

# 18. Geoforum Umhausen 20. – 21. Oktober 2016



**Geoforum**  
**Tirol**

„Wattental“

© Landesgeologie Tirol

**TAGUNGSBAND**

## Grußworte von Landeshauptmann-Stellvertreter ÖR Josef Geisler

Sehr geehrte Tagungsteilnehmer, Referenten und Organisatoren,  
meine Damen und Herren!

Das Land Tirol ist heuer zwar von ganz großen Naturereignissen und damit einhergehenden großflächigen Verheerungen verschont geblieben, aber die in den ersten 10 Monaten entstandenen Schäden sind trotzdem erschreckend hoch. Dass weder Verletzte und Tote zu beklagen sind, ist ein glücklicher Umstand, der als solcher nicht hoch genug eingeschätzt werden kann.

Die Naturereignisse laufen vor allem in Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen und den geologischen Gegebenheiten ab. Aber auch der Bewuchs spielt beispielsweise eine entscheidende Rolle, ebenso wie die Entsorgung der Niederschlagswässer von Straßen, Wegen, Dächern u. a. m. durch Versickerungen oder durch die Einleitung in die Bachläufe und Flüsse.

Den Problemen, die sich durch die ablaufenden Naturprozesse mehr und mehr für den Siedlungsraum unserer Täler und für die zunehmend für die Freizeitaktivitäten der Menschen in Anspruch genommenen gebirgigen Regionen Tirols auf tun, kann somit nur interdisziplinär und in Teamarbeit wirksam entgegengetreten werden. Diesen Zielen hat sich auch das Geoforum Umhausen seit seiner ersten Tagung 1999 mit großem Erfolg verschrieben.

Die gesamtheitliche Denkweise kommt auch bei den anderen heuer im Programm stehenden Themen zur Geltung. Wichtige Verkehrs- und Freizeitprojekte vom Brenner Basistunnel bis zum Vorhaben, den Patscherkofel durch eine neue Seilbahnanlage für die Bevölkerung des Großraums Innsbruck attraktiv zu erhalten, finden sich ebenso wie wichtige Beiträge zur effizienten Nutzung der Geothermie in Tirol, zu den zu erwartenden Klimatrends im alpinen Raum, zu den wichtigen hydrogeologischen Untersuchungen nicht zuletzt im Hinblick auf die zu erwartenden Klimaänderungen ebenso wie zu den Gründungsproblemen in den von Gipskarst betroffenen Siedlungsräumen in Tirol.

Dieser weite Themenbogen wird noch ergänzt durch den Erfahrungsbericht eines unserer Tiroler Landesgeologen, der im Auftrag der EU in Mazedonien den dortigen Behörden kurzfristig und vorübergehend als Experte in Sachen Naturgefahren zur Verfügung gestellt werden konnte, was ich für ihn und unsere Landesgeologie, aber auch insgesamt für Tirol als große Anerkennung ansehe.

Als das für den Katastrophenschutz zuständige Mitglied der Tiroler Landesregierung sehe ich, dass das Geoforum Umhausen auch heuer wieder einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung der Probleme im immer komplexer und vernetzter werdenden alpinen Lebensraum leistet. Das Konzept der Tagung - interdisziplinär und mit Beteiligung von Fachleuten aus Forschung und Praxis, sowie aus dem In- und aus dem Ausland - Erfahrungen und Expertenwissen auszutauschen und zu diskutieren halte ich für besonders zielführend. Ich freue mich daher sehr, dass das Geoforum in Umhausen nunmehr zum 18. Mal stattfinden kann.

Ich darf nun dieses 18. Geoforum Umhausen eröffnen. Ich wünsche Ihnen, meine sehr geehrten Damen und Herren eine spannende und abwechslungsreiche Tagung und möchte mich sehr bei den Initiatoren des Geoforums und bei der kleinen Gruppe der Organisatoren dieser Tagung für ihr großes Engagement bedanken. Ich freue mich auf ein Wiedersehen beim 19. Geoforum Umhausen 2017.

ÖR Josef Geisler  
(Landeshauptmann-Stellvertreter von Tirol)



## Grußworte 2016 von LA Klubobmann Bgm. Mag. Jakob Wolf

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

Zum 18. Mal kann ich als Bürgermeister und Mitbegründer des Geoforums meine Gemeinde Umhausen als Tagungsort zur Verfügung stellen. Ich tue dies in der Gewissheit, eine der hochkarätigsten Fachtagungen in Tirol an unseren schönen Ort gebunden zu haben, was letztlich auch den Bekanntheitsgrad von Umhausen fördert und daher auch aus dieser Sicht gut für uns ist.



Jede der bisherigen Geoforum-Umhausen-Tagungen hat wertvolle Impulse aus fachlicher Sicht erbracht, die für die Bevölkerung des Alpenraumes von Nutzen ist: So sehen wir heute die Problematik der Radonführung in Umhausen deutlich positiver, als 1999. Wir lernen - nicht zuletzt durch die Geoforum-Umhausen Tagungen - die Effizienz der Nutzung der Geothermie zu steigern. Auch wird uns in vielfältiger Weise vermittelt, wie wir mit den Naturgefahren besser umgehen sollen, um unsere Verkehrswege, den Siedlungsraum der Täler und den Freizeitraum im alpinen Gelände gegen Schadensereignisse der Natur immer besser zu schützen. Freilich muss uns dabei klar sein, dass der Schutz vor Steinschlag, Hangrutschungen und Muren nie ein vollständiger sein wird, aber auch diese Erkenntnis wurde uns durch die Fachtagungen des Geoforums Umhausen stets klar vor Augen geführt.

Die Betrachtung des heurigen Tagungsprogramms zeigt, dass das 18. Geoforum 2016 nahtlos in seiner Qualität und Aussagekraft an die Tagungen der vergangenen Jahre anknüpfen kann. Die Themenvielfalt der Tagung 2016 ist einmalig, und ich bin mir sicher, dass auch die heurigen Vortragenden, aus allen Teilen Österreichs, sowie aus der Schweiz kommend, wieder von hochkarätigem Format sind. Universitäre Forschung mischt sich mit den reichen Erfahrungen der Fachleute, die aus der Praxis kommen. So erhalten die Expertinnen und Experten der unterschiedlichsten Fachbereiche auch heuer wieder die Gelegenheit in Umhausen ihr Wissen zu vermitteln und auszutauschen. Ich darf den Organisatoren für dieses reichhaltige Tagungsprogramm sehr danken.

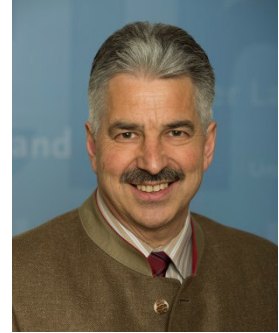
Natürlich freut es mich als Bürgermeister der Gastgemeinde außerordentlich, dass die Bevölkerung von Umhausen und seiner Nachbargemeinden im Ötztal und im nahen Inntal wiederum, wie alle Jahre bisher, durch einen sicherlich spannenden öffentlichen Abendvortrag in die Tagung mit einbezogen wird. Ich darf Ihnen allen auch heuer wieder ein interessantes Geoforum und einen schönen Aufenthalt in unserer Gemeinde wünschen. Genießen Sie die herrliche Aussicht auf die Ötztaler Alpen und auf den Tauferer Berg hier nahe Niederthai, der - wie wir seit dem Geoforum 2015 wissen - nicht durch einen großen Bergsturz entstanden ist, sondern wohl das Produkt eines kosmischen Körpers ist, der hier nach langer Reise durch den Kosmos zerborsten sein muss. Dies tut der Einzigartigkeit des Tauferer Berges keinen Abbruch, sondern macht seine faszinierende Landschaft nur umso mystischer und spannender.

Ich freue mich heute schon Sie möglichst alle wieder 2017 beim 19. Geoforum Umhausen begrüßen zu können.

Mag. Jakob Wolf  
(Klubobmann der Volkspartei im Tiroler Landtag und Bürgermeister der Gemeinde Umhausen)

## Grußworte 2016 von Bezirkshauptmann Dr. Raimund Waldner

Sehr geehrte Tagungsteilnehmerinnen und Tagungsteilnehmer des 18. Geoforums in Umhausen!



Als Bezirkshauptmann von Imst ist für mich die Tagung Geoforum Umhausen von großer Bedeutung, weil hier Probleme, die unseren Lebensraum betreffen, aus den Blickwinkeln unterschiedlichster Fachbereiche beleuchtet und diskutiert werden.

Diese Sichtweise ist den österreichischen Verwaltungsbehörden, insbesondere auch einer Bezirksverwaltungsbehörde wie der Bezirkshauptmannschaft Imst, nicht fremd. Fast täglich müssen unsere Verfahrensleiter Bewilligungsverhandlungen mit einem interdisziplinären Stab von Amtssachverständigen und nichtamtlichen Sachverständigen abwickeln und letztlich aus den dabei erzielten unterschiedlichen gutachterlichen Aussagen und Schlussfolgerungen ihre Erkenntnisse gewinnen, die dann in Bescheide münden.

So ist es für mich nicht verwunderlich, dass diese Denkweise auch zur ersten Tagung Geoforum Umhausen 1999 geführt hat und seitdem eine Erfolgsgeschichte darstellt.

Es ist wichtig, dass komplexe Themen möglichst von allen Seiten beleuchtet und diskutiert werden. Das Geoforum Umhausen hat diese Betrachtungsweise und die dafür nötige Diskussionskultur zum Grundprinzip gemacht.

Eingebettet in die prachtvolle Umgebung des Ortsteiles Niederthai in der Gemeinde Umhausen ist ein perfektes Ambiente geschaffen, um die tiefgreifende Wissensvermittlung der Tagung optimal zu ermöglichen und auszuführen. Davon profitieren nicht nur Sie als Expertinnen und Experten, sondern auch die Bevölkerung, zu deren Wohl und Nutzen viele der Erkenntnisse der Fachleute führen oder zumindest führen können.

Teils haben die Teilnehmer der Tagung lange Reisen auf sich genommen um hierher zu gelangen. Ich darf Ihnen allen wünschen, dass auch das heurige Geoforum Umhausen spannend und in bester Atmosphäre abgewickelt wird, sodass man am Ende sagen kann: „die Reise hat sich gelohnt“.

Dr. Raimund Waldner  
(Bezirkshauptmann des Bezirks Imst)

## Grüßworte von Dr. Gunther Heißel

Sehr geehrte Tagungsteilnehmerinnen und Tagungsteilnehmer, sehr geehrte Referenten!

Der Lebensraum in den Alpen wird immer intensiver genutzt und so gesehen auch immer „enger“ für die Menschen, die ihn ständig - oder als Gäste und Touristen auch nur zeitweise - bewohnen. Die gegenseitige Beeinflussung durch die Auswirkungen dieser immer intensiver werdenden Nutzung wird zwangsläufig auch immer deutlicher und ist nicht wegzudiskutieren.

Nicht alle Naturereignisse, die Auswirkungen auf die Menschen, ihre Siedlungen, Verkehrswege und Freizeitanlagen im Alpenraum haben, sind als reine Naturereignisse „ohne menschliche Beteiligung“ einzustufen. Es ist also offensichtlich sehr häufig so, dass die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten die negative Wirkung der natürlichen Prozesse überlagert und somit nicht selten auch verstärkt.

Die Antwort auf diese Problematik, also eine zielgerichtete und effiziente Reaktion auf diese Auswirkungen muss es daher sein, fachübergreifend und im Team koordiniert Maßnahmen und Vorgehensweisen zu entwickeln und umzusetzen, die zumindest mindernden Einfluss auf negative Entwicklungen haben.

Diese Grundsätze hat sich das Geoforum Umhausen schon bei seiner Gründung 1999 verschrieben und versucht seitdem erfolgreich danach zu handeln. Daher ist es mir mit Blick auf das Programm des heurigen 18. Geoforums Umhausen eine große Freude festzustellen, dass die dargebotene Themenvielfalt der Vorträge genau diesen Grundsätzen entspricht. Ich möchte den Vortragenden dafür ausdrücklich danken.

So darf ich nun Ihnen allen eine interessante und erfolgreiche Tagung des 18. Geoforums in Umhausen wünschen, sodass damit die Ziele, wie sie auch die Alpenkonvention vorgibt, zunehmend Teil unseres Handelns werden können - zum Wohl der Menschen im Alpenraum.

Ich möchte nicht enden, ohne mich bei meinen Mitorganisatoren sehr für ihre Einsatzfreude zu bedanken, ohne die die Austragung der Tagung nicht möglich wäre.

Auch heuer war uns die Unterstützung und Wertschätzung durch Herrn LHStv. ÖR Josef Geisler und durch den Bürgermeister der Gemeinde Umhausen, Herrn LA Klubobmann Mag. Jakob Wolf, sicher und ist uns besonders wertvoll.

Natürlich darf ich hoffen auch 2017 eine möglichst große Teilnehmerzahl wiederum beim Geoforum begrüßen zu dürfen. Wir werden jedenfalls versuchen auch 2017 wieder interessante Vortragsthemen anbieten zu können.

Hofrat Dr. Gunther Heißel  
(Präsident des Vereins Geoforum Tirol)



Langfassungen in Reihenfolge der Vorträge

DONNERSTAG 20. Oktober 2016

Donnerstag 20. Oktober 2016

09:30-10:00

## Brussels calling – Die Landesgeologie Tirol auf EU-Mission in Mazedonien Massenbewegung und Blocksturzgefahr in Bozovtse

Hans Schroll <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Amt der Tiroler Landesregierung, Allgemeine Bauangelegenheiten; Fachbereich Landesgeologie, Herrngasse 1-3, Innsbruck*



**Abbildung 1:** Die Ortschaft Bozovtse in der Grenzregion zum Kosovo

### 1. Einleitung

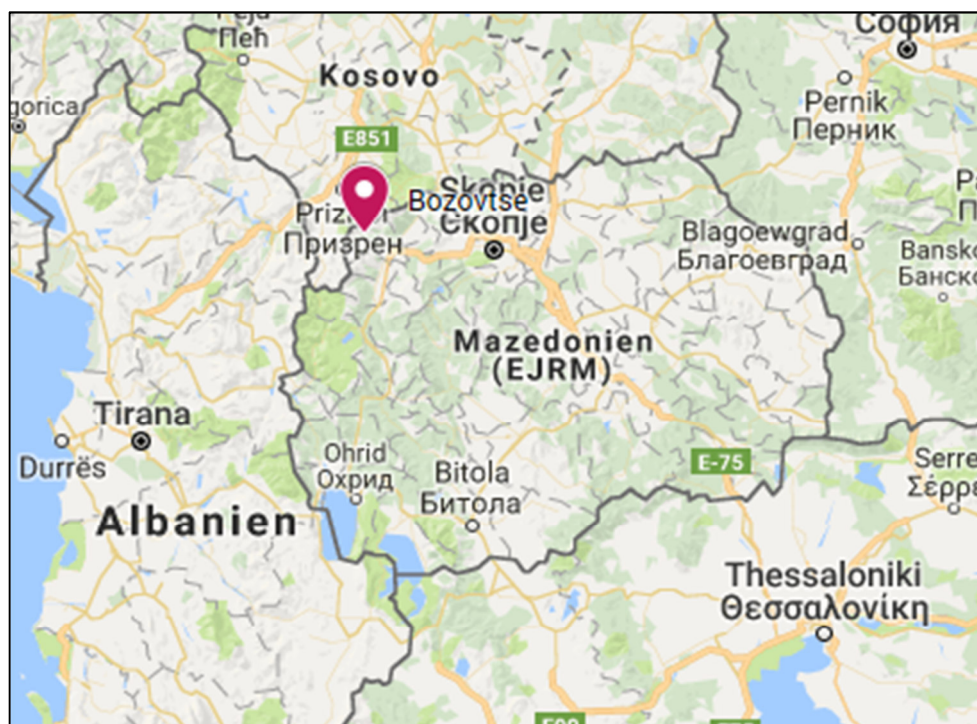
#### Hintergrundinformationen

Am 6. August 2016 ereignete sich im Raum Skopje und Umgebung ein Gewitter mit enormen Niederschlagsmengen und extremen Sturmböen. Die aufgezeichneten Niederschlagsmengen lagen an diesem Tag bei 93 mm, was in etwa dem dreifachen der durchschnittlichen Niederschlagsmenge im gesamten Monat August entspricht. Die daraus resultierenden Sturzfluten und Überschwemmungen kosteten den aktuellsten verfügbaren Informationen zufolge 23 Menschen das Leben, es gab zahlreiche Verletzte und über 1000 Personen wurden evakuiert.

Am 8. August wandte sich die Regierung der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien mit dem Ersuchen um Unterstützung an die Europäische Union bzw. wurde das EU-Zivilschutzverfahren (EU Civil Protection Mechanism) aktiviert. Dabei wurden Experten aus dem Fachgebiet der Siedlungswasserwirtschaft zur Begutachtung und zum Wiederaufbau der zerstörten Wasser- und Abwasserversorgungsanlagen, sowie zahlreiche Hilfsgüter wie etwa Wasser- und Schlammumpen angefordert.

Das Europäische Amt für humanitäre Hilfe und Katastrophenschutz entsandte daraufhin 5 Fachleute und einen Verbindungsoffizier der EU-Notfall-Einsatzzentrale (Emergency Response Coordination Centre – ERCC). Einige Tage nach Beginn dieses Einsatzes wurde von der mazedonischen Regierung zusätzlich ein geologischer Experte zur Beurteilung der Steinschlag- und Erdbehrtschgefährdung für die Ortschaft Bozovtse in der Region Tetovo angefordert.

Am 15. August ging die Anfrage von Brüssel über das österreichische Innenministerium bei der Landesgeologie Tirol zur Entsendung eines Experten ein und nach positiver Rückmeldung konnte die Mission von 16.-19. August erfolgreich durchgeführt werden.



**Abbildung 2:** Die Ortschaft Bozovtse (rote Markierung) etwa 50 km westnordwestlich (Luftlinie) von Skopje in der albanisch dominierten Grenzregion zum Kosovo. Quelle: googlemaps

#### **EU Civil Protection Mechanism:**

Wenn das Ausmaß einer Krise oder Katastrophe die Möglichkeiten des eigenen Landes übersteigt, ermöglicht der EU Civil Protection Mechanism einen koordinierten Hilfseinsatz der teilnehmenden Staaten (alle 28 EU Mitgliedsstaaten sowie Island, Norwegen, Serbien, die frühere jugoslawische Republik Mazedonien, Montenegro und die Türkei).

Der EU Civil Protection Mechanism kann für alle Arten von Katastrophen aktiviert werden. Beispiele sind der Ausbruch von Ebola in Westafrika (2014), der Konflikt in der Ukraine (2015) und die europäische Flüchtlingskrise (2015/16).

Ein Antrag auf einen Hilfseinsatz kann von jedem Land der Welt und auch von den Vereinten Nationen sowie von anderen internationalen Organisationen gestellt werden.

Die wichtigste Schaltstelle des EU Civil Protection Mechanism ist EU-Notfall-Einsatzzentrale (Emergency Response Coordination Centre – ERCC). Hier werden sämtliche Katastrophen und Krisenfälle weltweit rund um die Uhr beobachtet und im Falle einer Mission werden von hier aus die Einsätze koordiniert.

Website: <http://ec.europa.eu/echo>

## **Vorgaben und Ziele der Mission**

Das Hauptziel der Mission bestand darin, konkrete Maßnahmen zur Minimierung der Steinschlaggefährdung und zur Hintanhaltung von Rutschungen für die Ortschaft Bozovtse vorzuschlagen. Es sollte ein entsprechender geologischer Bericht in Englisch für die zuständige Stelle der mazedonischen Regierung (Protection and Rescue Directorate – PRD) verfasst werden. Dieser Bericht bzw. die darin vorgeschlagenen Maßnahmen sollen weiters auch der Regionalregierung in Tetovo sowie verschiedenen Einsatzorganisationen zur Kenntnis gebracht werden und als Basis für die Planung und Durchführung weiterer Maßnahmen dienen.

Eine wichtige Vorgabe bestand darin, dass die vorgeschlagenen Maßnahmen rasch und mit vertretbarem finanziellem Aufwand umgesetzt werden können und dass der geologische Bericht noch vor der Abreise fertig gestellt wird.

## **Vorgehensweise und Methodik**

Am Morgen des 17. August erfolgte durch den Teamleiter der Mission eine kurze Einführung in die Problematik bzw. ein Lagebericht, wobei die Informationen über das Zielgebiet sehr spärlich ausfielen. Es war nach dem Lagebericht immer noch unklar, ob es sich bei dem zu beurteilenden Ereignis um ein Sturzereignis oder um eine Rutschung handelt.

Bevor schließlich der Ortsaugenschein im Zielgebiet Bozovtse durchgeführt werden konnte, wurden noch die zuständigen Regierungsstellen in Skopje und in Tetovo besucht und von dem Vorhaben informiert. Während der Dauer der Mission wurde der Autor von einem Dolmetscher aus dem EU-Missionsteam unterstützt.

Für den Ortsaugenschein und die Erhebung der Ist-Situation stand etwa ein halber Tag zur Verfügung. Dabei wurden Teile des Orts Bozovtse sowie das unmittelbar daran anschließende Gelände bergseitig davon begangen. Im Anschluss an den Ortsaugenschein wurde vor der Regionalregierung in Tetovo eine Präsentation der ersten Erkenntnisse durchgeführt.

Die Bewertung der Situation basiert letztlich auf den Erkenntnissen aus dem Ortsaugenschein und auf Angaben von Einheimischen sowie von Vertretern der Regionalregierung und vom Protection and Rescue Directorate.

Die Gliederung des schriftlich ausgefertigten Berichts erfolgte in die Kapitel Befund, Gutachten, Zusammenfassung/Empfehlungen und Alternativen.

## **2. Befund**

Am 17. August 2016 wurde ein Ortsaugenschein in Bozovtse in der Region Tetovo durchgeführt. Die Wetterverhältnisse waren sonnig und das Gelände war nach den Niederschlagsereignissen der vorangegangenen Woche zumindest oberflächennah wieder weitestgehend aufgetrocknet.

Etwa 3-4 Meter bergseitig der letzten Häuserreihe der in Hanglage situierten Ortschaft Bozovtse setzt eine konkav ausgebildete Böschung an, welche nach mehreren Metern in ein unruhig ausgebildetes Gelände von etwa 20-30 Metern Breite übergeht. Dieser morphologisch unruhige Bereich ist gekennzeichnet durch schief wachsende sowie umgestürzte Bäume, durch frische Kriechstrukturen in Form von kleinen Schollenüberschiebungen und durch örtliche Wasseraustritte. Stumme Zeugen bzw. Blöcke mit Kubaturen im unteren Kubikmeterbereich deuten auf junge Sturzereignisse hin und gemäß Angaben der Einheimischen fanden während der jüngsten Niederschläge auch sichtbare Bewegungen im Gelände



sowie Blockstürze statt. Die Blöcke erreichten aber das Dorf nicht, sondern blieben auf einem kleinen Plateau etwa 30 Meter bergseitig der ersten Häuserreihe liegen.

Die unruhigen Geländebeziehungen verstärken sich bergseitig zusehends und es liegt ein gestörter, chaotisch zusammengesetzter Sedimenthorizont, bestehend aus einer schluffig-sandigen und steinigen Matrix mit darin „schwimmenden“ Blöcken, vor. Die Mehrzahl der Blöcke weist Kubaturen von 2-5 m<sup>3</sup> auf, einige bewegen sich zwischen etwa 5-15 m<sup>3</sup> und einige wenige erreichen Kubaturen bis zu 50-80 m<sup>3</sup>. Die Matrix ist örtlich intensiv vernässt und teils breiig ausgebildet.

Bei den Steinen und Blöcken handelt es sich um Schiefergesteine mit grünlicher und rötlicher Farbgebung, wobei die grünen Schiefergesteine dominieren. Die Schieferung kann aufgrund des geringen Trennflächenabstands im Millimeter- bis unteren Zentimeterbereich als blätterig bis dünnplattig bezeichnet werden. Augenscheinlich ist ein hoher Anteil an Schichtsilikaten in Form von Chlorit und Serizit vorhanden. Weiters wird aufgrund der vielfach kompakten Blöcke, welche auch nach Sturzprozessen noch Kubaturen im Bereich mehrerer Kubikmeter aufweisen, ein mengenmäßig beträchtlicher karbonatischer Mineralbestand angenommen.

Im Gelände und an den Blöcken finden sich zahlreiche Anzeichen für junge bzw. aktive Bewegungen wie etwa frische Spalten, Risse, Überschiebungen, Bruchstrukturen, etc. Es ist erkennbar, dass sich zahlreiche Blöcke in ihrer Lage erst jüngst verändert haben bzw. teils auch noch in Bewegung sind. Weiters wurden im Zuge des Ortsaugenscheins mehrere Vernässungsbereiche und Wasseraustritte verteilt über die ganze Massenbewegung festgestellt.

Etwa 200 Meter bergseitig der Ortschaft befindet sich die Anrisskante bzw. zeichnet sich dort in sehr unregelmäßiger Form das Ende der Massenbewegung ab. Die gemessenen Neigungen der Massenbewegung liegen über weite Bereiche zwischen 25° und 35°, wobei das Gelände am Top etwas verflacht und dort Neigungen von etwa 15°-20° gegeben sind. Bergseitig der Massenbewegung steigt das Gelände sanft an und die baumfreie Landschaft ist geprägt von einer weitläufigen Hügel- und Muldenstruktur. Gemäß Angaben der Bewohner von Bozovtse sind in der Ortschaft selbst keine Hangbewegungen merkbar und im Zuge des Ortsaugenscheins wurden auch keine darauf zurückzuführenden Anzeichen wie etwa Straßen- oder Gebäudeschäden festgestellt.

Einige Meter bergseitig der Massenbewegung befinden sich zwei Quellen bzw. Vernässungsbereiche, welche direkt in die Kriechmasse entwässern. Deren gemeinsame Schüttungsmenge kann nur grob abgeschätzt werden und wird sich voraussichtlich im Bereich weniger Liter pro Sekunde bewegen.

### **3. Gutachten**

Unmittelbar bergseitig der Ortschaft Bozovtse ist eine im Gelände klar abgrenzbare kriechende Massenbewegung mit einer Breite von 20-30 Metern und einer Länge von etwa 200 Metern ausgebildet. Die Tiefe bzw. die Bewegungsbahn der sich bewegenden Masse ist unbekannt und kann nur durch ausreichend tiefe Bohrungen festgestellt werden. Aufgrund der Ausbildung der umgebenden Geländeoberfläche wird die Bewegungsbahn in einer Tiefe von etwa 10-20 Metern angenommen.

Die Bewegungsraten richten sich nach der Menge des vorhandenen Wassers im Untergrund. Bei trockenen Verhältnissen bzw. bei geringem Wasserangebot z.B. während eines trockenen Sommers können die Bewegungsraten der prinzipiell langsam kriechenden Massenbewegung gegen Null gehen oder es findet keinerlei Bewegung statt. Im Zuge von ergiebigen Niederschlägen oder zu Zeiten der Schneeschmelze beschleunigt sich die Masse und kann dann durchaus geschätzte Geschwindigkeiten von mehreren Dezimetern pro Tag erreichen. Von einem plötzlichen Abgleiten der sich bewegenden

Masse ist nicht auszugehen, da eine Kriechmasse ihre Energie durch die Bewegung ständig abbaut und es so zu keinem bergseitigen „Überdruck“ kommt.

Die Massenbewegung kann durch geotechnische Maßnahmen in der kriechenden Masse selbst praktisch nicht gestoppt werden bzw. stünde der diesbezüglich erforderliche Aufwand in keinster Weise zum fraglichen Erfolg. Um die Massenbewegung zum Stillstand zu bringen bzw. um zumindest einen relevanten Rückgang der Bewegungsraten zu erreichen, ist es erforderlich, so viel Wasser wie möglich aus der Kriechmasse zu bekommen und es muss verhindert werden, dass bergseitige Wässer in die Kriechmasse einsickern können.

In den Sommermonaten bzw. bei niedrigem Grundwasserstand und wenn bergseitig nur geringe Mengen an Oberflächenwässern zufließen, besteht für die Ortschaft Bozovtse keine Gefährdung hinsichtlich abstürzender Blöcke.

Aber im Falle von ergiebigen Niederschlägen und während der Schneeschmelze kann sich das rasch ändern und zur Situation „Gefahr in Verzug“ im Hinblick auf Blocksturzereignisse führen. Dies begründet sich darin, dass die sich bewegende Kriechmasse einerseits zu Lageveränderungen vormals stabil gelagerter Blöcke führt und andererseits werden neue Blöcke aus dem Untergrund an die Oberfläche heraus bewegt. Zwar werden sich die vorhandenen Megablöcke im Zuge des Sturzprozesses zerlegen, dennoch muss im Eintrittsfall damit gerechnet werden, dass Blöcke mit Kubaturen von mehreren Kubikmetern die Ortschaft erreichen. Aufgrund der augenscheinlichen Beurteilung ist davon auszugehen, dass die Wände der ersten Häuserreihe Blocktreffer mit Kubaturen größer als  $1 \text{ m}^3$  nicht schadlos überstehen.

#### 4. Zusammenfassung und Empfehlungen

1. Instabile Blöcke oder Blöcke die durch die Massenbewegung in eine instabile Lagerung gebracht werden können, mit Kubaturen größer als  $1 \text{ m}^3$ , stellen eine potentielle Gefährdung für die Ortschaft Bozovtse dar. Aus diesem Grund sind diese Blöcke in regelmäßigem Abstand augenscheinlich zu beobachten bzw. ist deren Lage im Gelände wie folgt zu prüfen:

Bei trockenen Gelände- und Wetterverhältnissen: einmal pro Woche

Bei durchfeuchteter bzw. vernässter Kriechmasse, während Niederschlägen sowie während der Schneeschmelze: einmal täglich

Dieser Punkt ist sofort umzusetzen.

2. Es wird empfohlen, instabile Blöcke oder Blöcke die durch die Massenbewegung in eine instabile Lagerung gebracht werden können, mit Kubaturen im Bereich von  $1\text{-}3 \text{ m}^3$ , umzulegen oder einzugraben. Sollte dies nicht möglich sein, sind derartige Blöcke mittels kontrollierter und „sanfter“ Sprengungen zu zerkleinern.

Blöcke größer als  $3 \text{ m}^3$  sind mittels kontrollierter und „sanfter“ Sprengungen zu zerkleinern. Bei Sprengungen ist darauf zu achten, dass keine Blöcke abrollen (z.B. durch Errichtung von temporären Kleindämmen und Holzbohlenwänden)

Dieser Punkt ist sofort umzusetzen.

3. Nur wenn es gelingt, die in der Kriechmasse vorhandenen Wässer zu dränagieren und abzuleiten und wenn verhindert wird, dass bergseitig zuströmende Quell- und Oberflächenwässer die

Kriechmasse erreichen, kann die Massenbewegung gestoppt oder deren Bewegung zumindest relevant verringert werden. Nur mit dieser Methode wird eine dauerhafte Reduktion des Gefährdungspotentials erreicht, da durch die Massenbewegung ansonsten laufend neue Blöcke aus dem Untergrund an die Oberfläche heraus bewegt werden.

Aus diesem Grund wird die Errichtung eines Drainage- und Ableitungssystems bergseitig der Massenbewegung empfohlen. Dieses System muss so gebaut werden, dass sowohl die Quellwässer als auch anfallende Niederschlags- und Schmelzwässer dauerhaft schadlos von der Massenbewegung fort geleitet werden. Die Umsetzung kann verrohrt und auch als offener Graben erfolgen, jedenfalls ist eine genaue Wartung erforderlich, sodass die Funktionsfähigkeit ständig gegeben ist. Dies bedeutet, dass regelmäßige Kontrollen, auch nach jedem Niederschlagsereignis, sowie gegebenenfalls sofortige Reinigungs- bzw. Reperaturarbeiten durchgeführt werden müssen.

Weiters wird auch das Anlegen von zusätzlichen Drainagegräben in der Massenbewegung selbst empfohlen, welche auch einer regelmäßigen Kontrolle und Wartung zu unterliegen haben.

Dieser Punkt ist vor dem Winter 2016/17 umzusetzen.

## 5. Fotodokumentation



**Abbildung 3:** Die Umgrenzung der Massenbewegung bergseitig von Bozovtse. Der derzeit aktive Bereich reicht bis zur strichlierten Linie. Die blauen Pfeile kennzeichnen Quellabflüsse. Quelle: googlemaps



**Abbildung 4:** Die Massenbewegung reicht bis zur ersten Häuserfront



**Abbildung 5:** Frische Kriechstrukturen und Blöcke



**Abbildung 6:** Wasseraustritte in der Kriechmasse



**Abbildung 7:** labiler Großblock über Bozovtse



**Abbildung 8:** Aus der Kriechmasse heraus bewegter Großblock mit frischen Rissen und einer Kubatur über 50 m<sup>3</sup>

Donnerstag 20. Oktober 2016

10:00-10:30

## Klimatrends im Alpinen Raum

### Was wir über die Vergangenheit wissen und wie wir uns die Zukunft vorstellen

Dr. Johannes Vergeiner<sup>1</sup>, Dr. Susanne Drechsel<sup>1</sup>, Dr. Klaus Haslinger<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Fürstenweg 180, A- 6020 Innsbruck

<sup>2</sup> Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Hohe Warte 38, A- 1190 Wien

#### Abstract

The climate trend in the region Tyrol – South Tyrol – Belluno was investigated in the framework of the Interreg IV project „Past, Present and Perspective Climate of Tirol, South Tyrol and Veneto“. Results concerning temperature and precipitation are presented in this article. A strong increase in temperature has already occurred in the past few decades, this development will very likely proceed until the end of the century. The warming trend is visible throughout the year, even if in winter the rise is accompanied by approximately decadal modulations. No general trend is yet observed in precipitation. The regional climate model projects a decrease in yearly precipitation until 2100. However, precipitation intensities and therefore short-term precipitation rates might increase. Since complex processes and interactions are involved in the modeling of the water cycle and projected and observed seasonal tendencies do not match, these climate trends are considered to be doubtful. The assessment of the impact is ambivalent with both uprising chances and risks.

#### Einleitung

In den vergangenen Jahren wurde das Klima unserer Region genauer unter die Lupe genommen. Dafür haben sich die Wetterdienste nördlich und südlich des Brenners sowie in den Dolomiten im Rahmen des Interreg IV Italien-Österreich Programms für das Projekt „3PClim – Past, Present and Perspective Climate of Tirol, South Tyrol and Veneto“ zusammengeschlossen. Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Österreich, das Hydrographische Amt der Autonomen Provinz Bozen und die Agentur für Umwelt des Veneto bilden im Großraum Tirol – Südtirol – Veneto ein Kompetenzzentrum, in dessen Rahmen dieses neue umfassende Klima-Standardwerk geschaffen werden konnte.

In diesem Beitrag wird die bereits beobachtete Klimaveränderung in den letzten Jahrzehnten anhand der Temperatur- und Niederschlagsentwicklung festgehalten und daran angebunden diskutiert, wohin sich das Klima im Alpinen Raum im Laufe des 21. Jahrhunderts bewegt bzw. bewegen könnte.

Die Auswertung der bereits beobachteten Trends fokussiert auf eine alpen- und somit grenzüberschreitende Untersuchung des Klimas und seiner Entwicklung bis zum Ende der aktuellen Klimaperiode 2010. Dazu wurden homogenisierte Tageswerte der Tiefst- und Höchsttemperaturen, sowie des Niederschlags verwendet. Um die künftige Entwicklung abzuschätzen, wurde das realistischste und stark vom Menschen beeinflusste Treibhausgas-Szenario anhand einer Modellkette von globaler bis zu regionaler Auflösung auf den Alpenraum übertragen.

Es wurden noch zahlreiche Aspekte des Alpenklimas untersucht, die in diesem Artikel nicht angesprochen werden. Interessierte seien auf die Projekthomepage [www.alpenklima.eu](http://www.alpenklima.eu) verwiesen. Die Ergebnisse sind auch im Buch „Das Klima von Tirol – Südtirol – Belluno“ (ZAMG et. al., 2015) festgehalten. Dieses wird auf Anfrage gerne kostenfrei weitergegeben.

## Temperatur

### *Entwicklung der letzten Jahrzehnte*

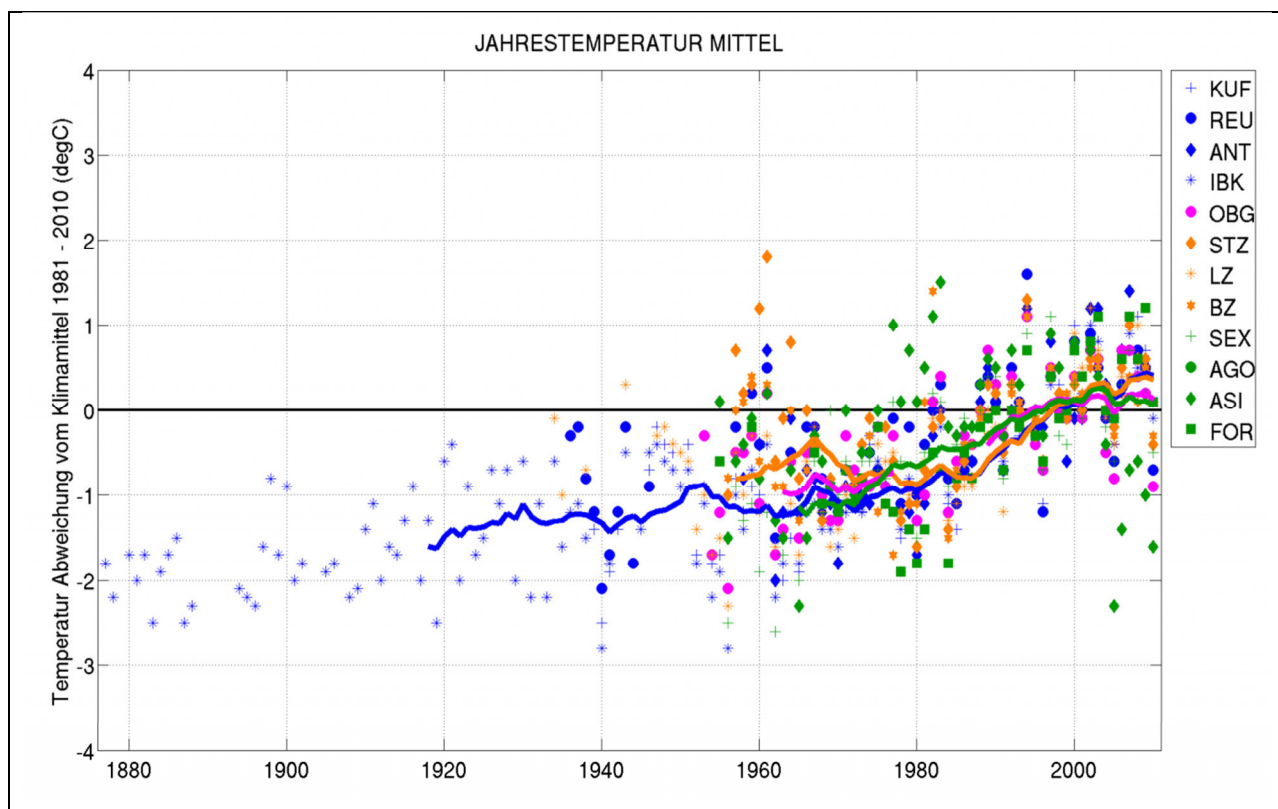
Die Lufttemperatur in der bodennahen Atmosphäre ist eine, wenn nicht die zentrale Größe für die Klimabetrachtung. An 12 von insgesamt 17 betrachteten Stationen ist die Konsistenz und Qualität der homogenisierten Temperatur-Messreihe für eine Analyse ausreichend. Es sind dies nördlich des Alpenhauptkammes Kufstein (KUF), Reutte (REU), St. Anton am Arlberg (ANT) und Innsbruck Universität (IBK). Südlich des Alpenhauptkammes sind die Stationen Sterzing (STZ), Lienz (LZ) und Bozen (BZ) deutlich alpin geprägt, während bei Sexten (SEX), Agordo (AGO), Asiago (ASI) und Fortogna (FOR) schon der Mittelmeereinfluss spürbar wird. Das hochalpine Klima wird von Obergurgl (OBG) am Alpenhauptkamm repräsentiert.

Um trotz der Jahr-zu-Jahr Variabilität längerfristige Trends sichtbar zu machen, werden üblicherweise zeitliche Mittel über mehrere Jahre gebildet (Tiefpassfilterung). Da außerdem die räumliche Korrelation für die Temperatur hoch ist, kann auch ein Mittel über mehrere Stationen eine Entwicklung deutlicher hervortreten lassen.

Wenden wir uns der Entwicklung der Jahresmitteltemperatur zu, die in Abbildung 1 gezeigt wird. Bis 1934 liegen nur Messungen der Station Innsbruck Universität vor. Das Temperaturniveau liegt bis zu diesem Zeitpunkt in etwa 1 bis 2 °C unter dem aktuellen Klimamittel 1981 bis 2010. Um anzuschauen, inwiefern die Entwicklung in den einzelnen Landesteilen ähnlich verläuft oder nicht, wurden vier Regionen gebildet, die in Abbildung 1 farblich voneinander unterschieden sind. Betrachtet man die Regionsmittel ist zunächst festzustellen, dass die Temperatur in den einzelnen Regionen sehr ähnlich verläuft. Eine Abweichung zu wärmeren Temperaturen in der Region Südwest bis etwa 1970 ist durch auffällig warme Startjahre an der Station Sterzing mitverursacht. Ansonsten ist der Trend aber regions- und höhenübergreifend zu sehen und setzt sich vom Tiroler Alpennordrand über den Alpenhauptkamm bis ins Veneto fort. Bis 1980 dominieren Schwankungen mit einer Periode von etwa zehn Jahren samt einem Temperaturanstieg von etwa 0.1 °C pro Dekade. Dieser Wert entspricht in etwa der globalen Erwärmung. Ab den 80er-Jahren nimmt der Erwärmungstrend klar zu, in den 20 Jahren bis 2000 liegt der Anstieg bei 0.6 – 1.0 °C (entspricht 0.3 – 0.5 °C pro Dekade). Ab 1998 ist der Trend etwas gedämpft. Dieser „Plateaueffekt“, Hiatus genannt, wird auch global beobachtet (IPCC 2014). Die Gründe dafür sind noch umstritten, jedenfalls scheinen natürliche Klimaschwankungen in Zusammenhang mit geänderten Meeresströmungen eine Rolle zu spielen. Die typische Bandbreite, wie stark der Jahreswert einer Station vom regionalen Mittel abweicht, liegt bei 2 °C.

Die beschriebene Entwicklung vollzieht sich indes nicht gleichmäßig übers Jahr, sondern weist durchaus Besonderheiten in den einzelnen Jahreszeiten auf. Es fällt auf, dass die Schwankungen im Winter (Dezember, Jänner und Februar) deutlich ausgeprägter sind als im Sommer (Juni, Juli, August). Das liegt

daran, dass im Winter manchmal der Einfluss kalter Kontinentalluft dominiert, dann jedoch wieder gemäßigte, maritime Luftmassen das Kommando übernehmen. Auch die Bandbreite der Abweichung vom Klimamittel ist im Winter größer als im Sommer. Ausgeprägt kalte Winter können durchaus 6° kälter sein als das langjährige Mittel. Die Sommertemperatur ist somit in den letzten Jahrzehnten verhältnismäßig gleichmäßig angestiegen. Der Wintertrend setzt sich im Gegensatz dazu aus den oben beschriebenen Schwankungen und einem Anstieg seit 1950 zusammen, der Ende der 90er-Jahre ein Maximum aufweist. Seitdem sind sogar wieder etwas kältere Winter aufgetreten, wenn auch nicht in jedem Jahr.

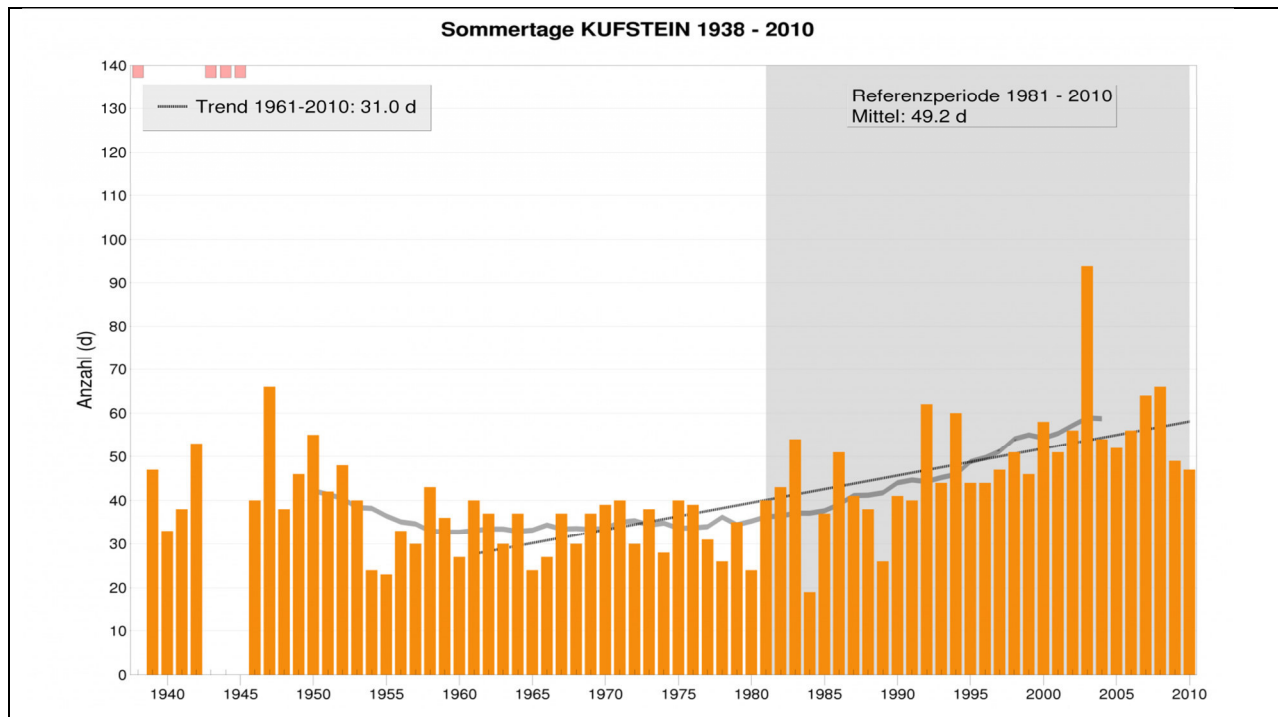


**Abb. 1:** Abweichung der Jahresmitteltemperatur vom jeweiligen Klimamittel 1981 bis 2010. Stationswerte sind wie in der Legende ausgewiesen durch Symbole gekennzeichnet, die Farben stehen für die Regionen. Nordwest wird in blau gekennzeichnet, Südwest in orange, Südost in grün und hochalpin in Magenta. Die durchgezogenen Linien zeigen das gleitende Mittel über 11 Jahre.

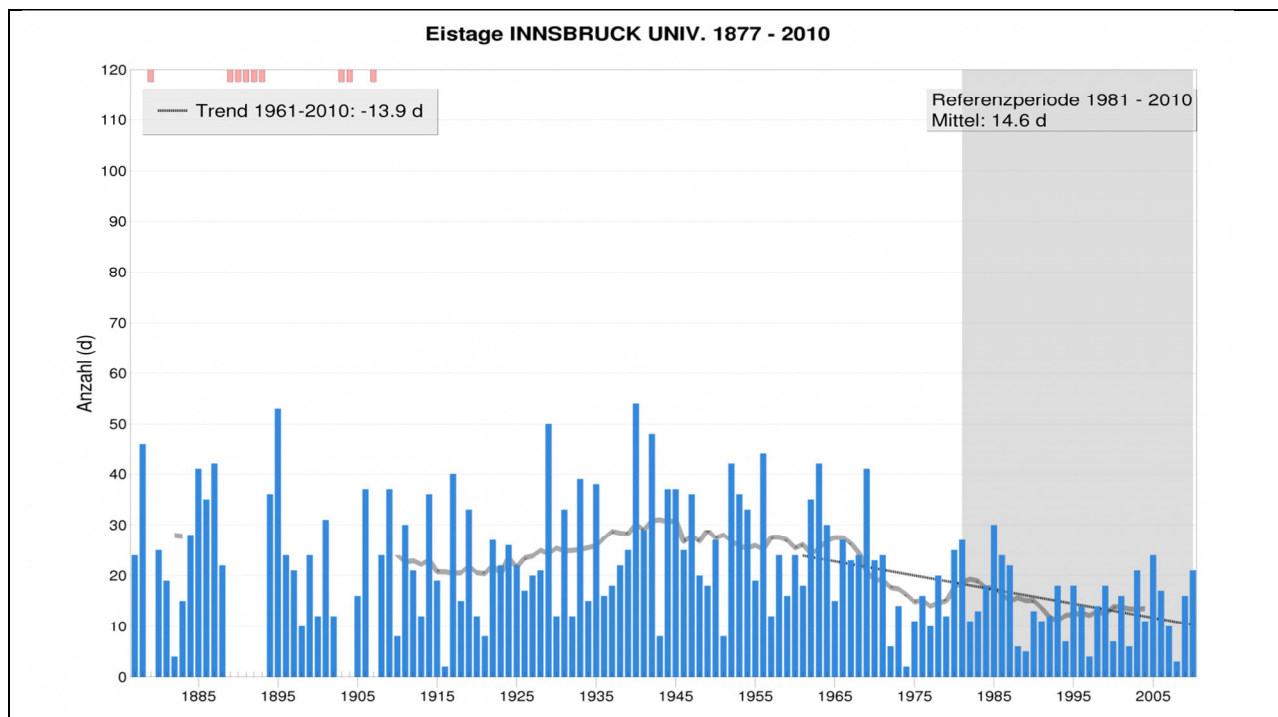
Der eben geschilderte Sommertrend spiegelt sich auch in der zeitlichen Entwicklung der Sommertage wider. Unter einem Sommertag versteht man in der Klimatologie einen Tag, an dem die Tageshöchsttemperatur 25 °C erreicht oder überschreitet. Beispielhaft wird die Entwicklung anhand der Station Kufstein in Abbildung 2 gezeigt. Bis 1980 dominiert die natürliche Schwankung von Jahr zu Jahr. Danach folgt ein deutlicher Anstieg bis 2000 und seitdem verweilt die Zahl der Sommertage auf hohem Niveau, wobei das Jahr 2003 außergewöhnlich viele gebracht hat. Ermittelt man einen linearen Trend, so haben die Sommertage in Kufstein in den 50 Jahren seit 1961 um 31 zugenommen und sich somit verdoppelt.

Wie wirkt sich der Wintertrend auf das Auftreten von kalten Tagen aus? Um dies zu verdeutlichen wird stellvertretend für Stationen nördlich des Alpenhauptkammes die Entwicklung der Eistage in Innsbruck gezeigt (Abbildung 3). An Eistagen verbleibt die Höchsttemperatur unter dem Gefrierpunkt. Es lässt sich

allgemein feststellen, dass Eistage seit etwa Mitte der 60er-Jahre weniger werden. Im Mittel hat sich die Anzahl der Tage, an denen die Temperatur nicht über 0 °C steigt, in der Dekade 2001 – 2010 in Innsbruck gegenüber den 60er-Jahren halbiert-



**Abb. 2:** Zeitliche Entwicklung der Anzahl der jährlichen Sommertage in Kufstein.



**Abb. 3:** Zeitliche Entwicklung der Anzahl der jährlichen Eistage in Innsbruck.

Der Frühling, also die Monate von März bis Mai, verhält sich ähnlich wie der Sommer. Im Herbst (September bis November) dagegen dominiert die natürliche Klimaschwankung. Doch auch wenn an den



meisten der betrachteten Stationen statistisch kein signifikanter Trend seit 1961 zu verzeichnen ist, so sind die Herbstmonate aktuell doch tendenziell wärmer als noch in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

### **Zukunftsszenario**

Unser Klimasystem wird gesteuert von einer Reihe sogenannter „Klimaantriebe“. Der wichtigste dieser Antriebe ist die Sonne, sie ist der Hauptenergielieferant für das Klimasystem der Erde. Daneben gibt es noch andere Steuerungsgrößen. Diese umfassen beispielsweise Treibhausgase, welche einen erwärmenden Effekt auf das Klima haben, oder auch Aerosole, sowohl menschlichen als auch natürlichen Ursprungs, welche eine eher abkühlende Wirkung haben. Zurzeit erleben wir einen Anstieg der globalen Mitteltemperatur, wobei die Temperaturänderung regional sehr starke Unterschiede aufweist. Die Forschergemeinschaft geht davon aus, dass ein Teil dieses globalen Temperaturanstiegs auf die Aktivität des Menschen zurückzuführen ist, vor allem durch den Ausstoß von Treibhausgasen wie Kohlendioxid oder Methan, aber auch durch beträchtliche Landnutzungsänderungen innerhalb der letzten Jahrhunderte (IPCC AR5 2013). In Bezug auf die Größe des Anteils gehen die Meinungen allerdings auseinander. Für unsere Gesellschaft ist es daher wichtig abzuschätzen, welche Veränderungen im Klimasystem sich insgesamt und insbesondere durch die Einflussnahme des Menschen in den nächsten Jahren bis Jahrzehnten abzeichnen könnten.

Das Werkzeug für die Simulation möglicher zukünftiger Klimazustände sind sogenannte Globale Klimamodelle (Global Climate Models, GCMs). In State-of-the-art GCMs wird die Erdoberfläche in ein Gitter mit Rasterweiten von etwa 200 bis 100 Kilometer, in manchen Fällen auch darunter, unterteilt. Das Ergebnis dieser Berechnungen soll eine realitätsnahe Annäherung der Prozesse im Erdsystem sein. Die GCMs benötigen allerdings Antriebsdaten, die eingangs erwähnten Klimaantriebe. Diese stellen die Eingangsgrößen für das Klimamodell dar und setzen sich aus der Sonneneinstrahlung, der Konzentration von Treibhausgasen und der Menge an Aerosolen in der Atmosphäre zusammen. Diese Antriebe sind für die Zukunft nicht bekannt, man behilft sich daher mit Szenarien. Zuerst werden sozioökonomische Szenarien erstellt, welche abschätzen, wie sich die Menschheit hinsichtlich Bevölkerungszahl, Wirtschaftsleistung, Energieerzeugung etc. entwickeln wird. Diese sozioökonomischen Szenarien steuern die Charakteristik der Treibhausgasszenarien, denn je nach wirtschaftlicher oder politischer Ausrichtung werden im Verlauf des 21. Jahrhunderts mehr oder weniger Treibhausgase in die Atmosphäre freigesetzt. Dabei ist jedoch anzumerken, dass es nur für die anthropogenen Klimaantriebe Zukunftsabschätzungen gibt. Beispielsweise muss aus Gründen der Unvorhersehbarkeit der Einfluss von explosivem Vulkanismus, welcher erhebliche Veränderungen im Klimasystem verursachen kann, konstant auf null gehalten werden.

Im Laufe der Zeit hat sich ein sogenanntes Leitszenario etabliert, welches von der Forschergemeinde als das realistischste angesehen wird – das A1B Szenario. In diesem Szenario geht man von einer globalisierten, wirtschaftlich orientierten Entwicklung aus, wobei sowohl fossile als auch regenerative Energieträger in einem ausbalancierten Mix Anwendung finden. Im Folgenden wird daher auch auf Simulationsergebnisse aus dem A1B Szenario zurückgegriffen.

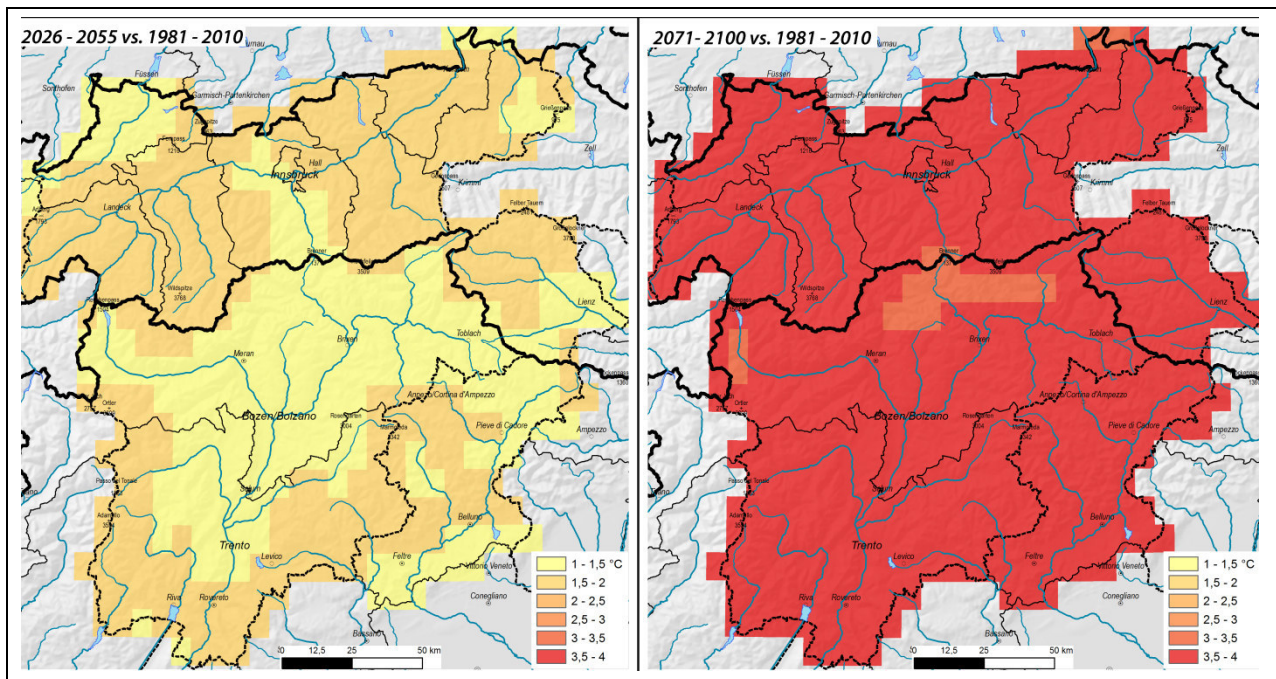
Für genauere Aussagen in einem bestimmten Gebiet der Erdoberfläche, z.B. dem Alpenraum, verwendet man Regionale Klimamodelle (engl. Regional Climate Models, RCMs). RCMs sind von ihrem Aufbau her

ähnlich den GCMs, sie sind in diese eingebettet, rechnen aber im kleineren Ausschnitt mit einer wesentlich höheren räumlichen Auflösung von einigen Kilometern.

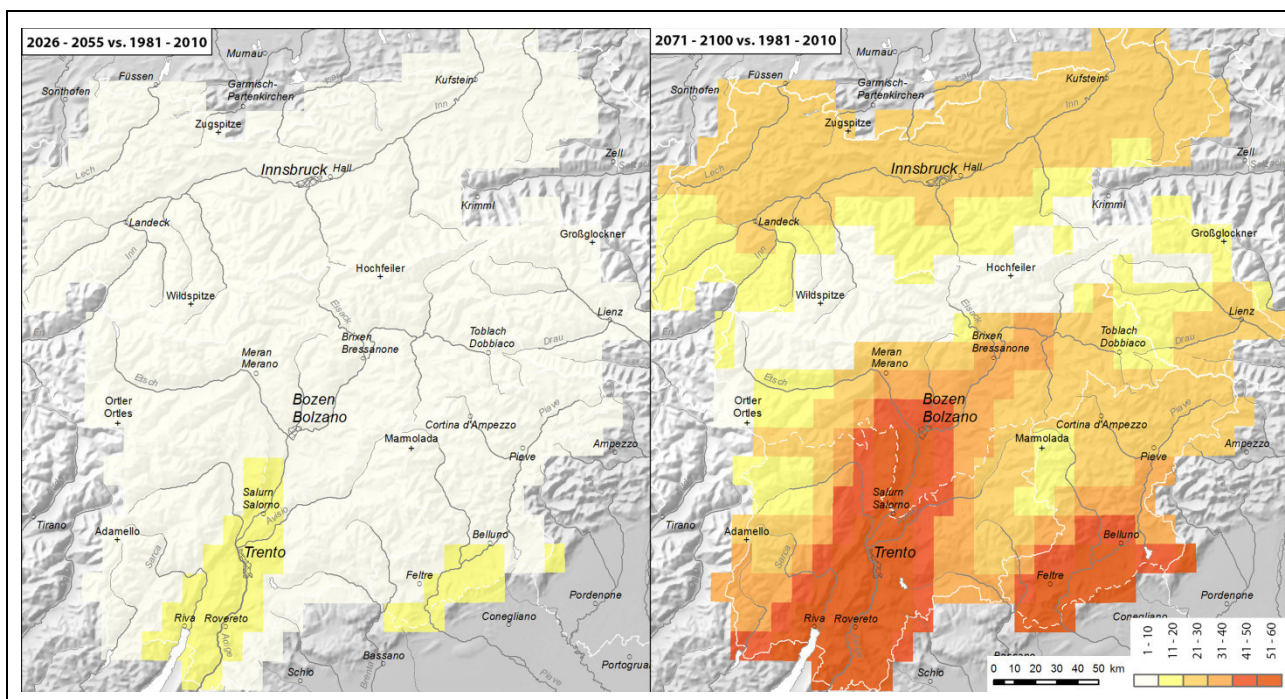
Wie schaut nun der prognostizierte Temperaturtrend im Alpenraum aus? Abbildung 4 zeigt die Änderung der mittleren Jahrestemperatur der Region Tirol – Südtirol - Belluno bis Mitte beziehungsweise bis Ende des Jahrhunderts. Der Temperaturanstieg ist in der gesamten Region ähnlich. Dies bedeutet, dass die Temperaturen in der Untersuchungs-Region fast einheitlich zuerst langsam vom heutigen Niveau bis zur Periode zwischen 2026 bis 2055 um etwa 1,5 °C und um etwa 3,8 °C bis zum Ende des Jahrhunderts steigen werden. Laut IPCC (AR5 2013) ist global mit einem Temperaturanstieg von 1 bis 2 °C bis Mitte des Jahrhunderts und 1,5 bis 4 °C bis Ende des Jahrhunderts zu rechnen, je nach Emissionsszenario. Für das verwendete realistische Szenario A1B liegen die Änderungen in der Region also im oberen Bereich der Bandbreite. Dies lässt sich durch die größeren Temperaturänderungen der Landoberflächen im Gegensatz zu Ozeanoberflächen, welche bei der Berechnung der globalen Mitteltemperatur mit einfließen, erklären.

Die simulierten Temperaturtrends sind im Wesentlichen ähnlich dem, was man aus Analysen der Beobachtungsdaten kennt (vgl. Böhm 2012). In der Periode 1961 bis 2000 wurden Temperaturtrends von ca. 0.3 bis 0.5 °C pro Dekade in der Untersuchungsregion beobachtet. Dies entspricht in etwa der maximalen Erwärmung, welche für Ende des Jahrhunderts von Klimamodellen simuliert wird.

Als logische Folge dieser Entwicklung werden die Sommertage, also jene Tage, an denen das Thermometer die 25 °C-Marke erreicht oder überschreitet, in Zukunft zunehmen. Wie Abbildung 5 zeigt, fällt der prognostizierte Anstieg bis zur Periode 2026 bis 2055 nur gering aus (0 bis +10 Tage), ein Anstieg von bis zu 20 Tagen ist in den südlichen Beckenlagen erkennbar. Gegen Ende des Jahrhunderts steigt die Anzahl an Sommertagen deutlich an, am stärksten wieder in den südlichen Alpenvorland-Gebieten, dem Etschtal und den südlichen Regionen des Belluno. Hier beträgt die Zunahme 50 bis 60 Tage. Durch das generell höhere Temperaturniveau in diesen Gebieten wird auch der Schwellenwert von 25 °C deutlich öfter überschritten werden als in Tallagen Nordtirols. Keine Änderung ist am Alpenhauptkamm zu erkennen, da selbst im stark geglätteten Modellgelände der Alpenhauptkamm so hoch liegt, dass Ende des Jahrhunderts noch keine Sommertage in diesen Höhenlagen vorkommen. Ähnlich wie für die Lufttemperatur selbst gelten die Aussagen über Änderungen in der Anzahl der Sommertage als sehr wahrscheinlich.



