 2023*	702.000 m ³
Schadholzaufarbeitung SCHNEEBRUCH 2019 – 2023*	1,472.000 m ³
Aufarbeitung BORKENKÄFERHOLZ 2021 – 2023*	613.000 m ³
Bereitstellung aktueller Orthophotos durch die Gruppe FORST als weitere Planungsgrundlage	Flächendeckend im Bezirk
Erhebung aller Schadflächen – digital TIRIS	3.500 Einzelflächen bis 2022
Einzelarbeitsgespräche mit allen betroffenen WaldbesitzerInnen in allen Gemeinden Osttirols	33 Gemeinden rd. 700 Absprachen
Laufender Informationsaustausch mit der lokalen Sägeindustrie sowie den Forstunternehmen	Regelmäßige Arbeitsgespräche – Federführung BFI
Errichtung von Nasslagern	3 Nasslager im Bezirk
Errichtung von Trockenlagern	87 Trockenlager im Bezirk
System TRINET – Bekämpfung 2022	4.100 ausgebrachte Systeme
Anlage von FANGVORLAGEN 2022	300 Fangvorlagen im Bezirk
Einrichtung von Monitoringfallen BORKENKÄFER	130 Fallen im Bezirk
Hubschraubereinsatz Frischbefall 2022	3.500 m ³ im Defereggental 3 Gemeinden
Errichtung von Forststraßen-SCHADHOLZ	143 Projekte
Einsatz FRÜHERKENNUNG BORKENKÄFER Unterstützung GWA/BFI	110 Kolleg:innen aus Nordtirol rd. 7.000 Arbeitsstunden
Satellitenbefliegung PROJEKT BFW	Flächendeckende Bereitstellung der Schadflächen im Bezirk Juni 2023

*Mengendaten laut Verbuchung Walddatenbank Stand: 28.07.2023

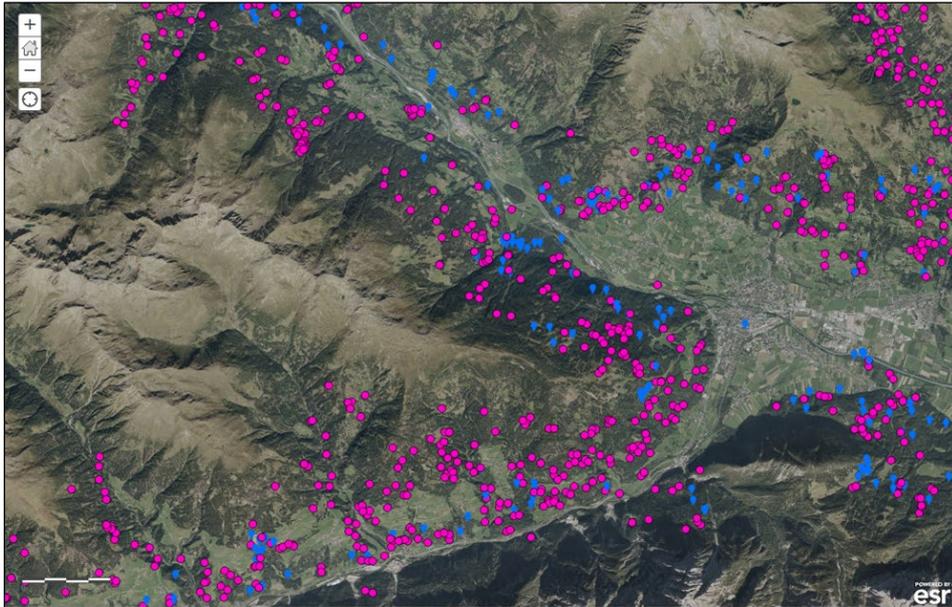


Abbildung 1: Kartierung der Befallsherde Borkenkäfer (blau 2021 – rot 2022)



**Abbildung 2: Satellitenbildauswertung BFW
(grün=Windwurf, blau = Schneedruck; rot Borkenkäfer)**

5. ERFAHRUNGEN und HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN abgeleitet aus den letzten 5 Jahren

- Schnellstmögliche Erfassung und Erhebung der Schadflächen (Sichtbarmachung der Lage) – digitale Darstellung (TIRIS)! Eine gemeinsame Weiterbearbeitung bzw. Auswertung durch Gemeindewaldaufseher – Landesforstdienst wird so ermöglicht!
- Einrichtung von Monitoringfallen zur Beobachtung der lokalen Borkenkäferentwicklung (mind. 2 bis 5 Fallenstandorte je Gemeinde). Die wöchentliche Entleerung und digitale Erfassung der „gefangenen Borkenkäfermenge“ muss für die weitere Auswertung (PHENIPS) sichergestellt sein.
- Arbeitsbesprechungen mit allen Betroffenen auf „Gemeindeebene“ (BGM; Waldeigentümer:innen, Straßenverwaltungen, Gebietsbauleitungen etc.) mit dem örtlichen Forstdienst und BFI! Festlegung von zielgerichteten Vorgangsweisen mit Zeit- und Kostenplanung. **Infoveranstaltungen** für alle Bürgermeister:innen auf Planungsverbandsebene.
- Reduktion bzw. Einstellung der „Normalnutzungen“ – Umleitung der Arbeitssysteme in SCHADHOLZNUTZUNGEN!
- Zeitnahe Besprechungen mit der Sägeindustrie und den Forstunternehmen sind bereichsweise durchführen!
- **PRIORISIERUNG** und daran anschließend **KOORDINATION** der Aufarbeitungsreihenfolge (Vermeidung von Blockaden auf Forststraßen durch mehrere Aufarbeitungssysteme – ÜBERLASTUNG)! **Objektschutzwälder** gehen vor (*siehe Forstschutzkonzept BORKENKÄFER 2023 Bezirk Lienz*).
- Intensive Zusammenarbeit mit der Bezirksverwaltungsbehörde betreffend Errichtung und Ausbau von Forststraßen, allfällige Einräumung von befristeten Bringungsrechten etc.
- Ermächtigung der GEMEINDEWALDAUFSEHER im Rahmen der Koordination Anordnungen zu treffen (Beispiel Osttirol – Forstschutzverordnung BH Lienz)!
- Bescheide zur Schadholtzaufarbeitung gem. Forstgesetz entfalten eine sehr eingegrenzte Wirkung.
- Unverzögliche Einrichtung von „Trockenlagern“ in den betroffenen Gemeinden und idealerweise „Nasslagern“. So wird die „Schadholtzabfuhr aus dem Wald“ trotz Lagerengpässen in den Sägewerken überhaupt erst ermöglicht. Ebenso kann auf diesen Lagerplätzen Nutzholz von Energieholz wirksam „getrennt“ und in weiterer Folge vermarktet werden.
- Nutzung von bestehenden „lokalen“ Ressourcen und eingespielten Abläufen (z. B. besonders gute Erfahrungen mit gewissen Unternehmen) nutzen und ausbauen!
- Nur Seriöse Unternehmen und Partner beauftragen! Empfehlung an die Waldeigentümer:innen – schriftliche Vereinbarungen und Verträge abzuschließen.
- Installation von notwendigen APPS bei den Gemeindewaldaufsehern. Z. B: SOS-App, APP zur Auffindung von Grenzverläufen im Wald mit GPS und den dazugehörigen Eigentümer:inneninformationen!
- Wirkungsvolle **ABGELTUNG der ELEMENTARSCHÄDEN** mit leicht verständlichen und erhebaren Kriterien (einfache Gestaltung in Kooperation mit Gruppe FORST und Gruppe AGRAR – siehe Elementarschadensabgeltung VAIA – Osttirol)!

- Einrichtung bzw. Ausbau von Förderprogrammen zur wirkungsvollen Wiederherstellung der (OBJEKT-) SCHUTZFUNKTION.
- Bereits im Zuge der Schadholznutzung die **WIEDERBEWALDUNG** mitdenken und mitplanen. Auch hier gilt die Prämisse OBJEKTSCHUTZWÄLDER gehen vor. Die Wiederbewaldung erfolgt idealerweise ab 2024 (erforderlichenfalls auch parallel zur Schadholzaufarbeitung).

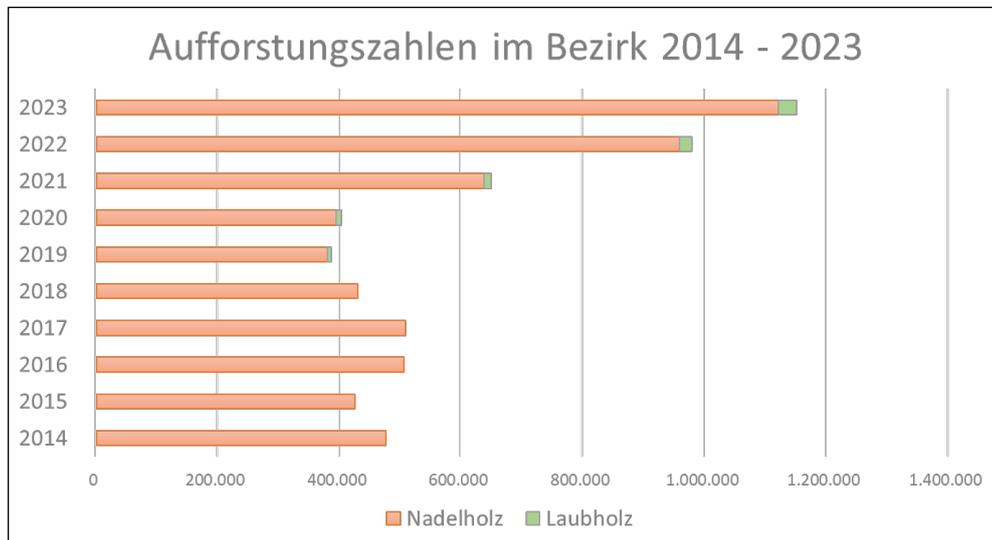


Abbildung 3: Wiederbewaldung im Bezirk Lienz 2014 - 2023

6. Zur erwartende SPANNUNGSFELDER

- ❖ Hauptproblem – mangelnde **RUNDHOLZABTRANSPORTKAPAZITÄTEN** trotz erhöhter Tonnagebeschränkungen! Sägewerke sind Wirtschaftsbetriebe und arbeiten gewinnmaximierend.
- ❖ Nahezu vollständige Abhängigkeit von der Sägeindustrie bzw. der Absatzlage (siehe derzeitige Situation)!
- ❖ Massiver Preisverfall über alle Sortimente auf der Erlösseite – eine kostendeckende Aufarbeitung ist bereichsweise (schwierige Bringungslagen – hohe Holzentwertung) nicht mehr möglich!
- ❖ Parallel dazu steigen die Erntekosten sprunghaft an (bis zu + 30%). Mit dem Schadereignis kommen auch unseriöse bzw. unverlässliche Unternehmer in den Bezirk.
- ❖ Problem der Aufarbeitung von Schadflächen in Extremlagen. Dabei ist sehr oft OBJEKTSCHUTZWALD betroffen. Hohe Kosten in prioritären Objektschutzwaldlagen wären per Einzelentscheid-Förderung abzufedern.
- ❖ Waldeigentümer:innen sind gänzlich überfordert und entkoppeln sich teilweise gänzlich. Gleichzeitig wird aber ein Höchstmaß an Betreuung und Unterstützung (fachlich und auf persönlicher Ebene) eingefordert.
- ❖ Die Gemeindewaldaufseher:innen sind beispielsweise in der Überwachung der abgelieferten Holzmengen zum Teil überfordert. Holzflüsse sind bereichsweise nicht mehr nachvollziehbar. In

diesem Zusammenhang ist einerseits personelle Unterstützung sowie die Etablierung des „digitalen Lieferscheines“ von besonderer Bedeutung.

- ❖ Die Gemeindeforstwirtschaftler:innen sind der zentrale Dreh- und Angelpunkt in der Schadholzaufarbeitung. In besonders betroffenen Gemeinden ist dafür Sorge zu tragen, dass entsprechende Unterstützung bereitgestellt wird.
- ❖ Durch das verstärkte Auftreten von Hangrutschungen ist eine enge Abstimmung mit der (Landes-) Geologie unverzichtbar. Die vorhandene Expertise muss unter allen Umständen genutzt werden. Dadurch können sowohl Einsatzzeiten als auch Kosten minimiert bzw. vermieden werden.

ZUSAMMENFASSUNG:

Im Bezirk Lienz hat das statistisch nahezu unwahrscheinliche Aufeinandertreffen von drei Elementarereignissen dazu geführt, dass sich ein massiver Borkenkäferstehendbefall auf den gesamten Bezirk ausbreiten konnte.

Aus heutiger Sicht wäre durch den alleinigen Sturmschaden VAIA 2018 kein flächenhafter Borkenkäferbefall zustande gekommen. Die Windwurfflächen waren klar abgrenzbar und wurden schematisch, einer Prioritätenreihung folgend, binnen Jahresfrist aufgearbeitet.

Dieser Logik und den Erfahrungen des Bezirkes Lienz folgend, können die Sturmschäden in Nordtirol vom Juli 2023 in der Weise begrenzt werden, als eine schnellstmögliche Aufarbeitung nach klaren Grundsätzen und Priorisierungen, weitere Folgeschäden minimiert.

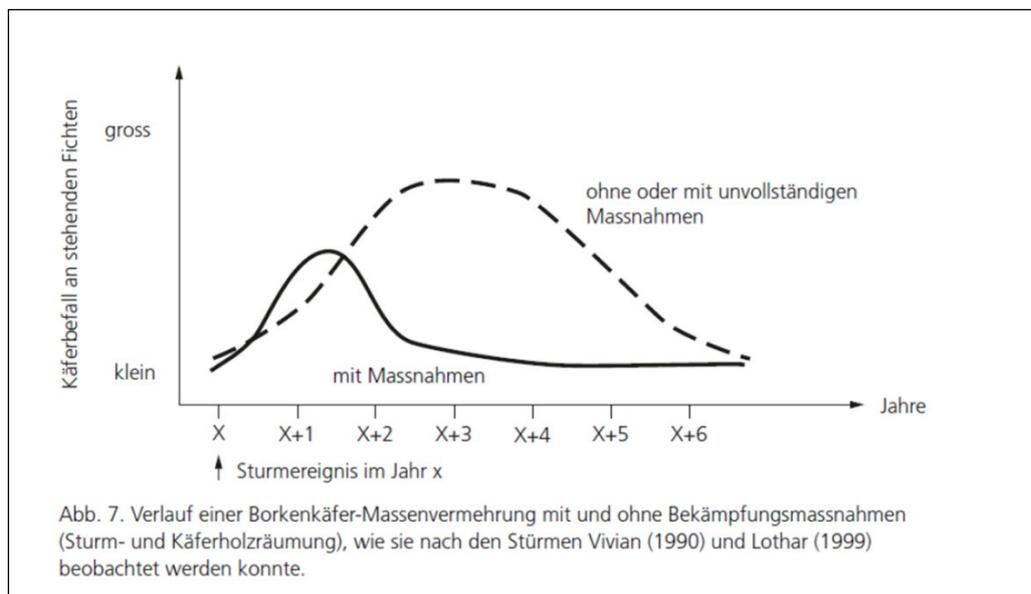


Abbildung 4: Verlauf einer Borkenkäfer-Massenvermehrung

Die Zusammenarbeit von allen Betroffenen und „Unterstützern“ ist ein entscheidender Erfolgsfaktor. Gute Kommunikation und klare Strukturen generieren für alle ein Höchstmaß an gegenseitigem Vertrauen und Effektivität.

Erkenntnisse aus einem 20-jährigen Monitoring der Kalk-Mergel- Wechselfolge am Hornbergl in Tirol, TU München

Regina Ettenhuber¹, Michael Moser², Michael Krautblatter³, Lukas Paysen-Petersen³

¹Südbayerisches Portland-Zementwerk Gebr. Wiesböck & Co. GmbH, ²GeoZentrum Nordbayern, ³Technische Universität München

Felsgleitungen in Kalk-Mergel-Wechselfolgen gehören zu den häufigsten Felsgleitungstypen in den Alpen. Deren Erforschung hat insbesondere im stark besiedelten, infrastrukturell genutzten Alpenraum eine hohe Bedeutung, da sie vor allem in den Nördlichen Kalkalpen, der Flysch-Zone und im Helvetikum vorkommen. Die Felsgleitung von Vajont (1963), welche 2.000 Menschenleben forderte, zeigte welche katastrophalen Auswirkungen großdimensionierte Felsgleitungen (200 Mio. m³) in diesen Gesteinen erreichen können (Petley & Petley 2006, u.v.m).

Am Hornbergl bei Reutte in Tirol besteht die Chance eine aktive Felsgleitung mit rund 10 Mio. m³ in vergleichbaren Kalk-Mergel-Wechselfolgen zu beobachten und systematisch zu untersuchen. In 20 Jahren wurden 3.300 Präzisionsmaßbandmessungen erstellt sowie geologische, geodätische, geophysikalische, fels- und bodenmechanische Forschungen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, wie Schneeschmelze und extreme Niederschläge die Deformation der Felsgleitung in monatlichen Skalen kontrollieren. Kompressive und dekompressive Bewegungswellen der Felsgleitungseinheiten haben jedoch in mehrjährigen Skalen eine übergeordnete Kontrolle bei der progressiven Destabilisierung der Felsgleitung und nehmen damit eine Schlüsselfunktion ein. Die Kenntnisse zur Entwicklung der Felsgleitung verbessern die Interpretation von Bewegungsmessungen und unterstützen die Vorhersage des Versagenszeitpunkts.

Projektgebiet

Der Hornbergl liegt 80 km NE von Innsbruck in den Nördlichen Kalkalpen bei Reutte in Tirol. Dort liegt die mittlere jährliche Niederschlagsmenge bei 1438 mm und die mittlere Mächtigkeit der Schneedecke beträgt 3,78 m. Das Felsgleitungsgebiet liegt etwa 50 bis 100 m oberhalb der Überschiebungszone der Lechtal- auf die Allgäu-Decke. Am Hornbergl dominieren die Kalk-Mergel-Wechselfolgen der Reiflinger Formation, überwiegend aus 20 bis 30 cm mächtigen Kalksteinbänken mit wenigen Zentimeter dicken Mergelzwischenlagen aufgebaut sind. Die Felsgleitung am Hornbergl ist Teil einer Bergzerreißung mit Blockbewegungen (Moser et al. 2009). Die ersten Spalten öffneten sich 1976 möglicherweise in Folge des Friaul-Erdbebens ($M_L=6,5$; 250 km Distanz zum Epizentrum) und Füssen-Erdbebens ($M_L=4,2$; 5 km Distanz zum Epizentrum). 1976 wurde bereits bei einer 100.000 m³ Gestein umfassenden Felsgleitung eine 30-40° geneigte, getreppte Scherfläche freigelegt (Abb.1). Die geodätischen Untersuchungen ergeben absolute Verschiebungsraten von 0,2-14,5 mm/Monat zwischen den differenzierbaren Bewegungseinheiten (Homogenbereiche) der Felsgleitung (Abb.2). Diese sind häufig durch mehr als 20 m tiefe und meterweit geöffnete Spalten voneinander getrennt. Geoelektrische Untersuchungen in der Blockschutthalde unterhalb des Gipfels zeigen eine Durchmischung mit Partnachmergeln, die den Kalksteinen der Reiflinger Formation aufliegen (Ettenhuber et al. 2022, Moser et al. 2009).



Abb.1: Ostansicht des Hornbergl vom Standpunkt Reutte in Tirol. Vorgelagert das Murenbachtal mit Schutthalden. Im linken Bildrand ist der Felsgleitungsbereich von 1976 zu sehen.

Das vorherrschende Kluftsystem ist orthogonal nach NNW-SSE und WSW-ENE angelegt. Die Hauptbewegungsrichtung folgt dem Schichteinfallen von 30-40° Richtung 121-204° (Albrecht 1999; Moser et al. 2009). Die Felsgleitung am Hornbergl wird von Steinschlägen, Felsstürzen und Murgängen, insbesondere nach intensiven Niederschlagsphasen begleitet. Die kalkdominierten tieferen Formationen entwässern in den südlich gelegenen Herrenbach (Moser et al. 2009).

Gesteinsbeschreibung und geotechnische Eigenschaften

Die typischen, knolligen Kalksteine der Reiflinger Formation mit 0,5 – 3 cm mächtigen, dunkelbraungrauen, kalkigen Ton- und Siltlagen mit einer Festigkeit von ca. 1 – 5 MPa kommen am Hornbergl besonders in den mittleren Höhenlagen vor (Abb. 2). Die wechsellagernden Gesteine zerbrechen und verwittern besonders leicht an den Mergellagen und durchmengen mit 2 – 6 cm großen Kalksteinknollen. Dünnebankte (1 - 2,5 cm) bis mittelgebankte (20 cm) Kalksteine in rhythmischer Wechsellagerung mit 0,5 – 1,5 cm mächtigen, grün-grauen texturfreien Mergellagen bauen den Gipfel des Hornbergl auf. Sie zerbrechen in 3 – 5 cm breite, dünne Klasten. In Störungen ist deren Gefüge aufgearbeitet und das Gestein zu sandig, tonigem Silt mit blättrigen Kalksteinrelikten zermahlen. Südwestlich der KVM 10 (Abb. 2, Zone 2b) liegen keine mergeligen Zwischenlagen vor, sie kommen erst in den tieferen Lagen bei KVM 21 und 16 wieder vor. Die Mergel sind nicht quellfähig (Ettenhuber et al. 2022).

