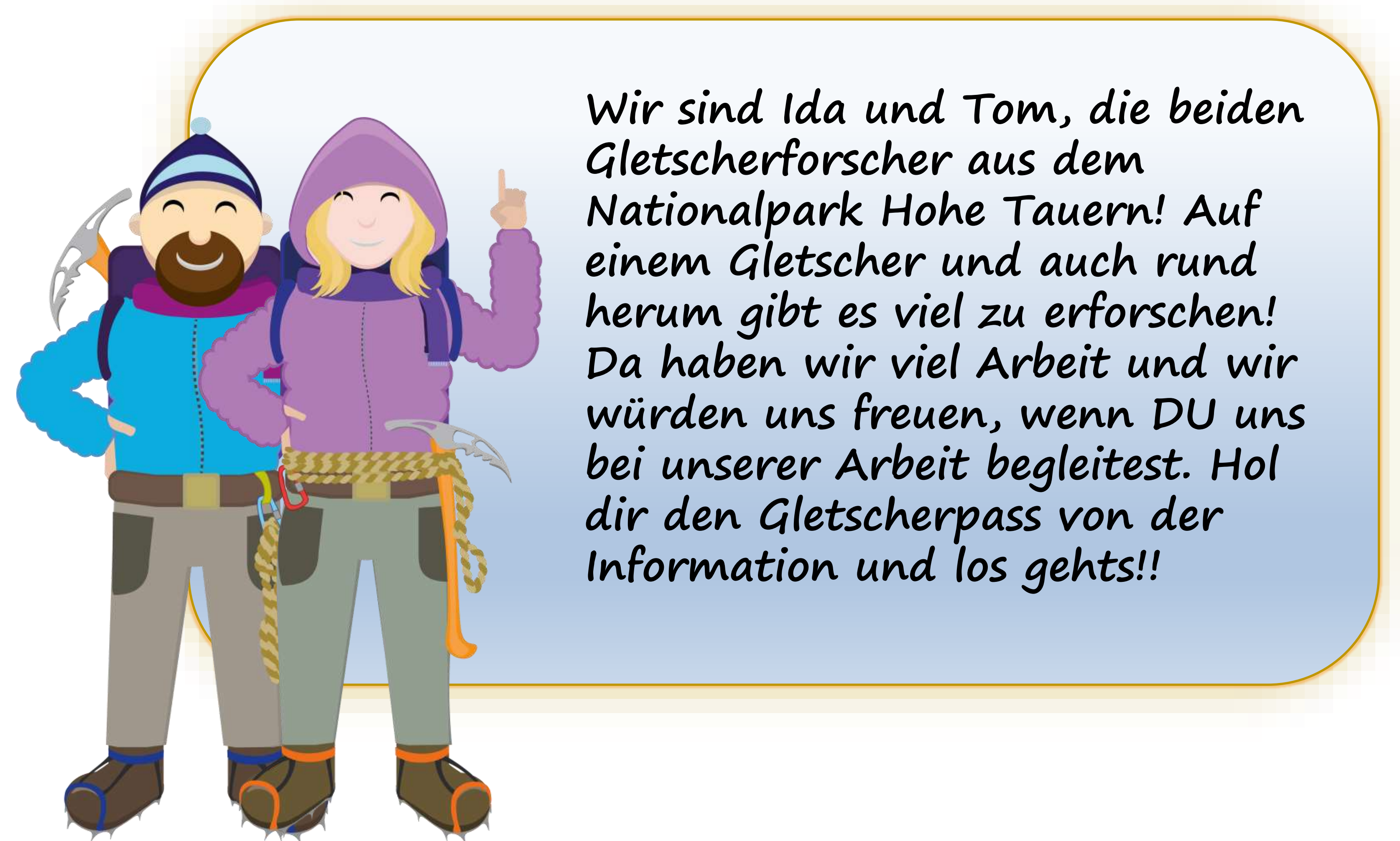


Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern

Herzlich Willkommen in der Ausstellung „Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern“. Beginnend bei eiszeitlichen Moränenständen besteigen wir in dieser Ausstellung einen Berggipfel, wobei das Gletschervorfeld und der Gletscher selber überquert werden. Folgende Darstellung zeigt einen modellhaften Aufbau und bietet eine Orientierung durch die Ausstellung.

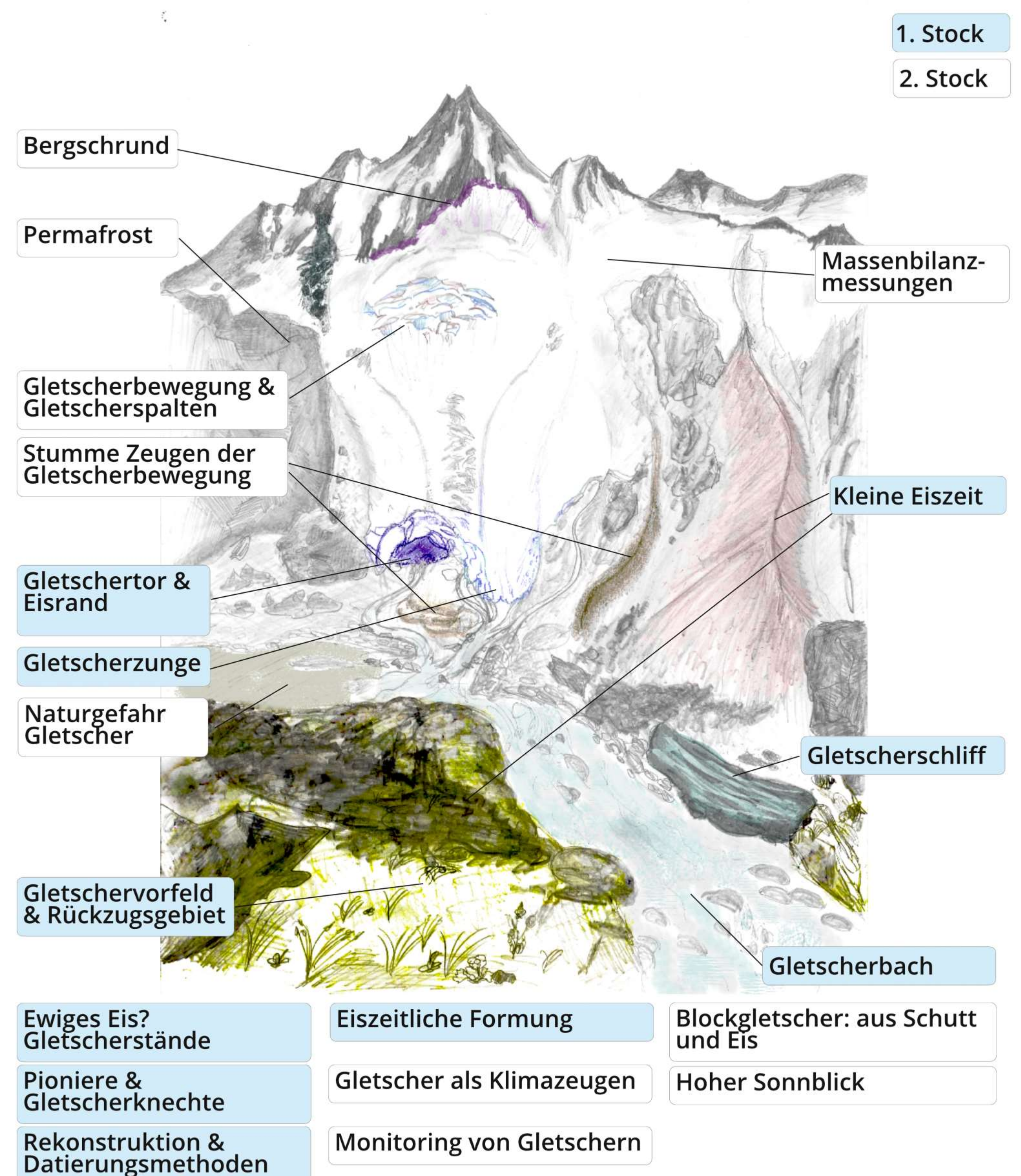
In dieser Ausstellung können interessante Informationen zu Prozessen von und rund um Gletscher im Nationalpark gesammelt werden. Weiters führen euch **Ida und Tom**, die beiden Gletscherforscher des Nationalparks Hohe Tauern, durch die Ausstellung. Kinder als auch Erwachsene sind eingeladen, Tom und Ida bei ihrer Forschungsarbeit am Gletscher zu unterstützen. Hole dir dazu den Gletscherpass und dann kann es schon losgehen.

Das Team des Nationalparks wünscht viel Spaß in der Ausstellung. Was haben Ida und Tom alles zu entdecken und zu beforschen?



Die Bezeichnung Gletscher wird aus dem lateinischen Wort „glacies“ abgeleitet und bedeutet Eis. Regionsspezifisch werden verschiedene Bezeichnungen, wie Ferner oder Kees verwendet und meinen alle Gletscher (Fraedrich 2016).

Gletscher und polare Inlandeisgebiete bedecken mit fast 15 Millionen km² (entspricht 3%) die Erdoberfläche (Embleton-Hamann et al. 2013) und speichern ca. 2/3 des weltweiten Süßwassers (Bahlburg und Breitkreuz 2017). Von den gesamten Eismassen der Erde entfallen nur 1% auf die Hochgebirge der Erde (Nußer 2014). Gletscher verändern sich und gestalten dadurch auch ihr direktes Umfeld im Hochgebirge (Schönwiese 2013).



Modellhafte Darstellung eines Gletschersystems. Die einzelnen Stationen dieser Ausstellung sind zu erkennen und dienen als Orientierung bis zum Berggipfel. Grafik: NPHT Hechenblaickner

Was ist ein Gletscher?

Bei Gletschern handelt es sich um Eismassen, die mindestens ein Jahr alt sind. Sie bewegen sich, sind somit aktive Eismassen und fließen den Berg hinunter. Gletscher entstehen aus verfestigtem Schnee (Firn). Alles, was auf und im Gletscher ist, wird als Teil des Gletschers betrachtet. Dies können Steine, Luftblasen, Pollen und Bakterien sein (Wilhelm 1978).

Die Kryosphäre (Eismassen der Erde) steht mit den anderen Systemen des Erdsystems, wie mit der Atmosphäre, in einem ständigen Austausch. Dabei werden Energie und Materie zwischen den Eismassen und der umgebenden Atmosphäre ausgetauscht. Anhand von Gletschern und deren Veränderungen können Klimaveränderungen beobachtet werden. Gletscher dienen somit als wesentliche Barometer für das Klima.

Gletscher gewinnen durch Schneefall, Lawinen, Windverfrachtung und mitgerissene Steine an Masse. Währenddessen verlieren sie durch warme Temperaturen an Masse, da das Gletschereis schmilzt. Aufgrund ihrer großen

Masse bewegen sich Gletscher hangabwärts. Diese Bewegungen haben über Jahrtausende die Landschaften geprägt (Benn und Evans 2010).



Ein Gletscher besteht aus Eis. In ihm sind auch Steine. Gletscher fließen langsam einen Berg hinunter und dabei verändern sie sich. Ida und Tom versuchen die Veränderungen zu beobachten und zu verstehen. Welche Bestandteile bewegen sich schnell und welche fast gar nicht?

Das Schlatenkees – ein typischer Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern

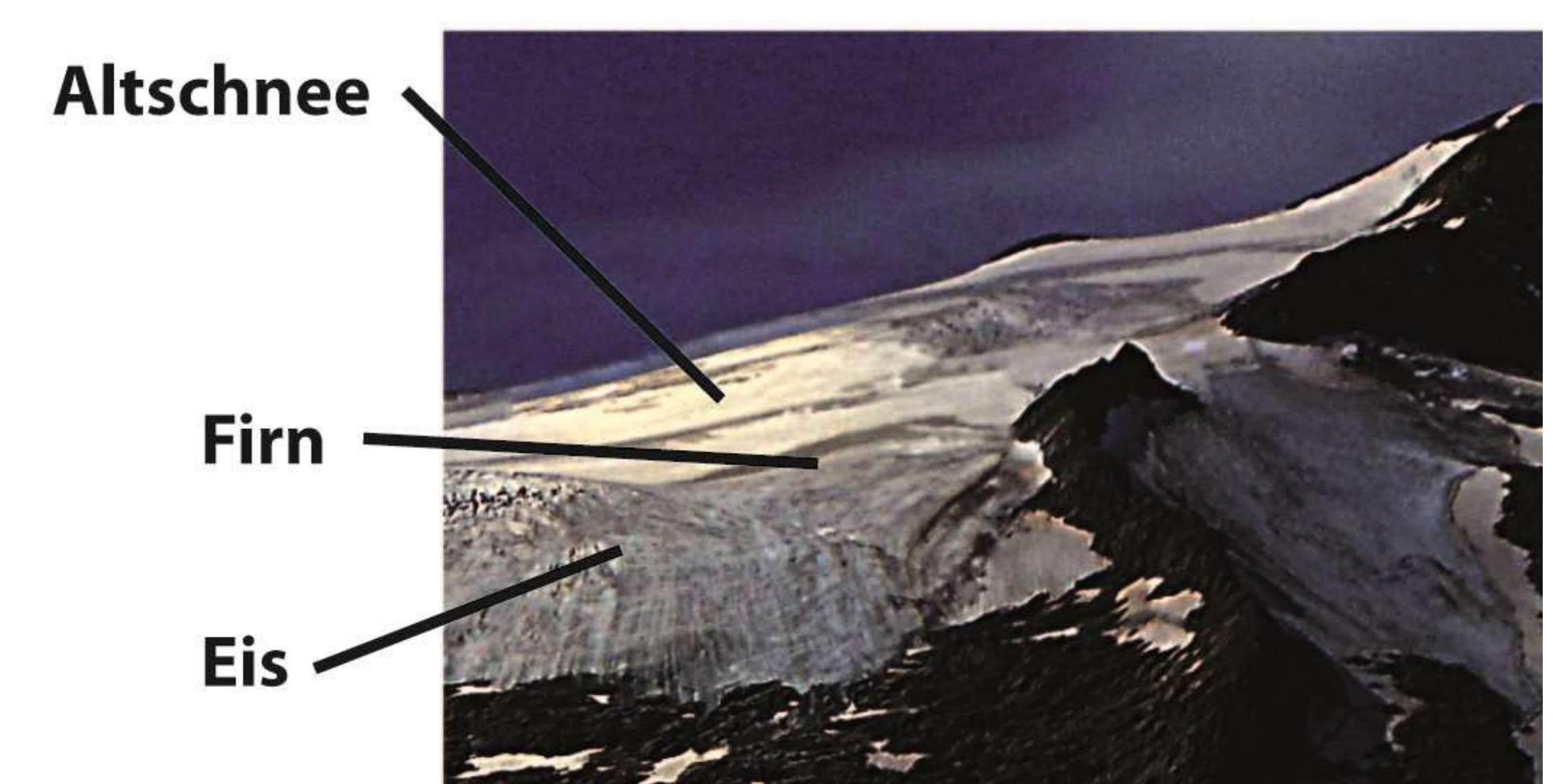
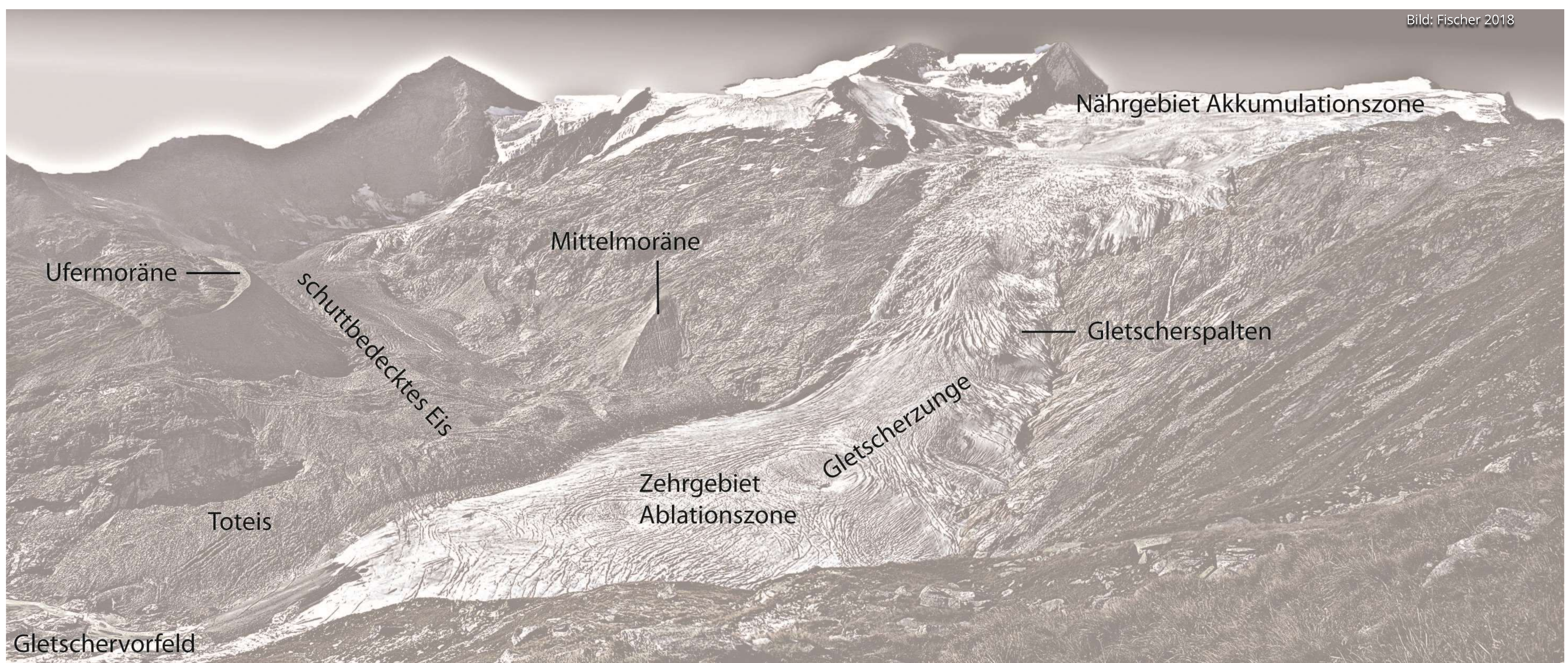
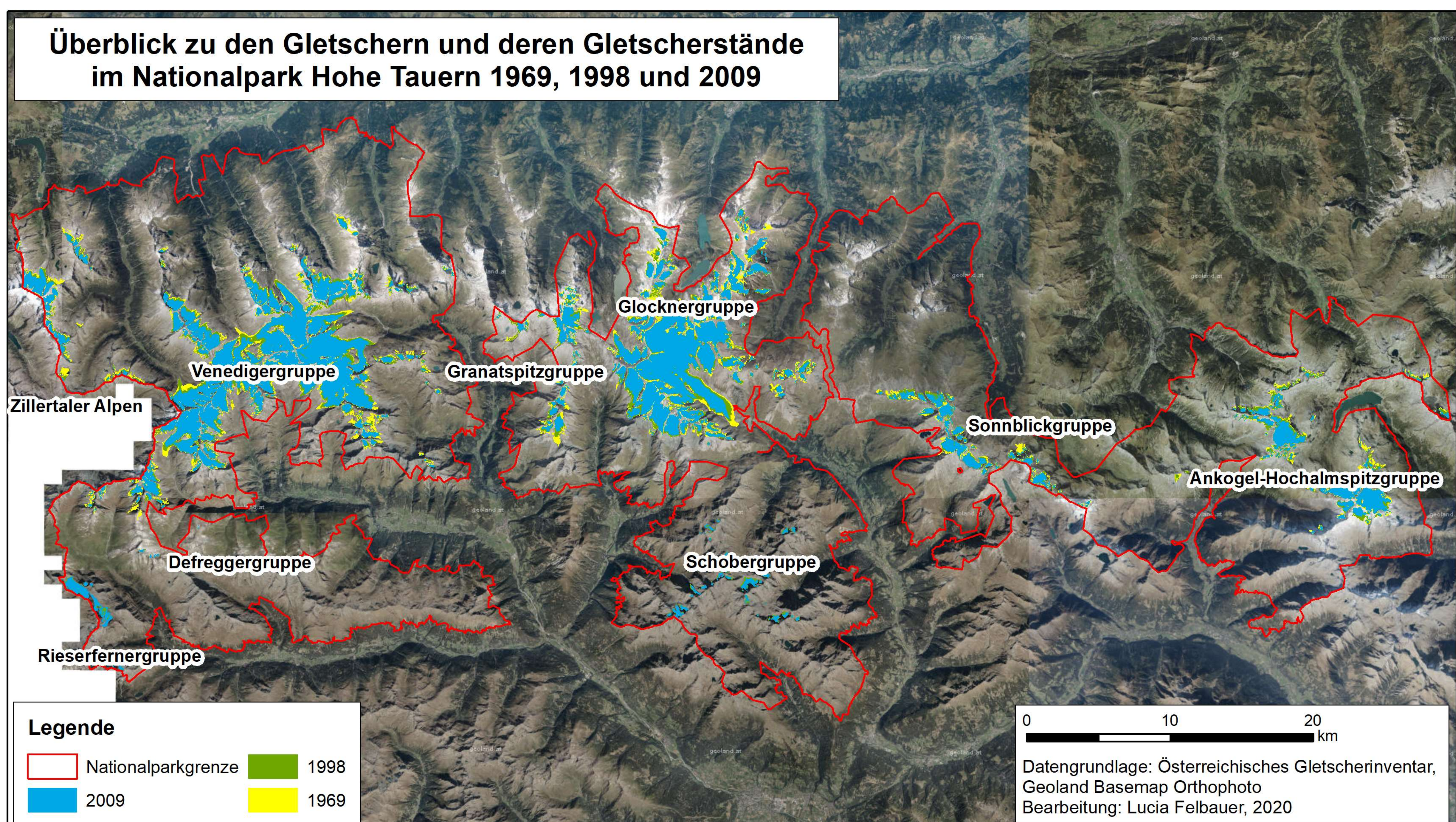


Illustration eines Gletschers und dessen Bestandteile am Beispiel des Schlatenkeeses im Nationalpark Hohe Tauern. (Quelle: Fischer 2018)

Ewiges Eis? – Gletscherstände in den Hohen Tauern

Im Nationalpark Hohe Tauern sind mit dem letzten Stand des Gletscherinventars (2009) 153,62 km² vergletschert und somit von Gletschereis bedeckt.

Es werden neun Gebirgsgruppen unterschieden, die vergletschert sind. Mit Hilfe des Österreichischen Gletscherinventars wird die flächige Ausdehnung zu bestimmten Zeiten für alle Gletscher in Österreich erhoben, um so einen Vergleich der Entwicklungen zu ermöglichen (Fischer et al. 2015).



Ausdehnung der Gletscherflächen nach Gletscherinventaren für Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern für die Jahre 1969, 1998 und 2009.

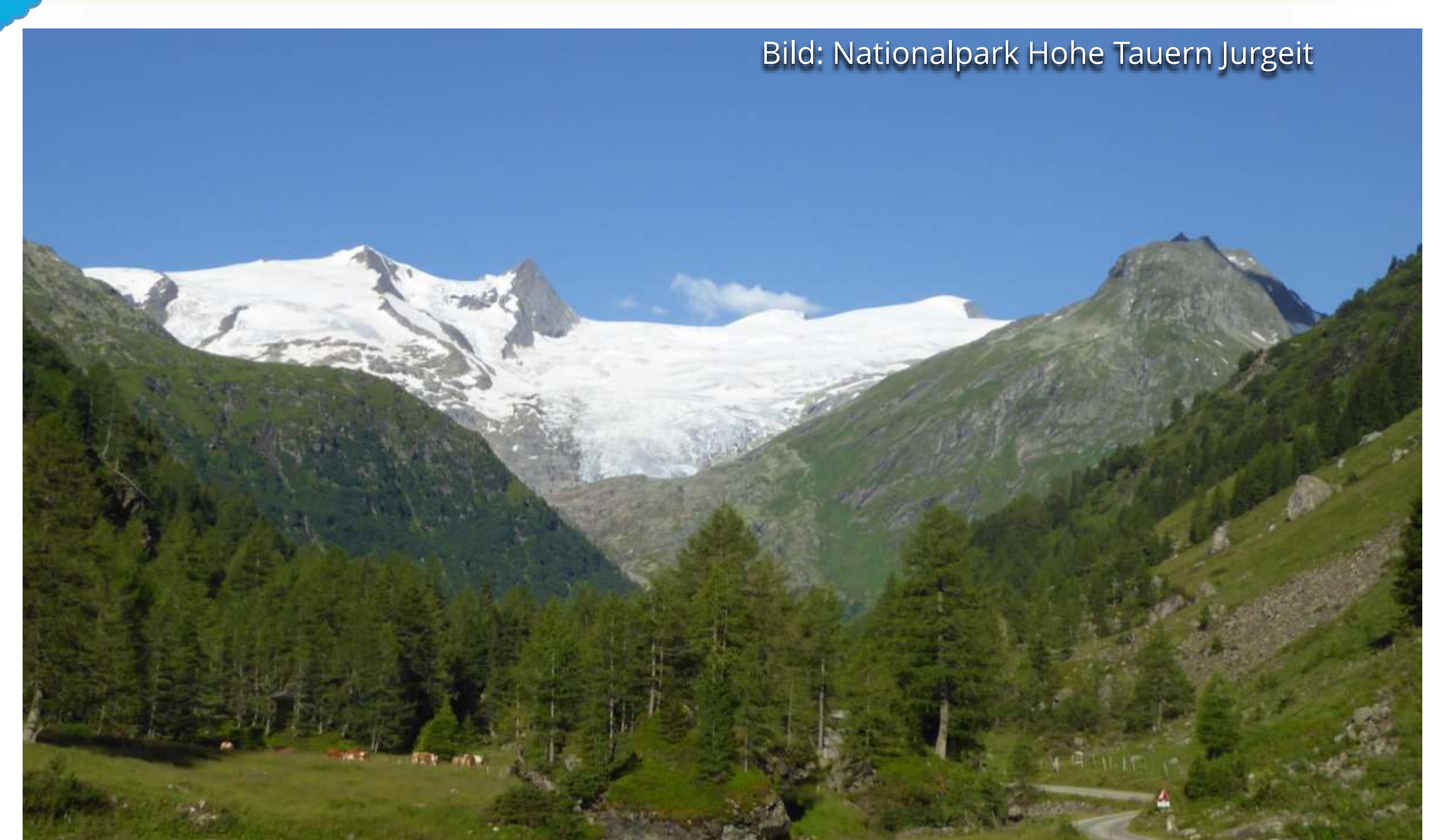
Gletscherinventare im NP Hohe Tauern	Fläche [km ²]	Reduktion von GI 1 [%]
GI 1 (1969)	214,18	
GI 2 (1998)	182,90	-14,61%
GI 3 (2009)	153,62	-28,27%

Überblick der neun vergletscherten Gebirgsgruppen im NP Hohe Tauern und Rückgang der Gletscherflächen im Nationalparkgebiet.

