

November 2023

# KRYOMON.AT

Kryosphären Monitoring **Österreich**



Foto: Klemens Weisleitner | whiteframe-photo

## THEMEN

**Witterung**  
2021/2022

**Gletscher**  
Massenbilanz, Längenänderung  
und Fließverhalten

**Permafrost**  
Bohrlochtemperaturen und  
Blockgletscherbewegung

**Seeis**  
Dauer der Seeisbedeckung und  
Veränderungen der Wassertem-  
peratur

**Schnee**  
Schneehöhen, Neuschneesum-  
men, Winter- und Schneede-  
ckendauer

Kryosphärenbericht **Nr. 1**  
Österreichs Kryosphäre im Klimawandel  
**2021/22**

# INHALT

Kryosphärenbericht Nr. 1

VORWORT

03

## WITTERUNG

04 Witterung 2021/22

## GLETSCHER

10 Einleitung  
12 Massenbilanz  
96 Längenänderung  
106 Fließgeschwindigkeit

## PERMAFROST

130 Einleitung  
132 Tiefenbohrlöcher  
144 Blockgletscher

## SEEEISDECKE

162 Einleitung  
164 Seeeisdecke

## SCHNEEDECKE

178 Einleitung  
182 Schneedecke

Literaturverzeichnis

198

Liste der AutorInnen

202

**Fördergeber:** Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

**Präses:** Dr. Wolfgang Schöner

**Satz/Layout und nicht gekennzeichnete Textstellen:** Iris Hansche MSc.

**Zitation:** Hansche Iris; Fischer Andrea; Greilinger Marion; Hartl Lea; Hartmeyer Ingo; Helfricht Kay; Hynek Bernhard; Jank Norbert; Kainz

Martin; Kaufmann Viktor; Kellerer-Pirklbauer Andreas; Lieb Gerhard K.; Mayer Christoph; Neureiter Anton; Prinz Rainer; Reingruber Klaus; Reisenhofer Stefan; Riedl Claudia; Seiser Bernd; Stocker-Waldhuber Martin; Strudl Markus; Zigel Bernhard; Zechmeister Thomas & Schöner Wolfgang (2023): KryoMon.AT - Kryosphären Monitoring Österreich 2021/22. Kryosphärenbericht Nr. 1, 204 S., doi: 10.25364/402.2023.1.



# Vorwort

Die Kryosphäre, also die „gefrorene Sphäre“ der Erde, hat große Bedeutung für Österreich. Die Komponenten der Kryosphäre, also Schnee, Gletscher, Permafrost oder die Eisdecke der Seen sind Grundlage für den Tourismus, Ursache von Naturgefahren wie den Lawinen oder Einflussgröße auf Ökologie und Landwirtschaft. Die Aufzählung zur Relevanz der Kryosphäre ist damit sicherlich nicht vollständig. Für alle oben angeführte Komponenten der Kryosphäre gilt, der Klimawandel setzt ihnen deutlich zu. Medienberichte über schneearme Winter oder extremen Gletscherrückgang sind mittlerweile allgegenwärtig. Auch eignen sich Schnee und Eis besonders gut den Klimawandel und seine Auswirkungen sichtbar zu machen. Zentrale Bedeutung hat die Schneedecke, die nicht nur die Gletscher ernährt, sondern unter anderem über ihre thermischen Eigenschaften auch den Permafrost oder die Eisdecke der Seen beeinflusst.

Dieser Bericht stellt erstmals die klimabedingten Veränderungen der Kryosphäre in Österreich in einer Zusammenschau vor. Dafür war die umfangreiche Kryosphärenforschung und das über viele Jahre entwickelte Monitoring der Kryosphäre in Österreich, also das Erfassen der Veränderungen über die Zeit, eine wesentliche Grundlage. Bis ins neunzehnte Jahrhundert zurück reicht in Österreich, und in den Alpen generell, die Messung der Veränderungen der Gletscher, etwas kürzer sind die Messreihen zur Schneedecke oder zur Eisbedeckung der Seen, am kürzesten die Zeitreihen des Permafrosts. Die aus den Messungen belegten markanten Veränderungen der Kryosphäre spiegeln die enorme Temperaturzunahme in den Alpen seit ca. 1980 wider. Große Herausforderungen sind daraus zum Beispiel für den Tourismus in Österreich entstanden, gleichzeitig ist das Interesse am Kryosphärenmonitoring deutlich gestiegen. Anpassungsmaßnahmen wie die künstliche Beschneigung konnten manche dieser Herausforderungen bis dato mindern, aber die Prognosen für die Zukunft sprechen eine klare Sprache - die Gletscher werden verschwinden und die künstliche Beschneigung wird die Herausforderungen für den Tourismus in Zukunft nicht mehr meistern können.

Die Veränderungen der Komponenten der Kryosphäre werden in diesem Bericht kapitelweise vorgestellt, also

für Gletscher, Schneedecke, Permafrosts und Eisbedeckung der Seen. Der typische jahreszeitliche Wechsel des Klimas zwischen Winter und Sommer in Österreich macht eine jährliche Darstellung sinnvoll. Daher ist dieser Bericht auch als erster in einer Reihe von Jahresberichten zum Zustand der Kryosphäre in Österreich geplant. Als Kennzahlen der Kryosphären-Veränderung werden auf internationaler Ebene akzeptierte Größen verwendet und beschrieben, also zum Beispiel die Massenbilanz der Gletscher oder die Mächtigkeit der Auftauschicht für den Permafrost. Wie weiter oben beschrieben, sind die ausgewählten Messstellen nur für manche Komponenten repräsentativ für Österreich, für die Eisbedeckung der See und ganz besonders für den Permafrost muss in Zukunft an einer Verdichtung des Messnetzes gearbeitet werden.

Abschließend sei noch erwähnt, dass das Kryosphärenmonitoring in Österreich von einer Vielzahl an ForscherInnengruppen aus Österreich und Deutschland getragen wird. Diese Messungen der einzelnen ForscherInnengruppen sind das Herzstück dieses Berichtes und ermöglichten es durch Zusammenführen der Einzelergebnisse diesen Bericht zu erstellen. Die Vielzahl an ForscherInnengruppen bildet in gewisser Weise auch die Finanzierung des Monitorings ab. Es gibt derzeit leider kein Förderinstrument, welches das Kryosphären-Monitoring in Österreich gezielt ermöglicht. Verschiedene Bundes- beziehungsweise Landes-einrichtungen wie das BM für Klimaschutz, das BM für Landwirtschaft, Tourismus und Regionen oder der Nationalpark Hohe Tauern beauftragen die Messungen. Auch private Unternehmen steuern etwas bei. Teilweise wird das Monitoring auch in unbezahlter Weise im Sinne einer erfolgreichen Citizen Science geleistet. Auch in diesem Zusammenhang besteht für die Zukunft noch Verbesserungsbedarf. Damit möchte ich schlussendlich noch auf ein wesentliches Faktum hinweisen. Ohne die Bereitschaft und die großartige Zusammenarbeit der einzelnen Mitglieder der Kryosphären-Arbeitsgruppen wäre diese Zusammenschau und damit der deutliche Mehrwert dieses Berichtes nicht entstanden. Dafür möchte ich allen Beteiligten sehr herzlich danken.

 **Dr. Wolfgang Schöner**

# WITTERUNG 2021/22



Foto: Feldarbeit Jamtalferner, Lea Hartl 2021

## 2022: Ein Jahr der Extreme

Das Haushaltsjahr 2021/22 war von einer besonders geringen Schneedecke und einem extremen Gletscherrückgang geprägt. Dieser außergewöhnliche Gletscherrückgang wird am besten durch die Gletscheränderungsgröße der Massenbilanz beschrieben, die für 2021/22 für alle österreichischen Gletscher den negativsten jemals gemessenen Wert aufweist.

Auch für den Permafrost wurde eine enorme Mächtigkeit der Auftauschicht gemessen, wobei aber nicht ganz die größten Werte der vorliegenden Zeitreihen (Sonnblick und Kitzsteinhorn in Salzburg) erreicht wurden. Ein ähnliches Bild des Rückganges ergibt sich auch für die Eisbedeckung der österreichischen Seen, wobei 2022 insbesondere die in niedrigen Seehöhen liegenden Seen eine besonders geringe Dauer der Eisbedeckung aufwiesen.

Dieser starke Rückgang zeigt sich auch bei den Schneehöhen, die insbesondere ab dem Jahresbeginn

2022 sehr gering waren und zu einer deutlich unterdurchschnittlichen Winterakkumulation führten. So kam es insgesamt zu einem massiven Rückgang der Kryosphäre (Schnee, Eis, Permafrost) in Österreich, der sich durch mehrere Besonderheiten im Witterungsverlauf des Haushaltsjahres 2021/22 und bei den Gletschern auch durch einen ausgeprägten Saharastaubfall im März 2022 erklären lässt (Abbildung 1). Dieser Staubfall führte zu einer deutlichen Absenkung der Albedo der Schnee- und Gletscheroberfläche und zu einer lang anhaltenden verstärkten Abschmelzung.

Im Folgenden wird die besondere Witterung zwischen Oktober 2021 und Dezember 2022 beschrieben. Dieser Zeitraum umfasst das Haushaltsjahr der Gletscher und Blockgletscher zwischen dem 01. Oktober 2021 und dem 30. September 2022, sowie das Kalenderjahr 2022 zur Berücksichtigung der Temperaturmessungen im Permafrost.



# 8,1 °C

Das Jahr 2022 war mit einer österreichweiten Temperatur von 8,1 °C das zweitwärmste seit 1767 in der Messgeschichte Österreichs (GeoSphere Austria 2022)

## -3,2 m

Im Durchschnitt haben die Gletscher im aktuellen Haushaltsjahr 3,2 Meter Eishöhe verloren, das ist fast 3x so viel wie im Durchschnitt der letzten 10 Jahre

## 6. Juli 2022

Früheste Ausaperung seit Messbeginn im Jahr 1938: Die Schneehöhe betrug bereits am 6. Juli 2022 am Sonnblick in fast 3000 m Seehöhe 0 cm, zu einem Zeitpunkt, an dem normalerweise noch etwa 3 m Schnee liegen

## Witterung

Der Beginn des Haushaltsjahres im **Oktober 2021** war im Vergleich zum langjährigen Mittel (1991-2020\*) niederschlagsarm, kühl (-0,6 °C) und etwas sonniger (+ 16 %). Mit -47 % weniger Niederschlag war der Oktober 2021 der trockenste seit 2005 (-52%). Im Gegensatz dazu verlief der **November 2021** relativ durchschnittlich. Zwischen dem 05. und 25. November fiel in weiten Teilen Österreichs wenig Niederschlag. Der Hauptteil des Niederschlags fiel also zu Beginn und am Ende des Monats. Vor allem in den letzten Novembertagen sorgte ein Adriatief in Verbindung mit einem polaren Kaltluftvorstoß für winterliche Verhältnisse, so dass sich in weiten Teilen des Landes zumindest kurzzeitig eine Schneedecke bilden konnte. Die ersten nennenswerten Schneefälle traten jedoch bereits am 3. November auf, als sich in Tirol und Salzburg bis in tiefere Tallagen eine Schneedecke bilden konnte. Im Vergleich zum Mittel 1991-2020 schien die Sonne im November 2021 +5 % länger.

Der **Dezember 2021** lag um +0,6 °C über dem Mittel des Bezugszeitraums. Die Schneeverteilung war im Dezember 2021 sehr unterschiedlich. Die Anzahl der Schneedeckentage (+50 bis +120 %) und die

Neuschneehöhen (+50 bis +230 %) lagen auf der Alpensüdseite deutlich über dem langjährigen Mittel, während sie in den inneralpinen Tälern und in den höheren Lagen der Nordalpen im Bereich des langjährigen Mittels oder leicht darüber lagen. Unterdurchschnittlich waren die Schneesverhältnisse vor allem in tiefen Lagen nördlich des Alpenhauptkamms und im außeralpinen Raum von Salzburg bis zum Burgenland. Der **Januar 2022** war sehr mild (auf den Bergen +6 °C und im Tiefland +1,4 °C Mittel) und trocken (-35 %). Die Neuschneemengen waren auf der Alpennordseite überdurchschnittlich und auf der Alpensüdseite unterdurchschnittlich. Die Sturmtiefs, die in diesem Monat mehrmals über Europa hinweggezogen, brachten viel Wind nach Österreich, der längere Nebelperioden verhinderte und so zu +22 % mehr Sonnenstunden als im langjährigen Mittel führte. Der **Februar 2022** war einer der wärmsten (auf den Bergen +1,2 °C Mittel 1991-2020 und im Tiefland +2,1 °C Mittel) in der Messgeschichte\*\*. Bei großen regionalen Unterschieden fiel um +6 % mehr Niederschlag. Eine Reihe von Sturmtiefs aus Nordwesten führte auf der Alpennordseite zu +25 % bis +75 % mehr Niederschlag. Auf der Südseite

\* In diesem Abschnitt wird, wenn nicht anders angegeben, die Klimanormalperiode 1991-2020 verwendet. Zum leichteren Verständnis wird dieser Zeitraum im Text gewöhnlich als Bezugszeitraum oder langfristiges Mittel bezeichnet.

\*\*Die Messreihe der GeoSphere Austria reicht im Tiefland Österreichs bis 1767, im Bergland bis 1853 zurück.

hingegen fielen -50 % bis -75 % weniger Niederschläge als im Mittel. Aufgrund der milden Witterung fielen die Niederschläge jedoch meist in Form von Regen. Der Februar 2022 war mit +15 % Sonnenscheindauer sehr sonnig.



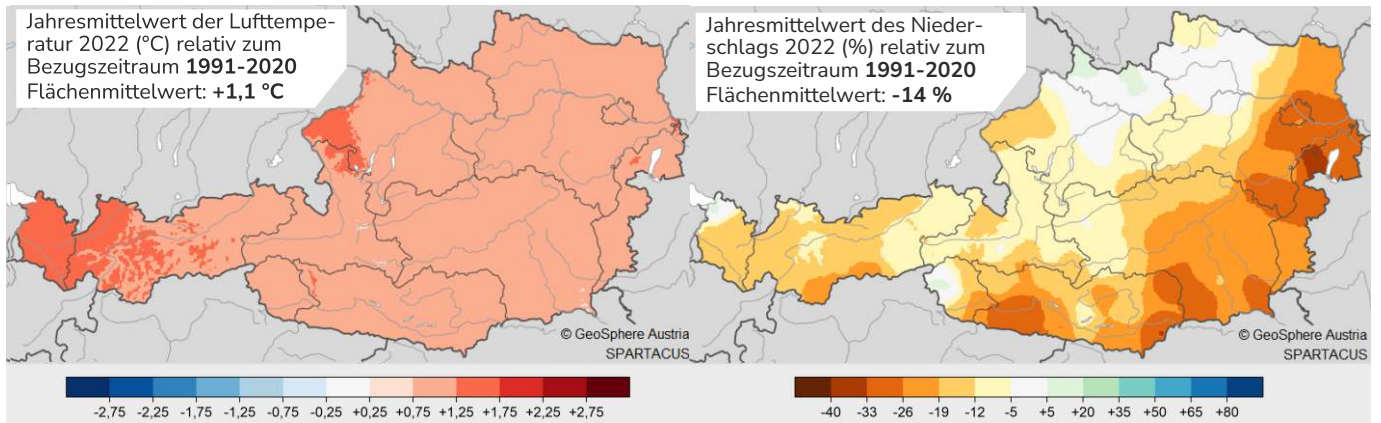
**Abbildung 1:** Webcam Urezzasjoch - Blick nach Nordwesten zum Jamtalferner vor (14. März) und während (15. März) des Saharastaubereignisses. Die dunklere Schneedecke nach dem Ereignis (24. Mai) (Fotos: Webcam: Österreichische Akademie der Wissenschaften).

Der **März 2022** war einer der sonnigsten (1. Platz auf den Bergen mit +56 % (Abbildung 4 d), 2. Platz im Tiefland mit +51 %) und trockensten (3. Platz mit -73 %) in der Messgeschichte (Abbildung 4 a.3 und b.3). Strömungen aus dem Süden brachten Saharastaub mit sich, der sich zum Teil auf der Schneedecke im Hochgebirge ablagerte (Abbildung 1 und 4). Im Sommer führte dann das Abschmelzen der darüber liegenden Schneeschichten zur Freilegung dieser dunkleren Schneeschicht, was die Schmelze beschleunigte (Verringerung der Albedo = höhere Strahlungsabsorption). Der **April 2022** lag bei der Temperatur (-1 °C), dem Niederschlag (-3 %) und der Sonnenscheindauer (-10 %) im Normalbereich. Der **Mai 2022** gehörte hingegen zu den zehn wärmsten Maimonaten (auf den Bergen Platz 5 mit +2,2 °C und im Tiefland Platz 7 mit +1,8 °C) der Messgeschichte. Damit lag das Temperaturniveau des gesamten Monats Mai 2022 im überdurchschnittlichen Bereich. Als Folge davon begann die Ausaperung der tiefer gelegenen Gletschergebiete bereits im Mai (Abbildung 5).

Auch der **Juni 2022** war wärmer (Platz 3 in den Bergen mit +2,8 °C und Platz 4 im Tiefland mit +2,3 °C) als das langjährige Mittel. Insgesamt fielen in Österreich um +9 % mehr Niederschläge, die jedoch regional sehr unterschiedlich verteilt waren. Während es von Unterkärnten über die Oststeiermark und das südliche Burgenland um etwa -25 % bis -50 % weniger als im langjährigen Mittel regnete, wurden in einigen Regionen im Westen und vor allem im Norden Österreichs sowie in Osttirol und Oberkärnten +25 % bis +90 % mehr Niederschlag als im Mittel beobachtet. Der **Juli 2022** war wärmer (Platz 7 in den Bergen mit +1,5 °C und Platz 6 im Tiefland mit +1,4 °C), trockener (-30 %) und sonniger (+10 %) als das langjährige Mittel. Auch der **August 2022** war einer der wärmsten in der Messgeschichte (Platz 15 in den Bergen mit +0,8 °C und Platz 6 im Tiefland mit +1,2 °C). Österreichweit lag der Niederschlag um -15 % unter dem langjährigen Mittel.

Das Ende des Haushaltsjahres im **September 2022** war etwas kühler (in den Bergen -1,1 °C und im Tiefland -0,6 °C) und trüber (-23 % Sonnenscheindefizit) als im Mittel. Die Niederschlagsmenge lag im Normalbereich. Der bisher wärmste Oktober seit Messbeginn war der **Oktober 2022**, der auf den Bergen +4,0 °C und im Tiefland Österreichs 2,8 °C über dem langjährigen Mittel lag. Zudem war der Oktober zum Teil sehr trocken, wobei große regionale Unterschiede zu beobachten waren. Im Westen

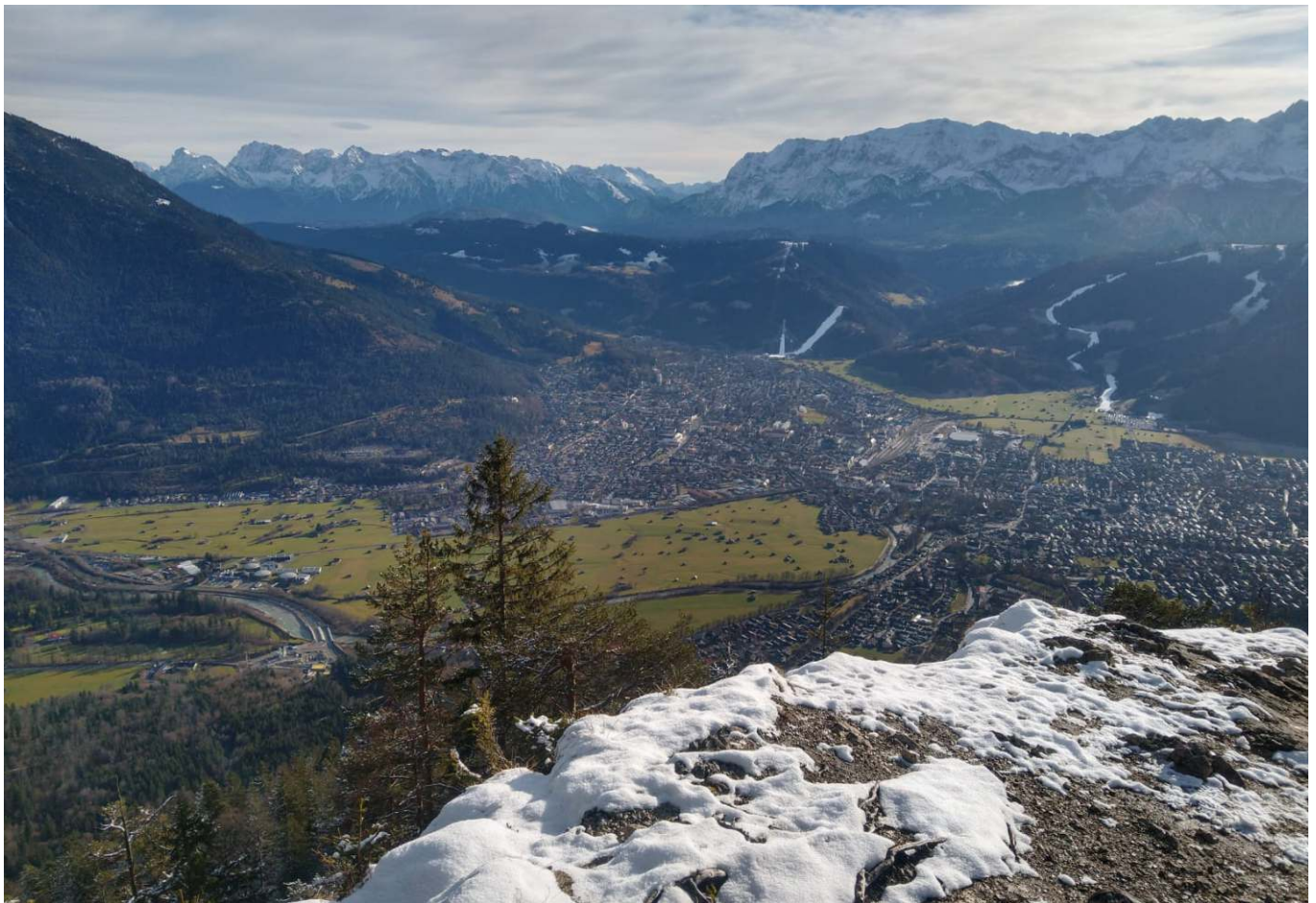




**Abbildung 2:** Abweichung der Temperatur (links) und des Niederschlags (rechts) vom Klimamittel 1991-2020 für das Kalenderjahr 2022. Auswertung mit SPARTACUS-Daten (GeoSphere Austria 2022).

fielen +25 % bis +45 % mehr Niederschlag, während im Süden und Osten in vielen Regionen -50 % bis -85 % weniger Niederschlag als im langjährigen Mittel fiel. Auf den wärmsten Oktober der Messgeschichte folgte ein milder **November 2022**, der in den Bergen um +0,8 °C und im Tiefland um +1,1 °C wärmer war. Die Niederschläge fielen um -13 % geringer aus, wobei es in einigen Regio-

nen im Süden mit -25 % bis -70 % deutlich trockener, und im Flachgau und im Großteil von Oberösterreich mit +25 % bis +75 % deutlich feuchter war. Die ersten Schneefälle im Mittel- und Hochgebirge wurden am 04. und 05. November beobachtet. Die Schneelage war im November in allen Höhenlagen unterdurchschnittlich.



**Abbildung 3:** Überdurchschnittlich hohe Temperaturen und mangelnder Schneefall machten den österreichischen Skigebieten in der Wintersaison 2021/22 zu schaffen (Foto: Jakob Abermann 2022).



**Abbildung 4:** Spezifische Jahres-, Winter- und Sommerbilanz des Goldbergkees (a.1 nördlich des Alpenhauptkammes) und des Kleinfleißkees (b.1 südlich des Alpenhauptkammes) (Mittelwert zwischen 2001/02-2020/21 und aktueller Wert 2021/22). Monatliche Abweichung der Schneehöhe (a.2, b.2) und des Niederschlags (a.3, b.3) zwischen Oktober 2021 und Dezember 2022 von den monatlichen Klimamittel 1961-1990 an zwei Messstationen (Schneepegel und Totalisator am a) Goldbergkees und b) Kleinfleißkees). Monatsabweichung der c. Temperatur und d. Sonnenscheindauer zwischen Oktober 2021 und Dezember 2022 von den monatlichen Klimamittelwerten 1961-1990 an der Wetterstation Sonnblick (3109 m ü. A.). Der braune Balken zeigt den Monat mit dem Saharastaubereignis an (Daten: GeoSphere Austria 2022).





**Abbildung 5:** Webcam Kleinfließkees - Blick nach Nordosten zum Hohen Sonnblick (Fotos: Webcam: GeoSphere Austria).

Das Kalenderjahr 2022 endete mit einem milden (auf den Bergen +1,1 °C und im Tiefland +1,0 °C) und relativ trockenen (-17 %) **Dezember 2022**. Auch die Neuschneemengen lagen um -30 % bis -60 % unter dem langjährigen Mittel. Im Vergleich zum Mittel 1961-1990 war das Kalenderjahr 2022 um +1,1 °C wärmer und um -14 % trockener (Abbildung 2).

► **Klima & Massenbilanz DATEN**

**Datengeber:** GeoSphere Austria

**Quellen:** GeoSphere Austria (2022): Österreichisches Klimabulletin Jahr 2022. AutorInnen: Hiebl J., Ganekind, M. & Orlik A. Wien.

**CCCA (2023):** Klimastatusbericht Österreich 2022. AutorInnen: Stangl M., Formayer H., Hiebl J., Orlik A., Hinger D., Bauer C., Wilfinger P. & Wolf A. Wien.

**Lieb, G. K. & Kellerer-Pirklbauer A. (2023):** Gletscherbericht 2021/2022 - Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2022. Bergauf 02/2023: 10–21.





# GLETSCHER



Foto: Venedigerkees, Gerhard K. Lieb 2012

## Warum ist Gletscher-Monitoring wichtig?

Seit den 1850er Jahren ziehen sich die Gletscher, von zwei Perioden um 1920 und zwischen 1965 und 1980 abgesehen, zurück. Das bedeutet, dass sie massiv an Fläche und Masse verloren haben, seit den 1990er Jahren sogar rascher als zuvor. Diese Entwicklungen haben Auswirkungen auf den Tourismus (z. B. Skigebiete), den Wasserhaushalt (Gletscherspende) und erhöhen das Gefahrenpotential in den Alpen (z. B. Gletschersturz wie beispielsweise an der Marmolata 2022). Damit diese Prozesse und Entwicklungen besser abgeschätzt und verstanden werden können, beobachtet man die Veränderungen der Gletscher.

Aufgrund der bereits langen Zeitreihen von über 125 Jahren sind Gletscher entscheidend für das heutige Verständnis und Bewusstsein des Klimawandels. Einerseits machen die Vergleichsbilder den drastischen Gletscherrückgang des 20. Jahrhunderts deutlich und auch für Menschen ohne naturwissenschaftlichen Hintergrund verständlich.

Um die Komplexität und die Sensitivität unserer Umwelt umfassender verstehen und deren Wandel besser vorhersagen zu können, bedienen wir uns numerischer Modelle. Jedoch bedarf es standardisierter Beobachtungsdaten – wie eben jene der Gletscher-, um diese Modelle anzutreiben, zu kalibrieren und zu validieren. Berechnungen des zukünftigen Meeresspiegelanstieges, des verbleibenden Eisvolumens oder des zu erwartenden Schmelzwasserabflusses anhand verschiedener Klimawandelszenarien sind ohne Gletscher-Monitoring undenkbar.