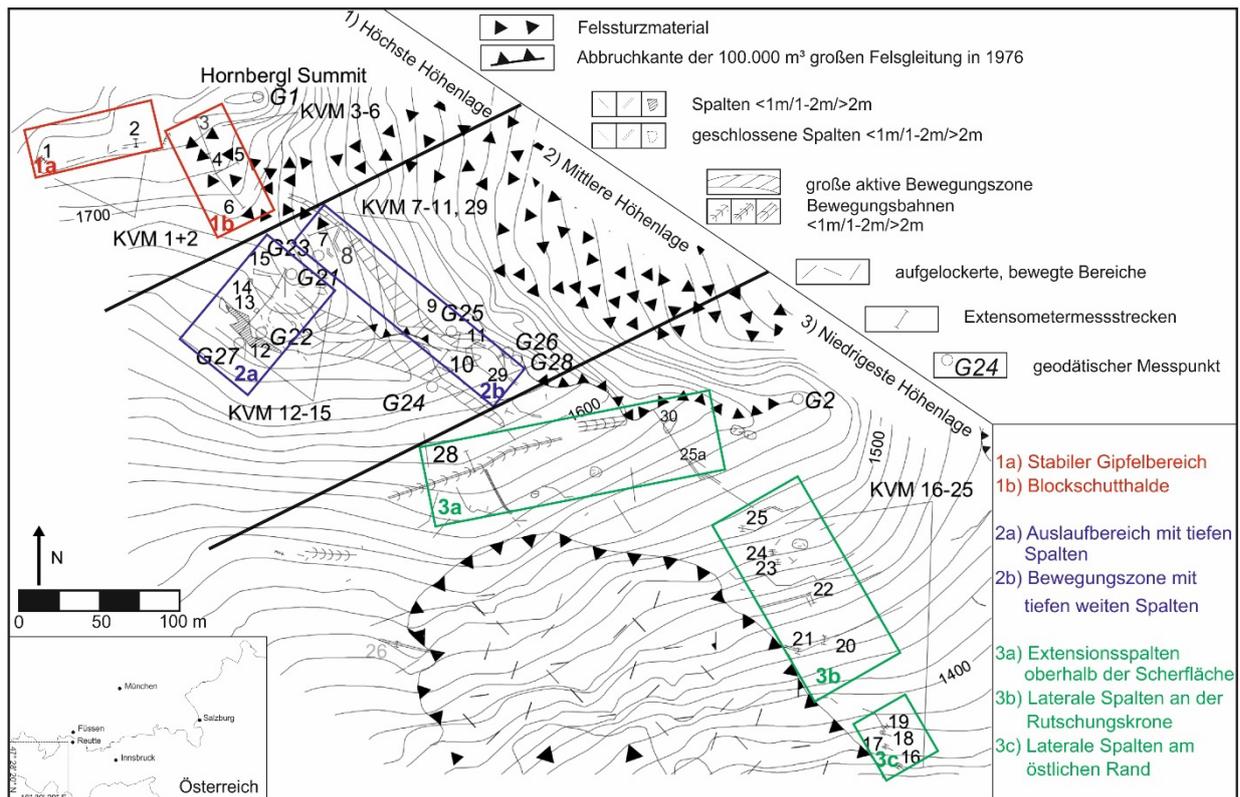


Abb.2: Karte mit Homogenbereichen innerhalb der Felsgleitung am Hornbergl. Geotechnisch konnten die Einheiten 1a-3c unterschieden werden (Ettenhuber et al. 2022; mod. nach Moser et al. 2009). Die Abkürzung KVM bedeutet „Konvergenzmaßband“.

Der durchschnittliche Reibungswinkel der weichen Mergelzwischenlagen beträgt 30° . Bodenmechanische Laborversuche zeigen, dass bei voller Aufsättigung der Mergel die Kohäsion von 65 auf 21 kPa im Vergleich zum ungesättigten Zustand mit ca. 50 % Sättigung der Wasseraufnahmekapazität absinkt (Ettenhuber et al. 2022). Die einaxiale Druckfestigkeit der Kalksteine beträgt 97 bis 197 MPa. Der Basisreibungswinkel liegt bei $36 - 43^\circ$ (Ettenhuber 2015, Meier et al. 2005).

Im Zuge der Untersuchungen wurde ein diskontinuummmechanisches Modell auf Basis geophysikalischer Erkundungen und mechanischer Laborversuche erzeugt. Es zeigt sich, dass die komplexe Felsgleitung bei einer Aufsättigung der Mergel von ca. 50 % die Stabilitätsgrenze erreicht und dass Dehnungsraten beim Aufsättigen durch Kohäsionsverlust stark ansteigen, welche mit den erfassten kinematischen Aufzeichnungen übereinstimmen. Bei Fels-Fels-Kontakten wird die Stabilitätsgrenze nicht überschritten (Ettenhuber et al. 2022).

Kinematische Messungen

Um das kinematische Verhalten am Hornbergl zu erfassen, wurden an 30 Spalten durch Herrn Prof. Michael Moser seit 1996 Extensometermessstrecken installiert und in Zusammenarbeit mit Absolventen und Doktoranden der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der Technischen Universität München 3 bis 4-mal jährlich vermessen. Dazu wurde eine analoges Präzisionsmaßband mit einer Genauigkeit von $\pm 0,05$ mm verwendet (Soil Precision, UK). Ein Einzelmesswert wurde jeweils 3-mal erhoben und

temperaturkorrigiert. Die monatliche Bewegungsgeschwindigkeit einer Messstrecke wird normalisiert angegeben.

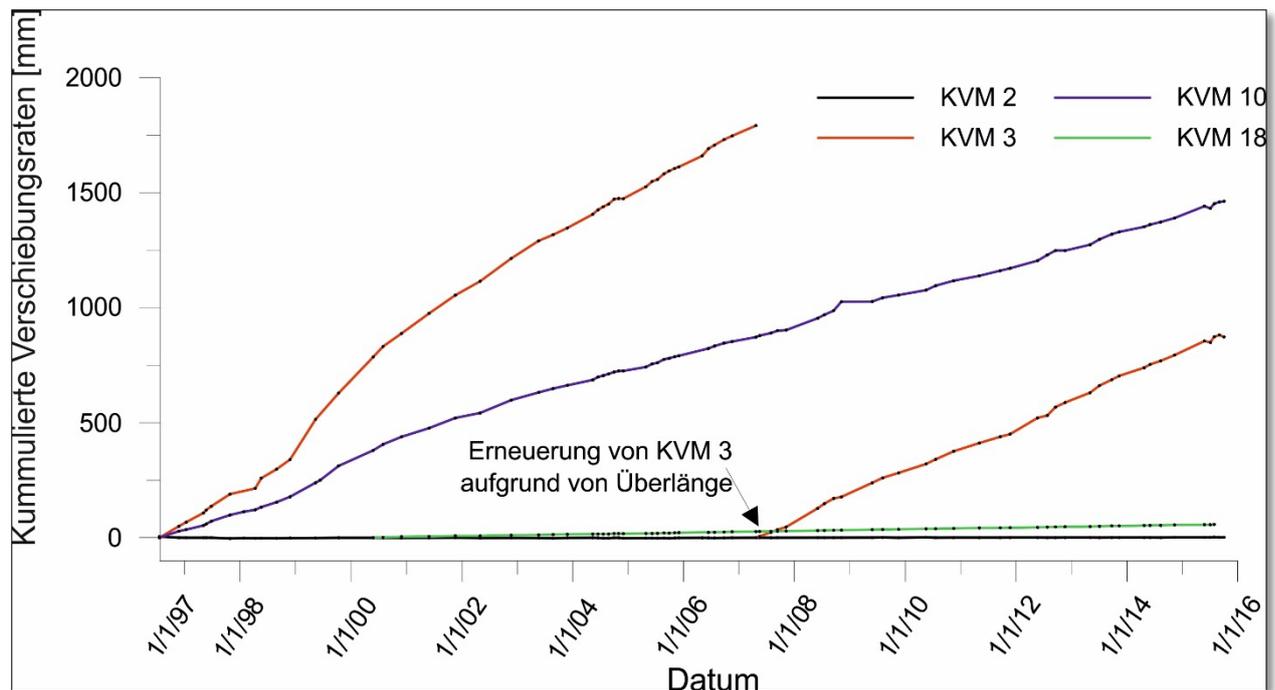


Abb. 3: Ausgewählte Messpositionen mit maximalen Öffnungsweiten: KVM 3 mit einer Gesamtöffnungsweite von 2,5 m in Partnachmergeln; KVM 10 innerhalb der Reiflinger Formation öffnete sich gesamt um 1,3 m; minimale Öffnungsweiten: KVM 18 erreicht 59 mm; KVM 2 öffnete sich nur um 2 mm.

In Abb. 3 sind maximalen und minimalen Öffnungsweiten markanter Spalten am Hornbergl dargestellt. Die Bewegungsraten am Hornbergl betragen im Schnitt etwa 2 cm/Jahr. Im Bereich der Blockschutthalde, welche den Gesteinen der Reiflinger Formation aufliegt und nur durch die Kohäsion der Partnachmergel kontrolliert ist, werden entlang von KVM 3 (Abb. 2) durchschnittlich 14,52 mm/Monat erreicht. Die Gesamtausdehnung beträgt 2,5 m. Darüber hinaus erreicht KVM 10, im Bereich 2b in der „Bewegungszone mit tiefen weiten Spalten“ in der Reiflinger Formation die höchsten Gesamtöffnungsweite von 1,3 m in den letzten 20 Jahren mit Bewegungsraten von 7 mm/Monat. KVM 18 im Bereich 3c, den „lateralen Spalten entlang des östlichen Randes“ der Felsgleitung von 1976 liegt die Gesamtöffnungsweite bei 5,9 cm, wobei die Bewegungsraten zwischen 0,2 und 33 mm/Monat liegen. Die Spalten am Gipfel des Hornbergl in Zone 1a öffnen sich nur um 2 mm und die Bewegungsraten liegen bei maximal 0,21 mm/Monat (Ettenhuber et al. 2022).

Erhebung und Auswertung der Infiltrationsraten

Mit Hilfe eines schneereferenzierten, temperaturkorrigierten Infiltrationsmodells auf Basis von Forschungen in einem ähnlichen alpinen Gelände von Herrmann (1978), wurde die tägliche Infiltrationsmenge aus Niederschlag und Schneeschmelze im Projektgebiet ermittelt. Die Temperatur- und Niederschlagsdaten der Wetterstation am Hahnenkamm (1670 m ü. A) und in Höfen (870 m ü. A) wurden durch den Hydrographischen Dienst Tirol zur Verfügung gestellt. Im Auswertungszeitraum (1996 – 2016) wurden im Winter 1999 die höchsten ermittelten Infiltrationsmengen von 548 mm in 30 Tagen und 261 mm in 7 Tagen erreicht. Dabei

wurde die Infiltrationsmenge durch eine kurzzeitige, starke Schneeschmelze der 5,2 m hohen Schneedecke gespeist. Zusätzlich kam es im April 1999, kurz vor dem Messtag täglich zu Niederschlägen mit 20-78 mm. Weitere Regenfälle mit bis zu 180 mm am 21.5.99 führten bis Juni zu einer noch höheren Gesamteinfiltrationsmenge von 796 mm in 30 Tagen. Auch in den kommenden eineinhalb Jahren bis November 2000 waren sehr niederschlagsreiche Monate zu verzeichnen. Im Allgemeinen wurden die höchsten Infiltrationsraten in den 20 Jahren zwischen 1996 und 2016 in den Frühjahrsmonaten durch Schneeschmelze erreicht. Kurze Wärmeeinbrüche wie im Januar 2001 oder April 2013 verursachen kurzfristig in 7-tägigen Auswertungszeiträumen erhöhte Infiltrationswerte von rund 200 mm. Kurze Starkregenereignisse führen 2005 und 2013 in den Monaten Juli bis August und Mai bis August zu erhöhten Infiltrationswerten im 7 und 14- tägigen Betrachtungszeitraum mit 200 bis 260 mm.

Gegenüberstellung der Bewegungsraten und Infiltrationsraten

Der Vergleich der normalisierten Bewegungsraten und der Infiltrationszeiträume zeigte, dass sich die Bewegungsraten in den kalkreichen Zonen 1a und 3 a, b, c unabhängig von den Infiltrationsraten verhalten (Bestimmtheitsmaß 1-7 %, negativer Gradient). Ein Anstieg der Bewegungsraten und damit eine Reaktion auf Niederschläge liegt in den mergeldominierten Zonen 2a, 2b bei 30-tägiger Infiltration vor (20 – 50 %). In Abb.4 wird die durchschnittliche normalisierte Bewegungsrate der 30 Messstrecken am Messtag den maximalen Infiltrationsmengen in 30 Tagen zwischen den Messzeitpunkten gegenübergestellt.

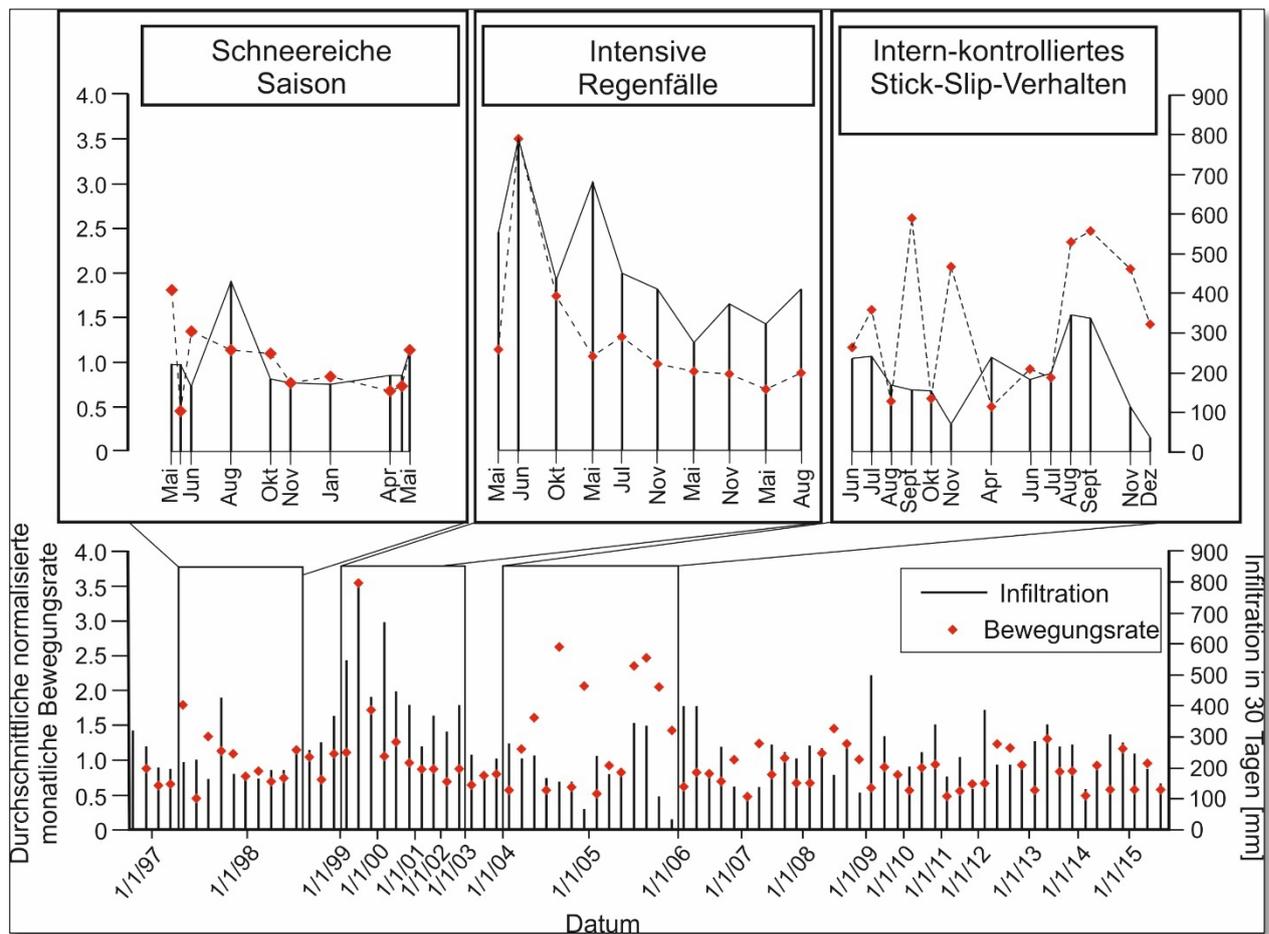


Abb. 4: *Normalisierte Bewegungsraten vs. Infiltration in einem 30-tägigem Betrachtungszeitraum. Typische Bewegungsmuster stimmen mit Schneeschmelze und Niederschlag überein oder weisen ein ruckartiges Stick-Slip-Verhalten auf, dass durch interne Destabilisierungsvorgänge kontrolliert wird.*

Die maximale Infiltrationsmenge im Jahr 1999 führten zur einer nahezu vollständigen Aufsättigung der Felsgleitung am Hornbergl, wodurch bis zu 3,5-fach erhöhte Bewegungsraten am gesamten Hang ermittelt wurden. Die Entwässerung und Rückkehr zu durchschnittlichen Bewegungsraten dauerte etwa 4 Jahre (Abb. 4). In diesem Zeitraum reagierte die Felsgleitung bereits auf kurzfristig erhöhte Infiltrationsmengen mit erhöhten Bewegungsraten, insbesondere als es zu Starkregenereignissen im Spätsommer 2001 und 2002 kam. Zum Vergleich kam es im Winter 1997 und 1998 zu einer gemäßigten Infiltration durch Schneeschmelze und Niederschläge, wobei keine einheitliche Erhöhung der Bewegungsraten mit Anstieg der Infiltrationsraten zu beobachten ist. In diesen Jahren kam es nur lokal in den mergeldominierten Zonen zu erhöhten Bewegungsraten aufgrund von Niederschlägen. Besonders hervorzuheben ist das Jahr 2004, indem sich die Bewegungsraten völlig unabhängig von den Infiltrationsraten verhalten. Wir nehmen an, dass es durch interne Bruchvorgänge zur Destabilisierung bei der progressiven Entwicklung der Scherfläche kam, die sich durch ruckartige, plötzlich erhöhte Bewegungsraten abzeichnet. Dabei nimmt die Amplitude der maximalen und minimalen Bewegungsraten zwischen 2004 und 2009 langsam ab. Im Jahr 2004 weiten und verringern sich die Spaltenweiten ungefähr in gleichem Maß. 2005 fand vor allem am Hangfuß eine Spaltenöffnung statt der 2006 eine Aktivierung der Spalten in höheren Hanglagen folgte. Instabilitäten mit erhöhten Bewegungsraten folgten am gesamten Hang im Jahr 2008, die sich 2009 wieder auf einem durchschnittlichen Niveau befanden (Ettenhuber et al. 2022).

Ableitung eines Hangbewegungsmodells anhand der Bewegungsmuster und Infiltrationsraten

Die Felsgleitung am Hornbergl befindet sich in der Vorbereitungsphase, wobei sich durch die zunehmende Gesteinsaufarbeitung Scherzonen bilden und Schollen der Felsgleitung gegeneinander bewegen. Mit Hilfe der langjährigen Extensometermessungen konnte ein differenziertes Bild der Felsgleitung erarbeitet werden, wobei mergeldominierte und wassersensitive Bereiche im dichten Messnetz erkannt werden konnten. An diesem Hang dauert es ca. 30 Tage, bis Niederschläge und Schmelzwasser zur Aufsättigung der Mergel führen und die Kohäsion um das 3-fache herabsetzen (Ettenhuber et al. 2022).

Bei der Entwicklung von Scherflächen müssen die stabilisierenden Felsbrücken gebrochen und aufgearbeitet werden. Dabei können in den mergeligen Zwischenlagen Risse leichter entstehen als in den Kalklagen. Kalkige Felsbrücken aus intakten Felsen, Fels-Fels-Kontakte mit rauen Oberflächen und Kalkklasten stellen ein Widerlager dar, das die Rissbildung verzögert. Der kontinuierliche Wechsel zwischen Beschleunigung und Verlangsamung, weist auf die Aufarbeitung von Kalkstein und mergeligen Zwischenlagen hin. Dabei ist die Reaktionsdauer einer Bewegungseinheit auf externe Faktoren, wie Schneeschmelze und Niederschläge abhängig vom Mergelanteil in der Scherzone. Die Felsgleitung am Hornbergl zeigt sowohl saisonale als auch mehrjährige Bewegungsmuster. Die durchschnittliche normalisierte jährliche Bewegungsrate kann dabei als Anzeiger des Stabilitätszustands verwendet werden (Crosta & Agliardi 2002; Crosta et al. 2013). Eine Aussage, ob es sich am Ende um duktilen oder spröden und plötzliches Versagen der gesamten Felsgleitung handelt, ist derzeit noch nicht abschätzbar. Die kompressiven und dekompressiven Bewegungswellen der Felsgleitungseinheiten, die besonders 2004 bis

2008 auftraten, zeigen eine Spannungsumverteilung am Hang. Sie haben langfristig eine übergeordnete Kontrolle bei der progressiven Destabilisierung der Felsgleitung und deren Häufigkeit sollte berücksichtigt werden, da hierbei vermutlich wichtige stabilisierende Felsbrücken brechen. Sobald die letzten stabilisierenden Felsbrücken brechen, werden voraussichtlich überall Spaltenöffnungen mit erhöhten Bewegungsraten zu beobachten sein.

Literatur:

- Albrecht, T. (1999): Die geologisch-geotechnischen Verhältnisse im Einzugsgebiet des Herrenbachs – Reutte/Tirol. – 135 S., unveröff. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg.
- Crosta, G. & Agliardi, F. (2002): How to obtain alert velocity threshold for large rockslides. – *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*, 27 (36): 1557-1565.
- Crosta, G., Imposimato, S. & Roddeman, D. (2013): Monitoring and modelling of rock slides and rock avalanches. – *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 6: 3-14.
- Ettenhuber, R. (2015): Die Rolle der Ermüdung von Felsbrücken und der feinmaterialgestützten Schmierung bei der Initiierung von Karbonat-Felsgleitungen. – 175 S., unveröff. Masterarbeit, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie, Technische Universität München, München.
- Ettenhuber, R., Moser, M., Krautblatter, M. & Paysen-Petersen, L. (2022): Structurally and climatically-controlled progressive destabilisation of a multi-unit carbonate rockslide with marly interlayers over two decades (Hornbergl, Tyrol/Austria). – *Z. Dt. Ges. Geowiss.*, 173, 2: 311-331.
- Herrmann, A. (1978): Schneehydrologische Untersuchungen in einem randalpinen Niederschlagsgebiet (Lainbachtal bei Bendiktbeuern/Oberbayern). – In: GIERLOFF-EMDEN, H. & WILHELM, F. (Hrsg.): *Münchner Geographische Abhandlungen*, 135 S., 22, München.
- Meier, J., Spickermann, A., Rütz, D., Moser, M. & Schanz, T. (2005): Geotechnisch-numerische Modellierung der Massenbewegung am „Faulen Schrofen“ bei Reutte/Tirol. – *Proceedings of 15th Conference on Engineering Geology*, April 6-9, Erlangen: 73-78.
- Moser, M., Wunderlich, T. & Meier, H. (2009): Kinematische Analyse der Bergzerreißung Hornbergl – Reutte (Tirol). – *Jahrbuch der geologischen Bundesanstalt*, 149: 177-193, Wien.
- Petley, D. N. & Petley D. J. (2006): On the initiation of large rockslides: Perspectives from a new analysis of the Vajont movement record. – In: EVANS, S., SCARASCIA MUGNOZZA, G., STROM, A. & HERMANN, R. (eds.): *Landslides from Massive Rock Slope failure*, 77-84, NATO Science Series IV, Vol. 49, Berlin (Springer).