Im Nationalpark Hohe Tauern gibt es viele Gletscher. Auf der Karte findest du diese in verschiedenen Farben dargestellt. In blauer Farbe siehst du, wie groß die Gletscher im Jahr 2009 waren. Ida und Tom messen jedes Jahr die Gletscher ab. Dadurch können sie sagen, ob sie kleiner oder größer werden.



Wenn aus Zahlen Landschaft wird... ca. 150 Jahre später



Vergleich des Schlattenkees und des Großvenedigers anhand der Jahre 1860 (links) und 2018 (rechts).

Pioniere und „Gletscherknechte“

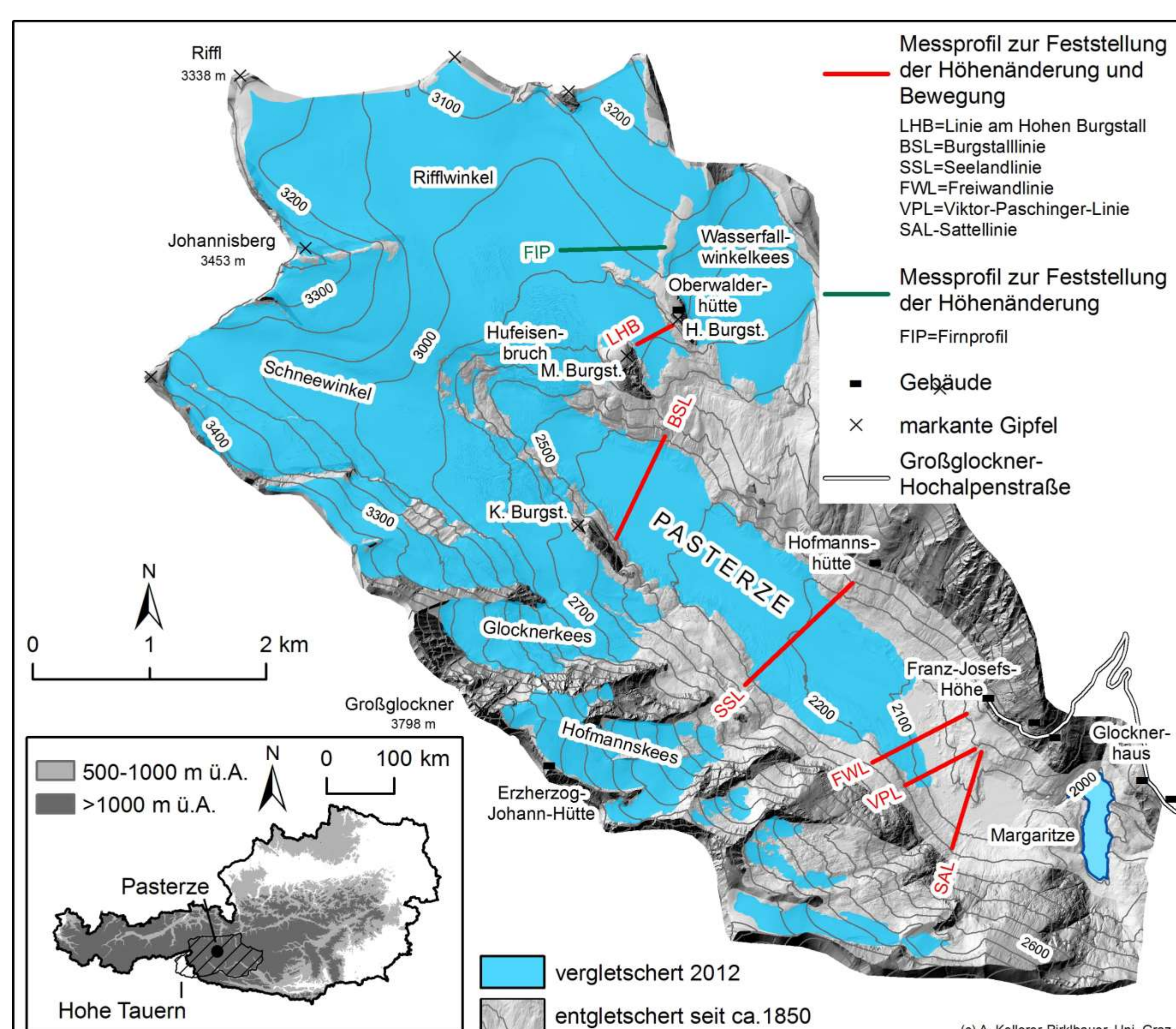
Den ersten Meilenstein in der Erforschung der Pasterze legten die Brüder Schlangintweit. Sie veröffentlichten eine „Karte des Pasterzengletschers“ mit Gletscherstand für 1846. Im gleichen Jahr legte der Klagenfurter Ferdinand Seeland die ersten Messmarken für Längenmessungen an der Pasterze an. Für die Längenänderungen ist eine Zeitreihe seit 1879 vorhanden, wobei abgesehen von einer dreijährigen Datenlücke, eine lückenlose Datenreihe vorliegt. Lange Zeit wurden Gletscherforscher als „Gletscherknechte“ bezeichnet (Lieb und Kellerer-Pirklbauer 2018).



Die Gegenüberstellung von zwei gleichen Ausschnitten zu verschiedenen Jahren verdeutlicht den großen Massenverlust der Gletscherzunge der Pasterze. (Abbildung verändert nach Lieb und Kellerer-Pirklbauer 2018)

Die Pasterze wird aktuell von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und von einem Team des Instituts für Geographie und Raumforschung der Universität Graz beforscht. Die Geographen aus Graz messen unter anderem jährlich Längenänderungen an der Stirn des Gletschers und an mehreren Querprofilen Fließgeschwindigkeit und Höhenänderung. Aus den Untersuchungen ist zu entnehmen, dass die Pasterze seit dem letzten Gletscherhochstand um zwei Kilometer kürzer geworden ist. In den Jahren 2006 bis 2016 ist die Länge der Gletscherzunge der Pasterze jährlich

um ca. 40 m kürzer geworden und die Mächtigkeit des Eises hat pro Jahr durchschnittlich 4,7 m abgenommen. Seit 2004 werden von der ZAMG jährliche Messungen der Massenbilanz mit der direkten glaziologischen Methode durchgeführt, wobei auch bereits zwischen 1979 und 1997 diese Methode angewendet wurde. Aber auch neuere Forschungsmethoden wie Radarmessungen für die Abschätzung der Eismächtigkeit, Laserscanning und photogrammetrische Techniken werden für die Erforschung herangezogen (Lieb und Kellerer-Pirklbauer 2018).



Ida und Tom messen jedes Jahr die Gletscher und deren Veränderungen. So wird zum Beispiel die Länge abgemessen, um wie viel der Gletscher kürzer oder länger geworden ist. Es wird auch gemessen, wie viel Eisdicke verloren geht. An der Pasterze, dem größten Gletscher in Österreich, werden die Längenänderungen seit 140 Jahren gemessen.

Lage der Pasterze in Österreich, Verteilung der Gletscher und Auswahl von glaziologischen Messungen. (Quelle: Lieb und Kellerer-Pirklbauer 2018)

Rekonstruktion - Datierungsmethoden

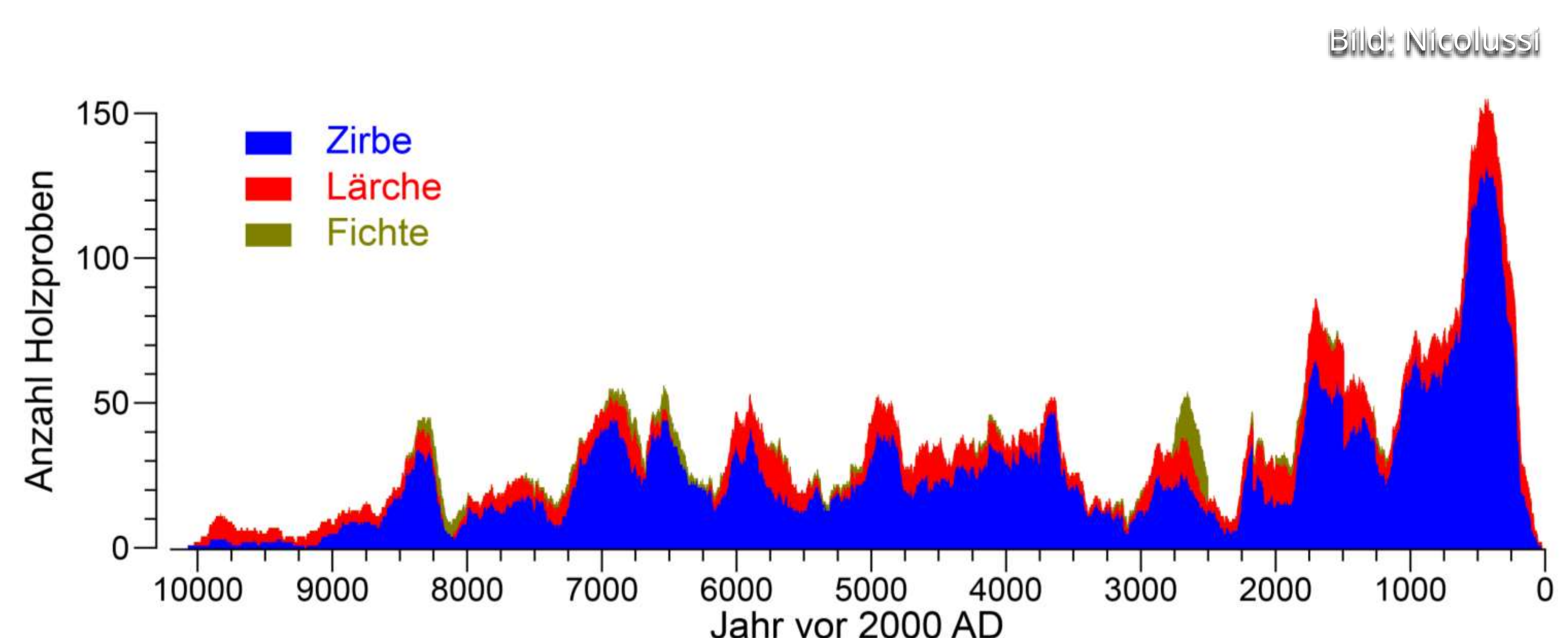
Um ein Verständnis für die heutige Situation der Alpen zu erhalten, ist die Kenntnis der Landschafts- und Klimaentwicklung nötig. (Veit 2002) Für die Rekonstruktion dieser Entwicklung und Untersuchung von Ereignissen sind auch Altersbestimmungen nötig, und dafür werden verschiedene Datierungsmethoden eingesetzt (Embleton-Hamann et al. 2013).

Die Analyse der Jahrringe von Bäumen ist die Grundlage für eine Datierungsmethode, die als Dendrochronologie bezeichnet wird. Verwendet werden etwa alte Hölzer, die z.B. in Mooren oder Seen über Jahrtausende hinweg erhalten geblieben sind. Von Jahr zu Jahr variieren die Klimaverhältnisse und Wuchsbedingungen, und somit auch die Jahrringe. Dies führt zu unterschiedlichen Jahrringabfolgen, die wiederum über Vergleiche mit Daten anderer Hölzer jahrgenaue Datierungen bis weit in die Vergangenheit ermöglichen.

Wusstest du, dass Bäume tausende Jahre erhalten bleiben können, wenn sie unter Schutt oder in Mooren eingeschlossen sind? Wenn man solche findet, können die Jahresringe gezählt werden. Jeder Ring steht für ein Jahr und durch Zählen kann das Alter der Bäume bestimmt werden.



Fundorte von Moorhölzern (links) und Querschnitt eines Baumstammes, der die Jahrringe zeigt (rechts).



Jahrringchronologie anhand der Baumarten Zirbe, Lärche und Fichte.

Im Innergschlöss am Salzbodensee war im Bereich der heutigen Baumgrenze und darüber die Auffindung und Beprobung mehrerer Baumstammreste möglich. Das Holzmaterial wurde teilweise in Torfmaterial eingebettet entdeckt. Es dokumentiert frühere, günstige Wachstumsbedingungen für Bäume im Hochlagenbereich und damit entsprechende Klimaverhältnisse. Die Baumreste vom Salzboden sind in mehrfacher Hinsicht bemerkenswert: Zum einen sind sie überraschend alt – die Bäume wuchsen vor rund 9.000 Jahren und damit in der frühen Nacheiszeit. Zum anderen ermöglichten ihre Jahrringreihen die Schließung einer Lücke in der ostalpinen Nadelholz-Hochlagenchronologie sowie deren Verlängerung auf rund 10.100 Jahre. Sie ist somit die längste Waldgrenz-Jahrringchronologie weltweit.



Bergung der Baumstammreste im Innergschlöss am Salzbodensee. Nach 9000 Jahren ist das Holz noch gut erhalten.

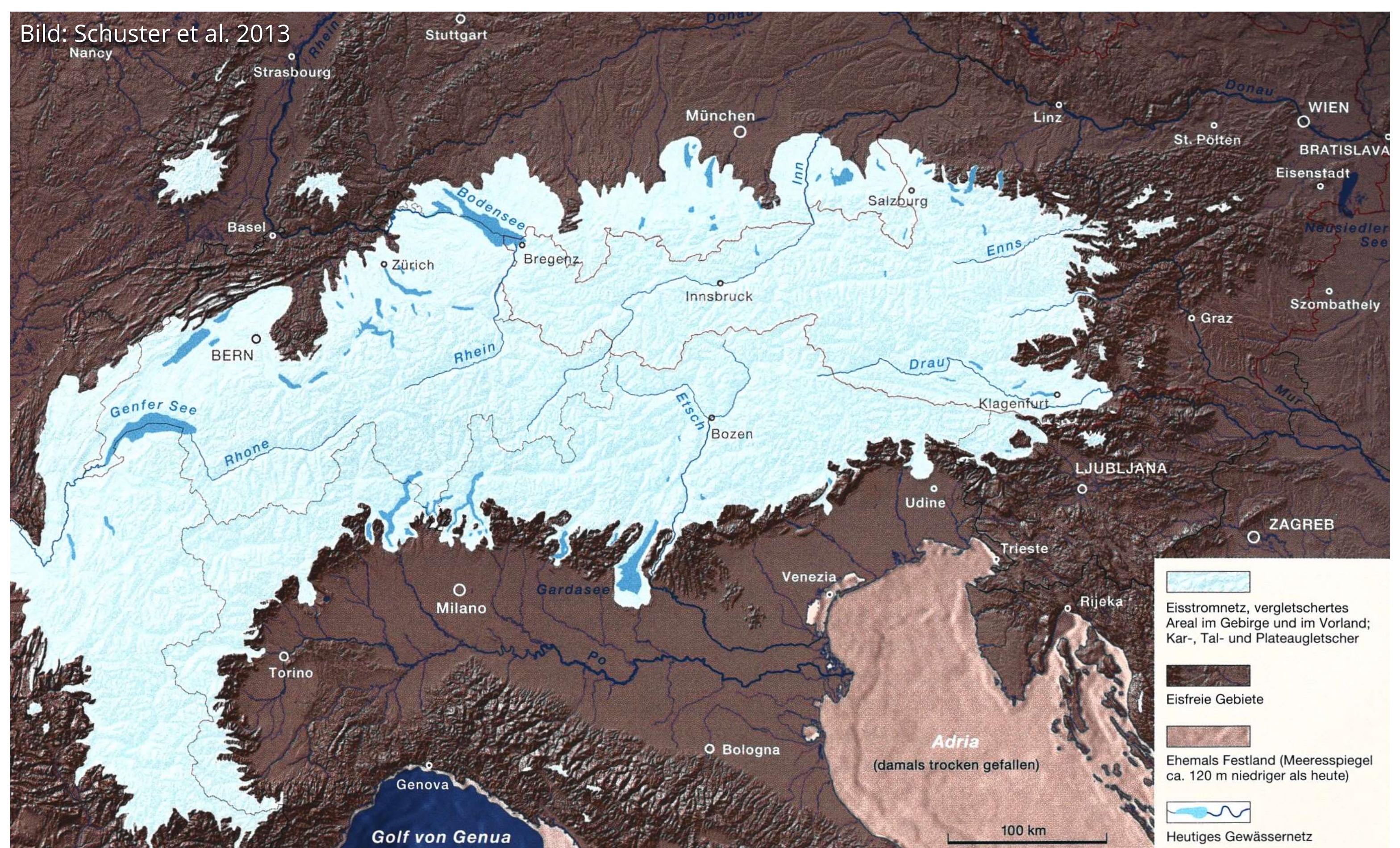
Inhalt zur Verfügung gestellt von Prof. Dr. Kurt Nicolussi, Institut für Geographie der Universität Innsbruck

Eiszeitliche Formung

Im Laufe der Erdgeschichte kam es immer wieder zu Klimaschwankungen. Vor 2,6 Millionen Jahren begann eine Phase von mehreren Wechseln von Kalt- und Warmzeiten (Veit 2002). Durch den Wechsel von starker und geringer Vergletscherung kam es zu großen Veränderungen des Reliefs und der Landschaft, sowohl in den Alpen, auch in den Vorländern (Pfiffner 2015).

In den Zentralalpen erreichten die Eismassen in der letzten Kaltzeit eine Höhe von 2.600 bis 2.800 m über Meeresebene, was einer Eismächtigkeit von 1.000 bis 1.700 m entspricht. Der Alpenraum war stark vergletschert, wobei eine Fläche von 126.000 km² von Eis bedeckt war, im Vergleich heute sind es 3.000 km² (Veit 2002). Aus dem Eis ragten nur einzelne hohe Gipfel heraus (Schuster et al. 2013).

Es kam zu prägenden Veränderungen am Relief, wie der abschleifenden Wirkung des fließenden Eises, die Eintiefung und Ausweitung der alpinen Täler, die Ablagerung von transportiertem Material in Form von Moränen und die Umlagerung des Materials durch Schmelzwasser (Pfiffner 2015).



Rekonstruktion der maximalen Gletscherausbreitung während des Höhepunktes der letzten Kaltzeit, der Würm (von 115.000 bis 11.700 Jahre vor heute).



Mehrere Gletscher können sich verbinden und formen so gemeinsam eine ganz große Eisfläche. Nur mehr einzelne hohe Gipfel ragen heraus (Nunataks). In der Vergangenheit bildeten sich mehrmals solche großen Eisflächen. Sie gruben tiefe Täler und formten große Seen.



Unsere Landschaft wurde durch die großen Kaltzeiten geformt. Täler wurden eingetieft und verbreitert (links). In ausgehobenen Becken kann sich Wasser sammeln, um Seen zu bilden (rechts).

Comic von R. Reschreiter (1911): Der Gletscherforscher Prof. Dr. Finsterwalder beobachtet die schlafenden friedlichen Monster (Gletscher). Als er die Gletscher stört (z.B. klimatische Änderung) werden die Monster geweckt und stellen die Rückenhaare auf (bei Gletschervorstoß stärker zerklüftete Oberfläche). Nicht beide Monster sind gleich angriffslustig (unterschiedliche Reaktionszeit aber auch unterschiedliches Ausmaß der Reaktion). Prof. Finsterwalder wird dabei gefressen (Gletschervorstöße und die dafür notwendigen Bedingungen, schneereiche Winter und nasskalte Sommer wurden immer als Bedrohung gesehen). „Schönes Wetter“ besänftigt die Monster und sie ziehen sich zurück, dabei geben sie Verschlucktes wieder frei (die Ober-

fläche ist weniger stark zerklüftet und es zeigen sich vermehrt „runde“ Formen).



Beobachtungen zum Vorstoß und Rückzug des Vernagtferners durch Prof. Dr. Finsterwalder.

Bild: OeAV

„Kleine Eiszeit“ – vor nicht allzu langer Zeit

In den Gletschervorfeldern befinden sich Endmoränenwälle, die verschiedenen Gletscherhochstandphasen zugeordnet werden können. Die kleine Eiszeit (LIA: Little Ice Age) ist die letzte dieser Phasen. Es handelt sich um eine ca. 0,5°C kühlere Phase, die von der Mitte des 13. bis Mitte des 19. Jahrhunderts andauerte. Die Gletscherfläche war doppelt so groß wie heute und diese Stände werden oft durch prägnante Endmoränenwälle im Gletschervorfeld sichtbar (Bamber 2015).

Gletscher lagern bis zum Ende der Gletscherzunge Gesteinsmaterial ab, welches sie in oder auf sich transportiert haben. Bei einem gleichbleibendem Gletscherstand kommt es zur Ausbildung von Endmoränenwällen. Dabei ergibt sich eine Materialanhäufung in Form eines Walles, welcher umso größer wird, je länger der Gletscher in dieser Position verharrt (Ahnert 2015).

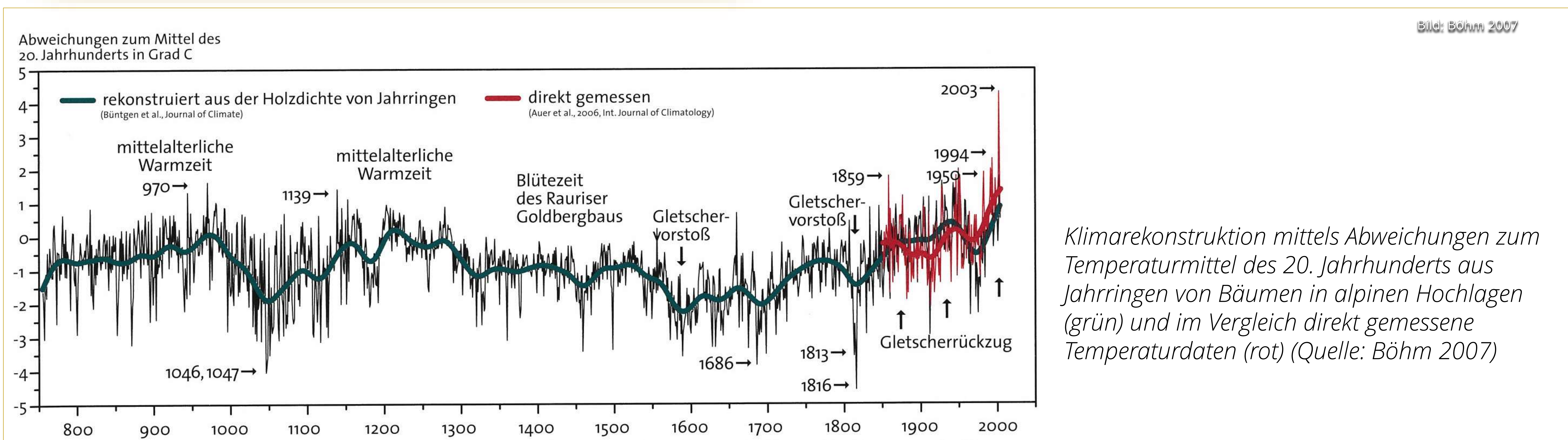


Früher kam es immer wieder zu Zeiten, in denen Gletscher größer wurden. Aber es gab auch Zeiten wo sie kleiner wurden. Heute werden sie immer kleiner. Im Mittelalter gab es eine kältere Phase, die Kleine Eiszeit. Sie sorgte dafür, dass die Gletscher größer wurden.



Bild: Nationalpark Hohe Tauern Jureit

1850er Endmoränenwall im Vorfeld des Schlatenkees



Seit den 1850er Jahren werden in den Alpen Klimazeitreihen direkt gemessen (rote Signatur). Der steile Anstieg der Temperaturanomalien zu Beginn der Messungen verweist auf eine natürliche Erholung des Klimas nach der Phase der kleinen Eiszeit (Böhm 2007). Nach der kleinen Eiszeit kam es in den Alpen, abgesehen von kleineren Hochständen, zum Abschmelzen der Gletscher (Veit 2002). Ursachen liegen in den überdurchschnittlich hohen Sommertemperaturen des 20. Jahrhunderts. Ab den 1990er Jahren steigerten sich die Rückzugsgeschwindigkeiten (Baumhauer und Winkler 2014). Gletscher reagieren unterschiedlich sensitiv auf klimatische Veränderungen, wobei es auch zu verzögerten

Reaktionen kommt (Veit 2002).

Die Europäischen Alpengletscher mit einer Länge > 1km zeigen eine mittlere Reaktionszeit von 50 ± 28 Jahre. Das ist die Zeit bis sich 63,2% des neuen Gleichgewichtes eingestellt hat. Dynamisches „Einschwingen“ der Gletscher wird also bis zu einem gewissen Prozentsatz berücksichtigt.

Beispiele:

- Pasterze ca. 50 Jahre
- Schlatenkees ca. 19 Jahre
- Mullwitzkees ca. 29 Jahre
- Umbalkees ca. 33 Jahre

Gletschervorfeld & Rückzugsgebiet

Das Gletschervorfeld ist durch eine sehr unregelmäßige und hügelige Topographie gekennzeichnet und von Moränenmaterial bedeckt. Hier sind vor allem Abtragungs- und Ablagerungsprozesse des Moränenmaterials zu beachten. Das fließende Schmelzwasser zeigt sich dabei als wichtiger Gestalter. Außerdem kann es zur Remobilisierung von bereits abgelagertem Material kommen (Miller 1996).

