

# 23. Geoforum Umhausen 14. – 15. Oktober 2021



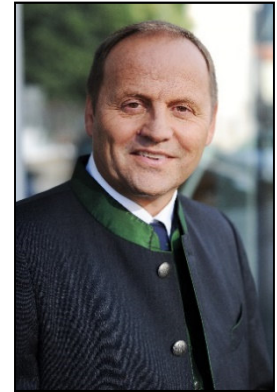
Geoforum  
Tirol

# TAGUNGSBAND

## Grußworte 2021 von Landeshauptmann-Stellvertreter ÖR Josef Geisler

Sehr geehrte Damen und Herren!

Das Jahr 2021 hat mit seinem bisherigen Verlauf mit all seinen teils katastrophenartig abgelaufenen Naturereignissen wieder einmal klar aufgezeigt, wie wichtig interdisziplinärer Wissensaustausch zwischen FachexpertInnen ist.



Ich bin daher sehr froh, dass das international besuchte Geoforum Umhausen heuer zum 23. Mal hier in Umhausen zu dieser nunmehr schon weit über die Grenzen hinaus bekannten jährlichen Tagung zusammenkommt. Ich schätze dabei auch sehr, dass die Veranstalter des Geoforums die Präsentationen der reichen Erfahrungen der ExpertInnen durch die Möglichkeit einer offenen und breiten Diskussion ergänzen.

Dies dient nicht zuletzt den politischen EntscheidungsträgerInnen, sich für klare Maßnahmen, die zu setzen sind, auszusprechen.

Auch der Themenumfang der Tagungen, insbesondere auch des heurigen 23. Geoforums 2021, beweist, dass sich das Geoforum besonders dafür einsetzt, dass die Bewältigung der auf uns zukommenden Herausforderungen der nahen und fernen Zukunft angesichts der vor sich gehenden klimatischen Änderungen nur dann erfolgreich möglich sein wird, wenn eine möglichst ganzheitliche Sicht und möglichst nachhaltige Vorgehensweise stattfindet. Nicht zuletzt gilt es ja vor allem den alpinen Lebensraum auch zukünftig lebenswert und möglichst sicher vor Naturereignissen zu erhalten.

Das Geoforum Umhausen hat sich längst nicht nur im Inland, sondern weit über die Grenzen Österreichs hinaus in all den Jahren seit seiner ersten Tagung im Jahr 1999 einen anerkannten Rang und Namen in den Veranstaltungskalendern der Fachtagungen geschaffen.

Ich bin mir bei Betrachtung des heurigen Tagungsprogrammes sicher, dass auch das 23. Geoforum Umhausen 2021 an diese Erfolge nahtlos anknüpfen wird.

Als Teil dieses Erfolges sehe ich auch die seit vielen Jahren übliche Einbindung der Bevölkerung in diese Tagung durch die öffentlich zugänglichen Abendvorträge. Auch der heurige Abendvortrag wird durch seine Aktualität sehr dazu beitragen, dass die Öffentlichkeit mit großem Interesse Teil der Geoforumstagung sein wird.

Ich wünsche Ihnen, meine sehr geehrten Damen und Herren aus dem In- und Ausland auch heuer wieder eine fachlich hochwertige Tagung im Rahmen des 23. Geoforums Umhausen und möchte mich sehr bei der kleinen Gruppe der OrganisatorInnen dieser Tagung für ihr großes Engagement bedanken. Ich darf auch meiner Zuversicht Ausdruck verleihen, dass die Erfolgsgeschichte des Geoforums noch viele Jahre weitergehen wird.

ÖR Josef Geisler

(Landeshauptmann-Stellvertreter von Tirol)

## **Grußworte 2021 von LA Klubobmann Bgm. Mag. Jakob Wolf**

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

Das Ötztal wurde, ähnlich wie andere Regionen in Europa, auch heuer wieder von teils katastrophentypischen Naturereignissen getroffen. Auch wenn das Ötztal dabei nicht so schwer betroffen war, wie andere Gegenden Europas, waren die Folgen für die Menschen des Tales teils doch schwerwiegend.



Es ist für mich als Bürgermeister gut zu wissen, dass die Gemeinde Umhausen seit 1999 Ort des in hohem Maße angesehenen Geoforum Umhausen mit seinen jährlichen interdisziplinären Tagungen ist, zu denen sich Fachleute aus ganz Österreich und aus näheren und teils auch fernen Ländern anreisen. Die Gemeinde Umhausen weiß sich so „in besten Händen“, nicht zuletzt, weil das Fachwissen, das auf den Geoforum-Tagungen präsentiert und intensiv diskutiert wird, dem Ort Umhausen, aber natürlich auch dem gesamten Ötztal und auch dem ganzen alpinen Siedlungs- und Lebensraum zu Gute kommt.

Ich habe bei Durchsicht des heurigen Tagungsprogrammes die Gewissheit, dass das 23. Geoforum - wie bisher schon - besonderen Wert auf die Interdisziplinarität der Vortragsthemen und auf Teamarbeit legt. Diese derartige Vorgehensweise, die u.a. auch in drei Vorträgen dargelegt werden soll, hat sich bei den teils murartigen Blocksturzereignissen auf die sogenannte Leckgalerie sehr bewährt. Immerhin war das hintere Ötztal mehrfach für teils längere Zeit vom Rest Nordtirols abgeschnitten. Das sehr gute interdisziplinäre Zusammenspiel zwischen den Landesgeologen, den Vermessungsexperten des Landes und den Fachleuten der Landesbaudirektion und des Baubezirksamtes Imst, aber auch der ausführenden Firmen hat zum Wohl der Talbewohner sehr erfolgreich funktioniert.

Als Bürgermeister, aber auch als überzeugter Jäger freut es mich besonders, dass die Jagd in Tirol durch den öffentlichen und sicherlich spannenden und fachkundigen Abendvortrag des Geoforums, gehalten von Herrn Landesjägermeister Anton Larcher die Gelegenheit nutzen kann, die positiven Beiträge der Jagd zum Schutz der Natur, nicht zuletzt auch zum Schutz vor Erosion der Bevölkerung und den Tagungsteilnehmern darlegen zu können.

Ich möchte nun dem engagierten Organisationsteam und Ihnen allen nun eine spannende und interessante Tagung wünschen und hoffe sehr Sie auch 2022 zum 24. Geoforum Umhausen wieder in unserer Gemeinde begrüßen zu dürfen.

Mag. Jakob Wolf

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

## **Grußworte 2021 von Elmar Rizzoli,**

Sehr geehrte Tagungsteilnehmerinnen und Tagungsteilnehmer, sehr geehrte Referenten!

Die Tiroler Landesregierung hat beschlossen ein neues Zentrum für das Krisen- und Katastrophenmanagement zu schaffen. Seit der Gründung der „Gruppe Tiroler Zentrum für Krisen- und Katastrophenmanagement“ mit Wirkung vom 01.02.2021 stehe ich dieser als Leiter vor.



Dieses Zentrum für Krisen- und Katastrophenmanagement umfasst nun 4 Abteilungen, die Fachleute zum Krisenmanagement und zur Prävention vor Naturereignissen beinhalten. So wurde auch der bisher in der Landesbaudirektion angesiedelte Fachbereich Landesgeologie, der sich in zahlreichen Krisensituationen, hervorgerufen durch teils katastrophale Naturereignisse, über viele Jahre bestens bewährt und ausgezeichnet hat, in dieses Zentrum für Krisen- und Katastrophenmanagement integriert.

Als Leiter dieses Zentrums begrüße ich Fachtagungen, wie das seit 1999 erfolgreiche Geoforum Umhausen mit seiner ganzheitlichen Herangehensweise zu den Problemen und Problemlösungen angesichts des erwarteten Klimawandels sehr und ich freue mich daher auch sehr, dass ich heuer erstmals an der Eröffnung dieser interdisziplinär und international besetzten Tagung teilhaben kann.

Für eine erfolgreiche und tunlichst rasche Krisenbewältigung ist das möglichst optimale Zusammenspiel aller Kräfte unabdingbar. Dies bedeutet, dass Blaulichtorganisationen und Sachverständigenstab die Fähigkeit besitzen müssen Hand in Hand vorgehen zu können. Voraussetzung ist dabei auch, dass Sachverständige in der Lage sind, rasche Entscheidungen nicht nur den Entscheidungsträgern der Einsatzleitungen und der Blaulichtorganisationen verständlich und nachvollziehbar darlegen zu können, sondern dass dies auch gegenüber der betroffenen Bevölkerung in einer für sie verständlichen Art und Weise geschieht.

Dieses Zusammenspiel muss auch geübt werden, wobei neben theoretischen Übungsabläufen auch praktische Einsatzsituationen in die Übungen einzubeziehen sind. Diese Übungen sind in der Regel von Einsatzorganisationen und Experten gemeinsam durchzuführen. Das Fachwissen muss stets auf dem neuesten Stand sein. Das Geoforum Umhausen hat bereits in vielen Tagungen seit 1999 diese Anforderungen hervorgehoben, indem immer wieder neben Geologen, Geotechnikern, Wasserbauexperten und Meteorologen auch Krisenkommunikationsfachleute, Vertreter der Blaulichtorganisationen, Juristen und andere ihr diesbezügliches Fachwissen dargelegt und zur Diskussion gestellt haben.

Ein Blick auf das Programm des aktuellen 23. Geoforums Umhausen zeigt mir, dass die Organisation auch heuer den bisherigen, sehr erfolgreichen Weg weiter beschreitet. Ich darf daher meinem Wunsch zu einer sehr erfolgreichen Tagung 2021, aber auch zu den Geoforumstagungen der nächsten Jahre Ausdruck verleihen und dazu alles Gute wünschen

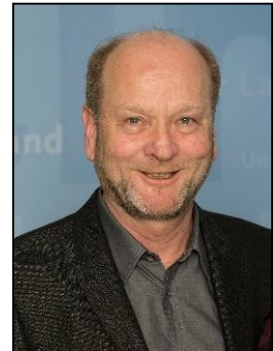
Elmar Rizzoli

(Leiter der Gruppe Tiroler Zentrum für Krisen- und Katastrophenmanagement)

## Grußworte 2021 von Hofrat Dr. Gunther Heißel

Sehr geehrte Damen und Herren!

In manchen Gegenden Tirols, Österreichs und in anderen Regionen der Welt wurden auch heuer wieder Menschen bedauerlicher Weise von Naturereignissen wie etwa Hochwässern, Muren, Felsabbrüchen oder Stürmen mehr oder weniger schwer getroffen. Reflexartig wird, kaum dass ein derartiges Ereignis stattgefunden hat, öffentlich verkündet, dass die Klimakrise Schuld daran habe. Die stimmt aber nur teilweise. Eher wird man den Tatsachen gerecht, wenn man feststellt, dass fast immer andere negative Einflussfaktoren, wie z. B. falsch gesetzte menschliche Maßnahmen oder Aktivitäten die Grundvoraussetzung für ein Schadensereignis bilden und die Wetterbedingungen, sowie längerfristig betrachtet die Klimaänderungen diese negativen Auswirkungen mitunter verstärken.



Die Verengung der Diskussion auf den Ausstoß von Treibhausgasen und seine Reduzierung wird somit unsere Probleme nur sehr bedingt lösen können, zumal das Klima selbst bei rascher Erreichung der Klimaziele nur langfristig reagieren wird können. In der Tat wird man sich viel eher der Frage widmen müssen, wie viel Mensch die Umwelt verträgt. Die Alpen sind kaum noch unberührte Natur, sondern vor allem eine Landschaft, die vom Siedlungsraum bis zu den höchsten Gipfeln - wie ein „Eier-legendes Wollmilchschwein“ - immer intensiver genutzt wird und so zunehmend für alles herhalten muss. Gemeint sind hier vorrangig weder Verkehrswege, noch Schipisten und Seilbahnen, wie es meist durch enge Sichtweise gemacht wird, sondern gemeint ist die Summe der Nutzungen der Landschaft für Wohnraum, Wirtschaft/Industrie, Rohstoff- und Energiegewinnung, Erholungs- und flächendeckendes Freizeit/Sportareal, Verkehr, Land- und Forstwirtschaft, etc.

So entstehen immer mehr Interessenskonflikte und Naturereignisse nehmen immer gravierender Einfluss auf unser Leben. Zusätzlich zu einer (heute nicht mehr ausreichend vorhandenen) Diskussionskultur in der Fachwelt und in der Bevölkerung ist seitens der befassten Fachleute zur Problemlösung der Mensch als Bewohner des Alpenraumes in den Mittelpunkt zu rücken und ein verantwortliches interdisziplinäres Vorgehen unabdingbar. Dies hat sich das Geoforum Umhausen mit seinen jährlichen interdisziplinären Expertentagungen seit 1999 zum Ziel gesetzt. Auch 2021 werden die Änderungen des Naturraumes unter dem Gesichtspunkt, die Alpen für die Menschen als möglichst optimalen Lebensraum weiter zu gewährleisten, betrachtet und diskutiert. Der Fokus liegt neben den Naturgefahren durch Muren, Hangrutschungen, Felsabbrüche und Hochwässer z. B. auch in der wichtigen Frage der nachhaltigen Verfügbarkeit von Rohstoffen, etwa für die erstrebte E-Mobilität. Weiters sind die Änderungen, die unsere Grund-, Berg-, und Quellwässer und damit unsere Wasserversorgungen betreffen, sowie generell auch die Weiterentwicklung von Mess- und Überwachungsmethoden, sowie die Betrachtung der Auswirkung von Interessenskonflikten (z. B. den Wald oder die Landwirtschaft betreffend) zu erörtern. Eine verantwortungsbewusste, fachlich fundierte Vorgehensweise darf dabei nicht ständig Angst und Schrecken verbreiten, wie es heute leider häufig der Fall ist, sondern muss den Menschen sowohl im Akutfall, als auch für Präventionsmaßnahmen rasche und effiziente Hilfe und Problemlösungen anbieten.

Ich bin sicher, dass das heurige 23. Geoforum Umhausen diesen Zielen gerecht werden wird.

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

## **Fossile versus regenerative Energie – sind regenerative Energiequellen nachhaltig?**

### **Gedanken aus der Sicht eines Rohstoffgeologen**

Leopold WEBER (EurGeol), Wien

*office@geologie-weber.at*

#### **Abstract**

It is undisputed that reducing greenhouse gas emissions can help reduce global warming. Since the generation of energy is currently still predominantly based on fossil fuels (coal, crude oil, natural gas) and these raw materials represent the largest greenhouse gas emitters, these are to be replaced by alternative energy sources. However, these new technologies require many times more raw materials. However, in the international bodies the question of the actual availability of the required raw materials or the potential supply risks is not questioned, nor is it examined how the increased demand for raw materials affects the development of greenhouse gases. Even if no physical shortages are to be feared for key raw materials in the medium to long term, artificially induced shortages cannot be ruled out. However, the increasing relocation of raw material production to politically instable countries or countries with low environmental awareness is problematic.

#### **Einleitung**

Es ist unbestritten, dass sich in den letzten Dekaden der Ausstoß an Treibhausgasen (THG) dramatisch erhöhte und merklichen Einfluss auf den Klimawandel hat. So begrüßenswert die Bestrebung von internationalen Organisationen, Regierungen und Wissenschaftern ist, die THG-Emissionen zu begrenzen, sind die auferlegten zeitlichen Ziele schwer erreichbar. Die Haupttreiber für den stark steigenden THG-Ausstoß sind zweifelsohne die Energiewirtschaft und der Verkehr. Eine Reduktion der Emissionen setzt voraus, dass Technologien entwickelt werden müssen, die weniger THG generieren. Dazu zählt die Gewinnung elektrischer Energie aus Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik, Geothermie u.a.m. Auf dem Transportsektor wird der Umstieg auf die Elektromobilität propagiert. Die Effektivität der einzelnen Energiequellen wird bisweilen von den jeweiligen Interessensvertretern aber stark überzeichnet.

Der Umstieg auf neue Technologien bedeutet aber auch die Verwendung von anderen, zum Teil seltenen mineralischen Rohstoffen. In der vorliegenden Arbeit wird kritisch diskutiert, ob der Umstieg auf moderne, weniger THG-intensive Technologien risikoarm oder risikobehaftet ist. Da für den Umstieg auf solche Technologien um ein Vielfaches mehr an mineralischen Rohstoffen benötigt wird, ist auch die Frage der THG-Einsparung zu hinterfragen. Der effizienteste Lösungsansatz zur Reduktion der THG-Emissionen ist nach wie vor die persönliche Einschränkung.

#### **Was sind Treibhausgase?**

Unter Fachleuten besteht Einigkeit, dass die Klimaveränderungen in Form der steigenden Temperatur der letzten Dekaden mit dem THG-Ausstoß in direktem Zusammenhang stehen.

Die Erdatmosphäre enthält Gase, die kurzweilige Sonnenstrahlung zum großen Teil passieren lassen, (langweilige) Wärmestrahlung jedoch absorbieren und damit das System erwärmen. In Analogie zu einem Treibhaus – das Sonnenstrahlung durchlässt und Wärmestrahlung „festhält“ – werden diese Gase auch als Treibhausgase (THG) bezeichnet.

Die Wirksamkeit von THG wird als Treibhausgaspotential (THGP) ausgedrückt. Während das THGP von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) mit 1 bemessen wird, ist Methan (CH<sub>4</sub>) in einem Zeitraum von 100 Jahren um das 28 – fache höher. Noch intensiver wirkt Lachgas (N<sub>2</sub>O) mit einem THGP von ca. 298 oder gar fluoridierte THG mit einem THGP von über 13.000. Auf Grund der unterschiedlichen Wirksamkeiten wird die THG-Konzentration in der Atmosphäre in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>e) angegeben.

THG sind sowohl geogenen als auch anthropogenen Ursprungs. Geogene Emissionen sind auf die vulkanische Tätigkeit, aber auch natürliche Methanemanationen zurückzuführen. Anthropogen sind die Emissionen aus technogenen Prozessen wie Energiegewinnung, Verkehr, aber auch aus Ackerbau und Viehzucht.

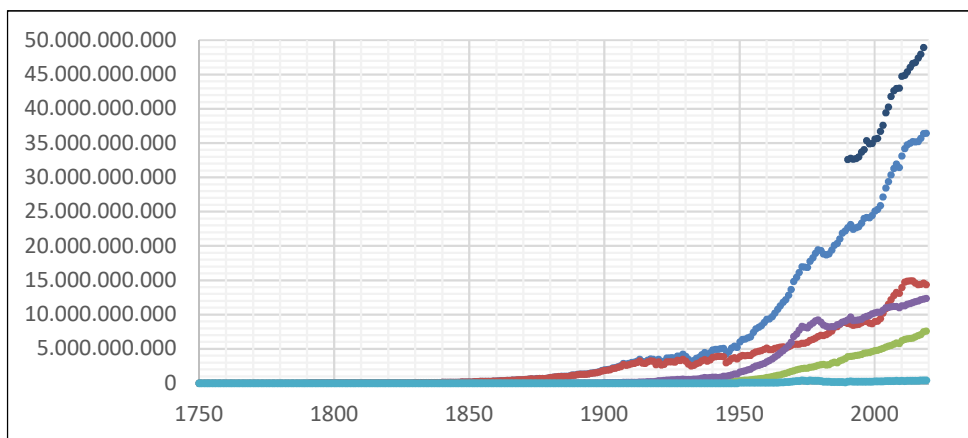


Fig. 1: Treibhausgasentwicklung seit dem Jahre 1750 (Daten: Hannah Ritchie and Max Roser (2020)  
**Blaue Basislinie:** Geogene Emissionen an CO<sub>2</sub>e.; **Grau:** Erdgas; **orange:** Erdöl; **rot:** Kohlen; **blau:** Energieträger Erdgas, Erdöl und Kohle; **gesamt;** **schwarz** gesamte Emissionen (einschl. biogene Energieträger) in CO<sub>2</sub>e.

### Wer sind die Hauptemittenten von Treibhausgasen?

Die sektorale Verteilung der Mengen an THG ist aus Fig. 1 ersichtlich. Rund 35,2 Mrd t, somit rd. 73 % der gesamten THG gehen auf fossile Energieträger zurück, wogegen rd. 14,3 Mrd t, somit rd. 27 % auf andere THG-Emittenten zurückzuführen sind.

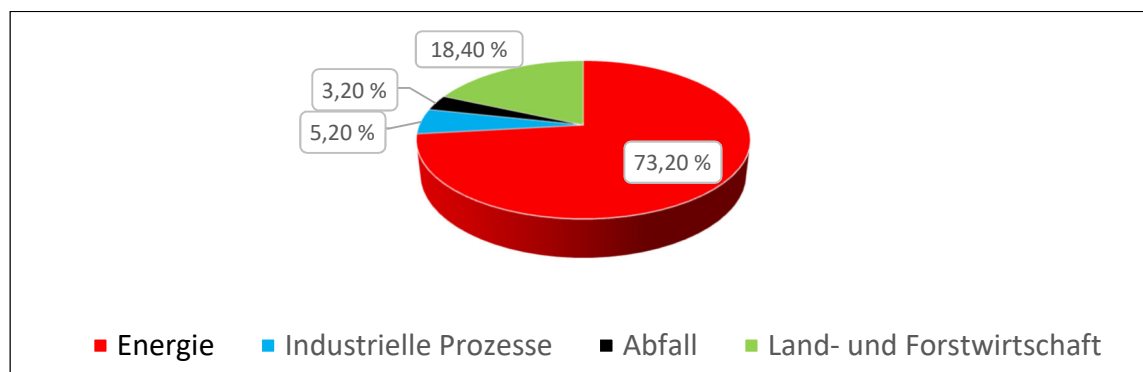


Fig. 2: sektorale Verteilung der globalen THG-Emissionen in %; Datenquelle: Ritchie & Roser (2020)

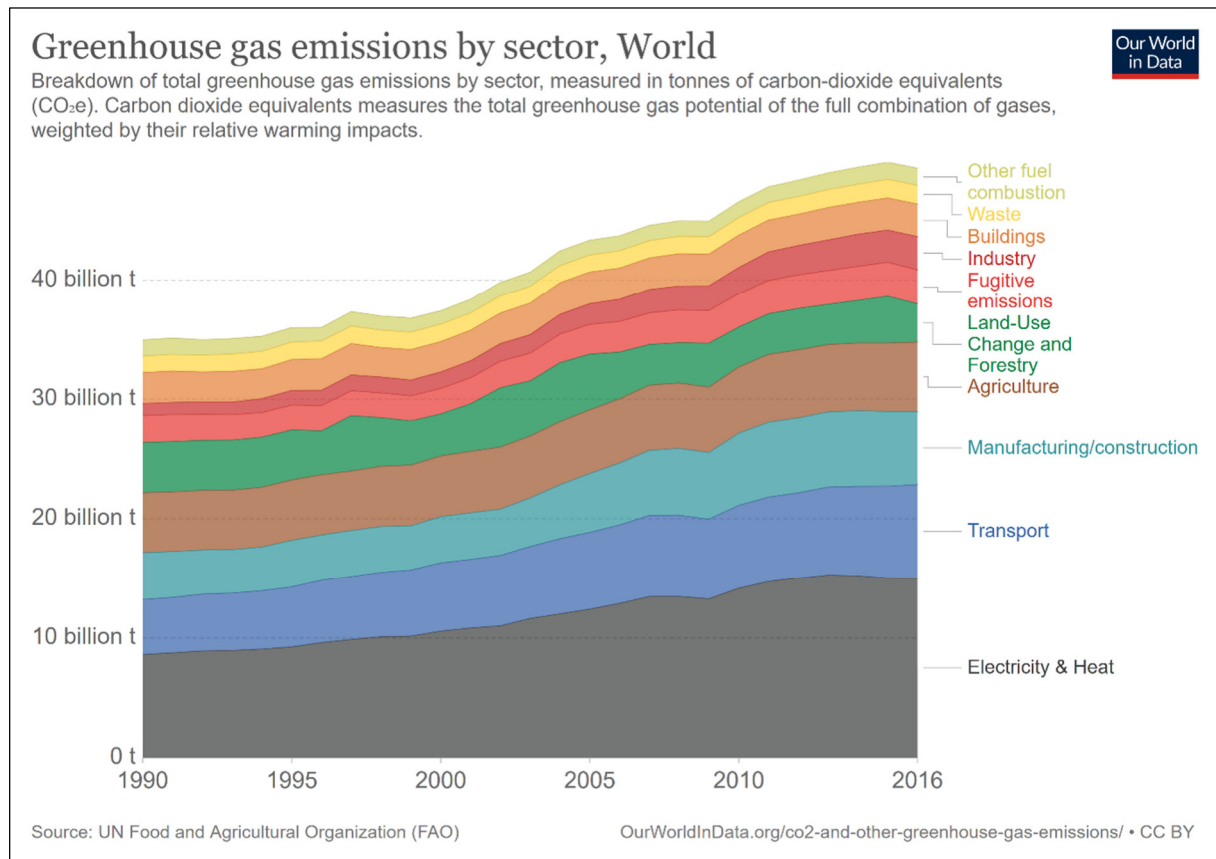


Fig. 3: zeitliche Entwicklung der sektoralen THG-Emissionen. aus: Ritchie & Roser (2020)

## Klimapolitische Maßnahmen

### Pariser Abkommen

Im Pariser Abkommen 2015 einigten sich 195 Teilnehmerstaaten auf ein langfristiges Ziel, den Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur auf **deutlich unter 2°C** gegenüber vorindustriellen Werten, idealerweise auf **1,5°C** zu begrenzen, da dies die Risiken und Folgen des Klimawandels deutlich vermindern würde.

### Europäische Kommission

Durch die Umsetzung des Kyoto-Protokolls nahm sich die Europäische Kommission bereits im Jahre 2000 dieses Problems an. Die Europäische Energiestrategie, die 2007 verabschiedet wurde, sah insbesondere vor, die „20-20-20-Ziele“ bis zum Jahre 2020 umzusetzen:

- 20% Senkung der THG-Emissionen gegenüber dem Stand von 1990
- 20 % der Energie in der EU aus erneuerbaren Quellen
- 20% Verbesserung der Energieeffizienz

In weiterer Folge wurden die Klimaziele kontinuierlich strenger gefasst: So sollte bis zum Jahr 2030 eine Reduktion von 40% der THG-Emissionen unter dem Stand von 1990 erreicht werden. Im August 2018 wurde ein neuer Vorschlag unterbreitet, der eine Senkung des THG-Ausstoßes um 45% (bezogen auf 1990) vorsah. Gleichzeitig wurde eine Erhöhung des Anteils an erneuerbarer Energie am Gesamtverbrauch um



mindestens 27% vereinbart. Zuletzt wurde im April 2021 beschlossen, die THG-Emission bis zum Jahre 2030 um 55% unter den Stand von 1990 zu reduzieren.

Zur Zielerreichung sind alternative Methoden bei der Energieaufbringung erforderlich, wodurch sich aber der Bedarf an bestimmten mineralischen Rohstoffen für die Herstellung von Windturbinen, Photovoltaikanlagen um ein Wesentliches vervielfacht. Dabei erhebt sich die Frage, ob diese Rohstoffe tatsächlich ausreichend verfügbar sind, oder ob wegen der langen Vorlaufzeit von Rohstoffprojekten die Ziele in der knappen Zeit überhaupt erreicht werden können.

## Treibhausgase, Elektromobilität und alternative Energiegewinnung

### Elektromobilität

Vorweg ist festzustellen, dass vollelektrisch betriebene Fahrzeuge zwar keine direkten Emissionen von THG verursachen, die indirekten Emissionen, die unter Heranziehung einer Lebenszyklusanalyse (LCA) bei der Herstellung anfallen, beträchtlich sind. Wie Studien namhafter unabhängiger Institutionen zeigen, ist unter LCA - Betrachtung die Treibhausgasemission von batteriebetriebenen Fahrzeugen (BEV) im Gemischtbetrieb nahezu gleich hoch wie bei Dieselfahrzeugen. Von emissionsfreien Fahrzeugen zu sprechen, ist daher Illusion. Der weitaus größte Teil der THG fällt auf die Herstellung der Batterien. Erst wenn die Energie für die Batterieproduktion aus „Ökostrom“ (Strom ohne fossile Energieträger) bezogen werden kann, ist eine günstigere Bilanz zu erwarten. Derzeit werden aber fast alle Batterien für E-Fahrzeuge von asiatischen Herstellern unter Verwendung von „Kohlenstrom“ erzeugt.

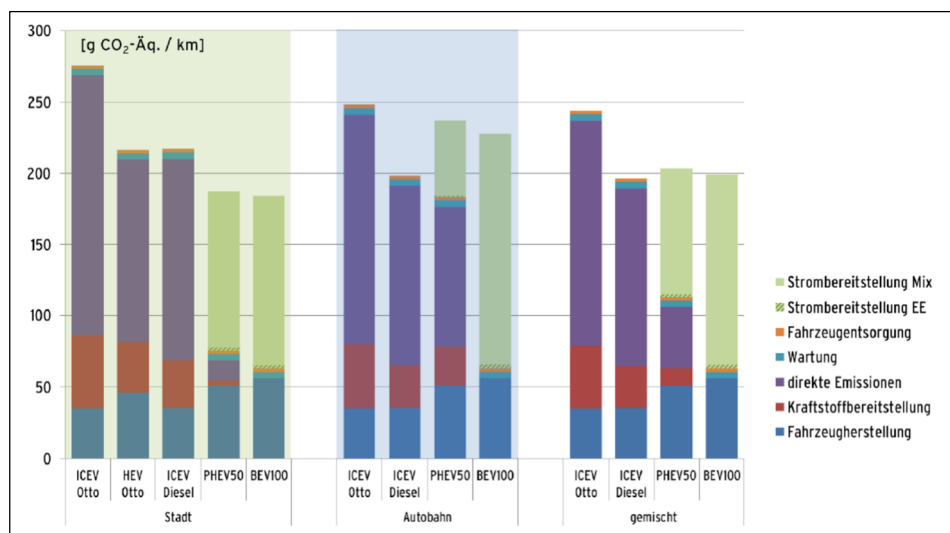


Fig. 4: Treibhausgasemissionen der Fahrzeugkonzepte auf den einzelnen Straßenkategorien (aus: ifeu / UBA-DE 2015: Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen)  
Abkürzungen: ICEV: Internal Combustion Engine Vehicle; HEV: Hybrid Electric Vehicle; PHEV: Plug In Hybrid Electric Vehicle; BEV: Battery Electric Vehicle

Bei der Herstellung eines Fahrzeuges mit Hybrid- bzw. einem Batterieantrieb sind nicht nur eine Reihe von zusätzlichen Spezialmetallen, sondern vor allem wesentlich größere Rohstoffmengen erforderlich (vgl. Tab.3). Dies führt zwangsläufig dazu, dass diese Rohstoffe in verstärktem Ausmaß aus primären und sekundären Rohstoffquellen aufgebracht werden müssen.

Auch der Rohstoffabbau emittiert THG. Diese THG Mengen können nicht leicht reduziert werden. Da aber für die Elektromobilität sowie die Erzeugung alternativer Energie einschl. der dafür erforderlichen Infrastruktur ein Vielfaches der derzeit benötigten Rohstoffe erforderlich ist, wird sich dies auf die geforderte Reduktion der THG-Emissionen bremsend auswirken. Maßgebend dafür ist beispielsweise der wesentlich höhere Bedarf an Aluminium für die Karosserie oder Kupfer für die Motoren und Verkabelungen.

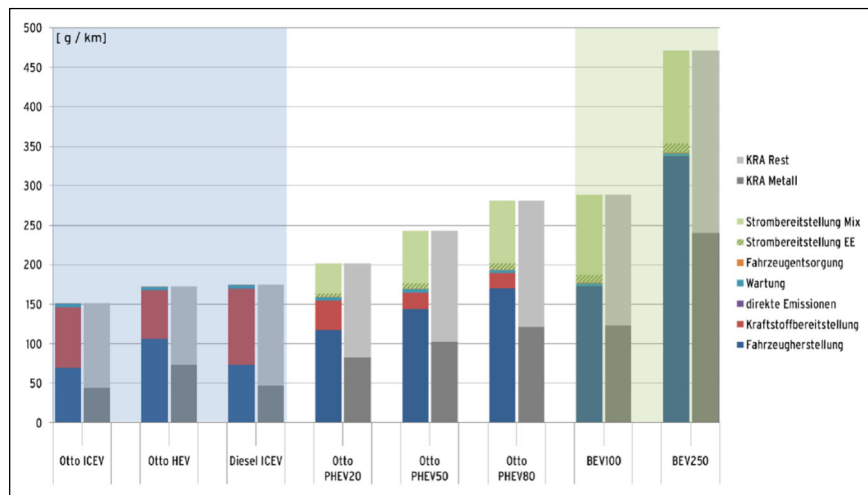


Fig. 5: Kumulierter Rohstoffaufwand nach Lebenszyklusabschnitt und Energieform (168.000 km) (aus: ifeu / UBA-DE 2015: Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen); Abkürzungen: siehe Fig. 4

Photovoltaik (PV)

Es steht außer Zweifel, dass die Photovoltaik signifikante Mengen an THG einsparen kann. Einer Studie des deutschen Umweltbundesamtes (UBA 2021) folgend, fallen je nach Paneltyp von US- Herstellern zwischen 17 und 63 g CO<sub>2</sub>e / kWh an. Würden diese Panels in Deutschland hergestellt werden, könnte auf Grund des deutschen Energie-Mix der THG Ausstoß auf 16 – 32 g CO<sub>2</sub>e / kWh reduziert werden. In den südeuropäischen Ländern mit mehr Sonneneinstrahlung können sogar noch günstigere Werte erzielt werden. PV-Anlagen können sowohl direkt beim als auch fern vom Verbraucher errichtet werden. Allerdings ist die PV nicht grundlastfähig.

PV Technologie	THGP der Elektrizität von PV Anlagen in Deutschland (Sonneneinstrahlung 1200 kWh/(m <sup>2</sup> *a) in g CO <sub>2</sub> e / kWh	THGP der Elektrizität von PV Anlagen in Südeuropa (Sonneneinstrahlung 1700 kWh/(m <sup>2</sup> *a) in g CO <sub>2</sub> e / kWh
Moni s-Si (18%)	43-63 (US-Prod)	30-44
	32 (Europ Prod)	22 (Europ Prod)
Multi c-Si (16,8%)	36-47 (US-Prod)	25-33
	29 (Europ Prod)	21 (Europ Prod)
CIGS (14,6%)	24	17
	33 (China Prod)	23 (China Prod)
CdTe (17%)	17-20	12-14
	16 (Europ Prod)	11 (Europ Prod)

Tab. 1: Treibhausgaspotential von PV Anlagen (aus: UBA 2021)  
 US-Prod: Produktion in den USA; Europ. Prod. Szenario einer Produktion in Europa,  
 China Prod. Werte für Produktion in China  
 CIGS: Copper-Indium-Gallium-Selen-Technologie

Windenergie

Treibhausgaspotential	Basisszenario g CO <sub>2</sub> e / kWh Strom, eingespeist in das deutsche Stromnetz	Ergebnisbandbreiten g CO <sub>2</sub> e / kWh Strom, eingespeist in das deutsche Stromnetz
Offshore	7,3	5,4 – 11,8
Onshore (Starkwind)	7,9	6,1 – 11,2
Onshore (Schwachwind)	10,6	5,2 – 11,2

Tab. 2: Treibhausgaspotential von Windkraftanlagen (aus: UBA 2021)

Windenergie emittiert nach einer Studie des deutschen Umweltbundesamtes (UBA 2021) lediglich zwischen 7,3 und 10,6 g CO<sub>2</sub>e / kWh und zählt (scheinbar) zu den saubersten Energiequellen.

Geothermie

Global trägt die Geothermie lediglich 1,3 % zur Stromerzeugung bei. Der überwiegende Teil wird für Heizzwecke herangezogen. Sowohl die tiefe als auch die seichte Geothermie erfordern außer Spezialstählen keine zusätzlichen mineralischen Rohstoffe. Zur Erschließung sind lediglich Bohrungen und die Errichtung der Anlagen erforderlich.

Im Vergleich zur Windkraft und zur Photovoltaik ist beim Betrieb von Geothermieranlagen elektrischer Strom erforderlich, der für die Pumpen benötigt wird und aus dem Stromnetz bezogen wird. Dadurch können zwischen 70 g/CO<sub>2</sub>e bis 100 g/CO<sub>2</sub>e / kWh anfallen (IFEU). Geothermie ist grundlastfähig.

**Das Rohstoffaufkommen mit besonderer Berücksichtigung der Energierohstoffe:**

Bergbau und Landwirtschaft zählen zur Urproduktion. Ohne mineralische Rohstoffe, die ausschließlich durch Bergbau gewonnen werden, ist keine Sachgüterproduktion möglich. Letztere ist wiederum die unverzichtbare Grundlage für den Dienstleistungssektor.

Im Jahre 2019 wurden weltweit rd. 17,9 Mrd t mineralische Rohstoffe (ohne Baurohstoffe wie z.B. Sand und Kies) abgebaut. Rund 15,4 Mrd t, somit 86% entfallen dabei auf die Gruppe der CO<sub>2</sub>e emittierenden Energierohstoffe (Kohlen, Kohlenwasserstoffe, Uran).

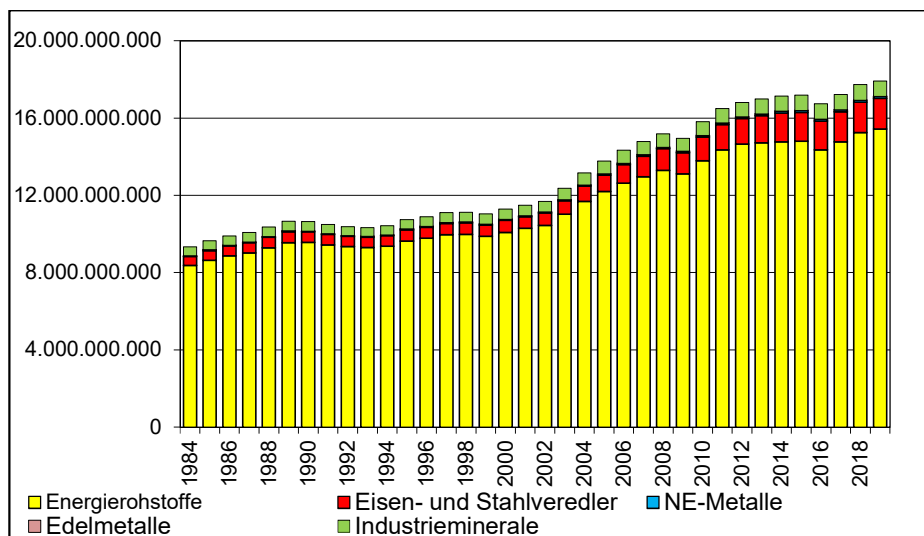


Fig. 6: Weltproduktion von mineralischen Rohstoffen (mit Ausnahme der Baurohstoffe) in metr. t  
Datenquelle: REICHL, C. & SCHATZ, M. (2021): World Mining Data

Auf Grund des unterschiedlichen Energieinhaltes der einzelnen Energierohstoffe und um einen Vergleich mit elektrischer Energie zu ermöglichen, ist vorerst eine Umrechnung in Steinkohleneinheiten (SKE) und schließlich in elektrische Energieeinheiten (Joule) erforderlich (Fig. 7):

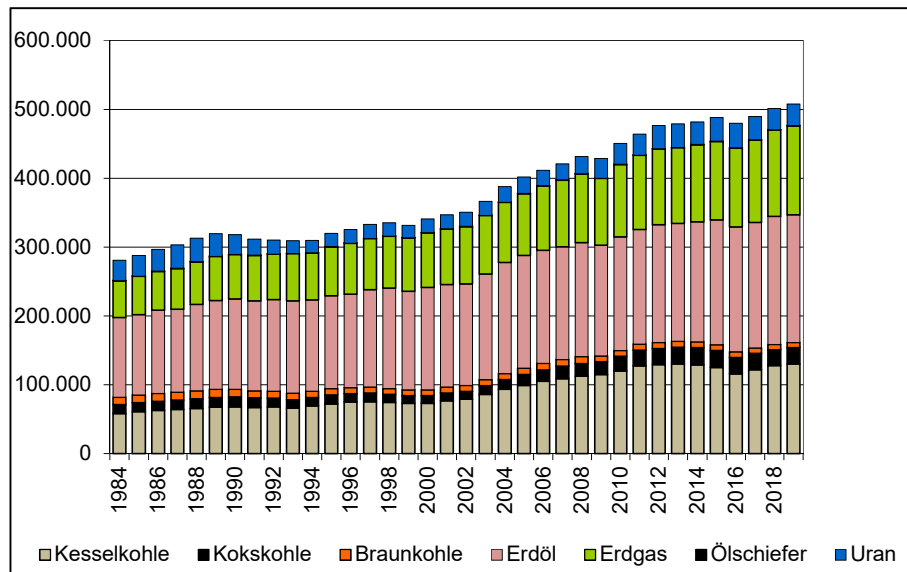


Fig. 7: Weltproduktion von Energierohstoffen in PJ  
 1 Mio t SKE = 29,3076 PJ; 1 PJ = 10<sup>15</sup>J  
 Datenquelle: REICHL, C. & SCHATZ, M. (2021): World Mining Data

Aus Fig. 7 ist deutlich ableitbar, dass unter Betrachtung des Energieinhaltes Erdöl und Erdgas die bedeutendsten Energierohstoffe darstellen.

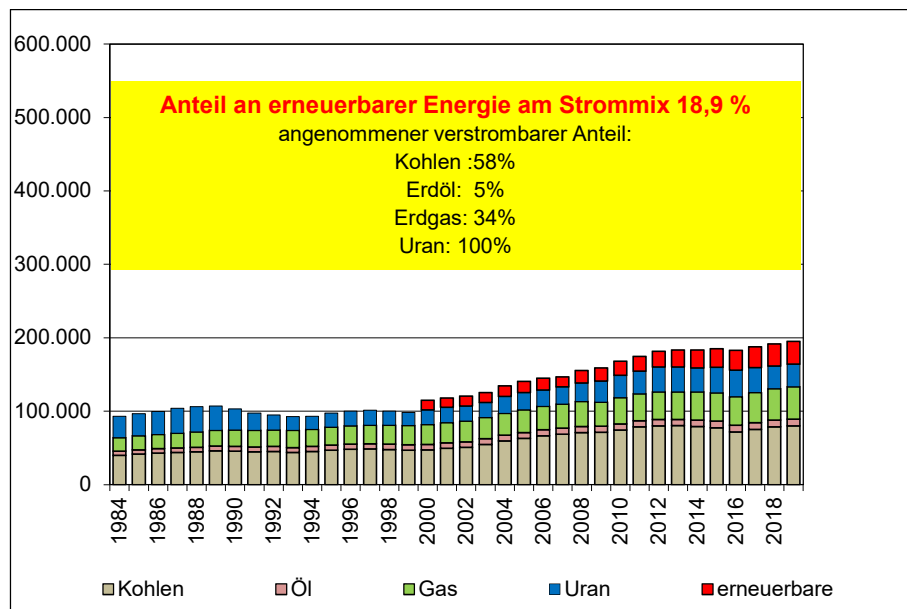


Fig. 8: Verstrombarer Anteil an den fossilen Energierohstoffen und Anteil der erneuerbaren Energie

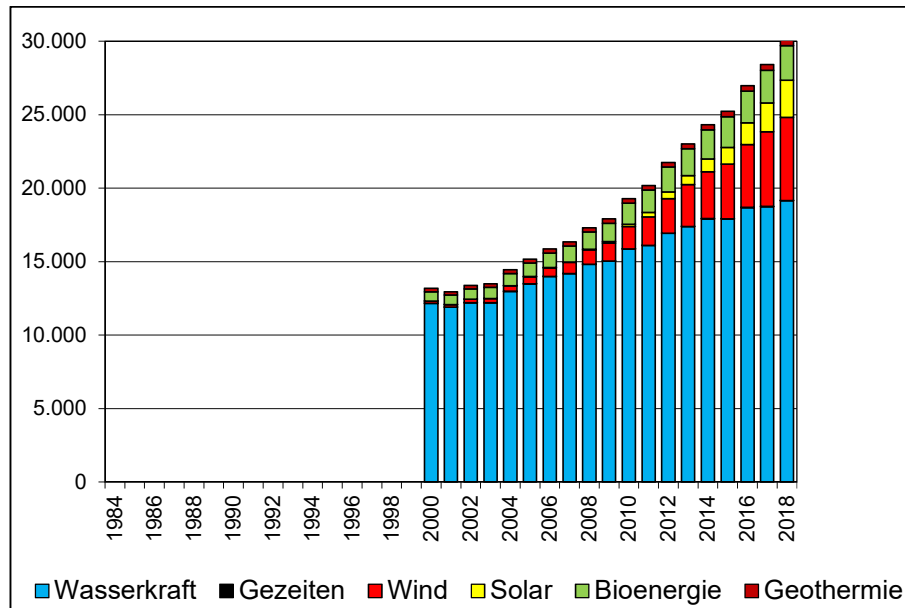


Fig. 9: Anteil der alternativen Energiequellen in PJ (Datenquelle: IRENA)

Unter den nicht aus fossilen Energierohstoffen generiertem Strom ist die Wasserkraft nach wie vor die bedeutendste Quelle für Strom, gefolgt von der Windkraft mit merklich steigendem Anteil (Fig. 9).

### Alternative Energie ist rohstoffintensiv!

#### Rohstoffaufwand für die Elektromobilität

Der VW-Käfer der frühen 1980-er Jahre bestand im Wesentlichen aus einer einfachen Stahlkarosserie, einem Motor mit Vergaser ohne Abgaskatalysator und einer Starterbatterie aus Blei. Das Gewicht des Fahrzeuges lag bei ca. 800 kg.

Mitte der 1980-er Jahre wurden die ersten Abgaskatalysatoren eingesetzt, wobei zunehmend auch elektronische Bestandteile Verwendung fanden, die in erster Linie Edelmetalle benötigten.

Mit der Entwicklung von Fahrzeugen mit Hybridantrieb, insbesondere aber vollelektrischen Fahrzeugen war es notwendig, Hochleistungsbatterien (zumeist auf Lithium-Basis) einzusetzen. Das hohe Gewicht dieser Batterien (200 - 300 kg, bis zu 750 kg für einen Tesla S) zwang aber, beim Gewicht des Fahrzeugs einzusparen. Dies wird beispielsweise durch eine leichte Aluminiumkarosserie bewerkstelligt. Für den Elektroantrieb sind leistungsstarke Elektromotoren erforderlich, die einen Mehraufwand an Kupfer hervorrufen. Es ist daher nicht verwunderlich, dass, wie verschiedene Studien zeigen, ein wesentlich höherer Bedarf an mineralischen (zumeist metallischen) Rohstoffen besteht, als für Fahrzeuge mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren. Da auch bei der Gewinnung und Verarbeitung dieser mineralischen Rohstoffe THG entstehen, drückt sich dies auch in der THG Bilanz markant aus.

	Vor 40 Jahren Otto/Diesel	Heute Otto/Diesel	Hybrid NiMH	BEV	Fuel Cell
Gewicht	800 kg	1500 kg	1100 kg	1600 kg	
Stahl			850 kg *	750 kg *	
Alu			115 kg *	200 kg *	
Kupfer		23 kg *	40 kg *	83 kg *	
PGM		9,1 g *	6,4 g *	-- *	
		2-6 g **	2-6 g **	-- **	25-35 g **
Au			0,2 g *	0,3 g *	
REE	--	247 g *	21 000 g *	1 100 g *	
Ga	--	0,4g *	0,8 g *	1,1 g *	
Li	--	1,36 g *	1,36 g *	7 700 g*	
Co	--	--	0,8 kg *	0,9 kg *	
Ni	3-4 kg **	3-4 kg **	5-15 kg **	<b>30-110 kg **</b>	2-3 kg **

Tab. 3: Rohstoffaufwand von Fahrzeugen verschiedener Antriebsarten  
Quellen: \* ORTEGO et al. 2018; \*\* NORISLK Homepage 2018;

### Rohstoffaufwand für die Windenergie

Der Rohstoffaufwand für eine Windturbine scheint überschaubar gering zu sein. Für Hochleistungsanlagen (z.B. Anlagen mit > 3MW Nennleistung) sind jedoch beachtliche Mengen an Selten-Erdelementen erforderlich. Die Permanentmagnete der Generatoren bestehen aus NdFeB Speziallegierungen mit rd. 66% Fe, 29% Nd, 3% Dy, 1% B. Der Nd-Bedarf für getriebelose Generatoren, liegt bei rd. 200 kg/MW, wogegen für Generatoren mit Getrieben für mittlere Windgeschwindigkeiten rd. 50 kg /MW, für solche mit hoher Windgeschwindigkeit ca. 35 kg erforderlich sind.

Teil	Roh- und Grundstoffe
Rotorblätter	Verbundwerkstoffe,
Generator	REE, B, Co, Cu, Fe
Getriebe	Fe, Cr, Mo, Ni, Cu
Gondel	Al, Cu, Fe, Mo, Ni
Turm	Al, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni
Fundament	Fe, Beton
Leitung	Cu, Pb

Tab. 4a: erforderliche Rohstoffe für  
Windkraftanlagen

Roh-/ Grundstoff	Onshore Menge in t für Windrad mit 3 MW	Offshore Menge in t für Windrad mit 12 MW
Beton	1207	103
Stahl	355	2287
Fe	31	134
Al	2,6	49
Cu	4,6	82
Pb	0	177
Zn	0,3	60
Kunststoffe	39	216
Neodym	186 – 558 kg	744 – 2232 kg
Dysprosium	12-72 kg	48 – 288 kg
	Ca. 1640 t	Ca. 3100 t

Tab. 4b: spezifischer Rohstoffbedarf für ein Windrad  
(nach WATZEL, M. 2015, umgerechnet in t

Dabei wird meist übersehen, dass Windkraftanlagen oft an Orten errichtet werden müssen, wo keine kurzen Anbindungen an das öffentliche Stromnetz möglich sind. Die Lebenszyklusanalyse und somit der tatsächliche Rohstoffaufwand für eine Windkraftanlage ist daher leider oft unvollständig, weil die Leitungen ins öffentliche Netz nicht berücksichtigt werden. Dabei fallen beachtliche Mengen an Kupfer oder Aluminium für die Stromleitungen an. Beispielsweise werden für den Windkraftpark Pretul-2 in der Oststeiermark für die 30 kV Erdkabelleitungen längswasserdichte VPE-isolierte Erdkabel der Type NA2XS(F)2YV 3x1x240 mm<sup>2</sup> benötigt. Allein für die Energieableitung in das öffentliche Stromnetz war die Errichtung einer etwa 9 km langen, erdverlegten Aluminium-Doppelkabelleitung des Typs NA2XS2Y 3x1x630 mm<sup>2</sup> erforderlich.

Der Rohstoffbedarf für Kabel dieser Dimension ist enorm. So kann allein das Gewicht des Kupferleiters bis zu 7 t / km bzw. bei Aluminium bis zu 3 t / km im Einzelkabel betragen. Bei drei Kabeln fallen somit pro km bis zu 21 t Cu bzw. 9 t Aluminium an! Die Länge der Stromleitungen in der Nordsee kann bis zu 100 km betragen.

#### Rohstoffaufwand für Photovoltaik (PV)

Der Rohstoffbedarf für eine Solarzelle ist überschaubar. Neben Glas und Aluminium als Trägerstoffe werden vorwiegend Si, Cu und Ag benötigt. Für die immer wichtiger werdende Dünnschichttechnologie besteht allerdings ein merklich zunehmender Bedarf an Nebenmetallen wie In, Se, Ga, Ge, Cd und Te.

Für ein Solarmodul a' 18 kg sind ca. 12,9 kg Glas, 2,3 kg Aluminium, 1,8 kg Kunststoffe, 0,7 kg Silizium, 0,2 kg Kupfer und 0,02 kg Silber erforderlich. Während für Aluminium, Kupfer und Silber gute Informationen über die Verfügbarkeit bestehen, liegen solche für die Nebenmetalle nur unzureichend vor. Dies liegt vor allem in der Tatsache begründet, dass diese Metalle keine eigenen Lagerstätten bilden, sondern als „Verunreinigungen“ in bestimmten Wirtsmineralen, insbesondere in Zinkblenden auftreten. Diese Metalle reichern sich bei der Verhüttung in Anodenschlämmen an, die aber nur zum Teil zur weiteren Wertstoffgewinnung herangezogen werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass der weitaus größte Teil dieser Metalle unwiederbringlich als Sonderabfall verloren geht.

In Österreich sind nach Angaben des BMLRT rd. 1.700 MW in PV Anlagen installiert. Dies entspricht rd. 1,7 TWh Strom = 6,12 PJ. Um das Ausbauziel 2030 gem. EAG („Erneuerbaren Ausbau Gesetz“) von 12 TWh zu erreichen, müssten unter Anwendung der effizientesten Technologien (Dünnschichtphotovoltaik) bestimmte Metalle wie In, Ga und Ge vermehrt verwendet werden. Stellt man die dafür benötigte Menge an solchen Metallen der derzeitigen Weltproduktion gegenüber, ergibt sich, dass allein der österreichische allein den Weltmarkt bei Germanium überfordern würde...

Be- darf/ Jahr	In	Se	Ga	Cd	Te
2010	10	6	9	5	2
2020	50	29	44	57	25
2030	285	165	251	336	148
2040	430	249	378	511	225
2050	580	336	510	687	303
Prod. 2020	835	2998	323	24465	647

Tab. 5a: globaler Rohstoffbedarf für PV

Bedarf 2030 Masse in t	Bedarf per anno in metr. t	Weltprod. 2019 in metr. t
Si 42.000	5.250	n.b.
In 325	40	896
Ga 78	10	374
Ge 533	66	95 (!)

Tab. 5b: österr. Rohstoffbedarf für PV

### Rohstoffaufwand für Geothermie

Verglichen mit den anderen alternativen Energiequellen ist die Nutzung der geothermalen Energie am wenigsten rohstoffintensiv. Der Rohstoffbedarf beschränkt sich auf die Bohr- und Rohrstränge sowie die Wärmepumpen. Von der Tiefe (und somit Länge) der Verrohrung hängt auch der Rohstoffaufwand ab.

### **Rohstoffe für alternative Energie und deren Versorgungsrisiken**

Die Umstellung der derzeitigen Energieerzeugung von fossilen Energierohstoffen zu solchen aus erneuerbaren Quellen setzt voraus, dass künftig andere und vor allem auch mehr mineralische Rohstoffe durch den Bergbau aufgebracht werden müssen. Dies wird sich auf die THG-Bilanz auswirken: In den folgenden Kapiteln wird dargelegt, wie sich die Umstellung auf andere „grüne“ Rohstoffe bilanzmäßig auswirken kann.

Die Akzeptanz der Bevölkerung für eine Rohstoffgewinnung ist zumindest im europäischen Raum sehr beschränkt. Aber auch in Entwicklungsländern wird eine künftige Rohstoffgewinnung durch Bürgerinitiativen zunehmend erschwert (z.B. Lithium in Südamerika). Aus diesem Grunde wird auch geprüft, ob, bzw. mit welchen Risiken Rohstoffe, exemplarisch analysiert am Beispiel von Kupfer, Lithium und Grafit bereitgestellt werden können

### **Rohstoffgewinnung und Treibhausgase**

Der Bergbausektor wird oft kritiklos als einer der größten Emittenten von THG weltweit angesehen (Rüttinger, L. Sharma, V. 2016). Nach Delevingne, L., et al. (2000) trägt der Bergbau aber „nur“ zwischen 4 und 7% am globalen THG-Ausstoß bei. Dabei stammt der überwiegende Teil der THG (3 – 6 %) von flüchtigem Methan im Zuge der Gewinnung von Kohle, was einer Menge von ca. 1,5 bis 4,6 Mrd t CO<sub>2e</sub> entspricht. Der für die Gewinnung erforderliche Energieaufwand ist mit rd. 0,4 Mrd t CO<sub>2e</sub> vergleichsweise gering. Zum Vergleich: Nach RITCHIE, H & ROSER, M. (2020) werden durch die Landwirtschaft 18,4% an THG, das sind rd. 9,1 Mrd t CO<sub>2e</sub> emittiert.

Fälschlicherweise werden gelegentlich auch die THG-Emissionen der Kohleverstromung dem Bergbau zugeordnet. Gleiches gilt für die Stahlherstellung. So fallen allein rd. 4,2 Mrd t CO<sub>2e</sub> auf die energieintensive Stahl- und Aluminiumproduktion. Aus Koks-kohle, die für die Stahlerzeugung erforderlich ist, werden nach eigenen Berechnungen rd. 2,2 Mrd t CO<sub>2e</sub> emittiert. Bei der Verstromung der Kohle werden rd. 10 Mrd t CO<sub>2e</sub> freigesetzt (IEA 2019). Eigene Schätzungen ergeben „lediglich“ ca. 7,7 Mrd t CO<sub>2e</sub>.

Tatsächlich ist die globale THG-Emission des Bergbaus nicht einfach zu ermitteln. Der Ausstoß von THG durch den Bergbausektor ist primär von der Gewinnungsart (Tagbau / Untertagebergbau) und den Wertstoffgehalten der Lagerstätten abhängig. Der Untertagebergbau ist energieaufwändiger als ein Tagbau, was sich unmittelbar im THG-Ausstoß manifestiert. Rohstoffe, die nur in geringen Konzentrationen vorliegen (z.B. Au), verursachen darüberhinaus einen signifikant höheren THG-Ausstoß als solche, die in hohen Konzentrationen (z.B. Fe) vorliegen. Aus diesem Grunde ist eine Abschätzung des globalen THG Ausstoßes und ein Vergleich mit anderen Emittenten nicht leicht möglich.



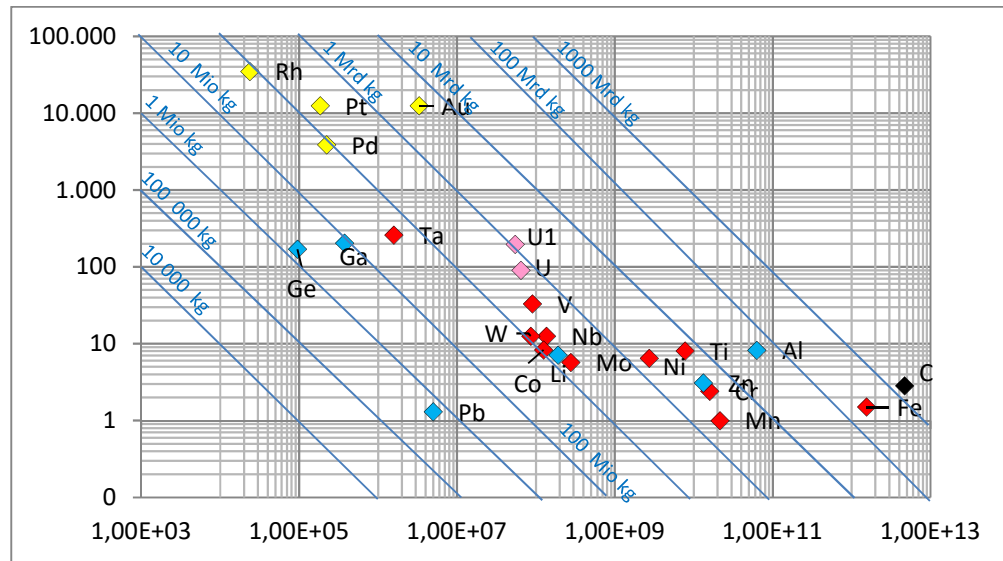


Fig. 10: Menge des Treibhausgasausstoßes in kg nach Rohstoffen; horizontale Achse: Rohstoffproduktion 2019 in kg Wertstoff (Datenquelle: REICHL, C. & SCHATZ, M. 2021); Vertikale Achse: THG Emissionen in kg CO<sub>2e</sub> gelb: Edelmetalle, blau: Bunt- und Sondermetalle, rot: Eisen und Stahlveredler (Datenquellen: Nuss, P. et al. 2014; Azadi, M., et al. 2020; Taylor, M. 1997, Kohlen: eigene Berechnungen)

Fig. 10 gibt zumindest die Größenordnung der THG Emissionen in Kilogramm CO<sub>2e</sub> je Kilogramm Wertstoff an. Dabei zeigt sich deutlich, dass Bergbaue mit höheren Wertstoffgehalten weniger THG emittieren als solche mit geringen Wertstoffkonzentrationen, zumal weniger Gesteinsmassen gefördert und verarbeitet werden müssen. Demgegenüber müssen bei extrem geringen Wertstoffgehalten, wie z.B. Edelmetallen enorme Mengen an Hauwerk bewegt und verarbeitet werden. Die in Fig. 10 dargestellten Mengen an CO<sub>2e</sub> für Kohlen entsprechen lediglich dem verstromten Anteil. Die Menge an CO<sub>2e</sub> für Eisen enthält auch die durch Koks-kohle freigesetzten THG.

Die Angaben der THG-Emissionen pro Wertstoffeinheit sind aber grundsätzlich sehr kritisch zu hinterfragen. Beispielsweise gehen die enormen technischen Aufwendungen bei der Suche nach Lagerstätten (z.B. Suchbohrungen) nicht ein. Offensichtlich werden auch die Transportwege von der Hütte zum Verbraucher nicht berücksichtigt. Es ist daher durchaus von höheren THG-Emissionen / Wertstoffeinheit als angegeben auszugehen. Von Interesse ist aber, wie sich der THG-Ausstoß durch den steigenden Rohstoffbedarf entwickeln wird. Jene mineralischen Rohstoffe, die insbesondere für die alternative Energiegewinnung erforderlich sind (Cr, Co, Mn, Mo, Ni, Nb, Ta, Ti, V, W; Ag, Pt; As, B, C, Cd, Cu, Ga, Ge, Hf, In, Ir, Li, Mg, Pb, REE, Se, Si, Sn, Te, Zn, Zr), verursachten im Bezugsjahr 2020 THG-Emissionen im Ausmaß von „lediglich“ ca. 44 Mio t. Zum Vergleich: Allein der CO<sub>2e</sub> Ausstoß durch die verstromte Kohle beträgt rd. 7,7 Mrd t. Berücksichtigt man den bis zum Jahr 2040 steigenden Bedarf an diesen Rohstoffen, erhöht sich der THG-Ausstoß auf ca. 188 Mio t. Gemessen am gesamten THG-Ausstoß 2020 trägt somit der Bergbau auf diese Rohstoffe lediglich mit ca. 0,24 % bei.