Blocksturz Steyr/Christkindl, ein Ereignis mit tödlichen Folgen

Günter Moser

MJP Ziviltechnier GmbH, Gmunden

1. Das Ereignis

In den Morgenstunden des 8. Februar 2023 stürzten im durch seine Kirche bekannten Ortsteil Christkindl-Unterkirch der Stadt Steyr etwa 3.000 m³ Konglomeratfelsen 50 m talwärts und es kamen zwei Baggerfahrer, welche gerade mit Abtragsarbeiten an der Felswand beschäftigt waren, ums Leben. Mehrere talwärts gelegene Objekte wurden dabei in Mitleidenschaft gezogen, deren Bewohner blieben jedoch unverletzt. Aber wollen wir am Anfang beginnen:

2. Die Ausgangslage

Im November 2020 wurde seitens der Wildbach- und Lawinenverbauung Sektion OÖ, GBL OÖ Ost eine Begehung mit dem Verfasser des gegenständlichen Artikels veranlasst, um das Gefahrenpotential einer Konglomeratwand hinsichtlich Böschungsversagen bzw. Felssturzgefahr im oben beschriebenen Ortsteil von Steyr zu ermitteln. Im Zuge dieser Begehung wurde festgestellt, dass die zu beurteilende Böschung einen durch die postglaziale Eintiefung der Steyr entstandenen Anschnitt der Jüngerer Deckenschotter darstellt, welche an der Böschungsoberkante eine Terrassenfläche auf einer Meereshöhe von etwa 350 m bilden, während die Talfüllung am Böschungsfuß auf etwa 300 m ü.A. zu liegen kommt. Während etwa 2/3 bis 3/4 des Hanges vom Böschungsfuß aufwärts einen Böschungswinkel von etwa 35-40° aufweisen, wird der obere Abschnitt des Hanges von senkrechten, zum Teil überhängenden Konglomeratfelsen aufgebaut. Im Bereich des Böschungsfußes wurden kleinere Aufschlüsse der Puchkirchen-Formation beobachtet, welche in den geologischen Karten der Landesaufnahme nicht dargestellt sind. Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus der geologischen Karte von OÖ, erstellt im Maßstab 1:20.000) aus dem Landesinformationssystem DORIS.

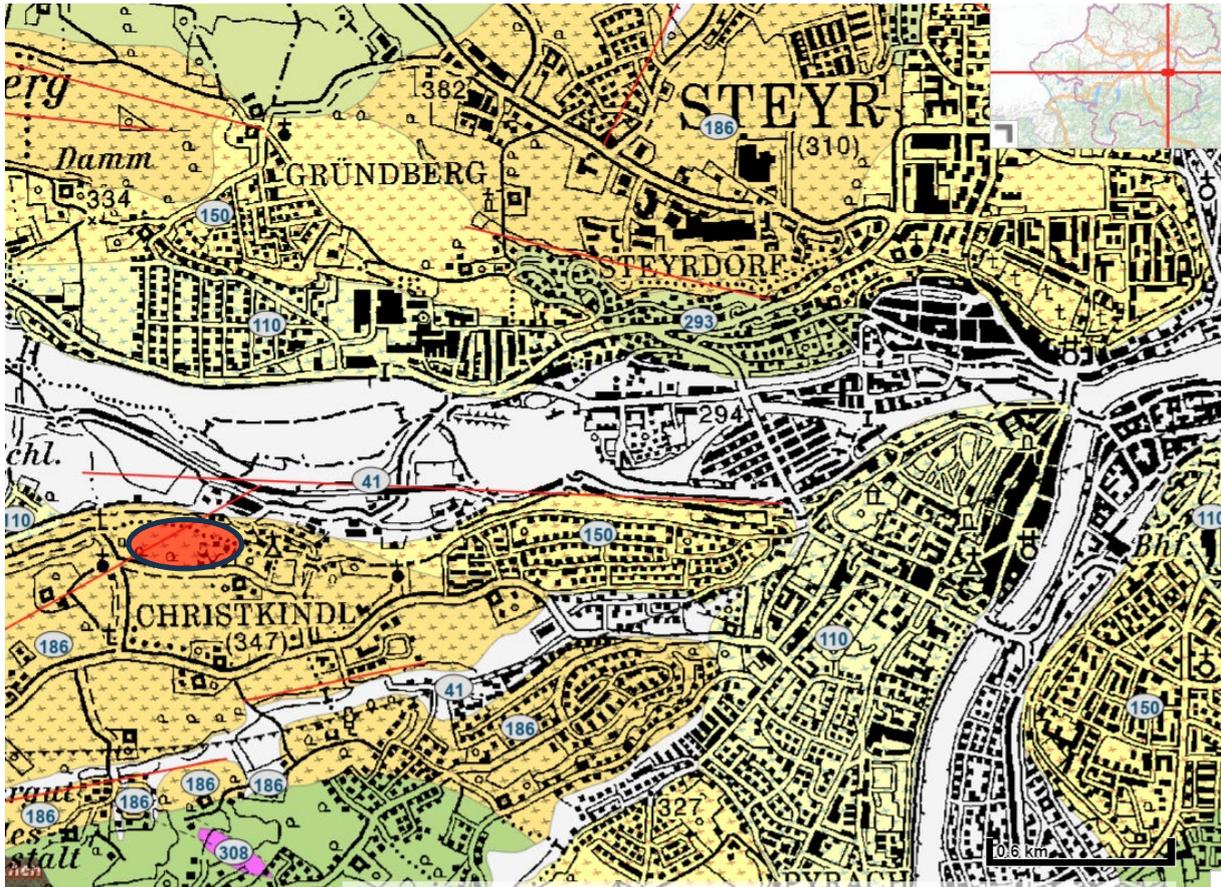


Abb. 1: Geologische Karte vom Umfeld der Ereignisstelle (rot markiert): 41: Talfüllung, 110: Niederterrasse, 150: Hochterrasse, 186: Jüngere Deckenschotter, 293: Hall Formation, 308: Buntmergelserie, 322: Altlenzbach Formation

Aufgrund der für die Konglomeratwände typischen Wechsellagerung von verkitteten bzw. konglomerierten und unverfestigten Kiesen entstanden im Laufe der Zeit durch gravitative und erosive Prozesse begünstigte, lateral orientierte Hohlräume, welche zum Teil mehrere Meter in den Terrassenkörper hineinreichen. Die nachfolgende Abbildung zeigt den oberen Abschnitt der gegenständlichen Böschung in einem stabileren Bereich mit erosionsbedingter Hohlrumbildung.



Abb. 2: Konglomerat mit zwischengeschalteten Hohlräumen im Bereich erodierter loser Kiese (Aufnahme im Zuge der Beurteilung 2020)

Diese Hohlraumbildung führt zu immer größer werdenden Überhängen und mündet schließlich in Sturzprozessen, wobei die außen liegenden Teile der frei hängenden Konglomerate abstürzen und sich je nach Fallhöhe und Blockgeometrie rollend oder springend talwärts bewegen. Die Blockgröße hängt in erster Linie von der Mächtigkeit der konglomerierten Lagen ab und kann rasch mehrere 100 m³ erreichen.

Im Zuge der Begehung 2020 wurde eine Fläche als kritisch beurteilt, deren Raumstellung in etwa hangparallel einen stark überhängenden massigen Bereich konglomerierter Kiese zum Terrassenkörper hin begrenzte.

Diese überwiegend ältere Bruchfläche zeigte an kleinsten Abschnitten im cm-Bereich scharfkantige Risse, welche auf jüngere Verformungen hinwiesen. Der talseits dieser Fläche befindliche Großblock wies aufgrund der lateralen Hohlraumbildung durch erosiven Abtransport unverfestigter Kiese eine nur sehr kleinflächige Aufstandsfläche auf.



Abb. 3: Großblock mit Trennfläche oberhalb des Siedlungsraumes (2020)

Da die Unterhänge der Konglomeratböschungen häufig durch frühere Ereignisse einer morphologischen Verflachung unterliegen, sind die Sprunghöhen meist begrenzt. Im Falle der gegenständlichen Konglomeratwand sind allerdings am Böschungsfuß mehrere Wohnobjekte situiert, so dass auch rollende Prozesse entsprechender Blockgrößen ein relevantes Gefahrenpotential erzeugen können. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Blick von der Oberkante des Großblocks in Richtung des talwärts gelegenen Siedlungsraumes.



Abb. 4: Blick von der Oberkante des Großblocks Richtung Norden auf den im Talbereich gelegenen Siedlungsraum (2020)

Die 2020 durchgeführte Beurteilung des in Summe etwa 200 m langen Böschungsbereiches ergab für den gesamten Bereich der Konglomeratwände ein erhöhtes Felssturzpotential. Für den oben dargestellten Abschnitt des Großblockes mit Anzeichen rezent aktiver Verformungen ein akutes Gefahrenpotential im Sinne von „Gefahr in Verzug“ für den unmittelbar darunter liegenden Siedlungsraum. Insbesondere zwei Objekte waren von den möglichen Absturzscenarien des Großblocks betroffen, wie im Zuge der Stellungnahme 2020 dargestellt wurde:



Abb. 5: Lt. Prognose 2020 des vom Absturzscenario des Großblocks betroffenen Siedlungsraumes am Böschungsfuß

Infolgedessen wurden per Verordnung Nutzungseinschränkungen für die Untertlieger, insbesondere was die Nutzung der Nebengebäude und die Gärten betrifft, erlassen.

3. Der Ereignishergang

Im Herbst 2022 wurden nach – bedingt durch die Pandemie und einen deutlich eingeschränkten Kreis an für die Arbeiten infrage kommenden Spezialfirmen - einer etwas verlängerten Vorlaufzeit, die Arbeiten zum Abtrag des Großblocks vergeben und mit dem Jahreswechsel 2022/2023 begonnen. Während das ursprüngliche Abtragskonzept der auftragnehmenden Firma einen scheibenweisen Abtrag von oben und mit Spezialgeräten vorsah, löste eine im Zuge des Flächenabtrags des losen Oberbodens angetroffene und mehrere Meter hinter der Böschungskante liegende hangparallele Kluft eine neuerliche Begutachtung mit dem Ziel, allfällige Anpassungen des Abtragskonzept berücksichtigen zu können, aus. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Kluft, welche im Zuge der Abtragsarbeiten entdeckt wurde.



Abb. 6: *Kluft böschungsparell und mehrere Meter hinter der Böschungskante (2023 nach Felssturz-Ereignis)*

Der Prozess einer weiteren Begutachtung zur allfälligen Anpassung des Abtragskonzeptes wurde jedoch durch das eingangs beschriebene Ereignis auf tragische Weise unterbrochen bzw. obsolet. Die Abbildung 7 zeigt die Situation am Böschungsfuß unmittelbar nach dem Ereignis.



Abb. 7: Sturzmasse am Böschungsfuß unmittelbar nach Ereigniseintritt (2023)

Da neben der abgestürzten Masse noch weitere, überhängende, absturzgefährdete Konglomeratfelsen verblieben, welche Teil der ursprünglichen Abtragsmasse waren, wurde der Katastrophenzustand behördlich festgestellt, ein Krisenteam gebildet und die Wohnobjekte im Bereich des potentiell betroffenen Böschungsfußes evakuiert.

Die Bergung der verunglückten Baggerfahrer stellte in den darauf folgenden Tagen den Hauptfokus der Bemühungen dar und war aufgrund arbeitssicherheitstechnischer Aspekte äußerst anspruchsvoll.

4. Analyse des Versagensmechanismus

Nach der erfolgreichen im Sinne von unfallfreien Bergung wurde, neben den Aufräumarbeiten am Böschungsfuß, ein Messprogramm begonnen, welches bei Fertigstellung des gegenständlichen Artikels noch läuft und mehrere Komponenten umfasst. Grundlage für die Konzeption des Messprogramms war die Beobachtung, dass neben dem oben beschriebenen, böschungsparellen Riss im Bereich der Abtragsfläche auch insbesondere an der Basis der etwa 10-12 m hohen überhängenden Böschung horizontal orientierte Hohlräume vorhanden sind, welche auf das erosiv-gravitativ bedingte Fehlen der losen Kieslagen mehrere Meter in den Terrassenkörper hineinreichen. Somit war ein wesentlicher Aspekt der

Untersuchungen die Raumstellung der vertikalen und horizontalen Schwächezonen, um die Stabilität des verbliebenen, überhängenden Konglomeratfelsens beurteilen zu können.

Zur Einschätzung des Gefahrenpotentials hinsichtlich weiterer Massenbewegungen ist als einer der maßgeblichen Faktoren das Auftreten des sogenannten Schliers (Puchkirchen-Formation) im unteren etwa ein Viertel der Böschung anzuführen. Hier ist eine klassische Situation „hart auf weich“ gegeben, welche auch für das Auftreten der böschungsp parallelen Rissbildung als maßgeblich verantwortlich interpretiert wird. Zur Feststellung der Risstiefe wurde im Juni 2023 durch die GeoSphere Austria eine Bodenradaruntersuchung mit einer 160 MHz-Antenne durchgeführt, welche jedoch aufgrund der begrenzten Eindringtiefe keine vollständige Klärung dieser Frage ermöglichte.

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen die Lage der Messprofile, sowie zwei dieser Messprofile in Schnittform. Neben der mit etwa 4 m begrenzten Eindringtiefe zeigt sich, dass mehrere dem beobachteten Riss parallele Diskontinuitätslinien vorhanden sind.

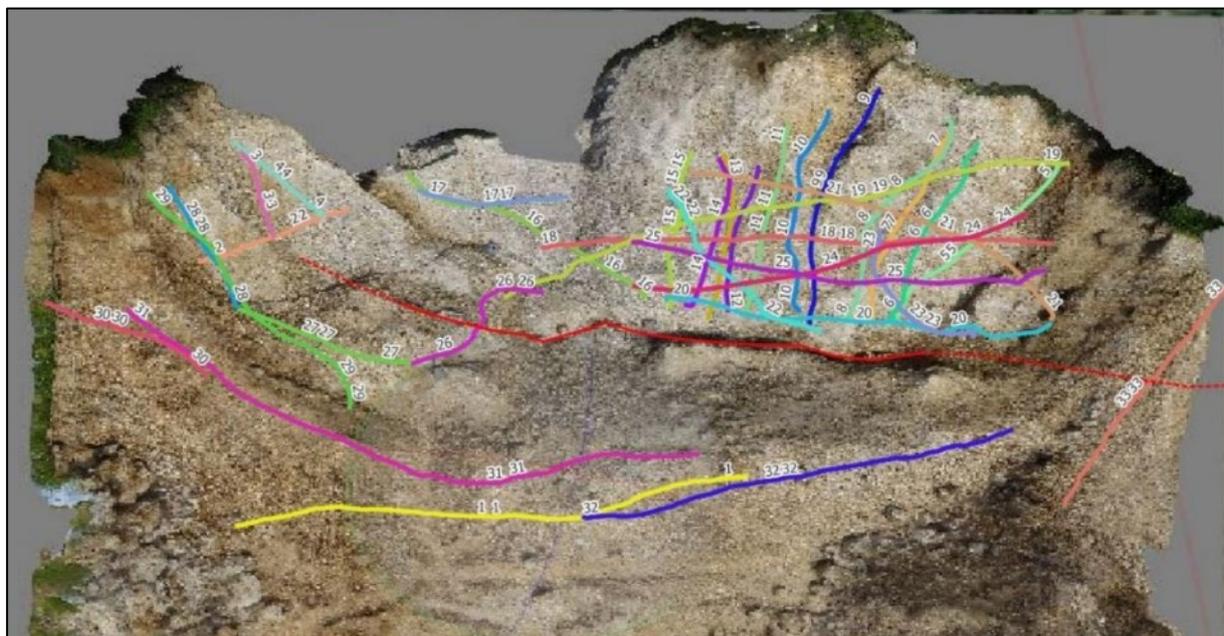


Abb. 8: Lageplan der Georadar Messungen der GeoSphere Austria (Messprofile bunte Linien, Riss rote Linie)

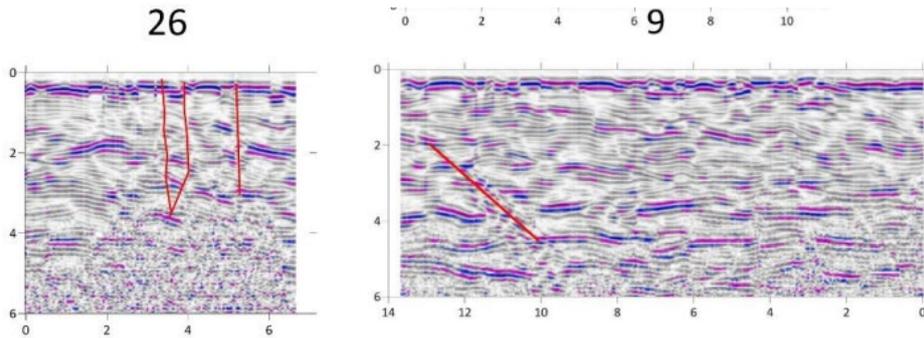


Abb. 9: Ausgewählte Georadar-Messprofile (Nr. 26 quert Riss, Nr. 9 vom Riss zur Terrassenkante hin)

Neben der oben dargestellten Bodenradarmessungen wurden Fissurometermessungen entlang des beobachteten Risses an insgesamt 4 Punkten hergestellt. Nach nunmehr mehreren Monaten der Beobachtung konnten keine aktiven Vorgänge an diesen Messstellen festgestellt werden.

5. Wie geht es weiter?

Auf Basis der bisherigen Untersuchungsergebnisse wird zur Zeit ein Paket erarbeitet, welches aus einer Kombination verschiedener Maßnahmen besteht. Dazu gehören:

- Ablöse von Objekten
- Abtrag verbliebener überhängender Massen im Gefahrenbereich
- Verschließen des vertikalen Risses
- Verschließen/Stabilisieren maßgeblicher horizontaler erodierter Abschnitte
- Aufnahme von Blockgrößen und numerische Simulation von Steinschlägen
- Errichtung eines Fallbodens auf Basis der Simulationsergebnisse
- Errichtung von Steinschlagschutznetzen auf Basis der Simulationsergebnisse

Da die Details dieser Arbeiten zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Tagungsbandes noch nicht fertiggestellt sind, wird diesbezüglich auf die Tagung selbst verwiesen. Zu diesem Zeitpunkt sollte schon alleine aufgrund der Tatsache, dass mehrere Objekte im Bereich des Böschungsfußes aufgrund der unveränderten Gefahrensituation evakuiert sind, bereits eine weitgehende Umsetzung dieser Maßnahmen stattgefunden haben.

Einige ungewöhnliche Rutschungen in Salzburg – mit und ohne Klimawandel

Rainer Braunstingl

(Landesgeologe Salzburg)

Am Montag den 03. April 2023 ist vermutlich in Folge der Niederschläge bei einer Forststraße in St. Gilgen nahe des Zwölferhorns eine Rutschung aufgetreten. Sie ist in einer Doppelkehre des Almweges im Bereich „Löchern“ rund 50 m breit und 150 m lang aufgetreten. Der obere Abbruchrand ist knapp 10 m hoch, der Weg ist ca. 1 m tief abgesessen. Weiter östlich haben sich bereits Erosionen ereignet und ist im anschließenden Wald der ÖBf AG ein Kriechhang vorhanden, an dessen Rutschungsfuß an den schiefgestellten Fichten eine Bewegung über die letzten 100 Jahre ableitbar ist. In diesem Raum ist noch eine Kulissee Hochwald mit den erwähnten, schräggestellten Bäumen vorhanden: Hier sind auf einer Breite von weiteren 70 m seitlich der aktiven Rutschung alte, wenige Jahre alte Anrisse vorhanden und ist der Hang auch hier in kriechender Bewegung. Am rechten Rand der aktiven Rutschung ist eine 5 m große Felsplatte vorhanden: Diese Kalkmergel (Kössener Schichten) fallen hangparallel mit etwa 25° bis 30° ein. Dies ist eine Erklärung für den großflächigen Kriechhang, da er trotz der vergleichsweise geringen Neigung von unter 30° auf dieser hangparallelen Gesteinsschicht gleichsam ausrutscht. Auf dieser „Felsplatte“ lagern mächtige Moränenschotter, die von Findlingen bis 2 m Größe überstreut sind. Diese lehmigen, eiszeitlichen Schotter können stellenweise 20 m mächtig werden und bilden die Rutschmasse. In geologischer Hinsicht handelt es sich um einen alten Kriechhang, der mindestens seit 100 Jahren in Bewegung sein muss, wie an diversen Bäumen ablesbar ist. Durch einen Wasserandrang im Untergrund, der auf dem wenigen Meter unter Gelände anstehenden Mergelfels gestaut wird, ist ein kleiner Teil des Kriechhanges aktiviert worden und hat den Almweg verschoben bzw. abgebrochen.

Begehung am Donnerstag, 06.04.2023

In der Nacht vom Mittwoch auf Donnerstag den 06. April 2023 sind erneut großflächige Rutschungen unterhalb und seitlich der aktiven Rutschmasse aufgetreten. Seit gestern hat sich die Rutschung auch talseits der Verbindungsstraße zur ÖBf AG massiv vergrößert. Sie ist vom Abriss ostwärts knapp 200 m breit und erstreckt sich hinunter bis zum Steingrabenbach, ein Zubringer des Zinkenbachs.



Schranken ÖBf AG, Bewegung am 6. 4.: 10 cm/h



und 8 m tiefer Abbruch im Juli 2023

Es hat sich die gesamte „fossile“ Rutschmasse von 10 ha Größe in Bewegung gesetzt: Die westliche Bewegungsfuge hat sich in einer Stunde 10 cm, die östliche Bewegungsfuge mit 15 cm/h weiterentwickelt. Der obere Staffelsprung ist nun mehr 3 m versetzt und hat auch hier an der linken Westseite der Rutschung den alten, fossilen Rutschungsrand erreicht. Die Begehung talseits der Straße hat gezeigt, dass beide Anrisslinien bereits bis hinunter in den Steingrabenbach reichen und auch die dazwischenliegende Fläche durch Teilschollen zerlegt ist. Eine vor gut 20 Jahren aktive Rutschungsfläche ist neuerlich aktiv und bricht in 10 bis 20 m langen Plaiken zum Graben ab. Auch eine scheinbare Felsstufe am Steingrabenbach ist bereits intern durch mehrere 0,5 m breite Risse zerlegt. Während des Augenscheines brechen etliche Kubikmeter große Felsblöcke in den Bach ab. Während der 3-stündigen Begehung waren auch zahlreiche Geräusche von berstendem Holz wahrzunehmen. Damit hat sich der ganze fossile Rutschhang in kriechende Bewegung gesetzt.

Die ursprünglich ins Auge gefassten Entwässerungsgräben sind technisch wegen des versumpften Geländes teilweise kaum durchzuführen und momentan auch wirkungslos, weil der wasserführende Graben ca. 100 m über dem Steingrabenbach vollständig versickert. Eine Durchfeuchtung der Rutschmasse findet also ohnehin statt.



Links: erste Anrissfläche, rechts und vorne: reaktivierte Rutschmasse 10 Tage später

Die Begehung insbesondere talseits der Forststraße hat starken Wildverbiss gezeigt. Einige schon früher geschlagene Fläche wurde letztes Jahr durchforstet und die Fichten freigestellt.