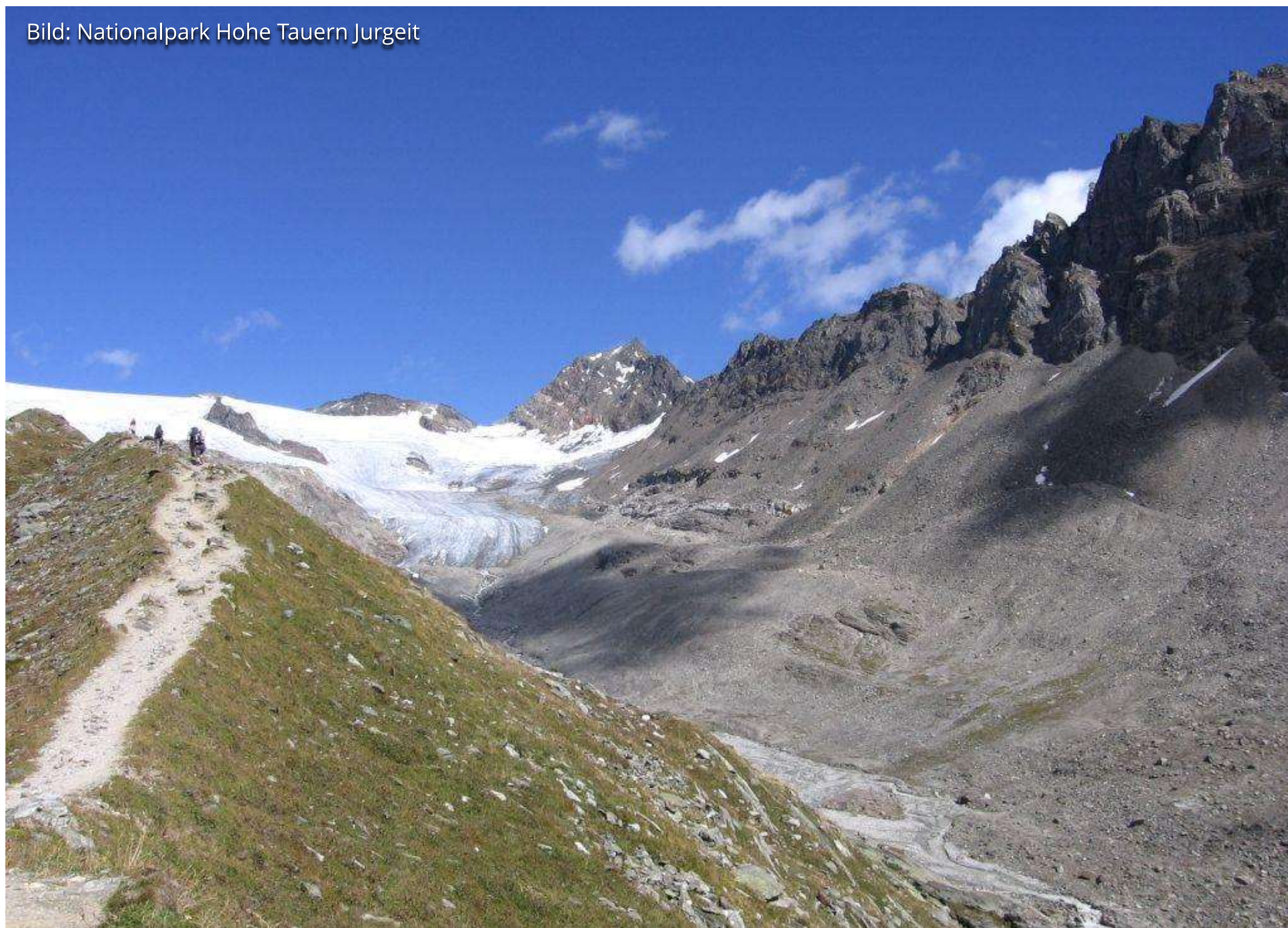


Bild: Nationalpark Hohe Tauern Jurgeit



Bild: Gepatschferner, Martin Stocker Waldhuber

Im Gletschervorfeld des Äußeren Mullwitzkees/Zettalunitzkees wird das Moränenmaterial, welches vom Gletscher transportiert wird, abgelagert (links). Moränenmaterial (rechts) lagert sich locker, gemischt mit kleinen und großen Steinen ab und weist diverse Größen auf. Es kann auch zum erneuten Abtrag kommen.

Beim Abschmelzen von Gletschereis kommt es zur Freilegung des darunter befindlichen Untergrundes und der Seitenwände. Dieses Material verfügt über geringe Stabilität und neigt zu raschen Veränderungen. Von Wasser bestimmte Prozesse transportieren das Material aus dem Gletscher. Dies geschieht durch Schmelzwasser. Von Wasser bestimmte Prozesse finden aber auch im Gletschervorfeld statt, wo bereits abgelagertes Moränenmaterial remobilisiert und weiter talauswärts transportiert wird (Ballantyne 2002).

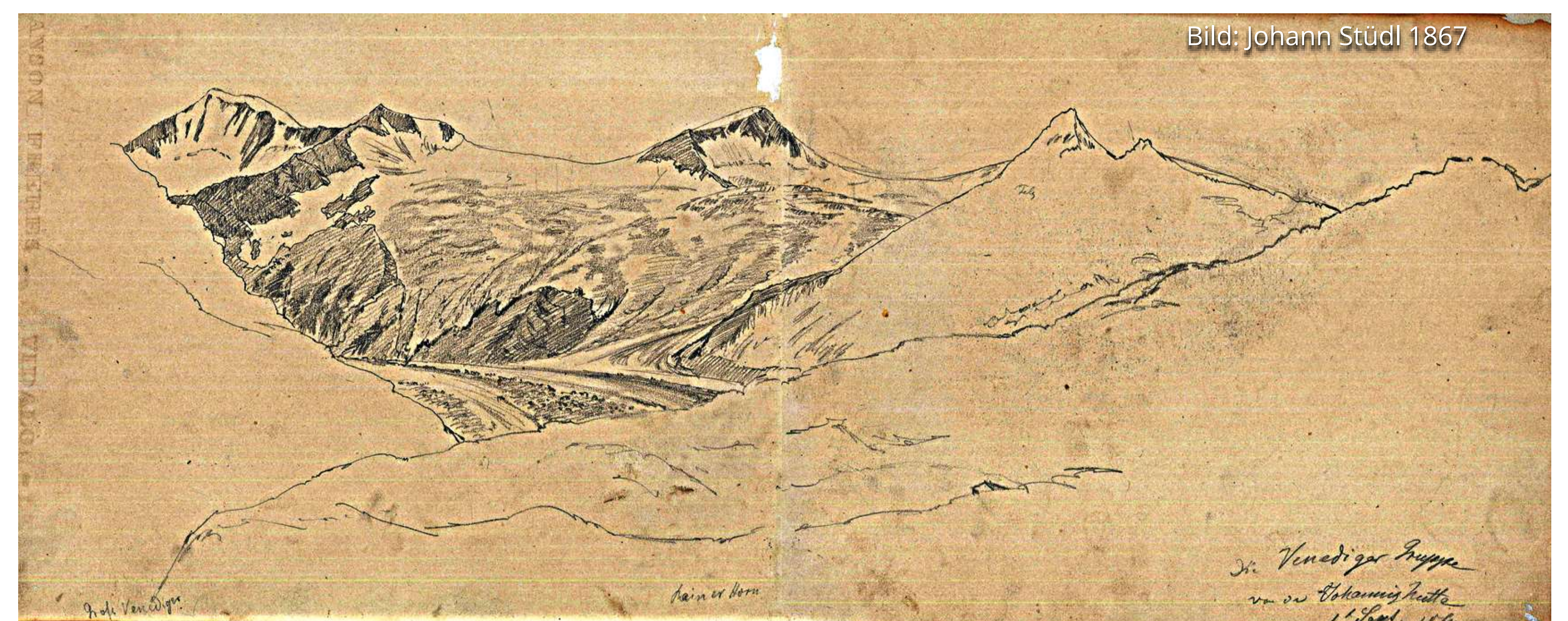


Bild: Johann Studl 1867

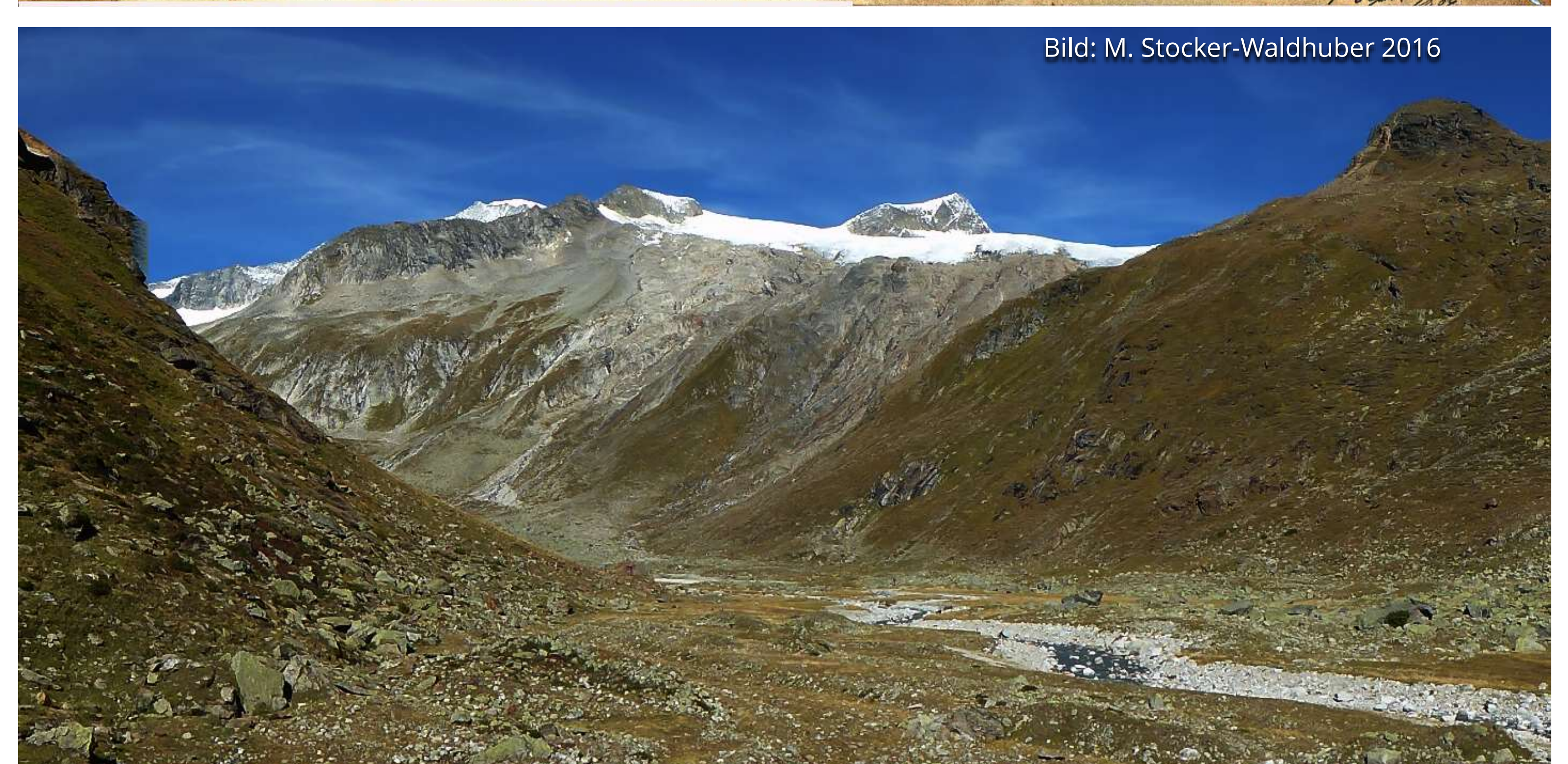


Bild: M. Stocker-Waldhuber 2016

Vergleich beim Inneren Mullwitzkees zeigt das jetzige Gletschervorfeld, wo einst noch die Gletscherzunge war.



Bild: Teischnitzkees (Kals am Großglockner) Nationalpark Hohe Tauern Jurgeit

Durch den Rückzug des Gletschers bleiben oft instabile Felswände zurück. An diesen kommt es zu Steinschlag und Felsstürzen. Aber auch beim Gletscher kann es zum Abbruch von großen Eisstücken kommen.

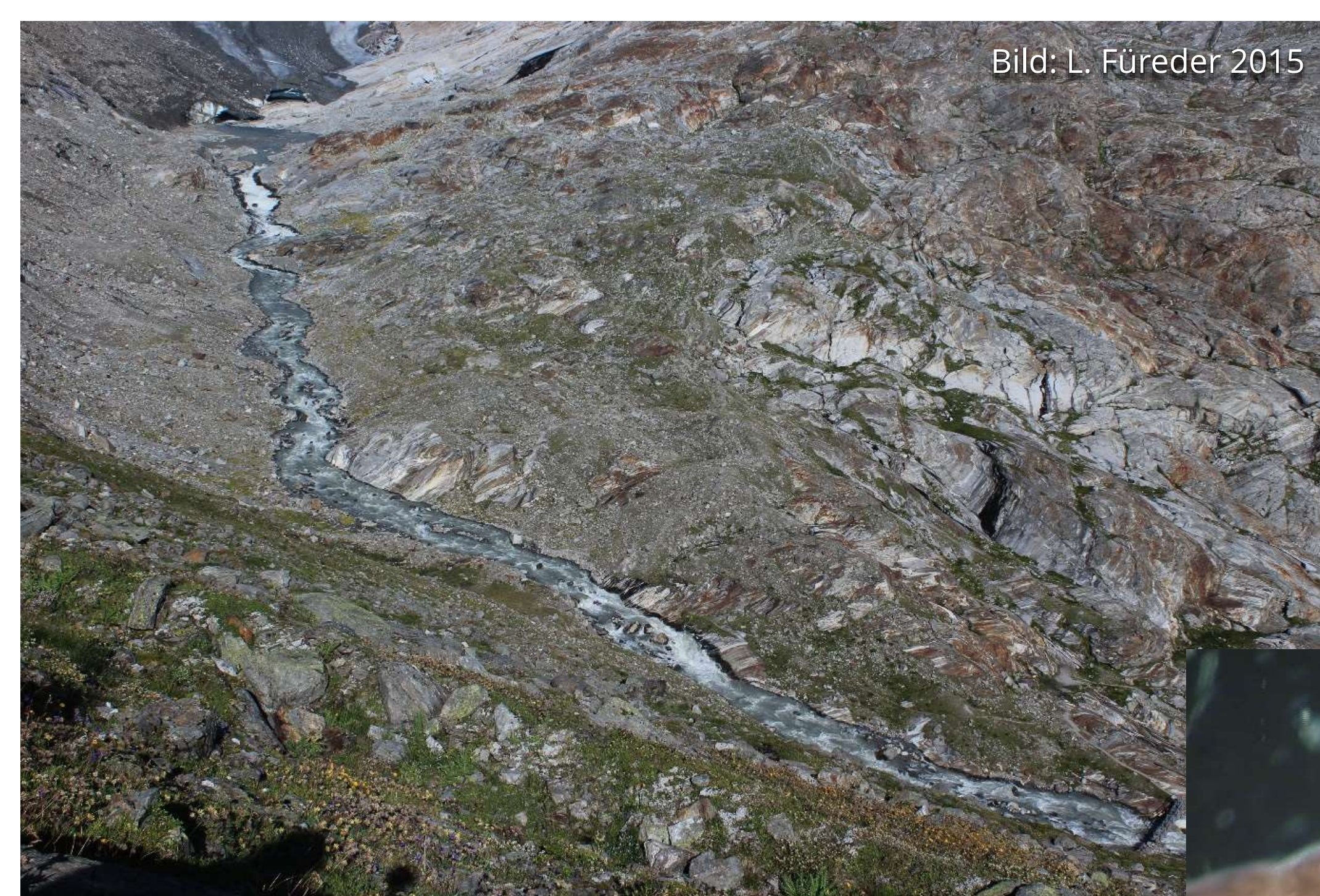


Schau dir die Fotos genau an! Was fällt dir auf? Wo einst der Gletscher war, bleiben unterschiedlich große Steine zurück. Diese hat der Gletscher bei seinem Rückzug fallen gelassen. Die Steine liegen ganz locker herum. Ein Bach kann die Steine bis ins Tal bringen.

Der Gletscherbach: Eiskalt und ohne Leben?

Ein Gletscherbach unterliegt einer extremen Abfluss- und Temperaturdynamik, die direkt mit dem Abschmelzen des Gletschereises und der Sonneneinstrahlung zusammenhängt. An einem typischen Sommertag kommt es nachmittags zum höchsten Abfluss und der höchste Pegelstand kann gemessen werden. In der Nacht sinken diese wieder ab. Nahe zum Gletscher beträgt die Wassertemperatur meist nur 1,5 bis 2,3 °C. Bachabwärts erwärmt sich die Wassertemperatur kontinuierlich. Auch die Wasserchemie und der Nährstofftransport ändern sich im Tagesverlauf.

Direkt an der Gletscherzunge gibt es Lebewesen, die diesen extremen Bedingungen wie niedrigen Temperaturen bestens angepasst sind. Es handelt sich um verschiedene Algen und Insektenlarven. Diese können in geeigneten Kleinlebensräumen (gering turbulente Bereiche mit wenig Sedimentfracht) auf Steinen im Bachbett vorkommen. Die an harte Umwelteinflüsse gewöhnten Larven können in Bereichen existieren, wo sensiblere Arten keine Überlebenschance mehr haben. Je näher man der Gletscherzunge kommt, desto artenärmer wird der Bach. Zuckmücken sind sogar dominant. Mit dem Abschmelzen der Gletscher wandern auch diese robusten Arten im Gewässer weiter nach oben. Die Besiedelung neuer Lebensräume ist rasch möglich, da die erwachsenen Insekten flugfähig sind und geeignete Ei-Ablageorte finden.



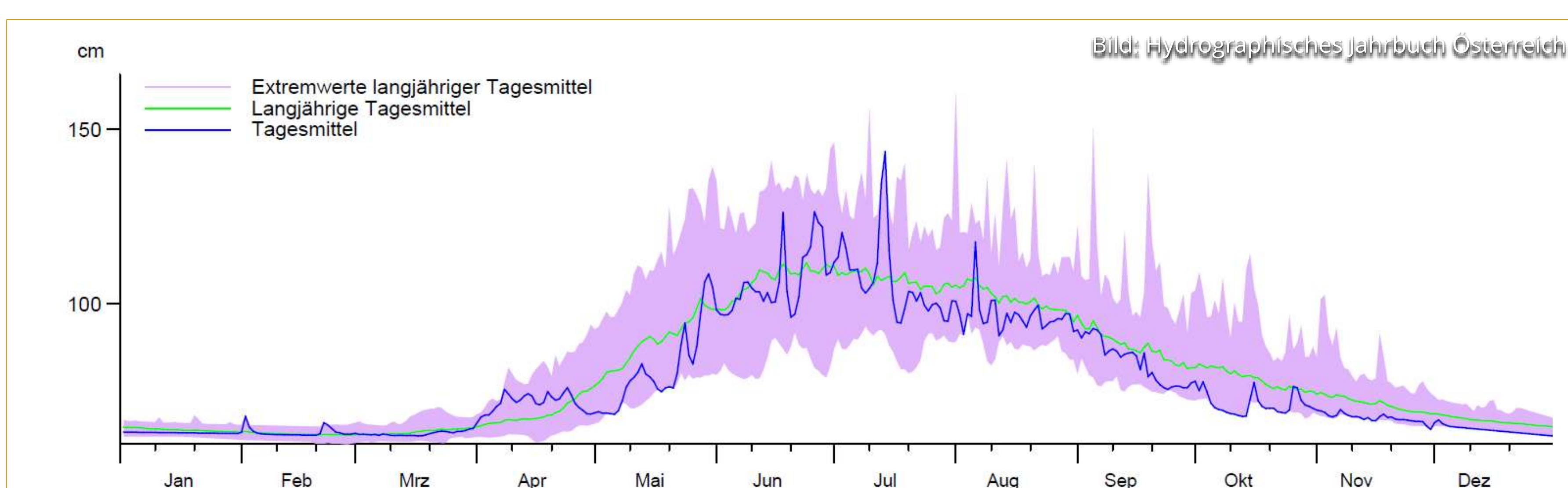
Auch direkt am Ursprung eines Gletscherbaches wie hier am Schlattenbach sind bereits erste Lebewesen anzutreffen.



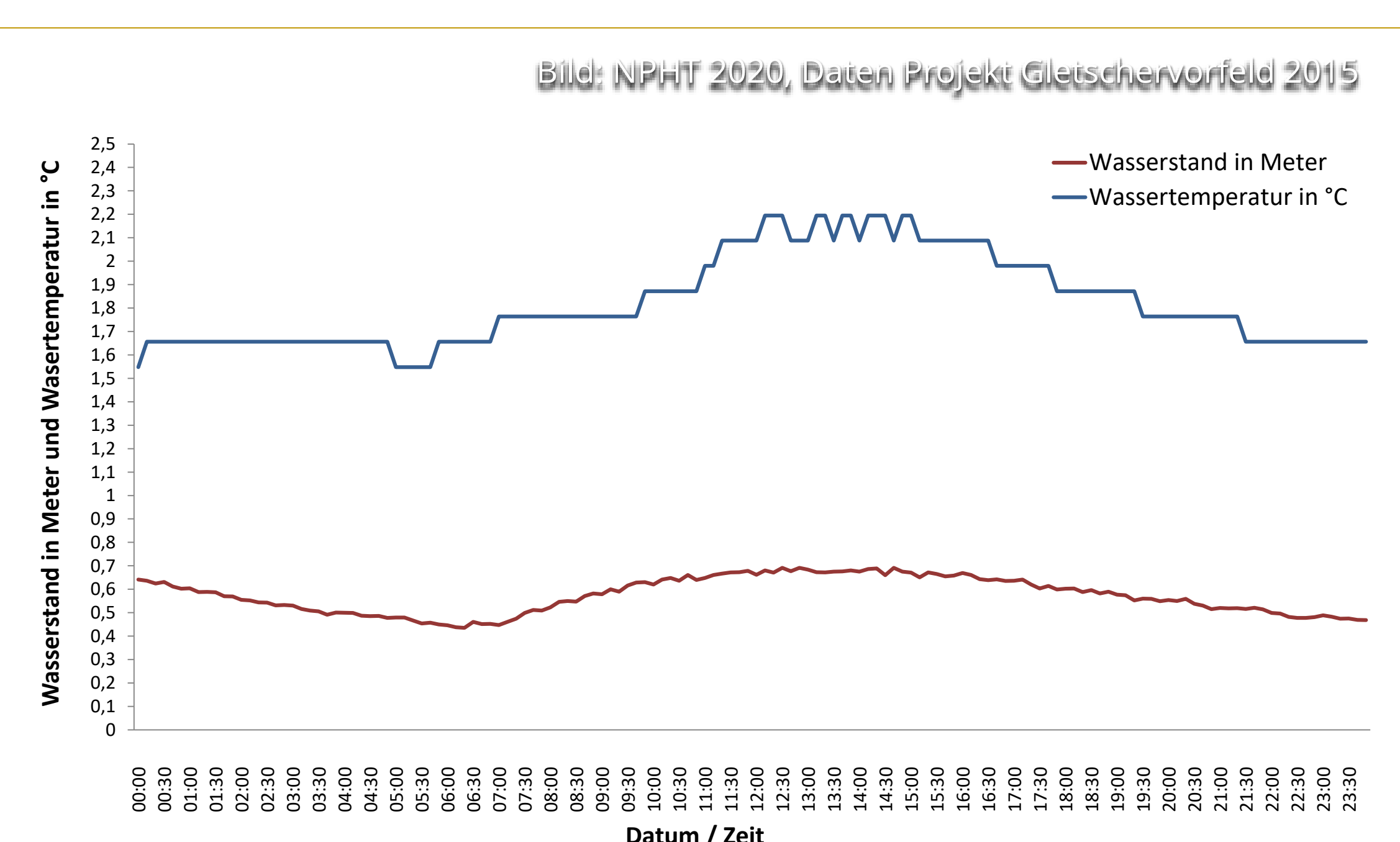
Zuckmückenlarve im Gletscherbach



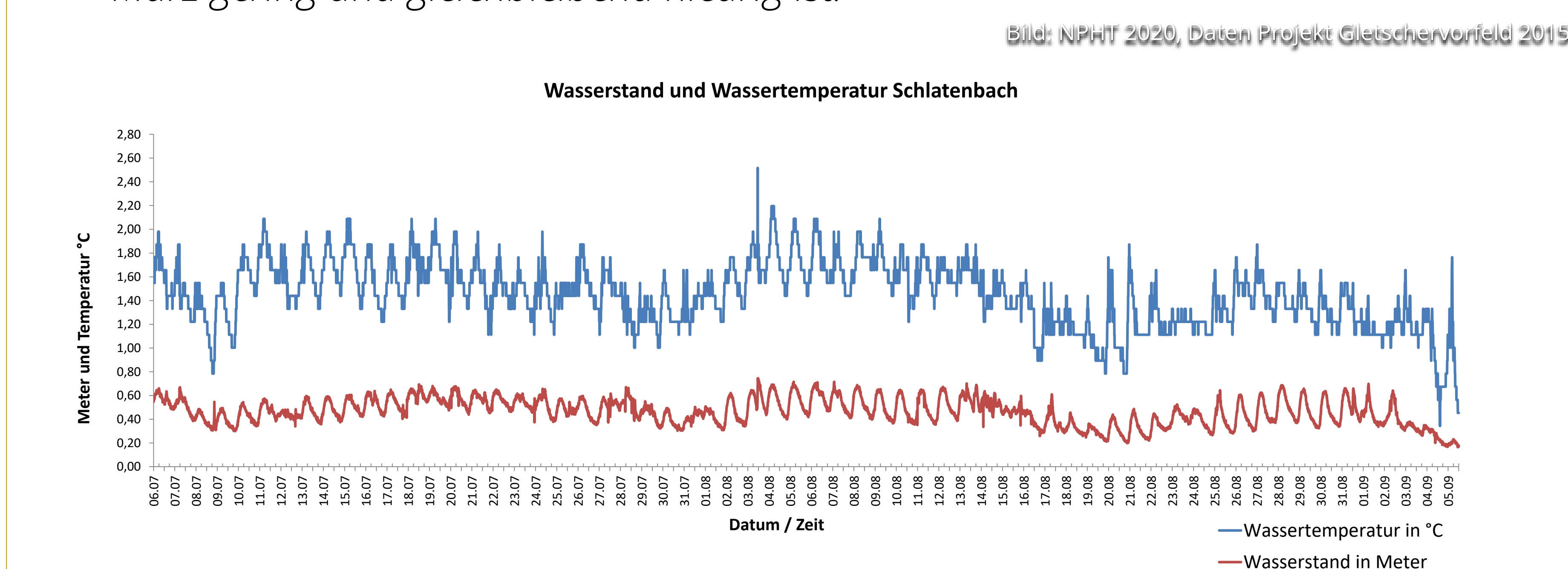
Der Gletscherbach im Dorftal verzweigt sich oberhalb der Johannishütte mehrmals.



Abfluss des Gletscherbaches Isel bei der Messstation Hinterbichl im Jahr 2016. Der Abfluss ist in den Sommermonaten am höchsten, während er im Winter bis Ende März gering und gleichbleibend niedrig ist.



Wassertemperatur und Wasserstand im Gletscherbach (Schlattenbach) im Tagesverlauf am 4. August 2015.



Täglicher Wasserstand (Pegelmessungen) und Wassertemperatur am Schlattenbach, unterhalb des Gletschertors, Zeitraum Juli bis September 2015.



Wenn das Eis des Gletschers schmilzt, tritt das Wasser in Form eines Gletscherbaches aus. Der Gletscherbach hat oft eine "milchige" Farbe und das Wasser wird daher als Gletschermilch bezeichnet.

Schleifpapier der Landschaft

Gletscher sind aus erdgeschichtlicher Perspektive aber auch im Jahresverlauf ständig in Bewegung und beeinflussen so ihr direktes Umfeld. Je nach zeitlicher Betrachtung kommt es zu unterschiedlichen Abtragungsformen (Erosionsformen). Zum Beispiel wird das Grundgestein abgeschliffen, aber auch ganze Täler werden durch Gletscher ausgeräumt. Diese glazialen Spuren sind im Hochgebirge im Nationalpark Hohe Tauern noch unbeeinflusst vom Menschen zu finden.