## Analyse der mittel- bis langfristigen Verfügbarkeit und der Versorgungsrisiken von ausgewählten Schlüsselrohstoffen (Cu, Li, Grafit)

Der Umstieg der Energiegewinnung aus fossilen Rohstoffen zu solchen aus erneuerbaren Energiequellen drückt sich insbesondere darin aus, dass nicht nur verschiedene mineralische Rohstoffe, die bereits derzeit verwendet werden, künftig vermehrt benötigt werden, sondern aber auch Rohstoffe, die bislang nur in geringem Maße eingesetzt wurden, zunehmend an Bedeutung gewinnen werden.

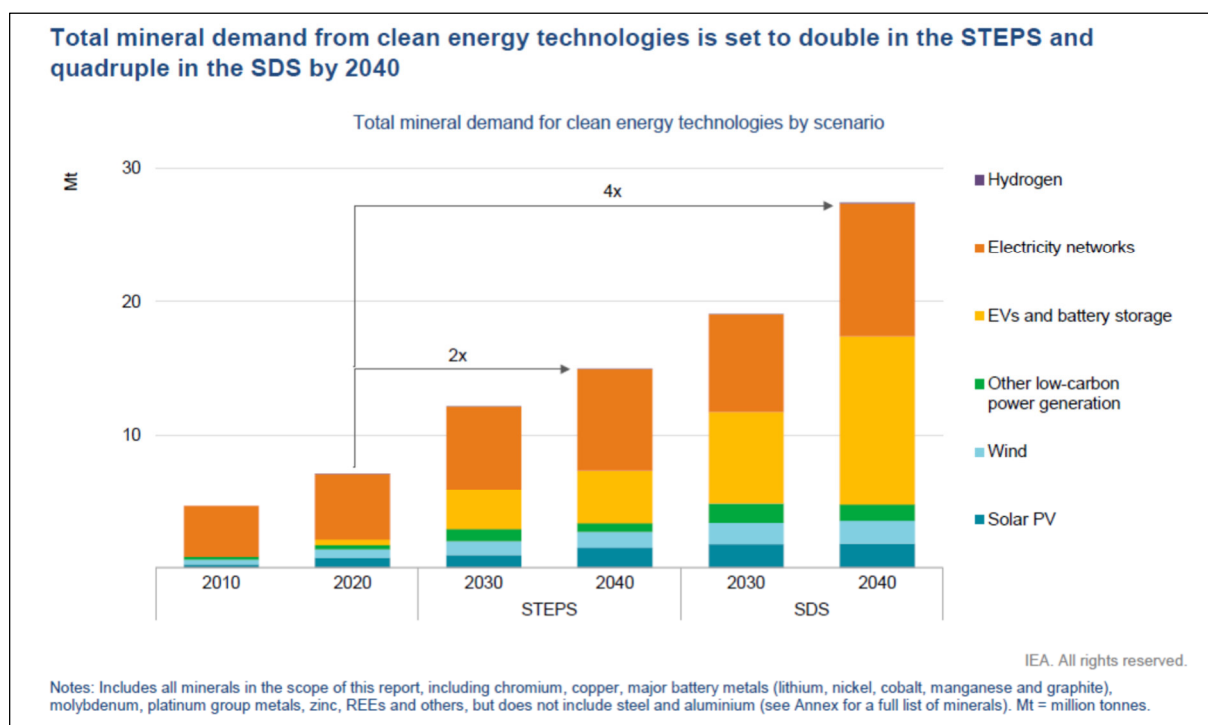


Fig. 11: Rohstoffbedarf für erneuerbare Energie. aus IEA (2021)  
Abkürzungen: STEPS: Stated Policies Scenario; SDS: Sustainable Development Scenario

Mineralische Rohstoffe sind in Lagerstätten angereichert, die durch Bergbau nutzbar gemacht werden. Lagerstätten sind standortgebunden und nur in geologischen Zeiträumen erneuerbar. In der Endlichkeit der Ressourcen und der geringen Akzeptanz in der Bevölkerung für Bergbau liegt eines von vielen Kernproblemen einer ausreichenden Versorgung mit Rohstoffen. Aus Fig. 11 wird augenscheinlich, wie sehr sich der Bedarf an Rohstoffen mittel- bis langfristig ändern wird.

Kupfer ist sowohl für die Elektromobilität als auch für alternative Energiequellen ein Schlüsselrohstoff. Ein E-Mobil benötigt im Vergleich zu einem Fahrzeug mit Verbrennungsantrieb nahezu die vierfache Menge an Kupfer. Somit wird ganz offensichtlich der Elektromobilität und der Leitungsinfrastruktur die größte Bedeutung zukommen. Aus diesem Grunde sollen die möglichen Versorgungsrisiken bei Kupfer und den beiden „Batterierohstoffen“ Lithium und Grafit näher beleuchtet werden.

In den folgenden Kapiteln werden die Ressourcen (Eigenerhebungen, zumal die Angaben des USGS z.T. fragwürdig sind) mit sozioökonomischen Indizes wie politische Stabilität der Produzentenländer (World Governance Index der World Bank) bzw. dem Environmental Performance Index (EPI) der Yale University (Wendling, Z. A., et al. 2020) verknüpft.

## Kupfer

Nach eigenen Erhebungen betragen die globalen Ressourcen der produzierenden Bergbaue rd. 1.777,5 Mio t Cu Metall. Bei gleichbleibender Produktion würde die Reichweite bei rd. 86 Jahren liegen. Unter Berücksichtigung der laufenden Explorationsvorhaben würden sich die Ressourcen sogar um weitere 36 Jahre erhöhen, vorausgesetzt, dass alle Projekte wirtschaftlich umgesetzt werden können. Der Bedarf an Kupfer für die modernen Technologien ist stark steigend und soll im Vergleich zum Bezugsjahr 2020 bis 2040 um das 2,65-fache ansteigen (IEA 2021).

Fig. 12 zeigt, dass von den zahlreichen Explorationsprojekten lediglich ein Bruchteil wirtschaftlich zu einem Bergbau weiter entwickelt werden konnte. Es wurden ca. 2800 Rohstoffprojekte, die seit 2007 durchgeführt wurden, auf ihren Erfolg untersucht. Davon fielen rd. 440 auf Kupferprojekte. Aus diesen resultierten lediglich 5 konkrete Bergbaue. Hieraus zeigt sich das enorme wirtschaftliche Risiko bei der Erschließung neuer Lagerstätten und dass nur ein Bruchteil der aus Explorationsvorhaben ermittelten Ressourcen tatsächlich nutzbar gemacht werden kann.

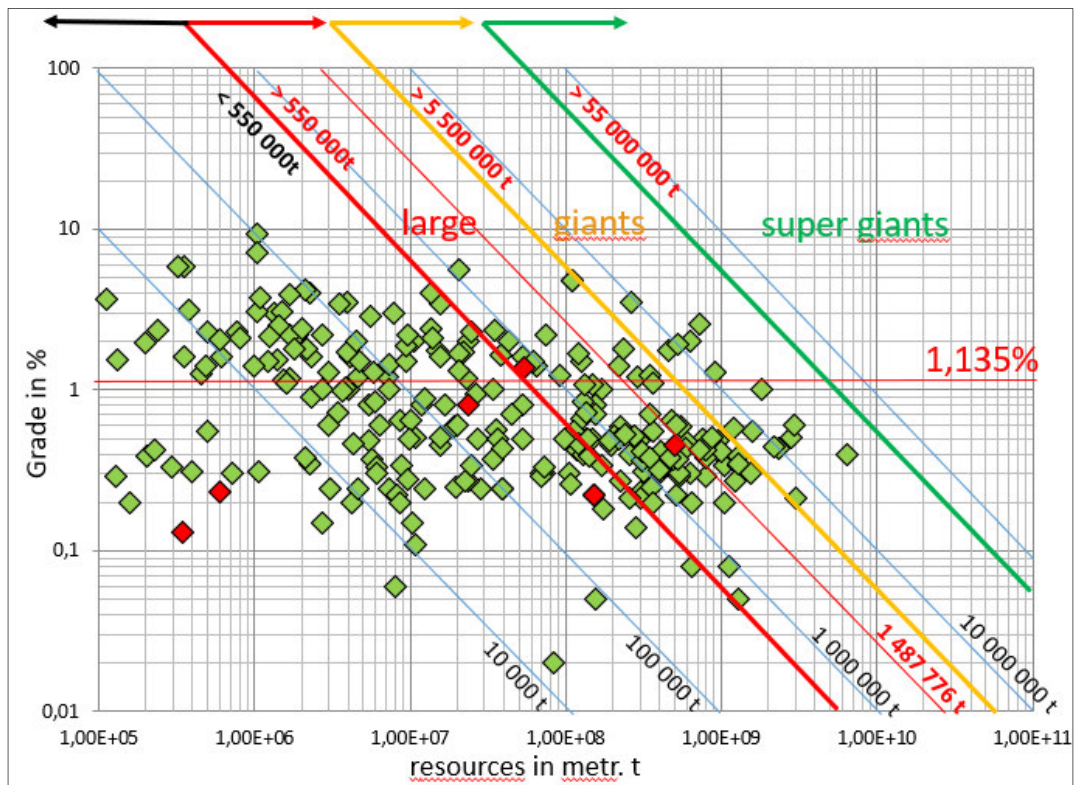


Fig. 12: Gegenüberstellung des Umsetzungserfolges von Explorationsprojekten auf Kupfer:  
 grün: Projekte, die zu keinem wirtschaftlichen Erfolg führten;  
 rot: aus Explorationsprojekten erfolgreich umgesetzte Bergbaue  
 Datenquelle: eigene Erhebungen aus den Geschäftsberichten der Unternehmen

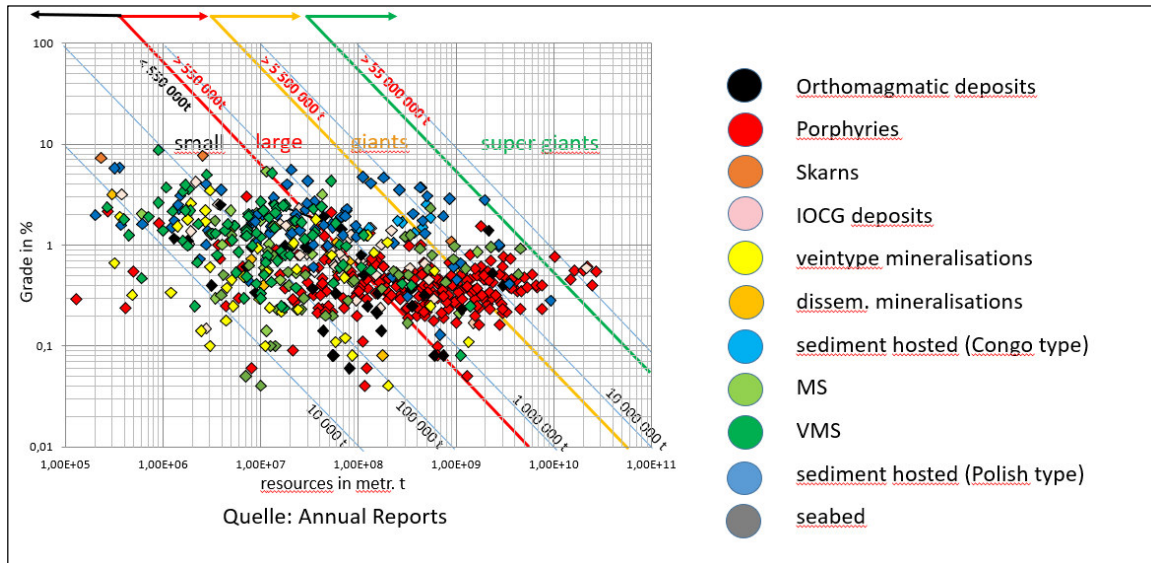


Fig. 13: globale Kupferressourcen (produzierende Betriebe nach Größe und Lagerstättentyp (Eigene Erhebungen aus Unternehmensberichten)

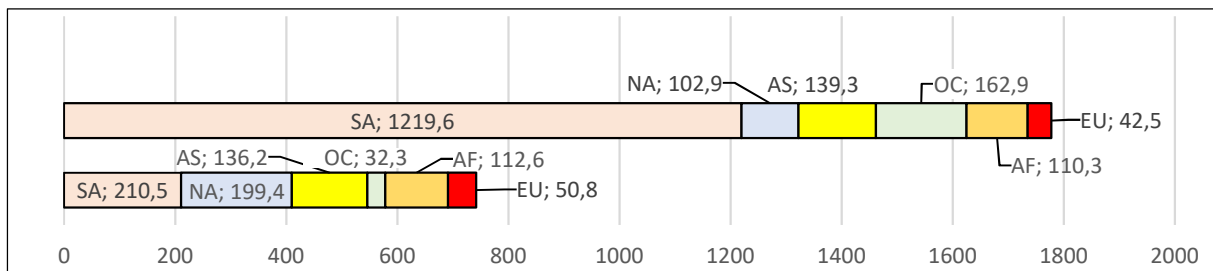


Fig. 14: Verteilung der globalen Cu Ressourcen nach Kontinenten in Mio t (eigene Berechnungen)  
 oberer Balken: Ressourcen der derzeit produzierenden Betriebe (1.777,5 Mio t Cu)  
 unterer Balken: Ressourcen der Explorationsvorhaben (751,6 Mio t Cu)

Aus der Fig. 14 ist deutlich erkennbar, dass die Explorationsvorhaben insbesondere auf dem südamerikanischen Kontinent stark rückläufig sind.

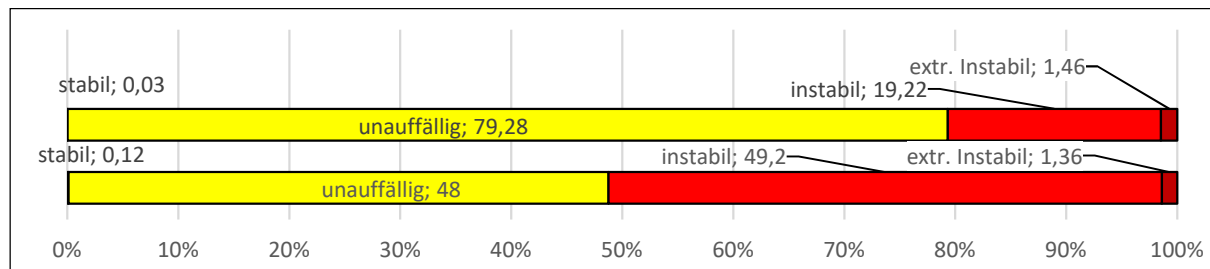


Fig. 15: Verteilung der globalen Cu Ressourcen nach politischer Stabilität der Produzentenländer in %  
 oberer Balken: Ressourcen der derzeit produzierenden Betriebe  
 unterer Balken: Ressourcen der Explorationsvorhaben  
 (Quellen: Ressourcen: eigene Berechnungen; pol. Stabilitätsindizes: WGI)

Die Fig. 15 zeigt deutlich, dass sich die Explorationsvorhaben zunehmend auf politisch instabile Länder verlagern.

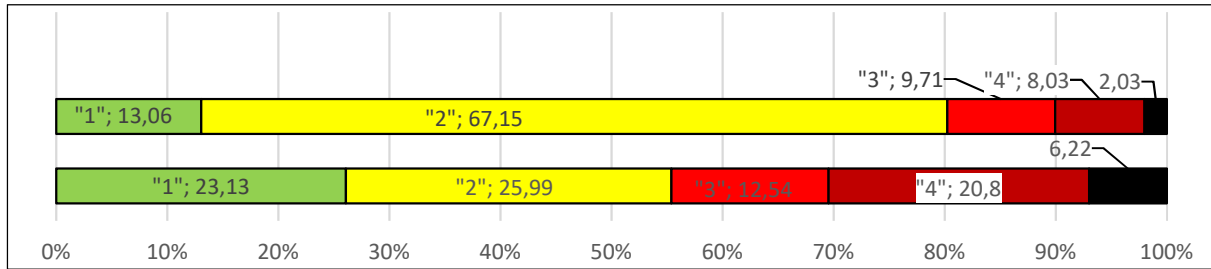


Fig. 16: Verteilung der globalen Cu Ressourcen nach Umweltperformance der Produzentländer in %  
 oberer Balken: Ressourcen der derzeit produzierenden Betriebe  
 unterer Balken: Ressourcen der Explorationsvorhaben  
 (Quellen: Ressourcen: eigene Berechnungen; Environmental Performance Index: Wending, Z. A., et al. 2020)

Die Wertung 1 – 5 entspricht dem Schulnotensystem

Unschwer ist zu erkennen, dass die Explorationsvorhaben sich in Länder mit deutlich geringerem Umweltschutz verlagern.

Mit Sorge ist darüberhinaus die Entwicklung der Cu-Preise an den Börsen zu verfolgen. An der LME (London Metal Exchange) ist dieser von Jahresmitte 2020 von rd. 6500 US\$/t bis Jahresmitte 2021 auf rd. 9500 US\$/t angestiegen. Kurzfristig notierte Kupfer an der LME sogar über 10.000 US\$/t. Die Rohstoffpreise werden sich zwangsläufig in den Energiekosten bzw. Produkten niederschlagen.

## Lithium

Die größten Mengen an Lithium werden künftig für die Batterien der BEV (Battery-Electric Vehicles) benötigt. Die globalen Ressourcen der produzierenden Bergbaue liegen nach eigenen Berechnungen bei rd. 31,835 Mio t Li, das entspricht rd. 68,540 Mio t Li<sub>2</sub>O bzw. 169,489 Mio t LCE (Lithium-Carbonate-Equivalents). Bei gleichbleibender Produktion resultiert daraus eine Reichweite von ca. 360 Jahren. Der Explorationsboom auf Lithiumlagerstätten spiegelt sich deutlich in den Ressourcenangaben wieder. Die bedeutendsten Neufunde ergaben sich in Süd- und Nordamerika. Durch die Explorationsvorhaben wurden bislang rd. 60,824 Mio t Li nachgewiesen. Sofern auch alle Projekte wirtschaftlich umgesetzt werden können, würden Ressourcen für zusätzlich rd. 690 Jahre zur Verfügung stehen.

Rund 54,8 % der globalen Lithiumressourcen stammen aus Salzsolen („Brines“), der Rest ist an Festgesteine gebunden. Fig. 17 zeigt die Größe der einzelnen Li-Vorkommen nach Lagerstättentyp. Unschwer ist zu erkennen, dass die lithiumhaltigen Salzsolen zwar geringe Li-Konzentrationen aufweisen, sich aber durch ihre große Dimension auszeichnen. Demgegenüber sind die „Hard-rock“ Vorkommen (Pegmatite, Greisen, lithiumhaltige Tone etc) durchwegs reicher an Li, aber wesentlich kleinvolumiger.

Der Bedarf an Lithium für die Energiespeicherung ist stark steigend und soll im Vergleich zum Bezugsjahr 2020 bis 2040 um das 41-fache (!) ansteigen (IEA 2021).

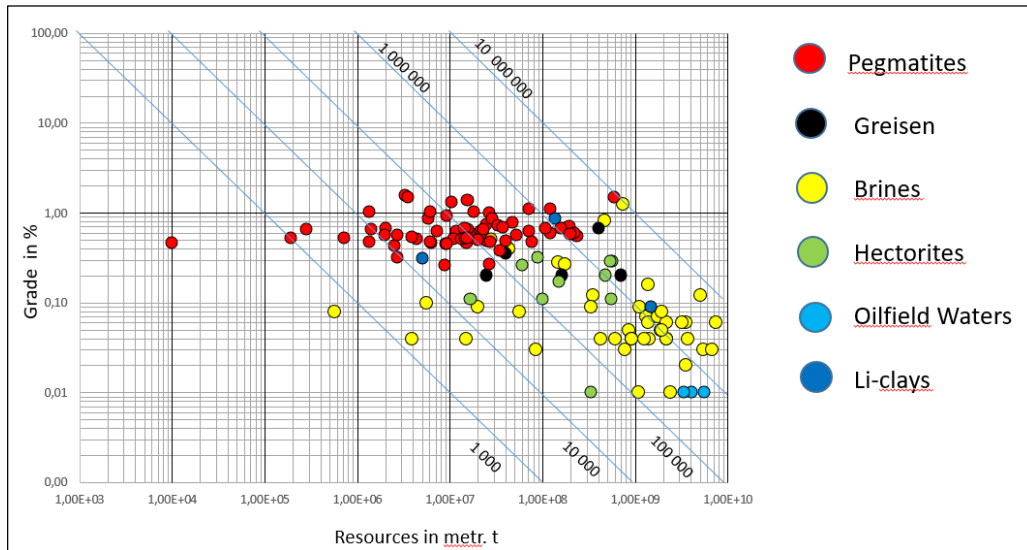


Fig. 17: globale Lithiumressourcen nach Größe und Lagerstättentyp (Eigene Erhebungen aus Unternehmensberichten)

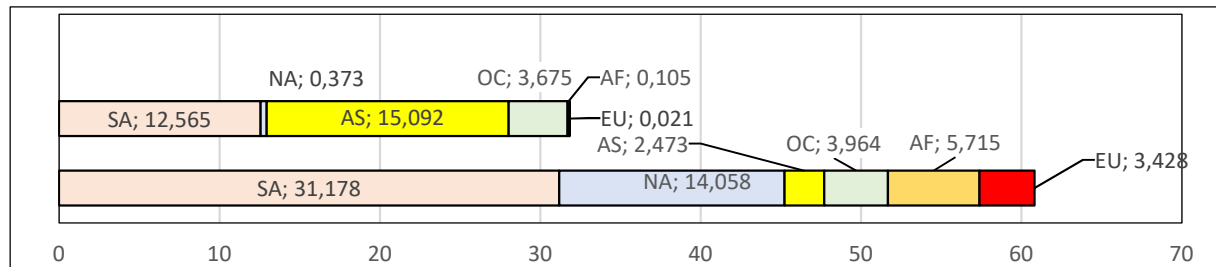


Fig. 18: Verteilung der globalen Li Ressourcen nach Kontinenten in Mio t (eigene Berechnungen)  
 oberer Balken: Ressourcen der derzeit produzierenden Betriebe (31,835 Mio t Li)  
 unterer Balken: Ressourcen der Explorationsvorhaben (60,824 Mio t Li)

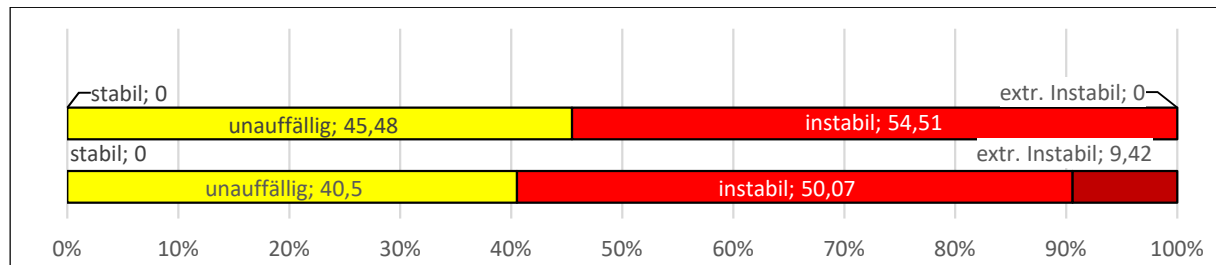


Fig. 19: Verteilung der globalen Lithium Ressourcen nach politischer Stabilität der Produzenteländer in %  
 oberer Balken: Ressourcen der derzeit produzierenden Betriebe  
 unterer Balken: Ressourcen der Explorationsvorhaben  
 (Quelle: Ressourcen: eigene Berechnungen; pol. Stabilitätsindizes: WGI)

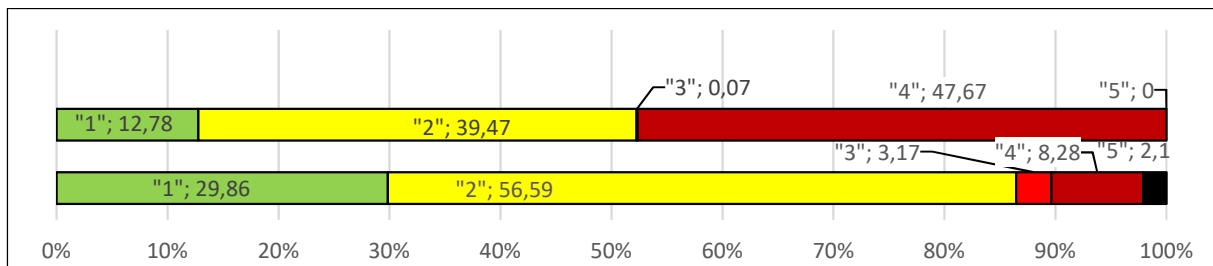


Fig. 20: Verteilung der globalen Li Ressourcen nach Umweltperformance der Produzenteländer in %  
 oberer Balken: Ressourcen der derzeit produzierenden Betriebe  
 unterer Balken: Ressourcen der Explorationsvorhaben  
 (Quellen: Ressourcen: eigene Berechnungen; Environmental Performance Index: Wendling, Z. A., et al. 2020)

### Grafit

Von der Europäischen Kommission wurde Grafit als „kritischer Rohstoff“ eingestuft. Für die Herstellung einer Lithium-Ionen-Batterie wird nahezu 10 mal mehr Grafit als Lithium benötigt. Warum man nicht von einer „Grafit-Lithiumionen-Batterie“ spricht, lässt sich nicht erklären. Für die Erzeugung solcher Batterien eignen sich nur besonders reine Sorten, die daher besonders gefragt sind. Die globalen Ressourcen der produzierenden Unternehmen betragen nach eigenen Erhebungen ca. 585,6 Mio t. Bei gleichbleibender Produktion ergibt sich eine Reichweite von ca. 520 Jahren.

In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Projekte insbesondere in Afrika verfolgt, sodass zusätzliche Ressourcen von ca. 634 Mio t Grafit nachgewiesen wurden. Dies würde die Reichweite um weitere 560 Jahre erhöhen.

Aus Fig. 21 kann abgelesen werden, dass Grafitlagerstätten im Vergleich zu anderen Rohstoffen relativ geringe Größe aufweisen. Für bestimmte Anwendungszwecke wie z.B. Batterien kommen nur hochwertige Qualitäten (lump, flake) in Frage, wogegen „amorphe“ Qualitäten eher ausscheiden.

Der Bedarf an Grafit für die modernen Energietechnologien ist stark steigend und soll im Vergleich zum Bezugsjahr 2020 bis zum Jahre 2040 um das 25-fache (!) ansteigen (IEA 2021).

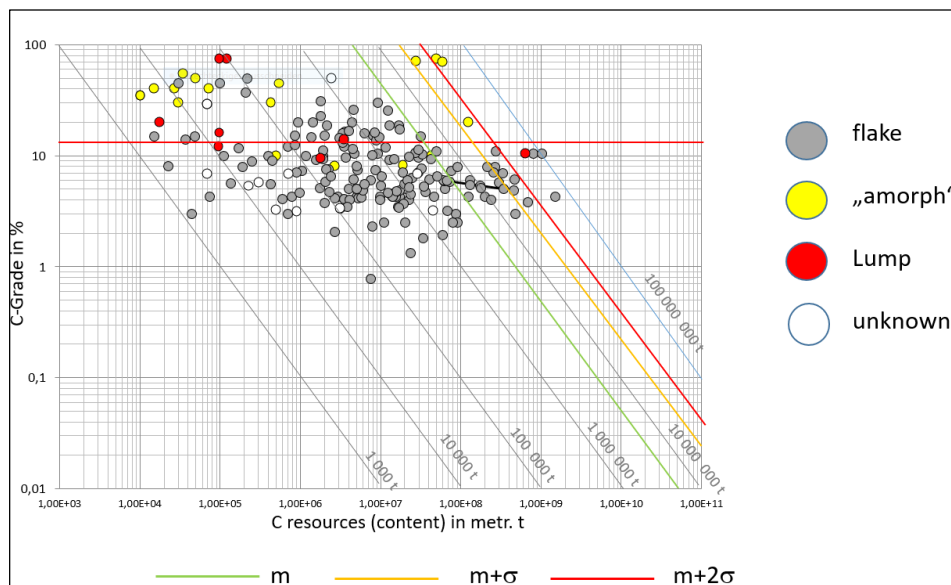


Fig. 21: globale Grafitressourcen nach Größe und Lagerstättentyp (Eigene Erhebungen aus Unternehmensberichten)

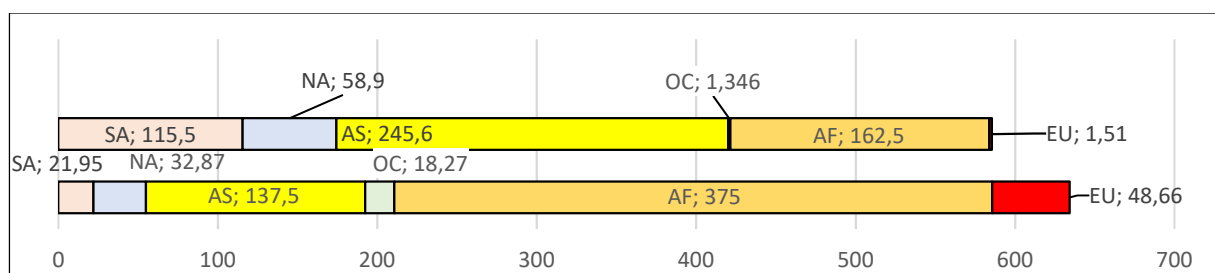


Fig. 22: Verteilung der globalen Grafit Ressourcen nach Kontinenten in Mio t (eigene Berechnungen)  
 oberer Balken: Ressourcen der derzeit produzierenden Betriebe (586 Mio t Grafit)  
 unterer Balken: Ressourcen der Explorationsvorhaben (634 Mio t Grafit)

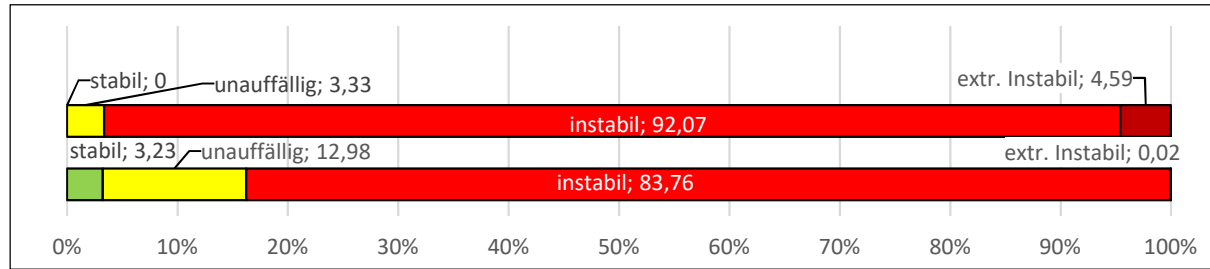


Fig. 23: Verteilung der globalen Grafit Ressourcen nach politischer Stabilität der Produzentenländer in %  
 oberer Balken: Ressourcen der derzeit produzierenden Betriebe  
 unterer Balken: Ressourcen der Explorationsvorhaben  
 (Quelle: Ressourcen: eigene Berechnungen; pol. Stabilitätsindizes: WGI)

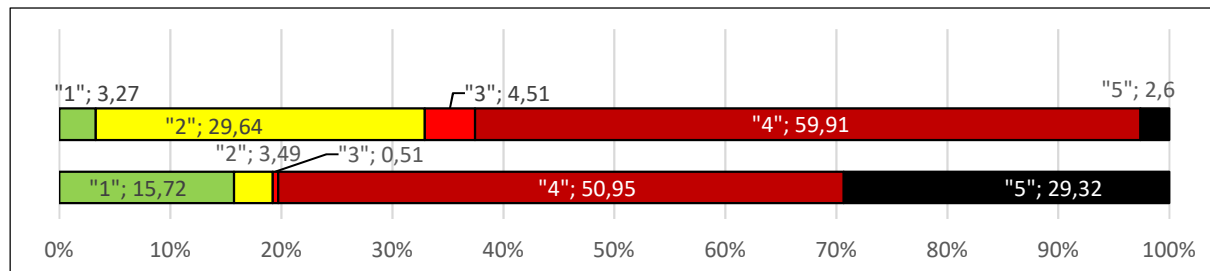


Fig. 24: Verteilung der globalen Cu Ressourcen nach Umweltperformance der Produzentenländer in %  
 oberer Balken: Ressourcen der derzeit produzierenden Betriebe;  
 unterer Balken: Ressourcen der Explorationsvorhaben

(Quelle: Ressourcen: eigene Berechnungen; Environmental Performance Index: Wendling, Z. A., et al. 2020)

**Marktkonzentrationen (Herfindahl – Hirschmann-Index [HHI]):**

Der HHI ist eine Maßzahl für die Marktkonzentration. Er errechnet sich aus der Summe der Quadrate der Einzelbeobachtungen. Bei einem Monopol (=100%) wird der Maximalwert von 10.000 erreicht. Bei lediglich 4 Einzelbeobachtungen (z.B. 10%, 20 %, 30%, 40%) ergibt sich ein Wert von 100 + 400 + 900 + 1600 = 3000. Ein HHI unter 1000 ist eine Maßzahl für eine geringe Marktkonzentration. Ein HHI zwischen 1000 und 2000 ist ein Hinweis auf einen mäßig konzentrierten Markt. Ein Wert zwischen 2000 und dem Maximalwert von 10000 ist aber ein Hinweis auf einen hochkonzentrierten Markt mit dem Risiko einer Marktbeherrschung durch wenige Anbieter. Die Marktkonzentration kann jeweils für Unternehmen, aber auch Produzentenländer berechnet werden. In dieser Arbeit werden die HHIs für die Produzentenländer angegeben, weil für die einzelnen Explorationsprojekte der eigentliche Produzent noch nicht feststeht.

Kupfer:

Unter Heranziehung der Ressourcen von produzierenden Bergbauen ergibt sich ein HHI von 1190, was als Indiz für einen mäßig konzentrierten Markt gedeutet werden darf. Betrachtet man allerdings den HHI jener Länder, wo Ressourcen durch Explorationsprojekte erschlossen worden sind, ergibt sich bereits ein HHI von 2066, was bereits auf eine mögliche künftige Marktbeherrschung durch wenige Anbieter hinweisen kann.

Lithium

Da Lithium derzeit lediglich in 11 Ländern gewonnen wird, ist eine hohe Marktkonzentration gegeben, die sich in einem HHI von 3719 ausdrückt. Explorationsprojekte werden derzeit aber in 25 Ländern betrieben, woraus eine geringere Marktkonzentration zu erwarten ist. Würden die Explorationsprojekte wirtschaftlich umgesetzt werden können, ergäbe sich ein HHI von 1839.



### Grafit:

Grafit wird in 18 Ländern abgebaut. Auf Grund der Marktdominanz Chinas liegt eine hohe Marktkonzentration vor, wie der HHI von 4103 zeigt. Betrachtet man allerdings nicht die Produktion, sondern die Ressourcen, sinkt der HHI auf 2434, woraus immer noch ein hochkonzentrierter Markt resultiert.

Die Explorationsprojekte, die sich auf 27 Länder aufteilen, würden zu einer Entspannung der Marktkonzentration führen (HHI=1782).

Mittel- bis langfristig ist eine physische Verknappung der Cu-, Li- und Grafit-Ressourcen wenig wahrscheinlich. Steigende Rohstoffpreise ermutigen einerseits zur Inangriffnahme weiterer Explorationsvorhaben, andererseits erlaubt der höhere Rohstoffpreis auch die Nutzung ärmerer Lagerstätten. Diese „modifying factors“ haben eine unmittelbare, durchaus kurzfristige Auswirkung auf die Ressourcen.

Künstlich herbeigeführte Rohstoffverknappungen (z.B. bewusst herbeigeführte Verknappungen durch Rohstoffkartelle, politische Unruhen in Produktionsländern u.a.m) sind aber keineswegs auszuschließen und stellen daher ein nicht zu vernachlässigendes Risiko dar, die hoch gesetzten Umweltziele bis 2050 zu erreichen.

### **Zusammenfassung:**

Der Umstieg von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren auf Elektrofahrzeuge wird äußerst kritisch beurteilt. Die Meinung, wonach Elektromobile keine Emissionen verursachen, ist reine Illusion. Zwar können solche Fahrzeuge ohne Emissionen betrieben werden, wogegen die Herstellung der Batterien besonders energie- und somit THG-intensiv ist. Solange derartige Batterien in asiatischen Ländern mit Kohlestrom erzeugt werden, bedeutet der Umstieg auf Elektrofahrzeuge keine Einsparung an THG.

Der Umstieg von fossilen Rohstoffen zu alternativen Energieformen zur Herabsetzung der THG-Emissionen auf das Niveau von 1990 bedeutet einen Strukturwandel bei der Aufbringung von Mineralrohstoffen. Die Angaben über den durch den Bergbau hervorgerufenen THG Ausstoß ist zum Teil stark verzerrt, weil die THG Mengen, die bei der Verstromung fossiler Energierohstoffe frei werden, oft dem Bergbau zugerechnet werden. Trotz vermehrten Rohstoffbedarfs bei der Anwendung moderner Technologien wird dabei die vermehrte THG-Emission mit lediglich 0,24 % eingeschätzt, wogegen bei Rücknahme der Förderung fossiler Rohstoffe eine wesentlich stärkere Reduktion der THG Emissionen zu erwarten ist.

Bedauerlicherweise sind die Berechnungsmodalitäten des CO<sub>2</sub>-e Ausstoßes durch den Bergbau nicht ausreichend reguliert. Wünschenswert wäre auch die Einbeziehung der Explorationsarbeiten im Vorfeld der Gewinnung sowie die Abgrenzung bis zur Verhüttung. Die Freisetzung von THG durch Verstromung darf nicht dem Bergbau zugerechnet werden. Eine einheitliche Berechnungsmethode für die Rohstoffgewinnung wäre anzustreben.

Ob der Umstieg auf alternative Energiequellen tatsächlich möglich ist, hängt aber von der Verfügbarkeit an Schlüsselrohstoffen ab. In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, dass mittel- bis langfristig keine physischen Verknappungen zu erwarten sind. Vielmehr kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass die Verlagerung

der Rohstoffgewinnung in politisch instabile Länder oder Länder mit niedrigen Umweltstandards die Erreichung der Umweltziele erschweren kann. Rohstoffpreiskrisen können zusätzliche Probleme schaffen. Vor allem die Einschränkung oder der Verzicht auf unnötige Energieverbraucher im eigenen Haushalt kann aber ebenfalls wesentlich zur THG-Einsparung beitragen.

## Literatur:

- Azadi, M., Northey, S., Ali, S. & Edraki, M. (2020): Transparency on greenhouse gas emissions from mining to enable climate change mitigation.- *Nat. Geosci.* **13**, 100–104. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0531-3>
- Delevingne, L., Glazener, W., Grégoir, L. & Henderson, K. (2000): Climate risk and decarbonization: What every mining CEO needs to know Building a climate strategy won't be quick or easy—but waiting is not an option. Mc Kinsey & Comp., (ed).
- Eisendle, M. P. (2018): UVP-Gutachten für das Vorhaben "Windpark Pretul 2" Befund und Gutachten aus dem Fachbereich Elektrotechnik, 43 S.,
- IEA (2019), *Global Energy & CO2 Status Report 2019*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019>
- IEA (2021), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2020): Renewable Energy Statistics 2020 (www.irena.org)
- Nuss P. & Eckelman M.J. (2014): Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis. PLoS ONE 9(7): e101298. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101298>.
- Ortego, A., Valero, A., & Restrepo, E. (2018): Vehicles and Critical Raw Materials A Sustainability Assessment Using Thermodynamic Rarity.- *Journal of Industrial Ecology*, 22, 1005 – 1015.
- Reichl, C. & Schatz, M. (2021): World Mining Data.- Bundesministerium für Landwirtschaft, Tourismus und Regionen. (Ed.)
- Ritchie, H & Roser, M. (2020): CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions. *Published online at OurWorldInData.org*. abgerufen von: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
- Rüttiger, L. Sharma, V. (2016): Climate change and mining A Foreign Policy Perspective.- Abgerufen am 5.8.2021 von <https://www.adelphi.de/de/publikation/climate-change-and-mining>
- UBA (ed. 2016): Emission Factors for Fossil Fuels.- *Climate Change 28/2016 CO<sub>2</sub>*.- 48 S., Dessau-Roßlau.
- UBA (ed. 2021): Abschlussbericht.- Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen.- 392 S., Dessau-Roßlau.
- Taylor, M. (1997): Greenhouse gases and the nuclear fuel cycle: What emissions? IAEA Bull., 39/2/1997.

Wendling, Z. A., Emerson, J. W., de Sherbinin, A., Esty, D. C., *et al.* (2020). *2020 Environmental Performance Index*. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy. epi.yale.edu

Wetzel, M. (2015): Materialbedarf von Stromerzeugungssystemen – Szenarienpfade für Deutschland.- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Inst. Für Technische Thermodynamik; Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung.- 87 S. Stuttgart.

Weitere Internetabfragen:

<https://www.nornickel.com/investors/reports-and-results/#2018>

<http://info.worldbank.org/governance/wgi/>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4085040/>

## Tiefstpreis oder Bestpreis? – Richtlinien zur Ausschreibung hybridseismischer Erkundungen – ein Beitrag der klaren Worte

Walter Frei & Dieter Martin

GeoExpert AG, CH-8424 Embrach / Schweiz, info@geoexpert

### Abstract

*The hybrid seismic method, introduced to the market in 2000 by GeoExpert AG, has gained much popularity that it is now an integral part of practically all tenders for high resolution seismic surveys in hydrogeological and construction site investigations. Few clients, or their technical consultants, however, are aware that stringent requirements with regard to the data acquisition parameters and to the data processing strategy must be met for the successful implementation of an authentic hybrid seismic survey. Tenders without clear technical specifications in the bill of quantities, and with the lowest price as the sole award criterion, are doomed to result in frustration. Guidelines are provided for preparing an adequately detailed request for bids to enable the tenderers to submit quotes appropriate for the appraisal of the best price.*

### 1 EINFÜHRENDE BEMERKUNGEN – GESCHICHTLICHES

**Bis Ende der 90er Jahre gab es die zwei methodisch streng getrennten und in der Praxis einzeln angewendeten Verfahren der Reflexionsseismik und der Refraktionsseismik.**

- Die klassische Reflexionsseismik eignet sich zur Kartierung des strukturellen Aufbaus des Untergrunds bis in Tiefen von mehreren Kilometern, wie z.B. in der Erdölindustrie. Sie ist als alleiniges Verfahren jedoch methodisch nicht einsetzbar für oberflächennahe Abklärungen, wie z.B. bei Baugrund- oder hydrogeologischen Erkundungen, weil sie in geringen Tiefen nicht in der Lage ist die Verteilung der seismischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmen.
- Die Refraktionsseismik, seit Mitte der 90er Jahre mittlerweile auf dem Markt als weiterentwickeltes tauchwellentomographisches Verfahren, ist hingegen sehr wohl dazu geeignet, hat methodisch bedingt aber den Nachteil einer beschränkten Erkundungstiefe.

Falls einzeln angewandt haben diese beiden Methoden je nach Fragestellung und gewünschter Erkundungstiefe die folgenden Vor- und Nachteile:

Anforderungen / Eignung zur Erreichung der Messziele	Reflexionsseismik	Refraktionstomographie
Auflösungsvermögen in geringen Tiefen (< 10 m)	schlecht	gut
Auflösungsvermögen in größeren Tiefen (> 40 m)	gut	begrenzt
Erkundungstiefe	hoch	begrenzt
Indikator für Gesteinsfestigkeit / Auflockerung / Permeabilität	begrenzt	gut
Detektion von Geschwindigkeitsinversionen ( <i>hidden layers</i> )	schlecht	gut
Detektion von Störungs- und Bruchzonen	gut	begrenzt

Aufgrund obiger Gegenüberstellung liegt es auf der Hand, dass eine Verheiratung der beiden Verfahren gemäß dem Verfahren der Hybridseismik als Durchbruch zur Kartierung oberflächennaher Strukturen einzustufen ist.

Das charakteristische Merkmal der Hybridseismik ist die symbiotische Kombination der Reflexions- mit der Refraktionsseismik, wodurch für jedes Messziel die Nachteile der einen Methode durch die Vorteile der anderen wettgemacht werden.

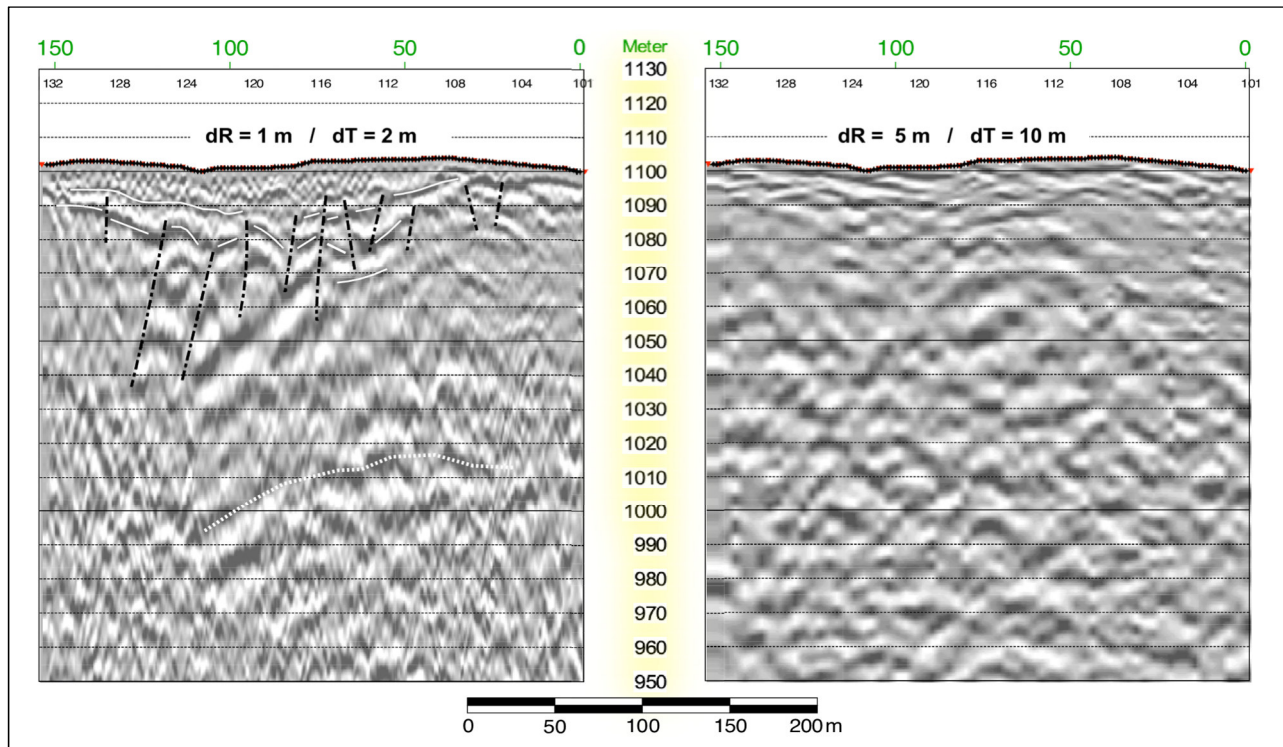
Wurden früher die Refraktions- und Reflexionsseismik als eigenständige Disziplinen mit getrennter Datenerfassung und getrennter EDV durchgeführt, so sind heute die Datenerfassung und Auswertung beider Verfahren gemäss der Hybridseismik eng miteinander verzahnt (Frei W.; 2020, Frei W.; 2019 und Frei W. & Keller L.; 2000).

Der Grundgedanke der authentischen Hybridseismik besteht darin, dass die für die EDV einer hochauflösenden Reflexionsseismik benötigte genaue Kenntnis der Verteilung der seismischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten mit dem Verfahren der refraktionstomographischen Inversion hergeleitet wird.

## **2 DIE KRITERIEN AUTHENTISCHER HYBRIDSEISMIK**

### **A) Vorgaben für die Parameter der hybridseismischen Datenerfassung**

Entscheidend für die Detailgenauigkeit hybridseismischer Abbildungen ist die räumliche Datendichte ausgedrückt durch die Wahl der Abstände, an erster Stelle zwischen den Geophonstationen (**dR**), und an zweiter Stelle zwischen den Anregungspunkten (**dT**). *Je kleiner diese Abstände desto besser ist die Auflösung reflexionsseismischer Daten (s. Abb. 1).*



**Abb.1** Auswirkung unterschiedlicher Empfänger- und Anregungsabstände auf das Auflösungsvermögen. Das reflexionsseismische Profil links mit 1 m Geophon- und 2 m Anregungsabstand hat eine bedeutend höhere Detailgenauigkeit als das Profil rechts mit den Abständen von 5 m für dR und 10 m für dT.

Basierend auf der gewünschten Erkundungstiefe sind für die hybridseismische Datenerfassung folgende grundlegenden Regeln anzuwenden, um eine ausreichende reflexionsseismische Datendichte und eine optimale refraktionstomographische Erkundungstiefe sicher zu stellen:

1. Die Abstände der Empfängerstationen  $dR$  sollten  $1/60$  bis  $1/30$  der erforderlichen Erkundungstiefe  $Z$  nicht überschreiten (Anforderung an die Reflexionsseismik).
2. Der Abstand der Anregungspunkte  $dT$  sollte nicht grösser gewählt werden, als 1 – 3 mal den Abstand der Empfängerstationen (Anforderung an die Reflexionsseismik).
3. Die Länge der aktiven Auslage sollte mindestens dreimal grösser sein als die gewünschte Erkundungstiefe  $Z$  (Anforderung an die Refraktionstomographie)

#### Arbeitsbeispiel

Aufgrund der oben angegebenen Regeln für eine gewünschte Erkundungstiefe von 100 m:

- 1) Abstand der Empfängerstationen von 2 m ist angemessen (vgl. Regel 1, oben).
- 2) Der Abstand der Quellenpunkte sollte 6 m nicht überschreiten. Unter schwierigen Bedingungen sind 2 m bis 4 m vorzuziehen (vgl. Regel 2, oben).

- 3) Die Länge der aktiven Empfängerauslage muss mindestens 300 m betragen, was bedeutet, dass bei einem Geophonabstand von 2 m die aktive Auslage aus mind. 150 Geophonen bestehen muss. Aus diesem Grund muss auch die Registrierapparatur diese Anzahl an Kanälen aufweisen (vgl. Regel 3, oben).

## **B) Ausschreibungsvorgabe für eine authentisch hybridseismische EDV**

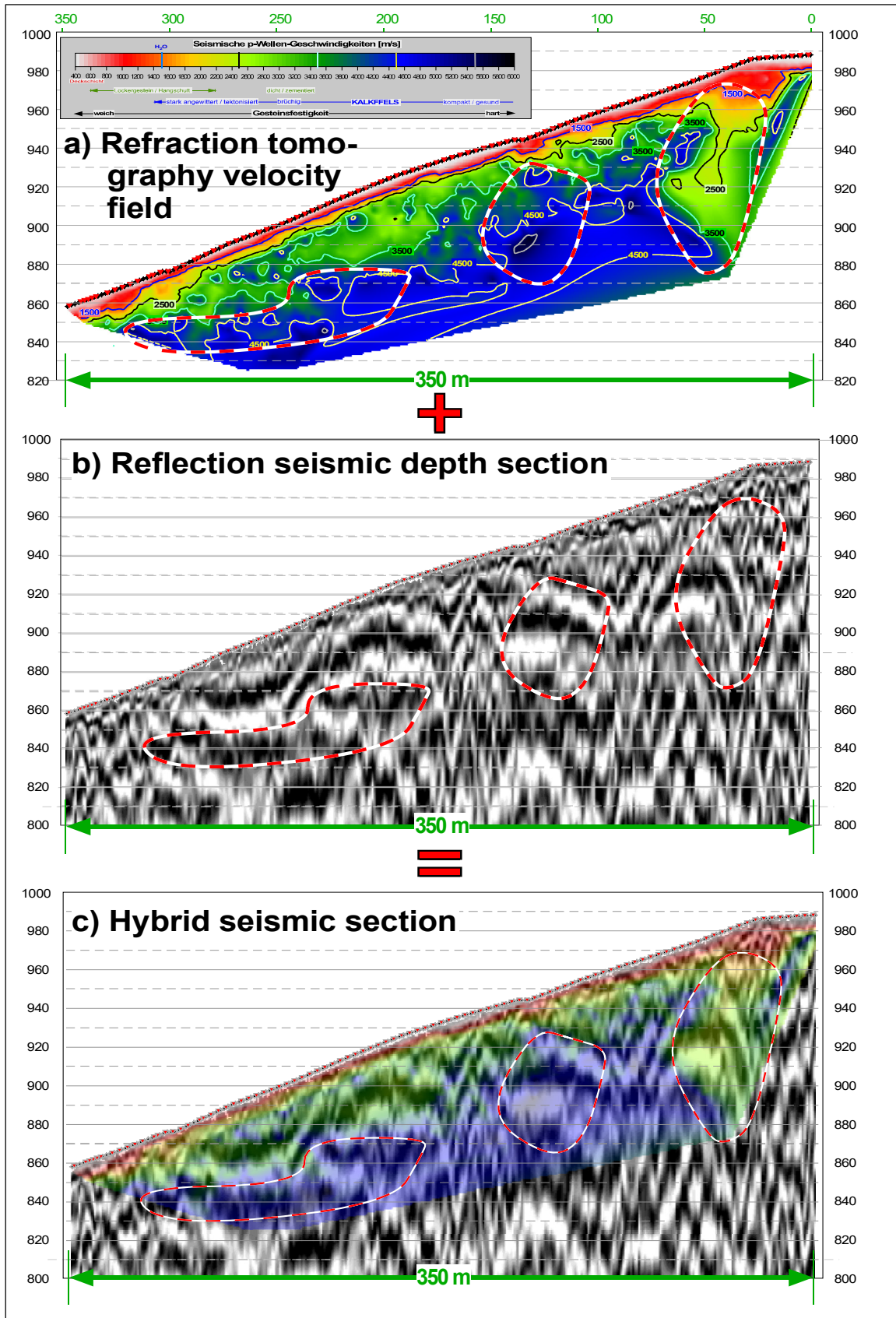
Es gilt das Gebot der **räumlichen Deckungsgleichheit**. Die geologischen Strukturen müssen in ihrer Form und Größe, sowie ihrer Tiefenlage durch das refraktionstomographisch abgeleitete seismische Geschwindigkeitsfeld deckungsgleich mit dem reflexionsseismischen Tiefenprofil (Abb. 2b) abgebildet werden.

*Die räumliche Deckungsgleichheit ist als Kernstück das Gütesiegel der Hybridseismik und zentral für eine nicht mit Mehrdeutigkeiten belasteten geologischen Interpretation der seismischen Abbildung.*

Sie wird herbeigeführt durch die Verwendung des refraktionsstomographischen Geschwindigkeitsfeldes der Abb. 2a) für die EDV-Erstellung des reflexionsseismischen Tiefenprofils in Abb. 2b). Für die Herleitung und Analyse der Verteilung der seismischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten empfiehlt sich das arithmetische CMP-Verfahren (Gebrande, H., und H. Miller;1985: Refraktionsseismik). Dies gilt insbesondere bei der Kartierung komplexer Untergrundstrukturen.

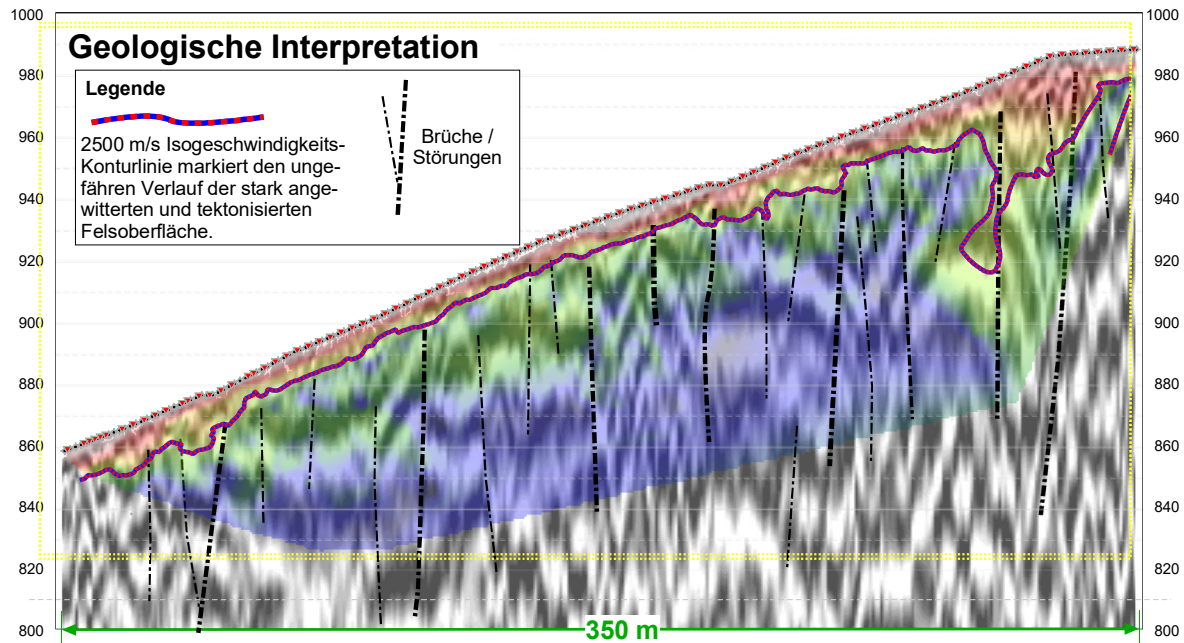
Die kniffligste und zeitaufwendigste Aufgabe ist die Umwandlung der refraktionstomographischen intrinsischen Geschwindigkeiten in reflexionsseismische Stapelgeschwindigkeiten. Für diese entscheidende EDV-Knacknuss gibt es (noch) keine Software. Die GeoExpert benutzt dazu ihr proprietäres Verfahren. Die Laufzeit-Tiefenwandlung des reflexionsseismischen Profils erfolgt direkt mit den intrinsischen Intervall-Geschwindigkeiten, wofür Module in allen gängigen reflexionsseismischen Softwarepaketen verfügbar sind.

Auf den Profilen der Abbildungen 2a) und 2b) ist in den drei rot-weiss umrandeten Zonen die räumliche Deckungsgleichheit veranschaulicht. Sie ist in Abb. 2c) visuell auch durch eine nicht fachkundige Person nachprüfbar.



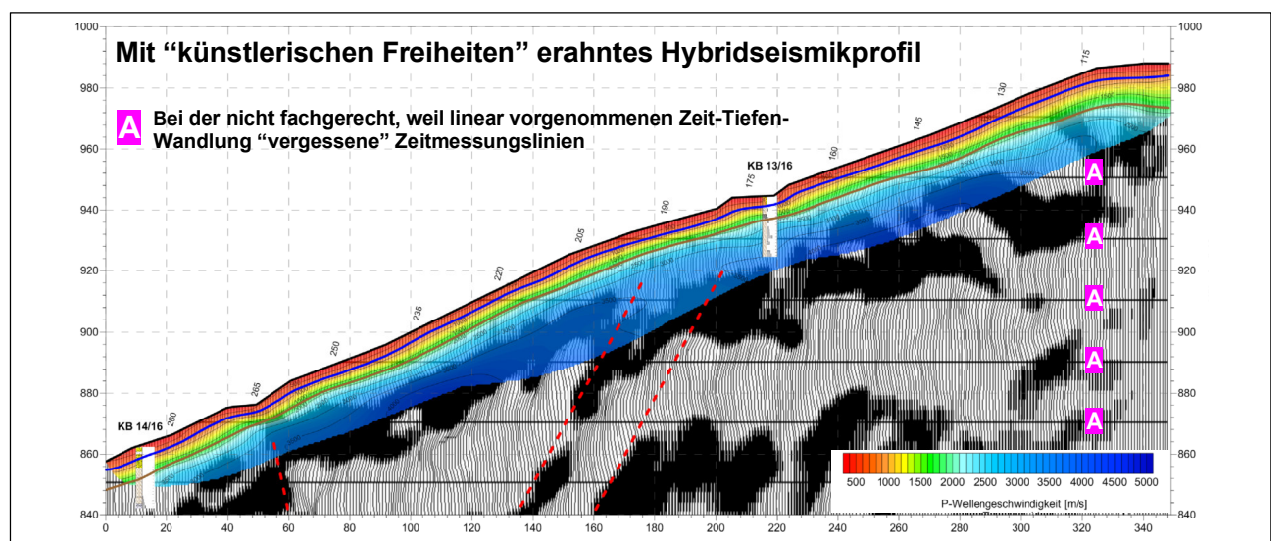
**Abb. 2** Illustration der räumlichen Deckungsgleichheit refraktionstomographisch und reflexionsseismisch abgebildeter Strukturen zur Verifizierung der Authentizität der hybridseismischen EDV.





**Abb. 3** Geophysikalische Interpretation; bemerkenswert ist die komplexe Bruchschollen- und Falten tektonik und die rund 40 m tief reichende Auflockerungszone oben rechts.

Die Rohdaten, von denen die Ergebnisse der Abb. 2 und 3 stammen, sind Teil einer Ausschreibung mit dem Tiefstpreis als einziges Zuschlagskriterium. Abb. 4 zeigt das aus dem gleichen Rohdatensatz erstellte Ergebnis des Mitbewerbers, dem der Auftrag zugesprochen wurde. Wegen Nichtinterpretierbarkeit dieses Resultats hat der Auftraggeber eine EDV-Überarbeitung angeordnet. In Abb. 4 stehen das refraktionstomographische Geschwindigkeitsfeld (in Farbe) und das reflexionsseismische Profil (in s/w) in inhaltlich keiner Beziehung zueinander. Das Resultat ist eine vorgetäuschte hybridseismische Erkundung ohne Aussage. Der vermeintliche Tiefstpreis erweist sich für den AG als ein Totalverlust, was nicht im Sinne einer anzustrebenden Nachhaltigkeit ist.



**Abb. 4** Hybridseismikprofil der Version „Tiefstpreis“, erstellt auf Grundlage der gleichen Rohdaten wie das Ergebnis der authentischen EDV in den Abbildungen 2 und 3.