Jedes weitere Jahr des Monitorings vergrößert unser Wissen und somit unsere Fähigkeit, die zukünftigen Entwicklungen besser quantifizieren zu können.



# Gletscher

Gletscher sind ganzjährig bestehende Massen aus Eis, Firn und Schnee, die an der Erdoberfläche durch die Umkristallisation von Schnee oder anderen festen Niederschlagsformen entstehen. Die Plastizität des Gletschereises erlaubt eine langsame Bewegung des Eises. Auch Gesteinsfragmente, Schmelzwasser, Mikroorganismen und Luft, beispielsweise in den Porenräumen von Schnee, können Teil eines Gletschers sein (Cogley et al. 2011; Winkler 2009). Weltweit sind ungefähr 16 Mio. km<sup>2</sup> der Erde vergletschert, das entspricht etwa 10 % der weltweiten Landoberfläche. Etwa 97 % der Gletscherfläche nehmen der Antarktische und Grönländische Eisschild ein. Die restlichen 3 % verteilen sich auf die Hochgebirgsgletscher (Randolph Glacier Inventory 2017) und Eiskappen (Winkler 2009). Laut dem letzten Gletscherinventar von 2015 sind in Österreich ca. 415 km<sup>2</sup> vergletschert, das entspricht 0,49 % der Fläche Österreichs.

Aufgrund der Gletscherbewegung, die im Abschnitt "Fließgeschwindigkeit" näher vorgestellt wird, waren Gletscher schon früh unter Beobachtung. Die ersten BeobachterInnen waren aber keine WissenschaftlerInnen oder ForscherInnen, sondern Jäger, Bergleute, Hirten oder Berg- und Almbauern. Also all jene, deren Lebensgrundlage in Form von Weiden oder Minen durch vorstoßende Gletscher bedroht war. Denn in für Gletscher günstigen kühleren Perioden, wie der Kleinen Eiszeit (ca. zwischen 1250 und 1850), drangen sie in Weide- und Bergbaugelände vor, machten Weg- und Steiganlagen schwer passierbar oder unbegehrbar und stauten ihnen vorgelagerte Seen gefährlich auf (Fischer 2018). Für uns heute unvorstellbar, mussten zwischen 1817 und 1818 sogar Höfe in Inner-sulden (Südtirol) aufgrund der stark und schnell vorstoßenden Gletscher evakuiert werden (Groß 2018). So ist es auch nicht verwunderlich, dass in vielen alten Sagen und Geschichten über die Alpengletscher eine wichtige Rolle, zumeist im Zusammenhang mit Unheil und vermeintlichen Katastrophen, spielen (Böhm et al. 2011).

Mit der Zeit veränderte sich das Bild der unheilbringenden und furchtbaren Gletscher. Insbesondere durch die Menschen aus den Vorländern der Alpen begann eine zunehmende Romantisierung des Hochgebirges. Nun verband man mit den Gletschern zunehmend etwas „Reines“, „Unberührtes“

und „Ewiges“ (Alean 2010). Angetrieben von dieser Wahrnehmung zog es auch viele bekannte Maler in das Hochgebirge, welche die Gletscher in Gemälden oder Zeichnungen einfingen. Hierbei entstanden sehr realistische Darstellungen, die uns heute als wichtige Informationsquelle über die damalige Ausdehnung der Gletscher dienen (Böhm et al. 2011).

In Österreich begann man im 19. Jahrhundert mit der wissenschaftlichen Erforschung der Gletscher. Zu Beginn waren das die Kartierung von Gletschern oder sporadisch und kurzzeitig durchgeführte Messungen gewisser Parameter, wie beispielsweise die Messung der Fließgeschwindigkeit an wenigen Stellen der Eisoberfläche über ein paar Tage oder Monate hinweg. 1891 wurde dann von Eduard Richter u. a. unter der Schirmherrschaft des damaligen Deutschen und Österreichischen Alpenvereins die systematische und regelmäßige Beobachtung der Gletscher eingeführt. Hierbei fokussierte man sich insbesondere auf die Messung der Längenänderung und oberflächennahen Fließgeschwindigkeit der Gletscher. Seit 1952 werden auch regelmäßig die in Bezug auf Einzeljahre aussagekräftigeren Massenbilanzen an österreichischen Gletschern erhoben.

Die Zusammenstellung der Monitoring-Ergebnisse im vorliegenden Bericht zeigt, dass die damals und heute zur Forschungsförderung eingesetzten Mittel Großartiges geschaffen haben. Dank dieser langen und kontinuierlichen Messreihen verfügen wir heute über grundlegende Kenntnisse zur Beziehung zwischen Klima und Gletschern. Wissen, das uns als Gesellschaft hilft, historische wie auch zukünftige Veränderungen, wie den Meeresspiegelanstieg oder die Entgletscherung der Alpen, und deren Folgen besser abschätzen zu können. Als man mit der systematischen Beobachtung der Gletscher begann, war noch nicht absehbar, wie wichtig diese Arbeit für uns heute werden würde. Als interessante, aber scheinbar nutzlose Grundlagenforschung und Langzeitprojekte wurden diese Initiativen damals wahrgenommen, heute profitieren wir alle von diesen wertvollen Daten (Fischer 2018). Trotz dieses Wissens ist die Finanzierung langfristiger Monitoringprogramme nach wie vor keine Selbstverständlichkeit und hängt oft von der Initiative und dem Engagement Einzelner ab.



# MASSENBILANZ



Foto: Dachsteingletscher.info 2021



# 13

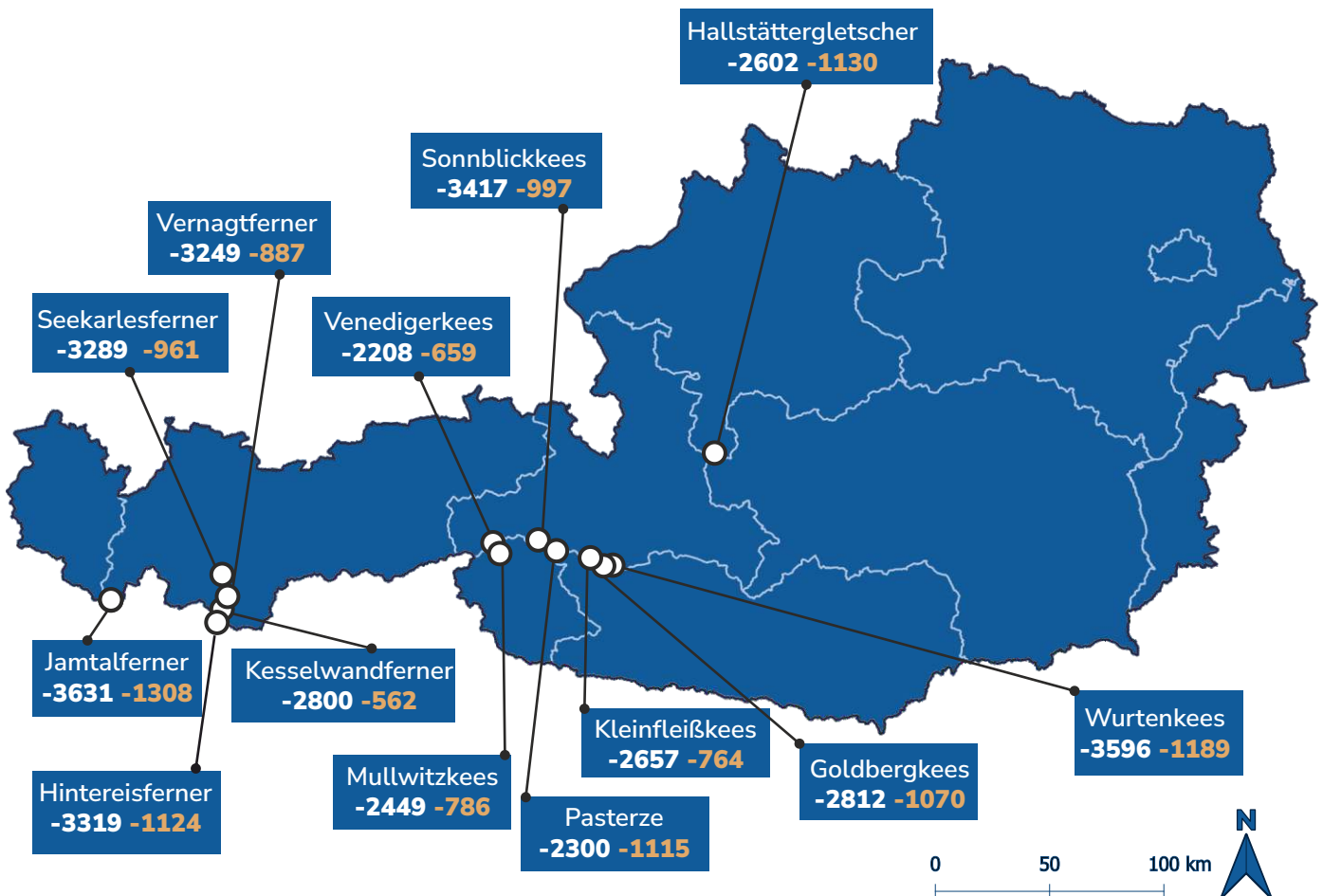
Anzahl der Gletscher, an denen im Haushaltsjahr 2021/2022 die Massenbilanz erhoben wurde

**-3631 mm w.e.**

Negativste Bilanz 2021/22  
(Jamtalferner)

seit **1952/53**

Längste Zeitreihe  
(Hintereisferner)



**Abbildung 6:** Lage und spezifische Massenbilanz in mm Wasseräquivalent (w.e.) für das Haushaltsjahr 2021/2022 (weiß), sowie das 10-jährige Mittel (2011/12-2020/21 außer beim Seekarlesferner 2013/14-2020/21) der Massenbilanz in mm w.e. (orange) aller 13 Gletscher. Die aktuelle Massenbilanz der Pasterze bezieht sich nur auf Punktmessungen und ist als vorläufig anzusehen.

# Massenbilanz

Die Massenbilanz **B** eines Gletschers stellt die Zuwächse **C** (Akkumulation) den Verlusten **A** (Ablation) eines bestimmten Zeitraumes gegenüber:

$$B = C + A$$

Zur Akkumulation zählen all jene Prozesse, die zu einem Massengewinn des Gletschers führen. Hierzu gehört der Schneefall und anderer fester Niederschlag, Schneeverfrachtung durch Wind und Lawinen, gefrierender Regen und die Deposition (Resublimation) von atmosphärischem Wasserdampf.

Zur Ablation tragen alle Prozesse bei, durch welche der Gletscher an Masse verliert. Ein wesentlicher Faktor ist hierbei die Energiebilanz an der Gletscheroberfläche. Ähnlich wie bei der Massenbilanz des Gletschers, werden bei der Energiebilanz die Energieflüsse (z.B. Strahlung) zum und vom Gletscher gegenübergestellt. Ist die Energiebilanz der Gletscheroberfläche positiv, wird dieser

Energieeintrag zum Erwärmen, Sublimieren (direkter Übergang der Wassermoleküle vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand) oder Schmelzen verwendet. Weitere Ablationsprozesse können Auswehung von Triebsschnee und Abbruch von Gletscherteilen (Kalben) sein.

Der Bereich eines Gletschers, in dem der Massengewinn, die Akkumulation, überwiegt wird als Akkumulationsgebiet bezeichnet und jener Bereich, wo der Massenverlust, die Ablation, überwiegt, wird Ablationsgebiet genannt. Beide Bereiche werden durch die Gleichgewichtslinie (Equilibrium Line Altitude, ELA), also jene Höhe, entlang welcher sich die Massenbilanz auf Null beläuft, getrennt.

Die jährliche Massenbilanz wird auf das Bilanzjahr oder Haushaltsjahr bezogen. Das Bilanzjahr setzt sich aus der winterlichen Akkumulationsperiode (Massenzunahme überwiegt gegenüber Massenabnahme) und der sommerlichen Ablationsperiode (Massenabnahme überwiegt gegenüber Massenzu-



Foto: GeoSphere Austria, Anton Neureiter 2016



nahme) zusammen. In den Alpen wird das Haushaltsjahr meist auf ein fixes Datum bezogen (1. Oktober bis 30. September des Folgejahres). Der in Österreich übliche Verlauf von Aufbau und Abbau der hochalpinen Schneedecke bestimmt hierbei die Einteilung des Haushaltsjahres in eine Wintermassenbilanz (meist 1. Oktober bis 30. April) mit vorwiegend Massengewinn und Sommermassenbilanz (meist 1. Mai bis 30. September) mit überwiegendem Massenverlust (Kaser et al. 2003).

Um verschiedene Gletscher vergleichbar zu machen, berechnet man die spezifische Massenbilanz. Hierbei wird die zuvor ermittelte Massenbilanz **B** durch die Gletscherfläche dividiert (Böhm et al. 2011). Die Massenbilanzgrößen werden bei der spezifischen Massenbilanz mit Kleinbuchstaben bezeichnet:

$$b = c + a \text{ (kg}^{-2}\text{)}$$

$$b = B/S$$

$$c = C/S$$

$$a = A/S$$

**S = Gletscherfläche**

Die spezifische Massenbilanz wird oft auch in Millimeter Wassersäule (mm w.e., Millimeter Water Equivalent) angegeben, was für Anwendungen in der Hydrologie vorteilhaft ist. Das ist dann jene Wassermenge, um die sich innerhalb eines Jahres die Masse des Gletschers vergrößert oder verkleinert hat.

Die direkte Erhebung der jährlichen Massenbilanz ist mit aufwändigen Feldarbeiten verbunden und wird deswegen nur an 13 Gletschern (Stand Haushaltsjahr 2021/22) in Österreich durchgeführt. Dabei hilft jedoch der Vorteil der räumlichen Ähnlichkeit der Massenbilanz, der eine Übertragbarkeit der Tendenz auf benachbarte Gletscher ermöglicht. Obwohl mit Fernerkundungsmethoden heute die geodätische Massenbilanz aller Gletscher weltweit berührungslos bestimmt werden kann, sind für die Kalibrierung dieser Fernerkundungsmethoden nach wie vor Messdaten im Gelände unerlässlich (Hugonnet et al. 2021).

Bei den hier vorgestellten Gletschern (ausgenommen Stubacher Sonnblickkees) wird die Massenbilanz mittels der direkten glaziologischen Methode bestimmt. Hierbei wird die Akkumulation und

## „Gletscher sind Maschinen, die Wetter in Klima verwandeln“

Georg Kaser

Die enge Verbindung zwischen Gletscher und Klima zeigt sich am deutlichsten in der jährlichen Massenbilanz. Ihr Wert wird direkt von den in dem jeweiligen Haushaltsjahr herrschenden Größen der Klimatelemente Niederschlag, Wind, Temperatur und Sonnenstrahlung bestimmt. Im Gegensatz zu anderen glazialen Kenngrößen wie die Flächen- und Längenänderung eines Gletschers reagiert die Massenbilanz somit direkt und unverzögert auf Klimaschwankungen.

Diese Eigenschaft macht die Massenbilanz zu einem idealen Indikator des Klimawandels.

Ablation durch ein möglichst dichtes Netz an Messpunkten am Gletscher erhoben und durch Interpolation und Mittelung über die gesamte Gletscherfläche die spezifische Massenbilanz bestimmt. Im Ablationsgebiet wird **b** aus Messungen an Ablationspegeln berechnet. Ablationspegel sind zumeist Holz-, Metall- oder Kunststoffrohre, die mittels eines Bohrers in das Gletschereis eingebracht werden. Die Differenz in der Länge des herausragenden Pegelteils zu Beginn und am Ende eines Haushaltsjahres ergibt die Abschmelzung, wobei die unterschiedliche Dichte von Schnee oder Eis für die Umrechnung in die Ablation berücksichtigt werden muss (Kaser et al. 2003).

Die Bestimmung der Akkumulation **c** erfolgt auf Grundlage der Messung des Wassergehalts des Schnees. Dazu werden im Akkumulationsgebiet bis zum Vorjahreshorizont Schneeschächte gegraben, in denen Schneetiefe und Dichte gemessen werden. Die Erhebung der Wintermassenbilanz durch Schneeschächte ist besonders zeitaufwändig (Schneeschächte können in den Alpen mehrere Meter tief sein) und wird aus diesem Grund nur an ausgewählten Punkten am Gletscher durchgeführt, wobei hier das Wissen über die geringere räumliche

Schwankung der Schneedichte im Vergleich zur Schneehöhe hilft. Daher wird die leichter zu messende Schneetiefe an möglichst vielen Punkten am Gletscher (mit einer Lawinsonde) gemessen (Kaser et al. 2003).

## Datenlage in Österreich

Bereits im Jahre 1952/1953 begann Otto Schimpp am Hintereisferner in Tirol, einem Gletscher, der eng mit den Anfängen der glaziologischen Forschung in Österreich und weltweit verbunden ist (Schimpp 1960), mit der Erhebung der ersten Massenbilanzreihe in Österreich. Wenige Jahre später folgten Massenbilanzmessungen am Stubacher Sonnblickkees (1963/64) in Salzburg, am Vernagtferner (1964/65) und dem Kesselwandferner in Tirol (1965/66). Seit den 1980er Jahren (1980/81) wird auch von Österreichs größtem Gletscher, der Pasterze in Kärnten, die Massenbilanz erhoben. Im Laufe der Jahre kamen in Kärnten noch das Wurtenkees (1982/83) und das Kleinfleißkees (1998/99), in Tirol der Jamtalferner (1988/89), der Seekarlesferner (2013/14) und das Mullwitzkees (2006/07), in Salzburg das Goldbergkees (1988/87) und Venedigerkees (2011/12) und in Oberösterreich der Hallstättergletscher (2006/07) hinzu.

Von all diesen 13 Gletschern (Abbildung 6) liegen die Werte der Jahresbilanz (Haushaltsjahr 2021/22), bei neun auch die Werte der Sommer- und Winterbilanz vor. Insgesamt sind das Massenbilanzdaten von weniger als 1,6 % aller 783 österreichischen Gletscher (Gletscherinventar 2015). All diese Gletscher wurden aufgrund ihrer Zugänglichkeit und ihrer (vermuteten) Repräsentativität für den Gebirgsraum ausgewählt.

Bei acht österreichischen Gletschern mussten die Massenbilanzmessungen bereits eingestellt werden. Zu nennen wäre hier beispielsweise der nach einer Sage benannte Gletscher „Übergossene Alm“ am Hochkönig in Salzburg, dessen Massenbilanz bereits ab 1969 erhoben wurde. Aufgrund des starken Gletscherrückgangs zerfiel der Gletscher in einzelne kleine Gletscherflecken, was zu einer Beendigung der Messtätigkeit führte (Goldberger 2013).

## Entwicklung

Abbildung 7 zeigt die kumulierte (summierte) jährliche spezifische Massenbilanz aller österreichischer Gletscher, an denen diese Messung durchgeführt wurde, also auch jene, bei denen die Messung bereits eingestellt wurde. Sie ist bei allen Gletschern stark negativ, was bedeutet, dass die Gletscher im Beobachtungszeitraum deutlich mehr Masse durch Ablation verloren als durch die Akkumulation gewonnen haben.

Bei der langen Zeitreihe des Hintereisfernens ist ein Massenverlust bis zum Beginn der 1960er Jahre zu erkennen. Daran anschließend folgt bis 1980 eine Phase des leichten Massenzugewinns, der nun auch an weiteren Gletschern wie dem Stubacher Sonnblickkees, Kesselwandferner und Vernagtferner zu erkennen ist, wohingegen ab der Mitte der 1980er Jahre bei allen Messreihen ein starker Massenverlust zu verzeichnen ist. Diese Entwicklungen der Massenbilanz spiegeln recht gut die Klimaschwankungen von den 1950er Jahren bis heute wider.

Zwei Zeitreihen der Massenbilanz, die besonders auffallen, sind die des Hintereisfernens und die des nur zwei Kilometer entfernten Kesselwandfernens, beide in Tirol gelegen. Die Massenbilanzen des Hintereisfernens (-43545 mm w.e. ab 1965/66 bis 2021/22) sind deutlich negativer als jene des Kesselwandfernens (-13904 mm w.e. ab 1965/66 bis 2021/22). Grund hierfür ist die große und in tiefe Lagen reichende Gletscherzunge des Hintereisfernens, die den Gletscher besonders anfällig für trockene und warme Perioden macht. Der Kesselwandferner hingegen liegt höher und hat ein kleineres Ablations- als Akkumulationsgebiet. Das zeigt, dass die Massenbilanz nicht nur von der jährlichen Witterung, sondern auch von der Gletschertopografie beeinflusst wird (Kuhn et al. 1985; Fischer & Hartl 2013).



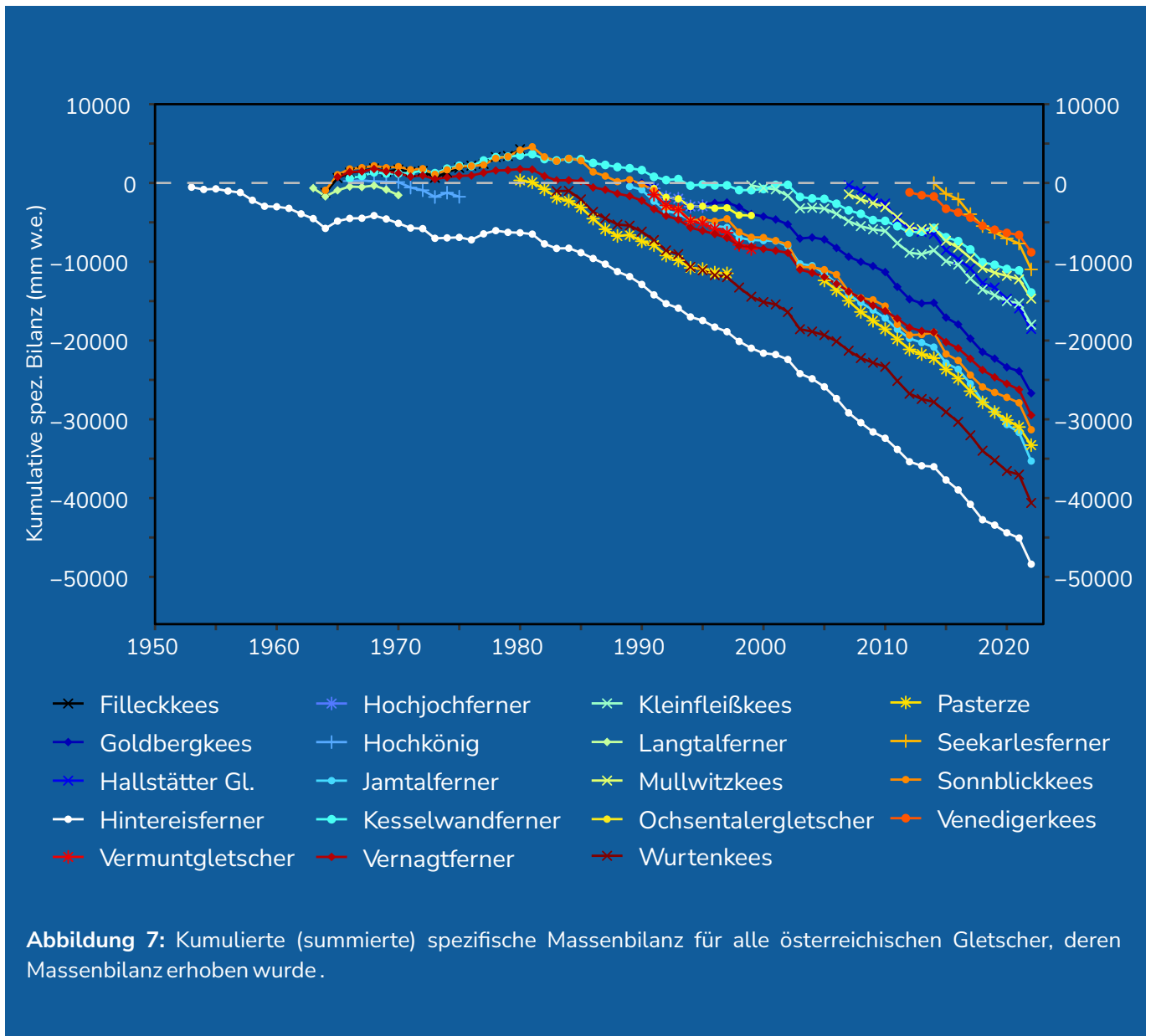


Foto: Untersulzbachkees, Gerhard K. Lieb 2012



# JAMTALFERNER

46° 51' 20" N/10° 9' 25" O

HÖHENLAGE: 3160 - 2430 m ü. A.

EXPOSITION: Nord bis Nordwest

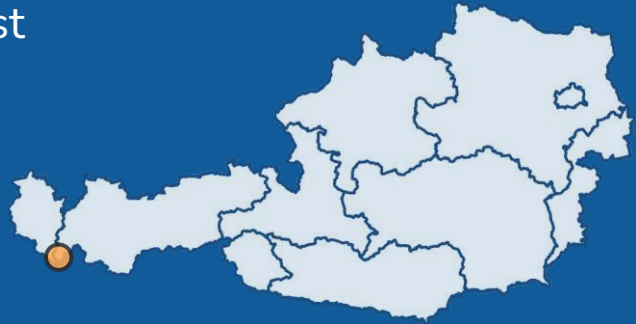


Foto: Jamtalfjerner, G. Groß 2021

# seit 1988/89

Beginn der  
Massenbilanzmessungen am  
Jamtalferner

## 0

Anzahl der positiven  
Haushaltsjahre seit 1988/89

## 34

Anzahl der negativen  
Haushaltsjahre seit 1988/89

Der Jamtalferner hatte 2020 eine Fläche von 2,52 km<sup>2</sup> bei einer Höhererstreckung von 3160 bis 2430 m ü. A. und einer Länge von ca. 2,3 km. Der Gletscher hat eine nord- bis nordwestliche Exposition, liegt in Tirol und grenzt im oberen Bereich sowohl an Vorarlberg als auch an die Schweiz. Der Jamtalferner entwässert über das Jamtal in die Trisanna im Einzugsgebiet des Inn.

Die Flächen-Höhen-Verteilung und die Gletschergrenzen des Jamtalfernens wurden 2020 auf Basis des Höhenmodells 2018 (Land Tirol - data.tirol.gv.at) und eines Orthofotos aus dem Jahr 2020 aktualisiert. 2022 wurden die Gletschergrenzen trotz erheblicher Flächenverluste nicht aktualisiert, da eine genaue Kartierung aufgrund der rapiden Veränderungen nur mit einer aktualisierten, fernerkundlichen Datenbasis sinnvoll erscheint. Vermessung der Gletschergrenzen mittels GPS im Rahmen der Massenbilanzmessungen, wie in früheren Jahren praktiziert, ist angesichts der großen Flächenänderungen nicht mehr möglich.

Massenbilanzmessungen werden am Jamtalferner seit 1988/89 durchgeführt. Die Messreihe wurde von Michael Kuhn und dem Hydrographischen Dienst der Abteilung Wasserwirtschaft des Amtes der Tiroler Landesregierung unter der Leitung von Wolfgang Gattermayr initiiert und von Gerhard Markl bis 2006 durchgeführt. 2007 hat Andrea Fischer die Messungen übernommen. Seit 2013 werden die Massenbilanzmessungen am Jamtalferner vom Verein Gletscher Klima durchgeführt und

vom Hydrographischen Dienst unter der Leitung von Klaus Niedertscheider gefördert. Die Reihe ist als WGMS-Referenzgletscher geführt und Teil von Global Cryosphere Watch sowie als LTER-Site registriert.