Trogtäler sind eine besonders charakteristische Erosionsform und sie hängen mit der Gletscherentwicklung zusammen (Zepp 2017). In den Eiszeiten waren die einstigen Kerb- bzw. V-Täler mit Eismassen befüllt, die bis in die Vorländer reichten. Nach dem Abschmelzen zeigt das einstige Kerbtal ein trogförmiges Querprofil, welches als U-Tal bezeichnet wird (Baumhauer 2013). Der Gletscher hat das Tal eingetieft und in der Breite erweitert. Unterhalb der Schlifffgrenze befand sich das Gletschereis und schliff die Felswände ab. Über der Schlifffgrenze geht das Gelände in rau und kantig beschaffene Felswände über, da hier keine Eismassen mehr vorhanden waren (Ahnert 2015).



Bild: Nationalpark Hohe Tauern Jurgleit

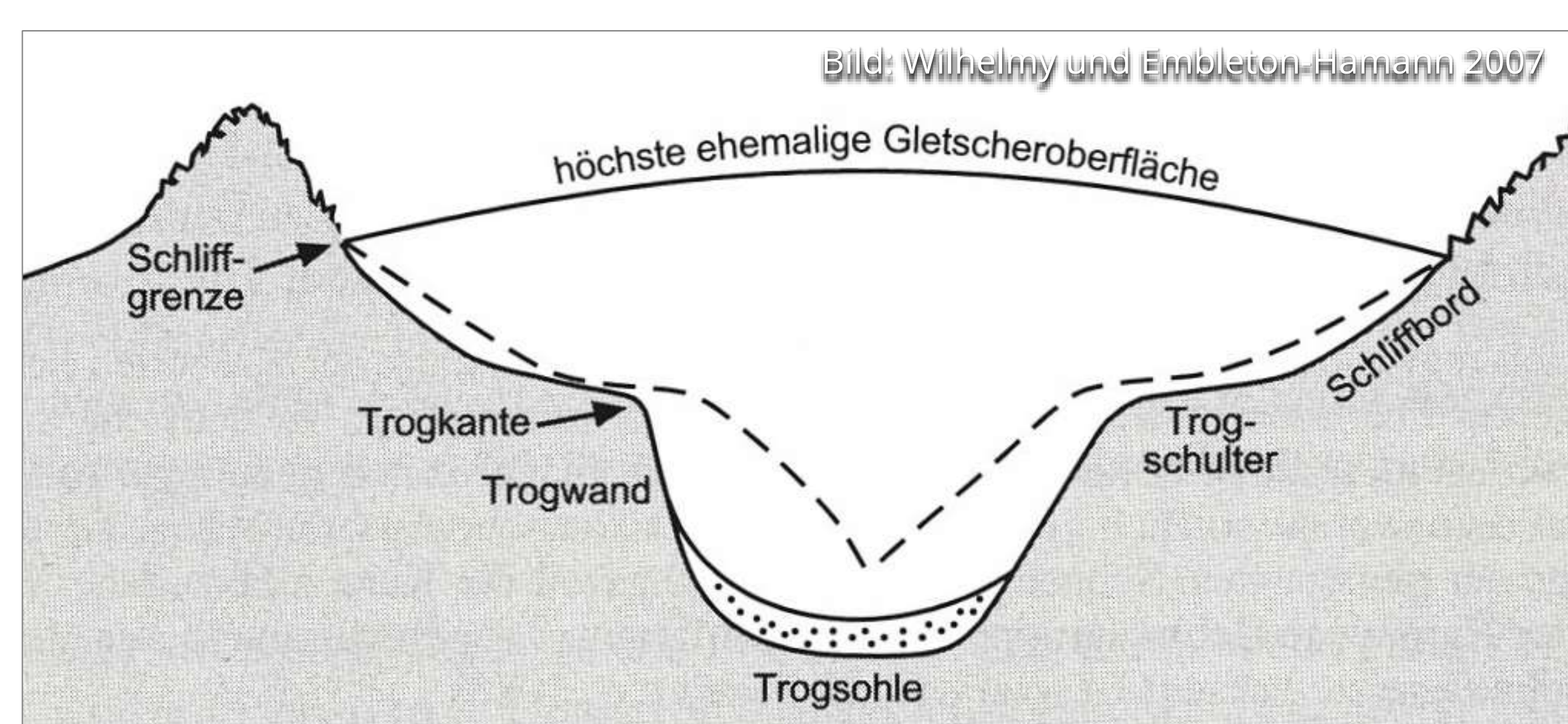


Bild: Wilhelmly und Embleton-Hamann 2007

Glaziale Abtragungsform zu einem Trogtal bzw. U-Tal: oben Dorfertal (Kals) im Nationalpark, darunter modellhafte Darstellung im Querprofil.

Die Steine im Gletschereis haben so viel Kraft, dass ganze Felswände abgeschliffen werden. Als die Gletscher noch die ganzen Alpen bedeckten, wurden ganze Täler ausgeschliffen. Diese haben die Form eines U. Deshalb werden sie U-Täler genannt. Findest du die U-Form auf einer Abbildung?



Bild: Nationalpark Hohe Tauern Jurgleit



Bild: Stocker-Waldhuber 2019

Das Material im Gletschereis schleift das Festgestein ab. Nach dem die Eismassen abgeschmolzen sind, wird diese Erosionsform hier im Vorfeld des Schlatenkees als Gletscherschliff sichtbar.



Bild: Nationalpark Hohe Tauern Jurgleit



Bild: Nationalpark Hohe Tauern Jurgleit

Einsturztrichter sind im Gletschereis, die zum Beispiel am Schlatenkees zu beobachten sind. Sie dienen als Indikator für voranschreitenden Eiszerfall (Stocker-Waldhuber et al. 2017).

Gletschertor & Eisrand

Am Eisrand des Gletschers und an der Basis wird das mitgeführte Material abgelagert. Schmelzwasser, welches an der Stirn des Gletschers das Eis verlässt, trägt wesentlich zur Umgestaltung der Landschaft vor dem Gletscher bei (Zepp 2017). Im Gletscher wird das Schmelzwasser in tunnelartigen Kanälen abgeleitet. Je mehr Schmelzwasser zur Verfügung steht, desto größer ist der Durchmesser der Kanäle. Durch die Bewegungen des Gletschereises werden immer wieder neue Kanäle für das abfließende Schmelzwasser gebildet. Bewegen sich die Eismassen nur sehr wenig, bleiben auch die Kanäle stabil. Tritt der Kanal aus dem Gletschereis aus, zeigt sich das Austrittsloch als Gletschertor (Ahnert 2015).



Bild: Nationalpark Hohe Tauern Jurgeit



Bild: Nationalpark Hohe Tauern Jurgeit

Aus einem Gletschertor fließt das Schmelzwasser des Gletschers, wie aus einem Wasserrohr.

Suche die Abbildung vom Gletscherrand, wo ein großes Loch im Eis zu finden ist. Dabei handelt es sich um ein Gletschertor, durch welches das Wasser wie in einem Rohr aus dem Gletscher fließt. Bei einigen Gletschern wird jährlich gemessen, um wie viel sich die Position verändert hat.



Bild: Nationalpark Hohe Tauern Jurgeit

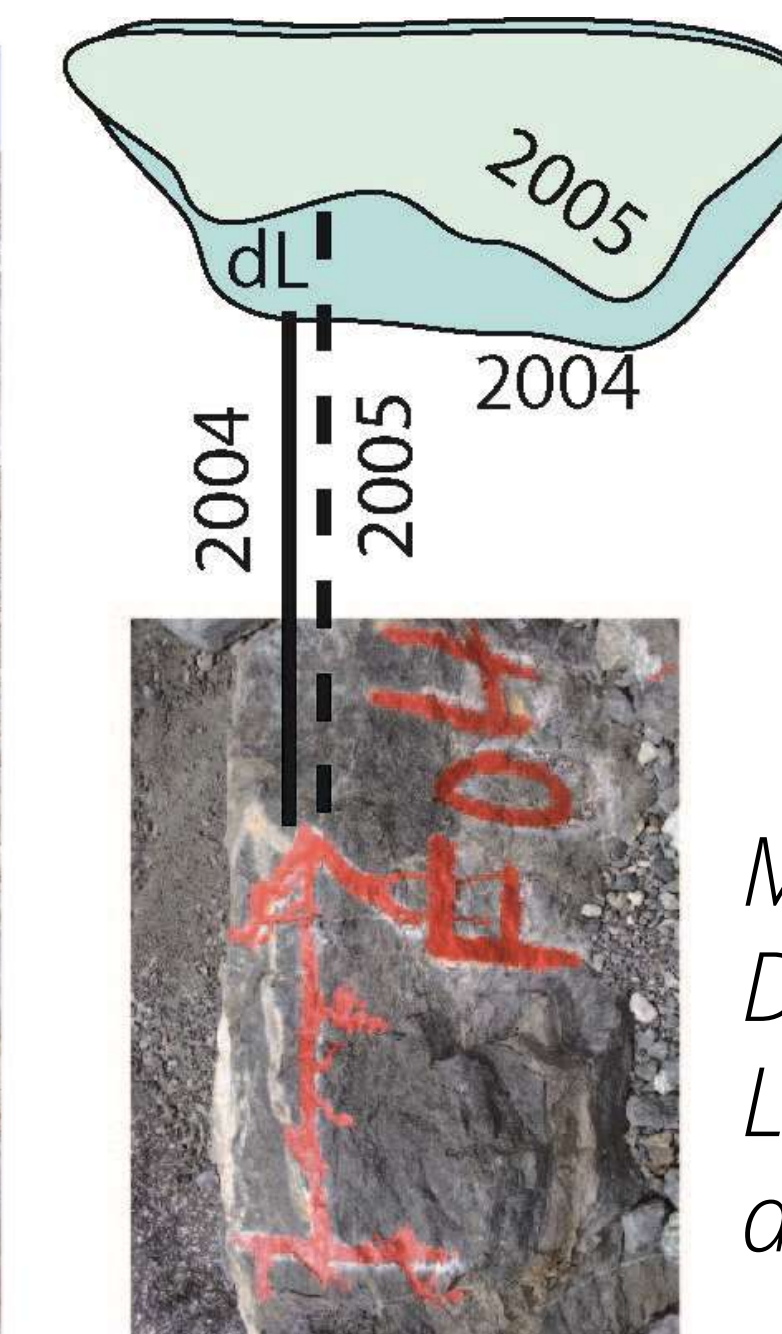


Bild: Nationalpark Hohe Tauern Jurgeit

Gletscherrand: Eis trifft auf Locker- oder Festgestein.



Bild: IGF/OAW



Methodik zur Durchführung der Längenmessungen am Mullwitzkees.

Der österreichische Alpenverein führt jedes Jahr Längenmessungen an ausgewählten österreichischen Gletschern durch. Im aktuellen Gletscherbericht aus dem Haushaltsjahr 2018/2019 wird auf ein gletscherungünstiges Jahr verwiesen. Von 92 gemessenen Gletschern zogen sich 86 (93,5 %) zurück. Fünf Gletscher blieben stationär (weniger als ± 1 m Längenverlust) und ein Gletscher wies einen geringfügigen Vorstoß auf. Der mittlere Rückzug beträgt -14,3 m. (Lieb und Kellerer-Pirkelbauer 2020)

Rechts: Mittlere Längenänderungen und Anzahl der vorstoßenden (schwarz), stationären (hellgrau) und zurückschreitenden (weiß) Gletscher (Lieb und Kellerer-Pirkelbauer 2020).

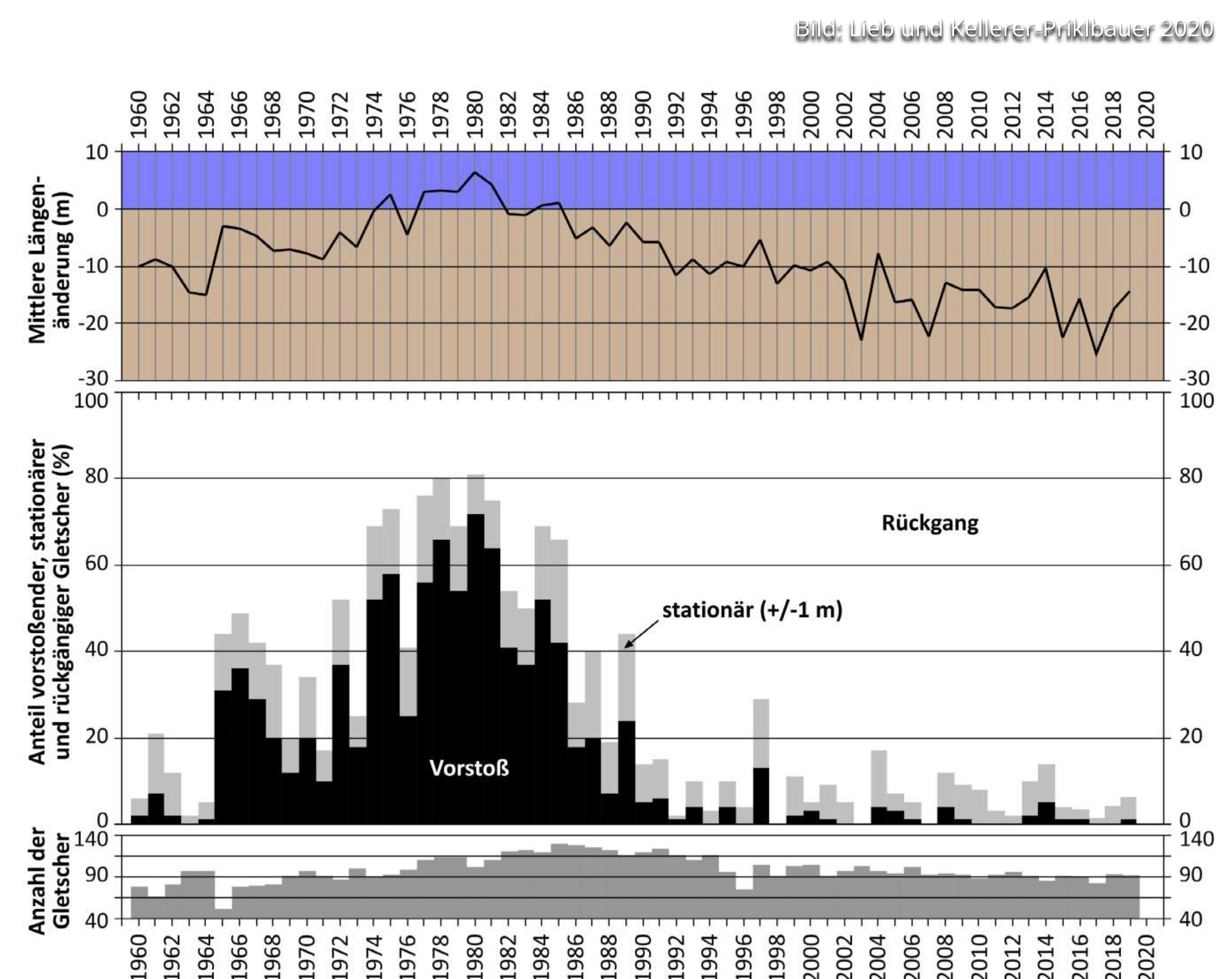


Bild: Lieb und Kellerer-Pirkelbauer 2020

Gletscherzunge & Vergleichsbilder

In Zeiten von abschmelzenden Gletschern werden die Gletscherränder ständig verändert. Die Position der Gletscherränder verschiebt sich bergaufwärts, wenn es zu einem Abschmelzen der Gletscher kommt. Gletscherzungen können sich aufteilen und zerlappen, bevor ein kompletter Eiszerfall folgt. Der Gletscher kann komplett oder in Teilen von Moränenmaterial bedeckt sein. Dadurch kann es schwierig sein, das exakte Ende des Gletschers zu ermitteln (Leser 2009). Der Eiszerfall an den Eisrändern und vor allem der Rückzug der Gletscherzungen kann durch Vergleichsbilder anschaulich gemacht werden. Folgende Vergleichsbilder zeigen ein Beispiele von Gletschern aus dem Nationalpark Hohe Tauern.



Bild: OeAV



Bild: Nationalpark Hohe Tauern

Johannishütte beim Großvenediger im 19. Jhd. und 2010

Gletscher schmelzen, wenn es wärmere Temperaturen gibt. Dies sieht man vor allem an den Rändern, der sogenannten Gletscherzunge. Es kann auch sein, dass ganze Eisblöcke abbrechen. Diese liegen dann vor dem Gletscher. Vergleicht man Fotos von verschiedenen Jahren ergeben sich große Unterschiede. Schau genau!



Bild: DAV



Bild: Nationalpark Hohe Tauern

Johann Stüdl hat die Alte Prager Hütte damals bewusst nahe über dem damaligen Gletscher erbaut, sodass die Bergsteiger rasch auf dem "ewigen Eis" waren und den Großvenediger besteigen konnten. Gut 150 Jahre später fehlen hunderte Höhenmeter zum "ewigen Eis". Schlattenkees mit alter Prager Hütte 1894 (links) und 2019 (rechts).



Bild: OeAV



Bild: OeAV



Bild: OeAV



Bild: Nationalpark Hohe Tauern

Historische Gletscherbilder zum Schlattenkees: 1860, 1954, 1963 und 2019.



Bild: OeAV

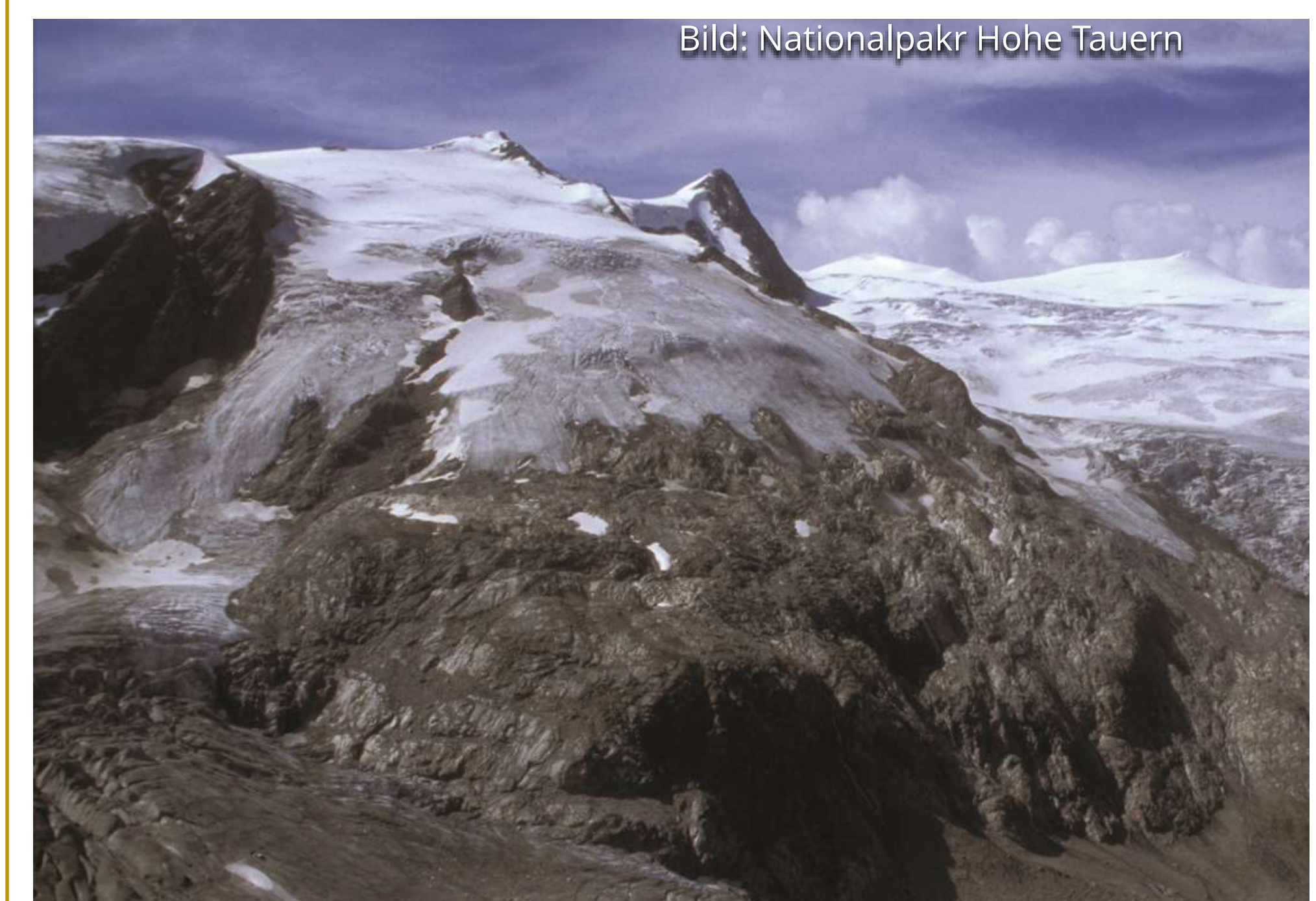


Bild: Nationalpark Hohe Tauern

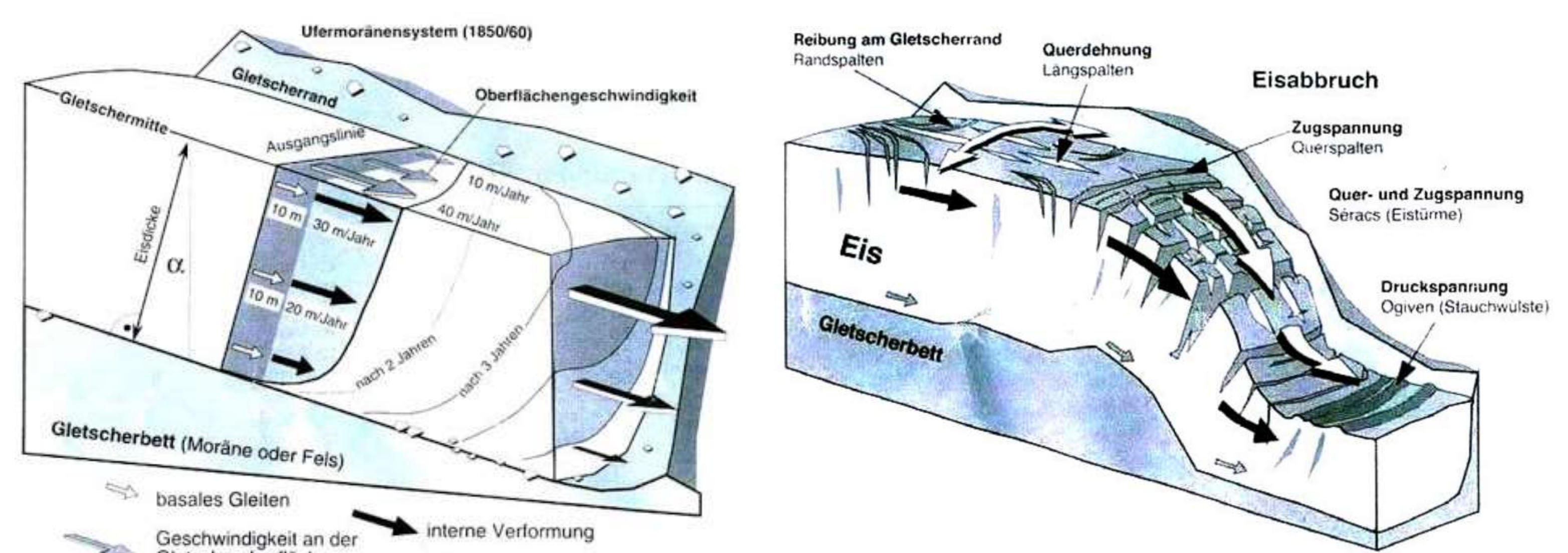
Hoher Zaun, Jahre 1920 (oben), 2005 (unten).

Gletscherbewegung - Gletscherspalten

Ein deutliches Charakteristikum eines Gletschers ist die aktive Eisbewegung. Gletscher bewegen sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten fort. Alpengletscher zeigen eine maximale Fließgeschwindigkeit zwischen 30 und 150 m pro Jahr. Die Gletscherbewegungen und die Gletschergeschwindigkeiten hängen eng mit dem Massenhaushalt zusammen (Zepp 2017). Je mehr Schnee ein Gletscher in seinem Nährgebiet erhält, desto beweglicher ist er (Ahnert 2015).

Innerhalb der Eismassen kommt es zu unterschiedlichen Verschiebungen und Fließgeschwindigkeiten. So bewegt sich an der Gletscheroberfläche das Gletschereis in der Hauptstromrichtung schneller, und nimmt zu den Rändern ab. Bezüglich der Tiefe fließt das Eis auch an der Gletscheroberfläche am schnellsten und verliert an Geschwindigkeit je näher es dem Grund kommt (Strahler et al. 2009). Durch die Gletscherbewegungen kommt es im Gletscher zu Spannungen und Zerrungen, die an der Oberfläche als Gletscherspalten zu erkennen sind (Baumhauer 2013). Gletscherbewegungen und

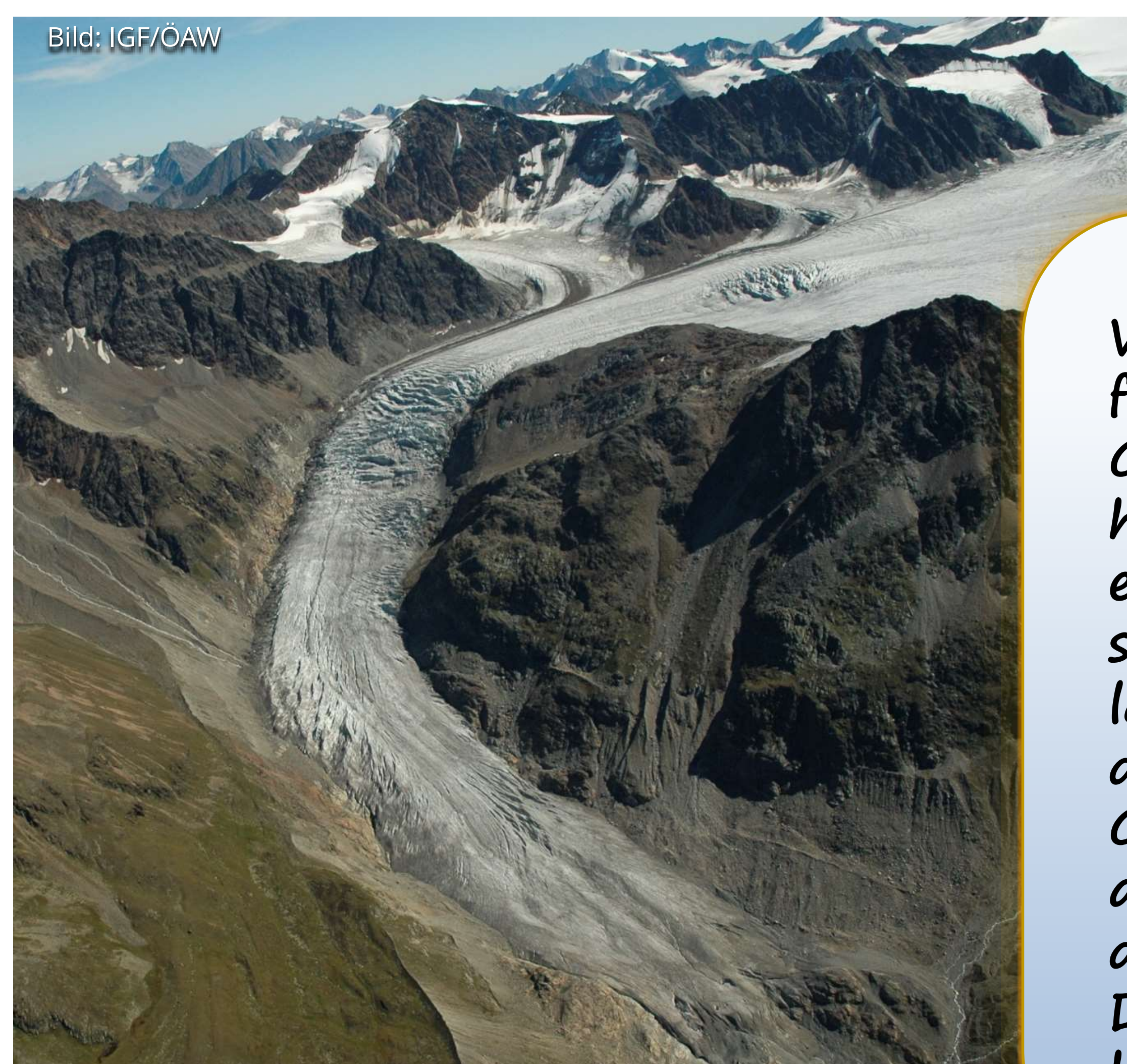
die Fließgeschwindigkeiten können methodisch erfasst und gemessen werden, wie zum Beispiel durch GPS Messungen.