#### **Analyse der nicht authentisch hybridseismischen EDV in Abb. 4**

- a) Das refraktionstomographische Geschwindigkeitsfeld (in Farbe) ist „Phantasie“ ohne Bezug zu entlang des Profils erfasster Daten. Abrupte Geschwindigkeitsänderungen an Formationsgrenzen sowohl in lateraler wie in vertikaler Richtung – wie auch durch die Reflexionsseismik deutlich angezeigt – werden nicht abgebildet. Die vom Geschwindigkeitsfeld erreichte Tiefe beträgt max. 20 m. Eine fachgerechte refraktionstomographische Inversion erfasst die Untergrundstrukturen bis in Tiefen von mind. 60 m wie in Abb. 2a) abgebildet.
- b) Die reflexionsseismischen Daten (in s/w) sind nicht dynamisch Laufzeit-Tiefen gewandelt, sogar nicht einmal gemäß dem fehlerhaften Geschwindigkeitsfeld unter Punkt a) oben. Sie wurden einfach irgendwie linear zusammengedrückt oder gedehnt. Dafür hätte der Untergrund aus Material mit einer konstanten Geschwindigkeit bestehen müssen, was nur bei mariner Seismik mit einer seismischen Geschwindigkeit von praktisch konstant rund 1'500 m/s in Wasser der Fall ist. Zudem wurde pikanterweise „vergessen“ im Laufzeitprofil vor der Tiefenwandlung die Zeitmessungslinien **A** zu unterdrücken, was in entlarvender Weise den Nachweis eines technisch-wissenschaftlich höchst unsachgemäßen „Fehltritts“ dokumentiert.

### **3 RICHTLINIEN ZUR VERGABE HYBRIDSEISMISCHER MESSUNGEN ZUM BESTPREIS**

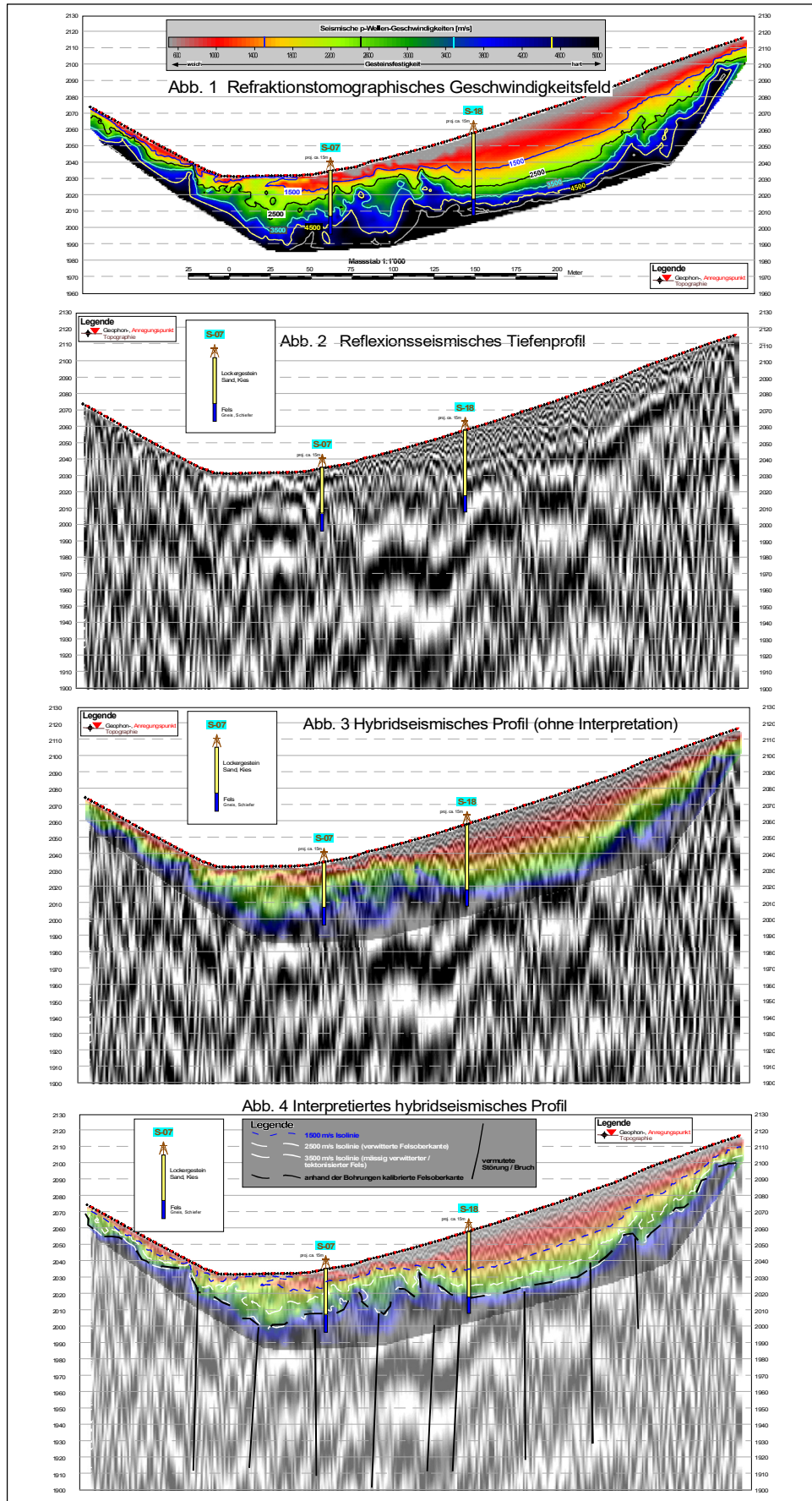
Voraussetzung jeder Ausschreibung mit dem Bestpreis-Ziel ist die klare Umschreibung der auszuführenden Dienstleistung. Noch ist es allzu häufig so, dass Hybridseismik ohne irgendwelche Spezifikationen im LV mit dem Tiefstpreis als einziges Zuschlagskriterium ausgeschrieben wird. Damit signalisiert die ausschreibende Stelle implizit, dass sie kein Interesse an einer fachgerechten Ausführung der Arbeiten hat.

Häufig sind auch die Ausschreibungen, bei denen sich die ausschreibende Stelle wohl bewusst ist, dass die Datenerfassungsparameter dem zu erfassenden Tiefenbereich anzupassen sind. Die für das Auflösungsvermögen wichtigste Messgröße des Geophonstationsabstandes ( $dR$ ) wird jedoch variabel und zu vage, z.B. mit 2 m – 5 m vorgegeben, ohne Angabe auf welchen Messstrecken nun die Daten mit einem Abstand von 2, 3, 4 oder 5 m erfasst sind. Mit 5 m Abständen ist der Messfortschritt rund doppelt so groß als mit einem Abstand von 2 m. Mit dem Tiefstpreis als einziges Zuschlagkriterium findet sich kaum ein Bieter mit dem Ehrgeiz, um mit dem beträchtlich höherem Aufwand für 2 m Abstände eine qualitativ bessere Seismik durchzuführen.

Neben den zwingend vorgeschriebenen, eindeutigen Messgrößen, die den Anbietern keinen Freiraum bei der Anwendung der Datenerfassungsparameter einräumt, ist jedoch von eher noch größerer Bedeutung die Vorgabe der räumlichen Deckungsgleichheit, da deren Nichtbeachtung zu einem nicht interpretierbaren, wertlosen EDV-Ergebnis führt.

Im Ergebnisbericht sind zwecks visuellem Nachweis der räumlichen Deckungsgleichheit die Abbildungen des refraktionstomographischen Geschwindigkeitsfeldes und des reflexionsseismischen Tiefenprofils

getrennt, wie auch gemeinsam kombiniert als hybridseismisches Profil, und dabei einmal ohne und einmal mit einer geophysikalischen Interpretation aufzuführen (s. Beispiel in Abb. 5 nächste Seite).



## 4 AUSSCHREIBUNGSRICHTLINIEN — ZUSAMMENFASSUNG

### A) Richtlinie n° 1 für die hybridseismischen Datenerfassungsparameter

Vereinfachend können die aufgeführten drei Regeln in Abschnitt 2A) oben für die Datenerfassungsparameter auf maximal zulässige Messgrößen beschränkt werden, wie sie seit mehr als 20 Jahren durch die GeoExpert angewendet werden. Die bei geologisch einfach strukturiertem Untergrund **maximal zulässigen** Messgrößen sind **fett gedruckt & unterstrichen**:

So gelten für Erkundungstiefen bis 2000 m und auch tiefer die nachstehenden Datenerfassungsparameter:

Empfängerstationsabstand (dR)	< <b><u>2.5 m</u></b> (max.), abhängig von der geologischen Komplexität
Anregungsabstand (dT)	< 5.0 bis <b><u>≤10.0 m</u></b> , abh. von der geologischen Komplexität
Anzahl aktiver Kanäle / Anregung	< 320 bis max. 480 (abhängig von dR und Erkundungstiefe)
Anzahl Geophone pro Station	1
Geophontyp	4.5 Hz bis 10 Hz Eigenfrequenz
Energiequelle(n)	Hammer 6 - 8 kg (bis ca. 300 m Erkundungstiefe) / Fallgewichte oder Sprengstoff (ab 300 m Erkundungstiefe)

#### Für oberflächennahe Erkundungstiefen bei Baugrund- und hydrogeologischen Erkundungen

- a) bis max. 100 m sind die Messgrößen: dR = **2.0 m** / dT = 4.0 – **6.0 m**;
- b) bis max. 30 m sind die Messgrößen: dR = **1.0 m** / dT = 2.0 – **3.0 m**;
- c) bis max. 15 m sind die Messgrößen: dR = **0.5 m** / dT = 1.0 – **1.5 m**.

### C) Richtlinie n° 2 für authentisch hybridseismische EDV

Im Ergebnisbericht ist (gemäß Abschnitt 2B oben) der Nachweis der Herleitung der *räumlichen Deckungsgleichheit* durch vier Graphiken zu erbringen (s. Abb. 5):

- (1) des refraktionstomographischen Geschwindigkeitsfeldes
- (2) des reflexionsseismischen Tiefenprofils
- (3) des hybridseismischen Profils ohne Interpretation
- (4) einer Interpretation des hybridseismischen Profils

## SCHLUSSWORT

Wir betrachten die hier eingeforderte Qualität hybridseismischer Untersuchungen als einen Beitrag zur Gewährleistung der von Gesellschaft und der Politik geforderten Kriterien a) der Redlichkeit im Submissionswesen, b) des Ansehens der Ingenieurgeophysik im Allgemeinen, und c) nicht zuletzt der von NGOs angestrebten Nachhaltigkeit aller zu realisierenden Vorhaben gegen den fortschreitenden Klimawandel.

Für die noch junge Wissenschaft der Geophysik existieren im Gegensatz zur Bauindustrie keine klaren und bindenden Normvorschriften betreffend Qualität der Durchführung insbesondere seismischer Messungen.

Es ist auch im ureigensten Interesse jedes Auftraggebers, dass Scharlatanangebote als solche erkannt werden.

## Literatur

Frei, W.; 2020

*Kriterien authentischer Hybridseismik*; Tagungsband 22. GEOFORUM UmhausenTirol; 15.-16. Okt. 2020

Frei, W.; 2019

*Hybrid seismic surveying for detailed characterization of the shallow and intermediate depth subsurface*;

Extended abstract of a poster presented at the Modern2020 2nd International Conference about Monitoring in Geological Disposal of Radioactive Waste; 9. – 11. April 2019 – Paris

Frei, W., Keller, L.; 2000

*Hybride Seismik - eine verbesserte Methode zur Verwertung des Aussagepotentials seismischer Daten*);

Bull. angew. Geol. Vol. 5, Nr. 2, p. 229 - 236; December 2000

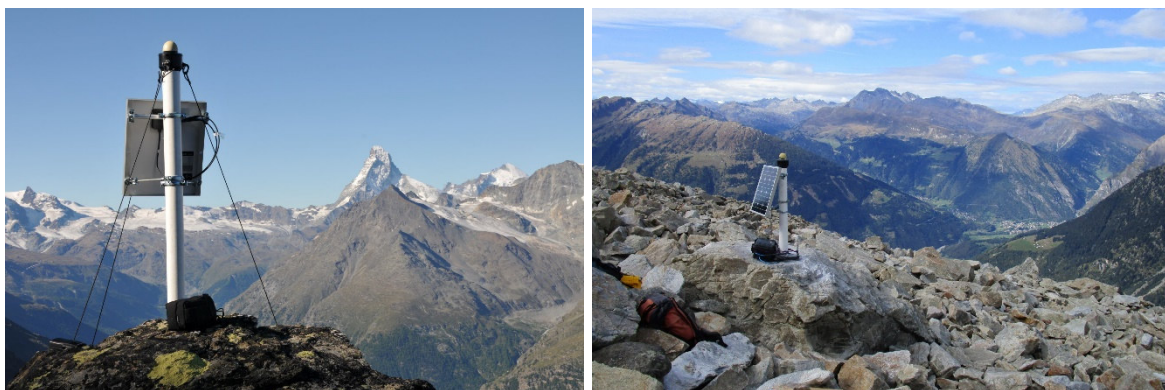
## Methoden zur Beobachtung von Geländedeformationen in der Alpen Kryosphaere

Jan Beutel

*Institut für Informatik, Universität Innsbruck*

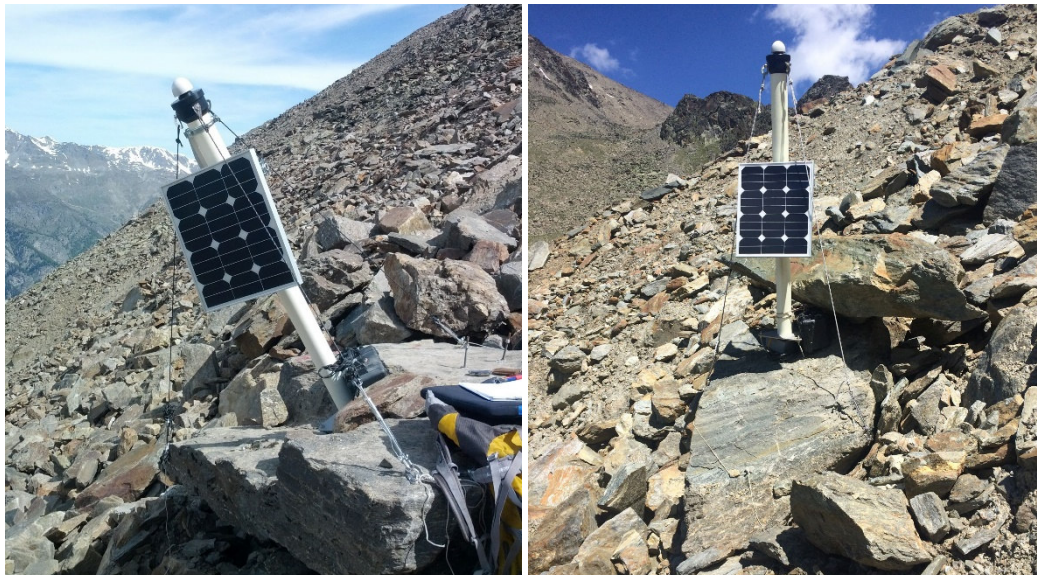
We review a decade of detailed observation of the surface kinematics of large-scale mass movements with the help of in-situ Global Navigation Satellite Systems (GNSS) instruments. We cover the instruments and methods developed and applications in process monitoring as well as natural hazard warning and mitigation in the Mattertal, CH. We focus on a study area on the orographic right side of the Matter Valley above the communities of Täsch, Randa, Herbruggen and St. Niklaus, CH where numerous slope movements exist endangering the livelihood in the areas on the valley floor. The area is dominantly situated in permafrost and is very feature rich. Specifically, there exist active and relict rock-glaciers, landslides, solifluction, fractures, saggings etc. Furthermore, we will illustrate selected case studies of successful hazard management using near-real time kinematic observations.

In den vergangenen zehn Jahren wurden Methoden zur detaillierten Beobachtung von Oberflächendeformationen mittels in-situ Global Navigations Satelliten System (GNSS) Instrumenten erforscht und zur Anwendung gebracht (Wirz et al., 2013, Buchli et al., 2012). Im Vergleich zu manuellen Verfahren erlaubt diese Methode eine kontinuierliche Messung mit täglicher, stündlicher oder sogar noch höherer zeitlicher Auflösung. Dadurch ist es möglich geworden nicht nur die Magnitude einer Bewegung zu erfassen, sondern auch detaillierte Prozessstudien unter Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren durchzuführen oder Warnanlagen in Echtzeit effizient zu betreiben. Im Gegensatz zu stationären Methoden der Fernerkundung wie z.B. In-SAR, Laserscan oder Photogrammetrie sind in-situ GNSS Sensoren nicht von einem geeigneten Beobachtungspunkt oder einer direkten Sichtverbindung abhängig, erfassen Bewegungen voll und eindeutig in 3 Achsen und können in so unabhängig von der Geländeform eingesetzt werden. Weiterhin ist bei der permanenten Überwachung keine aufwendige Schutzbehausung der oft teuren und empfindlichen Fernerkundungs Geräte notwendig.



**Abb.1.** Zwei GNSS Instrumente die auf großen Felsblöcken montiert sind. Breithorn Hangrutschung auf 2982 m a.s.l., Herbruggen (Switzerland) (Links); Largario Blockgletscher 2355 m a.s.l., Blenio (Switzerland) (Rechts). © PermaSense Project

Es ist heute möglich mit kostengünstigen GNSS Empfängern die z.B. auch in Mobiltelefonen oder Navigationssystemen für Automobile Verwendung finden (Paziewski et al., 2020) im Millimeterbereich und mit einer zeitlichen Auflösung von Minuten Positionen zu berechnen. Hierzu wird ein Differenzverfahren angewendet bei dem die mobile Station jeweils als Basislinie zu einer stationären Referenz gerechnet wird (Theunissen and Montenbruck, 2017). Je nach Anforderungen an die Genauigkeit, die zeitliche Auflösung sowie die Verzögerung bis zur Bereitstellung der Positionslösungen müssen jeweils Empfänger Paare zeitgleich, kontinuierlich und mit der entsprechend notwendigen Kommunikationsbandbreite betrieben werden und der jeweilige Betrieb optimiert werden. Der aus diesen Anforderungen resultierende Energieverbrauch stellt das prinzipielle Limit der Methode dar, so z.B. bei eingeschränkter Verfügbarkeit von Solarenergie im Winter oder in polaren Regionen (Buchli et al., 2012).



**Abb.2.** In sehr stark aktiven Bewegungszonen kann es schwierig sein einen geeigneten Fußpunkt zu finden der groß genug ist das Instrument aufzunehmen, lange genug stabil und repräsentativ für die Bewegung der Landmasse ist. Hier dargestellt sind zwei frontale Zonen von sehr aktiven Blockgletschern im Mattertal: Dirruhorn Blockgletscher (Links) und Breithorn/Bielzug Blockgletscher (Rechts). © PermaSense Project

Ausgehend vom initialen X-Sense Projekt (Beutel et al., 2011) in dem diese Methodik und die zugehörigen Instrumente entwickelt wurden sind im Laufe der Zeit mit verschiedenen Partnern weitere hochalpine Standorte ausgerüstet und erprobt worden. Heute besteht im Matter- und Saastal, CH sowie an ausgewählten Standorten des schweizerischen Permafrost Monitoring Netzwerkes (PERMOS) eine Infrastruktur mit über 50 Messpunkten. Weiterhin wird die Methode breit im Monitoring von hochalpinen Massenbewegungen und zum Management von Naturgefahren eingesetzt, so z.B. an der Großrutschung „Spitze Stei“ in Kandersteg, CH. Im Jahr 2019 hat PERMOS diese Methodik als weiteres

Beobachtungselement in sein Portfolio aufgenommen, um den Status und die Veränderungen im Gebirgsperrmafrost zu erfassen. Diese Daten werden weiterhin an das Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P), Teil des weltweiten Klimabeobachtungsnetzwerks GCOS/GTOS weitergeleitet. Ausgehend von einem Mandat der World Meteorological Organization (WMO) erarbeitet eine Arbeitsgruppe der International Permafrost Association (IPA) derzeit Richtlinien zur zukünftigen Nutzung dieser Daten als standardisierte Explanatory Climate Variable (ECV).

## **Technologie**

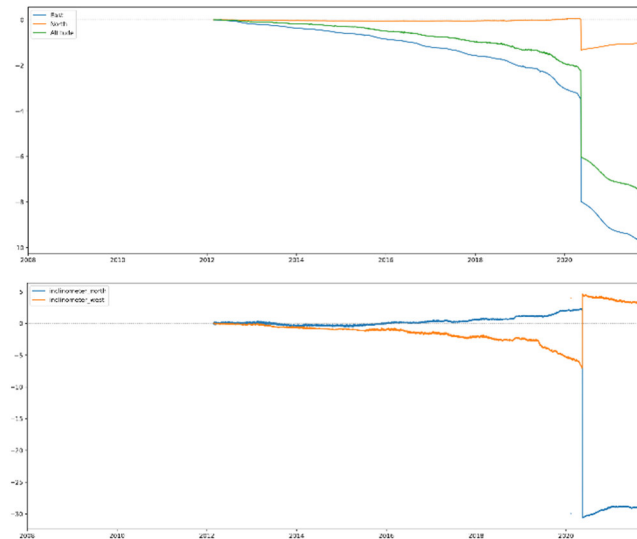
Das Messsystem besteht aus GNSS Instrumenten die dauerhaft auf einem geeigneten Fußpunkt installiert werden. Hierzu eignet sich z.B. ein großer Stein/Felsen es ist jedoch zu beachten das die Form und Art des Geländes und die ausgewählten Fußpunkte Einfluss auf die Ergebnisse und die Interpretationsfähigkeit haben. Die GNSS Instrumente basieren auf einem gebräuchlichen GNSS Empfänger (z.B. u-blox LEA-\*T Serie) jedoch ist es unabdingbar das die prozessierten Beobachtungsdaten zur Verfügung stehen. Weiterhin ist eine aktive Antenne (Trimble Bullet III) zur Erhöhung der empfangenen Signalqualität notwendig. Die im Projekt entwickelten Instrumente enthalten weiterhin eine Überwachung von Spannungen, Temperatur und Feuchtigkeit, ein 2-Achsen Inklinometer (Murata SCA830), einen internen Datenlogger sowie eine drahtlose Datenübertragung mit einem Sensornetzwerk. Hiermit können die Messdaten dann in Echtzeit übertragen werden.

Um einen Betrieb auch im Winter zu gewährleisten, muss die GPS-Antenne auf einem Mast über der zu erwarteten maximalen Schneedecke positioniert werden. Eine 12 Volt Solaranlage liefert den Strom. Je nach Anwendung kann der Beobachtungszeitraum entweder statisch nach einer vorgegebenen Zeit eingestellt werden oder dynamisch durch die verfügbare Energie bestimmt. Eine Beobachtungsdauer von wenigen Stunden pro Tag hat sich in den meisten Fällen als ausreichend erwiesen, um eine Genauigkeit im mm-Bereich zu erzielen. Im Datencenter werden dann die Positionen mithilfe einer GNSS Prozessierungssoftware (Bernese, rtklib, etc.) verarbeitet und via Web/Datenbank zur Verfügung gestellt.

## **Datenprodukte**

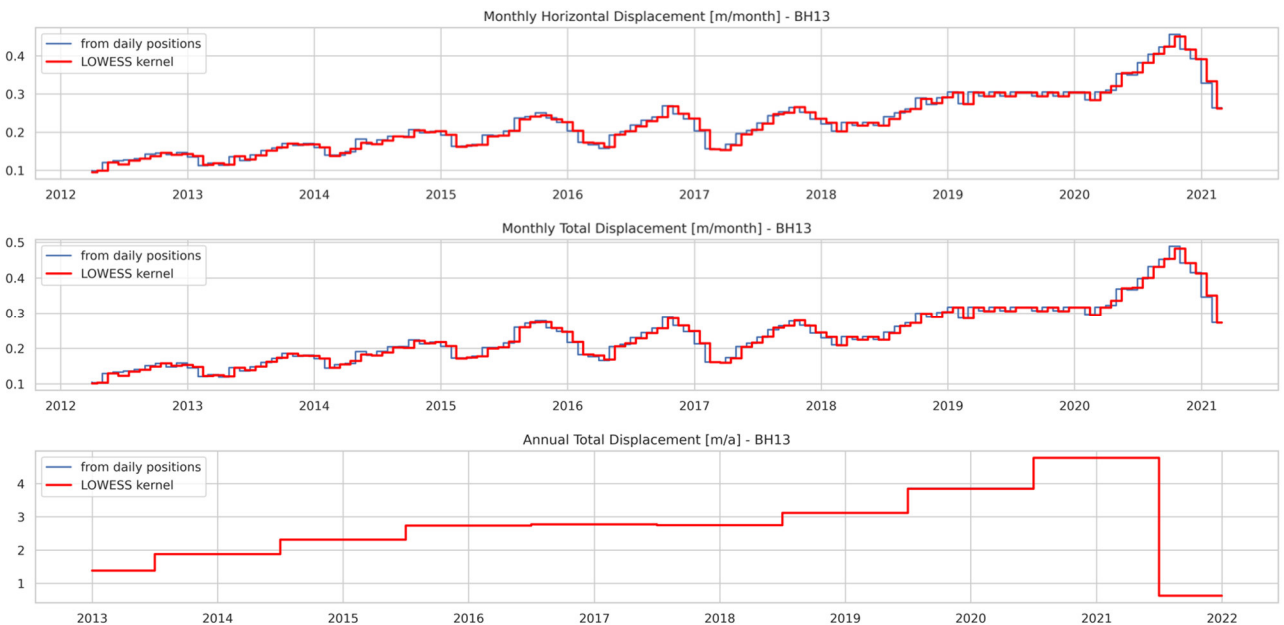
Das primäre Datenprodukt der vorgestellten Methode sind hochaufgelöste Koordinatenzeitreihen. Weiterhin sind aus den von uns entwickelten Geräeten auch Inklinometerzeitreihen verfüegbar. Daraus lassen sich dann verschiedene hoehwertige Datenprodukte und Darstellungen generieren.



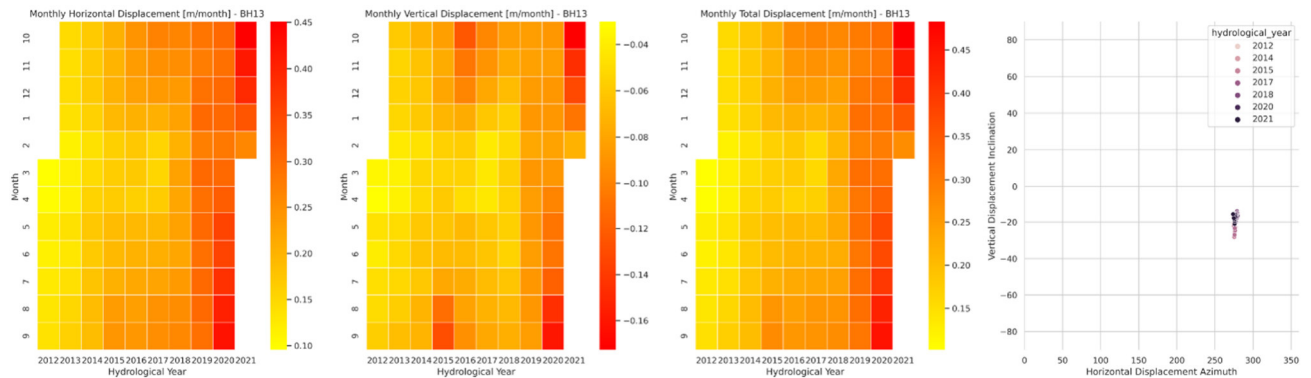


**Abb.3.** Die Positions- (links) und Inclinometerdaten (rechts) ermöglichen eine detaillierte Interpretation. Der Sprung der hier in den Daten der Position LS05 in der Breithorn Hangrutschung Herbriggen (Switzerland) sichtbar ist rührt von einem spontanen Versatz durch oberflächliches Gleiten des Blockes her.

Als geeignet für die allgemeine Interpretation haben sich Monats- und Jahresaggregate der Verschiebungen herausgestellt. Insbesondere bei der Gegenüberstellung mit Differenzdaten aus manueller Kampagnenbasierter Erhebung ist jedoch Vorsicht geboten, da die manuell erhobenen Daten typischerweise nicht am gleichen Tag erhoben werden und so einmal größere und einmal kleinere Zeitintervalle abdecken.



**Abb.4.** Die Monats- bzw. Jahresaggregate der Verschiebungen zeigen die stetige Beschleunigung der Bewegungen die auf dem Breithorn/Bielzug Blockgletscher, Gemeinde Herbriggen (Switzerland) beobachtet werden.

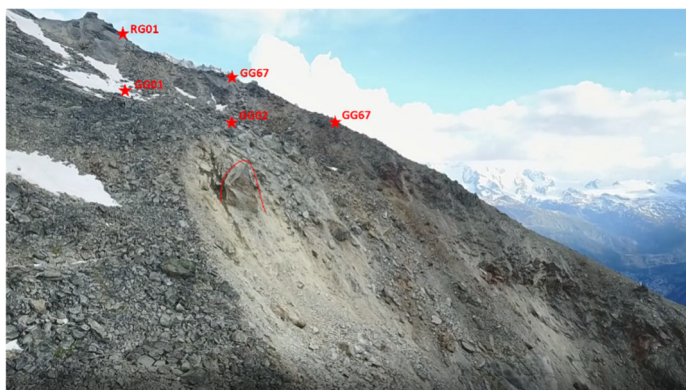


**Abb.5.** Eine alternative Darstellung erlaubt es visuell auf die kritischen Aspekte hinzuweisen. Weiterhin lässt sich durch Darstellung der Horizontalen, der Vertikalen, der totalen Verschiebungskomponenten bzw. der Richtungsstabilität der Bewegung differenziertes Prozesswissen erarbeiten. Breithorn/Bielzug Blockgletscher, Gemeinde Herbriggen (Switzerland)

## Anwendungsbeispiele

Die Erprobung der permanenten Instrumentierung mit GNSS Instrumenten zum detaillierten Erfassen von Hangbewegungen startete im Sommer 2010 auf der orographisch rechten Seite des Mattertales im Bereich des Dirruhorn Blockgletschers über dem Dorf Herbriggen (Wirz et al., 2014b). In diesem Bereich gibt es verschiedene Hangbewegungen, teils mit einer langen Historie bezüglich der von ihnen ausgehenden Naturgefahren und Maßnahmen: Hangrutschungen und Sackungen, große Felsstürze, aktive sowie inaktive Blockgletscher, Murgänge etc. (Wirz et al., 2013). Die frühesten Dokumentierten Maßnahmen bzgl. Naturgefahren datieren auf das Jahr 1945 zurück als am Grabengufer Gemeinde Randa Verbauungen erstellt wurden sowie 1959 als das Dorf Herbriggen auf Grund von festgestellten tiefen Rissen in der Schneedecke sowie im Boden im Bereich der Längschnee evakuiert wurde. Während des Studienzeitraumes des ersten Forschungsprojektes X-Sense (2010-2013) gab es weitere Naturgefahren Vorkommnisse: Auf Grund der schnellen Schneeschmelze im Sommer 2013 gab es erhebliche Murgang Ereignisse unterhalb des Bielzug/Breithorn Blockgletschers auf Grund derer erneut ein Teil der Gemeinde Herbriggen evakuiert werden musste. Die Entscheidungsgrundlage für diese Maßnahmen basierte zum Teil auf den Daten der Prototyp Instrumentierung mittels GNSS.

Im Bereich des Grabengufers, Gemeinde Randa wurde im Sommer 2010 eine Fußgänger Hängebrücke nach nur 3 Monaten Betrieb durch Steinschlag zerstört. Die 2017 neu erbaute Brücke hat eine Spannweite von 494 m und wurde weiter unten im Tal platziert, um die Überquerung des Grabengufers für den Europaweg zu ermöglichen. Im oberen Bereich wird der Grabengufer Blockgletscher von einer starken Sackung mit Material befüllt. Dort sind 4x GNSS Instrumente zur Überwachung platziert um die Bewegungen zu Überwachen. Im Sommer 2018 wurde ein 2000 m<sup>3</sup> großer freistehender Felsblock mittels Sprengung entfernt.

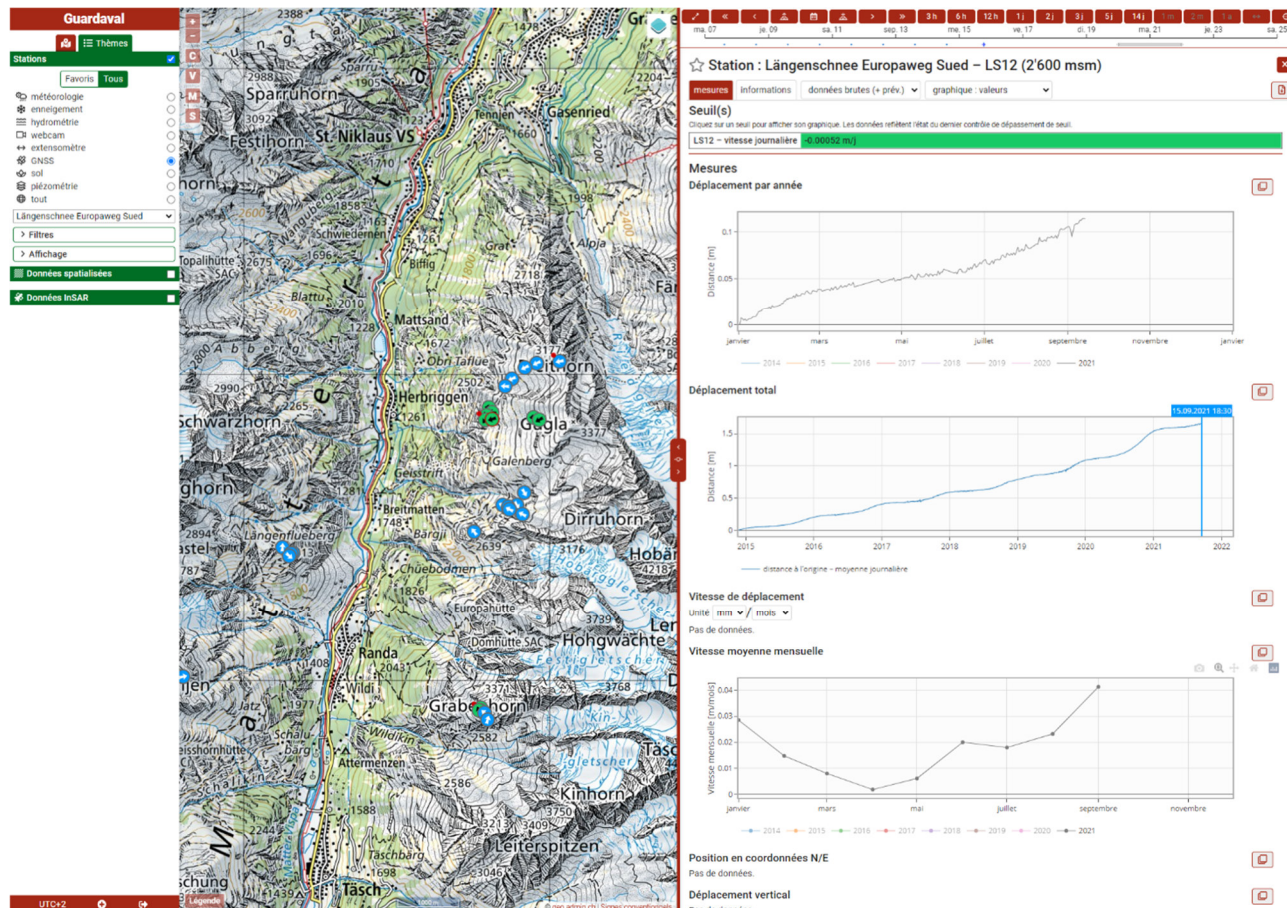


**Abb. 6.** Der freistehende Block im oberen Grabengufer Blockgletscher, Gemeinde Randa (Switzerland) wurde 2018 als Vorsichtsmaßnahme durch Sprengung entfernt. Oberhalb überwachen mehrere GNSS Sensoren die Bewegungen im Detail © PermaSense Project

Im Bereich Längschnee oberhalb von Herbriggen befinden sich auch mehrere GNSS Instrumente. Dort wurde 2016 ein großer Block auf 2524 m a.s.l. mit Ankern und Betonunterfüllung befestigt. Zur Überwachung dient ebenfalls ein GNSS Instrument. Auf Grund der festgestellten Beschleunigungen der Geländebewegungen im gesamten Gebiet wurde der Zonenplan von Herbriggen revidiert und 2019/2020 ein System aus mehreren Schutzdämmen gebaut.

Im Bereich des Ritigraben, Gemeinde Grächen hat der gleichnamige Blockgletscher zu mehreren Murgang Ereignissen mit erheblichem Schaden geführt (Totalschaden Kläranlage 2018). Auch dort wird heute mit GNSS überwacht (Kenner et al., 2017, 2018).

Der Grossgufer oberhalb von Randa ist einer der größten Felsstürze aus jüngerer Zeit in den gesamten Alpen mit einem Volumen von ca.  $30 \times 10^6 \text{m}^3$  (Willenberg et al., 2008b, a). In einer Zusammenarbeit zwischen lokalen Ingenieurbüros und den Kantonalen Behörden wurde die obere Kante dieses Felssturzes mit 3x GNSS Instrumenten ausgerüstet. Auf der Wyssen Schije überwacht ein GNSS Sensor Hangbewegungen und Steinschlagereignisse oberhalb von Lawinenverbauungen.



**Abb.7.** Heute werden alle Daten automatisch in das Datenportal GUARDAVAL des Kantons Wallis eingespeist.

Der Erfolg dieser im Rahmen des X-Sense-Projekts entwickelten kinematischen In-situ-Monitoring-Methoden und -Instrumente zeigt sich auch darin, dass diese Technologie gewählt wurde, um weitere Standorte in anderen Regionen der Schweiz zu überwachen. Sie ist heute im Standardrepertoire der Geo-Ingenieurfirmen fest verankert und wird erfolgreich eingesetzt, um Naturgefahren zu managen. Eine detaillierte Beschreibung inklusive der erhobenen Daten ist derzeit in review (Beutel et al., 2021).

## Referenzen

Beutel, J., Biri, A., Buchli, B., Cicoira, A., Delaloye, R., Da Forno, R., Gaertner-Roer, I., Gruber, S., Gsell, T., Hasler, A., Lim, R., Limpach, P., Mayoraz, R., Meyer, M., Noetzli, J., Phillips, M., Pointner, E., Raetz, H., Scapoza, C., Strozzi, T., Thiele, L., Vieli, A., Vonder Mühl, D., Weber, S., and Wirz, V.: Kinematic observations of the mountain cryosphere using in-situ GNSS instruments, Earth Syst. Sci. Data Discuss. [preprint], <https://doi.org/10.5194/essd-2021-176>, in review, 2021.

Beutel, J., Buchli, B., Ferrari, F., Keller, M., Thiele, L., and Zimmerling, M.: X-Sense: Sensing in Extreme Environments, Proceedings of Design, Automation and Test in Europe (DATE 2011), pp. 1460–1465, <https://doi.org/10.1109/DATE.2011.5763236>, 2011.

Buchli, B., Sutton, F., and Beutel, J.: GPS-equipped Wireless Sensor Network Node for High-accuracy Positioning Applications, Lecture Notes on Computer Science 7158. Proc. of 9th European Conference on Wireless Sensor Networks (EWSN 2012), pp. 179–195, 2012.

Kenner, R., Phillips, M., Beutel, J., Hiller, M., Limpach, P., Pointner, E., and Volken, M.: Factors Controlling Velocity Variations at Short-Term, Seasonal and Multiyear Time Scales, Ritigraben Rock Glacier, Western Swiss Alps, Permafrost and Periglacial Processes, 28,655675–684, <https://doi.org/10.1002/ppp.1953>, 2017.

Kenner, R., Phillips, M., Limpach, P., Beutel, J., and Hiller, M.: Monitoring mass movements using georeferenced time-lapse photography: Ritigraben rock glacier, western Swiss Alps, Cold Regions Science, and Technology, 145, 127–134, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.10.018>, 2018.

Noetzli, J., Pellet, C., and Staub, B., eds.: PERMOS 2019. Permafrost in Switzerland 2014/2015 to 2017/2018, Glaciological Report (Permafrost) No. 16-19 of the Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences (SCNAT), <https://doi.org/10.13093/permos-rep-2019-16-19>, 2019.

Paziewski, J., Fortunato, M., Mazzoni, A., and Odolinski, R.: An analysis of multi GNSS observations tracked by recent Android smartphones and smartphone-only relative positioning results, Measurement, 175, 109–162, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109162>, 2021.690

Teunissen, P. J. and Montenbruck, O., eds.: Handbook of Global Navigation Satellite Systems, Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1>, 2017.

Willenberg, H., Evans, K. F., Eberhardt, E., Spillmann, T., and Loew, S.: Internal structure and deformation of an unstable crystalline rock mass above Randa (Switzerland): Part II — Three-dimensional deformation patterns, Engineering Geology, 101, 15–72032, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.01.016>, 2008b.

Wirz, V., Beutel, J., Buchli, B., Gruber, S., and Limpach, P.: Temporal Characteristics of Different Cryosphere-Related Slope Movements in High Mountains, pp. 383–390, Springer, Berlin, Heidelberg, [https://doi.org/10.1007/978-3-642-31337-0\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-642-31337-0_49), 2013.

Wirz, V., Beutel, J., Gruber, S., Gubler, S., and Purves, R. S.: Estimating velocity from noisy GPS data for investigating the temporal variability of slope movements, Natural Hazards and Earth System Sciences, 14, 2503–2520, <https://doi.org/10.5194/nhess-14-2503-2014>, 2014a.

Wirz, V., Geertsema, M., Gruber, S., and Purves, R. S.: Temporal variability of diverse mountain permafrost slope movements derived from multi-year daily GPS data, Mattertal, Switzerland, Landslides, 13, 67–83, <https://doi.org/10.1007/s10346-014-0544-3>, 2014b.

## **3D-Vermessung und geologische Analyse im Tunnelneubau mit Hilfe von photogrammetrischen Tunnelscannern - Beispiele aktueller Projekte im alpinen Raum -**

Michael Mett, Sebastian Holzer und Heiner Kontrus

Dibit Messtechnik GmbH, Framsweg 16, 6020 Innsbruck

### **Abstract**

Due to the challenging conditions with dust, aerosols and moisture, photogrammetric measurement systems are rarely used in tunnel construction. In contrast to the traditionally used laser scanners, however, the photo-based 3D scanners have a decisive advantage: They can display the rock surface with a true-color, high-resolution photo texture. The demonstrative 3D data enable geologists to carry out a precise analysis of geological conditions, including measurement of the relevant joint faces.

The submitted publication describes photogrammetric survey, processing and analysis methods for geological investigations in tunnel construction. In addition to technical aspects, the recognizability of geological features and the achievable accuracy when surveying geological joint faces are discussed.

### **Zusammenfassung**

Photogrammetrische Messverfahren werden in Neubautunneln aufgrund der herausfordernden Bedingungen mit Staub, Aerosolen und Feuchtigkeit nur selten eingesetzt. Im Gegensatz zu den klassischerweise eingesetzten Laserscannern haben die auf Fotos basierenden 3D-Scanner jedoch einen entscheidenden Vorteil: Sie können die Oberfläche des Neuausbruchs mit einer farbechten, hochauflösenden Fototextur abbilden. Die anschaulichen 3D-Daten ermöglichen den Geologen eine präzise Analyse geologischer Verhältnisse, samt Vermessung der maßgeblichen Trennflächengefüge.

Die eingereichte Publikation beschreibt photogrammetrische Aufnahme-, Prozessierungs- und Analysemethoden für geologische Untersuchungen im Tunnelbau. Neben technischen Aspekten wird auf die Erkennbarkeit geologischer Merkmale und die erreichbare Genauigkeit bei der Vermessung geologischer Trennflächen eingegangen.

### **1. Einleitung: 3D-Vermessung im Tunnelneubau**

Die Anforderungen an moderne Tunnelbauprojekte sind hoch. Sie müssen effizient, sicher und unter Einhaltung der zeitlichen und finanziellen Rahmenbedingungen durchgeführt werden. Daher sind die Ausbruchsarbeiten zumeist mit einem enormen Zeitdruck verbunden. Die Ausbrüche müssen im eng getakteten, logistisch anspruchsvollen Baubetrieb präzise und umfassend dokumentiert werden.

Neben der klassischen geologischen in-situ Dokumentation, werden zunehmend vollflächige 3D-Messungen mit photogrammetrischen Messsystemen oder Laserscannern angewendet. Die Daten sind anschaulich und

unterstützen die klassischen geologischen Befunde mit geometrischen und gefügetechnischen Zusatzinformationen. Die 3D-Aufnahmen sind nachfolgend unabhängig von Zeit und Ort der Aufnahmen in einer virtuellen Umgebung zu betrachten. Daher können ohne Zeitdruck und Gefährdung Gesteins- und Gebirgscharakteristiken abgeleitet werden, die in dieser Form und Detailliertheit im Tunnel nicht möglich wären.

Die aufgenommenen 3D-Modelle sind in Bezug auf Geometrie und Fotoauflösung so hochauflösend, dass beispielsweise Störungen, Kluffflächen, Schieferungen, Ausbrüche, u.v.m. zu identifizieren und in ihrer absoluten Raumlage und Erstreckung zu vermessen sind.

## **2. Photogrammetrische Tunnelscanner im Tunnelneubau**

### **2.1 Funktionsweise, Systeme am Markt und 3D-Datenformate**

Photogrammetrische Aufnahmesysteme sind aufgrund der rauen Bedingungen im Tunnelneubau mit Staub, Feuchtigkeit, Schmutz und Abgasen nur selten vertreten. Ausnahmen sind der Dibit „Handheld-Scanner“, der beim zyklischen Tunnelvortrieb verwendet wird (siehe 2.2) und ShapeMetriX TBM von 3GSM, ein System zur 3D-Dokumentation von Ortsbrüsten bei Vortrieben mit einer TBM (Tunnel Bohr Maschine; 3GSM 2021; Gaich et al. 2019). Heutzutage werden standardmäßig Laserscanner bei der Vermessung in Neubautunneln verwendet, die im Ggs. zu photogrammetrischen Systemen jedoch keine farbechten 3D-Modelle aufnehmen können.

Photogrammetrie ist ein optisches 3D-Rekonstruktionsverfahren, bei dem die aufzunehmenden Objekte mehrfach von unterschiedlichen Aufnahmeorten mit sich überlappenden Fotos aufgenommen werden. Während der photogrammetrischen Rekonstruktion wird durch den Bündelblockausgleich die Lage der Messfotos rekonstruiert und mit Hilfe bekannter Aufnahmeparameter die räumlichen Koordinaten von Oberflächenpunkten berechnet. Die Verknüpfung der Bilder untereinander erfolgt über Verknüpfungspunkte, die sog. „tie points“. Die aus der Prozessierung resultierende „relativ orientierte“ Punktwolke kann anschließend unter Zuhilfenahme von Passpunkten, d.h. Punkten mit bekannten X-, Y-, Z-Koordinaten, in ein übergeordnetes Koordinatensystem transformiert werden (Georeferenzierung).

Je nach Anforderung werden die 3D-Daten als Punktwolken und/oder Gitternetzmodellen berechnet. Punktwolken bestehen aus Einzelpunkten mit X-, Y- und Z-Koordinaten, denen zumeist RGB-Farbwerte zugeordnet sind. Gängige Formate sind z.B. LAS, ASCII, PLY oder e57. Gitternetzmodelle sind hingegen aus Netzelementen aufgebaut, mit denen eine Fototextur verknüpft ist (z.B. OBJ, OPC).

### **2.2 Der Dibit „Handheld-Scanner“**

Der photogrammetrische Handheld Tunnel Scanner FSC 5100-SRsF1 besitzt als monoskopisches Messsystem eine einzelne Messkamera (Abb. 01). Die hochauflösende Digitalkamera mit ihrem Fisheye-Objektiv ist in der Lage, die gesamte Tunnelgeometrie in möglichst wenigen Einzelbildern zu erfassen. Der

Scanner ist in einem robusten Aluminiumgehäuse untergebracht, um auch den extremen Bedingungen im Tunnelbau mit Staub, Feuchtigkeit und Abgasen zu trotzen.

Das Gerät ist auf einem Stativ angebracht. Während der Messung wird die Blickrichtung durch eine motorisierte Einheit gedreht. Bei regulären Tunnelgeometrien werden insgesamt 8 (bzw. 6) Fotos für die photogrammetrische Rekonstruktion der Tunnellaibung benötigt und zwei weitere für die Ortsbrust. Für die Georeferenzierung der Scans werden bei der Aufnahme Passpunkte einbezogen, deren räumliche Lage in X-, Y-, Z-Koordinaten bekannt ist (Eder et al. 2019).

Der gesamte Messvorgang dauert nur 2 Minuten für Ortsbrust samt angrenzender Laibung. Er beeinträchtigt somit den Bauvortrieb nur geringfügig. Es werden Messgenauigkeiten von 10 mm erreicht und eine farbechte Fotoauflösung von bis zu 1 mm. Die geologische Dokumentation zum 3D-Scan kann parallel mit dem Dibit „Geologie-Tool“ durchgeführt werden (siehe 2.3). Dabei werden die maßgeblichen geologischen Merkmale auf einem Tablet-Computer auf Bilddaten des Ausbruchs eingetragen. Die Annotierungen, z.B. Trennflächen und deren Orientierungen, können in einem späteren Prozessierungsschritt auf das 3D-Modell rückgerechnet werden.



**Abb. 01:** Handheld Tunnel Scanner bei der Aufnahme einer Ortsbrust.

### **2.3 Das Dibit „Geologie-Tool“**

Nach wie vor ist bei den Geologen das intuitive und unkomplizierte Zeichnen mit Stift und Papier beliebt. Um diese Gewohnheit und Akzeptanz zu nutzen, wurde das Geologie-Tool mit dem Fokus auf eine mobile Nutzung entwickelt. Die Software kann auf einem Tablet inkl. Stift verwendet und mit in den Tunnel zur in-situ Dokumentation eines Neuausbruchs genommen werden. Vor Ort erlaubt es dabei das intuitive Skizzieren auf einem Foto der Ortsbrust mithilfe des Stifts und das Annotieren der verschiedenen Gesteinsformen, Trennflächen oder der „Points-of-interest“ durch einfache Auswahl im Zeichenmenü.

Das Foto auf welchem skizziert wird kann dabei drahtlos von dem Handheld-System an das Tablet übertragen oder über die im Tablet integrierte Kamera erzeugt werden. Die Gesteinsarten, Störungen, Punkt-Informationen wie Wasserzutritte und weitere geologische Merkmale können im Büro vorab in Ruhe



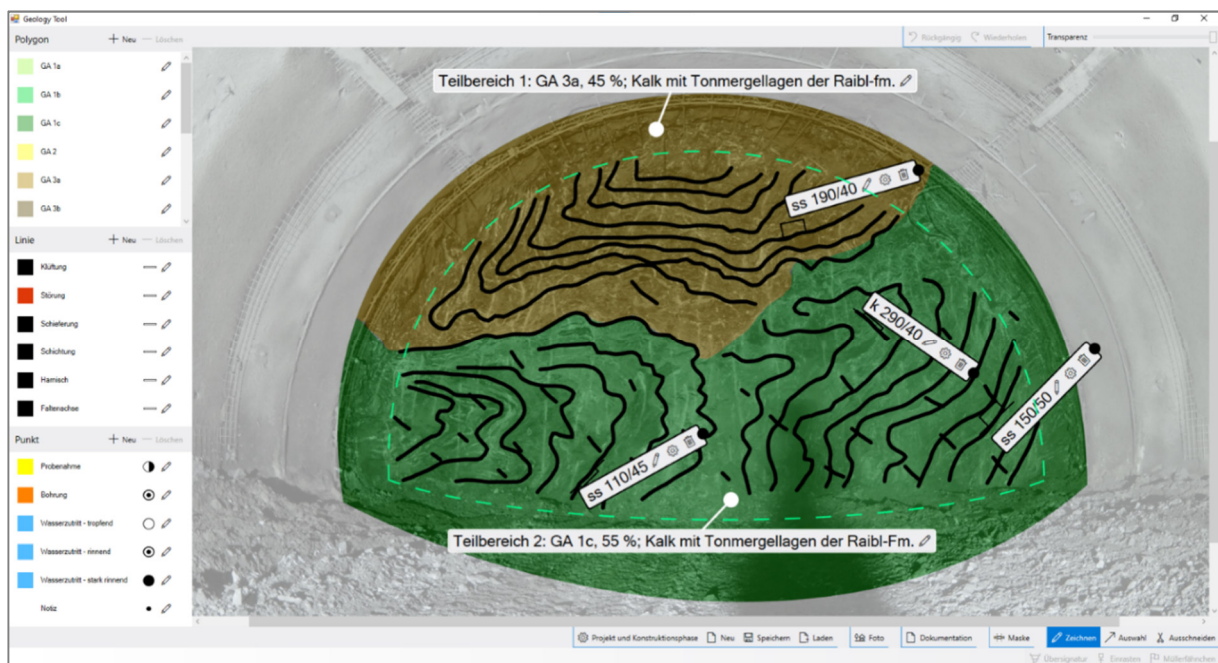
angelegt werden und durch Farben und Darstellungsarten leicht erkennbar gemacht werden (Dibit 2021). Ebenso die Dokumentation pro Abschlag kann vorab als Vorlage für ein spezifisches Tunnelbauprojekt definiert werden.

Vor Ort müssen von den Geologen dann nur noch die Annotationen wie gewohnt mit einem Stift skizziert werden und geologische Merkmale in der Dokumentation angeklickt werden (Abb. 02). Durch angenehme Hilfsfunktionen lassen sich zum Beispiel aneinandergrenzende Gesteinsarten von dem Geologie-Tool präzise trennen, ohne dabei exakt skizzieren zu müssen. Weiters ist es zum Beispiel möglich, die Dokumentation des aktuellen Abschlags durch den vorherigen Abschlag vorzubelegen. Danach müssen nur noch die Unterschiede ausgewählt werden.

Für intensivere oder komplexere Arbeiten lässt sich das Geologie-Tool anschließend im Büro auf einem Desktop-PC als Teil der Dibit8-Software starten. Darin lassen sich die dokumentierten Geologie-Daten übersichtlich verwalten und kontrollieren, sowie in späterer Folge auch exportieren. Zu den Export-Möglichkeiten zählen unter anderem CSV-Listen (Excel) als auch PDF-Berichte.

Wurden die Fotos durch das Handheld-System aufgenommen, lassen sich die Annotationen auf dem Bild zudem auch noch in 3D-Polygone und 3D-Polylinien exportieren, welche gemeinsam mit den 3D-Modellen der Ortsbrust in Dibit8 dargestellt und exportiert werden können. Alternativ können die annotierten Fotos gemeinsam mit den 3D-Daten im 3D-Viewer dargestellt werden.

Durch die Export-Möglichkeiten zu Excel und weiteren gängigen Programmen für geologische Dokumentationen, lassen sich ebenso statische Analysen sehr einfach erzeugen, z.B. Stereoplots.

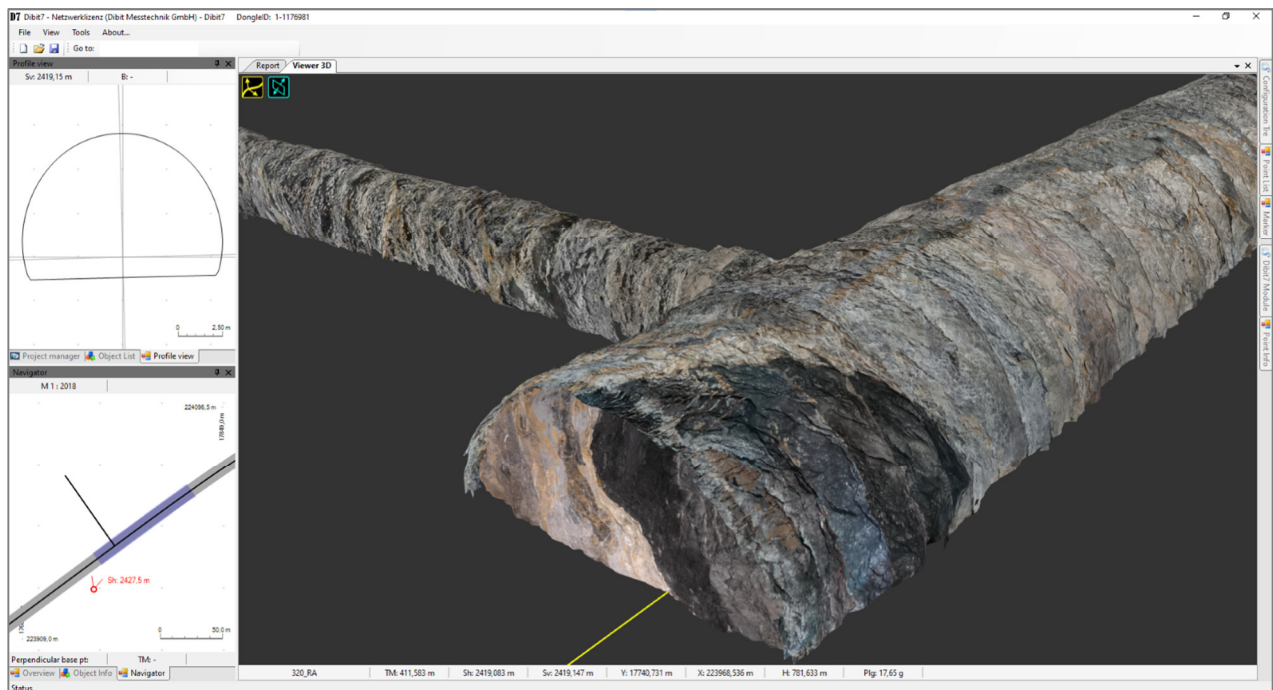


**Abb. 02:** Screenshot einer Ortsbrustaufnahme eines Tunnels mit dem „Geologie Tool“. Lithologien und maßgebliche Trennflächen mit räumlicher Lage wurden vor-Ort am Tabletcomputer verzeichnet. Die Annotationen fließen in das anschließend prozessierte 3D-Modell ein.

## 2.4 Prozessierung von 3D-Modellen in „Dibit8“

Die durch das Handheld-System erzeugten Mess-Fotos lassen sich in der Dibit8-Software photogrammetrisch zu 3D-Modellen prozessieren. Dabei werden „Features“ auf den Fotos detektiert, also Merkmale, die in unterschiedlichen Fotos eindeutig miteinander verknüpft werden können. Weiteres werden eingemessene, georeferenzierte Koordinaten auf den Fotos vermerkt. Basierend auf Bündelblockausgleich unter Berücksichtigung der intrinsischen Kameraparametern rechnet Dibit8 daraus ein 3D-Modell. Dieses wird mit Hilfe der Passpunkte georeferenziert.

Nach der Erzeugung der 3D Modelle im Dibit-eigenen Format OPC, können die 3D-Modelle bzw. 2D-Abwicklung in weiteren Dibit8-Modulen, wie dem 3D-Viewer oder 2D-Viewer, dargestellt und genutzt werden (Abb. 03). Durch das Dibit8-Modul „TIS“, kurz für Tunnel-Information-System, können Bauelemente, Schadflächen oder geologische Merkmale im Tunnel annotiert werden (Mett et al. 2019). Diese TIS-Objekte (Lithologien, Störungen, Lampen, Risse, u.v.m.) können teilweise KI-gestützt automatisch bzw. semi-automatisch durch Angabe eines Anfangs- und Endpunktes pixelgenau detektiert werden.



**Abb. 03:** Darstellung vom Rohausbruch des Perjentunnels in Dibit8 (siehe 4). Neben der Hauptröhre befindet sich ein Querschlag des Tunnelbauwerks. Der Ausschnitt zeigt die Durchörterung der Störung zwischen Gesteinen der „Nördlichen Kalkalpen“ (oberer Bereich, grau) und des „Landecker Quarzphyllits“ (dunkelgrau, unterer Bereich). Die Bewegungsbahn zwischen den Gesteinen wird durch einen hellgrau-beigen Kakirit gekennzeichnet.

Bei geologischen Annotationen stehen dem Anwender zudem weitere Datentypen zur Verwendung bereit. So können geologische Ebenen durch drei Klicks auf der Gesteins- oder Tunnel-Oberfläche gezeichnet werden. Diese berechnen automatisch durch die zugrundeliegende Geometrie wichtige geologische Informationen, wie Streichen und Fallen im Clar- oder Bergmann-Wert. Wurden zudem die im Geologie-Tool

skizzierten Daten georeferenziert, lassen sich abschließend auch noch Informationen wie Flächen, Längen und Punktkoordinaten aus dem 3D-Modell ableiten. Alle diese Informationen, die im Geologie-Tool oder im TIS erfasst wurden, können in zahlreichen Formen exportiert und in anderen Anwendungen weiterverarbeitet werden (CAD, BIM, GIS).

### **3. Annotierung und Analyse von Geologiemerkmalen in 3D-Tunnelscans**

#### **3.1 Annotierungen im Tunnelneubau mit dem Dibit „Geologie-Tool“**

Die Lithologien, Trennflächen und Punkt-Informationen werden vorab im Büro definiert. Lithologien als Polygone, Trennflächen als Polylinien und Punkt-Informationen als Punkte. Zu dieser Definition gehören Name, Farbe, Füllmuster und Liniendicke. Im Tunnelneubau kann dann durch einen einfachen Klick in einem Auswahlménü aller Lithologien, Trennflächen und Punkten ein Objekt selektiert und durch Zeichnen mittels Stifts auf dem Foto annotiert werden. Sollte der Geologe im Tunnel auf eine unerwartete Lithologie stoßen, kann diese rasch zum Auswahlménü hinzugefügt werden.

Bei Lithologien kann man wählen, ob diese regulär oder als Überprofil gezeichnet werden, sowie auch wählen, ob eine einzelne Annotation eine Übersignatur ist. Bei Trennflächen erlaubt die Software das Hinzufügen eines mittels Geologenkompass gemessenen Fallen und Streichen bzw. Clar-Werts. Dieser Wert kann durch die in Dibit8 zugrundeliegende Geologie per Knopfdruck auf Plausibilität geprüft werden.

Bei Punkt-Informationen kann ein beliebiger Text hinzugefügt und an eine freie Stelle verschoben werden. Durch eine Einrast-Funktion verfolgt das Geologie-Tool während dem Zeichnen automatisch eine angrenzende, bereits bestehende Lithologie oder Trennfläche, sodass die zwei Annotationen passgenau aneinandergrenzen.