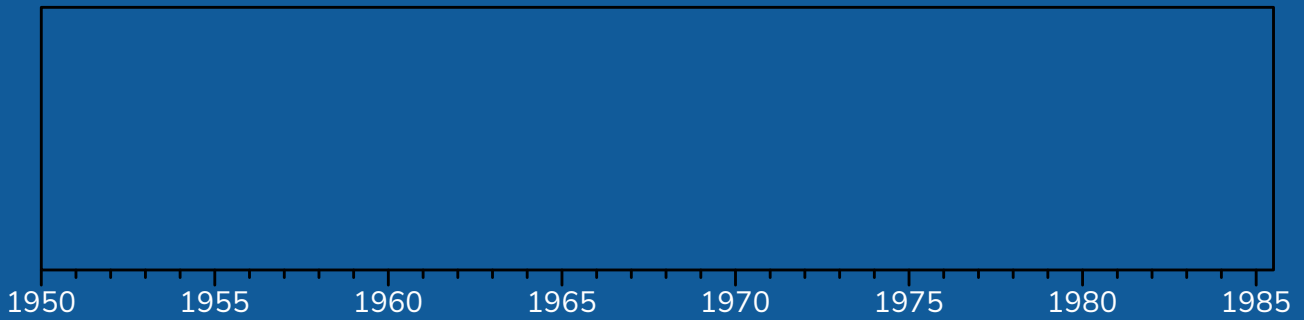
Alle Haushaltsjahre der 34 jährigen Zeitreihe waren negativ (Abbildung 8 und 9). Das vergangene Haushaltsjahr 2021/22 war das bei Weitem negativste der Zeitreihe. Die Jahre 2003, 2015 und 2018 stechen ebenfalls als sehr negativ hervor und waren von heißen Sommern geprägt. 2003 war das erste Jahr, in dem die spezifische Massenbilanz -2000 mm w.e. unterschritt. Die ELA des Jamtalfernens lag während der Messperiode nur in zwei Jahren unter 2800 m ü. A. (Abbildung 10). In sieben der letzten 10 Jahre lag die ELA über Gipfelniveau.

Der Flächenanteil des Akkumulationsgebietes an der Gesamtfläche des Gletschers (AAR) (Abbildung 10) überstieg zuletzt in der Saison 2015/16 10 %. In der Saison 1994/95 wurde mit 63 % der größte Wert der Zeitreihe verzeichnet. Der Jamtalferner hat in den heißen Sommern seit 2003 seinen mehrjährigen Firnkörper zur Gänze verloren.

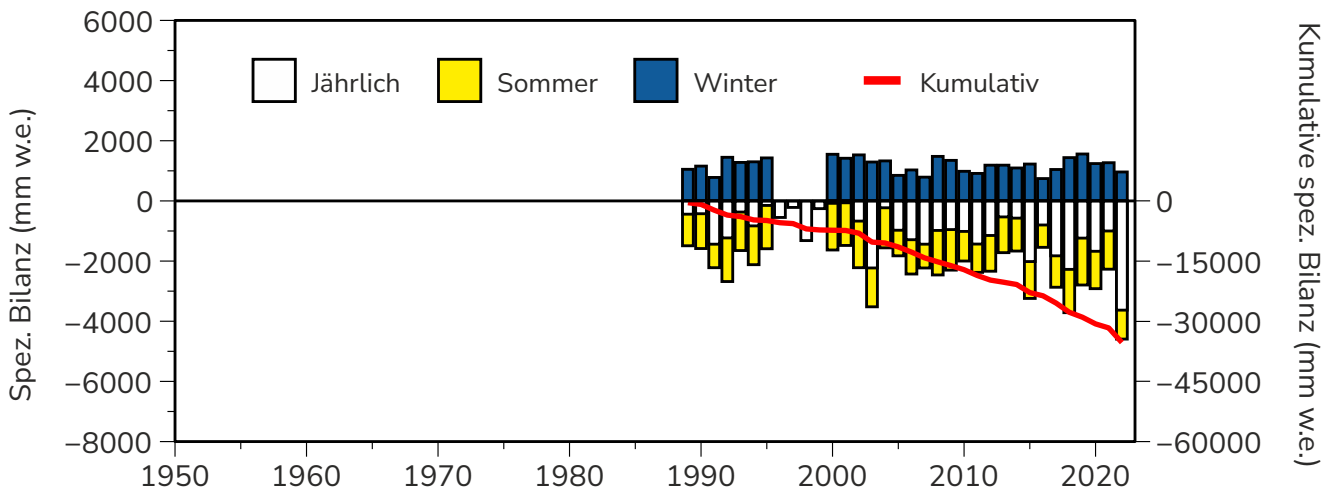


**Autorinnen:** Dr. Andrea Fischer, Lea Hartl  
PhD (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

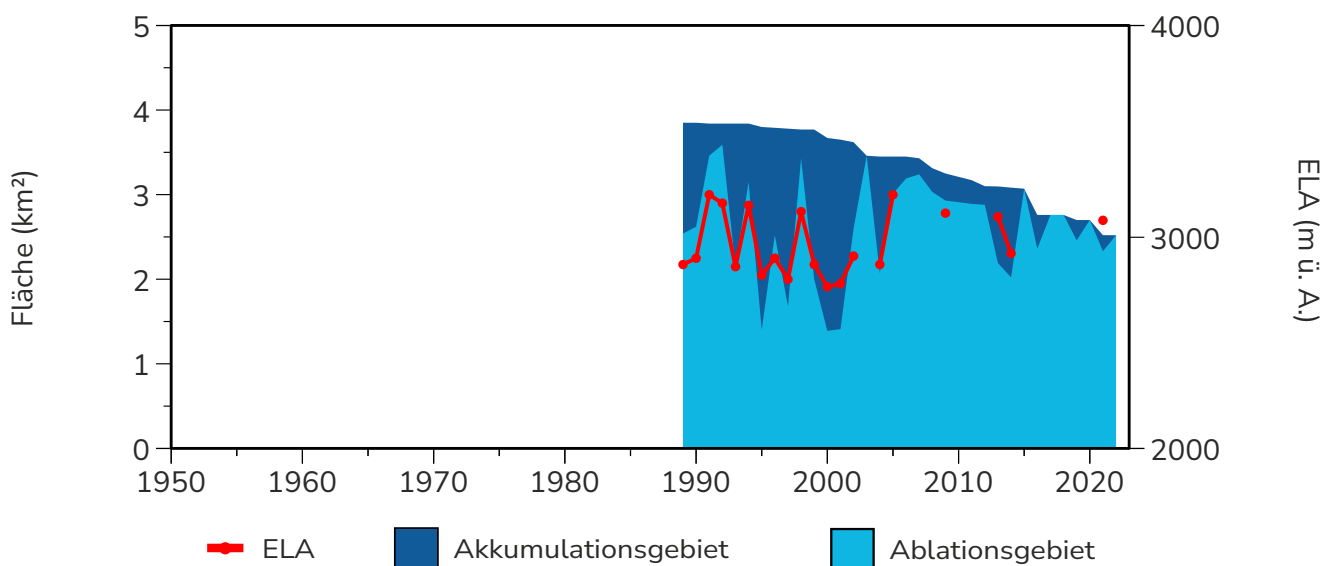




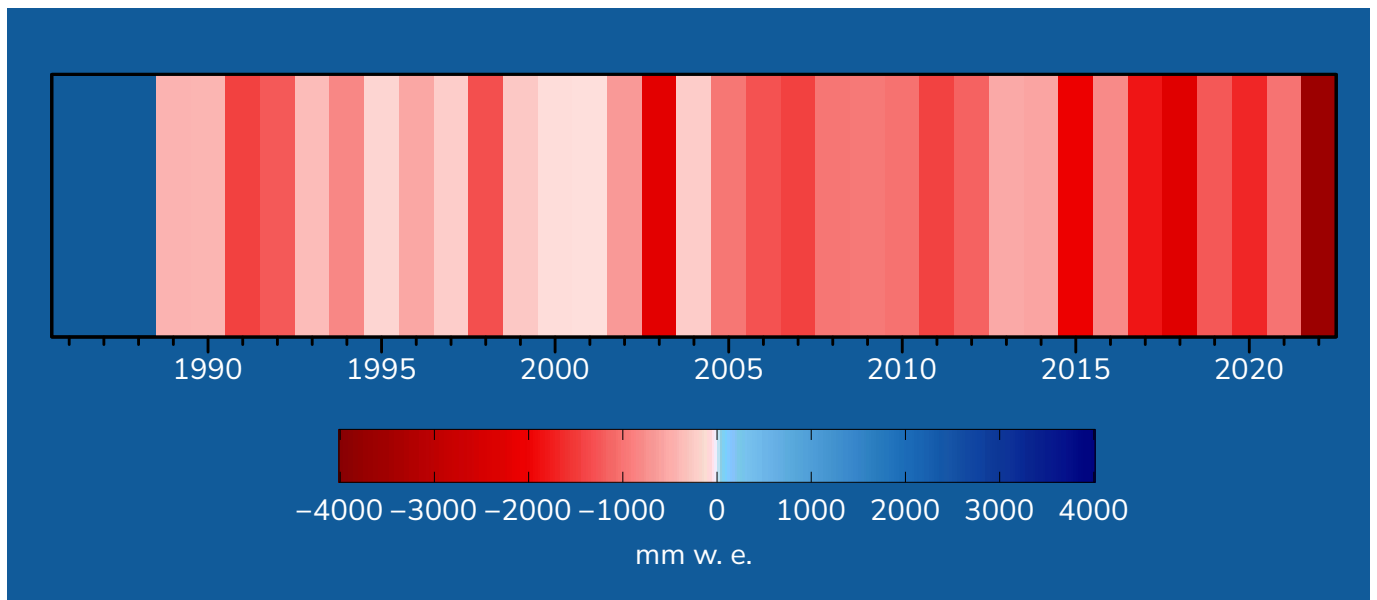
**Abbildung 8:** Massenbilanzstreifen der spezifischen jährlichen Massenbilanz seit Messbeginn 1988/89 bis zum Haushaltsjahr 2021/22. Blau zeigt eine Massenzunahme und rot eine Massenabnahme. Die Farbintensität spiegelt die Intensität der jährlichen Massenveränderung wider.



**Abbildung 9:** Jährliche spezifische und kumulierte Massenbilanz seit Messbeginn.



**Abbildung 10:** Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Akkumulations- und Ablationsgebiet an der Gesamtfläche und Schwankungen der ELA seit Messbeginn. Die Unterbrechung in der Linie bedeutet, dass die ELA in diesem Jahr oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers lag.



**Abbildung 11:** Bildvergleich: Der Jamtalferner 1950, 1965 (oben) und 2014 und 2022 (unten) (Fotos: 1950, 1965 und 2014 © 2023 Umweltbildungsstelle Jamtal; 2022 Lea Hartl).



# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**-3631 mm w.e.**  
Jahresbilanz

**962 mm w.e.**  
Winterbilanz

**-4593 mm w.e.**  
Sommerbilanz

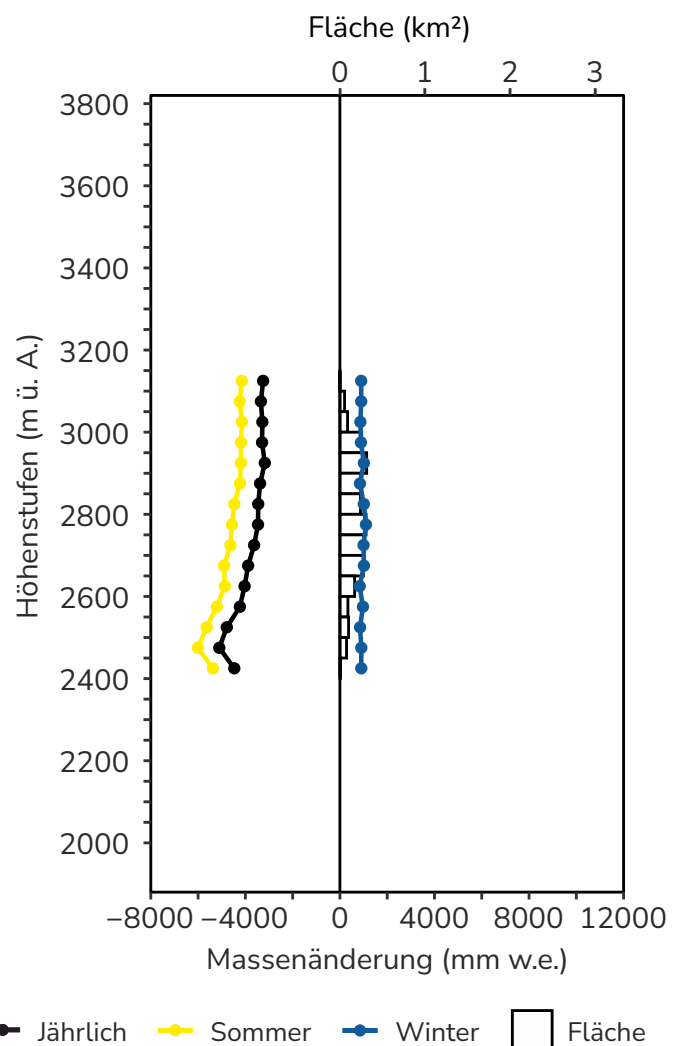
**-\***  
ELA

**2,52 km<sup>2</sup>**  
Fläche

**0 %**  
AAR

Die spezifische Massenbilanz 2021/2022 war mit -3631 mm w.e. über einen Meter negativer als das bisher negativste Jahr (2017/18: -2276 mm w.e.) in der 34-jährigen Messreihe. In den niedrigsten Höhenstufen des Gletschers waren die Verluste des Sommers 2022 vergleichbar mit dem ebenfalls sehr heißen Sommer 2003. In größeren Höhen waren die Verluste weit jenseits aller bisher gemessenen Werte. Hier wurden bislang in sehr negativen Jahren Verluste von 1000 bis 1500 mm w.e. verzeichnet. 2022 verlor der Jamtalferner in allen Höhenstufen über 3000 mm w.e. Die Winterbilanz war mit 962 mm w.e. etwas unterdurchschnittlich, die Sommerbilanz war mit -4593 mm w.e. extrem negativ und entscheidend für die sehr negative Gesamtbilanz (Abbildung 12).

Prägend für die Entwicklung waren der schneearme Winter und die frühe Ausaperung, sowie der sehr heiße Sommer. Der Jamtalferner war bereits Ende Juni bis in die höchsten Lagen fast komplett schneefrei. Die Ablationsperiode dauerte somit circa einen



**Abbildung 12:** Das vertikale Bilanzprofil (50 m-Intervall) des Jamtalferners für das Haushaltsjahr 2021/22.

\*ELA befindet sich über dem höchsten Punkt des Gletschers.



Monat länger als üblich. Die Winterbilanz 2021/22 wurde mit einem Schneeschacht und 50 Schneehöhenmessungen ermittelt (Abbildung 13). Für die Jahres- und Sommerbilanz wurden Ablationsmessungen an 24 Pegeln durchgeführt.

Die ELA lag 2021/22 über Gipfelniveau. Es überwog auf der gesamten Gletscherfläche die Ablation (AAR=0). Dies war auch 2003, 2015, 2017 und 2020 der Fall, allerdings lagen die Ablationsraten 2022 vor allem im oberen Teil des Gletschers deutlich über jenen früherer Jahre.

Der fortschreitende, rapide Gletscherrückgang im Jamtal bedingt Anpassungen der Messstrategie. Zwei Pegel im untersten Zungenbereich sind nicht mehr praktikabel und werden aufgegeben. Die Messaktivitäten verlagern sich zunehmend in die höheren Bereiche des Gletschers (Fischer et al. 2016).

**Autorinnen:** Dr. Andrea Fischer, Lea Hartl PhD (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

► **Massenbilanz DATEN Jamtalferner**

**Datengeber:** Verein Gletscher und Klima

**Fördergeber:** Land Tirol, Abteilung Wasserwirtschaft, Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie, BML, Abteilung Wasserhaushalt

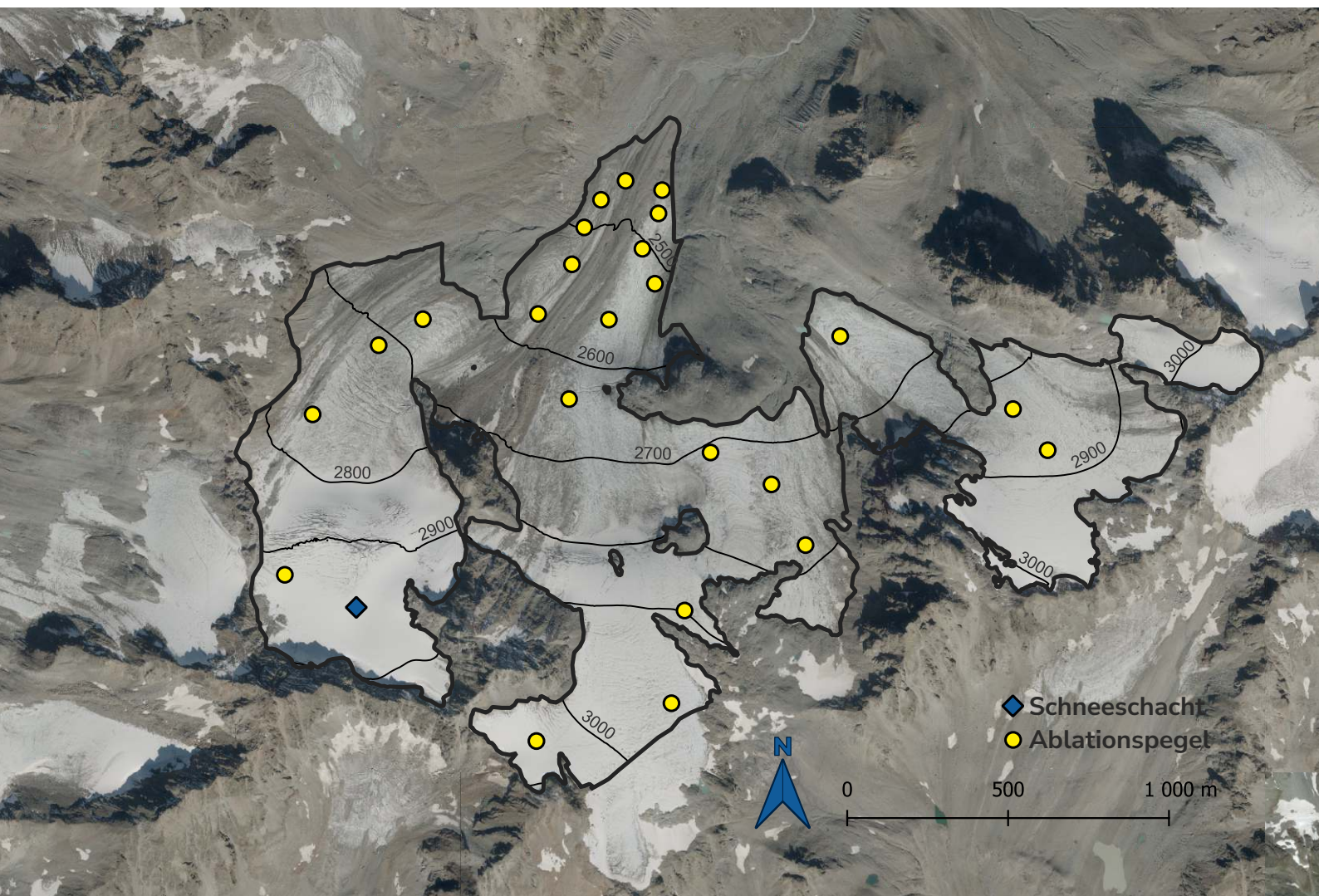
**Massenbilanzdaten:** Fischer, A., Hartl, L., Markl, G. & Kuhn, M. (2016): Glacier mass balances and elevation zones of Jamtalferner, Silvretta, Austria, 1988/1989 et seq. Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Innsbruck, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.818772>

**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland. <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>



Bundesministerium  
Land- und Forstwirtschaft,  
Regionen und Wasserwirtschaft

**Abbildung 13:** Oberflächentopografie und Messnetz des Jamtalferners (Umriss (2020): Verein Gletscher und Klima; Höhenlinien (2017) und Orthofoto (2020): Land Tirol - maps.tirol.gv.at TIRIS).





# HINTEREISFERNER

46° 48' 0" N/10° 46' 12" O

Höhenlage: 3739 - 2550 m ü. A.

Exposition: Ost bis Nordost



Foto: Hintereisferner, Robbie Shone 2020

# seit 1952/53

Beginn der  
Massenbilanzmessungen am  
Hintereisferner

## 10

Anzahl der positiven  
Haushaltsjahre seit 1952/53

## 60

Anzahl der negativen  
Haushaltsjahre seit 1952/53

Der Hintereisferner ist ein typischer temperierter Talgletscher der im Rofental, einem Seitental des Ötztals, in Tirol liegt. Er umfasste im Jahr 2022 eine Fläche von ca. 5,17 km<sup>2</sup> und erstreckt sich auf ca. 5,6 km Länge von der Weißkugel auf 3739 bis 2550 m ü. A. in nordöstlicher Richtung ins Rofental. Der Hintereisferner war schon Ende des 19. Jahrhunderts Gegenstand glaziologischer Forschung mit Messungen der Längenänderung, der Fließgeschwindigkeit und Tiefbohrungen bis zum Gletscherbett. So ist es auch nicht verwunderlich, dass man bereits 1952/1953 mit der Erhebung der Massenbilanz des Hintereisferner begann. Diese Zeitreihe zählt zu den längsten weltweit.

In Abbildung 14 werden die spezifischen Massenbilanzen des Hintereisferners in mm w.e. seit Messbeginn visualisiert. Blau sind all jene Bilanzjahre eingetragen, die positiv ausgefallen sind, und rot all jene, die negativ waren. Zusätzlich zeigt die Intensität der Farbe das Ausmaß der positiven oder negativen Massenbilanz im jeweiligen Jahr an. Hier wird ersichtlich, dass während der 70-jährigen Messperiode des Hintereisferners nur 10 Haushaltsjahre positiv waren. Alle 10 positiven Haushaltsjahre traten vor 1985 auf, seither sind die Massenbilanzen negativ mit einem zunehmend negativen Trend. Insgesamt hat der Gletscher seit Messbeginn - 48388 mm w.e. an Masse verloren (Abbildung 15).

Der Flächenanteil des Akkumulationsgebiets an der Gesamtgletscherfläche (AAR), betrug im Jahr 1953 noch 58 %. Seit den 1980er Jahren (Beginn des

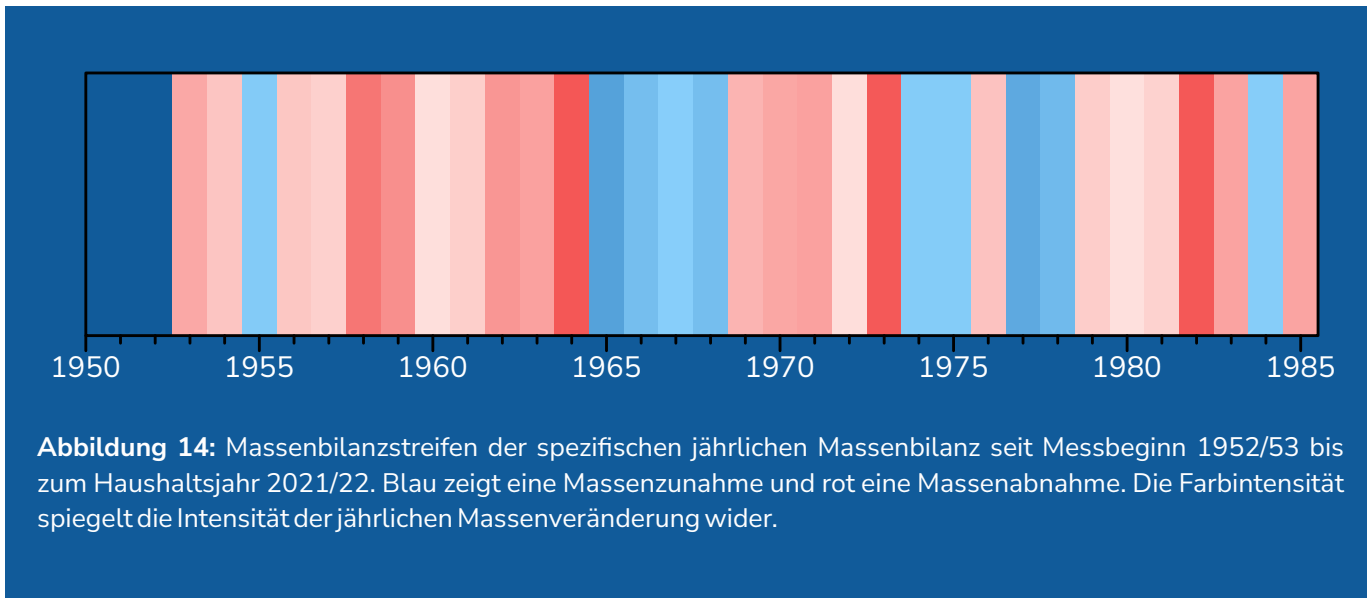
starken Gletscherrückgangs) beträgt die AAR im Mittel nur noch 33 %. Die Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Ablations- und Akkumulationsgebiet an der Gesamtfläche des Gletschers seit 1952/53 ist auch in Abbildung 16 dargestellt.

In Abbildung 16 sind die Variabilität und der positive Trend der ELA erkennbar. Im Jahr 1952/53 befand sich die ELA noch auf 3020 m ü. A. Seit den 1980er Jahren befindet sie sich im Mittel um 106 Höhenmeter höher (3126 m ü. A.) als im Zeitraum davor. Es gab auch bereits Jahre, in denen die ELA deutlich über den Gipfelbereich lag, weil die Massenbilanz am gesamten Gletscher negativ war (z.B. Haushaltsjahr 2017/18). An Fläche hat der Gletscher seit 1952/53 -5,07 km<sup>2</sup> verloren (Abbildung 17).