Veranschaulichung zu den Prozessen der Gletscherbewegungen (links) und der Gletscherspalten (rechts) (Maisch et al. 1999).



Geodätische Messungen zu Bewegungsgeschwindigkeiten heute und früher (oben und unten)



Anordnung von verschiedenen Arten von Gletscherspalten

Wie du bereits weißt, fließt das Eis eines Gletschers den Berg hinunter. Dabei kommt es zu Bereichen die schneller und andere die langsamer fließen. Durch die Bewegungen eines Gletschers bilden sich auch Gletscherspalten, die in die Tiefe reichen. Da sollte man nicht hineinfallen.



Eingebohrte Stangen werden zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten mittels GPS Geräten eingemessen. Aus der Differenz zeigt sich, um wie viel sich die Position verändert hat und daraus kann auf die Fließgeschwindigkeit geschlossen werden.

Stumme Zeugen der Gletscherbewegung

Auf dem Gletscher kommt es zur Ablagerung von Gesteinsmaterial, welches von Lawinen, Felsstürzen oder Steinschlag stammt. Dieses Material wird teilweise auch ins Eis aufgenommen und wird somit auf und im Gletschereis den Berg hinunter transportiert (Wilhelmy und Embleton-Hamann 2007). Sowohl das transportierte Material, wie auch die charakteristischen Ablagerungsformen werden als Moräne bezeichnet (Zepp 2017).

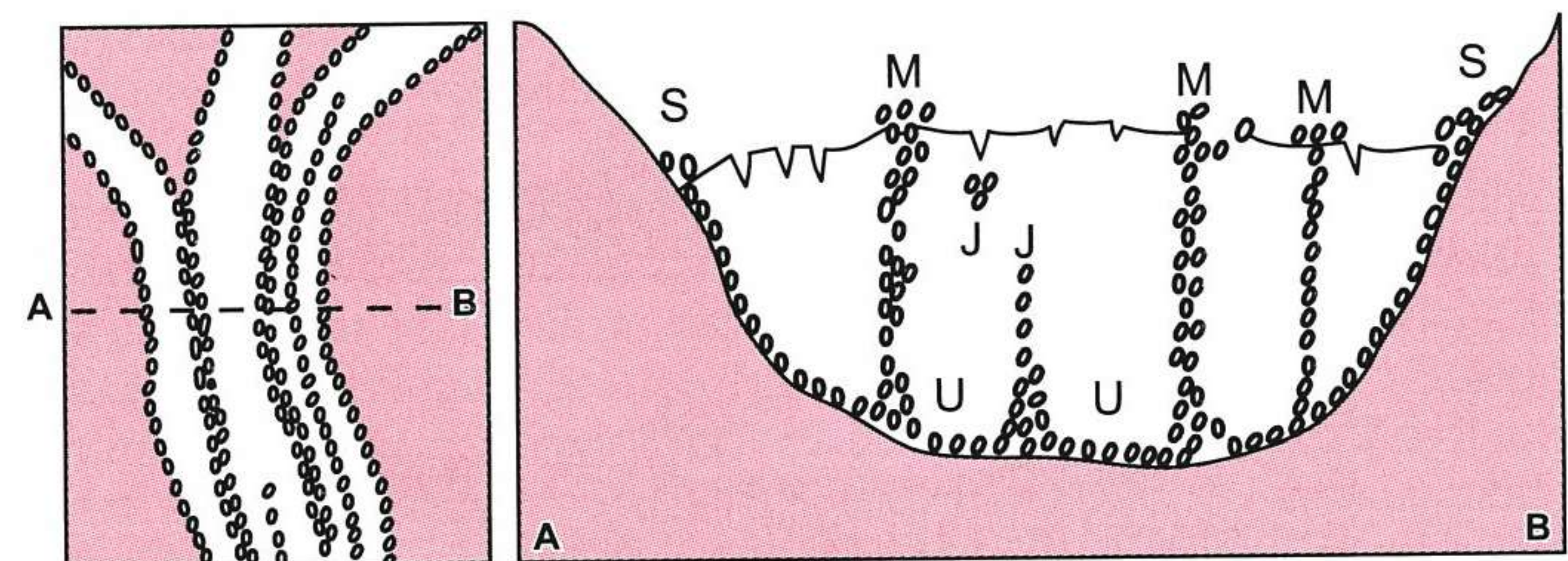
Moränen sind Ablagerungen aus Gestein und Schutt, welches auf, im und am Gletscher zu finden ist. Dieses lockere Gesteinsmaterial hat verschiedene Größen, ist meist kantig und unsortiert (Zepp 2017). Auf und um einen Gletscher können verschiedene Formen entdeckt werden. Sie unterscheiden sich je nach Lage und Form (Wilhelmy und Embleton-Hamann 2007).



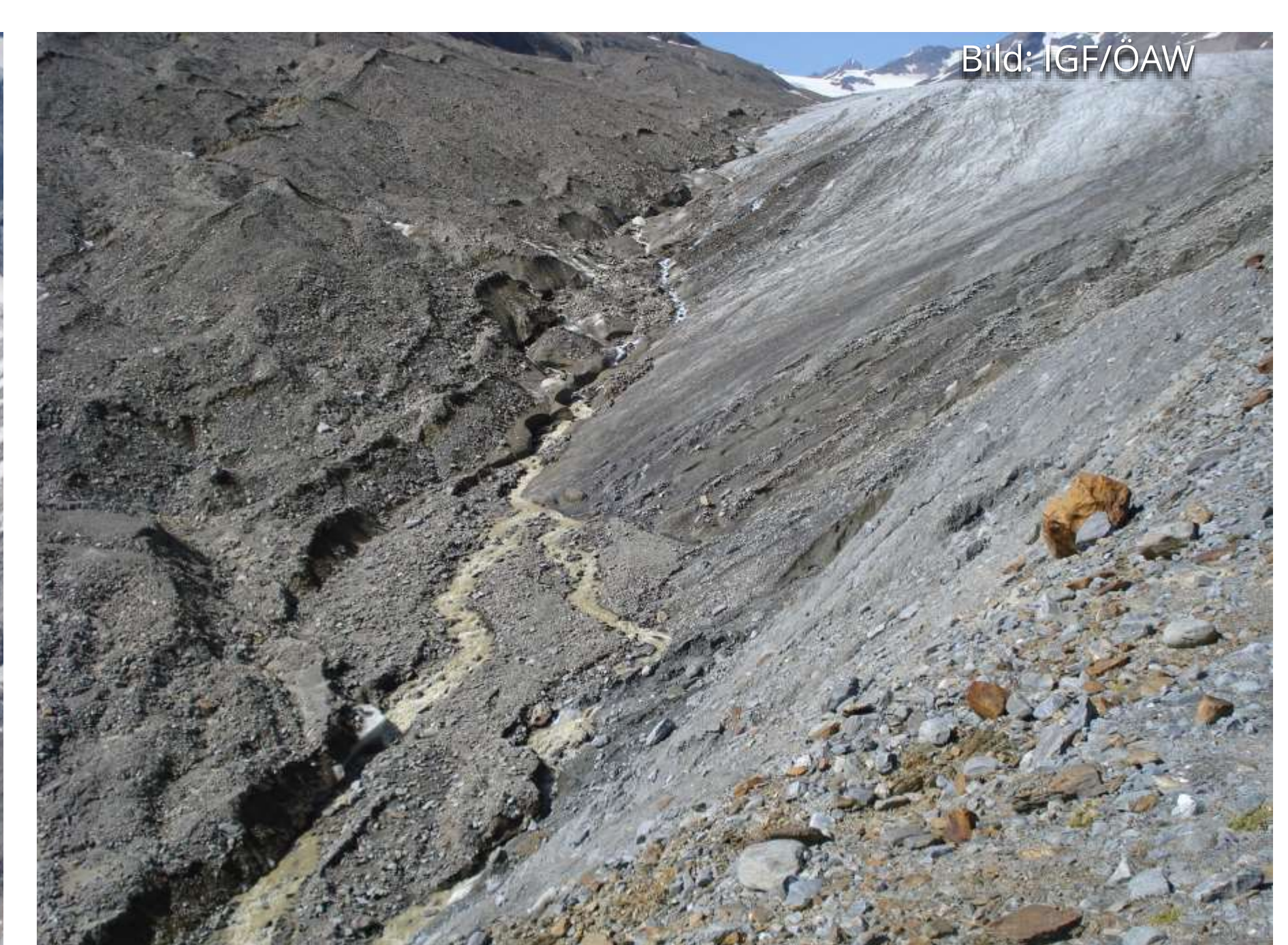
Moränenmaterial besteht aus Gesteinsmaterial, welches vom Gletscher transportiert wird.

Material auf dem Gletschereis wird als Obermoräne bezeichnet. In den Gletscher eingearbeitetes Moränenmaterial zeigt sich als Innenmoräne. Seitenmoränen sind an den seitlichen Gletscherrändern als Wälle zu finden. Schmilzt ein Gletscher ab, vereinigen sich verschiedene Moränentypen zum neuen Typus der Grundmoräne. Sie sind flächige Moränenablagerungen im Gletschervorfeld (Wilhelmy und Embleton-Hamann 2007). Hin zum Gletscherrand nimmt der Grad an Schuttbedeckung meist zu,

wobei das Eis oft komplett bedeckt ist (Ahnert 2015).



Positionierung von verschiedenen Moränentypen: Seiten- (S), Mittel- (M), Unter- (U) und Innen- (J) Moränen, sowohl im Grundriss als auch im Querschnitt (Wilhelmy und Embleton-Hamann 2007)



Beispiele von Moränentypen im NP Hohe Tauern: Seiten- und Obermoräne am Schlattenkees (links), Ober- und Grundmoräne am Viltragenkees (Mitte), Überlappung mehrerer Moränentypen zu einer Grundmoräne (rechts).



Obermoräne am Ködnitzkees (links) und Seitenmoräne am Zettalunitzkees (rechts).

Ein Gletscher besteht nicht nur aus Eis, sondern auch aus Steinen. Diese fallen auf den Gletscher. Schau dir auf der Abbildung an, wo und wie die Steine transportiert werden. Das vom Gletscher in Haufen abgelagerte Gestein wird als Moräne bezeichnet.



Naturgefahren auf und von Gletschern

Nach dem Abschmelzen der eiszeitlichen Gletscher kommt es zur Freilegung von übersteilten Felswänden. Durch den Verlust der Eismassen fällt dessen schützende und stützende Wirkung für die Felswand weg. Als Folge werden Spannungen abgebaut und es kommt zu Anpassungsprozessen, wie Steinschlag, Felsstürze oder ganze Bergstürze. Aber auch langsame und dennoch stetige Bewegungen von Gesteinsmassen sind möglich. Mit der Zeit verringern sich die Spannungen in den Felswänden und die ausgleichenden Massenbewegungen nehmen ab. Solche Anpassungsprozesse stellen Material bereit, welches auf und im Gletscher transportiert werden kann (Ballantyne 2002).



Bild: Nationalpark Hohe Tauern Jurgait



Bild: Nationalpark Hohe Tauern

Beispiele für Naturgefahren im Nationalpark Hohe Tauern: Bergsturz im Dorfertal als Folge des übersteilten Reliefs aus Eiszeiten (links) und Bildung eines kleinen Gletschersees im Vorfeld des Mullwitzkees (rechts).

Eine andere mögliche Naturgefahr ist das Auftreten von Gletscherseen. Solche Gewässer variieren stark in ihrer Größe. Einige Seen vergrößern sich und ziehen sich als Reaktion auf Gletscherschwankungen innerhalb von Jahren bis zu Jahrtausenden zurück, während andere sich über Zeiträume von Tagen bis Jahren füllen und entleeren (Benn und Evans 2010). Beim Gletscherrand oder im Gletschervorfeld können sich Seen aufstauen (Carrivick und Tweed 2013). Der Damm kann aus einem Moränenwall, aus einer Schwelle im Festgestein oder auch aus einer Ablagerungsmasse eines Bergsturzes bestehen. Durch einen möglichen Dammbruch kann es zur Entwässerung des Sees kommen, wobei es zu Überschwemmungen talauswärts kommt. Sie stellen in vielen vergletscherten Regionen eine ernste Gefahr dar und haben auch in der Vergangenheit die Landschaft geprägt (Benn und Evans 2010).



Bild: Nationalpark Hohe Tauern Jurgait

Dorfersee im Dorfertal, der aus einer Ablagerungsmasse eines Bergsturzes aufgestaut wird.

Wenn Gletscher abschmelzen werden an ihren Seiten oft steile Felswände frei, von denen kleine Steine bis große Felsbrocken abstürzen können. Aber auch Seen, die sich vor den Gletschern bilden, können zur Gefahr werden. Wenn der Damm eines Sees bricht, geht eine Flutwelle ins Tal. Um solche Naturgefahren früh genug zu erkennen, müssen wir die Gletscher ganz genau beobachten.



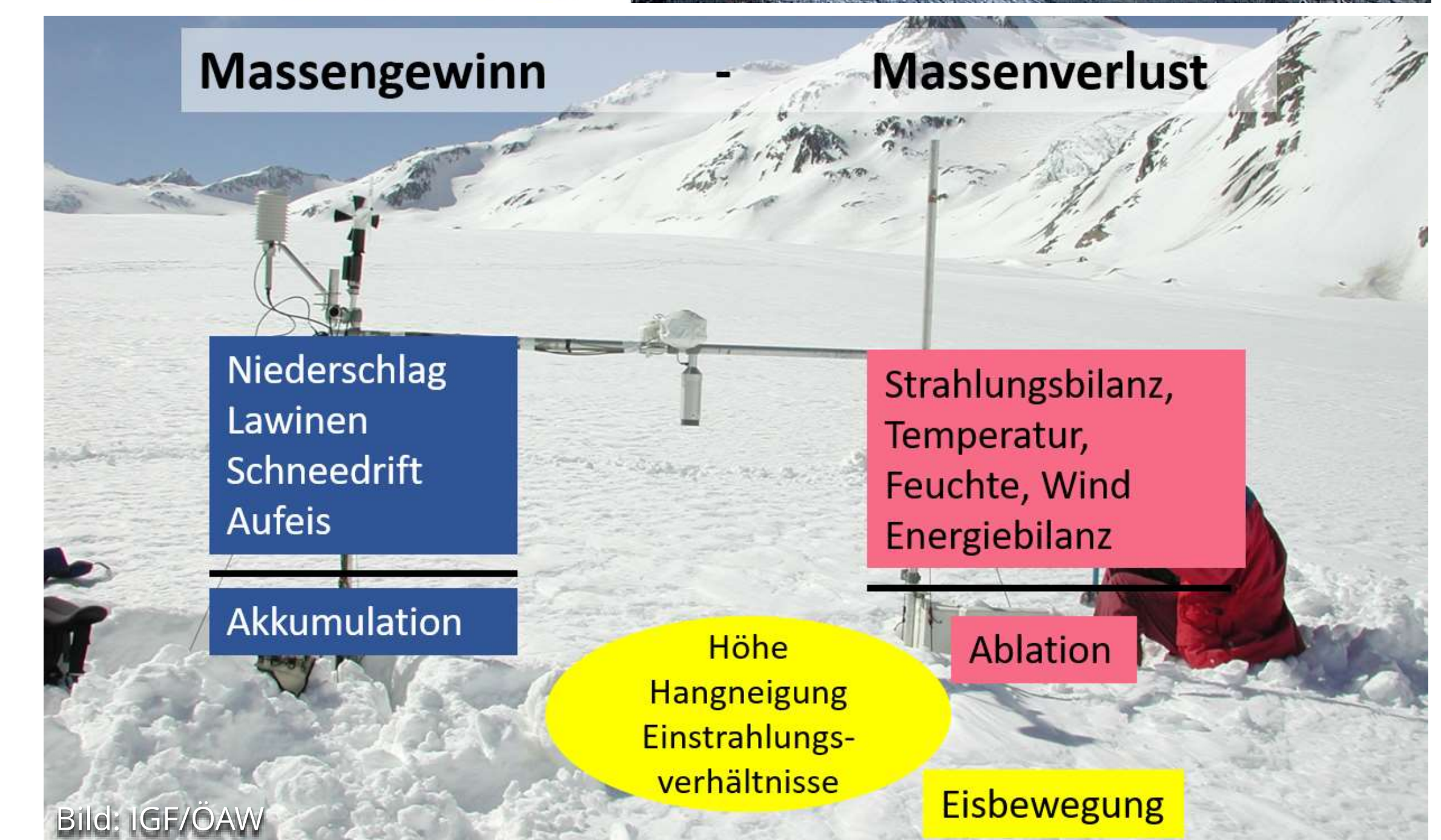
Gletscher als Klimazeugen

Der Gewinn und Verlust von Eismassen in einem Gletschersystem wird als Massenbilanz bezeichnet. Unter Akkumulation werden Schnee- und Eis-Ansammlungen zusammengefasst, welche den Massengewinn darstellen. Dieser Schnee und das Eis werden dann durch Gletscherbewegung talabwärts transportiert, bis sie für das glaziale System verloren gehen. Dies geschieht entweder durch Schmelzen, Verdampfen oder durch Abreißen von Eisblöcken. Die Verluste werden als Ablation zusammengefasst, die den Massenverlust bilden (Benn und Evans 2010). Die Massenbilanz eines Gletschers verdeutlicht die Änderung seiner Masse für einen bestimmten Zeitabschnitt (Ahnert 2015).

Nebenstehende Abbildung zeigt den Massen- und Energiehaushalt eines Gletschers. In der Regel ist das Nährgebiet durch seine ganzjährige Schneedecke zu erkennen. Im Zehrgebiet verliert der Gletscher durch Schnee- und Eisschmelze an Masse. Das Zehrgebiet ist im Spätsommer durch das blanke Eis zu erkennen (Wilhelmy und Embleton-Hamann 2007). Gleichbleibende Gletscher zeigen eine ausgeglichene Massenbilanz, wodurch es weder zum Zurückziehen noch zum Vorstoßen kommt (Zepp 2017).

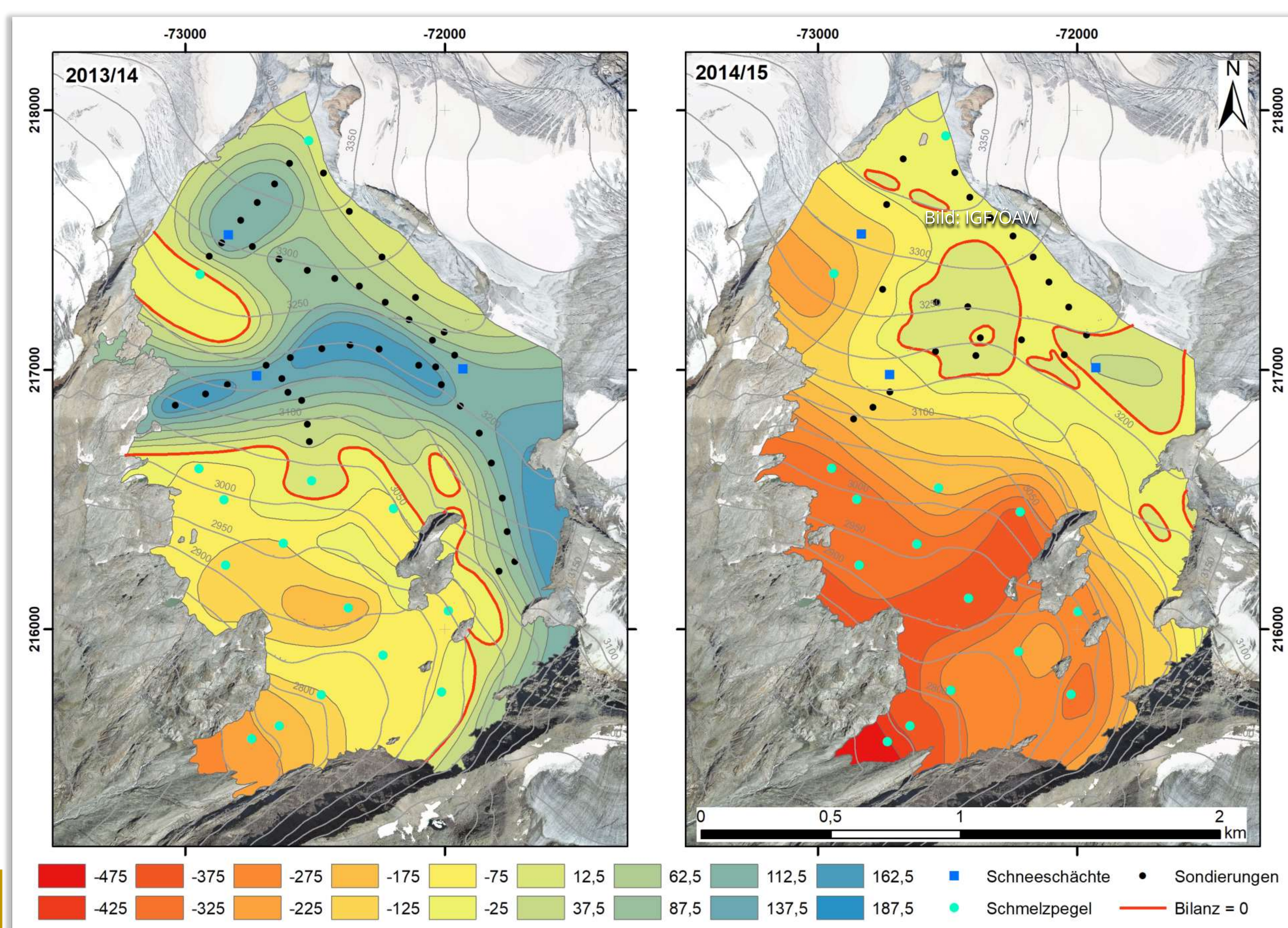


Veränderungen am Mullwitzkees zeigen einen deutlichen Rückgang der Gletscherfläche.



Komponenten der Massenbilanz, wobei die Gewinne den Verlusten gegenübergestellt werden

Ein Gletscher kann in zwei Teile gegliedert werden: das Nähr- und das Zehrgebiet. Im oberen Bereich, dem Nährgebiet, kommt es zur Ansammlung von Schnee. Davon ernährt sich der Gletscher. Dieser wird zu Eis und fließt hinunter. Im unteren Bereich, dem Zehrgebiet, schmilzt das Eis. Gemeinsam ergibt sich eine Verkleinerung oder Vergrößerung des Gletschers.



Vergleich von zwei Massenbilanzergebnissen für das Mullwitzkees. Die farblichen Abstufungen zeigen den Wasserwert in Millimeter. Die Abbildungen zeigen einen Vergleich der bisher positivsten Massenbilanz im Jahr 2013/14 (links) und der bisher negativsten Massenbilanz im Jahr 2014/15 (rechts) seit Beginn der Messungen. Die rote Linie markiert dabei den Übergang von Bereichen mit Massenzuwachs zu Bereichen des Massenverlusts.

Im Nationalpark Hohe Tauern werden an ausgewählten Gletschern Massenbilanzmessungen durchgeführt. Am Mullwitzkees wird die Jahresmassenbilanz seit 2006 gemessen.

Monitoring von Gletschern

Gletscher reagieren auf Klimaänderungen und sind somit geeignete Indikatoren des Klimawandels. Lange Messreihen helfen dabei, ihre Reaktion auf Klimaänderungen besser zu verstehen. Verschiedene methodische Ansätze, die zur systematischen Beobachtung von Gletschern dienen und sich über eine längere Zeitspanne erstrecken, werden als Gletschermonitoring zusammengefasst.