#### **3.2 Analyse von geologischen Merkmalen in Vermessungssoftwares**

Aus 3D-Modellen mit Fototextur lassen sich in Dibit8 und weiteren Analysesoftwaren wie CloudCompare (Thiele et al. 2017) und Laserdata LIS Geology (Laserdata 2021) geologische Informationen ableiten. Der Auswerter klickt dabei Punkte auf einer Trennfläche oder Struktur, deren räumliche Lage ausgewiesen werden soll. Die Softwares erstellen auf Basis der Punkte Referenzebenen, deren Streichen und Fallen berechnet wird.

Entfernungs- / Längeninformationen (z.B. Kluftabstände, Versatzbeträge, Gesteinsmächtigkeiten) werden durch das Klicken von mindestens zwei Punkten auf dem 3D-Modell, oder das präzise Nachfahren der zu untersuchenden Struktur durch eine Polylinie erhoben. Punktmessungen mit X-, Y-, Z-Koordinaten (z.B. Wassereintritt, Mineralvorkommen, etc.) werden durch das Definieren eines Punktes angestellt.

Die in Datenbanken gespeicherten geologischen Merkmale und können exportiert und damit in weiteren Softwares ausgewertet und visualisiert werden, z.B. in Stereoplot, CAD-, GIS- und BIM-Softwares.

### **3.3 Geologisch relevante Merkmale**

Bei hochauflösenden 3D-Modellen sind eine Vielzahl von geologischen Strukturen und Merkmalen erkennbar (qualitativ), bzw. geologischen Schlüsselparameter messbar (quantitativ; Mett et al. 2021):

**Trennflächen** (qualitativ und quantitativ): Klufflächen (K), Störungsflächen (St), Schichtflächen (SS) und Schieferungsflächen (Sf), Harnischflächen

**Gesteinseigenschaften** (qualitativ): Lithologien, Verwitterungs- und Verkarstungserscheinungen, Tropie-Eigenschaften, Mineralvorkommen, Wasserführung, Zerlegungsgrad, Kluftausprägungen (Füllungen, Verheilungen)

**Geometrieigenschaften** (quantitativ): Raumlagen von Trennflächen (Streichen, Fallen), Klüftung, Schieferung, Schichtflächenabstände, Bankungen, Trennflächenöffnungen, Versatzbeträge, Ausbrüche, Profilmaßhaltigkeiten (geol. bedingte Über-/ und Unterprofile), Punktmessungen von geologischen Details (mineralogische Besonderheiten, Wasserzutritte, etc.)

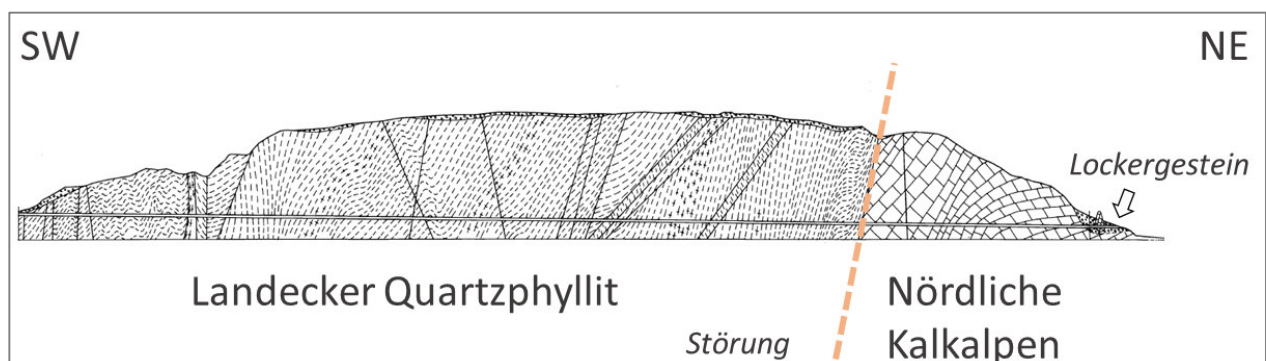
**Geometrieigenschaften** (qualitativ): Kluftkörperformen, Veränderlichkeiten

## **4. Beispiele von 3D-Messungen in alpinen Tunneln**

### **4.1 Der Perjontunnel**

Der Perjontunnel befindet sich nördlich von Landeck. Der zweiröhrige Straßentunnel der S 16 Arlberg Schnellstraße misst 2993 m Länge. Die erste Röhre wurde 1980 – 1983 erbaut. Die zweite Röhre, in welcher die 3D Daten erhoben wurden, wurde zwischen 2016 und 2018 im zyklischen Sprengvortrieb vorangetrieben. Der Perjontunnel durchfährt auf rund 600 m Länge Hauptdolomit der Nördlichen Kalkalpen und auf etwa 2.200 m Länge Landecker Quarzphyllit (Köhler 1983).

Beide tektonischen Einheiten werden durch eine ca. 50 m breite Störungszone getrennt, bei der der tektonisch tiefere Landecker Quarzphyllit den Nördlichen Kalkalpen aufgeschoben wurde. Die Grenzfläche ist überkippt und fällt im Bereich des Tunnels mit etwa 80° nach Süden ein (Abb. 4).



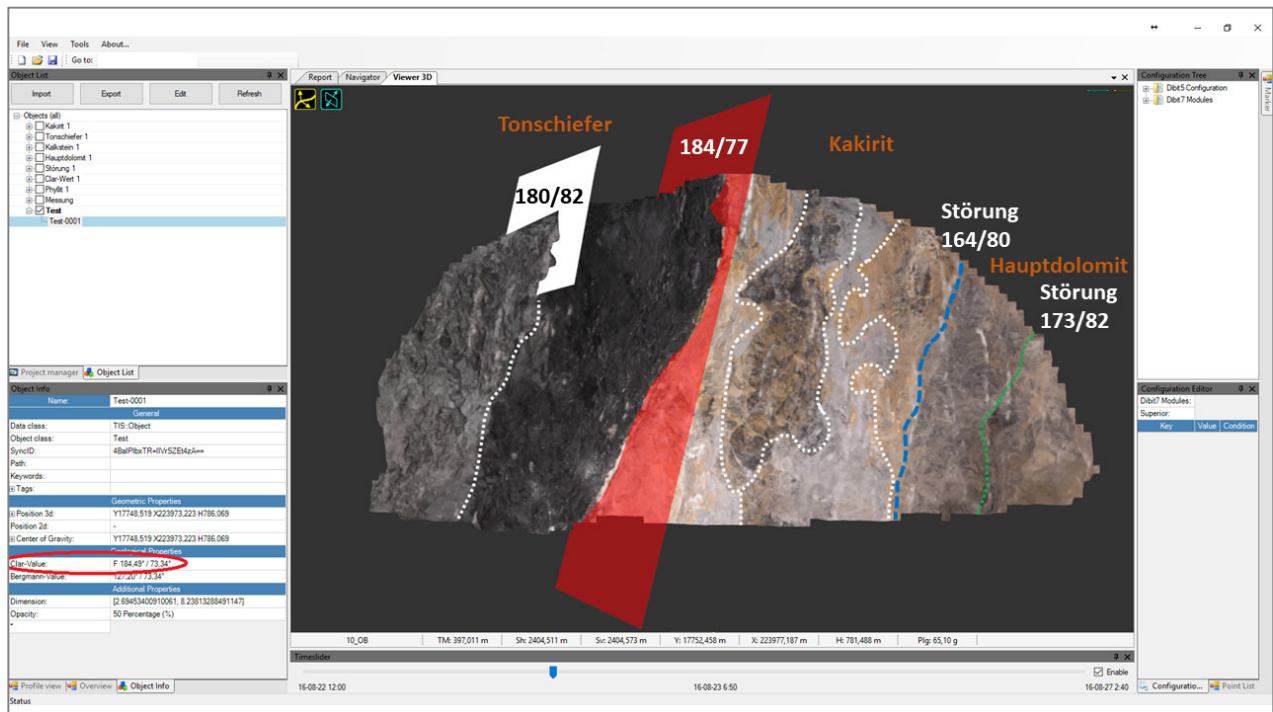
**Abb. 04:** Profilschnitt durch die maßgeblichen geologischen Einheiten des Perjontunnels nach Köhler (1983).

Die Gesteine der Nördlichen Kalkalpen bestehen vornehmlich aus Dolomit, der unterschiedliche Übergänge zu Kalkgestein aufweist. Die Karbonate sind intensiv geklüftet, bzw. in der Nähe tektonischer Zonen zerrüttet. Der Landecker Quarzphyllit besteht aus stark geschieferten Quarz- und Gneisphylloniten, bzw. Schiefergneisen, die in der Nähe tektonischer Zonen stark geklüftet und zerschert sein können (Kakirit). In den Portalbereichen werden Lockergesteinsbildungen in Form von Hangschutt, Terrassenbildungen und Moränenmaterial angefahren.

#### 4.2 3D-Scans im Perjontunnel

Im Perjontunnel bestand eine der seltenen Möglichkeiten, eine alpine Hauptstörung direkt zu durchhören und detailliert geologisch zu erfassen. In der Störungszone wurden neben den klassischen manuellen Aufnahmen der Baugeologen auch 3D Scans mit Hilfe des Handheld-Scanners angefertigt (siehe 2.2). Dabei wurden durch den Handheld-Scanner flächig anstehendes Gestein und Spritzbeton gescannt, sowie bereichsweise 3D-Aufnahmen der Ortsbrüste aufgenommen.

Bei der Annäherung der Hauptstörung von Nordosten war eine graduelle Zunahme von Störungen zu beobachten, wie örtlich auch eine Zunahme der Zerklüftung des Gesteinsverbandes. Der dunkelgraue Hauptdolomit ging in einen hellgrau-gelblichen Kakirit über, der über eine klar definierte Kontaktzone an schwarzgraue Tonschiefer des Landecker Quarzphyllits angrenzte (Abb. 05 und Abb. 03). Die Trennflächen der Störungszone fallen steil in südliche Richtungen ein, was sich mit den Erkenntnissen von Köhler (1983) deckt.



**Abb. 05:** Ortsbrust eines Abschlags im Perjontunnel im Bereich der Hauptstörung mit Raumlage der maßgeblichen Trennflächen (vgl. Abb.3).

Die 3D-Scans ergaben ein präzises, umfängliches und anschauliches Bild der tektonischen und lithologischen Gegebenheiten des Perjuntunnels. Aus den 3D-Daten konnten wertvolle Informationen zur Ausbildung und räumlichen Orientierung von Trennflächen abgeleitet und der geotechnisch relevante Zustand des Gesteins abgeleitet werden. Vergleiche mit geologischen in-situ Erhebungen der Baugeologen bestätigten die insgesamt die Genauigkeit und Verwendbarkeit der 3D-Daten für geologische Untersuchungen in Neubautunneln.

#### **4.3 Genauigkeitsbetrachtungen**

Im Perjuntunnel waren für die unter 3.3 aufgezählten, quantifizierbaren geologischen Parameter folgende Messgenauigkeiten mit Hilfe photogrammetrischer erreichbar (vgl. Mett et al. 2021):

**Raumlagen von Trennflächen** (Streichen, Fallen): Bezogen auf die geologischen in-situ Dokumentationen im Perjuntunnel weichen die Trennflächenmessungen aus 3D-Punktwolken unter +/- 10 Grad für Streich- und Fallwinkel ab.

**Entfernungen** (Trennflächenabstände, -Öffnungen, -Versätze): Geometrische Genauigkeiten von Punktmessungen erreichen in der Regel bis zu +/- 2 mm. Somit sind bei der Messung von Weiten und Entfernungen Genauigkeiten von < 10 mm anzusetzen.

**Profilmäßigkeiten, Ausbrüche** (geol. Bedingte Über-/ und Unterprofile): Entsprechend den Entfernungsmessungen ist mit Genauigkeiten von < 10 mm zu rechnen. Mit geeigneten Softwares sind Ausbruchstiefen flächig zu quantifizieren oder in Profilschnitten darzustellen.

#### **5. Resümee**

Photogrammetrische Tunnelscanner erweisen sich im Tunnelneubau als ein probates Mittel für die geologische Kartierung und permanente Dokumentation von Gebirgsverhältnissen. Mit ihrer Verwendung stehen den Geologen hochauflösende 3D Modelle mit Echtfarbenfotos von Ausbrüchen für geologische Analysen bereit.

Anstatt farbige Skizzen einreichen zu müssen (wie oft im Vertrag gefordert), können die Geologen mit dem „Geologie Tool“ vor Ort direkt auf den hochauflösenden Bildern des Scanners eine geologische Aufnahme durchführen (2D), die bei Bedarf auch in 3D-Modelle umgesetzt und weiter analysiert werden kann. Geologen haben so die Möglichkeit, sich stärker auf die kritischen Abbauprozesse zu konzentrieren und Standardsituationen zu kontrollieren. Durch die Kombination des Arbeitsablaufs des Vermessungsteams (Scanning) und des Geologieteams (Streckenkartierung) kann auch die Arbeitssituation für das gesamte Baustellenteam verbessert werden – eine Win-Win-Situation für das Projekt, da bessere Ergebnisse bei geringeren Kosten erzielt werden.

Die erreichbare Messgenauigkeit von Gefügen aus 3D-Modellen liegt in dem vor Ort von Geologen aufgenommenen Genauigkeitsbereich. Somit können unabhängig von Ort und Zeitpunkt des Ausbruchs wertvolle geologische Informationen erhoben werden.

## 6. Literaturquellen

3GSM (2021): 3D Bilder für TBM Vortriebe. <https://3gsm.at/de/produkte/shape-matrix-tbm/>. Abgerufen: 06.09.2021.

Dibit (2021): Tunnel Neubau Aufnahme des Rohausbruchs mittels Handheld [https://www.dibit.at/fileadmin/user\\_upload/Dibit\\_Struktur/07\\_Downloads/2019\\_V20\\_Produktblaetter/2019\\_V20\\_Produktblaetter\\_A4-Format\\_deutsch/TSC\\_Nebau\\_Rohausbruch\\_de\\_V20\\_web.pdf](https://www.dibit.at/fileadmin/user_upload/Dibit_Struktur/07_Downloads/2019_V20_Produktblaetter/2019_V20_Produktblaetter_A4-Format_deutsch/TSC_Nebau_Rohausbruch_de_V20_web.pdf)

Eder, S., Mett, M., Kontrus, H., und Müller, N. (2019): Geological 3D analysis of tunnel faces performed using Dibit software and hardware tools. 10 S. Proceedings of the 14th International Conference on Shotcrete for Underground Support (ECI SUS XIV), Nong Nooch Gardens – Pattaya, November 17-20, 2019. Thailand.

Gaich, A., Pötsch, M., und Schubert W. (2019): 3D imaging on a hard rock TBM. In: ISRM Congress 2019 Proceedings – Int'l Symposium on Rock Mechanics, Iguassu, Brazil, Paper 15037.

Köhler, M. (1983): Perjuntunnel (Landeck, Tirol) – Baugeologische Verhältnisse, Prognose und tektonische Schlussfolgerungen. In Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, Vol. 12 (1983), pp 249–267.

LASERDATA (2021): LIS Geology - discontinuity and failure analyses. [https://www.laserdata.at/packages/lis\\_geology.html](https://www.laserdata.at/packages/lis_geology.html). Abgerufen: 06.09.2021.

Mett, M., Kontrus, H. und Holzer, S. (2019): Dibit TIS - Das "Proto"-BIM für den Tunnelbau. Tagungsband zur 20. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2019, Obergurgl, Österreich. Hrsg. K. Hanke und T. Weinold. Arbeitsbereich für Vermessung und GEOinformation, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck.

Mett, M., Kontrus, H. und Steinkühler, J. (2021): Ableitung geologischer Trennflächen aus Punktwolken – Erfahrungen aus dem Tunnelneubau. Tagungsband zur 21. Internationalen geodätischen Woche Obergurgl 2021. Online-Konferenz, Innsbruck, Obergurgl, Österreich. Hrsg. T. Weinold. Arbeitsbereich für Geometrie und Vermessung. Universität Innsbruck, S. 124 – 133, ISBN 978-3-87907-702-1.

Thiele, S. T., Grose, L., Samsu, A., Micklethwaite, S., Vollgger, S.A., und Cruden, A.R., (2017): Rapid, semi-automatic fracture and contact mapping for point clouds, images and geophysical data. Solid Earth 8, <https://doi.org/10.5194/se-8-1241-2017>, pp 1241–1253.

## **Hydrogeologische Messungen im Lamprechtsofen bei Lofer – Kann man die alpine Erderwärmung in den Quelltemperaturen erkennen?**

Wolfgang Gadermayr

*Ingenieurbüro geo<sup>2</sup> Ziviltechniker Ges. m. b. H. ; Hallein*

Der Lamprechtsofen stellt mit einem Gesamthöhenunterschied von 1650 m eine der tiefsten Höhlen der Welt dar und ist die tiefste Durchgangshöhle der Welt. Durch die ausgezeichnete Erforschung dieser Karsthöhle bietet sich diese als Forschungsobjekt für karsthydrogeologische Untersuchungen zum Verständnis der unterirdischen Abflusswege. Die über 50 jährige, expeditionsartige Erforschung dieser Höhle bildet die Grundlage für die Messungen des im höhleninneren verlaufenden Höhlenbachs.

Markierungsversuche der Abteilung für Wasserhaushalt für Karstgebiet (MR Dr. VÖLKL G. 1975/76) sowie zahlreiche Quellmessungen wurden durchgeführt und seit 2007 werden die beiden Quellbäche in der Höhle mit einer dauerregistrierenden Quellmessstation erfasst. Die Masterarbeit an der Universität Innsbruck von Fr. Katharina Gröbner MSc. bildet die Grundlage für das Verständnis des Karstsystems der Leoganger Steinberge.

Die Projektidee dieser Messungen entstand in Zusammenarbeit mit des Hydrographischen Dienstes in Abstimmung mit dem Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg, wobei sich die im Höhleninneren befindlichen Messstellen durch eine vollständige Abschirmung der Oberfläche auszeichnen (liegen 1,5 km im Inneren des Berges bei einer Überlagerung von etwa 500 m). Fokus dieser Messungen sollte die Dynamik von Karstsystemen mit einem „channel flow“ dominierten Abfluss und einem „Diffuse flow“ dominierten Abflusssystem sein.

Die seit 2007 vorliegenden Daten liefern nun einen guten Überblick über periodische und tendenzielle Entwicklungen der Quellparameter. Das Einzugsgebiet dieser Karstquellen wird nur forstwirtschaftlich genutzt und ist zum größten Teil als alpines Ödland von einer anthropogenen Nutzung ausgeschlossen. Daher fehlen hier störende Einflussgrößen bei der Auswertung von langfristigen Trends.

### **Geologischer Überblick**

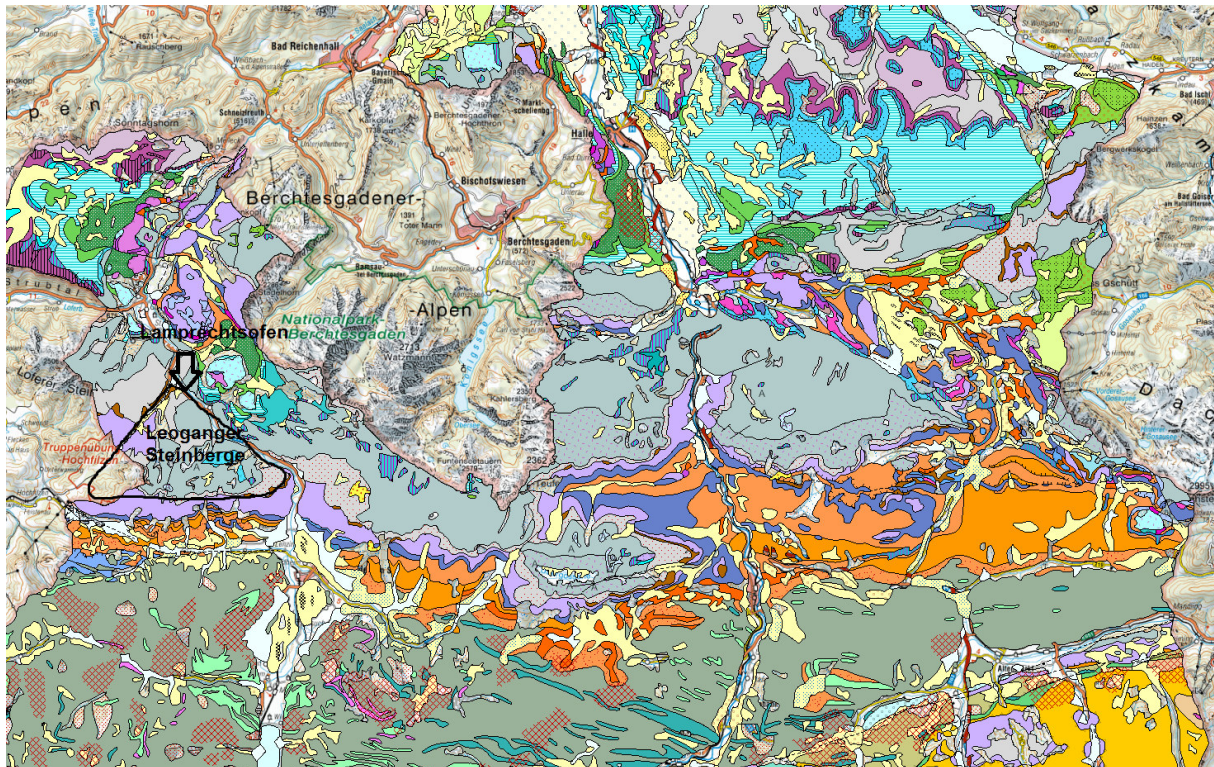
Der Eingang des Lamprechtsofen befindet sich an der Nordseite der Leoganger Steinberge und führt entlang einer markanten geologischen Störungszone von einer Seehöhe von 660 m ü.A. (Eingang) in die Kar-Plateaubereiche der Leoganger Steinberge, welche Gipfelhöhen von 2.634 m ü.A. (Birnhorn) erreichen und somit einen Höhenunterschied von knapp 2.000 m darstellen.

Die Leoganger Steinberge bilden als isolierteres Karplateau mit einer Fläche von ca. 33 km<sup>2</sup> neben den Loferer Steinbergen den Übergang zwischen den Plateaugebirgen des Dachstein- Tennen- und



Hagengebirges, des Hochkönig und des Steinernen Meeres zu den Kalkgebieten des Karwendels und der Tiroler Nordkette.

Die Leoganger Steinberge werden aus dem Sockel aus Hauptdolomit aufgebaut, welche den permoskythischen Gesteinen des Tiroler Buntsandstein (Werfener Schichten) überlagern. Mit einem scharfen Übergang erfolgt der Wechsel zu dem Dachsteinkalk, welcher an der Oberfläche die Karbereiche und Gipfel bildet.



**Abb. 1:** Geologischer Überblick, aus der geologischen Karte (SAGIS, BRAUNSTINGL, R. 2005).

Die Entwässerung dieses etwa 33 km<sup>2</sup> großen Karbereiches erfolgt unterirdisch, wobei sich die größten Quellen an der Nordseite (Lamprechtsofenquelle) und an der Südseite (Birnlochquelle) befinden, weitere Karstquellen umrahmen des Karstgebiet.

Die neben dem Lamprechtsofen entspringende bildet die Hauptquelle des Systems, welche in die Vorflut Saalach entwässert.

Der unterirdische Wasserlauf des Lamprechtsofens ist in der gleichnamigen Karsthöhle (Kat. Nr. 1323/1 des Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg) über weite Strecken verfolgbar. Dabei handelt es sich um einen „Höhlenbach“, welcher teilweise in Canyons und Kaskaden oder in Höhlenseen mit Siphonen (Höhlenseen, deren Wasserspiegel bis zur Decke reicht) verläuft und somit für unterirdische Messungen zugänglich ist.

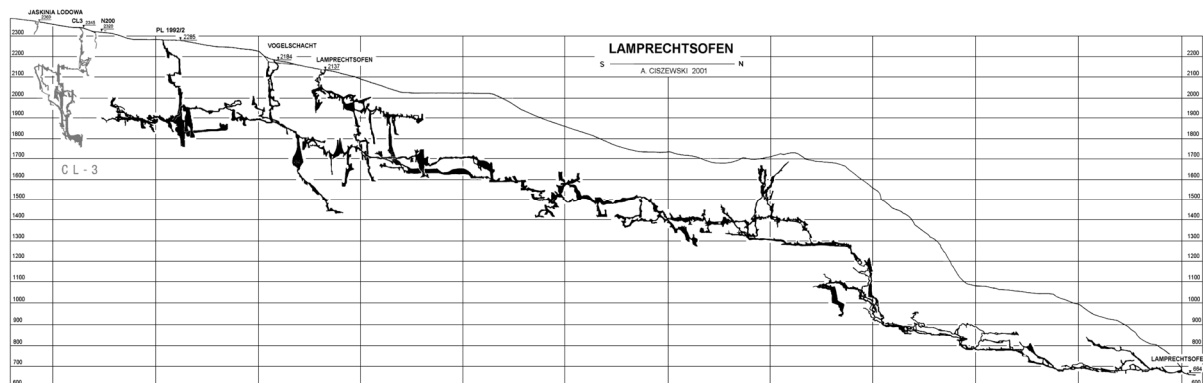
Der Höhlenverlauf ist zum größten Teil an tektonische Lineamente gebunden, welche auch die Schichtgrenze zwischen dem Hauptdolomit und dem Dachsteinkalk bildet. Zahlreiche Harnischflächen zeugen von der aktiven Tektonik, welche zeitgleich oder später als die Höhlengenesse ablaufen.



**Foto 1:** Harnischflächen im Canyon der Kneippklamm als Zeuge der jungen Tektonik des Höhlensystems bzw. des Alters der Höhlengenesse

### Entwässerungssysteme des Lamprechtsofens

Der Lamprechtsofen stellt die Hauptentwässerung der Leoganer Steinberge dar, wobei dieser in N-S Richtung unter das Gebirgsmassiv verläuft und dabei der Höhlenbach auf von einer Seehöhe von 660 m ü.A. bis zu den Karhochflächen verfolgbar ist.

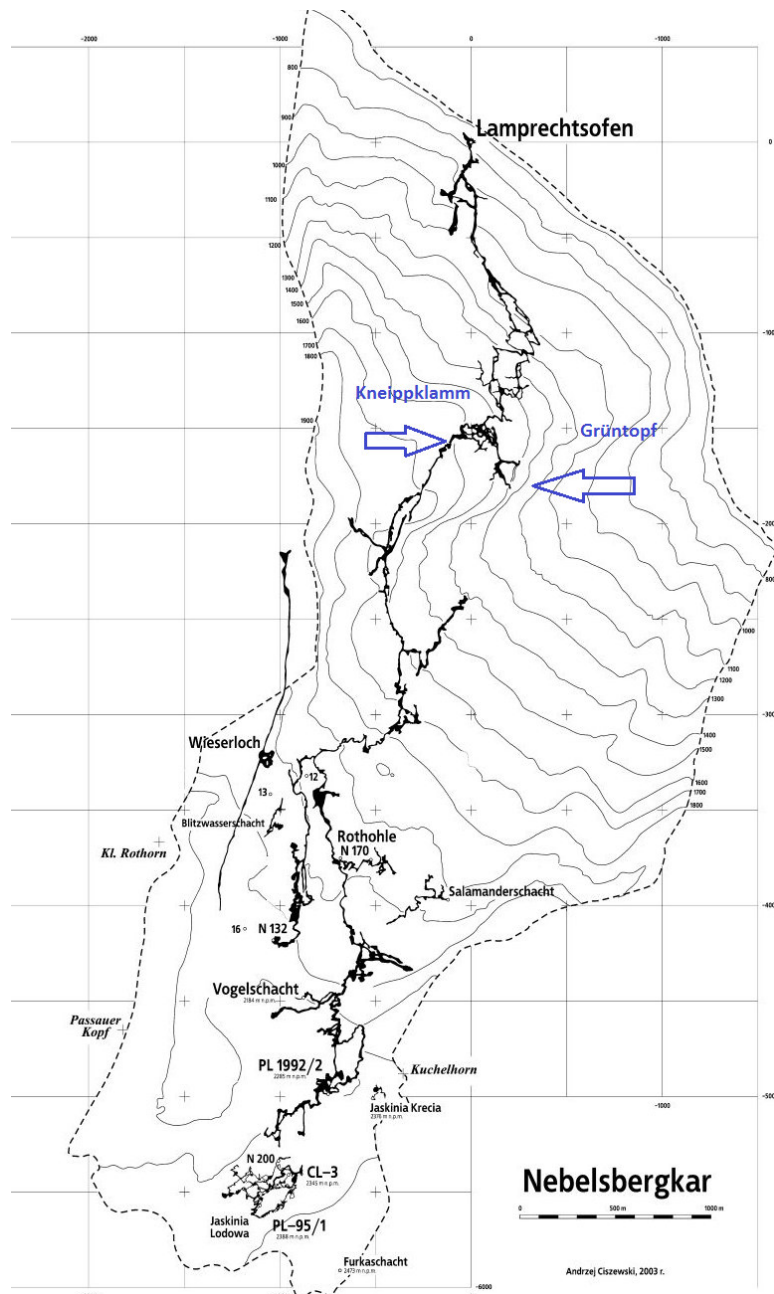


**Abb. 2:** Längenschnitt des Höhlensystems (Quelle Ciszewski A. 2003)

Während in den unteren Abschnitten der Höhlenbach über die Kaskaden und Höhlenseen gut verfolgbar ist, teilt sich dieser etwa 1,6 km im Berg in zwei Entwässerungssysteme auf. Der orographisch linke (westliche) Abschnitt des „**Kneippbachs**“ ist über die erforschten Höhlenteile bis zur Oberfläche verfolgbar, wobei das Wasser weitgehend entlang von Spalten und Canyons abfließt. Damit ist dieser „Höhlenbach“ über eine

Seehöhe von 660 m ü.A. bis 2.145 m ü.A., also über einen Höhenunterschied von 1485 m ü.A. verfolgt werden kann.

Der orographisch rechte (östliche) Höhlenbach des „Grüntopfs“ verläuft über mehrere Höhlenseen und Siphonzonen und bildet die Entwässerung des oberen Karbereiches. Im Gegensatz zu dem Höhlenbach der „Kneippklamm“ ist dieser nur punktuell an den Höhlenseen aufgeschlossen.



**Abb. 3:** Höhlenverlauf des Lamprechtsofens und der Zubringersysteme, (Quelle Ciszewski A. 2003)

## Messstationen

Zur Erfassung der Abflussdynamik wurden an den beiden „Höhlenbächen“ der Kneippklamm und des Abflusses des Grüntopfsystems zwei Messsonden mit dauerregistrierender Aufzeichnung der Parameter Wasserspiegel (zur Erfassung des Abflusses), Wassertemperatur und elektrische Leitfähigkeit eingebaut.

Bei den Messsystemen handelt es sich um YSI 600 Messsonden, welche sich durch eine hohe Messgenauigkeit auszeichnen. Die Parameter werden mit einer möglichst hohen Auflösung aufgezeichnet und jährlich ausgelesen.

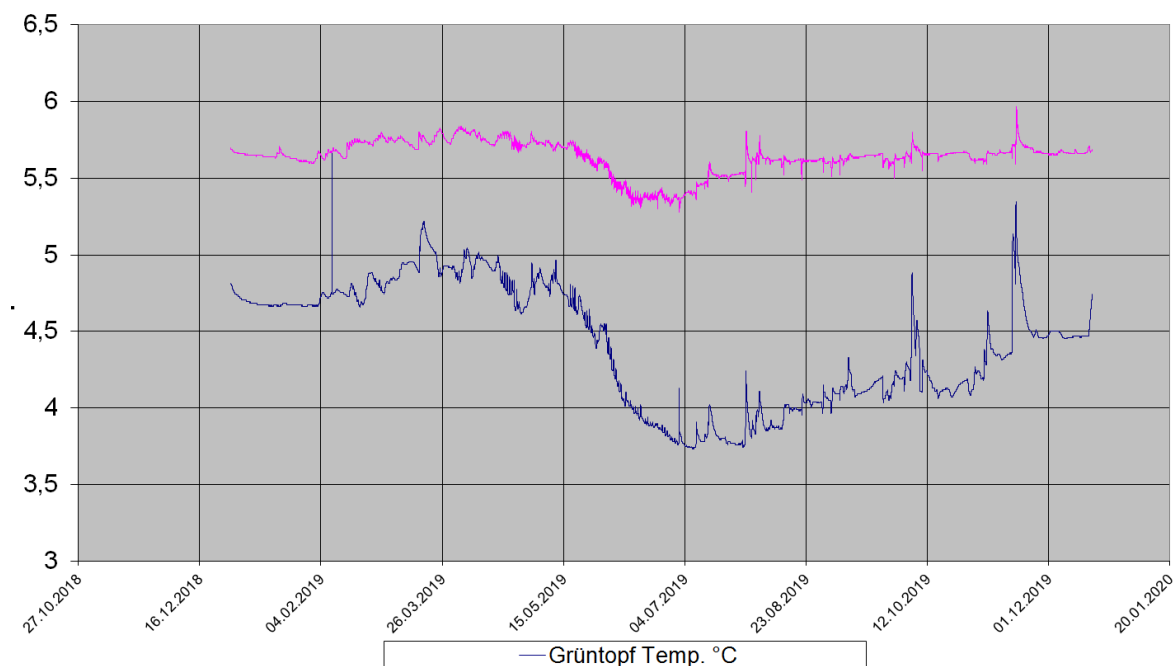
- **Kneippklamm**

- Höhlenbach mit vorwiegendem Abfluss in Spalten und Canyons, bis zur Geländeoberkante auf 2.145 m ü.A. verfolgbar. Größere Speicher (Höhlenseen und Siphonzonen) fehlen. Die Entwässerung entspricht am ehesten dem „channel flow“. Einzugshöhe von ca. 1.100 bis 2.200 m ü.A.

- **Grüntopf**

- Entwässerung vorwiegend über Siphonzonen, welche mit Kaskaden verbunden sind. Damit resultieren große Abflussspeicher, welche in den Kaskaden überlaufen, jedoch vergleichbar große Speicher bilden.  
Einzugshöhe von ca. 1.300 bis 2.650 m ü.A.

## Wassertemperatur 2019



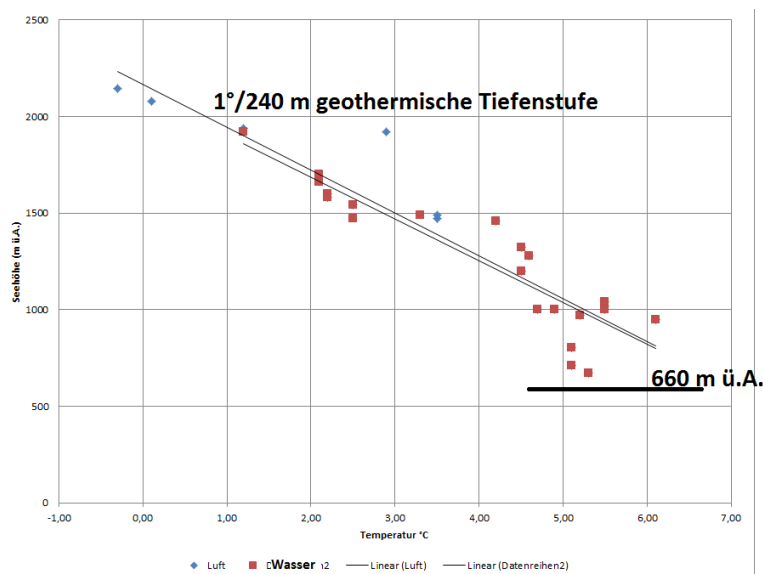
**Abb. 4:** Jahreswasserganglinie der Wassertemperaturen am Beispiel 2019,

Die beiden Systeme zeigen sehr ähnliche Dynamik in den gemessenen Parametern, wobei erwartungsgemäß die Wassertemperatur im Grüntopfsystem um etwa 1,3°C tiefer liegt als im Kneippklammsystem.

Die jahreszeitlichen Schwankungen sind im Kneippklammsystem mit 0,7°C in der Kneippklamm deutlich geringer als im Grüntopfsystem mit fast 2,0°C, was vermutlich der längeren Speicherung des Wassers in den Höhlenseen und Siphonen schuldet.

### „Geothermische Tiefenstufe“

Die beim Durchstieg 1992 erstmals gemessenen Wassertemperaturen über einen Höhenunterschied von fast 1450 Metern gemessenen Wassertemperaturen zeigten eine Zunahme der Wassertemperatur (und Lufttemperatur) von etwa **1°C/240 m**



Diese „geothermische Tiefenstufe“ entspricht deutlich stärker den klimatologischen Verhältnissen (300 m/°C), während die geothermischen Einflüsse hier eine untergeordnete Rolle spielen.

### Wassertemperaturen

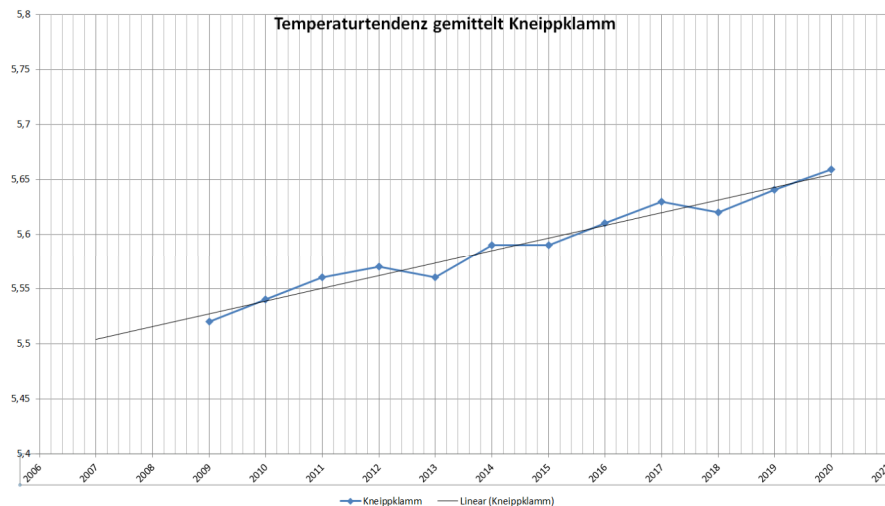
Die gemessene Wassertemperatur hängt von folgenden Parametern ab:

- Bodentemperatur im Einzugsgebiet
  - Seehöhe, Exposition, Vegetation, innere Einflüsse (z.B. Luftzirkulationen im Berg)  
→ Ektogener **Energieeintrag**
- Geothermische Konvektion
  - Wärmeleitfähigkeit des Gebirges, Kontaktzeiten des Wassers zum Gebirge → Endogener **Energieeintrag**
- Chemische Reaktionen
  - Lösungskälte, etc.
- Mechanische Einflüsse

- „Reibungen in Wasserfällen“
- Anthropogene Einflüsse
  - Bauten und sonstige Nutzungen, geothermische Nutzungen, etc.

### Trends und Entwicklungen

Bei den seit 2007 durchgeführten Messungen kann in der mittleren Wassertemperatur beider Systeme eine Zunahme der mittleren Wassertemperatur festgestellt werden, welche bei etwa  $0,12^{\circ}\text{C}/\text{Dekade}$  liegt. Bei den anderen Messparametern zeichnen sich keine zuordenbaren Trends ab.



**Abb. 5:** Tendenzielle Entwicklung der mittleren Wassertemperatur im System Kneippklamm von 2007-2020.

Diese Trends der Wassertemperatur in Quellen sind auch bei der Auswertung anderer Karstquellen in Salzburg beobachtet worden.

**Die in den Quellen gemessenen Wassertemperaturen sind von zahlreichen Einflussgrößen abhängig, eine Verifizierung von klimatologischen Veränderungen (Stichwort „Klimawandel“) scheint durch eine sorgfältige Auswertung der zahlreichen Messdaten der Wassertemperaturen möglich und sinnvoll.**

## Behördliche Bauaufsicht – Segen oder Bürde für den Projektwerber?

M Univ. Prof. Dr. Leopold WEBER

*office@geologie-weber.at*

### **Abstract:**

In case of long lasting infrastructure projects the authority can appoint a supervisor to monitor compliance with the special obligations of the notice of approval and to control the achievement of the specific protection goals. The service profile of an authority-supervisor is fundamentally different from that of a local-supervisor. The specific tasks and obligations of a supervisor, but also restrictions are described in this paper.

### **Einleitung:**

Insbesondere bei lange Zeit in Anspruch nehmenden Großprojekten kann die Behörde eine Bauaufsicht bestellen, die die Erfüllung der Bescheidvorschriften und die Erreichung der Schutzziele kontrolliert. Das Leistungsbild einer derartigen behördlichen Bauaufsicht unterscheidet sich somit grundlegend von jenem einer örtlichen Bauaufsicht, die die korrekte technische Umsetzung eines Vorhabens zu überwachen hat. Die konkreten Aufgaben und Pflichten einer behördlichen Bauaufsicht, aber auch Einschränkungen werden in dieser Arbeit beschrieben.

### **Kompetenzumfang**

Eine behördliche Bauaufsicht (BBA) ist ein von einer Behörde bestelltes sachverständiges Hilfsorgan, welches die bescheidkonforme Umsetzung eines bestimmten Vorhabens zu überwachen hat. Sie wird von der bescheiderlassenden Behörde bestellt. Der BBA kommt somit die Rolle eines Verbindungsgliedes zwischen Behörde einerseits und Konsenswerberin (= Bescheidadressatin bzw. Auftraggeberin für die verschiedenen Auftragnehmer) andererseits zu. Sie hat aber keine unmittelbare Behördenkompetenz. Die Anordnungsbefugnis beschränkt sich auf die Bescheidadressatin. Die Konsenswerberin hat im Wege des Bauvertrages selbst dafür zu sorgen, dass das Vorhaben im Sinne des behördlich genehmigten Projektes umgesetzt wird. Da im Laufe der Projektabwicklung immer wieder Anpassungen an die örtlichen Gegebenheiten erforderlich sind, ist von der BBA auch zu prüfen, ob diese dem Genehmigungsbescheid entsprechen. Rasche und unbürokratische Lösungsfindungen bei Projektmodifikationen durch die behördlichen Bauaufsichten dienen nicht nur der Entlastung der Behörde, sondern auch der raschen Entscheidung für die Konsenswerberin, zumal zeitliche Verzögerungen meist zu Mehrkosten führen.

Insbesondere Großbauvorhaben werden oft von einer behördlichen Bauaufsicht (BBA) begleitet. Im Wasserrechtsgesetz wird der Aufgabenbereich einer behördlichen Bauaufsicht sogar explizit geregelt:

*§ 120 (1) Die Wasserrechtsbehörde kann zur Überwachung der Bauausführung bewilligungspflichtiger Wasseranlagen geeignete Aufsichtsorgane (wasserrechtliche Bauaufsicht) durch Bescheid bestellen. Als wasserrechtliche Bauaufsicht kann eine natürliche oder juristische Person oder sonstige Gesellschaft mit Rechtspersönlichkeit bestellt werden. Bei Bestellung einer juristischen Person oder sonstigen Gesellschaft mit Rechtspersönlichkeit hat diese eine oder mehrere natürliche Personen zur Wahrnehmung der Aufgaben für sie zu benennen. In diesem Fall muss jede der benannten natürlichen Personen die Eignung aufweisen.*

*(2) Die wasserrechtliche Bauaufsicht erstreckt sich auf die fach- und vorschriftsgemäße Ausführung der Bauarbeiten und auf die Einhaltung der einschlägigen Bedingungen des Bewilligungsbescheides.*

*(3) Die Aufsichtsorgane sind berechtigt, jederzeit Untersuchungen, Vermessungen und Prüfungen an der Baustelle vorzunehmen, Einsicht in Behelfe, Unterlagen u. dgl. zu verlangen und erforderlichenfalls Baustoffe, Bauteile und bautechnische Maßnahmen zu beanstanden. Wird keine Übereinstimmung erzielt, so ist unverzüglich die Entscheidung der Wasserrechtsbehörde einzuholen.*

*(4) Die Organe der wasserrechtlichen Bauaufsicht sind zur Wahrung der ihnen zur Kenntnis gelangenden Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse verpflichtet.*

*(5) Durch die Abs. 1 bis 4 werden anderweitige einschlägige Bestimmungen, wie bau- und gewerbepolizeiliche Vorschriften nicht berührt. Auch wird die Verantwortlichkeit der Unternehmer und Bauführer durch Bestellung einer wasserrechtlichen Bauaufsicht nicht eingeschränkt.*

*(6) Die Kosten der wasserrechtlichen Bauaufsicht hat der Unternehmer zu tragen; eine einvernehmliche Pauschalierung ist zulässig.*

Im Eisenbahnrecht ist *expressis verbis* keine behördliche Bauaufsicht vorgesehen, wiewohl seitens der Behörde für bestimmte Fachgebiete BBAs bestellt werden und sich der Aufgabenbereich am WRG orientiert.

Die behördliche Bauaufsicht unterscheidet sich aber grundsätzlich von einer örtlichen Bauaufsicht (ÖBA), die von der Konsenswerberin als Auftraggeberin (AG) zu bestellen ist und die die korrekte technische Umsetzung des Bauvorhabens zu prüfen hat.

Sinn und Zweck einer BBA ist es u.a., die Bescheidkonformität des Bauvorhabens kontinuierlich zu überprüfen. Vor allem Verkehrswegeprojekte haben nicht nur eine lange Planungsperiode, sondern sind auch einer Umweltverträglichkeitsprüfung zu unterziehen. Nicht selten ergibt sich zwischen dem Beginn der Planung und den Behördenverhandlungen bis zur Ausschöpfung aller Rechtsmittel eine Zeitspanne über ein Jahrzehnt hinaus. Beispielsweise wurde mit der Planung des Semmering Basistunnels bereits im Jahre 2005 begonnen. Das Projekt wurde im Frühjahr 2010 bei der Behörde eingereicht. Die UVP Verhandlung erfolgte im Jänner 2011. Gegen den im Mai 2011 erlassenen Bescheid wurde beim Verwaltungsgerichtshof Beschwerde eingelegt. Tatsächlich wurde der Bescheid im Dezember 2013 aufgehoben, sodass eine Ergänzung der UVE erforderlich wurde. Mit einem Ersatzbescheid wurde dieser Mangel im Juni 2014 behoben. Auch gegen diesen Ersatzbescheid wurde Beschwerde vor dem neu eingerichteten Bundesverwaltungsgericht erhoben. Im Jänner 2015 wurde nunmehr im Rahmen einer Gerichtsverhandlung



das Vorhaben geprüft, dem im Mai 2015 ein Erkenntnis folgte. Zwar wurden die Beschwerden abgewiesen, wohl aber das Rechtsmittel einer ao Revision vor dem VwGH eingeräumt. Im konkreten Fall wurden naturschutzrechtliche Bedenken vorgebracht, denen tatsächlich vom VwGH rechtlich entsprochen wurde und das Naturschutzverfahren ergänzt werden musste. Nach abermaliger Verhandlung durch das BVwG wurde das Verfahren im November 2016 positiv entschieden, worauf auch gegen dieses Erkenntnis abermals Beschwerde beim VwGH eingebracht wurde. Dieser wies im Juni 2017 die Beschwerde ab. Abermals wurde das Projekt vor dem BVwG verhandelt und die Beschwerde im April 2018 endgültig als unbegründet abgewiesen wurde. Durch die Verzögerungen musste auch der Fertigstellungstermin von ursprünglich Dezember 2026 auf 2028 korrigiert werden.

Seit Beginn der Planung bis zur endgültigen rechtskräftigen Entscheidung sind 19 Jahre verstrichen. Nachdem sich der Stand der Technik im Genehmigungsbescheid auf den Zeitpunkt der Bescheiderlassung bezieht, waren und sind entsprechende Anpassungen zur besseren Erreichung der Schutzziele unvermeidlich.

### **Konkrete Prüfung und fachlich präzisierende Interpretation von Auflagenformulierungen**

Im Genehmigungsbescheid wurden die von den Sachverständigen im Rahmen der Behördenverhandlungen vorgebrachten zwingenden Maßnahmen in Form von Auflagen verankert. Viele dieser Auflagen wurden aber absichtlich nur allgemein formuliert, da sich während der langen Umsetzungszeit eines derartigen Vorhabens der Stand der Technik laufend verändert. Einerseits werden laufend Methoden und Geräte optimiert sowie umweltverträglichere Bauhilfsstoffe entwickelt. Wäre eine konkrete, präzise Vorschreibung, beispielsweise die Verwendung eines bestimmten Produktes oder einer bestimmten Baumethode getätigt worden, wäre ein Abweichen vor dieser Festlegung nicht leicht möglich gewesen und hätte unter Umständen sogar eine Anpassung an sinnvolle technische Verbesserungen unmöglich gemacht.

Gegen solche bloß allgemein formulierte Bescheidauflagen wurde bei einem Eisenbahnprojekt beim VwGH Beschwerde geführt. Dazu hat der VwGH richtungsweisend nachstehendes festgestellt:

*„...Ob eine einem Bescheid beigefügte Auflage ausreichend bestimmt im Sinne des § 59 Abs. 1 AVG ist, bemisst sich nach den Umständen des Einzelfalles. Ausreichende Bestimmtheit einer Auflage kann auch dann vorliegen, wenn die Umsetzung des Bescheides durch den Bescheidadressaten unter Zuziehung von Fachleuten zu erfolgen hat und für diese Fachleute der Inhalt der Auflage objektiv eindeutig erkennbar ist. Die Formulierung einer Auflage widerspricht dem Bestimmtheitsgebot des § 59 Abs. 1 AVG nur dann, wenn ihr Inhalt auch unter Beiziehung eines Fachkundigen nicht verlässlich ermittelt werden kann (zuletzt VwGH 20.11.2014, 2011/07/0244).*

*Die vorgeschriebenen Auflagen wurden von erwiesenen Fachleuten vorgeschlagen und aufgrund der Ermittlungsergebnisse vorgeschrieben. Es ist daher davon auszugehen, dass die Auflagen unter Heranziehung von Fachleuten umgesetzt werden können. Gegenteilige Beweisergebnisse haben sich im Ermittlungsverfahren bezogen auf den Bescheid der BMVIT vom 16.06.2014, BMVIT-820.288/0033-IV/SCH2/2014, auf den Bescheid des Landeshauptmannes der Steiermark vom 04.11.2014, ABT13-33.90-*

*22/2014-29, und auf den Bescheid der Bezirkshauptfrau von Mürzzuschlag vom 06.07.2011, GZ 6.0-11/10, nicht ergeben.*

*Die von der belangten Behörde im angefochtenen BMVIT-Bescheid vorgeschriebenen Auflagen sind identisch mit den Auflagen, welche im „UVP-Genehmigungsbescheid alt“ vorgeschrieben wurden. Der UVP-Genehmigungsbescheid alt wurde vom VwGH geprüft und hat dieser keine Bedenken hinsichtlich einer angeblichen Unbestimmtheit der Auflagen geäußert. Der VwGH hat diesbezüglich ausgesprochen, dass eine ausreichende Bestimmtheit einer Auflage auch dann vorliegen kann, wenn die Umsetzung des Bescheides durch den Bescheidadressaten unter Zuziehung von Fachleuten zu erfolgen hat und für diese Fachleute der Inhalt der Auflage objektiv eindeutig erkennbar ist....“*

Bewusst werden in den von den Sachverständigen im UVP Verfahren festgelegten zwingenden Maßnahmen oft nur Ziele vorgegeben, die zur Erreichung von Schutzziele zwingend erforderlich sind. Ob und wie diese Vorgaben durch technische Lösungen oder die Verwendung bestimmter Bauhilfsstoffe erreicht werden, obliegt der Konsenswerberin bzw. deren Auftragnehmer. Hätte der Sachverständige zum Zeitpunkt des UVP Verfahrens bereits eine konkrete, präzise Maßnahme formuliert, wäre eine Abweichung davon während der Bauphase nicht mehr leicht möglich gewesen. Damit wäre auch eine mögliche, vom Auftragnehmer vorgeschlagene billigere oder sogar technisch bessere Lösung erschwert oder gar verhindert worden. Die präzisierende fachkompetente Interpretation einer derartigen Bescheidauflage bei der Umsetzung des Bauvorhabens ist daher eine der wesentlichen Aufgaben der behördlichen Bauaufsicht.

Aufgabe einer BBA ist es somit, das Projekt auch so zu begleiten, dass solche verbessernden Maßnahmen durchgeführt werden können, solange sie nicht dem Genehmigungsbescheid widersprechen. Beispielsweise wurden von den Sachverständigen im Behördenverfahren keine bestimmten Bauhilfsstoffe vorgeschrieben, vielmehr verlangt, dass bei Verwendung derselben bestimmte materienrechtliche Bestimmungen eingehalten werden müssen (z.B. Grenzwerte der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung).

Sehr wohl steht es aber einer behördlichen Bauaufsicht zu, dem Auftragnehmer im Wege über die Konsenswerberin als Bescheidadressatin den Einsatz bestimmter Bauhilfsstoffe begründend zu untersagen, wenn beispielsweise durch diese eine qualitative Gefährdung des Grund- oder Oberflächengewässers zu befürchten ist und damit das Schutzziel (z.B. Grundwasserschutz) nicht erreicht wird.

### **Stand der Technik**

Sowohl im Eisenbahn- als auch im Wasserrechtsgesetz wird auf den Stand der Technik eingegangen. Nach § 9b des EisbG (1957) ist der Stand der Technik als der auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Entwicklungsstand fortschrittlicher technologischer Verfahren, Einrichtungen, Bau- und Betriebsweisen, deren Funktionstüchtigkeit erwiesen und erprobt ist, definiert. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen, Bau- oder Betriebsweisen heranzuziehen und die Verhältnismäßigkeit zwischen dem Aufwand für die nach der vorgesehenen Betriebsform erforderlichen technischen Maßnahmen und dem dadurch bewirkten Nutzen für die jeweils zu schützenden Interessen zu berücksichtigen.

Im WRG (1959) wird der Stand der Technik im §12a definiert:

*§ 12a. (1) Der Stand der Technik im Sinne dieses Bundesgesetzes ist der auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, deren Funktionstüchtigkeit erprobt und erwiesen ist. **Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere jene vergleichbaren Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, welche am wirksamsten zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt sind.** Bei der Festlegung des Standes der Technik sind unter Beachtung der sich aus einer bestimmten Maßnahme ergebenden Kosten und ihres Nutzens und des Grundsatzes der Vorsorge und der Vorbeugung im Allgemeinen wie auch im Einzelfall die Kriterien des Anhangs G zu berücksichtigen.*

Mehrfach wird im WRG auch darauf hingewiesen [zB. §21a (1), § 1c (3)], dass zur Erreichung der Schutzziele auch nach Bescheiderlassung Anpassungen an den Stand der Technik vorzunehmen sind.

Dies wird u.a. durch den §120 (3) WRG geregelt, der das Aufsichtsorgan ermächtigt, jederzeit Untersuchungen, Vermessungen und Prüfungen an der Baustelle vorzunehmen, Einsicht in Behelfe, Unterlagen u. dgl. zu verlangen und erforderlichenfalls Baustoffe, Bauteile und bautechnische Maßnahmen zu beanstanden. Sofern keine Übereinstimmung erzielt werden kann, ist unverzüglich die Entscheidung der Behörde einzuholen.

Auftragnehmer und Konsenswerberin konzentrieren sich zumeist auf die Einhaltung von konkreten Bescheidaufgaben. Dabei wird oft vergessen, dass sich die Konsenswerberin bereits bei der Projekteinreichung oder spätestens bei der Behördenverhandlung zu bestimmten Maßnahmen selbst verpflichtet hat. Wo ein derartiger Unternehmenswille vorlag und dies entweder in den Einreichunterlagen oder in der Niederschrift zur Verhandlung festgehalten ist, waren auch seitens der Behörde keine diesbezüglichen Auflagen mehr vorzuschreiben. Es obliegt aber der behördlichen Bauaufsicht, nicht nur die Einhaltung der konkreten Auflagen zu prüfen, sondern auch, ob die selbst auferlegten Maßnahmen, eingehalten werden.

Auch werden oft Änderungen in Verordnungen oder anderen Regelwerken, die erst nach Bescheiderlassung veröffentlicht wurden, von der Konsenswerberin oder dem Auftragnehmer wohl unwissentlich nicht oder erst nach Einmahnung derselben umgesetzt.

### **Prüfung von Projektabweichungen**

Komplexe Bauvorhaben verlangen von allen Projektbeteiligten ein enormes Maß an Flexibilität. Nahezu bei keinem Vorhaben entspricht das fertiggestellte Projekt bis ins Detail dem Eingereichten. Durch das Einsetzen einer BBA können beispielsweise Verbesserungsvorschläge, von wem auch immer vorgebracht, von dieser zugestimmt werden, wenn es sich um sog. Modifikationen handelt. Dabei handelt es sich um geringfügige Abweichungen vom genehmigten Projekt, wodurch insbesondere keine Rechte Dritter berührt werden. Muss beispielsweise ein Querschlag zwischen zwei Tunnelröhren aus geologischen Gründen um wenige Meter verschoben werden, die vorgegebenen Sicherheitskorridore dennoch eingehalten bleiben,

kann dies trotz abweichender planlicher Darstellung in den Einreichunterlagen als Modifikation von der fachlich betroffenen BBA unter entsprechender Begründung zur Kenntnis genommen werden. Anders verhält es sich, wenn dadurch in Rechte Dritter eingegriffen wird. Solche Abweichungen sind als Änderungen zu verstehen, die von der zuständigen Behörde unter Umständen auch neu verhandelt werden müssen. In den meisten Fällen sind konsensuale Lösungen aber rasch zu erzielen. Würde die bescheiderlassende Behörde mit solchen Fragen befasst werden, würde dies zu enormen Zeitverzögerungen führen, da zumeist zuerst Sachverständige mit Sachverhaltsdarstellung und gutachterlicher Stellungnahme befasst werden müssen. Die rasche Lösungsfindung dient daher nicht nur der Entlastung der Behörde, sondern auch der raschen Entscheidung für die Konsenswerberin.

### **Begleitung von Beweissicherungs- und Monitoringprogrammen**

Großprojekte mit Eingriffen in den Untergrund beeinflussen zwangsläufig den Wasserhaushalt. Aus diesem Grunde werden von den bescheiderlassenden Behörden Beweissicherungs- und Monitoringprogramme vorgeschrieben. Im § 120 (3) WRG wird klar geregelt, dass die behördlichen Aufsichtsorgane („Bauaufsichten“) berechtigt sind, jederzeit Untersuchungen, Vermessungen und Prüfungen an der Baustelle vorzunehmen, Einsicht in Behelfe, Unterlagen u. dgl. zu verlangen und erforderlichenfalls Baustoffe, Bauteile und bautechnische Maßnahmen zu beanstanden. Wird keine Übereinstimmung erzielt, so ist unverzüglich die Entscheidung der Wasserrechtsbehörde einzuholen. Dies impliziert auch, dass die Beweissicherungsprogramme laufend auf Sinn und Zweck zu prüfen sind und allenfalls an die jeweiligen örtlichen Verhältnisse angepasst werden können.

Aus diesem Grund wird im Rahmen der behördlichen Bauaufsichtstätigkeit bei der geplanten Verwendung von Bauhilfsstoffen auch geprüft, ob es umweltverträglichere Produkte gibt, die z.B. eine geringere Wassergefährdungsklasse (WGK) aufweisen, oder ob lösungsmittelhaltige Bauhilfsstoffe durch lösungsmittelfreie, biologisch schwer abbaubare durch leichter abbaubare Stoffe ersetzt werden können.

Mehrfach wurden dabei auch die von den Produzenten beigebrachten Sicherheitsdatenblätter (SDB) auf ihre Produktkonformität kritisch überprüft und beanstandet. Desgleichen wurde auch die Verwendung von bestimmten Bauhilfsstoffen untersagt, weil technisch erprobte grundwasserschonendere Mittel verfügbar waren.

### **Anordnungsbefugnis bei Gefahr in Verzug**

Zwischenfälle oder unvorhersehbare Ereignisse sind bei Großprojekten nicht zu vermeiden. Zweifelsohne liegt die Problemlösung im Verantwortungsbereich des Auftragnehmers. In besonderen Anlassfällen ist die behördliche Bauaufsicht von solchen Ereignissen zu verständigen. Ihr kommt bei der Problembewältigung aber keine Weisungskompetenz zu, es sei denn, dass bei Gefahr in Verzug aus fachlicher Sicht Sofortmaßnahmen anzuordnen sind.

### **Modus vivendi**

Bei großen Infrastrukturprojekten ist je nach Baufortschritt eine intensive Begleitung durch die BBA erforderlich. Diese erfolgt einerseits durch regelmäßige und terminlich festgelegte Besprechungen, aber auch durch unangekündigte Erhebungen vor Ort gemeinsam mit Vertretern der ÖBA bzw. der Konsenswerberin. Dabei können festgestellte leichte Mängel an Ort und Stelle behoben werden. Bei grundlegenden Mängelfeststellungen, die eine Bescheidverletzung erkennen lassen oder zu vermuten ist, wird die Konsenswerberin mittels eines Aktenvermerkes zur Stellungnahme und unverzüglichen Mängelbehebung aufgefordert. In regelmäßigen Abständen wird die Behörde von der bescheidkonformen Umsetzung des Projektes sodann gutachterlich informiert bzw. im Anlassfall von Störfällen in Kenntnis gesetzt.

Die Begleitung von derartigen Infrastrukturprojekten, deren Umsetzung sich auf Jahre erstreckt, durch eine sachverständige behördliche Bauaufsicht, ist sowohl für die Konsenswerberin als auch für die zuständige Behörde von Vorteil. Dies liegt vor allem in direkten raschen und unbürokratischen Entscheidungen begründet, ohne die bescheiderlassende Behörde unmittelbar befassen zu müssen. Insbesondere können durch die sachverständige Begleitung potentielle Gefährdungen rechtzeitig erkannt und dadurch nachhaltige Schäden an der Umwelt vermieden werden. Schlussendlich wird auch das Abnahmeverfahren am Ende eines derartigen Projektes einfacher und überschaubar.

### **Literatur:**

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (Allgemeine Abwasseremissionsverordnung – AAEV; BGBl. Nr. 179/1991 i.d.g.F.

Wasserrechtsgesetz (WRG 1957); [BGBl. Nr. 215/1959](#) (WV) i.d.g.F.

Bundesgesetz über Eisenbahnen, Schienenfahrzeuge auf Eisenbahnen und den Verkehr auf Eisenbahnen (Eisenbahngesetz 1957 - EisbG); [BGBl. Nr. 60/1957](#) i.d.g.F.