An der abgerissenen Forststraßenkreuzung Hochebenalm-Hofwandalm werden seit 06.04.2023 die Bewegungsraten gemessen; sie entsprechen ungefähr den Messwerten des gegenüberliegenden „Ufers“ beim (ehemaligen) ÖBf Ag Schranken, siehe obere Fotos:

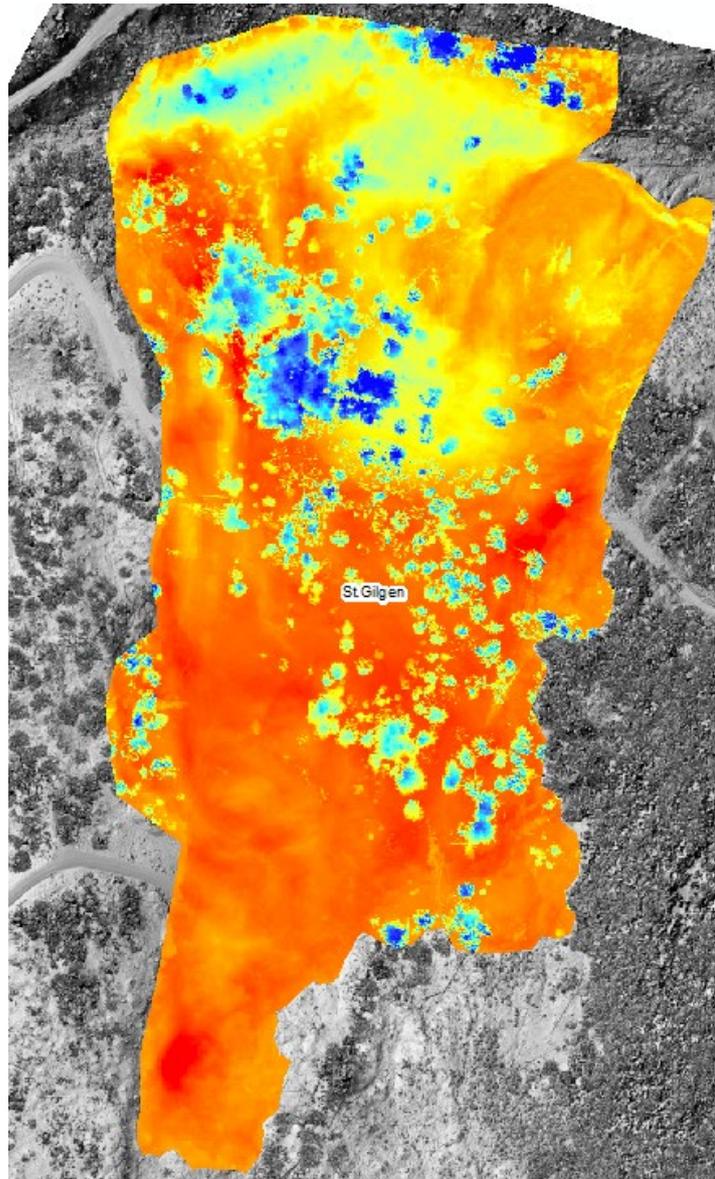
<u>Datum</u>	<u>Messzeit</u>	<u>Gesamt-</u>	<u>und Tageswert</u>
06.04.2023	15:00	+00,00m	
07.04.2023	06:00	+08,00m	12,8m / Tag
09.04.2023	11:00	+20,00m	5,4m / Tag
09.04.2023	19:30	+21,50m	4,2m / Tag
10.04.2023	07:00	+23,00m	3,1m / Tag
10.04.2023	20:00	+24,00m	1,8m / Tag
11.04.2023	07:00	+24,40m	0,90m / Tag



Abbruch an der Abzweigung (=Messstelle), seitliche Verschiebung: ca. 70 m

Die Bewegungen kamen nach genau 14 Tagen am 16. April 2023 überraschenderweise zum völligen Stillstand. Tatsächlich herrschten viel stärkere Niederschläge bei der Verlangsamung, als dies bei der Erstrutschung der Fall war; der Einfluss des Wassers war offenbar in dieser „Schottergleitung“ eher untergeordnet. Auf einem Luftbild von 2007 ist eine alte Teilrutschung nördlich unterhalb der ÖBf AG Straße noch erkennbar. Auch damals vor 25 Jahren ist keine nennenswerte Beeinträchtigung des Steingrabenbachs eingetreten und sind nur kleine Murenanbrüche entstanden.

Die Fläche der geologischen Rutschmasse, die aktuell in Bewegung geraten ist, beträgt 10,35 ha Größe. Bei einer durchschnittlichen Mächtigkeit der Moränenschotter von ca. 10 m kann also von einer Million Kubikmeter bewegten Masse ausgegangen werden. Versuchsweise wurde das neue Gelände nach den Schlägerungsarbeiten befliegen und fotogrammetrisch ausgewertet. Die Differenzrechnung mit der Laserscan Befliegung 2018 konnte rechnerisch ausgewertet werden. Diese Geländeänderung mit Schubweiten bis zu 75 m ergab ebenfalls exakt eine Million m³. Bei dieser Größenordnung sind bodenmechanische Prozesse der Spannungsumlagerung entscheidend, Bewässerungen durch Niederschläge sind bei einer solchen Großrutschung anscheinend nur mehr von geringem Einfluss.



Rutschung Steinbachgraben, Blau: Geländeauftrag (und Bäume), Orange: Abtrag

Modellierung: Mag. Viktoria Achatz, Salzburg

Drohnenbefliegung: Martin Lausenhammer, Salzburg

Mittlerweile wurde die Straße außerhalb des Rutschbereiches neu errichtet und wird zurzeit die zweite Forststraße - ebenfalls auf einer neuen Trasse - hergestellt.

Diese Rutschung liegt in eiszeitlichen Sedimenten und wurde zusammen mit etlichen weiteren, aber inaktiven Rutschungen im Bereich Zwölferhorn- Zinkenbach vom Geologen Dr. Hans Jörg Laimer kartiert.

ABENDVORTRAG

19:00 ÖFFENTLICHER ABENDVORTRAG
im Tagungssaal Feuerwehrgebäude Niederthai

„Die Geschichte der Flurbewässerung in Nordtirol“

Burghard Fiechtner, Werner Holzner, Zaderer Peter

anschließend ABENDEMPFANG des Bürgermeisters von Umhausen

im Hotel Falknerhof

Hangrutsch Hörbranz-Hochreute

Walter Bauer¹, Samuel Rothmund¹

¹*Landgeologie Vorarlberg*

Hörbranz befindet sich ganz im Norden Vorarlbergs. Die Rutschung Hochreute befindet sich im Grenzgebiet von Lochau, Eichenberg und Hörbranz. Praktisch die gesamte Fläche liegt in Hörbranz.

Der Festgesteinsuntergrund besteht aus den Gesteinseinheiten der oberen Süßwassermolasse. Im Pfänder bei Bregenz handelt es sich um die Ablagerungen eines großen, weiten Deltas.

Die Schichtfolge beginnt mit einer mehr oder weniger mächtigen Mergelabfolge. Darüber folgt ein Kieshorizont. Die Wellenstrukturen an der Basis dieser Kieslagen belegen die Entstehung im Rahmen von Hochwässern. Nach oben hin erfolgt eine Abnahme der Korngrößen und es folgt ein Übergang in einen Sandstein. Über dem Sandstein folgen wieder Mergel. Diese Schichtabfolge wiederholt sich über die gesamte Mächtigkeit der oberen Süßwassermolasse. Das Alter der Ablagerungen liegt bei zirka 5 Mio. Jahren. Eine Besonderheit stellen die hohen Anteile quellfähiger Tonminerale in den Mergeln und Sandsteinen dar. In den Mergeln können die Anteile quellfähiger Tone bis zu 60 Prozent des Mineralbestandes ausmachen. Felsmaterial, welches aus dem Festgesteinsverband gelöst wird, zerfällt innerhalb kürzester Zeit zu einem Sand Schluff Gemisch.

Wir befinden uns am nördlichen Rand des alpinen Orogens. Während weiter südlich im Festgestein stark verkürzte, ausgedünnte oder verkippte Nordschenkel der Falten sowie langgezogene, mittelsteile Südschenkel dominieren, findet sich im Pfänder ein langgezogener Nordschenkel der Falte. Die mittlere Neigung der Schichtflächen beträgt etwa 6 Grad. Die Schichtflächen fallen in Richtung Nordnordwest ein.

Tektonisch angelegt sind zwei markante Kluftsysteme. Das Erste verläuft parallel zur Faltenachse und durchtrennt die Schichten senkrecht auf die Schichtflächen. Das Zweite verläuft in der Fallrichtung und durchtrennt die Schichten ebenfalls senkrecht zu den Schichtflächen. Eine weitere Begrenzung ergibt sich durch die Schichtflächen selbst. Dies bedeutet, dass das Trennflächengefüge die Schichten in quaderförmige Körper zerlegt.

Wesentlich in der Betrachtung der Stabilität ist die Wirkung der eiszeitlichen Frostsprengung.

Bedingt durch die Geometrie in Vorarlberg hat das Würm II Maximum die Spuren älterer eiszeitlicher Ablagerungen weitestgehend beseitigt. Der Rheingletscher hat in seinem Maximum eine Höhe von zirka 170 m über die Hohe Kugel, zirka 60 m über dem Pfänderspitz und eine tiefste Lage der Gletscherbasis von 600 m unter der Talbodensohle des Rheintals bei Hohenems erreicht. Dies bedeutet, dass während der letzten Vereisung ein Klima wie etwa heute im Inlandsgletscher von Grönland geherrscht hat. Der Eisstrom des Rheingletschers wurde im Süden durch das Rheintal stark kanalisiert. Ein Teil des Gletschers ist südlich des Pfänders, Richtung Osten über Alberschwende und Langen abgeflossen. Die breite Ebene im Bereich des Bodensees und nördlich davon hat zu einer raschen Ausbreitung des Gletschereises geführt. Dadurch hat die Erosionswirkung der Vereisung stark abgenommen und es finden sich daher Felspartien, die durch die eiszeitliche Frostsprengung stark vorgeschädigt sind. Die Wirkung der eiszeitlichen Frostsprengung reicht vor allem in den Klüften bis in große Tiefe.

Talseitig der Rutschung findet sich eine ausgedehnte eiszeitliche Sanderfläche des Rheintalgletschers aus einer Rückzugsphase des Gletschers.

Diese Sanderfläche ist talseitig des Rutschgebietes von nacheiszeitlichen Rutschungen, Murgängen und Hochwasserablagerungen überdeckt. Das Material besteht aus sandigen Schluffen, schluffigen Sanden. Es ist nicht wasserdicht. Unterirdisch ablaufendes Hangwasser spült Hohlräume aus die als „Erdfalllöcher“ zusammenbrechen können. Die Sanderfläche kann dieses Wasser ableiten, so dass kein Oberflächenabfluss entsteht.

Im gesamten Pfändergebiet sind große Felsabbrüche nicht selten. Im Schnitt brechen mehr oder weniger große Felspartien jährlich ab. Felsabbrüche in der Größenordnung wie sie in Hochreute aufgetreten sind, treten seltener auf. Zuletzt hat ein vergleichbar großer Abbruch 1996 etwas nördlich an der Grenze zwischen Hohenweiler und Möggers stattgefunden. Damals betrug die bewegte Masse zirka 360.000 m³ im gegenständlichen Fall handelt es sich um zirka 400.000 m³.

Die morphologische Situation des Hanges lässt darauf schließen, dass ähnliche Rutschungen in der Vergangenheit bereits mehrfach stattgefunden haben. Es ist davon auszugehen, dass sie auch in Zukunft wieder stattfinden können. Von einem betroffenen Hauseigentümer wurde darauf hingewiesen, dass es vor zirka 300 Jahren ein vergleichbares Ereignis gegeben habe. Aufgrund der örtlichen Situation ist dies plausibel, Belege konnten bisher nicht eingesehen werden.

Der rezente Felsabbruch erfolgte in der Nacht des 29. Aprils 2023. Es war ein Niederschlagsereignis, mit zirka 140 l/m² in 24 Stunden festzustellen. Dies ist zwar ein großes Ereignis, jedoch für das Pfändergebiet nicht außergewöhnlich. Die Obergrenze für Niederschlagsereignisse liegt in diesem Gebiet bei rund 200 l/m² in 24 Stunden.

Am 30. Mai 2023 konnte ein Laserscanning-Flug durchgeführt werden. Dieser konnte mit dem Laserscan von 2017 verglichen werden. Im oberen Bereich der Felswand ergab sich ein Materialdefizit von zirka 90.000 m³.

Der Abbruch des Felsmaterials erfolgte entlang des Trennflächengefüges. Es ergibt sich ein östlicher und ein westlicher Teilbereich der Rutschung. Im östlichen Teilbereich ist das Felsmaterial auf eine Geländestufe etwa in der Mitte des Hanges abgebrochen. Das Felsmaterial ist hier zunächst auf dieser Felsstufe liegen geblieben und erst in den weiteren Bewegungsschüben in den Unterhang abgerutscht.

Im westlichen Teilbereich war sofort ein Durchbruch eines erheblichen Teiles des abgebrochenen Materials bis in den unteren Hang zu verzeichnen. Hier ist das Material auf eine alte Rutschmasse von früheren Ereignissen gefallen. Der Druck durch das Material hat diese alte Rutschmasse wieder in Bewegung gesetzt. Diese Bewegungen der alten Rutschmasse führen zur Zerstörung von Gebäuden.

Der erste Bewegungsschub in Folge des Abbruches der Felsmasse ist nur unvollständig dokumentiert, da die Bewegungsmessungen erst am 1. Mai 2023 etabliert werden konnten.

Ein vergleichsweise geringes Niederschlagsereignis von zirka 40 l/m² innerhalb von 24 Stunden hat dann den zweiten Bewegungsschub ausgelöst. Hier ist es zu einer Bewegung der Rutschmasse von bis zu 9 m gekommen. Kleinere Niederschlagsereignisse haben dann zu einer Verschiebung von ca. 12 m geführt. Dabei ist der Bauernhof im oberen Teil der Rutschmasse und 3 weitere Gebäude im Unterhang zerstört worden.

In der darauffolgenden Trockenperiode von ca. 8 Wochen ist die Rutschmasse nie gänzlich zum Stehen gekommen. Ein Niederschlagsereignis mit ca. 80 l/m² innerhalb von 24 Stunden hat dazu geführt, dass große Materialmengen aus der Sturzmasse im Mittelteil des Hanges in den Unterhang abgerutscht sind. Dabei sind auch große Teile der östlichen Rutschmasse in den westlichen Teil der Rutschung abgeglitten. Im Osten ist das Felsmaterial über die Kante der Geländestufe abgeflossen. Und hat Bewegungen bis zum

Bach ausgelöst. Im Westen wurde ein Bewegungsschub in der Rutschmasse von 13 m ausgelöst. Dadurch wurden 2 weitere Gebäude zerstört, sodass die Gesamtbilanz der bisher zerstörten Gebäude bei 6 liegt.

Drei weitere Gebäude waren ab diesem Zeitpunkt unmittelbar durch die Rutschung gefährdet. Mit einer Zerstörung der Gebäude musste gerechnet werden. Dies hat zum Entschluss geführt, bergseitig dieser Gebäude den Hang abzutragen und damit den Druck auf diese Gebäude zu verringern.

Das nächste Niederschlagsereignis hat die Größenordnung von 180 l/m² in 72 Stunden erreicht. Hier war festzustellen, dass nur mehr wenig Material über die mittlere Geländestufe in den unteren Bereich abgegangen ist. Die beim vorhergehenden Ereignis steil aufgebaute Schutthalde, hat sich stark verflacht und liegt heute fast eben am Fuß der Felswand. Der Versatz in der Rutschmasse hat bei diesem Ereignis ca. 8 m betragen. Auch nach diesem Niederschlagsereignis sind die Kriechbewegungen im Hang nicht zum Stehen gekommen.

Neben der direkten Zerstörung der Gebäude durch die Hangbewegungen, ergab sich die Gefährdung durch abgehende Murgänge, für die unter dem Hang befindlichen Wohngebäude. Um diese Gefährdung zu bekämpfen, wurde nach dem Bewegungsschub von Mai 2023 ein Schutzdamm in Form einer bewehrten Erde ausgeführt. Dieser Damm wurde auf einer gut durchlässigen Schicht aus grobem Gesteinsbruch erstellt. Die örtliche Bauleitung der WLV hat diese Schicht zirka 6 m in die Rutschmasse gegraben. Sie wurde mit einer Drainageleitung ausgestattet. Obwohl hier ein Versatz dieser Drainage von mittlerweile 30 m gegeben ist, entwässert sie den Hang immer noch. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Bewegungsbahn die Drainage beinahe parallel zur Lage der Leitung tangiert, sodass offensichtlich im grobkörnigen Material immer wieder Verbindungen zwischen den Teilbereichen der Drainage entstehen.

Der Damm wurde durch die Bewegungen um rund 30 m talwärts verschoben. Der Geländeabsatz wurde durch die Bewegungen stark verformt, ist aber über die gesamte, bisherige Zeit des Hangrutsches erhalten geblieben. Daher konnte die Wohnbebauung bisher von den Schlammströmen erfolgreich geschützt werden.

Die drei gefährdeten Häuser konnten bisher vor Schaden bewahrt werden. Der Umstand, dass die Bewegungen auch nach langen Trockenwetterphasen nicht zum Stehen gekommen sind und vergleichsweise kleine Niederschlagsereignisse zu starken Bewegungsschüben geführt haben, lässt erwarten, dass die Bewegungen im Herbst und Winter weiter anhalten werden.

Tiefengeothermie im süddeutschen Molassebecken – Bohrtechnische Erschließungsgeschichte und Weiterentwicklungen

David Lentsch¹, Michael Meinecke¹

¹Stadtwerke München, Emmy-Noether-Str.2, 80992 München

Abstract

In the Southern German Molasse Basin, 61 deep boreholes for the purpose of purely energetic use of deep geothermal energy have been drilled in the last 25 years. Half of these wells were drilled before 2009, due to the high drilling activity in 2008 and 2009, when 20 wells were successfully completed. However, there were challenges during this early phase of intense drilling activity, for example drilling performance was very inconsistent and some wells were found to be damaged during later operations. Nevertheless, this period proved to be extremely instructive. Through careful analysis and evaluation of the collected data, valuable insights were gained that led to significant improvements in the following years.

By using the most modern drilling tools and optimizing the drilling parameters, the drilling process could be accelerated considerably, and the drilling risk reduced. In addition, extensive measures were taken to avoid collapsing pipes due to heating or pressure drawdown. Another milestone was the introduction of multilateral drilling. With this method, several wells can be branched off from a parent well, which leads to a better drainage of the reservoir and to higher productivity. A major future innovation in the Munich area will be, most importantly, a significant increase in the reach of wells using so-called "extended reach drilling" technology. Since there is only limited space available for drilling sites in the inner-city area, it will be necessary in the future to increase the exploration radius by this method.

Zusammenfassung

Im süddeutschen Molassebecken wurden in den letzten 25 Jahren 61 Tiefenbohrungen zur rein energetischen Nutzung von Tiefengeothermie niedergebracht. Die Hälfte dieser Bohrungen wurde bereits vor 2009 abgeteuft, was insbesondere auf die hohe Bohraktivität in den Jahren 2008 und 2009 zurückzuführen ist, in denen allein 20 Bohrungen erfolgreich fertiggestellt wurden. In dieser frühen Phase intensiver Bohraktivität gab es jedoch auch Herausforderungen, beispielsweise war die Bohrleistung sehr unregelmäßig und bei einigen Bohrungen wurden im späteren Betrieb Schäden festgestellt. Dennoch erwies sich diese Zeit als äußerst lehrreich. Durch die sorgfältige Analyse und Auswertung der gesammelten Daten konnten wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden, die in den Folgejahren zu erheblichen Verbesserungen führten.

Durch den Einsatz modernster Bohrwerkzeuge und die Optimierung der Bohrparameter konnte der Bohrprozess erheblich beschleunigt und das Bohrrisiko reduziert werden. Darüber hinaus wurden umfangreiche Maßnahmen zur Vermeidung von kollabierenden Rohren durch Aufheizung oder Druckabsenkung getroffen. Ein weiterer Meilenstein war die Einführung der Multilateralschließung. Mit dieser Methode können mehrere Bohrungen von einer Stammborung abzweigelt werden, was zu einer besseren Anbindung der Lagerstätte und zu einer höheren Produktivität führt. Eine wesentliche zukünftige Innovation im Raum München wird vor allem eine deutliche Erhöhung der Reichweite von Bohrungen durch

den Einsatz der sogenannten „Extended Reach Drilling“-Technologie sein. Da im innerstädtischen Bereich nur begrenzt Platz für Bohrstandorte zur Verfügung steht, wird es in Zukunft notwendig sein, den Erschließungsradius auf diese Weise zu vergrößern.

Geologische Rahmenbedingungen

Das Süddeutsche Molassebecken ist ein typisches sedimentäres peripheres Alpenvorlandbecken aus dem späten Eozän bis Miozän. An der Basis des asymmetrischen Beckens liegt der Malm-Aquifer (Weißer Oberjura), ein zum Teil hochdurchlässiges Karbonatreservoir (Lemcke, 1988, S. 121), das eine Mächtigkeit von bis zu 600 m erreicht (Meyer und Schmidt-Kaler, 1996, S. 104). Die Bruttomächtigkeit des Reservoirs (Aquifers) hängt von der Fazies und den diagenetischen Prozessen ab und ist in der Regel geringer als die Gesamtmächtigkeit des Malms (StMWIVT, 2019, S. 53–54). Im südlichen Teil des Beckens steigt die vertikale Tiefe (TVD) des Reservoirs auf bis zu 5.000 m an (Lemcke, 1988; StMWIVT, 2019). In dieser Tiefe steigt die Wassertemperatur auf 150 – 160°C (Agemar et al., 2012; GeotIS, 2023; Schulz und Jobmann, 1989, S. 22–25; StMWIVT, 2019, S. 70–74). Die Temperatur im Münchner Stadtgebiet liegt in bei ca. 75 – 120°C. Auf lokaler Ebene treten jedoch sowohl positive als auch negative thermische Anomalien auf (Agemar et al., 2012; GeotIS, 2023).

Innerhalb dieses Kalkstein-Aquifers werden Porosität und Durchlässigkeit durch den Faziestyp bestimmt. Während die Riff-Fazies von Vorteil ist, weisen geschichtete oder mergelige Kalksteine eine geringere oder gar keine hydraulische Leitfähigkeit auf. Außerdem beeinflussen diagenetische Prozesse (vor allem Dolomitisierung und Verkarstung) die hydraulische Leitfähigkeit. Zudem sind Verwerfungen mit einer Verschiebung von 150 m bis 200 m vorhanden. (Andres, 1985; Bachmann et al., 1982; Bachmann et al., 1987; Birner et al., 2012; Böhm, 2012; Böhm et al., 2013; Frisch und Huber, 2000; Stier und Prestel, 1991)

Der Porendruck des Malm-Aquifers steht unter hydrostatischem Druck. In und um München liegt der statische Wasserspiegel je nach örtlicher Höhenlage typischerweise zwischen 100 – 200 m unter der Geländeoberkante. (Frisch und Huber, 2000; StMWIVT, 2019, S. 55)

Bohrtechnische Erschließungsgeschichte

Die Nutzung des Malm-Aquifers begann bereits vor Jahrzehnten mit der Nutzung von Wasser für Thermalbäder. Zum Beispiel in Bad Füssing und Bad Birnbach (Nathan, 1949, S. 51–55), sowie in Erding (Gabauer, 2000). Die Exploration für die rein energetische Nutzung begann erst um die Jahrtausendwende. Die Pionierprojekte waren Erding (Gabauer, 2000), Simbach-Braunau (GBS, 2023), Unterschleißheim (BVG, 2023), sowie Riem (Höferle und Rühle, 2005; Schubert, 2004; Schubert et al., 2005), das erste Projekt der Stadtwerke München (SWM). In den Gemeinden Unterhaching (Wolfgramm et al., 2007) und Pullach (Baasch und Höferle, 2005; Böhm, 2012, S. 10–15; Schubert et al., 2005) wurde etwas später erstmals südlich des Stadtgebiets München gebohrt, was mit größeren Bohrtiefen einherging (Abb. 1).