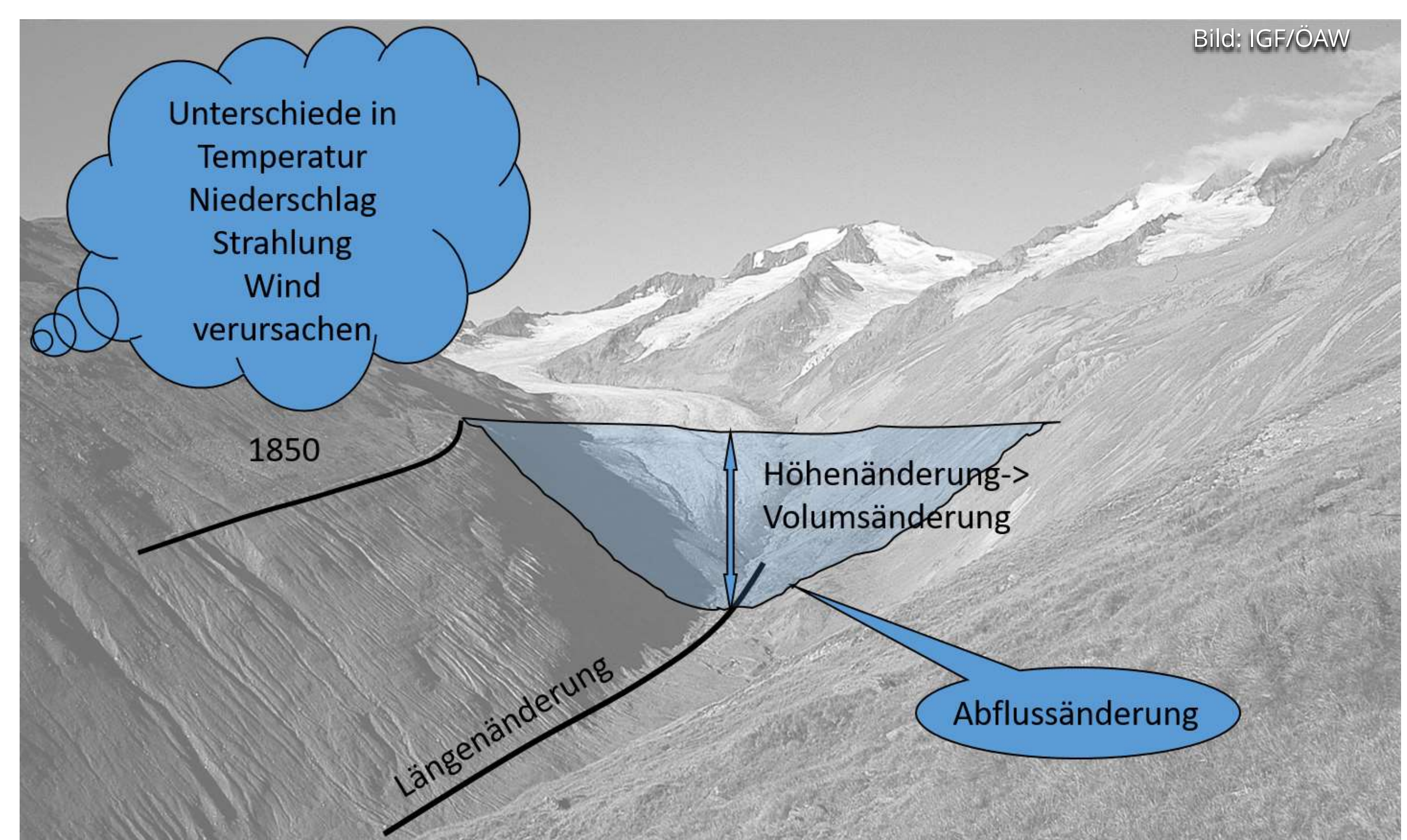
Unterschiede in Temperatur, Niederschlag, Strahlung und Wind verursachen Veränderungen im Gletscher und seinem Umfeld. Dadurch kommt es unter anderem zu Höhenänderungen, Volumensänderungen, Änderungen im Abfluss und Längenänderungen. Bedeutende Parameter

sind Fläche, Länge und Volumen. Weitere zu untersuchende Parameter sind Albedo (Reflexionsvermögen der einkommenden Strahlung), Spaltenhäufigkeit, Fließgeschwindigkeit und Firnbedeckung.

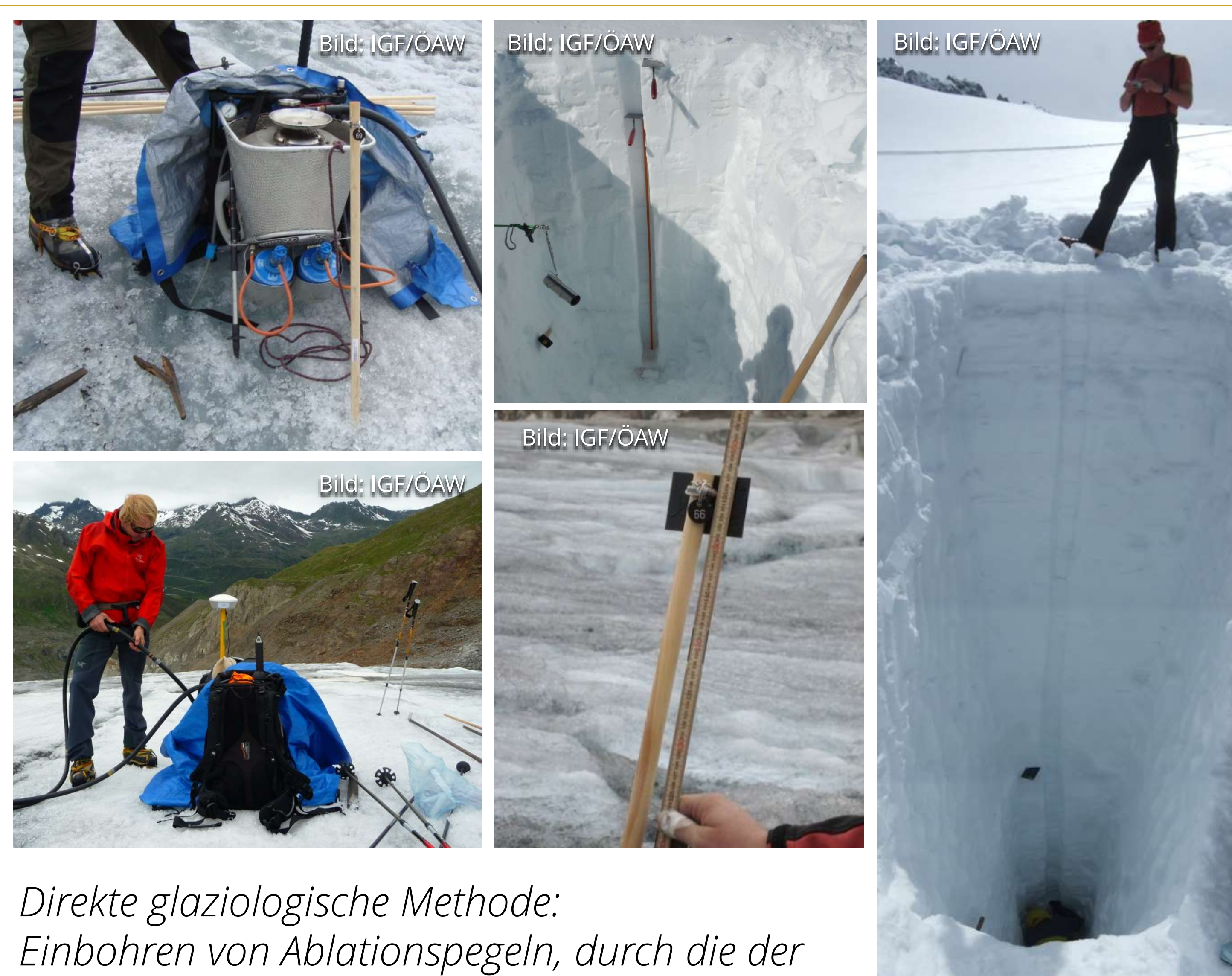
Massenbilanzmessungen:

- Direkte glaziologische Methode: Bilanz der Oberfläche anhand von Schmelzpegeln, Schneeschächten und Sondierungen
- Geodätische Methode: Berechnung der Volumensänderung aus Höhenmodellen und differentiellen GPS
- Hydrologische Methode: aus Gebietsniederschlag, Abfluss und Verdunstung ergibt sich die Speicherung (Gletscher)

Fernerkundung, Eisdicken-, Längen-, Fließgeschwindigkeitsmessungen, etc.

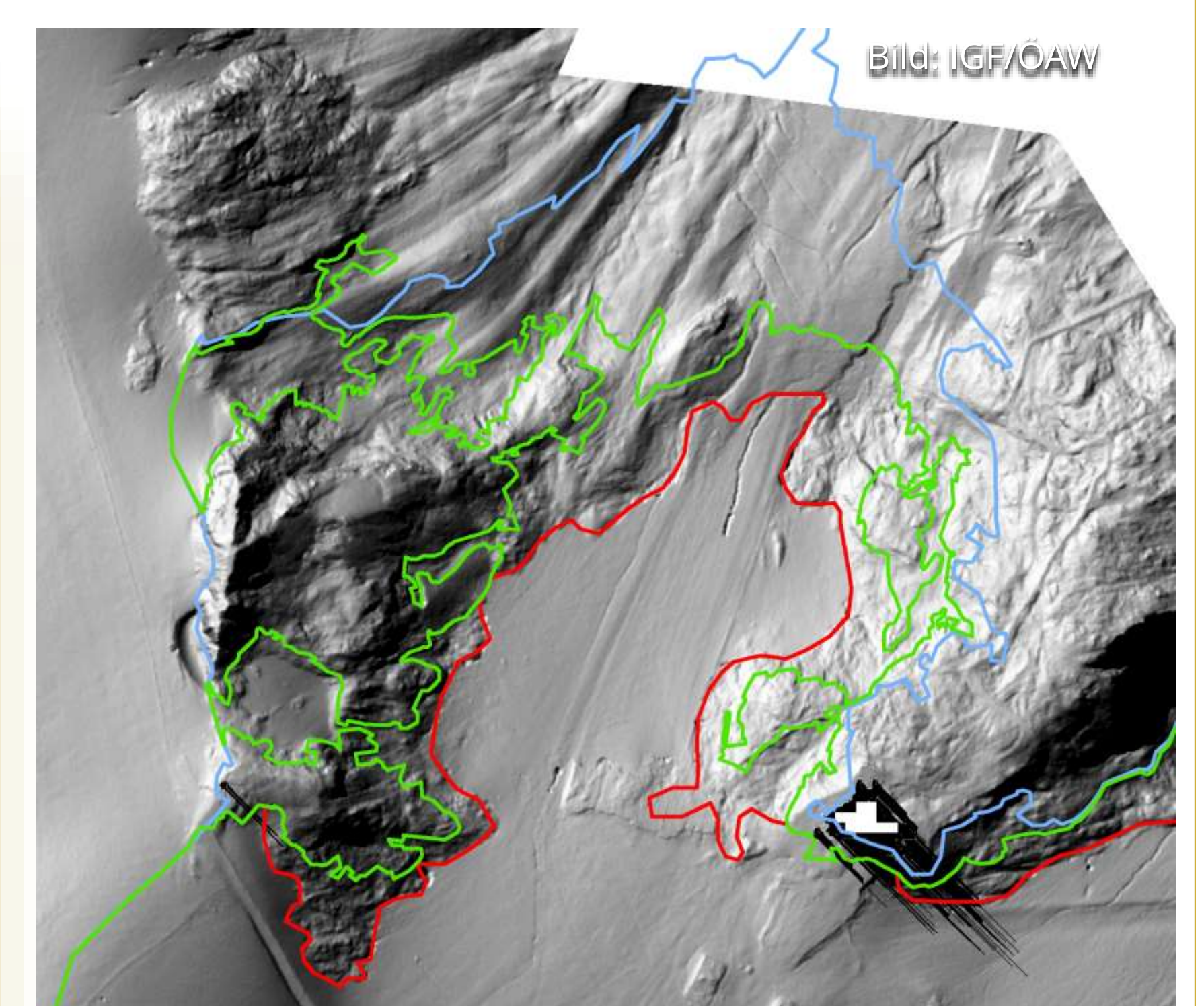


Parameter und Veränderungen für glaziologisches Monitoring



Direkte glaziologische Methode: Einbohren von Ablationspegeln, durch die der vertikale Eisverlust gemessen wird, wobei Holzstangen mit einem Dampfbohrer ins Eis getrieben werden. In Schneeschächten wird die Schneedichte im Akkumulationsgebiet erhoben. Schneetiefen werden mittels Sondierungen auf der ganzen Gletscherfläche gemessen.

Tom und Ida beobachten Gletscher und ihre Veränderungen, um sie besser zu verstehen. Sie graben nach dem Winter ein tiefes Loch bis zum Gletschereis und messen, wie viel Schnee im Winter gefallen ist. Nach dem Sommer wird mit Stangen gemessen, wie viel Eis vom Gletscher abgeschmolzen ist.



Geodätische Methode: Höhenmodelle aus Fernerkundungsdaten (oben) Airborne Laserscanningdaten 2006



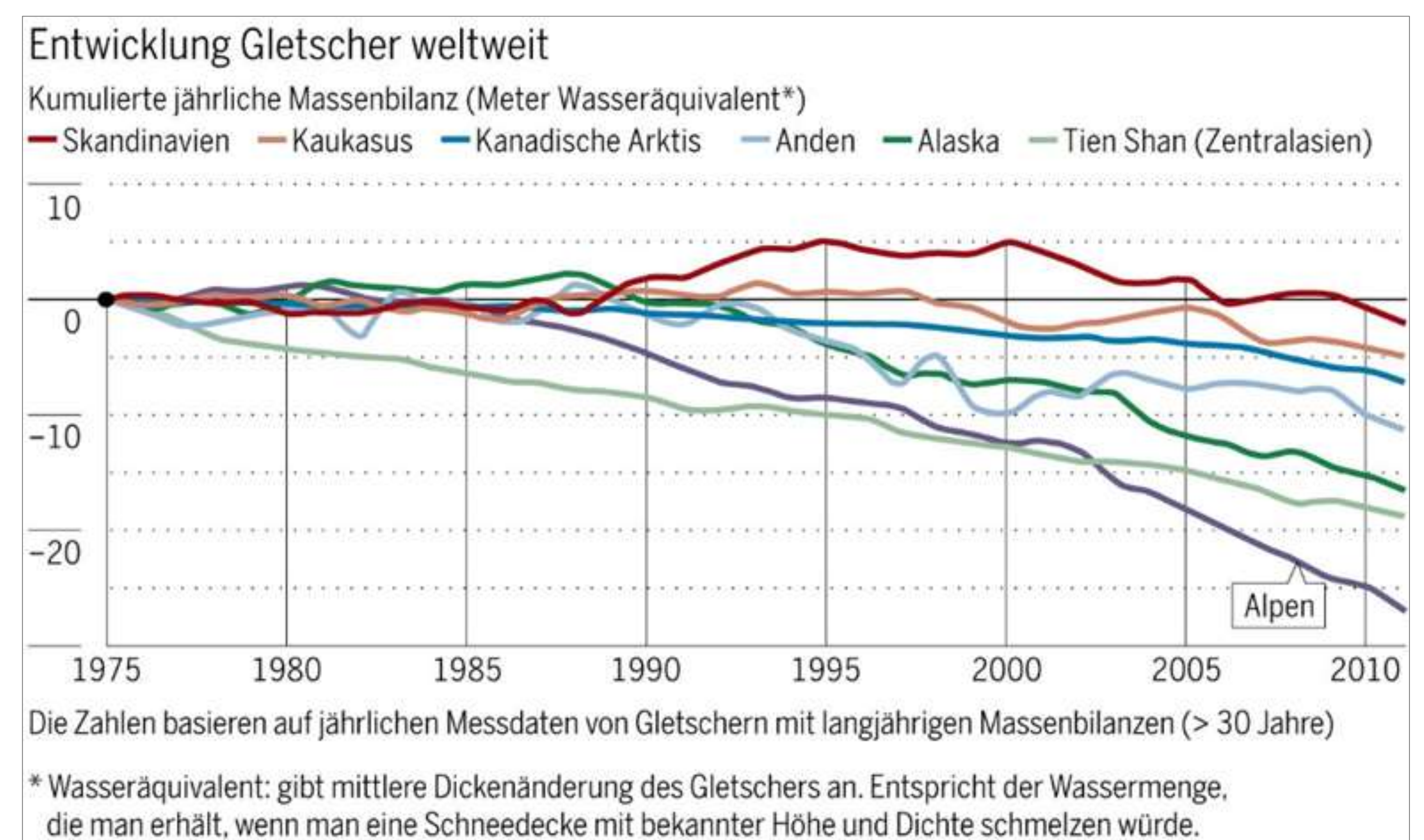
Hydrologische Methode: Abflussmessungen (links) Eisdickenmessungen mittels Radar (Mitte und rechts)

Massenbilanzmessungen

Global betrachtet zeigen sich deutliche Veränderungen der Gletscher. Die kumulierte jährliche Massenbilanz der einzelnen regionalen Einheiten wird in Metern Wasseräquivalent angegeben. Es handelt sich dabei um jene Wassermenge, die man erhält, wenn man das Wasser des Schneeszuwachses (aus Schneehöhe und Dichte) dem Wasser der Eisschmelze gegenüberstellt. Alle Gletscher verloren weltweit an Masse, wobei vor allem für die Alpen ein deutlicher Rückgang zu erkennen ist (Läubli 2013).

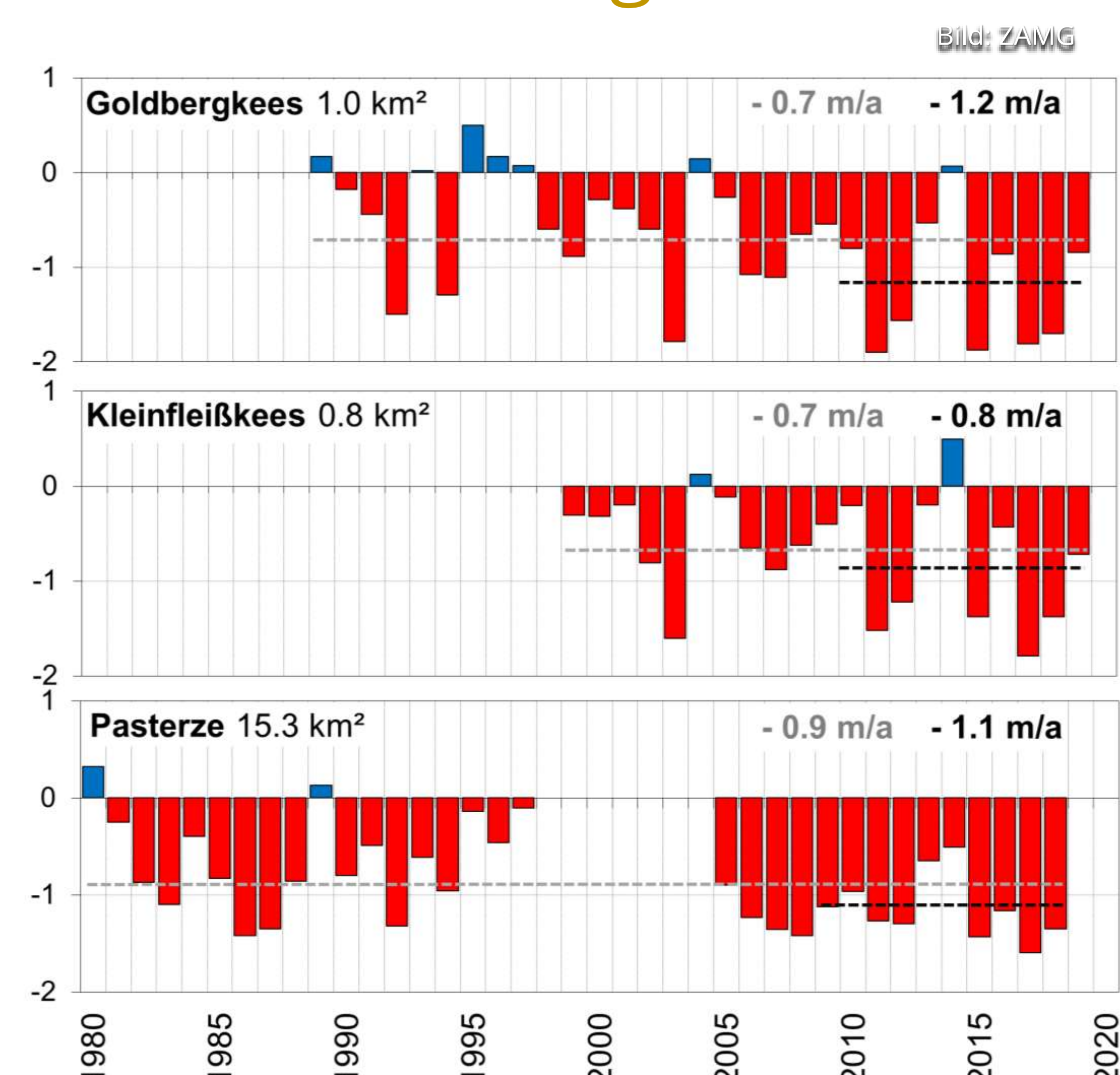
In den Alpen kommt es auf Grund der gestiegenen Sommertemperaturen und der abnehmenden Häufigkeit von Sommerniederschlägen in Form von Schnee zu diesem deutlichen Gletscherschwund. Vor allem die sommerlichen Schneefälle wären für eine Reduktion der Ablation besonders wichtig, da die weiße Schneedecke als Schutz vor der Einstrahlung dient. Durch den Albedoeffekt werden auf weißen Oberflächen 90 % der Sonnenstrahlen reflektiert (Winkler 2002). Ein weiterer Grund liegt in der stetigen Anhebung der Gletscher-Schneegrenze. In den Alpen liegen viele Gletscherflächen in einer Höhenlage um 2.500 bis 3.000 m. Durch ein Anheben der Gletscher-Schneegrenze kommt es zu einem größeren Eisverlust als bisher, da größere Flächen betroffen sind (Veit 2002). Seit der Kleinen Eiszeit haben alpine Gletscher etwa 80 % ihres Volumens verloren (Haeberli et al., 2007). Bis zum

Ende des 21. Jahrhunderts werden voraussichtlich 70% des verbliebenen Eisvolumens verloren gehen (Frezzotti und Orombelli 2014). Innerhalb des ersten Jahrzehnts des 21. Jahrhunderts wurden die negativsten Massenbilanzen seit Beginn der Beobachtungen gemessen (Zemp et al. 2015).



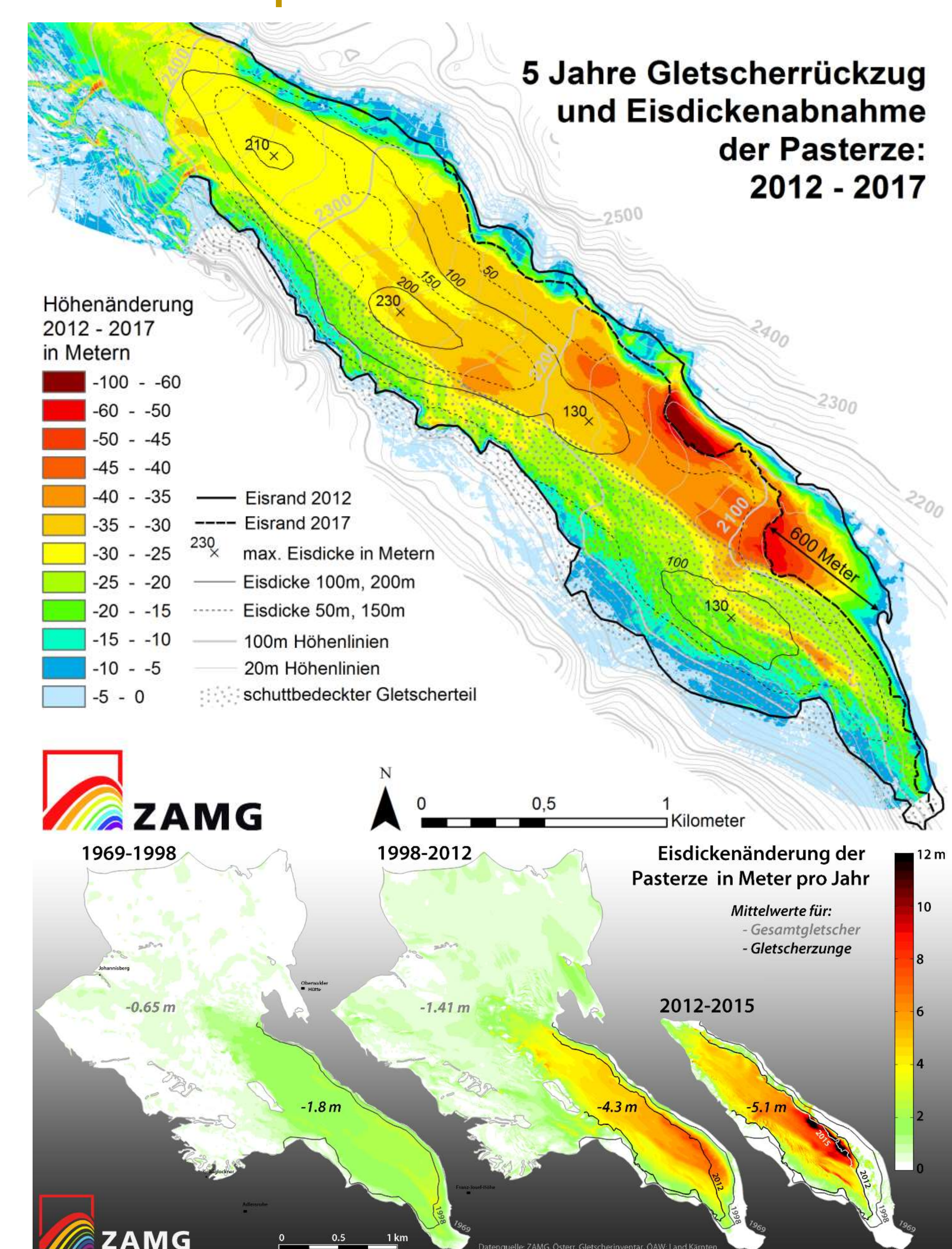
Weltweite Entwicklung von Gletschern für größere regionale Einheiten. Es zeigt sich eine kontinuierliche Reduktion (Läubli 2013).

Massenbilanzergebnisse für ausgewählte Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern



Die ZAMG betreibt im Rahmen des Projektes „Global Cryosphere Watch – Glazialhydrologische Monitoring Sonn-blick und Pasterze,“ gefördert durch das BMLRT ein umfangreiches Monitoring der Gletscher im Bereich des Hohen Sonn-blicks (Goldbergkees und Kleinfleißkees) und der Pasterze.

Fällt im Winter mehr Schnee als im Sommer schmelzen kann, nimmt die Masse eines Gletschers zu und wird größer. Schmilzt mehr wird er kleiner. Ida und Tom nennen das Massenbilanz. Die Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern werden kleiner, dies ist aber auch weltweit zu beobachten.



Jährliche Vergrößerung des Einbruchs auf der Gletscherzunge der Pasterze sowie deren Rückzug und Eisdickenabnahme basierend auf photogrammetrischen Methoden.

Inhalt zur Verfügung gestellt von der ZAMG;
Kontakt: marion.greilinger@zamg.ac.at

„Schuttströme“ aus Schutt und Eis

Permafrost bedeckt im Nationalpark Hohe Tauern laut Modellierungsergebnissen rund 500 km² - dies ist die 4fache Fläche der Gletscher! Aber Permafrost ist in den Hohen Tauern nur indirekt und an wenigen Stellen in Form von aktiven Blockgletschern sichtbar. Was ist mit dem „versteckten“ Eis im Gebirge, dem Eis im Permafrost das nicht einfach an der Oberfläche zu sehen ist, sondern versteckt in alpinen Felsflanken und Schutthalden zu finden ist?