## Katastrophenwinter 2019 - Die Quantifizierung eines Extremereignisses

Dr. Thomas Zumbrunnen<sup>1</sup>, Armin Fischer<sup>2</sup>, Dr. Kilian Scharrer<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Staatl. Bauamt Traunstein, Abteilung K2, Rosenheimer Straße 7, 83278 Traunstein

<sup>2</sup> Lawinenwarnzentrale Bayern, Heßstraße 128, 80797 München

<sup>3</sup> iC consulenten GmbH, Gewerbering 5, 86926 Greifenberg

### Abstract

In the course of the heavy snowfall event in early January 2019, several main roads in the districts of Traunstein and Berchtesgadener Land were closed due to the risk of avalanches. Areas in which the known avalanche starting zones had already been secured by technical barriers (snow bridges, snow nets, tripods, etc.) were also affected. On the one hand, there were avalanche events outside the previously mapped avalanche areas. On the other hand, many events occurred in the previously mapped avalanche areas. However, the recorded dimensions of these avalanches sometimes significantly exceeded previous events. This situation was the reason, to carry out a large-scale laserscanning flight campaign along avalanche prone federal and state roads in the districts of Berchtesgadener Land and Traunstein. The aim was to acquire a comprehensive snow depth record as a reference dataset for snow depth estimates in the starting zones. In addition, all actual avalanche events should be recorded so that the new avalanche areas can be precisely identified and avalanche simulations can be calibrated and validated.

### Einführung

Extremwetterereignisse in den bayerischen Alpen treten in letzter Zeit in immer kürzeren Abständen auf [1]. Oft führen sie zu großen Problemen für die Infrastruktur und die Bewohner der betroffenen Gebiete, den Tourismus und die Wirtschaft [2]. Diese Ereignisse stellen jedoch eine unverzichtbare Informationsquelle für die zukünftige Planung und die Umsetzung von Sicherungsmaßnahmen dar. Ein Ereignis, bei dem viele wertvolle Erkenntnisse für die Landkreise Berchtesgadener Land und Traunstein gewonnen wurden, war der Katastrophenwinter im Januar 2019.

### Situationsbeschreibung

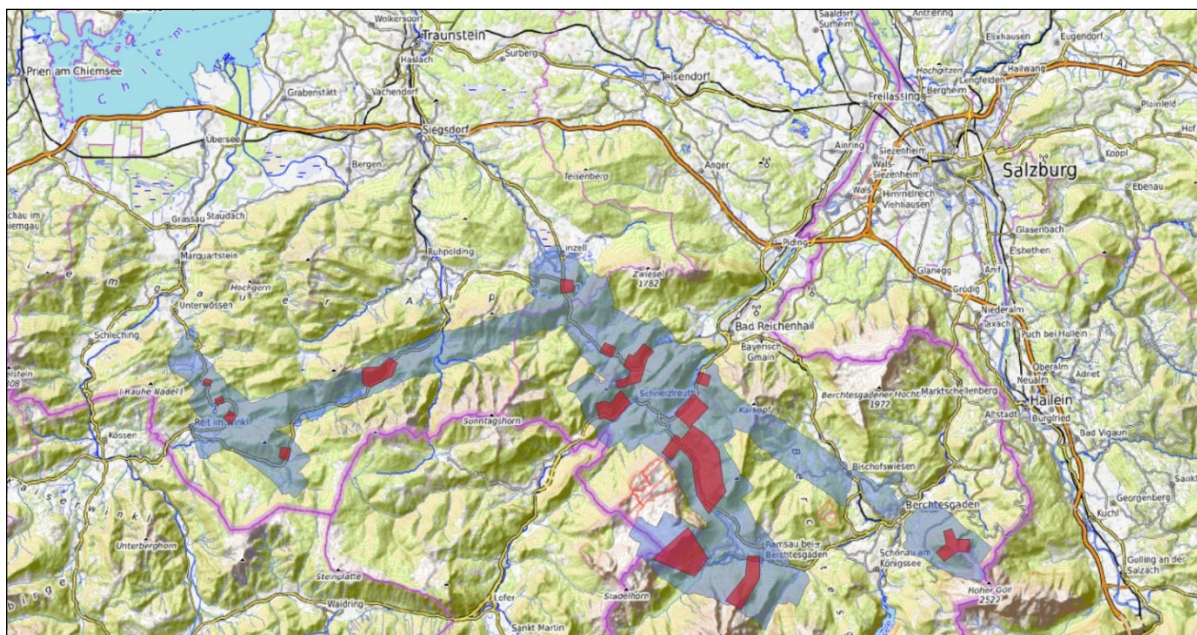
Im Zuge der starken Schneefälle Anfang Januar 2019 kamen im südostbayerischen Alpenraum durch die vorherrschende Nordstaulage extreme Schneemengen zusammen, wobei die 10 Tages-Neuschneesumme etwa einem 100-jährigen Ereignis entsprach [3].

Von den großen Schneemassen waren auch viele Hauptverbindungsstraßen betroffen und mussten wegen akuter Lawinengefahr gesperrt werden. Auch Bereiche, in denen die bekannten Lawenstriche bereits durch technische Verbauungen (Dreibeinböcke, Schneebrücken und -netze, etc.) gesichert wurden, waren betroffen. Zum einen gingen Lawinen auf den kartierten Lawinenbahnen ab. Zum anderen kam es jedoch auch zu Lawinenereignissen außerhalb der kartierten Lawinenbereiche. Die bekannte Dimension dieser

bereits kartierten Lawinen wurde jedoch teilweise deutlich überschritten. Dies war ausschlaggebend dafür, auf dem Höhepunkt des Extremereignisses, eine großräumige Laserscan-Befliegung entlang von lawinengefährdeten Abschnitten an Bundes- und Staatsstraßen in den Landkreisen Berchtesgadener Land und Traunstein durchzuführen. Ziel war, eine umfangreiche Schneehöhenerfassung als spätere Datengrundlage für eine zukünftige Schneehöhenabschätzung in den Anrissgebieten zu gewinnen. Zudem sollten alle Lawinenabgänge erfasst werden, um die neuen Lawinenbahnen später präzise auszuweisen und Simulationen sicher überprüfen bzw. verifizieren zu können.

### Aufnahmemethode / gewonnene Daten

Für die Planung und Durchführung der Befliegung stand nur ein kurzes Zeitfenster zur Verfügung, um den Höhepunkt dieses Extremereignisses zu erfassen. In der Vorbereitung der Laserscan-Befliegung wurden mithilfe des bestehenden Lawinenkatasters des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) insgesamt 15 Befliegungsgebiete definiert. Die Aufnahme dieser Bereiche wurde mit insgesamt 14 Flugstreifen realisiert. Die Datenaufzeichnung in den Transitabschnitten wurde dabei zwischen den 15 Teilgebieten nicht unterbrochen, wodurch eine wesentlich größere Fläche (ca. 450 km<sup>2</sup>) erfasst werden konnte. Die folgende Abbildung zeigt die Lage der vorab definierten Befliegungsgebiete sowie die tatsächlich erfassten Flächen entlang der Flugstreifen.



**Abb. 1:** Vorab definierte Befliegungsgebiete (rot) sowie tatsächlich erfasste Fläche (blau) entlang der Flugstreifen

Das Laserscanning wurde während der ersten Schönwetterphase am 19. Januar 2019 direkt nach dem Abklingen der Schneefälle durchgeführt. Dabei wurde ein RIEGL-Scanner LMS-VQ780i in einer zweimotorigen Cessna 340 eingesetzt. Der Scanner besitzt einen Scanwinkel von  $\pm 30^\circ$ . Die Streifenüberdeckung wurde so parametrisiert, dass eine Punktdichte von mehr als 4 Punkte/m<sup>2</sup> bei einer Flughöhe über Grund zwischen 850 m bis 1100 m erreicht wurde (Eingangsparameter Abb. 2).

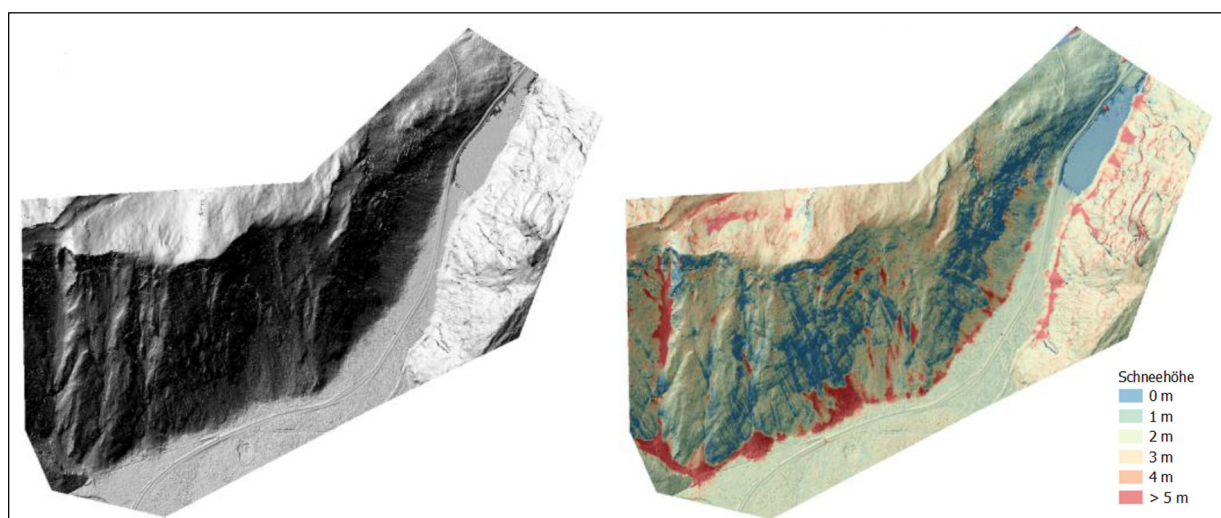
Eingabeparameter	Laserstrahl-Divergenz	0,25 mrad
	Pulswiederholrate	1000 KHz
	Scan-Frequenz	210 lines per second
	Flughöhe über Grund	850m bis 1100 m
	Scan-Winkel (beidseitig)	±30°
	Flugstreifenabstand	950 m
	Flugstreifen-Querüberdeckung	25%
	Fluggeschwindigkeit	150 Knoten
Resultierende Werte	Mittlerer Punktabstand	42 cm
	Profilabstand	27 cm
	Messfleckdurchmesser	27cm
	Streifenbreite	1270 m
	Punktdichte im Einzelstreifen	≥ 7 Punkte /m <sup>2</sup>
	Punktdichte mit Überlappung	≥ 9 Punkte /m <sup>2</sup>

**Abb. 2:** Scanner-Parametrierung LMS-VQ780i

Während der Befliegung wurden die Navigations-Positionsdaten sowie die LiDAR-Daten aufgezeichnet. Die Rohdaten des Projektgebietes umfassen dabei ein Datenvolumen von >30 GB.

Die Geokodierung der LIDAR-Daten erfolgte ausschließlich über die hochgenau erfassten Positionsdaten des Flugzeugs. Dadurch wurde eine absolute horizontale Lagegenauigkeit von unter 5 cm und eine absolute vertikale Lagegenauigkeit von unter 10 cm erreicht.

Aus den LIDAR Punktwolken wurde ein digitales Oberflächenmodell (Auflösung 0,5 m) der Teilgebiete durch Interpolation (Triangulated irregular network, TIN) der Messpunkte abgeleitet und ein vegetationsbereinigtes Geländemodell (Auflösung 0,5 m) erstellt [4]. Die Schneehöhen wurden als Differenz zwischen dem vegetationsgefilterten LIDAR Geländemodell und dem flächendeckend verfügbaren digitalen Geländemodell der Bayerischen Vermessungsverwaltung (Gitterweite 1 m) berechnet.



**Abb. 3:** Schummerung des vegetationsbereinigten Geländemodells (links) und zugehörige vegetationsbereinigte Schneehöhen (rechts) - erstellt aus den LIDAR-Befliegungsdaten



Die so gewonnenen flächendeckenden Schneehöhen wurden in der Folge dazu genutzt, um technische Anrissverbauungen zu überprüfen, neue Lawenstriche auszuweisen und Modellierungen so zu kalibrieren, dass sie im Anschluss für die Planung und Bemessung bzw. zur Lastermittlung von Sicherungsbauwerken und Galerien verwendet werden können.

Die beiden letzten Anwendungspunkte sollen am nachfolgenden Beispiel kurz dargestellt werden.

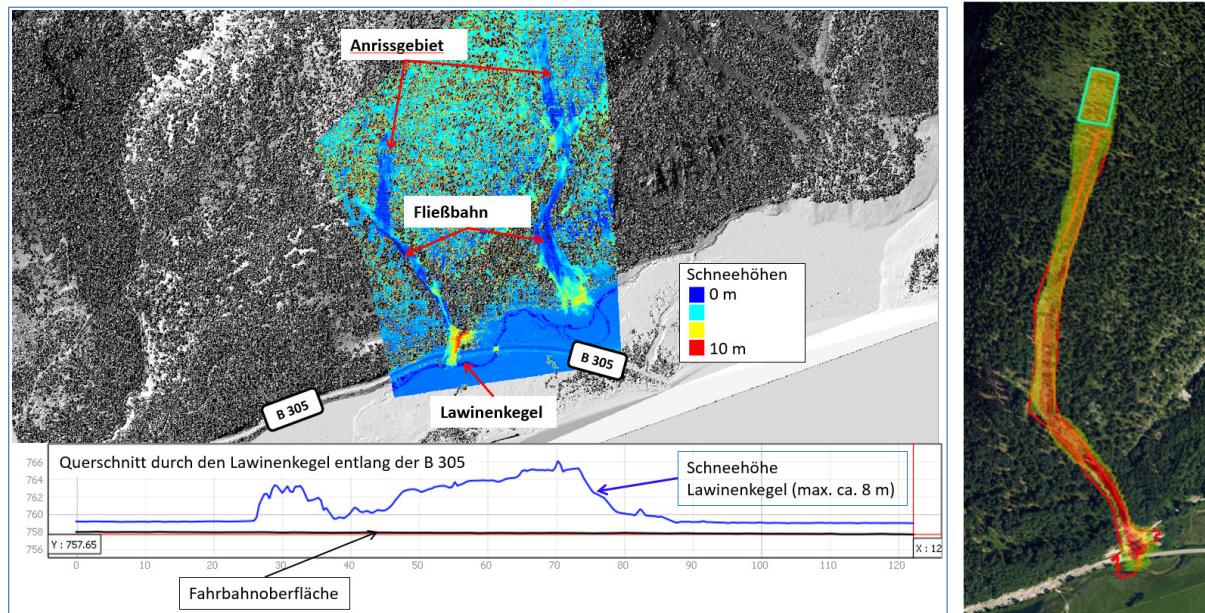
#### Ausweisung eines neuen Lawenstriches mit anschließender Planung von Schutzmaßnahmen

Am 11.01.2019 ging oberhalb der B 305 zwischen Reit im Wink und Ruhpolding, gegenüber des Weitsees, eine Fließlawine nieder. Dabei lagerten sich Schnee und mitgerissene Bäume ca. 8 m hoch auf der im Vorfeld gesperrten Bundesstraße ab.



**Abb. 4:** Befliegungsfoto Lawinenereignis am Weitsee

Durch die flächenhaft vorliegenden Befliegungsdaten konnte sowohl die Fließbahn als auch die abgelagerten Schneemengen exakt bestimmt werden. Die folgende Abbildung (Abb. 5) zeigt die flächige Verteilung der Schneehöhen, berechnet aus der Verschneidung der schneefreien Geländeoberfläche (DGM1 der Bay. Vermessungsverwaltung) und der Laserscan-Befliegung. Auslaufgebiet und Fließbahn heben sich durch vergleichsweise große, respektive niedrigere Schneehöhen von der Umgebung ab. Schwieriger ist die exakte Bestimmung der Anrissfläche, da im vorliegenden Fall keine Anrisskante (wie beispielsweise bei einem Schneebrettabgang) vorhanden war. Auch der nochmalige leichte Schneefall zwischen dem Ereignis und der Befliegung erschwerte die genaue Abgrenzung der Anrissbereiche. Durch die vorhandene genaue Ablagerungsmenge am Hangfuß konnten aber Rückschlüsse auf die Größe des Anrissgebietes gezogen werden. In Verbindung mit der genauen Lage der Lawinenbahn und den Hangneigungen im Anrissgebiet ließ sich das Lawinenereignis jedoch sicher simulieren (Abb. 5). Die Kalibrierung und Kontrolle der Simulation erfolgte mit den vorhandenen Ablagerungsdaten aus der Befliegung.

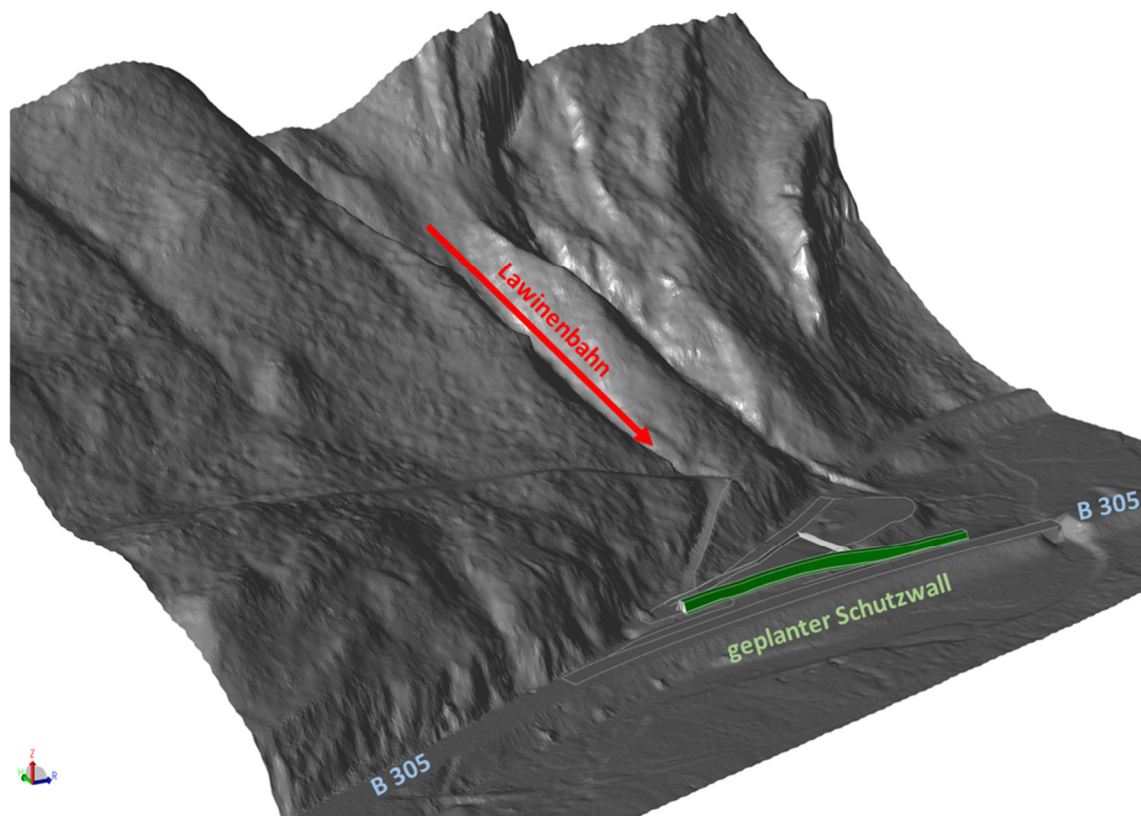


**Abb. 5:** Flächige Verteilung der Schneehöhen der Weitseelawinen berechnet aus der Verschneidung der schneefreien Geländeoberfläche (DGM1 der Bay. Vermessungsverwaltung) und der Laserscan-Befliegung (links) und Simulation der südlichen Weitseelawine auf Basis der Laserscann-Daten

Mit den durchgeführten Simulationen in dem Lawinenbereich konnte im Anschluss eine zielgerichtete Maßnahmenplanung vorgenommen werden. Dies führte unter anderem dazu, dass wegen des vorliegenden FFH-Gebietes, die Sicherungsmaßnahmen zweigeteilt wurden. Wie aus den Befliegungsdaten und der Simulation abzuleiten war, erstreckte sich das Anrissgebiet auf eine große Windwurflläche oberhalb des Lawinengrabsens. Um diesen Anrissbereich zukünftig zu reduzieren, wurden dort 2019 und 2020 tausende Jungbäume gepflanzt. Auf dauerhafte, technische Bauwerke wurde in diesen Flächen aus Naturschutzgründen bewusst verzichtet. Auch in den Rinnenbereichen wurden keine baulichen Maßnahmen vorgenommen.

Stattdessen ist für den Schutz der Bundesstraße eine Wallkonstruktion auf dem Grünstreifen zwischen dem Parkplatz und der Straße geplant. Auf Grund der Lawinen-Simulationen, die auf dem 2019 stattgefundenen Ereignis beruhen, beträgt die Höhe dieses Schutzwalls 4,0 m. Die Länge und die Breite des Walls entlang der Straße konnten durch die simulierten Ausbreitungsgrenzen der Lawine, im Vergleich zur ursprünglichen Planung, deutlich reduziert werden. Durch eine optimierte Gestaltung des Walls wird sich das Bauwerk mittelfristig auch gut in die angrenzenden hochwertigen Naturschutzflächen eingliedern.

Somit konnte durch die Befliegungsdaten und die darauf aufbauenden Simulationen nicht nur das Sicherungsbauwerk selbst optiert werden, sondern auch den Rahmenbedingungen (in diesem Fall dem FFH-Gebiet) bestmöglich Rechnung getragen werden.



**Abb. 7:** Darstellung des neuen Schutzwalls im Auslaufbereich der südlichen Weitseelawine

### Fazit

Während eines Katastrophenfalls ist es für die betroffenen Verwaltungen oder Baulastträger meist unmöglich, Ereignisse vor Ort genau zu erfassen, da sie häufig selbst stark in die Katastrophenbekämpfung mit eingebunden sind. Auf Grund der schnellen Aufräumarbeiten ist es aber im Nachhinein oft schwierig, die Ereignisse und die Rahmenbedingungen noch genau zu rekonstruieren. Somit gehen wichtige Erkenntnisse oft verloren. Dabei sind diese Daten von grundlegender Wichtigkeit für eine spätere, zielgenaue Schutzmaßnahmenplanung. Aus diesem Grund haben sich Airborne- oder Drohnen-Laserscanaufnahmen - während eines Ereignisses bzw. kurz nach einem Ereignis - bewährt.

## Referenzen

[1] Gobiet, A., & Kotlarski, S. (2020): Future Climate Change in the European Alps. - Oxford Research Encyclopedia of Climate Science. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.767>

[2] Einhorn, B., Eckert, N., Chaix, C., Ravanel, L., Deline, P., Gardent M., Boudières, V., Richard, D., Vengeon, J-M., Giraud, G., Schoeneich P. (2015): Climate change and natural hazards in the Alps. - Journal of Alpine Research, 103-2 , <https://doi.org/10.4000/rga.2878>

[3] Yessimbet, K., Ossó, A., Kaltenberger, R., Magnusson, L. and Steiner, A.K. (2021), Heavy Alpine snowfall in January 2019 connected to atmospheric blocking. Weather. <https://doi.org/10.1002/wea.4020>

[4] Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X., & Yan, G. (2016): An easy-to-use airborne LiDAR data filtering method based on cloth simulation. - Remote Sensing, 8(6): 1-22, <https://doi.org/10.3390/rs8060501>

## **Hangbewegungen und deren Auswirkungen auf Wohn- und Wirtschaftsgebäude im Alpenraum am Beispiel Vögelsberg**

Tanzer Ludwig<sup>1</sup>, Roman Außerlechner<sup>2</sup>,

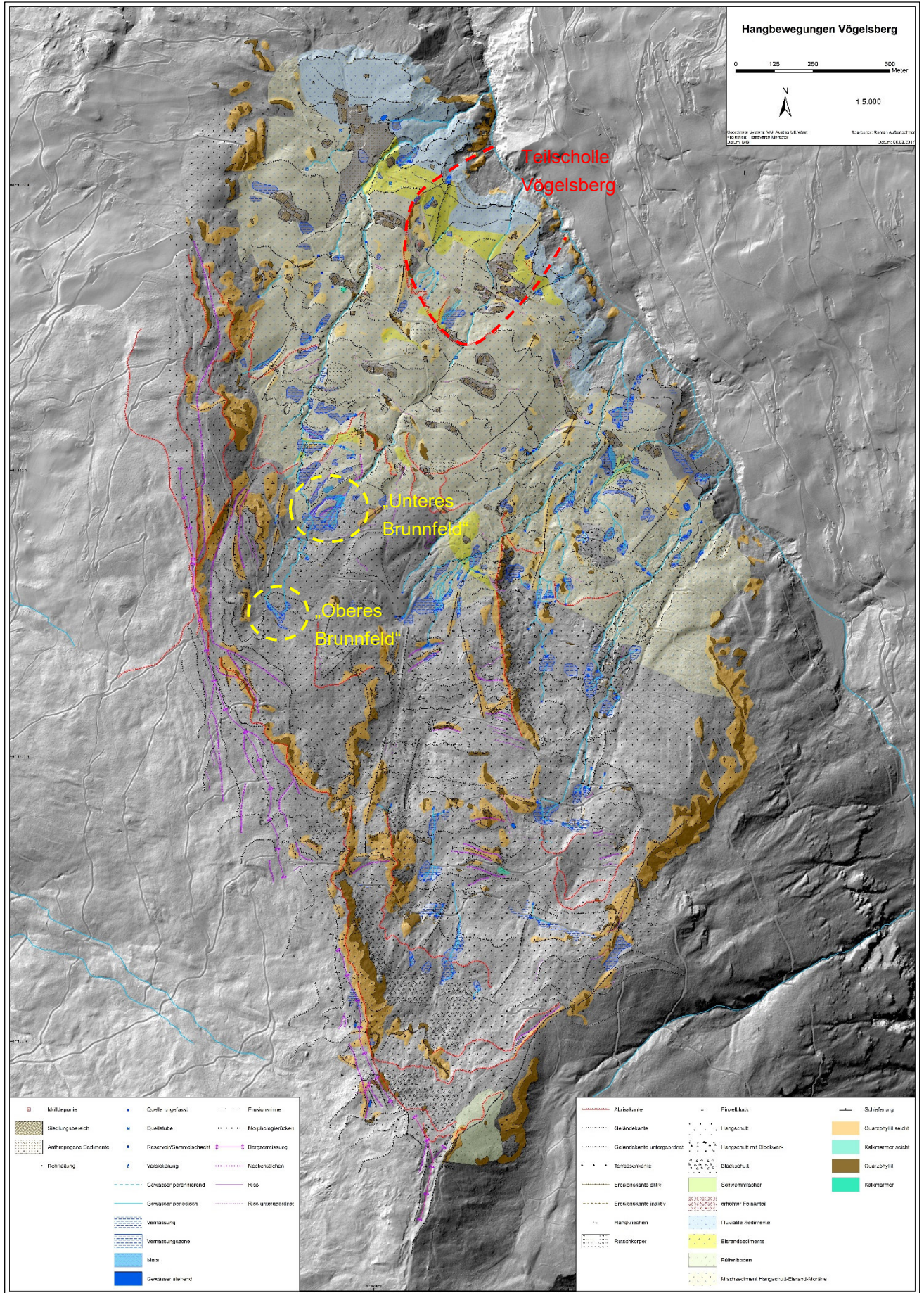
<sup>1</sup> AdTLR Abt. Hochbau, <sup>2</sup>AdTLR FB Landesgeologie

Der zur Gemeinde Wattens gehörige sogenannte Vögelsberg befindet sich orographisch links des Wattenbachs gegenüber der Gemeinde Wattenberg. Am Vögelsberg findet sich eine verstreute Besiedlung, der Großteil des Vögelsbergs ist jedoch überwiegend land- und forstwirtschaftlich geprägt.

Geologisch gesehen befindet sich der Vögelsberg zur Gänze in der Innsbrucker Quarzphyllitzone. Die Hauptmasse der Zone besteht aus altpaläozoischen Metapeliten und Metapsammiten (metamorphe Ton- bis Sandsteine). Auch können eingeschaltete Metakarbonate vorgefunden werden. Dieses Gestein wird durch Hang- und Verwitterungsschutt sowie im tieferen Teil durch Moränen-, Eisrand- und fluviatile Sedimente überlagert.

In der Quarzphyllitzone sind aufgrund des phyllitischen und mobilen Gesteinscharakters vielfach nacheiszeitliche Großmassenbewegungen (Talzuschübe) vorzufinden, so auch im Bereich von Vögelsberg. Bei Betrachtung des Geländemodells lässt sich erkennen, dass der Vögelsberg eben auf einem derartig großräumigen Talzuschubsystem mit mehreren Teilschollen angesiedelt ist, der bis in den Gipfelbereich des Glotzen (2092 m ü.A.) reicht.

Als 2015 ein Anrainer im Bereich der Teilscholle Vögelsberg aufgrund von Deformationen an dessen neu errichtetem Wohngebäude vorstellig wurde, konnte bei einer Begehung durch die WLV festgestellt werden, dass die im Umfeld befindlichen Gebäude ebenfalls beträchtliche Schäden aufweisen, die auf Hangbewegungen schließen lassen.



Die im Folgenden durchgeführte Kartierung des Talzuschubes zeigte neben zahlreichen Schäden und muschelförmigen Absetzungen in Falllinie oberhalb der betroffenen Gebäude markante Quellbereiche, benannt „unteres“ und „oberes Brunnfeld“, aus denen der Schwoager- und der Vöglerbach entspringen. Es finden sich dort jedoch auch zahlreiche Versickerungsstellen. Der dazwischenliegende Hangbereich erweist sich vielfach als trocken. Das Wasser tritt erst wieder entlang der Absetzung zur Teilscholle Vögelsberg aus. 2016 wurde ein vollautomatisiertes Monitoring durch die Abt. Geoinformation installiert. Die Daten zeigen durchschnittliche Lageverschiebungen von 5 bis 6 cm/a bei Setzungen von 2,5 cm/a. Die Bewegungen sind jedoch innerhalb der Teilscholle unterschiedlich stark ausgeprägt. Die Geschwindigkeiten reagieren im etwa 1-monatigen Nachgang zu stärkeren Niederschlags- oder Schneeschmelzereignissen im Ausmaß von bis zu über 12 cm/a.

Das Monitoringprogramm wurde über terrestrisches Laserscanning der Abt. Geoinformation ergänzt, sowie wurden seitens der WLV Kernbohrungen, die als Inklinometer bzw. als Grundwasserpegel ausgebaut wurden, ausgeführt. Dabei zeigt sich eine rund 50 m tiefliegende Basis der Hangbewegung sowie differenzielle Grundwasserniveaus mit teils artesischem Grundwasser.

In diesem „Spannungsfeld“ einer aktiven Teilscholle eines Talzuschubes befinden sich 8 Wohngebäude, sowie mehrere Stallgebäude, ein Feuerwehrhaus, Gemeindestraßen samt Leitungen sowie ein Hochbehälter.

#### **Literatur:**

AUßERLECHNER, R. 2017. Bericht zur geologisch-geomorphologisch-hydrologischen Kartierung; Amt der Tiroler Landesregierung, FB Landesgeologie Tirol.

ENGL, D. 2015. Erstbegehung Massenbewegung Schwoagerbach/Vögelsberg (Gde.Wattens) GZ.3496/49.

ENGL, D. 2018. Bericht Aktueller Kenntnisstand Hangbewegung Gde. Wattens GZ.3496/60.

GEHRING, S. 2020. Hydrogeologische Untersuchung der Hangrutschung am Vögelsberg, Gmd. Wattens (Masterarbeit).



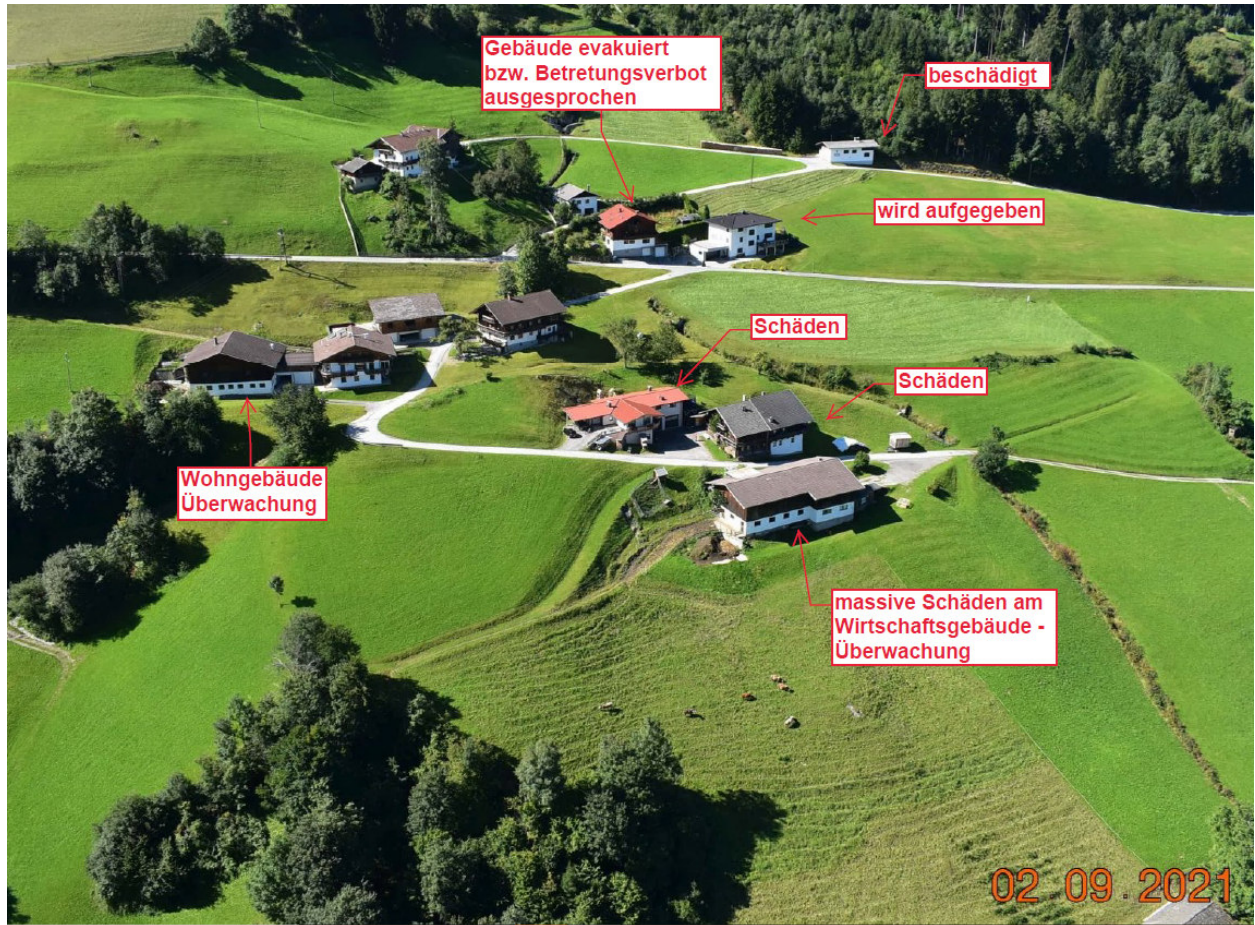
Quelle Tanzer

### **Allgemeines:**

Vögelsberg in der Gemeinde Wattens gibt es mehrere Bestandsbauwerke mit unterschiedlichen Errichtungsdatums, die teils horizontale Verschiebungen, lotrechte Setzungen, Verdrehungen auf Grund unterschiedlicher lotrechter Setzungen und/oder erblichen Rissbilder aufweisen. Das Gebiet liegt in einer Hanglage mit i.M. rund 35 – 40% Gefälle nach Nordosten und wird von einem Gerinne (teils verrohrt, teils offen) durchquert. Die Bausubstanz stellt sich von Beton und Stahlbeton über Mauerwerk und Holz bei den besichtigten Objekten sehr unterschiedlich dar. Laut den Aussagen diverser Eigentümer besteht dieser Zustand schon seit geraumer Zeit, jedoch erhöhte sich das Schadensausmaß in den letzten Jahren rasch und massiv.

Auf Sanierungsmöglichkeiten wird nachfolgend weder in Hinblick auf Bausubstanz, noch auf den Untergrund eingegangen. Mit Sicherheit kann man aber davon ausgehen, dass die Schäden von Bewegungen im Untergrund hervorgerufen werden.





Quelle Tanzer

Lageplanauszug aus TIRIS



## DETAILLIERTE OBJEKTBEDESCHEIBUNGEN

### Wohnhaus HNr.24

Bei diesem Objekt handelt es sich um ein in den unteren drei Geschossen massiv errichtetes Wohnhaus. Das Dachgeschoß ist in Holzleichtbauweise ausgebaut, die Gründung dürfte in Form von Streifenfundamenten erfolgt sein und der Kellerboden ist ein Betonpflaster. Eine Plattenfundierung wird ausgeschlossen.

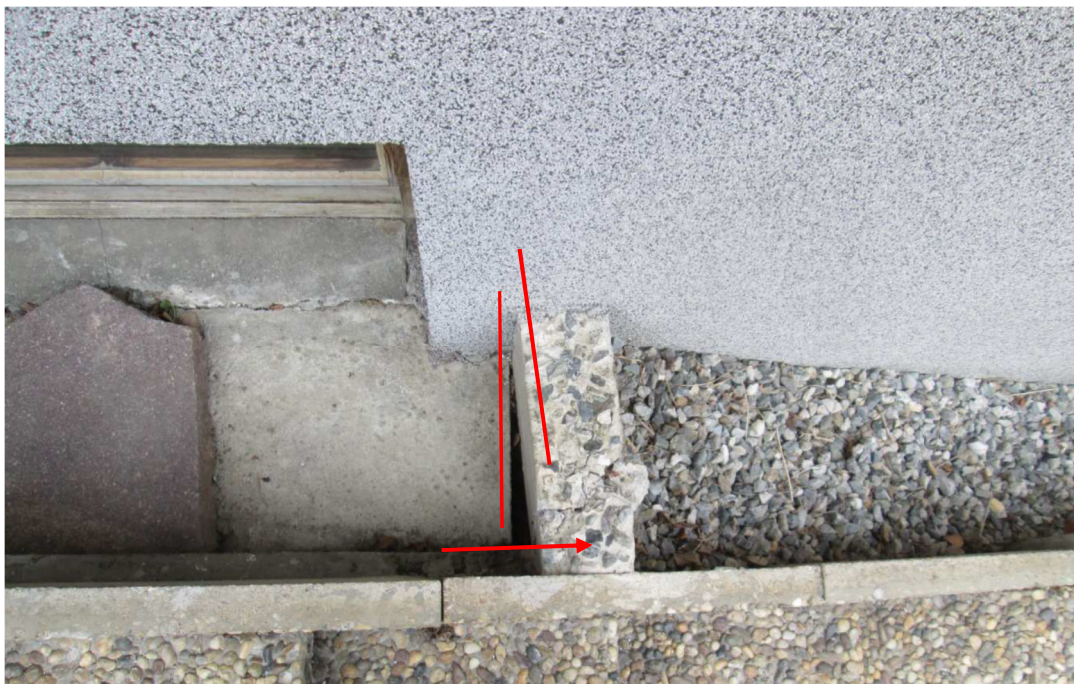
Auffallend bei diesem Objekt ist der mehrere Zentimeter breite Abriss zwischen dem Straßenbelag und der Außenfassade (Bild 01) entlang des gesamten Gebäudes. Schuld für diesen Abriss ist das Absacken der Straße, wobei lt. Eigentümer der Belag in den vergangenen Jahren erneuert wurde. Ebenso waren beim Treppenaufgang im Süden starke Setzungen talwärts ersichtlich (Bild 02 bis 04). Auch erkennbar sind die Geländebewegungen beim Haus und im Gartenbereich, der ursprünglich eben wäre und nun jährlich aufgefüllt werden muss. Aussagend bewegt sich das Gelände mehr als das Gebäude.



**Bild 1:** Straßenfassade von Nordwesten



**Bild 2:** Treppenaufgang zum EG (lt. Eigentümer hatte die Treppe bei der Herstellung eine konstante Steigung, bei der Begehung wies die untere Hälfte markant mehr Steigung auf)



**Bild 3:** Beim Kellerfenster ist erkennbar, dass die Treppe sich gegenüber dem Haus um gut 2cm talwärts verschoben hat



**Bild 4:** beim Hauseingang verschieben sich die Waschbetonplatten bereits unter den Eingangssockel. Die Setzungsmulden im Vordergrund werden immer wieder frisch aufgefüllt.



5

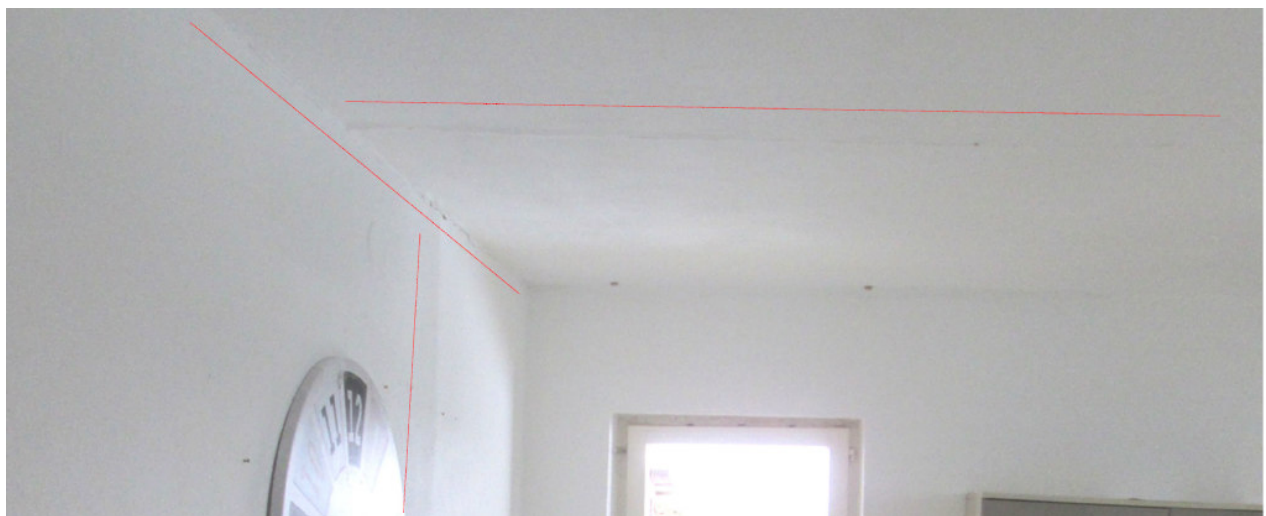
**Bild 5:** Eine Stützmauer im Garten (bergseitig) baucht aus und hängt sichtbar über.

Im Gebäudeinneren beträgt das Gefälle 4% (Bild 6) und alle richtet sich Richtung Tal. Risspione vom Jahr 2017 zeigen kaum einen Zuwachs, die Rissweite beträgt rund 1mm und sind für die massiven Setzungen als gering einzustufen. Somit kann man sagen, dass die Setzungen und Kippungen das gesamte Bauwerk gleichmäßig betreffen.

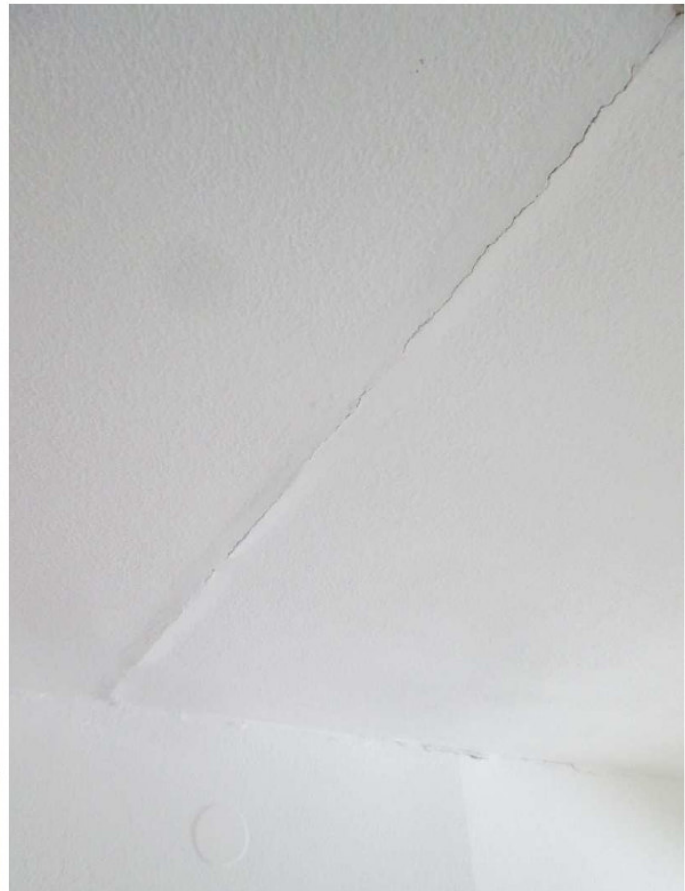


**Bild 6:** rund 6-7mm Höhenunterschied auf 15cm Länge

Im Holzbau errichteten Dachgeschoß, sieht man das die Trennwände teils durch Verformungen (Bild 7 – 9) verschoben sind. Das kann an der Schiefstellung des Bauwerkes liegen, da Holzständer und Riegelkonstruktion (gelenkige Verbindungen) durch Schiefstellung bei ungenügender Verstrebung Antriebskräfte erzeugt, die ihrerseits die Spanplattenverkleidung auf Schub beansprucht. Dadurch verschiebt sich zunehmend das Dachgeschoß und somit erklärt sich auch die Leckstelle in der Dachhaut (erkennbarer Feuchtigkeitseintritt).



**Bild 7:** Deckenriss und Wölbung in der Verkleidung







**Bild 8 und 9:** Aufkantung/Knick in der Wand- und Deckenverkleidung

Zusammenfassend gleitet das Gebäude talwärts ab, jedoch bewegt sich das Gelände in der Umgebung mehr als das Gebäude. Die Bauwerksgründung ist hangseitig lotrecht stabiler als talseitig, wodurch es talwärts relativ wandparallel kippt. Die Tragsicherheit ist für den Massivbau gegeben, aber die Verschiebung zwischen Dachgeschoß (Holz) und Massivbau ist zu beobachten (Anbringen eines zusätzlichen Messpunktes an der Fassade) und bei spontanen Verformungen ist eine Untersuchung der tragenden Holzteile durchzuführen.



#### Vermutete Bewegungen (Lageplan Tiris):

-  Verschiebung größer
-  Verschiebung geringer
-  Rotationsachse/Kippachse
-  Rotation im Grundriss, weil die talauswärtige Kluft zum Straßenbelag geringer ist

### **Wohnhaus HNr. 7b**

Baujahr dieses Gebäudes ist 2012 und die Gründung ist eine Stahlbetonplatte, erdberührte Wände sind aus Beton und die restlichen Wände sind gemauert. Lt. dem Eigentümer stand auf dem Gründungsniveau schiefes Festgestein. Am Eingang sind bereits sichtbare Ablösungen (2-3cm lotrecht und waagrecht) des Straßenbelages von der Fassade und dem Auftritt erkennbar (Bild 10 & 11). Am Vorplatz sind mehrere Asphaltbrüche und auch der Auftritt selbst hat sich gegenüber der Fassade gesetzt (Bild 12). Das Gebäude kippt talwärts, die Schiefstellung beträgt bis zu 1° und das Dach der Garage ist soweit gekippt, dass sich das Wasser am ehemaligen Hochpunkt sammelt (Bild 13). Das Gelände hinter dem Gebäude setzt sich talwärts und lt. Eigentümer sind jährliche Böschungsarbeiten vor programmiert.



**Bild 10 und 11:** Asphaltablösungen und Setzungen entlang der Fassade

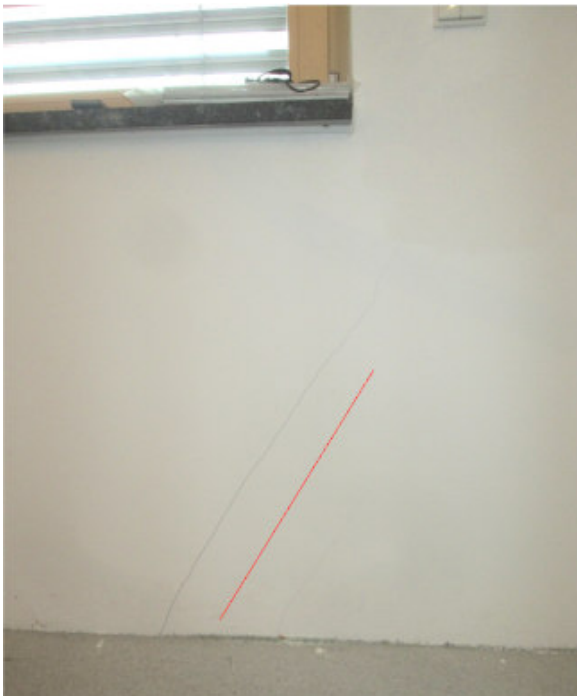


**Bild 12:** Ablösungen zwischen Eingang und Fassade



**Bild 13:** Wasser staut sich am Hochpunkt der Garagendecke

Im Inneren sind mehrere Risse (Rissweite bis zu 1mm) erkennbar, die schrägen Schubrisse verlaufen überwiegend von links unten nach rechts oben (Bild 14 – 15). Es treten hier taleinwärts vermehrte Setzungen auf, hingegen zeigen sich talauswärts weniger Risse, somit dürfte dort die Setzung geringer sein.



**Bild 14 & 15:** Risse in der talseitigen Außenwand

Zusammenfassend gleitet das Gelände talwärts ab, Gebäude und Gelände weisen derzeit die gleiche Verformung auf. Die Bauwerksgründung dürfte hangseitig lotrecht stabiler sein als talseitig, wodurch es talwärts diagonal kippt. Die Tragsicherheit ist für den Bestand gegeben und die Gebrauchstauglichkeit (Gefälle) benötigt bereits jetzt Maßnahmen.



## Wohnhaus HNr. 7

**Bild 16:** Hier ist augenscheinlich, dass die taleinwärts liegende Außentreppe eine Talseitige Verschiebung gegenüber dem nördlichen angrenzenden Haus aufweist.



**Bild 17:** Im Inneren sind kaum Risse zu erkennen, lediglich an der Ummauerung der Wanne ist ein nennenswerter Riss nahe der Außenwand. Die Ursache muss aber nicht im Untergrund liegen. Lt. Eigentümer ist der Riss aber erst entstanden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Tragsicherheit für den Bestand jedenfalls gegeben ist und Bewegungen im Untergrund sind erkennbar.

### Stallung bei HNr. 7



**Bild 18:** Risse in taleinw. liegender Außenwand



**Bild 19:** Riss in talseitiger Außenwand



**Bild 20:** starke Rissbildung in der Wand einer massiv ausgebildeten Stützmauer durch Erddruck

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Tragsicherheit für den Bestand jedenfalls gegeben ist. Bewegungen im Untergrund sind mit hoher Wahrscheinlichkeit gegeben.

## Garage



**Bild 21 & 22:** ein Riss in der bergseitigen Außenwand ist Wahrscheinlich nicht durch Setzungen



**Bild 23:** die talauswärtige Außentreppe löst sich von der Garagenwand (ca. 1cm)

Zusammenfassend ist die Tragsicherheit für den Bestand jedenfalls gegeben, geringe Bewegungen im Untergrund sind gegeben.

### **Wohnhaus HNr. 7a**

Dieses Gebäude ist schon etwas älter und derzeit auch nicht bewohnt, man erkennt im Eingangsbereich starke Risse, die die Holzterrasse talwärts gegen die Wand schiebt (Bild 24). Die talauswärts angebaute Holzterrasse hängt ebenso vom Haus weg und die Stützen sind verschoben.



**Bild 24:** Riss beim Auflager des Treppenzuganges



**Bild 25:** stark hängende Holzterrasse







**Bild 26:** schiefe Stützen

Derzeit ist die Tragsicherheit für das Wohnhaus mittelfristig noch gegeben, die Terrasse benötigt vor Verwendung eine generelle Sanierung.

### Vermutete Bewegungen bei den Objekten (Orthofoto aus Tiris):



-  Verschiebung größer
-  Verschiebung geringer
-  Rotationsachse durch vermehrte Setzungen
-  Rotationen im Grundriss sind nicht erkennbar

Lt. den Eigentümern sind die Objekte teilweise auf Felsen gegründet, die man oberhalb dieser Bauwerksgruppe an den Oberflächen sieht, deshalb die eher geringen Verformungen der nicht oberflächennah gegründeten Bauteile.



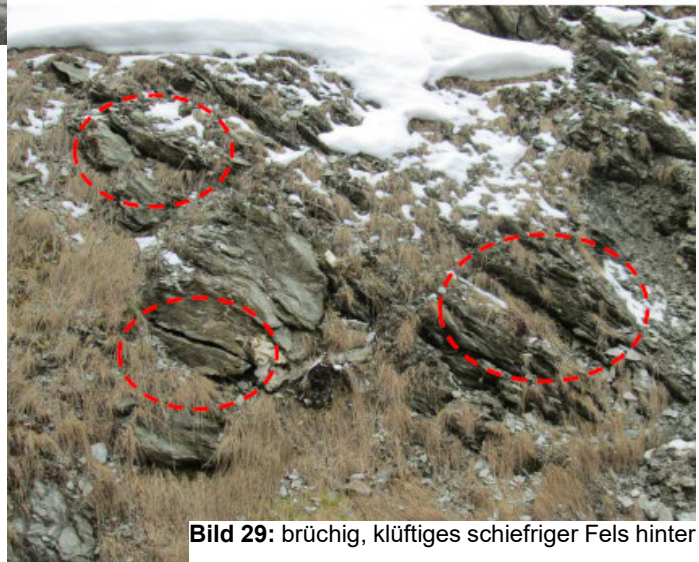
**Bild 27:** gewachsener Fels (eher kein Findling)

### Wohnhaus HNr. 5a

Das eher neu gebaute Gebäude ist durch Setzungen rund um das Bauwerk gekennzeichnet, wie man durch die Setzungsmulden bei der Straßenzufahrt erkennen kann (lt. Anrainer erst seit kurzem). Setzungen sind sehr wahrscheinlich, die aber keinen Auswirkungen auf die Tragsicherheit der Bausubstanz haben.



**Bild 28:** Setzungsmulde im Asphalt vor dem Haus



**Bild 29:** brüchig, klüftiges schiefriger Fels hinter dem Haus, die von aktuellen Verschiebungen stammen könnten



**Bild 30:** Gipsspion der Juni 2017 angebracht wurde und wieder neue Haarrisse zeigt

### **Wohnhaus HNr. 5**

Dieses ältere Wohnhaus zeigt an der Außenfassade sowie im Inneren (ca. 1mm) teils größere und frischere Risse, die man durch Bewegungen im Untergrund zuordnen kann.



**Bild 31 und 32:** Wandschubrisse



**Bild 34:** Bewegungsriß



**Bild 33:** Wandsetzungsrisse auch mit wandnormalem Versatz

Bewegungen im Untergrund sind hier sehr wahrscheinlich, jedoch würde man dazu eine genauere Bestandsaufnahme benötigen. Am Ehesten liegt ein leichtes Abgleiten vor. Auch Setzungen sind sehr wahrscheinlich, die aber noch keine Auswirkungen auf die Tragsicherheit der Bausubstanz haben.

### Stallung bei HNr. 5

Hier handelt es sich um ein älteres Objekt, welches massive Schäden aufweist. Bei der Garage südlich löst sich das Bauwerk von der hangseitigen Wand (Bild 35) und die Wand selbst verdreht/kippt talseitig (Bild 36). Die taleinwärts liegende Hälfte löst sich vom Rest (Bild 37) und kippt talwärts (Bild 38).



**Bild 35:** taleinwärts liegende Wand



**Bild 36:** hangseitige Wand



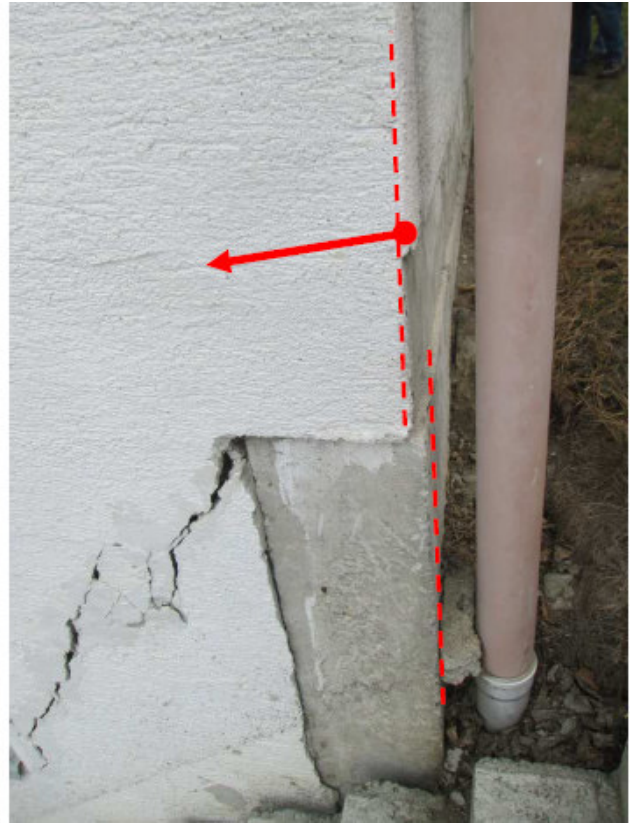
**Bild 37:** Spalt durch Verschiebung



**Bild 38:** gegenseitige Verdrehung

Das UG und EG verschieben sich massiv talwärts am talauwärtigen Gebäudeende (Bild 39 & 40) und die Außentreppe wandert vom Gebäude weg (Bild 41 & 42). An der talseitigen Fassade finden ebenso Setzungen statt, das Gelände steht derzeit in Bewegung. Die Risse sind neu und reichen über die gesamte UG-Höhe samt Fundamentmauer (Bild 43 bis 49). Die Risse sind über die gesamte Wandstärke und daher auch an der Innenseite sichtbar.





**Bild 41:** angebaute Treppe



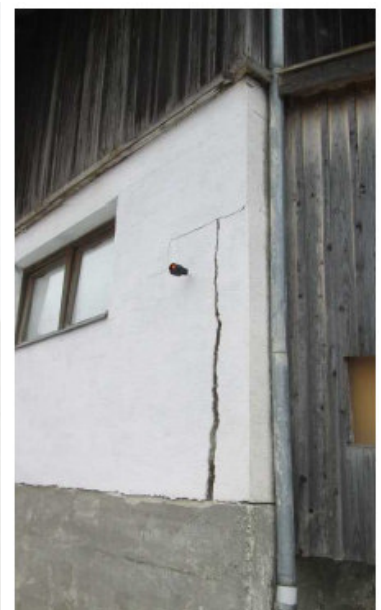
**Bild 42:** mehrere Zentimeter Spalt



**Bild 43:** Ende taleinwärts



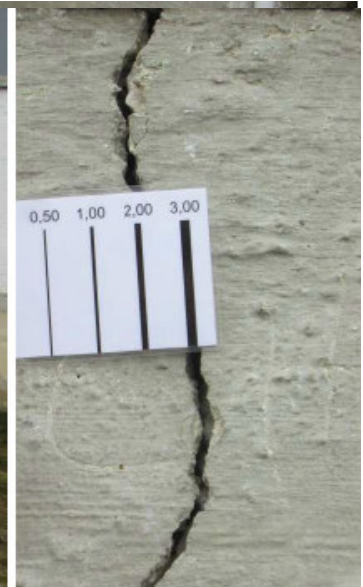
**Bild 44:** ca. Fassadenmitte



**Bild 45:** Ende talauswärts



**Bild 46:** Riss in Fundierungs-Mauer



**Bild 47:** große Rissweite



**Bild 48:** Anschluss Wand Decke



**Bild 49:** Innenecke

Bewegungen im Untergrund sind bei diesem Objekt stark gegeben, wobei die Bewegungen talwärts konstant über die Länge vorliegen. Durch ungleiche Setzungen und Verdrehungen ist es zu massiven Rissbildungen gekommen. Dieses Objekt bedarf einer fortwährenden Beobachtung, da ein mittelfristiger Verlust der Tragsicherheit nicht ausgeschlossen werden kann.

### **Zusammenfassung**

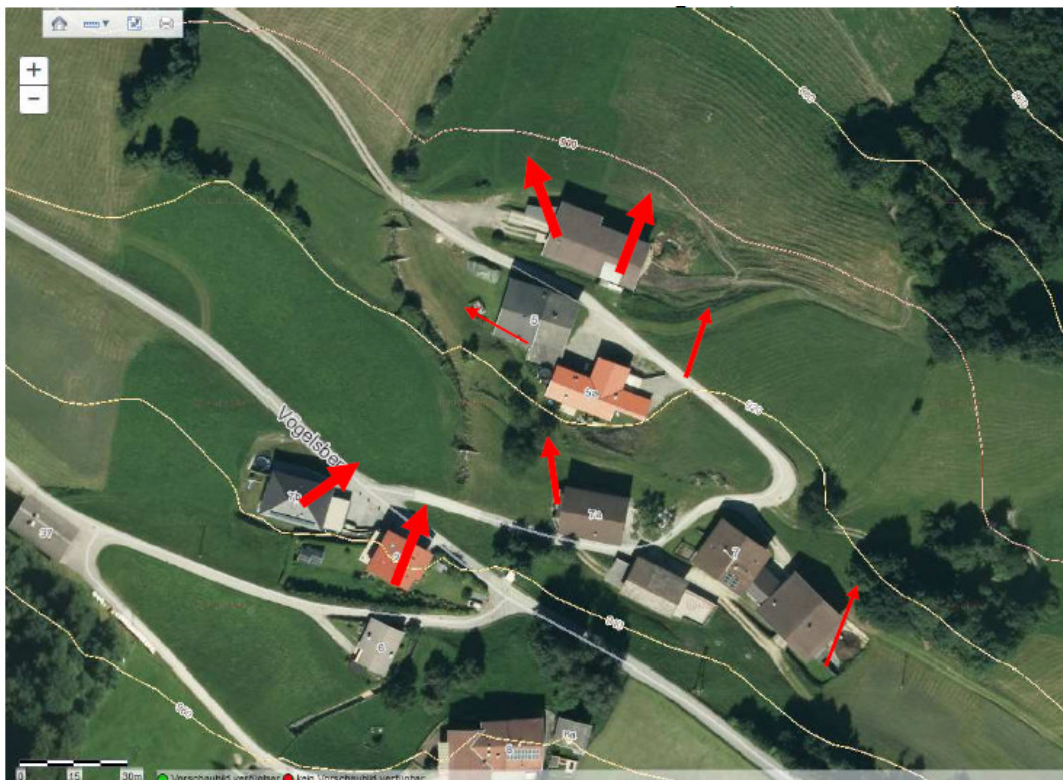
Zusammenfassend kann aus statischer Sicht festgehalten werden, dass die ausreichende Standsicherheit aller begangenen Objekte aus Sicht der Rissbilder (Art und Größe) zumindest kurzfristig weitergegeben ist.