**Abb. 4:** Änderungen der mittleren täglichen Lufttemperatur im Modell in den Perioden 2026 bis 2055 sowie 2071 bis 2100 im Vergleich zur Periode 1981 bis 2010.

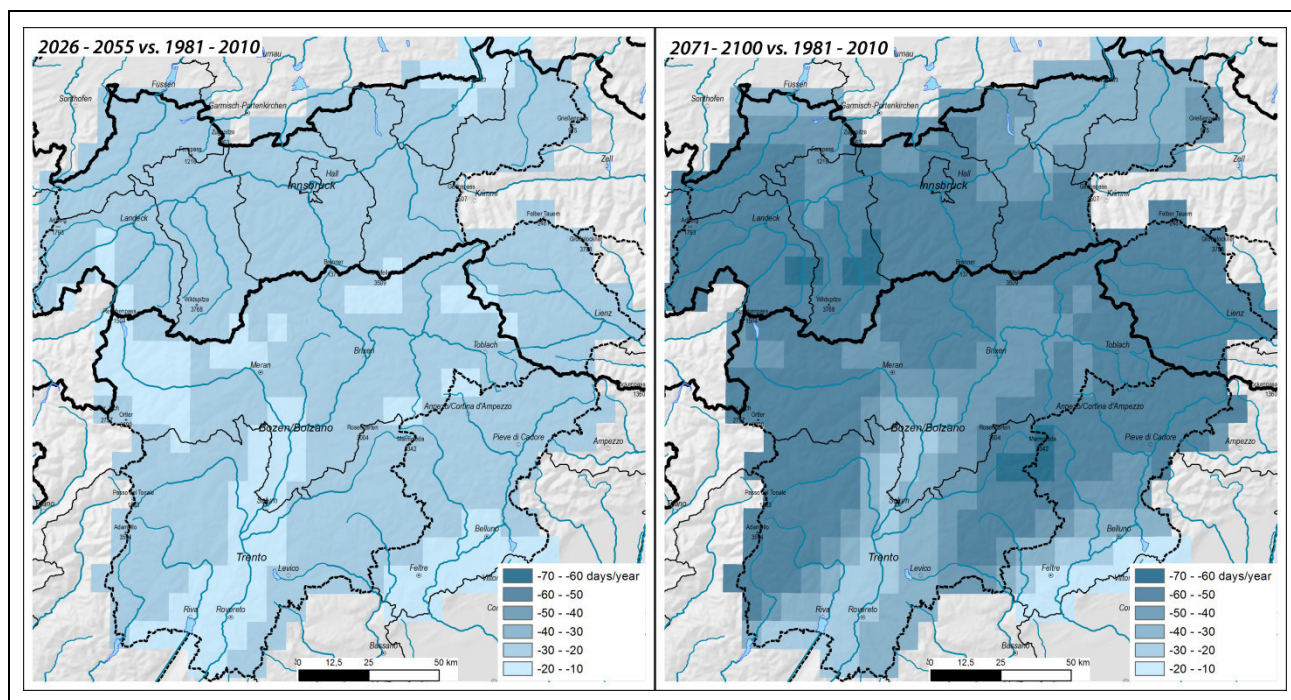


**Abb. 5:** Änderungen der mittleren Zahl der Sommertage im Modell in den Perioden 2026 bis 2055 sowie 2071 bis 2100 im Vergleich zur Periode 1981 bis 2010.

Abbildung 6 zeigt die Änderung der mittleren Zahl an Eistagen pro Jahr. Dies sind jene Tage, an denen die Temperatur den Gefrierpunkt nicht überschreitet. Durch die Temperaturerhöhung in den kommenden Jahrzehnten sinkt die Zahl der Eistage sehr wahrscheinlich in allen Regionen: Bis zur Periode 2026 bis 2055 um etwa 20 bis 30 Tage, bis zur Periode 2071 bis 2100 wird eine Abnahme um bis zu 40 bis 60 Tage erwartet. Anders als bei der Lufttemperatur selbst zeigt sich bei der Änderung der Eistage in erster Linie gegen Ende des Jahrhunderts ein räumliches Muster, nämlich eine geringere Abnahme in tieferen Lagen

des Modells. Andererseits werden die alpinen Regionen von diesen Änderungen stärker betroffen sein. Das liegt daran, dass in tiefen Lagen grundsätzlich weniger Eistage verzeichnet werden, was die Änderung automatisch kleiner ausfallen lässt. In den südlichen Tallagen ist wohl der Fall, dass die wenigen Eistage, die derzeit noch verzeichnet werden, in Zukunft nicht oder zumindest kaum mehr vorkommen und die Änderungen deshalb klein sind. In Hochlagen, wo eine größere Zahl an Eistagen vorhanden ist, sind hingegen auch längerfristig größere Änderungen möglich.

Die Änderungen sind konform mit den Projektionen des IPCC. Im AR5 (2013) wird eine Abnahme von 50 bis 60 Tagen für Zentraleuropa bis Ende des Jahrhunderts angenommen. Die Änderungen, wie sie in den Modellen simuliert werden, können teilweise bereits durch Analysen von Messdaten belegt werden. Nemeč et al. (2013) konnten anhand von homogenisierten Zeitreihen der täglichen Minimumtemperaturen in Österreich zeigen, dass die Anzahl der „kalten Nächte“ (Temperaturminima unter dem 10% Perzentil) in der Periode 1961 bis 2000 teilweise signifikant abgenommen hat. Auch für die hier untersuchte Region konnte wie bereits beschrieben eine deutliche Abnahme der Eistage an den Stationen mit langen Zeitreihen gezeigt werden.



**Abb. 6:** Änderungen der mittleren Zahl der Eistage im Modell in den Perioden 2026 bis 2055 sowie 2071 bis 2100 im Vergleich zur Periode 1981 bis 2010.

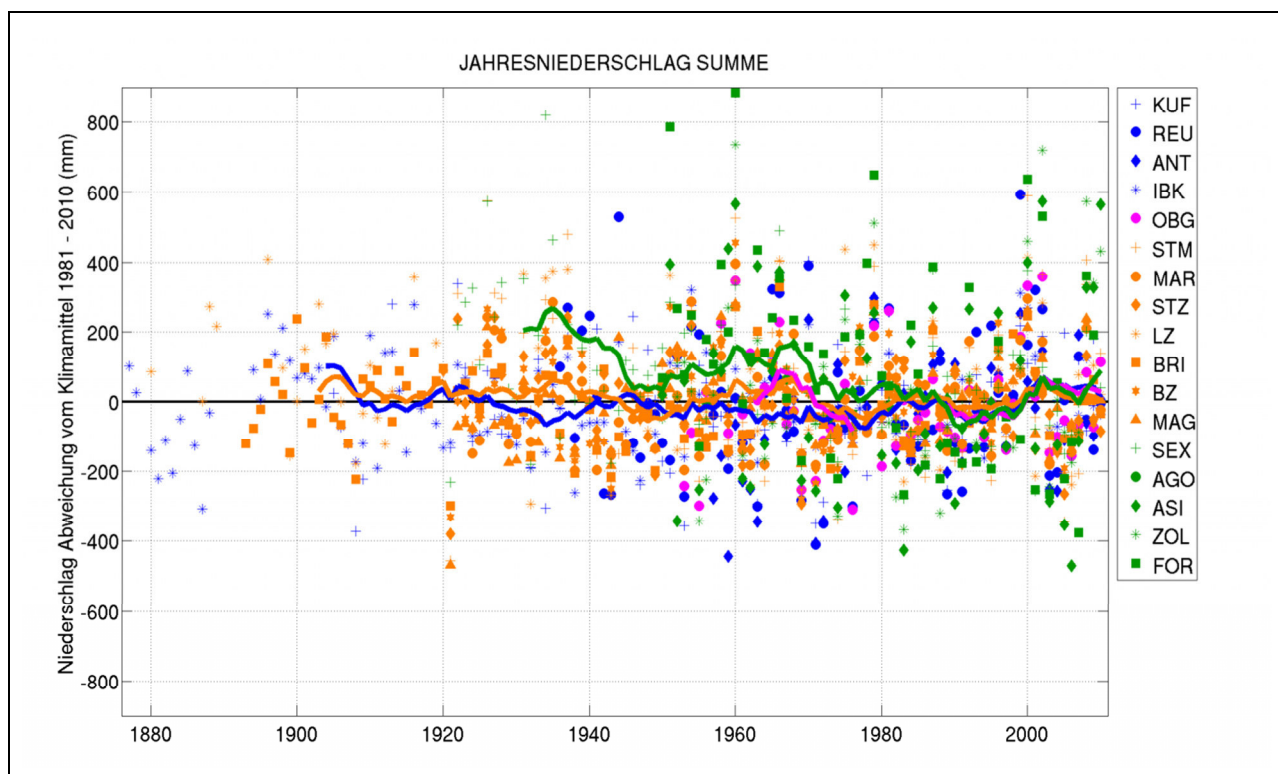
## Niederschlag

### Entwicklung der letzten Jahrzehnte

Neben der zeitlichen Entwicklung der Temperatur wurde auch die des Niederschlags untersucht. Für diese Trendanalysen konnten zusätzlich zu den oben beschriebenen zwölf Stationen die Messreihen folgender Orte südlich des Brenners verwendet werden: St. Martin (STM) in Passeier, Marienberg (MAR) im oberen Vinschgau, Brixen (BRI) im Eisacktal, St. Magdalena (MAG) in Gsies. und Forno di Zoldo (ZOL) in den südöstlichen Dolomiten.

Der Niederschlag im Alpenraum wird hauptsächlich von großräumigen Wettersystemen (Fronten) verursacht, sowie von konvektiven, kleinräumigen Ereignissen in der warmen Jahreszeit. Fronten, die aus dem Nordwestsektor Richtung Alpen ziehen, schwächen sich über dem europäischen Kontinent entlang ihrer Zugbahnen oft bereits leicht ab und sorgen erst durch Staueffekte an den Alpenrändern wieder für stärkere Niederschläge. Wettersysteme aus dem Südwestsektor verstärken sich dagegen häufig über dem Golf von Genua oder der Riviera und „saugen“ dabei über dem Mittelmeer weiteres Wasser auf. Diese Lagen können für besonders starke Niederschläge südlich vom Alpenhauptkamm sorgen. Inneralpin mit zunehmendem Abstand zu den Staulagen an den Alpenrändern wird die durchschnittliche Niederschlagsmenge immer geringer.

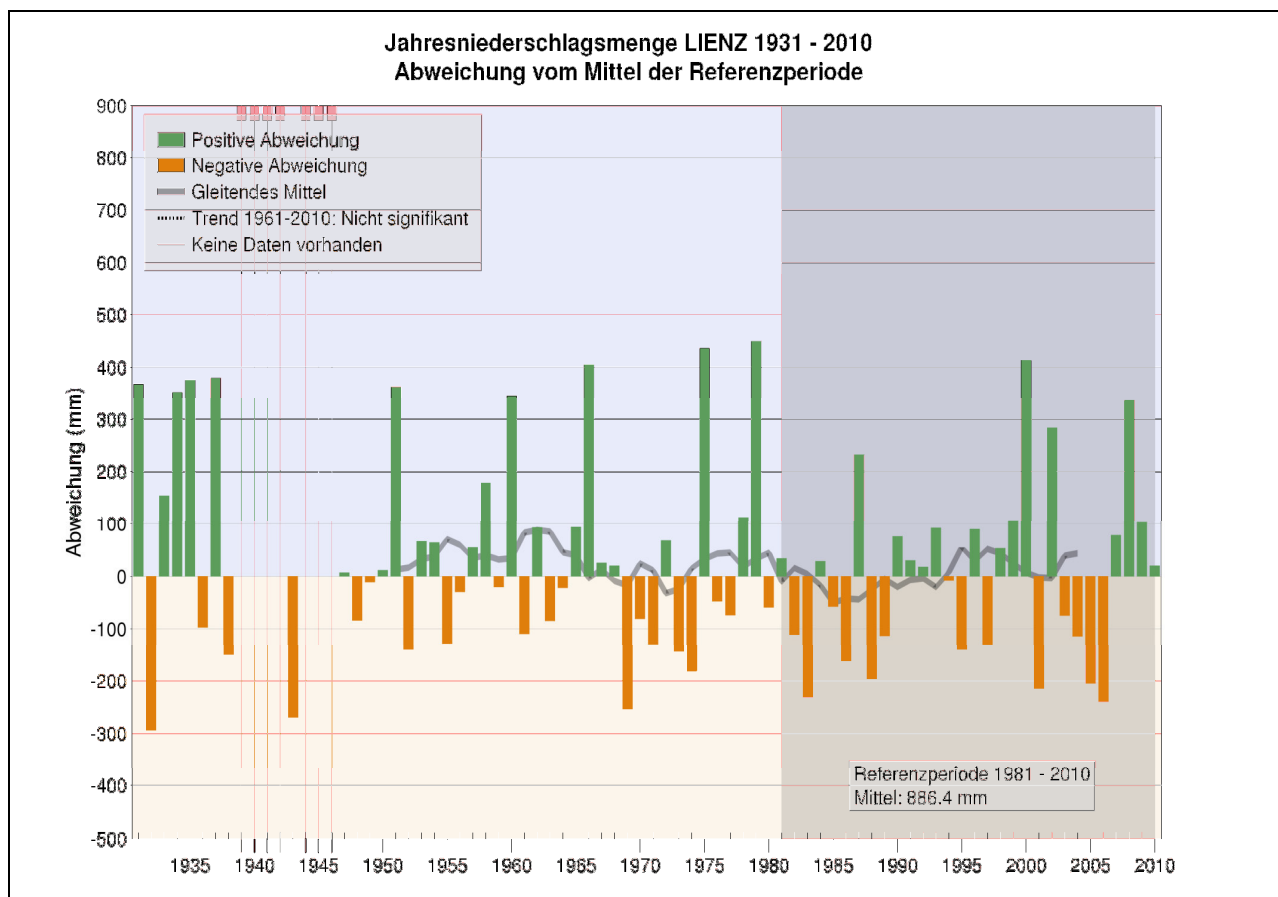
Wie in Abbildung 7 ersichtlich ist, weichen die jährlichen Niederschlagsmengen meist um 200 bis 300 mm vom langjährigen Durchschnittswert der jeweiligen Station ab. In Extremfällen können die Schwankungen aber an der Alpennordseite mit bis zu 600 mm auch doppelt so groß sein, in den Dolomiten im Südosten der Alpensüdseite sogar dreimal so groß. Wie bereits oben erwähnt, sind für die extremen Niederschlagsereignisse in den südöstlichen Dolomiten vor allem intensive Südstaulagen verantwortlich, die hauptsächlich im Herbst vorkommen.



**Abb. 7:** Abweichung der Jahresniederschlagssummen vom jeweiligen Klimamittel 1981 bis 2010. Stationswerte sind wie in der Legende ausgewiesen durch Symbole gekennzeichnet, die Farben stehen für die Regionen. Nordwest wird in blau gekennzeichnet, Südwest in orange, Südost in grün und hochalpin in Magenta. Die durchgezogenen Linien zeigen das gleitende Mittel über 11 Jahre.

Anders als bei den Temperaturen sind beim Niederschlag (fast) keine Trends auszumachen. Dies wird anhand der vier geglätteten Regionsmittel in Abbildung 7 augenscheinlich. Ein typisches Beispiel an einem Standort liefert die Niederschlagsreihe in Lienz (Abbildung 8). Bei sehr hoher Variabilität von Jahr zu Jahr, die mit vorherrschenden Anströmungsmustern und der konvektiven Tätigkeit im Sommer einhergeht, ist bisher keine langfristige Zu- oder Abnahme zu beobachten. Es gibt nur zwei Ausnahmen: Die erste betrifft

die Region Südost. Nach längeren, überdurchschnittlich nassen Perioden in den 30er-Jahren sowie zwischen 1950 und 1970 ist es hier etwas trockener geworden (dicke grüne Linie in Abbildung 7). Gegenläufig dazu wurde eine *signifikante* Zunahme des Jahresniederschlages an der Station Kufstein am Alpennordrand festgestellt (nicht gezeigt). Hier hat die Jahressumme im Zeitraum 1961 bis 2010 um 120 mm zugenommen. An den anderen Stationen im Nordwestsektor wie beispielsweise in Reutte ist jedoch bisher kein signifikanter Trend zu beobachten. Dies gilt auch für andere untersuchte Klimaindizes auf Basis von Daten in täglicher Auflösung. Weder die maximalen 1- noch die 5-tägigen Niederschlagsereignisse haben sich in der Untersuchungsregion signifikant verändert oder gar verstärkt.



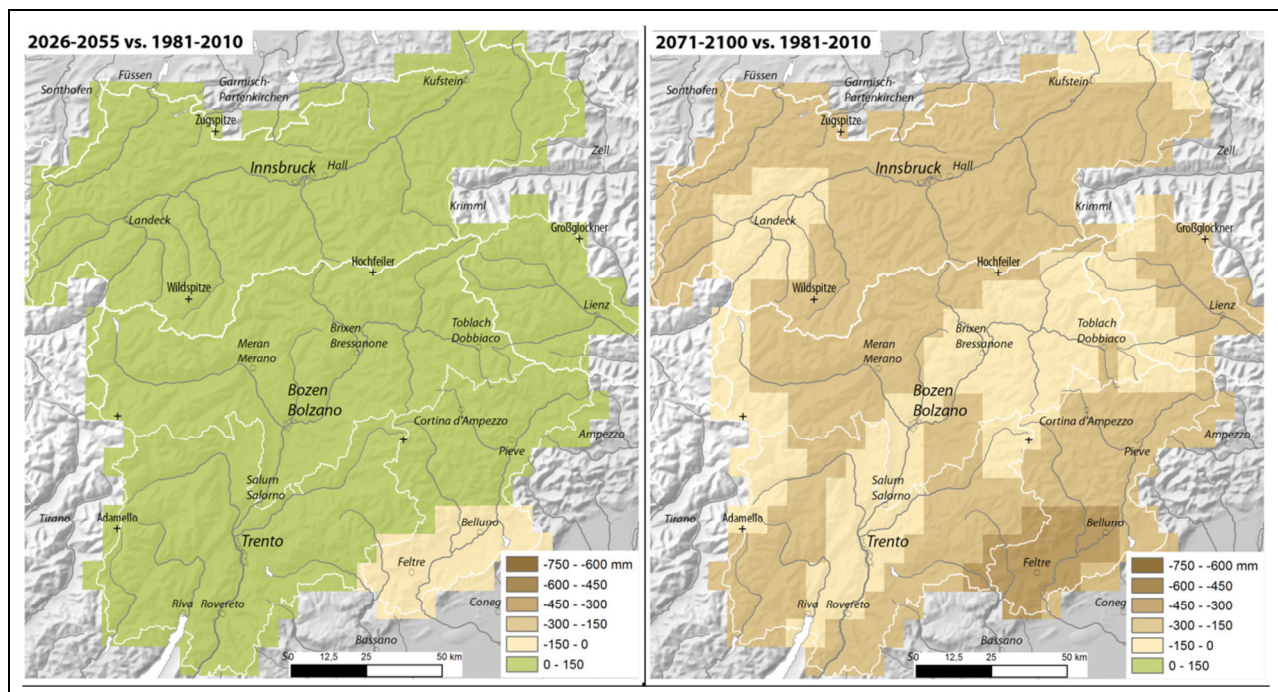
**Abb. 8:** Jährliche Niederschlagssummen in Lienz, dargestellt als Abweichung vom Mittelwert 1981 bis 2010.

Hinweise auf eine Zunahme des Niederschlages im Nordwesten der Alpen und eine Abnahme im Südosten gibt es auch in den Untersuchungen der HISTALP-Daten (Böhm 2008a, S. 58). Diese beziehen sich allerdings auf größere Regionen im erweiterten Alpenraum.

### **Zukunftsszenario**

Auf Basis der bereits beschriebenen Regionalen Klimamodelle im realistischsten Szenario A1B wurde auch die Entwicklung des Niederschlages bis Ende des 21. Jahrhunderts untersucht. Modellierungen, wie sich der Niederschlag in den nächsten Dekaden verändern könnte, weisen einen großen Unsicherheitsfaktor auf: Unter anderem wirken sich die noch immer relativ grobe Modellauflösung in Kombination mit dem alpinen Gelände stark aus. Die modellierten Klimaprojektionen deuten zwar Trends an, generell sind sämtliche hier gezogenen Schlüsse zur Niederschlagsentwicklung aber der Kategorie „unsicher“ zuzuordnen.

Wie in Abbildung 9 ersichtlich, ändert sich bis zur Periode 2026 bis 2055 nur wenig. Der mittlere jährliche Niederschlag nimmt laut Modellierung im Großteil der Region geringfügig zu. Bis Ende des Jahrhunderts ist allerdings mit abnehmenden Niederschlagssummen zu rechnen. Bis zur Periode 2071 bis 2100 soll es jährlich zwischen 100 und 300 mm weniger regnen, wobei die Abnahmen im Südosten am stärksten ausfallen.



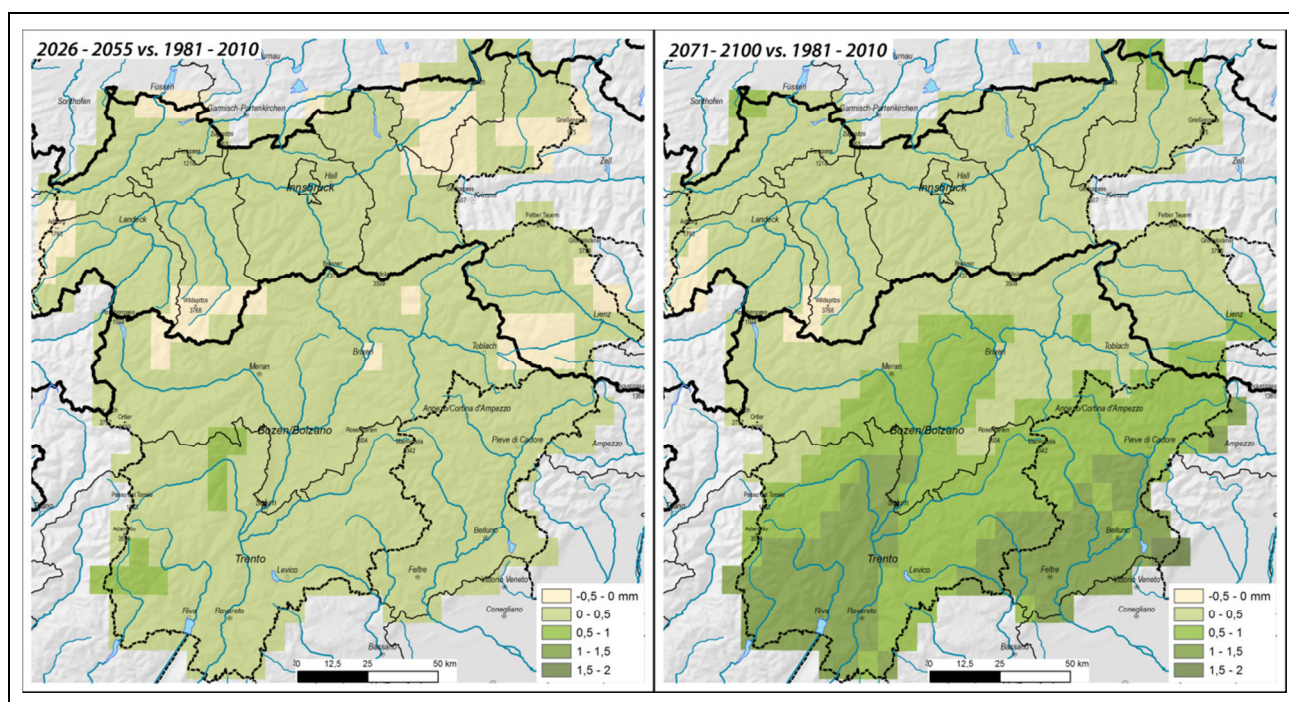
**Abb. 9:** Änderungen der mittleren jährlichen Niederschlagssummen im Modell in den Perioden 2026 bis 2055 sowie 2071 bis 2100 im Vergleich zur Periode 1981 bis 2010.

Der eben diskutierte Trend des Jahresniederschlags setzt sich aus teils gegenläufigen Entwicklungen in der kalten bzw. warmen Jahreszeit zusammen. Die Winterniederschläge werden künftig möglicherweise aufgrund häufigerer West-Wetterlagen leicht zunehmen, die Sommer im Gegenzug bedingt durch mehr Hochdruckwetterlagen trockener ausfallen (Haslinger et al. 2015). Das Plus an Winterniederschlag reicht nur in manchen Gebieten der Zentralalpen und Nordtirols in der nahen Zukunft aus, um den abnehmenden Sommerniederschlag zu kompensieren. Gegen Ende des Jahrhunderts nimmt der Winterniederschlag nur mehr unwesentlich zu und kann daher den Trend zu abnehmenden Sommerniederschlägen nicht mehr kompensieren. Daher ist in der Periode 2071 - 2100 eine generelle Abnahme zu beobachten. Die Ergebnisse für die Region sind konform mit anderen Arbeiten zur zukünftigen Niederschlagsentwicklung im Alpenraum. Rajczak et al. (2013) konnten beispielsweise auch eine Zunahme der Winterniederschläge bei gleichzeitig deutlicher Abnahme der sommerlichen Regenmengen für Mitteleuropa zeigen, wobei diese Abnahme gegen Süden hin stärker ausfällt. Vergleichbare Ergebnisse finden sich auch in Smiatek et al. (2009) oder Kotlarski et al. (2015).

Die Zukunftsszenarien zeigen in groben Zügen das, was man aus Analysen von Beobachtungsdaten kennt, allerdings mit gewissen Unterschieden. Wie bereits ausgeführt konnte in den Jahren 1961-2010 in Kufstein ein signifikanter Trend zu höheren Jahresniederschlagssummen festgestellt werden, im Südosten des Untersuchungsgebietes hingegen eine Tendenz zu niedrigeren Jahresniederschlägen. An den anderen untersuchten Stationen sind bei großer Jahr-zu-Jahr-Variabilität keine Trends in der

Jahresniederschlagssumme erkennbar. Für die Wintersaison konnten Haslinger et al. (2012) und Brunetti et al. (2006) eine Zunahme der Niederschläge nördlich der Alpen nachweisen, die in erster Linie durch einen Trend zu mehr West-Wetterlagen zu erklären ist. Südlich der Alpen sind noch keine nennenswerten Änderungen im Winter zu beobachten. Im Sommer ist derzeit ein über den gesamten Alpenraum leicht abnehmender, jedoch nicht signifikanter Niederschlagstrend feststellbar. Im Gegensatz dazu zeigen die Beobachtungsdaten vor allem südlich der Alpen im Herbst einen klaren, signifikanten Trend zu geringeren Niederschlagsmengen, bedingt durch häufigere Hochdruckwetterlagen, der in den Modellsimulationen nicht so deutlich erkennbar ist.

Unter der mittleren Niederschlagsintensität versteht man die durchschnittliche Regenmenge an einem Tag. Sie ergibt sich aus der Jahresniederschlagssumme geteilt durch die Anzahl der Tage mit Niederschlag pro Jahr. In Abbildung 10 ist die Änderung dieser mittleren Niederschlagsintensität für Mitte beziehungsweise für Ende des Jahrhunderts abgebildet. In der ersten Periode sind kaum Änderungen festzustellen, lediglich eine äußerst geringe Zunahme von 0,5 bis 1 mm in einigen Gebieten Südtirols. Gegen Ende des Jahrhunderts sind deutlichere Änderungen zu erkennen, am stärksten ausgeprägt sind sie in den südlichen Bereichen der Untersuchungsregion. Hier sind Steigerungen in der Niederschlagsintensität bis zu 2 mm zu erkennen.



**Abb. 10:** Änderungen der mittleren Niederschlagsintensität im Modell in den Perioden 2026 bis 2055 sowie 2071 bis 2100 im Vergleich zur Periode 1981 bis 2010.

Die Änderungen sind wieder ähnlich jenen aus vergleichbaren Studien. In Rajczak et al. (2013) zeigt sich ebenfalls eine leichte Zunahme der mittleren Intensität der täglichen Niederschläge im Mitteleuropa. Die Zunahme stammt jedoch nicht, wie vielleicht zu erwarten wäre, von Sommerniederschlägen, sondern passiert in den Herbst- und Wintermonaten. In diesen beiden Jahreszeiten ist bei einer gleichbleibenden Anzahl an Niederschlagstagen mit einem Anstieg der Niederschlagssumme und folglich auch mit einem Anstieg der Intensität zu rechnen (siehe Gobiet et al. 2013). Anders verhält es sich im Sommer, hier



nehmen sowohl die Niederschlagstage als auch die Niederschlagssummen ab, was zu einer gleichbleibenden Niederschlagsintensität führt.

Analysen aus Beobachtungsdaten weisen allerdings auf einen entgegengesetzten Trend hin. So konnten Auer et al. (2010) zeigen, dass die Niederschlagsintensität im Zentralalpinen Raum einem deutlich negativen Trend in den letzten 100 Jahren unterliegt. Diese Diskrepanzen in Kombination mit den generellen Unsicherheiten in der Niederschlagsmodellierung lassen Aussagen über die zukünftige Entwicklung der Niederschlagsintensität kaum zu. Die modellierten Trends darüber müssen daher als unsicher eingestuft werden.

### **Zusammenfassung und Auswirkungen**

Fassen wir die klimatischen Entwicklungen, die wir bereits sehen und die projiziert werden, für den Raum Tirol – Südtirol – Belluno noch einmal zusammen:

Die Temperatur ist schon in den letzten Jahrzehnten deutlich angestiegen, diese Entwicklung wird sich mit ziemlicher Sicherheit bis Ende des gegenwärtigen Jahrhunderts fortsetzen. Der Erwärmungstrend tritt dabei bisher in allen Jahreszeiten auf, auch wenn im Winter die Zunahme von starken Schwankungen überlagert ist. Beim Niederschlag wird in den Messdaten noch kein allgemeiner Trend registriert. Es zeigt sich jedoch in den Messdaten eine Tendenz zu abnehmendem Jahresniederschlag südlich des Alpenhauptkammes und leichter Zunahme nördlich davon. In den Klimamodellen wird ein analoges räumliches Muster vorhergesagt, die größte Abnahme sollte bis Ende des Jahrhunderts in der Region Belluno stattfinden. Kurzfristige Niederschläge könnten jedoch künftig intensiver ausfallen. Die vorhergesagten jahreszeitlichen Tendenzen stimmen jedoch nicht gut mit den Beobachtungen überein.

Welche Auswirkungen haben nun diese Veränderungen?

Zunächst ist davon auszugehen, dass sich die Vegetationsperiode verlängert und dies zu höherer landwirtschaftlicher Produktivität führen wird (Menzel et al. 2006). Höhere Temperaturen führen in der Theorie auch zu einem Ansteigen der Waldgrenze und einer Verdichtung der Baumbestände. In den Alpen ist die Waldgrenze jedoch maßgeblich durch den Menschen beeinflusst (Grace et al. 2002), was dazu führt, dass Temperaturänderungen allein für Veränderungen, etwa der Waldgrenze, nicht ausreichen. Für Tiere müssen die sich daraus ergebenden Änderungen nicht zwangsweise eine Verschlechterung darstellen. Ihre Lebensbedingungen könnten sich durchaus teilweise auch verbessern, etwa durch längere Brutzeiten, ein höheres Angebot an Nahrung oder weniger Hungertote im Winter (Dunn & Winiler 2010). Andererseits könnten Interaktionen, wie Bestäuber-Pflanzen-Beziehungen durch den Klimawandel auf viele Arten beeinflusst werden (Hegland et al. 2009), unter anderem sind auch zunehmende Probleme in der Landwirtschaft durch (neue) Schädlinge absehbar.

Wärmere Winter bedeuten jedenfalls verminderte Heizkosten, dadurch sinken auch die Emissionen und die Luftqualität verbessert sich (APCC, 2014). Das Ansteigen der Temperaturen bewirkt andererseits ein Auftauen von Permafrost in den hochalpinen Regionen. Mögliche Resultate sind ein Zunehmen von Steinschlag und Felsstürzen (Gruber et al. 2004), Rutschungen oder Muren, wobei gerade letztere auch stark von Niederschlagsereignissen abhängig sind. Dies kann die alpine Infrastruktur, etwa Stützen von Seilbahnen, Lawinenschutzzäune oder Straßen und Wege beeinträchtigen.

Die Zunahme an warmen und heißen Tagen wird zu einer stärkeren Hitzebelastung führen (Zuvela-Aloise 2013), was sich überwiegend in den niedriger gelegenen Bereichen auswirken wird. In den Mittelgebirgsregionen könnte die touristische Infrastruktur von den wärmeren und trockeneren Sommermonaten wiederum profitieren. Im Winter ist der Tourismus eng an das Schneeangebot gekoppelt, dieses wird durch den Anstieg der mittleren Schneefallgrenze (Böhm 2008b, Gobiet et al. 2013) besonders in mittleren Lagen zurückgehen.

Veränderte Niederschlagsmengen in Kombination mit jahreszeitlichen Verschiebungen verändern zwangsläufig den Wasserhaushalt in der Region. Die projizierten jahreszeitlichen Änderungen wirken sich wahrscheinlich nicht allzu stark auf die jährliche Gesamtabflussmenge in den Fließgewässern aus. Im Sommer ist jedoch in den nicht-vergletscherten Gebieten mit einer Abnahme der Abflussmengen zu rechnen, wohingegen im Winter aufgrund der steigenden Niederschläge und des höheren Regenanteils durch höhere Temperaturen mehr Abfluss zu erwarten ist (Blaschke et al. 2011).

Alles in allem fällt die Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels im Untersuchungsgebiet zwiespältig aus, da sich einerseits Chancen bieten, andererseits aber auch ernstzunehmende Risiken ergeben.

## Literatur

APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, 1096 Seiten.

Auer I, Böhm R, Schöner W. (1999): ALOCLIM – Austrian-Central European long-term climate. Creation of a multiple homogenised long-term climate dataset. In: Proceedings of the 2nd seminar for homogenisation of surface climatological data. Budapest, Nov.1998. WCDMP 41, WMO-TD 962: 47-71

Auer I., Prettenhaler F., Böhm R., Proske H. (2010): Zwei Alpentäler im Klimawandel, in: Alpine Space – Man and Environment. Innsbruck University Press, 199 Seiten.

Blaschke A.P., Merz R., Parajka J., Salinas J., Blöschl G. (2011): Auswirkungen des Klimawandels auf das Wasserdargebot von Grund- und Oberflächenwasser. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 63, 31-41.

Böhm R. (2008a): Harte und weiche Fakten zum Klimawandel – ein Überblick. In: Böhm R, Godina R, Nachtnebel HP, Pirker O, (Red.), Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft. Hrsg. vom BmLFUW und ÖWAV, Wien, 53-70

Böhm R. (2008b): Schnee im Klimawandel – Snow and Climate Change. In: Katalog zur Ausstellung „Vom Schnee“ im Winter 2008/09 im Museum Kitzbühel. 60-87.

Böhm R. (2012): Changes of regional climate variability in central Europe during the past 250 years. The European Physical Journal Plus 127/5, 54.

Brunetti M., Maugeri M., Nanni T., Auer I., Böhm R., Schöner W. (2006): Precipitation variability and changes in the greater Alpine region over the 1800–2003 period. Journal of Geophysical Research, 111, D11107.

Dunn P.O., Winkler, (2010): Effects of climate change on timing of breeding and reproductive success in birds, in: Møller, A.P., Fiedler, W., Berthold, P. (Eds.), *Effects of Climate Change on Birds*. Oxford University Press, Oxford; New York, 113–128.

Gobiet A., Kotlarski S., Beniston M., Heinrich G., Rajczak J., Stoffel M. (2013): 21st century climate change in the European Alps-A review. *Science of the Total Environment*, 493, 1138-1151.

Grace J., Berninger F., Nagy L., (2002): Impacts of climate change on the tree Line. *Ann Bot* 90, 537–544.

Gruber S., Hoelzle M., Haeberli W. (2004): Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003. *Geophysical Research Letters*, 31.

Haslinger K., Chimani B., Böhm R. (2012): 200 years of liquid and solid precipitation in major river systems originating in the Greater Alpine Region. *Geophysical Research Abstracts Vol. 14*, EGU2012-1798.

Hegland S.J., Nielsen A., Lázaro A., Bjerknes A.-L., Totland Ø., (2009): How does climate warming affect plant-pollinator interactions? *Ecology Letters* 12, 184–195.

IPCC (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 Seiten.

IPCC (2014), *Climate Change 2014: Synthesis report*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 27th October – 1st November 2014, Copenhagen.

Kotlarski S., Lüthi D., Schär C. (2015): The elevation dependency of 21st century European climate change: an RCM ensemble perspective. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.4254.

Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F.M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, A., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatczak, K., Måge, F., Mestre, A., Nordli, Øyvind, Peñuelas, J., Pirinen, P., Remišová, V., Scheifinger, H., Striz, M., Susnik, A., Van Vliet, A.J.H., Wielgolaski, F.-E., Zach, S., Zust, A., (2006): European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* 12, 1969–1976.

Nemec J., Gruber C., Chimani B., Auer I. (2013): Trends in extreme temperature indices in Austria based on a new homogenised dataset. *International Journal of Climatology*, 33/6, 1538–1550.

Rajczak J., Pall P., Schär C. (2013): Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 3610-3626.

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Abteilung Brand- und Zivilschutz – Autonome Provinz Bozen, Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (2015): *Das Klima von Tirol – Südtirol – Veneto. Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft*, 102 Seiten.

Zuvela-Aloise, M. (2013): *FOCUS-I Future Of Climatic Urban heat stress Impacts*. ACRP Projektendbericht, Wien, 29 Seiten.

Donnerstag 20. Oktober 2016

11:00-11:30

## Das Innere des Patscherkofels - Methoden und Ergebnisse der geologischen Untersuchungen im Erkundungsstollen des Brenner Basistunnels

Andreas Töchterle

*Brenner Basistunnel BBT SE, Amraser Str. 8, A-6020 Innsbruck*

### Abstract

The Brenner Base Tunnel (BBT) is currently under construction. If finished it consists of two main tubes and an exploratory tunnel in between. Finally the exploratory tunnel will serve as drainage tunnel. The main part of the tunnel system has to be built within foliated metamorphic rocks. Therefore an applicable project-related classification scheme for brittle fault rocks has been compiled.

Several kilometres of the exploratory tunnel are already constructed in the southern as well as in the northern part of the project area. The northern part is situated within the Innsbruck Quartzphyllite Complex, an Austroalpine unit at the northwestern margin of the Tauern Window. The exploratory tunnel has already encountered about 7,2 kilometers of this unit (status 09-2016) delivering geological data to a great extent.

### 1. Einleitung

Der derzeit im Bau befindliche Brenner Basistunnel (BBT) besteht entlang der Hauptachse zwischen Innsbruck und Franzensfeste aus drei Tunnelröhren (Abb. 1). Dabei handelt es sich um die zwei Hauptröhren mit einem Achsabstand von 70 Metern und dem dazwischen verlaufenden Erkundungsstollen, der 12 Meter tiefer liegt. Die derzeit laufenden Vortriebsarbeiten am Erkundungsstollen sollen Aufschluss über die Beschaffenheit des Gebirges geben und so Baukosten und -zeiten minimieren. Sobald der BBT in Betrieb ist, wird der Erkundungsstollen eine Rolle für die Tunnelentwässerung spielen. Der am Ende durchgängige Erkundungsstollen kann für die Bauphase in sechs Abschnitte unterteilt werden, die von insgesamt fünf verschiedenen Angriffspunkten vorgetrieben wurden bzw. werden. Es sind dies von Norden nach Süden der bereits aufgefahrene Abschnitt Innsbruck-Ahrental, der im Bau befindliche Abschnitt Ahrental-Pfons, die von Steinach ausgehenden Strecken Wolf Nord und Wolf Süd sowie die im italienischen Teil des Projektgebietes befindlichen Abschnitte Maultal-Brenner und Aicha-Maultal, wobei letzterer bereits fertiggestellt ist. Im folgenden Beitrag sollen aufbauend auf den vorhergehenden Untersuchungsergebnissen verschiedenster Autoren (e.g. in: Rockenschaub et al., 2003; BBT SE, 2008) erste Ergebnisse der geologischen Erkundung aus den nördlichen Abschnitten des Erkundungsstollens umrissen werden.

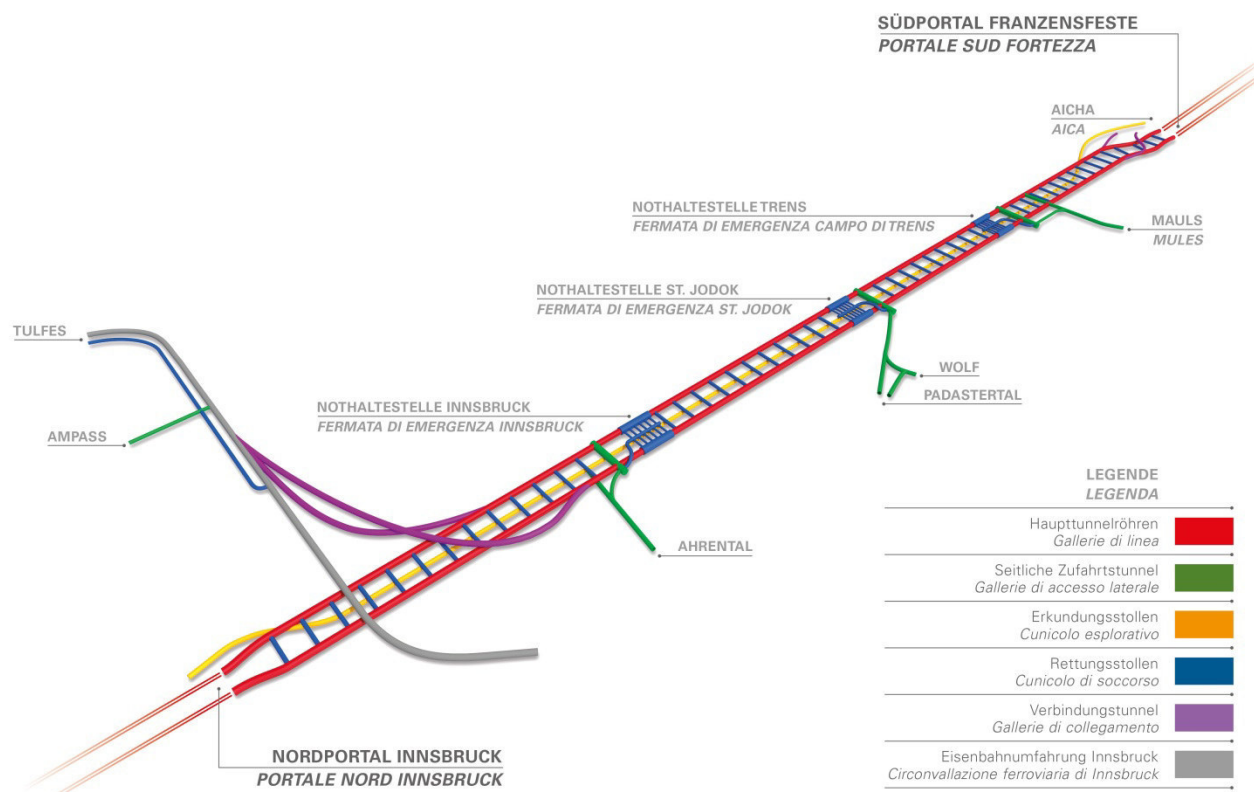


Abb. 1: Übersichtsgrafik zu den BBT-Bauwerken

## 2. Der Erkundungsstollen in den Abschnitten Innsbruck-Ahrental und Ahrental-Pfons

Zwischen Februar 2010 und August 2013 wurde der nördlichste Abschnitt des Erkundungsstollens von Innsbruck nach Süden, der Erkundungsstollen-Innsbruck-Ahrental, mit einer Länge von 4,84 km (Projektkilometer 2,1 bis 6,94) im Sprengvortrieb aufgefahren. Bei Projektkilometer 5,73 mündet der ebenso bereits fertig ausgebrochene Zugangstunnel Ahrental von Westen her kommend in den Erkundungsstollen. Der Zugangstunnel Ahrental ist der baulegitime Haupt-Zugang für sämtliche Untertage-Bauarbeiten im nördlichen Projektgebiet des BBT. Am Südenende des Erkundungsstollens Innsbruck-Ahrental wurde eine Startkaverne einschließlich Anfahrstützen zum Aufbau und Start einer TBM errichtet. Die offene Gripper-TBM wurde im Oktober 2015 in Betrieb gesetzt und fährt nun wiederum in südlicher Richtung den Erkundungsstollen Ahrental-Pfons auf. Derzeit (Stand 09-2016) befindet sich die TBM damit unter dem Viggartal südlich des Patscherkofels bei Projektkilometer 9,2 (Abb. 2 & 3).

## 3. Zielsetzung der laufenden Erkundung im Erkundungsstollen

Die geologische Erkundung im Erkundungsstollen hat zwei grundlegende Funktionen. Diese sind zum einen die baulegitime Dokumentation der Vortriebsarbeiten im Erkundungsstollen selbst und zum anderen die geologische Prognose für die parallel verlaufenden Haupttröhren. Letztere kann wiederum verschiedenen Zwecken dienen:

- In Bereichen, wo der Erkundungsstollen bereits aufgefahren wurde und die Haupttröhren in einem Folgelos errichtet werden, stellt die geologische Prognose eine Planungsgrundlage für die Erstellung der Ausschreibungen für die Haupttröhren dar. Dies

gilt in erster Linie für die Abschnitte Innsbruck-Ahrental, Ahrental-Pfons und Aicha-Mauls, wo der Erkundungsstollen bereits teilweise besteht. In den anderen Bereichen bestehen derzeit lediglich Zugangsstollen oder kurze Abschnitte des Erkundungsstollens, die aber ebenfalls wertvolle geologische Informationen für weitere Ausschreibungen liefern.

- In allen Bereichen dient die geologische Prognose aus dem Erkundungsstollen jedoch der Minimierung des geologischen Risikos beim Bau der Hauptröhren. Diese ist insbesondere von Bedeutung, da ein großer Teil der Hauptröhren mit Tunnelvortriebsmaschinen aufgefahren wird, wo unerwartet aufgefahrne Störungszonen die Vortriebsarbeiten in hohem Maße negativ beeinflussen können und unter Umständen umfangreiche Zusatzmaßnahmen erfordern (e.g.: Bonzanigo & Oppizzi, 2006; Frei & Breitenmoser 2006; Bergmeister & Töchterle 2013).

#### **4. Methoden der laufenden Erkundung im Erkundungsstollen**

##### **4.1. Geologische Aufnahme der Ortsbrust und Laibung**

###### **Zyklischer (Spreng-)Vortrieb:**

Im Zuge der Vortriebsarbeiten werden die aufgefahrenen Gebirgsbereiche baugelogisch dokumentiert. Im Bereich des zyklischen Vortriebs wurde dabei mindestens jeder zweite Abschlag geologisch aufgenommen. Wasserzutritte werden dokumentiert und gegebenenfalls mehrfach beprobt. So wurde im Durchschnitt alle 2,7 Meter eine vollständige Ortsbrustkartierung durchgeführt. Darauf aufbauend wurden nach aktuellem Stand der Technik baugelogische Pläne und Berichte erstellt.

###### **Kontinuierlicher (TBM-)Vortrieb:**

Im derzeit laufenden TBM-Vortrieb wird eine durchgehende geologische Kartierung der Laibung durchgeführt und als Abwicklung auf den Aufnahmeblättern dargestellt. Die darauf aufbauenden weiteren Dokumente der baugelogischen Dokumentation sind dann mit jenen aus den zyklischen Vortrieben vergleichbar.

##### **4.2. Bohrungen**

###### **Zyklischer (Spreng-)Vortrieb:**

Gemäß Bescheid werden in definierten Abschnitten als Vollbohrungen ausgeführte Vorausbohrungen überlappend ausgeführt. Das Bohrklein wird von einem beim Bohren anwesenden Geologen beurteilt. Die bisher durchgeführten, derartigen Bohrungen dienten in erster Linie der Reduktion des hydrogeologischen Risikos im Mittelgebirgsbereich südlich von Innsbruck. In weiterer Folge wurden dann aus dem Hohlraum des Erkundungsstollens mehrfach radiale Kernbohrungen ausgeführt, um vertiefende Erkenntnisse der geologisch-hydrogeologischen Situation für die Planung nachfolgender Bauwerke zu erlangen.

### **Kontinuierlicher (TBM-)Vortrieb:**

Im TBM-Vortrieb werden überlappende Vollbohrungen zur Vorauserkundung eingesetzt. In behördlich definierten Bereichen werden diese zudem im Schutze eines Preventers ausgeführt. Direkt im Anschluss an die Bohrung erfolgt eine sehr detaillierte Auswertung der Daten aus dem Bohrdatenschreiber, um erstens Inhomogenitäten und Zonen mit geringerer Festigkeit identifizieren zu können und in weiterer Folge auch Korrelationen mit TBM-Vortriebsdaten zu ermöglichen. Zudem wird der vordere Abschnitt der Bohrlöcher mit einer Kamera befahren, um auch einen optischen Eindruck vom Gebirgsverband am Borlochrand zu erhalten. Anlassbezogen werden von der Sohle aus auch Kernbohrungen zur Vorauserkundung eingesetzt. Für die weitere Erkundung der Hauptröhren sind radiale Kernbohrungen vorgesehen.

### **4.3. Geophysik**

Beim derzeit laufenden TBM-Vortrieb kommt das von Amberg Technologies entwickelte Verfahren TSP 303 (Amberg Technologies) zur seismischen Vorauserkundung der aufzufahrenden Gebirgsbereiche zum Einsatz. Bei diesem System wird über Sprengungen in Bohrlöchern ein seismisches Signal ins Gebirge eingebracht und die dort reflektierten Wellensignale in den ebenfalls in Bohrlöchern angebrachten Geophonen gemessen. Die Bohrungen befinden sich in der Laibung auf beiden Seiten des Tunnels. Es werden bei einem Messvorgang im Normalfall zwischen 15 und 18 Sprengungen in ebenso vielen Bohrlöchern pro Seite durchgeführt. Die Seismik erfasst je nach Gestein einen Gebirgsbereich von ca. 100-150m vor dem Bohrkopf. Ein Novum dieser Technologie ist die gesondert durchgeführte spezifische Auswertung für die seitlichen Gebirgsbereiche. Diese dient zum einen der Erkundung der von den Haupttunneln aufzufahrenden Gebirgszonen und zum anderen der Erfassung stark schleifender Störungszonen, die mit einer reinen Vorauserkundung nicht detektiert werden können.

### **4.4. Labormethoden**

In den Vortrieben erfolgen Probennahmen für petrologische und geotechnische Analyseverfahren sowohl nach einem standardisierten Rhythmus als auch bei spezifischen Fragestellungen. Ebenso werden hydrologische Untersuchungen an Proben von Wasserzutritten durchgeführt.

### **4.5. Geotechnik, Vermessung, interdisziplinäre Methoden**

Der vorliegende Beitrag konzentriert sich im Wesentlichen auf die geologischen Kernaufgaben im Zuge der Planung und der Errichtung des Brenner Basistunnels. Obwohl allseits bekannt soll an dieser Stelle nochmals erwähnt sein, dass es sich bei der Baugrund-Charakterisierung im Tunnelbau um vielfach interdisziplinäre Tätigkeiten handelt. Es werden Daten unterschiedlichster Natur von Fachpersonal aus unterschiedlichen Disziplinen erhoben, verwaltet und interpretiert. Im Fall des TBM-Vortriebs sind für die geologische Modellerstellung u. a. die Maschinendaten von großer Bedeutung. Diese liegen in großer Menge vor und sind in hohem Maße projektspezifisch, was eine dementsprechend aufwendige Bearbeitung erfordert.

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Der Gebirgsbau

Der Erkundungsstollen Innsbruck-Ahrental und der bisher von der TBM aufgefahrene Abschnitt des Erkundungsstollens Ahrental-Pfons liegen im Bereich des Innsbrucker Quarzphyllitkomplexes (Abb. 2 & 3). Bei diesem handelt es sich um eine intern verfaltete und verschuppte ostalpine Einheit am Nordrand des westlichen Tauernfensters. Der Innsbrucker Quarzphyllitkomplex grenzt im Süden über eine duktile Scherzone an die Gesteine des Tauernfensters und im Westen über die Brenner-Abschiebung an das Ötztal-Stubai-Kristallin. Im Norden taucht der Quarzphyllit unter die quartären Sedimente des Inntals ab, in dem die Inntal-Störung verläuft.

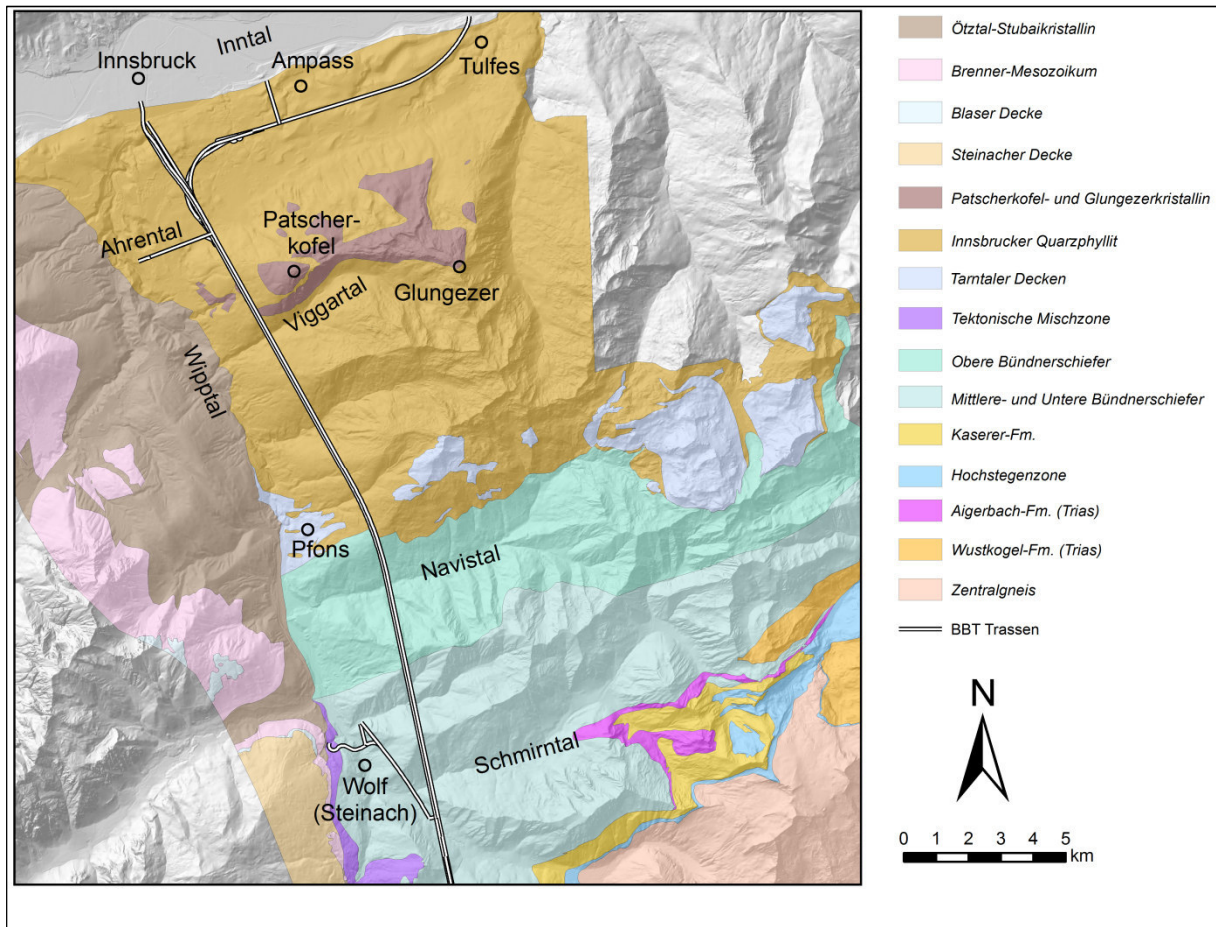
Die Innsbrucker Quarzphyllitzone besteht in der Hauptmasse aus metamorphen Sedimenten des Paläozoikums. Haditsch & Mostler (1982, 1983) bzw. Mostler (1982) führten eine Seriengliederung in den Innsbrucker Quarzphylliten durch, die durch Rockenschaub et al (2003) ergänzt wurde. Damit ergibt sich für die Innsbrucker Quarzphyllitzone eine Untergliederung in 4 Untereinheiten, die stratigraphisch absteigend folgendermaßen bezeichnet werden: Schwarzphyllit-Karbonat-Serie, Karbonat-Serizitphyllit-Serie, Quarzphyllit-Grünschiefer-Serie und Glimmerschiefer-Gneis-Serie (=höhermetamorpher Anteil der Innsbrucker Quarzphyllitzone). Die Innsbrucker Quarzphyllitzone weist einen großräumigen liegenden Isoklinalfaltenbau auf. Die großmaßstäbliche Struktur wird nach Rockenschaub et al. (2003) von einer nach Norden schließenden, überkippt liegenden Antiklinalstruktur gebildet. Den Faltenkern bildet die Glimmerschiefer-Gneis-Serie. Aufgrund stratigraphisch charakteristischer Horizonte ergibt sich für den Schenkel nördlich der Glimmerschiefer-Gneis-Serie eine aufrechte Lagerung, für den südlich anschließenden Bereich eine inverse Lagerung.

Im Bereich Patscherkofel und Glungezer tritt innerhalb des Innsbrucker Quarzphyllitkomplexes eine Kristallineinheit auf, die als Patscherkofel- und Glungezerkristallin bezeichnet wird (Abb. 2). Ein kleinerer Teil dieses Kristallins bildet am Patscherkofel eine tektonische Klippe (Patscherkofelkristallin s.s.). Die strukturelle Position der anderen Kristallinabschnitte in Bezug auf den Innsbrucker Quarzphyllit ist bis jetzt noch nicht eindeutig geklärt. Eine Einfaltung oder Einschuppung in den Innsbrucker Quarzphyllit war bereits in den Einreichunterlagen des BBT zur Umweltverträglichkeitsprüfung dargestellt (veröffentlicht auf der Homepage des bmvit). Eine bis auf Tunnelniveau sich erstreckende Einfaltung zeigt auch Brandner (2013) in seinem Querprofil durch die Alpen, wobei hier bereits erste Ergebnisse aus dem BBT-Erkundungsstollen eingeflossen sind.

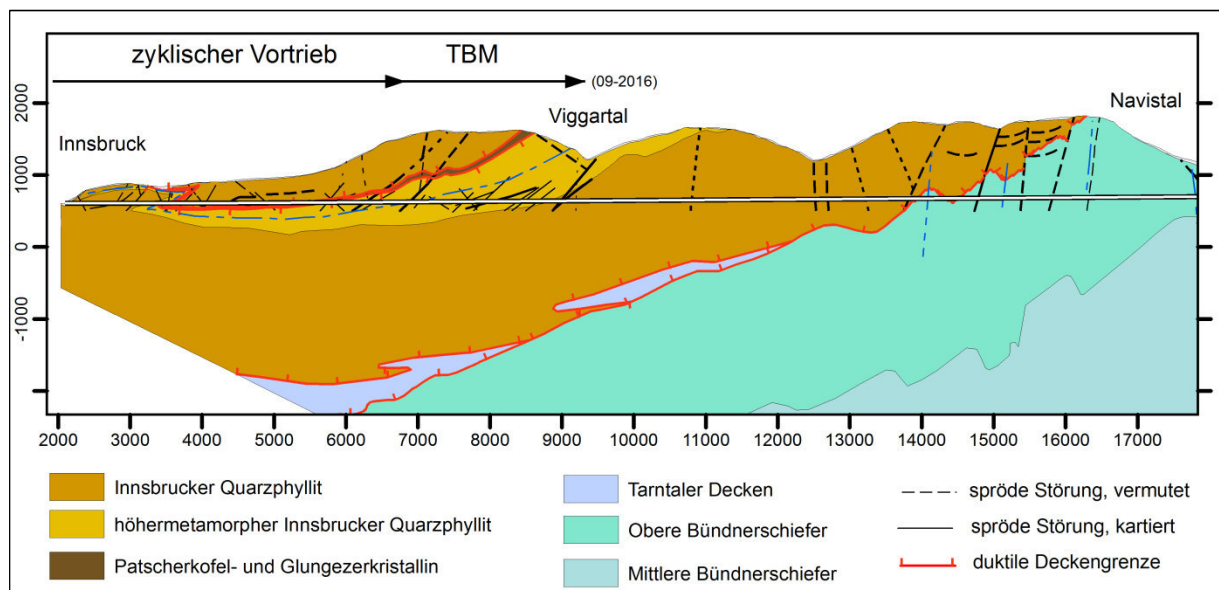
Im Zuge des Vortriebs des Erkundungsstollens zeigte sich, dass Gesteine, die aufgrund lithologischer Korrelation dem Patscherkofel- und Glungezerkristallin zugeordnet werden, bis auf Tunnelniveau reichen (Abb. 3). Es handelt sich dabei um sehr biotitreiche, vielfach granatführende Glimmerschiefer und Gneise. Diese Gesteine treten zwischen Kalkmarmorlagen-führendem Quarzphyllit im Hangenden (vermutlich Karbonat-Serizitphyllit-Serie) und dem höhermetamorphen Quarzphyllit (Glimmerschiefer-Gneis-Serie) im Liegenden auf. Damit wird der Innsbrucker Quarzphyllit zumindest im Bereich der BBT-Trasse in eine liegende und eine hangende (Falten-)Decke mit einem dazwischenliegenden Kristallinpan als Deckenscheider getrennt. Es ist zu beachten, dass aufgrund der inversen Lagerung der liegenden Quarzphyllit-Decke das beschriebene Faltenmodell sowie die erwähnte Seriengliederung des Innsbrucker Quarzphyllits aufrecht bleiben, wobei insbesondere die Abfolge des hangenden Schenkels / der



hängenden Decke durch duktile Abschiebungen tektonisch reduziert vorliegt. Zudem wird der gesamte Komplex noch von spröden Störungen intern zergliedert.