Im Nationalpark Hohe Tauern wird in verschiedenen Gebieten die Verbreitung von Permafrost untersucht, wobei diese Untersuchungen in Form eines Monitorings betrieben werden. Dies bedeutet, dass die Erhebung von Daten nach Ort, Zeit und Methode standardisiert und langfristig erfolgt. Ein klarer Erwärmungstrend der Bodentemperatur und

folglich des Permafrostes ist an den vielen der Bodentemperatur-Messstellen im Nationalpark Hohe Tauern festzustellen. Trotz teilweise recht hoher Schwankungen von Jahr zu Jahr dominiert die Ungunst für Permafrost. Dies führt zur Erwärmung des Permafrostes und im Extremfall sogar bis zum kompletten Abtauen des Eises in ganzen Schutt- und Felsbereichen (Lieb et al. 2019).



Bild: A. Kellerer-Pirklbauer,



Bild: A. Kellerer-Pirklbauer,



Bild: A. Kellerer-Pirklbauer, V. Kaufmann

Klimastationen (links) und Miniatur-Temperaturdatenlogger (mitte) werden für das Permafrost-Monitoring eingesetzt. Blockgletscher sind charakteristische Landschaftsformen des alpinen Permafrostes: wie links der Blockgletscher im Hinteren Langtalkar, Schobergruppe.

Als typische Erscheinungsform des alpinen Permafrostes gelten „Blockgletscher“. Sie sind gefrorene und eisreiche Schuttmassen, die sich lavastromartig langsam aus den hoch gelegenen Karen talwärts bewegen. Im Nationalpark gibt es

fast 800 Blockgletscher, wobei rund 60 % heute noch Permafrost beinhalten. Die anderen 40 % sind reliktsch, liegen in tieferen Lagen und sind Zeugen einstiger Kaltzeiten vor tausenden von Jahren (Lieb et al. 2019).



Bild: V. Kaufmann

Einer der untersuchten Blockgletscher im Nationalpark liegt unterhalb des Tschadinorns bei Kals in Osttirol. Dieser Blockgletscher ist im Vergleich zu anderen Blockgletschern im Alpenraum eine Besonderheit. Er bewegt sich außerordentlich schnell mit Bewegungsraten von über 3,5 m pro Jahr und überschüttet bei seiner Vorwärtsbewegung alpines Grasland, welches seit über 10.000 Jahren weder von einem „normalen“ Gletscher noch von einem Blockgletscher bedeckt war (Kellerer-Pirklbauer et al. 2020).



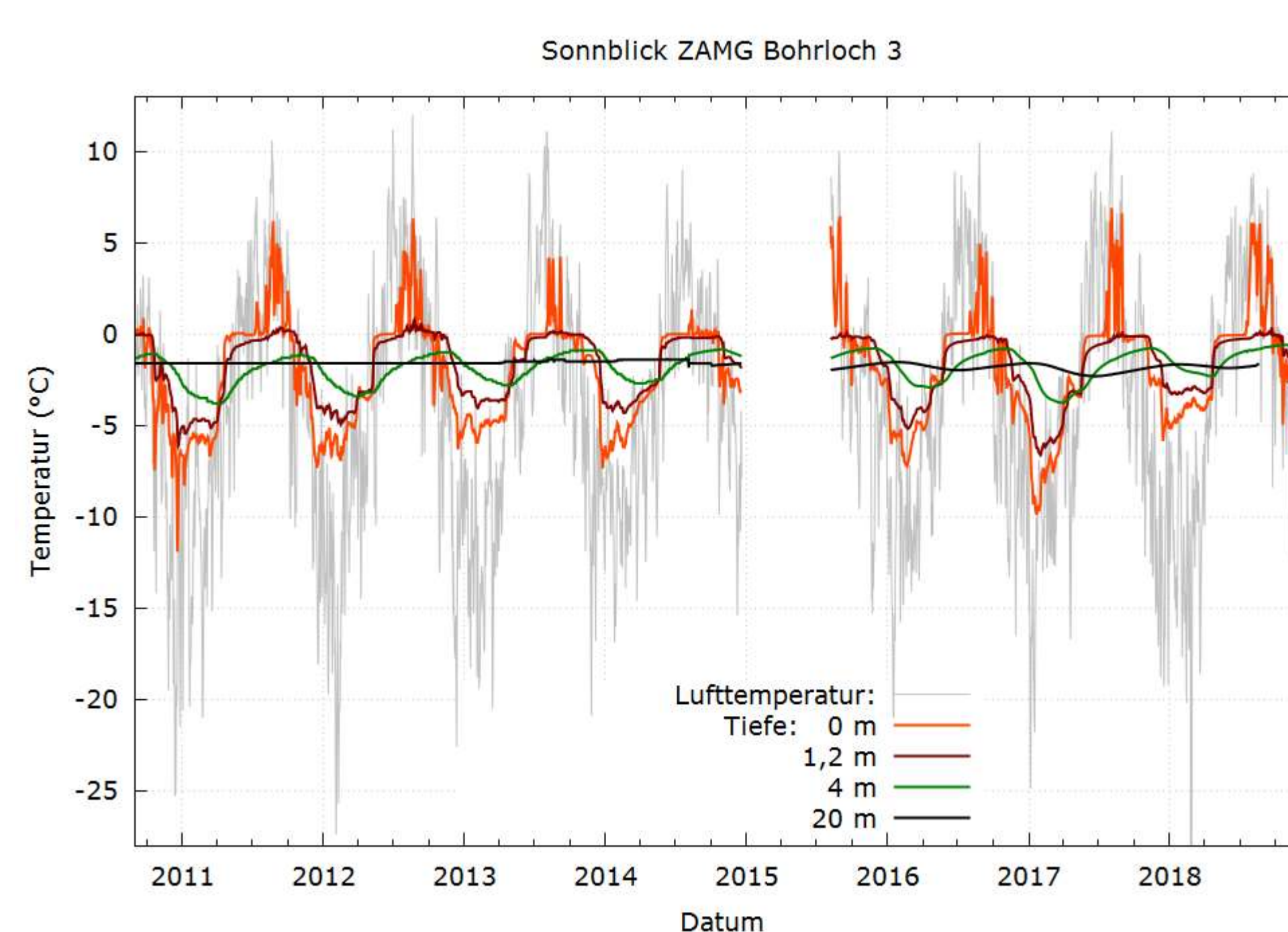
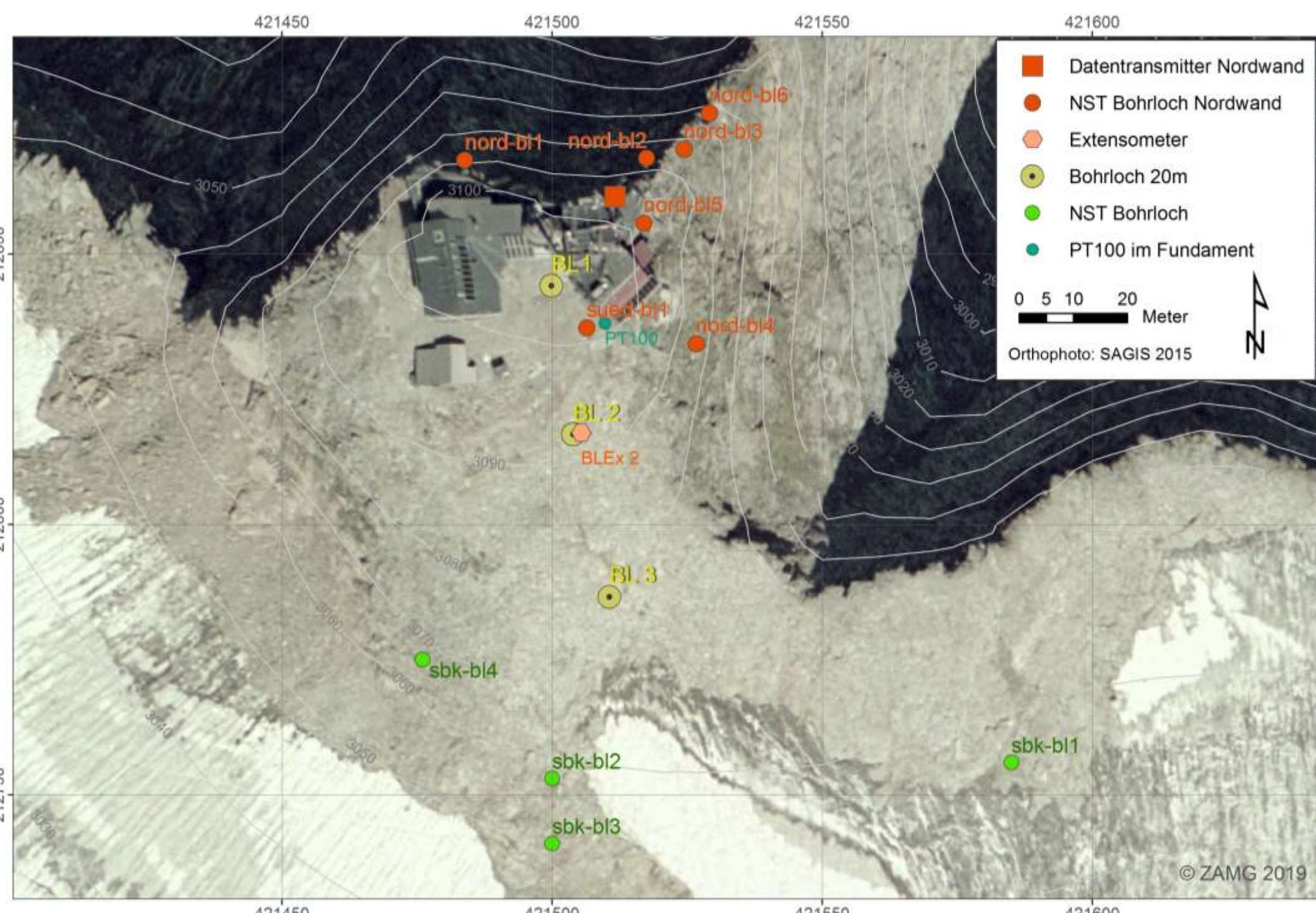
Blockgletscher sind ähnliche Formen wie Gletscher. Aber sie bestehen aus weniger Eis und sehr viel mehr Steinen. Die Bewegung eines Blockgletschers ist ähnlich zu einem „normalen“ Gletscher, da er sich fließend bergab bewegt. Der Blockgletscher in der Abbildung überfährt sogar die Almwiese.

Permafrost Monitoring

Permafrost sieht man auf den ersten Blick nicht. Denn Permafrost ist Boden, Sediment oder Gestein, welcher in unterschiedlicher Mächtigkeit und Tiefe unter der Erdoberfläche mindestens zwei Jahre ununterbrochen Temperaturen unter dem Gefrierpunkt aufweist. Im Sommer tauen die obersten Bodenschichten auf. Diese Auftauschicht ist am Gipfel des Hohen Sonnblicks etwa einen Meter dick.

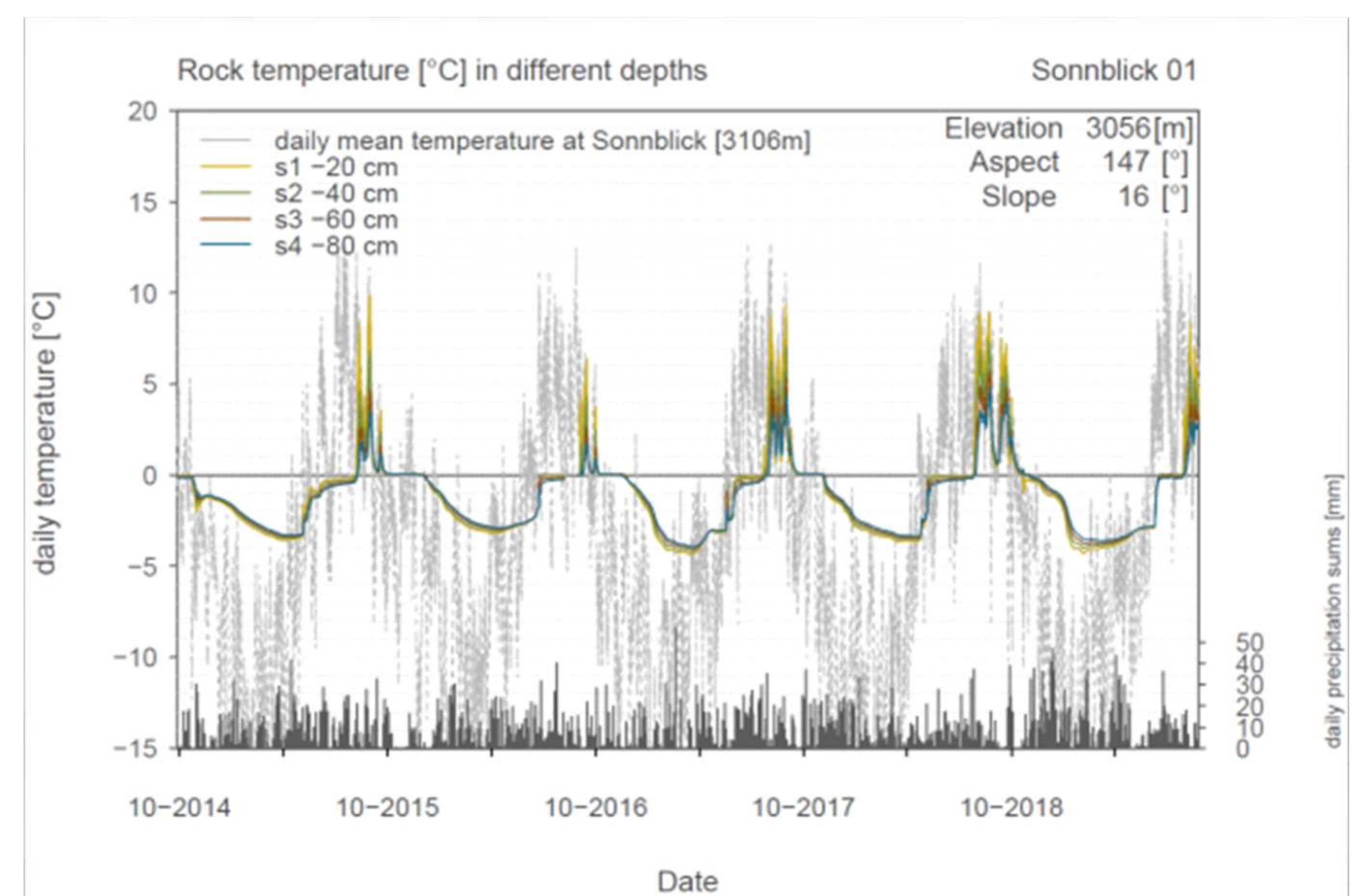
Messungen in tiefen Bohrlöchern

Im Zuge der Sanierung des Sonnblickgipfels wurden im Jahr 2005 drei zwanzig Meter tiefe Bohrlöcher gebohrt und mit Temperatursensoren ausgestattet. Die Abbildung links zeigt Permafrost Messstandorte am Hohen Sonnblick im Jahr 2019. In der Grafik in der Mitte sind der Temperaturverlauf in vier ausgewählten Tiefen in Bohrloch 3 und die Lufttemperatur zwischen 2010 und 2019 dargestellt. Die Tabelle rechts zeigt die maximale Auftauschicht (ALT) bei den Bohrlöchern 1 und 3 für die Jahre 2008 bis 2018.



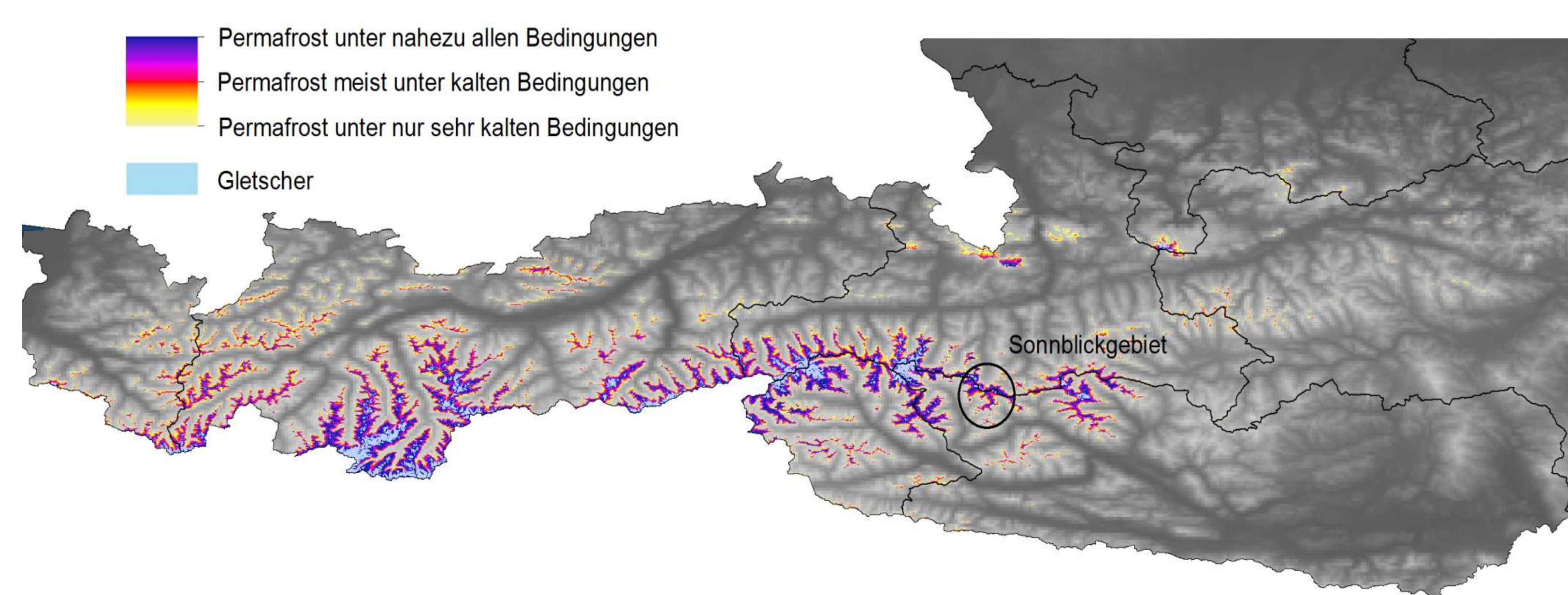
Jahr	Bohrloch 1		Bohrloch 3	
	ALT (m)	Datum	ALT (m)	Datum
2008	1,00	12. Sept.	0,70	10. Sept.
2009	0,80	29. Aug.	-	-
2010	1,04	27. Aug.	-	-
2011	1,04	26. Aug.	1,10	11. Sept.
2012	-	-	1,35	25. Aug.
2013	-	-	1,07	19. Aug.
2014	1,13	13. Aug.	0,80	13. Aug.
2015	-	-	1,50	18. Sept.
2016	-	-	1,10	15. Sept.
2017	-	-	1,30	1. Sept.
2018	-	-	1,40	24. Aug.

Messungen in seichten Bohrlöchern



Im linken Foto ist Eis im Boden zu sehen, auf das man bei den Grabungsarbeiten für die neue Seilbahn im Jahr 2017 neben dem Sonnblickobservatorium stieß. Das Foto daneben zeigt einen Temperaturlogger und die Kabel mit den Sensoren, die im Fels in bis zu ein Meter Tiefe die Temperatur messen. Das rechte Foto zeigt die Beobachter beim Bohren eines seichten Bohrlochs. In der Grafik sind der Temperaturverlauf in einem seichten Bohrloch an der Südflanke des Hohen Sonnblicks und Lufttemperatur und Niederschlag dargestellt.

Permafrostverbreitung in Österreich



Es gibt Boden, der das ganze Jahr gefroren ist. In diesem ist es besonders schwierig Hütten zu bauen. Ida und Tom beobachten, wie sich dieser Boden im Klimawandel verändert.

Rund 2,5 % der Gesamtfläche Österreichs weisen einen Permafrostboden auf. Neben Temperaturmessungen im oder am Boden werden auch geophysikalische Methoden wie Geoelektrik, Georadar oder seismische Tomographie angewandt, um Informationen über die Verbreitung und Mächtigkeit von Permafrost zu gewinnen.

Über den Bergschrund zum Gipfel

Auf den letzten Höhenmetern zum Berggipfel gilt es vom Gletschereis auf den Felsen zu wechseln. Dabei muss der Bergschrund überwunden werden. Unter Bergschrund versteht man eine Randspalte im oberen Akkumulationsgebiet, welche sich zwischen Gletschereis und Felswand ausbildet (Baumhauer 2013). Bei vielen Gletschern der Hohen Tauern sind in den Nährgebieten aktuell Mächtigkeitsverluste von rund 0.5 m pro Jahr zu beobachten. Dadurch kommt es im Randbereich der Gletscher zur Freilegung ‚neuer‘ Felswände, die während der letzten Jahrtausende immer von Gletschereis bedeckt waren.

Detaillierte Laserscanning-Untersuchungen aus den Hohen Tauern (Kitzsteinhorn, Johannisberg, Eiskögele) zeigen, dass sich aus kürzlich eisfrei gewordenen Felswänden besonders häufig Steinschläge und Felsstürze lösen. In einer am Kitzsteinhorn durchgeführten Langzeitstudie ergaben sich zwischen 2011 bis 2019 rund zwei Drittel der Steinschläge und Felsstürze aus Bereichen, die erst in den letzten Jahren bzw. Jahrzehnten eisfrei wurden. Die Ursachen sind weitgehend unbekannt und werden derzeit von mehreren Forschungsinstituten untersucht (GEORESEARCH, IGF, Landesgeologie Salzburg).



Arbeiten am und im Bergschrund, um die Messgeräte zu platzieren. Sie liefern wichtige Informationen zu den Dauerfrostbedingungen und den nach der Enteisung häufig auftretenden Steinschlägen.



Im Rahmen aufwändiger Forschungsarbeiten werden dabei in den Randklüften Messinstrumente installiert um die lokalen Bedingungen langfristig beobachten zu können. Die Palette der durchgeführten Messungen reicht von Fels-/Eis-/Lufttemperaturmessungen für ein besseres Verständnis der mikroklimatischen Bedingungen bis hin zu mikroseismischen Monitoring zur Charakterisierung der lokalen Intensität der Frostverwitterung. Die ersten Ergebnisse der Randluftmessungen deuten auf Dauerfrostbedingungen innerhalb der Randklüfte hin. Nach Eisfreiwerdung kommt es in den freigelegten Felswandbereichen zur Bildung einer tiefen sommerlichen Auftauschicht und zum Eindringen von Schmelz- und

Niederschlagswasser in die Klüfte des Gesteins. Die Kombination dieser destabilisierenden Faktoren könnte für die derzeit beobachtete Häufung gletschernaher Steinschläge und Felsstürze hauptverantwortlich sein.



Nach dem wir den Bergschrund überwunden haben, sind wir gleich auf dem Gipfel. Unter Bergschrund versteht man eine Spalte zwischen bewegtem und festgefrorenem Teil des Gletschers. Da auch hier die Gletscher an Eisdicke verlieren, werden Teile der Felswände sichtbar. Es kommt zu Steinschlag. Um das zu untersuchen, schrauben Tom und Ida Messgeräte in den Berg.

Gipfel: Hoher Sonnblick (3.106 m)

Hochalpine Forschungsstation für Klima, Umwelt & Co.



Auf dem Hohen Sonnblick befindet sich eine große Forschungseinrichtung. Diese gibt es seit 1886. Hier werden viele Messungen durchgeführt.