Bei den Objekten

- 2.1 Wohnhaus HNr. 24 (Verschiebungen im Dachstuhl), sowie
- 2.9 Stallung bei Haus Nr.5 (Risseversatz und Rissweite)

ist zukünftig vermehrtes Augenmerk auf besonders auffällige, bzw. spontane Veränderungen zu richten.

Die Ursache der jüngeren Risse liegt in Setzungen bei der Fundierung, die wiederum auf talwärts gleitende Bewegungen/Rutschungen des Untergrundes zurückzuführen sind. Setzungsrisse aus einer unterdimensionierten Fundierung können auf Grund des Zusammenhangs zwischen Gebäude- und Rissalter, bzw. der Fundierungsart (Plattenfundament) ausgeschlossen werden. Objekte in Bachnähe weisen jüngere Risse und Kippungen auf, was wahrscheinlich mit der Feuchtigkeit im Untergrund zusammenhängt.



Übersicht der vermuteten Rutschungen (Orthofoto aus Tiris), stärkere Pfeile bedeuten stärkere Verschiebungen

## Die Jagd (oder die Jäger) im 3. Jahrtausend

Anton Larcher

*Landesjägermeister von Tirol,  
Tiroler Jägerverband, Meinhardstraße 9, 6020 Innsbruck*

### 1. Einleitung: Die Jagd in Tirol

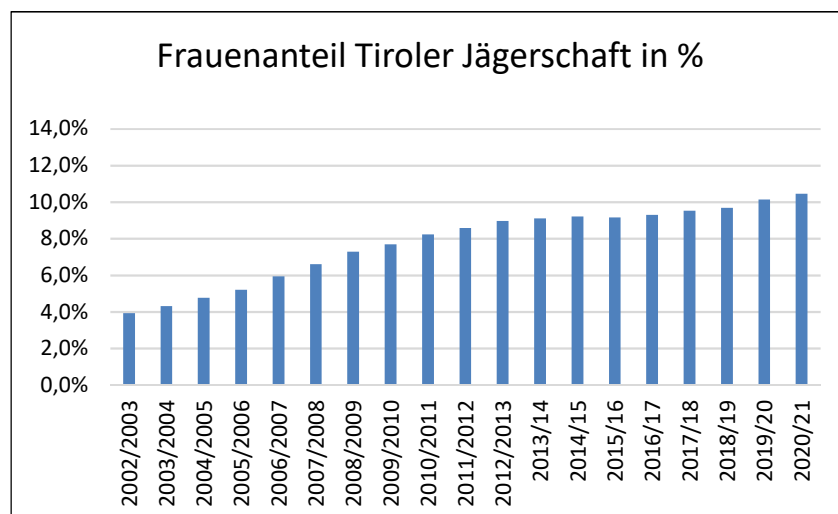
Die Jagd hat ein großes Aufgabengebiet und erfolgt in gesetzlich geregelten Bahnen. Das Jagdrecht umfasst das Recht jagdbare Tiere zu fangen und zu erlegen, sich erlegtes Wild, Fallwild, Abwurfstangen und Eier des jagdbaren Wildes anzueignen. In Österreich basiert das Jagdrecht auf einem Revierjagdsystem. Das heißt das Recht zu Jagen ist ans Grundeigentum gebunden (Mindestreviergröße 115 ha), kann allerdings verpachtet werden. Voraussetzung, um die Jagd ausüben zu können, ist die Absolvierung eines Kurses und einer Prüfung sowie das Lösen einer Jagdkarte im jeweiligen Bundesland. Jedes Bundesland hat ein eigenes Jagdgesetz, die grundsätzlichen Regelungen und Abläufe sind österreichweit allerdings sehr ähnlich.

Die Zielbestimmung ist im Tiroler Jagdgesetz folgendermaßen festgesetzt:

*„Dieses Gesetz hat zum Ziel, durch weidgerechte Jagd als Teil der Landeskultur einen artenreichen, gesunden, geschlechtlich ausgewogenen und den Lebensraumverhältnissen angemessenen Wildbestand in Tirol unter Bedachtnahme auf die sonstigen Interessen der Landeskultur zu erreichen, zu erhalten und zu fördern.“*

Bereits diese Definition macht deutlich, dass zur Jagd viel mehr gehört als nur das Erlegen von Tieren.

Die Interessensvertretung erfolgt durch den Tiroler Jägerverband, als Körperschaft öffentlichen Rechts. Aktuell haben in Tirol 15.300 Personen eine Jagdkarte gelöst, die jedes Jahr erneuert werden muss. Erfreulicherweise sind unter diesen Personen zunehmend mehr Frauen. Im Jahr 2020 lag der Frauenanteil bei 10,4 Prozent. Insgesamt gibt es in Tirol rund 1.300 Reviere auf einer Fläche von 1.244.466 ha.



**Abb. 1:** Entwicklung des Frauenanteils in der Tiroler Jägerschaft

## 2. Aufgaben der Jagd

Die Jagd übernimmt Vielfältige Aufgaben in der Natur. Fast unsere komplette Natur, beziehungsweise was umgangssprachlich damit gemeint ist, ist genaugenommen eine Kulturlandschaft, also eine vom Menschen geformte, geprägte und genutzte Landschaft. Durch die Jahrhundertelangen Eingriffe des Menschen in die Natur befindet sich diese nicht mehr in ihrer ursprünglichen Zusammensetzung. In Tirol ist das Inntal ein gutes Beispiel: der Inn wurde begradigt, beinahe alle Aulandschaften trockengelegt und abgeholzt, die Täler gerodet, Almen nutzbar gemacht, Böden gedüngt, Baumarten-zusammensetzungen verändert, Fläche verbaut und Barrieren für Flora und Fauna errichtet.

In dieser anthropogen geprägten Landschaft ist ein Wildtiermanagement unumgänglich. Bei den jagdbaren Wildarten übernehmen die Jäger diese Aufgaben des Wildtiermanagements bzw. der Umsetzung des Wildtiermanagements.

Die Ablegung einer Jagdprüfung berechtigt dazu, im gesetzlich vorgegebenen Rahmen, jagdbares Wild zu hegen und zu erlegen, sowie dadurch Wildfleisch und Tierprodukte zu gewinnen. Damit gehen auch viele Verantwortungsbereiche einher, wie:

- ⇒ Erfassung der Wildbestände
- ⇒ Wahrung des Wildbestandes (Fördern rückläufiger Bestände, sowie Reduktion zu hoher Bestände)
- ⇒ Überwachung und Meldung von Wildkrankheiten
- ⇒ Versorgung von Straßenfallwild
- ⇒ Ausbildung und Führen von Jagdhunden
- ⇒ Erhaltung und Pflege der natürlichen Lebensräume
- ⇒ Fütterung von Reh- und Rotwild in der Notzeit des Winters
- ⇒ Wahrung der Jagdkultur und Weitergabe des jagdlichen Handwerks

Mit der Erlegung von Wild tritt zudem eine Wertschöpfungskette in Kraft, da Naturmaterialien abgeschöpft werden, allen voran das Wildbret, aber auch die Decke, das Leder, Fette, Knochen usw. können verwertet werden. Auch die Jagdwirtschaft an sich birgt eine große wirtschaftliche Leistung. Alles in allem wird die Wirtschaftsleistung der Jagd in Österreich auf einen Wertschöpfungsbeitrag von 731 Mio. € geschätzt.

## 3. Wechselbeziehungen Mensch-Wild-Wald-Boden

Natürliche Prozesse sind einer Vielzahl von Einflüssen unterlegen. Gerade wenn es um Wald und Wild geht werden die Wechselbeziehungen sehr komplex und unterliegen vielen wechselseitigen Einflüssen. In Bezug auf die Naturgefahren ist dies insofern relevant, als dass pflanzenfressende Säugetiere einen Einfluss auf die Entwicklung der Verjüngung des Waldes bzw. die Bodennahe Vegetation haben.

Der Schutzwald in Österreich steht vor großen Herausforderungen: Klimawandel gefährdet die Stabilität (Krankheiten, Borkenkäfer, Trockenheit), die teilweise aufwendige Pflege und Verjüngung kann aus den Holzerlösen nicht gedeckt werden, der Wildeinfluss führt lokal zu Problemen und das geänderte Freizeitverhalten beeinträchtigt junge Bäume. Das hat an vielen Orten Österreichs zu überalterten Beständen geführt. Auf etwa 40 % der Schutzwaldflächen besteht rascher Handlungsbedarf.

Zudem nehmen zu schützende Flächen zu, da sich Siedlungen weiter ausbreiten und in den Talschaften laufend gebaut wird. Bei Objektschutzwäldern hat die intakte Schutzfunktion oberste Priorität.

### **3.a. Was sind Wildschäden?**

Im Wald kommen viele Tierarten vor, zu deren Nahrungsspektrum Blätter, Triebe, Knospen oder Rinde von Bäumen zählt, besonders in der kargen Winterzeit. Verbiss an Jungbäumen kann beispielsweise von Mäusen, Hasen, Rehen oder Hirschen erfolgen. Entsprechend der Körpergröße benötigt ein Rothirsch deutlich mehr Nahrung als die anderen, womit ein einzelnes Tier größere Auswirkungen hat.

Wildschaden ist ein vom Menschen definierter Schaden, der einerseits wirtschaftliche Einbußen in der Holznutzung nach sich ziehen kann, aber in der heutigen Situation auch in der Schutzwirkung des Waldes. Denn für einen stabilen Wald ist es notwendig, dass Bäume in verschiedensten Altersstufen vorhanden sind. Natürlicherweise gibt es viele Jungbäume, die gegenseitig in Konkurrenz um Licht und Nährstoffe stehen. Daher können nicht alle Bäume in den Altbestand wachsen. Ein Schaden durch Wildtierverbiss tritt somit dann ein, wenn durch Verbiss zu wenige gesunde Jungbäume zu Stangenh Holz werden.

Um hier ein Gleichgewicht zu gewährleisten, wird in Tirol das Instrument der Verjüngungsdynamik eingesetzt. Dabei wird der Ist-Zustand des Jungwaldes erhoben und beurteilt welche Rolle Wildschäden dabei spielen. Das Ergebnis des Handlungsbedarfs auf den einzelnen Flächen fließt in die Abschussplanung und Baumschutzmaßnahmen des jeweiligen Reviers mit ein.

### **3.b. Ursachen für Wildschäden**

Eine ausführliche Betrachtung sprengt den Rahmen dieses Vortrags, weswegen hier nur in einer möglichst vereinfachten Weise Wildschäden und ihre Ursachen angeschnitten werden.

In erster Linie kommt es zu vermehrten Wildverbiss und somit zu Wildeinfluss, wenn sich Rotwild und Rehwild vermehrt im Wald aufhalten. Insbesondere Rotwild bevorzugt ursprünglich offenere Flächen, zieht sich aber bei Störungen durch Menschen in den Wald zurück. Durch die heute intensive Nutzung der Landschaft durch Menschen, ist Rotwild kaum noch sichtbar auf Freiflächen, dies erhöht die Gefahr für Wildschäden und erschwert gleichzeitig die Bejagbarkeit.

Anstatt dieses Verhalten zu beleuchten, wird leider in der breiten Öffentlichkeit vereinfacht argumentiert, dass Wildschäden durch angeblich viel zu hohe Wilddichten entstehen: Viel Wild, viel Schäden, wenig Wild, wenig Schäden. Dabei ist noch nicht mal definiert was „viel“ ist. „Viel“ ist nämlich in erster Linie von der Lebensraumkapazität abhängig und den oben genannten Zusammenhängen. Was in einem Waldrevier mit dringenden Verjüngungsbedarf „viel“ ist, ist in einem strukturierten Lebensraum mit ruhigen Wildeinständen leicht tragbar. Damit sind wir eigentlich schon beim springenden Punkt: je nach Lebensraum, vorhandener Ruhe und Ausweichflächen wie auch mit entsprechender durchdachter Bejagungsstrategie kann ein und derselbe Wildstand auf einer Fläche Wildschäden verursachen oder keine Wildschäden verursachen.

### **3.c. Wild und Naturgefahren**

Auch Wildtiere können zum Opfer der Naturgewalten werden. Besonders im Winter reißen Lawinen auch immer wieder Wildtiere mit in den Tod. Die meisten Ausfälle sind bei starkem Schneefall in kurzer Zeit zu

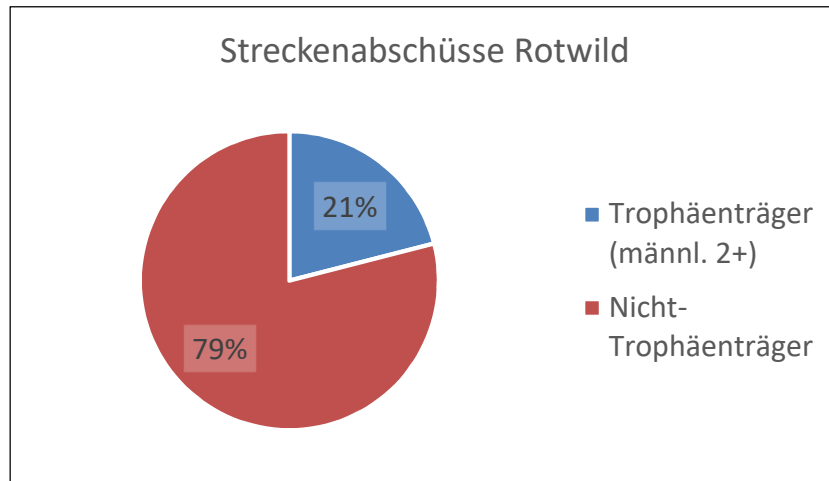
beobachten. Besonders Rehwild und Rotwild sind oft betroffen, da sie nicht ganz so gut an die winterlichen Bedingungen angepasst sind, wie das Gamswild und Steinwild. Rehwild und Rotwild hat ursprünglich in Tieflagen und Auwäldern überwintert. Heute sind diese Lebensräume zerstört oder verbaut und mit Barrieren (Autobahn, Zäune, usw.) für die Tiere unerreichbar. Sie bleiben in den Bergwäldern und suchen hier nach Nahrung, wodurch das Potenzial für Wildschäden steigt. Es bleibt nur noch die Winterfütterung und das Ausweisen von Wildruhegebieten für den Winter, um diesen Arten viel Leid zu ersparen (Hungertod, Verkehrsunfälle, Wild in den Siedlungen, Gärten oder Bauernhöfen).



**Abb. 2:** Auch Wildtiere werden zu Opfern von Naturgewalten

#### 4. Aktuelle Herausforderungen und Ausblick

Wie bei den Wildschäden deutlich zu erkennen, können wir in unserer heutigen Situation nicht jeder nur für sich kämpfen. Wir haben interdisziplinäre Herausforderungen, die es interdisziplinär zu bewältigen gilt. Da kann nicht die Jagd allein, nicht die Forstwirtschaft allein oder der Grundeigentümer allein etwas ändern. Auch die Freizeitnutzer müssen mit ihren steigenden Auswirkungen berücksichtigt werden, insbesondere indem Lenkungen und genau definierte Verhaltensregeln gelten müssen. Aus unserer Sicht ist es unumgänglich Wildruhezonen einzurichten, von denen auch gefährdete und seltene Arten profitieren. In der Öffentlichkeit steht die Jägerschaft zwischen zwei extremen Fronten, von der einen Seite wird enormer Druck auf die Abschusserfüllung ausgeübt, während auf der anderen Seite Tierschutzaktivisten die Jagd abschaffen wollen. In der Realität ist es schlussendlich so, dass Jäger die einzigen Naturnutzer sind, die einerseits teures Geld bezahlen um ihr Jagdrecht ausüben zu dürfen und andererseits enorme Verantwortungen aufgelegt bekommen und Leistungen erbringen müssen. Denn behördliche Abschusspläne und Aufgaben wie Monitoring, Wildbrethygiene, Tierseuchenbekämpfung, Wildschutz und Jagdschutz sind zu erfüllen.



**Abb. 3:** Trophäenträger und Nicht-Trophäenträger (Weibchen, Jungtiere) der Rotwildabschüssen in Tirol.



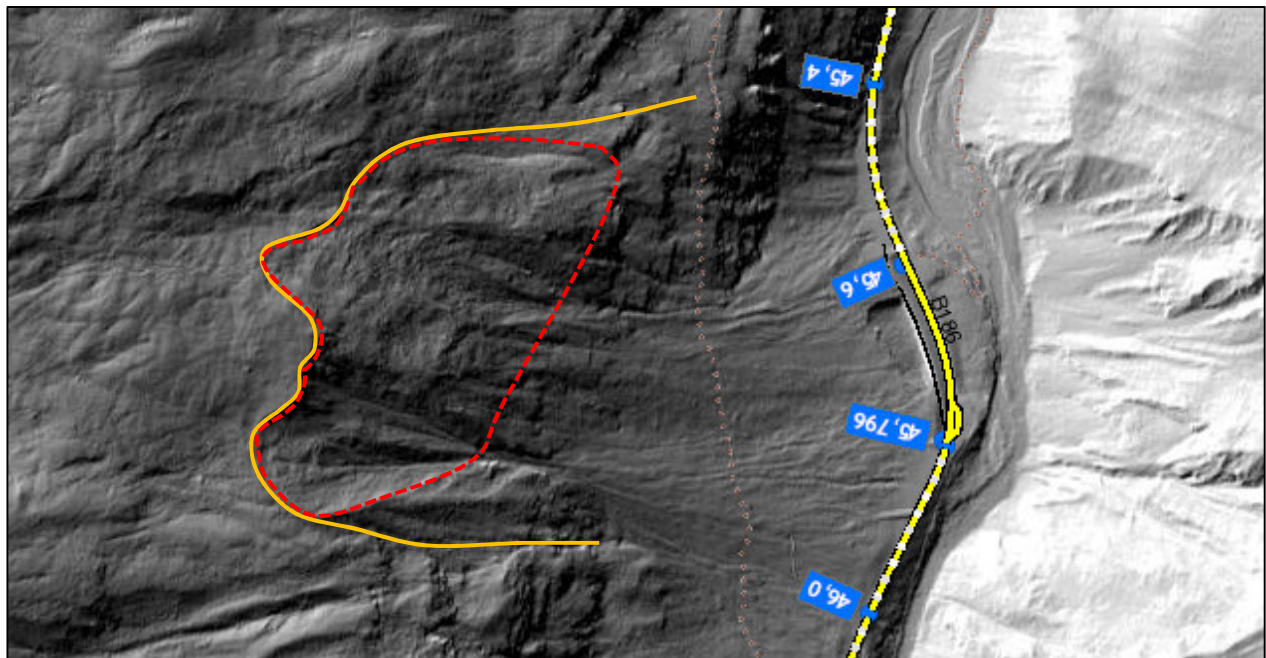
## Großrutschung im Bereich Leckgalerie Sölden, Geologie, Ursache und Auswirkung

Thomas Figl, Petra Nittel-Gärtner, Katharina Gröbner

*Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. Gefahren und Evakuierungsmanagement, FB Landesgeologie*

### 1. Hintergrund

Aufgrund eines einzelnen Blocksturzes auf das Galeriedach der Klammgalerie und des darauffolgenden Lokalausgleiches wurden im gegenständlichen Hang im Juli 2019 frisch aufgehende Risse und Absetzungen festgestellt. Der Hang zeigte bereits damals im Laserscan Hinweise auf alt angelegte (nacheiszeitliche) Hangbewegungen ähnlich eines Talzschubs, die auf den Gletscherrückgang und die damit zusammenhängende Entlastung des Hanges zurückzuführen sind.

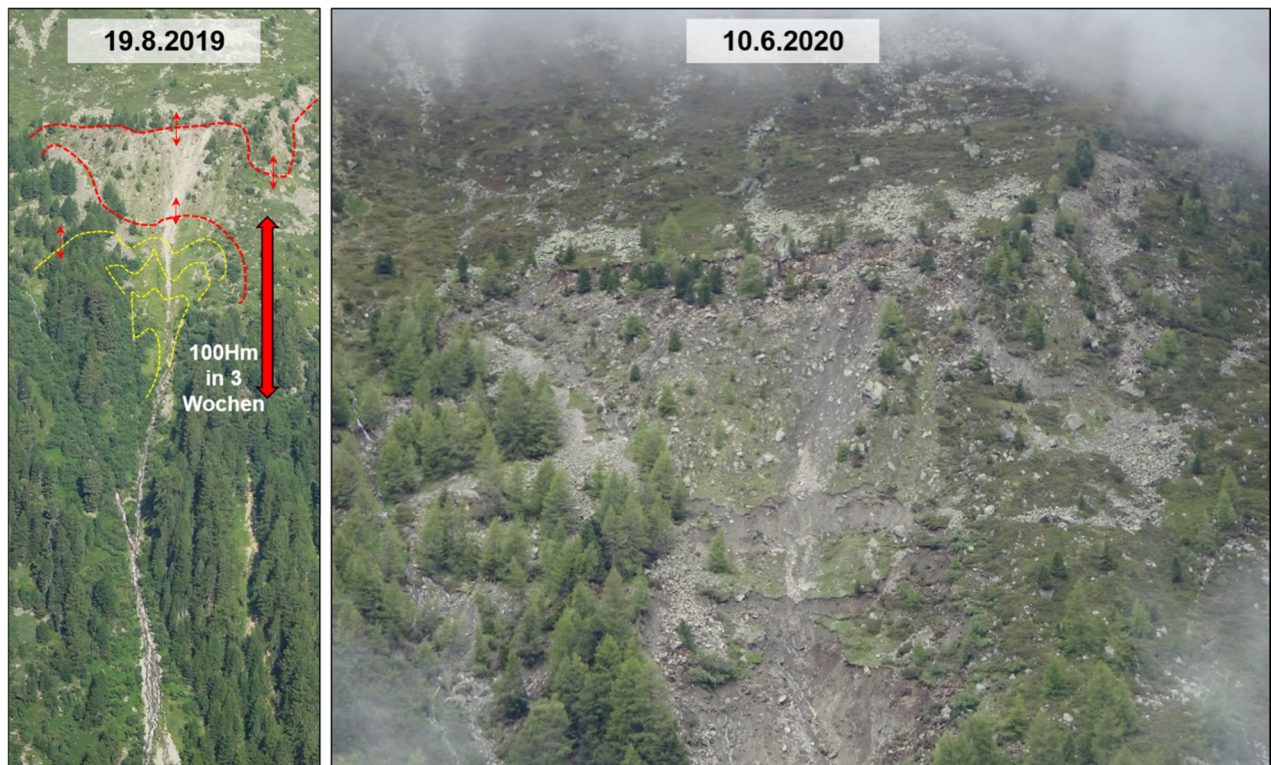


**Abb. 1.** Übersicht im Laserscan mit der gesamten Großrutschung (gelb) und den aktuellen Bewegungsbereichen rot strichliert.

Durchgeführte Messungen mit dem terrestrischen Laserscan durch die Abt. Geoinformation und der Vergleich mit bestehenden Laserscandaten haben gezeigt, dass im Zeitraum 2017 – 2019 vor allem im talauswärtigen Bereich Bewegungen von ca. 2-3 m stattgefunden haben. Die Bewegungen im gegenständlichen Bereich wurden auf die extrem starke Schneeschmelze des Jahres 2019 zurückgeführt. Der Vergleich der früheren Laserscandaten (ca. 2006 bis 2016) hat hingegen keine Bewegungen des Hanges ergeben.

Im Jahr 2020 wurden aus dem Bewegungsbereich, beginnend mit 19.5.2020, zahlreiche Ereignisse verzeichnet, wie Muren, überwiegend Hangmuren und Hangexplosionen, sowie Blockstürze, die vereinzelt die Galerien (Leckgalerie und Klammgalerie) bzw. deren bergseitigen Randbereich erreicht haben.

Die Anzahl der Ereignisse, die Ereignisgrößen als auch die Gesamtausdehnung der bewegten Bereiche hat stetig und in einem Ausmaß zugenommen, dass das zunächst theoretische Gesamtversagen nicht mehr gänzlich ausgeschlossen werden konnte.



**Abb. 2.** Vergleich der rückschreitenden Anrisse des Frühjahrs 2020 mit Sommer 2019. Die rückschreitende Erosion der Anrisse beträgt dabei ca. 100 Höhenmeter (Hm) in drei Wochen.

Aufgrund der akuten Gefährdungssituation konnten zum damaligen Zeitpunkt keine weiteren Maßnahmen/Arbeiten auf dem Galeriedach mehr durchgeführt werden. Umfangreiche temporäre und dauerhafte Schutzmaßnahmen wurden nach der aktiven Bewegungsphase umgesetzt. Daran anschließend konnten Anpassungen an den Galerien durchgeführt werden.

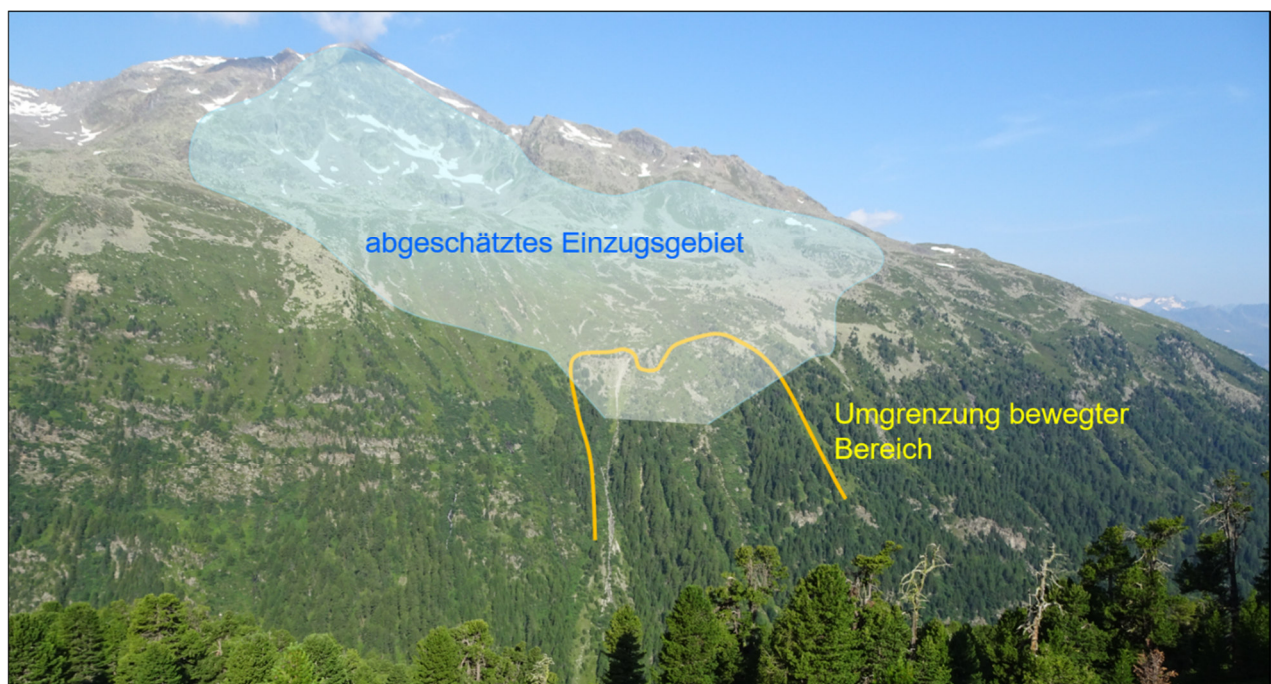
## 2. Geologische Situation

Das umliegende Festgestein besteht aus Paragneisen. Vermutlich kam es nach Abschmelzen der großen Gletscher bereits zu Hangbewegungen im Bereich der heutigen Großrutschung. Aufgrund dieser Bewegungen wurde das Festgestein über die Jahrhunderte beansprucht und zu Blöcken zerlegt.

Oberhalb des gegenständlichen Anrisses befinden sich Sedimente, die im Zuge der damaligen Vergletscherung abgelagert wurden. Es handelt sich hierbei um grobblockiges, lockeres Material. Das

Gebiet bis zu den Graten (Nederkogel) ist von Karen ehemaliger Gletscher geprägt und auch hier ist das Festgestein großflächig von grobblockigem und lockerem Material bedeckt. In diesen flachen Plateaus befindet sich auf ca. 2435m Seehöhe (SH) der Nedersee.

In den Hohlräumen zwischen diesen Blöcken kann das Schmelzwasser sehr schnell versickern und entlang von unterirdischen „Bächen“ Richtung Tal fließen. Entlang solcher Wasserwege ist das Gestein besonders geschwächt und hier können größere Gesteinsmassen in Bewegung gesetzt werden. Genau diese ungünstige Situation liegt in den Hängen oberhalb der Leckgalerie vor, wodurch hier diese massiven Bewegungen stattfinden können. Das gesamte Schmelzwasser der oberhalb des Anrissbereichs liegenden Kare und Grate dringt in den Untergrund ein, wodurch enorme Mengen an Wasser auftreten. Oft wurde auch der Nedersee als Auslöser der Bewegungen genannt. Jedoch hat dieses Wasser im Vergleich zu den großen Wassermengen der Schneeschmelze nur einen kleinen Anteil.



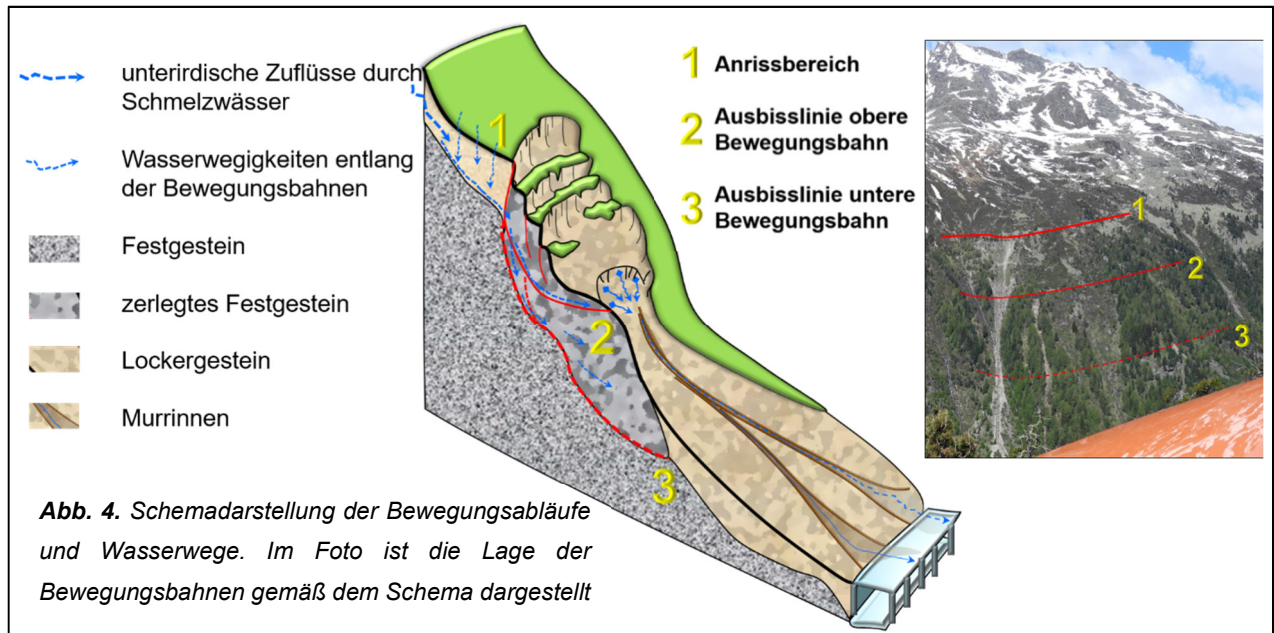
**Abb. 3.** Ansicht des bewegten Hanges von der gegenüberliegenden Seite aus mit dem abgeschätzten Einzugsgebiet.

Oft wird das Abschmelzen des Permafrostes als Ursache solcher Bewegungen genannt. Bei Permafrost handelt es sich um dauerhaft gefrorene Böden, die das gesamte Jahr eine Temperatur unter dem Gefrierpunkt aufweisen. Die gegenständliche Großrutschung befindet sich in etwa in einer Höhenlage von ca. 2140m SH und somit außerhalb der Permafrostzone, die in den Alpen generell mit ca. 2500m SH angesetzt wird. Folglich spielt der Permafrost im gegenständlich Bereich keine Rolle.

### 3. Prozesse und Ereignisse

In dem gegenständlichen Hang fanden und finden immer noch zahlreiche Prozesse statt, die wiederum eine Vielzahl von unterschiedlichen gravitativen Ereignissen hervorrufen. Diesen Ereignissen und Prozessen ist die Gesamthangbewegung übergeordnet. Die Gesamthangbewegung umfasst insgesamt in ihrer größten

Ausdehnung ca. 14ha. Sie ist räumlich durch die obersten Abrisskanten begrenzt, sowie durch die Ausbisslinien der Bewegungsbahnen (siehe Abb. 1 und 4).



Rund um die markanten Wasseraustritte findet ein massiver Abtrag von Material statt und auch rückschreitende Erosionen der Anrissbereiche (siehe Abb.2).

**Abb.5.** 2019-2020 frisch aufgegangene Absetzung und höchste Begrenzung des Großrutschung mit ca. 6m Absetzung.

### Ereignisse 2021

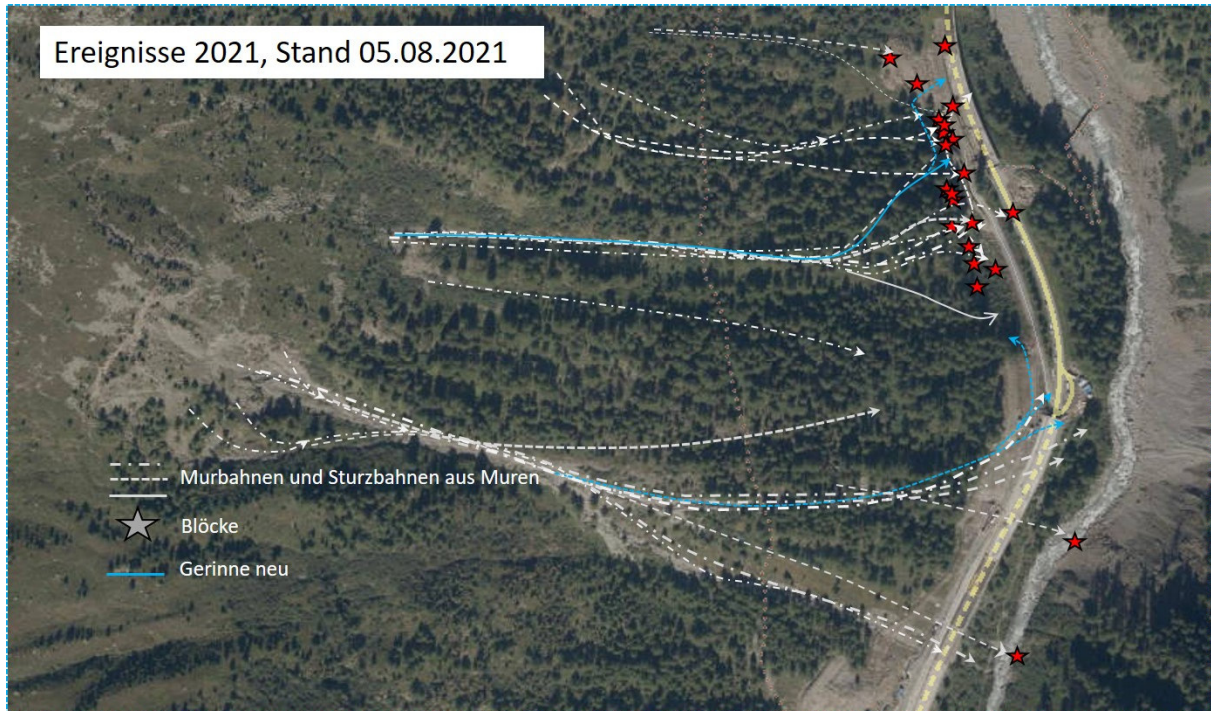
Im Jahr 2021 ist es mit Einsetzen der Schneeschmelze (gegenüber dem Jahr 2020 um ca.3-4 Wochen verzögert) erneut zu zahlreichen Ereignissen gekommen. Es haben zunächst Muren im Bereich des taleinwärtigen Portals der Leckgalerie stattgefunden sowie Blockstürze auf die Klammgalerie.

Im Vergleich zum letzten Jahr, kam es dieses Jahr nicht nur zu einer Zunahme der Ereignisse, sondern auch zu einer erneuten flächenmäßigen Ausdehnung und zu einer massiven Zunahme der Gesamthangbewegung.



**Abb.6.** Gegenüberstellung der Bewegungsbereiche 2020 und 2021

2020 ereigneten sich die größten Muren bergseitig der Leckgalerie und vereinzelt trat Blocksturz bergseitig der Klammgalerie auf. Im Frühjahr 2021 kam es aufgrund neuer Wasseraustritte vor allem zu Hangbewegungen bergseitig des Lawinenauffangdammes, sowie bergseitig der Klammgalerie. Entlang dieser Wasseraustritte fanden unzählige Murereignisse statt, durch welche auch Großblöcke mobilisiert wurden. Einzelereignisse wiesen Kubaturen von mehreren  $100 \text{ m}^3$  bis über  $1000 \text{ m}^3$  auf. Im Zuge dieser Ereignisse stürzten unzählige Blöcke bis zu den Galerien bzw. bis zu den bestehenden Sicherungsmaßnahmen.

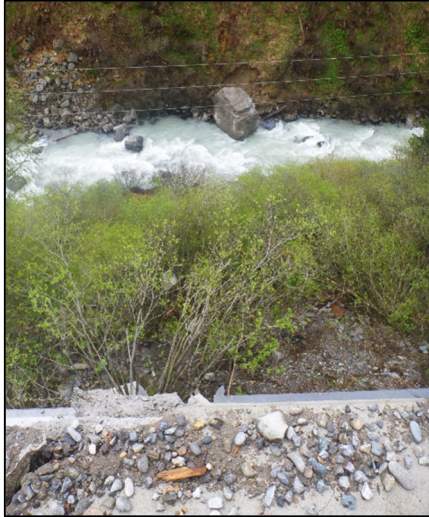


Ein Großteil der Blöcke wurde durch die bestehenden Sicherungsmaßnahmen aufgehalten bzw. abgelenkt. Ein ungünstiger Treffer auf den bestehenden Steinschlagschutzdamm oberhalb des Südportals der Klammgalerie hat auch dazu geführt, dass ein Großblock die Fahrbahn erreichte. Da sich die Hauptaktivität der Großmassenbewegung im Frühjahr 2021 verschoben hat und vor allem oberhalb des Lawinenauffangdammes massive Vermurungen stattfanden, kam es z.B. zu einer vollständigen Verfüllung des talauswärtigen Bereiches des Lawinenauffangdammes bzw. des Steinschlagschutzdammes oberhalb der Klammgalerie. Die neu entstandenen Gerinne sind ebenfalls in das Lawinenauffangbecken abgeflossen. Das Becken musste daher laufend geräumt werden, was sich teilweise als schwierig und Wettlauf mit der Zeit herausstellte. Im Bereich der Leckgalerie kam es 2021 nur zu vereinzelt Murereignissen. Im Zuge dieser Ereignisse wurden ebenfalls Großblöcke mobilisiert, wodurch es auch hier zu Blockstürzen und somit



zur Beschädigung der Leckgalerie gekommen ist.

**Abb.7.** Murereignisse auf der Leckgalerie und überfließen des Portals



**Abb.8.** Blocksturz auf die Leckgalerie, der ca. 30m<sup>2</sup> Block ist orographisch rechts am Ufer eingeschlagen



**Abb.9.** Blöcke auf der Klammgalerie



**Abb.10.** Einschlag auf der Fahrbahn



**Abb.11.** (links) Verfülltes Lawinenauffangbecken zwischen Leckgalerie und Klammgalerie; (rechts) übervolles Lawinenauffangbecken mit provisorischer Erhöhung;



**Abb.12.** teilberäumtes Auffangbecken mit Großblöcken

**Abb.13.** Sprengung der Blöcke im Lawinenauffangbecken





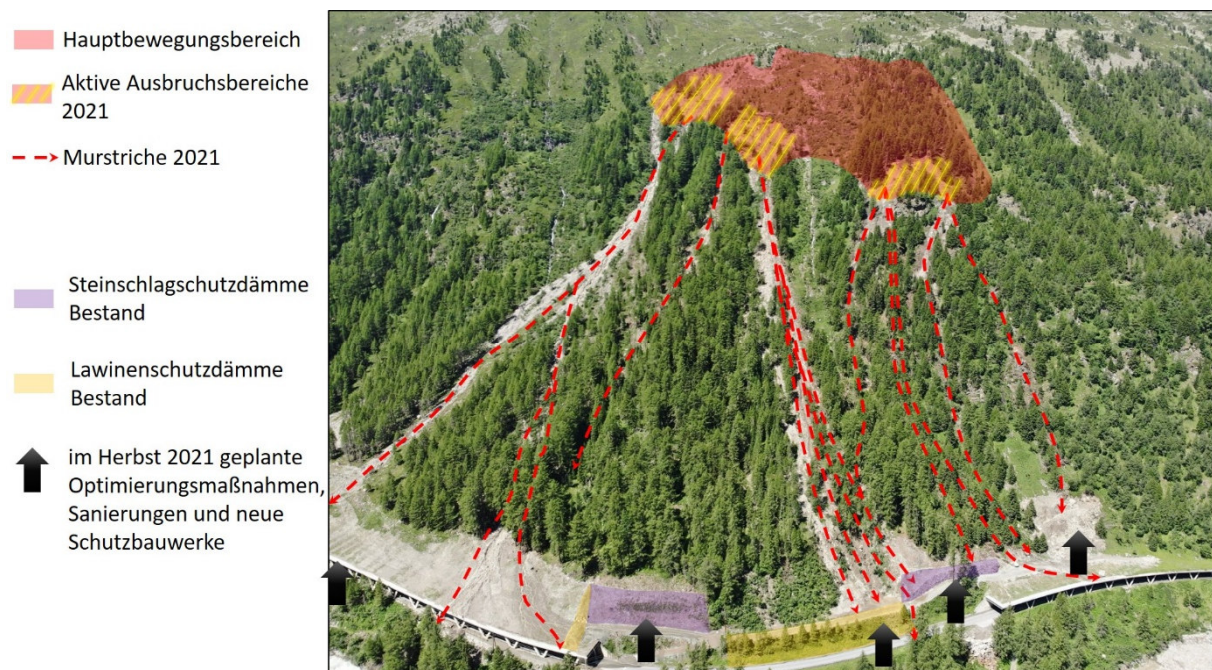
Die Messungen mittels TLS haben ergeben, dass die Gesamthangbewegung mit ca. 17.08.2021 vollständig zurückgegangen ist. Letztes Jahr konnten ab ca. 15.07.2020 keine Hangbewegungen mehr festgestellt werden. Seit dem Rückgang der Gesamthangbewegung fanden auch im Zuge von Starkniederschlägen keine Hangbewegungen in Form von Muren bzw. Blockstürzen statt.

Wie bereits 2020 festgestellt werden konnte, kam es auch dieses Jahr nach Abklingen der Schneeschmelze zu einem Rückgang der Großmassenbewegung und in Folge zu keinen weiteren Mur- bzw. Blocksturzereignissen. Aufgrund des schneereichen Winters und der niedrigen Lufttemperaturen im Mai war die Schneeschmelze um ca. einen Monat verzögert, wodurch dieses Jahr die Gesamthangbewegungen erst Mitte August vollständig zurückgegangen sind.

Wie die diesjährigen Ereignisse zeigen, kann es auch im Frühjahr 2022 zu einer Zunahme der Hangbewegungen bzw. zu einer Änderung der Ablösebereiche kommen. Daher ist es aus fachlicher Sicht erforderlich, dass im Herbst 2021 weitere Sicherungsmaßnahmen umgesetzt bzw. die bestehenden Sicherungsmaßnahmen optimiert werden.

#### 4. Maßnahmen:

Die von der Abteilung Geoinformation installierten Messsysteme (terrestrischer Laserscan, hochauflösende Webcam), die laufend den Hang beobachten und von Fachpersonen ausgewertet werden, wurden im Frühjahr 2021 erneut aktiviert und für die laufende Beurteilung des Hanges für die Sanierungsmaßnahmen herangezogen. Zu den zahlreichen Messungen wurden auch Erhebungen im Gelände, Simulationen und Beobachtungen, sowie umfassende Dokumentationen des Hanges und von Ereignissen durchgeführt.



**Abb.14.** Übersicht über die Murstriche 2021, Bestandsschutzvorrichtungen, Maßnahmenbereiche 2021

Die 2020 errichteten Maßnahmen haben im Wesentlichen ihre Funktion voll erfüllt. Aufgrund der Verlagerung des Hauptbewegungsbereiches mussten vor allem im Bereich des Lawinauffangraums die Maßnahmen provisorisch adaptiert und laufend gewartet werden. Neben den laufenden Beräumungen, soweit es die Gefährdungssituation zulies, erfolgten provisorische Erhöhungen des Lawinauffangdammes und des talauswärtigen Steinschlagschutzdammes, sowie Arbeiten zur Sicherstellung der Ableitung der anfallenden Wässer. Ein Teil der Arbeiten musste aufgrund der Gefährdungssituation unter laufender Beobachtung des Hanges durch einen Posten erfolgen.



**Abb.15.** Beräumung des Lawinauffangbeckens



**Abb.16.** Sprengarbeiten im mittleren Hauptbewegungsbereich, rot Sprengmeister am Seil

Weiters mussten im Einhang unterhalb der Anrisskante des diesjährigen Hauptbewegungsbereiches zwei Großblöcke mit einer Größe von ca. 50m<sup>3</sup> mit mehreren kg Sprengstoff gesprengt werden. Die Sprengarbeiten erfolgten unter schwierigsten Bedingungen. Die Blöcke konnten durch mehrmalige Sprengungen erfolgreich abgelöst werden.

Mit Abklingen der Hangbewegungen nach der Schneeschmelze wurde mit den Anpassungsarbeiten der bestehenden Schutzbauten, die einerseits aufgrund der Verlagerung des Hauptbewegungsbereiches und andererseits auch für die 2022 geplante Errichtung der Galerie (Lückenschluss) erforderlich sind, begonnen werden.

## **5. Schlussfolgerungen**

Die Ergebnisse der Beobachtungen und Messungen haben auch 2021 eindeutig gezeigt, dass die Bewegungen im Anrissbereich und im Gesamthang ausschließlich mit der Schneeschmelze in Zusammenhang stehen. Mit dem Ende der Schneeschmelze ca. Mitte August 2021 sind die Bewegungen praktisch zum Stillstand gekommen. Auch nach Mitte August 2020 stattgefundenen Starkniederschlagsereignisse hatten keine Auswirkung auf die Hangstabilität und haben keine erneuten Bewegungen ausgelöst. Dadurch bestätigt sich erneut die Prognose, dass die Schmelzwässer den Hauptmotor für die Gesamthangbewegungen darstellen.

## TLS-Geomonitoring im Bereich der Großrutschung Leckgalerie, Obergurgl Aktuelle Entwicklungen

Mag. Patrick Fritzmann, Dipl. - Ing. Johannes Anegg

*Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Geoinformation, Herrengasse 1-3, 6020 Innsbruck*

### 1. Einleitung

Im Juni 2020 wurde seitens der Abteilung Geoinformation zur Beobachtung der Großrutschung oberhalb der B 186 (zwischen km 45 und km 46,2, bei Leckgalerie) ein permanentes, automatisches Geomonitoring eingerichtet.

Dabei kam (europaweit) erstmalig ein Messsystem zum Einsatz, das automatisiert kontinuierliche Messungen mit einem terrestrischen Laserscanner (TLS) ermöglicht und aus den Punktwolken ebenfalls automatisiert Deformationen ableitet und die Ergebnisse anschließend über eine Webanwendung zur Verfügung stellt. Neben diesem Messsystem bestand im Jahr 2020 das Geomonitoring zusätzlich aus einer Webcam und einem interferometrischem Radar (InSAR). Ein ausführlicher Bericht hierzu findet sich im Beiheft des Geoforums 2020.

Nach der Schneeschmelze 2021 wurde das Geomonitoring fortgesetzt. Neben dem permanent installierten, automatischen TLS (Messintervall alle 3 Stunden) und einer Webcam wurden auch die monatlichen Messungen mit mobilem TLS-Setup von 5 Standpunkten weitergeführt.

Der folgende Bericht beschränkt sich auf die Auswertungen der permanenten Messungen des automatischen TLS Monitorings.



**Abbildung 4:** Die Messhütten nahe der Mautstation Timmelsjoch.

Links: Temporäre Messhütte für TLS (nur 2020), Mitte: neue Messhütte für TLS sowie Stromversorgung für Webcam und InSAR, Rechts: InSAR mit Schutzhütte (nur 2020).

## 2. TLS Messkonzept

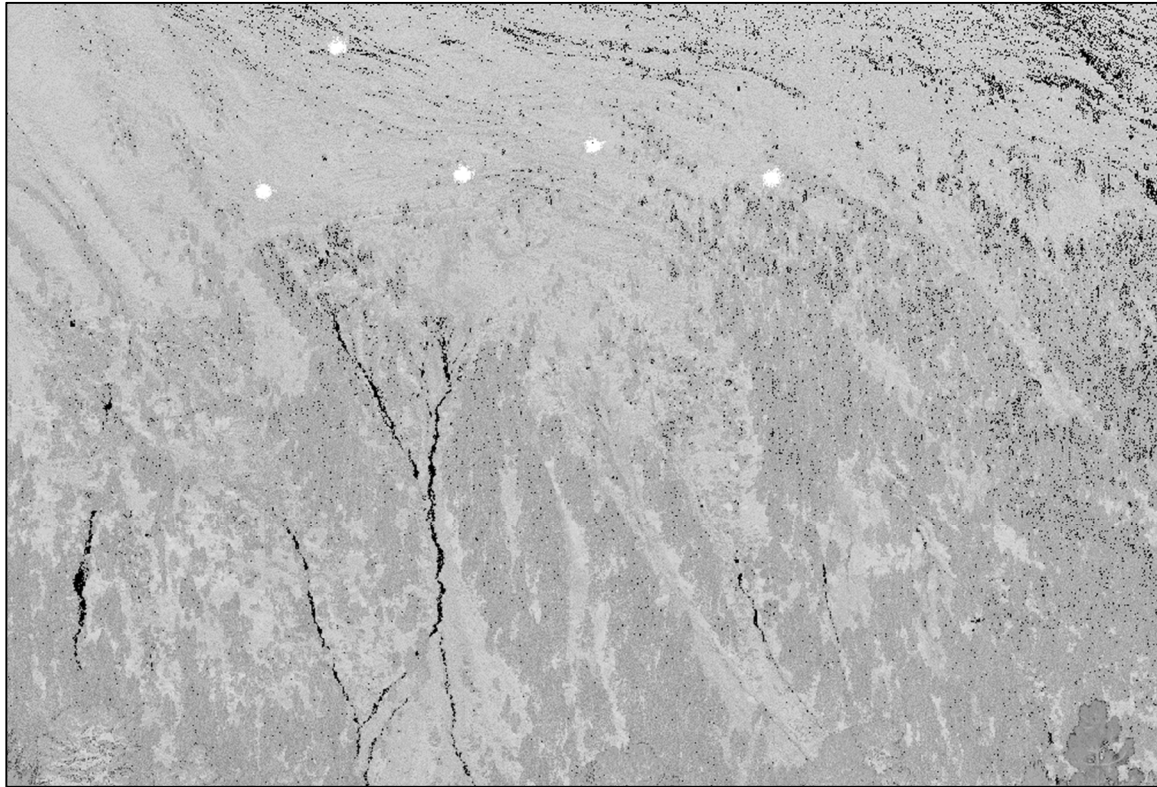


**Abbildung 5:** In der Messhütte: Scanner auf Betonsockel (von Hütte entkoppelt), Blick auf das Untersuchungsgebiet (Datum 15.07.2020).

Seit dem 26.05.2021 führt der Scanner alle drei Stunden automatisiert einen Scan des Untersuchungsgebietes durch. Die mittlere Entfernung zum Untersuchungsgebiet beträgt 1500 m. Bei einer horizontalen und vertikalen Winkelauflösung von  $0,009^\circ$  und einer Messrate von 50 kHz dauert ein Scan des kompletten Untersuchungsgebiets knapp 13 Minuten. Der Scan und die automatisch gerechneten Deformations-Ergebnisse (voxelbasierte Tiefendifferenzen zu allen Messungen) sind ca. 10 Minuten nach Scanabschluss verfügbar und können über eine Webanwendung abgerufen werden (siehe nachstehende Abbildungen).

Das Scanprojekt an sich, die Punktwolken der einzelnen Scans, die Berechnungen und sämtliche meteorologischen Parameter (Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte) werden auf einem Server gespeichert und können für weiterführende Detailauswertungen, wie Profilschnitte, Differenz- und Kubaturberechnungen verwendet werden.

### 3. Untersuchungsgebiet



**Abbildung 6:** 3D-Ansicht des Scangebiets in der Webanwendung; Basis: Punktwolke mit Reflectance-Einfärbung (Intensity).

### 4. Deformationen 2021

Die nachstehenden Abbildungen stammen aus der Webanwendung. In dieser kann die Referenzepoche (Reference) und die Vergleichsepochen (Compare) beliebig gewählt werden um die Hangbewegung zu einem bestimmten Zeitpunkt bzw. innerhalb eines bestimmten Zeitraums zu untersuchen.

Ein negativer Wert (Closer-By) bedeutet eine Verkürzung der Distanz zwischen Vergleichsepochen und Referenzepoche, also eine Deformation in Scanrichtung (Rutschung, Materialablagerung).

Ein positiver Wert (Further Away) bedeutet hingegen eine Streckenverlängerung zwischen Vergleichsepochen und Referenzepoche, also eine Deformation entgegen der Scanrichtung (Materialabtrag, Ausbruch).

#### a. Gesamter Messzeitraum

Die jahreszeitlichen natürlichen Geländeänderungen im stabilen Gelände führten im Frühjahr 2021 zu Problemen: Das Abschmelzen des Schnees oberhalb, sowie die wachsende Vegetation beiderseits des Abbruchs führten bei der automatischen Georeferenzierung zu einer Verkippung und in weiterer Folge zu unechten Differenzen zwischen den einzelnen Scan-Epochen (siehe Abbildung 5). Daher musste das Scan-System am 22.06.2021 neu konfiguriert und gestartet werden. Dies hatte jedoch auch zur Folge, dass eine durchgängige, automatisierte Deformationsauswertung nicht über den Zeitpunkt des Neustarts möglich war. Im Zuge eines manuellen Postprocessings konnte dieses Problem behoben werden.

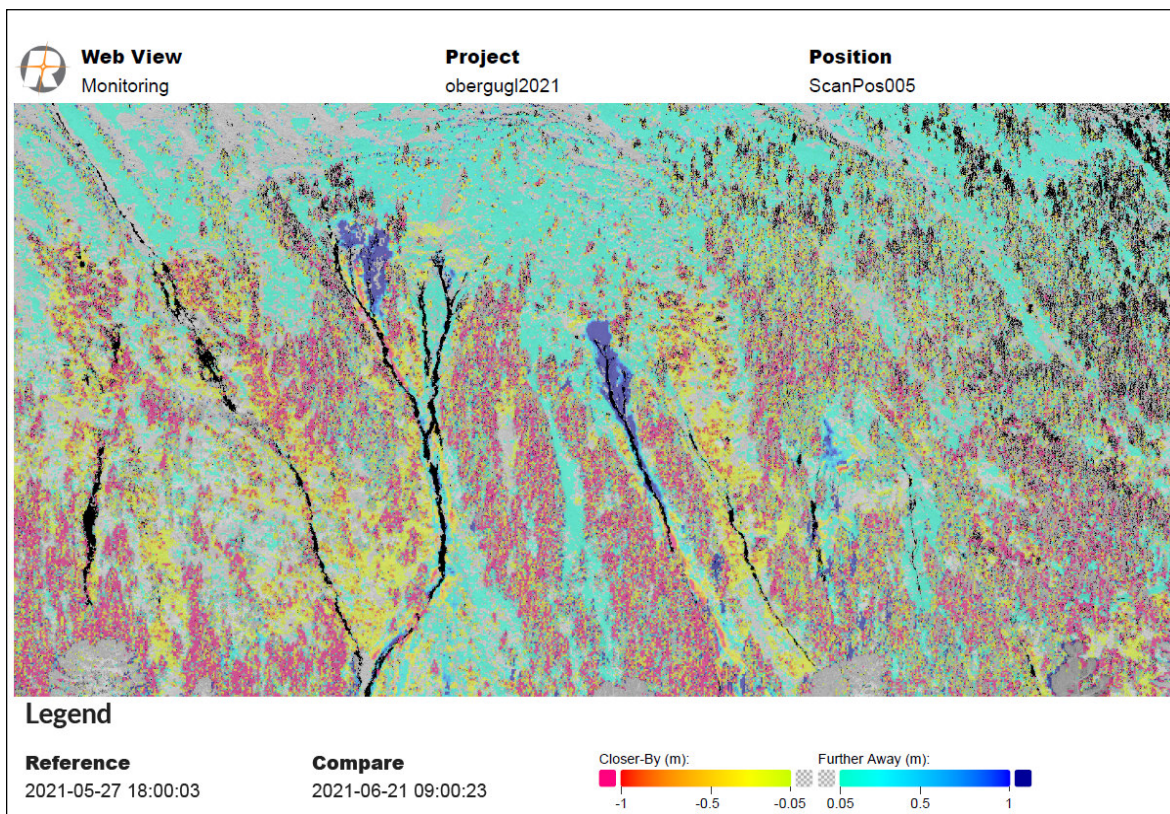


Abbildung 7: Geländeänderung zwischen 27.05.2021 und 21.06.2021.