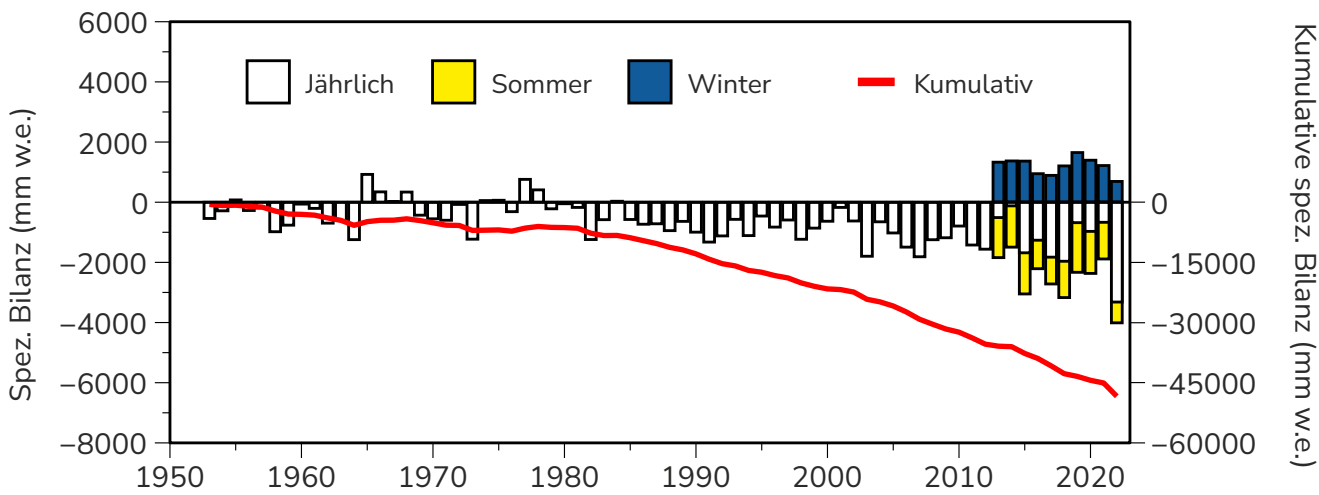


**Autor:** Rainer Prinz, PhD (Universität Innsbruck)

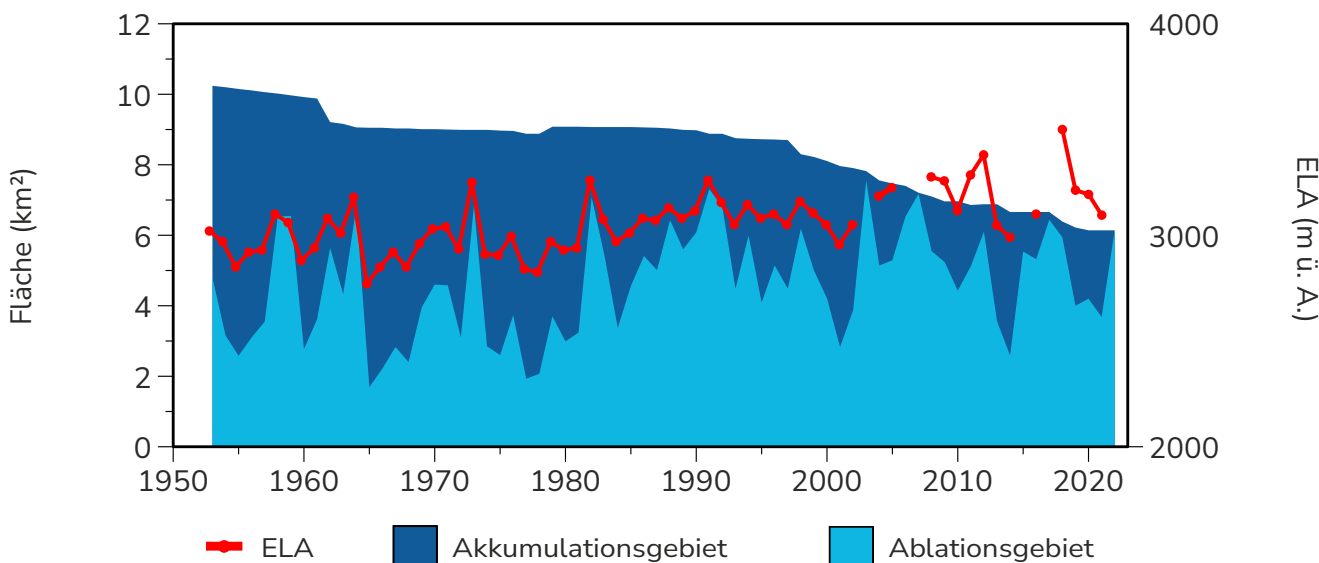




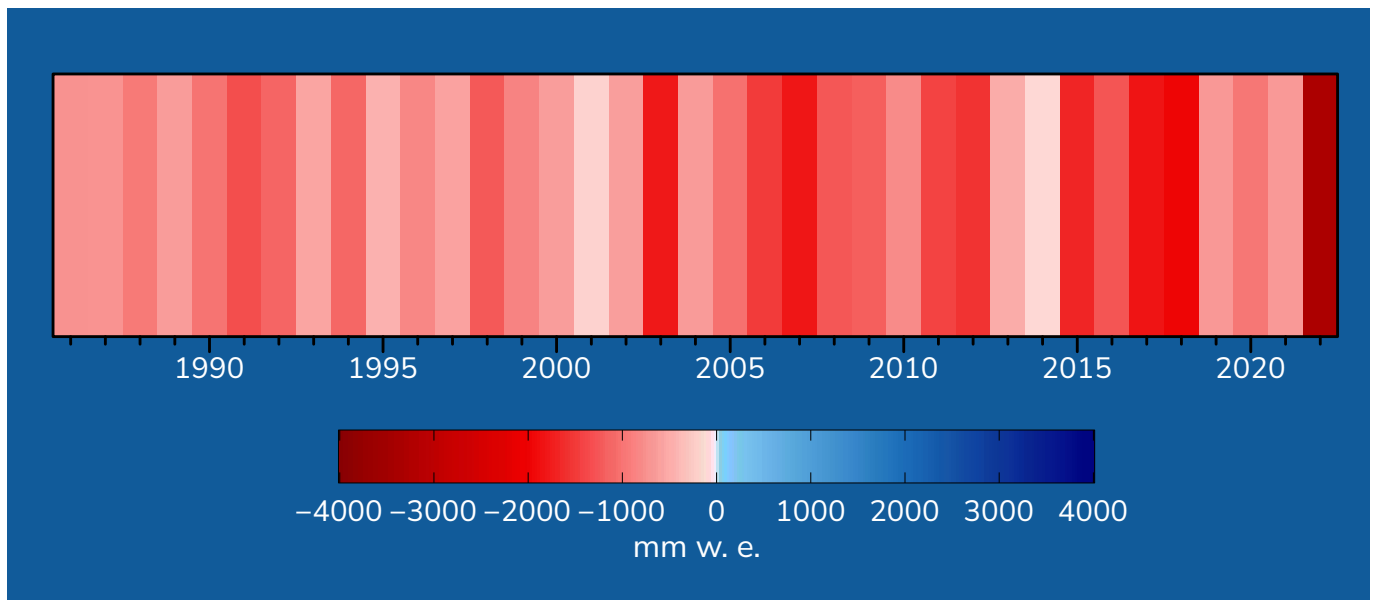
**Abbildung 14:** Massenbilanzstreifen der spezifischen jährlichen Massenbilanz seit Messbeginn 1952/53 bis zum Haushaltsjahr 2021/22. Blau zeigt eine Massenzunahme und rot eine Massenabnahme. Die Farbintensität spiegelt die Intensität der jährlichen Massenveränderung wider.



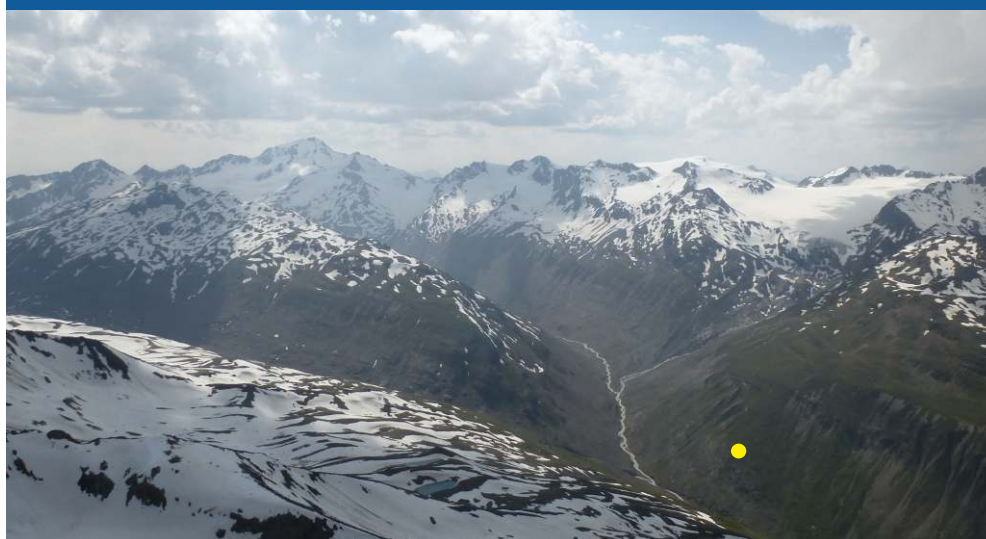
**Abbildung 15:** Jährliche spezifische und kumulierte Massenbilanz seit Messbeginn.



**Abbildung 16:** Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Akkumulations- und Ablationsgebiet an der Gesamtfläche und Schwankungen der ELA seit Messbeginn. Die Unterbrechung in der Linie bedeutet, dass die ELA in diesem Jahr oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers lag.



1929



2013

**Abbildung 17:** Der Hintereisferner 1929 und 2013 (Foto: Hochjoch-Hospiz, Bernd Schröder, hochjoch-hospiz.at)(oben), Hintereis- und Kesselwandferner vom Kreuzspitz 2013 (der Standort des Hochjoch Hospiz ist mit einem gelben Punkt markiert), Gerhard K. Lieb (unten)).

# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**-3319 mm w.e.**  
Jahresbilanz

**691 mm w.e.**  
Winterbilanz

**-4010 mm w.e.**  
Sommerbilanz

**-\***  
ELA

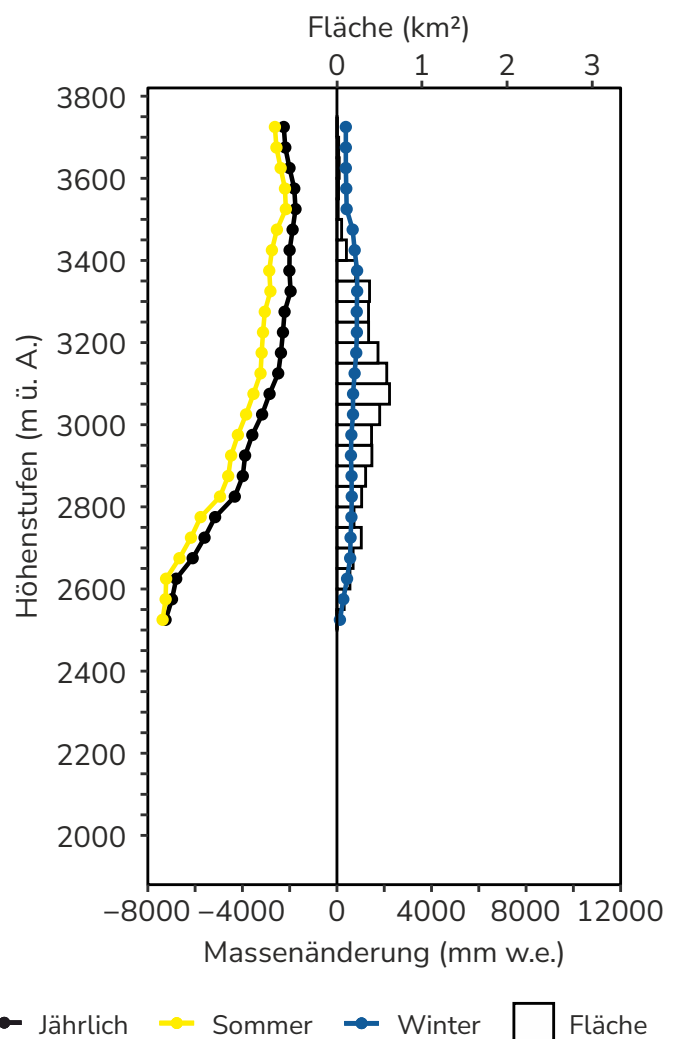
**6,14 km<sup>2</sup>**  
Fläche

**0 %**  
AAR

Am Hintereisferner (Abbildung 18) brachte das Haushaltsjahr 2021/22 mit -3319 mm w.e. die negativste Massenbilanz seit Beginn der Aufzeichnungen 1952/53. Die Winterbilanz mit 691 mm w.e. lag ca. 40 % unter dem Durchschnitt der letzten 10 Jahre.

Aufgrund der intensiven Ablation blieben keine Massenrücklagen erhalten. Die ELA ist somit unbestimmt und liegt oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers.

Den Verlauf des Massenbilanzjahres prägte ein trockenes Winterhalbjahr mit gering mächtiger Schneedecke. Aufgrund des warmen Frühlings konnte die Winterschneedecke außerordentlich schnell geschmolzen werden, sodass der Hintereisferner bereits Ende Juni vom Winterschnee befreit war und die Firn- und Eisablation den ganzen Sommer wirken konnte. Nennenswerte sommerliche Neuschneefälle fehlten zur Gänze. Insgesamt




**Abbildung 18:** Das vertikale Bilanzprofil des Hintereisfernens (50 m-Intervall) für das Haushaltsjahr 2021/22.

\*ELA befindet sich über dem höchsten Punkt des Gletschers.



führte der schneearme Winter in Kombination mit dem zu warmen Sommer schließlich zu einer negativen Rekordmassenbilanz und zu einem Verlust von 4.9 % des Gletschervolumens oder 20 Mio m<sup>3</sup> Wasser.

Die Massenbilanz 2021/22 wurde durch fünf Schneeschächte und 22 Ablationspegel bestimmt (Abbildung 19).

 **Autor:** Rainer Prinz, PhD (Universität Innsbruck)

### ► Massenbilanz DATEN Hintereisferner

**Datengeber:** Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften, Universität Innsbruck

**Fördergeber:** Land Tirol, Abteilung Wasserwirtschaft, Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie; BML, Abteilung Wasserhaushalt

**Massenbilanzdaten:**

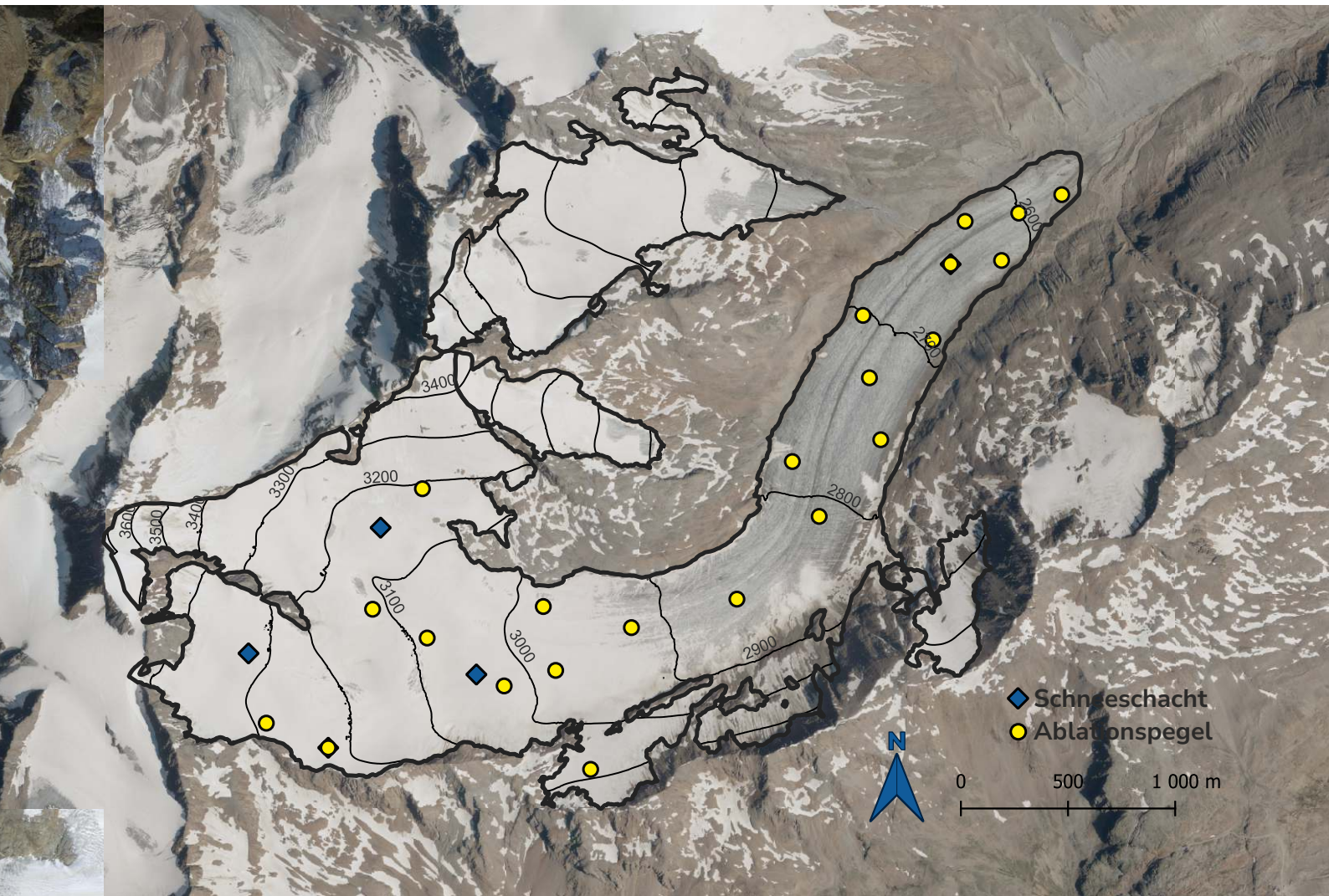
**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland.  
<https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>.

 universität  
innsbruck



 Bundesministerium  
Land- und Forstwirtschaft,  
Regionen und Wasserwirtschaft

**Abbildung 19:** Oberflächentopografie und Messnetz des Hintereisferners (Umriss (2020): Universität Innsbruck; Höhenlinien (2017) und Orthofoto (2020): Land Tirol - maps.tirol.gv.at TIRIS).





# KESSELWANDFERNER

46° 50' 41" N/10° 47' 22" O

Höhenlage: 2900 - 3500 m ü. A.

Exposition: Südost bis Ost

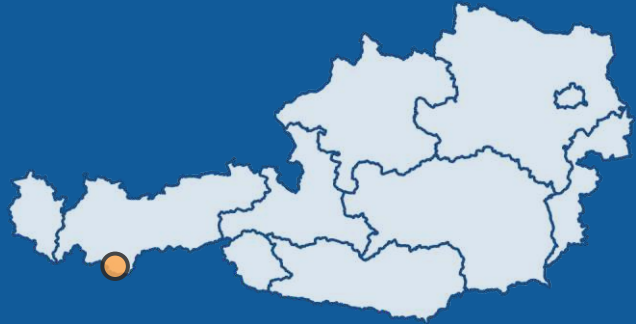


Foto: Kesselwandferner, Rainer Prinz 2020

# seit 1965/66

Beginn der  
Massenbilanzmessungen am  
Kesselwandferner

## 22

Anzahl der positiven  
Haushaltsjahre seit 1965/66

## 35

Anzahl der negativen  
Haushaltsjahre seit 1965/66

Der Kesselwandferner ist ein Nachbar des Hintereisferners im Rofental, einem Seitental des Ötztales, in Tirol. Er umfasste im Jahr 2022 eine Fläche von ca. 3,37 km<sup>2</sup> und erstreckt sich auf ca. 3 km Länge vom Fluchtkogel auf 3500 bis 2900 m ü. A. in südöstlicher Richtung ins Rofental.

Kontinuierliche Massenbilanzmessungen am Kesselwandferner begannen 1965/66 in Kombination mit jenen des Hintereisferners, jedoch mit einem zusätzlichen Fokus auf die Messung der Eisbewegung. Beide Gletscher unterscheiden sich durch ihre charakteristische Flächen-Höhen-Verteilung. Während der Hintereisferner ein klassischer Talgletscher mit gut ausgeprägter Gletscherzunge ist, fehlt diese am Kesselwandferner aufgrund des steilen Terrains in den unteren Höhenstufen. Die oberen Bereiche sind jedoch flach und ausladend, sodass der Kesselwandferner weniger Ablationsflächen (siehe auch AAR) aufweist und allgemein positiver als der Hintereisferner bilanziert.

In Abbildung 20 werden die spezifischen Massenbilanzen des Kesselwandferners in mm w.e. seit Messbeginn visualisiert. Blau sind all jene Bilanzjahre eingetragen, die positiv ausgefallen sind, und rot all jene, die negativ waren. Zusätzlich zeigt die Intensität der Farbe das Ausmaß der positiven oder negativen Massenbilanz im jeweiligen Jahr an. Hier wird ersichtlich, dass während der 57-jährigen Messperiode des Kesselwandferners 22 Haushaltsjahre positiv waren, zuletzt 2013/14. Seit Mitte der 1980er Jahre ist der Massenbilanztrend negativ,

jedoch weniger stark als am Hintereisferner. Insgesamt hat der Gletscher seit Messbeginn 10200 mm w.e. an Masse verloren, etwa viermal weniger als der Hintereisferner im selben Zeitraum (Abbildung 7).

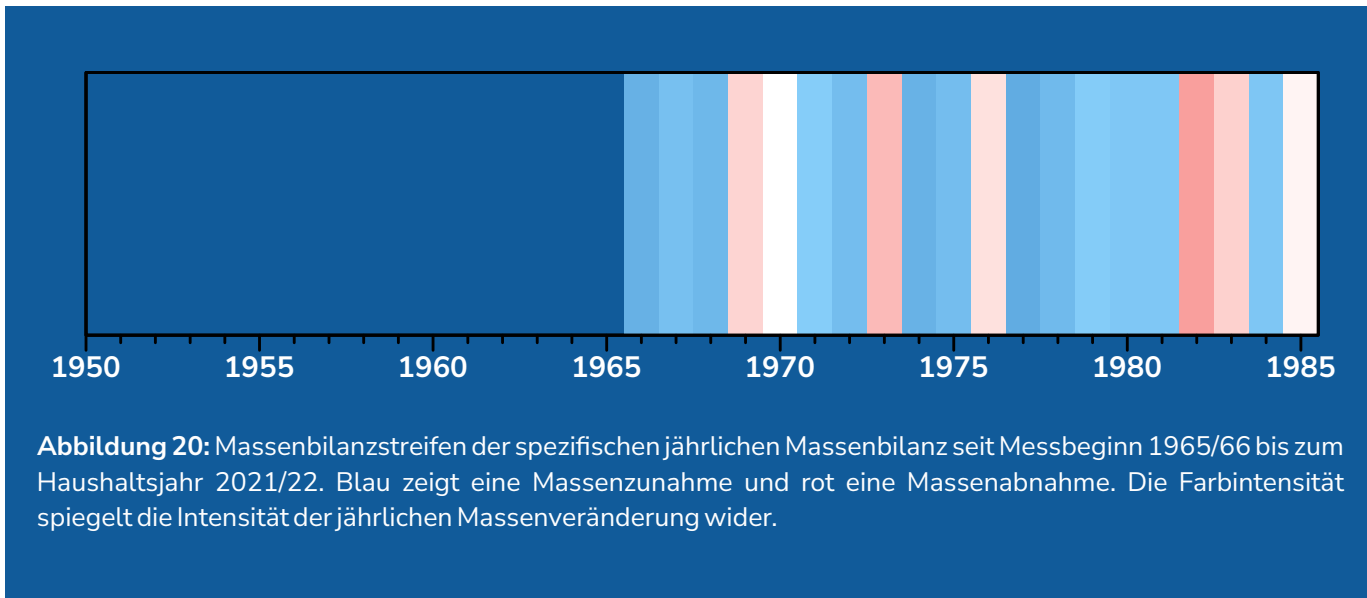
Der Flächenanteil des Akkumulationsgebiets an der Gesamtgletscherfläche (Accumulation Area Ratio AAR), betrug im Jahr 1965 noch 85 %. Seit den 1980er Jahren (Beginn des starken Gletscherrückgangs) beträgt die AAR im Mittel nur noch 57 % (Abbildung 22). Die Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Ablations- und Akkumulationsgebiet an der Gesamtfläche des Gletschers seit 1965/66, ist in Abbildung 22 dargestellt.

In dieser Abbildung sieht man auch die Schwankungen und das leichte Steigen der ELA (Massenbilanz = 0). Im Jahr 1965/66 befand sich die ELA noch auf 3040 m ü. A. Seit den 1980er-Jahren befindet sie sich im Mittel um 135 Höhenmeter höher (3175 m ü. A.). Es gab auch bereits Jahre, in denen die ELA deutlich über den Gipfelbereich lag, weil die Massenbilanz am gesamten Gletscher negativ war (z.B. Haushaltsjahr 2017/18). An Fläche hat der Gletscher seit 1965 0,51 km<sup>2</sup> verloren.

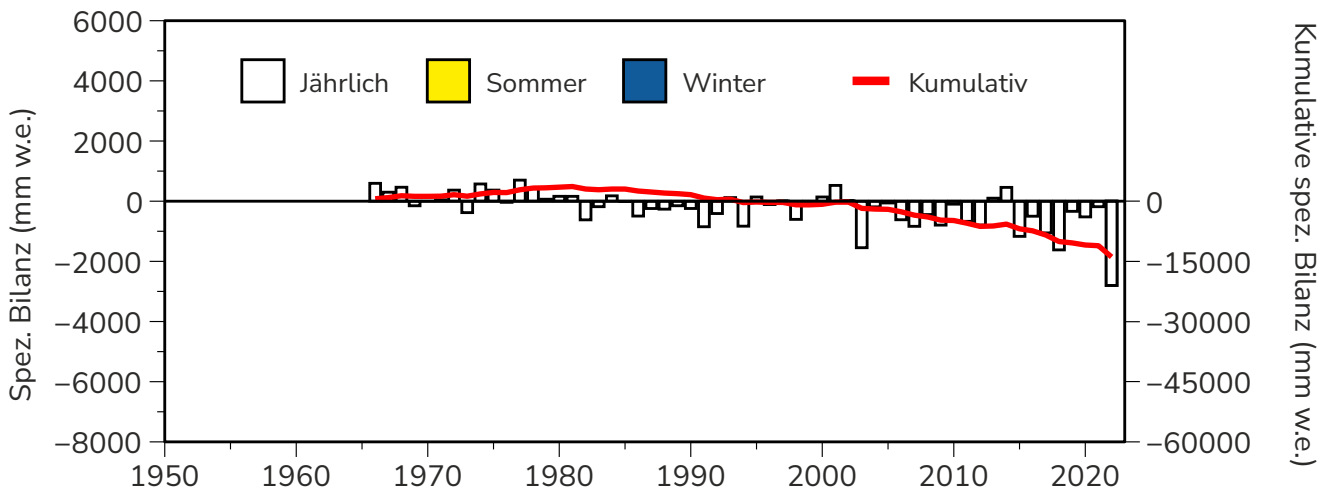


**Autor:** Rainer Prinz, PhD (Universität Innsbruck)

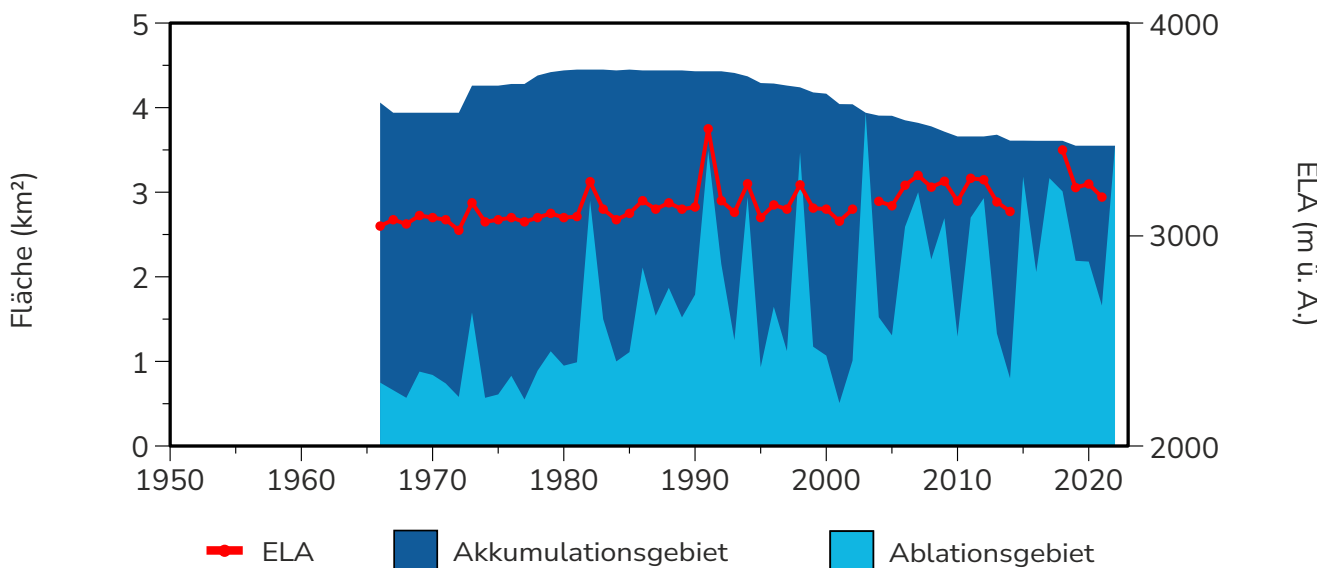




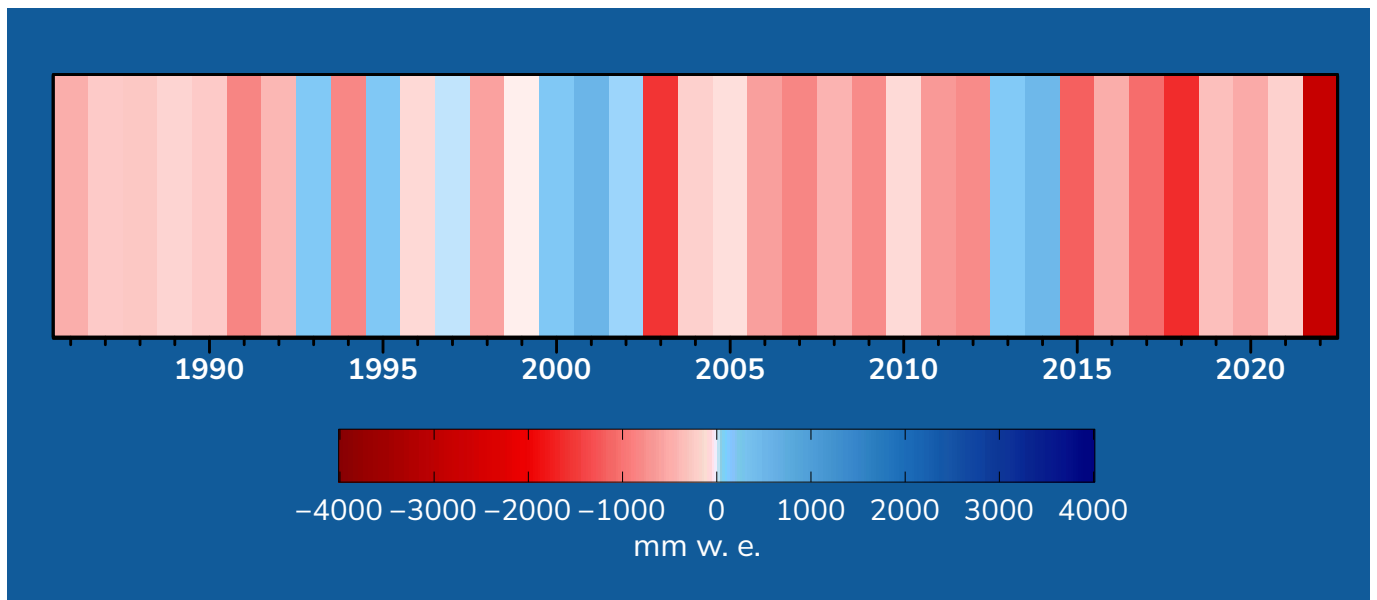
**Abbildung 20:** Massenbilanzstreifen der spezifischen jährlichen Massenbilanz seit Messbeginn 1965/66 bis zum Haushaltsjahr 2021/22. Blau zeigt eine Massenzunahme und rot eine Massenabnahme. Die Farbintensität spiegelt die Intensität der jährlichen Massenveränderung wider.