Erst ab 2008 setzte eine starke Wachstumsphase der geothermischen Bohrprojekte in Bayern ein. Gründe für diese Entwicklung waren die Veröffentlichung des „Bayerischen Geothermie-Atlas“ (StMWIVT, 2019) und Marktanzreizprogrammen (Dorsch und Pletl, 2012). Allein in den Jahren 2008 und 2009 wurden insgesamt 19 Bohrungen an den Standorten Dürrnhaar, Aschheim, Kirchstockach, Sauerlach (Pletl et al., 2010), Garching, Mauerstetten (Tondera et al.), Poing, Altdorf, Oberhaching und Unterföhring fertig gestellt (BVG,

2023; Pletl et al., 2010; Schubert und Dorsch, 2009). Mit Mauerstetten wurde erstmals, leider erfolglos, auch im Südwesten des Beckens exploriert.

In den Folgejahren 2010 bis 2014 nahm die Bohraktivität wieder etwas ab und verlagerte sich mit den Bohrungen in Waldkraiburg, Kirchweidach und Traunreut teilweise in die Ostmolasse (ITG, 2023). Im Großraum München wurden an den Standorten Taufkirchen (GWO, 2023), Ismaning (ITG, 2023) und Unterföhring (Lentsch et al., 2015a) weitere Bohrungen abgeteuft. Am Standort Geretsried wurde weit im Süden exploriert, leider ohne Erfolg (ITG, 2023).

Zwischen 2015 und 2017 war zwar ein Tiefpunkt der Bohraktivitäten zu verzeichnen, allerdings wagte man sich erneut an die Ränder des bisherigen Explorationsgebiets. Das Projekt Freiham im Münchner Westen und Holzkirchen im Südosten (Dorsch et al., 2021) waren dabei erfolgreich. Weilheim im Südwesten (ITG, 2023) war leider nicht fündig. Im Projekt Holzkirchen wurde der bis heute nicht übertroffene Tiefenrekord mit 5.050 m TVD (true vertical depth) und 6.084 m MD (measured depth) aufgestellt (Dorsch et al., 2021).

Von 2018 bis 2020 wurden kurzzeitig wieder mehrere Projekte umgesetzt. Am innerstädtischen Standort Schäflarnstraße in München wurden gleich sechs Bohrungen von einem Bohrplatz abgeteuft (Meinecke und Dirner, 2018, 2019). Im Zuge dieses Projektes wurde auch die erste Multilateralschließung durchgeführt (Lentsch, 2022; Lentsch und Schweingruber, 2022). Mit Garching an der Alz kam ein weiteres Projekt in der Ostmolasse dazu und in Weilheim versuchte man sich erneut im Südwesten, leider erneut ohne Erfolg.

In den letzten Jahren nahm die Aktivität schließlich wieder deutlich ab. Im Jahr 2021 wurde in Kirchanschöring im äußersten Südosten eine nichtfündige Bohrung abgeteuft. Im Jahr 2022 gab es keine Aktivität und im Jahr 2023 wird voraussichtlich eine Bohrung am Standort Waldweihnacht fertiggestellt (BVG, 2023). Für nächstes Jahr ist ein Projekt im Münchner Nordwesten geplant (Karlsfeld).

Insgesamt wurden bisher 30 Geothermieprojekte (61 Bohrungen) zur rein energetischen Nutzung realisiert (siehe Abb. 1), davon 15 erfolgreiche Fernwärmeprojekte (37 Bohrungen) und neun erfolgreiche Strom- bzw. Kraft-Wärme-Kopplungsprojekte (19 Bohrungen). Sechs Projekte (mit sechs Bohrungen) waren aufgrund geringer Fündigkeit nicht erfolgreich. Dazu gehören Mauerstetten und Altdorf (2009), Geretsried (2013), Weilheim (2017), Höhenrain (2018) und Kirchanschöring (2021). Zwei weitere Projekte befinden sich derzeit im Bau (Waldweihnacht und Karlsfeld).

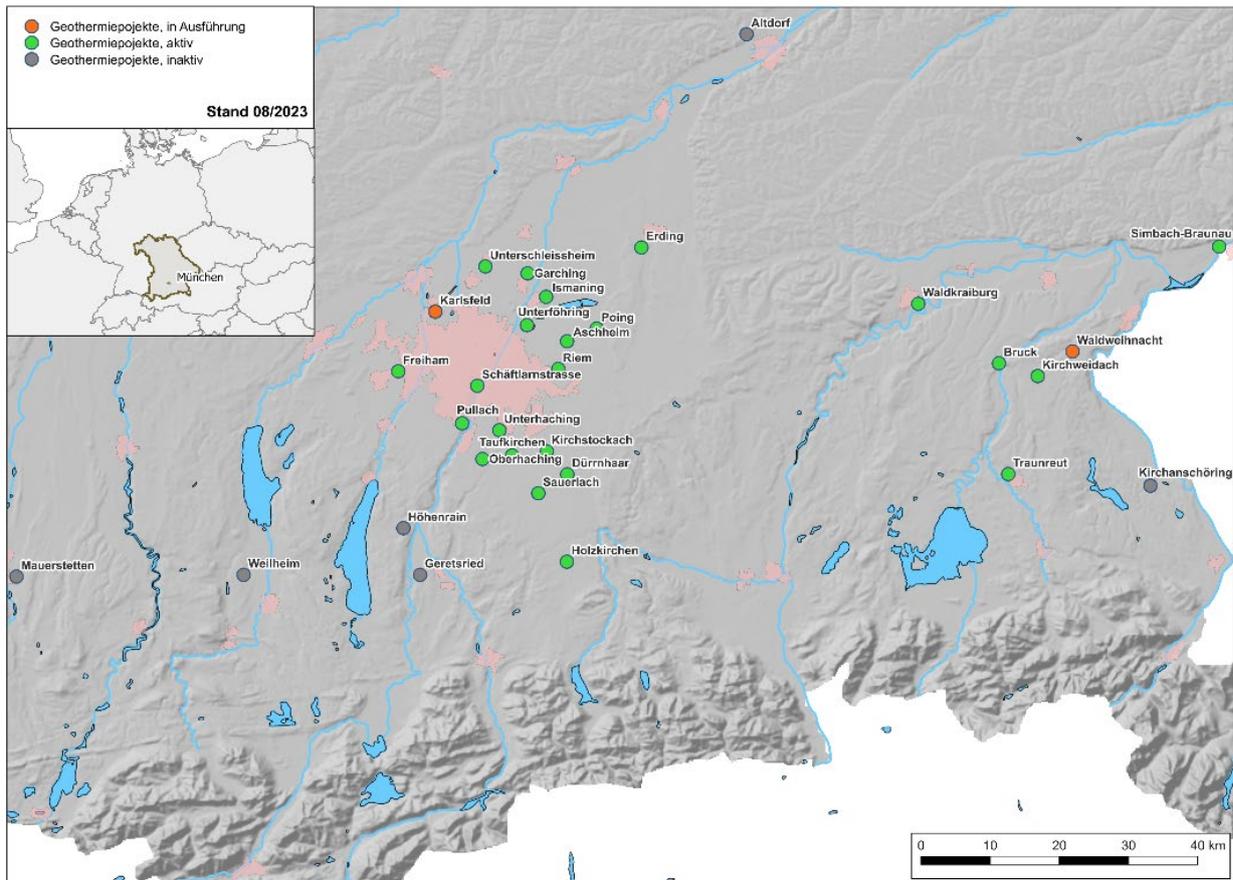


Abb. 1: Projektstandorte von Tiefengeothermiebohrungen im süddeutschen Molassebecken.

Bohrprozessoptimierung

Die bohrtechnische Planung erfuhr im Laufe der Zeit und besonders nach dem Höhepunkt der Bohraktivitäten in den Jahren 2008 und 2009 bei den SWM und einigen anderen Betreibern eine deutliche Neuausrichtung. Hierbei lag ein besonderer Fokus auf der Entwicklung von Strategien für schnelles, kostengünstiges und gleichzeitig risikominimiertes Bohren. (Lentsch et al., 2015a; Lentsch und Schubert, 2013)

Der Bohrfortschritt konnte dadurch erheblich gesteigert werden. Beispielsweise konnte bei SWM-Bohrungen mit 8.1/2“ Enddurchmesser, die Bohrperformance von durchschnittlich 31 Tage/1000 m in den Jahren 2008 bis 2009, auf 18 Tage/1000 m in den Jahren 2015 bis 2020 reduziert werden.

Folgende Aspekte und Anforderungen haben sich dabei als wesentlich erwiesen (Lentsch et al., 2015a):

- 1) Ein solides geologisches Modell, welches als Basis für sämtliche technische Planungsschritte dient (vgl. Schulz et al., 2017, S. 75–76).
- 2) Eine umfassende technische Analyse vorheriger Bohrprojekte, um von deren Erfahrungen zu lernen.
- 3) Eine gründliche Risikobewertung samt geeigneter Maßnahmen zur Minimierung dieser Risiken.
- 4) Eine auf Bohrperformance ausgerichtete technische Planung.
- 5) Eine umfassende und detaillierte Vorbereitung der bevorstehenden Bohrarbeiten.
- 6) Eine intensive geologische und technische Überwachung direkt vor Ort.

Ein konkretes und wesentliches Ergebnis aus der Evaluierung und Optimierung war unter anderem die Implementierung von Rotary Steerable Systems (RSS) welche mittlerweile eine breite Anwendung gefunden haben und zu signifikanten Verbesserungen der Bohrperformance geführt haben. Besonders in stark abgelenkten Bohrungen wie den meisten tiefen Geothermiebohrungen im Münchner Umland wurden Probleme bei herkömmlichen Richtbohrsystemen identifiziert, die zu Verzögerungen und Kostensteigerungen führten. Die RSS-Technologie ermöglicht präzise Richtungsänderungen unter kontinuierlicher Rotation des Bohrstrangs. Die Erfahrungen zeigten auch, dass der Einsatz von RSS den Verschleiß reduzierte und zu einem gleichmäßigeren Bohrpfad führte, was den Rohreinbau und die Zementation erleichterten. (Lentsch et al., 2015a; Lentsch et al., 2012)

Optimierung der Futterrohrauslegung

Neben der Bohrperformance wurde auch das Bohrungsdesign optimiert. Schäden an Futterrohren traten vor Allem nach Aufheizung der Bohrung und Absenkung des Wasserspiegels während der Fördertests auf. Besonders häufig waren Rohrkippen zu beobachten. Die Ursache dafür sind zum einen Ringraumdruckerhöhung durch Aufheizung eingeschlossener Flüssigkeitstaschen (Annular Pressure Build-up, APB), Porenüberdruck und bzw. in Kombination mit Wandstärkenverlust durch Casingabrieb. (Lentsch et al., 2015b)

Nachdem diese Schäden erkannt worden waren, wurden zahlreiche Maßnahmen ergriffen, um diese Probleme in Zukunft zu vermeiden:

Eine wesentliche Maßnahme war die Erhöhung der Sicherheitsfaktoren bei der Auslegung der Rohrtouren. In Deutschland gibt es diesbezüglich derzeit keine dezidierten Vorgaben für Geothermiebohrungen, lediglich für Öl- und Gasbohrungen (BVEG, 2006), welche aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen andere Belastungsprofile und damit eine andere Bohrlochkonstruktion aufweisen. Aus Ländern mit einer längeren Erfahrung in der Geothermie sind jedoch zusätzlich andere Standards verfügbar, wie z.B. dem Standard für tiefe Geothermiebohrungen in Neuseeland (NZS, 2015) welcher deutlich höhere Sicherheitsfaktoren vorsieht. Wenn möglich orientieren sich die SWM mittlerweile an den konservativeren Sicherheitsfaktoren des NZS. Ist dies nicht möglich oder nicht verhältnismäßig, wird zumindest ein möglichst hoher Sicherheitsfaktor gewählt. Als Minimum sind weiterhin Vorgaben des Bundeverbandes Erdgas, Erdöl und Geoenergie (BVEG, 2006) relevant da diese in der Regel von den Genehmigungsbehörden als Industriestandard anerkannt werden.

Eine weitere Maßnahme zur Vermeidung von Rohrschäden ist die Verwendung von Non-Rotating Protektoren während der Bohrarbeiten. Diese werden an den Bohrstrang montiert und verhindern einen Metall-Metall Kontakt und Abrieb zwischen Bohrgestänge und Futterrohren. Die Verwendung der Protektoren ist vor Allem im Bereich hoher Seitenkräfte notwendig. Diese treten hauptsächlich im Bereich von Bohrlochkrümmungen auf und hier im Besonderen im oberen Teil der Bohrung. (Lentsch et al., 2015b, S. 9)

Um Schäden durch Überdruckzonen vorzubeugen, wurde die Kollapsfestigkeit der Rohre durch Auswahl höherer Wandstärken und Stahlgüten erhöht. Auch die Porendruckprognose wurde im Vergleich zu früheren

Annahmen (Müller et al., 1988, S. 794) deutlich konservativer (Dorsch et al., 2021; Drews et al., 2018, S. 47).

Eine weitere Maßnahme Überdruckzonen zu begegnen ist das Einbauen einer weiteren Rohrtour. Diese dient dazu, die Hochdruckzonen im tieferen Tertiär (z.B. Rupel) mit den nachfolgenden Formationen der Kreide zu trennen und eine ausreichende Kick-Toleranz zu gewährleisten. (Dorsch et al., 2021; Lackner et al., 2018)

Schließlich wurden Maßnahmen zur Vermeidung von Annular Pressure Build-up (APB) umgesetzt. Dies beinhaltet zuallererst die Vermeidung von eingeschlossenen Flüssigkeitstaschen hinter den Rohren durch eine vollständige Zementation oder durch Gewährleistung der Kommunikation zwischen Ringraumflüssigkeiten und Übertage. Dabei wird z.B. statt einer Tagesrohrtour ein vollständig zementierter Liner mit einem unzementierten Tieback kombiniert. Der Ringraum hinter dem Tieback kann somit Übertage kontrolliert werden. Des Weiteren können punktuell auch Berstscheiben eingesetzt werden. Auch die Kollapsfestigkeit der Rohrtouren kann erhöht werden, um einem Kollaps durch APB entgegenzuwirken. Allerdings sind die Drücke in der Regel so hoch, dass sie die maximal verfügbaren Kollapsfestigkeiten der Rohrtouren bei weitem übersteigen (Lentsch et al., 2015b; NZS, 2015, S. 34).

Multilateralerschließung

Eine weitere wesentliche Weiterentwicklung des Bohrungsdesigns war die Erschließung mittels Multilateralbohrung. Diese technische Möglichkeit wurde für Geothermiebohrungen im süddeutschen Molassebecken erstmals im Rahmen des Verbundvorhabens GEOmaRE untersucht (Lentsch, 2022; Lentsch et al., 2021; Lentsch und Schweingruber, 2022; Pfrang et al., 2020).

Der Vorteil einer Erschließung mittels Multilateralbohrung ergibt sich zum einen durch einen größeren Drainageradius sowie der möglichen Anbindung von weiteren Reservoirbereichen. Des Weiteren werden durch die Aufteilung des Volumenstroms in zwei oder mehrere Äste die Reibungsdruckverluste vom Eintrittsbereich in die Bohrung entlang der Bohrung bis zur Abzweigstelle reduziert. Im Resultat führt dies entweder zu Pumpenstrom einsparungen bei gleicher Förderrate oder einer größeren Förderrate bei gleicher Absenkung. Die durchgeführte Studie zeigte, dass für einen großen Teil der Bohrungen eine Multilateralerschließung möglich und wirtschaftlich sein kann. (Lentsch et al., 2021)

Im Jahr 2021 wurden die theoretischen Überlegungen um praktische Erkenntnisse aus einer durchgeführten Multilateralbohrung ergänzt. Dazu wurde eine der sechs Bohrungen des Geothermieprojekts Schäftlarnstraße um einen Lateralast erweitert. Bei der Herstellung der Abzweigung gab es keine technischen Probleme. Nach Absolvierung eines Drittels der geplanten Laterallänge mussten die Bohrarbeiten allerdings aufgrund von starker Verkarstung beendet werden. Der Ast konnte jedoch erfolgreich getestet und die Stammbohrung problemlos wieder geöffnet werden. Auch die Kosten blieben innerhalb des vorgesehenen Rahmens. Obwohl der Ast nicht die volle Länge erreichte, betrug die Produktivitätssteigerung der multilateralen Testbohrung dennoch 16 % und führte in diesem Projekt zu einem positiven wirtschaftlichen Ergebnis. (Lentsch, 2022, S. 85–108; Lentsch und Schweingruber, 2022)

Nach diesem erfolgreichen Pilotprojekt planen die SWM für zukünftige Projekte die Option für Multilateralbohrungen als festen Bestandteil der Erschließungsstrategie (Abb. 2).

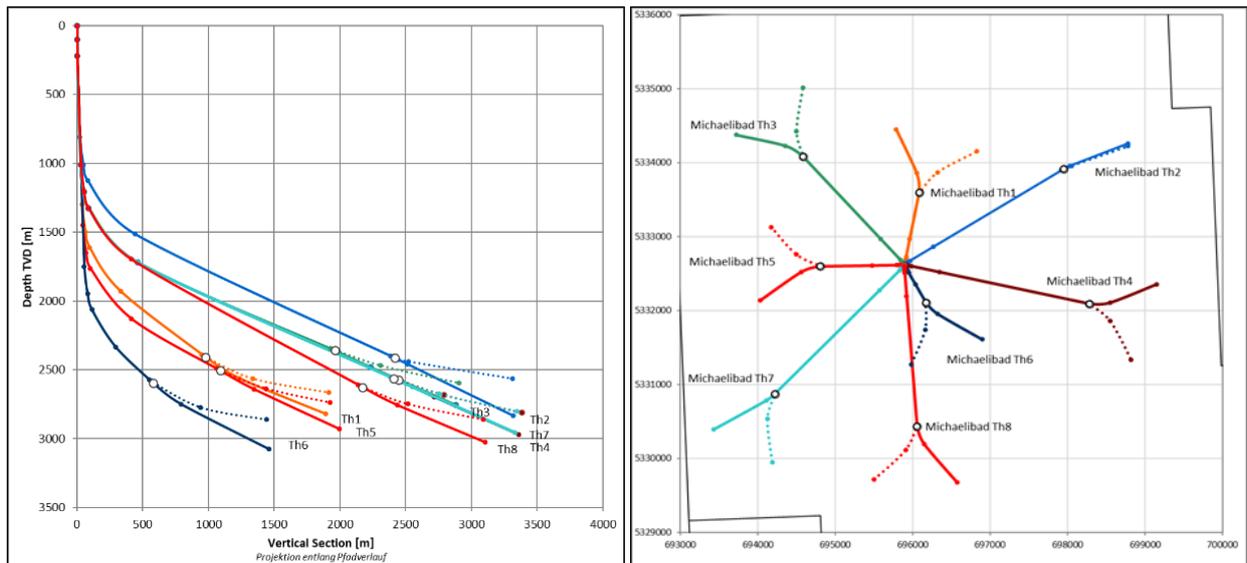


Abb.2: Bohrpfadplanung (Vertikal- und Horizontalprojektion) mit optionaler Multilateralschließung (gepunktete Linie) im Projekt Michaelibad

Extended Reach Drilling

Um das gesamte Potenzial der Tiefengeothermie optimal nutzen und gleichzeitig die Anzahl der Bohrstandorte, die Erschließungskosten sowie die Umsetzungsdauer des geothermischen Ausbaupfads reduzieren zu können, ist es wichtig, dass einzelne Standorte eine hohe Produktionsrate erreichen. Eine naheliegende Maßnahme zur Erhöhung der Produktivität eines Bohrstandortes ist die Erhöhung des Erschließungsradius um einen Bohrplatz sowie die Anzahl der Bohrungen. Um dies zu ermöglichen, müssen allerdings die äußeren Bohrungen eine sehr große horizontale Distanz zwischen Bohransatzpunkt und Zielpunkt zurücklegen (Extended Reach Drilling).

Im Münchner Raum wurden bisher in flachen Tiefen (ca. 2.000 m Tiefe) horizontale Distanzen zwischen Bohransatzpunkt und -endpunkt von etwa 3.120 m erreicht (Ismaning Th2) (Lentsch et al., 2015a, S. 98). In größeren Tiefen (ca. 5.000 m Tiefe) wurden horizontale Distanzen von 2.400 m erreicht (Holzkirchen Th2b) (Dorsch et al., 2021). In der Bohrindustrie weltweit wurden allerdings bereits wesentlich größere horizontale Distanzen realisiert (max. 14.129 m). Das Potential zur Erhöhung der horizontalen Reichweite ist also noch sehr hoch und die Stadtwerke München möchten daher im Rahmen eines Forschungsprojektes ein Konzept von mehreren exemplarischen Bohrungen in mehreren Tiefenlagen mit sehr großer Reichweite (> 6.000 m) planen.

Referenzen

- Agemar, T., Schellschmidt, R. und Schulz, R. (2012), „Subsurface temperature distribution in Germany“, *Geothermics*, 44. Jg., S. 65–77.
- Andres, G. (1985), *Fränkische Alb und Malmkarst des Molassebeckens.: Grundwassergleichenkarte von Bayern 1:500.000 mit Erläuterungen*, Schriftenreihe Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, München.
- Baasch, R. und Höferle, R. (2005), „Fernversorgung mit Geothermie - eine gute Investition in die Zukunft der Gemeinde Pullach“, *Geothermische Energie*, Nr. 49, S. 14–17.