**Abb. 2:** Geologische Übersichtskarte über den nördlichen Projektraum



**Abb. 3:** Geologischer Übersichtslängenschnitt entlang der nördlichen Erkundungsstollenabschnitte

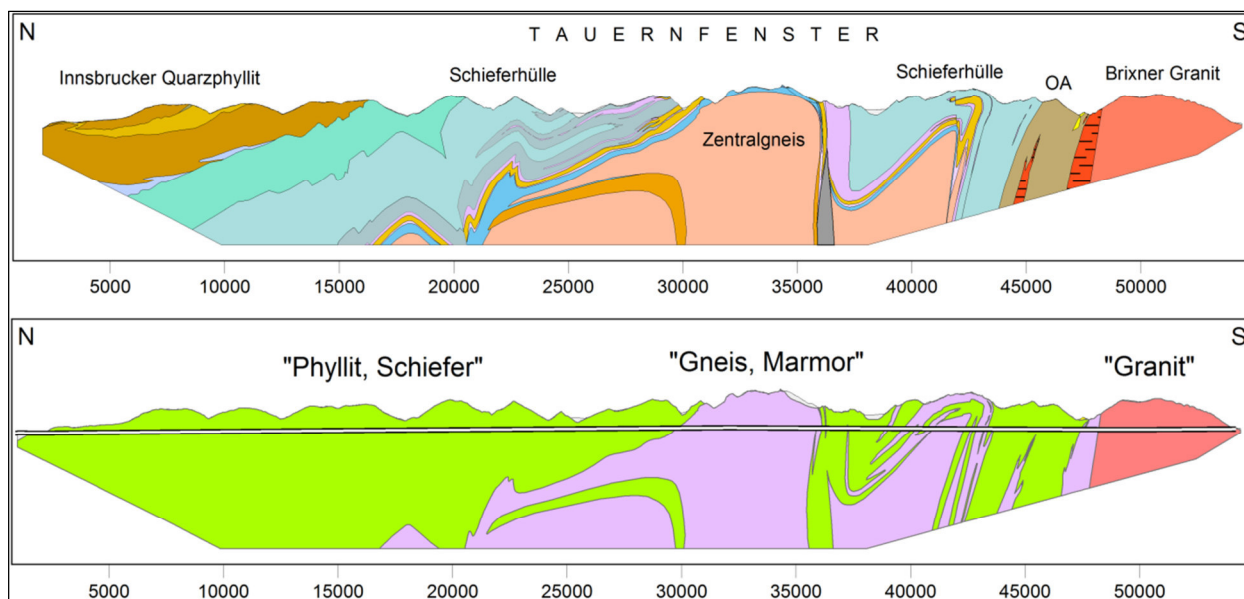
## **5.2. Spröde Störungen**

Für die Baugrundcharakterisierung sind bei der Beschreibung von Störungen in erster Linie sämtliche geometrische Eigenschaften sowie ihre Zusammensetzung von Bedeutung. In Verbindung mit dem Primärspannungszustand und den hydrogeologischen Parametern wird davon das Gebirgsverhalten und in weitere Folge das Systemverhalten beim Hohlraumbau abgeleitet.



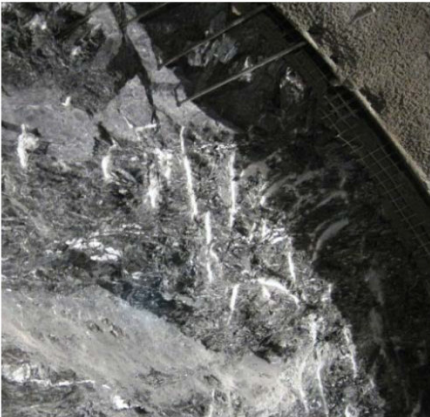
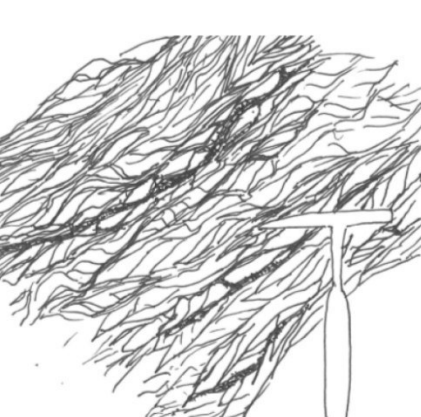

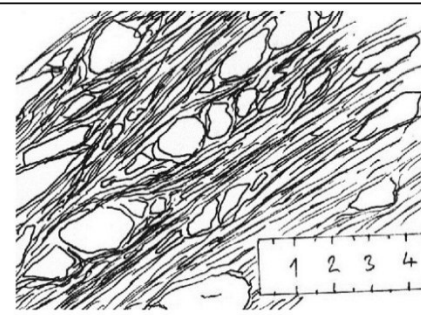


Die Zusammensetzung der Störung wird über die Anteile und Anordnung der verschiedenen Störungsgesteine angegeben. Zu den wesentlichen geometrischen Eigenschaften gehören Position, Orientierung, Mächtigkeit und laterale Ausdehnung. Im aufgefahrenen Tunnelabschnitt konnten sowohl hinsichtlich der Zusammensetzung als auch der Geometrie sehr spezifische Eigenschaften der Störungen festgestellt werden, die im Folgenden kurz beschrieben sind. Eine gesamthafte Beschreibung der sprödetektonischen Störungssysteme und ihrer Kinematik erfolgt an dieser Stelle nicht.





### **5.2.1. Störungsgesteine**

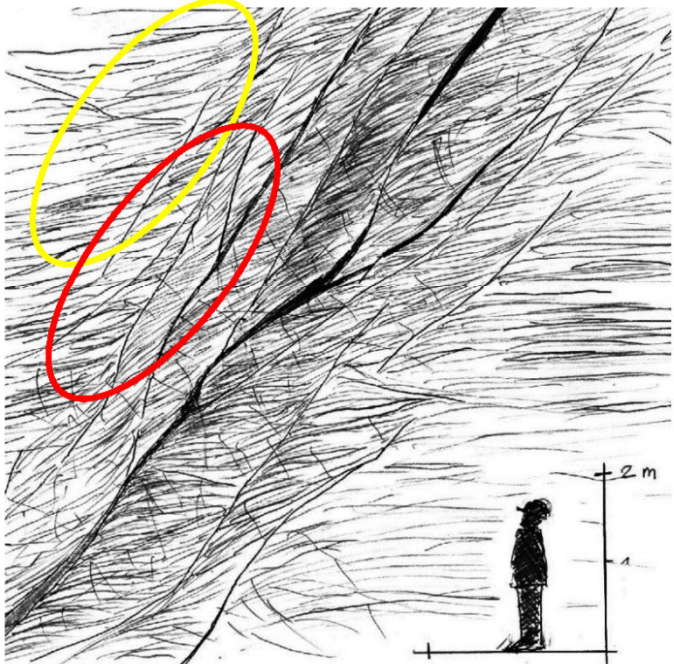
Entlang der gesamten Strecke des BBT treten spröde Störungen in den verschiedenen zu durchörternden Gebirgsabschnitten auf (Abb. 4). Damit einhergehend treten diese Störungen in sehr unterschiedlichen Gesteinen auf. Das Spektrum reicht von den Sedimenten der Maulser Trias über die Magmatite des Südalpins und der Periadriatischen Störungszone bis hin zu verschiedensten metamorphen Para- und Orthogesteinen. Reduziert man jedoch die Gesteine auf lithologische „Grundtypen“ und legt man diese auf den geologischen Längenschnitt um, so erhält man eine stark vereinfachte Darstellung, aus der klar hervorgeht, dass es sich bei einem Großteil der aufzufahrenden Gesteine um geschieferte Metamorphite handelt. Damit einher gehen typische Störungsgesteine, die sich bei bruchhafter Verformung der geschieferten Protolithen bilden. Im Zuge der Vortriebstätigkeiten zeigte sich, dass sich die bestehenden Klassifikationsschemata (e.g.: Heitzmann 1985, Riedmüller et al. 2001, Brodie et al. 2007, Fasching & Vanek 2011) zur Beschreibung dieser Störungsgesteine nicht optimal eignen. Aus diesem Grund wurde aufbauend auf einer bereits bestehenden Klassifikation aus der Vorerkundung (BBT EWIV 2001, BBT SE 2005) ein projektspezifisches Schema für spröde Störungsgesteine sowie das beeinflusste Nebengestein zusammengestellt (Tafeln 1-3; aus Töchterle et al. 2013)



**Abb. 4:** Geologischer Übersichtslängenschnitt entlang des gesamten BBT (oben) und daraus abgeleitete lithologische „Grundtypen“ (unten)

<b>Festgesteinsartige Störungsgesteine - Kataklastite</b>		
<p>Unterschiedliche spröde-tektonische Störungsgesteine mit Festgesteinscharakter und geringen bis hohen Festigkeiten. Die jeweilige Festigkeit ist zurückzuführen auf Restfestigkeit, auf Mineral-Einregelung anstelle völligen Zerbrechens oder auf Zementation. Das Maß der Entfestigung ist durch zusätzliche Begriffe wie <i>stark</i>, <i>mäßig</i> oder <i>gering entfestigt</i> näher zu beschreiben, also z.B.: <i>Protokataklastit, mäßig entfestigt</i> Das Maß der Zementierung ist durch zusätzliche Begriffe wie <i>stark</i>, <i>mäßig</i> oder <i>gering</i> näher zu beschreiben, also z.B.: <i>Kataklastit, stark zementiert</i></p>		
Gestein	Beschreibung	Fotos / Skizzen
<b>Protokataklastit</b>	<p>Spröde-tektonisch mäßig durchbewegtes Gestein; geprägt durch eine gegenüber dem Umgebungsgestein wesentlich erhöhte Dichte an Kluft- und Scherflächen mit meist mehreren Vorzugsorientierungen; bei den Scherflächen handelt es sich meist um diskrete Harnischflächen bzw. geringmächtige Scherbahnen; Primärgefüge noch reliktsch vorhanden; Matrixanteil &lt; 10% (ca.); Festigkeit in Form von Restfestigkeit</p>	 
<b>Geschieferter Protokataklastit</b>	<p>Spröde-tektonisch mäßig bis stark durchbewegtes Gestein; geprägt durch engständige Schieferungs- und Scherflächen mit einer dominanten Vorzugsorientierung bei stark streuenden Orientierungswerten der einzelnen Flächen; typisches Sigmoidalgefüge; deutliche Entfestigung entlang dieser Trennflächen; oft intensiv und unregelmäßig verfaltet; Primärgefüge evtl. noch reliktsch vorhanden; Matrixanteil &lt; 10% (ca.); Festigkeit in Form von Restfestigkeit und untergeordnet durch Kornverband infolge von Mineral-Einregelung anstelle völligen Zerbrechens</p>	 
<b>Geschieferter Kataklastit</b>	<p>Spröde-tektonisch stark bis sehr stark durchbewegtes Gestein; geprägt durch eine intensive Schieferung; die tektonische Verformung passierte v.a. entlang neugebildeter bzw. völlig überformter Schieferungsflächen; Festigkeit durch Kornverband infolge von Mineral-Einregelung anstelle völligen Zerbrechens</p>	 
<b>Kataklastit, zementiert</b>	<p>Verschiedene Typen von spröden Störungsgesteinen; durch Zementation verfestigt; sehr vielfältig hinsichtlich Ausbildung und Festigkeit</p>	 

Lockergesteinsartige Störungsgesteine		
Gestein	Beschreibung	Fotos
Kalkirrit	rollig-kohäsionsloses Gesteinszerreibsel im Sand- und Kieskornbereich	 
fault gouge	bindig-kohäsives Gesteinszerreibsel im Feinkornbereich; Kohäsion primär durch intergranulare Haftung im Feinkornbereich; im Projektraum häufig geschiefert	 

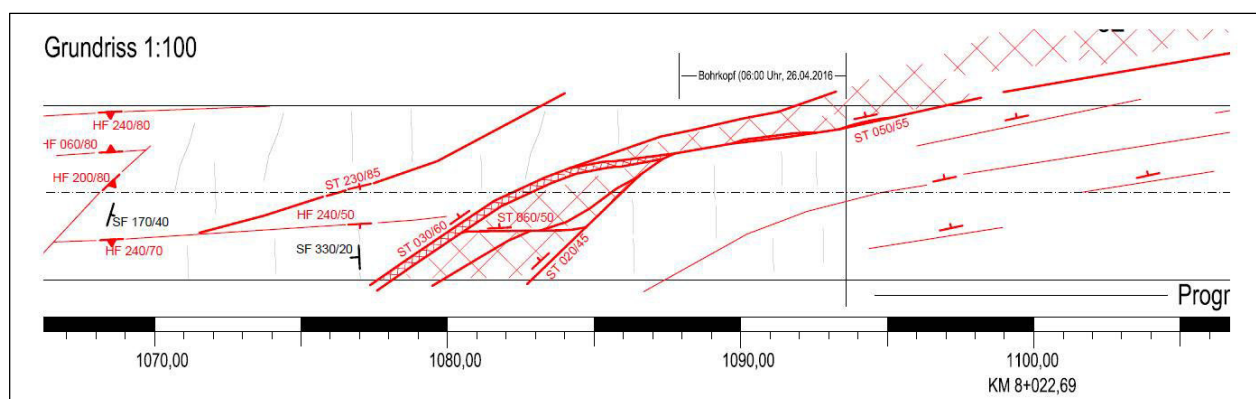
Nebengebirge unter Störungseinfluss		
Bezeichnung	Beschreibung	Skizze
Erhöhte Trennflächendichte	Gebirge mit erhöhter Trennflächendichte, sowie vermehrtem Auftreten von Harnischflächen. Ein direkter Störungseinfluss ist nicht sofort zu erkennen. Die erhöhte Dichte an Trennflächen zeigt sich oft erst im Zuge der graphischen Darstellung oder nachfolgenden Auswertung des betreffenden Abschnittes (Tunnelband, GSI,...). (gelb markierter Bereich in der Skizze)	
Zerrüttungszone	Gebirge mit deutlich erhöhter Trennflächendichte und schieferungsparalleler Entfestigung, sowie deutlich vermehrtes Auftreten von Harnischflächen. Das Gebirge ist zerrüttet und bereits an der Ortsbrust als deutlich gestört erkennbar. (rot markierter Bereich in der Skizze)	

**Tafeln 1-3:** BBT-Klassifikationsschema für Störungsgesteine und beeinflusstes Nebengestein (aus Töchterle et al. 2013)

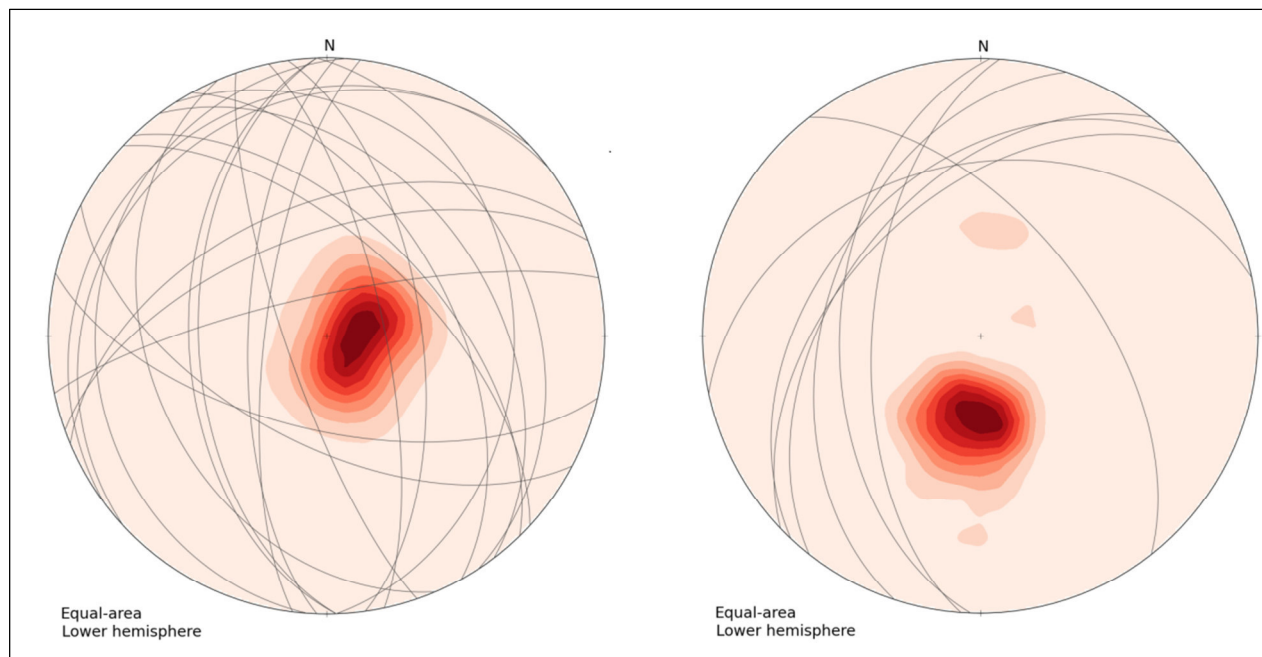
### 5.2.2. Orientierung der Störungen

Die einzelnen Störungen sind häufig stark gebogen und die Orientierungswerte variieren stark entlang einer Struktur (Abb. 5). Die Strukturen sind jedoch keineswegs regellos im Raum verteilt, sondern es pendeln sowohl die Orientierungswerte entlang einer einzelnen Störung als auch die Orientierungen der Störungen insgesamt um bestimmte Maxima (=Orientierungen der jeweiligen Störungssysteme).

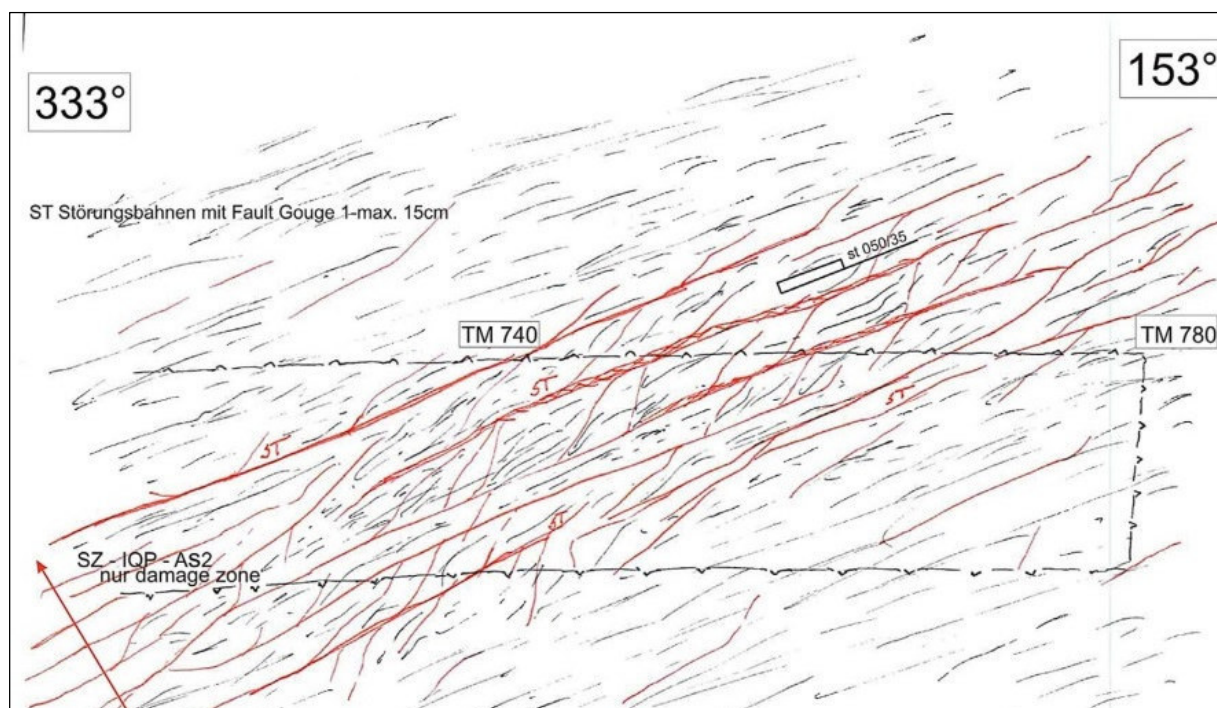
Zudem kann eine starke Beeinflussung der Ausrichtung der Störung durch die penetrative Haupt-Schieferungsrichtung festgestellt werden. In Abb. 6 wird die Orientierung der Schieferung mit den Orientierungen der aufgefahrenen Störungszonen verglichen. Dabei zeigt sich, dass bei überwiegend flach lagernder Schieferung Störungen mit verschiedensten Einfallrichtungen auftreten, während bei geneigter Schieferung ähnlich dazu orientierte Störungen klar dominieren. Untergeordnet treten auch hier davon abweichend orientierte Störungen in den verschiedenen Maßstäben auf. Die Orientierung der Schieferung wird vor dem Hintergrund des Spannungsregimes, das für die Bildung der Störung verantwortlich war, als wesentlicher Einflussfaktor für die Ausrichtung der Störung angesehen. Die Störungen verlaufen abschnittsweise häufig entlang der Schieferung und um dann wieder aus dieser herauszutreten und sie zu versetzen (Abb. 7). Auch ein Aufspießen und Verlaufen in der Schieferung ist häufig zu beobachten. Es bilden sich breite Zerrüttungszonen, mit dicht gestaffelten, schieferungsparallelen Bewegungsflächen.



**Abb. 5:** Plandarstellung einer steilstehenden schleifenden Störung im TBM-Vortrieb (Angaben sind Tunnelmeter) zeigt deutliche Schwankungen in Bezug auf ihre Orientierung (Geologischer Wochenbericht BBT, Heimo Schierl, 2016)



**Abb. 6:** Dargestellt sind Contourplots der Polpunkte der Schieferung überlagert von Großkreis-Darstellungen der im Vortrieb dokumentierten Störungszonen aus den jeweiligen Abschnitten im Quarzphyllit (links: Nordabschnitt, Projektkilometer 2,1 - 6,55; rechts: Südabschnitt Projektkilometer 6,55 - 9,1)



**Abb. 7:** Skizze einer schieferungsparallelen Störung im TBM-Vortrieb (Angaben sind Tunnelmeter)

### 5.2.3. Mächtigkeit und Zusammensetzung der Störungen

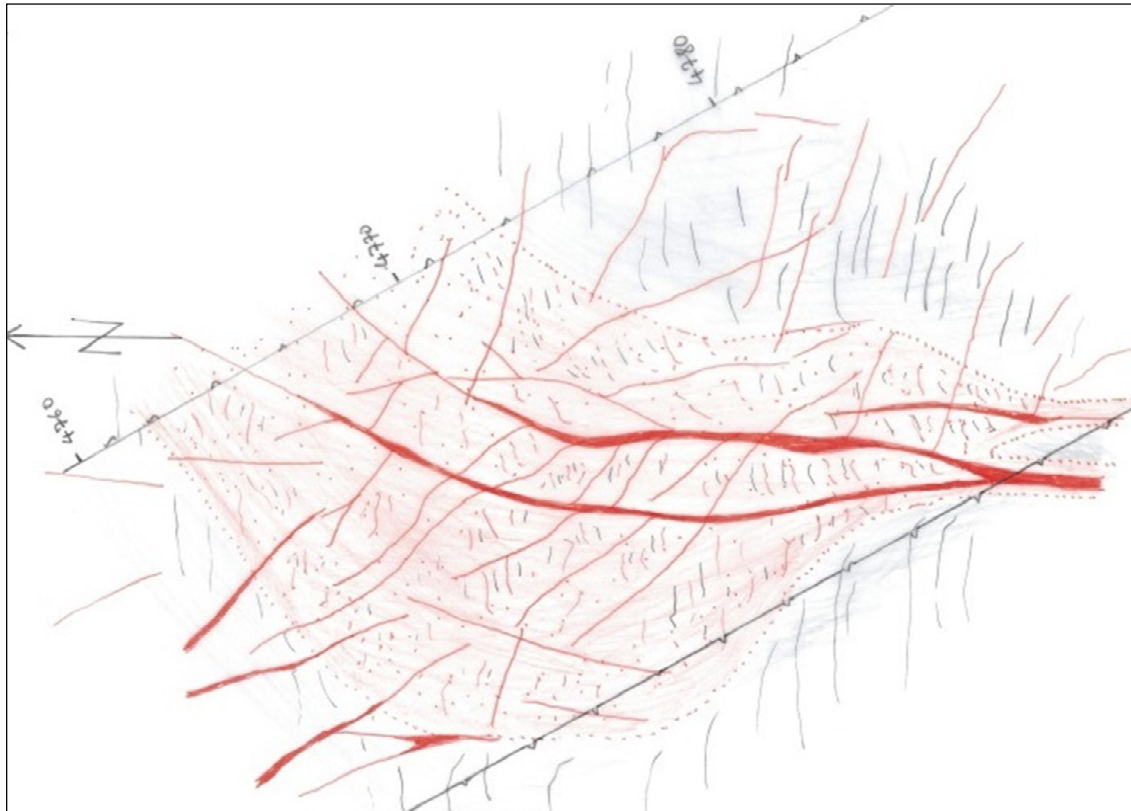
Den typischen Aufbau von Störungen mit einer Kernzone, die sich auch durchaus verzweigen kann und randlich begleitenden Zerrüttungs- und Auflockerungszonen findet man auch im Innsbrucker Quarzphyllit. In der Kernzone treten meist Protokataklastit und *fault gouge* auf, während in den Randzonen ein geringerer Zerlegungsgrad anzutreffen ist. Es kann dabei eine große Schwankungsbreite hinsichtlich der

Mächtigkeit und der Anteile der verschiedenen Störungsgesteine festgestellt werden (Abb. 8 & 9). Entlang einzelner Strukturen konzentriert sich dabei die Verformung abschnittsweise an engen Stellen, um sich dann wieder über eine breitere Zone zu erstrecken. Naturgemäß sind in den Engstellen Bereiche mit stark zerriebenem Material (e.g.: *fault gouge*) mächtiger ausgebildet als in den breiten Störungszonenabschnitten. Der volumetrische Anteil von *fault gouge* an der Kernzone kann in kurzen Abschnitten damit bis zu Werten im Bereich von 50% ansteigen, während er zum überwiegenden Teil bei ca. 3-15% liegt.



**Abb. 8:** Foto einer schleifenden, mittelsteil nach W einfallenden Störungs-Kernzone mit variierender Mächtigkeit und Zusammensetzung im Bereich der rechten unteren Tunnellaibung im TBM-Vortrieb bei Projektkilometer 8,38





**Abb. 9:** Skizzierte Plandarstellung einer schleifenden, nach Westen einfallenden Störung im Bereich des konventionellen Vortriebs (Angaben sind Tunnelmeter) mit extremer lateraler Schwankung in Bezug auf Mächtigkeit (3-12m) und prozentuellen Zusammensetzung (hellrot: Protokataklasit, dunkelrot: fault gouge)

## 6. Schlussbemerkungen

Der Bau des Erkundungsstollens liefert geologische Information, die bei der Planung der Haupttröhren in den verschiedenen Projektphasen wertvolle Datengrundlagen darstellen. Insbesondere spröde Störungen stellen beim unterirdischen Hohlrumbau eine Herausforderung dar. Die Kenntnis über die Lage und die Ausprägung dieser Strukturen kann von entscheidender Bedeutung für die erfolgreiche Verwirklichung von Tunnelbauten sein, wobei dies für maschinelle Vortriebe zu wesentlichen Teilen sogar verstärkt gilt. Die BBT SE legt daher größten Wert auf eine möglichst detaillierte sowie sachgerechte Dokumentation und Interpretation aller verfügbaren Erkundungsergebnisse.

## 7. Literatur

- AMBERG TECHNOLOGIES: [WWW.AMBERGTECHNOLOGIES.CH](http://WWW.AMBERGTECHNOLOGIES.CH)
- BBT EWIV (2001): Geologie, Erkundung, Strukturtektonik, Schlußbericht. – Unveröffentl. Bericht von Brandner, R., Decker, K., Ortner, H., Reiter, F., Bistacchi, A., Massironi, M., 82 S.
- BBT SE (2005): Charakterisierung von Störungszonen, Österreichischer Abschnitt. – Unveröffentl. Bericht von Decker, K., Reiter, F., Brandner, R., 293 S.

- BBT SE (2008): Haupttunnel, Geologie, Geologisches Modell. – UVE, Geologie, Geotechnik und Hydrogeologie, Technischer Bericht, G 1.2a-02 von Brandner, R., 105 S., [www.bmvit.gv.at](http://www.bmvit.gv.at).
- Bergmeister, K, Töchterle, A. (2013): Brenner Basistunnel: Wichtigkeit der Vorauserkundung / Brenner Base Tunnel: Importance of Preliminary Prospection. – Tunnel, 1/13: S. 12-23.
- Bonzanigo, L., Oppizzi, P. (2006): Low angle fault zones and TBM excavation in Bodio section of Gotthard Base Tunnel. – In: Löw, S. (ed.): Geologie und Geotechnik der Basistunnel am Gotthard und am Löttschberg, S. 155-165, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich.
- Brandner, R., (2013): Alpen-Profil - Geologischer Schnitt von Bad Tölz bis zum Schlern. Innsbruck.
- Brodie, K, Fettes, D., Harte, B., Schmid, R. (2007): 3. Structural terms including fault rock terms. Recommendations by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks. Web version of 01.02.07.
- Fasching, F., Vanek, R. (2011): Engineering geological characterisation of fault rocks and fault zones / Ingenieurgeologische Charakterisierung von Störungsgesteinen und Störungszonen. – Geomechanics and Tunneling, 4 (3): S. 181-19.
- Frei, B., Breitenmoser, T. (2006): Geologisch-geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse im Vortrieb Amsteg: Vergleich zwischen Prognose und Befund – In: Löw, S. (ed.): Geologie und Geotechnik der Basistunnel am Gotthard und am Löttschberg, S. 101-117, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich.
- Haditsch, G & Mostler, H., (1982): Zeitliche und stoffliche Gliederung der Erzvorkommen im Innsbrucker Quarzphyllit. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 12: S. 1-40.
- Haditsch, G & Mostler, H., 1983. The Succession of Ore Mineralization of the Lower Austroalpine Innsbruck Quartzphyllite. In: Schneider, H.J. (ed.): Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe, S. 51-59, Proceedings of the IV ISMIDA, Berchtesgaden.
- Heitzmann, P. (1985): Kakirite, Kataklasite, Mylonite - Zur Nomenklatur der Metamorphite mit Verformungsgefügen. – Eclogae geol. Helv., 78 (2): S. 273-286.
- Mostler, H., Heissel, G. & Gasser, G., (1982): Untersuchung von Erzlagerstätten im Innsbrucker Quarzphyllit und auf der Alpeiner Scharte. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 1: S. 77-83.
- Riedmüller, G, Brosch, F.J., Klima, K. & Medley E.W. (2001): Engineering Geological Characterization of Brittle Faults and Classification of Fault Rocks. – Felsbau, 19 (4): S. 13-18.

- Rockenschaub, M., Kolenprat, B, Nowotny, A., (2003): Innsbrucker Quarzphyllitkomplex, Tarentaler Mesozoikum, Patscherkofelkristallin. – Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt. Geologische Bundesanstalt, Trins, S. 41-58.
- Töchterle, A., Schierl, H., Reinhold, C. (2013): Ingenieurgeologische Charakterisierung von Störungszonen im Innsbrucker Quarzphyllit. In: Workshop „Characterization of Fault Zones“. – Extended abstracts, ÖGG Congress, 2013: S. 6-12.

Donnerstag 20. Oktober 2016

11:30-12:00

## **Bodengeophysikalische Erkundung tiefgründiger Massenbewegungen – Ergebnisse zu einem Fallbeispiel am Patscherkofel bei Innsbruck**

Katharina Lechner<sup>1</sup>, Walter Frei<sup>2</sup> & Gerhard Poscher<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*geo.zt gmbh poscher beratende geologen, Saline 17, A-6060 Hall in Tirol, [www.geo-zt.at](http://www.geo-zt.at)*

<sup>2</sup>*GeoExpert ag Geophysikalische Untersuchungen, Tannenstrasse 93, CH-8424 Embrach, [www.geoexpert.ch](http://www.geoexpert.ch)*

### **Zusammenfassung**

Im Rahmen des geplanten Neubaus der Patscherkofelbahn wurden umfassende ingenieur- und hydrogeologische Untersuchungen durchgeführt. Während die Ergebnisse der Untersuchungen im Bereich der Talstation das geologische Erwartungsmodell weitgehend bestätigen konnten und relativ seicht anstehendes kompaktes Festgestein mit differenzierbarer Lockermaterialauflage auswies, lagen die Ergebnisse im Bereich der Trasse hangwärts von Heiligwasser und im Bereich der Zwischen- und Bergstation außerhalb des erwarteten Spektrums. Erstmals konnten durch seismische Untersuchungen Daten zur Tiefgründigkeit einer relikten Massenbewegung bzw. zur Tiefenlage des anstehenden Gebirges erhoben werden. Diese Daten sind für den nordwestlichen bzw. westlichen Randbereich einer relikten Großhangbewegung am Patscherkofel repräsentativ.

### **1. Einleitung**

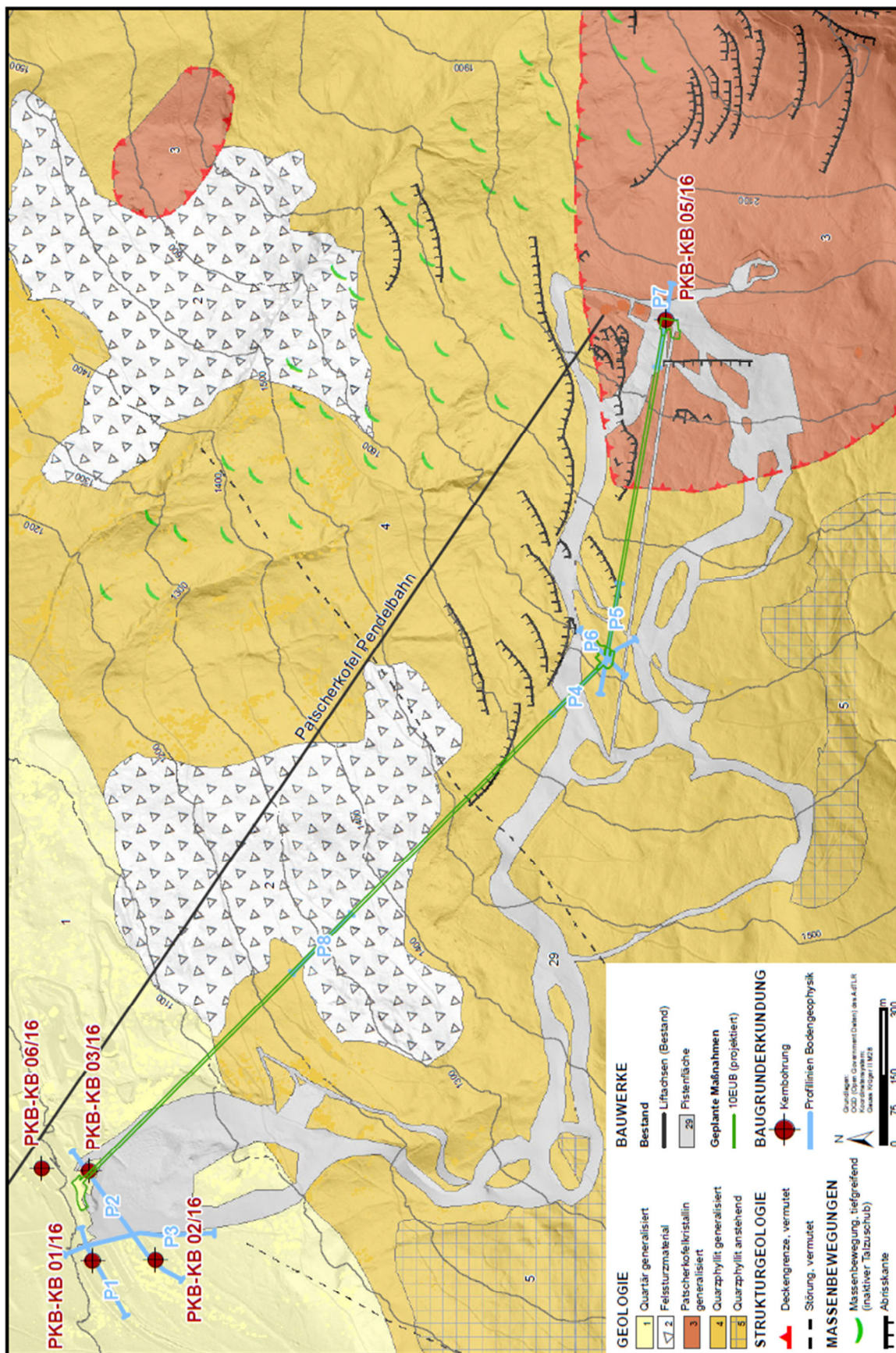
Der Patscherkofel liegt südlich von Innsbruck und ist seit dem Jahr 1905 touristisch erschlossen. Mit dem geplanten Neubau der Patscherkofelbahn wird eine umfassende Neustrukturierung des Anlagenkonzeptes am Patscherkofel durchgeführt. Alte Anlagen werden abgetragen und nicht mehr ersetzt, stattdessen wird eine neue kuppelbare 10er Kabinenbahn in 2 Sektionen errichtet. Die Talstation liegt an der Landesstraße Lans – Patsch im Bereich des bestehenden Schizentrums auf ca. 1009 mSH, die Zwischenstation nördlich der Patscheralm auf ca. 1715 mSH und die Bergstation südlich des Schutzhauses auf 1965 mSH. Die durchschnittliche Neigung der unteren Teilstrecke beträgt 43,88%, die der oberen Teilstrecke 34,93%. Die neue Seilbahnanlage wird ganzjährig betrieben. Die bauliche Umsetzung soll im Jahr 2016 und 2017 erfolgen.

Im Rahmen der Planung wurden umfassende ingenieur- und hydrogeologische Untersuchungen durchgeführt, die der genehmigungsrechtlichen und baulichen Umsetzung (Trassenwahl, Gründung der Stationen und der Stützenbauwerke) und wasserwirtschaftlichen Fragestellungen dienen.

### **2. Geologischer Rahmen**

Die Innsbrucker Quarzphyllitzone erstreckt sich von Innsbruck im Norden bis in den Bereich des Südabhanges zum Navistal. „Quarzphyllit“ wird als Überbegriff verstanden. Es handelt sich um Quarz-

Serizit-Schiefer bis Phyllite, in welche Chloritschiefer sowie Paragneise eingeschaltet sind. Auffallend sind Schollen bzw. Einschaltungen bestehend aus Karbonatgesteinen (Kalk- und Dolomitmarmore, Eisendolomite und Metabasite), deren Verbreitung jedoch gering ist.



**Abb.1:** Geologische Übersichtskarte mit Lage der bestehenden Pendelbahn, der neuen Seilbahntrasse und den ausgeführten Erkundungsmaßnahmen (Bohrung PKB-KB 04/16 im Bereich Zwischenstation in Planung und nicht dargestellt)

Von Bedeutung ist die Überlagerung des Innsbrucker Quarzphyllites durch das Patscherkofel-Glungezer-Kristallin, in dem Paragneise und Quarzite mit Amphibolitbändern sowie Glimmerschiefer die dominierenden Gesteine bilden. Eine geowissenschaftlich vertiefte Untersuchung des Raumes erfolgte im Zuge der Planungen für den BBT Brenner-Basistunnel, wozu neben den umfassenden Projektunterlagen auch einzelne Veröffentlichungen vorliegen (vgl. Rockenschaub et al. 2003).

Ein Großteil der Einhänge wird von Lockermaterial bedeckt. Es handelt sich dabei um glaziale und randglaziale Sedimente, Hang- und Blockschutt. Es ist bekannt, dass der Patscherkofel insb. an der Nordflanke tiefreichende reliktsche Massenbewegung aufweist, wie dies für Quarzphyllitgebirge im Allgemeinen und die Tuxer Alpen im Besonderen – insbesondere auch in anderen Schigebieten – charakteristisch ist (vgl. bereits Köhler 1985). Das landschaftsprägende System inaktiver (relikter) Massenbewegungen ist von Bedeutung, weil technische Maßnahmen jeweils auf diese strukturellen Verhältnisse abzustimmen sind (Gründungen, Felssicherungen etc.).

Der Frage der möglichen Labilität der Einhänge des Patscherkofels, insbesondere des Schiraumes und der EUB-Trasse, wurde mehrfach überprüft und es ist festzustellen, dass sowohl die Kartierungsarbeiten als auch die Ergebnisse der Kontrollvermessungen der bestehenden Seilbahnanlagen ergeben haben, dass keine aktiven großräumig wirksamen Verformungen der Hänge festgestellt werden konnten und keine Areale im Projektraum vorliegen, die im Sinne der Checkliste als „labile Gebiete“ zu bezeichnen sind (AdTLR 2004).



**Abb.2, 3:** Interner Scarp innerhalb der tiefgründigen Massenbewegung (ca. 1600 mSH) und Ablagerungsraum von Blockschutt und zerlegten Schollen in tieferen Hangabschnitten (ca. 1400 mSH)

### 3. Erkundungskonzept und Erkundungsmethodik

Zusätzlich zu den Feldaufnahmen und Kartierungen 2015/2016 wurden 2016 Bodenerkundungsmaßnahmen durchgeführt. Es wurde ein schrittweises Erkundungskonzept umgesetzt, das aufbauend auf Baggerschürfen, bodengeophysikalische Messungen als hochauflösende

Hybridseismik (Kombination von refraktions- und reflexionsseismischen Verfahren) – teilweise mit ergänzender Geoelektrik - und eine Verdichtung bzw. Eichung durch Kernbohrungen vorsah.

Im Bereich der Talstation wurden primär für hydrogeologisch-wasserwirtschaftliche Fragestellungen und Gründungsangaben 3 Bodengeophysikprofile und 4 Kernbohrungen ausgeführt, weitere Bodengeophysikprofile und Kernbohrungen betreffen die Situierung und Gründung der Zwischen- und Bergstation.

Die Erkundungsziele wurden wie folgt definiert:

- Bereich Talstation: Felsrelief und Internbau des auflagernden Lockermaterials mit der erwarteten Abfolge aus Hangschutt, Eisrandablagerungen und basaler Grundmoräne bzw. Moränenmaterial
- Trassenbereich östl. Heiligwasser: Felsrelief und Mächtigkeit der Felssturzablagerungen
- Bereich Mittel- und Bergstation: Felsrelief und Lockermaterialmächtigkeit sowie Tiefe und Ausmaß der möglichen Zerlegung des (para) anstehenden Gebirges

Die seismischen Untersuchungen wurden nach entsprechenden Feldversuchen als „Hammerschlagseismik“ ausgeführt, wobei folgende Akquisitionsparameter gewählt wurden:

<b>Hochauflösende Hybridseismik</b>	
Empfängerabstand	2.0 m (Profile 4, 5, 6 und 7); 2.5 m (Profile 1, 2, 3 und 8)
Auslagetyp	variabel asymmetrischer <i>split spread</i>
Anzahl aktiver Kanäle	bis 280
Anzahl Geophone pro Station	1
Geophontyp	10 Hz
Anregungsabstände	4.0 m – 7.5 m
Energiequelle	8 kg Hammer
Anzahl Schläge pro Station	1 - 3
Abtastrate	0.5 Millisekunden
Horchzeit	750 Millisekunden
Hochpassfilter (2-Pol)	4 Hz
Tiefpassfilter	anti-alias

**Abb.4:** Akquisitionsparameter der hochauflösenden hybridseismischen Messungen

#### 4. Ergebnisse der hybridseismischen Untersuchungen

Während die Ergebnisse der Untersuchungen im Bereich der Talstation das geologische Erwartungsmodell weitgehend bestätigen konnten und relativ seicht anstehendes kompaktes Festgestein mit differenzierbarer Lockermaterialauflage auswies, lagen die Ergebnisse im Bereich Trasse (Abb. 5) und Zwischen- und Bergstation (Abb. 6) außerhalb des erwarteten Spektrums.

Im Trassen- und Messabschnitt zwischen 1250 und 1400 mSH entlang der Trasse oberhalb von Heiligwasser beträgt die Überlagerung des Festgesteins im Verband bis zu 80m.

- Ein Zehnermeter-mächtiger hangender Abschnitt mit geringen seismischen P-Wellen Geschwindigkeiten wird trockenem Blockschutt zugerechnet,

- die höheren Geschwindigkeitsspektren könnten Sturz- bzw. Gleitmassen im Verband repräsentieren.
- Beachtenswert ist die Geschwindigkeitsanomalie bei Profilstation 170, die einem relativ geringer zerlegten isolierten Gebirgskörper zugeordnet wird.
- Die erwartete Felsoberfläche des anstehenden Gebirges ist in Abb. 5 markiert.

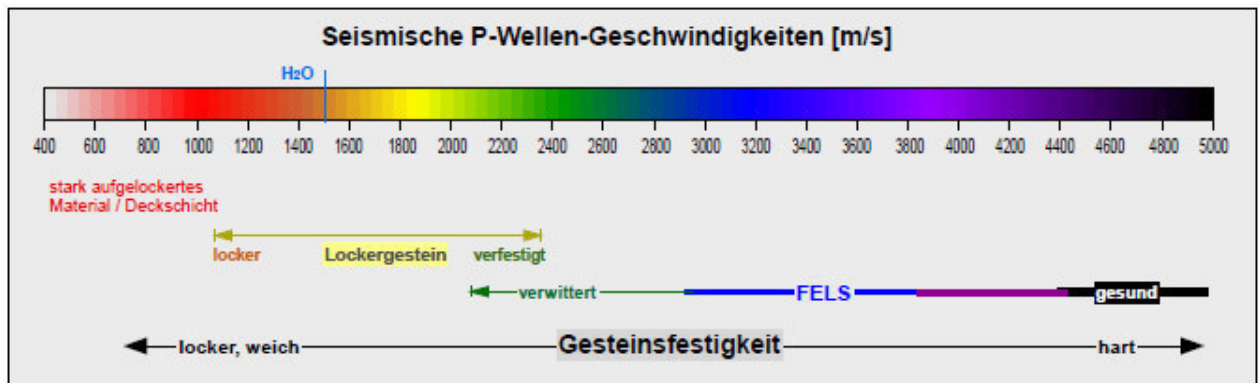
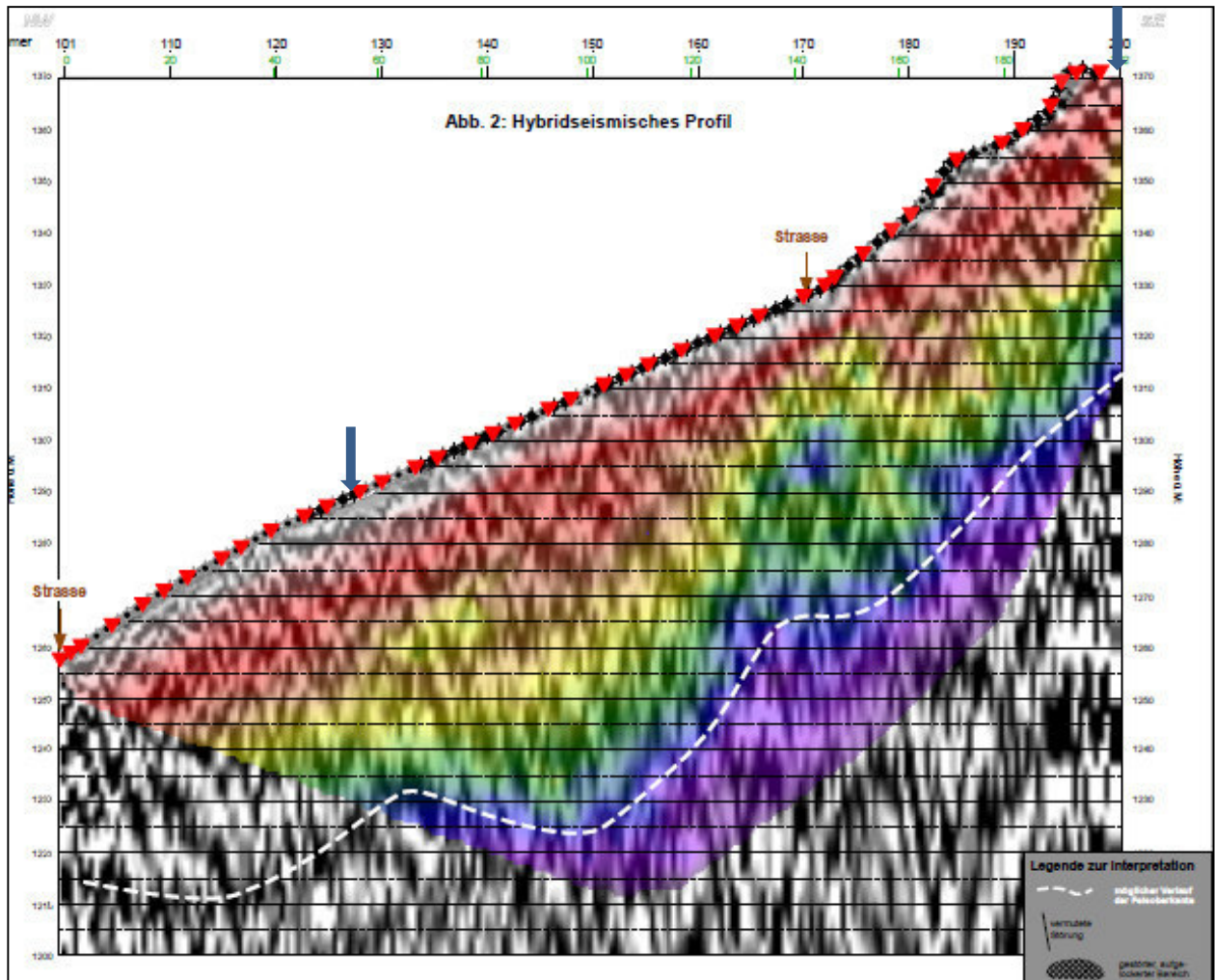
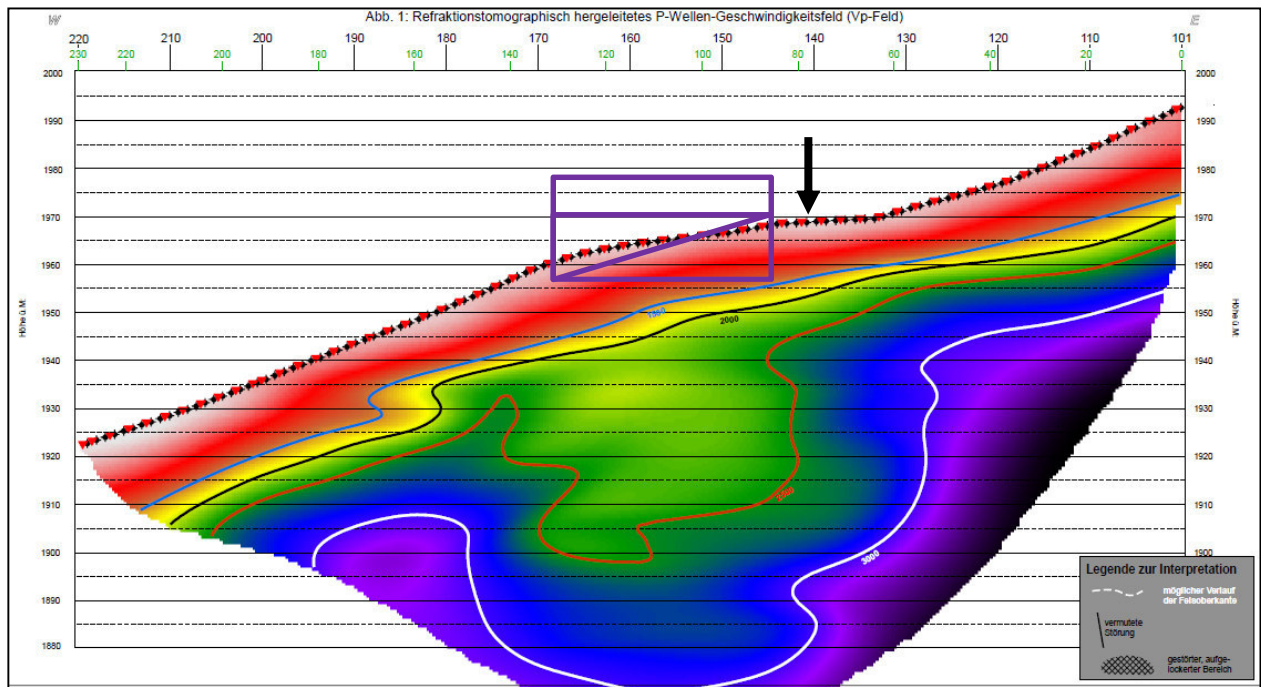


Abb.5: Hybridseismisches Profil im Trassenabschnitt hangwärts von Heiligwasser



Sowohl bei der Zwischenstation als auch bei der Bergstation zeigen die geophysikalischen Messergebnisse eine Tiefenlage der Felsoberfläche aufgrund der seismischen Geschwindigkeiten von bis zu 90m im Bereich der Bergstation und von bis zu 100m und mehr im Bereich der Zwischenstation.

Die vorliegenden Daten geben Hinweis, dass im Bereich der Bergstation südlich des Schutzhauses möglicherweise eine Abrisszone mit rückfälligem Sohlverlauf erfasst wurde und das Gebirge bis in mehrere 10-er Meter Tiefe lockermaterialähnliche Eigenschaften aufweist.



**Abb.6:** Refraktionstomographisches Profil im Bereich Bergstation (Situation Gebäude schematisch markiert, Pfeil markiert die Bohrstelle)



**Abb.7:** Kernstrecke der Bohrung PKB – KB 05/16 im Abschnitt Bohrmeter 26 – 30 (Endteufe)

Die Kernbohrung, die bei Profilmeter 140 abgeteuft wurde, hat dementsprechend bis zur Endteufe bei 30 Metern durchwegs blockig zerlegtes Kristallin erbracht, das einer Störungszone im Patscherkofelkristallin zugeordnet wird, wobei eine Überprägung durch Prozesse der Massenbewegung angenommen wird. Abb. 7 zeigt eine Abfolge aus zerlegten Kristallinblöcken, die mit sandig-kiesigem und feinkörnig plastischem Material (Typus „Fault Gouge“) wechsellagern.

## 5. Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen im Bereich der Trasse und der Stationen der geplanten neuen Seilbahn auf den Patscherkofel liegen im nordwestlichen bzw. westlichen Randbereich einer relikten Großhangbewegung des Patscherkofel. Erstmalig konnten durch seismische Untersuchungen auf Basis der Verteilung seismischer Geschwindigkeiten und der Reflexionsmuster Daten zur Tiefgründigkeit der Massenbewegung bzw. zur Tiefenlage des anstehenden Gebirges als auch zur Mächtigkeit der abgelagerten Blockdecken und Gebirgsschollen in tieferen Hangbereichen erhoben werden. Für den Bereich Bergstation liegen zudem Ergebnisse einer 30 Meter tiefen Kernbohrung vor, die die starke Zerlegung des Gebirges bzw. die Auflösung in einen BIM (Block in Matrix) – Verband belegen.

Im Zuge weiterführender Arbeiten, die über den ggst. Projektrahmen hinausgehen, ist beabsichtigt, die Ergebnisse in ein geologisches Modell einzubinden, welches auch tiefere Bereiche des südöstlichen Mittelgebirges in die Überlegungen mit einbindet.

### Literatur:

Köhler, M. (1985): Großräumige Massenbewegungen in Quarzphylliten und ihre baugelogeologischen Auswirkungen.- Geotechnik, 1985/1, 8-14, Glückauf Verlag, Essen.

Rockenschaub, M., Kolenprat, B. & Nowotny, A., 2003: Innsbrucker Quarzphyllitkomplex, Tarntaler Mesozoikum, Patscherkofelkristallin. - Arbeitstagung Geol. B.-A. 2003, Trins im Gschnitztal: 41-58, Geol. B.-A., Wien.

Amt der Tiroler Landesregierung AdTLR (2004): Checkliste „Labile Gebiete“, Alpenkonvention – labile Gebiete – geogene Naturgefahren, Bewilligung für Bau und Betrieb von Schipisten.- 21 S., Innsbruck.

Donnerstag 20. Oktober 2016

12:00-12:30

## Schutzwaldmodellierung als Basis für eine nachhaltige Raumentwicklung

Karl Kleemayr, Frank Perzl, Andreas Huber, Reinhard Fromm, Jennifer den Outer, Monika Rössel

*BFW – Bundesforschungszentrum für Wald, Innsbruck*

### 1. Einleitung

Vitale und in geeigneter Weise bewirtschaftete Wälder sind ein wichtiger Bestandteil der integralen Naturgefahrenprävention in Österreich. Insbesondere Wälder mit direkter Objektschutzwirkung leisten einen wichtigen Beitrag zum nachhaltigen Schutz vor Naturgefahren (Lawinen, Steinschlag, Hangrutschungen, etc.). Für die effiziente Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Bewirtschaftung, Pflege und – sofern nötig – Wiederinstandsetzung der Schutzwirkung ist das Wissen über die Lage und Ausdehnung dieser Waldbestände von besonderem Interesse.



**Abb. 1:** Vergleichender Kartenausschnitt: Links die Waldbedeckung, rechts die generalisierte Darstellung der Funktionen im WEP (Rot: Schutzfunktion).

Der bestehende Waldentwicklungsplan liefert zwar wichtige Informationen über die Leitfunktionen, die Darstellung ist aber – geschichtlich bedingt – generalisiert.

Im Zuge der Projekte GRAVIPROMOD und GRAVIPROFOR wurde deshalb eine Methode für eine möglichst objektive und weitgehend automatisierte Identifizierung von Waldflächen mit **direkter** Objektschutzwirkung gegenüber Steinschlag und Lawine entwickelt. Die modellierten Flächen, die für ganz Österreich zur Verfügung stehen, können als ergänzende Information zu den bestehenden forstlichen Raumplänen verwendet werden und dienen als Hilfsmittel für die Ausweisung von Waldflächen mit direkter Objektschutzwirkung.

Waldflächen haben eine direkte Schutzfunktion gegenüber Naturgefahren, wenn ein direkter räumlicher Zusammenhang zwischen der Gefahrenquelle, den betrachteten Waldflächen und den zu schützenden Objekten besteht. Dieser Zusammenhang kann am Beispiel eines Lawinenschutzwaldes oberhalb von Verkehrswegen oder besiedeltem Gebiet veranschaulicht werden. Bestehende Waldflächen können einerseits dem Anbruch von Schneemassen entgegenwirken, andererseits kann ein Bestand durch seine

mögliche Bremswirkung die Auslauflängen von Lawinen vermindern, und so die Wahrscheinlichkeit für Schäden an darunterliegenden Objekten herabsetzen.

Zur Unterstützung der Planung, Umsetzung und Evaluierung von Maßnahmen zur Verbesserung der Objektschutzwirkung sind Informationen über die genaue Lage von Wäldern mit direkter Objektschutzfunktion erforderlich. Diese Informationen können derzeit aus den forstlichen Raumplänen nicht mit der nötigen Genauigkeit entnommen werden. Daher wurden Schneelawinen- und Steinschlagprozesse für ganz Österreich modelliert und die Waldflächen mit Objektschutzfunktion ausgewiesen. Als besonders aufwändig erwies sich dabei die Ausweisung und Bewertung der vom Wald zu schützenden Siedlungsflächen und Infrastrukturanlagen mit den vorhandenen Geodaten. Die zur Verfügung stehenden Geodaten sind je nach Bundesland unterschiedlich strukturiert. Selbst formal bundesweit einheitlich vorliegende Datensätze erwiesen sich als heterogen, sodass umfangreiche Bearbeitungen zur Homogenisierung durchgeführt werden mussten. Zur Modellierung des Gefahren- und Schadenpotenzials wurden aufgrund des großen Rechenaufwands relativ einfache Modellansätze entwickelt und umgesetzt. Dennoch ist die erzeugte Karte des Waldes mit Objektschutzfunktion, vor allem für den Prozess Steinschlag, eine gute Grundlage für die forstliche Raumplanung.

## 2. Ausgangslage

Seit der Forstgesetz-Novelle 2002 unterscheidet die forstliche Raumplanung in Österreich zwei Funktionstypen von Wäldern mit Schutzfunktion: Wälder mit Standortschutzfunktion und Wälder mit Objektschutzfunktion. Ein Standortschutzwald nach § 21 Abs. 1 FG 1975 i.d.F 2002 stockt auf Standorten mit ungünstigen Boden- und Klimabedingungen. Er schützt den eigenen Standort zur Erhaltung der Bodenfunktionen und des Waldwachstums. Ein Objektschutzwald nach § 21 Abs. 2 FG 1975 i.d.F 2002 hat die Aufgabe Menschen und ihre Sachgüter vor den schädigenden Auswirkungen von Naturgefahren zu schützen. Die Standortschutzfunktion des Waldes lässt sich mit Hilfe von Standortmerkmalen (Klima, Relief, Boden) des Waldes beschreiben. Die Kartierung der Objektschutzfunktion des Waldes erfordert die Feststellung des Schadenspotenzials an der zu schützenden Infrastruktur (den Objekten), und somit den Blick über den Wald hinaus. Eine direkte Objektschutzfunktion des Waldes besteht dann, wenn die Waldfläche in der potenziellen Prozesszone (Start-, Transit- und/oder Auslaufzone) einer Naturgefahr liegt, und der Gefahrenprozess ein zu schützendes Objekt auch erreichen könnte. Die Schutzwirkung des Waldes wird dabei nicht berücksichtigt, da sie vom sich ändernden Zustand des Waldes abhängig ist. Mit den vorhandenen forstlichen Raumplänen Waldentwicklungsplan (WEP) und Gefahrenzonenplan (GZP) in der derzeitigen Form lässt sich nur bedingt feststellen, ob eine Waldfläche eine Objektschutzfunktion hat. Der WEP generalisiert die Objektschutzfunktion stark, da nur die Anteile der Objektschutzfunktionsfläche an der Waldfunktionsfläche statistisch, aber nicht kartografisch ausgewiesen werden. Der GZP liefert vor allem Informationen über Bereiche mit akuten Gefahrensituationen bei nicht mehr ausreichender Schutzwirkung des Waldes. Eine vorbeugende Pflege und Bewirtschaftung von Waldflächen zum Schutz von Siedlungen und Infrastrukturanlagen erfordert aber eine kartografische Ausweisung des Gefahren- und Schadenspotenzials aus Waldflächen. Es ist oft sehr schwer festzustellen, ob z. B. eine in einem Wald nach der Schlägerung anbrechende Lawine auch die darunterliegende Straße erreichen könnte, wenn das aufgrund der bisher guten Schutzwirkung des geschlossenen Waldes noch nie passiert ist.

Daher wurde das Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) beauftragt, von Waldflächen ausgehenden Gefahren- und Schadenspotenziale an Siedlungsflächen und Infrastrukturanlagen durch Schneelawinen und Steinschlag (den Wald mit Objektschutzfunktion) zu modellieren.

Die Modellierung beruht auf dem Konzept zur Beurteilung der Objektschutzfunktion des Waldes nach der WEP-Richtlinie (WEP-R, 2012). Das WEP-Konzept sieht eine Einteilung der Schutzwaldkulisse in drei Bedeutungsstufen der Schutzfunktion vor, die sich einerseits aus dem Gefahrenpotenzial und andererseits aus einer dreistufigen Wertung der potenziell bedrohten Objekte ergibt. Zur Beurteilung des Gefahrenpotenzials wurde das ISDW-Konzept ("Initiative Schutz durch Wald") des BMLFUW (Perzl, 2008) adaptiert und verbessert.

Die Modellierung erfolgte im Rastermodell mit einer Auflösung von 10 x 10 m. Sie erforderte ein digitales Geländemodell, digitale Geodaten über die zu schützenden Objekte und die Waldfläche.

### **3. Datenaufbereitung**

#### **3.1. Das digitale Geländemodell (DGM)**

Die Bundesländer haben in den letzten Jahren genaue digitale Geländemodelle durch Airborne Laser Scanning (ALS) erstellt. Da aber während der Projektlaufzeit noch kein Modell für ganz Österreich existierte, und noch kleine Teilbereiche fehlten, wurde aus den Teilmodellen der Bundesländer, ergänzt durch das Geländemodell des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV), ein Modell für ganz Österreich mit einer Auflösung von 10 m erstellt.

#### **3.2. Der Objektlayer**

Zur automatisierten Feststellung des Schadenpotenzials an den Siedlungsflächen und der Infrastruktur sind Geodaten über die Lage und Art dieser Objekte erforderlich. Sie werden nach dem Schutzfunktions-Bewertungskonzept der WEP-R in drei Stufen des öffentlichen Interesses (in drei Objektklassen, OKL) eingeteilt. Die höchste OKL III enthält z. B. bewohnte Gebäude, Betriebsanlagen, Haupt- und Nebenbahnen sowie alle öffentlichen Straßen. In der OKL II sind Anlagen wie Erholungsfreiflächen (Schipisten, Golfplätze), Almgebäude, Forststraßen, Feldwege und Wanderwege. Objekte wie unbebautes Bauland, landwirtschaftliche Kulturen und Grünland sind zu schützende Objekte der OKL I.