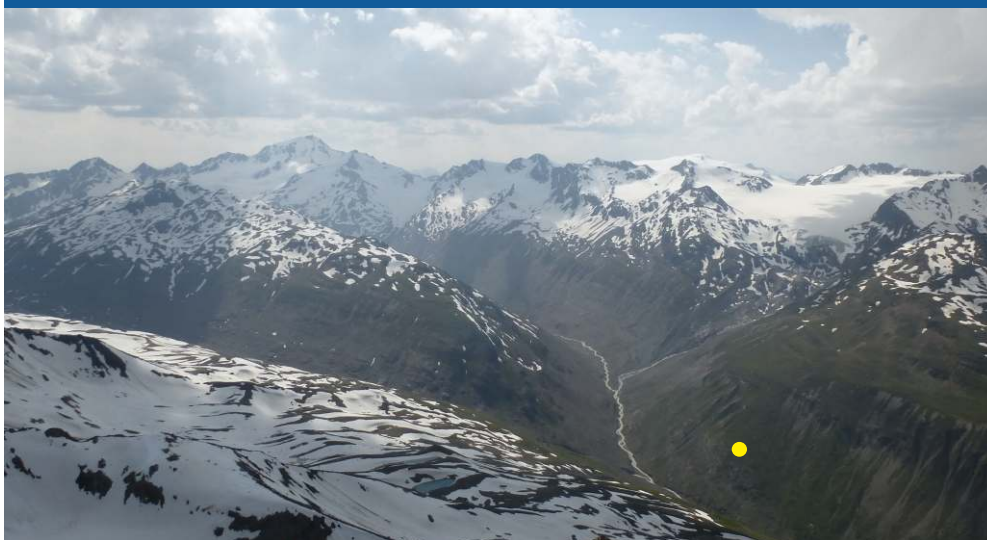
**Abbildung 21:** Jährliche spezifische und kumulierte Massenbilanz seit Messbeginn.



**Abbildung 22:** Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Akkumulations- und Ablationsgebiet an der Gesamtfläche und Schwankungen der ELA seit Messbeginn. Die Unterbrechung in der Linie bedeutet, dass die ELA in diesem Jahr oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers lag.



1905



2013

**Abbildung 23:** Der Kesselwandferner um ca. 1905 und 2013 (Foto: Grüner's (altes) Hochjoch-Hospiz mit Hintereis- und Kesselwandferner. Ansichtspostkarte Reisch-Verlag Meran, gelaufen Juli 1905 © Sammlung K. Scharr)(oben), Hintereis- und Kesselwandferner vom Kreuzspitz 2013 (der Standort des neuen Hochjoch-Hospiz ist mit einem gelben Punkt markiert), Gerhard K. Lieb (unten)).

# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**-2800 mm w.e.**  
Jahresbilanz

**\*\***  
Winterbilanz

**\*\***  
Sommerbilanz


**\***  
ELA

**3,55 km<sup>2</sup>**  
Fläche

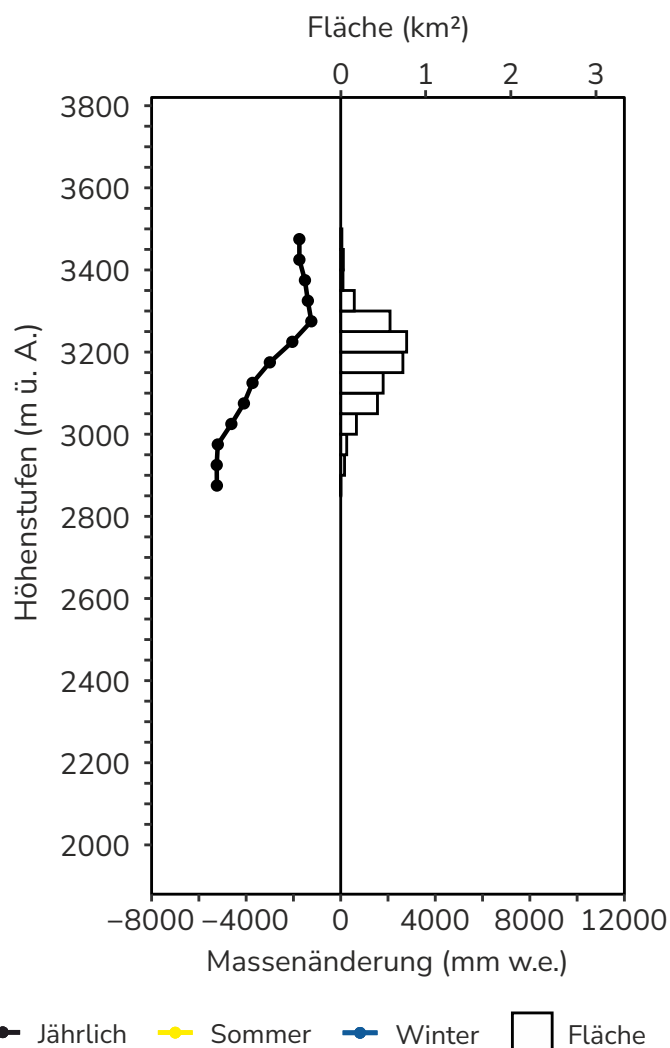
**0 %**  
AAR

Am Kesselwandferner brachte das Haushaltsjahr 2021/22 mit -2800 mm w.e. die negativste Massenbilanz seit Beginn der Aufzeichnungen 1965/66. Da für diesen Gletscher nur die jährliche Massenbilanz bestimmt wird, gibt es keine Informationen über Winter- und Sommerbilanz (Abbildung 24).

Den Verlauf des Massenbilanzjahres prägte ein trockenes Winterhalbjahr mit gering mächtiger Schneedecke. Aufgrund des warmen Frühlings konnte die Winterschneedecke außerordentlich schnell geschmolzen werden. Nennenswerte sommerliche Neuschneefälle fehlten zur Gänze. Insgesamt führte der schneearme Winter in Kombination mit dem zu warmen Sommer schließlich zu einer negativen Rekordmassenbilanz. Die Massenbilanz wurde durch Messungen an zwei Schneeschächten und 13 Ablationspegeln bestimmt (Abbildung 25).

 **Autor:** Rainer Prinz, PhD (Universität Innsbruck)

**Abbildung 24:** Das vertikale Bilanzprofil des Kesselwandfernners (50 m-Intervall) für das Haushaltsjahr 2021/22.



\*ELA befindet sich über dem höchsten Punkt des Gletschers.

\*\* Für diesen Gletscher wird die Jahresbilanz erhoben und nicht die Bilanz getrennt nach Sommer und Winter.



### ► Massenbilanz DATEN Kesselwandferner

**Datengeber:** Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften, Universität Innsbruck

**Fördergeber:** Land Tirol, Abteilung Wasserwirtschaft, Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie; BML, Abteilung Wasserhaushalt

**Massenbilanzdaten:**

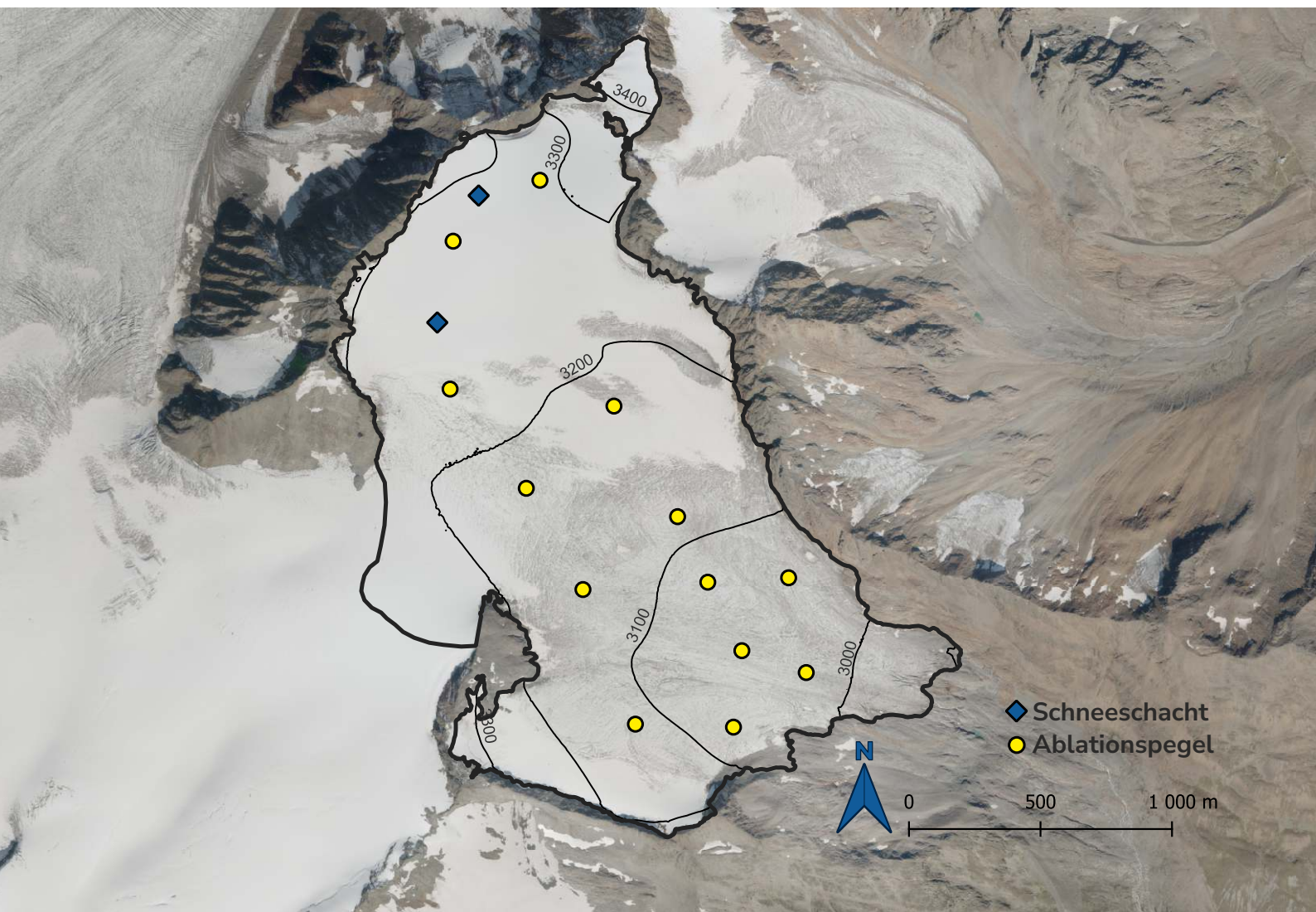
**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland.  
<https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>.

universität  
innsbruck



Bundesministerium  
Land- und Forstwirtschaft,  
Regionen und Wasserwirtschaft

**Abbildung 25:** Oberflächentopografie und Messnetz des Kesselwandferners (Umriss (2020): Universität Innsbruck; Höhenlinien (2017) und Orthofoto (2020): Land Tirol - maps.tirol.gv.at TIRIS).





# VERNAGTFERNER

46° 52' 0" N/10° 49' 0" O

Höhenlage: 3550 - 2880 m ü. A.

Exposition: Süd bis Südost

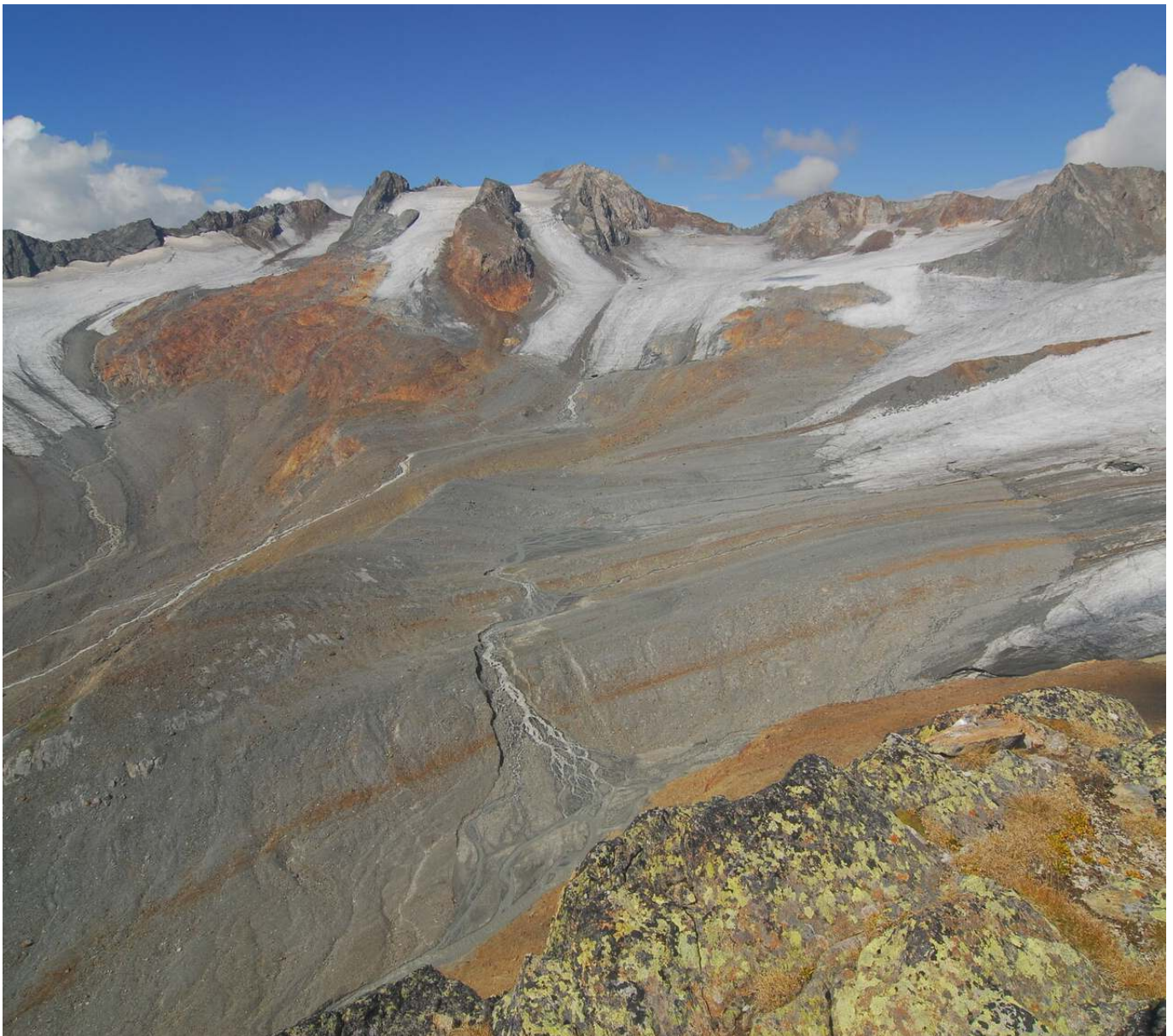
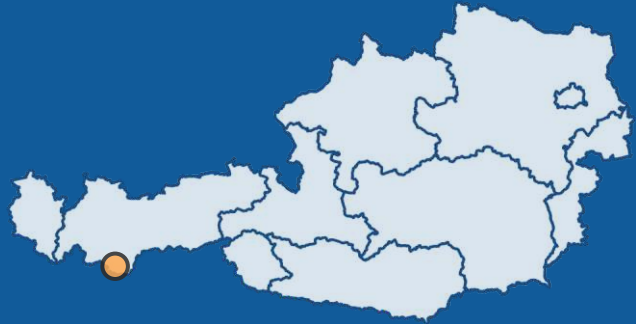


Foto: Vernagtferner, Bayrische Akademie der Wissenschaften 2022

# seit 1964/65

Beginn der  
Massenbilanzmessungen am  
Vernagtferner

## 13

Anzahl der positiven  
Haushaltsjahre seit 1964/65

## 45

Anzahl der negativen  
Haushaltsjahre seit 1964/65

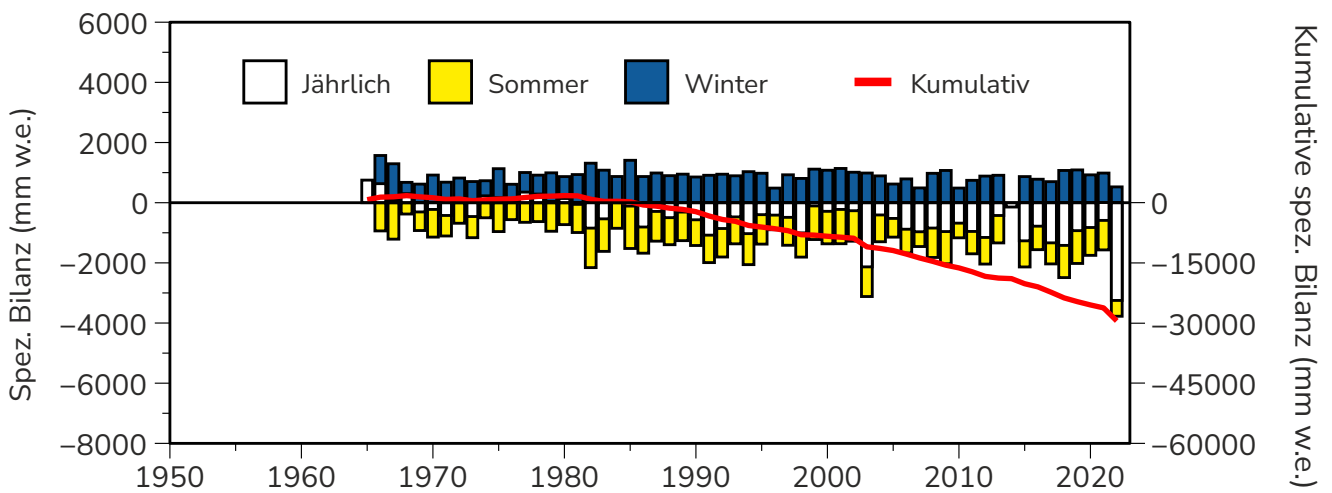
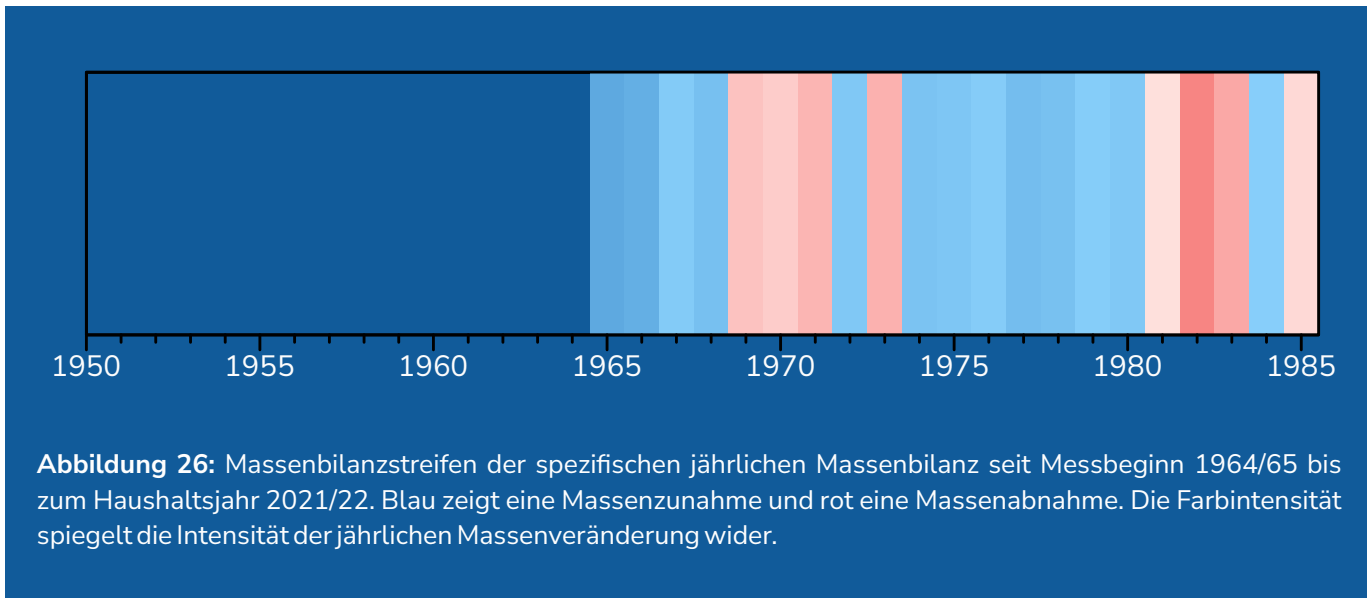
Der Vernagtferner befindet sich in einem Seitental des Rofentals, im Oberlauf des Ötztals. Heute (2022) bedeckt der Gletscher eine Fläche von 6,6 km<sup>2</sup> und erstreckt sich über eine Höhe von 2880 bis 3550 m ü. A. Der Gletscher hat sich durch den starken Rückgang der letzten Jahrzehnte zu einem Firnkesselgletscher entwickelt, bei dem mehrere kurze Zungen aus unterschiedlichen Firnbecken gespeist werden. Die größte Länge erreicht dabei der westliche Teil des Gletschers (Schwarzwandzunge) mit etwa 2,5 km.

Der Gletscher wird schon seit sehr langer Zeit beobachtet, da er vom 17. bis zum 19. Jahrhundert regelmäßig und sehr schnell ins Rofental vorgestoßen ist und dort den Bach aufgestaut hat (Nicolussi 2011). Später wurden die ersten exakten Vermessungen am Vernagtferner durchgeführt, welche 1889 in der weltweit ersten topographischen Karte eines Gesamtgletschers publiziert wurden (Finsterwalder 1897). Mit der Gründung der Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in München 1962 begann die dauerhafte Beobachtung des Vernagtferners. In den ersten Jahren konzentrierte sich die Kommission für Glaziologie noch auf die Gletscher der Zugspitze und den Langtaler Ferner im Gurgler Tal. In einer engen Kooperation mit dem Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck wurde 1964 beschlossen, dass im Rahmen des glazialhydrologischen Projekts Rofental die Innsbrucker Kollegen weiterhin den Hintereisferner und den Kesselwandferner bearbeiten, während die Münch-

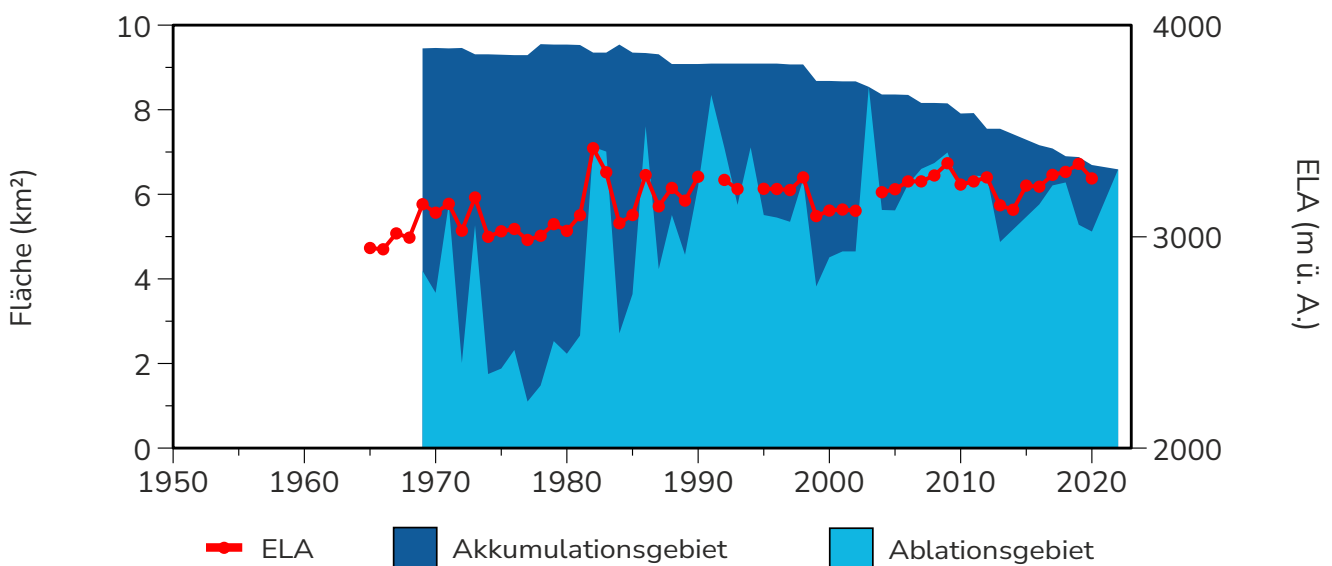
ner Glaziologen dauerhafte Beobachtungen am Guslarferner und Vernagtferner etablieren (Braun et al. 2011). Nach der ersten Installation von Pegeln auf dem Gletscher im Jahr 1964 begannen die regelmäßigen Massenbilanzbestimmungen im Spätsommer 1965.