- Bachmann, G. H., Dohr, G. und Müller, M. (1982), „Exploration in a Classic Thrust Belt and Its Foreland: Bavarian Alps, Germany“, *AAPG Bulletin*, 66. Jg., Nr. 12, S. 2529–2542.
- Bachmann, G. H., Müller, M. und Weggen, K. (1987), „Evolution of the Molasse Basin (Germany, Switzerland)“, *Tectonophysics*, 137. Jg., Nr. 1-4, S. 77–92.
- Birner, J., Fritzer, T., Jodocy, M., Savvatis, A., Schneider, M. und Stober, I. (2012), „Hydraulische Eigenschaften des Malmaquifers im Süddeutschen Molassebecken und ihre Bedeutung für die geothermische Erschließung“, *Zeitschrift für geologische Wissenschaften*, 40. Jg., Nr. 2/3, S. 133–156.
- Böhm, F. (2012), „Die Lithofazies des Oberjura (Malm) im Großraum München und deren Einfluss auf die tiefegeothermische Nutzung. Dissertation“, Freie Universität Berlin, Berlin, 2012.
- Böhm, F., Savvatis, A., Steiner, U., Schneider, M. und Koch, R. (2013), „Lithofazielle Reservoircharakterisierung zur geothermischen Nutzung des Malm im Großraum München“, *Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie*, 18. Jg., Nr. 1, S. 3–13.
- BVEG (2006), *Leitfaden Futterrohrberechnung*, BVEG.
- BVG (2023), „Bundesverband Geothermie - Projektwebsites“, verfügbar unter <https://www.geothermie.de/>.
- Dorsch, K., Lentsch, D., Niederseer, C. und Götz, A. (2021), „The Deep Hydrogeothermal Project in Holzkirchen, Molasse Basin, Germany“, in International Geothermal Association (Hg.), *Proceedings: World Geothermal Congress 2020+1, 2021-04 to 2021-10, Reykjavik Iceland*, International Geothermal Association.
- Dorsch, K. und Pletl, C. (2012), „Bayerisches Molassebecken - Erfolgsregion der Tiefengeothermie in Mitteleuropa“, *Geothermische Energie*, Nr. 73, S. 14–18.
- Drews, M. C., Bauer, W., Caracciolo, L. und Stollhofen, H. (2018), „Disequilibrium compaction overpressure in shales of the Bavarian Foreland Molasse Basin: Results and geographical distribution from velocity-based analyses“, *Marine and Petroleum Geology*, Nr. 92, S. 37–50.
- Frisch, H. und Huber, B. (2000), „Ein hydrogeologisches Modell und der Versuch einer Bilanzierung des Thermalwasservorkommens für den Malmkarst im Süddeutschen und im angrenzenden Oberösterreichischen Molassebecken“, *Hydrogeologie und Umwelt*, Nr. 20, S. 25–43.
- Gabauer, A. (2000), „Geowärme für Erding - Das Projekt und seine Geschichte.“, *Geothermische Energie*, 8. Jg., Nr. 30/31, S. 1–6.
- GBS (2023), „Projektwebsite Geothermieprojekt Simbach-Braunau“, verfügbar unter <https://www.geothermie-braunau-simbach.com/Das-Projekt/Die-Bohrung>.
- GeotIS (2023), „Geothermal Information System“, verfügbar unter <https://www.geotis.de/homepage/GeotIS-Startpage?loc=en>.
- GWO (2023), „Projektwebsite Bohrungen Taufkirchen“, verfügbar unter <https://www.gemeindewerke-oberhaching.de/aktuelles/geothermie-einfach-erklart>.
- Höferle, R. und Rühle, W. (2005), „Erdwärme für die Messestadt Riem“, *Zeitung für kommunale Wirtschaft*.
- ITG (2023), „Informationsportal Tiefe Geothermie“, verfügbar unter <https://www.tiefegeothermie.de/>.

- Lackner, D., Lentsch, D. und Dorsch, K. (2018), „Germany's Deepest Hydro-Geothermal Doublets. Drilling Challenges and Conclusions for the Design of Future Wells“, in Geothermal Resources Council (Hg.), *Transactions: GRC Annual Meeting, 2018-10-14, Reno, Nevada, USA*, Geothermal Resources Council.
- Lemcke, K. (1988), *Das bayerische Alpenvorland vor der Eiszeit: Erdgeschichte - Bau - Bodenschätze, Geologie von Bayern*, Bd. 1, Schweizerbart, Stuttgart.
- Lentsch, D. (2022), „The Potential of Multilateral Wells for Geothermal Energy Recovery in the South German Molasse Basin“, Dissertation, Department of Petroleum Engineering, Chair of Petroleum and Geothermal Energy Recovery, Montanuniversität Leoben, Leoben, 2022.
- Lentsch, D., Böhm, F., Dorsch, K. und Schubert, A. (2015a), „Performance Drilling“ am Beispiel des kommunalen Geothermieprojekts Unterföhring“, in BBR (Hg.), *Sonderheft Geothermie*, wvgw Wirtschafts- und verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn, S. 96–101.
- Lentsch, D., Dorsch, K., Sonnleitner, N. und Schubert, A. (2015b), „Prevention of Casing Failures in Ultra-Deep Geothermal Wells (Germany)“, in International Geothermal Association (Hg.), *Proceedings: Word Geothermal Congress, 2015-04-19, Melbourne, Australia*, International Geothermal Association.
- Lentsch, D., Savvatis, A., Hofstätter, H. und Ganzer, L. (2021), „Potential of Multilateral Wells for Geothermal Projects in the Southern German Molasse Basin“, in International Geothermal Association (Hg.), *Proceedings: Word Geothermal Congress 2020+1, 2021-04 to 2021-10, Reykjavik Iceland*, International Geothermal Association.
- Lentsch, D., Savvatis, A., Schubert, A. und Schoebel, W. (2012), „Overcoming Drilling Challenges with Rotary Steerable Technology in Deep Geothermal Wells in the Molasse Basin of Southern Germany“, in Geothermal Resources Council (Hg.), *Transactions: GRC Annual Meeting, 2012-09-30, Reno, Nevada, USA*, Geothermal Resources Council.
- Lentsch, D. und Schubert, A. (2013), „Risk Assessment for Geothermal Wells? A Probabilistic Approach to Time and Cost Estimation“, in Geothermal Resources Council (Hg.), *Transactions: GRC Annual Meeting, 2013-10-15, Las Vegas, Nevada, USA*, Geothermal Resources Council.
- Lentsch, D. und Schweingruber, M. (2022), „First Multilateral Deep Geothermal Well in the South German Molasse Basin“, in EGEC - European Geothermal Energy Council (Hg.), *European Geothermal Congress, 2019-10-17, Berlin*, EGEC.
- Meinecke, M. und Dirner, S. (2018), „Das Projekt Geothermie Schäftlarnstraße: Standortentwicklung, Reservoirerschließung und Bohrungsergebnisse“, *Geothermische Energie*, Nr. 90, S. 4–5.
- Meinecke, M. und Dirner, S. (2019), „Das Geothermieprojekt Schäftlarnstraße: Idee, Realisierung und erste Ergebnisse“, *bbr - Leitungsbau, Brunnenbau, Geothermie*, Nr. 02 - 2019, S. 34–37.
- Meyer, R. und Schmidt-Kaler, H. (1996), *Erläuterung zur Geologischen Karte von Bayern 1:500.000: Jura*, 4. Aufl., Bayerisches Geologisches Landesamt, Munich.
- Müller, M., Nieberding, F. und Wanninger, A. (1988), „Tectonic style and pressure distribution at the northern margin of the Alps between Lake Constance and the River Inn“, *Geologische Rundschau*, 77. Jg., S. 787–796.

- Nathan, H. (1949), „Geologische Ergebnisse der Erdölbohrungen im Bayerischen Innviertel“, *Geologica Bavarica*, Nr. 1, S. 51–58.
- NZS (2015), *Code of practice for deep geothermal wells: Standards New Zealand NZS 2403:2015*.
- Pfrang, D., Dirner, S., Dorsch, K., Bohnsack, D., Beichel, K., Feindt, O., Heine, F., Hörbrand, T., Lentsch, D. und Meinecke, M. (2020), „GEOmaRe-Ganzheitlich optimierte und nachhaltige Reservoirverschiebung für tiefengeothermische Anlagen im bayerischen Molassebecken“, *Geothermische Energie*, 97. Jg., S. 20–21.
- Pletl, C., Stoyke, R. und Toll, H. (2010), „Bohrerfahrungen bei Sueddeutschlands größtem“, *Geothermieprojekt bbr*, 3. Jg., S. 38–47.
- Schubert, A. (2004), „Geothermische Dublette Riem für die kommunale Fernwärmeversorgung der Stadtwerke München“, *GTV Fachtagung, Tagungsband*, S. 187–196.
- Schubert, A. und Dorsch, K. (2009), „Geothermieprojekte im Oberbayerischen Molassebecken (Zwischenstand und Ausblick)“, *Geothermie in Bayern*, S. 50–51.
- Schubert, A., Höferle, R. und Böhm, F. (2005), „Geothermische Dubletten München Riem und Pullach i. Isartal im Vergleich, Geologische und bohrtechnische Konzepte zur Minimierung des geologischen Risikos im Malmtiefergrundwasserleiter“, *GtV Tagungsband, Tagung, Unterschleißheim*.
- Schulz, I., Steiner, U. und Schubert, A. (2017), „Erfolgsfaktoren bei Projekten der Tiefengeothermie - Erfahrungen aus dem Bayerischen Molassebecken. Factors for the Success of Deep Geothermal Projects - Experience from the Bavarian Molasse Basin“, *Erdöl Erdgas Kohle*, 133. Jg., S. 73–79.
- Schulz, R. und Jobmann, M. (1989), *Hydrogeothermische Energiebilanz und Grundwasserhaushalt des Malmkarstes im Süddeutschen Molassebecken Teilgebiet: Hydrogeothermik: Abschlussbericht*, Hannover.
- Stier, P. und Prestel, R. (1991), *Der Malmkarst im süddeutschen Molassebecken – Ein hydrogeologischer Überblick, Hydrogeothermische Energiebilanz und Grundwasserhaushalt des Malmkarstes im süddeutschen Molassebecken: Schlussbericht Forschungsvorhaben 03E- 6240 A/B*, Munich.
- StMWIVT (2019), *Bayerischer Geothermieatlas: Hydrothermale Energiegewinnung*, Munich.
- Tondera, D., Klapperich, H., Blöcher, G., Moeck, I., Steiger, T., Bems, C. und Hild, S., „Geothermie-Forschungsprojekt "Allgäu 2.0" - Forschungsansätze, Laboruntersuchungen & Planungsschritte“, in *Tagungsband 19. Tagung für Ingenieurgeologie mit Forum für junge Ingenieurgeologen*, S. 285–293.
- Wolfgramm, M., Bartels, J., Hoffmann, F., Kittl, G., Lenz, G., Seibt, P., Schulz, R., Thomas, R. und Unger, H. (2007), „Unterhaching geothermal well doublet: structural and hydrodynamic reservoir characteristic; Bavaria (Germany)“, in EGEC - European Geothermal Energy Council (Hg.), *European Geothermal Congress, 2007-05-30, Unterhaching*, EGEC.

Silvretta Therme ISCHGL – Baugrube und Untergrundnutzung

Heiner Bertle, Rufus J. Bertle und Karoline Bertle

GEOGNOS Bertle ZT GmbH, Kronengasse 6, 6780 Schruns

Abstract:

From 2019 to 2022 the „Silvretta Therme“ in Ischgl was constructed. The building is situated on the left bottom of the Paznaun valley in a steep slope.

The underground consists of moraine and alluvial sandy gravel. The excavation slope (more than 4.300 m²) was secured with shotcrete and anchors (self drilling anchors, partially multi-strand-anchors).

Cooling and heating of the new building is widely provided by geothermal sources. More than 11 km of heating pipes (each 290m length) and 30 l/s groundwater from a new groundwater well provide approx. 1.000 kW energy.

Grundsätzliches

Die Silvrettaseilbahn AG, Ischgl, hat in den Jahren 2019 bis 2022 am Rande des Ortskernes von Ischgl im orographisch linkseitigen Hangfußbereich des Paznauns die „Silvretta Therme“ mit öffentlichem Schwimmbad und angeschlossenen Kulturbereich errichtet. Teile der Silvretta Therme werden im Winter als Eiskunstlaufbahn genutzt, die zum Teil durch das Gebäude führt. Der Gebäudekomplex der Silvretta Therme besteht aus zwei getrennten Gebäudeteilen, die durch die zwischen diesen Gebäudeteilen hindurchführende und während der Bauzeit der Therme sowie auch anschließend im Betrieb zu erhaltende Gemeindestraße des „Brandweges“ getrennt sind.



Abb.1: Fertiggestelltes Gebäude der Silvretta Therme, („Satelliten-Gebäude“ links hinten, Hauptgebäude vorne)

Für die Errichtung der beiden Gebäudeteile waren umfangreiche Baugrubensicherungsarbeiten (Gesamthöhe der Baugrube im höchsten Teil bis 29 m) erforderlich. Für die Heizung und Kühlung beider Gebäudeteile der Therme Ischgl wurde von der Bauherrschaft, Silvrettaseilbahn AG, verlangt, dass diese möglichst über regenerative Energie erfolgen soll. Daher wurde eine Grundwasserwärmepumpenanlage, die mit einem größeren Erdsonden-Feld ergänzt wurde, errichtet. Die Planung, Bemessung und Baubegleitung sowie die Ausschreibung und Abrechnungskontrolle der Baugrubensicherung und der Wärmepumpenanlage wurde von GEOGNOS Bertle ZT GmbH, Schruns, ausgeführt.

Lage, geologische Situation, Untergrunderkundung

Das Baufeld der Silvretta Therme befindet sich am Rande des Ortskernes von Ischgl im orographisch linksseitigen Hangfußbereich des Paznauns im Bereich des Weilers „Brand“. Das Baufeld ist über eine bestehende Brücke über die Trisanna erreichbar, die einerseits den Ortsteil „Brand“ erschließt und andererseits die Zufahrt zur Versorgung der Therme Ischgl im Regelbetrieb ermöglicht. Die Talebene im Bereich des Hauptgebäudes der zwischenzeitlich errichteten Therme wurde früher im Winter als Parkplatzfläche genutzt, im Sommer befand sich dort ein kleiner Teich mit einem Springbrunnen.

Sowohl im Uferbegleitweg als auch im während der Bauzeit zu erhaltenden „Brandweg“ verlaufen zahlreiche Kabel und Leitungen, insbesondere auch eine Gasleitung.

Die beiden Gebäudeteile der Therme Ischgl wurden in die steil zur Talebene abfallende unterste orographisch linksseitige Hangböschung des Paznauns eingeschnitten, sodass für jeden der beiden Gebäudeteile bis zu ca. 20 m hohe Anschnittsböschungen entstanden. Diese Anschnittsböschungen wurden über temporäre Baugrubensicherungen (geankerte Baustahlgitter-Spritzbetonschalen) gesichert.



Abb.2: Ansicht der Baugrube der Silvretta Therme, („Satelliten-Gebäude“ links hinten, Hauptgebäude vorne)

Der für die Grundwassernutzung abgeteufte Großbohrbrunnen wurde zwischen dem Haupteingang der Therme Ischgl und dem orographisch linksseitigen Bachufer der Trisanna (Bereich des früheren kleinen Sees) abgeteuft. Die Versickerung des thermisch genutzten Grundwassers erfolgt über eine am talauswärtigen Ende der Silvretta Therme situierte kombinierte Schacht-Rigol-Versickerungsanlage, über die auch (nach entsprechender Reinigung) die Vorplatzwässer der Therme Ischgl und die Dachwässer der Therme Ischgl versickert werden.

Die Erdsonden zur Heizung (und Kühlung) des Gebäudes wurden unterhalb der Bodenplatte des Hauptgebäudes, im Vorplatzbereich des Hauptgebäudes (insgesamt 27 Stück) sowie unterhalb der Bodenplatte des hangaufwärts gelegenen „Satelliten-Gebäudes“ (10 Stück) mit je ca. 295 m Laufmeter Bohrtiefe niedergebracht. Alle Erdsonden wurden mit Einzelsträngen an die Zentrale der Gebäudetechnik, die sich im hangseitigen Teil des Hauptgebäudes befindet, angebunden und können damit einzeln angesteuert werden. Es ist auch möglich (und erforderlich), das Erdwärmefeld durch Rückführung von Wärme aus der Kühlung der Gebäudeabluft bzw. aus der Kühlung des Gebäudes zu regenerieren.

Die geologischen Kartierungen des Talbodenbereiches um die Therme Ischgl kombiniert mit zahlreichen eigenen Beobachtungen aus Baugruben während der letzten 40 Jahre hat gezeigt, dass der unterste Hang des Paznauns im Bereich des Baufeldes der Therme Ischgl, d.h. von der Hangverflachung „Brand“ hinab zur schmalen Talverflachung im Talbodenbereich orographisch linksseitig der Trisanna aus gemischtkörniger bindiger gepresster Moräne, die im obersten Hangteil zum Teil von locker bis mitteldicht gelagerten Eisrandsedimenten überlagert wird, aufgebaut ist. Diese linksseitige Randmoräne verbindet sich knapp talauswärts der Silvretta Therme mit dem von der Trisanna durchbrochenen Stirnwall und den mächtigen Randwall des späteiszeitlichen Trisannagletschers, auf dem der Ortskern von Ischgl errichtet wurde. Vermutlich wurde dieser Moränenwall während des Gschnitz-Stadiums abgelagert. Er ist E-seitig durch den gleich alten Randwall des Fimbagletschers begleitet.

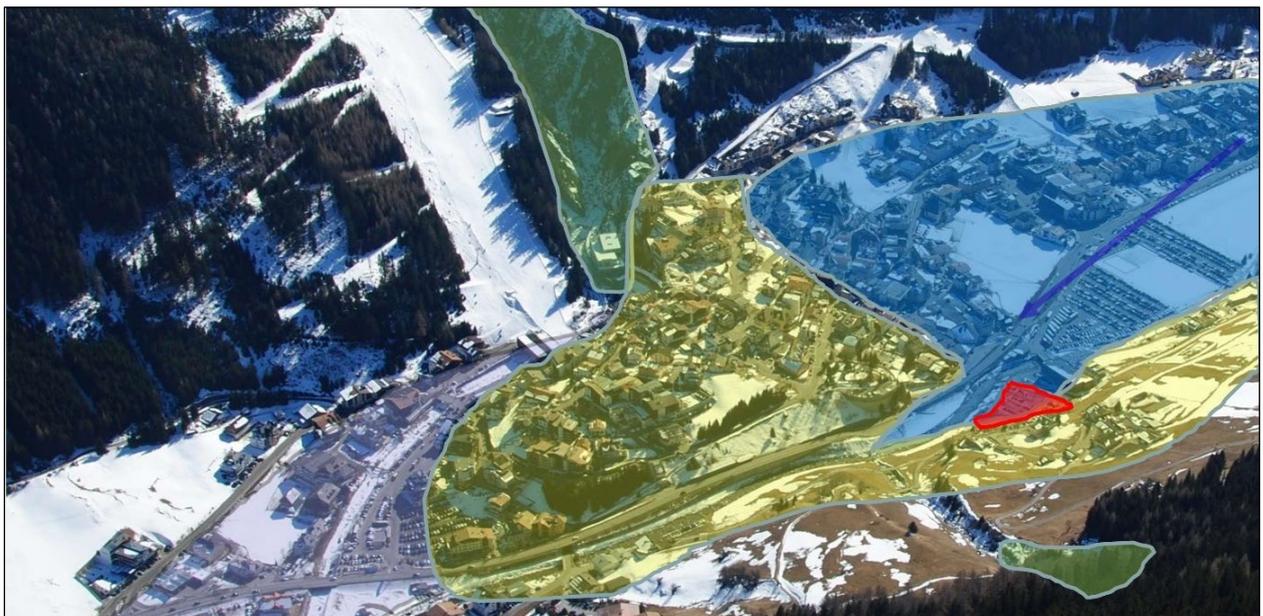


Abb.3: Foto mit geologischer Situation Talbodenbereich von Ischgl:

Blau: Talalluvionen, gelb: Moränenstand von Ischgl, grün: Felsuntergrund, rot: Baufeld „Therme“

Im größten Teil der Aufstandsfläche des Hauptgebäudes, d.h. im Bereich der bisherigen Parkplatzfläche bzw. des bestandenen Teiches wird der Untergrund durch gemischtkörnige grobe Schotter der Trisanna aufgebaut. In diese locker bis mitteldicht gelagerten sandig-steinigen Kiese sind stellenweise rollige Kies- bzw. stark bindige Sand-Schluff-Lagen eingeschaltet. Die geologische Kartierung der Felsaufschlüsse im Talbodenbereich ergänzt mit zum Teil mehrere hundert Meter entfernten bestehenden Bohrungen ließen erwarten, dass die Felssohle im Talbodenbereich des Paznauns über 60 m unter der Geländeoberfläche liegt. Dies wurde schließlich durch die ausgeführten Untergrunderkundungen sowie insbesondere durch die ausgeführten Erdsondenbohrungen (siehe unten) bestätigt. Die lokale hydrogeologische Situation ließ erwarten, dass ab ca. dem Bachniveau der Trisanna im Untergrund des Hauptgebäudes der Grundwasserstrom des Talbodenbereiches des Paznauns zu erwarten ist.

Im Rahmen einer Voraberkundung des Untergrundes wurden fünf Schurfschlitze mit einer Tiefe bis ca. 3,50m ausgehoben. Diese Schurfschlitze ließen einen – in geotechnischer Hinsicht – günstigen Untergrundaufbau erwarten und dienten der Planung, Bemessung und Ausschreibung der ausgeführten Baugrubensicherung. Ergänzend wurde – zum Teil parallel mit den Einrichtungsarbeiten zur Baugrubensicherung – vier Rotationskernbohrungen abgeteuft, von denen drei mittels Inklinometerrohren ausgebaut wurden und der Kontrolle der in den Jahren 2019 und 2020 geöffneten Baugrubensicherung dienten. Eine Bohrung (im Talbodenbereich) wurde als Grundwasserpegel ausgebaut und dient der Überwachung des im November 2019 hergestellten Großbohrbrunnens während dessen Betrieb. Von den Amtssachverständigen wurde zusätzlich im Zuge des Bewilligungsverfahrens für die Grundwasserwärmepumpenanlage drei weitere Grundwassermessstellen gefordert. Diese befinden sich einerseits im Uferbereich der Trisanna und andererseits am ortsseitigen Rand des Silvretta-Parkplatzes.

Ausgeführte Baugrubensicherung

Zur Sicherung der +/- senkrechten Baugrubenböschung der beiden Gebäudeteile der Silvretta Therme wurde eine geankerte Baustahlgitter-Spritzbetonschale eingebaut. Die bis zu ca. 20 m hohe Baugrubensicherung für das hangaufwärts gelegene Satelliten-Gebäude wurde mit einer 12,5 cm bis 20 cm starken Spritzbetonschale, die mittels IBO-Ankern der Typen R 32-280, R 38-500 und R 51-800 verankert wurde. Die max. Ankerlängen betragen 14 m. Die Stabilität dieser Spritzbetonschale wurde einerseits über eine geodätische Deformationsvermessung an im Spritzbeton befestigten Reflektoren, der geodätischen Kontrollvermessung von Reflektoren am überliegenden Gebäude bzw. der überliegenden Gartenmauer und zusätzlich durch die regelmäßige Messung des unmittelbar oberhalb der Baugrubenschale liegenden Inklinometers kontrolliert. Bei diesem Inklinometer wurden im Kopfbereich des Inklinometers bis zur kraftschlüssigen Hinterfüllung des Rohbaues im Frühjahr 2021 max. Verformungen von ca. 8 mm gemessen, wobei sich die Verformungen auf die obersten 10 m des Bohrloches beschränkten. Bei den überliegenden Gebäuden bzw. bei der überliegenden Gartenmauer wurden keinerlei Rissbildungen festgestellt.