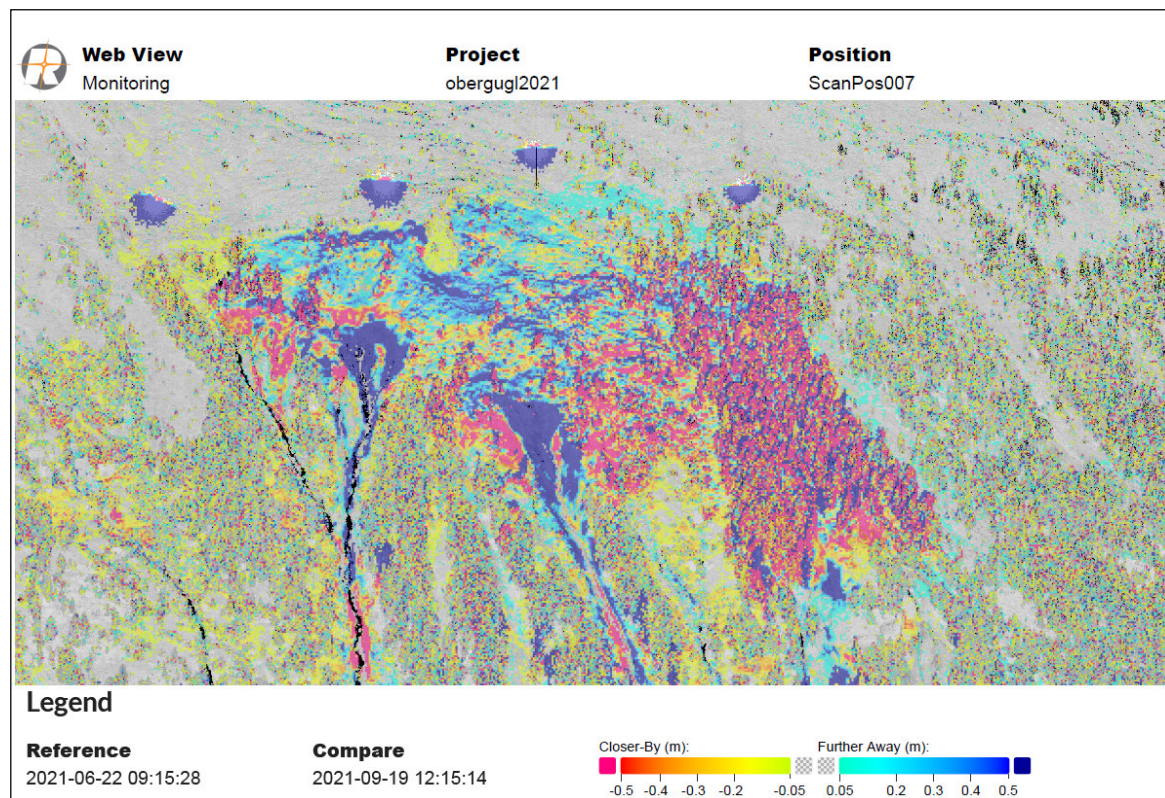
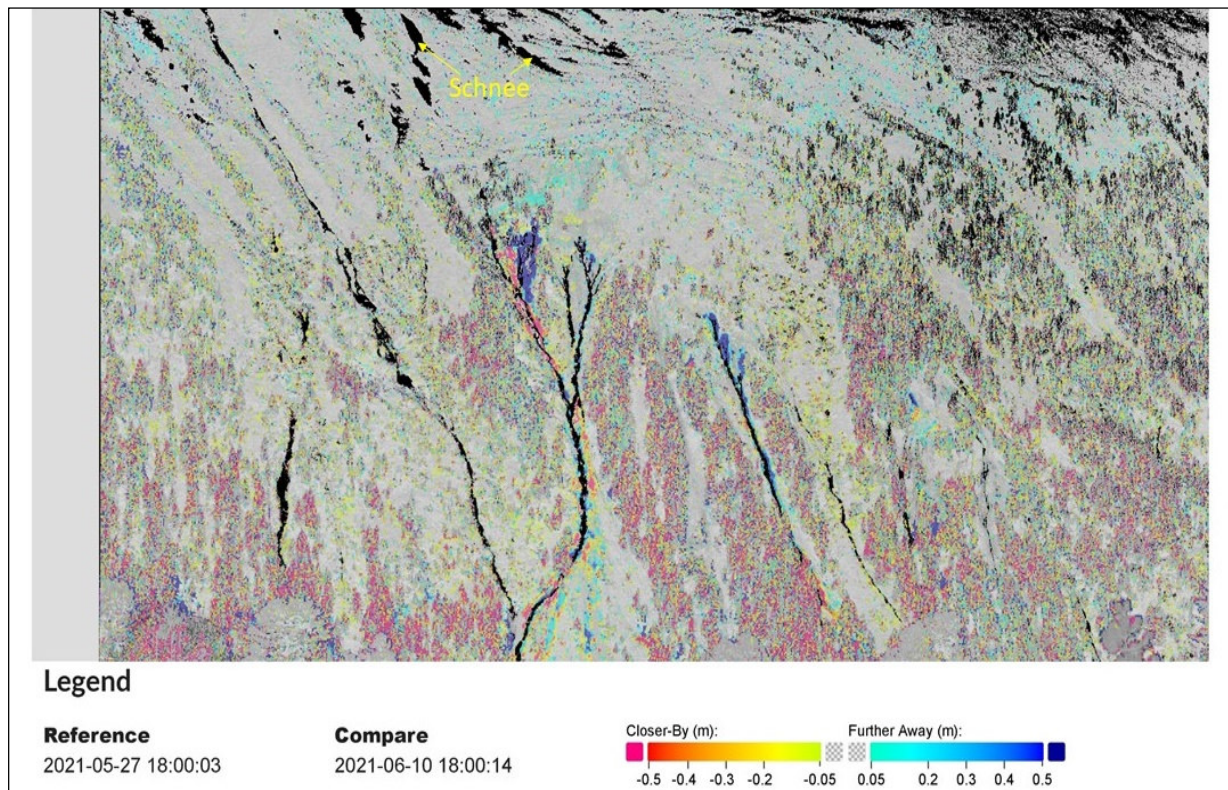


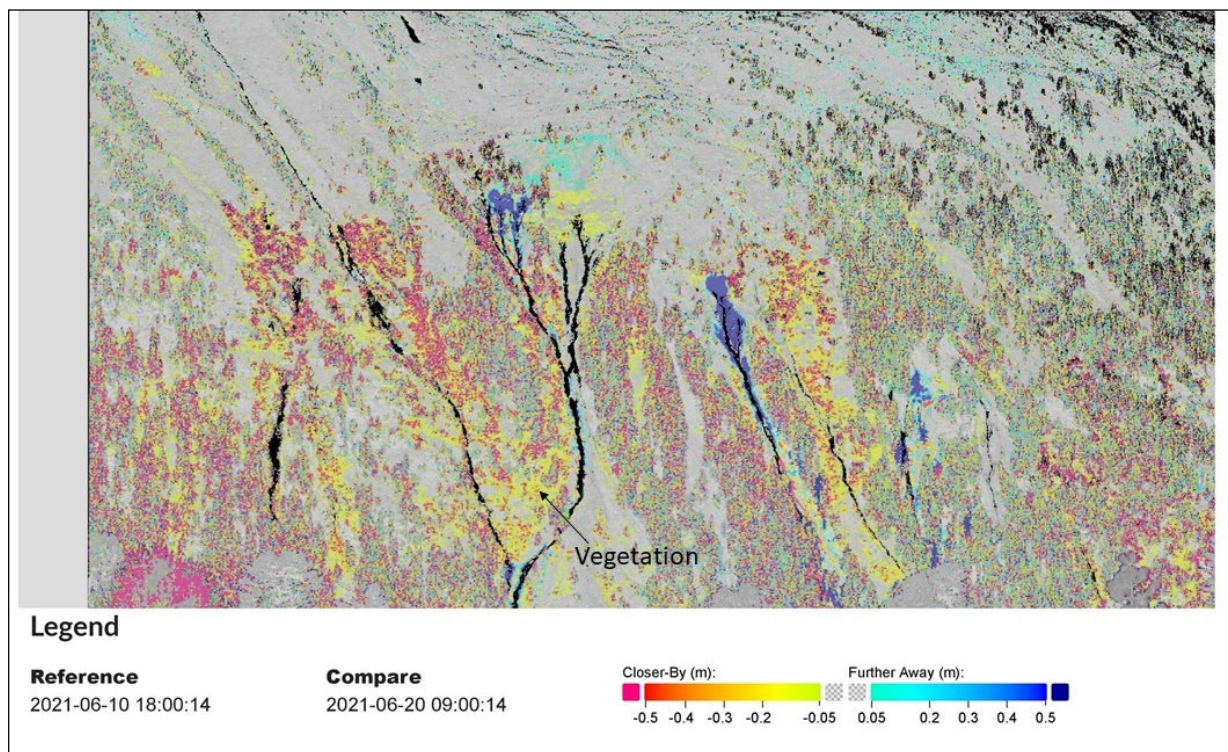
Abbildung 8: Geländeänderung zwischen 22.06.2021 und 19.09.2021.

**b. Zweiwöchentliche Betrachtungsintervalle**

Im Folgenden werden die Bewegungen, basierend auf den Berechnungen und Darstellungen der Webanwendung, über einen zweiwöchigen Beobachtungszeitraum dargestellt.



**Abbildung 9:** Geländeänderung KW 22-23.



**Abbildung 10:** Geländeänderung KW 23-24.



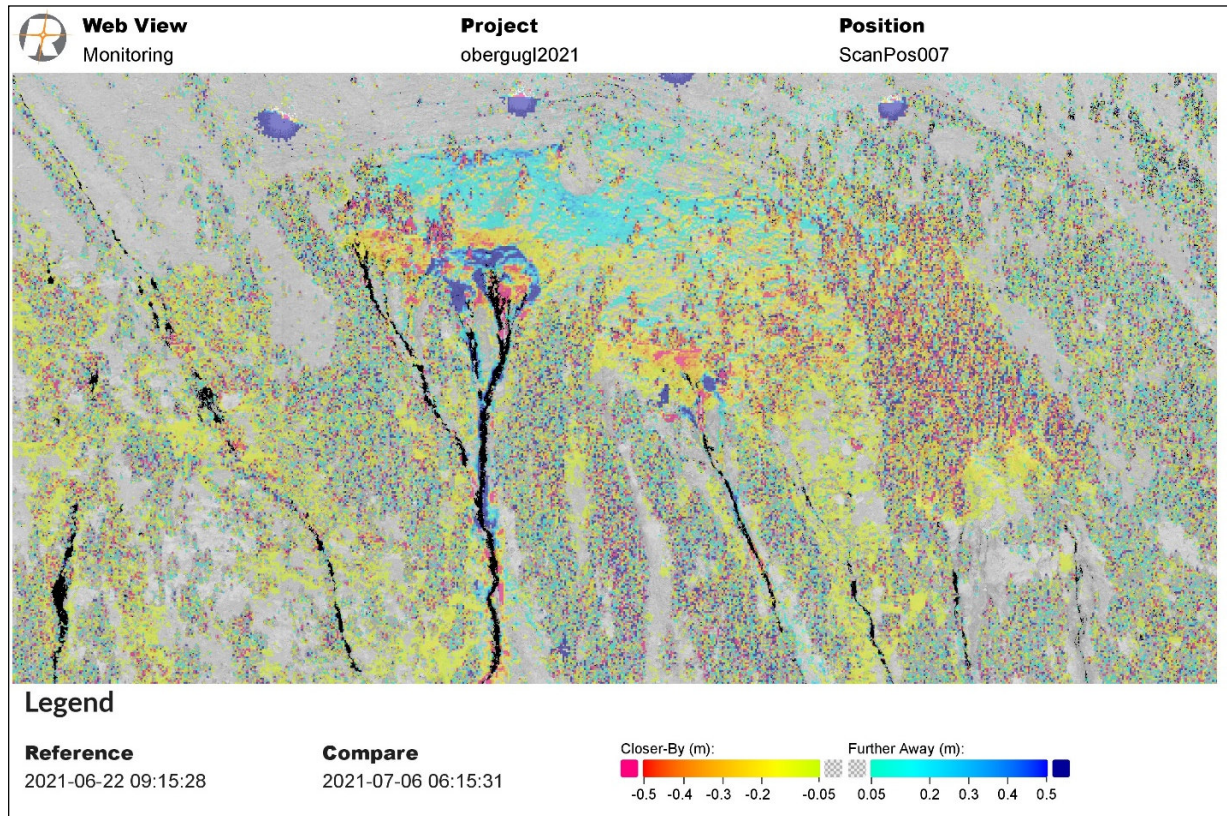


Abbildung 11: Geländeänderung KW 25-27.

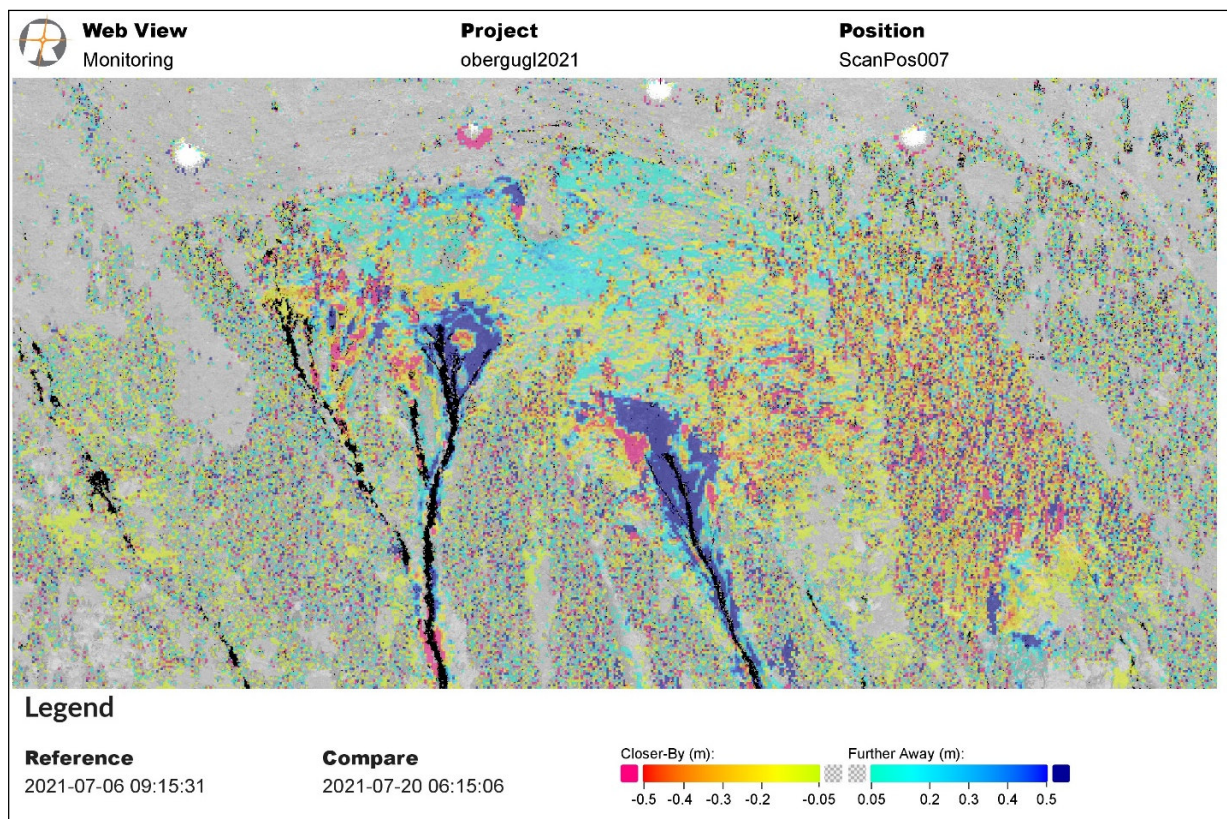


Abbildung 12: Geländeänderung KW 27-29.

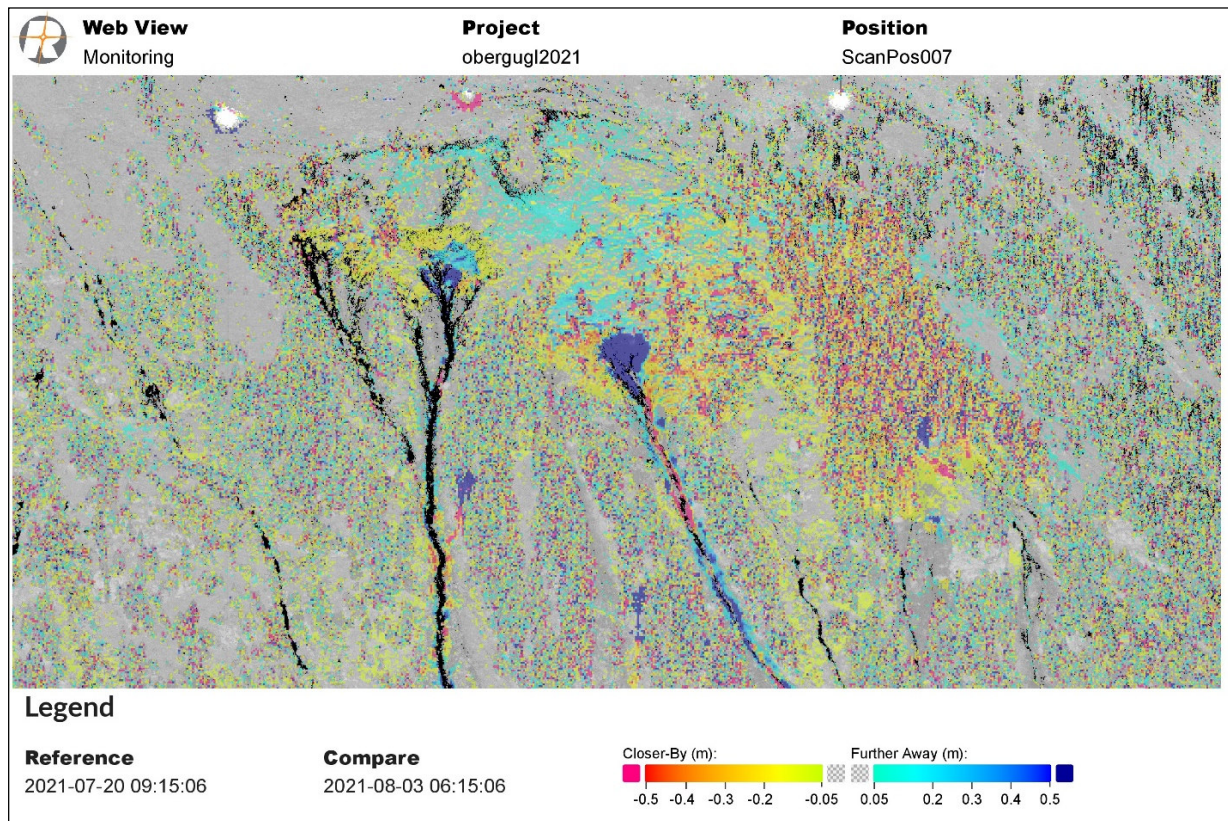


Abbildung 13: Geländeänderung KW 29-31.

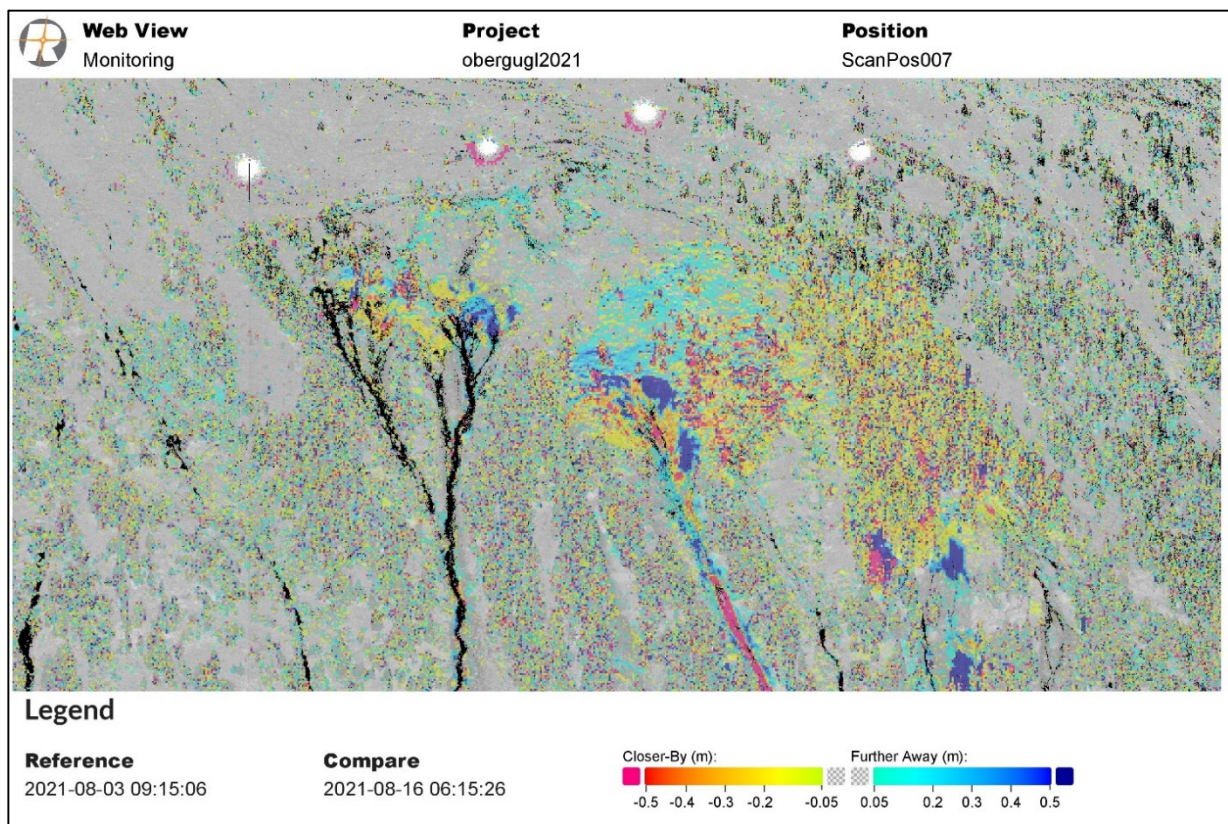
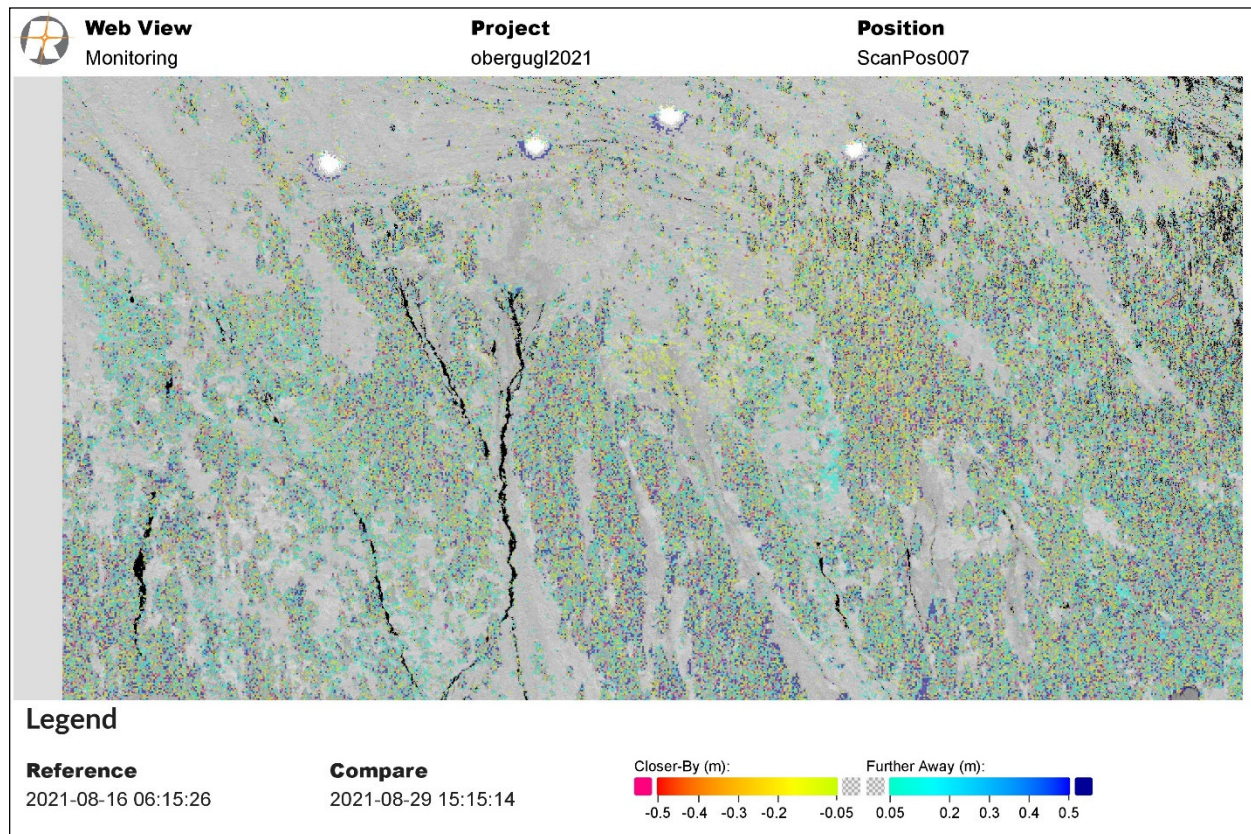


Abbildung 14: Geländeänderung KW 31-33.



**Abbildung 15:** Geländeänderung KW 33-34.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die laufenden Messungen im Jahr 2021 zeigten, dass die großflächigen Rutschbewegungen in der KW 24 eingesetzt haben und bis in die KW 33 anhielten. Ab dem 17.08.2021 (KW 33) konnten keine Rutschungen mehr festgestellt werden.

Ein erster Vergleich mit den Abflussdaten der Gurgler Ache zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen Schneeschmelze und Rutschbewegungen. Dies gilt für beide Messepochen 2020 und 2021, wobei auch deutlich wird, dass die Schneeschmelze und somit auch die Rutschbewegung im Jahr 2021 etwa vier Wochen später eingesetzt haben als im Jahr 2020. Die Auswertungen diesbezüglich befinden sich derzeit noch in Bearbeitung (Ergebnisse werden in der Präsentation bei der Geoforum Tagung vorgestellt).

Sonstige Hangbewegungen (Blockstürze und Muren) waren meist gekoppelt an Starkregenereignisse, wobei auch diese nach dem Rückgang der großflächigen Hangbewegung nicht mehr festgestellt wurden.

Das Geomonitoring wird im Jahr 2022 weitergeführt. Zusätzlich zum derzeitigen Monitoring-Setup (kontinuierliche automatische Scans, monatliche Scans von 5 Standpunkten und Webcam) ist geplant im Gebiet oberhalb der Rutschung mehrere Prismen zu installieren und diese mittels Totalstation (etwa monatlich) als auch mit dem Scanner mehrmals täglich zu beobachten.

## B186 Ötztalstraße Ertüchtigung Leckgalerie /Klammgalerie

Günter Guglberger

*Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Brücken- und Tunnelbau, Herrengasse 1-3, 6020 Innsbruck*

### 1. Allgemeines

An der westlichen Talflanke, des von den Rutschmassen der Großrutschung/Talzusub Obergurgl gefährdeten Bereiches, führt knapp oberhalb der Ötztaler Ache die B 186, die Ötztalstraße in der Gemeinde Sölden von Zwieselstein nach Untergurgl/Obergurgl bzw. auf die Timmelsjoch Hochalpenstraße.

In diesem Abschnitt wird die B 186 durch 3 Galerien vor Lawineneignissen geschützt. Die 360 m lange Leckgalerie und die rd. 45 m der Klammgalerie liegen im unmittelbaren Gefährdungsbereich der Großrutschung.



**Bild 1:** *Baulosbereich Leckgalerie/Klammgalerie*

Einzelne Murstriche, mit geringer Mächtigkeit aber starker Wasserführung, überstrichen bei den Ereignissen im Juli und August 2020 bereits die Leckgalerie. Zudem befürchtete man die Gefahr des massiven Einschlages einzelner Steinblöcke in der Größe von einigen Kubikmetern am Galeriedach, aus den wasserführenden Rinnen oberhalb der Galerien.

Als erste Sofortmaßnahme, vor dem Vorliegen der Steinschlagsimulationen der Landesgeologie Tirol, wurde die Leckgalerie präventiv mit massiven Holzunterstellungen gestützt, um im Ereignisfall „Steinschlag“ das Bauwerk vor einem Gesamtkollaps zu schützen.

Der Lastfall „Überschüttung“ durch „Mur Ereignis“ wurde als äußerst kritisch erachtet, da man mit der Hilfsunterstellung zwar die vertikale Auflast auf der Galeriedecke ableiten kann, aber der zusätzliche Erddruck immer vom bestehenden Tragwerk aufgenommen werden muss.



**Bild 2:** Baustellenübersicht

## 2. Beschreibung des Bestandes

Die beiden betroffenen Galerien wurden in den Jahren 1980 -1982 als Stahlbetonrahmenkonstruktionen mit V-Stützen und Flachdecken errichtet. Bei der Leckgalerie kam erstmals ein Schalwagen für den Galeriebau in Tirol zum Einsatz. Die bergseitig ausgerundete Rahmenecke ermöglichte einen biegesteifen Anschluss bergseitige Wand/Tragwerksdecke. Die talseitigen V-Stützen sind ebenfalls biegesteif an die Flachdecke ( $d_{\text{Feld}} = 85-60 \text{ cm}$ ) angeschlossen.

Die Klammgalerie ist mittels einer bergseitigen Spornmauer errichtet worden. Die Galeriedecke ( $d_{\text{Feld}} = 80-60 \text{ cm}$ ) liegt bergseitig gelenkig auf und ist talseitig biegesteif an die V-Stützen angeschlossen.

Die Gründung beider Galerien erfolgte bergseitig auf Streifenfundamenten auf Fels bzw. abschnittsweise auf Lockermaterial. Die talseitige Gründung der V-Stützen wurde mittels Brunnengründung bei der Leckgalerie auf Fels- bzw. abschnittsweise auch auf Lockermaterial und bei den betroffenen Abschnitten der Klammgalerie ausschließlich auf Lockermaterial hergestellt.

Der statischen Berechnung wurden folgende Eingangsparameter zugrunde gelegt:

Lawinenlast Leckgalerie:

Regellast  $p_v = 20 \text{ kN/m}^2$   
 $p_h = 5 \text{ kN/m}^2$

14. bis 15. Oktober 2021

bzw. in einigen Blöcken erhöhte Lawinenlast

$$p_v = 30 \text{ kN/m}^2$$

$$p_h = 10 \text{ kN/m}^2$$

Lawinenlast Klammgalerie:

Regellast  $p_v = 30 \text{ kN/m}^2$

$$p_h = 10 \text{ kN/m}^2$$

Dabei wurde die volle Lawinenlast mit verminderter Sicherheit (1,45 Biegung bzw. 2,15 mittiger Druck) und die halbe Lawinenlast mit voller Sicherheit bei der Traglastbemessung in Rechnung gestellt.

Bodenkennwerte:

	geologische Verhältnisse	Gründungsart	zul. Bodenpressung $\sigma_{zul.}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Bettungsmodul $k_b$ [KN/m <sup>3</sup> ]
<b>BERGSEITE</b>	Lockermaterial	Flachgründung	450	30.000 - 70.000
<b>TALSEITE</b>	Lockermaterial	Tiefgründung	600	30.000 - 50.000
<b>BERGSEITE</b>	Fels	Flachgründung	1.000	300.000
<b>TALSEITE</b>	Fels	Tiefgründung	1.000	300.000

Die Stahlbetonbemessung der Bauwerke erfolgte nach den einzelnen Teilen gemäß der damals gültigen ÖNORM B 4200.

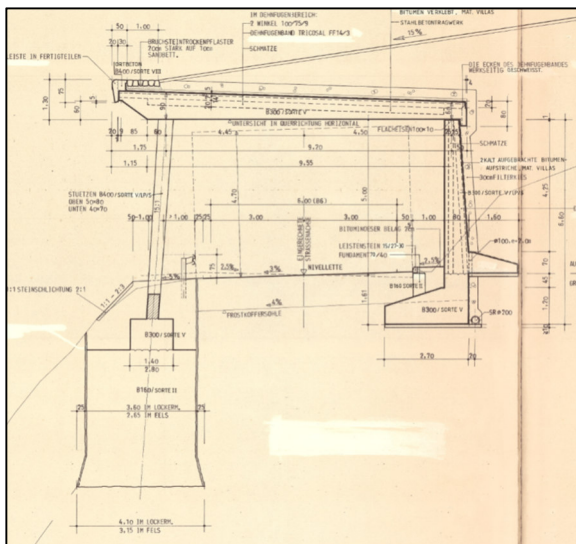


Bild 3: Regelquerschnitt Klammgalerie

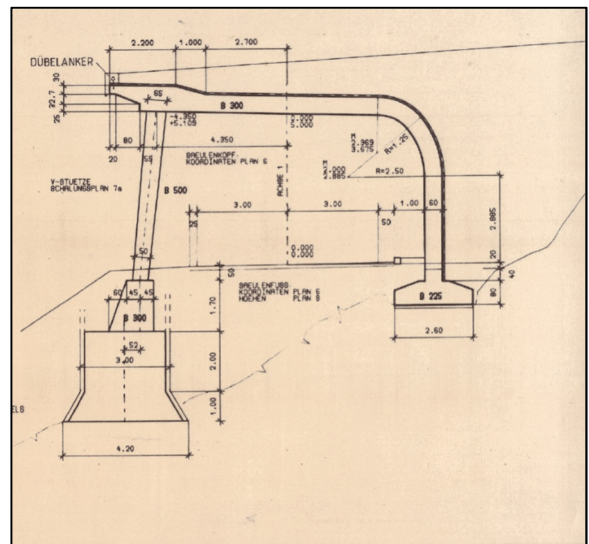


Bild 4: Regelquerschnitt Leckgalerie

### 3. Ertüchtigung der Galeriebauwerke

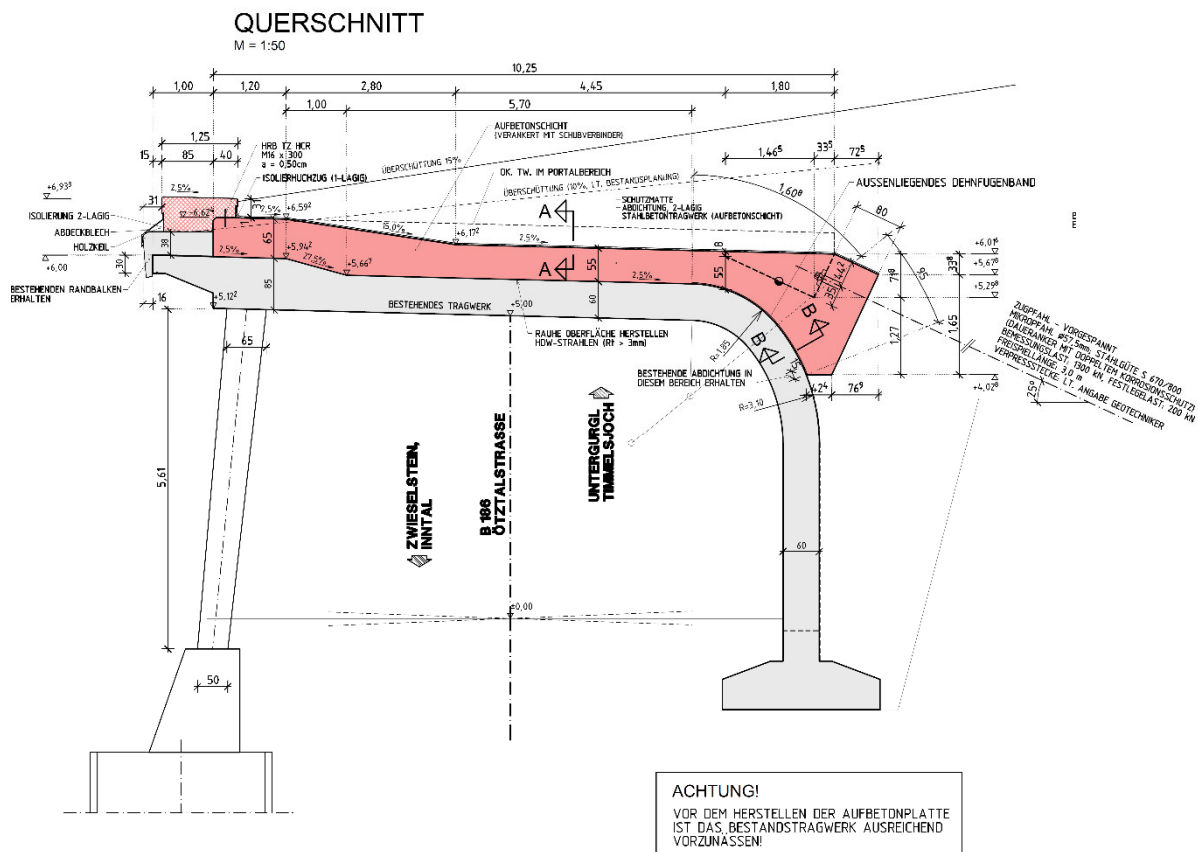
Eine Nachrechnung der bestehenden Tragwerke gemäß dem derzeit gültigen Normenstand und der, der Ursprungsstatik zugrunde gelegten Belastung zeigte, dass beide Galerien Bewehrungsdefizite sowohl im Bereich der Durchstanzbewehrung als auch beim Biegeanschluss der talseitigen V-Stützen mit der Galeriedecke aufweisen.

Aufgrund der geringen Überschüttung und der in der Bestandsstatik berücksichtigten Lawinenlasten, können beide Tragwerke weder einer Zusatzbelastung aus dem Lastfall Steinschlag noch aus dem Lastfall zusätzliche Auflast aus dem Lastfall „Mur Ereignis“ aufnehmen.

Der Ertüchtigung der Bauwerke wurden folgende Parameter zugrunde gelegt:

- Die Sicherheit der Arbeitnehmer muss zu jedem Zeitpunkt der Arbeiten gewährleistet sein; Arbeiten am Galeriedach bedeuten Arbeiten im größten Gefahrenbereich!
- Die Galeriedecke soll für den außergewöhnlichen Lastfall „Mur Ereignis“ auf die maximal mögliche zusätzliche Auflast ausgelegt werden.
- Die Bauleistungen müssen so erfolgen, dass eine uneingeschränkte einspurige Verkehrsführung auf der B 186 möglich ist.
- Erschwerend bei der ganzen Ertüchtigung, war dabei der Faktor Zeit. Die Arbeiten konnten erst nach Freigabe des Baufeldes Mitte August beginnen. Bis zum Einbruch des Winters – voraussichtlich Ende November/Anfang Dezember – müssen sämtliche Arbeiten, einschließlich der Überschüttung, abgeschlossen sein, da die Bauwerke in bekannten und gefährlichen Lawenstrichen entlang der B 186 liegen.

Das neue statische Konzept sieht vor, durch eine vollflächige Verdübelung der bestehenden Galeriedecken mit einer neuen Aufbetonplatte, das Traglastniveau des Bestandes erheblich anzuheben und damit größere Überschüttungshöhen der Galerien im Ereignisfall zu berücksichtigen.



**Bild 5: Ertüchtigungskonzept Leckgalerie**

Die bergseitige Wand, die talseitigen V-Stützen und die Gründungen zeigten ausreichende Sicherheiten für einen neuen außergewöhnlichen Lastfall „Mur Ereignis“, der wesentlich höhere Erddruck durch die „neue“ Auflast wird durch das Einbinden von Verpressankern in das neue System aufgenommen und in den Untergrund abgeleitet. Mit dieser Maßnahme konnte auch das Defizit des Biegeanschlusses der V-Stützen an die Tragwerksdecke eliminiert werden, durch die Verdübelung und die Aufbetonplatte können ebenfalls auch alle normgemäß erforderlichen Durchstanznachweise geführt werden.

Als Verpressanker kommen Tragglieder System GEWI+ 57,5 mit einer Länge von bis zu 26,00 m für Verankerungen im Lockermaterial zum Einsatz. Im Fels wurde jeder Stab mind. 7,00 m verankert. Bei der Leckgalerie beträgt die Festlegelast der GEWI+ Anker 200 kN. Im Bereich der Klammgalerie wurden die Anker schlaff eingebaut, da die bergseitig bestehende Galerierückwand, ausgebildet als Spornmauer, keinerlei außenliegende (luftseitige) Bewehrung aufweist.

Für die Verdübelung Bestand/Aufbetonplatte neu, werden eingeklebte Bewehrungsstäbe BST 550 dn 16 verwendet. Die Stäbe werden mind. 20 cm in den Bestand eingebohrt und eingeklebt. Für einen Block mit der Regellänge von 30,00 m und einer Breite von rd. 10,50 m werden 2.000 Stück Dübel mit einer gesamten Bohrlochlänge von 400 lfm/Block ausgeführt.

Weiter sind 47 t Bewehrungsstahl in der Aufbetonplatte erforderlich, um mit der im Feld 55 cm starken und über der Stütze 65 cm starken, im Verbund mit dem Bestand stehenden, Aufbetonplatte (C 30/37/B 2), für ein ausreichendes Tragsicherheitsniveau zu sorgen.



Mit oben angeführten Maßnahmen wurde folgender Bauablauf gewählt:

- Einrichten eines Schutzwalles oberhalb der Galerie, bestehend aus Panzeriegeln bzw. Erddämmen zum Schutz der Baumannschaft vor unerwarteten Ereignissen bzw. nicht erfassbaren Steinschlag



**Bild 6:** Schutzwall

- Einrichten von Fluchtkontainern am Galeriedach zum Schutz der Arbeitnehmer
- Abtrag der bestehenden Überschüttung, einschließlich der erforderlichen bergseitigen Sicherungsmaßnahmen mittels Spritzbetonnagelwand. Die Nagelwand wurde so ausgeführt, dass diese gleichzeitig als Sauberkeitsschicht für die Betonarbeiten verwendet werden konnte
- Abtrag der Isolierung, Errichtung einer Versorgungsstraße hinter dem bestehenden Galeriebauwerk



**Bild 7: Bauweg**

- Bohren und Versetzen der Verpressanker



**Bild 8: Verpressanker**

- HDW Strahlen der Galeriedecke
- Bohren und Versetzen der Schubverdübelung



**Bild 9:** Schubverdübelung

- Verlegen der Bewehrung



**Bild 10:** Bewehrung Aufbetonplatte

- Betonieren des Tragwerkes
- Abnahmeprüfung und Festlegen der Verpressanker



**Bild 11:** Spritzbetonnagelwand, Spannischen - Verpressanker

- Isolierungsarbeiten
- Herstellen der neuen Randleiste
- Überschüttung der Galerie und Rückbau der Bauwege
- Rekultivierungsarbeiten

Nach Abschluss der Arbeiten ist sichergestellt, dass die beiden Galeriebauwerke eine Überschüttung im Mur Ereignis mit einer Höhe von 6,00 m bergseitig und 1,50 m talseitig (senkrecht) ableiten können. Dies entspricht in etwa einem Einschüttungskeil mit einer Neigung von 30 Grad, welcher im Ereignisfall durch die starke Wasserführung des Materials auf der sicheren Seite liegt.

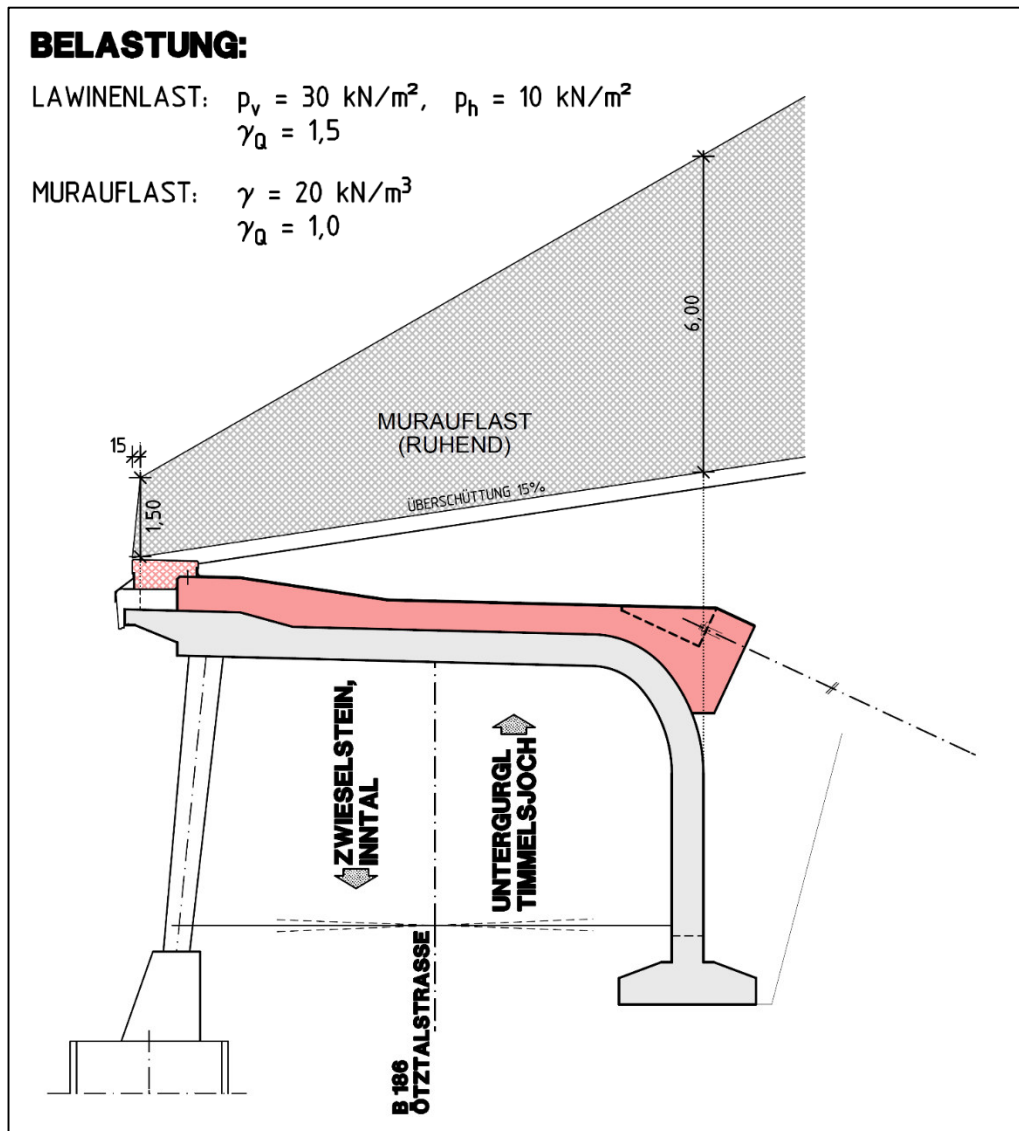


Bild 12: Lastfall "Mur Ereignis"

#### 4. Zusammenfassung

Zur Ertüchtigung der gesamten Leckgalerie und 60 m der Klammgalerie (2 Blöcke, á 30m) im Zeitraum August-November 2020 sind bzw. waren aufwendige Baumaßnahmen erforderlich. Die Sicherheit der Arbeiter war dabei das vorrangige Ziel bei einem sehr ambitionierten Bauzeitplan. Sämtliche Arbeiten müssen bis zum Winterbeginn 2020 abgeschlossen sein, um im Frühjahr 2021 bei eintretender Schneeschmelze und eventuell wiederum auftretende Hangbewegungen, die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer auf der B 186 und die Erreichbarkeit des hinteren Ötztales gewährleisten zu können.

Der Abschluss der Arbeiten im Frühwinter 2020 ermöglicht die uneingeschränkte verkehrstechnische Erreichbarkeit des hinteren Ötztales zu jeder Jahreszeit für die gesamte Bevölkerung aber auch für die zahlreichen Gäste in den Sommer- als auch Wintermonaten.

**Fact Box:**

4 Monate	Bauzeit
2.500 m <sup>2</sup>	Spritzbetonsicherung
4.000 m <sup>1</sup>	Hohlstabanker (IBO-Anker)
2.800 m <sup>1</sup>	Verpressanker bzw. Verpresspfähle System GEWI+ 57,5
4.000 m <sup>3</sup>	Beton C 30/37/B2
660 to	Bewehrung BST 550
5.700 m <sup>2</sup>	Isolierung

Planung	Ingenieurbüro Thomas Sigl, Innsbruck Landesbaudirektion Tirol, SG Brücken- und Tunnelbau
Spezialtiefbau	Firma HTB-Imst
Baumeisterarbeiten	Firma PORR Bau GmbH
Herstellkosten	€ 6.200.000.-

## Grundwassertemperaturen in Tirol – Eine Bestandsaufnahme

Felix Thalheim, Max Wallner, Rupert Ebenbichler<sup>1</sup>

Wasser Tirol – Ressourcenmanagement-GmbH, Leopoldstraße 3, 6020 Innsbruck

### Abstract

*Shallow groundwater temperatures have been subject to a variety of different research projects and studies on local to global scale. Especially within the last 10 years the studies focused on the effects of anthropogenic factors and climate change on shallow groundwater bodies. However, regionalized groundwater temperature data are scarce, especially in the required appropriate spatial resolution. In any case, the means for adequate calculation taking into account the various influencing factors and boundary conditions have not been established yet.*

*As a part of the big framework of the renewable energy transition particularly in Tyrol (Tirol 2050 energieautonom), it was decided that a comprehensive overview on the groundwater temperatures in Tyrol should be compiled in order to achieve a better understanding of the regional distribution of groundwater temperatures and local anomalies. This is considered to be especially relevant as the use of heat pump systems that use groundwater as a heat source play an important role for the future of innovative central heating systems. For such systems, the groundwater temperature is often a limiting factor, as Austrian guidelines like the ÖWAV-Regelblatt 207 constitute that the groundwater should not be cooled below 5 °C before being reinjected into the aquifer. As a consequence, such heat pump systems are not suited for areas where the groundwater temperature is not high enough during the heating period. If this is not investigated and evaluated regularly before the construction of a heat pump system, it can lead to massive performance problems and a subsequent shutdown of the heating system.*

*Thus, understanding the lateral and vertical distribution of the groundwater temperatures as well as the various influencing factors like air temperature and elevation, stream water temperature, measurement depth, groundwater level, river bank infiltration, anthropogenic factors and climate change is crucial for the estimation of the dynamics of groundwater temperatures and its possible use.*

*To this aim, the continuous groundwater temperature time series of more than 200 measurement sites distributed across various groundwater bodies in Tyrol were compiled, analysed and interpreted regarding the mean groundwater temperature and other statistical parameters as well as the above-mentioned influencing factors. Additionally, complementary data of single or regular measurements were used.*

*As a result, the 37 groundwater bodies of Tyrol were described with respect to the available groundwater temperature data, depth to groundwater table, seasonal temperature variations, possible influence of river bank infiltration and snow melt, ultimately leading to a classification highlighting the groundwater body's aptitude for heat pump systems and the limiting factors.*

*The study showed that in most bigger groundwater bodies in Tyrol the installation of groundwater heat pump systems is basically possible, although there are several site-related factors like proximity to surface waters and shallow withdrawal depth that can impair such applications. Above altitudes of approximately 1.200*

*metres a.s.l., the groundwater temperatures are rather too low for efficient use, although there are exceptions as well.*

*Furthermore, the study highlighted the large heterogeneity of groundwater temperatures even within a single, smaller groundwater body as well as the need for site-specific investigations. Even though the elevation-based regression line developed in this study mainly shows satisfactory results, the need for a better understanding and a more sophisticated calculation tool factoring in the main influencing parameters like measurement depth, river bed infiltration, urban heat islands and geothermal gradients has to be highlighted.*

## **Einleitung**

Zuvorderst sei an dieser Stelle dem Auftraggeber – der Abteilung Wasserwirtschaft, Sg. Hydrographie – für die Finanzierung und fachliche Unterstützung bei diesem Projekt gedankt!

## **Allgemeines**

Das oberste Ziel des Projektes, dessen Ergebnisse hier auszugsweise präsentiert werden, war es, einen Überblick über die in Tirol in den verschiedenen Gebieten vorliegenden Daten zu Grundwassertemperaturen zu erhalten. Als Ergebnis wurden auf Basis sowohl der Ist-Werte der bestehenden Messstellen als auch einer Regressionsgerade die Grundwassertemperaturen für sämtliche Grundwassergebiete Tirols ausgewertet bzw. abgeleitet, grafisch dargestellt und in Hinblick auf die Eignung für thermische Grundwassernutzungen klassifiziert.

In diesem Rahmen wurden auch die Faktoren untersucht, welche a) die Höhe der Grundwassertemperaturen und b) deren Schwankungsbreite und Saisonalität beeinflussen, um im Idealfall genauere standortbezogene Aussagen treffen zu können, als dies bislang i.d.R. der Fall ist.

Die Ergebnisse sollen eine weitere Grundlage für einen forcierten Grundwasser-Wärmepumpenausbau zur Erreichung der Energieziele bis 2050 bilden. Beim Einsatz von Grundwasser-Wärmepumpen (GWWP) insbesondere zu Heizzwecken stellt die Temperatur des Grundwassers im Bereich bis etwa 20 m Tiefe ein wesentliches Kriterium dar, da gemäß ÖWAV-Regelblatt eine Rückgabe von Wasser mit Temperaturen unter 5 °C nicht erfolgen sollte. Das Wissen über die Temperaturverhältnisse in den Grundwasserkörpern in Tirol – insbesondere auch für die zu erwartenden jahreszeitlichen Schwankungsbreiten – liegt jedoch weitestgehend nur punktuell und für Messstellen vor, die sich überwiegend in den Haupttalbereichen befinden. Für Grundwasserkörper in den Seitentälern sowie vor allem in höheren Bereichen, in denen die Temperaturen deutlich niedriger sein können als z. B. im Inntalbereich, liegen kaum Werte vor. Entsprechend ist auch die Planung von Grundwasserwärmepumpen in diesen Bereichen aufwändiger und risikoreicher.

## **Thematischer Hintergrund**

Wassertemperaturen unterliegen selbst in ein und demselben Grundwasserkörper Schwankungen – sowohl räumlich als auch saisonal. Die Grundwassertemperatur (GWT) ist dabei sowohl hinsichtlich Niveau als auch Schwankungsbreite von verschiedenen Faktoren abhängig, die bereits seit mehr als einem halben



Jahrhundert im Rahmen zahlreicher Veröffentlichungen beschrieben und aktuell vor allem in Hinblick auf die Auswirkungen des Klimawandels untersucht werden.

Allgemein hängt die GWT eng mit der Luft- (LT) bzw. Oberflächentemperatur (OT) und damit im Wesentlichen mit geogr. Länge und Breite zusammen (siehe BENZ ET AL. 2017a). Das bedeutet, dass die GWT tendenziell ebenso wie die LT mit der Höhe abnehmen sollte. Änderungen der Lufttemperatur betragen im Alpenraum im Mittel 0,5 bis 0,6 K/100 hm (u. a. ROLLAND, 2002).

Verschiedene Untersuchungen haben aufgezeigt, dass die durchschnittliche GWT an einem Ort nicht genau der dortigen mittleren LT oder OT entspricht (u.a. KAPPELMEYER & HAENEL 1974). Stattdessen ist die GWT oft ein wenig höher. Diesbezügliche Forschung (z.B. BENZ ET AL. 2017a, UBA 2011) zeigt einen Zusammenhang zwischen GWT und LT bzw. OT in Abhängigkeit von Evapotranspiration sowie der Dauer der Schneebedeckung. Dieser Zusammenhang wurde bis zu einem gewissen Grade funktional empirisch beschrieben (BENZ ET AL. 2017a).

Außerdem hat sich gezeigt, dass die Form der Landnutzung einen klaren Einfluss auf die GWT haben kann, es also einen Unterschied macht, ob sich die Messstellen im Wald, auf landwirtschaftlichen Nutzflächen oder in bewohnten Arealen befinden (BENZ ET AL. 2018). Im Siedlungsgebiet und insbesondere in Orten dichter bebauter und industrieller sind teils markante Erhöhungen der GWT gegenüber der „unbeeinflussten“ Umgebungstemperatur bekannt. Dieses Phänomen wird als „Subsurface Urban Heat Island“ beschrieben (siehe MENBERG ET AL. 2013; MENBERG ET AL. 2014; BENZ ET AL. 2015; BENZ ET AL. 2016), der Temperatur-Offset als „Anthropogenic Heat Index“ (cf. BENZ ET AL. 2017b; TISSEN ET AL. 2019).

Das konduktive Temperatursignal von der Oberfläche wird in der Regel rasch gedämpft, Tagesschwankungen sind nur im obersten Bereich bei oberflächennahem Grundwasser feststellbar, saisonale Schwankungen hingegen sind bis in Tiefen >10 m erkennbar, wobei aber gemäß LEDITZKY (1986) diese „jahreszeitlichen Schwankungen sehr rasch mit der Tiefe abklingen“ und bereits in 15,0–20,0 m Tiefe die „Schwankungsbreite innerhalb der Messgenauigkeit liegt“. Andererseits findet Konvektion statt, wobei das Temperatursignal von der Oberfläche durch das Trägermedium Wasser in den Boden eindringt. Insbesondere spielt dieser Prozess eine Rolle bei Grundwasserneubildungsereignissen wie Stark- und Dauerregen sowie Schneeschmelze. Ebenso wichtig ist aber auch die Interaktion von Vorfluter und Grundwasserkörper sowie von Grundwasserkörpern untereinander, bei der sich das Temperatursignal des einen aufgrund verschiedenster Faktoren mehr oder weniger auf das Temperaturniveau des anderen Wasserkörpers auswirken kann (u.a. CONSTANTZ, 1998; CONSTANTZ ET AL., 2002; STONESTROM & CONSTANTZ 2004).

Darüber hinaus konnten Anstiege der Grundwassertemperaturen nachgewiesen werden, die in Österreich innerhalb der letzten 20 Jahre im Mittel bei rund 0,8 bis 1,0 K lagen (u.a. BENZ ET AL. 2018). Dabei zeigte sich wie bei der LT auch bei der GWT die Ausprägung, dass es sich nicht um einen linearen Anstieg handelt, sondern zu einem bestimmten Zeitpunkt bzw. besser in einem bestimmten Zeitraum ein Übergang in ein höheres Regime stattfindet (u.a. MENBERG ET AL. 2014).

## Methodik

*Anmerkung: Die Ergebnisse der im Folgenden beschriebenen Untersuchungen werden in dieser Veröffentlichung lediglich auszugsweise präsentiert.*

Mit Fokus auf kontinuierliche und möglichst langjährige Zeitreihen wurden vom Hydrographischen Dienst, der TIWAG, der BBT, ÖBB, Sandoz und geoZT Daten erhoben. Die Daten der über 200 Messstellen des HD bildeten die Basis, die weiteren Messstellen wurden als Ergänzungen herangezogen. Für die Beschreibungen der Grundwassergebiete wurde notfalls auf Einzelmessungen aus der Anlagenüberwachung sowie der GZÜV zurückgegriffen. Insgesamt wurden so von 263 Messstellen kontinuierliche oder zumindest regelmäßige (wöchentliche bis monatliche) Daten zusammengetragen. Für den Großteil der statistischen Auswertungen wurde darauf geachtet, nur Daten aus dem Referenzzeitraum 01.11.2015 bis 31.10.2018 zu verwenden, für welchen von insgesamt 204 Messstellen kontinuierliche Daten vorlagen.

Für die Untersuchung der langjährigen Trends wurden die Messstellen gewählt, für welche über einen längstmöglichen gemeinsamen Überschneidungsbereich GWT-Daten vorlagen. Es wurde der Zeitraum 01.11.2003 bis 31.10.2018 ausgewählt, für welchen von 13 Messstellen Zeitreihen vorlagen.

Um die Änderungen der GWT mit der Tiefe einer genaueren Untersuchung zu unterziehen, wurden kontinuierliche Temperaturprofile sowie monatliche Handmessungen aus den 1990er Jahren bereitgestellt. Die kontinuierlichen Messungen stammen von den Messstellen GW70346034 und GW70936035, wo in 4-5 Tiefenstufen die GWT gemessen wird. Die Tiefenprofile aus den Handmessungen (monatliche Messungen in 1- bis 2-Meter-Tiefenstufen des Jahres 1999) wurden für elf Messstellen digitalisiert und ausgewertet.

Um in Erweiterung zur allgemeinen statistischen Aufbereitung genauere Erkenntnisse über den Vorflutereinfluss im Zusammenspiel mit dem lokalen Wetter zu erlangen, wurden sechs Schwerpunktgebiete ausgewählt, in denen Daten mehrerer Grundwassermessstellen (GWT, Grundwasserstand) sowie zu Vorfluter und Wetter vorliegen.

Aus dem Verhältnis von mittlerer GWT und Geländehöhe wurde eine Regressionsgerade abgeleitet, welche im Rahmen dieser Beschreibungen zur Abschätzung der mittleren GWT herangezogen wurde. Um die mittlere Schwankungsbreite und den Vorflutereinfluss auf selbige grob bestimmen zu können, wurden die Informationen aus der statistischen Auswertung mit den Erkenntnissen bezüglich Vorfluter- und Messtiefeneinfluss verschnitten.

Als letzter Schritt wurden die 37 Grundwassergebiete (GWG) Tirols (nach hydrologischem Atlas Österreichs) zunächst kurz beschrieben, die jeweilige Datenlage dargestellt und dann die GWT-Daten für die Grundwassergebiete grafisch dargestellt und ausgewertet.

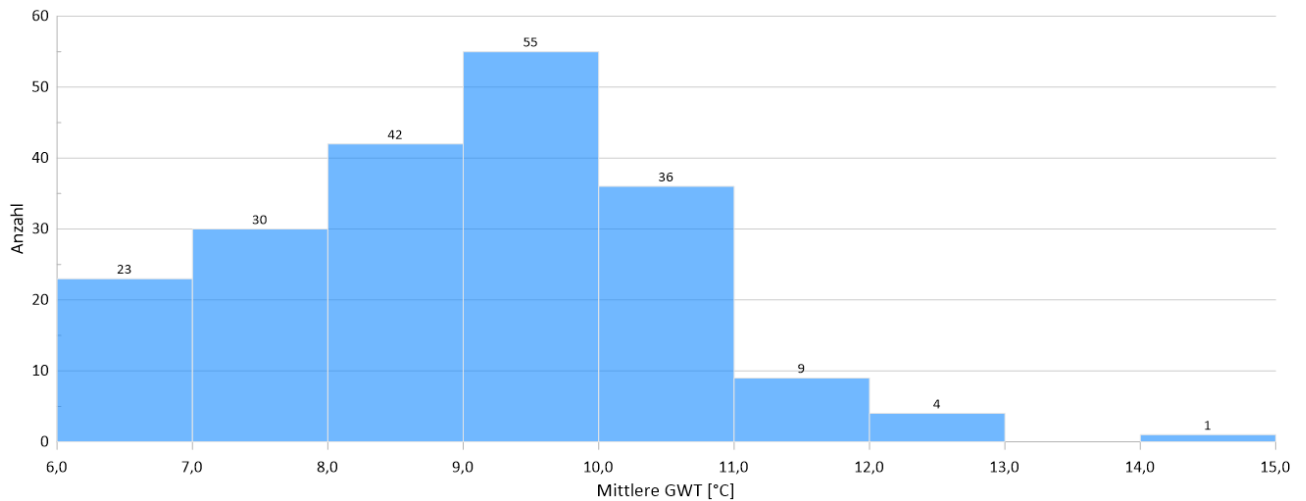
Um das Projektziel einer möglichen Verfügbarmachung der Ergebnisse als Layer im Tiroler Rauminformationssystem zu erreichen, wurden folgende Schritte gesetzt:

- Klassifikation der Grundwassergebiete hinsichtlich der Eignung für Grundwassernutzungen zu Heizzwecken (grün = „geeignet“, orange = „bedingt geeignet“, rot = „nicht geeignet“)
- Klassifikation der verfügbaren GWT-Daten (dreijährige Mittelwerte auf Tageswertbasis) aus kont. Messung, farbliche Abstufung aufsteigend von blau nach rot

## Ergebnisse

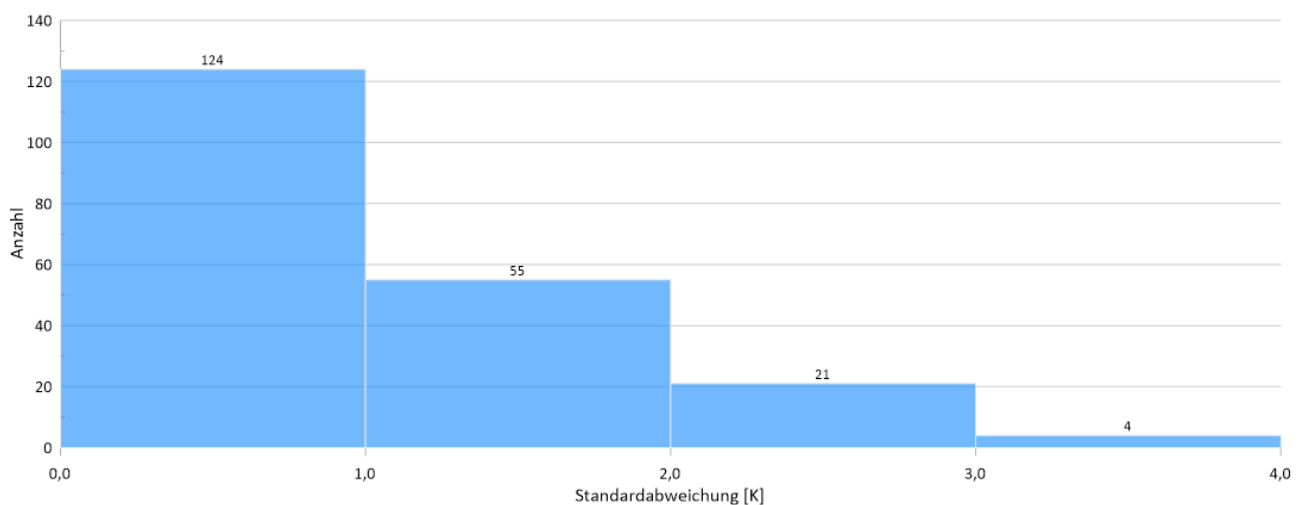
### Statistische Auswertung

Die Grundwassertemperaturen der Tageswerte der 204 ausgewählten Zeitreihen liegen im Mittel zwischen 5,7 und 14,4 °C, der Durchschnitt beträgt 8,9 °C. Abb. 1 zeigt die Häufigkeitsverteilung der mittleren GWT der Zeitreihen in 9 Klassen. Daraus wird ersichtlich, dass sich die Mehrzahl der mittleren GWTs auf die Klassen 3 bis 5 verteilt (133 von 204).