Die glaziologischen Massenbilanzmessungen am Vernagtferner werden seit 1973 mit der Errichtung der Pegelstation Vernagtbach durch kontinuierliche hydrologische Messungen ergänzt. Somit können die einzelnen Bestandteile des Wasserhaushalts im Einzugsgebiet der Pegelstation (11,4 km<sup>2</sup>) in ihre Komponenten Niederschlag sowie Schnee- und Eisschmelze aufgeschlüsselt werden. Mit dem Bau dieser Station steht im Vernagtfernergebiet eine logistische Plattform zur Verfügung, welche für die kontinuierlichen Arbeiten sowie für spezifische Untersuchungen genutzt wird. Der Vernagtferner hat seit der ersten Vermessung 1889 knapp 5 km<sup>2</sup> an Fläche verloren, wobei die Hälfte davon in den letzten 30 Jahren verschwunden ist. Das Volumen hat in diesem Zeitraum von 613 Mio m<sup>3</sup> auf 107 Mio m<sup>3</sup> um mehr als 80 % abgenommen. Seit Beginn der kontinuierlichen Massenbilanzmessungen 1964/65 hat der Gletscher im Mittel mehr als 30 m an Eis verloren. Dabei ist festzustellen, dass die Massenbilanzen in den ersten 20 Jahren weitgehend ausgeglichen waren. Nach geringen Zuwächsen 1964-1968 und 1974-1981 begann der kontinuierliche Massenverlust mit dem Haushaltsjahr 1985/86. Seitdem ist ein langfristiger Trend zu negativeren Massenbilanzen zu beobachten

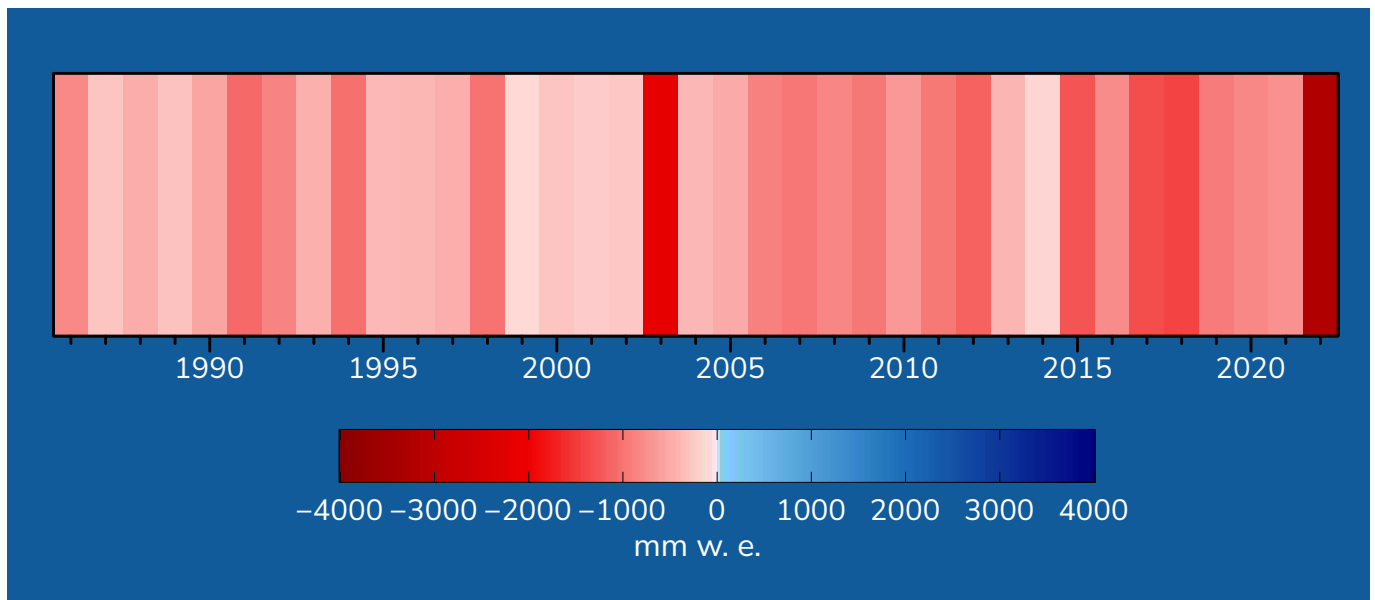




**Abbildung 27:** Jährliche spezifische und kumulierte Massenbilanz seit Messbeginn.



**Abbildung 28:** Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Akkumulations- und Ablationsgebiet an der Gesamtfläche und Schwankungen der ELA seit Messbeginn. Die Unterbrechung in der Linie bedeutet, dass die ELA in diesem Jahr oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers lag.

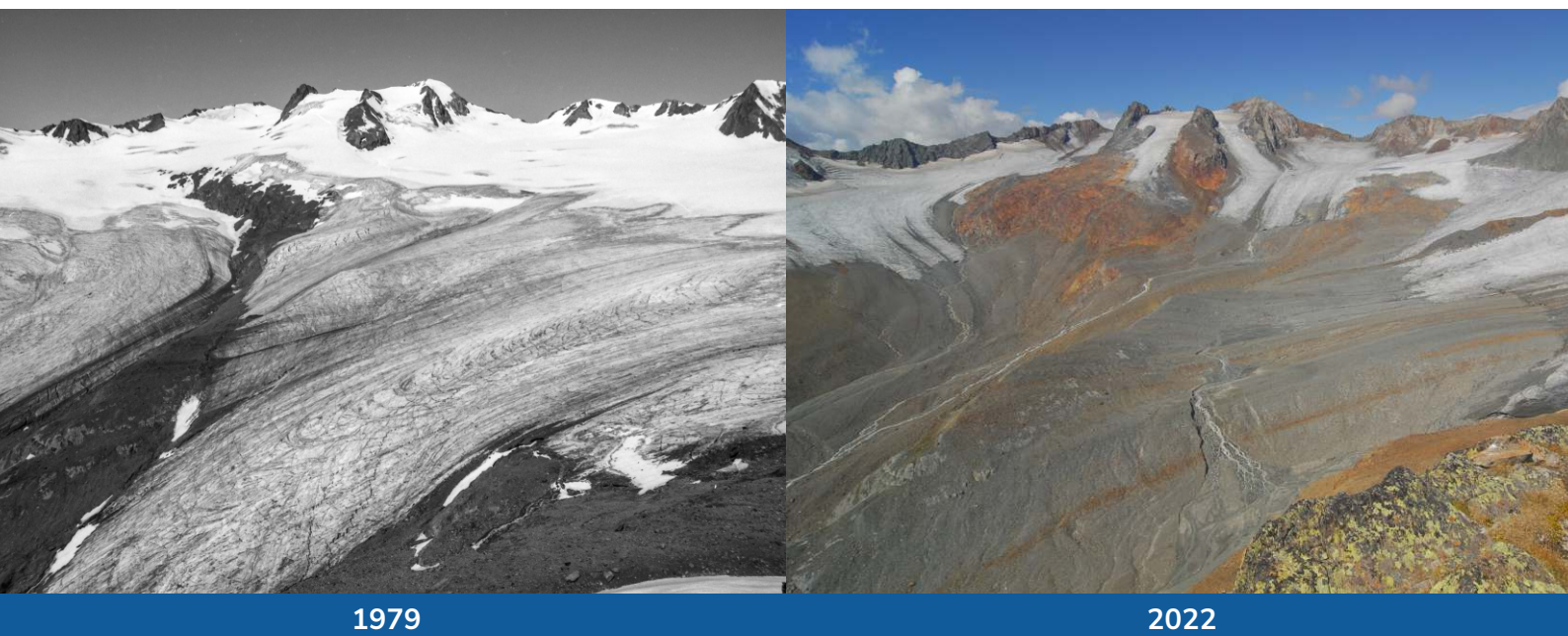


(Abbildung 26 und 27). Besonders nach dem Extremjahr 2003 hat sich dieser Trend verstärkt. Während die Gleichgewichtslinie (ELA) in der ersten Phase der ausgeglichenen Massenbilanzen noch bei etwa 3000 m Höhe lag, ist sie seither auf 3250-3300 m angestiegen (Abbildung 28). Entsprechend hat sich auch der Anteil der Akkumulationsfläche an der Gletscherfläche (AAR) von 75 % auf 25-20 % verringert. In den letzten Jahren wurde allerdings beobachtet, dass inzwischen weder ELA noch AAR eine gute Korrelation mit der Massenbilanz aufweisen.

Die kontinuierlichen Messungen der Massenbilanz (Winter- und Jahresbilanzen) sowie der hydrologischen und meteorologischen Dauerbeobachtungen werden weiterhin von den Glaziologen aus München (heute: Gruppe Erdmessung und Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften) durchgeführt.

 **Autor:** Dr. Christoph Mayer (Bayerische Akademie der Wissenschaften)

**Abbildung 29:** Bildvergleich: Der Vernagtferner 1979 (links) und 2022 (rechts) (Fotos: Bayerische Akademie der Wissenschaften).



# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**-3249 mm w.e.**

Jahresbilanz

**526 mm w.e.**

Winterbilanz

**-3775 mm w.e.**

Sommerbilanz

**-\***  
ELA

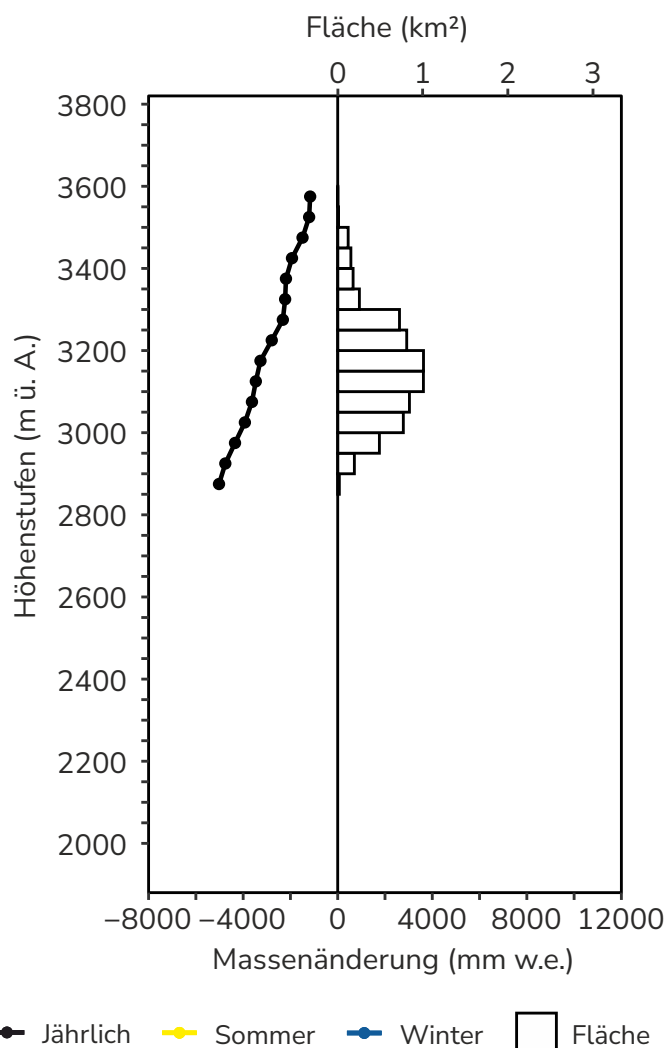
**6,59 km<sup>2</sup>**  
Fläche

**0 %**  
AAR

Die Massenbilanz des Vernagtferners (Abbildung 30) war im Haushaltsjahr 2021/22 mit -3249 mm w.e. die negativste seit Beginn der Messungen und mehr als 1000 mm geringer als der bisherige Negativrekord von 2003. Dabei lag die Winterbilanz mit 526 mm w.e. etwa 40 % unter dem langjährigen Mittel von 909 mm w.e. Die Sommerbilanz von -3775 mm w.e. war dagegen etwa 2,6-mal negativer als das langjährige Mittel der Sommerbilanzen.

Im Vergleich der letzten zehn Jahre zeigt die Winterbilanz ebenfalls ein Minimum und die mittlere Bilanz ist mit 871 mm w.e. ähnlich dem langfristigen Wert. Der mittlere Wert der Sommerbilanz in den letzten zehn Jahren ist mit -1985 mm w.e. deutlich negativer als der langfristige Wert von -1437 mm w.e. Gleiches gilt für die Jahresbilanz (-1103 mm w.e. gegenüber -506 mm w.e.). Ein Grund für die extrem negative Bilanz des vergangenen Jahres ist daher die geringe Schneemenge am Ende des letzten Winters. Allerdings war auch der Sommer 2022 sehr sonnig und zeigte unterdurchschnittliche Niederschlagswerte. Vor allem blieben sommerli-

**Abbildung 30:** Das vertikale Bilanzprofil des Vernagtferners (50 m-Intervall) für das Haushaltsjahr 2021/22.



\*ELA befindet sich über dem höchsten Punkt des Gletschers.



che Schneefälle vollständig aus, so dass die Schmelzperiode nie unterbrochen wurde. Für die Winterbilanz werden in der Regel in sieben Schneeschichten, verteilt über unterschiedliche Höhen des Gletschers, die mittleren Schneedichten bestimmt (Abbildung 31). Die räumliche Verteilung der Schneedecke wird mit ca. 200 manuellen Sondierungen und zusätzlichen Radarprofilen ermittelt. Für die Jahresbilanz wird üblicherweise die Eisschmelze an 30-35 Pegeln (Abbildung 31) bestimmt, während die Rücklage an drei Schneeschichten gemessen wird.

Für 2022 konnte keine Rücklage bestimmt werden, da sich die ELA über der Gipfelhöhe befand und damit auch die AAR Null war. Allerdings wurden zur Ermittlung der Eisschmelze zusätzliche Pegel in höheren Lagen eingebohrt und gemessen.

 **Autor:** Dr. Christoph Mayer (Bayerische Akademie der Wissenschaften)

### ► Massenbilanz DATEN Vernagtferner

**Datengeber:** Bayerische Akademie der Wissenschaften

**Fördergeber:** Akademienprogramm von

Bund und Ländern

**Massenbilanzdaten:**

**BADW:** <https://geo.badw.de/vernagtferner-digital.html>

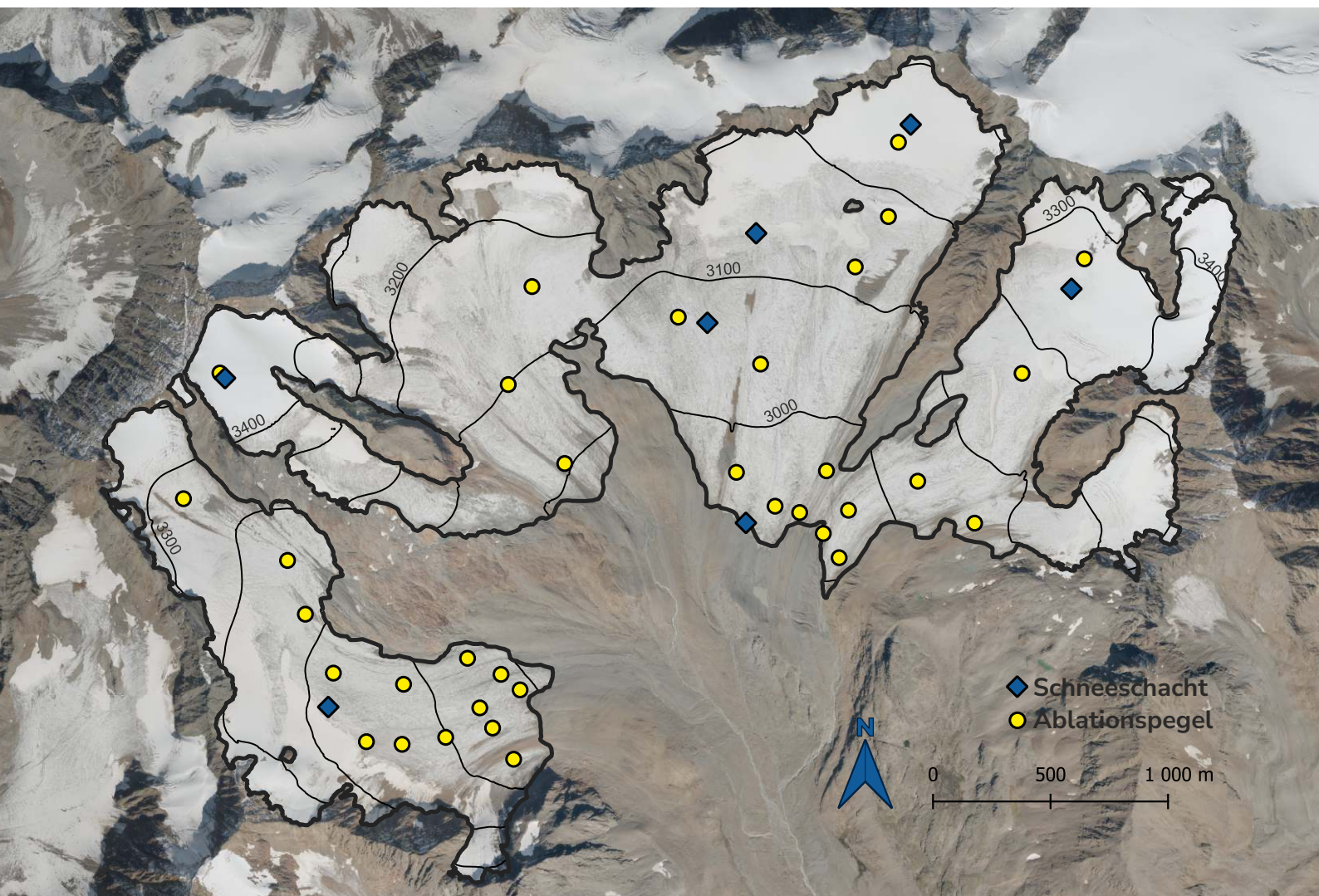
**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland.

<https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>.

**BADW**

BAYERISCHE  
AKADEMIE  
DER  
WISSENSCHAFTEN

**Abbildung 31:** Oberflächentopografie und Messnetz des Vernagtferners (Umriss (2019): Bayerische Akademie der Wissenschaften; Höhenlinien (2017) und Orthofoto (2020): Land Tirol - maps.tirol.gv.at TIRIS).





# SEEKARLESFERNER

46° 58' 33" N/10° 48' 37" O

Höhenlage: 3255 - 2732 m ü. A.

Exposition: Ost bis Nordost

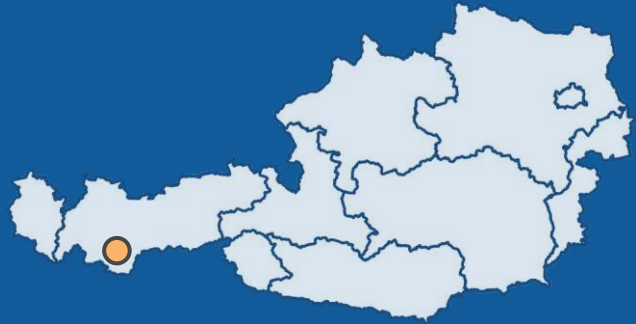


Foto: Seekarlesferner, Strudl Martina 2020

# seit 2013/14

Beginn der  
Massenbilanzmessungen am  
Seekarlesferner

## 0

Anzahl der positiven  
Haushaltsjahre seit 2013/14

## 9

Anzahl der negativen  
Haushaltsjahre seit 2013/14

Der Seekarlesferner ist ein kleiner Gebirgsgletscher, gelegen im Talschluss des Pitztales in den Öztaler Alpen (Kaunergrat) oberhalb des Riffelsees. Im Jahr 2020 erstreckte sich der Gletscher von 2732 m/2810 m ü. A. (schuttbedeckter / schutfreier Eiskörper) bis auf eine Höhe von 3255 m ü. A. Die vergletscherte Fläche umfasste im Jahr 2020 ca. 0,9 km<sup>2</sup>. Zu diesem Zeitpunkt erstreckte sich der Gletscher auf etwa 1,8 km Länge vom Wazejoch in östlicher bis nordöstlicher Richtung ins Seekarle. Im Oktober 2020 durchgeführte Bodenradarmessungen zeigen eine maximale Mächtigkeit des Gletschers von 25 m bis 30 m.

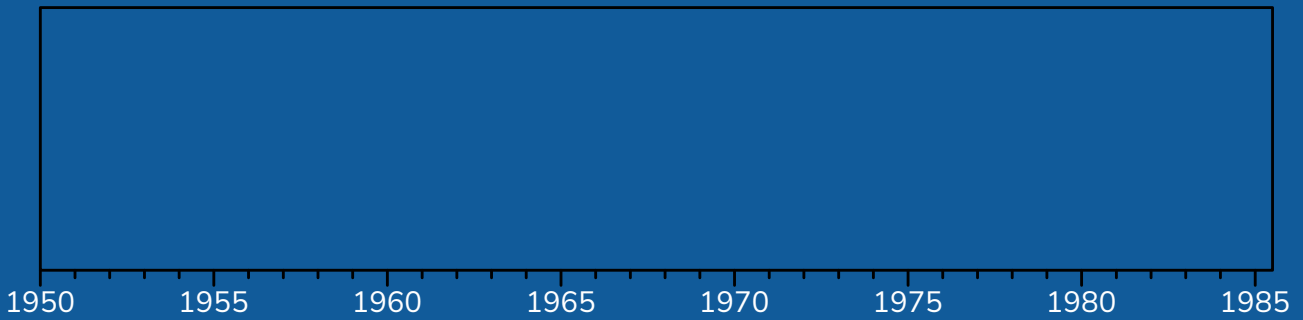
Seit dem Haushaltsjahr 2013/14 werden von Markus Strudl die Massenbilanzen sowie Längenänderungen am Seekarlesferner gemessen. Ziel dieser Massenbilanzmessungen ist die Vertiefung des Verständnisses über das Verhalten kleiner und sehr kleiner Gletscher in einem sich verändernden Klima. In Abbildung 32 werden die spezifischen Massenbilanzen des Seekarlesfernens in mm w.e. visualisiert. Blau sind all jene Bilanzjahre eingetragen, die positiv ausgefallen sind, und rot all jene, die negativ waren. Zusätzlich zeigt die Intensität der Farbe das Ausmaß der negativen (oder positiven) Massenbilanz im jeweiligen Jahr an. In der nun neunjährigen Messperiode des Seekarlesfernens waren alle Haushaltsjahre negativ. Im ersten Jahr der Messperiode (2013/14) lag der Gletscher nahe an einem ausgeglichenen Zustand. Das letzte Haushaltsjahr (2021/22) zeigte den stärksten Massenverlust seit Beginn der Messungen. Seit Messbeginn verlor der Seekarles-

ferner insgesamt -10974 mm w.e. an Masse (Abbildung 33). Vergleicht man die Winter- und Sommerbilanzen (Abbildung 33), so sieht man neben einer starken jährlichen Variabilität, dass die Winterniederschläge den starken Massenverlust während der Sommermonate nicht kompensieren können. Eng verbunden mit der jährlichen Bilanz sind die Größe des Akkumulationsgebietes (AAR Accumulation Area Ratio) und die Höhe der Gleichgewichtslinie (ELA). Abbildung 34 zeigt die Entwicklung der AAR und der ELA. In einzelnen Jahren (wie z.B. 2021/22) lag die ELA deutlich über den Gipfelbereich. In diesen Jahren war auch die AAR verschwindend klein.

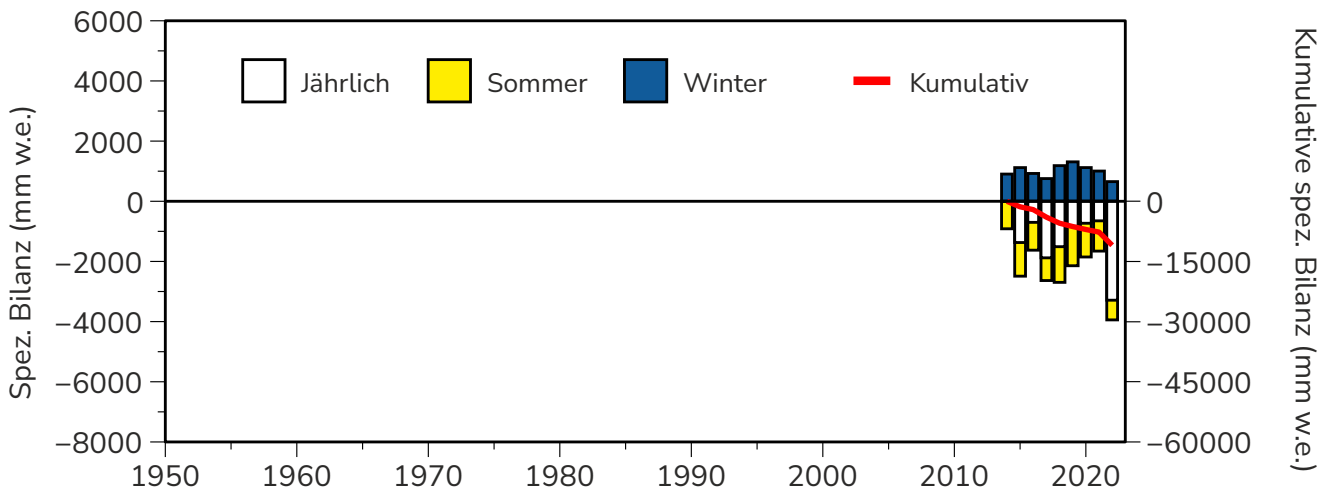
Abbildung 35 zeigt die Veränderung des Seekarlesfernens zwischen den Jahren 2015 und 2022. Aus dem Vergleich beider Aufnahmen wird der Flächen-, Längen- und Massenverlust des Gletschers seit 2015 ersichtlich. Auffallend ist auch der Zerfall der Gletscherfläche mit dem Freiwerden von Felsen in der Gletschermitte. Innerhalb von fünf Jahren (2015 bis 2020) verlor der Seekarlesferner rund 0,09 km<sup>2</sup> an Fläche. Der Seekarlesferner überschreitet somit nicht mehr den (Flächen-) Grenzwert von 1 km<sup>2</sup>.