Die Objektklassifikation nach der WEP-Richtlinie ist aus zwei Gründen für die Modellierung der Objektschutzfunktion nicht in jedem Punkt geeignet: (1) sie ist nicht mit den verfügbaren Geodaten abgestimmt, und (2) die Bewertungen der Objekttypen sind aus risikoanalytischer Sicht nicht immer optimal. Daher wurde die Objektklassifikation modifiziert und auf die verfügbaren Geodaten ausgerichtet. Der Objektlayer wurde aus Daten über den Bestand an Siedlungsflächen und Infrastruktur sowie aus der digitalen Flächenwidmung generiert.

Aufgrund der unterschiedlichen Datenverfügbarkeit wurden drei Ebenen der Erfassung der vom Wald zu schützenden Objekte definiert. Je nach Datenverfügbarkeit wurde für jede Gemeinde die jeweils höchste (vollständigste) Ebene umgesetzt. Die höchste Ebene kombiniert den Realbestand und die Flächenwidmung als Interessensgebiet der Raumentwicklung.

### 3.2.1. Objektbestand

Da es in Österreich kein einheitliches, für Risikoanalysen geeignetes digitales Landschaftsmodell gibt, musste die Information über den Objektbestand aus zahlreichen, heterogenen Geodatenbeständen des Bundes und der Länder zusammengesetzt werden. Die Geodaten weisen in Bezug auf Risikofragen konzeptionelle Schwächen der Datenmodelle auf. Der Flut von digitalen Geodaten steht keine zentrale inhaltliche Gesamtkoordination gegenüber. Obwohl einige Geodatenätze von guter Qualität sind, prägen immer noch nicht befriedigende Vollständigkeit (Aktualität), ungenügender Informationsgehalt und vor allem die fehlende Standardisierung die Geodateninfrastruktur (vgl. dazu auch Gissing 2003, Dollinger 2008, Belada 2008, Banko & Riedl 2010). Auch Geodaten, die grundsätzlich für das gesamte Bundesgebiet einheitlich erstellt werden, wie z. B. das niederrangige Straßennetz der GraphenIntegrationsPlattform (GIP) und die Nutzungsebene der digitalen Katastermappe (DKM), haben sich als heterogen erwiesen. Daher waren einerseits umfangreiche Bearbeitungen und Ergänzungen dieser Daten und andererseits Modifikationen der Objektklassifikation erforderlich. Probleme verursachte vor allem das ländliche Straßennetz, da die Informationen über die Lage und Verkehrsbedeutung der Straßen (z. B. der Status "Forststraße") in den verschiedenen Geodatenbeständen nicht übereinstimmen (Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Die Lage einer Zufahrtsstraße zu einem Haus nach der DKM (in Gelb), nach dem Flächenwidmungsplan (in Violett), nach dem Straßenachsenlayer (orange Achsenlinie) der Bundesländer und die tatsächliche Lage nach dem ALS-Reliefmodell als rote Achsenlinie (aus Perzl et al. 2014 a, Orthofoto: WMS-Dienst des LFRZ).

### **3.2.2. Die Flächenwidmung**

Die Flächenwidmungsplanung ist die Schnittstelle zwischen der Raumordnung (Raumplanung) und dem Naturgefahrenmanagement. Sie bestimmt die Raumnutzung und -entwicklung. Daher sollten die Informations- und Planungsinstrumente der allgemeinen Raumplanung und der forstlichen Raumplanung bzw. die entsprechenden Planungsrichtlinien aufeinander abgestimmt werden. Da in Österreich die Flächenwidmung in der Kompetenz der Bundesländer liegt, gibt es neun verschiedene Datenschnittstellen der digitalen Flächenwidmungsplanung. Die Qualität der digitalen Flächenwidmungspläne ist in Bezug auf die Datenmodelle bzw. -struktur sehr unterschiedlich. Es wird kein einheitlicher Standard verwendet.

Im Rahmen des Projektes wurden die verfügbaren Widmungseinheiten der Widmungshüllen und der Flächenwidmungspläne als Interessensgebiete der Raumentwicklung berücksichtigt und wie der Realbestand dreistufig klassifiziert.

### **3.3. Der Waldlayer**

Es gibt für Österreich keine einheitlich erstellte, aktuelle amtliche Waldkarte. Die in der Nutzungsebene der DKM ausgewiesene Waldfläche ist nicht aktuell und entspricht oft nicht der forstgesetzlichen Walddefinition. Die Forstdienste der Bundesländer verwenden verschiedene Waldkarten. Die Waldflächen dieser Karten stimmen nicht mit der Waldfläche nach der DKM überein. Es wurde daher eine Waldkarte aus verschiedenen, jeweils auf Empfehlung der Landesforstdienste am besten geeigneten Waldkarten und aus der DKM generiert.

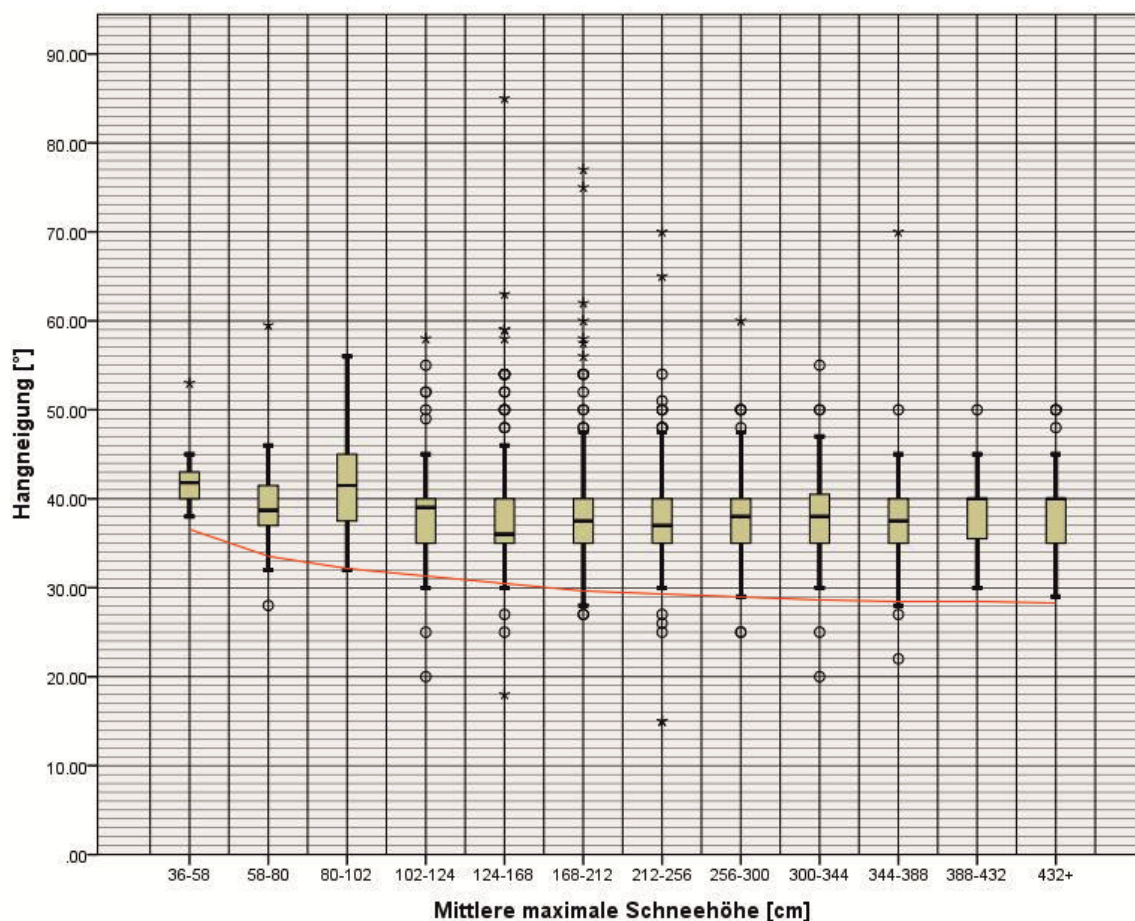
## **4. Die Grunddispositionsmodelle**

Zur Bestimmung von Schadenspotenzialen aus dem Wald müssen die potenziellen Herkunftsflächen (Auslösungsflächen) von Schneelawinen und Steinschlag im Wald und außerhalb des Waldes bestimmt und klassifiziert werden. Die Grunddispositionsmodelle beruhen auf dem ISDW-Konzept (Initiative Schutz durch Wald) des BMLFUW. Das ISDW-Konzept ist aber auf terrestrische Erhebungen und nicht auf flächendeckende Modellierungen ausgelegt. Es wurde daher entsprechend angepasst und verbessert. Der entscheidende Dispositionsfaktor ist die aus dem DGM abgeleitete Hangneigung.

Das Steinschlag-Grunddispositionsmodell ist darauf ausgerichtet Felsflächen, Schutt- und Geröllhalden sowie grobskelettreiche Böden zu identifizieren, von denen durch verschiedene natürliche Auslösungsprozesse Steinschlag ausgehen könnte. Auf Waldflächen wird auch die Auslösung von Steinschlag durch Entwurzelung von Bäumen infolge von Windwurf und Schneedruck sowie durch die Waldbewirtschaftung berücksichtigt. Zur Bestimmung potenzieller Steinschlag-Auslösungsflächen wurden nach geologischen Einheiten der geologischen Übersichtskarte 1:500.000 (GBA 2013, nach Weber 1997) differenzierte Grenzneigungswinkel der Hangneigung auf Basis der Angaben von Proske & Bauer (2013) verwendet. Die Grenzneigungswinkel der Einheiten wurden räumlich interpoliert. Flächen mit einer Hangneigung gleich oder größer dem Grenzneigungswinkel wurden als potenzielle Steinschlagauslösungsflächen ausgewiesen. Im Gegensatz zum Lawinenmodell wurde die Wahrscheinlichkeit und Intensität einer Steinschlagauslösung nicht berücksichtigt. Dazu fehlen geeignete Daten. Das Steinschlag-Gefahrenpotenzial wurde über drei Reichweitzenszenarien ermittelt.

Die potenziellen Anbruchsflächen von Lawinen wurden über Grenzfunktionen der Hangneigung in Abhängigkeit von der mittleren maximalen Schneehöhe bestimmt. Der bei ISDW unterstellte

Zusammenhang zwischen der klimatischen Schneehöhe und der Hangneigung, bei der Lawinen anbrechen können, konnte als Funktion abgebildet werden (Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Der Zusammenhang zwischen der mittleren maximalen Schneehöhe 1961-1990 und der mittleren Hangneigung von Lawinenanbruchsflächen (Perzl et al., 2014 b). Die kleinste mittlere Hangneigung, die kein statistischer Ausreißer (Kreis- und Sternsymbol) ist, wird durch eine hyperbolische Funktion (rote Linie) der mittleren maximalen Schneehöhe beschrieben.

Die obere aktuelle Waldgrenze liegt überwiegend bei einer mittleren maximalen Schneehöhe von ca. 150 bis maximal 250 cm. Die für die Auslösung von Lawinen erforderliche Hangneigung ist von der Schneehöhe abhängig und nimmt von 36° in den Tieflagen auf 28° in den Hochlagen nicht linear ab (Abbildung 2). Mit Hilfe eines Modells der mittleren maximalen Schneehöhe (Perzl & Kammerlander 2010, Perzl & Walter 2012) konnte für jede Fläche bzw. Rasterzelle die Hangneigung mit Lawinen-Auslösungspotenzial bestimmt werden.

Viele ähnliche Modelle verwenden auch die Wölbung des Geländes zur Bestimmung der Grunddisposition und zur Trennung von Anbruchsflächen (z. B. Gruber 2001, Maggioni & Gruber 2003, Klebinder et al. 2009, Biskupič & Barka 2011, Suk & Klimánek 2011, Simea 2012, Pistocchi & Notarnicola 2013). Das vorhandene Datenmaterial erlaubte jedoch keine statistische Absicherung von Grenzwerten der Wölbung.



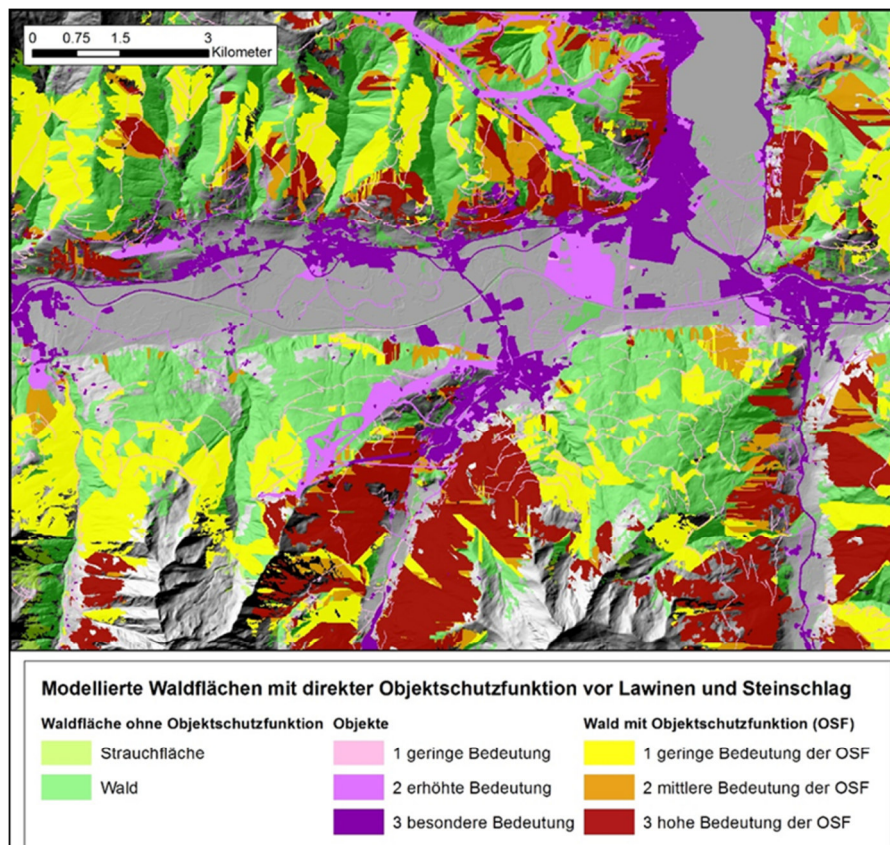
Daher wurden zur Trennung von Anbruchszonen nur die Kamm- und Rückenlinien mit einem Flow-Accumulation-Ansatz bestimmt. Zur Klassifikation des Gefahrenpotenzials wurde die Verteilung beobachteter Lawinen über die Schneehöhe gruppiert nach Lawinengefahrenstufen und die Verteilung der Hangneigung der Anbruchflächen gruppiert nach Schneehöhenstufen verwendet.

## 5. Die Modellierung des Schadenpotenzials

Um das Schadenspotenzial bestimmen zu können, wurde ausgehend von den modellierten Herkunftsflächen die potenzielle Reichweite der Prozesse bestimmt. Dazu wurde ein empirisch-topografisches Prozessmodell entwickelt, dass bei einem potenziellen Treffer an einem zu schützenden Objekt auch auf die relevante Sturzbahn bis zur Herkunftsfläche zurück rechnet, und der Sturzbahn die höchste betroffene Objektklasse zuordnet. Diese für die Modellierung von Wald mit Objektschutzfunktion erforderliche Funktion fehlt allen anderen verfügbaren Reichweitenmodellen. Es werden hydrologische Ersatzmethoden verwendet, die dafür nur bedingt geeignet sind (Perzl et al., 2011). Das Modell bestimmt die Reichweite nach dem Pauschalneigungsansatz. Ein komplexerer Ansatz war aufgrund des damit verbundenen erhöhten Rechenaufwands nicht möglich. Das Modell kann im D8- (geeignet für Steinschlag) und Multiple-Flow-Betrieb (für Lawine) eingesetzt werden.

## 6. Das Ergebnis – die Schutzwaldkulisse

Zur Bestimmung der Schutzwaldkulisse (Wald mit Objektschutzfunktion) wurden die Lawinen- und Steinschlag-Prozesszonen mit Schadenspotenzial mit der Waldfläche verschnitten und nach dem modifizierten WEP-Ansatz klassifiziert (Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Ausschnitt aus der Karte der Waldfläche mit Objektschutzfunktion

### **6.1. Die Zuverlässigkeit der Abbildung der Schutzwaldkulisse**

Die Ergebnisse sind für die Prozesse Steinschlag und Lawine unterschiedlich. Das verwendete Reichweitenmodell ist für Steinschlag besser geeignet als für Lawinen.

Von 102 dokumentierten und verorteten Steinschlagereignissen mit Schäden an Objekten in den letzten fünf Jahren liegen 100 in der modellierten Prozesszone. Die nicht erfassten Ereignisse sind Sonderfälle, die mit einem solchen Fließmodell nicht abgebildet werden können. Es konnten auch die Prozesszonen von Steinschlag-Ereignissen durch Erosion und Fällungen identifiziert werden. Die Fläche mit einem Steinschlagschadenspotenzial eine plausible Größe. Das Ergebnis ist ein sehr gutes Hilfsmittel für die Ausweisung von Wald mit Steinschlag-Objektschutzfunktion.

Das Reichweitenmodell ist aber nur bedingt für die Abbildung von großen Lawinen, die meist oberhalb der Waldgrenze anbrechen, tauglich. Daher sollten vor allem bei der Kartierung des Waldes mit Lawinen-Objektschutzfunktion zusätzliche Informationen wie der Lawinenkataster und der GZP herangezogen werden.

Unschärfen gibt es auch aufgrund der Geodaten über die Objekte und die Waldfläche. Nicht jedes Gebäude und jede Straße wurde bereits lagegenau digitalisiert und laufend werden neue Anlagen errichtet. Durch die Einbeziehung der Widmungsflächen konnte aber ein hohes Maß an Aktualität erzielt werden.

### **5.2. Anwendungsmöglichkeiten**

Mit der Karte von Waldflächen mit einem Gefahren- und Schadenspotenzial für darunterliegende Objekte können Schwerpunkte der vorbeugenden Schutzwaldpflege in einer räumlichen Auflösung identifiziert werden, die bisher für ganz Österreich nicht zur Verfügung stand, oder alternativ nur durch sehr aufwändige Erhebungen im Gelände möglich wäre. Außerdem können die Daten für das Waldmonitoring der Österreichischen Waldinventur und die Evaluierung der Maßnahmen zur Verbesserung der Schutzwirkung des Waldes herangezogen werden.

### **5.3. Entwicklungsoptionen für die Raumplanung**

Die Auseinandersetzung mit der Geodateninfrastruktur und der WEP-Richtlinie ergab folgende Ansätze zur Verbesserung der Effizienz der Raumplanung:

- 1) Die WEP-Richtlinie sollte in einigen Punkten überarbeitet werden. Vor allem die Beurteilungsmatrix und die Klassifikation (Bewertung) der Objekttypen könnte stärker nach risikoanalytischen Überlegungen und in Bezug auf die verfügbaren Geodaten modifiziert werden. Außerdem fehlen einheitliche Kriterien zur Beurteilung des Gefahrenpotenzials. Die Modellierung im Rahmen des Projekts zeigt dafür Ansätze auf.
- 2) Es wäre in Zukunft zweckmäßig, wenn die Flächenwidmung in Abstimmung mit der forstlichen Raumplanung den vom Wald vor Naturgefahren zu schützenden Raum festlegt und bereits bei der Widmung nach Vulnerabilitätskriterien klassifiziert. Eine künftige Möglichkeit zur Harmonisierung der Flächenwidmungsplanung als Schnittstelle zum Naturgefahrenmanagement auf Bundesebene wären auch Widmungshüllen nach einem einheitlichen Standard für ganz Österreich.

Entsprechende Muster von hoher Qualität sind die Widmungshüllen der Flächenwidmung in Niederösterreich und im Burgenland.

- 3) Es ist eine stärkere und bessere Abstimmung der österreichischen Geodaten unter Beachtung des risikoanalytischen und landschaftsökologischen Informationsbedarfs erforderlich.
- 4) Durch die Modellierung von Naturgefahrenprozessen können erhebliche Verbesserungen der Qualität und Effizienz der Raumplanung als Steuerungsinstrument des Naturgefahren- und Schutzwaldmanagements erreicht werden.

Beauftragung und Unterstützung:

Die Modellierung erfolgte im Rahmen der Technischen Hilfe des österreichischen Programms LE 07-13 mit Unterstützung von Bund, Ländern und der Europäischen Union im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW). Die Geodaten wurden von den Bundesländern (Abteilungen für Forstwesen, Raumordnung und Geoinformation), vom Land-, Forst- & Wasserwirtschaftlichen Rechenzentrum (LFRZ), vom Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (bmwfw) und von der AUSTRIAN POWER GRID (APG) zur Verfügung gestellt.

## Literatur

- Banko, G.; Riedl, M. [2010]: LISA – Land Information System Austria. Ziele, Inhalte, Aufbau. ÖROK-FFG Workshop 22.11.2010
- Belada, P. [2008]: Eine Österreichische Geodateninfrastruktur? Österreichische Gemeinde-Zeitung 74, 6: 28-30
- Biskupič, M.; Barka, I. [2011]: Spatial modelling of snow avalanche run-outs using GIS. GIS Ostrava 2010.
- Dollinger, K. [2008]: Die Richtlinie 2007/2/EG zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE) und weitere rechtliche Aspekte zur Führung öffentlicher Geodateninfrastrukturen. Diplomarbeit Rechtswissenschaftliche Fakultät der Universität Salzburg, Salzburg.
- GBA (Geologische Bundesanstalt) [2013]: Kartographisches Modell 1:500.000 Austria – Geologie. Geologische Bundesanstalt.
- Gissing, R. [2003]: Geodatenpolitik in Österreich. Herausforderungen für Politik und öffentliche Verwaltung. In: Schrenk, M. (2003) CORP 2003. Computergestützte Raumplanung. Beiträge zum 8. Symposium zur Rolle der Informationstechnologie in der und für die Raumplanung 25.02. bis 01.03.2003. TU, Wien: 131-134
- Gruber, U. [2001]: Using GIS for avalanche hazard mapping in Switzerland. ESRI International User Conference, San Diego, USA.
- Klebinder, K.; Fromm, R.; Perzl, F. [2009]: Ausweisung von Lawinenschutzwald mittels GIS und einfachen Modellrechnungen. In: Strobl, Blaschke, Griesebner [Hrsg.]: Angewandte Geoinformatik 2009. Beiträge zum 21. AGIT- Symposium, Salzburg; Heidelberg: 94-103
- Maggioni, M.; Gruber, U. [2003]: The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. In: Cold Regions Science and Technology 37: 407-419

- Perzl, F. [2008]: Ein Minimalstandard für die Dokumentation der Schutzwirkungen des Waldes im Rahmen der Österreichischen "Initiative Schutz durch Wald". In: Conference Proceedings - Internationales Symposium Interpraevent 2008, Dornbirn, (2): 551-562
- Perzl, F.; Kammerlander J. [2010]: Schneehöhe und Lawinengefahr einst und im Jahre Schnee? BFW-Praxisinformation 23: 8-10
- Perzl, F.; Bauerhansl, Ch.; Walter, D. [2011]: Endbericht zu "Standardisierte Ermittlung von Wald mit Objektschutzwirkung" im Rahmen des European Territorial Cooperation South East Space Project MONITOR II, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Institut für Naturgefahren, Institut für Waldinventur, Innsbruck.
- Perzl, F.; Walter, D. [2012]: Die Lawinen-Schutzwirkung des Waldes im Klimawandel. AlpineSPACE Projekt MANFRED: Management strategies to adapt Alpine Space forests to climate change risks, Deliverables.
- Perzl, F.; Den Outer, J; Rössel, M. [2014 a]: GRAVIPROFOR. Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse für die forstliche Raumplanung. Methodik – Datengrundlagen für die Modellierung von Waldflächen mit Lawinen- und Steinschlag-Objektschutzfunktion. Technische Hilfe im Rahmen des österreichischen Programms LE 07-13. Projektbericht, Projekt-Teilbericht im Auftrag des BMLFUW. Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Innsbruck.
- Perzl, F.; Huber, A.; Fromm, R. [2014 b]: GRAVIPROFOR. Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse für die forstliche Raumplanung. Methodik - Prozessmodellierung Schneelawine. Technische Hilfe im Rahmen des österreichischen Programms LE 07-13. Projektbericht, Projekt-Teilbericht im Auftrag des BMLFUW. Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Innsbruck.
- Pistocchi, A; Notarnicola, C. [2013]: Data driven mapping of avalanche release areas: a case study in South Tyrol, Italy. Natural Hazards (2013) 65: 1313-1330
- Proske, H.; Bauer, Ch. [2013]: MONOE – Modellierung der Sturzprozesse. NÖ Geotage 2013. Geogene Gefahren und Raumordnung.
- Simea, I. [2012]: Using GIS for avalanche susceptibility mapping in Rodnei Mountains. Riscuri și Catastrofe. An Xi, Vol. 10, Nr. 1/2012: 83-88
- Suk, P; Klimánek, M. [2011]: Creation of the snow avalanche susceptibility map of the Krkonoše mountains using GIS. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunnenensis 28, 5 (2011): 237-245
- Weber, L. [1997]: Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Archiv für Lagerstättenforschung 19. Wien.
- WEP-R [2012]: Waldentwicklungsplan. Richtlinie über Inhalt und Ausgestaltung – Fassung 2012. Erstellung: Singer, F.; Starsich, A.; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien.

Donnerstag 20. Oktober 2016

14:00-14:30

## Methoden der zerstörungsfreien (Bau-)Grunderkundung

### Vorstellung und kritische Diskussion des Normenentwurfs ÖNORM S 2411 als fachübergreifende Norm

Hugo Seitz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) Risk Consult Sicherheits- und Risiko-Managementberatung GmbH, Schottenring 35/4, 1010 Wien

#### Kurzfassung

2015 wurde ein Normenausschuss etabliert mit dem Ziel das Thema Methoden zur zerstörungsfreien Vorerkundung von alten und historischen Hinterlassenschaften und technischer Infrastrukturen im Untergrund umfassend und fachübergreifend zu bearbeiten. Es liegt bereits ein Normenentwurf ONK 252.16 zur ÖNORM S 2411 vor.

Im Normungsausschuss sind Vertreter unterschiedlichster Fachdisziplinen vertreten, wie z.B.: Archäologie, Kulturgeologie, Geologie, Hydrogeologie, Grundbau, Versicherung.

Im Normenausschuss wurden Begriffe wie z.B.: *Bodendenkmäler* (laut Denkmalschutzgesetz unterliegt jeder von Menschenhand geschaffene bewegliche oder unbewegliche Gegenstand dem Denkmalschutzgesetz) und *Zerstörungshorizont* und der Umgang mit diesen diskutiert. Es ist nicht Ziel dieser Norm jede (geringfügige) Bautätigkeit in den Zuständigkeitsbereich dieser Norm zu rücken, jedoch sind die interessierten Parteien an dieser Norm aufzuzeigen und dadurch vorhersehbare Boden- und Grundrisiken zu minimieren.

Es lagen schon vorher umfassende Dokumente vor, wie z.B. mit Kriegsrelikten umzugehen sei, jedoch fehlte aus der Sicht der Mitglieder des Normenausschusses bisher der fachübergreifende Aspekt („Umbrella-Norm“).

Motivation zur Erstellung der Norm waren bzw. sind neue Rechtsgrundlagen im Bereich der Kulturerhaltung (Denkmalschutzgesetz), Anforderungen der Bauwirtschaft sowie Banken und Finanzgeber (Basel III - Kreditrisiko), Bildungseinrichtungen wie z.B. Universitäten, aus dem Bereich der Sachverständigen und Ingenieurbüros, aber auch dem Versicherungswesen, welche seit vielen Jahren Schadensabhandlungen durch mangelnde Vorbereitung der Bodenerkundungen oder dem Erdbau erfahren müssen.

Insgesamt ist sicher die Notwendigkeit von Richtlinien zur Risikominimierung gegeben.

Die Norm zielt auf die kooperative Beschreibung und Anwendung der Verfahrens- und Bewertungsschritte zur Identifikation und Bewertung von Bodenrisiken und Grundrisiken ab. Die Bewertung der Ergebnisse aus den Untersuchungen wird mit Hilfe einer Risikomatrix durchgeführt. Die Norm soll bei der Erlangung von Genehmigungen unterstützen. Noch zu klären wäre, z.B. wer befugt wäre Untersuchungen in welchem Umfang und für welchen Sachbereich durchzuführen (Qualifikationsmatrix).

Im informativen Teil der Norm werden die Methoden und Anwendungsgrenzen der Methoden der zerstörungsfreien Baugrunderkundung (von der Erhebung in Archiven bis zu den Messgeräten für die Untersuchung vor Ort), sowie die zur Verfügung stehenden Informationsquellen beschrieben.

Dieses Kapitel wird im Vortrag anlässlich des Geoforums 2016 schwerpunktmäßig behandelt.



Donnerstag 20. Oktober 2016

14:30-15:00

## **Bauen im Erdfallgebiet im Raum Reutte**

### **geotechnische Anforderungen an die Gründung von Hochbauten und an Entwässerungsmaßnahmen**

Jörg Henzinger

*Geotechnik Henzinger, Plattach 5, 6095 Grinzens [www.geotechnik-henzinger.at](http://www.geotechnik-henzinger.at)*

#### **1) Allgemeines**

Im Siedlungsgebiet von Reutte und Breitenwang nordwestlich des Sindebichls und des Stegerberges treten gehäuft Sulfatkarsterscheinungen in Form von Setzungsmulden und Erdfällen auf. In den letzten 50 Jahren sind im Siedlungsgebiet etwa 10 Erdfälle dokumentiert. Auch außerhalb dieses Gebietes treten örtlich Erdfälle auf. Personenschäden sind nicht bekannt, auch große, nicht mit einfachen Mitteln sanierbare Gebäudeschäden sind nicht aufgetreten. Auszuschließen sind weitere Gebäudeschäden nicht, sie sind durchaus wahrscheinlich.

#### **2) Geologie und Untergrund**

(Grundlage Bericht Mag. W. Mostler und Landesgeologie)

##### Festgestein:

Die Talweitung, auf der sich die Marktgemeinde Reutte erstreckt, ist geprägt durch mehrere über die Geländeoberkante aufragende Felsrücken, die mit Lockergesteinen unterschiedlichster Ausbildung und Mächtigkeit bedeckt sind.

Östlich von Reutte wird die Festgesteinsgeologie in Form von mächtigen Hauptdolomitabfolgen geprägt, südlich von Reutte dominieren Muschelkalk, Wettersteinkalk und Partnachsichten. Im Osten und weiter südlich der Reuttener Talweitung erreichen Raibler Schichten größere Mächtigkeiten. Diese lassen sich über die Felsrücken des Sindebichls-Stegerberges, den Einschnitt des Archenbaches querend, bis ins Kirchelestal SW/NE streichend verfolgen bzw. werden im Südwesten vom Felsrücken des Sintwag, der sich aus gipsfreien Gesteinen in Form des Muschelkalks aufbaut, begrenzt.

Der Sindebichl beherbergt das mächtigste Gipsvorkommen. Hier setzt sich der gesamte Hügel von ca. 850 m bis 900 m MH nahezu ausschließlich aus Gips zusammen. An den gebänderten Gipsen im Vorkommen am Sindebichl ist auch seine Lagerung nachvollziehbar. Obwohl dort interne Verfaltungen und Verstellungen auftreten, so lässt sich doch generell eine flache bis mittelsteile nach S bis SSE gerichtete Lagerung erkennen. Störungen im Bereich des Abbaues sind in erster Linie steil stehend und streichen meist in NW/SE Richtung.

Weitere Gipsvorkommen zeigen sich nordöstlich und südwestlich des Sindebichls, wobei davon auszugehen ist, dass diese Vorkommen im Untergrund, bedeckt von den Lockergesteinen der Talfüllung von Reutte, miteinander verbunden sind.

Der Gips - seinem Alter nach der Raibler Formation (Karn) zuzurechnen - wird von Dolomiten, sowohl im Liegenden als auch im Hangenden, begrenzt.

Bei Betrachtung der geologischen Karte der Geologischen Bundesanstalt (Geologische Bundesanstalt 2009) sind Dolinenstrukturen nur im Süden der Reuttener Talaufweitung sowie im Bereich um das Gebiet Kreckelmoos dargestellt.

Die Verbreitung von Gips, angezeigt durch das Auftreten von Dolinen und durch Aufschlüsse wie Bohrungen, Sondierungen und Schürfe ist im Raum von Reutte/Breitenwang und Umgebung mehrfach nachgewiesen. Diese sind mehr oder weniger immer direkt an die Raibler Schichten gebunden, oder, wo diese durch Lockermaterial verhüllt sind, im Nahbereich dieser Formation zu finden.

#### Lockergestein:

Die Untergrunderkundungen im Talboden zeigen, dass die Lockergesteinsbedeckung sowohl in ihrer Zusammensetzung als auch in ihrer Mächtigkeit sehr unterschiedlich ist.

Es wechseln Schlufflagen mit gut ausgewaschenen Kiesen als Flussablagerungen und gletschertransportiertes Moränenmaterial mit Schwemmfächersedimenten auf engstem Raum. Auch Residuallehme (Residualtone) als unlösliches Restprodukt der Gipslösung sind in den Sedimenten der Talfüllung zu finden. Diese sind durch eine Grundmasse an Schluff und Ton gekennzeichnet, in der noch unzersetzte Gipsbruchstücke und scharfkantige Dolomitmörner schwimmen.

Die Schwankungen der Mächtigkeit der Lockergesteine basiert auf ein im Gebiet von Reutte ausgeprägtes Felsrelief, welches nicht zuletzt auch auf einen Wechsel zwischen weichen gipshaltigen und mergeligen Gesteinen zu den härteren Dolomiten und Kalken zurückzuführen ist.

Durch die Heterogenität der Lockergesteinsauflage sind auch die Durchlässigkeiten (kf- Werte) sehr unterschiedlich. Außerdem können die Durchlässigkeiten auch aufgrund der durch Gipslösung hervorgerufenen Versturzstrukturen und somit der Bildung neuer Wasserwegigkeiten im Lockermaterial räumlich und zeitlich stark variieren.

#### Grundwasser:

Anhand der Unterlagen lässt sich eine generelle Fließrichtung von SE nach NW ermitteln mit einem mittleren Flurabstand von 10 m. Im Bereich zwischen Sindebichl, Sintwang und im Gebiet um die Innsbrucker Straße liegt der Grundwasserspiegel höher und kann dort zwischen 2 und 5 m unter GOK auftreten.

Über das gesamte Gebiet der Talweitung von Reutte schwanken die elektrischen Leitfähigkeiten sowohl in horizontaler als auch vertikaler Richtung.

Die höchsten Leitfähigkeiten in den Grundwässern können gerade im Bereich Erlebnisbad Ehrenberg und Kreckelmoos durchaus zwischen 1600-2000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  erreichen und sind dort ausnahmslos auf das im Wasser gelöste Sulfat zurückzuführen. Markierungsversuche haben gezeigt, dass ein rascher Eintrag von Tracern über die Dolinen im Bereich Sindebichl in den Grundwasserkörper erfolgt.

### **3) Ursache der Hohlraumbildung im Raum Reutte**



Ursache der Hohlrumbildung im Untergrund mit der Folge von Erdfällen und Senkungen ist die lösende Wirkung des Wassers im Zusammenhang mit löslichen, gesteinsbildenden Mineralen. Den Verkarstungsprozess bestimmen folgende Faktoren:

- durch Wasser lösbare Gesteine
- Trennflächengefüge
- Menge der Niederschläge
- hydrogeologische Verhältnisse
- die Vegetation bzw. die Intensität der Versickerung von Niederschlagswässern
- Veränderungen durch menschliche Eingriffe

Verkarstung findet verstärkt an wasserwegigen Trennflächen, Störungs- und Zerrüttungszonen entlang dolomitischer Lagen, bestehender Hohlräume und durchlässiger Lockergesteinsschichten statt. Wie in Reutte erkundet, finden Verkarstung und Hohlrumbildung im Festgestein, aber auch unmittelbar oberhalb der stark und kleinräumig reliefierten Festgesteinsoberfläche in Lagen mit toniger-schluffiger Matrix und kantigen Dolomit- und Gipsresten - verwitterten Raiblerschichten - statt. Über diesen Schichten liegen fluviatile Sedimente mit hohem Grundwasserspiegel und hoher Durchlässigkeit. Der massive Abfluss von Grundwasser ins Festgestein ist durch die Aufschlussbohrungen belegt, wie die durchwegs massiven Spülverluste in den Bohrungen ins Festgestein gezeigt haben.

Die Verkarstung führt im Festgestein zu aufgeweiteten Karstgängen und Hohlräumen mit hoher Wasserwegigkeit und möglichem Abtransport von Feinteilen. In den das Festgestein überlagernden Ton-Schlufflagen (verwitterte Raibler) entstehen entlang von Wasserwegen örtlich auch horizontal ausgebildete mächtige Hohlräume.

Zur Entstehung der Hohlräume ist festzustellen, dass natürlich tektonische und sedimentäre Vorgänge mit der Änderung der Grundwasserströmung im Laufe der jüngeren Erdgeschichte eine wesentliche Rolle bei der Verkarstung des Festgesteins und der Hohlrumbildung im Lockergestein gespielt haben. Anthropogene Einflüsse mit der zunehmend extensiven Versickerung von Oberflächenwässern in den Untergrund beeinflussen in den letzten Jahrzehnten die Grundwasserdynamik in Siedlungsgebieten und beschleunigen damit die Verkarstungsentwicklung und Hohlrumbildung im Fest- und Lockergestein. Die dokumentierte Entstehung neuer Einbrüche bzw. Erweiterung bestehender Einbrüche im Siedlungsgebiet von Reutte, aber auch in der Umgebung weisen auf diesen Umstand hin.

Im Zusammenhang mit der Untergrunderkundung zum Bau des Erlebnisbades Ehrenberg konnten in den Jahren 2008 bis 2010 auf einer Fläche von ca. 2000 m<sup>2</sup> umfangreiche Erkundungen durchgeführt werden. Aufgrund der festgestellten großen Hohlräume konnten Einbrüche mit einem Durchmesser über 5 m und fortlaufende Setzungen nicht ausgeschlossen werden.

Die Hohlräume und aufgelockerten Zonen im Lockergestein befanden sich in Tiefen von 8 bis 30 m und wiesen eine Erstreckung von mehreren Zehnermetern auf.

#### **4) Jüngste Erdfallereignisse im Raum Reutte**

Probleme mit Erdfällen und Erdsenkungen sind im Siedlungsgebiet südöstlich und südlich von Reutte und Breitenwang seit langem bekannt. Primär konzentrieren sich die jüngsten dokumentierten Erdfälle und die erbohrten Hohlräume entlang der Innsbruckerstraße und westlich des Felsrückens Sindebichl-Stegerberg. Die Geländeoberfläche beidseitig der Innsbruckerstraße zeigt in einem engen Raster Muldenstrukturen, die auf lang anhaltende Setzungen hinweisen.

Folgende Erdfallereignisse aus jüngster Zeit können angegeben werden:

#### Tennishalle Reutte

Das erste durch Überlieferung bekannte bautechnische Problem ist bei der Tennisanlage am Fuß des Sindebichls aufgetreten. Ein Teil des Gebäudes sackte ab und musste nach der Verfüllung des Hohlraumes mit verstärkten Fundamenten auf verfülltem Hohlraum aufgebaut werden.

#### Innsbruckerstraße (1986 und vorher)

Erdfälle in der Innsbruckerstraße sind mehrfach aufgetreten. Nachdem das wiederholte Verfüllen des immer wieder neu entstandenen Erdfalltrichters nicht zum erhofften Erfolg geführt hat (z.B.: April 1986: 18 m<sup>3</sup> Schotter, November 1986: 20 m<sup>3</sup> Beton und Schotter), wurde der Einbruchschlot mit einer Stahlbetonplatte überbrückt.

#### Lebensmitteldiskonter an der Innsbruckerstraße (1993)

Ein weiterer Einbruch befand sich weiter westlich ebenfalls im Nahbereich der Innsbruckerstraße und betraf ein Lebensmittelgeschäft. Dieser Einbruch hat sich schrittweise bis an die Oberfläche durchgestanzt.

Dokumentiert ist dieser Vorgang durch das mehrmalige, zum Auslösezeitpunkt nicht erklärbare Ansprechen der auf Erschütterung reagierenden Alarmlage. 1993 erreichte der Schlot die Geländeoberfläche, große Schäden am Objekt sind nicht entstanden. Die Sanierung erfolgte mit Beton und Kies. Zum nachträglichen Verfüllen einer auch in Zukunft auftretenden, nicht auszuschließenden Hohlraumbildung wurde ein Verfüllrohr bis zur Sohle des sichtbaren Erdfalltrichters geführt.

#### Areal Schwimmbad Ehrenberg:

Auch auf dem Areal des neuen Schwimmbades, in der Tiefenlinie der im Gelände sichtbaren Mulde, ist eine Doline mit einem Durchmesser von ca. 4 m ausgebildet. Dieser Erdfall wurde in den letzten Jahren immer wieder mit Schüttmaterial verfüllt. In einem Zeitraum von 4 Jahren ist mit der Neubildung der Bodeneinsenkung bei diesem Erdfall zu rechnen. Das alte, inzwischen abgerissene Freischwimmbad unmittelbar nordöstlich dieses Trichters wies vor dem Abbruch in der Mitte der längeren Schwimmbadseite einen großen klaffenden Riss auf. Die Ursache dieses Risses konnte nicht genau geklärt werden. Neben einer unzureichenden Bewehrung des Schwimmbades sind Setzungen infolge Karstbildung im Untergrund mögliche Ursache.

#### Restaurant McDonald's (2014):

Mitte März 2015 ist nordwestlich des Restaurants McDonald's ein Erdfall aufgetreten. Der Erdfall befindet sich unmittelbar neben einem Versickerungsschacht.

Bohrpfahlgründung Gemeindeamt Breitenwang:

Zur Sicherung des Gemeindezentrums Breitenwang im Osten des Reuttener Beckens wurden 64 Pfähle gerammt. Im Zuge der Pfahlrammung ist es zum Verlust von Pfählen gekommen.

Erdfall im Mühlerfeld (2013):

Anfang August 2013 entstand im Mühlerfeld eine Doline mit einem Durchmesser von 8 m und einer Tiefe von 7 m. Anfangs war die Doline mit Wasser teilgefüllt, welches anschließend versickerte.

Abschließende Anmerkung zu den dokumentierten Erdfällen:

Abschließend kann zu den dokumentierten Erdfallereignissen im Siedlungsgebiet von Reutte und Breitenwang festgestellt werden, dass in einem Zeitraum von 50 Jahren bei Berücksichtigung von Mehrfacheinbrüchen ca. 10 Erdfälle dokumentiert sind. Schäden an Personen sind nicht bekannt. Auch die Schäden an Bauwerken halten sich, obwohl zahlreiche Gebäude im Bereich der Zone mit hohem Erdfallrisiko liegen, in Grenzen.

**5) Physikalisch-chemische Zusammenhänge der Löslichkeit von Gips**

Niederschlag Raum Reutte:

Im Raum Reutte ist mit einem jährlichen Niederschlag von ca. 1400 mm im Jahr zu rechnen.

Durchlässigkeit der fluviatil abgelagerten Bodenschichten:

$k_f = 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  bis  $1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

Durchlässigkeit in den Raiblerschichten:

Örtlich ist im Festgestein mit hohen Abflüssen aufgrund von Karstbildung und von Klufsystemen zu rechnen. Die Residualböden mit tonig-schluffiger Matrix und scharfkantigen Dolomit- und Gipskomponenten weisen eher eine geringe Durchlässigkeit auf. Örtlich bei Hohraumbildung können auch große Abflüsse entstehen. Bei offenen Wasserwegen zum Fels ist auch mit Feinteilerosion zu rechnen.

Löslichkeit von Gips in Wasser:

2,5 g in 1 l Wasser

Dichte Gips 2 t/m<sup>3</sup>

Versickerung von 100% des Niederschlagswassers würde zum Beispiel bedeuten, dass theoretisch auf einer Fläche von 1 ha (10.000 m<sup>2</sup>) bei einem Jahresniederschlag von 1400 mm (Jahresniederschlag Reutte) folgender größter Gipsabtrag möglich ist:

Betrachtungszeitraum

1 Jahr	35 t	15 m <sup>3</sup>
10 Jahre	350 t	150 m <sup>3</sup>
20 Jahre	700 t	300 m <sup>3</sup>
50 Jahre	1.750 t	750 m <sup>3</sup>

Primär weist natürlich das Regenwasser die größte Lösungskapazität auf, auch teilmineralisierte Wässer lösen abhängig vom Sättigungsgrad den Gips.

#### Versiegelte Flächen im bebauten Siedlungsgebiet:

Durch die zunehmende Verbauung entstehen große versiegelte Flächen mit hohen Abflussraten in das Grundwasser.

### **6) Erkundung des Untergrundes – Ingenieurgeologische Untersuchungsmethoden**

Eine konkrete Voraussage von Erdfallereignissen oder Bodensenkungen ist auch durch eine umfangreiche Erkundung nicht möglich. Wie die Erfahrungen zeigen, ist das Entstehen von Karstsystemen nicht willkürlich, sondern hängt von geologischen und besonders von hydrogeologischen Faktoren mit dem Wasser als Motor der Karstentwicklung ab. Die Erkundung des Untergrundes, der geologischen Grundlagen wie Schichtung, Störungen, Kluftsysteme und vor allem der hydrogeologischen Verhältnisse ist zwingend erforderlich. In Erdfall- und Senkungsgebieten ist grundsätzlich von einem erhöhten Untersuchungsaufwand auszugehen (geotechnische Kategorie GK 3 nach ÖN EN 1997-2). In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass ältere Senkungen und Erdfalllöcher häufig durch locker gelagerte nachträgliche Verfüllung und Sedimente aufgefüllt sind, die durchaus auch von bautechnischer Bedeutung sind.

Die umfangreichen Untersuchungen zur Erkundung des Untergrundes vor der Errichtung des Erlebnisbades Ehrenberg haben gezeigt, dass die Kombination von direkten Aufschlüssen in Form von Bohrungen und geophysikalischen Untersuchungen das zutreffendste Ergebnis zum Bodenaufbau liefert. Nachträglich durchgeführte Bohrungen in durch die Geophysik detektierten Anomalien im Untergrund haben eine hohe Trefferquote bei Karsthohlräumen ermöglicht. Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Geophysik immer nur indirekte Hinweise auf gestörte Bodenbereiche gibt. Bei den im Karst zahlreich durchgeführten geophysikalischen Untersuchungen ist es nicht gelungen, Hohlräume bis in eine Tiefe von 50 m (mögliche Anwendungstiefe) direkt zu erkunden. Als primär anzuwendende und zielführende Methoden zur Erkundung von Anomalien im Untergrund im Zusammenhang mit Karstphänomenen sind anzuführen:

- direkte Aufschlüsse mittels Kernbohrungen und Bohrlochgeophysik
- Hochauflösende kombinierte Methoden der Reflexions- und Refraktionsseismik
- Radarmessungen
- geoelektrische Widerstandsmessung

Weiters ist festzuhalten, dass Aufschlussbohrungen bei entsprechender Betreuung und Auswertung genau angeben können, welches erosionsgefährdete Gestein im Untergrund ansteht bzw. ob Hohlräume vorliegen. Auch die Grundwassersituation (z.B. Mineralisierung des Grundwassers) kann mit Bohrungen zutreffend aufgeschlossen werden. Bohrungen sind Punktaufschlüsse, es ist nicht auszuschließen, dass eine Bohrerkundung keinen Hohlraum erkundet und dennoch Hohlformen im Nahbereich vorliegen. Im Festgestein ist mittels Kamerabefahrung oder echometrisch eine Vermessung des Hohlraumes möglich.

### **7) Einstufung des Erdfallrisikos**

Grundsätzlich gilt, dass zur Abschätzung des Erdfallrisikos (Baugrundrisiko)

- die geologischen Strukturen (Störungen, Klüfte),
- Bestandsaufnahmen von Erdfällen und Senkungen, abhängig von Zeit und Ort,
- die Grundwasserabflussverhältnisse
- sowie die Auswertung von Laserscandaten, die ein sehr gutes Bild oberflächennaher fossiler Karsterscheinungen vermitteln, auszuwerten sind.

#### Risikobewertung in deutschen Bundesländern

In deutschen Bundesländern mit Karstproblemen (Thüringen, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen usw.) liegen Erdfallkarten vor.

In der Literatur (Ingenieurgeologie, Prinz H., Strauss R. 2011) wird angegeben, dass sich als allgemeingültige Risikobewertung folgende Definitionen bewährt haben:

- a) Akute Gefährdung liegt vor, wenn in absehbarer Zeit mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ein Ereignis zu erwarten ist, das eine ernsthafte Bedrohung von Schutzgütern bedeutet. Eine solche Situation erfordert in der Regel einen zeitnahen Handlungsbedarf bzw. die Einleitung von Sofortmaßnahmen.
- b) Potentielle Gefährdung ist gegeben, wenn ein Schadensereignis mittelfristig (einige Monate bis wenige Jahre) mit einiger Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist. Es besteht ein planmäßiger Handlungsbedarf für umfassende Erkundungen und Bewertungen der Situation und für massives intensives Monitoring.
- c) Latente Gefahr ist anzunehmen bei geringer Eintrittswahrscheinlichkeit für ein Ereignis, das weder nach Zeit, Ort und Ausmaß näher zu bemessen ist. Eine allgemeine Erkundung und Bewertung der Situation müsste ausreichend sein.

#### Handlungsempfehlungen der Straßenbauverwaltungen in den Ländern Sachsen-Anhalt und Thüringen

Die genaueste und grundlegendste Darstellung von Gefährdungsklassen mit Angabe von bautechnischen Sicherungsmaßnahmen für Straßen steht in den Handlungsempfehlungen der Straßenbauverwaltungen in den Ländern Sachsen-Anhalt und Thüringen zur Verfügung.

#### LBEG Niedersachsen, Kategorie der Erdfallgefährdung im Gips- und Karbonatkarst

Auch für das Land Niedersachsen gibt es vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie für Bauten im Gips- und Karbonatkarst eine Gefährdungseinstufung (Kategorie 0 bis 7) und eine Bauanweisung für Wohnbauten. Der Umfang möglicher Sicherungsmaßnahmen für Bauwerke in erdfallgefährdeten Gebieten der Kategorie 3 bis 6 ist auch hier vom Grad der Gefährdung abhängig. Um das Restrisiko für Personen in diesen Gebieten zu verringern, empfiehlt das LBEG für Niedersachsen, Gebäude durch statisch – konstruktive Sicherungen so zu verstärken, dass zwar Schäden an Bauwerken nicht verhindert werden, dass aber das Leben und die Gesundheit von Menschen möglichst nicht gefährdet ist. Das bedeutet, dass die Tragsicherheit der Gebäude für den Eintretensfall eines Erdfalls unter dem Gebäude soweit erhalten bleibt, dass der Mensch nicht zu Schaden kommt, die Gebrauchstauglichkeit des Objektes muss aber nicht

mehr gegeben sein. Aufgrund der Häufigkeit der dokumentierten Erdfälle entlang der Innsbruckerstraße in Reutte würde dieser Bereich laut Gefährdungseinstufung LBEG Niedersachsen in die Kategorien 5 bis 7 fallen. Laut den konstruktiven Anforderungen für Wohnhäuser in der Gefährungskategorie 5 und 6 gilt laut Sicherungsanleitung für Wohnobjekte die Ausbildung des untersten Geschoßes als steifer Stahlbetonkasten bzw. ausgesteiftes Kellergeschoß.

#### Einschätzung der Gefährdung westlich entlang des Sindebichels und Stegerberges in Reutte auf der Grundlage der deutschen Bewertungen

Wie die dokumentierten Erdfälle im Bereich um die Innsbruckerstraße, die Erkundungsbohrungen beim Erlebnisbad Ehrenberg und bei anderen Bauvorhaben im Nahbereich des Erlebnisbades Ehrenberg mit erkundeten Hohlräumen in Tiefen von 10 bis 40 m zeigen, besteht im Gelände um die Innsbruckerstraße und das Erlebnisbad Ehrenberg eine potentielle bis akute Gefährdung von Objekten. Mit Erdfällen ist kurz- und mittelfristig zu rechnen. Laut Risikobewertung in den Handlungsanleitungen ist ein zeitnaher und planmäßiger Handlungsbedarf gefordert, welcher die Erkundung und Bewertung des Untergrundes und bautechnische Maßnahmen zum Erhalt der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Gebäuden erfordert. Auch Maßnahmen, welche die Eintretenswahrscheinlichkeit eines Erdfalles vermindern, wie zum Beispiel keine konzentrierte Ableitung von Oberflächenwässern in das Grundwasser über lösbaren Gesteinen, sind erforderlich.

#### Charakteristik des Untergrundes im Siedlungsgebiet südwestlich des Sindebichls und Stegerberges:

- Sulfateinschlusungen im Untergrund, überlagert von 10 bis 40 m mächtigen Lockergesteinen, örtlich hohe Wasserwegigkeit im Untergrund
- mehrere junge Erdfälle entlang der Innsbruckerstraße und nordwestlich des Sindebichls
- fossile Erdfallerscheinungen (z.B. See Kreckelmoos)
- mittlere bis hohe Eintrittswahrscheinlichkeit von Erdfällen
- Subrosionsauswirkung - Erdfälle, Hohlformen im Untergrund und Einsenkungen im Gelände, setzungempfindliche Lockergesteinsauffüllungen über fossilen Hohlformen, dokumentierter Durchmesser der Erdfälle 2 bis 5 m
- mögliche Beanspruchung der Bauwerke durch Subrosionsauswirkung – geringe bis bestandsgefährdende Einwirkungen

#### Ausweisung von Siedlungsflächen mit akutem, potentielltem und latentem Baugrundrisiko

Wesentlicher Punkt für die Vorgabe von Handlungsanweisungen im Gipskarst (Erkundung und Baumaßnahmen) ist die Ausweisung von Gefahrenzonen durch die Geologie. Die Eingrenzung von Gefährdungsflächen ist ein dynamischer Prozess, mit weiteren Erkundungen kann die Eingrenzung jeweils verfeinert werden.

### **8) Bautechnische Maßnahmen bei Gefahr von Erdfällen und Bodensenkungen**

#### Grundsätzliches zur Minimierung des Baugrundrisikos bei Gipskarst

Zur Einschätzung des Risikos für Bauten in Erdsenkungsgebieten, entwickelt für Bauten über Altbergbauanlagen, dient das Diagramm von G. Meier. Das Baugrundrisiko ist definiert als das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und möglichem Schadensausmaß. Die Festlegung der Risikoklasse kann nach der Tabelle 1 mit Hilfe der Linie des Grenzrisikos erfolgen. Die Felder unterhalb der Linie des Grenzrisikos bedeuten Risikoklasse IV, ein Handlungsbedarf besteht nicht. Für die Felder oberhalb dieser Linie mit den Risikoklassen III bis I besteht Handlungsbedarf.

Eintrittswahrscheinlichkeit	sehr wahrscheinlich	IV	III	II	I	$R_G$
	wahrscheinlich	IV	IV	III	II	
	wenig wahrscheinlich	IV	IV	IV	III	
	praktisch unmöglich	IV	IV	IV	IV	
		unbedeutend	klein	hoch	sehr hoch	
	Schadensausmaß					

$R_G$  = Grenzrisiko

**Tab. 1:** Matrix für die Festlegung des Risikos (nach G. Meier 2004).

Die Aufgabe der Bautechnik ist, Maßnahmen zu treffen, welche die Eintrittswahrscheinlichkeit oder das Schadensausmaß so weit absenkt, dass die Klasse IV erreicht werden kann. Bezüglich des Schadensausmaßes ist festzustellen, dass eine Schiefstellung eines Wohnhauses größer 1:300 als hoher bis sehr hoher Schaden anzusprechen ist.

Als **Eintrittswahrscheinlichkeit** kann im konkreten Fall das Eintreten einer Erdsenkung oder eines Erdalles in einem bestimmten Zeitraum in der Zukunft angesehen werden. Die Verminderung des konzentrierten Wassereintrages in den subrosionsgefährdeten Untergrund bedeutet die Herabsetzung der Eintrittswahrscheinlichkeit und damit des Risikos.

Das **Schadensausmaß** kann durch bautechnische Maßnahmen am zu errichtenden Objekt selbst verringert werden. Bei bestehenden Objekten ist eine Verringerung des Schadensausmaßes praktisch nicht möglich. Bei Neubauten kann durch bautechnische Maßnahmen einerseits die Tragfähigkeit durch die Anordnung von Stahlbetonschachteln als steifes Kellergeschoß und andererseits die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit durch Gründung auf erosionsstabilem Untergrund bei einer geforderten Dauerhaftigkeit von 50 bis 100 Jahren erreicht werden.

## 9) Gesetzliche Vorgaben und Ausweisung von Gefahrenzonen

Grundsätzlich gilt nach Tiroler Bauordnung (TBO 2011):

### § 3

#### **Bauplatzeignung**

(1) Bauliche Anlagen dürfen nur auf Grundstücken errichtet werden, die sich nach ihrer Widmung, Lage, Form, Größe und Bodenbeschaffenheit für die vorgesehene Bebauung eignen und die eine dem vorgesehenen Verwendungszweck entsprechende, rechtlich gesicherte Verbindung mit einer öffentlichen Verkehrsfläche haben.

(2) Auf Grundstücken, die einer Gefährdung durch Lawinen, Hochwasser, Wildbäche, Steinschlag, Erdbeben oder andere gravitative Naturgefahren ausgesetzt sind, sind der Neu-, Zu- und Umbau und die sonstige Änderung von Gebäuden sowie die Errichtung und die Änderung von sonstigen baulichen Anlagen nur unter der Voraussetzung zulässig, dass durch die Anordnung oder die bauliche Beschaffenheit des Gebäudes bzw. der sonstigen baulichen Anlage, durch sonstige bauliche Vorkehrungen in deren Bereich oder durch bestimmte organisatorische Vorkehrungen, wie insbesondere durch ein Sicherheitskonzept, ein im Hinblick auf den vorgesehenen Verwendungszweck ausreichender Schutz vor Naturgefahren gewährleistet ist. Soweit aktuelle Gefahrenzonenpläne vorhanden sind, ist bei der Beurteilung der Gefahrensituation darauf Bedacht zu nehmen.

Der 1. Absatz weist darauf hin, dass Anlagen nur auf Grundstücken errichtet werden dürfen, die sich nach ihrer Bodenbeschaffenheit für die vorgesehene Bebauung eignen. Eine Eignung ist aus bautechnischer Sicht gegeben, wenn die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für die übliche Lebenserwartung eines Gebäudes (50 bis 100 Jahre) gewährleistet ist.

Der 2. Absatz bedeutet, dass Bauwerke nur unter der Voraussetzung zulässig sind, dass durch die Anordnung oder die bauliche Beschaffenheit des bewilligungspflichtigen Bauwerkes, durch sonstige bauliche Vorkehrungen in deren Bereich oder durch bestimmte organisatorische Vorkehrungen, wie insbesondere durch ein Sicherheitskonzept, ein im Hinblick auf den vorgesehenen Verwendungszweck ausreichender Schutz vor Naturgefahren gewährleistet ist.

Die Begriffe „bauliche Beschaffenheit“ des Bauwerkes bzw. „baulichen Vorkehrungen“ weisen auf eine auf die Bodenverhältnisse abgestimmte Gründung bzw. Ausbildung des Bauwerkes hin.

Die Erstellung eines Sicherheitskonzeptes für Bauwerke und deren Evakuierung ist im Fall der Gefährdung durch Erdfallerscheinungen nicht zielführend, da sich ein Zusammenhang zwischen klimatischen Vorgängen wie extremer Schneefall oder Niederschlag und dem Gefährdungspotential nicht herstellen lässt.

In den Technischen Bauvorschriften ist festgehalten (TBV 2008):

#### „2. Abschnitt

Mechanische Festigkeit, Standsicherheit

#### § 2 Anforderungen

(1) Bauliche Anlagen und alle ihre Teile müssen so geplant und ausgeführt sein, dass sie während der Errichtung und der gesamten Dauer ihrer Verwendung tragfähig sind. Dabei sind ständige, veränderliche und außergewöhnliche Einwirkungen zu berücksichtigen. Die Gebrauchstauglichkeit darf unter Berücksichtigung der ständigen und veränderlichen Einwirkungen nicht durch Verformungen oder Schwingungen beeinträchtigt werden.

(2) Insbesondere sind zu vermeiden:

a) der Einsturz der baulichen Anlage oder von Teilen davon,



- b) Verformungen, durch die die Gebrauchstauglichkeit oder die Erfüllung der bautechnischen Erfordernisse beeinträchtigt wird,
- c) Beschädigungen von Bauteilen, Einrichtungen oder Ausstattungen infolge zu großer Verformungen der tragenden Baukonstruktion,
- d) Beschädigungen, die im Hinblick auf das verursachende Ereignis unverhältnismäßig sind.“

Eindeutig wird in den Gesetzesgrundlagen festgestellt, dass sowohl die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit über eine Dauer von 50 bis 100 Jahren gegeben sein muss. Eine Trennung der Gebrauchstauglichkeit von der Tragsicherheit ist in den gesetzlichen Vorgaben nicht vorgesehen.

Die Gesetzestexte, konsequent angewendet, bedeuten, dass im Fall eines erhöhten Erdfallrisikos, eines erhöhten Risikos bei Vermurung, Überschwemmung, Lawine oder Steinschlag nicht gebaut werden darf. Sollten bauliche Maßnahmen möglich sein, die das Baugrundrisiko mit diesen Maßnahmen auf das übliche Risiko vermindern, sind diese baulichen Maßnahmen zu setzen.

Bei den Risiken Vermurung, Überschwemmung, Lawine oder Steinschlag wird aus wirtschaftlichen Gründen ein Bemessungsereignis der Erstellung einer baulichen Schutzmaßnahme zugrundegelegt (z.B. HQ 100 bei wasserbaulichen Schutzmaßnahmen). Ein Schutz eines Bauwerkes oberhalb dieses Bemessungsereignisses ist nicht gegeben.

Bei einem Erdfallrisiko durch Karst ist der Weg der Vorgabe eines Bemessungsereignisses nicht beschreibbar. Es bleibt nur die Abwägung des Baugrundrisikos durch Eingrenzung von Geländebereichen mit geringer bis hoher Eintrittswahrscheinlichkeit und die Abschätzung des möglichen Schadensausmaßes abhängig vom Gebäudetyp.

In Anlehnung an die Risikobewertung bezüglich Eintrittswahrscheinlichkeit in deutschen Bundesländern sollte von folgender Bewertung des Untergrundes ausgegangen werden (Betrachtungszeitraum 50 bis 100 Jahre):

- akute Gefährdung (Eintritt des Erdfalles sehr wahrscheinlich)
- potentielle Gefährdung (Eintritt des Erdfalles wahrscheinlich)
- latente Gefährdung (Eintritt des Erdfalles wenig wahrscheinlich)

Die Ausweisung einer Zone ist ein dynamischer Prozess. Das heißt, ein enger Raster an Bodenaufschlüssen ermöglicht eine bessere Eingrenzung des Erdfallrisikos bzw. der Eintrittswahrscheinlichkeit.

#### Schadensausmaß:

Das Schadensausmaß bei einem Gebäude hängt wesentlich von der Funktion und Bedeutung des Bauwerkes ab. Auch die Setzungsempfindlichkeit eines Bauwerkes ist von großer Bedeutung.

Laut dem Diagramm von Meier G. (Tab. 1) kann das mögliche Schadensausmaß in vier Stufen eingeteilt werden.