Niederschlag

- seit 1886
- seit 1983/84 Niederschlagschemie
- seit 1987 Schneechemie
- seit 2016 WMO-GAW



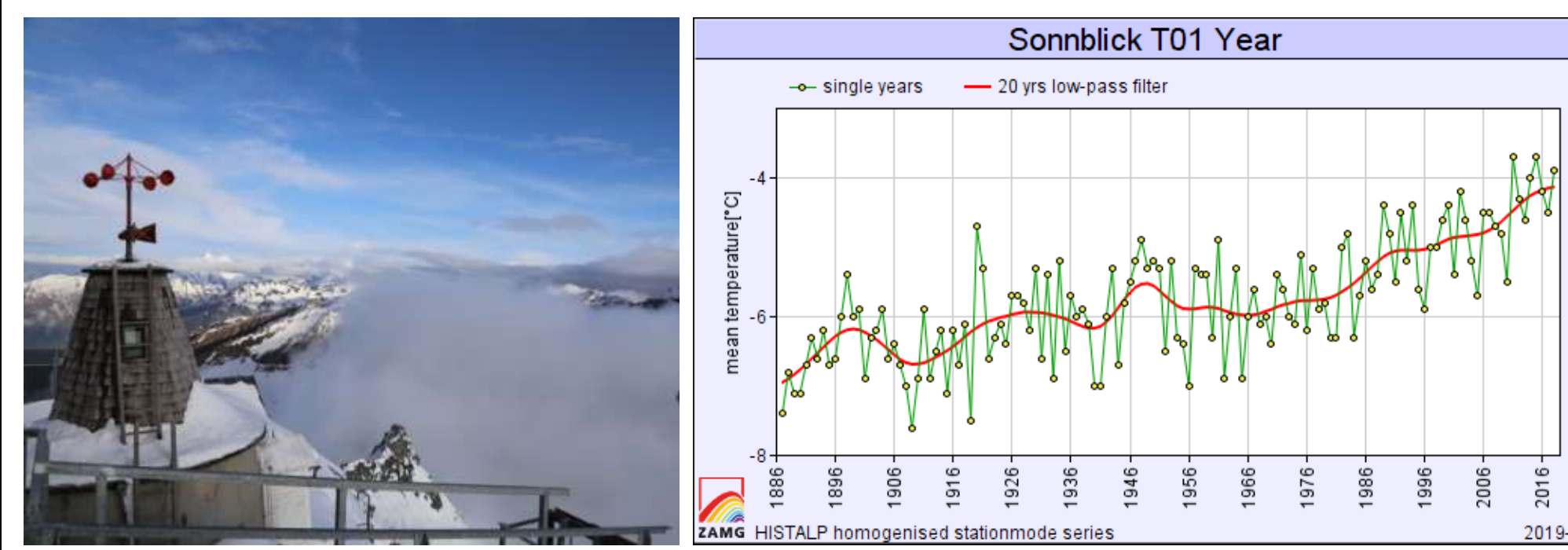
WADOS „wet and dry only sampler“ (TU-Wien, Land Salzburg, Kontakt A. Kasper-Giebl, A. Kranabetter) Niederschlagschemie

Totalisator

Deposition Niederschlagschemie, persistente organische Schadstoffe POPs (Umweltbundesamt GmbH)

Meteorologie (WMO-GTS)

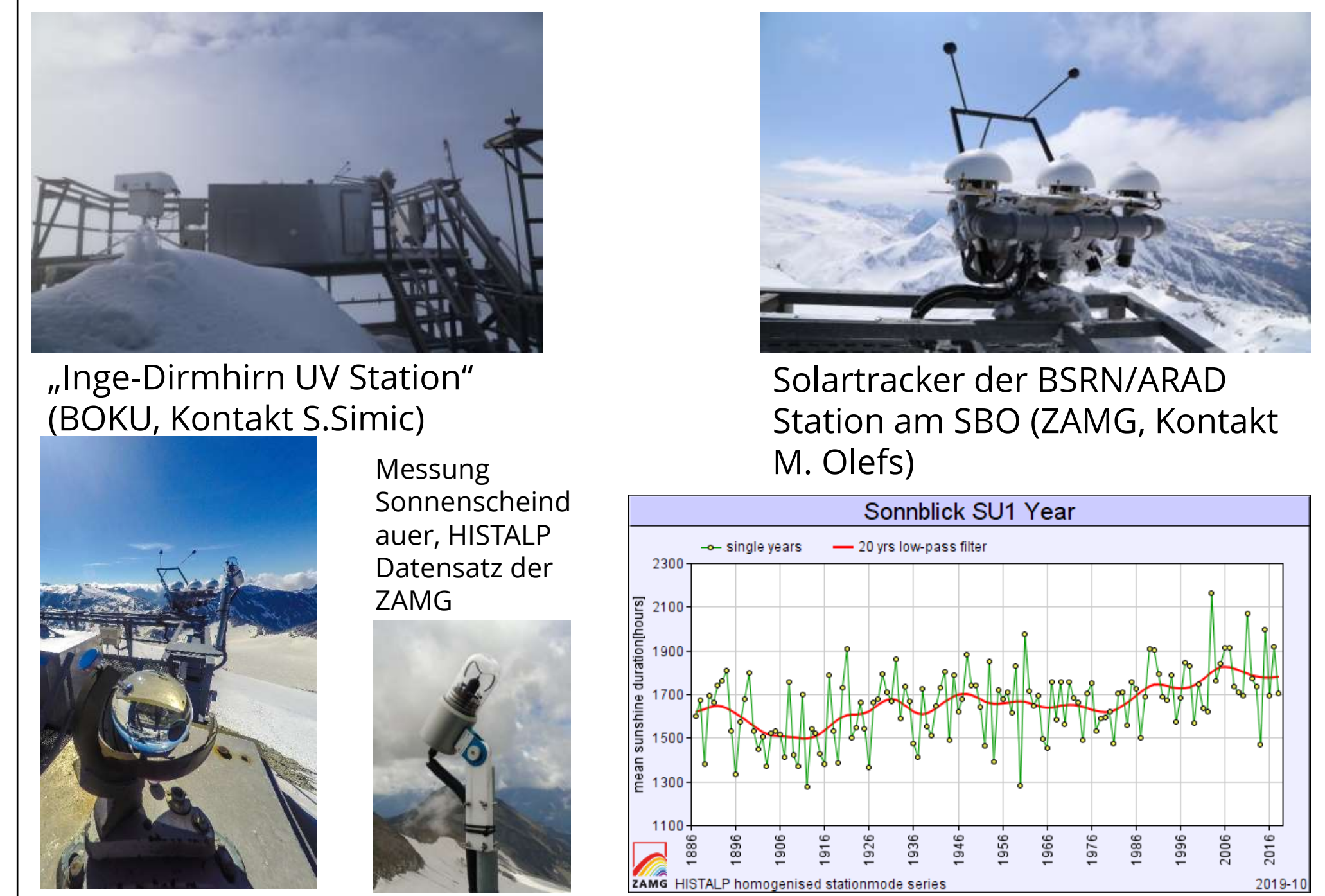
- Zeitserien von ~ 133 Jahren, Start 1886
- Meteorologische Parameter
- Messungen im Tal und am Gipfel



Wetterbeobachtung und Klimaaufzeichnung in Kolm Saigurn und am Hohen Sonnblick
Temperaturzeitreihe seit 1886, Datensatz HISTALP der ZAMG

Strahlung (NDACC, BSRN, ARAD)

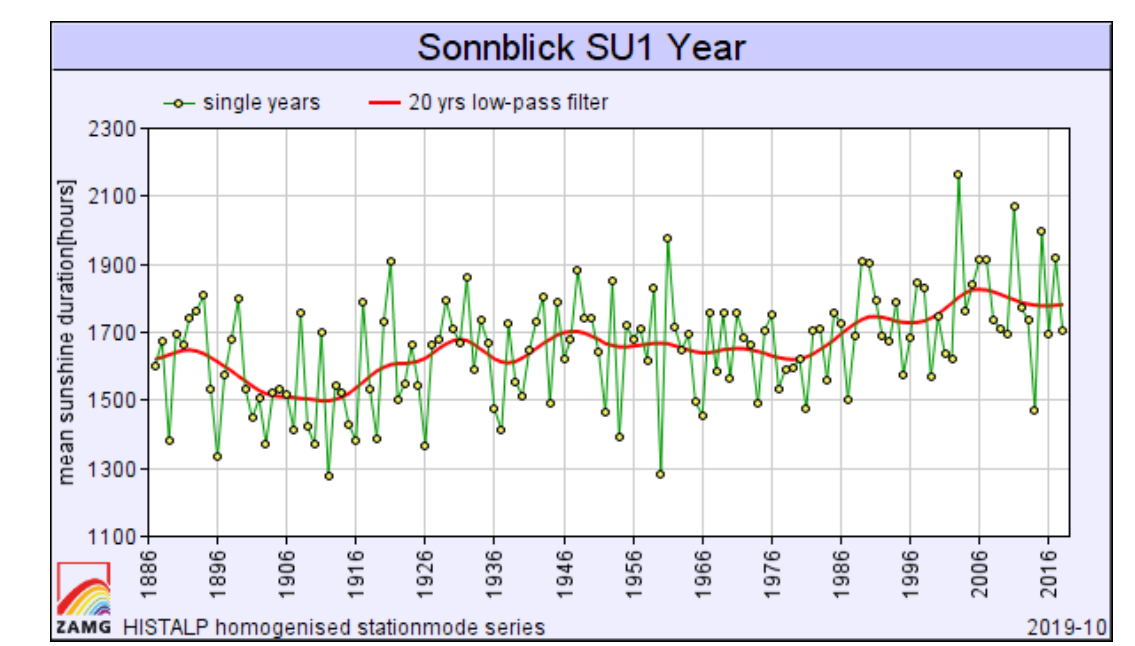
- seit 1958 (Sonnenscheindauer)
- seit 1994 OZON, UV in NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change)
- seit 2011 ARAD (radiation monitoring & network Austria)
- seit 2013 BSRN (baseline surface radiation network)



„Inge-Dirmhirn UV Station“ (BOKU, Kontakt S.Simic)

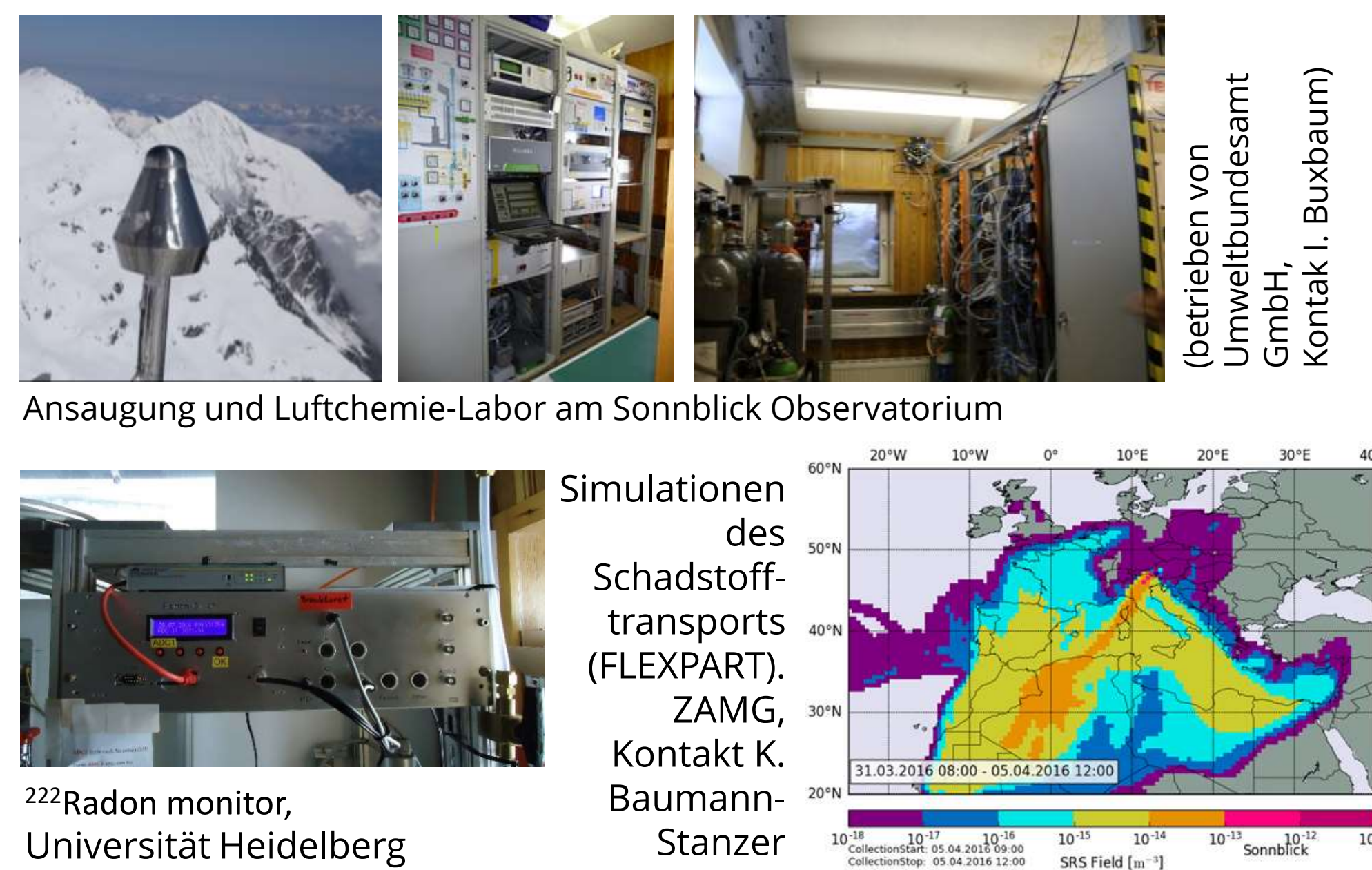
Solartracker der BSRN/ARAD Station am SBO (ZAMG, Kontakt M. Olefs)

Messung Sonnenscheindauer, HISTALP Datensatz der ZAMG



Luftchemie (WMO-GAW & ACTRIS)

- seit 1983/84 Ortsdosisleistung
- seit 1988 Treibhausgas
- seit 2004 ²²²Radon Zerfallsprodukte
- seit 2016 Globale GAW Station des Programms der Weltmeteorologischen Organisation

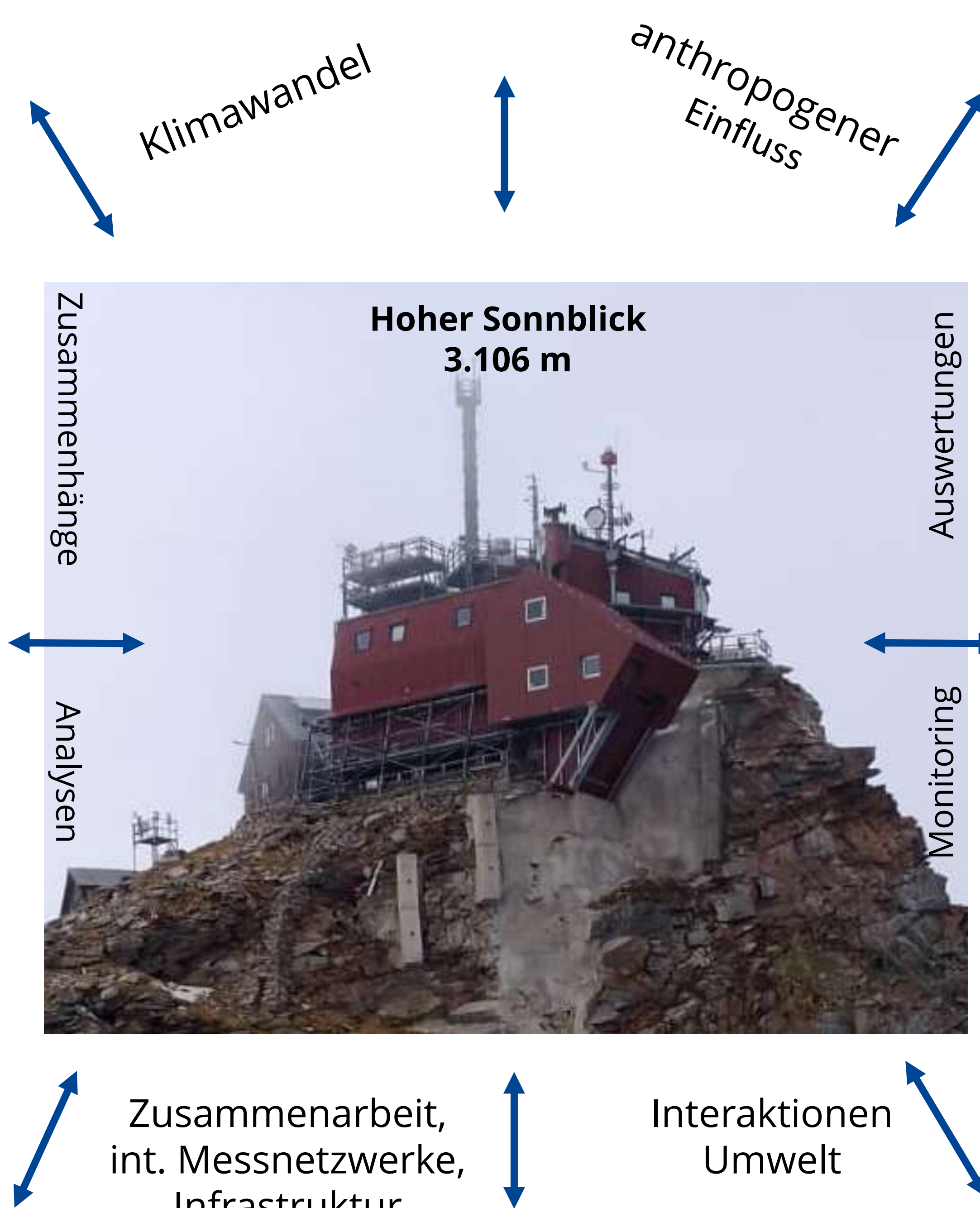


Ansaugung und Luftchemie-Labor am Sonnblick Observatorium

(betrieben von Umweltbundesamt GmbH, Kontakt I. Buxbaum)

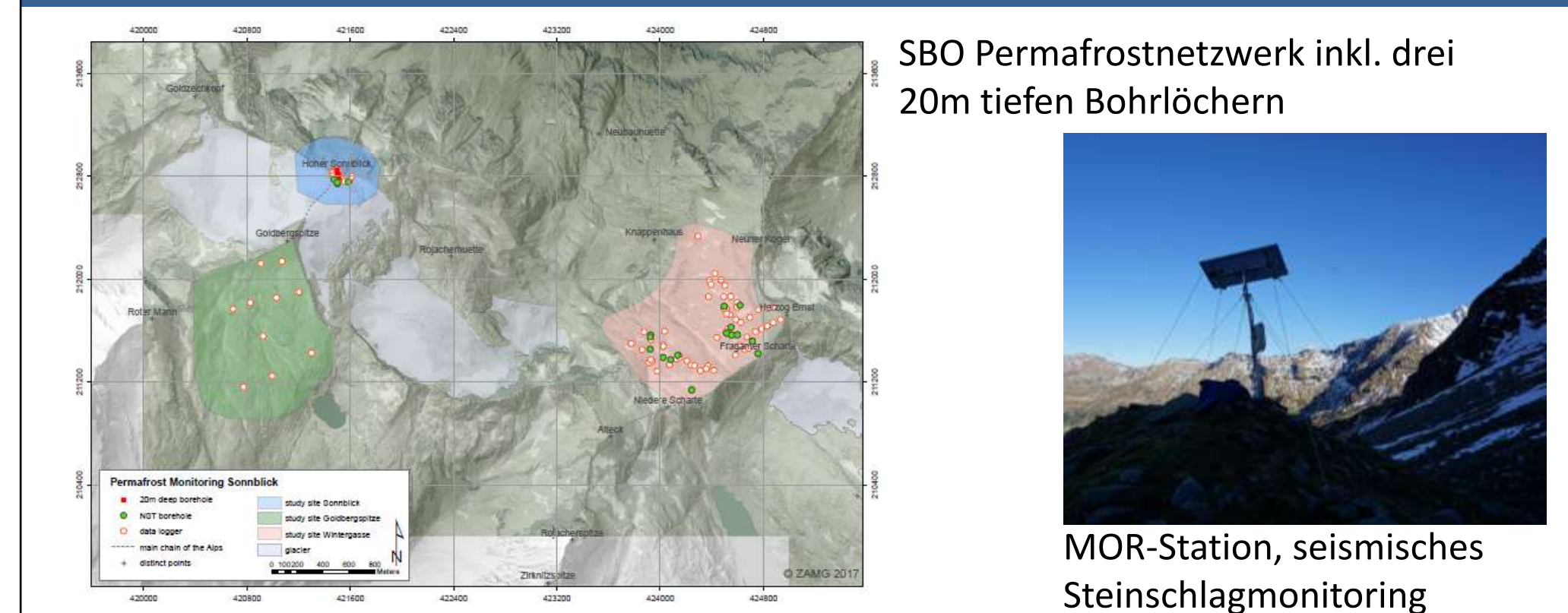
²²²Radon monitor, Universität Heidelberg

Simulationen des Schadstofftransports (FLEXPART), ZAMG, Kontakt K. Baumann-Stanzer



Permafrost (WMO-GCW)

- Permafrost, Steinschlag und seismische Untersuchungen
- seit 2010: Bohrlöcher von 20m Tiefe

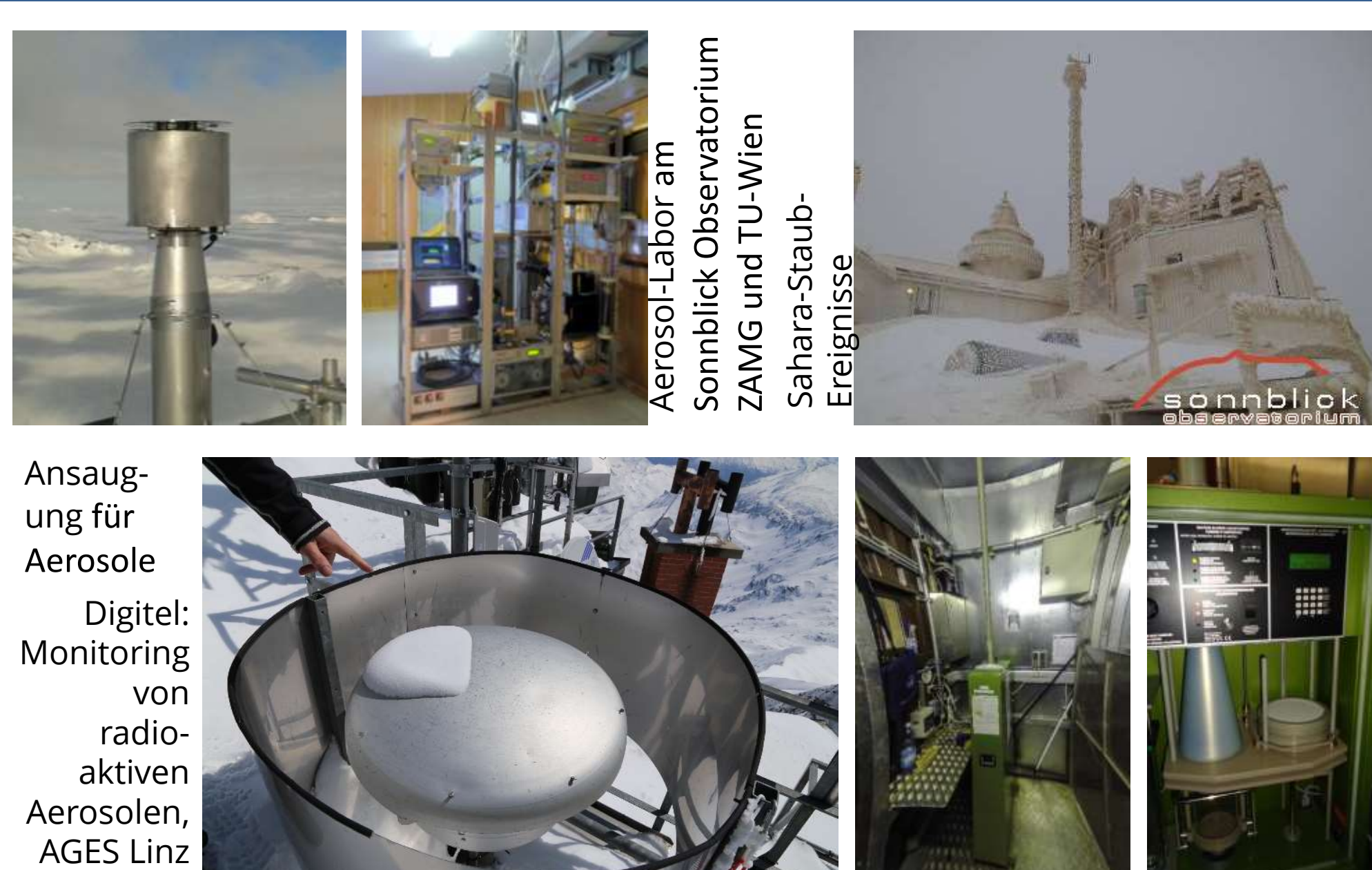


SBO Permafrostnetzwerk inkl. drei 20m tiefen Bohrlöchern

MOR-Station, seismisches Steinschlagmonitoring

Aerosols (WMO-GAW, ACTRIS)

- seit 1989 Radioaktivität von Aerosolen
- seit 2004 Aerosolmessung, Start mit CPC
- seit 2016 Globale GAW Station



Ansaugung für Aerosole

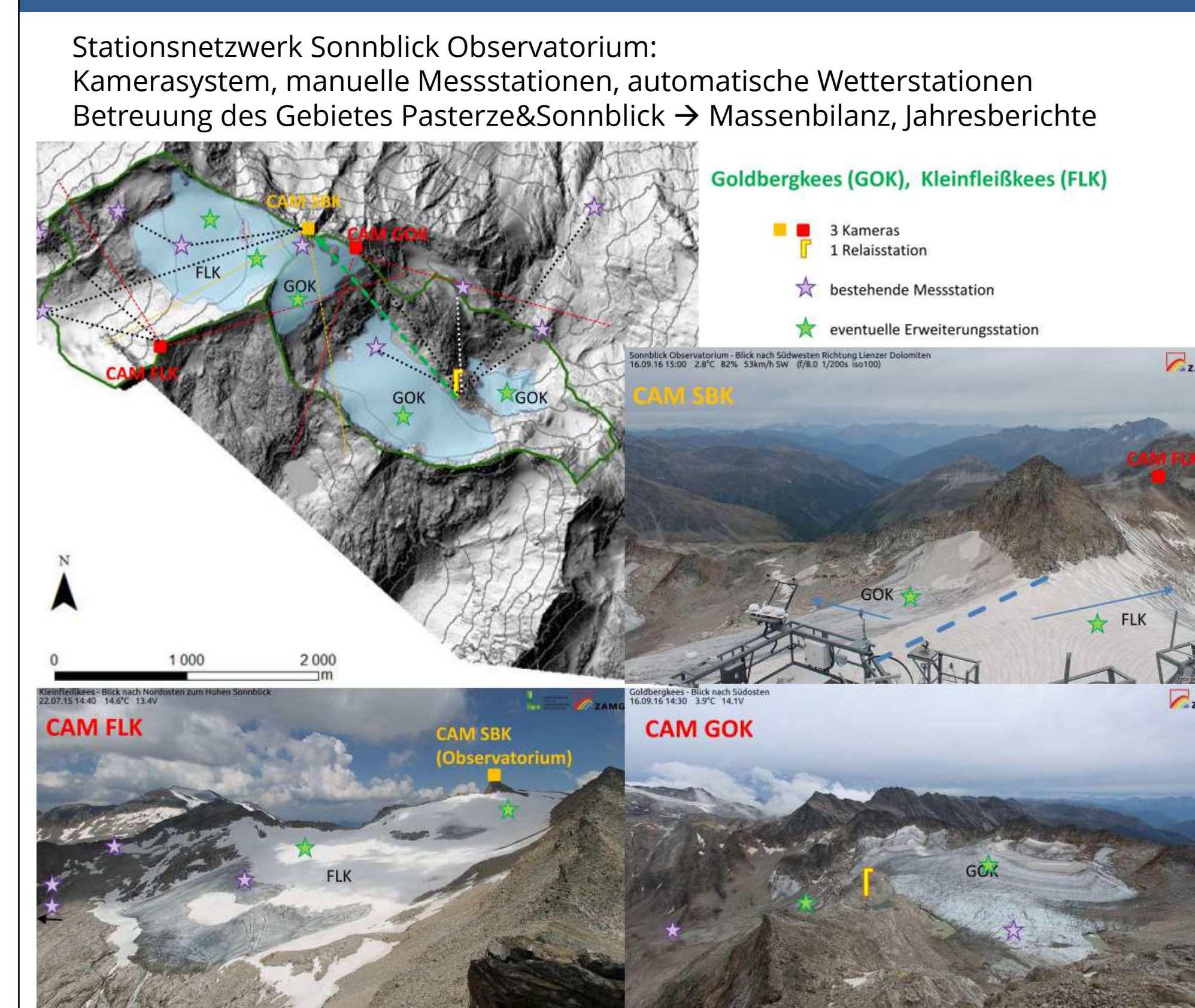
Digitales Monitoring von radioaktiven Aerosolen, AGES Linz

Aerosol-Labor am Sonnblick Observatorium ZAMG und TU-Wien

Sahara-Staub-Ereignisse

Glaziologie (WMO-GCW)

- seit 1896 Gletscher-Monitoring
- seit 1927 Schneepegel
- seit 1965 Lawinenbeobachtungen



Quelle: ZAMG, B. Hynek

Biologie & Ökologie

- verschiedene Projekte von Flechten, Fledermäuse, Biodiversität, Meldungen von speziellen Sichtungen im Bereich Pflanzen- und Tierwelt
- Emerging LTER-Station (longterm ecosystem research network)



Monitoring Säugetiere und Vögel ZAMG Quelle: ZAMG, H. Tanneberger

Projekt Flechtenforschung Uni Salzburg

Batcorder zur Erfassung von Fledermausaktivitäten Quelle: K. Widerin KFFO

Projekte zu Vegetation, Phenologie, ZAMG