Abb.4: Baugrubensicherung „Satelliten-Gebäude“

Die geankerte Spritzbetonschale für den Hauptgebäudeteil wurde im taleinwärtigen Teil ebenfalls mit einer Spritzbetonschale, die lediglich mit IBO-Ankern gesichert wurde ausgeführt. Im größten Teil wurde diese Spritzbetonschale jedoch mit 50 cm starke horizontalen und vertikalen Spritzbetonlisenen, in denen sich vorgespannte bis 20m lange Litzenanker befanden, ausgeführt. Die Kontrolle dieser Spritzbetonschale erfolgte ebenfalls in der Spritzbetonwand bzw. am Oberrand des Spritzbetons versetzte Reflektoren (geodätische Kontrollvermessung) sowie zusätzlich durch die regelmäßige Messung von zwei Inklinometerrohren. Auch die beiden überliegenden Gebäude wurden über dort angebrachte Reflektoren geodätisch überwacht. Bei den beiden Inklinometerrohren, die die Baugrubensicherung des Hauptgebäudes überwachten, wurde bis zur kraftschlüssigen Hinterfüllung des Gebäudes im Spätherbst 2020 max. Verformungen von ca. 8 mm gemessen, wobei sich diese Verformungen auf die obersten 10 m der Inklinometer beschränkten. Bei den geodätischen Kontrollmesspunkten der Spritzbetonschale wurden ebenfalls nur Verformungen im mm-Bereich (nahe an der Messgenauigkeit) festgestellt, bei den geodätischen Kontrollmesspunkten an den überliegenden Gebäuden wurden keine über die Messgenauigkeit hinausgehenden Verformungen beobachtet. Auch wurden keine auf die Baugrubensicherung zurückführbaren Rissbildungen beobachtet. Entscheidend für die Reduktion der gemessenen Verformungen war, dass schon knapp unter der Oberkante des Spritzbetons weit hinter die Oberfläche des Spritzbetons reichende vorgespannte Litzenanker verbaut wurden.

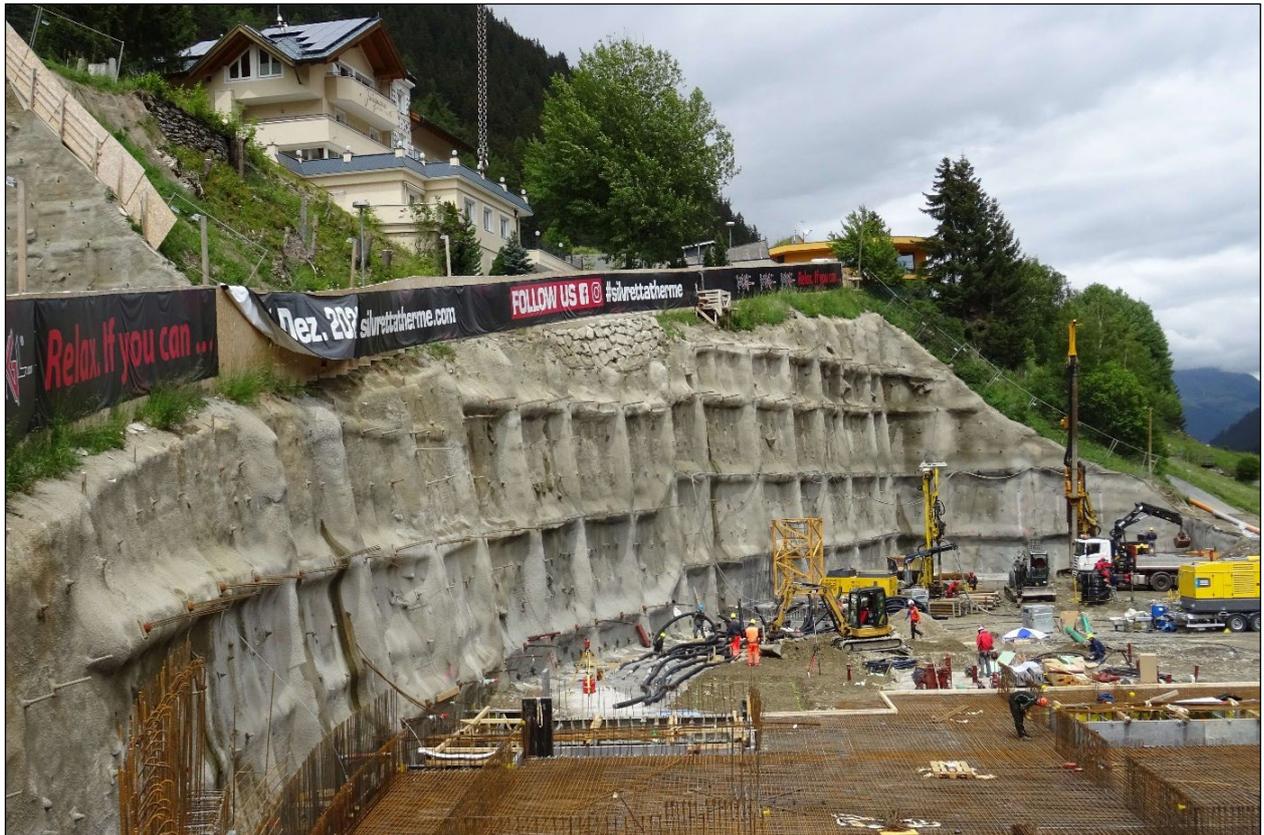


Abb.5: Baugrubensicherung „Hauptgebäude“ der Silvretta Therme

Insgesamt wies die Baugrubensicherung für die beiden Gebäudeteile der Therme Ischgl eine Ansichtsfläche von über 4.300 m² auf, insgesamt wurden ca. 11,4 km IBO-Anker sowie 104 Stück Litzenanker eingebohrt.

Ausgeführte Grundwassernutzung

Für die Versorgung der Grundwasserwärmepumpe mit einer Leistung von ca. 500 kW wurde ein Grundwasserförderbrunnen DN 900 bis in eine Tiefe von ca. 50 m unter Gelände abgeteuft. In den obersten ca. 20 m wurden hoch durchlässige sandig-steinig-blockige Kiese der Trisanna-Bachsotter erbohrt. Darunter wurde eine mehrere Meter mächtige sandig-schluffige dicht gelagerte Bodenschicht mit geringerer Wasserdurchlässigkeit durchörtert, die von einer ca. 15 m mächtigen sandig-steinig-blockigen Kiesschicht mit Findlingen und hoher Durchlässigkeit unterlagert wird. Insgesamt wurde ein ca. 40 m mächtiger Grundwasserkörper erschlossen, wobei der Brunnen als „Vollkommener Brunnen“ ausgeführt wurde, da das Brunnentiefste in eine dichte Bodenschicht (über 10 m mächtige Grundmoräne) einbindet. Nach dem Entwickeln des Brunnens wurde ein gestufter Pumpversuch durchgeführt wobei eine max. Wassermenge von ca. 45 l/s gefördert wurde. Nach dem Abstellen der Pumpen erfolgte der Wiederanstieg auf das ursprüngliche Grundwasserniveau innerhalb von ca. 10 min. Die durchgeführte Auswertung des Pumpversuches zeigt, dass der Grundwasserträger im Bereich der Therme von Ischgl eine mittlere Durchlässigkeit $k_f = 1 \times 10^{-3}$ m/s aufweist. Die durchgeführten Kontrollmessungen in den Pegeln der Therme Ischgl zeigten, dass schon wenige 10 er-Meter oberhalb des Grundwasserförderbrunnens bei einer Fördermenge von 30 l/s nur eine geringe Absenkung von max. 40 cm vorliegt. Die ausgeführten Pegelmessungen zeigen auch, dass sich der Bereich mit der max. Absenkung bei der bewilligten

Fördermenge von 30 l/s auf einen engen Bereich um den Grundwasserförderbrunnen (ca. 15 m Radius) beschränkt.



Abb.6: Geräteinsatz während Bohrarbeiten für Grundwasserbrunnen (Pfählmachine hinten)

Erdsondenanlage

Insgesamt wurden 37 Erdsonden abgeteuft davon wurden 35 mit Bohrtiefen zwischen 285 m und 299 m hergestellt. Zwei Erdsonden wurden mit Tiefen zwischen 130 m und 170 m abgeteuft, alle wurden mit einem sulfatbeständigem Verpressgut mit erhöhter Wärmeleitfähigkeit ($<2,4 \text{ W/m, K}$) verpresst. In der Regel wurden zwischen 10 t und 15 t Injektionsgut je Erdsonde benötigt. Die Bohrarbeiten wurden von der Firma HTB Baugesellschaft m.b.H., Arzl i. Pitztal, ausgeführt, in der Regel wurden zwei Bohrgeräte gleichzeitig eingesetzt.



Abb.7: *Geräteinsatz (3 Bohrergeräte, Entsandungsanlage, Kompressoren) der Bohrarbeiten für Erdsondenfeld*

An der ersten ausgeführten Erdsonde wurde ein Thermal-Response-Test durchgeführt. Darauf aufbauend wurde vom beauftragten Fachplaner, Geotechnik Lehr in Abstimmung mit GEOGNOS Bertle ZT GmbH eine Simulation über die Entwicklung der Untergrundtemperatur im Erdsondenfeld (EED-Designer) durchgeführt. Bei dieser Simulation wurde zudem berücksichtigt, dass das Erdsondenfeld insbesondere in den Sommermonaten regeneriert wird. Damit sollte eine Leistung von ca. 500 kW in der Hauptlastzeit (Winter) zur Heizung des Gebäudes bereitstellbar sein.

Eine besondere Herausforderung bei der Herstellung der Erdsondenanlage war die Behandlung der in den Bohrlöchern anfallenden Wässer. Diese wurde einer ca. 150 m taleinwärts auf der anderen Bachseite gelegenen Bohrwasserreinigungsanlage mit anschließender Versickerung in den Untergrund zugeführt. Mit dieser Variante konnte die weitgehende Verhinderung von Verschmutzungen der Trisanna erreicht werden.



Abb.8: Reinigungsanlage für Bohrwässer der Erdsondenanlage (blaue Container links)

Zusammenfassung

Auf der Grundlage der durchgeführten geologischen Geländekartierung in Verbindung mit den Beobachtungen von Baugruben, die während der letzten 40 Jahre im Nahbereich der 2019 bis 2022 ausgeführten Therme Ischgl hergestellt wurden, konnte der Aufwand für die Untergrunderkundung der Therme Ischgl auf ein Minimalmaß von vier Kernbohrungen und fünf Schurfschlitzten reduziert werden. Drei dieser vier Erkundungsbohrungen wurden mittels Inklinometerrohren, die der Kontrolle der Baugrubensicherung dienen, ausgestattet. Die Baugrubensicherung mit einer Ansichtsfläche von ca. 4.300 m² wurde vom beauftragten Fachunternehmen HTB Baugesellschaft m.b.H. in knapp 5,5 Monaten ausgeführt. Die bis zu ca. 29 m hohe Baugrube wurde beim Nebengebäude lediglich mittels IBO-Ankern ausgeführt, bei der über 180 m langen und 20 m hohen Baugrube des Hauptgebäudes wurden zusätzlich auch bis zu 20 m lange temporäre Litzanker verbaut. Die laufend durchgeführten Inklinometermessungen in Verbindungen mit den geodätischen Kontrollmessungen an den oberhalb der Baugrube situierten Gebäude zeigten, dass bei diesen Bauwerken keine durch das Öffnen der Baugrube ausgelösten Verformungen messbar waren.

Ein Großteil der Energieversorgung für die Heizung bzw. Kühlung des Gebäudes der Silvretta Therme wird über eine Grundwasserwärmepumpenanlage bzw. ein eigenes Erdsondenfeld, bestehend aus insgesamt 37 Erdsonden bereitgestellt. Der am abgeteufte Grundwasserförderbrunnen (Durchmesser 900 mm, Tiefe ca. 50 m) durchgeführte kombinierte Pumpversuch hat gezeigt, dass der Förderbrunnen in der Lage ist, über lange Zeit mind. 30 l/s zu liefern. Das ausgeführte Erdsondenfeld, bestehend aus 37 Erdsonden mit einer Regelbohrtiefe von ca. 299 m ist in der Lage, über eine Betriebsdauer von ca. 50 Jahre eine Energiemenge von ca. 500 kW bereitzustellen. Voraussetzung für diese Leistungsfähigkeit ist neben der ausgeführten Sondentiefe auch, dass das Erdsondenfeld während der Sommermonate durch Nutzung der erforderlichen Gebäudekühlung regeneriert wird.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die ausgeführte Baugrubensicherung sowie die beiden Hauptpfeiler der Energieversorgung des Gebäudes (Grundwasserförderbrunnen sowie Erdsondenanlage) innerhalb des geforderten Zeit- und Kostenrahmens errichtet wurden.

Reizthema technische Beschneigung: Notwendigkeit | Energiebedarf | Wasser | Flora und Fauna

Günther Aigner

Gasteiger Straße 9 / Top 11, A-6382 Kirchdorf in Tirol

English Abstract

The image of skiing is questionable. Is skiing something to be ashamed of? A significant part of the public criticism of skiing seems to concern technical snowmaking.

1. Necessity

The variability of the natural snowmaking season (beginning of the winter cover) is 90 to 100 days in many winter sports regions of the Eastern Alps. Technical snowmaking is indispensable for the planning reliability of modern ski resorts.

2. Energy demand

Technical snowmaking requires about 3.1 kWh per m³ of machine snow. The energy requirement per hectare of snow covered area is 23,000 kWh in so-called "premium ski resorts".

3. Water

In German-speaking countries, drinkable water is converted into snow. No additives are allowed in snow water. The water is not polluted. After the snow melts, the water returns to the local cycle. The part of the water used that evaporates is also part of the natural water cycle.

4. Influence on flora and fauna

Currently no scientific consensus is to be found on a clearly negative impact of technical snowmaking on alpine flora and fauna.

Zusammenfassung

Das Image des Skifahrens ist bedenklich. Muss man sich für das Skifahren schämen? Ein wesentlicher Teil der öffentlichen Kritik am Skifahren scheint die technische Beschneigung zu betreffen. In diesem Schriftstück werden vier Dimensionen der technischen Beschneigung beleuchtet: Notwendigkeit, Energiebedarf, Wasserumsatz sowie Einfluss auf Flora und Fauna.

1. Notwendigkeit

Die Variabilität der natürlichen Einschneizeitpunkte (Beginn der Winterdecke) beträgt in vielen Wintersportregionen der Ostalpen 90 bis 100 Tage. Durch den Klimawandel dürfte sich die Zuverlässigkeit

des Naturschnees weiter verschlechtern. Für die Planungssicherheit von modernen Skigebieten ist die technische Beschneigung unerlässlich.

2. Energiebedarf

Die technische Beschneigung benötigt circa 3,1 kWh pro m³ Maschinenschnee. Der Energiebedarf pro Hektar beschneiter Fläche liegt in sogenannten „Premiumskigebieten“ bei 23.000 kWh. Bei kleinen und mittelgroßen Skigebieten ist dieser Wert in der Regel deutlich geringer. Der Gesamtenergiebedarf für die technische Beschneigung in Österreich dürfte bei etwa 240 GWh pro Jahr liegen. 94 % der befragten Skigebiete haben einen Ökostromvertrag.

3. Wasser

In allen deutschsprachigen Ländern wird trinkbares Wasser in Schnee umgesetzt. Es sind keinerlei Zusätze ins Schneiwasser erlaubt. Das Wasser wird nicht verschmutzt. Im Vergleich zum natürlichen Wasserkreislauf in Tirol ist der Wasserbedarf für die technische Beschneigung verschwindend gering. Nach der Schneeschmelze kehrt das Wasser in den lokalen Kreislauf zurück. Auch jener Teil des eingesetzten Wassers, der verdunstet, ist Teil des natürlichen Wasserkreislaufes.

4. Einfluss auf die Flora und Fauna

Das Narrativ, dass sich die technische Beschneigung deutlich negativ auf die alpine Flora und Fauna auswirkt, scheint von unserer Gesellschaft vollständig übernommen worden zu sein. Dabei ist aktuell kein wissenschaftlicher Konsens auszumachen.

Pressespiegel: „Wo bleibt die Ski-Scham?“

Das Image des Skifahrens ist bedenklich. Muss man sich für das Skifahren schämen? Eine kurze Presseschau mit Beiträgen von Deutschlandfunk Kultur, vom Bayerischen Rundfunk und von der FAZ zeigt ein Bild der aktuellen Stimmungslage.

Wintersport

Wo bleibt die Ski-Scham?



Wie lange es solche Bilder noch geben wird, fragt sich der Journalist Uwe Bork. Für ihn ist herkömmlicher Wintersport ein Auslaufmodell. © imago / Marius Schwarz

04:20 Minuten

Ein Standpunkt von Uwe Bork - 27.12.2019



↓ Audio herunterladen

Immer mehr Skitouristen bei immer weniger Schnee? Für den Journalisten Uwe Bork ist Skifahren in den Alpen angesichts des Klimawandels nicht mehr zeitgemäß. Doch noch setzen die betroffenen Regionen auf künstliche Schneeparadiese – auf Kosten der Umwelt.

Abb. 1: „Wo bleibt die Ski-Scham?“ Deutschlandfunk Kultur. (01)

BR²⁴ Bayern Coronavirus Das war 2021 #Faktenfuchs Sport Wissen Wirtschaft Kultur Netzwelt

16.12.2020, 14:21 Uhr

Darf man noch Ski fahren?

Geröll statt Gletscher, Schotter statt Schnee. Winter gibt's bald keine mehr bei uns, auch nicht in den Bergen: Das sagen uns zumindest die Klimaforscher. Wenn man trotzdem noch Ski fahren will, macht man sich da nicht schuldig?

Von Bernd Oswald

Der [Start in die Skisaison](#) hat in [mehreren bayerischen Skigebieten](#) begonnen. Während in diesem Jahr die Skisaison pünktlich startete, konnten im vergangenen Jahr die Skipisten erst deutlich verspätet befahren werden. Dies lag an zu hohen Temperaturen, außerdem war die Schneedecke zu gering. Grund für diese Unterschiede sind die Durchschnittstemperaturen, die von Jahr zu Jahr schwanken.

Über die letzten Jahrzehnte ist der Trend eindeutig zu beobachten: Es wird wärmer, die Schneemenge nimmt ab. Wenn es weniger Naturschnee gibt, müssen die Skigebiete mit Kunstschnee nachhelfen. Der [Klimawandel](#) wirkt sich also auf das Skifahren aus. Aber welchen Einfluss hat das Skifahren auf den Klimawandel?

Abb. 2: „Darf man noch Ski fahren?“ Bayerischer Rundfunk. (02)

WINTERSPORT

Ist Skifahren noch zeitgemäß?

VON ANDREAS LESTI - AKTUALISIERT AM 15.12.2019 - 15:03



In den Alpen beginnt die Wintersaison mit den üblichen Superlativen. Doch zwischen all den Liften, Pisten und Schneekanonen taucht immer öfter die Frage auf, ob der Wintersport überhaupt eine Zukunft hat.

Abb. 3: „Ist Skifahren noch zeitgemäß?“ FAZ (03)

Besonders interessant ist das Zitat aus dem Artikel in der FAZ von Andreas Lesti:

„Aber die Frage, ob es grundsätzlich falsch sein könnte Ski zu fahren und ob man diese schönste und eleganteste aller Sportarten besser bleiben lassen sollte, die hat man sich nicht gestellt. Bis jetzt.“

Muss man sich für das Skifahren schämen? Soll man es als gewissenhafter Bürger lieber bleiben lassen? Ein wesentlicher Teil der öffentlichen Kritik am Skifahren scheint die technische Beschneigung zu betreffen. Dieser Beitrag zum Geoforum Umhausen soll daher vier Dimensionen der technischen Beschneigung beleuchten: Notwendigkeit, Energiebedarf, Wasserumsatz sowie Einfluss auf Flora und Fauna.

Technische Beschneigung



Abb. 4: Eine Propellermaschine („Schneekanone“) bei der Arbeit. Foto: walchhofer.at

Notwendigkeit

Egal wie schneereich eine Wintersportregion ist: Ohne technische Beschneigung fehlt die heute unbedingt nötige Planungssicherheit. Denn nicht nur der Schnee(fall) hat sich verändert, sondern auch die Ansprüche unserer Gesellschaft. Konnte man in den 1980er-Jahren offenbar noch auf den Schnee warten, so wird dies heute vom Markt nicht mehr toleriert. Hinweise für die Stichhaltigkeit dieser Einschätzungen geben die Zahlen der Seilbahnwirtschaft: Die gut ausgestatteten, aber teuren Skigebiete funktionieren. Die naturnahen Skigebiete, welche nicht mehr am Stand der Technik sind, haben wirtschaftliche Probleme.

Die Notwendigkeit der technischen Beschneigung liegt einerseits im schlechter werdenden Naturschneedargebot durch die aktuelle Klimaerwärmung begründet, andererseits in der seit jeher hohen Variabilität der Einschneizeitpunkte. Im Osten beträgt diese Variabilität häufig etwa 90 bis 100 Tage – also 3 Monate oder mehr. Anbei Schneedaten aus Lech am Arlberg, welche eine Variabilität des Beginns der Winterdecke von 92 Tagen zeigen.

Beginn der natürlichen Winterschneedecke in Lech am Arlberg (1.470 m)

84 Jahre: 1939/40 bis 2022/23

Abstand in Tagen zum 15. November. Daten: Amt der Vorarlberger Landesregierung (Hydrogr. Dienst)

Grün: Gleitendes 5-jähriges Mittel. Schwarz: Trendlinie

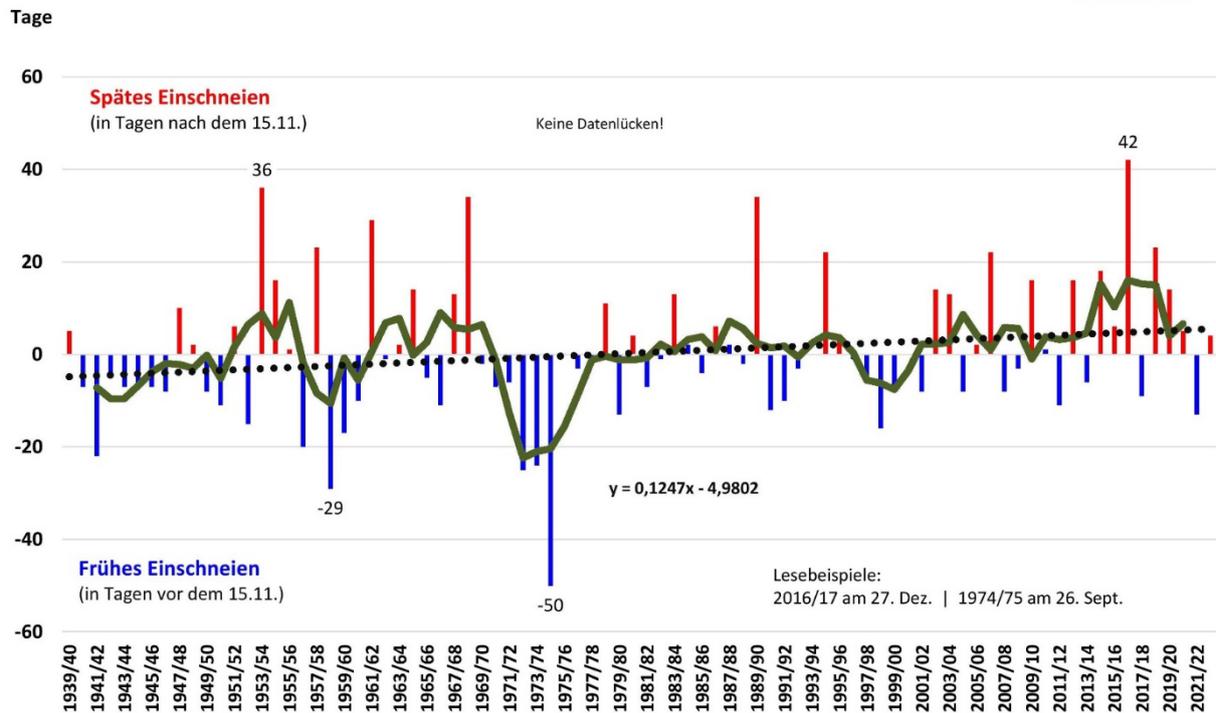


Abb. 5: Der Beginn der Winterdecke in Lech am Arlberg. Daten: Amt der Vorarlberger Landesregierung (Hydrographischer Dienst).