Für den Siedlungsraum Reutte kann folgende Zuordnung getroffen werden:

sehr hoch                      öffentliches Schwimmbad, Schulen

hoch	Wohngebäude, Beherbergungsbetriebe, Ausschankbetriebe, Kaufhäuser
klein	Gewerbebetriebe
unbedeutend	z.B. anzeigepflichtige Bauwerke

### Derzeitige Praxis bei der Erkundung von Bauland und der Vorgabe von Baumaßnahmen im Raum Reutte und Breitenwang

Die Landesgeologie Tirol erfasste für das Siedlungsgebiet bzw. Bauerwartungsland im Siedlungsgebiet Reutte und Breitenwang die bekannten und durch geologische Karten und Erdfallereignisse dokumentierten Gebiete mit Erdfallgefahr. Ergebnis dieser Kartierung ist für Reutte und Breitenwang eine ausgewiesene Gefahrenzonenkarte auf der Grundlage des digitalen Katasters mit erhöhter Erdfallgefahr. Die Gefahrenzonen bzw. Gebiete mit erhöhtem Baugrundrisiko werden in drei Bereiche eingeteilt. Für den Bereich 1 – höchstes Baugrundrisiko bezüglich Erdfall - und für den Bereich 2 – geringes Baugrundrisiko bezüglich Erdfall - gibt es Handlungsanweisungen zur Erkundung des Untergrundes und zu Baumaßnahmen.

#### *Bereich 1:*

Im Zuge des Bauverfahrens sind bei Gebäuden in dieser Gefahrenzone direkte Bodenaufschlüsse (Kernbohrungen) bis ins Festgestein bzw. zumindest bis in eine Tiefe von ca. 40 m erforderlich. Bei Bohrungen, die nicht den Fels erreichen, ist bezüglich der Abklärung der weiteren Vorgangsweise ein Geologe und/oder Geotechniker beizuziehen.

Bei einem erkundeten Hohlraum oder erkundeten Gips- bzw. Anhydritvorkommen ist vom Geotechniker zusammen mit dem Statiker eine Gründung (z.B. Tiefgründung) bzw. eine Gebäudeausbildung (steifer Keller) vorzuschlagen, welche auch bei einem Erdfall unter dem Gebäude zu keinen Schäden am Objekt führt.

Eine Versickerung von Niederschlagswässern aus befestigten Flächen ist nicht zulässig.

#### *Bereich 2:*

Der Bauwerber hat einen Bauverantwortlichen auf dem Fachgebiet Geotechnik und/oder Geotechnik zu bestellen, welcher den Bodenaushub kontrolliert und dokumentiert und auftretende Wässer untersucht. Besondere Baumaßnahmen werden für das Objekt nicht gefordert.

Grundsätzliche Aufgabe der geforderten Bodenerkundung ist die Darstellung und Bewertung des Risikos bei einer Bebauung sowie die Auswahl eines geeigneten bautechnischen Konzeptes zur Gründung des Objektes. Das Baugrundrisiko sollte im geotechnischen Bericht angegeben werden.

Der Bereich 1 entspricht etwa einer Zone mit akuter bis potentieller, der Bereich 2 mit latenter Gefährdung durch Erdfall und Bodensenkung.

### **10) Empfehlung für erkundungs- und bautechnische Maßnahmen im konkreten Fall Siedlungsraum Reutte und Breitenwang**

#### ***Akutes Gefährdungspotential (hohe Eintrittswahrscheinlichkeit):***

Sehr hohes und hohes Schadensausmaß:

Bodenerkundung: Bohrungen, Geophysik geotechnisches Gutachten mit Angabe der Baugrundrisikos,

Baumaßnahmen: Bauverbot, Pfahlgründung

Kleines Schadensausmaß:

Bodenerkundung: Bohrungen, Geophysik, geotechnisches Gutachten mit Angabe des Baugrundrisikos

Baumaßnahmen: Ausbildung einer steifen Kellerschachtel aus Stahlbeton, Stahlbetongründungsplatte mit Überbrückungsfunktion

**Potentiell Gefährdungspotential (Eintritt Erdfall wahrscheinlich):**

Sehr hohes und hohes Schadensausmaß:

Bodenerkundung: Bohrungen, Geophysik, geotechnisches Gutachten mit Angabe des Baugrundrisikos

Baumaßnahmen: Pfahlgründung, wenn wirtschaftlich möglich, Ausbildung des Kellers als Stahlbetonschachtel mit Überbrückungsfunktion

Kleines Schadensausmaß:

Bodenerkundung: Bohrungen, Abschätzung aus vorhandenen Bodenaufschlüssen, geotechnisches Gutachten mit Angabe des Baugrundrisikos

Baumaßnahmen: Ausbildung des Kellers als Stahlbetonschachtel, Stahlbetongründungsplatte mit Überbrückungsfunktion

**Latente Gefährdung (Eintritt Erdfall wenig wahrscheinlich):**

Sehr hohes und hohes Schadensausmaß:

Bodenerkundung: Bohrungen, Geophysik, geotechnisches Gutachten mit Angabe des Baugrundrisikos

Baumaßnahmen: Ausbildung des Kellers als Stahlbetonschachtel, Stahlbetongründungsplatte mit Überbrückungsfunktion

Kleines Schadensausmaß:

Bodenerkundung: Abschätzung aus vorhandenen Bodenaufschlüssen, geotechnisches Gutachten mit Angabe des Baugrundrisikos

Baumaßnahmen: Ausbildung des Kellers als Stahlbetonschachtel, Stahlbetongründungsplatte mit Überbrückungsfunktion

***Verminderung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Erdfällen durch Versickerungsverbot:***

Die Verminderung des Eintrages von Oberflächenwasser in den lösungsgefährdeten Untergrund besteht in der Errichtung eines Oberflächenwasserkanals, in den alle neuen Gebäude in der Zone mit akuter, potentieller und latenter Gefahr ihre Oberflächenwässer einleiten müssen. Natürlich sollte angestrebt werden, auch bei bestehenden Gebäuden eine Einleitung in den Oberflächenwasserkanal zu erreichen. Durch diese naheliegende Maßnahme kann nachvollziehbar in subsrosionsgefährdetem Untergrund die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Erdfalles und damit das Risikos auch für bestehende Objekte verringert werden.

***Gebrauchstauglichkeit:***

Im Zusammenhang mit der vorgeschlagenen Zuordnung zu Gefährdungsklassen und der Anweisung erforderlicher Baumaßnahmen ist darauf hinzuweisen, dass die Gebrauchstauglichkeit auch bei Anordnung eines steifen Kellers oder einer Gründungsplatte aus Stahlbeton, mit der Funktion, einen Erdfall mit einem Durchmesser von 5 m zu überbrücken oder unterschiedliche Setzungen auszugleichen, nicht mit Sicherheit auf eine Dauer von 50 bis 100 Jahren gewährleistet werden kann. Die Tragsicherheit ist aber gegeben, die unterschiedlichen Setzungen werden bei entsprechender Bemessung des Kellers einige Zentimeter bis wenige Dezimeter betragen.

***Schadenersatz bei Schäden an Bauwerken durch Erdfälle:***

Die Problematik des Verlustes der Gebrauchstauglichkeit wird nicht behandelt. Eine mögliche Sanierung eines Gebäudes ist immer von der entstandenen Situation abhängig. Grundsätzlich wäre wie bei anderen Schadensereignissen infolge von Naturereignissen die Abgeltung eines Schadens durch eine Versicherung und/oder durch den Katastrophenfonds möglich.

Donnerstag 20. Oktober 2016

15:00-16:00

## Multidisziplinäre Ergebnisse zum Talzuschub Misljoch im Navistal, Tirol

<sup>1</sup>Ing. Dr. Mag. Thomas Sausgruber, <sup>2</sup>Dipl. Ing. Johannes Anegg

<sup>1</sup>Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Stabstelle Geologie, Wilhelm Greilstraße 9, 6020 Innsbruck;

<sup>2</sup>Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Geoinformation, Herrengasse 1, 6020 Innsbruck

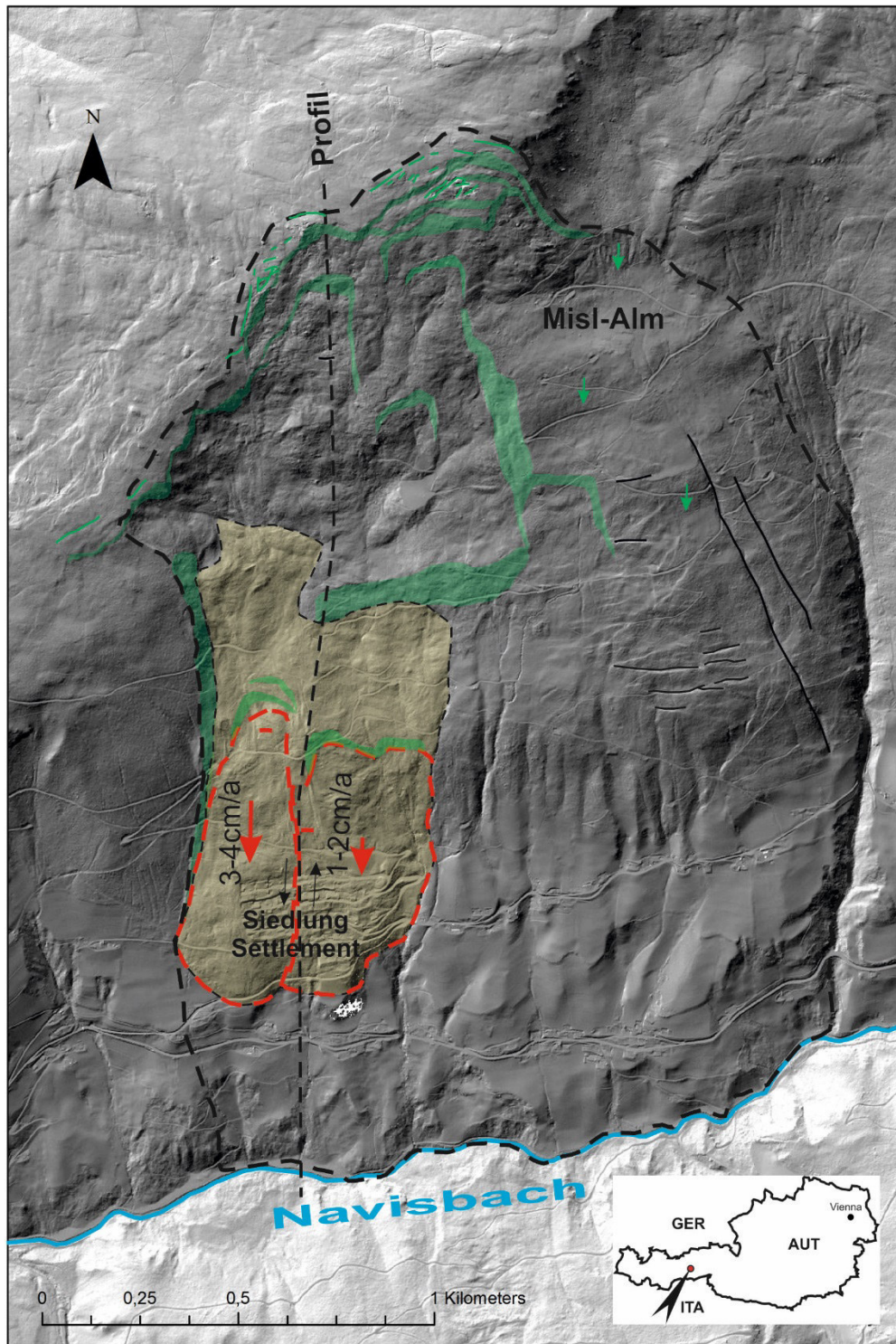
### Einleitung

Ende der 70er Jahre erwarb die Gemeinde Navis in Tirol Grund und Boden eines aufgelassenen Bauernhofes (Kerschbaum). Damit sollte Gemeindegürgern die Möglichkeit zum Erwerb von Bauland geboten und der Landflucht entgegen gesteuert werden. Die Siedlungstätigkeit setzte Anfang der 80er Jahre ein. Bis Anfang der 2000er Jahre wurden 84 Häuser errichtet. Davon zeigen ein Dutzend Häuser Risse, die mehrheitlich auf Hangbewegungen zurückzuführen sind. Auf Basis von GPS-Messungen ist seit 2012 gesichert, dass sich der Hang in Bereichen mit bis zu 4 cm/Jahr bewegt. Auf Antrag der Gemeinde Navis erging der Beschluss, dass der Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung und das Amt der Tiroler Landesregierung detaillierte Erkundungen durchführen und ein Monitoring installieren und betreiben sollen, um einerseits die kausalen Zusammenhänge der Hangbewegungen erklären und darauf basierend Maßnahmen zur Reduktion dieser setzen zu können. Die im Jahr 2015 begonnenen Maßnahmen sind Teil, eines für 10 Jahre ausgelegten Sanierungskonzepts, welches die Wohnbarkeit der Kerschbaumsiedlung für die Zukunft sicherstellen soll.

### Geomorphologie

Die Südflanke des Misljochs weist von der Gratregion bis zum Navisbach einen Höhenunterschied von etwa 1.000 m auf. Die mittlere Hangneigung ist 23°. Bei diesem Hang zeigt eine Reihe von geomorphologischen Strukturen dem Fachkundigen an, dass der Hang tiefgründig bewegt ist. Im Oberhang ist das Gelände treppenartig abgesehen. Es sind Nackentäler und Zerspalten ausgebildet (Abbildung 2). Beim taleinwärts gelegenen Teil der Großhangbewegung baucht der untere Hang konvex aus, sodass der Navisbach hier nach Süden abgedrängt wird und den Talraum verengt. Weiteres fällt, insbesondere im westlichen Teil der Großhangbewegung der konkav geformte Oberhang auf, was als Zeichen des Massenverlagerungsprozesses vom Kopf zum Fuß des Hanges zu interpretieren ist. Große, ganze Talflanken erfassende Hangbewegungen mit den beschriebenen Merkmalen wurden von Stini 1941 als *Talzuschub* bezeichnet.

Der Mittelhang zeichnet sich durch ein unregelmäßig geformtes buckliges Gelände aus. Im Oberflächenmodell, berechnet aus den ALS-Daten des Amtes der Tiroler Landesregierung, sind hier mindestens zwei in der Art von Gletscherzungen geformte Kriechkörper erkennbar (Abbildung 1).



- |     |  |     |  |
|-----|--|-----|--|
| --- | Begrenzung Großhangbewegung<br>Boundary of landslide | ■   | Aktiver Schuttstrom<br>Active earth-slide              |
| ■ ↓ | Alte Großanbrüche<br>Old sarps                       | --- | Teilkörper, Lobes                                      |
| —   | Nackentäler<br>Trenches                              | —   | Zerrspalten - alt/aktiv<br>Tension cracks - old/active |

**Abb.1:** DHM mit den geomorphologischen Hauptstrukturen zum Talzuschub Misljoch

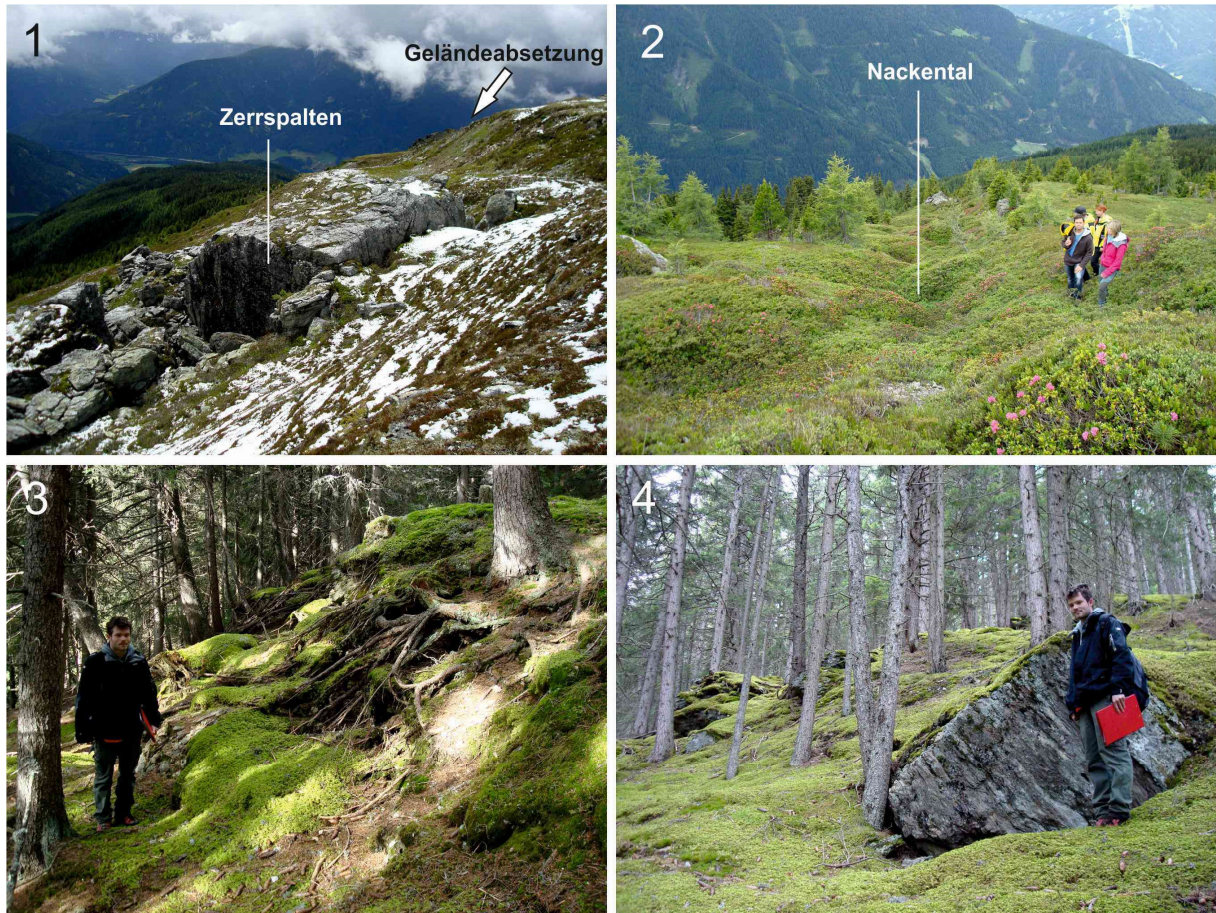


Abb. 2: 1) Zerrspalten und Geländeabsetzung 2) Nackental 3) Riss und gespannte Wurzeln 4) Schuttstrom

### Geologische und tektonische Verhältnisse

Das Gebiet der Großhangbewegung Misljoch liegt am Nordrand des Tauernfensters und wird im Wesentlichen aus zwei großtektonischen Einheiten aufgebaut:

- a) den penninischen Bündner Schieferen und
- b) dem ostalpinen Innsbrucker Quarzphyllit.

Dabei nehmen die unteren 2/3 des Hanges vom Navisbach (1.100 m.ü.A.) bis 1.700 m.ü.A. die Bündner Schiefer ein, oberhalb davon bis zum Grat der Innsbrucker Quarzphyllit. Der Kontakt zwischen Bündner Schiefer und Innsbrucker Quarzphyllit ist eine bedeutsame Überschiebung. In den Gratregionen des Misljochs selbst lagern im tektonischen Kontakt noch diverse Gesteine des Tarntaler Deckenkomplexes (Abbildung 3).

Die genannten Gesteinseinheiten sind im Großen und Kleinen verfaltet. Wichtige Faltenachsen streichen in etwa WSW-NNE bis W-E. Der Scheitel einer großen Antiklinale liegt im Bereich des Navisbaches. Das generelle Einfallen der Hauptschieferung am Südabhang des Misljochs ist somit mittelsteil nach NW bis N gerichtet. Unterhalb der Gratregion ist durch Sekundärfaltung bedingt, lokal auch ein Südeinfallen der Schieferung vorhanden. Letzteres hat, wie noch ausgeführt werden soll, für die Anlage der Massenbewegung Relevanz. Weitere in Zusammenhang für die Anlage der Hangbewegung bedeutsame Flächen stellen WSW-ENE bis SW-NE verlaufende steile Flächen der Miskopfstörung, N-S-streichende und E-W-streichende steile Klüfte dar (Pichler 2015).

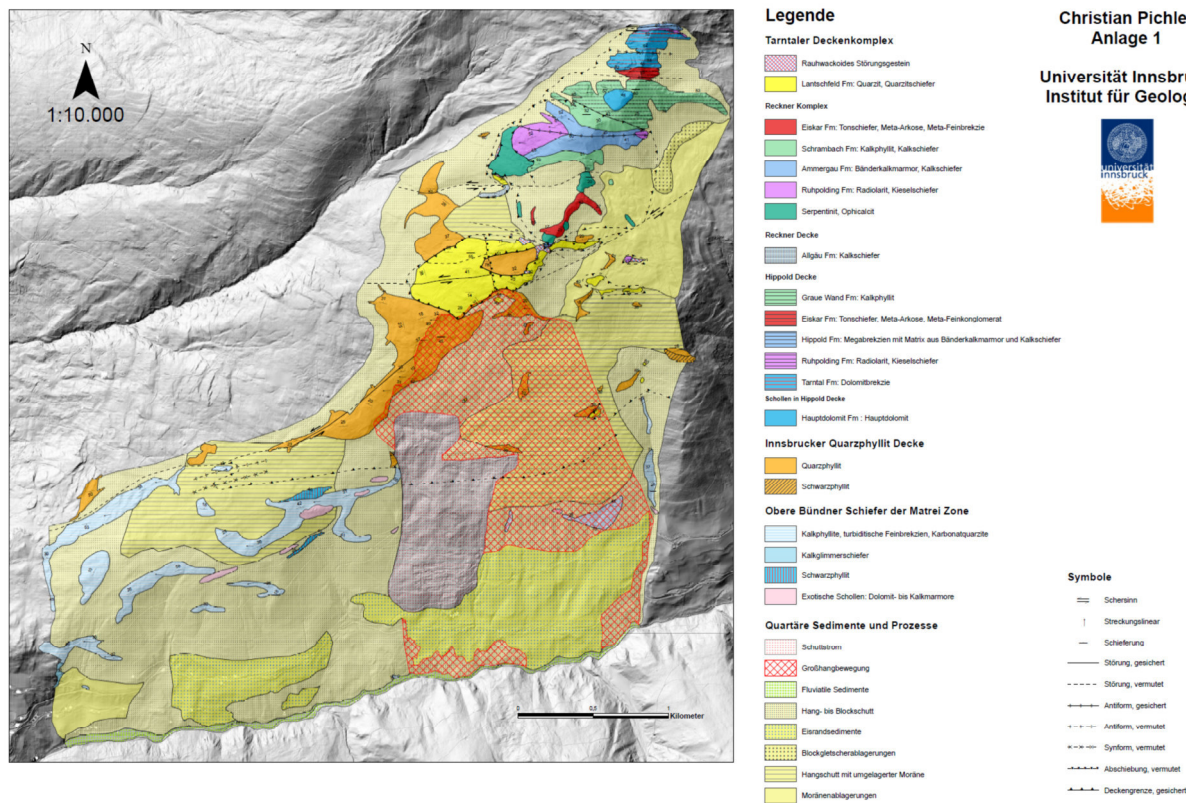


Abb.3: Geologisch-strukturelle Karte Misljoch Südhang (Pichler 2015)

### Monitoring

Wie bei allen zu erkundenden Massenbewegungen trägt das Monitoring wesentlich und entscheidend zum Prozessverständnis bei, erfüllt aber auch wichtige Aufgaben der Beweissicherung und ermöglicht die Effektivität von Maßnahmen quantitativ zu überprüfen.

Das Monitoring der Hangflanke Misljoch besteht aus folgenden Teilen (Abbildung 4):

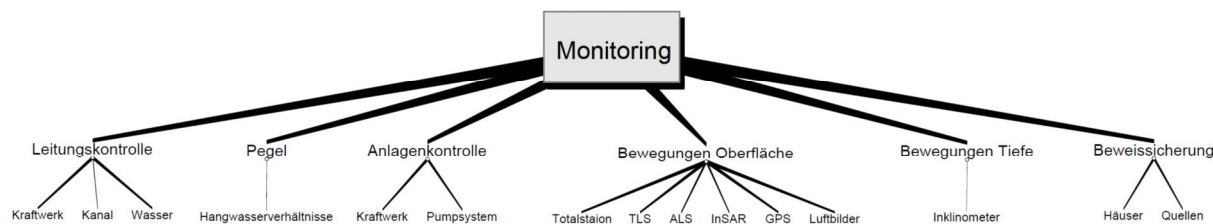


Abb.4: Monitoring Großhangbewegung Misljoch

Kernstück für die Erfassung der Bewegungen an der Oberfläche ist ein geodätisches 3D-Monitoring. Von einer Messstation am Gegenhang aus werden über eine Entfernung von 1.200 m bis 2.800 m achtzig mit Glasprismen bestückte Messpunkte stündlich mit einem Präzisionstachymeter gemessen. Die Ergebnisse zeigen die Veränderung der Lage und Höhe sämtlicher anvisierter und gemessener Punkte zu den vorhergehenden Messungen. Die dabei erreichte Genauigkeit liegt im Bereich der Siedlung bei +/- 2 mm in der Lage und +/- 5 mm in der Höhe (3 Sigma). Für die weit entfernten Ziele im Oberhang ist die Genauigkeit weniger gut.

Da auch die gegenüberliegende Talflanke, wo die Messstation steht, von aktiven Hangbewegungen erfasst ist, wird die Lage des Tachymeters laufend überwacht. Diese Standsicherheitskontrolle wird mittels eines GNSS (Global Navigation Satellite System) Systems realisiert. Unter Verwendung einer bestehenden



Referenzstation im nahegelegenen Ort Matri und der Installation eines weiteren GNSS Empfängers in der Messstation wird die Position des Tachymeters mittels differentieller Verfahren unabhängig überprüft und für die korrekte Berechnung der Bewegung in der Kerschbaumsiedlung berücksichtigt.

Der gesamte Datenfluss des geodätischen Monitorings von der Auslösung der Messung bis zum Versand des wöchentlichen/monatlichen Berichts über Email läuft vollkommen automatisiert ab. Zusätzlich kann über ein Webportal auf die Messdaten in Echtzeit zugegriffen werden.

Zur Erfassung der Bewegungstiefen wurden hauptsächlich Kernbohrungen zu Inklinometern mit einer Tiefe von 60 m ausgebaut. Diese haben die Aufgabe Bewegungen innerhalb des Schuttstroms zu lokalisieren. Für die unterlagernde und tieferreichende Felsgleitung steht ein Inklinometer mit 120 m Ausbautiefe zur Verfügung. Die insgesamt 9 Inklinometer werden manuell in vierteljährlichen Abständen gemessen und ausgewertet. Seit Herbst 2015 ist eines davon als Ketteninklinometer ausgebaut und erlaubt so eine kontinuierliche Messung der Hangverschiebungen.

Die Hang- und Sickerwässer werden mit 64 Pegeln, die Teufen bis 70 m aufweisen, messtechnisch erfasst. Die meisten davon sind mit Datenlogger, die in regelmäßigen Zeitabständen ausgelesen werden ausgestattet. Die Daten können als Pegelwasserkurven zusammen mit anderen Messgrößen über ein Webportal eingesehen werden.

Wenig oberhalb der Kerschbaumsiedlung betreibt der Hydrographische Dienst des Amtes der Tiroler Landesregierung eine Messstation. Sie liefert neben den Messwerten des Niederschlags, der Temperatur und der Schneehöhe auch die Abflussdaten von seichtgründigen Drainagen, die mittlere Hangabschnitte oberhalb der Siedlung entwässern. Letztere repräsentieren quasi den Zwischenabfluss.

In Ergänzung zu den obigen Messeinrichtungen ist noch der Einsatz eines terrestrischen Lasersanner ein- bis zweimal pro Jahr vorgesehen.

In den Bereich des Monitoring fallen auch Kontrollmessungen zur Leitungskontrolle, Quellmessungen und Messungen v.a. von Rissen an Häusern. Die beiden letzten genannten Messungen sind Teil eines Beweissicherungsprogrammes.

### **Untergrunderkundungen, Untersuchungen**

Nachdem durch GPS-Messungen die Aktivität der Hangbewegung eindeutig nachgewiesen werden konnte und außer Zweifel stand, dass die Schäden, vornehmlich Risse an etlichen Häusern, auf Hangbewegungen zurück zu führen waren, wurde die Hangbewegung im Rahmen eines Vorprojekts im Zeitraum von 2012 bis 2014 eingehend untersucht (Abbildung 5). Basierend auf einer geomorphologischen und ingenieurgeologischen Kartierung kamen eine kombinierte Refraktions- und Reflexionsseismik, Geoelektrik, Kernbohrungen und Hammerschlagbohrungen, aber auch einfach herzustellende Schürfe zum Einsatz. Ergänzt wurde dieses Programm durch Bohrlochgeophysik und Bohrlochversuche wie SPT-Versuche, Versickerungs- und Pumpversuche. Die Kernbohrungen wurden zu Inklinometern und Pegeln ausgebaut. Die aus Kernbohrungen und Schürfen gewonnenen Proben wurden im Labor auf verschiedene Fragestellungen im Wesentlichen aber auf ihre geotechnischen Eigenschaften hin untersucht. Zur Abklärung der hydraulischen Leifähigkeit des Untergrunds kamen aufwändige Pegelpumpversuche und ein Probefeld mit Brunnen, welches über ein dreiviertel Jahr betrieben wurde, zur Ausführung.

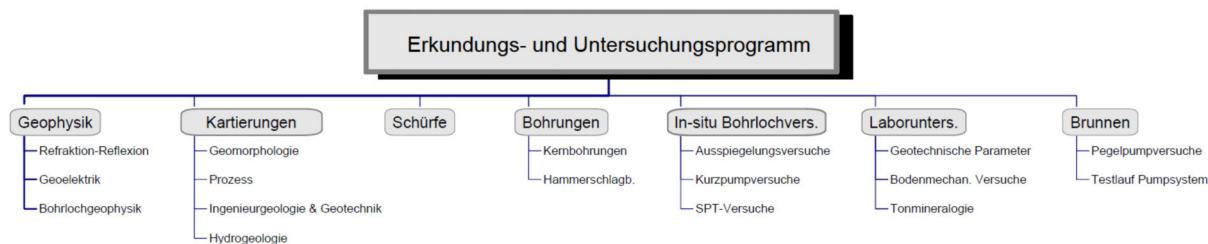


Abb.5: Übersicht Erkundungs- und Untersuchungsprogramm Großhangbewegung Misłjoch

## Analyse und Ergebnisse zur Großhangbewegung

### Ingenieurgeologische – geomechanische Modellvorstellungen zur Felsgleitung

Die Großhangbewegung Misłjoch stellt eine tiefgreifende Felsgleitung, der im mittleren und westlichen Hangabschnitt von 1.315 m.ü.A. bis 1.800 m.ü.A. ein ca. 40 m mächtiger Schuttstrom aufliegt, dar. Die Bewegungen setzen am Grat an. Begünstigt wird das Versagen im Oberhang durch lokal nach Süden einfallende Schieferungsflächen, tektonische steilstehende Flächen der Miskopfstörung und hangparallele steile Talklüfte (Pichler 2015). Die N-S verlaufenden steilen Klüfte haben die Bewegung nach Süden begünstigt. Die Massenbewegung wird durch diese Flächen lateral abgegrenzt. Geländesteilstufen im Oberhang (Abbildung 2-1), welche einen Höhenversatz bis zu 60 m aufweisen, stellen nichts anderes dar, als den Ausbiss von Versagensflächen. Abbildung 6 zeigt die beschriebene Modellvorstellung von der Gratregion bis zum Navisbach in einem relativ einfach gehaltenen Schnitt. Zum Beispiel wurden die Gleitflächen als ebene Flächen angenommen, um Parameterstudien zur Stabilität der Felsbewegung mittels einfacher Starrkörperanalysen durchzuführen.

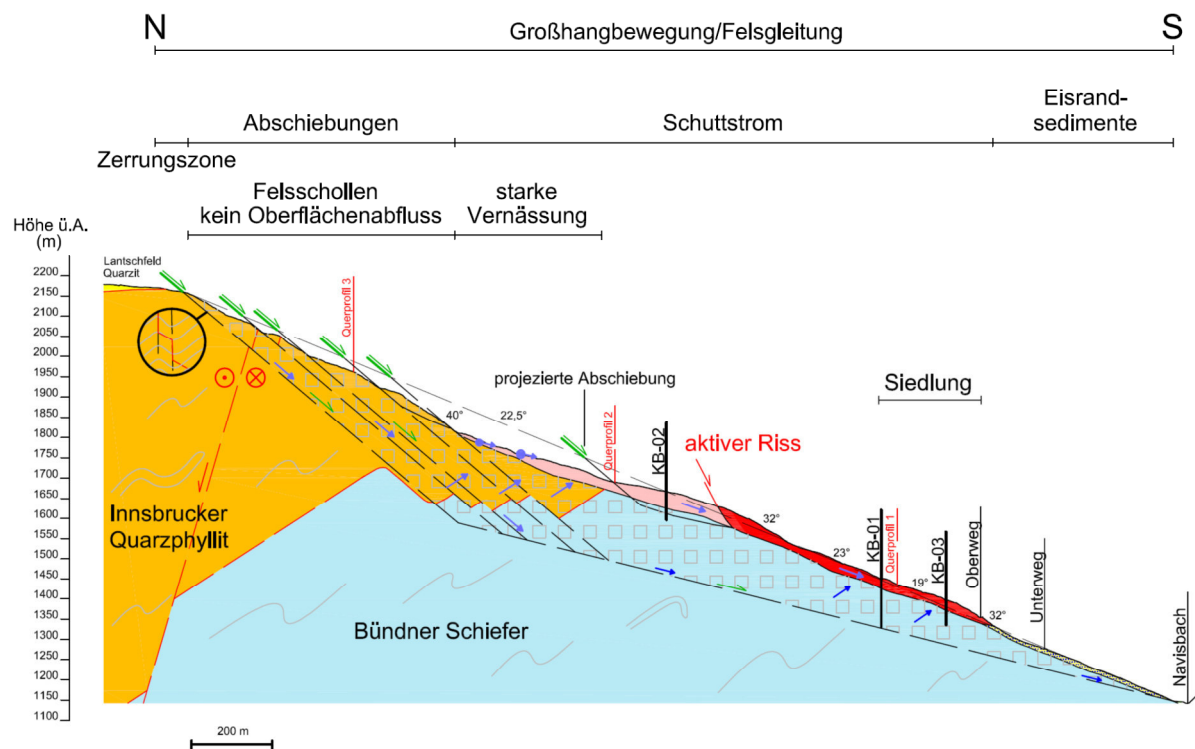
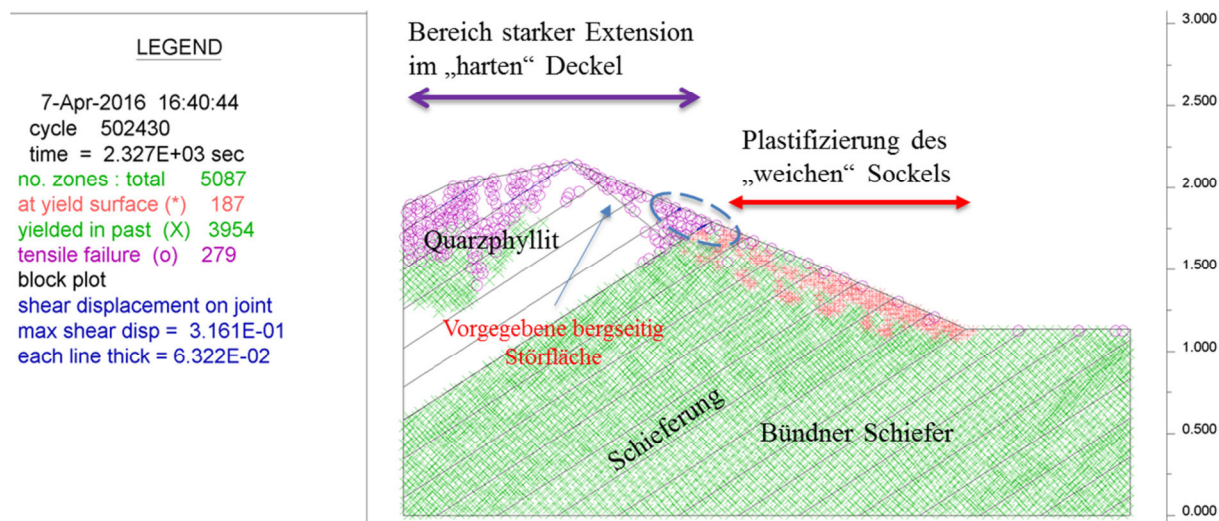


Abb. 6: Ingenieurgeologischer Schnitt durch die Großhangbewegung Misłjoch (Pichler 2015)

Im ursächlichen Zusammenhang mit der Großhangbewegung stehen neben dem Trennflächengefüge auch die geomechanisch zu betrachtenden weichen Bündner Schiefer im Liegenden des Innsbrucker

Quarzphyllits. Obwohl der Unterschied in den Gesteinsfestigkeiten nicht besonders groß ist, führt dies doch zu einer Situation „Hart auf Weich“. Numerische Berechnungen mittels des Programms UDEC (Universal Distinct Element Code) haben gezeigt, dass durch die Nachgiebigkeit des weichen Sockels das Zugversagen im Oberhang forciert wird bzw. sehr ausgeprägt ist (Abbildung 7). Die Festigkeitsparameter zu Gestein und Trennflächen für die Modellierung wurden aus der Geländekartierung abgeleitet.



**Abb. 7:** Berechnung des Hangversagens mittels des numerischen Programms UDEC

#### *Genese, Zusammensetzung, Hydrogeologie, Bewegungsbild und Geomechanik des Schuttstromareals*

Im Mittel- und westlichen Teil des Hanges lagert der tiefgründigen Felsgleitung ein Lockergesteinskörper/Schuttstrom mit einer Mächtigkeit von 40 m auf. Dieser ist aus Teilschollen der Felsgleitung hervorgegangen. Er ist das Produkt des progressiven Zerrgleiten und der Verwitterung von Felsschollen. Ab und an, jedoch mengenmäßig untergeordnet, fanden sich in den obersten 10 m auch eingearbeitete quartäre Ablagerungen, die ursprünglich in geringer Mächtigkeit auf dem Festgestein lagerten.

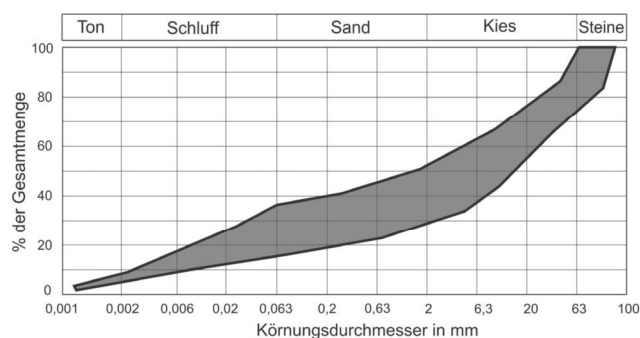
Bei den Proben aus den Gleitzonen im Schuttstrom ergaben die Analysen nach ÖNORM B 4400-1:2010 gemischtkörnige Böden (Kies-Schluffgemische) mit einem Feinkornanteil von 15 bis 23% (Abbildung 8-2). In der Masse schwimmen auch Gesteinsblöcke mit mehreren Kubikmeter Größe (Abbildung 2-4). Der Plastizitätsindex  $I_p$  der Proben, zwischen 2 und 11%, weist auf eine geringe bis mittlere Bildsamkeit hin. Der natürliche Wassergehalt dieser Proben,  $w_n$  zwischen 12 und 16 %, liegt durchwegs unter der Ausrollgrenze ( $w_p = 17$  bis 23 %).

In Anlehnung an die Klassifikation von Cruden und Varnes 1996, Hungr et al. 2014 und diversen deutschsprachigen Publikationen (Rohn et al. 1989, Bunza et al. 1976, Laatsch und Grottenthaler 1972) wurde für diese langgezogenen, eher grobkörnigen Kriechmassen die Bezeichnung *Schuttstrom* gewählt.

Als maßgeblich für die Entstehung des Schuttstroms sind auch die strukturellen hydrogeologischen Untergrundverhältnisse zu sehen: Im mit offenen Rissen durchzogenen und aufgelockerten Oberhang sickert Wasser aus Niederschlag und Schneeschmelze tiefgründig ein. Ein guter Teil davon kommt im Mittelhang, wo die Überschiebung Innsbrucker Quarzphyllit/Bündner Schiefer austreicht wieder an die Oberfläche bzw. rinnt als Sickerwasser in geringen Tiefen ab (Abbildung 6). Dies führt so zur Durchströmung der Schuttstrommasse, welche die Bewegung, aber auch die Prozesse der Verwitterung

forciert. Der Rest verbleibt in der aufgelockerten Felsgleitung und kommt erst im unteren Hangabschnitt zum Vorschein. Somit kann der Deckengrenze zumindest eine teilweise stauende Funktion attestiert werden. Das Vorhandensein von gletscherähnlichen Schuttzungen im Westteil der Großhangbewegung und das Fehlen solcher im Ostteil hängen vermutlich mit einer Muldenstruktur im geologischen Untergrund zusammen. Die Mulde, bei der auch die Deckengrenze mitverfaltet ist (Abbildung 6), hat die Funktion einer überlaufenden Badewanne und führt so zum Austritt von großen Wassermengen im Mittelhang. Da die Mulde nach Osten abtaucht, geht dieser Effekt von West nach Ost zunehmend mehr verloren.

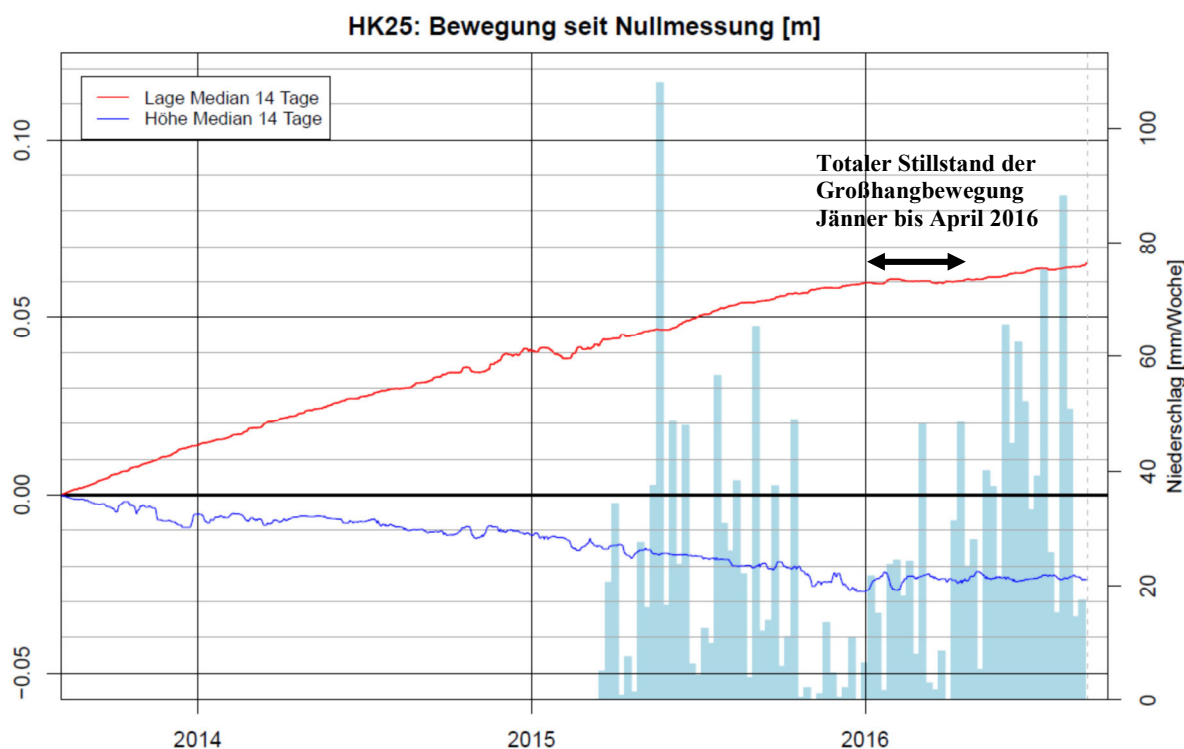
Das Material der Schuttströme ist von engstehenden Scherbahnen durchzogen und plattige Komponenten sind in Scherrichtung eingeregelt (Abbildung 8-1). Weiteres ist aus den Kernbohrungen bekannt, dass der Bodenaufbau der Schuttstrommasse sehr inhomogen ist und die Wasserflüsse in den einzelnen Schuttzungen sehr unregelmäßig, lateral wie auch vertikal, verteilt sind. Die Bohrungen haben auch ergeben, dass sowohl im Schuttstrom als auch in der unterlagernden Felsgleitmasse Wasser bis zu 2,5 bar gespannt sein kann. Im Schuttstrom korrelieren diese Wasserzutritte bereichsweise mit den in den Inklinometern lokalisierten Bewegungszonen.



**Abb.8:** 1) Schuttstrommasse 2) Bandbreite an Kornsummenkurven aus den Gleitzonen der Schuttstrommasse (Hofmann 2014)

Erst durch mehrjährige Messreihen der Oberflächenpunkte und der Inklinometer konnte Licht in das Bewegungsbild und die Mechanik der Großhangbewegung gebracht werden. Die Oberflächenpunkte, die von der Totalstation aus gemessen werden, zeigen, dass sich Teile des Hanges unterschiedlich schnell bewegen. So bewegt sich die westliche Schuttzunge mit etwa 3 bis 4 cm pro Jahr doppelt so schnell wie die östliche mit 1 bis 2 cm pro Jahr. Die Schuttzungen unterscheiden sich aber auch in der Bewegungstiefe: Bei der Westlichen liegt die Scherzone am Übergang der Schuttstrommasse zur Felsgleitung in ca. 37 m Tiefe. In der östlichen verläuft die Scherzone in der Schuttstrommasse selbst in ca. 16 m Tiefe. Aufgrund des geradlinigen Verlaufs der Verschiebungen in den Inklinometern oberhalb der scharf definierten Gleitflächen lässt sich erkennen, dass die Bewegung derzeit *en block* erfolgt. Betrachtet man aber das Material der Schuttstrommassen, so fällt auf, dass dieses von einer Vielzahl von Scherflächen durchzogen wird (Abbildung 8-1). D.h., im Laufe der Entstehungszeit der Schuttströme wurde das Material vollkommen durchbewegt. Die bisher gemessenen Bewegungsraten der Schuttzungen von weniger als 0,1 mm/d entsprechen jedenfalls dem, was allgemein (s. Planat, Norwegian Geotechnical Institute oder International Union of Geological Sciences Working Group on Landslides) als Kriechen ( $v \leq 1\text{mm/d}$ ) bezeichnet wird.

Infolge des relativ trockenen Sommers und Herbst 2015 war es möglich, die Bewegungen der Schuttungen von denen der tiefgreifenden Felsgleitung zu trennen. Die trockene Witterung führte dazu, dass die Felsgleitung Ende Juni 2015 zum Stillstand kam. Die Schuttungen kamen verzögert erst Anfang Jänner 2016 zum Stillstand. Von Jänner bis April 2016 war die gesamte Großhangbewegung in Ruhe (Abbildung 9). Mit Einsetzen der Schneeschmelze im April/Mai setzten die Bewegungen dann wieder ein, jedoch in der umgekehrten Reihenfolge: zuerst die Felsgleitung und nachfolgend die Schuttungen. Dieses Bewegungsverhalten spiegelt die Füllung bzw. die Entleerung der Wasserreservoirs in der Felsgleitung und die der Schuttströme wieder. Ferner ergaben die Messdaten, dass sich die Felsgleitung mit einer Geschwindigkeit von ca. 1 cm/a talwärts bewegt. Nach Abzug dieser Geschwindigkeit verbleibt eine Nettobewegung von 2 bis 3 cm/a für die westliche Schuttzunge und etwa 0,5 bis 1 cm/a für die östliche. Unter Berücksichtigung der morphologischen Ausbildung des Schuttstromareals, i.e. langgezogene Zungen mit steiler Stirn, ist davon auszugehen, dass die Kriechbewegungen in der beschriebenen Art und Weise schon Jahrtausende anhalten und kein schnelles Abfließen, wie man das beispielsweise bei den feinkörnig aufgebauten Erdströmen aus den Flyschregionen kennt, jemals stattgefunden hat. Wäre letzteres passiert, würde der Hang heute anders aussehen.

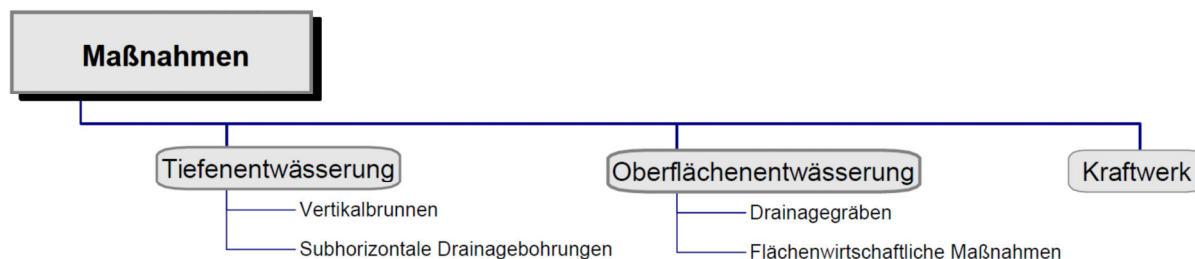


**Abb. 9:** Zeit-Verschiebungsgraph für den Punkt HK25 auf der westlichen Schuttzunge in der Kerschaumsiedlung

### Maßnahmen

Basierend auf den Modellvorstellungen der Felsgleitung und zum Schuttstrom wurde ein Maßnahmenkonzept ausgearbeitet. Dieses ist primär darauf ausgelegt, mittels Tiefbrunnen den Schuttstrom zu entwässern, im Besonderen aber lokal vorhandene Porenwasserüberdrücke in den Scherzonen des Schuttstroms und gespanntes Wasser in der Felsgleitung abzubauen. Das Maßnahmenkonzept enthält u.a. auch noch die Drainagierung von stark vernässten Hangbereichen im westlichen Mittelabschnitt, den Bau und das Betreiben eines Kraftwerks zur Deckung des

Energieverbrauchs für die Tiefbrunnen und forstliche Maßnahmen zur Verbesserung der Interzeption. Das installierte Monitoring erfüllt hier die wichtige Aufgabe, die Effektivität der Maßnahmen quantitativ zu bewerten.



**Abb. 10:** Maßnahmenübersicht

### Vorläufiges Resümee

Mit den seit 2012 durchgeführten Untergrunderkundungen und Untersuchungen konnten Modellvorstellungen für die Großhangbewegung Misljoch entwickelt werden, die eine effektive Maßnahmensetzung ermöglichen. Durch die systematisch betriebenen Beobachtungen besteht heute kein Zweifel mehr, dass nicht nur der Schuttstrom bewegt ist sondern auch die tiefgründige Felsgleitmasse. Weiteres wurde deutlich, dass Schäden an den Häusern aufgrund der tiefen und *En-block*-Bewegungscharakteristik der Schuttzungen nur am Übergang unterschiedlich schnell bewegter Bereiche, wie dies zwischen dem östlichen und westlichen Teil der Siedlung der Fall ist und in Bereichen, wo die Bewegungsvektoren divergieren, entstehen konnten. Ziel der bereits zum Teil umgesetzten Maßnahmen ist es daher, die Scherbewegungen zwischen den beiden Schuttzungen zu minimieren oder zu stoppen, indem die Geschwindigkeit der Schuttzunge West verringert und an die Geschwindigkeit der östlichen angeglichen wird. Maßnahmen, die zu einer Stabilisierung des ganzen Hanges führen, scheiden aufgrund des Tiefgangs und der Größe aus. Die Bewegung des Talzuschubs hat aber kaum nennenswerte Auswirkungen, da sich keine Häuser an den randlichen Bewegungszonen befinden. Einzig die den Talzuschub querenden Straßen erleiden hiedurch Schäden.

Die Tiefbrunnen sind Anfang Jänner des heurigen Jahres vollständig in Betrieb gegangen. Seit dem maßgeblichen Wasserinput aus der Schneeschmelze im Frühsommer zeigen die Vermessungsergebnisse wieder ein Einsetzen der Bewegungen nach dem Stillstand der Massenbewegung im Winter. Jedoch sind die Geschwindigkeiten für die Schuttzungen deutlich wahrnehmbar langsamer. Die Bewegungsraten liegen, je nach Gebiet derzeit bei weniger als 0,5 bis 1 cm/a. Es ist anzunehmen, dass sich dieser positive Trend weiterhin fortsetzen wird. Wie sich die Bewegungsraten im Detail weiter entwickeln werden, bleibt aber noch abzuwarten und wird je nach den jahreszeitlichen Niederschlags- und Schneemengen unterschiedlich sein. Die Abklärung dessen bedarf jedenfalls einer langjährigen Fortführung des Monitorings.

Für die Bewohner der Siedlung Kerschbaum haben diese Ergebnisse aber durchwegs schon etwas Beruhigendes: Auch wenn sich der Hang weiterhin bewegen wird, ist die Bewohnbarkeit der Siedlung in fast allen Bereichen gegeben, eine vielleicht einmal im Raum gestandene Aufgabe der Siedlung wird nicht notwendig werden.

## Zitate-Referenzen

Bunza, G.; Karl, J.; Mangelsdorf J. (1976) Geologisch-morphologische Grundlagen der Wildbachkunde. Schriftenreihe d. Bayer. Landesstelle f. Gewässererk., 11, München.

Cruden, D.M.; Varnes D. J. (1996) Landslide Types and Processes. In: Turner A.K. and Schuster R.L. (eds.): Landslides: Investigation and mitigation. Special report 247. Washington D.C.: National Academic Press, 36-45.

Hofmann, R. (2014): Berichte über Bodenphysikalische Laboratoriumsuntersuchungen. GZ La 144/13, La 167/14, La 179/14

Hungr, O.; Leroueil, S.; Picarelli, L. (2014) The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides, 11, 167-194.

Laatsch, W.; Grottenthaler, W. (1972) Typen der Massenbewegung in den Alpen und ihre Klassifikation. Forstwiss. Clb., 91 Jg., 6, 303-339.

Pichler, C. (2015) Ingenieur- und allgemeine Geologie der Großhangbewegung Misljoch (Navistal, Tirol) Masterarbeit: Leopold-Franzens Universität, Innsbruck.

Rohn J.; Czurda, K. A.; Moser, M.; (1989)Schuttströme als Sonderfälle alpiner Hangbewegungen. Tagungsband, 7, Nat. Tag. Ing. Geol., Bensheim, 93-98.

Stini, J. (1941): Unsere Täler wachsen zu. *Geol. Bauwes.* 13/1, 72-7

Donnerstag 20. Oktober 2016

16:30-17:00

## Ein Hangrutsch in der Gemeinde Wattenberg - und was Frau Merkel damit zu tun hat...

Werner Thöny<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Amt der Tiroler Landesregierung, Allgemeine Bauangelegenheiten; Fachbereich Landesgeologie, Herrngasse 1-3, Innsbruck*

**29.05.2015:** Die Landesgeologie erhielt einen Anruf der Gemeinde Wattenberg. Der Bürgermeister der Gemeinde Wattenberg teilte mit, dass im Bereich eines temporären Gerinnes Hangbewegungen stattfinden und Material die Straße in das Wattental erreicht hat. Noch am selben Tag erfolgte ein Lokalaugenschein und im Zuge dessen wurden die Maßnahmen zur Stabilisierung des Rutschhanges bzw. zur Sicherung der Wattentalstraße diskutiert.

Aus den fachlichen Diskussionen ergab sich folgendes:

- Straßensperre und Beräumung eines bereits bestehenden Auffangbeckens (direkt an der Straße gelegen).
- Für die Zeit der Beräumung Beobachtungsposten im Anrissbereich. Diese stehen mittels Funk in Kontakt mit dem Baggerfahrer im Geschiebebecken.
- Freigabe der Straße nach Beendigung der Beräumungsarbeiten.



**Abbildung 1:** Der Rutschbereich am 29.05.2015



Doch so einfach sollte die ganze Sache nicht sein und sie wurde von Tag zu Tag komplizierter.

Im Zuge der Begehung des gesamten Hanges musste festgestellt werden, dass es sich um zwei große Rutschungen handelt. Die eine hatte das bereits bestehende Rückhaltebecken gefüllt, die andere warf im Minutentakt Material ab. Im Kreuzungsbereich dieses Grabens mit der Talstraße gab es kein Geschiebebecken, allerdings erreichte auch kein Gesteinsblock die Talstraße. Wo war das Material geblieben?

Eine Begehung des unglaublich steilen Hanges zeigte es. Hinter einem ca. 200 m<sup>3</sup> großen Einzelblock türmte sich das bisher abgestürzte Material (Blockgröße bis 5 m<sup>3</sup>).

Bei den Versatzraten im Anrissbereich, den steten Hangrutschungen und Blockstürzen und der äußerst steilen Hangneigung bis hinunter zur Talstraße war an eine Öffnung der Straße nicht zu denken. Am 30.05.2015 kam es nach einer Befliegung zur Totalsperre der Wattentalstraße sowie Evakuierung des Sägewerks und des Gasthauses "Säge" auf unbestimmte Zeit.



**Abbildung 2:** Die Veränderung im Vergleich zum 29.05.2015 ist offensichtlich. Ein großer Teil der Rutschmasse war abgeglitten.

Und hier kommt die deutsche Bundeskanzlerin Angela Merkel ins Spiel.

Denn dann hieß es plötzlich, dass ca. 700 Grundwehrdiener von den umliegenden Kasernen (diese mussten für das für den G7-Gipfel in Schloß Ellmau benötigte Polizeikontingent geräumt werden) in das Lager Walchen im Wattental verlegt werden sollen. Und zwar "zeitnah". In diesem Fall bedeutete "zeitnah", dass Gerät und Mannschaft bereits Gewehr bei Fuß standen. Eine Tatsache, welche die Gesamtsituation

nicht unwesentlich verkomplizierte, vor allem, da bei detaillierter fachlicher Betrachtung kein Ende dieser "Massenbewegungen" in Sicht war.

Das österreichische Bundesheer bahnte sich seinen Weg über bestehende Forstwege zum Truppenübungsplatz in Walchen und übernahm bis zur Errichtung einer Panzersperre an der Straße sowie bis zur Fertigstellung eines vollautomatischen Monitoringsystems die Beobachtung des Hanges im Zuge eines Assistenzeinsatzes. In der Nacht und bei schlechter Sicht war die Straße gesperrt. Als das Monitoringsystem (von der anderen Talseite aus) mit Ampelregelung an der Straße lief, wurden die Soldaten abgezogen. Allerdings mussten wir bald feststellen, dass es im Wattental durchaus hartnäckigen Talnebel gibt selbst dann, wenn es im restlichen Tirol vollkommen wolkenlos ist. Dieser Umstand hatte zur Folge, dass die installierte Ampelanlage regelmäßig auf "Rot" stand. Eine Wiederöffnung der Straße konnte nur nach einem Lokalausweis (Zeitaufwand mehrere Stunden) erfolgen. Dieser Umstand führte nach nicht allzu langer Zeit dazu, dass man sich nur mehr sehr sporadisch an die in der StVo festgehaltenen Auflagen zum Punkt "rote Ampel" hielt. Da es sich bei der Wattentalstraße um eine Gemeindestraße handelt, sah sich der Bürgermeister nunmehr gezwungen Schranken zu montieren.

Nach einigen Wochen lag dann ein Sicherungskonzept vor. Massive Vernetzung (5000kJ) des Gerinnes und in einer zweiten Staffel darunter ein Auffangbecken. Geschätzte Gesamtkosten ca. 600.000 €. Wenn der von mir sehr geschätzte Bürgermeister der Gemeinde Wattenberg, Franz Schmadl, vom Stuhl gekippt wäre, ich hätte es verstanden....

Im September 2016 konnte die Rückhaltesperre welche den Rutschhang zur Wattentalstraße hin absichert feierlich eröffnet werden. Neben den oben bereits angeführten "Problemen" kam es bis zur Fertigstellung der Maßnahmen zu etlichen weiteren Widrigkeiten. So mussten zum Beispiel sämtliche Arbeiten zur Bewältigung der Murschäden in Gries im Sellrain und in See im Paznaun hintangestellt werden.



**Abbildung 3:** Im September 2016 konnten die Sicherungsmaßnahmen fertiggestellt werden.

Der vorliegende Beitrag soll an einem verhältnismäßig kleinem Ereignis zeigen, wie unglaublich lang diese nachwirken können, wenn ungünstige Momente zusammenspielen.

Donnerstag 20. Oktober 2016 17:00-17:30

## Evaluierung von Erdwärmesonden in Tirol – Ergebnisse der Befundaufnahme

Rupert Ebenbichler

Wasser Tirol – Wasserdienstleistungs-GmbH, [www.wassertirol.at](http://www.wassertirol.at)

### 1. Tiroler Energiestrategie

Tirol hat sich zum Ziel gesetzt, in Übereinstimmung mit europäischen und österreichischen Strategien bis zum Jahre 2050 energieautonom zu sein. Dafür soll der Energiebedarf im Jahressaldo auf Basis der Nutzung eigener heimischer, erneuerbarer Energieträger gedeckt werden. Das Kernziel Tirols für das Jahr 2050 besteht dabei aus der Halbierung des Endenergieeinsatzes bezogen auf das Jahr 2005 auf rund 50.000 TJ bei gleichzeitiger Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien auf nahezu 100 %.

Die Ressourcen-, Klima- und Energiestrategie des Landes beschreibt einen möglichen Weg, den angestrebten Endenergieeinsatz des Jahres 2050 mit heimischen, erneuerbaren Energieressourcen zu decken. Die diesbezüglichen Zielpfade weisen einen Mix aus sämtlichen Energieressourcen Tirols aus.

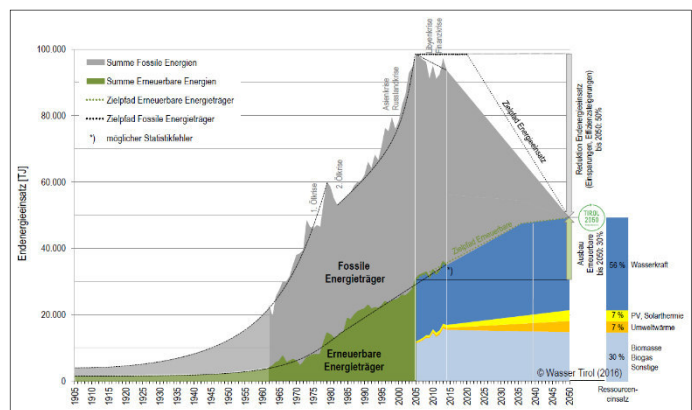


Abb. 1: Tiroler Energiestrategie und Ressourceneinsatzszenario (Amt der Tiroler Landesregierung (2016))

Umweltwärme aus Luft, Grundwasser und Erdwärme lässt sich mittels Wärmepumpen-Technologie energetisch nutzen. Bei optimaler Auslegung, Errichtung und Betrieb der Wärmepumpenanlage können durch den Einsatz von einer kWh Strom rund vier kWh Heizwärme gewonnen werden.

Der Anteil der Umweltwärme soll bis zum Jahr 2050 rund 7 % des Gesamt-Endenergiebedarfes betragen – dies entspricht rund 920 GWh/a. Gegenüber 2014 (rund 170 GWh/a) soll die Energiegewinnung aus Umweltwärme um rund 750 GWh/a bzw. 440 % gesteigert werden (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG 2016).

Die Erdwärmesondentechnologie spielt somit, gemeinsam mit Grundwasser- und Luftwärmepumpenanlagen, eine tragende Rolle in der energiestrategischen Ausrichtung Tirols.