**Abb. 1:** Häufigkeitsverteilung der mittleren GWT der Zeitreihen in 9 Klassen

Zusätzlich zu Mittelwert, Minima, Maxima und Perzentilen wurden die Standardabweichungen (StAbw) der Zeitreihen ermittelt, um eine Kenngröße der Streuung der Datenreihen zu erhalten. Die Häufigkeitsverteilung der StAbw kann Abb. 2 entnommen werden. Demnach liegt die Mehrheit der Zeitreihen in der 1. Klasse mit StAbw bis 1,0 K, im Mittel liegt sie bei 0,9 K.



**Abb. 2:** Häufigkeitsverteilung der StAbw der Zeitreihen in 4 Klassen

Wegen der anzunehmenden Abhängigkeit der Luft- wie auch Wassertemperaturen von der Geländehöhe wird in Abb. 3 zunächst die mittlere GWT des Auswahlzeitraums aller 204 Stationen gegen die

Geländehöhe geplottet. Dabei ist deutlich die Abnahme der Grundwassertemperatur mit der Geländehöhe zu erkennen, welche etwa 0,5 K pro 100 Höhenmeter beträgt. Allerdings ist die relativ hohe Schwankungsbreite in den einzelnen Höhenlagen zu erkennen, die bei ähnlicher Höhenlage bis zu 4,0 K oder gar 6,0 K betragen kann.

Es ist ebenfalls ersichtlich, dass die Punktwolke an einigen Stellen besonders verdichtet erscheint, weswegen zur genaueren Unterscheidung ein Class-Scatter-Plot erzeugt wurde. Dadurch wurden die 204 Datenpunkte nach den 38 Grundwassergebieten klassifiziert, aus denen Daten vorliegen. Dabei sind u. a. die Datendichte in Unter- und Oberinntal sowie Oberem Drautal und Pustertal gut ersichtlich, ebenso die hohe Geländehöhen-Bandbreite bei ähnlichem GWT-Niveau im Ötztal.

Zusätzlich zu Zwei-Komponenten-Systemen wurden Überlegungen angestellt, ob sich bei Ergänzung von zwei Parameter um eine dritte Ebene in Form einer Klassifikation bestimmte weitere Zusammenhänge erkennen lassen. In Abb. 4 werden daher Standardabweichung und Vorfluterentfernung gegenübergestellt und nach der Messtiefe klassifiziert.

Anhand dieser Abbildung wird ein deutlicherer Zusammenhang von niedrigen Standardabweichungen mit höherem Vorfluterabstand und höherer Messtiefe ersichtlich. Das ist unter anderem an der klaren Häufung der dunkleren Punkte (Messtiefe > 15,0 m) im Bereich von 1,0 K StAbw erkennbar. Höhere StAbw bei größerem Vorfluterabstand sind mehrheitlich an niedrige Messtiefen gebunden.

In Abb. 5 werden Eintauch- und Messtiefe gegenübergestellt und nach Standardabweichung in sieben Klassen unterteilt. Geringe Standardabweichungen (< 1,0 K) werden dabei in Blautönen dargestellt, höhere aufsteigend von Orange nach Rot. Die StAbw zeigt sich verhältnismäßig unabhängig von der Eintauchtiefe, Punkte mit Blau- und Rottönen sind im Bereich von Messtiefen von 4,0 bis 12,0 m und Eintauchtiefen von 0,0 bis 9,0 m recht ausgewogen durchmisch, Maxima wie Minima der Standardabweichungen können bei Eintauchtiefen unter 1,0 m, aber auch bei > 8,0 m auftreten. Erst oberhalb des Bereiches von 12,0 bis 16,0 m Messtiefe dominieren geringe Standardabweichungen klar.

14. bis 15. Oktober 2021

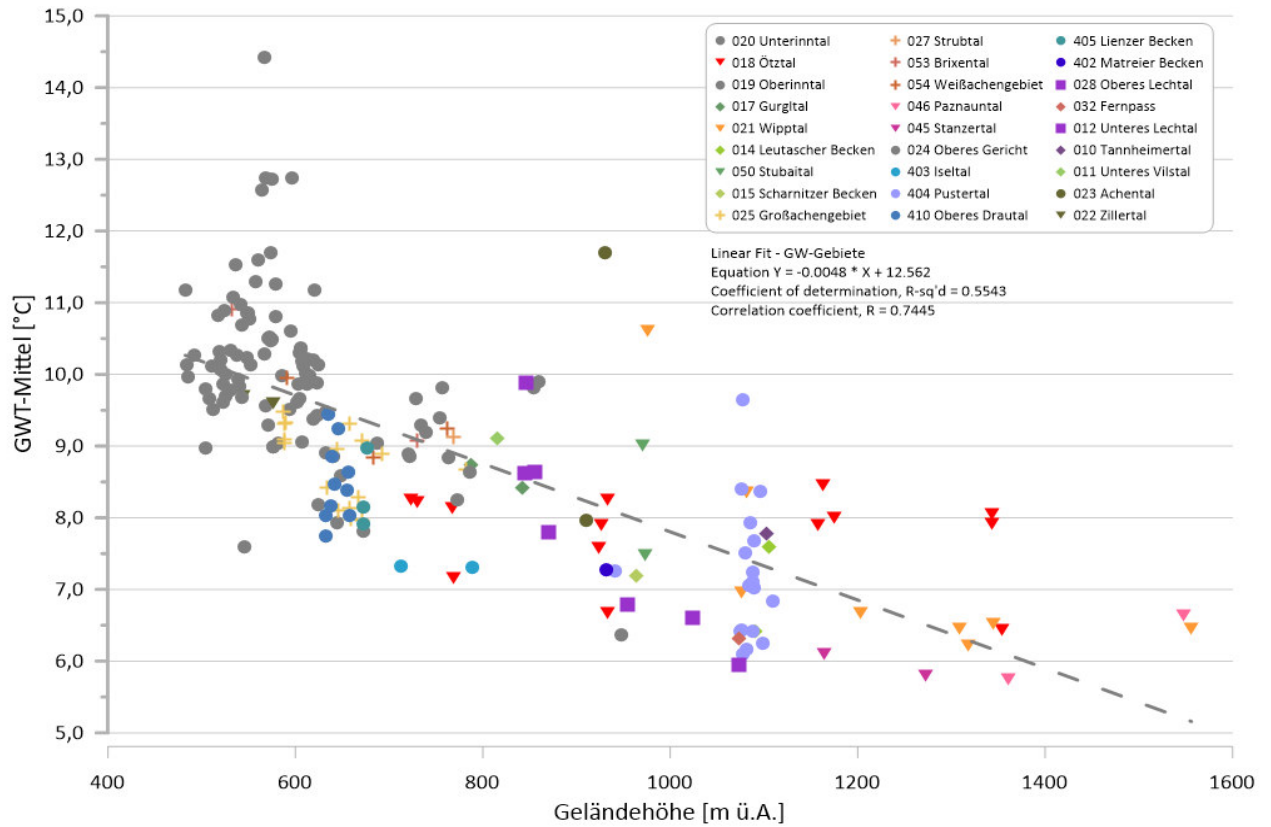


Abb. 3: Abhängigkeit der mittleren Grundwassertemperatur von der Geländehöhe

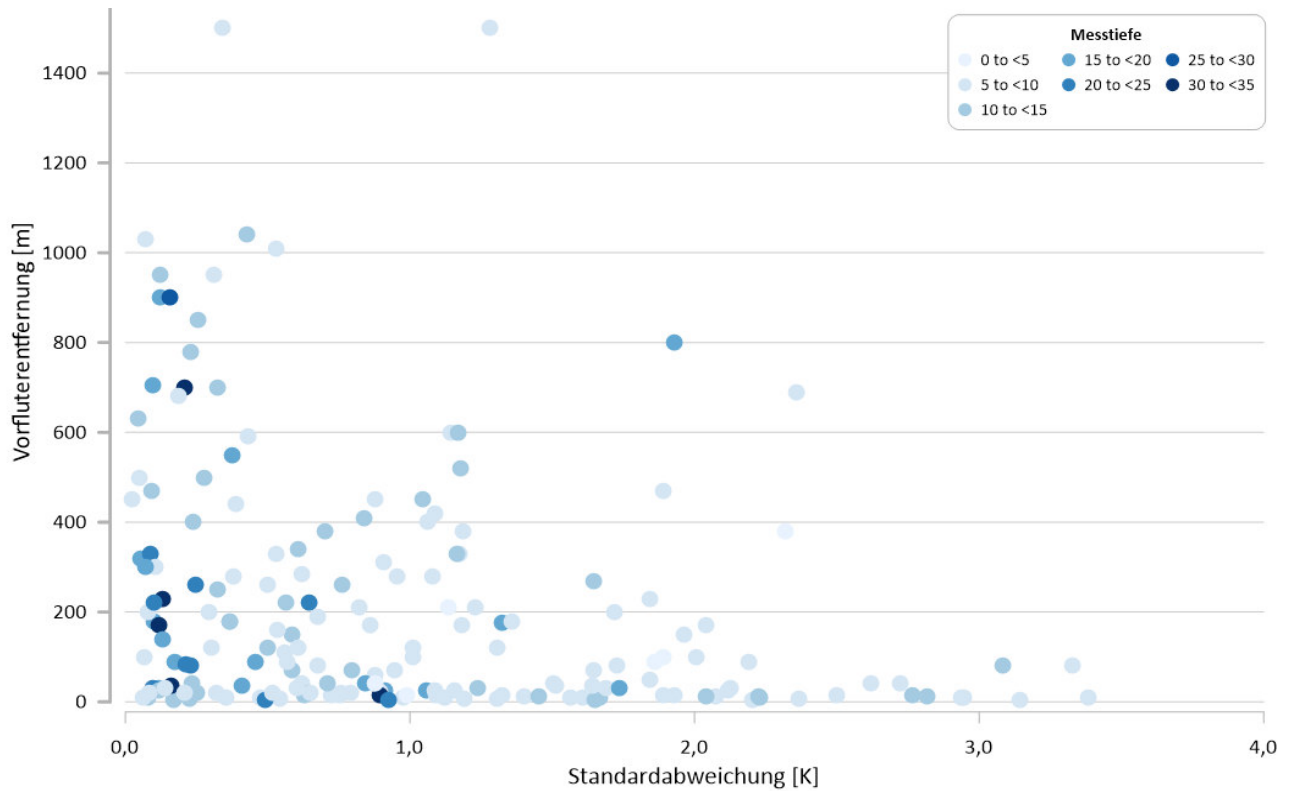
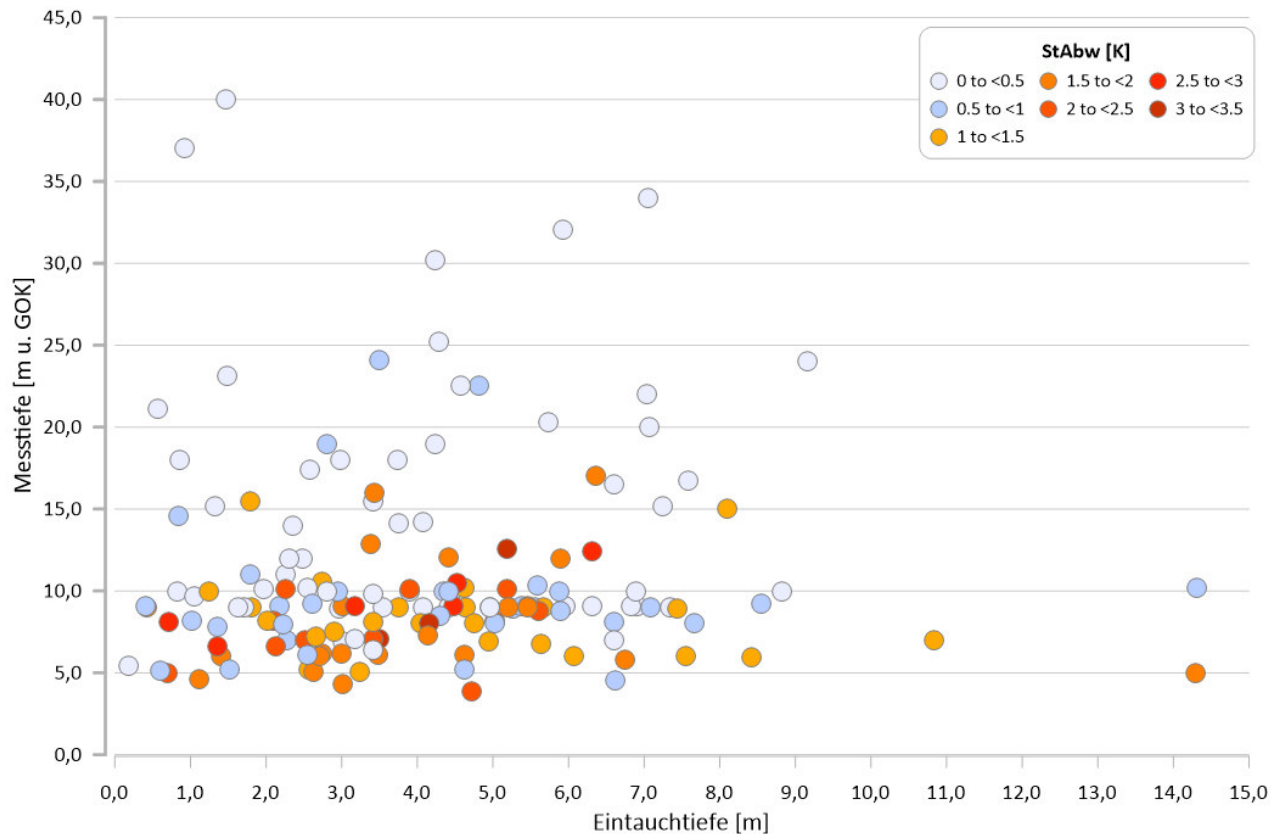


Abb. 4: StAbw vs. Vorfluterentfernung klassifiziert nach der Messtiefe



**Abb. 5:** Eintauchtiefe und Messtiefe klassifiziert nach Standardabweichung

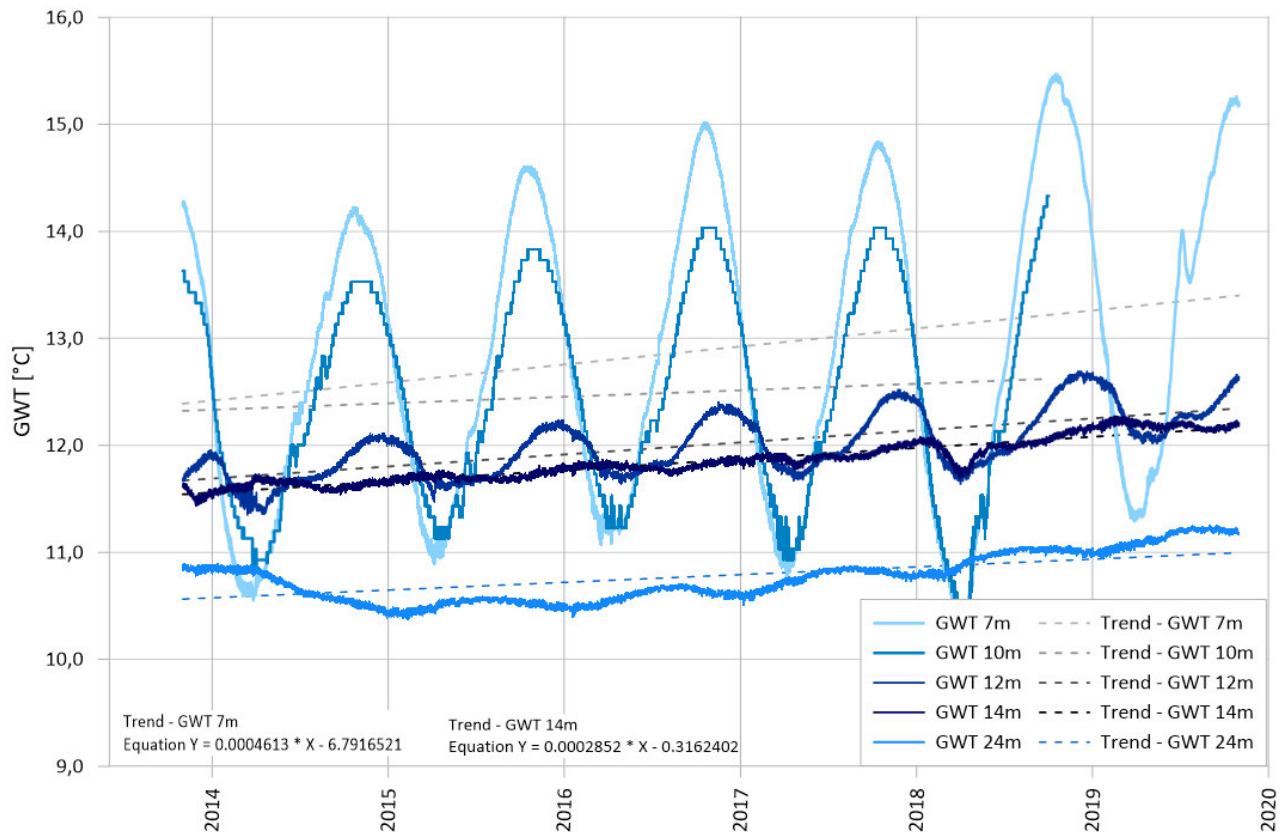
### GWT-Profile

Im Folgenden werden von den 11 Messstellen mit Temperaturprofildaten aus Stichtagsmessungen und den kontinuierlichen GWT-Aufzeichnungen aus verschiedenen Tiefenstufen exemplarisch die Auswertungen von je einer Messstelle angeführt. Dabei wird zunächst auf die kont. GWT-Messungen in fünf Tiefenstufen der Grundwassersonde GW70346034 eingegangen (Abb. 6).

Mit der Tiefe ist allgemein eine Abnahme der Temperatur zu verzeichnen. Desto tiefer zudem der Messpunkt liegt, umso weniger schwankt die GWT im Jahresverlauf. In 7 m Tiefe schwankt sie jährlich etwa zwischen ca. 11,0 °C und bis über 15,0 °C, in 14,0 und auch 24,0 m Tiefe im Jahresverlauf lediglich um etwa 0,2-0,3 K. Über den Messzeitraum weist die GWT in allen Tiefenstufen einen deutlichen Anstieg auf, der in der obersten Tiefenstufe am markantesten ist. Dort liegt sie heute um ca. 1,0 K höher als zu Beginn. In 14,0 m Tiefe beträgt der Anstieg 0,1 K pro Jahr. Die Maxima der GWT treten in der ersten Tiefenstufe im Spätsommer bis Herbst auf. Mit jeder weiteren Tiefenstufe tritt der Peak später auf, bei 12,0 m im November/Dezember, bei 14,0 m im 1. Quartal des Folgejahres. Bei der 24-m-Tiefenstufe dann sogar zur Jahresmitte.

Allgemein weist die unterste Tiefenstufe ein anderes Verhalten auf als die vier oberen, die GWT sinkt zunächst bis Anfang 2015 und steigt ab dort ähnlich der 14-m-Stufe an, allerdings phasenverschoben und mit einem Versatz von ungefähr 1,0 K.

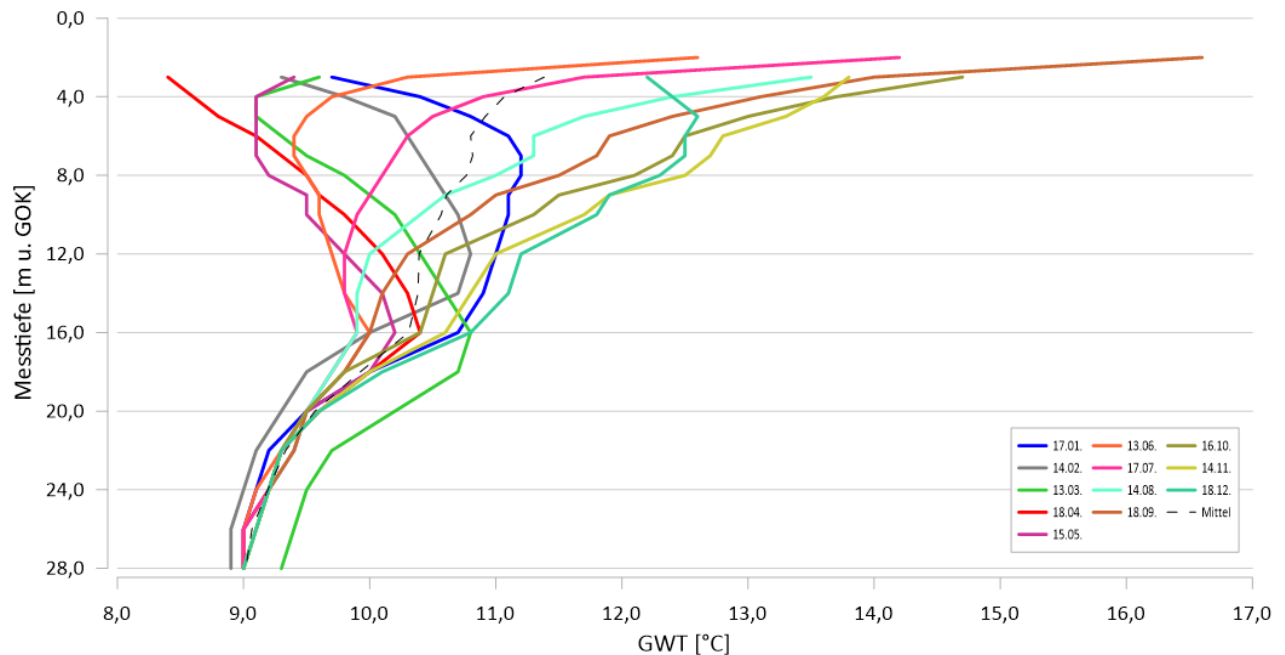
14. bis 15. Oktober 2021



**Abb. 6:** Verlauf der GWTs der Sonde GW70346034 von 2013 bis 2020

Das zweite Beispiel zeigt die Temperatur-Tiefenprofile der monatlichen Stichtagsmessungen aus dem Jahr 1999 an der Messstelle Hötting Blt 27 (Abb. 7). Im Gegensatz zu den in weiteren Profilen vorherrschenden eher symmetrischen Trichterformen oder auch Glockenformen weist diese Messstelle eine stark verzerrte Trichterform auf, die oberflächennah erhöhte GWTs anzeigt. Die stark verzerrte Trichterform spiegelt sich auch beim Mittelwert wider, der an der Basis bei etwa 9,0 °C beträgt, bis 16,0 m Tiefe bereits auf über 10,0 °C ansteigt und dann im oberflächennahen Bereich fast 11,3 °C erreicht.

In 3,0 m Tiefe beträgt die Schwankungsbreite der GWT nahezu 8,0 K, in 28,0 m Tiefe lediglich etwa 0,5 K. Von August bis November nimmt die GWT kontinuierlich ab, im März und Mai kommt es gar zu einer doppelten Temperaturumkehr, die GWT nimmt erst von 3,0 zu 4,0 m ab, bleibt kurz gleich, steigt dann bis 16,0 m an, um hernach wieder abzunehmen. Bei 16 m existiert ein markanter Knickpunkt, ab dem die GWT zu jedem Zeitpunkt abnimmt. Von diesem Punkt abwärts liegt die Spreizung bei weniger als 1,0 K.



**Abb. 7:** monatliche Temperaturprofile des Jahres 1999 der Messstelle Hötting Blt 27

### GWT-Trends und Climate Regime Shifts

Zur Trendanalyse wurden 13 Stationen ausgewählt, die den längsten gemeinsamen Zeitraum an GWT-Daten abdecken (GW70223001, GW70320020, GW70335017, GW70411041, GW70419012, GW70512012, GW70514034, GW70520103, GW70531102, GW70716067, GW70801003, GW70905013, GW70936039). Für jeden Tag des Zeitraumes wurden auf Tagesbasis je Minima, Maxima, Mittelwerte sowie 5- und 95-Perzentilen berechnet und letztlich eine Vertrauensbereich-Grafik erstellt (Abb. 8).

Der Mittelwert liegt bei knapp 9,1 °C, wobei 2007 mit 8,7 °C das kälteste und 2017 mit 9,5 °C das wärmste Jahr war. Daraus lässt sich ein linearer Anstieg von 0,06 K pro Jahr ableiten. Allerdings ist ebenfalls deutlich, dass es keinen klar linearen Anstieg gibt, sondern sich die Werte bis 2012 auf einem ähnlichen Niveau bewegen (im Mittel 8,9 °C), wohingegen sie ab 2014 ein Mittel von 9,4 °C aufweisen.

Die Maxima liegen im Mittel bei 10,6 °C, der Anstieg der Temperatur ist deutlicher und liegt bei mehr als 0,08 K pro Jahr. Auch hier ist aber ersichtlich, dass der Anstieg eigentlich nicht linear erfolgt, sondern sich ähnlich zu den Mittelwerten bis etwa 2012 auf einem ähnlichen Niveau bewegt (Mittelwert 10,4 °C) und ab 2013/14 deutlich höher liegt (11,2 °C). Die Minima hingegen zeigen den geringsten Anstieg und weisen zudem die höchsten Schwankungen auf.

Auffällig sind darüber hinaus die Zeitpunkte der Maxima und Minima. So treten die jährlichen Maxima der Temperatur im Mittel nahezu ausschließlich in der zweiten Jahreshälfte auf, meist im Spätherbst bis Winter. Die jährlichen Minima der Mittel- und Maximaltemperaturen treten schwerpunktmäßig zwischen März und Mai auf.



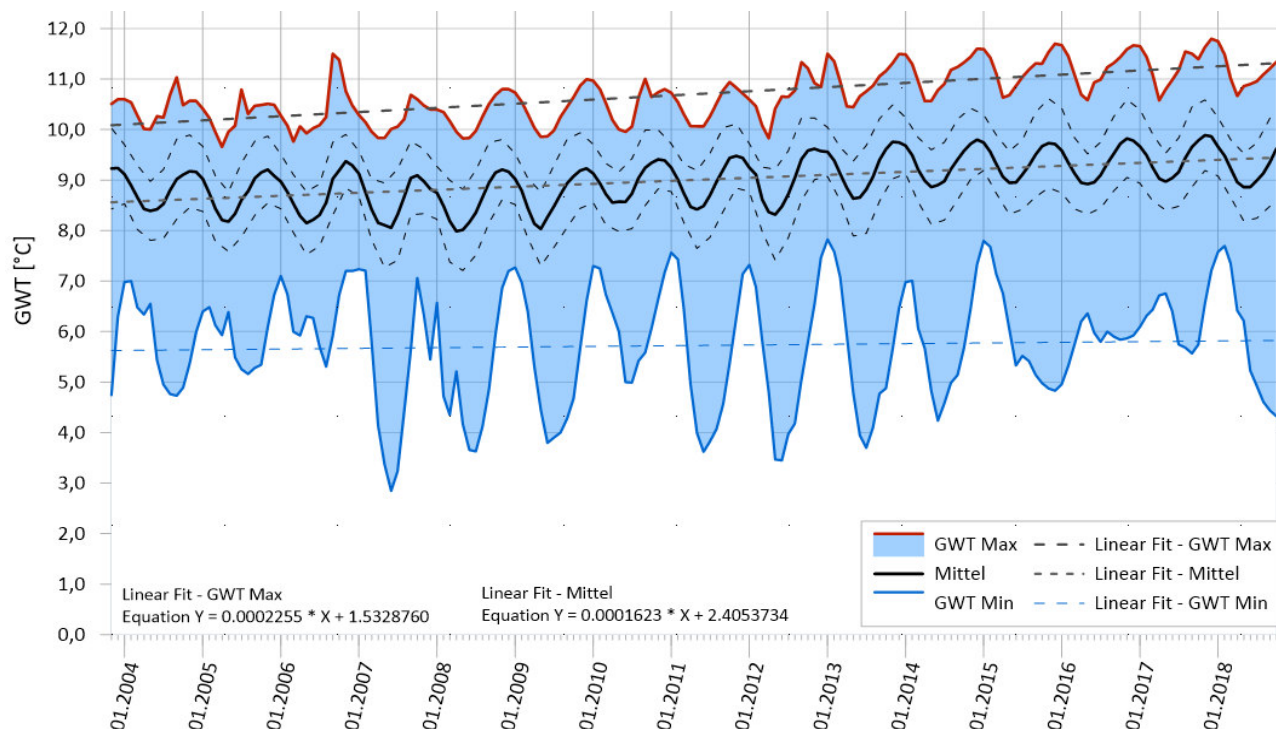


Abb. 8: Trendanalyse der Temperatur für den Zeitraum 01.11.2003 bis 31.10.2018

Um diese Hypothese zu überprüfen, dass es sich bei dem auffällig nicht-linearen Anstieg der GWT im Bereich der Jahre 2010 bis 2014 um einen Climate-Regime-Shift handeln könnte, wurde das CRS Detection Tool (RODIONOV, 2004) auf sechs Datenreihen im von 2003 bis 2018 angewendet.

Bei einem Significance Level von 0,15, einer Cut-Off-Length von 10 Jahren und einem Huber Weight Parameter von 1 (gemäß BENZ ET AL., 2018) ergibt sich im Jahr 2010 (und auch für Folgejahre) ein deutlich erhöhter Regime-Shift-Index (

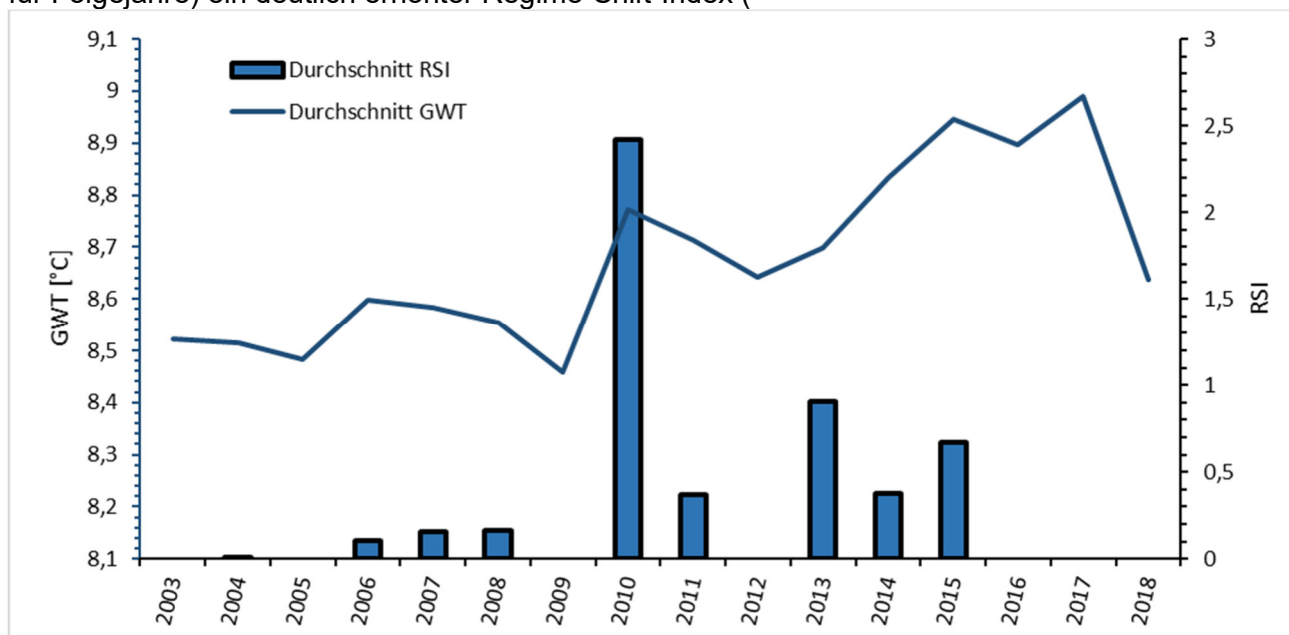
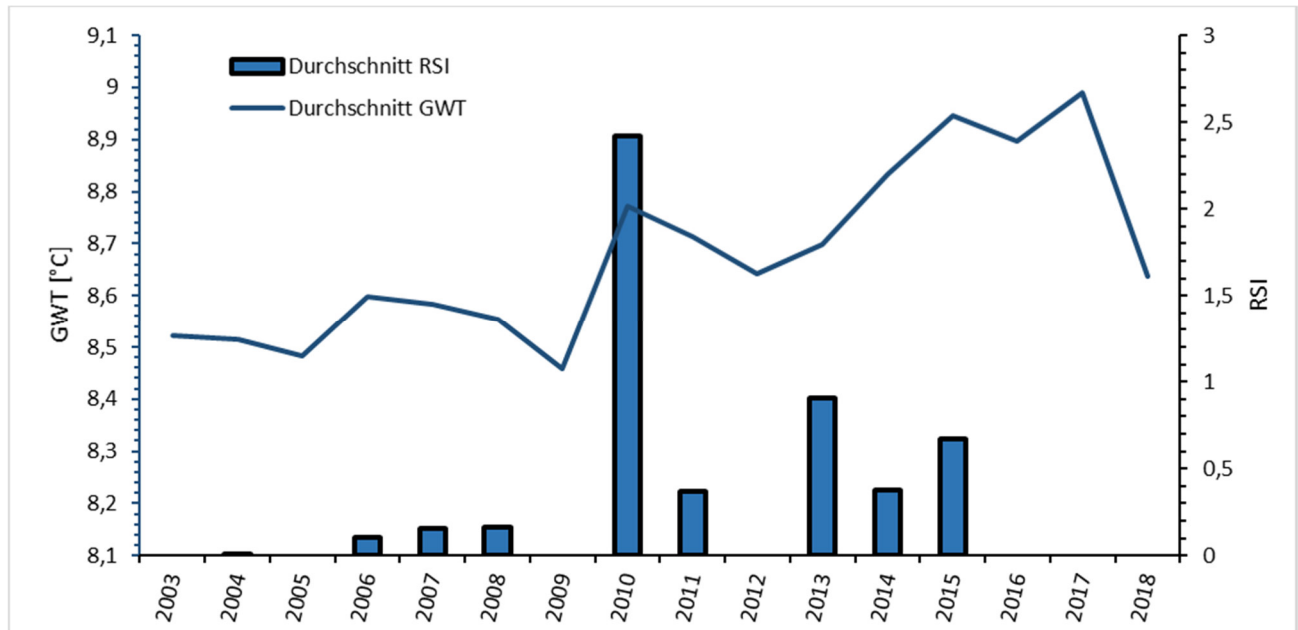


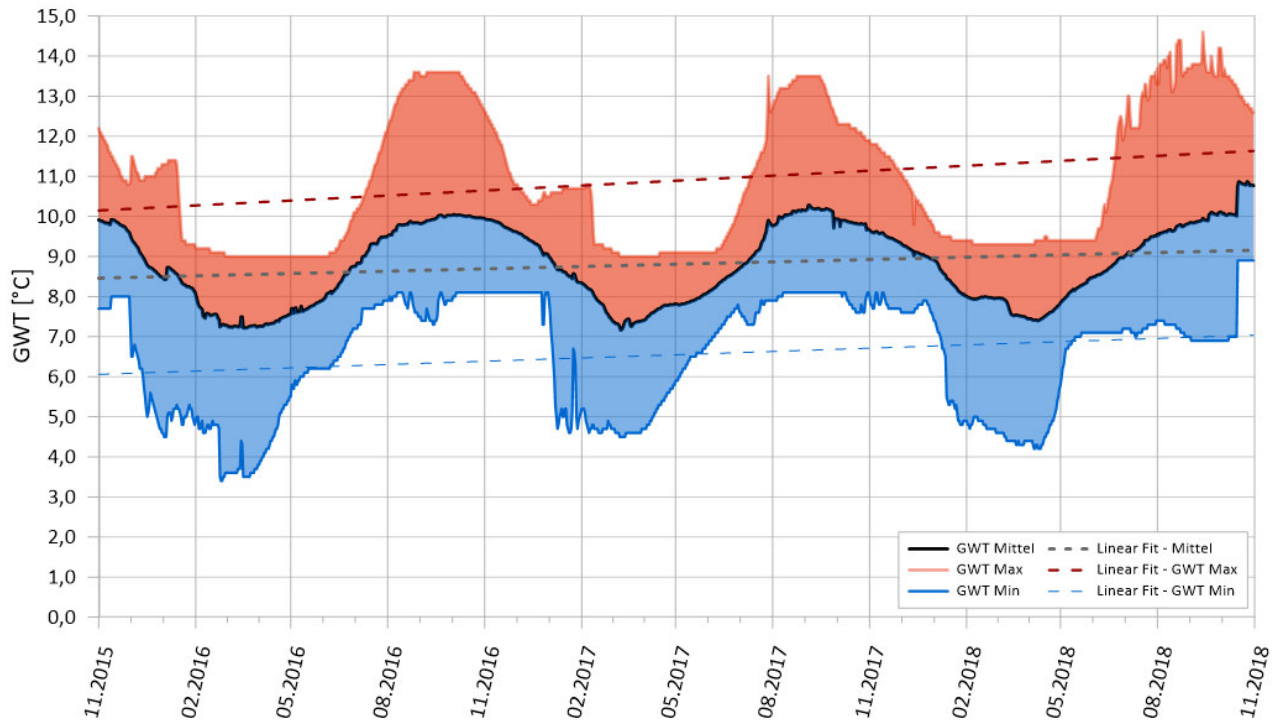
Abb. 9(Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.). Das deutet auf die Möglichkeit hin, dass sich in den Zeitreihen der ausgewählten Messstellen tatsächlich die Auswirkungen eines Climate-Regime-Shifts widerspiegeln.



**Abb. 9:** Jahresmittelwerte der GWT und Regime-Shift-Index (RSI)

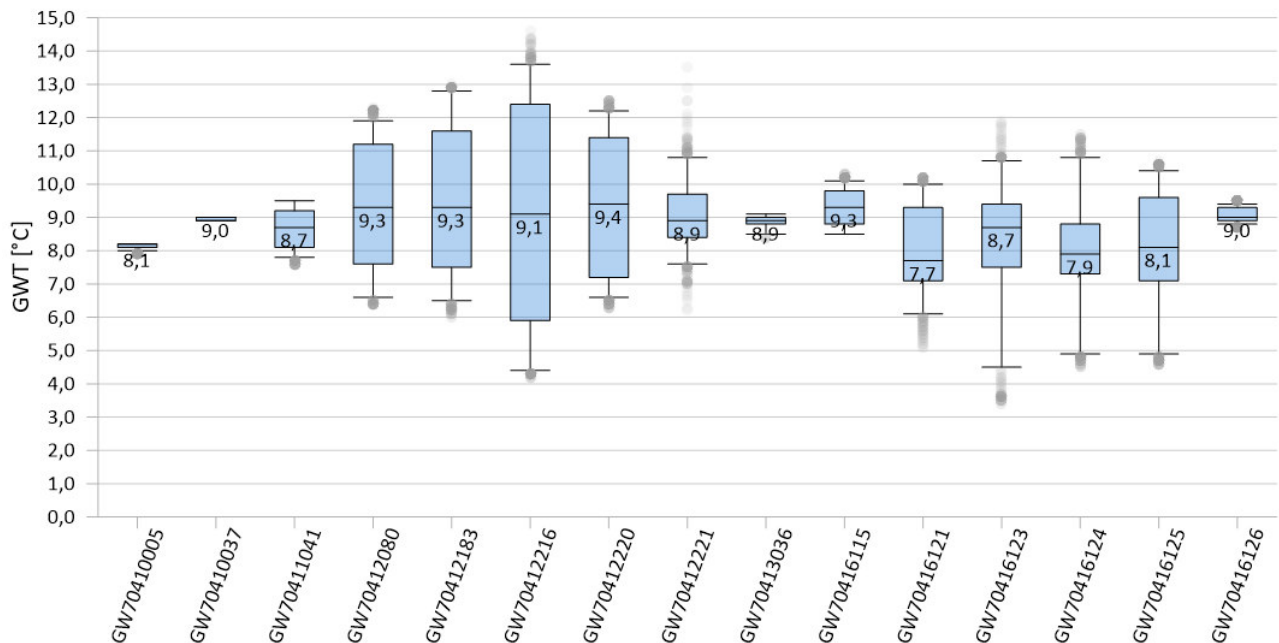
### Beschreibung und Klassifikation der Grundwassergebiete

Auf Basis der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Analysen wurden schließlich die 37 Grundwassergebiete Tirols beschrieben. Dabei wurde zunächst eine Übersichtsabbildung einschließlich der Position der Grundwassersonden vorangestellt und nachfolgend jeweils auf die Datenlage eingegangen. Lagen Daten aus kontinuierlicher Aufzeichnung vor, wurden diese für den Referenzzeitraum geplottet. Ab einer gewissen Anzahl an Datenreihen wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit eine Vertrauensbereich-Abbildung erstellt. Ein Beispiel dafür zeigt Abb. 10, in welcher die Daten der 15 Sonden im GWG Großachengebiet zusammengefasst sind.



**Abb. 10:** Vertrauensbereich-Darstellung der Messstellen im Großachengebiet

Für einen besseren Überblick über mittlere GWT, Schwankungsbreite und Perzentilen wurde zusätzlich zur tabellarischen Darstellung noch zu jedem GWG ein Box-Whisker-Plot erstellt und eingefügt. In Abb. 11 sind die Charakteristika der 15 Grundwassersonden aus dem GWG Großachengebiet dargestellt. Bei relativ ähnlichem GWT-Niveau sind hier gut die starken Unterschiede bei den Schwankungsbreiten erkennbar.



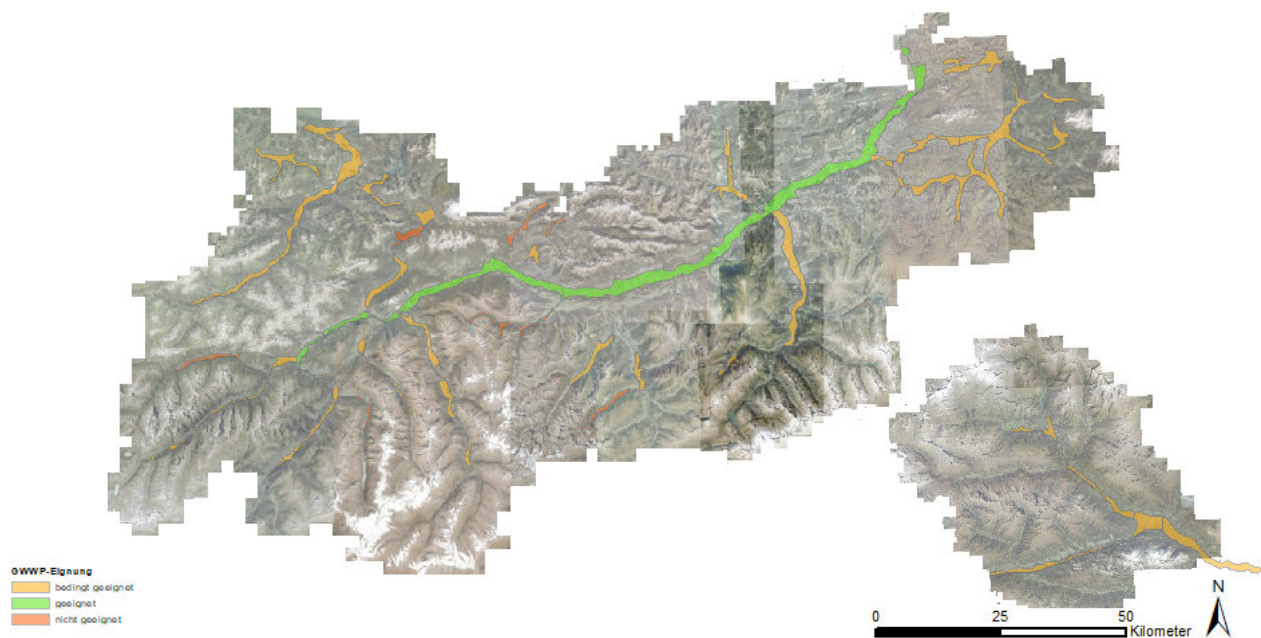
**Abb. 11:** Whisker-Plots der Datenreihen im GWG Großachengebiet

Lagen keine kontinuierlichen Daten vor oder wurden aus anderen Gründen Einzelmessungen aus dem WIS,

aus Bescheiden oder der GZÜV herangezogen, wurde dies gesondert angeführt und jedenfalls von einer grafischen Darstellung abgesehen.

Die Beschreibung eines jeden GWG wird von einem farblich gekennzeichneten Kästchen abgeschlossen, welches die „Einschätzung“ der GWT-Situation im GWG einschließlich gemessener und berechneter mittlerer GWT und Schwankungsbreite etc. enthält. Die farbliche Kennzeichnung der Grundwassergebiete je nach Eignung zur thermischen Grundwassernutzung (insb. zu Heizzwecken) erfolgte wie in der Methodik beschrieben in drei Kategorien – grün = „geeignet“, orange = „bedingt geeignet“, rot = „nicht geeignet“. Die GWG wurden im GIS gleichsam eingefärbt, die Übersichtskarte von Tirol kann in Abb. 12 eingesehen werden. Zusätzlich wurden die Ist-Daten aller 204 Messstellen als klassifizierte Punkte eingebunden, die aber in der Abbildung aus Übersichtsgründen nicht enthalten sind.

Die Klassifikation der GWG lässt natürlich einen gewissen Ermessensspielraum, in manchen Gebieten wurde nicht nur die mittlere GWT als Kriterium herangezogen, sondern auch Wasserqualität bzw. bekannte Probleme mit selbiger oder insbesondere zu hohe Grundwasserstandsschwankungen bzw. allgemein zu tiefes GW-Niveau (z.B. Leutascher Becken, Hinteres Zillertal). Selbstredend lassen sich in jedem Grundwasserkörper Standorte finden, an denen aufgrund von z.B. Entnahmetiefe, Auslegung der Anlage, hydrogeologischen Gegebenheiten die Anforderungen an das GWT-Niveau nicht erfüllt werden können. Zudem sind die Grundwassergebiete teils sehr große Einheiten, die sich oft über Längen von etlichen Kilometern und über mehrere hundert Höhenmeter erstrecken. Daraus resultierende Unterschiede wurden versucht bei der Einschätzung zu berücksichtigen.



**Abb. 12:** Übersichtskarte der Grundwassergebiete Tirols mit Klassifizierung nach Eignung für GWWP

### Abschätzung von GWT und Schwankungsbreiten

Bis auf gewisse Ausnahmen kann die mittlere GWT hinreichend gut mit der aus den statistischen Auswertungen abgeleiteten vereinfachten Regressionsgleichung abgebildet werden:

$$GWT_{mean} [^{\circ}C] = 12,8 \text{ } ^{\circ}C - 0,005 \left[ \frac{K}{m} \right] * \text{Geländehöhe [m ü. A.]}$$

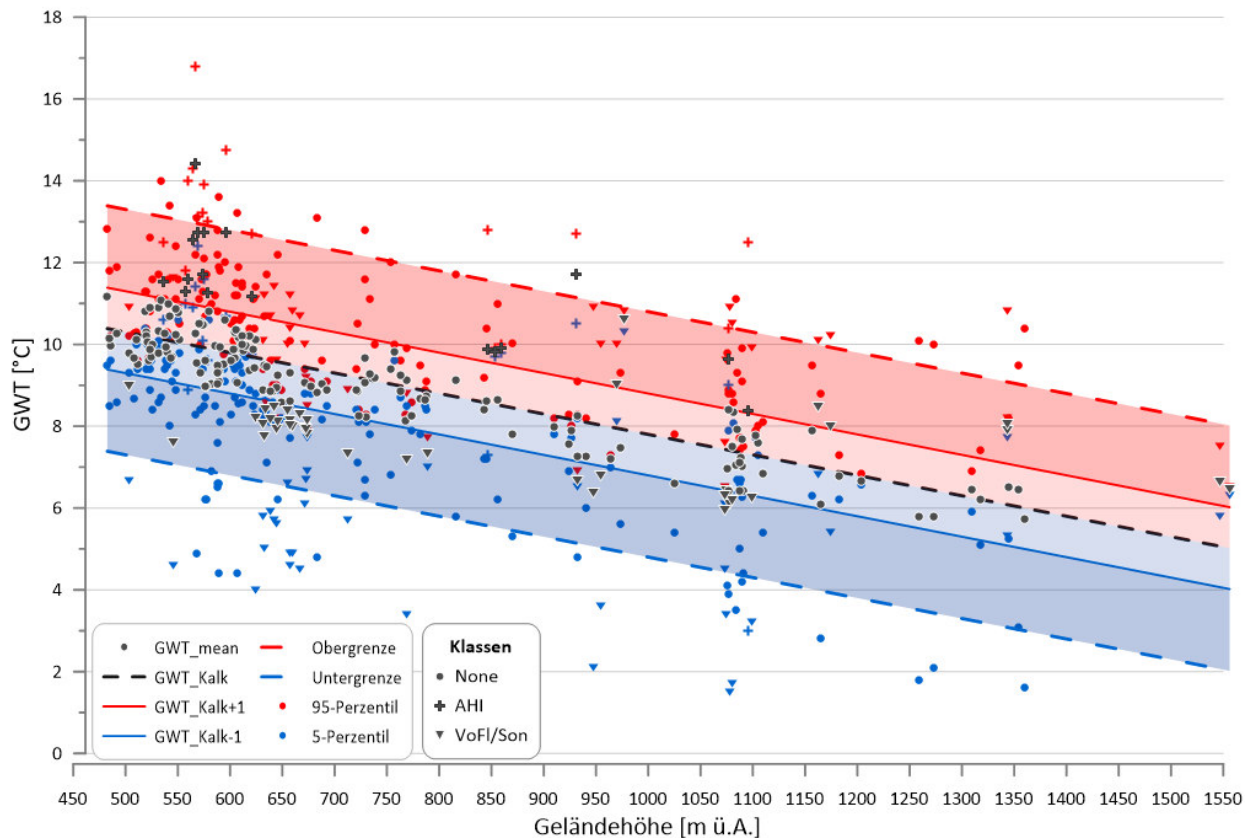
Unter Berücksichtigung der Unterschiede der mittleren GWT an einzelnen Standorten erscheint eine Bandbreite von  $\pm 1,0$  K repräsentativ. Somit ergibt sich

$$GWT_{mean} [^{\circ}C] = 12,8 \text{ } ^{\circ}C - 0,005 \left[ \frac{K}{m} \right] * \text{Geländehöhe [m ü. A.] } \pm 1 \text{ K}$$

Zur Annäherung an die durchschnittliche saisonale Schwankungsbreite bietet sich die Betrachtung der Differenz zwischen 95er- und 5er-Perzentile an, die nach verschiedenen Tests mit  $\Delta GWT = \pm 2,0$  K angesetzt wurde. Damit ergibt sich für jeden potenziellen Messstellenort  $GWT = GWT_{mean} + \Delta GWT$ , was einer absoluten saisonalen Schwankungsbreite von 3,0 K um den auf Basis der Höhenlage ermittelten mehrjährigen Mittelwert gleichkommt.

Um diese Herangehensweise zu überprüfen, wurde für 204 Messstellen die mittlere GWT für die jeweilige Geländehöhe auf Basis der Regressionsgleichung kalkuliert und mit den Messwerten verglichen. Zusätzlich wurde das Intervall  $\pm 1,0$  K für jede Messstelle berechnet und letztlich überprüft, ob die Mittelwerte in diesem Intervall liegen. Das ist bei 148 von 204 Sonden der Fall, also bei 73 %. Bei den 56 Messstellen, die außerhalb des Intervalls liegen, wurde nachfolgend überprüft, welche Ursache dies haben könnte. Dabei wurde letztlich in drei Fälle unterschieden: AHI (Anthropogenic Heat Index), hoher Vorflutereinfluss und Sonstige. Diese wurden zunächst grob automatisiert klassifiziert und nachfolgend individuell überprüft. So ließen sich letztlich von den 56 abweichenden Messstellen 17 als „AHI“ und 19 als „vorfluterbeeinflusst“ klassifizieren. 20 fallen in die Klasse „Sonstige“.

Dieser Vergleich von berechneter GWT, gemessener GWT und Bandbreite einschließlich Klassifizierung wurde in Abb. 13 zusammenfassend dargestellt. Zusätzlich wurde die Abbildung noch um die berechnete mittlere Schwankungsbreite  $\Delta GWT$  von  $\pm 2,0$  K ergänzt sowie P95 und P5 sämtlicher Messstellen geplottet. Der Einfachheit halber wurde die Klassifizierung in „None“ (= unauffällig), „AHI“ (Anthropogenic Heat Index) und „Vorflutereinfluss/Sonstige“ vorgenommen. Bei 144 von 204 Messstellen liegt die Gesamtschwankungsbreite innerhalb  $\pm 3,0$  K um den errechneten Mittelwert.



**Abb. 13:** Zusammenfassende Gegenüberstellung von GWT\_mean, P5 und P95 aller Datenpunkte sowie von GWT\_kalk einschließlich Bandbreite ( $\pm 1,0$  K) und Schwankungsbreite ( $\pm 2,0$  K)

## Schlussfolgerungen/Diskussion

### Bedeutung für thermische Grundwassernutzungen

Im Hinblick auf die thermische Nutzung von Grundwasser kann festgehalten werden, dass es auch in Höhenlagen von über 1.200 m ü. A. durchaus möglich erscheint, Wärmepumpen effizient zu betreiben. Diese müssen allerdings auf niedrigere Temperaturspreizungen im Bereich von 1,0 bis 1,5 K ausgelegt werden. Allerdings kann es aufgrund der saisonalen Schwankungen insbesondere in Vorfluternähe und bei zu oberflächennahen Entnahmen des Wassers im Winter und Frühjahr zum Absinken der GWT unter 5,0 °C kommen, womit die zulässige Rückgabetemperatur unterschritten wird und keine Wärme mehr entzogen werden darf/kann. Das kann aber nicht nur in Höhenlagen jenseits der angeführten 1.200 m ü. A. zu Schwierigkeiten führen, sondern auch in Innsbruck oder gar Kufstein. Bei Entnahmetiefen  $< 10$  m ist jedenfalls mit einer Schwankungsbreite von  $\pm 1,0$ – $2,0$  K zu rechnen, bei relativer Vorfluternähe (z. B. am Inn bis etwa 100 m)  $\pm 2,0$ – $3,0$  K. Ob und wie stark der Vorfluter mit dem Grundwasser interagiert und wann Minima der GWT auftreten können, ist von einer Vielzahl an Standortbedingungen abhängig, so auch der Sohl- und Uferdynamik etc. Daher ist eine Detailbetrachtung jedenfalls notwendig und bei Planungen sollte insbesondere die Vorflutertemperatur und deren Einfluss genauer betrachtet werden.

### Abschätzung der GWT – Eignung der Regressionsgleichung

Die abgeleitete Regressionsgerade eignet sich im Wesentlichen, um die mittleren GWT sowie die zu

erwartenden saisonalen Schwankungsbreiten annäherungsweise abzubilden. Es sind damit Einschränkungen verbunden, die sich aus der einfachen Natur der Regressionsgerade ergeben. Neben dem AHI, der damit nicht berücksichtigt werden kann, sind das vor allem Gebiete allgemein höherer GWT aufgrund z.B. eines höheren geothermischen Gradienten oder auch geringere GWTs durch erhöhten Vorflutereinfluss. Je nach Messort, -tiefe, Vorfluterabstand, Grundwasserkörper etc. kommt es dadurch natürlich auch zu Abweichungen von der Berechnung.

Möglicherweise lässt sich die Gleichung zur Berechnung der mittleren GWT derart erweitern, dass u.a. Vorflutereinfluss und AHI als „Module“ eine Berücksichtigung finden. Das bestehende Höhenmodul könnte beispielsweise um ein Vorflutermodul, ein AHI-Modul und ein Geothermie-Modul ergänzt werden. Zur Abschätzung der Schwankungsbreite und Saisonalität wären ein zusätzliches Messtiefe-Modul vorstellbar.

### **Bedeutung von Messtiefe, Messstellenausbau**

Der Messtiefe der GWT und damit auch dem Messstellenausbau kommt bei der Interpretation der Datenreihen eine besondere Bedeutung zu. Optimal wären GWT-Messungen – sofern es die Grundwasserstände zulassen – in einer einheitlichen Messtiefe. Ebenso spielt es eine Rolle, wie stark die Konvektion innerhalb der Messstelle ausgeprägt ist. Teils wird sich an LEDITZKY (1986) orientiert und 2“-Rohre für den Messstellenausbau verwendet. Für die GWT-Tiefenprofile z. B. wurde alle Messstellen in diesem Durchmesser ausgebaut und zudem nur der unterste halbe Meter mit einem Filterrohr versehen. Darüber hinaus wäre es zur umfassenderen Interpretation und für ein erhöhtes Detailverständnis wichtig, die Bohrprofile und damit Hydrogeologie an den Standorten zu berücksichtigen.

### **Literaturverzeichnis**

- Benz, S. A., Bayer, P., Menberg, K., Jung, S. & Blum, P. (2015): Spatial resolution of anthropogenic heat fluxes into urban aquifers. *Science of the Total Environment*, 524-525, 427-439.
- Benz, S. A., Bayer, p., Goettsche, F. M., Olesen, F. S. & Blum, P. (2016): Linking Surface Urban Heat Islands with Groundwater Temperatures. *Environmental Science & Technology*, 50, 70-78.
- Benz, S. A., Bayer, P. & Blum, P. (2017a): Global patterns of shallow groundwater temperatures. *Environmental Research Letters*, 12 (2017), 1-8.
- Benz, S. A., Bayer, P. & Blum, P. (2017b): Identifying anthropogenic anomalies in air, surface and groundwater temperatures in Germany. *Science of the Total Environment*, 584-585 (2017), 145-153.
- Benz, S. A., Bayer, P., Winkler, G. & Blum, P. (2018): Recent trends of groundwater temperatures in Austria. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2017, 1-16.
- Constantz, J. (1998): Interaction between stream temperature, streamflow, and groundwater exchanges in alpine streams. *Water Resources Research*, 34(7), 1609-1615.
- Constantz, J., Stewart, A. E., Niswonger, R. & Sarma, L. (2002): Analysis of temperature profiles for investigating stream losses beneath ephemeral channels. *Water Resources Research*, 38 (12), 52-1 - 52-13.
- Kappelmeyer, O., & Haenel, R. (1974): *Geothermics with Special References to Application*, Geoexploration Monographs, 1 ed G Associates (Berlin Stuttgart: Gebrüder Borntraeger), 1974
- Leditzky, H. (1986): Vergleichende Grundwassertemperatur-Profilmessungen in der Steiermark., , 44-62.
- Menberg, K., Bayer, P., Zosseder, K., Rumohr, S. & Blum, P. (2013): Subsurface urban heat islands in German cities. *Science of the Total Environment*, 442, 123-133.

- Menberg, K. (2014): Anthropogenic and natural alterations of shallow groundwater temperatures., , 135.
- Menberg, K., Blum, P., Kurylyk, B. & Bayer, P. (2014): Observed groundwater temperature response to recent climate change. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 4453-4466.
- Rodionov, S. N. (2004): A sequential algorithm for testing climatic regime shifts. *Geophysical Research Letters*, 31, 1-4.
- Rolland, C. (2002): Satial and Seasonal Variations of Air Temperature Lapse Rates in Alpine Regions. *Journal of Climate*, 15, 1-16.
- Stonestrom, D. A. & Constantz, J. (2004): Using Temperature to Study Stream-Ground Water Exchanges.
- Tissen, C., Benz, S., Menberg, K., Bayer, P. & Blum, P. (2019): Groundwater temperature anomalies in central Europe. *Environ. Res. Lett.*, 14(2019), 1-10.
- UBA (2011): Trends der Grundwassertemperatur. Untersuchungen von Daten der Überwachung des Gewässerzustands in Österreich. , 28.



**Danksagung Geoforum 2021:**

*Wir möchten Herrn Landeshauptmann-Stellvertreter ÖR Josef Geisler sehr für seine wohlwollende Unterstützung des 23. Geoforums Umhausen 2021 danken. Seine Wertschätzung unserer jährlichen Tagungen ist für uns eine große Motivation für den steten Erfolg der Geoforums-Tagungen zu sorgen.*

*Seit der ersten Tagung Geoforum Umhausen im Jahr 1999 steht uns Herr KO Bürgermeister Mag. Jakob Wolf mit aller Tatkraft zur Seite. Er und die hilfreichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter seiner Gemeinde Umhausen stellen eine tragende Säule des Geoforums dar. Vielen herzlichen Dank dafür. Dankend hervorheben möchte ich in diesem Zusammenhang auch heuer wieder die uns stets hilfreich zur Seite stehende Frau Lisa Falkner, stellvertretend auch für alle anderen Gemeindebediensteten. Die Tagung 2021 war natürlich wieder unter dem Unstern der Covid-19 Pandemie durchzuführen. Gerade auch dies wäre ohne Gemeindeunterstützung wohl nicht möglich gewesen.*

*Das Plakat für den Abendvortrag hat auch heuer wieder Herr Manfred Scheiber/Vorstand der Raiffeisenbank Vorderes Ötztal eindrucksvoll gestaltet. Wir möchten uns daher auch bei Herrn Scheiber sehr herzlich dafür bedanken.*

*Das Organisationsteam des Vereines Geoforum Tirol ist zwar sehr klein, dafür aber besonders effizient. Es ist mir ein großes Bedürfnis für die perfekte Organisationsabwicklung allen voran Frau Mag. Petra Nittel-Gärtner (Landesgeologie) und Herrn Mag. Wolfram Mostler, sowie seiner Mitarbeiterin Mag. Denise Braunhofer (beide Technisches Büro für Ingenieurgeologie Mostler, ig.m) Danke zu sagen. Weiters gilt mein Dank dem Leiter der Tiroler Landesgeologie, Herrn Mag. Thomas Figl und seinen Geologinnen und Geologen für Ihre Unterstützung.*

*Unser Dank gilt letztlich allen Sponsoren der jährlichen Tagungen Geoforum Umhausen.*

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



projekt-partner

koordination mediation kommunikation



**FRÖSCHL BAU**



**PLATTNER & CO**



**Baugesellschaft m.b.H.**