Energiebedarf

In Österreich sind rund 30.000 Schneeerzeuger (= Propellermaschinen und Lanzen) im Einsatz. Das Verhältnis hält sich die Waage – mit etwa 50 % Propellermaschinen (klassische „Schneekanonen“) und 50 % Lanzen (Schneilanzen). Der durchschnittliche Stundenenergiebedarf eines Schneeerzeugers beträgt 13 kWh – dabei setzt die Propellermaschine deutlich mehr Energie um als die Schneilanze (08).

Bei genauer Betrachtung ist der Energieumsatz am Schneeerzeuger allerdings nicht der wesentliche Faktor, wird doch der Großteil der Energie von der vorgelagerten Beschneiungsinfrastruktur umgesetzt: Pumpen, Kompressoranlagen, Kühlanlagen etc. (08).

In der ganzheitlichen Betrachtung liegt der Energiebedarf pro m³ erzeugtem Schnee bei rund 3,1 kWh. Der Energiebedarf pro Hektar beschneiter Fläche liegt in sogenannten „Premiumskigebieten“ bei 23.000 kWh. Bei kleinen und mittelgroßen Skigebieten ist dieser Wert in der Regel deutlich geringer (08).

In der öffentlichen Diskussion dürfte die durchschnittliche Einsatzdauer eines Schneeerzeugers überschätzt werden: Diese liegt bei etwa 160 Stunden pro Skisaison. Das entspricht in etwa einer Woche. Mit anderen

Worten: Ein durchschnittlicher Schneeeerzeuger steht etwa 51 Wochen im Jahr still. 94 % der befragten Skigebiete haben einen Ökostromvertrag (08).

Der österreichweite Gesamtenergiebedarf für die technische Beschneigung pro Saison dürfte bei etwa 240 GWh liegen (08). Dieser Wert ist deutlich geringer als jener, der in der Öffentlichkeit diskutiert wird: zwischen 355 und 950 GWh (12, S. 115). **Die öffentliche Diskussion basiert auf stark überhöhten Annahmen.**

Die technische Beschneigung verbraucht also weniger elektrische Energie, als die Öffentlichkeit vermutet. Aber der Energiebedarf ist erheblich. Der Skitourismus wird von der Gesellschaft sehr kritisch beäugt. Er muss energiesparender werden und zugleich mehr Strom als bisher vor Ort produzieren. Meine Vision lautet: „Lasst uns den Skitourismus zu einem engagierten Partner einer vernünftigen Energiewende machen!“

Wasser

Das größte Missverständnis bei der technischen Beschneigung beginnt bereits beim häufig gebrauchten Terminus „Kunstschnee“. Dieser suggeriert eine „Künstlichkeit“ des Schnees und befeuert Vorstellungen von (chemischen) Zusätzen im Schneiwasser. Dabei wird in allen deutschsprachigen Ländern trinkbares Wasser in Schnee umgesetzt. Es sind keinerlei Zusätze ins Schneiwasser erlaubt. „Technisch erzeugter Schnee“ oder „Maschinenschnee“ („Man made snow“) sind daher dem Wort „Kunstschnee“ unbedingt vorzuziehen.

Der häufige Hinweis auf den enormen Wasserverbrauch der technischen Beschneigung ist irreführend. Das Wasser wird nicht verbraucht, sondern gebraucht. Es wird – meist während Wasserüberschusszeiten – aus lokalen Gewässern entnommen und in Speicherseen gepumpt. Diese Seen werden aus Gründen der Energieeffizienz (geodätischer Druck) und der natürlichen Kühlung möglichst hoch im Gelände situiert. Die Pumpleistung zu ihrer Befüllung wird nach Möglichkeit in Energieüberschusszeiten abgerufen.

Im Winter wird das Wasser in Form von Schnee auf die Pisten aufgetragen, wo es zwischengespeichert bleibt. Im Frühling schmilzt der Schnee und das Wasser kehrt in den natürlichen Kreislauf zurück – auch jenes Wasser, das verdunstet und somit zur Erhöhung der Luftfeuchtigkeit in der Atmosphäre beiträgt bzw. anderswo als Niederschlag wieder auf die Erdoberfläche zurückkehrt. Es ist essenziell, zu verstehen, dass das Wasser nicht verbraucht wird, sondern dem natürlichen Wasserkreislauf erhalten bleibt – so wie der Naturschnee.

Beispiel 1: Natürlicher Wasserkreislauf – Salzkammergut

Es scheint, dass die Dimensionen des natürlichen Wasserkreislaufs in der Bevölkerung unterschätzt werden. Man bedenke zum Beispiel die enorme Menge an Wasser, welche an einem einzigen sonnigen Sommertag einem See durch Verdunstung entzogen wird. Hier eine erstaunliche Rechnung zur Verdunstung in den 5 größten Seen des Salzkammergutes:

Attersee	46 km ²
Traunsee	24 km ²
Mondsee	14 km ²
Wolfgangsee	13 km ²
Hallstätter See	9 km ²
Fläche gesamt:	106 km ²

Geschätzte Tagesverdunstung an einem Sommertag:(13)

5 mm oder 530.000 m³ Wasser. Das heißt, dass allein diese 5 Seen an einem einzigen Sommertag nur durch Verdunstung 530 Millionen Liter Wasser an die Atmosphäre abgeben.

Geschätzte Jahresverdunstung: (13)

600 mm oder 63,6 Millionen m³

Das heißt, dass allein diese 5 Seen in einem Jahr nur durch Verdunstung 64 Milliarden Liter Wasser verlieren. Diese Verdunstung findet an allen österreichischen Wasseroberflächen statt – mit beachtlichen Wassermengen.

Der Wasserbedarf für die technische Beschneigung in Österreich liegt bei etwa 35 Millionen m³ pro Jahr (08).

Beispiel 2: Natürlicher Wasserkreislauf – Skigebiet Steinplatte (Waidring / Tirol)

Die Gemeinde Waidring in Tirol hat eine Fläche von 63,7 km². Sie ist durch ihre Nordstaulage sehr niederschlagsreich. Wir können von einem mittleren Gebietsniederschlag von etwa 1.800 mm pro Jahr ausgehen, wenn man die Hochlagen der Loferer Steinberge und der Steinplatte berücksichtigt (05) (06).

Das ergibt einen Jahresniederschlag von (gerundet) 115 Millionen m³. Die Speicherteiche im Skigebiet Steinplatte haben insgesamt ein Volumen von 199.000 m³ (07).

Anders ausgedrückt:

- Der Wasserbedarf des Skigebietes Waidring/Steinplatte beträgt 0,17 Prozent des jährlichen Niederschlages.
- Der Jahresniederschlag könnte die Speicherteiche 578-mal befüllen.
- Mit dem Jahresniederschlag von Waidring könnte man das Skigebiet 578 Jahre lang beschneien.
- Für eine einmalige Befüllung der Speicherteiche ist ein Niederschlagsereignis mit 3,1 mm Niederschlagshöhe (= Liter pro Quadratmeter) auf das Einzugsgebiet von Waidring notwendig.
- Die Speicherteiche werden einmal pro Jahr gefüllt – im späten Frühling. In einzelnen Jahren muss während des Winters geringfügig nachgepumpt werden.



Abb. 6: „Mondlandschaften“ im Sommer? Die Flora auf einem der meist beschneiten und frequentierten Pistenabschnitte Österreichs, am Schlegelkopfhang in Lech am Arlberg. © Skilifte Lech, Michael Manhart

Einfluss auf Flora und Fauna

Das Narrativ, dass sich die technische Beschneigung – die im Endeffekt einer „Bewässerung“ der Pistenflächen gleicht – deutlich negativ auf die alpine Flora und Fauna auswirkt, scheint von unserer Gesellschaft vollständig übernommen worden zu sein. Dabei ist aktuell kein diesbezüglicher wissenschaftlicher Konsens auszumachen, wenngleich es etliche Studien gibt, welche teils entwarnende Aussagen beinhalten.

So schreibt der Ökologe Helmut Wittmann zum praktisch nicht nachweisbaren Einfluss der technischen Beschneigung auf die alpine Vegetation (09, S. 7f, S. 65f.): „Der Einfluss des ‚Pistenregimes‘, insbesondere durch künstliche Beschneigung und regelmäßige Präparierung, ist im Hinblick auf die untersuchten Organismengruppen und Vegetationseinheiten gering. Nach derzeitigem Erkenntnisstand dominiert der

Einfluss des Dünge- und Mähregimes derart, dass nicht sichergestellt ist, ob sich Faktoren wie künstliche Beschneidung und Präparierung mit den verwendeten Methoden überhaupt indizieren lassen.“

Es folgen sehr wichtige Erkenntnisse für Skigebietsbetreiber: „Entscheidend für den ökologischen und naturschutzfachlichen Wert einer Skipiste ist die Form der landwirtschaftlichen Nutzung bzw. die Pistenpflege.“ Eine extensive landwirtschaftliche Nutzung der Bergwiesen mit geringer bzw. fehlender Düngung und nur einmaliger Mahd (zu einem relativ späten Mähzeitpunkt) begünstigt das Auftreten von wertgebenden Vegetationseinheiten und Tierarten.

Die Skiliftbetreiber in Zell am See und in Lech am Arlberg haben von unabhängigen Instituten Studien zur Vegetation auf und neben ihren Pisten (an beschneiten wie unbeschneiten Pistenabschnitten) durchführen lassen. Die Ergebnisse sind überraschend. Pröbstl (10, S. 48) schreibt zur Auswirkung der technischen Beschneidung auf die Vegetation in Lech am Arlberg: „Es zeigte sich, dass die Vegetation durch die Beschneidung über inzwischen mehr als 30 Jahre zu keinen negativen Auswirkungen geführt hat. Es ließen sich keine Unterschiede zwischen beschneiten und unbeschneiten Räumen nachweisen.“ Bezogen auf die Tierwelt sei der Zustand der Skipisten im Spätwinter relevant: „Unter der Voraussetzung, dass keine Verlängerung (der Skisaison, Anm.) im Spätwinter eintritt, ist auch hier nicht mit negativen Auswirkungen zu rechnen.“

Aber es gibt zu wenige Seilbahnbetriebe, die sich gegen den Zeitgeist der ungerechtfertigten Vorurteile auflehnen. Dazu schreibt Pröbstl (09, S. 8f.): „Auch andere Seilbahnen sind aufgefordert, an dieser ‚Richtigstellung‘ durch eigene Aufnahmen mitzuwirken.“ Sie hält fest: „Das weit verbreitete Vorurteil lebensfeindlicher Pisten ist überholt.“

Quellen

(1) DEUTSCHLANDFUNK Kultur (2019): Wintersport. Wo bleibt die Ski-Scham? Ein Standpunkt von Uwe Bork. Kommentar / Podcast vom 27. Dezember 2019. Letzter Zugriff am 12. April 2023. Link: <https://www.deutschlandfunkkultur.de/wintersport-wo-bleibt-die-ski-scham-100.html>

(2) BAYERISCHER RUNDFUNK (2020): Darf man noch Ski fahren? Artikel von Bernd Oswald vom 16. Dezember 2020. Letzter Zugriff am 12. April 2023. Link: <https://www.br.de/nachrichten/bayern/faktenfuchs-wie-klimaschaedlich-ist-eigentlich-skifahren,RC0NgkF>

(3) FRANKFURTER ALLGEMEINE ZEITUNG (2019): Ist Skifahren noch zeitgemäß? Artikel von Andreas Lesti vom 15. Dezember 2019. Letzter Zugriff am 12. April 2023. Link: <https://www.faz.net/aktuell/reise/klimawandel-hat-der-wintersport-noch-eine-zukunft-16534026.html>

(4) Die Schneedaten von Lech werden vom Amt der Vorarlberger Landesregierung (Hydrographischer Dienst) erhoben und können dort abgefragt werden – jene von Kirchberg in Tirol vom Amt der Tiroler Landesregierung (Hydrographischer Dienst). ZUKUNFT SKISPORT hat unzählige Schneemessreihen von

Wintersportregionen in den Ostalpen untersucht. Eine Variabilität der Einschneizeitpunkte von 90 bis 100 Tagen ist weitverbreitet.

(5) Wikipedia-Artikel „Klima in Österreich“. Letzter Zugriff: 12. April 2023. Die eingebettete Grafik der ZAMG (Spartacus) zeigt Jahressummen des Niederschlages von mehr als 2.000 mm in den Loferer Steinbergen und im Bereich der Steinplatte. Direkter Link zur Grafik:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f2/Rr-ann_zamg.png

(6) Messungen durch den Hydrographischen Dienst Tirol in Waidring. In den Hochlagen, z. B. in den Loferer Steinbergen, gibt es keine Niederschlagsmessungen. Schätzung gemeinsam mit HR Dr. Wolfgang Gattermayr.

(7) Daten zu den Speicherseen: Steinplatten Aufschließungs GmbH (Familie Brandtner).

(8) Zum Energieumsatz der technischen Beschneigung läuft gerade eine Umfrage von ZUKUNFT SKISPORT unter Seilbahnbetrieben in Salzburg, Vorarlberg und Südtirol. Die hier gelegten Zahlen sind Ergebnisse und Hochrechnungen aus diesem umfangreichen Datensatz. Die Recherchen sind aktuell noch unveröffentlicht.

(9) Wittmann, H. et al. (2019): Ökologisches Pistenmanagement. Zur Biodiversität von Skipisten auf der Schmittenhöhe. RUPERTUS Verlag, Goldegg.

(10) Pröbstl, U. (2010): Fachgutachten zum Beschneibungsbeginn und den Auswirkungen eines langjährigen Skipistenbetriebes. Im Auftrag der Skilifte Lech am Arlberg.

(11) Die Fotoaufnahmen der Vegetation auf den Skipisten von Lech am Arlberg: © Michael Manhart

(12) Pröbstl-Haider, U., Lund-Durlacher, D., Olefs, M., Pretenthaler, F. (Hrsg.) (2020): Tourismus und Klimawandel. Österreichischer Special Report Tourismus und Klimawandel (SR 19), Springer Verlag Berlin, Heidelberg, S. 116. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-61522-5>

(13) Inhalte in Zusammenarbeit mit dem in Oberösterreich aufgewachsenen Meteorologen und Hydrologen HR Dr. Wolfgang Gattermayr, dem langjährigen Leiter des Hydrographischen Dienstes Tirol.

(14) Die ZEIT vom 24. Jänner 2015: Skifahren im grünen Bereich. Artikel von Jakob Schrenk. Letzter Zugriff am 19.04. https://www.zeit.de/reisen/2015-01/skifahren-oekologie-schneekanonen-tourismus?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F

Kontaktdaten:

ZUKUNFT SKISPORT

Consulting | Research | Marketing | Lecturer

Günther Aigner

Alfons-Walde-Weg 6

A-6372 Oberndorf in Tirol

Mail to: g.aigner@zukunft-skisport.at

Mobil: +43 676 5707136

Danksagung Geoforum 2023:

Unser besonderer Dank gilt Frau Landesrätin Astrid Mair, BA Ma, die das Geoforum Umhausen sehr unterstützt und mit ihrer Wertschätzung für die Tagung wesentlich zu deren erfolgreichen Ablauf beiträgt.

Seit der ersten Tagung Geoforum Umhausen im Jahr 1999 ist die Gemeinde Umhausen ein unverzichtbarer Partner des Geoforums. Dem Bürgermeister der Gemeinde Umhausen, Herrn Landtagsabgeordneten und Klubobmann Mag. Jakob Wolf möchten wir dafür sehr Danke sagen.

Die Unterstützung der Gemeinde zeigt sich dankenswerter Weise auch in der mit großem Engagement ausgeführten Mitarbeit durch Frau Lisa Falkner und andere Mitarbeiter der Gemeinde.

Ich möchte auch dem Organisationsteam – allen voran und ganz besonders und Herrn Mag. Wolfram Mostler, Frau Denise Braunhofer, MSc (beide ig-m), sowie Frau Mag. Petra Nittel-Gärtner (Landesgeologie) sehr für ihr großes und unverzichtbares Engagement Danke sagen. Weiters gilt mein Dank Herrn Mag. Thomas Figl und seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Landesgeologie.

Ohne dieses kleine, aber dafür umso tatkräftigere Team wäre die Organisation der Tagung nicht möglich.

Weiters möchte ich ganz besonders Herrn Manfred Scheiber /Vorstand Raiffeisenbank Vorderes Ötztal für die hervorragende Ausgestaltung des Werbeplakats für den heurigen Öffentlichen Abendvortrag danken.

*HR Dr. Gunther Heißel
(Präsident Verein Geoforum Tirol)*



projekt-partner

QUALITÄTSSICHERUNG
RECYCLINGBAUSTOFFE

koordination mediation kommunikation

B. NAGELE



Baugesellschaft m.b.H.



25. GEOFORUM UMHAUSEN

19. – 20. Oktober 2023



Bergsturz am Fluchthorn 2023
©Landesgeologie Tirol

VERANSTALTUNG
im
Tagungssaal Niederthai
mit
öffentlichem
Abendvortrag



Donnerstag	19.10.2023		
Zeit	Vortragende	Institution	Thema
07:30 - 09:00	Registrierung im Feuerwehrgebäude Niederthai		
ERÖFFNUNG			
09:00 - 10:00	Dr. Gunther Heißel	Präsident des Geoforum Umhausen	25 Jahre Geoforum Umhausen
	Landesrätin Astrid Mair, BA MA (Sicherheit, ArbeitnehmerInnen, Generationen, Zivil- und Katastrophenschutz) und LA Klubobmann Bgm. Mag. Jakob Wolf		
10:00 - 10:30	SURBECK Heinz WERTHMÜLLER Simon	Nucfilm; Cordast, Schweiz	Goldgrube Deponie?
10:30 - 10:45	FIGL Thomas	ATLR, FB Landesgeologie	Kurzpräsentation zum Bergsturz am Fluchthorn
10:45 - 11:00	ENGLMEIER Benedikt GEILER Thomas	ATLR, Abt. Leitstellenwesen und Landeswarnzentrale	Drohneinsatz im Landesdienst – Lagerhebung von Naturgefahrenprozessen und weitere Unterstützungsleistungen
11:00 - 11:30	PAUSE	PAUSE	PAUSE
11:30 - 12:00	BRAUNHOFER Denise	Ingenieurgeologie Mostler, ig.m; Innsbruck	Wasser aus dem Berg – Trinkwasserversorgung aus der Mieminger Kette am Beispiel Stötzelbach
12:00 - 12:30	SUNDL-BAUER Karin	ASTLR, A15 – Energie, Wohnbau, Technik, Referat Gewässeraufsicht und Gewässerschutz	PFAS-Kontamination in der Steiermark
12:30 - 13:00	BURGER Ulrich HOFMANN Matthias ORSI Georg	Brenner Basistunnel BBT SE	Erfahrungen aus hydrogeologischer Sicht beim Vortrieb des Erkundungsstollens des Brenner Basistunnel in der Hochstegenzone
	MAURER Christof	ILF Consulting Engineers Austria GMBH	
13:00 - 14:45	MITTAGSPAUSE	MITTAGSPAUSE	MITTAGSPAUSE
14:45 - 15:15	GOLLMITZER Erich	Bezirksforstinspektion Lienz	Der Objekt-SCHUTZWALD in Osttirol – „Hart geprüft durch die Natur“ Strategien und Wege zum Wiederaufbau der Schutzwälder in Osttirol
15:15 - 15:45	ETTENHUBER Regina KRAUTBLATTER Michael	Südbayerisches Portland-Zementwerk, Rohrdorf TU München	Erkenntnisse aus einem 20-jährigen Monitoring der Kalk-Mergel- Wechselfolge am Hornbergl in Tirol, TU München
15:45 - 16:00	PAUSE	PAUSE	PAUSE
16:00 - 16:30	MOSER Günter	MJP-Ziviltechniker, Gmunden	Blocksturz Steyr/Christkindl, ein Ereignis mit tödlichen Folgen
16:30 - 17:00	BRAUNSTINGL Rainer	ASLR, Landesgeologie Salzburg	Einige ungewöhnliche Rutschungen in Salzburg – mit und ohne Klimawandel

19:00 ÖFFENTLICHER ABENDVORTRAG
im Tagungssaal Feuerwehrgebäude Niederthai

„Die Geschichte der Flurbewässerung in Nordtirol“

Burghard Fiechtner, Werner Holzner, Peter Zaderer

anschließend ABENDEMPFANG des Bürgermeisters von Umhausen

im Hotel Falknerhof

Freitag	20.10.2023		25. GEOFORUM UMHAUSEN
Zeit	Vortragende	Institution	Thema
08:00 - 09:00	Registrierung		im Feuerwehrgebäude Niederthai
09:00 - 09:30	ROTHMUND Samuel BAUER Walter	AVLR, Landesgeologie Vorarlberg	Hangrutsch Hörbranz-Hochreute
9:30 - 10:00	LENTSCH David	Stadtwerke München	Tiefengeothermie im süddeutschen Molassebecken – Bohrtechnische Entwicklungen
10:00 - 10:30	PAUSE	PAUSE	PAUSE
10:30 - 11:00	BERTLE Heiner/Rufus/Karoline	Büro Geognos Bertle, Schruns	Silvrettatherme ISCHGL – Baugrube und Untergrundnutzung
11:00 - 11:30	AIGNER Günther	ZUKUNFT SKISPORT – research & consulting	Reizthema Technische Beschneigung: Notwendigkeit, Energiebedarf, Wasserumsatz, Einfluss auf Flora und Fauna

TAGUNGSSAAL NIEDERTHAI
(Feuerwehrgebäude)

Anfahrt siehe Homepage

INFORMATIONEN und KONTAKT:

www.geoforum-umhausen.at

info@geoforum-umhausen.at



Tagungshotel:



FALKNERHOF

6441 Umhausen - Niederthai

Tel.: +43 5255 / 55 88

Fax.: +43 5255 / 55 88 47

E-Mail.: info@falknerhof.com