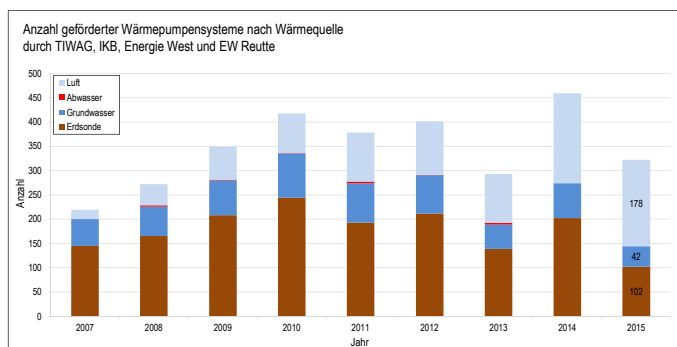
## 2. Anlagenbestand und Anlagenentwicklung

Abb. 2 stellt die anteilmäßige Entwicklung der von den Tiroler Energieversorgungsunternehmen (EVU) geförderten Wärmepumpenanlagen nach Wärmequelle dar.

Es zeigt sich, dass die Anzahl geförderter Erdwärmesonden in Tirol im Jahre 2010 mit rund 240 Anlagen ihr Maximum aufweist.

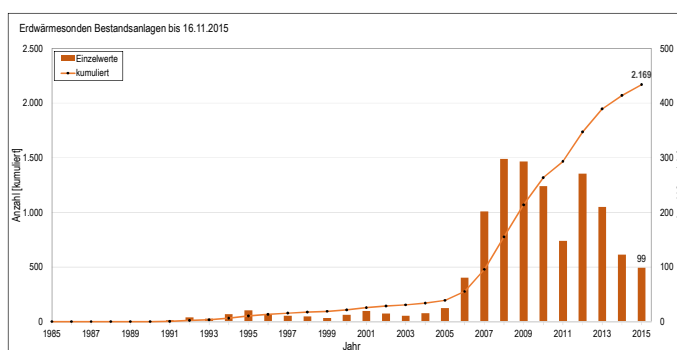
Seitdem ist die Anzahl geförderter Erdwärmesonden rückläufig – im Jahr 2015

betrug sie rund 100 Anlagen, was rund 30 % aller geförderten Wärmepumpensysteme ausmacht.



**Abb. 2:** Anzahl geförderter Wärmepumpensysteme durch Tiroler EVU (Amt der Tiroler Landesregierung (2016))

Gemäß dem Wasserinformationssystem (WIS) des Landes Tirol kann ein starker Anstieg der Anzahl errichteter Erdwärmesonden seit dem Jahr 2005 festgestellt werden (Abb. 3). Bis 2008 wurden starke Zuwächse verzeichnet (jeweils in etwa Verdoppelung der errichteten Anlagen gegenüber dem Vorjahr), seitdem nahmen die Zuwächse tendenziell ab. Für das Jahr 2015 sind rund 2.200 Anlagen im Bestand verzeichnet.



**Abb. 3:** Entwicklung der Anzahl von Erdwärmesonden in Tirol (Amt der Tiroler Landesregierung (2016))

Um das o.g. Ausbauziel an Wärmepumpenanlagen bis 2050 erreichen zu können, bedarf es beispielsweise der Installation von jährlich rund 2.000 Wärmepumpen zur Versorgung von Niedrigenergiehäusern (Erde, Grundwasser, Luft). Unter der Annahme, dass zukünftig rund 30 % der Umweltwärmenutzung auf Erdwärmesonden entfallen sollen (analog zu der derzeitigen Verteilung der Wärmepumpensysteme), impliziert dies weiters einen notwendigen Zubau von Erdwärmesondensystemen bis 2050 in Höhe von rund 640 Stück pro Jahr. Damit liegt das notwendige Ausbauziel um mehr als das Doppelte über den Zahlen des Jahres 2008 mit damals rund 300 Anlagen (Abb. 3).

## 3. Veranlassung und Zielsetzung

In den letzten Jahren wurden immer wieder Schadensfälle an und durch Erdwärmesonden bekannt, wie z.B. bei Staufen im Breisgau (D) oder auch mehrere Fälle in der Schweiz (BASSETTI et al. 2006). Auf Grundlage dieser Erfahrungen wurde u.a. in der Schweiz und Deutschland ein Handlungsbedarf erkannt, woraus u.a. die Erstellung der SIA-Norm 384/6 (2009) in der Schweiz sowie weitere Leitfäden in deutschen Bundesländern folgten und seitdem angewendet werden.

Auch in Tirol sind mittlerweile mehrere Schadens- und Konfliktfälle im Zusammenhang mit der Errichtung und dem Betrieb von Erdwärmesonden bekannt. Eine qualitätsvolle Errichtung und der effiziente Betrieb dieser Anlagen ist jedoch Voraussetzung dafür, dass sie als ein Eckpfeiler der Energiestrategie fungieren können. Deshalb wurde im Jahr 2012 seitens des Landes Tirol überlegt, mit Rahmen einer Befundaufnahme an ausgewählten Anlagen, die Qualität der Erstellung der Erdwärmesonden zu überprüfen. Dabei sollte v.a. die Erfüllung des geforderten Grundwasserschutzes sowie die Effizienz der Anlagen bis zur Schnittstelle zur Wärmepumpe abgeklärt werden. Im Jahr 2014 wurde dafür eine „Erdwärmesonden-Evaluierung“ beauftragt und im Januar 2015 abgeschlossen.

#### 4. Anlagenauswahl

Die Erdwärmesonden-Evaluierung umfasste sowohl bereits **bestehende Systeme** als auch **in Bau befindliche Anlagen**. Letztere wurden mitberücksichtigt, um im Rahmen von Baustellenbesuchen Mängel im Bauablauf vor Ort feststellen zu können.

Aufgrund einer relativ geringen Anzahl an zu untersuchenden Sonden sollte deren Auswahl möglichst verschiedene Systeme in verschiedenen geologischen Verhältnissen abdecken. So berücksichtigte die Vorauswahl vor allem auch die gegebenen Grundwasserbedingungen. Entsprechend der Auswahlkriterien kamen 112 Anlagen in die nähere Auswahl zur Teilnahme am Evaluierungsprogramm.

In einem nächsten Schritt wurde versucht, mit den Betreibern in Kontakt zu treten und diese für eine Teilnahme zu gewinnen. Schlussendlich konnten **vier bestehende Anlagen** sowie **vier in Bau befindliche Anlagen** mit Einverständnis der Betreiber untersucht werden. Weitere Betreiber konnten nicht zu einer Teilnahme bewegt werden, da

- die Betreiber z.T. nicht erreicht werden konnten,
- Betreiber kein Interesse zeigten (u.a. aufgrund der geplanten Ausfallzeit der Anlage bzw. der notwendigen Öffnung des bestehenden Systems),
- die Untersuchung aufgrund der Einbauart technisch nicht durchführbar war.

Die untersuchten Anlagen stellen somit lediglich eine Stichprobe dar und können nicht als repräsentativ angesehen werden.

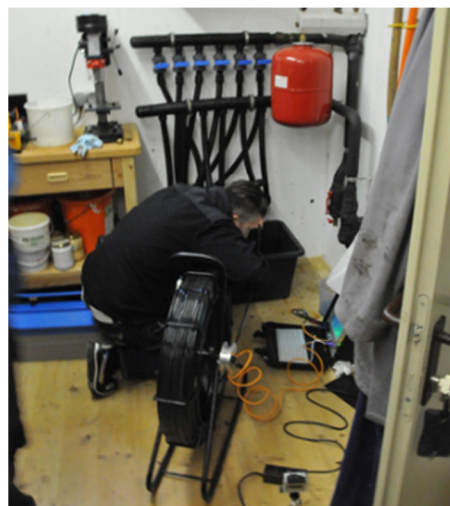
#### 5. Durchgeführte Erhebungen

Die ausgewählten Anlagen wurden im Rahmen von Vor-Ort-Terminen von der Fa. Wasser Tirol sowie der Fa. Erd-Sonden TV durchgeführt:

##### 5.1. Baulicher Zustand

Die Sonden der vier ausgewählten, bestehenden Anlagen wurden mittels Kamerabefahrung auf ihren Bauzustand untersucht. Hierfür wurde eine speziell für diese Zwecke entwickelte Kamera eingesetzt. Die Durchführung der Kamerabefahrungen erfolgte durch die Fa. Erd-Sonden TV.

Aufgrund der Abmessungen der Kamera kann eine Befahrung nur erfolgen, wenn sich in der Befahrungsstrecke keine Hindernisse wie z.B. T-Stücke, Y-Stücke oder auch 90° Winkel befinden. Im Bereich zwischen Sonde und Verteiler wird das System geöffnet und die Kamera in die Sonde manuell eingeführt. Das permanent aufgezeichnete Bild wird direkt auf einen Laptop vor Ort übertragen und das erzeugte Video gespeichert. Die Auswertung der Videos kann vorhandene verschiedenartige Mängel aufdecken. Erkannt werden können u.a. Quetschungen, Knicke und Verdrehungen der Erdwärmesonde. Darüber hinaus können auch Verschraubungen im Horizontal-bereich der Sonde, die gemäß Normen zu unterlassen sind, von Schweißnähten unterschieden werden.



**Abb. 4:** Einführung einer Kamera in das Sondenrohr

## 5.2. Bohrlochwiderstand und Wärmeleitfähigkeit

Zur Untersuchung der Qualität der eingebauten Erdwärmesonden wurde bei den vier Bestands-Anlagen ein Enhanced Geothermal Response Test (EGRT) durchgeführt. Dieser dient der Messung von thermischem Bohrlochwiderstand und Wärmeleitfähigkeit.

Der thermische Bohrlochwiderstand gibt Auskunft über die Qualität der thermischen Anbindung des Wärmeträgers an den Untergrund. Die Wärmeleitfähigkeit gibt an, wieviel thermische Energie mittels Wärmeleitung dem Untergrund entzogen werden kann.

Gegenüber dem häufig eingesetzten Thermal Response Test (TRT) weist der im Rahmen der Evaluierung eingesetzte Enhanced Geothermal Response Test (EGRT) den Vorteil auf, dass die Messung in hoher räumlicher Auflösung über die gesamte Bohrlochtiefe durchgeführt wird und somit lokale thermische Einflüsse erkennbar werden. Bei den gegenständlichen Untersuchungen wurde ein verkürzter EGRT von nur einem Tag durchgeführt, um die freiwillig zur Verfügung gestellten Anlagen der Betreiber nicht für mehrere Tage außer Betrieb nehmen zu müssen.



**Abb. 5:** Messaufbau EGRT

In der Praxis wird eine konstante Wärmeleistung in den Untergrund eingebracht, die Hinterfüllung „aufgeheizt“ und die Rückantwort des Systems (Response) im Rahmen der anschließenden Temperaturerholung gemessen.

Ein ungestörter Verlauf des Bohrlochwiderstands über die Bohrlochtiefe weist auf eine ungestörte Grundwasserhydraulik bzw. auf eine homogene Hinterfüllung der Sonde und homogene Wärmeentzugsleistungen hin. Erkannte Anomalien in der graphischen Darstellung des Bohrlochwiderstandes lassen Rückschlüsse zu, ob und in welcher Qualität die Hinterfüllung (Dichteanomalien) vorliegt. Das tiefenabhängige Profil lässt Aussagen über die vertikale

Wärmeleitfähigkeit zu. Erdwärmesonden mit deutlichen Dichteanomalien weisen grundsätzlich Qualitätsmängel innerhalb der Hinterfüllung auf. Diese können dazu führen, dass Grundwasserstockwerke miteinander verbunden werden oder die Effizienz von Wärmepumpenanlagen sinkt und die laufenden Betriebskosten der Anlagen aufgrund eines höheren Strombedarfs steigen (WASSER TIROL – WASSERDIENSTLEISTUNGS-GmbH 2015).

### 5.3. Frostschutzgehalt in der Sole

Mit Hilfe eines Refraktometers wurde im Zuge der Begehungen von drei bestehenden Anlagen der Frostschutzgehalt in der Sole bestimmt. Die eingesetzte Sole besteht aus einem Gemisch aus Wasser und Frostschutz (Monoethylen- bzw. 1,2-Propylenglykol). Der Anteil des Frostschutzes beeinflusst u.a.

- den Gefrierpunkt,
- die Wärmeleitfähigkeit,
- die Wärmekapazität und
- die Viskosität der Sole.



**Abb. 6:** Refraktometer zur Bestimmung des Frostschutzgehaltes der Sole.

Über die Bestimmung des jeweiligen Brechungsindex der vorgefundenen Sole können Rückschlüsse auf deren Zusammensetzung wie z.B. den

Frostschutzgehalt gezogen werden. Mit steigendem Frostschutzgehalt verringern sich diese Eigenschaften mit Ausnahme der Viskosität. Diese steigt an, verursacht eine erhöhte Pumpleistung beim Umwälzen der Sole im Kreislauf und somit höhere Betriebskosten der Anlage (ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND 2009).

### 5.4. Baustellenbegehungen

Im Zuge der Baustellenbegehungen zur Evaluierung derzeit in Bau befindlicher Anlagen fanden weder Kamerabefahrungen noch Untersuchungen zum Bohrlochwiderstand, zur Wärmeleitfähigkeit sowie zum Frostschutzgehalt statt. Das Hauptaugenmerk lag hier vor allem auf der qualitativen Untersuchung

- der Baustelleneinrichtung,
- der mitgeführten und eingesetzten Ausrüstung sowie des Materials,
- der fachgerechten Durchführung der Bohrlochverpressung und
- dem allgemeinen Bauablauf.

## 6. Ergebnisse der Untersuchung bestehender Anlagen

Im Folgenden sind auszugsweise einige Ergebnisse der Untersuchung an den bestehenden Anlagen dargestellt.

### 6.1. Baulicher Zustand - Sonden

Die Kamerabefahrungen haben bei drei von vier der untersuchten Erdwärmesonden Dellen (Abb. 7 links und Mitte), starke Quetschungen (Abb. 7 rechts) und starke Verdrillungen der Sonden gezeigt. Die Verdrillungen zeigten sich dabei über die gesamte Sondentiefe und sind während der Befahrung spürbar, da sich die Kamera der Verdrillung widersetzt – eine bildliche Darstellung ist nicht möglich.

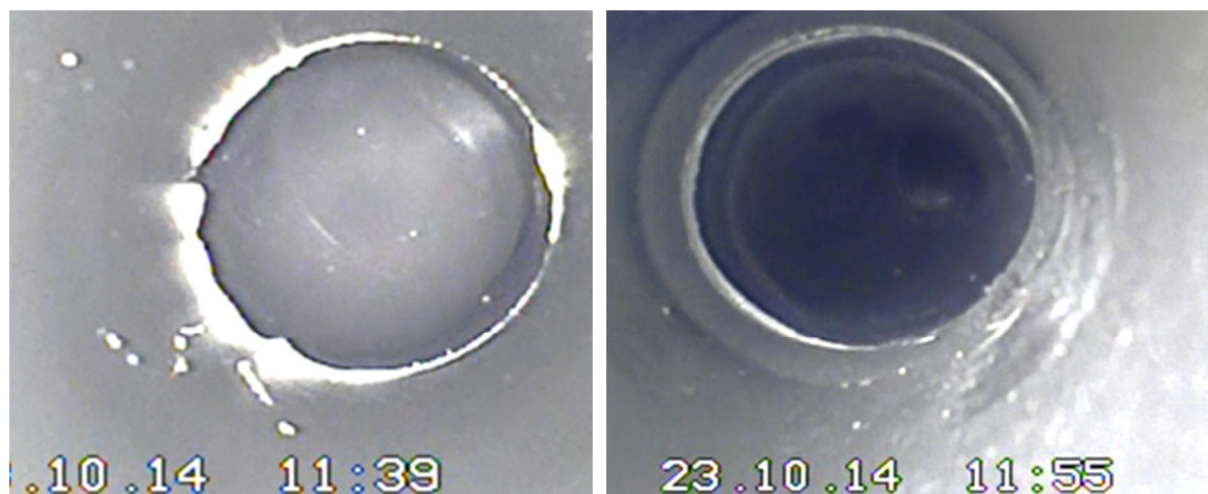


**Abb. 7:** Delle (links und Mitte) und starke Quetschung des gesamten Sondenrohres (rechts).

### 6.2. Baulicher Zustand - Verschraubungen

Fünf von sechs betrachteten Anlagen wiesen Verschraubungen der Rohre im Horizontalbereich auf (Abb. 8). Verschraubungen können sich im Zuge von Temperaturschwankungen lösen, so dass in der Folge Sole in den Untergrund infiltrieren und somit zu Verunreinigungen der Ressource Grundwasser führen kann.

Aufgrund dieser Thematik sind nicht zugängliche Rohrverbindungen gemäß ÖWAV-Regelblatt 207 als geschweißte Muffen auszuführen und von einem dafür ausgebildeten Schweißer herzustellen.



**Abb. 8:** Unterscheidung zwischen Verschweißungen (links) und Verschraubungen (rechts)

### 6.3. Baulicher Zustand - Sondentiefe

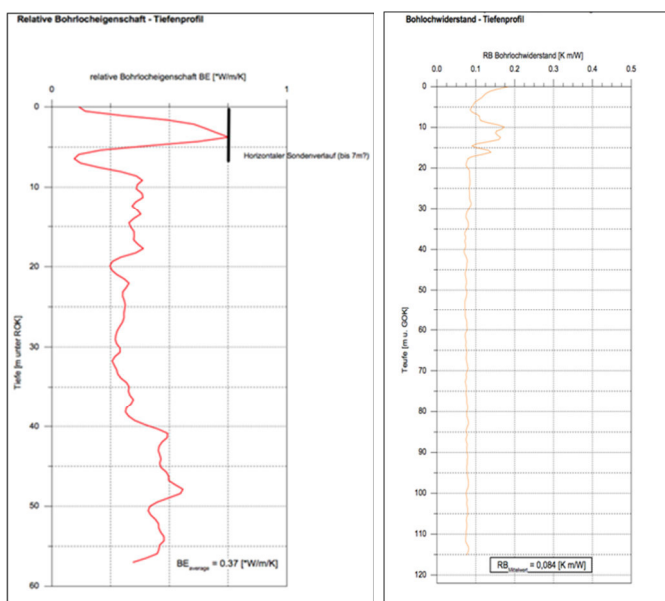
Im Zuge der Kamerabefahrung wurden ergänzend die ungefähren Tiefen der Sonde ermittelt. Dabei zeigte sich, dass eine Sonde gegenüber der Planung um rund 10 m zu kurz abgeteuft wurde. Dies kann im langfristigen Betrieb zur Überlastung der gesamten Erdwärmesondenanlage führen, sofern die „fehlenden“ Bohrmeter nicht durch andere Sonden ausgeglichen werden.



#### 6.4. Bohrlochwiderstand und Wärmeleitfähigkeit

Mittels der durchgeführten EGRTs konnten Erkenntnisse zur Qualität der Verpressung gewonnen werden. Die Ergebnisse weisen bei drei von vier Sonden auf Hohlräume in der Hinterfüllung und somit auf eine schlechte Anbindung der Erdsonde an den umgebenden Untergrund hin, die durch starke Schwankungen der relativen Bohrlocheigenschaften bei den untersuchten Sonden sichtbar werden. Lediglich eine untersuchte Sonde wies eine gute Verpressung auf.

Abb. 9 zeigt die Darstellung der relativen Bohrlocheigenschaften einer untersuchten Sonde mit mangelhafter Verpressung (links) sowie einer Sonde mit guter Verpressung (rechts) im Vergleich.



**Abb. 9:** Relative tiefenabhängige Bohrlocheigenschaft zweier betrachteter Anlagen. Links mangelhafte Verpressung – rechts gute Verpressung

#### 6.5. Frostschutzgehalt in der Sole

Der Frostschutz-Anteil in der Sole wurde bei drei Bestands-Anlagen bestimmt. Gegenüber den Vorgaben des Wärmepumpenherstellers wurden einmal ein zu hoher und einmal ein zu niedriger Glykolgehalt nachgewiesen.

#### 7. Erkenntnisse im Rahmen der Baustellenbegehungen

Im Zuge der Erdwärmesonden-Evaluierung wurden vier Baustellen besucht, bei denen gerade Erdwärmesonden errichtet wurden. Auf allen Baustellen wurden qualitative Mängel im Bauablauf festgestellt. In diesem Zusammenhang seien auszugsweise genannt:

- Die benötigte Ausrüstung zur Bestimmung der Dichte des Verpressmaterials war auf mehreren Baustellen nicht vorhanden. Die Güte des eingebrachten Verpressmaterials konnte somit nicht bestimmt werden.
- Auf den meisten Baustellen war nur ein Container zum Abtransport des Bohrgutes vorrätig. Ein Absedimentieren des Bohrwassers war nur unzureichend möglich.
- Lediglich ein Bohrunternehmen hatte - für den Fall des Anbohrens eines Artesers - Material zum Abdichten vor Ort.
- Teilweise wurden keine Verpressschläuche (Abb. 10) vorgefunden.
- Eine Verpressung war vom Bohrlochmund aus nicht erkennbar und somit zumindest mehrere Meter abgesunken (Abb. 10). Eine Nachverpressung wurde nicht durchgeführt.



**Abb. 10:** Erdwärmesonden ohne Verpressschlauch und bei abgesackter Verpressung

- Erdwärmesonden wurden bei gezogenem Casingrohr unverpresst vorgefunden. Damit besteht die Möglichkeit, dass das Bohrloch zu diesem Zeitpunkt bereits eingestürzt und die Sonde gequetscht worden war.
- Eine der Erdwärmesonden wurde ohne Verpressschlauch von oben verpresst. Nach Aussage des anwesenden Bohrmeisters werde dies häufig derart gehandhabt. Diese Art der Verpressung ist nicht zulässig, da eine durchgängige Abdichtung des Bohrlochs hiermit nicht möglich ist.
- In einem Fall wurde der Betonschacht für den Verteilerbalken auf die ungeschützten Erdwärmesonden abgestellt.

## 8. Prüfung der Einreichunterlagen / Planungsunterlagen

Die Prüfung der vorgelegenen Einreichunterlagen hat gezeigt, dass zum einen die Auslegung der Erdwärmesonden z.T. fehlerhaft erfolgte, zum anderen zusätzliche Abweichungen zwischen Planung und Ausführung ohne nachvollziehbare Begründungen vorliegen. Folgende Mängel seien beispielhaft genannt:

- Die Berechnung der benötigten Sondenmeter war nicht nachvollziehbar dargestellt.
- Zur Berechnung der benötigten Sondenlängen wurden sehr hohe spezifische Entzugsleistungen verwendet.
- Mehrbetriebsstunden bei vorgesehener Warmwasserbereitung durch die Wärmepumpe wurden nicht berücksichtigt.

## 9. Zusammenfassung und Ausblick

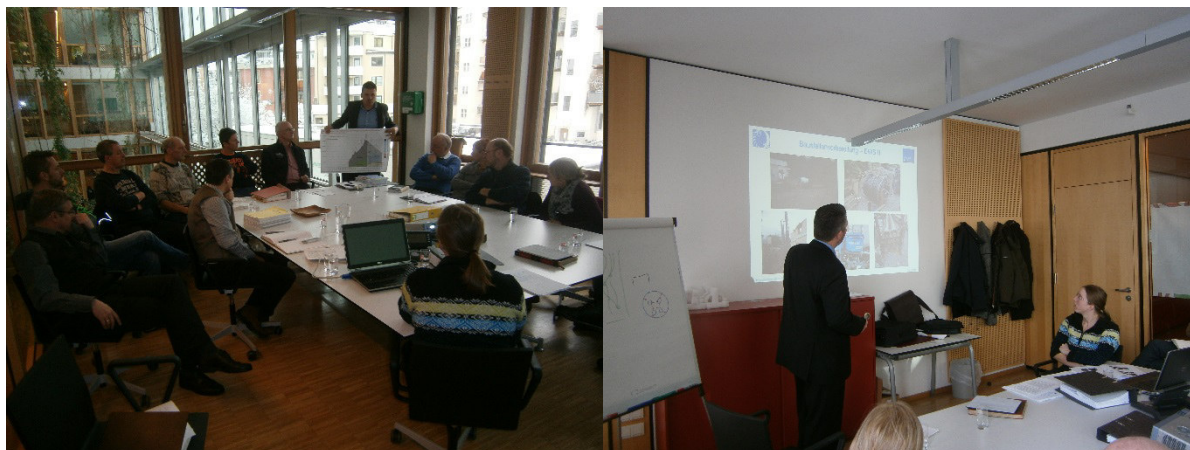
Die Tiroler Ressourcen-, Klima- und Energiestrategie sieht vor, dass bis zum Jahre 2050 rund 7 % des gesamten Endenergieeinsatzes aus Umweltwärme gedeckt werden soll, wozu neben der Grundwasser- und Luftwärme insbesondere auch Erdwärme gehört.

Erdwärmesondenanlagen stellen in vielen Fällen eine nachhaltige und effiziente Möglichkeit dar, heimische, erneuerbare Ressourcen zu Heizzwecken sowie zur Bereitung von Warmwasser zu nutzen. Eine qualitativ hochwertige Errichtung sowie der Betrieb entsprechend dem Stand der Technik sind Voraussetzung für die optimale, nachhaltige Nutzung der Ressource.

Aufgrund von Berichten über Schadens- und Konfliktfälle im Zusammenhang mit Erdwärmesonden wurde in den Jahren 2014/2015 eine „Erdwärmesonden-Evaluierung“ im Auftrag des Landes Tirol durchgeführt. Diese untersuchte stichprobenartig vier in Betrieb befindliche Anlagen (Schwerpunkt Qualität des Baus und Funktionalität) sowie vier im Bau befindliche Anlagen (Schwerpunkt Baustellenablauf) mit folgenden Ergebnissen:

- Sämtliche in Betrieb befindlichen Erdwärmesonden wiesen geringe bis schwerwiegende Mängel auf. Diese reichten von der gebohrten Tiefe über die Verpressung, die energietechnische Auslegung und Planung bis hin zu der Tatsache, dass eine Kontrolle der ausgeführten Anlagen meist nicht erfolgte.
- Bei allen Baustellenbesuchen wurden kleine bis grobe Mängel im Bauablauf festgestellt.

Die Ergebnisse der Erdwärmesonden-Evaluierung wurden im Rahmen eines Workshops am 28.01.2015 präsentiert und mit den Fachexperten der betroffenen Abteilungen des Landes diskutiert:



**Abb. 11:** Abschlussworkshop am 28.01.2015 im Landhaus II, Innsbruck.

Im Rahmen der involvierten Fachexperten herrschte einhellige Zustimmung darüber, dass zum Schutze des Konsumenten (Bauherren), des öffentlichen Interesses (Schutz des Grundwassers) und zur Sicherung dieser wichtigen Technologie für die zukünftige Planung und Umsetzung von Erdwärmesondenanlagen ein **Bündel an Maßnahmen zur Qualitätssicherung** gesetzt werden müssen. Als konkrete Maßnahmen wurden beispielsweise diskutiert:

- Erweiterung der Regelwerke in Bezug auf Planung und Auslegung von Erdwärmesonden.

- Einführung einer Förderung für Erdwärmesonden-Anlagen, welche eine dem Stand der Technik entsprechende Planung und Umsetzung ebenso wie eine abschließende Kontrolle als Förderkriterium beinhaltet.
- Einführung eines Überwachungs- und Kontrollorgans für die Bauausführung von Erdwärmesonden eventuell im Zuge des vorangehenden Behördenverfahrens (Bewilligungspflicht für Erdwärmesonden).
- Vorschreibung einer verbindlichen Abschätzung des Stromverbrauchs der Erdwärmesonden-Anlage durch den Planer, um dem Anlagenbetreiber eine ‚Selbstkontrolle‘ im Betrieb der Erdwärmesonden-Anlage zu ermöglichen.

In weiterer Folge wurde eine Arbeitsgruppe aus Vertretern des Landes Tirol, der Landesinnung Sanitär-, Heizungs- und Lüftungstechniker, von Bohrfirmen und den bei der Evaluierung beteiligten Firmen gebildet, welche die Aufgabe hat, in einem Workshop-Prozess konkrete Maßnahmen zur Qualitätssicherung beim Bau und im Betrieb von Erdwärmesondenanlagen auszuarbeiten und verbindlich festzulegen.

## Literaturverzeichnis

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (2016): *Tiroler Energiemonitoring 2015. Statusbericht zur Umsetzung der Tiroler Energiestrategie*. 166 S.

BASSETTI, S. & ROHNER, E. & SIGNORELLI, S. (2006): *Dokumentation von Schadensfällen bei Erdwärmesonden*. 65 S.

WASSER TIROL - WASSERDIENSTLEISTUNGS-GMBH (2015): *Erdwärmesonden-Evaluierung im Rahmen des Tiroler Energiemonitorings*. 55 S.

ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (2009): *ÖWAV-Regelblatt 207 - Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen*. 66 S.

Donnerstag 20. Oktober 2016

17:30-18:00

## Maßnahmen zur Qualitätssteigerung im Bau und im Betrieb von Erdwärmesonden in Tirol

Rupert Ebenbichler

*Wasser Tirol – Wasserdienstleistungs-GmbH, [www.wassertirol.at](http://www.wassertirol.at)*

### 1. Veranlassung und Zielsetzung

Die Ressourcen-, Klima- und Energiestrategie des Landes Tirol sieht vor, dass bis zum Jahr 2050 rund 7 % des gesamten Endenergieeinsatzes aus Umweltwärme gedeckt werden soll, wozu neben der Grundwasser- und Luftwärme insbesondere auch Erdwärme zählt. Erdwärmesondenanlagen stellen in vielen Fällen eine nachhaltige und effiziente Möglichkeit dar, heimische, erneuerbare Ressourcen zu Heizzwecken sowie zur Bereitung von Warmwasser zu nutzen. Um die gesteckten Energieziele zu erreichen, ist die Errichtung und Inbetriebnahme von jährlich rund 650 Erdwärmepumpenanlagen bis 2050 notwendig (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG 2016).

Eine qualitativ hochwertige Errichtung sowie der Betrieb entsprechend dem Stand der Technik sind Voraussetzung für die optimale, nachhaltige Nutzung der Ressource. Durch die Wasser Tirol – Wasserdienstleistungs-GmbH wurde in den Jahren 2014 und 2015 im Auftrag der Abteilung Wasser-, Forst- und Energierecht des Amtes der Tiroler Landesregierung eine stichprobenartige Evaluierung von bestehenden und im Bau befindlichen Erdwärmesonden durchgeführt (WASSER TIROL - WASSERDIENSTLEISTUNGS-GMBH 2015).

Das Ergebnis dieser Evaluierung zeigte, dass bei der Planung und Erstellung von Erdwärmesonden Handlungsbedarf aufgrund von festgestellten Mängeln besteht. Auf Basis dieses Ergebnisses wurde beschlossen, die in der Evaluierung erkannten Probleme zu diskutieren und konkrete Maßnahmen zur Qualitätssicherung beim Bau sowie im Betrieb von Erdwärmesondenanlagen auszuarbeiten und verbindlich festzulegen.

Dabei waren insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Schutz der Grundwasserressourcen, Sicherheit für Menschen und Bauwerke,
- Effiziente und kostengünstige Wärmebereitstellung für Betreiber,
- Unterstützung und Sicherung der Technologie als wesentlicher Beitrag zur Erreichung der Energieziele.

Insbesondere lag die Herausforderung darin, diese Ziele möglichst mit Maßnahmen zu erreichen, welche die Kosten für diese Technologie nicht so erhöhen, dass sie nicht mehr konkurrenzfähig wäre.

## 2. Arbeitsgruppe Erdwärmesonden

Die Arbeitsgruppe, welche in Workshops zusammenarbeitete, setzte sich aus 13 Vertretern von folgenden, an der Errichtung von Erdwärmesonden beteiligten Firmen und Behörden, zusammen:

- Abteilungen des Landes Tirol (Wasser-, Forst- und Energierecht, Landesgeologie, Wasserwirtschaft, Landesenergiebeauftragter, Baubezirksamt Kufstein) sowie dem Stadtmagistrat Innsbruck,
- Landesinnung der Sanitär-, Heizungs- und Lüftungs-techniker,
- Tiroler Bohrfirmen sowie
- mit der Evaluierung beauftragte Firmen Erd-Sonden TV und Wasser Tirol - Wasserdienstleistungs-GmbH.



*Abb. 12: Workshop der Arbeitsgruppe Erdwärmesonden*

## 3. Maßnahmenbündel

Aufgrund der im Rahmen der Erdwärmesonden-Evaluierung festgestellten verschiedenartigen Mängel wurde in der Arbeitsgruppe Einigkeit darüber erzielt, dass einzelne Maßnahmen nicht ausreichen, sondern nur ein **breites Maßnahmenbündel** geeignet sein kann, eine Qualitätssteigerung beim Bau und Betrieb von Erdwärmesonden in Tirol zu bewirken.

Zusammengefasst wurden i. W. folgende Maßnahmen diskutiert:

- Vereinheitlichung der Berechnungsmethoden für die Auslegung von Erdwärmesonden,
- Ermittlung tatsächlicher Wärmeleitfähigkeiten von Gesteinen in Tirol für die Auslegung von Erdwärmesonden,
- Vereinheitlichung der vorzulegenden (Einreich-)Unterlagen,
- Vereinheitlichung des Genehmigungsablaufes bei verschiedenen (Bezirks-) Behörden,
- Konkrete Vorschriften zum Bauverfahren und -ablauf nach dem Stand der Technik (Mindestbohrdurchmesser, Verwendung von Zentrierhilfen und Abstandshaltern, minimale Baustelleneinrichtung etc.),
- Vereinheitlichung/Verbesserung der vorzulegenden Dokumentation nach Fertigstellung,
- Schulung des Bohrpersonals,
- Externe Kontrollen zur Einhaltung der Vorgaben zum Bauablauf,
- Förderung von Anlagen, welche die Qualitätsanforderungen erfüllen.

#### 4. Vorläufiges Ergebnis

Bis zum heutigen Tage wurden auszugsweise folgende Ergebnisse erzielt, welche im Weiteren erläutert werden:

1. Es wurde ein **Leitfaden für den Bau und die Errichtung** von Erdwärmesonden in Tirol erstellt, der im Entwurf vorliegt und die wichtigsten Informationen sowie Vorgaben rund um die Planung, Errichtung und den Betrieb einer Wärmepumpe mit Erdwärmesonden enthält.
2. Für den Behördenablauf wurden **einheitliche Formblätter** zur Einreichung um wasserrechtliche Genehmigung und die Fertigstellungsmeldung erstellt, die im Laufe des Jahres 2016 online gestellt und zukünftig verpflichtend seitens der Antragsteller genutzt werden sollen.
3. Als Grundlage für die externe Überprüfung von Erdwärmesonden-Baustellen (durch Amtssachverständige oder private Gutachter) wurde eine **Checkliste für ein Baustellenaudit** erstellt.
4. Zur Verbesserung der Abläufe auf der Baustelle wurde ein **Schulungsprogramm für das Bohrpersonal** erstellt, welches zukünftig zweimal pro Jahr angeboten werden soll. Im Rahmen des Leitfadens wird eine mindestens jährliche Teilnahme des Bohrpersonals an derartigen Schulungen gefordert.

#### 5. Leitfaden für Bau und Errichtung von Erdwärmesonden in Tirol

Dieser Leitfaden dient als Grundlage für die fachgerechte Erstellung von Erdwärmesonden (Tiefsonden) im Land Tirol. Er richtet sich primär an alle Unternehmen, welche an der Planung und Errichtung von Erdwärmesonden beteiligt sind sowie an alle interessierten Personen, welche die Errichtung einer Erdwärmesonde planen. Er gibt Auskunft über die Verfahren zur Bewilligung, die zur Bewilligung erforderlichen Projektunterlagen, geologischen Grundlagen in Tirol und er umreißt den Bauablauf zur Errichtung von Erdwärmesonden. Den interessierten Bauherren werden Tipps zur Eigenüberwachung bei der Errichtung einer solchen Anlage bereitgestellt. Das Ziel dieses Leitfadens ist es, wichtige Informationen rund um die Planung, Errichtung und den Betrieb einer Wärmepumpe mit Erdwärmesonden zusammenzufassen und zur Verfügung zu stellen. Der Leitfaden erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und soll gemäß technologischer Neuerungen, Änderungen in der rechtlichen Situation und Entwicklungen des Marktes angepasst werden. (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG 2016)

Der Leitfaden beschreibt neben der Funktion von Erdwärmesondenanlagen:

- die rechtlichen Grundlagen zur Genehmigung derartiger Anlagen,
- die notwendigen geologischen und hydrogeologischen Voraussetzungen,
- empfohlene Vorgaben zum Bauablauf und
- die notwendigen Einreichunterlagen zur Genehmigung durch die Behörde.

Der Leitfaden zur Qualitätssicherung von Erdwärmesonden in Tirol liegt nun als Entwurf vor. Er erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern ist als fortzuschreibendes, lebendiges Dokument zu

verstehen, welches regelmäßig auf Weiterentwicklungen in der Technik bzgl. Qualitätsstandards und auch auf sonstige Erfahrungen reagieren muss.

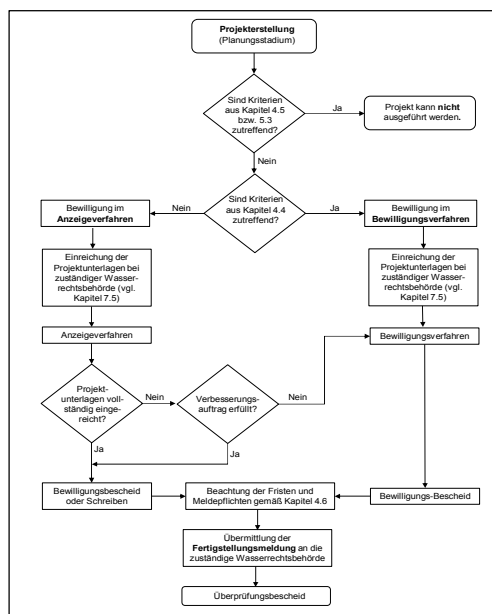
### 5.1. Rechtliche Grundlagen

Der Leitfaden beinhaltet für Tirol erstmals einen Überblick über das zu durchlaufende Verfahren bis hin zur Genehmigung und Abnahme seitens der Behörde in Form eines Flussbildes. Die wesentliche Frage, ob im Genehmigungs-verfahren ein Anzeige- oder Bewilligungs-verfahren zu durchlaufen ist, wird aus rechtlicher Sicht erläutert.

Anzeigeverfahren sind derzeit das häufigste Instrument zur Erlangung der Bewilligung einer Erdwärmesondenanlage in Tirol. Liegen jedoch beispielsweise

- komplexe hydrogeologische Verhältnisse,
- bestehende Wasserbenutzungsanlagen im Nahbereich der Erdwärmesonde oder
- unvollständige Projektunterlagen vor,

ist das Durchlaufen eines Bewilligungsverfahrens mit mündlicher Verhandlung erforderlich.



**Abb. 13:** Ablaufschema für die Bewilligung von Erdwärmesonden in Tirol

### 5.2. Geologische und hydrogeologische Voraussetzungen

Im Rahmen der Projektierung einer Erdwärmesondenanlage ist eine geologische Standortbeurteilung durch eine Fachperson für Geologie notwendig. Der Leitfaden benennt mögliche Gefährdungspotenziale und Ablehnungsgründe aus geologisch-hydrogeologischer Sicht und enthält ergänzend Bodenkennwerte wie Wärmeleitfähigkeits- und Wärmekapazitätswerte aus der Schweizer SIA-Norm 384/6 sowie der deutschen VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1.

Für die Zukunft ist geplant, für Tirol spezifische Wärmeleitfähigkeits- und Wärmekapazitätswerte zu ermitteln und diese in den Leitfaden zu integrieren.

### 5.3. Empfehlungen und Vorgaben zum Bauablauf

Gestützt auf die Ergebnisse der Erdwärmesonden-Evaluierung wurden in den Leitfaden Vorgaben zum optimierten Bauablauf inklusive Baustelleneinrichtung aufgenommen. Diese umfassen unter anderem:

- Die minimal nötige Ausrüstung für die Bohr- und Bauarbeiten während der Erstellung der Erdwärmesondenanlage.
- Den benötigten Mindest-Bohrlochdurchmesser für die Einbringung der Erdwärmesonde zur Gewährleistung einer funktionsfähigen Verpressung ( $\varnothing$  mindestens 130 mm bis zur Endteufe ab Beginn 2018).



- Die Entsorgung des Bohrgutes. Nicht kontaminierte Böden und andere natürlich vorkommende Materialien, die im Zuge der Maßnahme ausgehoben wurden, sind vom Geltungsbereich des AWG 2002 ausgenommen, sofern sichergestellt ist, dass diese in ihrem natürlichen Zustand an Ort und Stelle für Bauzwecke verwendet werden. Sie müssen daher nicht gesondert deponiert werden.
- Die Verwendung von Verpressmaterialien und deren Widerstandsfähigkeit vor allem gegen Frost-Tau-Wechsel gemäß ÖWAV-Regelblatt 207 als Mindeststandard (Mischung aus Bentonit, Zement und Wasser)
- Zubereitung der Verpress-Suspension. Die Anmischung mittels Spülwannen ist zukünftig nicht mehr zulässig, ein Kolloidalmischer ist vorgeschrieben.
- Einbau von Zentrierhilfen und Abstand-haltern. Aufgrund fehlender praxis-tauglicher Produkte konnte noch keine verpflichtende Vorgabe formuliert werden.
- Einbau von Y-, Hosen- und T-Stücken in der Horizontalanbindung. Da eine nachträgliche Kamerabefahrung bei solchen Einbauten nicht mehr möglich ist, sollte hiervon, wenn möglich, Abstand genommen werden.



**Abb. 14:** Beispiel eines Kolloidalmischers

Möglichkeiten, wie der interessierte Betreiber die fachgerechte Erstellung seiner Anlage mitüberwachen kann, werden ergänzend genannt. Diese ersetzen jedoch nicht die Überwachung durch einen Fachmann bzw. externen Sachverständigen.

#### **5.4. Einreichunterlagen und Fertigstellungsmeldung**

Die einzureichenden **Projektunterlagen** zur Genehmigung einer Erdwärmesondenanlage inkl. der benötigten Formblätter, die von einem Fachkundigen unter Namhaftmachung des Verfassers in dreifacher Ausfertigung eingereicht werden müssen, sind im Leitfaden angeführt und inhaltlich erläutert. Es handelt sich dabei um

- den Technischen Bericht mit Angaben zur Erdwärmesonde, zur Wärmepumpe sowie zur Bohrung und Verpressung,
- den Geologischen Bericht mit Befundung des Ist-Zustandes und einem Gutachten mit Schlussfolgerungen,
- die erforderlichen Planunterlagen,
- ergänzende Unterlagen.

Bei der **Fertigstellungsmeldung** bestehen zwei Möglichkeiten der Einreichung:

- Einfache Fertigstellungsmeldung durch den Antragsteller,
- Fertigstellungsmeldung durch externen Sachverständigen.

Für beide Fälle sind die erforderlichen Unterlagen für die Fertigstellungsmeldung im Leitfaden definiert.

### 5.5. Selbstverpflichtender Auflagenkatalog

Der neu erstellte selbstverpflichtende Auflagenkatalog enthält i. W. jene Punkte, welche üblicherweise seitens der Behörde in einem Bewilligungsverfahren zur Auflage gemacht werden. Ist dieser Auflagenkatalog bereits im Ansuchen unterfertigt, so kann die Einleitung eines Bewilligungsverfahrens aus diesem Titel heraus entfallen und die Genehmigung mittels Anzeigeverfahren erfolgen.

Der selbstverpflichtende Auflagenkatalog enthält dabei einerseits Auflagen zur Errichtung der Anlage, welche vom projektverantwortlichen Unternehmen zu unterfertigen sind, und andererseits Auflagen für den Betrieb der Anlage, zu deren Einhaltung sich der Antragsteller verpflichten muss.

### 6. Einheitliche Formblätter

Das Projekt „Erdwärmesonden-Evaluierung“ hat gezeigt, dass in der Vergangenheit Planungsunterlagen für Erdwärmesonden oftmals mangelhaft erstellt wurden und Berechnungen nicht nachvollziehbar waren. Eingereichte Unterlagen waren inhaltlich oftmals unzureichend und unterschieden sich im Aufbau oftmals stark voneinander, so dass eine zügige Bearbeitung durch die Behörde erschwert wurde.

Um diesbezüglich qualitätsverbessernd einzugreifen, wurden im Rahmen der Workshops Formblätter erarbeitet, um einen strukturierten, einheitlichen und vollständigen Mindest-Informationsgehalt sowie nachvollziehbare Berechnungen zur Dimensionierung zu erhalten.

Im Ergebnis wird bei Anwendung der Formblätter ein wesentlich effizienterer und zeitverkürzter Ablauf der wasserrechtlichen Bewilligung sowie der Fertigstellungsmeldung erwartet.



Abb. 15: Formblätter für wasserrechtliche Bewilligung (links) und Fertigstellungsmeldung (rechts).

### 7. Überprüfung der Bauausführung

Das Projekt „Erdwärmesonden-Evaluierung“ hat ergeben, dass der Bauablauf zur Herstellung von Erdwärmesonden kaum durch Bauaufsichten oder externe Kontrollen überwacht wird. Die Diskussionen im Rahmen der Arbeitsgruppe ergaben die einhellige Feststellung, dass es zumindest stichprobenartiger Überprüfungen bedarf.

Als Grundlage für die externe Überprüfung von Erdwärmesonden-Baustellen (durch Amtssachverständige oder private Gutachter) wurde eine



Abb. 16: Checkliste für das Baustellenaudit.

**Checkliste für ein Baustellenaudit** mit allen aktuell relevanten und überprüfbaren Qualitätskriterien zusammengestellt. Diese Checkliste umfasst sämtliche Erfordernisse des gesamten Bauablaufs, wobei im Zuge eines Baustellenaudits nur ein Teil der Bauarbeiten begutachtet werden kann.

## 8. Schulungsprogramm für das Bohrpersonal

Die operative Errichtung von Erdwärmesonden wird vom Bohrpersonal durchgeführt – die Verantwortung einer fachgerechten, dem Stand der Technik durchgeführten Errichtung obliegt dem beauftragten Bohrunternehmen.

Im Rahmen der Evaluierung von Erdwärmesondenanlagen im Jahre 2014/2015 wurde festgestellt, dass das Wissen um eine dem Stand der Technik entsprechende, fachgerechte Bauausführung und eine ausreichende Sensibilität zum erforderlichen Schutz des Grundwassers beim Bohrpersonal nicht immer in ausreichendem Maße gegeben war.

Die u.a. in Deutschland praktizierte einmalige Zertifizierung von Bohr-unternehmen reicht nach Einschätzung der Arbeitsgruppe nicht aus um die Einhaltung erforderlicher Qualitätsstandards gewährleisten zu können. Es wurde daher beschlossen, dass sich das Bohrpersonal zukünftig regelmäßig eintägigen Schulungen unterziehen muss.



*Abb. 17: Durchführung von Schulungen für das Bohrpersonal.*

Einmal jährlich hat das die Arbeiten durchführende Bohrpersonal zukünftig an den Fortbildungsmaßnahmen teilzunehmen, wodurch sichergestellt werden soll, dass aktuelles Wissen unmittelbar beim durchführenden Personal ankommt und diese somit auf Gefährdungspotenziale und Qualitätsmängel sensibilisiert werden. Mittels Zertifikat kann die erfolgreiche Teilnahme bei externen Baustellenüberprüfungen nachgewiesen werden.

Die Schulungen werden i. w. folgende Inhalte aufweisen:

- Grundlagen des Bohrens von Erdwärmesonden  
(Bohrverfahren, Verpressung, Verhalten bei Anbohren eines Artesers etc.)
- Besprechung von festgestellten Mängeln  
(z.B. falsche Verpressung, Änderung der Bohrtiefe, Horizontalanbindung)
- Geologische Grundlagen  
(Bestimmung von Gesteinstypen / Anhydrit, fachgerechtes Erstellen eines Bohrprofils, Verhalten bei Arteser, Methangas, Grubengas)

- Praktische Übungen  
(Bestimmung der Suspensionsdichte, Schweißübungen Horizontalanbindung, Bestimmung eines Artesers)
- Abschließender Test mit Zertifikatsausstellung

## 9. Zusammenfassung und Ausblick

Um die gesteckten Ziele der Tiroler Ressourcen-, Klima- und Energiestrategie zu erreichen, ist die Errichtung und Inbetriebnahme von jährlich rund 650 Erdwärmepumpenanlagen bis 2050 notwendig. Die qualitativ hochwertige Errichtung sowie ein ordnungsgemäßer Betrieb von Erdwärmesonden sind Voraussetzung zur nachhaltigen Nutzung dieser effizienten Technologie zur Erreichung der Energieziele.

Eine stichprobenartige Evaluierung von Erdwärmesonden in Tirol in den Jahren 2014 und 2015 zeigte, dass bei der Planung und Herstellung von Erdwärmesonden Handlungsbedarf aufgrund von festgestellten Mängeln besteht.

Mit den Zielen:

- Schutz der Grundwasserressourcen, Sicherheit für Menschen und Bauwerke,
  - Effiziente und kostengünstige Wärmebereitstellung für Betreiber,
  - Unterstützung und Sicherung der Technologie als wesentlicher Beitrag zur Erreichung der Energieziele,
- wurde durch das Land Tirol eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe von Fachexperten aus an der Errichtung von Erdwärmesonden beteiligten Firmen und Behörden gebildet. Diese hat ein breites Maßnahmenbündel zur Qualitätssteigerung beim Bau und Betrieb von Erdwärmesonden in Tirol erarbeitet, wie z.B.:
- **Umfassender Leitfaden** für den Bau und die Errichtung von Erdwärmesonden inkl. verpflichtender Auflagen,
  - **Einheitliche Formblätter** zur Einreichung und Fertigstellungsmeldung,
  - **Checkliste für Baustellenaudits**,
  - **Schulungsprogramm für das Bohrpersonal.**

Die beschriebenen Maßnahmen stellen erste Schritte zur Verringerung der erkannten Mängel und Hebung des Qualitätsstandards beim Bau von Erdwärmesonden in Tirol dar. In einem weiteren Schritt ist angedacht, Untersuchungen zu den spezifischen Wärmeleitfähigkeitswerten von Gesteinen in Tirol anzustellen, um die schweizerischen und deutschen Werte der jeweiligen Normen und Regelwerke zu ersetzen, die sich oftmals als nicht zutreffend für den Tiroler Raum erwiesen haben.

Der Leitfaden zur Qualitätssicherung von Erdwärmesonden in Tirol liegt nun als Entwurf vor. Er erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern ist als fortzuschreibendes, lebendiges Dokument zu verstehen, welches regelmäßig entsprechend der Weiterentwicklungen in Wissenschaft und Praxis aktualisiert werden muss. Insbesondere wird auch darauf zu achten sein, dass sich die mit der

Qualitätssicherung verbundenen Mehrkosten nicht zu negativ auf die Konkurrenzfähigkeit dieser Technologie auswirken.

### **Literaturverzeichnis**

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (2016): *Tiroler Energiemonitoring 2015. Statusbericht zur Umsetzung der Tiroler Energiestrategie*. 166 S.

WASSER TIROL - WASSERDIENSTLEISTUNGS-GMBH (2015): *Erdwärmesonden-Evaluierung im Rahmen des Tiroler Energiemonitorings*. 55 S.

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (2016): *Leitfaden zur Erstellung von Erdwärmesonden in Tirol, Entwurf - Stand 07.09.2016*. 32 S.



**Mag. Wolfgang Gadermayr**

*Der Verfasser ist selbstständiger Geologe (ZT Büro geo<sup>2</sup> zt gesmbH) und seit 1981 Mitglied des Landesvereins für Höhlenkunde in Salzburg. In den Jahren 1982-1995 Teilnahme an zahlreichen, mehrwöchigen Expeditionen im Lamprechtsofen, Tennen- und Hagengebirge.*



## Faszination der Höhlenforschung und die Rettung aus der Tiefe

Mag. Wolfgang Gadermayr

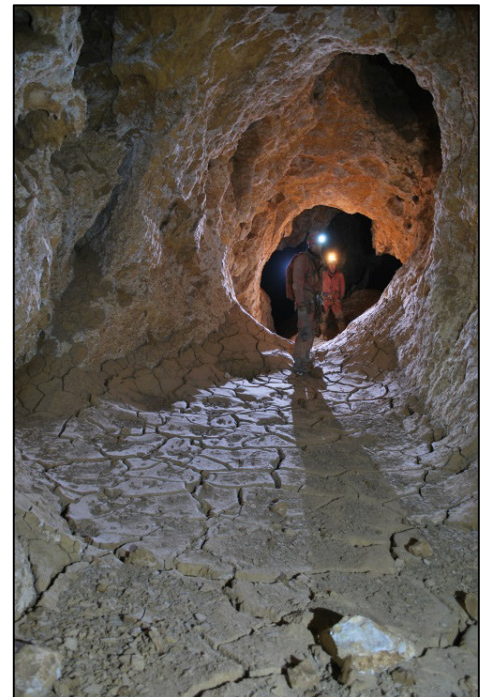
geo<sup>2</sup> zt gesmbh, Almuferweg 8, 5400 Hallein; [gadermayr@salzburg.co.at](mailto:gadermayr@salzburg.co.at)

Der Unfall des deutschen Höhlenforschers Johann Westhauser im Juni 2014 erregte große mediale Aufmerksamkeit und löste einen der vermutlich schwierigsten Rettungseinsätze der alpinen Geschichte aus. Erst zwölf Tage nach seinem schweren Unfall durch Steinschlag, konnte der verletzte Höhlenforscher nach einem Großeinsatz der beteiligten Rettungskräfte aus fünf Nationen, an die Oberfläche gebracht werden.

Der Einsatz erforderte von den Rettungsteams einen sehr hohen physischen und psychischen Einsatz zeigte jedoch, dass die kleine Gruppe von Höhlenforschern national und international in schwierigen Zeiten zusammenhalten und unter dem Motto „Alle für Einen...“ auch scheinbar unlösbare Probleme gemeinsam lösen können.

Was bewegt jedoch Männer und Frauen dazu, tagelang in den abgeschiedenen Tiefen der Kalkberge unter hohen physischen und psychischen Bedingungen bei Kälte und Nässe unbekannte Höhlenteile zu erforschen?

Höhlen sind die letzten Bereiche, welche sich nicht mit Satellitenbilder oder technischen Hilfsmittel erkunden lassen sondern erfordern den körperlichen Einsatz des Forschenden. Die Erkundung der letzten weißen Flecken in unserem Land weckt das Interesse und die Neugier nach Neuem und führt zu einer Kameradschaft, wie sich das durch Höhlenforscher und -retter zeigt und als Vorbild für unsere Gesellschaft zu sehen ist. Höhlenforscher sind keine Abenteurer, welche sich bewusst oder unbewusst einer Gefahr aussetzen, sondern naturinteressierte Personen, welche versuchen die Tiefen unserer Kalkgebirge mit großem Engagement und Interesse zu erforschen und dem auch anderen Forschern, zukommen zu lassen. Die Höhlenforschung (im Fachbegriff als Speleologie) behandelt zahlreiche Fachbereiche von der Geologie bis zur Klimageschichte.



**Foto:** Lehmablagerungen in der Kolowrathöhlen (Untersberg), Foto: Dirk Peinelt, LVfHK, Salzburg.

Höhlenforscher sind ehrenamtliche Alpinisten, welche das gemeinsame Ziel der Erforschung und Dokumentation der Karsthöhlen haben. Die eigene Sicherheit erfordert planmäßige Expeditionen und ein hohes Maß an Sicherheit. Unfälle in tiefen und schwierigen Höhlensystemen sind sehr selten und die beiden Unfälle vom Sommer 2014 zeigten, dass die internationale „Familie“ der Höhlenforscher auch im Notfall freiwillig und mit hohem physischem und psychischem Einsatz zur gegenseitigen Hilfe bereit ist.

Das Bundesland Salzburg ist dank seiner jahrzehntelangen Explorationstätigkeit eines der am besten untersuchten Höhlengebiete der Welt, dabei ist hier, wie beispielsweise im Tennengebirge, die Dichte an Karsthöhlen so hoch wie nirgends anders in Österreich. Klingende Namen wie *Eisriesenwelt*, oder der *Lamprechtsofen* und als die tiefste Durchgangshöhle der Welt lassen die Karstforschung in Salzburg weit über die Grenzen des Landes bekannt werden.

Insbesondere die langjährige, internationale Zusammenarbeit der höhlenforschenden Vereine (einige Höhlenforschergruppen sind schon über 40 Jahre mit jährlichen, mehrwöchigen Forschungs Expeditionen in Salzburg) unter der Koordinierung des Landesvereins für Höhlenkunde in Salzburg ermöglichte die Erforschung zahlreicher schwieriger Karsthöhlensysteme, welche teilweise Tiefen über tausend Meter und über 50 km Gesamtlänge betragen, sodass Salzburg einen hohen Erforschungsgrad der unterirdischen Naturschätze aufweist.

**Foto:** Tropfsteingebilde in Salzburgs Höhlen, Foto: Dirk Peinelt.



Erfolgreiche Höhlenforschung setzt aber auch eine hohe physische und psychische Belastbarkeit der Höhlenforscher voraus. Um unbekannte Höhlenteile (Neuland) zu erforschen, sind meist technische schwierige Passagen wie Eng-, Kletterstellen oder tiefe Schächte, zu überwinden. Auch gilt es hydrometeorologische Bedingungen zu beachten, um eine Gefährdung durch Wassereinbrüche zu minimieren. Große Höhlensysteme, wie die zahlreichen Tiefensysteme im Tennengebirge werden seit mehreren Jahrzehnten von den in- und ausländischen Gruppen erforscht und dokumentiert, wobei einzelne Höhlenfahrten einen Aufenthalt bis zu zehn Tagen in den Tiefen des Berges erfordern.

Auch liefern die Daten der Wassermessungen in einigen Höhlen eine wichtige Grundlage als Klimazeuge und die Berechnungen von Hochwasserabflüssen und des Retentionsvermögens von Karstgebieten. Messungen Höhlen werden gemeinsam mit dem Hydrographischen Dienst durchgeführt, wobei im Lamprechtsofen eine der unzugänglichsten Quellmessstationen in Österreich installiert wurde.

So sind beispielsweise die Erkenntnisse der Karsthöhlen im östlichen Tennengebirge auch Grundlage für die Realisierbarkeit und geologische- hydrogeologische Beurteilung von Tunnel- und Tiefbauprojekten.



Diese Daten bilden die Grundlage um wirtschaftliche und ökologische Schäden bereits im Vorfeld zu vermeiden.

Der Lohn für die körperlichen und psychischen Anstrengungen jedes Forschers ist natürlich die Erstentdeckung neuer, bislang unbekannter Höhlen und Höhlenteile. Natürlich ist die Neugier auf das Unerforschte der Motor für die Forscher und viele sind der Faszination der bizarren und fragilen Welt der Tropfsteine, Lehmablagerungen und der dunklen Schächte seit vielen Jahren verfallen. Der Lohn für die Anstrengungen sind auch die zauberhaften unterirdischen Formen von Sinterbildungen, Flussläufen und Seen, welche nur für kurze Zeit durch das Licht der Forscher erhellt werden, ehe sie wieder in der Dunkelheit der Tiefe verdeckt werden.

*Fasziniert blickt der Forscher in den Höhlensee aus welchem das Wasser den unterirdischen Bach speist....Foto: Dirk Peinelt.*



Höhlenforschung lässt sich durch technische Hilfsmittel nicht ersetzen und erfordert daher den körperlichen Einsatz. Dieser Einsatz ermöglicht aber auch einen engen Kontakt des Forschers zum Berg und als „menschliches Endoskop“ kann der Untergrund „erlebt“ werden. Die daraus gewonnenen Gefühle Erfahrungen stellen eine wichtige Grundlage für uns Geologen dar und lassen sich durch Bohrkern oder Geophysik nicht ersetzen. Auch diese Erfahrungen sind der Motor für die Entwicklung neuer Ideen und Thesen für geologische Prozesse, die Abflussdynamik, sowie von erforderlichen technischen Hilfsmitteln, welche für den sicheren Ablauf von Forschungen notwendig sind.

Durch die internationale Kameradschaft und die Vernetzung der Höhlenforscher können wir auch künftig viele hundert Meter unter der Erde in Tiefen vordringen, „die nie ein Mensch zuvor gesehen hat....“

**Foto:** Internationales Rettungsteam im Einsatz bei der Bergung in der „Jack Daniels cave“.



## **Eignung verschiedener Fernerkundungsmethoden hinsichtlich der Identifizierung gravitativer Massenbewegungen in Westösterreich**

Tilch, Nils, Vecchiotti, Filippo, Haberler, Alexandra & Kociu, Arben

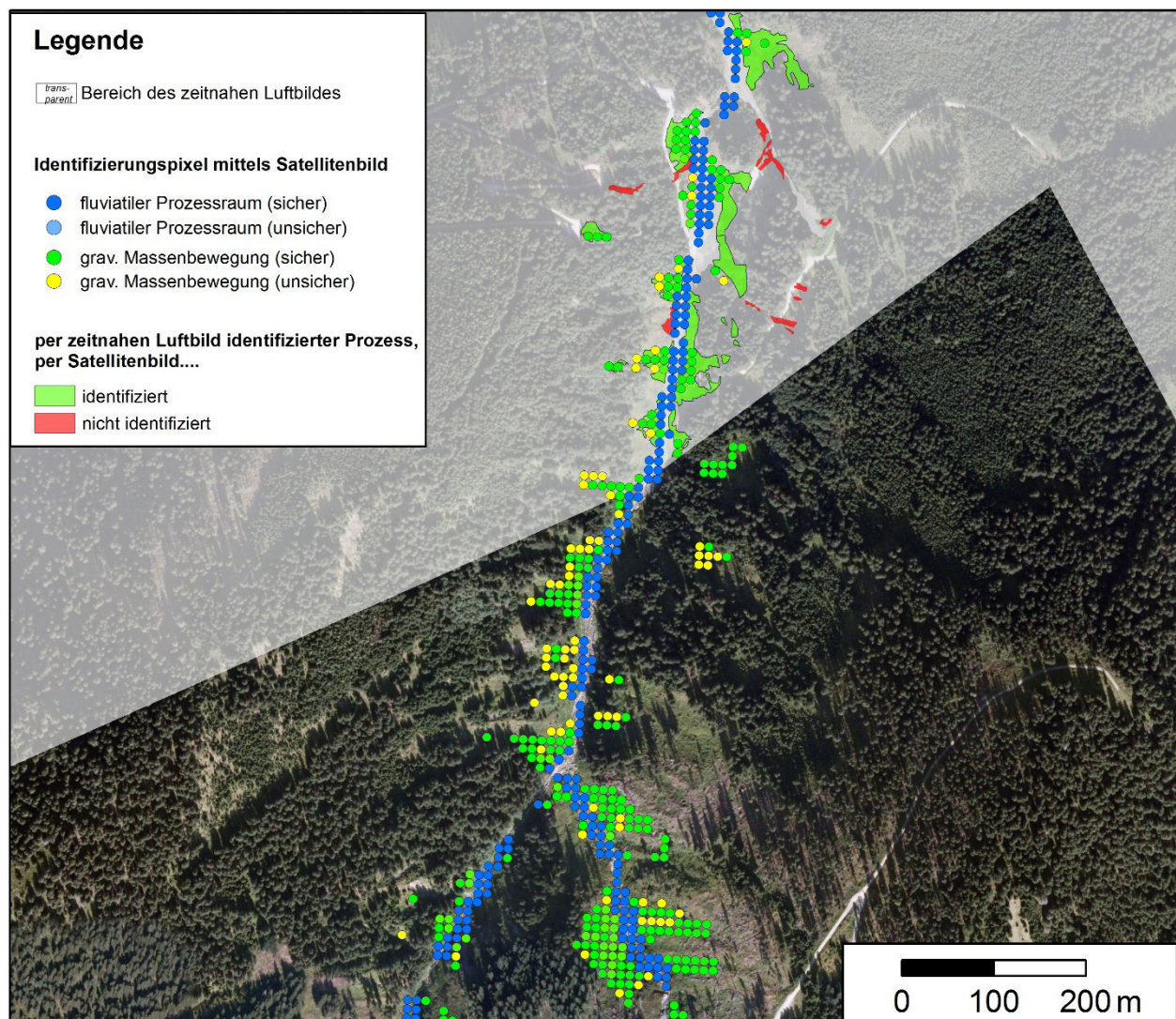
*Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien*

In einem gebirgigen Land wie Österreich ereignen sich vielerorts und immer wieder gravitative Massenbewegungen. Diese Prozesse, vor allem jene der Prozessgruppen Gleiten/Rutschen und Fließen (z.B. Hangmuren), können insbesondere in Folge erhöhter Vorbefeuchtung des Untergrundes und intensiver, über mehrere Tage andauernder regionaler Niederschläge sehr zahlreich sein und insbesondere in Siedlungsräumen und entlang von Infrastrukturbauten (z.B. Verkehrswege, Versorgungsleitungen) große Schäden verursachen, fallweise sogar Menschenleben fordern. Hinzu kommen oft die durch fluviatile Prozesse (Überflutung und Vermurung) bedingten Gefahren und Schäden. In solchen Katastrophenregionen ist es im Rahmen des Katastrophenmanagements sehr wichtig, rasch einen Überblick zur Gesamtsituation sowie zu den schadens- und gefahrenbringenden Prozessen zu erhalten. Darauf fußen alle Planungen hinsichtlich der Art und Anzahl der erforderlichen Einsatzkräfte, deren sinnvolle Disposition und möglichst risikofreier Einsatz vor Ort, sowie des adäquaten Schutzes der betroffenen Bevölkerung.

Auch nach einer Katastrophe sind möglichst vollständige Informationen sowohl zu solchen aktuellen Prozessen, als auch zu Prozessen der Vergangenheit zu akquirieren, um eine möglichst gute Prozessdatenlage für zielführende, sinnvolle Maßnahmen im Rahmen der Gefahrenprävention (z.B. Gefahrenzonenpläne, Schutzbauwerke, Raumplanung/Flächenwidmung) zur Verfügung zu haben (vgl. Bäk, et al. 2015, Tilch et al. 2015). Allerdings ist eine zeitnahe und nahezu vollständige Erfassung der aktuellen Prozesse mittels terrestrischer Gebietserkundung und –Kartierung nur mit entsprechend hohem Aufwand (personell, zeitlich) möglich und häufig auch mit Risiken für das Kartierungspersonal verbunden. Ferner sind heute oft jene Prozesse, welche sich in der Vergangenheit ereignet haben, aufgrund der Vergänglichkeit der Prozessphänomenologie nicht oder kaum noch zu identifizieren. Dies ist vor allem bei seicht gründigen Prozessen (Hangmuren, Lockergesteinsrutschungen) insbesondere in siedlungsnahen Bereichen festzustellen.

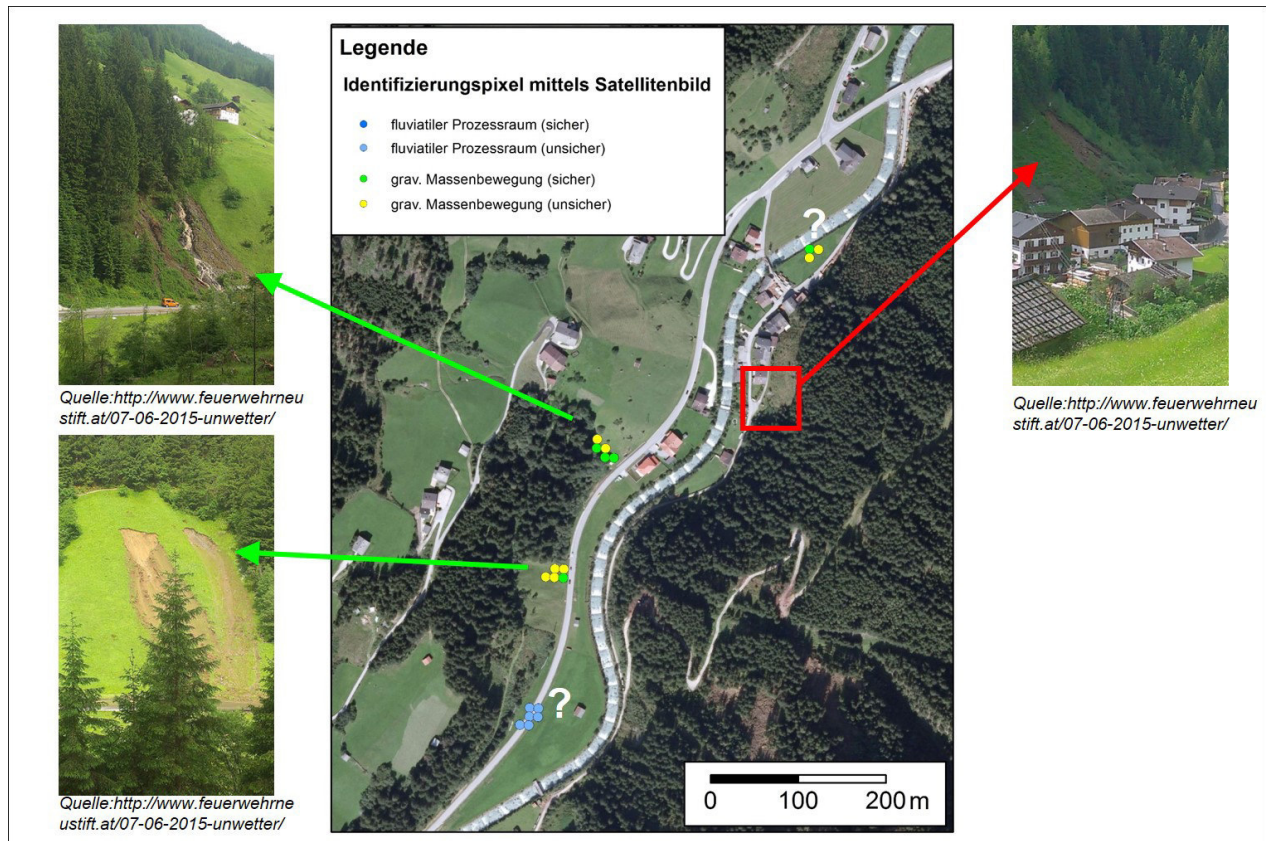
Vor diesem Hintergrund werden seitens der Geologischen Bundesanstalt neben Felderhebungen und -Kartierungen (z.B. Ereignisdokumentationen, ingenieurgeologische Landesaufnahme) auch verstärkt verschiedene Fernerkundungsmethoden basierend auf Luftbildern, Satellitendaten (vgl. Abb. 1 und 2, Tilch 2014, Vecchiotti & Tilch 2015, Vecchiotti et al. 2016) und LIDAR-Daten eingesetzt. Das wesentliche Ziel

besteht darin, einen möglichst umfassenden Kenntnisstand zu den gravitativen Massenbewegungen der Gegenwart und der Vergangenheit zu erhalten.



**Abbildung 1:** Die mittels halbautomatischer Auswertung von Satellitenbildern (Spot5-Take5) erzielten sicheren und unsicheren Prozesspixel (farbige Punkte siehe Legende) im südlichen Bereich der Katastrophenregion „Sellrain 2015“. Für einen Methodenvergleich sind auch jene Prozessinformationen dargestellt, welche mittels visuell-kognitiver Auswertung der zeitnah zur Katastrophe und räumlich begrenzten verfügbaren Luftbilder erzielt wurden. Die mittels Luftbildauswertung abgegrenzten Prozessräume sind entsprechend einer positiven oder negativen Identifizierung mittels Satellitenbildauswertung farblich unterschiedlich dargestellt (grüne und rote Flächen).

Im Rahmen dieses Beitrages werden die von der Geologischen Bundesanstalt angewendeten Fernerkundungsmethoden und eine Auswahl der in verschiedenen Regionen Westösterreichs (u.a. Katastrophengebiete „Sellrain 2015“ und „Bregenzer Wald 2005“) erzielten Prozessinformationen vorgestellt sowie die methodenspezifischen Potentiale/Limitierungen und Vor-/Nachteile – auch unter der Einbeziehung anderer Informationsquellen (Recherchen [vgl. Abb. 2], Felderhebungen) - diskutiert.



**Abbildung 2:** Mittels halbautomatischer Auswertung von Satellitenbildern (Spot5-Take5), welche gleichen Datums wie jene sind, die für die Katastrophenregion „Sellrain 2015“ verwendet wurden (vgl. Abb. 1), wurden u.a. auch Prozesse (farbige Punkte, siehe Legende) im Stubaital (südlich Neustift) identifiziert. Dies läßt auf einen ähnlichen Zeitrahmen der Prozessabläufe schließen. Aufgrund recherchierter weiterer Informationsquellen konnte der zeitliche Konnex bestätigt werden, jedoch wurden mittels Satellitenbilddauswertung einige Prozessräume im Stubaital nicht identifiziert (roter Bereich und Abb. oben rechts) und es wurden auch Prozessräume identifiziert, für die bisher keine validierenden Informationen vorliegen (Markierung mit „?“).

### Literatur:

Bäk, R., Birngruber, H., Brauner, M., Braunstingl, R., Gasperl, W., Glade, T., Hagen, Kanonier, A., K., Kociu, A., Krause, M., Laimer, H.J, Mattle, A., Melzner, S., Mölk, M., Orlitsch, S., Ortner, R., Pomaroli, G., Preh, A., Promper, C., Reiterer, A., Rudolf-Miklau, F., Schwarz, L., Seher, W. (2015): Risikomanagement für gravitative Naturgefahren in der Raumplanung – Fachliche Empfehlungen. In: ÖROK (Hrsg.): Risikomanagement für gravitative Naturgefahren in der Raumplanung. – Wien.(= ÖROK-Schriftenreihe Nr. 193).

Tilch, N. (2014): Identifizierung gravitativer Massenbewegungen mittels multitemporaler Luftbilddauswertung in Vorarlberg und angrenzender Gebiete.- Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 154/1-4: 21-39, Wien.

[[https://opac.geologie.ac.at/wwopacx/wwopac.ashx?command=getcontent&server=images&value=JB1541\\_021\\_A.pdf](https://opac.geologie.ac.at/wwopacx/wwopac.ashx?command=getcontent&server=images&value=JB1541_021_A.pdf)]

Tilch, N., Schwarz, L., Kociu, A., Proske, H., Bauer, Ch., Hagen, K., Klebinder, K., Lang, E., Andrecs, P., Schmid, F., Ribitsch, R., Hermann, S., Loizenbauer, J., Pistotnik, G. (2015): Gefahrenprävention – von Katastrophen für die Zukunft lernen und Planungsgrundlagen schaffen.- IN: SCHUSTER, R. & ILICKOVIC, T. (2015): Geologie der Kartenblätter GK50 ÖK 103 Kindberg und ÖK 135 Birkfeld.- Tagungsband der Arbeitstagung 2015 der Geologischen Bundesanstalt: S. 155-160; Mitterdorf im Müürztal (Stmk).

[[https://www.geologie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/dokumente/pdf/poster/poster\\_2015\\_ata\\_gba\\_tilch\\_etal.pdf](https://www.geologie.ac.at/fileadmin/user_upload/dokumente/pdf/poster/poster_2015_ata_gba_tilch_etal.pdf)]

Vecchiotti, F., Tilch, N. (2015): The use of TERRA-ASTER satellite as a simulator of Sentinel-2 mission for landslide detection.- Conference of the Geological Remote Sensing Group “Challenges in Geological Remote Sensing”, 9.-11.12.2015, book of abstracts: p 62, Frascati (Rome) Italy.

Vecchiotti, F., Tilch, N., Haberler, A. (2016): The use of SPOT5 (Take 5) for Landslide Detection in Preparation for the Arrival of SENTINEL-2 Satellite. Proceedings of ESA Living Planet Symposium 2016, 09.-13.05.2016; Prague.

**Freitag 21. Oktober 2016**

**09:00-09:30**

## **Die Karstentwässerung des Tennengebirges**

### **Morphogenetische Untersuchungen eines Karstaquifers am Beispiel des Tennengebirge- Nordrandes**

Mag. Wolfgang Gadermayr

geo<sup>2</sup> zt gesmbh, Almuferweg 8, 5400 Hallein; [gadermayr@salzburg.co.at](mailto:gadermayr@salzburg.co.at)

Das Tennengebirge im Bundesland Salzburg stellt mit einer Fläche von etwa 92 km<sup>2</sup> eines der größten zusammenhängenden Karstgebiete von Österreich dar und wird von den höhlenkundlichen Vereinen in Salzburg seit dem frühen 20. Jahrhundert erforscht. Die Karststöcke des Tennen- und Hagengebirges am Südrand des Salzburger Beckens bilden bedeutende Wasservorkommen für möglich zukünftige Trinkwasserversorgungen des Salzburger Ballungsraumes.

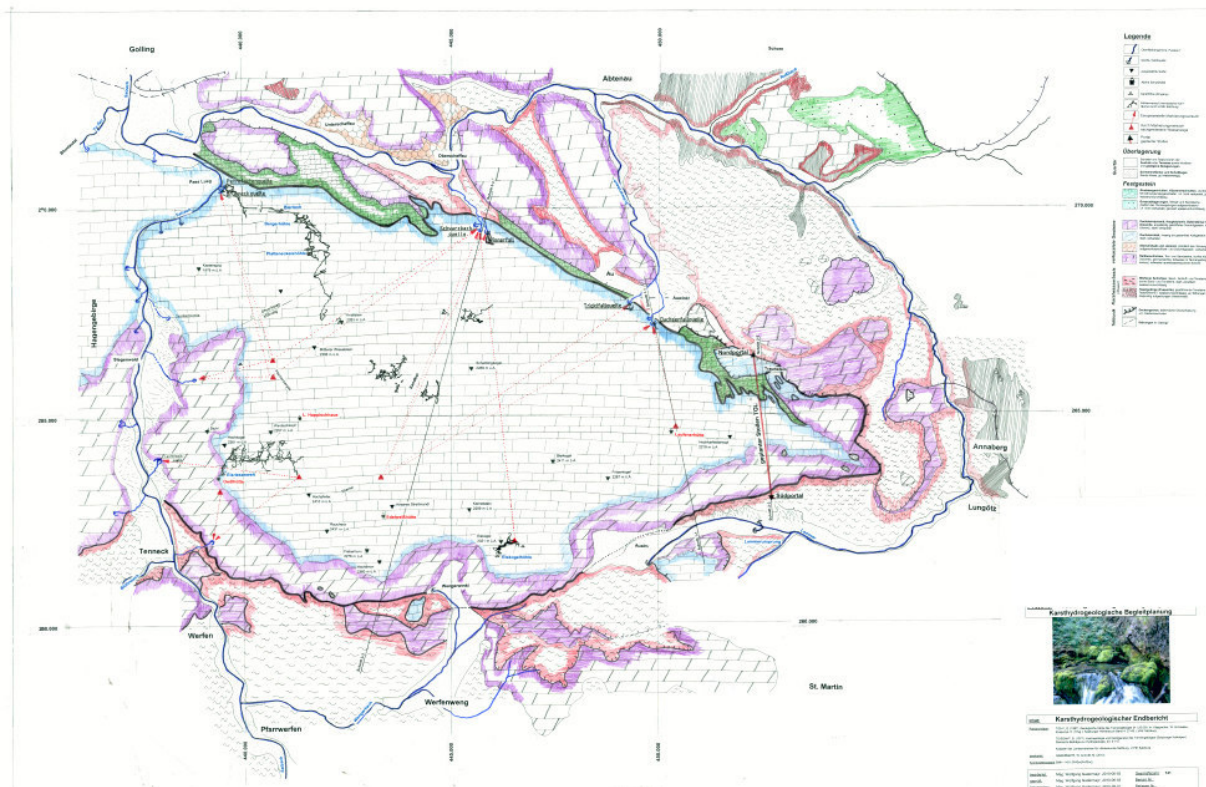
Bessere Kenntnisse über die Lage und Ausbildung der unterirdischen Karstformen sind für Planungen von Tiefbauten wie auch für die Sicherung von Wasservorkommen von elementarer Bedeutung.

Die karsthydrogeologischen Untersuchungen bestehenden einerseits aus den ehrenamtlichen Forschungstätigkeiten der Höhlenforschung und andererseits aus Quellmessungen und hydrogeologischen Kartierungen. Die Ergebnisse dieser Erkundungen dienen dem öffentlichen Interesse und sind Grundlage für die Beurteilung der Herkunft der Wässer sowie für Tiefbauten (z.B. Stollen- und Tunnelbau) in Karstgebieten.

im Tennengebirge sind über 1.000 Höhlen erforscht und vermessen. Die Forschungen werden ehrenamtlich von den Mitgliedern des Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg sowie von ausländischen Forschungsexpeditionen durchgeführt. Die Unterlagen werden im zentraler Höhlenkataster des Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg gesammelt.

Das Tennengebirge entwässert ausschließlich unterirdisch zu den großen Karstquellen an der Nordseite des Gebirges, die unterirdischen Abflusswege wurden durch Markierungsversuche (Touissant 1971, Brandecker 1979) erkundet. Diese Karstquellen weisen starke Schüttungsschwankungen auf, wobei die Schüttung in winterlichen Niederwasserperioden auf wenige Liter/Sekunde abfällt, steigt diese während der Schneeschmelze und nach starken Regenfällen auf mehrere m<sup>3</sup>/Sekunde an.

**Abb. 1:** Karsthydrogeologische Karte, aus Gadermayr 2010.



### **Geologisch- tektonischer Aufbau**

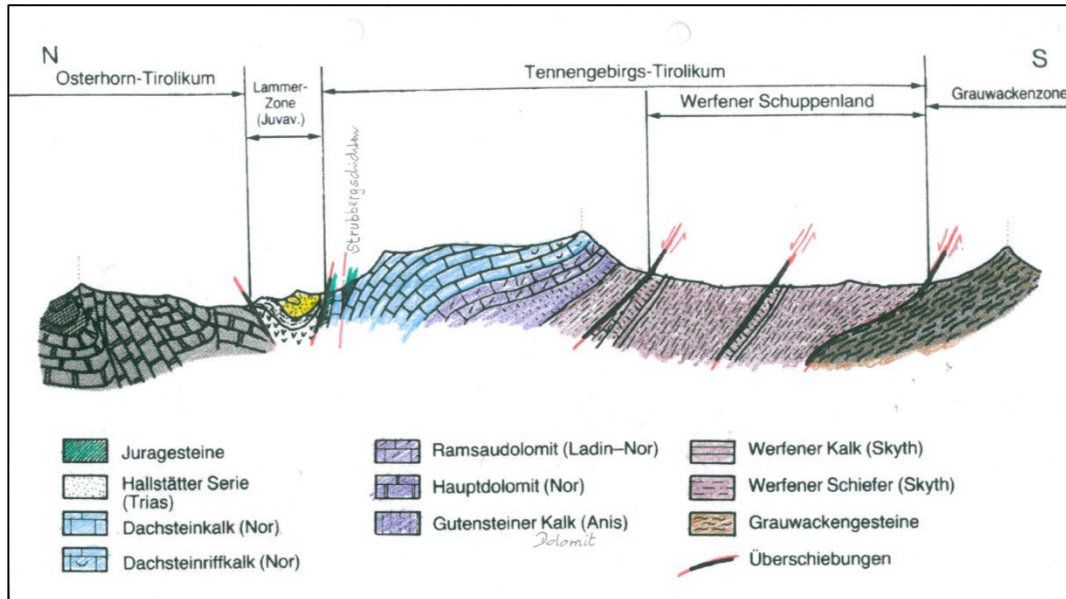
Das Tennengebirge wird von den Kalk- und Dolomitgesteinen der Tirolischen Decke aufgebaut, wobei das Zentralplateau aus einer etwa 1800 m mächtigen Abfolge von Dachsteinkalk besteht. Im Liegenden treten Dolomitgesteine aus Dachstein- und Ramsaudolomit auf, welche in die wasserundurchlässigen Gesteine der Werfener Schichten überleiten.

Im Hangenden treten geringmächtige Ablagerungen von wasserundurchlässigen Mergeln der „Strubberschichten“ auf, welche tektonisch verstellt den Dachsteinkalk „schürzenförmig“ bedecken.

Der Gebirgsbau ist grundsätzlich nordfallend, an der nordöstlichen Seite ist eine „Stirnabbeugung“ der Gesteinsschichten erkennbar, welche steiler als die Geländeoberkante unter das Talbecken von Abtenau führt, welche das Tennengebirge tektonisch von den juvaischen Gesteinen der „Lammerzone“ trennt.



**Abb.2:** Geologischer Schnitt durch das Tennengebirge, PLÖCHINGER, ergänzt. In der Karte ist deutlich erkennbar, dass die Strubbergsschichten als hangendes Schichtglied den verkarsteten Dachsteinkalk an der Nordflanke schürzenartig bedecken und somit als wasserundurchlässige Deckschicht auftreten.



### Verkarstungserscheinungen

Die oberirdischen Karstformen (Ektokarst) wird durch die Dolinen, Trockentäler und Karrenformen gekennzeichnet, wobei über ca. 1.800 m keine nennenswerten Bodenbildungen auftreten. Die anfallenden Niederschlags- und Schmelzwässer versickern in den zahlreichen Karstspalten und Schwinden.

**Foto:** Karsthochfläche am Pitschbergtal.



Die unterirdische Entwässerung folgt durch die zahlreichen Spalten als korrosiv geweitete Trennflächen in unterirdische Schächte und Canyons in denen das Wasser weitgehend vertikal abfließt. Diese Schächte und Canyons sammeln das Wasser und erreichen bis zu 400 m tiefe Direktschächte. Die erforschten und vermessenen Schacht- Canyonsysteme sind über 1000 Meter tief verfolgbar und erreichen an mehreren Stellen eine Siphonzone, welche den „Karstwasserspiegel“ markiert.

Die ungesättigte Karstzone wird als „vadose Zone“ bezeichnet, darunter folgt die „phreatische Zone“, in welcher alle Hohlräume wassergefüllt sind und sich so einer Erforschung entziehen.

**Foto:** Aktiver Wasserlauf in der Brunneckerhöhle (aktiver Canyon).



Neben den aktiven (wasserführenden) Höhlenteilen treten auch zahlreiche, meist horizontal gebundene, Höhlenteile auf, deren Genese offensichtlich wesentlich älter ist und als „trockene Gallerien“ erhalten sind. Diese unterirdischen Hallen und Gangsysteme erreichen oft mehrere Kilometer erforschter Ganglänge und die Hallen Kubaturen von mehreren tausend m<sup>3</sup>. Diese Krastformen sind teilweise von jüngeren tektonischen Prozessen überprägt.

**Foto:** „Pfeilerbruch“ im Altherrenlabyrinth.



Die Eisriesenwelt mit über 40 Kilometer erforschter und vermessener Gesamtlänge ist ein Beispiel dieser älteren Höhlensysteme.

Ein wesentlicher Punkt für die Beurteilung der Entwässerungssysteme ist das **Alter der Verkarstung** in Verbindung mit der tektonischen Überprägung des Gebirgsmassivs und seiner Auswirkungen auf die Karstwasserdynamik.

### **Quellmessungen**

Die Quellen an der Nordostseite des Tennengebirges zeigen einen deutlichen Jahrgang der Wassertemperatur und der elektrischen Leitfähigkeit, wobei mit dem Einsetzen der Schneeschmelze zunächst ein deutlicher Anstieg der Wassertemperaturen erkennbar ist, welcher auf ein „Auspressen“ des tieferen Karstwasseranteiles zurückgeführt wird. Dies wird auf ein größeres Karstwasserreservoir zurückgeführt, welches unter den heutigen Talboden reicht oder reichen kann.



Durch die Messungen ergaben sich weitere Hinweise, dass an der Nordseite des Tennengebirges die Verkarstung auch **unter** den Talboden reicht, was schließlich auf tektonische Prozesse, nach dem Einsetzen der unterirdischen Verkarstung zurückgeführt wird. Die tertiären Augensteinfüllungen in den Karsthöhlen sind ein Indikator für die Frühentwicklung.

Aus derzeitiger Sicht scheint es sehr wahrscheinlich, dass die Karstgenese des Tennengebirges, gemeinsam mit der tektonischen Überprägung stattgefunden hat und somit auch Teile des Gebirgsstockes, samt der Verkarstung, unter die heutigen Vorfluthöhen gezogen wurden.

Diese Verhältnisse sollten auch bei den Auswertungen und Überlegungen der anderen Karstmassive der Nördlichen Kalkalpen einbezogen werden.

**Foto:** Auslesung der Datensammler in der Winnerfallhöhle.



## Literatur:

Brandecker, H. (1979): Hydrogeologisches Gutachten über die Grundwasserreserven im südlichen Salzburger Becken (Salzach-Lammerspitz und Bluntautal). 70 S., 2 Beil., im Auftrag Wasserverband Salzburger Becken, Salzburg.

Brandecker, H. & Maurin, V. (1990): Trinkwasserreserven in den Poren und Karstaquiferen. – In: Plöchinger, B. (Hrsg.): Erläuterung zur geologischen Karte, Blatt 94, Hallein, Geologische Bundesanstalt Wien, Wien.

DACHS E. & KLAPPACHER, W. & PAVUZA, R.: Strategisch wichtige Wasserressourcen im Tennengebirge: Geologische und hydrologische Fakten.- CIPRA Österreich, Tagungsband Karstwasser08.- 2008.

GADERMAYR, W.: TGL Tauerngasleitung, Abschnitt Tennengebirgsquerung; Karsthydrogeologische Begleitplanung; Unterlagen für die UVE Einreichung; Unveröff. Endbericht, GZ 741 vom 01.08.2011.

HÄUSLER, H. (1979): Zur Geologie und Tektonik der Hallstätter Zone im Bereich des Lammertals zwischen Golling und Abtenau (Salzburg). – Jb. Geol. Bundesanst., Bd. 122 (1), S 75-141, Wien.

Keck, O. (1973): Geologische Kartierung und karsthydrogeologische Untersuchung des Tennengebirgsnordrandes (Salzburger Kalkalpen). – Unveröff. Diplomarbeit Universität Karlsruhe, 117 S., Karlsruhe.

KLAPPACHER, W. & KNAPCZYK, H. (1985): Salzburger Höhlenbuch Bd. IV. – Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg. 550 S, Salzburg.

KLAPPACHER, W. (1996): Salzburger Höhlenbuch Bd. VI. Ergänzungsband– Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg. 646 S, Salzburg.

Kodratowicz, R. (2004): Achievements in Tennengebirge Ost. Polish Cavin 2001-2005. Published on the occasion of 14th International Speleological Congress.

Maurin, V. & Zötl, J. (1959): Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. – Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 10/11: 1-184.

MAURIN, V. (1978): Bericht über den kombinierten Markierungsversuch 1977/78 im Tennengebirge, Graz.

Tichy, G., (1985): Geologische Übersicht (des Tennengebirges). – In: Klappacher, W. & Haseke-Knapczyk, H. (Hrsg.): Salzburger Höhlenbuch, Band 4: 27-45, Salzburg.

Tollmann, A. (1976): Der Bau der Nördlichen Kalkalpen. Orogene Stellung und regionale Tektonik. –Wien (Franz Deuticke).

Toussaint, B. (1971): Hydrogeologie und Karstgenese des Tennengebirges (Salzburger Kalkalpen). – Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 23: 5-115.

Völkl, G. (1985): Karsthydrologie (des Tennengebirges). In: Klappacher, W. & Haseke-Knapczyk, H. (Hrsg.): Salzburger Höhlenbuch, Band 4: 46-49, Salzburg.

Freitag 21. Oktober 2016

09:30-10:00

## Reliktische Blockgletscher – komplexe Aquifere in alpinen Einzugsgebieten

Gerfried Winkler

*Institut für Erdwissenschaften, Nawi Graz Geozentrum, Karl-Franzens-Universität Graz*

### Abstract

Relict rock glaciers are wide spread periglacial sediment accumulations in the Austrian Alps (more than 3000 such landforms) and represent heterogeneous aquifer systems in alpine catchments. Investigations conducted at the relict Schöneben Rock Glacier in the Styrian part of the Niedere Tauern Range indicate a multi layered aquifer system. The fine grained base layer, up to 15 m thick, with a hydraulic conductivity of about  $5 \times 10^{-05}$  m/s reflects a flow component with a retention time of several months. The coarse grained main layer with a hydraulic conductivity of about  $5 \times 10^{-02}$  m/s may reach a thickness up to several tens of meters and provide a fast flow component with retention times between a few hours and a few days. A coarse blocky layer (blocks up to 2 m of diameter) covers the rock glacier with a thickness of several meters. At regional scale a simple rainfall-runoff model was applied showing that the contribution of the discharge draining the rock glacier catchments is temporally much higher (more than four times) than its areal share. These findings highlight the importance of these landforms for the flow behavior of alpine catchments and for the water resources management.

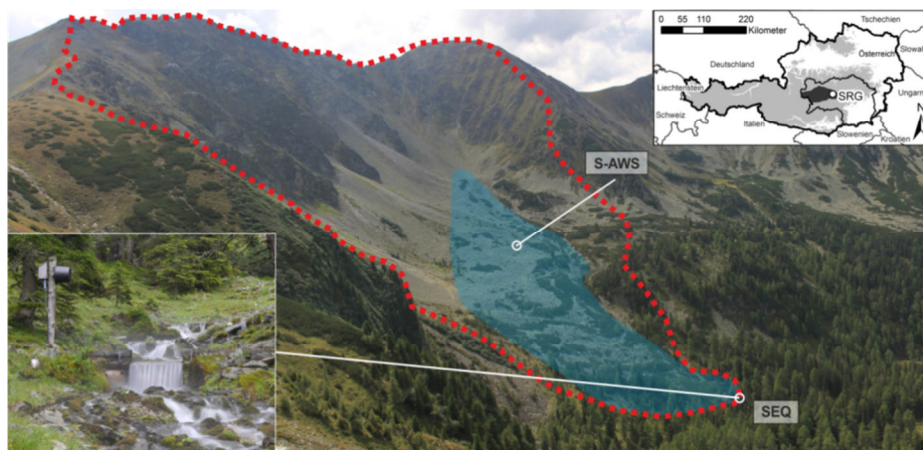
### Einleitung

Alpine Einzugsgebiete sind durch periglaziale Landschaftsformen wie bspw. Blockgletscher geprägt. Diese Landschaftsformen sind im österreichischen Alpenraum mit bisher über 5000 ausgewiesenen Blockgletschern weit verbreitet (eine Übersicht hierfür liefern Krainer & Ribis 2012 und Kellerer-Pirklbauer et al. 2012). Sie können in intakte (aktiv und inaktiv) und reliktsche (fossile) Blockgletscher untergliedert werden (z.B. Barsch, 1996), wobei derzeit ca. 3000 reliktsche Blockgletscher ausgewiesen sind. Hiervon liegen mehr als 1700 in Tirol (Krainer & Ribis, 2012) und etwa 1300 in Zentral- und Ostösterreich (Kellerer-Pirklbauer et al., 2012), davon 554 in den steirischen Niederen Tauern (Winkler et al., 2016a).

Der Klimawandel bedingt einen Anstieg der alpinen Permafrostuntergrenze, was zum Abschmelzen des Eises in intakten Blockgletschern führt und somit die Zahl der reliktschen Blockgletscher künftig erhöhen wird. Reliktsche Blockgletscher als Lockersedimentakkumulationen in alpinen Einzugsgebieten ohne Permafrost repräsentieren Grundwasserleiter, an die bspw. in den steirischen Niederen Tauern Quellen mit einer jährlichen mittleren Schüttung von über 10 l/s gebunden sind (Untersweg & Schwendt, 1995,1996). Die über den Blockgletscherquellen liegenden hydrologischen Einzugsgebietsflächen umfassen bspw. mehr als 50% der Seckauer Tauern und ca. 27% der gesamten steirischen Niederen Tauern über 2000 m Seehöhe (Winkler et al. 2016a, b). Daraus resultieren mehrere wasserwirtschaftliche Fragen in Bezug auf ihre Speicherfähigkeit und Abflusssdynamik und ihre Auswirkung auf unterstromige Oberflächengerinne. Diese und Fragen zu ihrem internen Aufbau wurden in den letzten Jahren in den steirischen Niederen Tauern untersucht und die Ergebnisse werden in diesem Beitrag zusammenfassend vorgestellt.

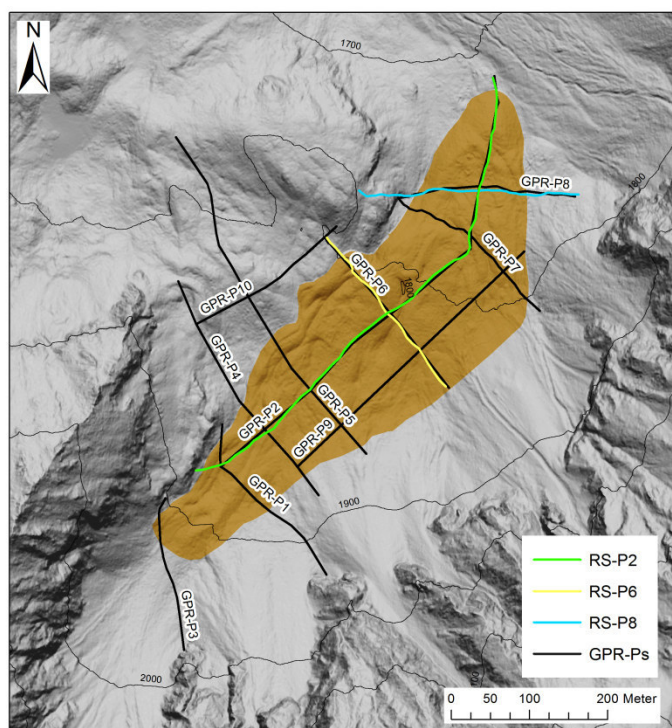
## Reliktische Blockgletscher: heterogene, komplexe Aquifere

Erste wasserwirtschaftliche Untersuchungen in den steirischen Niederen Tauern in den 1990er Jahren wiesen bereits darauf hin, dass die Blockgletscherquellen ein Schüttungsverhalten ähnlich jenen von Karstquellen zeigen (Gödel, 1993; Untersweg & Schwendt, 1995, 1996). Die Schüttungsschwankungen der Quellen lagen zwischen wenigen Litern und einigen 100 Litern pro Sekunde. Die Schüttungsquotienten ( $Q_{max}/Q_{min}$ ) schwankten zwischen 20 und 100. Diese Grundlagen deuteten bereits darauf hin, dass diese Landschaftsformen komplexere Grundwasserleiter mit entsprechender Entwässerungsdynamik bilden.



**Abbildung 1:** Lage und Übersicht des reliktschen Schöneben-Blockgletschers, SEQ Pegelmessstation der Schöneben-Blockgletscherquelle, S-AWS Standort der automatische Wetterstation (modifiziert nach Winkler et al., 2016a)

Die Entwässerungsdynamik und das Speicherverhalten sowie der interne Aufbau reliktscher Blockgletscher wurden am Schöneben-Blockgletscher (SBG) (Abbildung 1) am Ostrand der steirischen Niederen Tauern in den letzten Jahren untersucht (z.B. Pauritsch et al., 2015; Wagner et al., 2016; Winkler et al., 2016 a,b). Hierfür wurden Analysen des Schüttungsverhaltens (Hydrographanalysen) und der natürlichen Tracer Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit und stabile Isotope ( $\delta^{18}O$  und  $\delta^2H$ ) durchgeführt. Zwei Markierungsversuche mit fluoreszierenden Farbstoffen in den Jahren 2009 und 2012 ergänzten die Untersuchungen. Für die Erfassung der Geometrie und des internen Aufbaus des Aquifers wurden zusätzlich 3 Refraktionsseismikprofile herangezogen (Abbildung 2). Die Messungen von 10

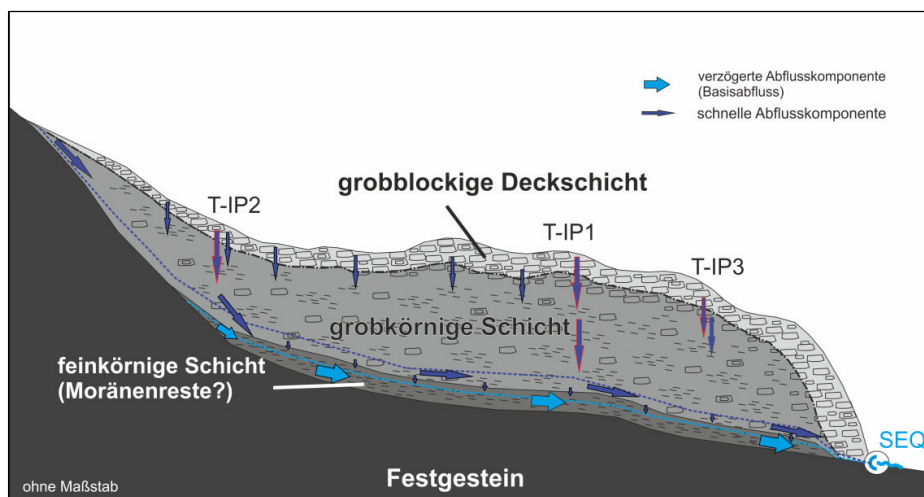


weiteren Georadarprofile lieferten leider über größere Bereiche keine eindeutigen Ergebnisse, weshalb sie nur im eingeschränkten Maße für die Interpretation verwendet werden konnten (Lichtenegger et al., 2014).

**Abbildung 2:** Ausdehnung des reliktschen Schöneben-Blockgletschers sowie die Lage der Profile der geophysikalischen Untersuchungen; RS-P2 bis RS-P8 Refraktionsseismikprofile, GPR-P1 bis GPR-P10 Georadarprofile (Winkler et al., 2016b)



Die kombinierten Auswertungen ergaben ein Abflussverhalten mit einer kurzfristig gespeicherten (mehrere Stunden bis Tage) und einer längerfristig gespeicherten (mehrere Monate) Abflusskomponente. Daraus konnte in Ergänzung mit den Ergebnissen der geophysikalischen Erkundungen ein hydrogeologisches konzeptionelles Modell entwickelt werden (Abbildung 3).



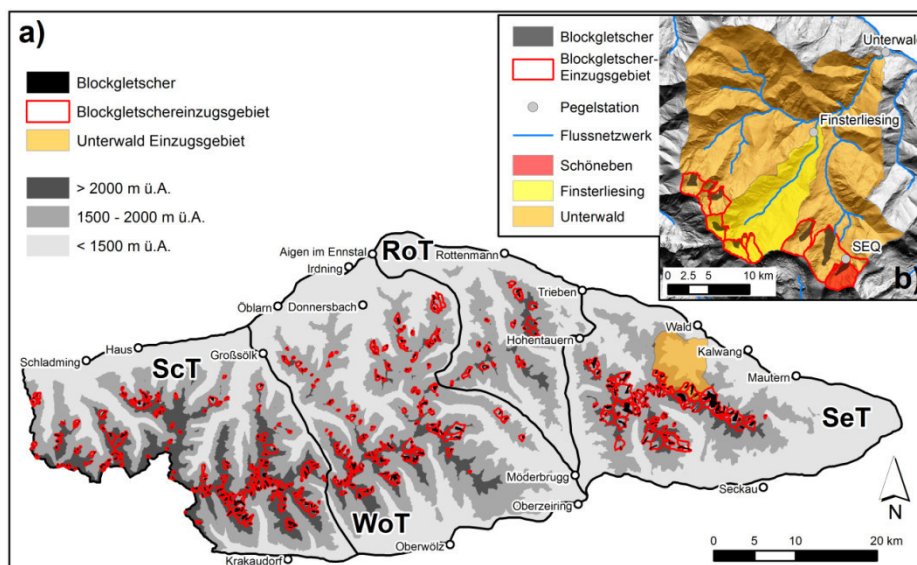
**Abbildung 3:** Hydrogeologisch konzeptionelles Modell des reliktschen Schöneben-Blockgletschers (SBG, Längsprofil) mit einem dreischichtigen Aufbau (nicht maßstabsgetreu). T-IP1 – T-IP3 = Tracereingabestellen; SEQ = Schöneben-Blockgletscherquelle. Längserstreckung des SRG ca. 700 Meter, Mächtigkeit des SBG von einigen Metern bis einige Zehnermeter (modifiziert nach Winkler et al., 2016a).

Es zeigt sich eine mehrere Meter mächtige, sehr grobblockige Deckschicht (Blöcke bis 2 m Durchmesser), einem sandig bis blockigen, hydraulisch sehr gut durchlässigen Schuttkörper mit einer Mächtigkeit von mehreren Zehnermetern und einer feinkörnigen (schluffig bis feinsandigen) hydraulisch deutlich geringeren Basis, die eine Mächtigkeit bis ca. 15 m aufweist (Winkler et al., 2016a). Die Basisschicht ermöglicht eine hohe Speicherkapazität und spiegelt sich in der länger gespeicherten Abflusskomponente wider. Die hydraulische Durchlässigkeit liegt ungefähr bei  $5 \times 10^{-05}$  m/s. Die rasche Abflusskomponente wird durch die überlagernden grobklastischen Schichten ermöglicht, die um ca. 3 Größenordnungen besser durchlässig sind und somit ein laterales Fließen zur Quelle am Kontakt zu der deutlich geringer durchlässigen Basisschicht ermöglicht. Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass Hangneigung und Topographie der

darunter liegenden Festgesteinsoberkante ebenfalls einen Einfluss auf die Entwässerungsdynamik ausüben (Pauritsch et al., 2015).

### **Was bedeutet das für unterstromige Gerinne?**

Die Speicherwirksamkeit der Blockgletscher und ihr Einfluss auf das Abflussverhalten unterstromiger Gerinne wurden im regionalen Maßstab mit einem einfachen räumlich nicht aufgelösten (lumped parameter) Niederschlags-Abflussmodell (GR4J+, modifiziert nach Perrin et al., 2003) untersucht (Wagner et al., 2016). Ein regionaler Überblick der steirischen Niederen Tauern und ihrer Blockgletscher und deren Einzugsgebiete sind in Abbildung 4a dargestellt. Die untersuchten Einzugsgebiete Schöneben-Blockgletscherquelle, Finsterliesing und Unterwald und die darin befindlichen reliktschen Blockgletscher sind in Abbildung 4b abgebildet. Die Eingangsdaten für die Modellierung waren Niederschlag und Lufttemperatur und die Kalibration erfolgte an den gemessenen Abflussganglinien der Pegelstationen Schönebenquelle, Finsterliesing und Unterwald. Die Daten für das Einzugsgebiet des Schöneben-Blockgletschers wurden mittels einer automatischen Wetterstation im Testgebiet (S-AWS in Abbildung 1) für den Zeitraum 2011 – 2015 generiert und die Daten für den regionalen Maßstab beruhen auf dem Schöner-Datensatz (Schöner & Dos Santos Cardoso, 2004). Detailinformationen in Bezug auf Vergleichbarkeit der Datensätze aufgrund der zeitlichen Differenz geben Wagner et al. (2016). In dem Niederschlags-Abflussmodell ist auch ein Schneemodul integriert, welches im Wesentlichen die Infiltration über die Lufttemperatur steuert, d.h. Infiltration kann nur bei Plusgraden erfolgen, ansonsten liegt Schnee als Zwischenspeicher vor (Wagner et al., 2016). Die Eigenschaften des Schöneben-Blockgletschers und die Erkenntnisse aus dessen Einzugsgebietsmodellierung mit GR4J+ wurden in einem Analogieansatz auf die andern Blockgletscher in den übergeordneten Einzugsgebieten (Finsterliesing und Unterwald) übertragen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Abflussanteil bei einer Modellierung auf Tagesbasis an den unterstromigen Pegelstationen von einem Drittel bis zu mehr als dem Vierfachen des Flächenanteils der übergeordneten Einzugsgebiete beträgt. Die Flächenanteile der Blockgletschereinzugsgebiete sind für Finsterliesing 15% und für Unterwald 12%. Die Abflussanteile bei der Pegelstation Finsterliesing schwanken zwischen 6% und 63% und bei der Pegelstation Unterwald zwischen 4% und 52% des Gesamtabflusses. Die höchsten Abflussanteile traten gegen Ende der Schneeschmelze und im Spätsommer auf.



**Abbildung 4:** a) Überblickskarte der steirischen Niederen Tauern inkl. der Subeinheiten Schladminger Tauern (ScT), Wölzer Tauern (WoT), Rottenmanner Tauern (RoT) und Seckauer Tauern (SeT), den Blockgletschern und den dazugehörigen orographischen Blockgletschereinzugsgebieten sowie dem orographischen Einzugsgebiet Unterwald. b) Orographische Einzugsgebiete Unterwald, Finsterliesing und Schöneben und die darin enthaltenen orographischen Blockgletschereinzugsgebiete (modifiziert nach Winkler et al., akzeptiert).

### Schlussfolgerungen – Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass reliktsche Blockgletscher nicht wie vermeintlich angenommen einfache homogene sondern komplexe heterogen aufgebaute Grundwasserleiter in alpinen Einzugsgebieten darstellen. Die interne Struktur und ihr Aufbau haben vor allem bei Fragestellungen in Bezug auf Stofftransport hohe Relevanz. Berücksichtigt man die Einzugsgebietsflächen, die über derartige Landschaftsformen entwässern (z.B. in den Sekauern Tauern über 50% der Fläche über 2000 m ü.A.), so zeigt sich, dass das Abflussverhalten wesentlicher Teile von Gebirgszügen wie bspw. der steirischen Niederen Tauern durch diese Grundwasserleiter beeinflusst sind. Die Niederschlags-Abflussmodellierungen zeigen, dass das Abflussverhalten der Blockgletscher temporär wesentliche Auswirkungen auf die unterstromigen Gerinnen hat, und der anteilige Abfluss weit über die rein flächenbezogenen Anteile der Blockgletscher im Einzugsgebiet hinausgeht (temporär bis über dem Vierfachen liegen). Ihre wasserwirtschaftliche Bedeutung zeigt sich als wichtige Grundwasserspeicher in alpinen Regionen, die auch in Trockenzeiten als Wasserressource zur Verfügung stehen, was zudem für das sensible Ökosystem in alpinen Regionen von hoher Bedeutung ist. Ihre Speicherfähigkeit hat aber auch eine Pufferfunktion zur Prävention von Hochwässern bei Starkniederschlagsereignissen.

### Referenzen

Barsch, D. (1996): Rock Glaciers: Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments. - Springer Series in Physical Environment 16, 331 S, Springer Verlag.

Gödel, S. (1993): Geohydrologie der Blockgletscher im Hochreichhart- Gebiet (Seckauer Tauern, Steiermark). – unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Wien.

Kellerer-Pirklbauer, A., Lieb, G.K., Kleinfelchner, H. (2012): A new rock glacier inventory in the eastern European Alps. - Austrian Journal of Earth Sciences, 105(2): 78-93.

Krainer, K., Ribis, M. (2012): A rock glacier inventory of the Tyrolean Alps (Austria). - Austrian Journal of Earth Sciences 105(2): 32-47.

Lichtenegger, F., Morawetz, R., Schreilechner, M. (2014): Geophysik Blockgletscher Kleinriechart. Unveröffentlichter Bericht, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH Resources, S.19, Leoben.

Pauritsch, M., Birk, S., Wagner, T., Hergarten, S., Winkler, G. (2015): Analytical approximations of discharge recessions for steeply sloping aquifers in alpine catchments. - Water Resources Research 51(11): 8729-8740.

Perrin, C., Michel, C., Andréassian, V. (2003): Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. - Journal of Hydrology, 279: 275-289.

Schöner, W., Dos Santos Cardoso, E. (2004). Datenbereitstellung, Entwicklung von Regionalisierungstools und einer Schnittstelle zu den regionalen Klimamodellen (Arbeitsbericht für den Zeitraum 1.11.2003 bis 30.9.2004). Projektbericht für das Projektjahr 1, Projekt reclip:more (Research for Climate Protection: Modell Run Evaluation) 44 pp, [http://foresight.ait.at/SE/projects/reclip/reports/report6\\_Regionalisierung\\_ZAMG.pdf](http://foresight.ait.at/SE/projects/reclip/reports/report6_Regionalisierung_ZAMG.pdf)

Untersweg T., Schwendt A. (1995): Die Quellen der Blockgletscher in den Niederen Tauern. - Bericht der wasserwirtschaftlichen Planung Steiermark Bd. 78, S. 46, Graz.

Untersweg T., Schwendt A. (1996): Blockgletscher und Quellen in den Niederen Tauern. - Mitte Österr Geol Ges 87:47-55

Wagner, T., Pauritsch, M., Winkler G. (2016): Impact of relict rock glaciers on spring and stream flow of alpine watersheds: Examples of the Niedere Tauern Range, Eastern Alps (Austria). - Austrian Journal of Earth Sciences, 109/1, doi: 10.17738/ajes.2016.0006.

Winkler, G., Wagner, T., Pauritsch, M., Birk, S., Kellerer-Pirklbauer, A., Benischke, R., Leis, A., Morawetz, R., Schreilechner, M.G., Hergarten, S. (2016a): Identification and assessment of flow and storage components of the relict Schöneben Rock Glacier, Niedere Tauern Range, Eastern Alps (Austria). - Hydrogeology Journal, 24, 937-953. DOI: 10.1007/s10040-015-1348-9

Winkler G., Pauritsch M., Wagner T. & Kellerer-Pirklbauer, A. (2016b): Grundwasserspeicherung und Entwässerungsdynamik reliktscher Blockgletscher. - Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung Steiermark, Bd. 87, S. 134, Graz.

Winkler, G., Wagner, T., Pauritsch, M., Kellerer-Pirklbauer A. (akzeptiert): Was kommt nach dem Permafrost? – Bedeutung reliktscher Blockgletschern auf das Abflussverhalten alpiner Einzugsgebiete. - Joannea-Geologie und Paläontologie.

Freitag 21. Oktober 2016

10:00-10:30

## Interagierende Fließsysteme in alpinen Aquiferen Herausforderung und Chance für Hydrogeologie und Wasserwirtschaft im Gebirge

Sylke Hilberg,

*Universität Salzburg Fachbereich Geographie und Geologie, Hellbrunnerstraße 34, 5020 Salzburg*

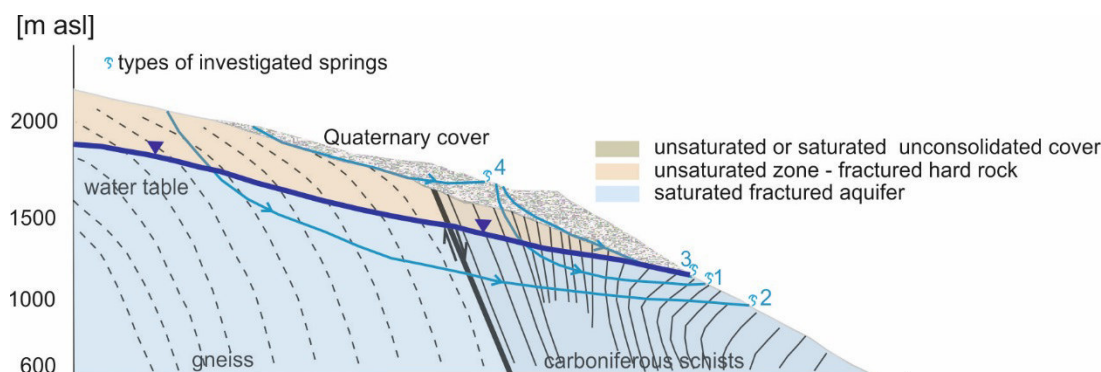
In alpinen Siedlungsräumen spielen Kluftaquifere eine wesentliche Rolle für die Trinkwasserversorgung. Begrenzte Flächenverfügbarkeit in engen alpinen Tälern, Nutzung und Ausbau der Wasserkraft sowie touristische und landwirtschaftliche Nutzung beeinträchtigen unter Umständen einen adäquaten Schutz der alpinen Grundwasserreservoirs. Überregionale Verkehrs- und Versorgungswege (Straßen, Tunnels, Pipelines, Leitungstrassen) stellen häufig bedeutende Eingriffe in die Aquifere dar. Die Aufgabe der alpinen Hydrogeologie ist es, in diesem Spannungsfeld aus Schutz- und Nutzungsbedürfnissen solide Beurteilungsgrundlagen über Einzugsgebiete, Verweilzeiten und Fließsysteme zu liefern.



**Abb. 1:** Quellhorizont im Zentralgneis des Tauernfensters am Reißbeck in Kärnten. In einem Quellhorizont treten nebeneinander Wässer aus, die grundsätzlich unterschiedlichen Fließwegen zugeordnet werden können und die daher bei der Beurteilung potentieller Beeinträchtigungen durch anthropogene Eingriffe auch unterschiedlich zu behandeln sind.

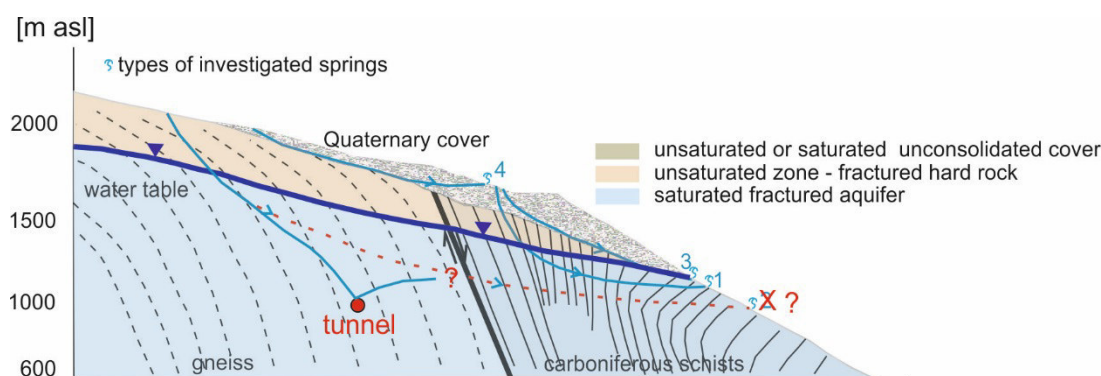
Alpine Kluftaquifere zeichnen sich durch anisotrope und inhomogene hydraulische Eigenschaften aus, die von den lithologischen und strukturellen Gegebenheiten der beteiligten Gebirgskörper gesteuert werden. Einfache Modelle, die sich an orografischen Einzugsgebieten orientieren, beschreiben die tatsächliche hydrogeologische Situation häufig nur unzureichend. Das Konzept interagierender Fließsysteme in verschiedenen räumlichen Skalen, das seit den 1950er von J. Toth (z.B. Toth, 1999) für große

Porenaquifere in Kanada entwickelt wurde, hat sich als ausgesprochen hilfreich bei der Interpretation verschiedenster Beobachtungen in alpinen Kluftaquifere erwiesen und ermöglicht vor allem eine umfassende Modellkonzept-basierte Interpretation qualitativer Beobachtungen (physio-chemische Parameter, Isotopensignaturen, biotische Komponenten).



**Abb. 2:** Konzeptmodell eines Festgesteinsaquifers mit verschiedenen nebeneinander auftretenden Fließsystemen (aus Hilberg et al., 2013).

Wie die Abbildung 2 zeigt, können Quellen, die entlang eines räumlich gut abgrenzbaren Quellhorizontes auftreten, generell verschiedenen Einzugsgebieten und Fließpfaden entstammen. Eine Zuordnung zu einem der vier hier schematisch dargestellten Fließpfade erfolgt auf Basis der Wasserbeschaffenheit. Abiotische Wasserinhaltsstoffe (physio-chemische Parameter und Isotopen) und deren vertiefte Interpretation mit Hilfe der hydrochemischen Modellierung aber auch die Betrachtung biotischer Parameter (Mikro- und Meiofauna) als natürliche Tracer ermöglichen eine Unterscheidung ansonsten sehr ähnlicher Quellwässer und damit ihre Zuordnung zu generell unterschiedlichen Infiltrationsgebieten und unterschiedlichen Fließsystemen. In Konsequenz können potentielle Gefährdungen durch anthropogene Eingriffe sehr viel präziser beurteilt, Gegenmaßnahmen sehr viel zielsicherer geplant werden, wie das schematische Beispiel in Abbildung 3 zeigt.



**Abb. 3:** Ein Tunnel im Einzugsgebiet der Quellaustritte wirkt sich nur auf jene Quellen aus, die auf ein Fließsystem in der berührten lithologischen Einheit zurückgehen. Alle anderen Quellen bleiben durch die Maßnahme unbeeinträchtigt – Schutz- oder Ersatzmaßnahmen können auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Anhand von Beispielen aus verschiedenen Gebieten der Ostalpen und unterschiedlichsten Fragestellungen werden interagierende Fließsysteme vorgestellt und gezeigt, wie natürliche Tracer zu deren Identifizierung und zur jeweiligen Problemlösung herangezogen wurden.

### Beispiel 1: Stollenbau im Zusammenhang mit der Errichtung eines Pumpspeicherkraftwerkes am Reißbeck (Kärnten)

Im Zusammenhang mit der Errichtung eines Druckstollens, innerhalb des Zentralgneises im südöstlichen Tauernfenster war die Frage der potentiellen Gefährdung zahlreicher Quellaustritte aus den orografisch tiefer liegenden Kalkglimmerschiefern zu klären. Ein großer Teil der unterhalb der Deckengrenze zwischen den beiden Einheiten austretenden Quellen dient der öffentlichen oder privaten Wasserversorgung. Eine vertiefte Untersuchung der physio-chemischen Parameter, im speziellen der Auswertung der CO<sub>2</sub>-Partialdrücke der Wässer in Kombination mit deren Kalzitsättigung ermöglichte eine detaillierte Zuordnung der Quellen zu Fließpfaden und eine deutliche Reduktion der erforderlichen Ersatzmaßnahmen.

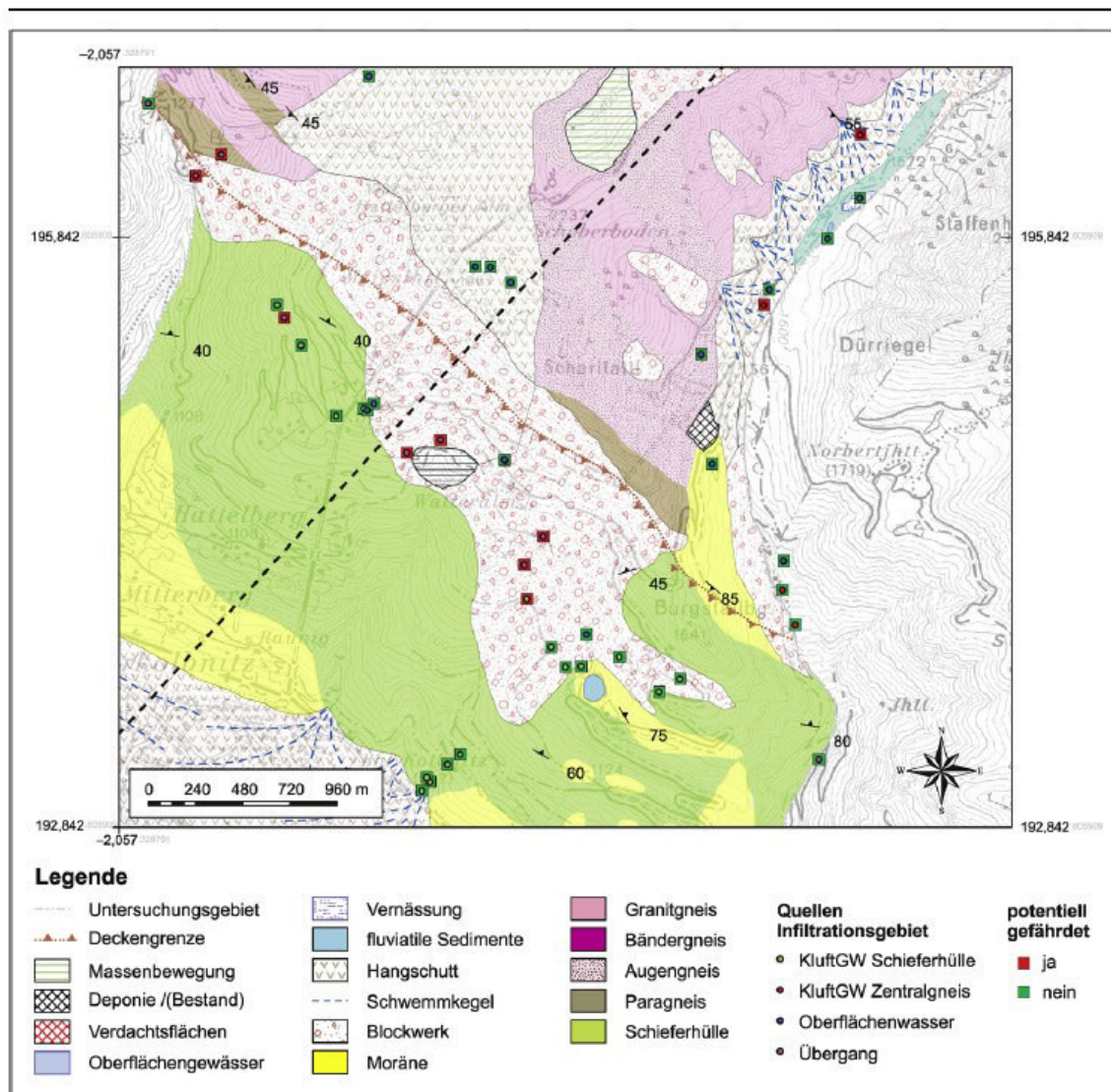
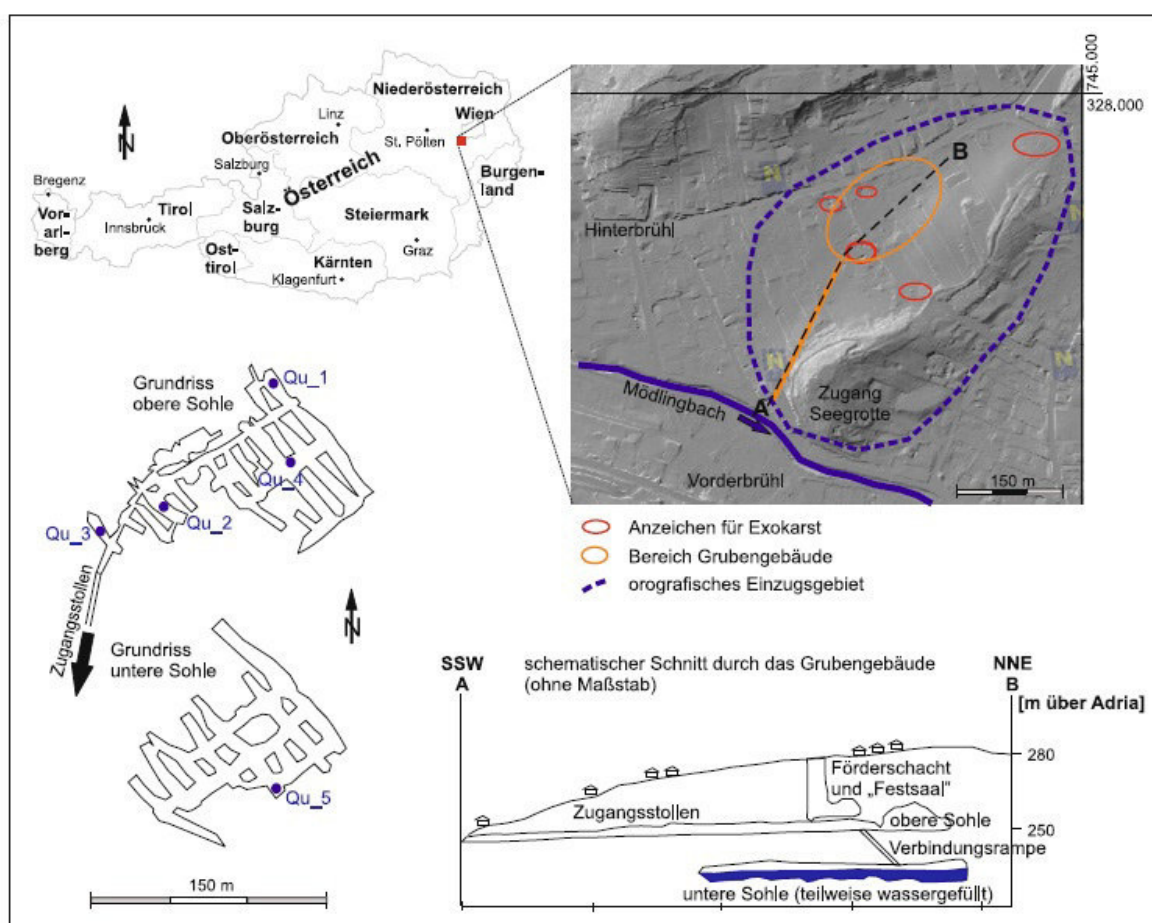


Abb. 5 Zuordnung der Quellen gemäß hydrochemischer Klassifizierung, Beurteilung des Gefährdungspotenzials durch die geplanten Baumaßnahmen

**Abb. 4:** Zuordnung der Quellaustritte zu unterschiedlichen Fließpfaden – nur die hier rot markierten Quellen wurden als potentiell durch die Baumaßnahme gefährdet eingestuft (aus Hilberg, 2011).

## Beispiel 2: Stabilität eines aufgelassenen Gipsbergbaus

Ein aktuell als Schaubergwerk genutzter ehemaliger Gipsbergbau im Haselgebirge am Kalkalpenstrand war bezüglich seiner Langzeitstabilität zu beurteilen. Die sehr hoch mineralisierten Wässer deuteten auf intensive Auslaugungsprozesse im Grubengebäude hin, die jedoch weder in den Stollen noch an der Oberfläche in diesem Ausmaß beobachtet werden konnten. Die festgestellten hydrochemischen Eigenschaften der Wässer konnten mit Hilfe einer inversen hydrochemischen Modellierung auf die Interaktion eines regionalen und eines lokalen Fließsystems zurückgeführt werden, wobei nur der lokale Anteil verkarstungswirksam ist, während die aus einem regionalen System zugeführten Wässer bereits an Gips gesättigt sind und daher kein Problem mehr für die Stabilität des Grubengebäudes darstellen.



**Abb. 1** Übersicht über das Untersuchungsgebiet mit orographischem Einzugsgebiet, Karsterscheinungen an der Oberfläche sowie der ungefähren Lage des Grubengebäudes, Profilschnitt und Grundrisse der beiden Sohlen des Grubengebäudes mit den untersuchten Wasserzutritten

**Abb. 5:** Aufgelassener, derzeit als Schaubergwerk genutzter Gipsbergbau. Nur etwa ein Drittel des austretenden Wassers stammt direkt aus dem Einzugsgebiet des Bergbaus. Weitere Wässer treten bereits hochmineralisiert in den Bereich des Grubengebäudes ein und sind daher nicht verkarstungswirksam (aus Hilberg et al., 2014).

## Beispiel 3: Wimmerbauernquelle, Bad Ischl

Eine zur öffentlichen Wasserversorgung genutzte Quelle im Hauptdolomit am Kalkalpenstrand zeigt hinsichtlich ihrer physio-chemischen Parameter widersprüchliche Ergebnisse. Geringe elektrischen Leitfähigkeiten, eine Untersättigung an Kalzit und Dolomit sowie eine auf Kalzium, Magnesium und Hydrogenkarbonat beschränkte Ionenzusammensetzung deutet auf ein oberflächennahes, kurzfristiges



Fließsystem hin. Im Jahresgang sehr stabile, leicht erhöhte Wassertemperaturen, stabile Schüttungsmengen, stabile  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte sowie sehr geringe Tritiumgehalte deuten dagegen auf ein tief zirkulierendes, langfristiges Fließsystem hin. Die vertiefte Interpretation der Ergebnisse mit Hilfe der inversen hydrochemischen Modellierung zeigte, dass es sich bei den Wässern der Wimmerbauernquelle um ein Mischwasser aus einem oberflächennahen und einem mehr als 1.000 m tief zirkulierenden System handeln muss. Das zugehörige Konzeptmodell ist in Abb. 6 dargestellt.

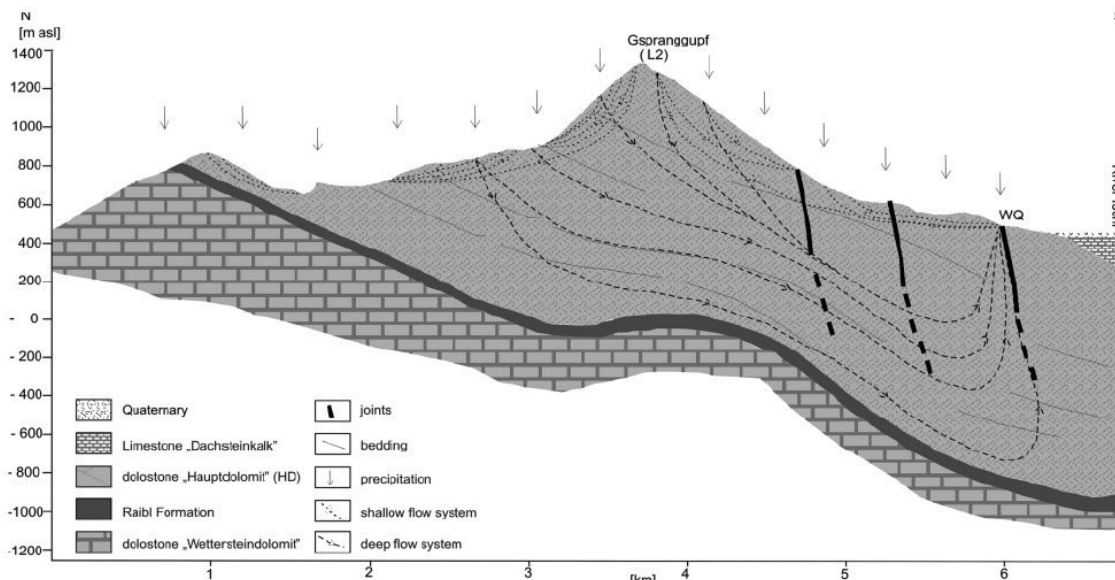


FIGURE 7: Modified cross section as conceptual hydrogeological model of the WQ catchment area and the possible flow regime. Two main flow systems are active in the investigated aquifer. The shallow flow system with recent waters is drained by many springs and surface streams on the southern and northern slope of L2. The deep flow system is drained only by WQ as result of thermal induced upward flow.

**Abb. 6:** Konzeptmodell zum Einzugsgebiet der Wimmerbauernquelle. Neben einem geringen Zustrom aus dem oberflächennahen Fließsystem im orografischen Einzugsgebiet wird die Quelle vor allem aus einem tiefer zirkulierenden System gespeist, das weit über das orografische Einzugsgebiet hinausgeht. Dies hat natürlich wesentliche Konsequenzen für die Schutzgebietsabgrenzung (aus Hilberg & Kreuzer, 2013).

Diese und zahlreiche weitere Beispiele zeigen, dass sich eine besondere gebirgstypische Herausforderung aus der Notwendigkeit ergibt, zeitlich hochaufgelöste Daten zu erhalten, da Wasserqualitätsparameter starken saisonalen Schwankungen unterliegen können. Gerade die Prämisse vollständiger Datensätze ist jedoch in Projektgebieten im Gebirge häufig nicht erfüllt, weil die wichtigen Wintermessungen aufgrund der Unzugänglichkeit von Messstellen ausfallen. Im Vortrag werden anhand der oben angeführten Beispiele potentielle Lösungsmöglichkeiten für das weit verbreitete Problem des Datenmangels in der alpinen Hydrogeologie aufgezeigt. Dabei werden spezielle hydrochemische Parameter, wie der  $\text{CO}_2$ -Partialdruck der Quellwässer in Kombination mit deren Kalzitsättigung heran gezogen.

## Referenzen

Hilberg S (2011). Anwendung hydrochemischer Modellrechnungen zur Bestimmung von Infiltrationsgebieten – Fallbeispiel Reißbeck, (Oberkärnten, Österreich) (Use of hydrochemical modelling for determination of infiltration areas – case study Reißbeck (Upper Carinthia, Austria) Grundwasser 16:25-36, doi 10.1007/s00767-010-0158-1

Hilberg S, Arminger V, Riepler F, Gschwandtner G, Galler R (2014). Hydrogeologie im Gipskarst – die Theorie der Fließsysteme als Basis geotechnischer Langzeitprognosen im Gipsbergbau, GRUNDWASSER, 19: 39-49. DOI: 10.1007/s00767-013-0245-1.

Hilberg S, Kreuzer M (2013). Identification of a deep flow system in a dolomitic alpine aquifer – case study Wimmerbauern spring, Bad Ischl. Austrian Journal of Earth Sciences, 106/1: 16-25.

Toth J (1999). Groundwater as a geological agent: An overview of the causes, processes and manifestations. J. Hydrol. 7: 1-14

Freitag 21. Oktober 2016

11:00-11:30

## **Versicherungsaspekte bei der Bewältigung von Naturkatastrophen**

### **Vergleich Österreich (Katastrophenfonds) mit internationalen, versicherungsbasierten Ansätzen**

*Hugo Seitz<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>) Risk Consult Sicherheits- und Risiko-Managementberatung GmbH, Schottenring 35/4, 1010 Wien

#### **Kurzfassung**

In den letzten Jahren häufen sich die Medienberichte über Naturkatastrophen. Allein seit dem Jahr 2002 ereigneten sich im Donauraum 3 Hochwässer mit einer Jährlichkeit von ca. 100 Jahren, wobei in den jeweiligen Einzugsgebieten die Zubringerflüsse mehrtausendjährige Ereignisse aufwiesen (Kamp, Trisanna, Großsache) und infolge von Überschwemmungen große Schäden zu verzeichnen waren.

Auch Starkregen, Hagel, Sturm, etc. führten besonders im Frühsommer 2016 zu großen Schäden, nicht nur in der Landwirtschaft, auch bei Immobilien und Infrastruktur. Die Versicherungswirtschaft (z.B. Wiener Städtische Versicherung) musste im Jahr 2015 mehr Schäden infolge von Naturgefahren abwickeln als infolge von Brandschäden. Einerseits ist diese Entwicklung auf die Erhöhung von exponierten Werten zurückzuführen, andererseits auf die vermehrte Häufigkeit von (lokalen) Extremereignissen (Stichwort: Klimawandel), sowie Siedlungsdruck (hier sind auch Fehler in der langfristigen Raumordnungs- und Widmungspolitik zu beobachten).

Die großen Rückversicherungsgesellschaften wie MunichRe, SwissRe, etc. beschäftigen sich schon seit jeher global mit Katastrophenereignissen (z.B. Kumulereignissen), da die Erstversicherer bei diesen Rückversicherern selbst versichert sind.

Bei Katastrophenereignissen erfolgt in Österreich die Abwicklung von Schäden seit 1966 über den Katastrophenfonds, da es für Private bis dato keine explizite Naturgefahrenversicherung am Markt gibt (außer Sturm und Blitz). Die Schadensabwicklung (durch Nicht-Fachleute der Gemeinden) und die Höhe der Entschädigungen (Deckelung) sind beim Katastrophenfonds aber für die meisten Beteiligten nicht befriedigend.

In den Nachbarländern (z.B. Schweiz) sind zum Teil bereits Versicherungsmodelle für Naturgefahren am Markt, in Österreich liegen bereits Modelle vor, diese wurden aber bislang nicht implementiert.

Im Bereich Gewerbe und Industrie ist eine Versicherung gegen Schäden aus Naturgefahren möglich und üblich (All Risk oder EC -extended coverage). Aber auch hier sind gewisse Kriterien zu erfüllen, damit ein versicherter Schaden von der Versicherung bezahlt wird (z.B. muss ein Sturm am Schadensort über 60 km/h aufweisen, ein Hangrutsch eine erkennbare Gleitfläche, etc.).

Für Gewerbe und Industrie werden von den Versicherungen sogenannte Risikosurveys durchgeführt bzw. in Auftrag gegeben um die Risikosituation des Versicherungsnehmers umfassend zu evaluieren. Schwerpunkt der Begehungen sind die Bereiche Feuer, Betriebsunterbrechung und in den letzten Jahren schwerpunktmäßig Naturgefahren. Es wird dabei die aktuelle Gefährdungssituation, sowie der vorhandene Schutzgrad evaluiert und gegebenenfalls Empfehlungen zur Verbesserung ausgesprochen (Stichwort: Eigenvorsorge). Im Bereich Naturgefahren werden zur Desktop Analyse Online Tools der Versicherungswirtschaft verwendet (z.B. eHORA, Nathan, CatNet, etc.), Schwerpunkt der Arbeit des

Risikoingenieurs liegt jedoch bei Vor-Ort Begehungen und der persönlichen Beratung auf Basis der gesammelten Schadenserfahrungen der Versicherungen.

Freitag 21. Oktober 2016

11:30-12:00

## Blocksturz Gepatsch 2015: Ursache, Prozesse, Analyse und Maßnahmen

M. Holzmann<sup>1)</sup>, P. Sommer<sup>2)</sup>, S. Perzmaier<sup>1)</sup>, G. Poscher<sup>2)</sup>, B. Hofer<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG, Eduard-Wallnöfer-Platz 2, 6020 Innsbruck

<sup>2)</sup> geo.zt gmbh - poscher beratende geologen

### Veranlassung

Im Bereich oberhalb des linken Widerlagers des Staudammes Gepatsch im hinteren Kaunertal (Abb. 1) ereignete sich am 30.05.2015 in den frühen Morgenstunden ein Blocksturz. Im Erstbefund ließen sich zwei Erosionsbereiche unterscheiden (Abb. 1):

- Blocksturz mit einer Breite von max. 80 m und einem Volumen von ca. 25.000 m<sup>3</sup>. Das Material wurde luftseitig des Staudammes abgelagert.
- Erosion in einer Runse oberhalb einer ausgeprägten Rinnenstruktur mit einer Breite von ca. 8 m. Steinschlagmarker und Sturzblöcke konnten im Gelände sowie auf der Uferstraße West erhoben werden.

Bereits am 22.05. und 23.05.2015 wurden in den südlich gelegenen Abschnitten der Uferstraße West Sturzereignisse dokumentiert, weshalb die Uferstraße West zum Zeitpunkt des Ereignisses bereits gesperrt war.

Den Ereignissen vorangegangen sind starke Niederschläge Mitte Mai 2015, welche direkt an der meteorologischen Messstation am luftseitigen Fuß des Staudammes Gepatsch nachgewiesen wurden. Die Auswertung der Jahressummenlinien zeigt, dass die Niederschlagswerte im Mai des Jahres 2015 durchwegs über dem langjährigen Mittelwert liegen.

### Tiefgründige Massenbewegungen im Speicher Gepatsch

Messungen der vier im Speicherbereich Gepatsch verorteten tiefgründigen Massenbewegungen zeigten, dass es auf Grund von Schneeschmelze und Niederschlägen im Frühjahr/Sommer 2015 zu keiner Zunahme der Verformungsraten gekommen ist; die Verformungsraten lagen im langjährigen Trend.



**Abb. 1:** Übersicht Steinschlag aus Runse und Blocksturzereignis westlich des Dammwiderlagers, Mai 2015. Lage der Erosionsbereiche oberhalb des Gepatsch Dammes

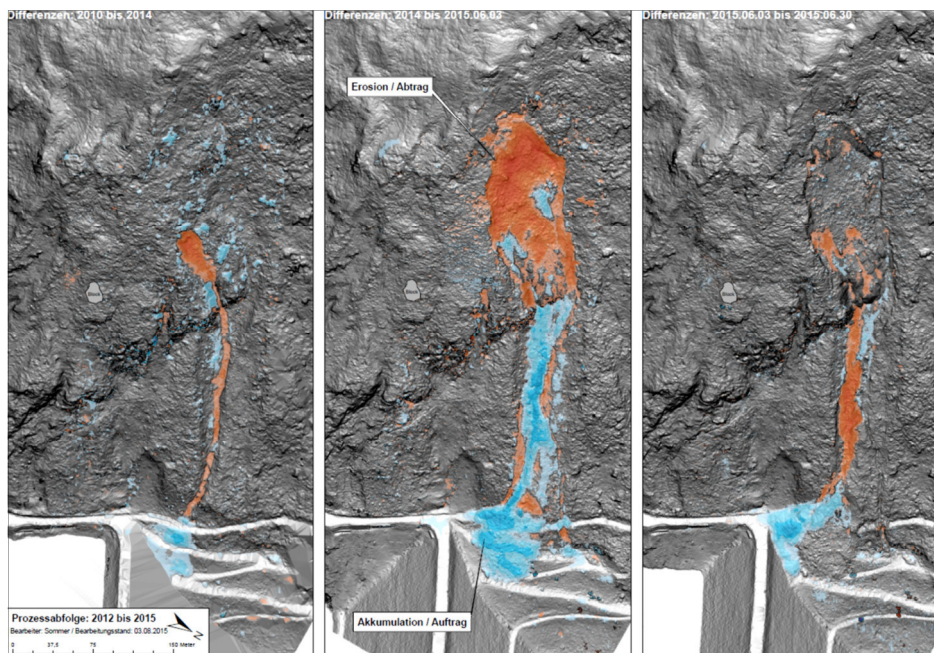
### Geländeaufnahmen

Zur Abschätzung und Eingrenzung der Prozesse wurden folgende Maßnahmen zur Datenerhebung durchgeführt:

- Geologische Kartierung / Prozesskartierung
- Terrestrische Laserscan Vermessung (TLS) der Hangflanke
- Festlegen eines Messnetzes (Vermessungs-/Beobachtungspunkte)

In der nachfolgenden Zusammenstellung von Differenzmodellen aus ALS und TLS – Aufnahmen (ALS ... Airborn Laserscanning / TLS ... Terrestrisches Laserscanning) werden die Prozessabläufe zwischen dem Jahr 2010 und 2015 sichtbar (Abb. 2).

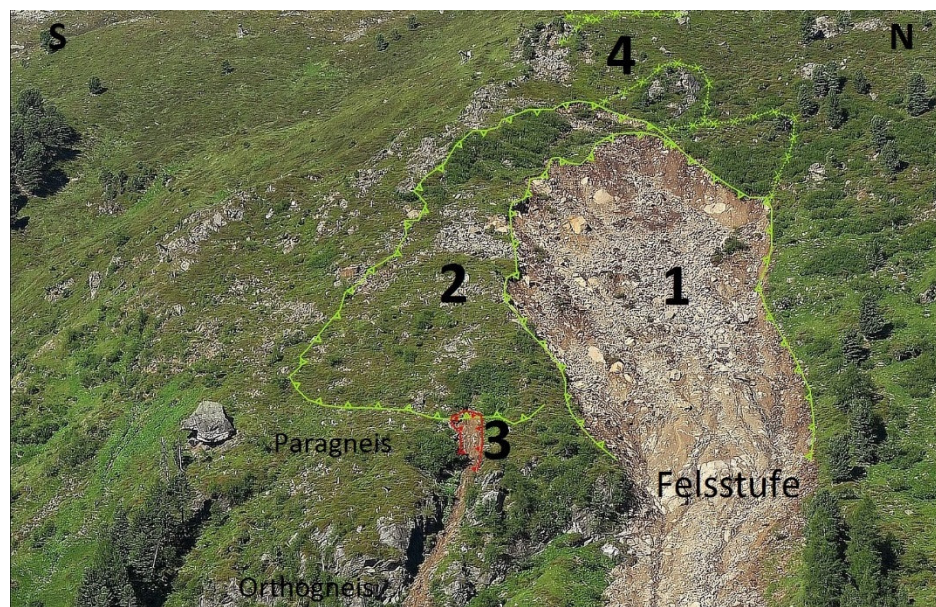
Dem Blocksturz 2015 (mittlere Abbildung) ist im Jahr 2012 ein kleineres Blocksturzereignis vorausgegangen (linkes Bild). Das rechte Bild zeigt Nachböschungsprozesse im Ablagerungsbereich des Blocksturzereignisses.



**Abb. 2:** Differenzmodelle aus ALS bzw. TLS – Vermessungen; Abtrag/Erosion: rot, Auftrag/Akkumulation: blau;

Die gesamte Hangflanke ist durch ein überwiegendes E - W - Streichen der Ortho- und Paragneisseriesen charakterisiert und wird oberhalb der markanten Orthogneis - Felsstufe von tiefgründigen, gravitativen Massenbewegungen geprägt. Bergseitig des Blocksturz 2015 ist bis in den Kammbereich der Hangflanke die Kreuzkopf Massenbewegung und südlich davon die Hochmais Massenbewegung situiert.

Das Anrissgebiet des Blocksturz 2015 liegt oberhalb der markanten Orthogneis – Felsstufe in umgelagerten Moränenmaterial und aufgelockertem Paragneis. Südlich, direkt an das aktuelle Anrissgebiet angrenzend, wurde ein im dm- bis m-Maßstab mobilisierter Hangabschnitt kartiert (Abb. 3) - der mittlerweile keine Verformungen zeigt.



**Abb. 3:** Charakterisierung der relevanten Prozessbereiche

### Bereich 1 – Blocksturz 2015

Der Blocksturz wurde durch eine bereits angelegte Rinnenstruktur kanalisiert und luftseitig der Dammachse abgelagert (Abb. 1 und Abb. 2). Oberhalb der Felsstufe bzw. an der lithologischen Grenze Augengneis / Paragneis sind Wasseraustritte zu beobachten (Abb. 3).

### Bereich 2 – Mobilisierter Bereich (derzeit keine Verformungen)

Südlich des Blocksturz 2015 lässt sich ein im dm bis m - Maßstab mobilisierter (derzeit ohne Verformung) Hangbereich identifizieren:

- Südliche Begrenzung: markante Scherung
- Nördliche Begrenzung: geprägt durch Zerr- und Scherspaltan
- Im mittleren Bereich geringe morphologische Änderungen
- Erosion im Fußbereich (Runse: Bereich 3)
- Im Anrissbereich Setzungen, im Fußbereich Hebungen

### Bereich 3 – Erosionsbereich Runse

Die Hebungen (Materialakkumulation) am Fuß des teilweise mobilisierten „Bereich 2“, hat die Reaktivierung einer subrezenten Erosionsrinne zur Folge. Talseitig sind Steinschlag- und Blocksturzmarker zu erkennen.

### Bereich 4 – Bergseitig Blocksturz 2015

Im Zuge der Prozesskartierung wurden Anrisse / Zerrspalten aufgenommen. Durch die TLS - Aufnahmen und das Hangmonitoring konnten diese Verformungen nicht weiter verifiziert werden.

### **Prozesse**

Das Blocksturzereignis 2015 wird als gekoppelter Prozess mit initialer Gleitung und in weiterer Folge granularem Fließen angesprochen. Als Auslöser wird das Zusammentreffen von witterungsbedingten sowie morphologischen Einflussfaktoren gesehen. Darauf basierend wurde ein Szenario für den mobilisierten Hangabschnitt (Bereich 2) erarbeitet (Abb. 4), welches als Grundlage für die umgesetzten Maßnahmen diente.





**Abb. 4:** Teilweise mobilisierter Bereich – Bemessungsszenario (xx ..teilweise mobilisierter Bereich mit potentiellen Blocksturzbahnen)

## Maßnahmen

### Sicherung Runse

Um künftig Erosion bzw. weiteren Steinschlag aus der Runse (Abb. 1) unterhalb des mobilisierten Bereiches hintanzuhalten, wurden an der Stirnfläche fünf verankerte Holzwände (halbrunde Rubinienbohlen) errichtet und der Zwischenraum mit Grobschotter hinterfüllt.

### Ablenkdam und Sekundärbauwerke

Nach Vorgabe der Achse im Gelände wurde in mehreren Schritten die Geometrie des Ablenkbauwerks optimiert. Die Optimierungen erfolgten unter den Gesichtspunkten:

- Ablenken der potentiellen Rutschmasse auf die Luftseite des Staudammes Gepatsch zum Schutz der Uferstraße,
- Schutz vor Steinschlag,
- Schadloße Abfuhr von Lawinen,
- Umsetzbarkeit der geplanten Maßnahmen vor Winterbeginn 2015/2016.

Das Bauwerk erstreckt sich über eine Höhe von 100 Hm; die Länge beträgt 160 m. Die Modellierungen (schlagartiges Versagen des gesamten potentiellen Volumens, siehe Abb. 4) zeigten, dass mit dem geplanten Ablenkdam nicht das gesamte Volumen des Bemessungsszenarios auf die Luftseite abgelenkt werden kann. Es war daher die Herstellung eines ergänzenden Steinschutzdammes und die Ausbildung einer Rinne auf der Luftseite des Ablenkdammes im unmittelbaren Anschluss an die Uferstraße West erforderlich (Abb. 5). Mit den umgesetzten Maßnahmen konnte die Uferstraße West im Dezember 2015 für den Verkehr freigegeben werden.

Der Ablenkdam ist nach dem Bewehrte Erde-Prinzip errichtet (Abb. 5). Der verbreiterte Dammfuß wurde in 30 cm Lagen, der obere Teil des Ablenkdammes in 60 cm Lagen geschüttet. Die Stirnfläche ist mit Kokosgewebematte und Stahlmatte vor Erosion geschützt. Als Schüttmaterial wurde aufbereitetes Blocksturzmaterial verwendet, welches mit gebrochenem Augengneismaterial von einem nahegelegenen Steinbruch bzw. gebrochenem Material aus dem Schuttkegel im Verhältnis 1:1 am Brecher gemischt

wurde. Das Größtkorn wurde mit 100 mm begrenzt. Im Bereich der Dammaufstandsfläche bzw. mindestens jede 10. Schüttlage wurde ausschließlich gebrochenes Material als Drainagelage eingebaut. Die Geogitter auf der Prallseite des Ablenkdammes werden vor mechanischer Beschädigung mit einer Holzkonstruktion geschützt. Die am Ablenkdamme installierten geodätischen Punkte werden periodisch gemessen; die maximalen Setzungen wurden mit 3 cm am oberen Ende des Ablenkdammes ermittelt.



**Abb. 5:** Übersicht der Maßnahmen zur schadlosen Umlenkung der potentiellen Rutschmasse aus Bemessungsszenario (siehe Abb. 4)

Freitag 21. Oktober 2016

12:00-12:30

## **Erdox® Technologie im Erd-Schnee-Schutz- und Dammbau**

Hansjörg Presslaber, Herbert Högler  
Virgener Straße 16, Matrei in Osttirol

### **Abstract**

The origin of erdox® - technology was to protect people living in alpine areas, their settlements and infrastructure against natural hazards caused by avalanches. In the meantime it is able to build a lot of diverse constructions with erdox® - elements using soil, gravel oder snow to fill the elements. These possibilities allow to protect people and infrastructure against floods, mudflows, rockfall and slope movements. The easy handling, water permability and the extreme fast way to build with the erdox® - elements are the most important advantages. Although erdox® - technology is used worldwide since a long time, it is amazing, that people, who get in contact with the system the first time are still finding new possibilities for their special tasks and challenges to construct with erdox®. For the save use of erdox® - elements it is necessary to calculate the system erdox® (filled with soil or snow) for each situation. Basis for these calculations is the exact description of the conditions of the underground by the geological point of view, especially when erdox® - technology is used to repair damages caused by slope movements.

### **Allgemeines**

#### Einleitung

Der Ursprung der Erdox® - Elemente liegt im Lawinenschutz. An steilen Gebirgshängen wurden diese leichten Stahlelemente in den Abbruchzonen von Schneelawinen an vorher gebohrten und montierten Ankern fixiert.

Daraus entwickelte sich der dauerhafte oder auch temporäre Einsatz im Bereich des Erdbaues, wobei diese Elemente anfangs alternativ zu Stahlbetonstützwänden, Krainerwänden, Bewehrte-Erde-Körpern und Steinschichtungen erfolgreich eingesetzt werden konnten. Ebenso werden diese Elemente in Wildbächen eingesetzt, um die Erosion an der Bachsohle zu verhindern und die Funktion von Geschiebe- und Mursperren zu übernehmen. Besonders bewährt haben sich die Elemente im Zuge der Wiederherstellung von durch Hangrutschungen unpassierbar gewordene Wege und Straßen.

Der Bau von temporären Schiwegen mit Hilfe des Baustoffes Schnee stellt das neueste Anwendungsgebiet im Bereich des Schneebaues dar. Im Sommer werden die Elemente einfach demontiert, um das Landschaftsbild nicht zu beeinträchtigen und die landwirtschaftliche Nutzung in gewohnter Weise zu gewährleisten.

Die einfache Handhabung, die dauerhafte Wasserdurchlässigkeit, das leichte Konstruktionsgewicht sowie die rasche Montier- und Demontierbarkeit zählen zu den wesentlichsten Vorteilen der Erdox® - Technologie.

Eine geologische Beurteilung ist je nach Einsatzzweck der Technologie in vielen Fällen empfohlen und mitunter sogar dringend erforderlich.

### Konstruktionsbeschreibung

Das CE-zertifizierte Erdox® - Element ist eine pyramidenförmige, flexible Stahlkonstruktion. Die etwa 3,1m\*3,6m große, ebene Vorderfront besteht aus zwei diagonal verlaufenden und sich im Mittelpunkt kreuzenden Stahlträgern (I-Trägern oder Formrohren), welche über eine Stahlplatte miteinander verbunden sind. An dieser Platte setzt auch die rücklaufende Ankerstange (Stahlrohr, Länge etwa 3,0 bis 6,0m je nach statischer Erfordernis) mittels eines beweglichen Kugelgelenkes an (Abb.1).

Zusätzlich werden die Stahlträger mit insgesamt vier Ankern (Seilen) rückverankert. Alle Verankerungselemente der Front werden rückwärtig an einer entsprechenden (Stahlbeton-) Fundamentplatte fixiert.

Die an der Vorderfront liegenden Stahlträger – welche vormontiert sind – können verzinkt oder nicht verzinkt ausgeführt werden.

Durch den Klappmechanismus kann das System mit sehr geringem Platzbedarf gelagert und transportiert werden (Länge ca. 4,7m / aufgerolltes Netz mit einem Gesamtdurchmesser von rund 70cm / Gewicht etwa 420kg).

Die spezielle Netzkonstruktion hält höchsten Belastungen stand und entspricht allen normgemäßen Anforderungen.



**Abb. 1:** ERDOX® terra beim Versetzen

## **Wirkungsweise – Berechnungsansätze – Planungsgrundsätze**

Mit dem 'Totmann'-Prinzip lässt sich die Wirkungsweise der Erdox® - Technologie am besten beschreiben. Das rückwärts liegende, überschüttete Fundament (Stahlbetonplatte) stabilisiert das Gesamtsystem und leitet die Erdruckkräfte, welche auf die Außenhaut (Stahlnetz) und Anker wirken, in den Untergrund ab. So entstehen im Gegensatz zur bekannten Tragwirkung von Schwergewichtskörpern an der Aufstandsfläche nur minimale Bodenpressungen bzw. Randspannungen (Abb. 2).

Um die Stabilität der Konstruktion zu gewährleisten, sind die alle statischen und geotechnischen Nachweise der inneren und äußeren Standsicherheit zu führen.

Unter der inneren Standsicherheit sind sämtliche statischen Nachweise der konstruktiven Elemente (Stahlträger, Seile, Druckrohr, etc...) zu verstehen, die entsprechend den aktuellsten Normen (Eurocode) und Richtlinien geführt werden. EN1993 (Stahlbau), EN1997 (Geotechnik) und EN 1992 (Betonbau) finden dabei ihre Anwendung. Die Höhe der Beanspruchung hängt von den mechanischen Eigenschaften des Hinterfüllmaterials ('Erde', Geröll, Schnee) ab. Je höher die Eigensteifigkeit dieses Materials ist, umso geringer wird die Beanspruchung der Konstruktion. Dieser Effekt lässt sich leicht praktisch an dem Grad der Ausbauchung des Netzes beobachten. Mit der im Regelfall nach hinten geneigten Vorderfront des Elementes sowie der hohen 'Wandreibung' (Stahlnetz) wird der anzusetzende Erddruck in jedem Fall auf ein Minimum begrenzt.

Erdstatische Nachweise der äußeren Standsicherheit (im Wesentlichen 'Kippen', Gleiten, Grundbruch im Vorfußbereich) sind von den lokalen geometrischen (z.B. Hangneigung) Verhältnissen und den ortsspezifischen Untergrundverhältnissen abhängig. Der Nachweis 'Kippen' kann bei Erdox® - Elementen entfallen (Abb. 2).. Besonders in geneigtem Gelände ist auf die lokale Beanspruchung am Fußpunkt zu achten (Abb. 3). Je kürzer die Länge der Ankerstange gewählt wird, umso bedeutender wird die Stabilität des unterhalb des Erdox® - Elements liegenden Geländes. Mit der Erdox® - Technologie kann nur Bodenmaterial hinter und über den Verbauelementen gesichert werden. Bestehen hinsichtlich der Stabilität im Fußbereich Bedenken, sind entsprechende Maßnahmen (z.B. Tiefgründungselemente) zu setzen.

Abb.2 zeigt neben dem Ersatz von Schwergewichtskonstruktionen ein weiteres Gedankenmodell zur Wirkungsweise der Totmannelemente. Dabei wird die Außenhaut in Form der Stahlnetz als Ersatz für eine Spritzbetonschale betrachtet, die rückwärts laufenden Seile und die Druckstange 'ersetzen' dabei die (Injektions-)bohranker. Mit der einbaubaren Ankerlänge von max. rund 6,0m sind so (näherungsweise) Baugrubentiefen bis zu etwa 11,0m möglich, um den Anforderungen an den Nachweis der 'Tiefen Gleitfuge' zu entsprechen. Die tatsächlich mögliche Tiefe hängt natürlich jeweils von den lokalen Bodenverhältnissen ab. Sind die 6,0m tiefen Verankerungsteile nicht ausreichend, können die Erdox® - Elemente nachträglich mit aufgesetzten Stahlteilen mit nahezu beliebiger Länge zusätzlich geankert werden.

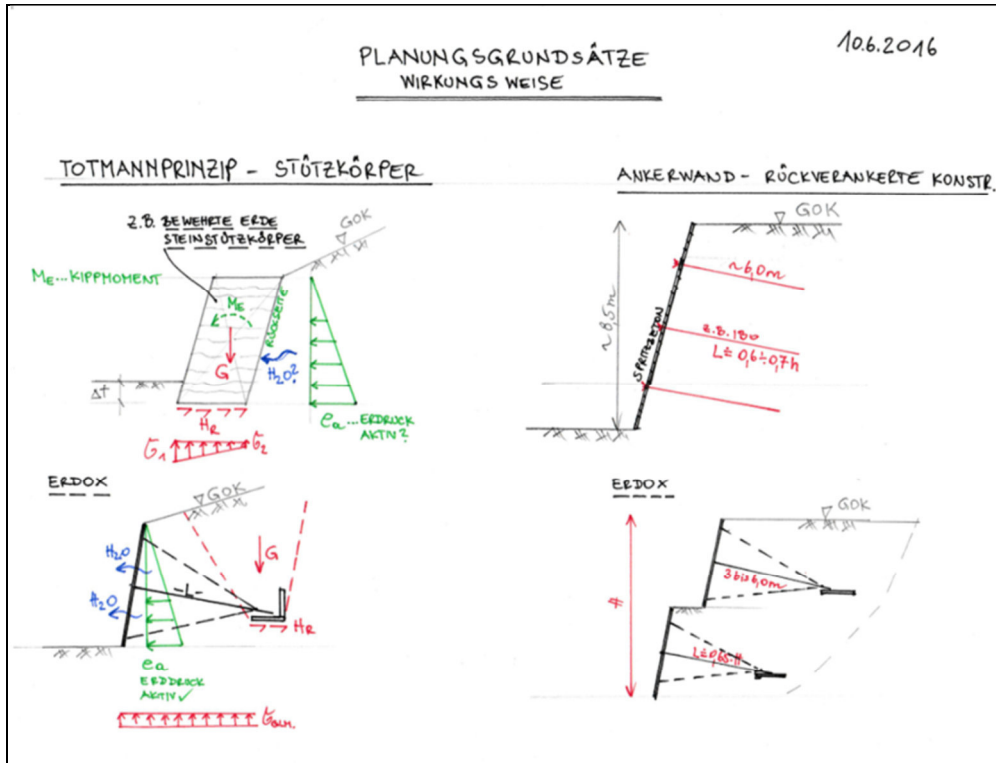


Abb. 2: Gedankenmodelle 'Totmannprinzip'

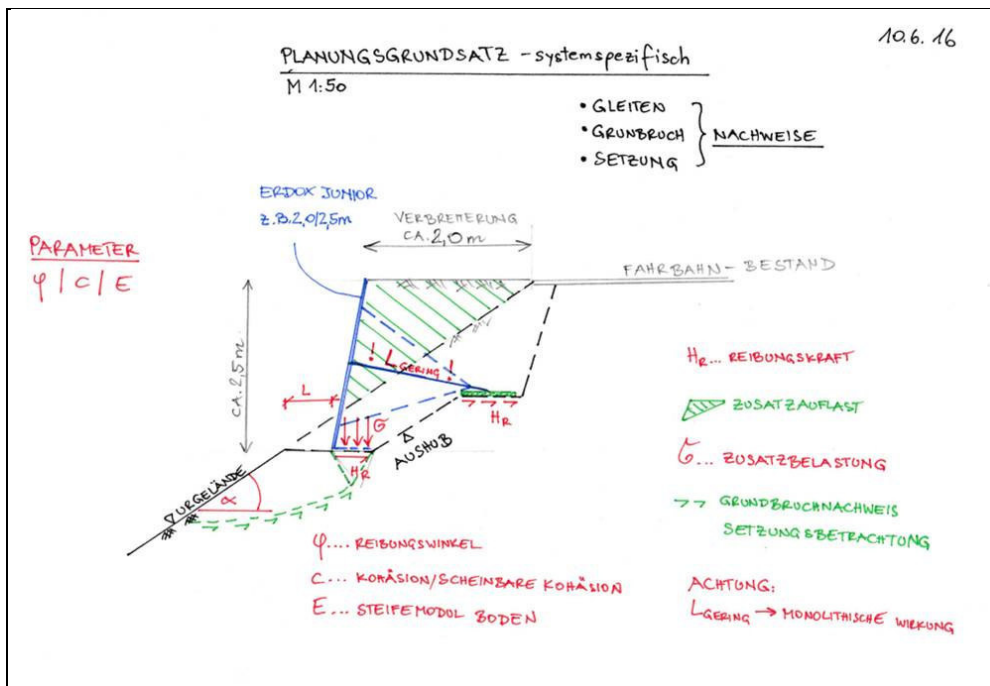


Abb. 3: Nachweisführung am Fußpunkt bei geneigtem Gelände

## **Geologische und geotechnische Bodenansprache im Zuge von Hangrutschungen**

Exemplarisch wird für den Anwendungsfall 'Sanierung und Wegewiederherstellung nach Hangrutschungen' auf die geologische / geotechnische Bodenansprache eingegangen, welche die Basis für die Wahl der Berechnungsparameter (im Wesentlichen Reibungswinkel, echte und scheinbare Kohäsion des Untergrundes bilden). Dieser Einsatzbereich kommt kleinräumig relativ häufig vor (Prinzipskizze Abb. 3).

Im Zuge der (oftmals unter Zeitdruck) durchzuführenden Erstbegehung sind jedenfalls folgende Gesichtspunkte zu erfassen, soweit möglich:

- Geometrische Situation (Lage – Grundriss, Höhenverhältnisse – Neigungsverhältnisse)
- Wasserverhältnisse (Oberflächenwasser, Durchnässung umliegender Bereiche, Quellen ober- und unterhalb...)
- Tiefgang der Rutschung (z.B. oberflächennah d.h. rund 1 bis 2 m), Ausdehnung der Rutschung (Massenverhältnisse)
- Bewuchs (Buschwerk, Waldboden, bewirtschaftete Fläche, Felsverlauf inkl. Schichtungsverlauf)
- Geschütteter / Gewachsener Boden / Lagerungsdichte
- Bindige / nichtbindige Bodenverhältnisse
- Allenfalls gefährdete Objekte im Nahbereich (deren Konstruktionsart (z.B. Mauerwerk, Beton), Fundamentplatte – Streifenfundament, Errichtungsjahr)

Je nach Dringlichkeit kann (oder muss!) bereits mit diesen Angaben ein Sanierungskonzept überlegt bzw. Material vor Ort zur Verfügung gestellt werden. Bei besonders hoher Dringlichkeit zeigt auch hier die Erdox® - Technologie ihre Vorteile, da die Elemente sofort nach dem Hinterfüllen tragfähig sind. Die modulare Bauweise ermöglicht auch die oftmals erforderliche flexible Anpassung an die lokalen und in der Umsetzungsphase angetroffenen Bodenverhältnisse.

Auf jeden Fall sind – bei zur Verfügung stehender Zeit – neben der augenscheinlichen (und somit nur oberflächlich möglichen) Bodenansprache und Beurteilung weiter 'Tiefenerkundungen' sehr sinnvoll. Bei kleinräumigen Rutschungen werden hier die Durchführung von schweren Rammsondierungen bzw. Baggerschürfe empfohlen, um Aufschluss über die anstehende Felskante bzw. Lagerungsdichte und (Grund-)Wasserverhältnisse zu Erlangen. Je länger Baggerschlitze 'offen' bleiben können, desto zuverlässiger die Aussagekraft hinsichtlich der Wasserverhältnisse und der scheinbaren Kohäsion ('freie Standhöhe'). Achtung auch bei der Bewertung der freien Standhöhe (welche zu dem Rechenparameter 'Kohäsion' führt) – diese kann bei Herstellung der Baugrube deutlich von der geometrisch 'günstigen' Situation eines schmalen Baggerschurfes abweichen. Bei großflächigen Rutschungsereignissen sind Bohrerkundungen unerlässlich.

### **Anwendungsmöglichkeiten**

Die Verfüllung mit Erdmaterial oder dem Baustoff Schnee ermöglicht eine Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten. Die Elemente können dabei temporär oder dauerhaft eingesetzt werden.

Extrem leichtes Gewicht (Hubschraubertransport möglich), Wasserdurchlässigkeit, geringer Platzbedarf in Lagerung und beim Transport, äußerst kurze Bauzeit, anspruchsloses Hinterfüllmaterial sind dabei die wichtigsten Vorteile

- Hochwasserschutz : Verstärkung von Dämmen und Deichen
- Lawinenschutz : auch temporär, da im Sommer leicht demontierbar (Hangflächen bleiben so bewirtschaftbar)
- Hangstabilisierung nach Erdbeben
- Forstwegebau
- Radwegebau / Straßenverbreiterung
- Steilböschungen in Deponien
- Geschiebesperre / Murgangssperre
- Erosionsschutz vor Sohleintiefung
- Stützmauer : Alternative zu Stahlbetonmauern, Steinschichtungen, Bewehrte-Erde-Körpern, (Holz-)Krainervänden
- Verstärkung und Sicherung bestehender Holzkrainervände
- Leiteinrichtung / Sperrenbau
- Steinschlagschutz(-dämme) / Lärmschutzdämme (mit Betonoberfläche statt Stahlnetz)
- (temporärer) Schiwegebau mit dem Baustoff Schnee
- Baugrubensicherung statt Spritzbeton mit Verankerung
- Kraftwerksbau – Druckrohrverlegung
- Geschiebe-Murgangssperre

Je nach Verwendungszweck und Einsatzgebiet sind mehr oder weniger umfangreiche geologische Basisdaten erforderlich. Gleiches gilt für die notwendigen Berechnungen um normkonforme Bauwerke errichten zu können.

## **Fallbeispiele**

### Wildbachsperre Erlbach, WLV Osttirol

Von der WLV (Wildbach- und Lawinenverbauung / Gebietsbauleitung Osttirol) wurde im Bereich des Erlbaches oberhalb der Gemeinde Abfaltersbach ein Projekt mit erdox® Elementen als Erosionsschutz (Sohleintiefung) im Herbst 2015 umgesetzt.





**Abb. 4:** Vermeidung von Sohleintiefung

Durch Murereignisse infolge von Starkniederschlägen, aber auch schon durch den gewöhnlichen Abfluss (Sohlgefälle ca. 20 Grad) kam es in den letzten Jahren im gegenständlichen Bereich zur Ausschwemmung von Geröllmassen und somit zu einer fortschreitenden Eintiefung der Gewässersohle. Diese wiederum verursachte das Nachbrechen der an den Bach anschließenden steilen Seitenflanken, womit die Gesamtstabilität der Hänge immer weiter reduziert wurde und ein Gesamtversagen nicht mehr ausgeschlossen werden konnte.

Zwischen den bereits bestehenden massiven Betonbauwerken ('Murbrechern'), welche etwa 150m voneinander entfernt sind, wurden insgesamt zwanzig erdox® - terra Elemente eingebaut. So entstehen vier kaskadenartige Überfallkonstruktionen, d.h. fünf Elemente sind quer zur Fließrichtung jeweils nebeneinander angeordnet.

Die Einzelelemente sind jeweils 3,1m breit und 3,6m hoch. Es ergibt sich eine Konstruktionsbreite der Überlaufstufen von 15,5m (5 mal 3,1m). Die beiden mittleren Elemente sind etwa 1,2m tiefer versetzt als die äußeren. Das rücklaufende Rohr jedes Elementes weist eine Länge von 4,0m auf. Dieses ist an einer Betonplatte befestigt und gewährleistet neben den vier Seilen mit die Stabilität des Einzelelementes.

An der Oberseite (Überlaufkrone) wurde ein unverzinktes, gekantetes Stahlblech mit 8mm Wandstärke angebracht. Dieses dient dem Schutz des oberen Randseiles, besonders bei Murereignissen. Die statische Berechnung erfolgte für eine einwirkende Last von 160 KN (16 to) in Feldmitte (Spannweite ca. 3,1m).

Dieses Kantblech kann auch schräg im Uferbereich montiert werden, um das gewünscht Abflussprofil einfach zu realisieren. Auch können durch das modulare Baukastensystem unterschiedliche Gerinnebreiten (ab ca. 3,0m) vor Ort realisiert werden. Beide Möglichkeiten kamen hier nicht zur Anwendung.



**Abb. 5:** Kantenschutz mit unverzinktem Blech – modulare Bauweise

Die Elemente wurden nach vorne leicht überhängend eingebaut, damit eine mechanische Beanspruchung der (Netz-) Oberfläche durch Geröll vermieden wird. In der statischen und geotechnischen Berechnung wird dieser Umstand durch den Ansatz des dadurch etwas erhöhten Erddruckes berücksichtigt. Systembedingt (Wasserdurchlässigkeit der Netzoberfläche) ist der Ansatz eines Wasserdruckes nicht erforderlich.

Bei diesem Projekt zeigen sich eine Vielzahl der Vorzüge des erdox® - Systems im Bau- und Endzustand:

- Geringes Gewicht – leichter Transport (auch per Hubschrauber möglich)
- Vormontiertes System – mit wenigen Handgriffen einsatzbereit – extrem kurze Bauzeit
- Versetzen auch im Fließgewässer möglich
- Permanente Wasserdurchlässigkeit
- Stabilität und Dauerhaftigkeit
- Sehr gute Anpassung an das Landschaftsbild

Der Nutzungsgrad dieser Kaskadenkonstruktion, d.h. die Bewertung der eingesetzten (verbauten) Masse (erdox® Schirme) im Verhältnis zur Wirkung (Aufnahme großer Erddruckkräfte, Schutz vor weiterer Sohleintiefung, Vermeidung von Geröllausschwemmung), ist wesentlich günstiger als z.B. bei Betonkonstruktionen.

Bedenkt man noch die Kürze der Bauzeit sowie die Transportmöglichkeiten auch in schwer zugängliches Gelände, wird die Nachhaltigkeit des erdox® Systems deutlich.

### Verbundkraftwerk Reisseck, Kärnten

Die zwei Hangrutschungen (Schadensereignis Sommer 2014) im Bereich der Höhenbahn sollen saniert werden, um die Errichtung beziehungsweise den Betrieb einer Zufahrtsstraße statt der bereits stillgelegten Höhenbahn zu ermöglichen.

In Zusammenarbeit mit der Fa. Felbermayr Spezialtiefbau, Salzburg, erfolgte die Wiederherstellung des Gleisbereiches im Sommer 2016.

Durch ein extremes Niederschlagsereignis bedingt, wurden an zwei Stellen die noch vorhandenen Gleise der sich außer Betrieb befindlichen Höhenbahn unterspült.

Im Bereich des Profils 30 sind zwei ERDOX® TERRA-Elemente (permanent wasserdurchlässige Außenfläche 3,1m mal 3,6m) vorgesehen, bei Profil 31 C in der unteren Reihe drei Stück, darüber fünf Elemente, wobei im Übergangsbereich von unterer zu oberer Reihe eine nahezu horizontale Berme mit 2,5m ausgebildet wird.

Wie gewohnt werden diese verzinkten und dauerhaft tragfähigen Stahlelemente mittels einer Fundierungsplatte verbaut.

Nach der Hinterfüllung mit wasserdurchlässigen Material (z.B. Geröll, Felsbruch) werden die Elemente zusätzlich mit Injektionsbohrankern rückerverankert, um einerseits die Geländebruchsicherheit zu erhöhen und andererseits negative Auswirkungen eines nicht ausschließbaren weiteren extremen Niederschlagsereignissen auf die Stabilität im Fußbereich der Elemente möglichst zu vermeiden.

Je ERDOX® TERRA – Element sind dabei zwei Anker (insgesamt 20 Stück) mit einer Bruchlast von je 360 KN vorgesehen. Die Injektionsbohranker sollen mindestens 3m in das bestehende Gelände einbinden, somit ergibt sich eine Länge von etwa 8 bis 10,0 m.

Die IBO-Anker können mit speziellen Stahlteilen an den ERDOX® - Elementen befestigt werden. Alternativ ist auch die Verwendung von Spritzbeton denkbar, auf ausreichende Wasserdurchlässigkeit ist dabei zu achten.

Die bestehenden – und beschädigten – Ausflussrohre im Bereich der beiden Schadstellen sind durch die ERDOX® Elemente durchzuführen und mit einem ausreichenden Überstand (‘Überlauf’) auszuführen.

Im Bereich der Abflusszone an der Oberkante des bestehenden Geländes ist möglichst eine ‘Befestigung’ vorzusehen, um eine ‘planmäßige’ Erosion (‘Sohleintiefung’) möglichst zu vermeiden.

Zur Modellbildung und für die rechnerische Nachweisführung (‘Tragsicherheit – Standsicherheit’) der Konstruktion wird für das Hinterfüllmaterial ein Reibungswinkel von 30 Grad angesetzt. Bei Verwendung von ‘Felsbruch’ liegt dieser Wert auf der sicheren Seite.

Alle für die Standsicherheit erforderlichen Nachweise werden erbracht und sind erfüllt.

Da das abgerutschte Gelände mit den ERDOX® - Elementen nahezu gleich wieder aufgebaut wird, wird gegenüber dem ursprünglichen Zustand keine Zusatzauflast auf den Hang aufgebracht.



**Abb. 6:** Fertiges Bauwerk

#### Baugrubensicherung Zedlach, Osttirol

Zur Errichtung eines Einfamilienhauses war die Herstellung einer bis zu etwa 10m tiefen Baugrube erforderlich. Die Hangneigung des anschließenden Geländes betrug ca. 33 bis 40 Grad. Die geologischen Grundlagen und Bodenansprachen erfolgten durch das Büro ibg, Salzburg.

Im Zuge der Bauausführung wurde die große vorhandene scheinbare Kohäsion (freie Standhöhe der obersten Bodenschichten etwa 4,5m) genutzt um 5 Erdox® - terra Elemente statt der ursprünglich vorgesehenen Spritzbetonschale einzubauen (Abb. 1).

Gleichzeitig übernehmen diese Elemente im Endzustand die Funktion einer Steinschichtung (Abb. 7). Stark auf der sicheren Seite liegend, wurden die rechnerischen Nachweise mit einem Reibungswinkel von 30 Grad geführt. Alle Nachweise wurden erbracht, die Konstruktion in äußerst kurzer Zeit errichtet.



**Abb. 7:** Kellergeschoss fertiggestellt

#### Radweg Heiligenblut, Kärnten

Im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der Fa. Felbermayr Spezialtiefbau, Salzburg, wurde im Bereich der Großglocknerhochalpenstraße eine Fahrbahnverbreiterung vorgenommen (Abb. 8).



**Abb. 8:** Fahrbahnverbreiterung

Die talseitige Verbreiterung der B107 um ca. 2,85m wird auf eine Straßenlänge von etwa 100m mit der erdox® -Technologie realisiert. Der Einsatz der erdox® junior Elemente (Ansichtsfläche 2,1m \* 2,5m) ermöglicht minimale Erdarbeiten in der bestehenden Böschung (Neigung ca. 25 bis 34 Grad).

Eine Drainage ist nicht erforderlich, da diese verzinkten und mit einer Begrünungsmatte versehenen Elemente dauerhaft wasserdurchlässig sind.

Im Bauzustand (d.h. während der Hinterfüllung der Konstruktion) erfolgt die Fixierung der erdox® Schirme mittels Fundamentplatte.

Für den Endzustand werden Injektionsbohranker in Elementmitte angebracht (Länge 7,0m / Bruchlast 360 KN). Dabei kann entweder jedes oder auch nur jedes zweite Element rückverankert werden.

Nach dem Hinterfüllen und Ankern erfolgt der weitere Straßenaufbau (Gehweg) in gewohnter Weise.

Zur Modellbildung und für die rechnerische Nachweisführung ('Tragsicherheit – Standsicherheit') der Konstruktion werden die Bodenkennwerte des Urgeländes mit einem Reibungswinkel von 32,5 Grad und einer (Verzahnungs)kohäsion von 3 KN/m<sup>2</sup> angenommen (Abb. 3).

Alle für die Standsicherheit erforderlichen Nachweise werden erbracht und sind erfüllt.

Die talseitige Zusatzaufast (Schüttmaterial) führt zu einer Deformation ('Setzung') des Urgeländes welche rechnerisch in einer Größenordnung von 0,5 bis 2,0 cm (je nach Zusammendrückbarkeit des Urgeländes) liegt. Ungewöhnliche Auswirkungen auf die Bestandsstraße sind nicht zu erwarten.

Durch die große Flexibilität der Konstruktionselemente führt auch ein (späteres) leichtes Nachgeben der Außenfläche durch derzeit noch nicht vorhersehbare (Umwelt-)Ereignisse (geringe Gründungstiefe) nicht zu einer Beeinträchtigung der Standsicherheit.

#### Ersatz einer Stützmauer / Hochbehältersicherung, Mürztal-Steiermark

In Zusammenarbeit mit der Abteilung 14 des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung wurde im Mürztal eine Stützmauer durch erdox®-junior-Elemente ersetzt. Die geologischen Grundlagen wurde vom Büro geolith, Graz, erstellt. Auch die Sicherung eines Hochbehälters erfolgte mit diesen Elementen.



*Abb.9: Einbau der junior-Elemente*

### **Zusammenfassung**

Mit der Erdox® - Technologie ist es möglich, vielfältigen Anforderungen und Aufgaben des Bauens in Gebirgsregionen zu erfüllen. Innerhalb kürzester Zeit können dauerhafte oder temporäre Schutzbauwerke errichtet werden. Hangstabilisierungen, das Herstellen von Wegen und Straßen in Hanglagen sind ebenso einfach und rasch möglich.

Die Tragwirkung der Erdox® - Elemente verbindet das 'alte' Prinzip der Möglichkeiten einer Totmannkonstruktion mit der Wirkungsweise 'moderner' Ankertechnik.

Das modulare Baukastensystem, die Wasserdurchlässigkeit, die große Tragwirkung bei sehr geringem Eigengewicht der Konstruktion sind neben der kurzen Bauzeit die wichtigsten Vorteile, welche dauerhafte, kostengünstige und somit nachhaltige Bauwerke ermöglichen.

## Danksagung

*Unser besonderer Dank gilt Herrn Landeshauptmann-Stellvertreter ÖR Josef Geisler, der – wie schon in den vergangenen Jahren – auch heuer das Geoforum Umhausen maßgebend unterstützt und mit seiner 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. Der Bürgermeister der Gemeinde Umhausen, Herr Landtagsabgeordneter und Klubobmann Mag. Jakob Wolf möchten wir daher auch heuer sehr danken, dass diese für unsere Tagungen unverzichtbare Partnerschaft nunmehr zum 18. Mal ausgezeichnet funktioniert.*

*Die Unterstützung der Gemeinde zeigt sich dankenswerter Weise auch in der sehr gewissenhaften und mit großem Engagement ausgeführte Mitarbeit durch Frau Martina Scheiber und durch Frau Lisa Falkner.*

*Herr Manfred Scheiber (Raiffeisenbank Vorderes Ötztal, Filiale Ötz) hat auch heuer wieder die Gestaltung des Werbeplakates für den öffentlichen Abendvortrag übernommen, damit die Bevölkerung möglichst zahlreich durch diese Abendveranstaltung an der Tagung teilnehmen kann. Vielen herzlichen Dank dafür!*

Verein Geoforum Tirol

20. Oktober 2016





projekt-partner



koordination mediation kommunikation



**FRÖSCHL BAU**



Baugesellschaft m.b.H.



**Anschrift der Vortragenden „18. Geoforum 2016“ in alphabetischer Reihenfolge:**

**Dipl.-Ing. Johannes Anegg**

Amt der Tiroler Landesregierung  
Abteilung Geoinformation  
Abteilungsvorstand  
*Monitoring und Liegenschaftsverwaltung*  
Herrengasse 1-3  
A-6020 Innsbruck,  
Tel: +43 512 508 4300  
Fax: +43 512 508 744305  
[geoinformation@tirol.gv.at](mailto:geoinformation@tirol.gv.at)  
<https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/>

**DI Rupert Ebenbichler**

Wasser Tirol - Wasserdienstleistungs-GmbH  
Geschäftsführer, CEO  
Salurnerstraße 6  
A-6020 Innsbruck  
Tel: +43 512 209100  
Mobil: +43 699 1209 1005  
[rupert.ebenbichler@wassertirol.at](mailto:rupert.ebenbichler@wassertirol.at)  
[www.wassertirol.at](http://www.wassertirol.at)

**Mag. Wolfgang Gadermayr**

geo2 zt gesmbH  
Almuferweg 8  
A-5400 Hallein  
Tel.: 0664/1533452  
[gadermayr@salzburg.co.at](mailto:gadermayr@salzburg.co.at)

**DI Dr. Jörg Henzinger**

GEOTECHNIK-HENZINGER  
Plattach 5  
A-6095 Grinzens  
Tel.: 05234 65533  
[j.henzinger@geotechnik-henzinger.at](mailto:j.henzinger@geotechnik-henzinger.at)  
[www.geotechnik-henzinger.at](http://www.geotechnik-henzinger.at)

**Ass. Prof. Mag. Dr. Sylke Hilberg**

Universität Salzburg  
Fachbereich Geographie und Geologie  
Umweltgeologie  
Hellbrunnerstraße 34  
A-5020 Salzburg  
Tel: +43 662 8044 5465 Fax:-  
[sylke.hilberg@sbg.ac.at](mailto:sylke.hilberg@sbg.ac.at)  
<http://www.hilberg.at>

**DI Herbert Högler**

PGH-Geoservice GmbH  
Virgenerstraße 16  
A-9971 Matrei in Osttirol  
Tel.: +43 677 61457409  
[office@pgh-geoservice.at](mailto:office@pgh-geoservice.at)  
[www.pgh-geoservice.at](http://www.pgh-geoservice.at)

**DI Michael Holzmann**

Abteilung Wasserkraftplanung, Team Geotechnik.  
*Talsperrenverantwortung*  
*TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG, Eduard-Wallnöfer-Platz 2*  
A-6020 Innsbruck  
Tel.: +43 (0) 50607 21314  
Mobil.: +43 (0) 699 1257 2314  
[michael.holzmann@tiwag.at](mailto:michael.holzmann@tiwag.at)

**Dr. Karl Kleemayr**

BFW - Bundesforschungszentrum für Wald  
Institut für Naturgefahren  
Institutsleitung  
Rennweg 1 - Hofburg  
A-6020 Innsbruck  
Tel: +43 (0)512 573933 5100  
Mobil: +43 (0)664 8269941  
<http://bfw.ac.at/naturgefahren>

**Mag. Katharina Lechner**

geo.zt gmbh  
Saline 17  
A-6060 Hall in Tirol  
Tel.:05223/52105/14  
Mobil: 0650/7366502  
[katharina.lechner@geo-zt.at](mailto:katharina.lechner@geo-zt.at)  
[www.geo-zt.at](http://www.geo-zt.at)

**Dr. Gerhard Poscher**

Geschäftsführung  
geo.zt gmbh  
Saline 17  
A-6060 Hall in Tirol  
Tel: +43 5223 52105-12  
Mobil : +43 664 1134290  
[gerhard.poscher@geo-zt.at](mailto:gerhard.poscher@geo-zt.at)  
[www.geo-zt.at](http://www.geo-zt.at)

**Ing. Mag. Dr. techn. Thomas Sausgruber**

Wildbach- und Lawinenverbauung  
Stabstelle Geologie  
Wilhelm-Greil-Straße 9,  
A-6020 Innsbruck  
Tel: +43 (512) 58 42 00 – 35  
Mobil: +43 (664) 548 83 70  
[thomas.sausgruber@die-wildbach.at](mailto:thomas.sausgruber@die-wildbach.at)  
[die-wildbach.at](http://die-wildbach.at)

**Mag. Johann Schroll**

Amt der Tiroler Landesregierung  
Allgemeine Bauangelegenheiten  
Fachbereich Landesgeologie  
Herrengasse 1-3  
A-6020 Innsbruck  
Mobil: +43 676 885084322  
[johann.schroll@tirol.gv.at](mailto:johann.schroll@tirol.gv.at)

**DDI Hugo Seitz**

Risk Consult Sicherheits- und Risiko-  
Managementberatung Ges.m.b.H.  
Schottenring 35/4  
A-1010 Wien  
Tel.:+43 1 532 13 08 731  
Mobil.:+43 676 83 9 83 731  
[h.seitz@riskconsult.at](mailto:h.seitz@riskconsult.at)  
<http://www.riskconsult.at>

**Dr. Nils Tilch**

Geologische Bundesanstalt  
Fachabteilung für Ingenieurgeologie  
Neulingasse 38  
A-1030 Wien  
Tel.: (+43 1) 712 56 74-392  
[nils.tilch@geologie.ac.at](mailto:nils.tilch@geologie.ac.at)  
[www.geologie.ac.at](http://www.geologie.ac.at)

**Dr. Werner Thöny**

Amt der Tiroler Landesregierung  
Allgemeine Bauangelegenheiten  
Fachbereich Landesgeologie  
Herrengasse 1-3  
A-6020 Innsbruck  
Mobil: +43 676 885084318  
[werner.thoeny@tirol.gv.at](mailto:werner.thoeny@tirol.gv.at)

**Dr. Andreas Töchterle**

Galleria di Base del Brennero - Brenner Basistunnel  
BBT SE Geologie  
Amraser Str. 8  
A-6020 Innsbruck  
Tel.: +43 512 4030 365  
Mobil: +43 664 88660520  
[andreas.toechterle@bbt-se.com](mailto:andreas.toechterle@bbt-se.com)  
[www.bbt-se.com](http://www.bbt-se.com)

**Dr. Johannes Vergeiner**

ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und  
Geodynamik  
Customer Service Tyrol and Vorarlberg  
Division Customer Service  
Fürstenweg 180  
A-6020 Innsbruck  
Tel: +43 (0)512 285598 3529  
Fax: +43 (0)512 285626  
[johannes.vergeiner@zamg.ac.at](mailto:johannes.vergeiner@zamg.ac.at)  
[www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at)

**Dr. Mag. Ass.-Prof Gerfried Winkler**

Universität Graz  
Institut für Erdwissenschaften  
Heinrichstraße 26  
A-8010 Graz  
Tel: +43 (0)316 380 - 5585  
[gerfried.winkler@uni-graz.at](mailto:gerfried.winkler@uni-graz.at)