 **Autor:** Markus Strudl, MSc.

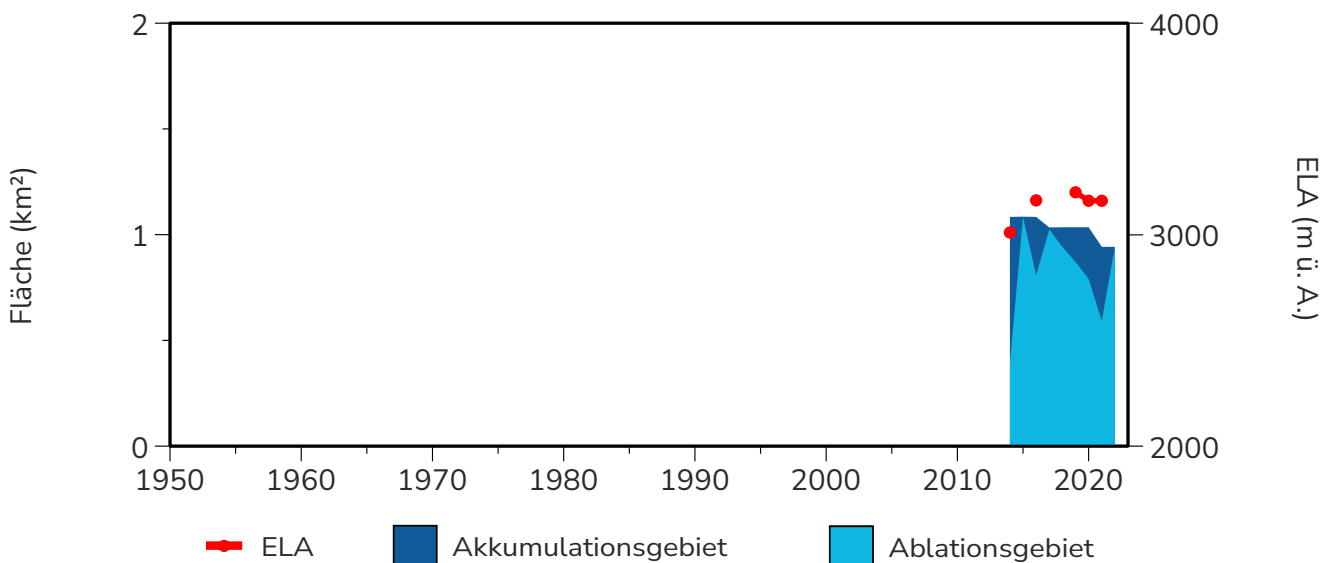




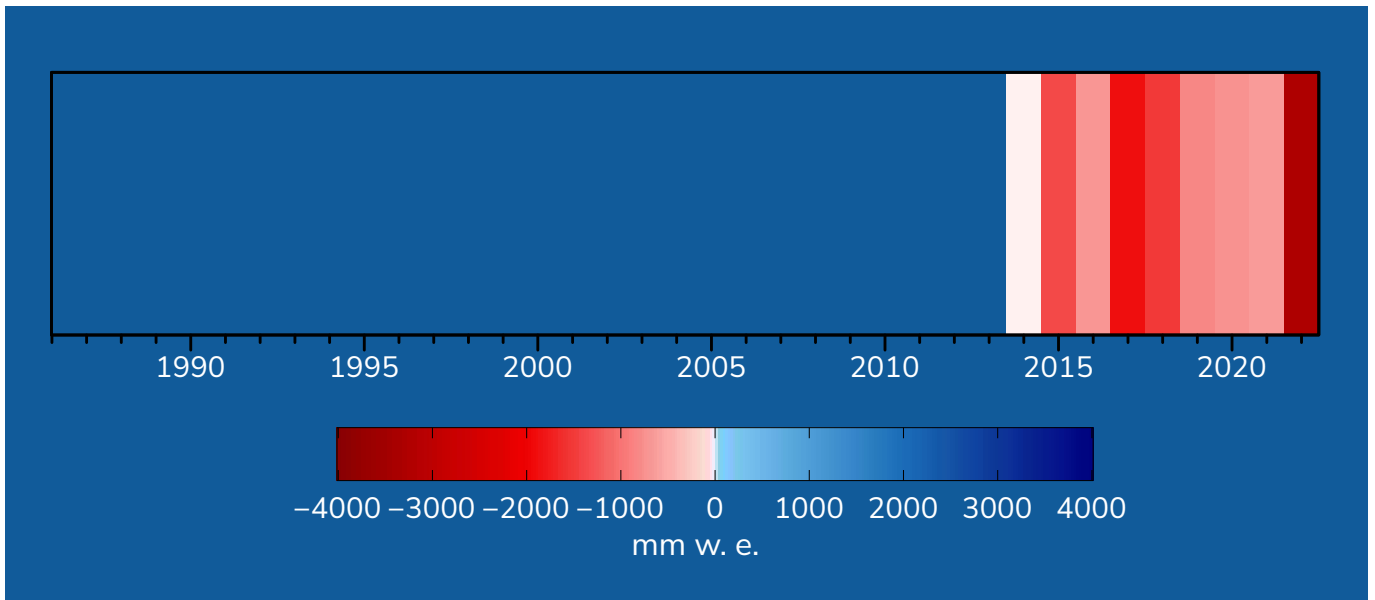
**Abbildung 32:** Massenbilanzstreifen der spezifischen jährlichen Massenbilanz seit Messbeginn 2013/14 bis zum Haushaltsjahr 2021/22. Blau zeigt eine Massenzunahme und rot eine Massenabnahme. Die Farbintensität spiegelt die Intensität der jährlichen Massenveränderung wider.



**Abbildung 33:** Jährliche spezifische und kumulierte Massenbilanz seit Messbeginn.



**Abbildung 34:** Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Akkumulations- und Ablationsgebiet an der Gesamtfläche und Schwankungen der ELA seit Messbeginn. Die Unterbrechung in der Linie bedeutet, dass die ELA in diesem Jahr oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers lag.



**Abbildung 35:** Bildvergleich: Der Seekarlesferner 2015 (oben) und 2022 (unten) (Fotos: Markus Strudl).

# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**-3289 mm w.e.**

Jahresbilanz

**654 mm w.e.**

Winterbilanz

**-3943 mm w.e.**

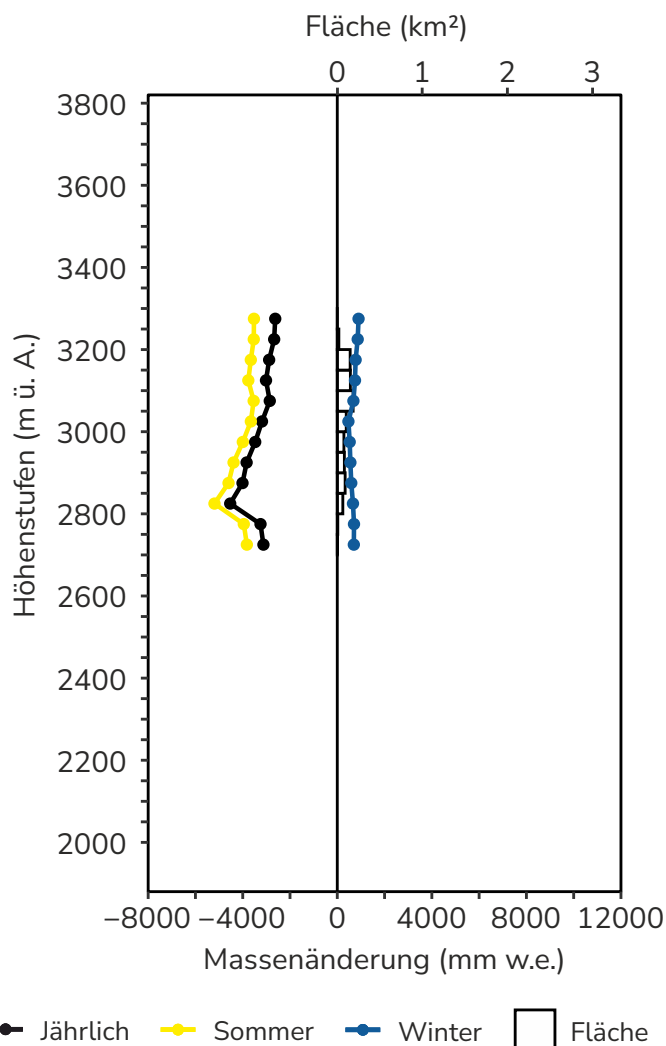
Sommerbilanz

**-\***  
ELA

**0,94 km<sup>2</sup>**  
Fläche

**0 %**  
AAR

Die Massenbilanz des Haushaltsjahres 2021/22 (Abbildung 36) war mit -3289 mm w.e. negativ, liegt mehr als das Dreifache über dem Mittelwert und somit außerhalb der bisher am Seekarlesferner beobachteten Schwankungsbreite. Die Winterbilanz erreichte 654 mm w.e. und liegt etwa 37 % unter dem Durchschnitt der letzten neun Jahre (1040 mm w.e.). Die mittlere spezifische Sommerbilanz lag bei -3943 mm w.e. und fällt somit deutlich negativer aus als der Durchschnitt der letzten neun Jahre. Den Verlauf des Massenbilanzjahres prägte ein niederschlagsarmes Winterhalbjahr mit wiederholten Warmlufteinschüben. So stieg die Schneefallgrenze am 30. Dezember 2021 vorübergehend auf 2800 m ü. A. Das kräftige Saharastaubereignis beginnend am 15. März führte zudem zu einer markanten Verdunkelung der Schneeoberfläche. Dies begünstigte den Schneedeckenabbau in einem ohnehin zu warmen und zu trockenen Frühjahr. Die Ablationsperiode setzte am Seekarlesferner bereits Anfang Juni und somit etwa drei bis vier Wochen früher ein als im Durchschnitt der letzten neun Jahre. Sommerliche Neuschneefälle blieben am Seekarlesferner weitestgehend aus. Eine markante



**Abbildung 36:** Das vertikale Bilanzprofil des Seekarlesferners (50 m-Intervall) für das Haushaltsjahr 2021/22.

\*ELA befindet sich über dem höchsten Punkt des Gletschers.



Kaltfront beendete am 16. September die Ablationsperiode. Mit der nachfolgend einfließenden Kaltluft sank die Schneefallgrenze gegen 1200 m ü. A. ab.

Die Winterbilanz wurde durch einen Schneeschacht und 57 Schneehöhenmesspunkte bestimmt. Zur Bestimmung der Sommerbilanz wurden 14 Ablationspegel vermessen (Abbildung 37). Das Schneefallereignis Mitte September verhinderte das Auffinden einzelner Ablationspegel, weshalb diese Werte interpoliert wurden.

Die ELA lag im Haushaltsjahr 2021/22 deutlich über der Obergrenze des Gletschers und der Anteil des Akkumulationsgebietes reduzierte sich auf 0 %. Die Ausaperung am Seekarlesferner wurde durch Satellitenbilder (Sentinel2-Aufnahmen) dokumentiert. Die maximale Ausaperung wurde um den 15.

September (vor Durchzug der vorhin erwähnten Kaltfront) erreicht.

 **Autor:** Markus Strudl, MSc.

### ► Massenbilanz DATEN Seekarlesferner

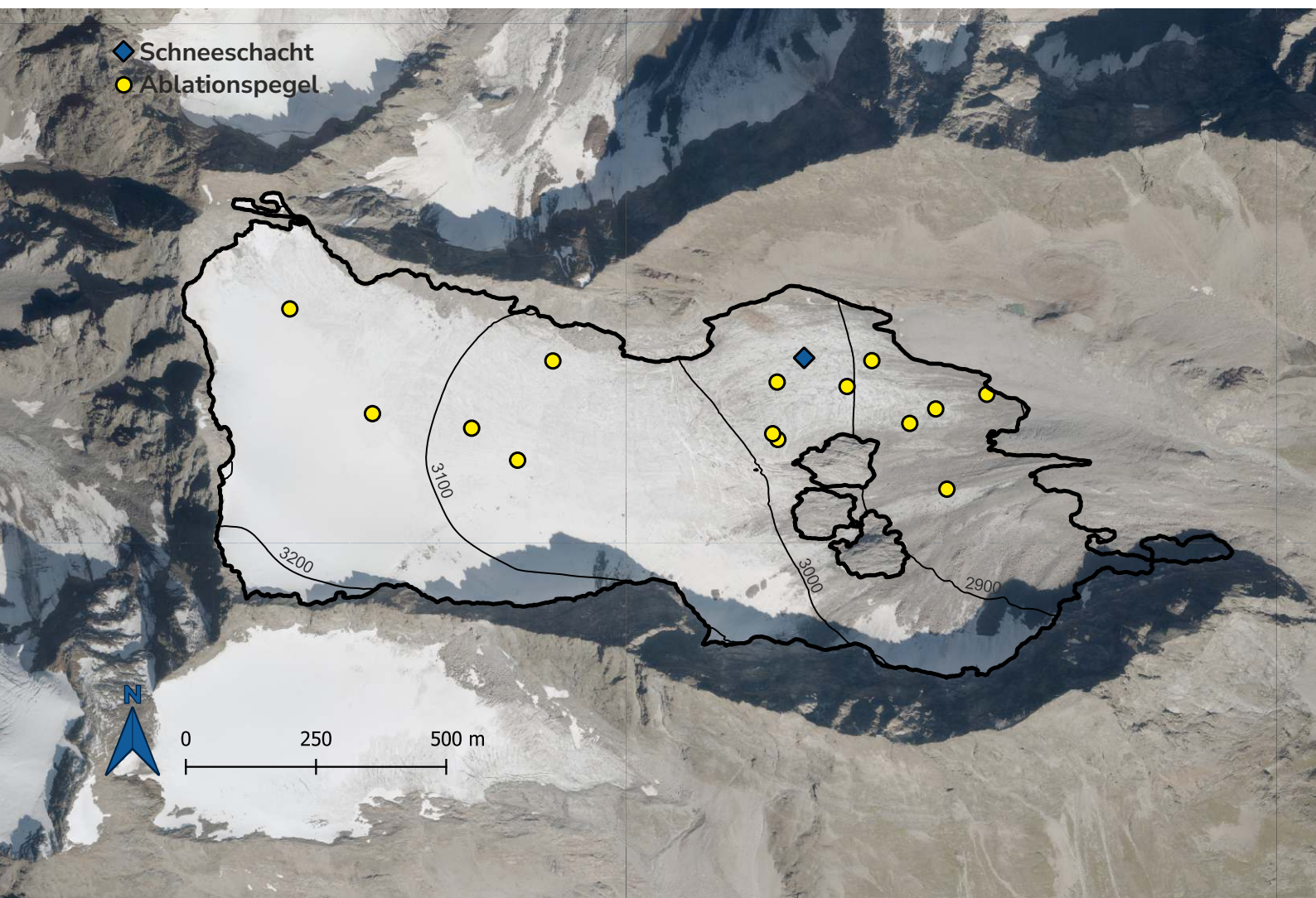
**Datengeber:** Markus Strudl

**Fördergeber:** Finanziert von Markus Strudl

**Massenbilanzdaten:**

**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland.  
<https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>.

**Abbildung 37:** Oberflächentopografie und Messnetz des Seekarlesferners (Umriss (2020): Markus Strudl; Höhenlinien (2017) und Orthofoto (2020): Land Tirol - maps.tirol.gv.at TIRIS).





# VENEDIGERKEES

47° 7' 24" N/12° 19' 43" O

Höhenlage: 3400 - 2503 m ü. A.

Exposition: Nord bis Südwest



Foto: Venedigerkees, Gerhard K. Lieb 2012

# seit 2011/12

Beginn der  
Massenbilanzmessungen am  
Venedigerkees

## 0

Anzahl der positiven  
Haushaltsjahre seit 2011/12

## 11

Anzahl der negativen  
Haushaltsjahre seit 2011/12


Das Venedigerkees befindet sich in der Kernzone des Nationalparks Hohe Tauern in der Venedigergruppe in Salzburg. Es handelt sich um einen typischen Talgletscher. Der obere Teil des Gletschers ist nach Norden, die Zunge nach Südwesten exponiert. Die Höhe der Gletscherzunge lag 2012 auf rund 2480 m ü. A. und ist im Zuge der Auswertung für das Jahr 2018 auf 2503 m ü. A. aktualisiert worden. Der Gletscher erstreckt sich bis in eine Höhe von rund 3400 m ü. A., knapp unterhalb des Gipfels des Großvenedigers (3666 m ü. A.).

Die aktuellste Gletschergrenze für das Venedigerkees wurde mittels Orthofotos aus dem Jahr 2018 kartiert. 2018 hatte der Gletscher eine Fläche von 1,82 km<sup>2</sup>. Das Venedigerkees hat zwischen 2009 und 2012 eine Fläche von 0,18 km<sup>2</sup> und von 2012 bis 2018 weitere 0,17 km<sup>2</sup> verloren.

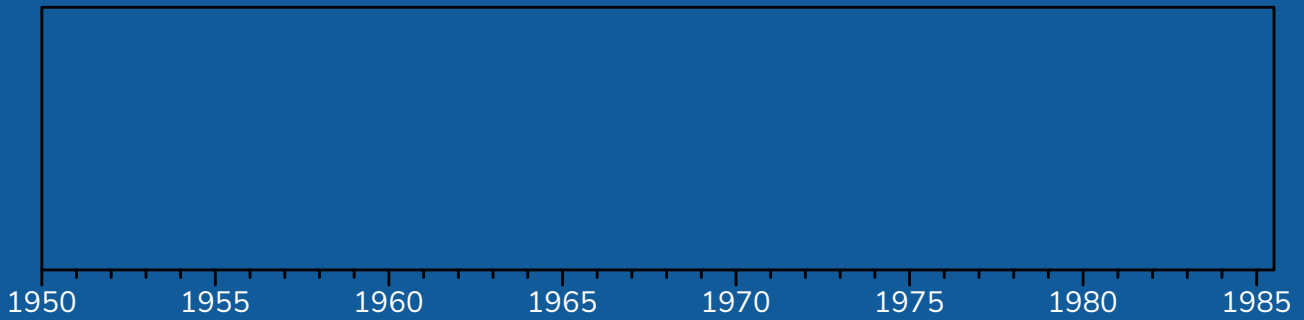
Alle 10 Haushaltsjahre der Zeitreihe waren negativ (Abbildung 38 und 39). Die geringsten Verluste wurden in der Saison 2013/14 verzeichnet (-152 mm w.e.). Das vergangene Jahr 2021/22 war mit einer spezifischen Massenbilanz von -2209 mm w.e. mit Abstand das negativste seit Messbeginn. Das zweit-negativste Jahr war 2014/15 (-1570 mm w.e.).

Die Höhe der ELA betrug im zehnjährigen Mittel 2011/12 bis 2020/21 2968 m ü. A. Das mittlere Ausmaß der AAR für die gleiche Periode lag bei 48% (Abbildung 40).

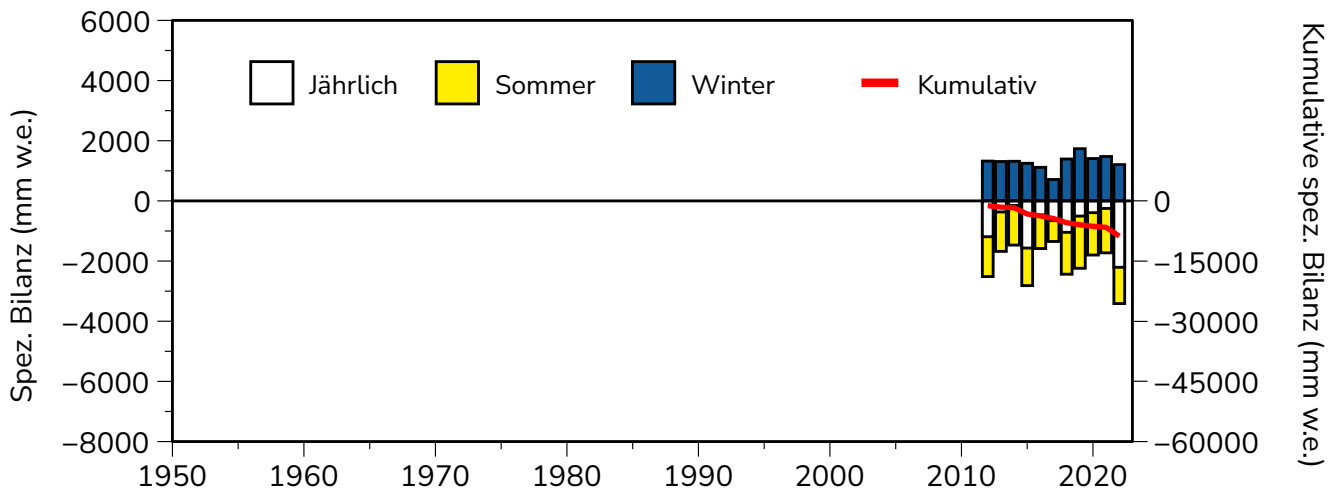
Die Erhebung der Massenbilanz begann im Auftrag des Hydrographischen Dienstes des Landes Salzburg unter der Leitung von Hans Wiesenegger im Mai 2012. Die Messungen werden durch Bernd Seiser unter der Leitung von Andrea Fischer durchgeführt. Neben dem Pegelnetzwerk dienen Zeitrafferkameras der Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufs der Schneedecke. Seit Ende August 2019 zeichnet zudem eine automatische Wetterstation im Nahbereich des Gletschers meteorologische Daten auf.

 **AutorInnen:** Dr. Andrea Fischer, Mag. Bernd Seiser (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

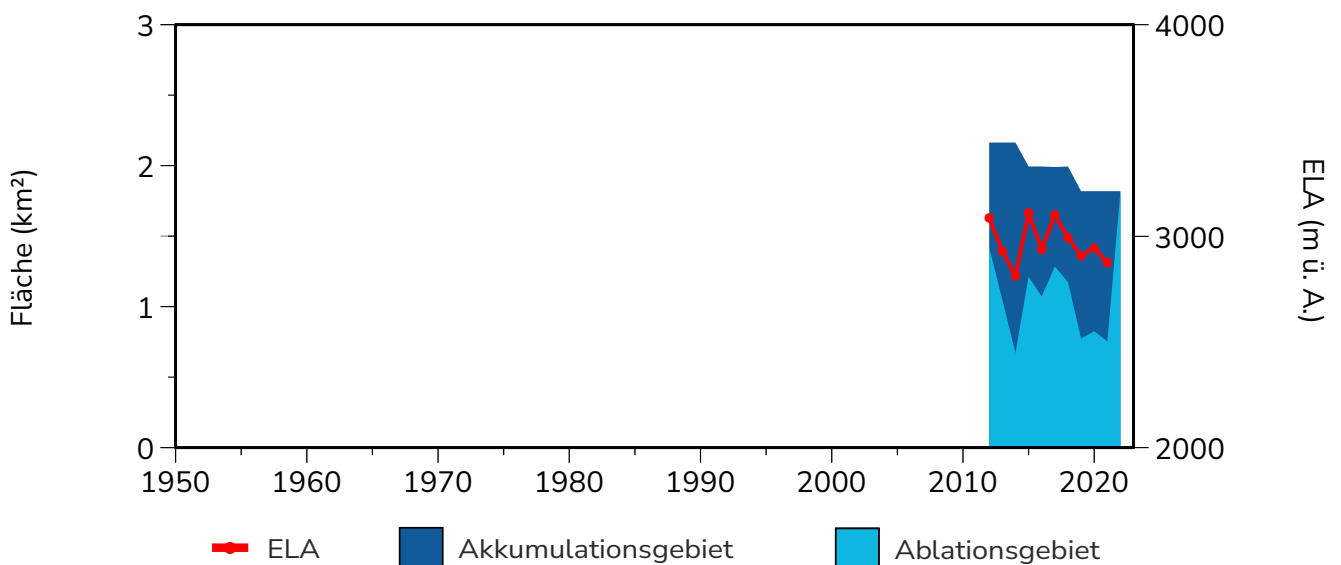




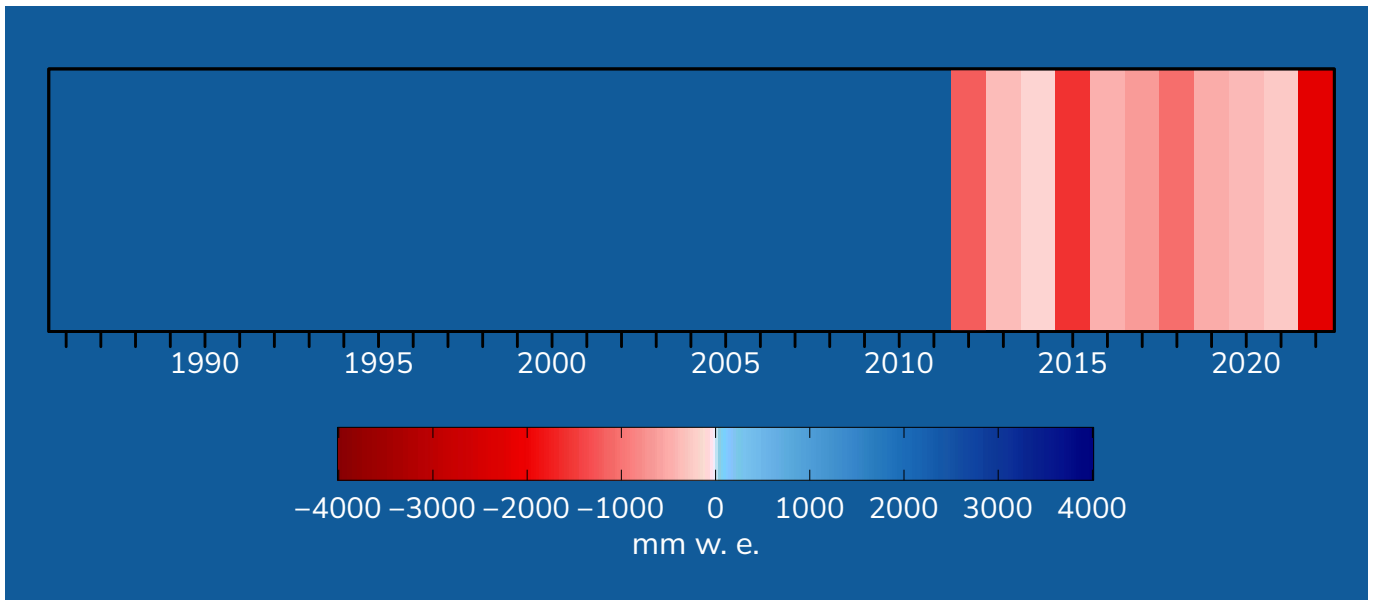
**Abbildung 38:** Massenbilanzstreifen der spezifischen jährlichen Massenbilanz seit Messbeginn 2011/12 bis zum Haushaltsjahr 2021/22. Blau zeigt eine Massenzunahme und rot eine Massenabnahme. Die Farbintensität spiegelt die Intensität der jährlichen Massenveränderung wider.



**Abbildung 39:** Jährliche spezifische und kumulierte Massenbilanz seit Messbeginn.



**Abbildung 40:** Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Akkumulations- und Ablationsgebiet an der Gesamtfläche und Schwankungen der ELA seit Messbeginn. Die Unterbrechung in der Linie bedeutet, dass die ELA in diesem Jahr oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers lag.



**Abbildung 41:** Bildvergleiche: Venedigerkees 1890 (oben) (Foto: Würthle & Spinnhirn; Archiv Slupetzky) und 2011 (unten) (Foto: Gerhard K. Lieb 2011).

# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**-2208 mm w.e.**  
Jahresbilanz

**1206 mm w.e.**  
Winterbilanz

**-3414 mm w.e.**  
Sommerbilanz

**-\***  
ELA

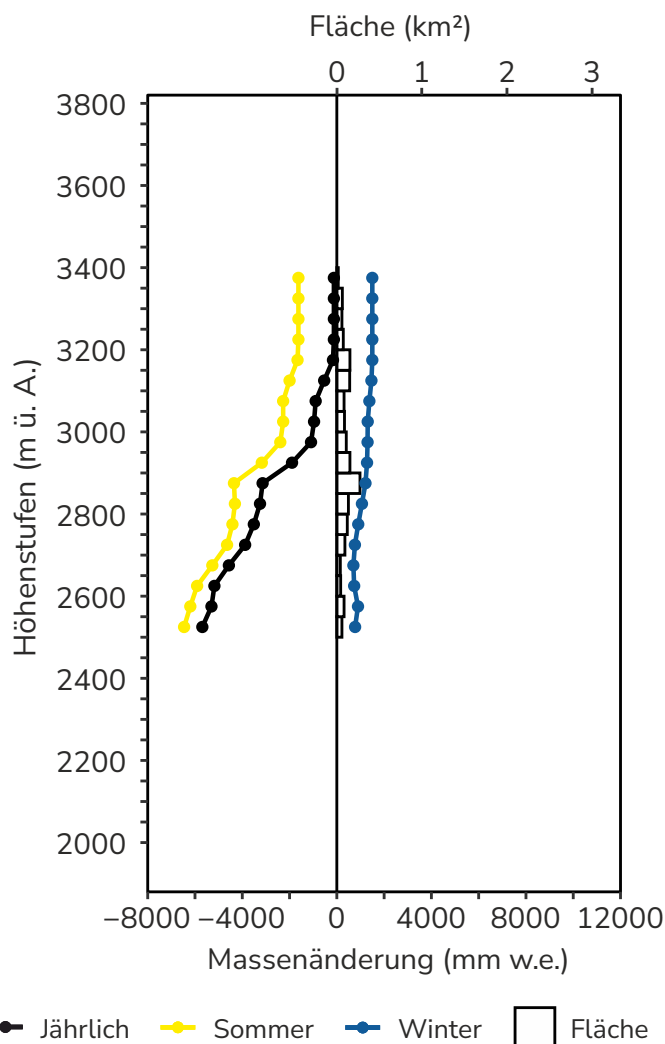
**1,82 km<sup>2</sup>**  
Fläche

**0 %**  
AAR

Das Haushaltsjahr 2021/2022 (Abbildung 42) weist mit -2208 mm w.e. die bisher negativste Bilanz seit Start der Messreihe auf. Bereits die winterliche Schneebedeckung war unterdurchschnittlich.

Die Winterbilanz war die drittschwächste seit Aufzeichnungsstart. Dazu kam ein warmer Sommer ohne nennenswerte Sommerschneefälle, welche die Ablation hätten bremsen können. Vor allem der Juli und der August waren auffällig warm und sehr strahlungsintensiv. In dieser Zeit war die Eisschmelze besonders stark.

Erst am 18.09.2022 wurde die Ablationsperiode des Sommers 2022 durch Schneefall gestoppt. Die maximale Ausaperung wurde am 08.09.2022 erreicht. In den Bereichen der Gletscherzunge war ein deutlicher Rückgang der Fläche sowie der Eisdicke visuell erkennbar. Die Zunge des benachbarten Sulzbacherkeeses ist bereits abgerissen. Die Gleichgewichtslinie lag 2021/22 zum ersten Mal seit Messbeginn über Gipfelniveau. Es fand auf der



**Abbildung 42:** Das vertikale Bilanzprofil des Venedigerkeeses (50 m-Intervall) für das Haushaltsjahr 2021/22.

\*ELA befindet sich über dem höchsten Punkt des Gletschers.



gesamten Gletscherfläche Ablation statt (AAR = 0).

Die Winterbilanz wurde anhand von 3 Schneeschächten und Sondierungen der Schneehöhe auf der gesamten Gletscherfläche ermittelt. Zum Ende der Ablationsperiode waren an den Schachtpositionen keine Rücklagen mehr vorhanden, daher wurde die Sommer- bzw. Jahresbilanz ohne Herbstschächte erstellt. Die Auswertung basiert auf an 16 Pegeln gemessenen Ablationswerten (Abbildung 43). In diesem Jahr musste das Pegelnetzwerk aufgrund der intensiven Ablation bis in die Höhe des obersten Schachtes ausgeweitet werden.

**AutorInnen:** Dr. Andrea Fischer, Mag. Bernd Seiser (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

### ► Massenbilanz DATEN Venedigerkees

**Datengeber:** Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

**Fördergeber:** Land Salzburg, Hydrographischer Dienst; BML, Abteilung Wasserhaushalt

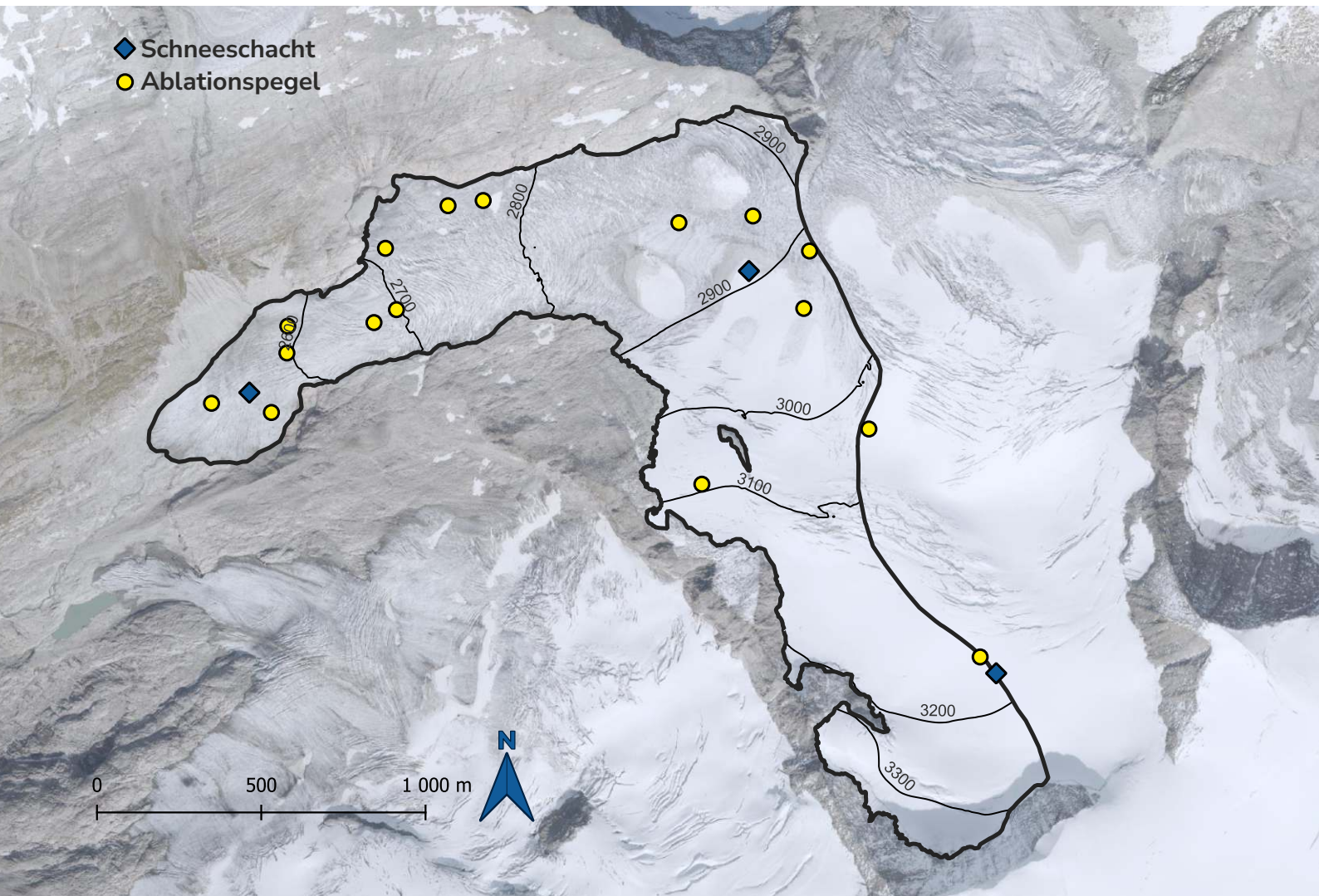
**Massenbilanzdaten:** Seiser, B., & Fischer, A. (2022): Glacier mass balance Venedigerkees, Hohe Tauern, Austria, 2020/2021. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.942874>,

Seiser, B., & Fischer, A. (2016): Glacier mass balances and elevation zones of Venedigerkees, Hohe Tauern, Austria, 2011/2012 et seq. Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Innsbruck, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.833232>.

**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland. <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>.



**Abbildung 43:** Oberflächentopografie und Messnetz des Venedigerkeeses (Umriss (2018): Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung; Höhenlinien (2015): [www.geoland.at](http://www.geoland.at); Orthofoto (2018): Land Salzburg - [www.salzburg.gv.at/SAGIS](http://www.salzburg.gv.at/SAGIS)).





# MULLWITZKEES

47° 5' 0" N/12° 22' 50" O

Höhenlage: 3400 - 2780 m ü. A.

Exposition: Süd bis Westsüdwest

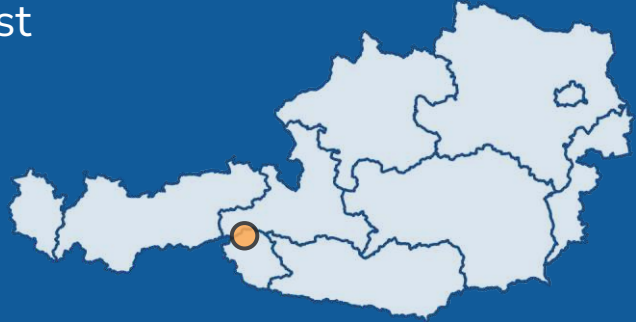


Foto: Mullwitzkees, Gerhard K. Lieb 2015

# seit 2006/07

Beginn der  
Massenbilanzmessungen am  
Mullwitzkees

## 1

Anzahl der positiven  
Haushaltsjahre seit 2006/07

## 15

Anzahl der negativen  
Haushaltsjahre seit 2006/07

Das Mullwitzkees befindet sich in der Venedigergruppe in der Kernzone des Nationalparks Hohe Tauern in Osttirol. Der obere Teil des Gletschers (Äußeres Mullwitzkees) ist nach Süden ausgerichtet. Der untere Teil (Zettalunitzkees) und speziell die Zunge sind nach Südwest bzw. Westsüdwest exponiert. Der Gletscher liegt südlich des Alpenhauptkamms.

Die Gletschergrenzen der südlichen Gletscher der Venedigergruppe wurden auf Grundlage der Gletscherränder von 1998 und von Orthofotos für die Jahre 2009, 2012, 2015 und 2018 (Datenquelle Orthofotos: Land Tirol – data.gv.at) neu kartiert. Die Gletscherstirn lag 1998 auf 2610 m ü. A. und 2015 auf 2690 m ü. A. Der Gletscher erstreckt sich bis in eine Höhe von 3400 m ü. A. knapp unterhalb des Hohen Zauns (3450 m ü. A.). Mit der Neukartierung der Gletschergrenze für das Jahr 2018 änderte sich die Höhe der Gletscherstirn auf 2730 m ü. A., allerdings bezogen auf das digitale Höhenmodell von 2008. Für die Gletscher der Südseite der Venedigergruppe stehen keine aktuelleren Höhenmodelle zu Verfügung. 2018 hatte das Mullwitzkees eine Fläche von 2,56 km<sup>2</sup>.

Die geringen Eisdicken zwischen 50 und 70 m, die aus Messungen im Rahmen des Gletscherinventars von 1998 bekannt sind, äußern sich aktuell durch die Ausaperung neuer Felsinseln im Sommer 2022 im Zentralbereich des Gletschers. Das Mullwitzkees hat kein tiefes Firnbecken, die Eisdicke wird nach oben hin eher geringer. Durch die dem Hauptkamm

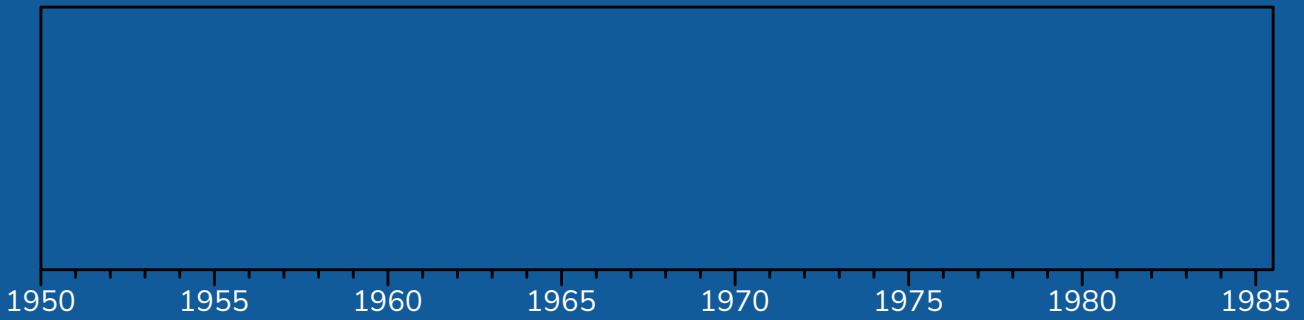
nahe Lage erhält das Mullwitzkees Niederschlag aus nördlichen sowie aus südlichen Anströmungsrichtungen. Vor allem im oberen Bereich des Gletschers spielt die Winddrift für die Schneeakkumulation eine große Rolle und ist somit auch für die Winter- und Jahresbilanz sowie für die Lage des Akkumulationsgebiets relevant.

Seit Beginn der Massenbilanzmessungen in der Saison 2006/07 waren 15 Haushaltsjahre negativ und eines positiv (2013/14) (Abbildung 44 und 45). In der positiven Saison 2013/14 profitierte das Mullwitzkees im Gegensatz zu weiter nördlich gelegenen Gletschern von relativ viel Winterschnee. In Kombination mit einem vergleichsweise kühlen Sommer mit kleineren Schneefällen fiel die Jahresbilanz leicht positiv aus.

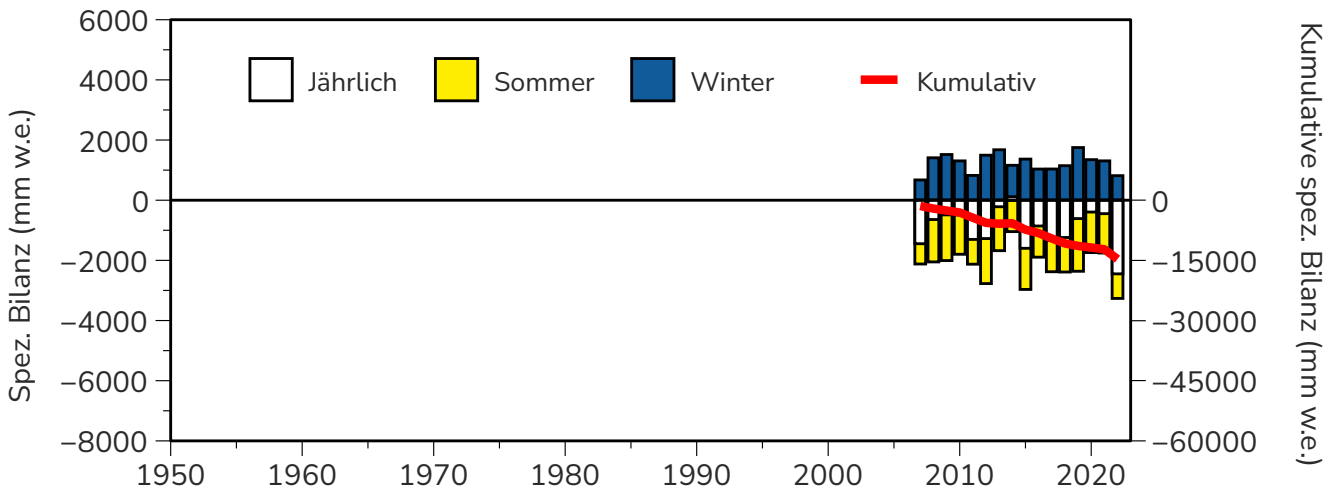
Das vergangene Haushaltsjahr 2021/22 war mit deutlichem Abstand das negativste der Zeitreihe. Das zweitnegativste Jahr der Zeitreihe war 2014/15 mit einer spezifischen Massenbilanz von -1599 mm w.e. In sieben Jahren der Zeitreihe (inklusive 2021/22) lag die ELA über Gipfelniveau. In den übrigen Jahren lag die ELA zwischen 3044 und 3196 m. Das Flächenverhältnis zwischen Akkumulations- und Ablationsgebiet lag zwischen 0,589 (2013/14) und 0,0 (2021/22) (Abbildung 46).

Die Massenbilanzmessungen am Mullwitzkees werden im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern und des Hydrographischen Dienstes (HD) der Abteilung Wasserwirtschaft beim Amt der Tiroler

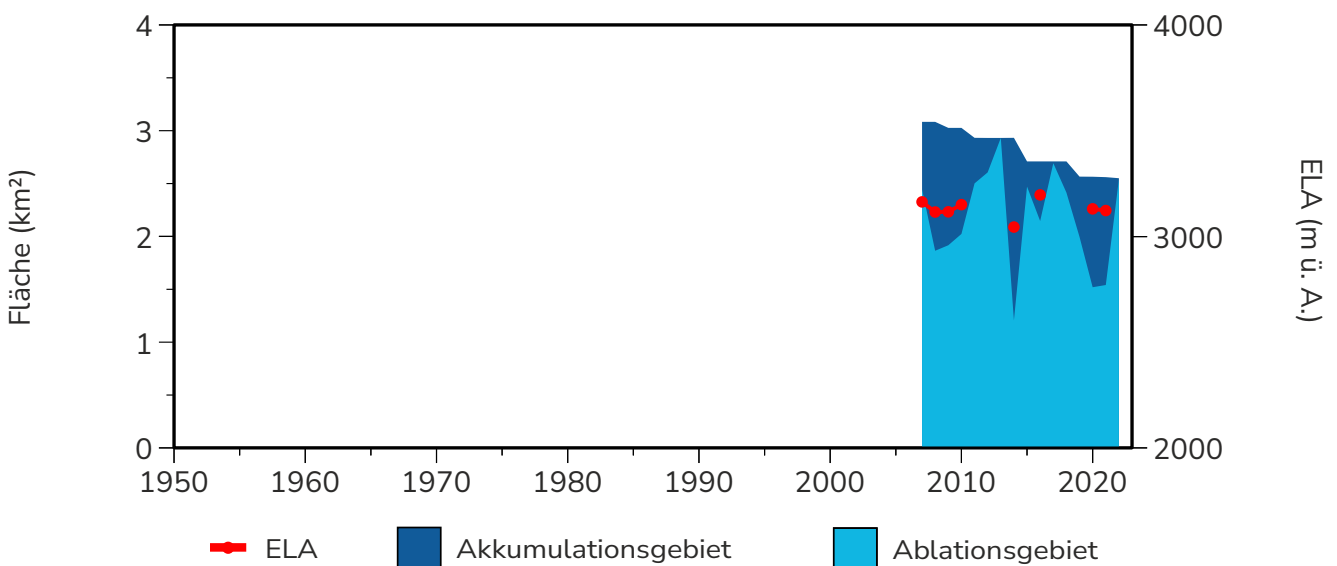




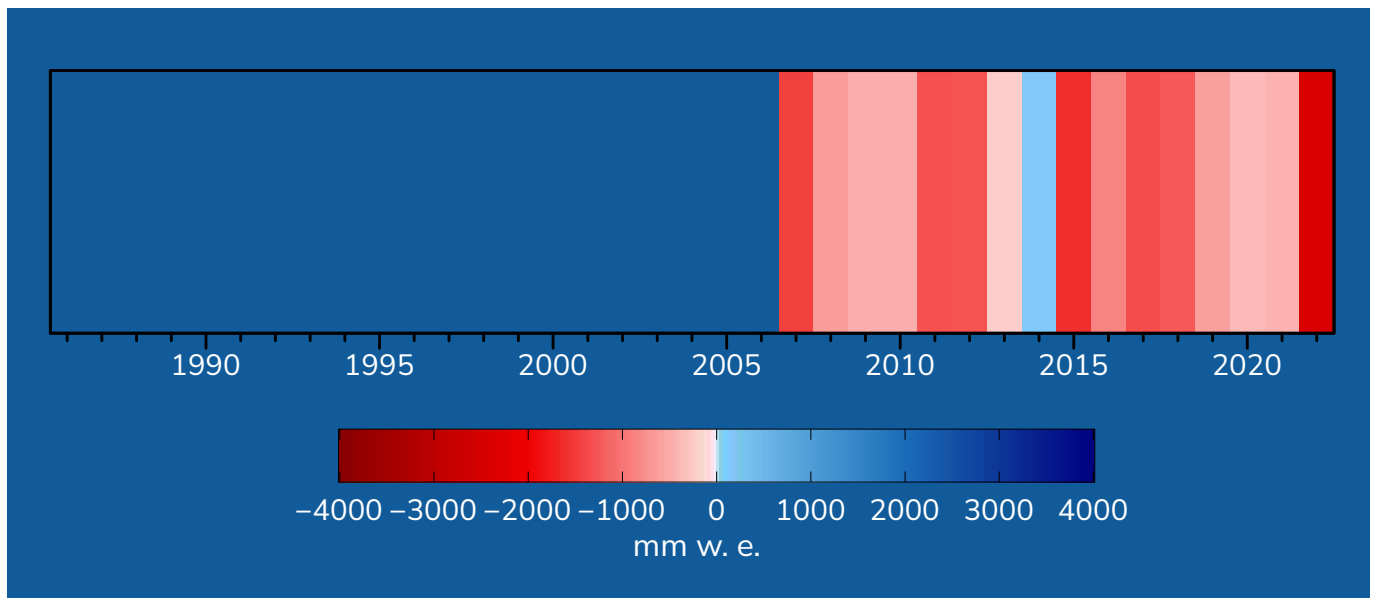
**Abbildung 44:** Massenbilanzstreifen der spezifischen jährlichen Massenbilanz seit Messbeginn 2006/07 bis zum Haushaltsjahr 2021/22. Blau zeigt eine Massenzunahme und rot eine Massenabnahme. Die Farbintensität spiegelt die Intensität der jährlichen Massenveränderung wider.



**Abbildung 45:** Jährliche spezifische und kumulierte Massenbilanz seit Messbeginn.



**Abbildung 46:** Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Akkumulations- und Ablationsgebiet an der Gesamtfläche und Schwankungen der ELA seit Messbeginn. Die Unterbrechung in der Linie bedeutet, dass die ELA in diesem Jahr oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers lag.



Landesregierung seit September 2006 von Martin Stocker-Waldhuber unter der Leitung von Andrea Fischer durchgeführt.

**AutorInnen:** Dr. Andrea Fischer, Dr. Martin Stocker-Waldhuber (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

**Abbildung 47:** Bildvergleich: Das Mullwitzkees 2009 (oben) und 2018 (unten) (Fotos: Martin Stocker-Waldhuber).



# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**-2449 mm w.e.**  
Jahresbilanz

**816 mm w.e.**  
Winterbilanz

**-3265 mm w.e.**  
Sommerbilanz

**-\***  
ELA

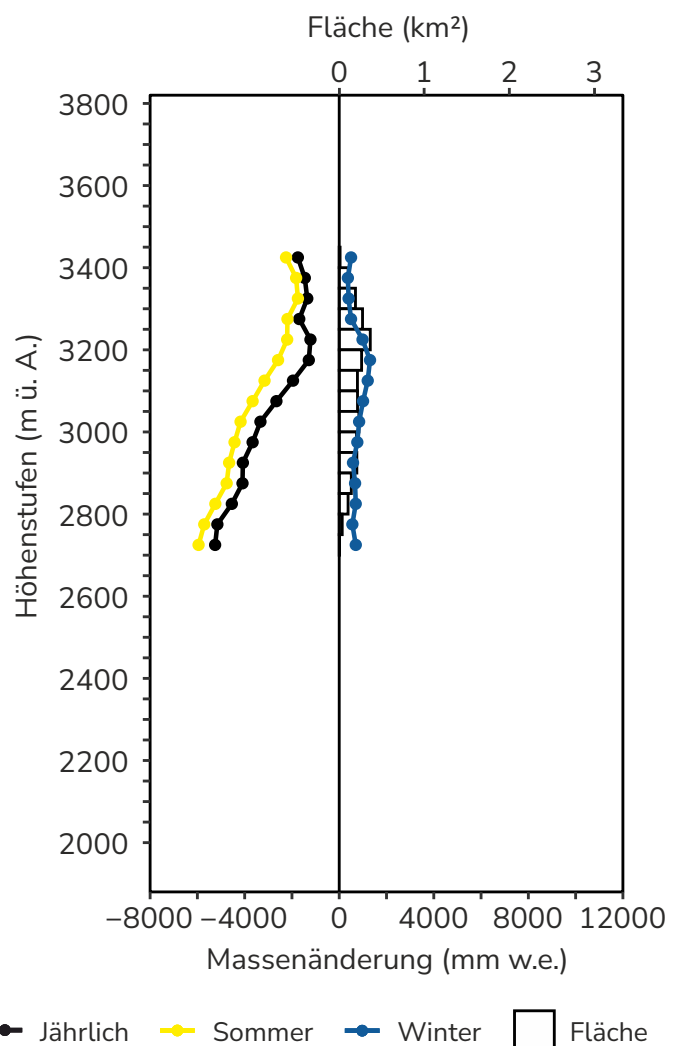
**2,54 km<sup>2</sup>**  
Fläche

**0 %**  
AAR

In Summe zeigt der Massenhaushalt 2021/22 (Abbildung 48) mit einer spezifischen Bilanz von  $b = -2449$  mm w. e. den bisher negativsten Wert seit Beginn der Messungen im Jahr 2006. Im Vergleich entspricht dies dem ca. dreifachen bisherigen Mittelwert von  $-816$  mm w. e. (2007-2021).

Das Bilanzjahr 2021/22 begann mit einer deutlich unterdurchschnittlichen Schneebedeckung, welche auch bis zum Ende der Winterbilanz nicht mehr ausgeglichen wurde. Der Winter 2021/22 zählt zu den drei schneeärmsten Wintern der bisher 16-jährigen Messreihe. Mitte März ereigneten sich mehrere starke Saharastaubereignisse. Mitte-Ende Mai führte die Sandschicht zusammen mit der überdurchschnittlich warmen Witterung zu einer stark beschleunigten Schneeschmelze im Frühsommer. Der Ausaperungsbeginn auf der Gletscherzunge fand schon Anfang Juni statt, etwa einen Monat vor Beginn der durchschnittlichen Ausaperung. Ende Juli war der Gletscher bereits großflächig aper. Bis Ende August waren auch die letzten Rücklagen nahezu vollständig abgeschmolzen.

**Abbildung 48:** Das vertikale Bilanzprofil des Mullwitzkeeses (50 m-Intervall) für das Haushaltsjahr 2021/22.



\*ELA befindet sich über dem höchsten Punkt des Gletschers.



Schneefälle Ende August und in der ersten Septemberhälfte verringerten die Ablation großflächig, auf der Zunge setzte sich die Eisschmelze bis zum Ende der Ablationsperiode Ende September fort.

Bereits zum Zeitpunkt der Frühjahrsbegehung (27.-29.04.2022) waren einige Pegel sichtbar. Die Winterbilanz wurde an vier Schneeschächten sowie durch Schneehöhensondierungen bestimmt. Die Sommer- und Jahresbilanz wurden anhand von Ablationsmessungen an 17 Pegeln ermittelt (Abbildung 49). Da zum Ende der Ablationsperiode keine Rücklagen an den Schachtpositionen vorhanden waren, wurden keine Herbstschächte gegraben. Aufgrund der überdurchschnittlich hohen Ablation im Sommer 2022 wurden nahezu alle Pegel neu gebohrt, teils aufgrund der Ausaperung versetzt bzw. aufgelassen sowie das Pegelnetz im ehemaligen Akkumulationsgebiet ergänzt.

**AutorInnen:** Dr. Andrea Fischer, Dr. Martin Stocker-Waldhuber (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

### ► Massenbilanz DATEN Mullwitzkees

**Datengeber:** Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

**Fördergeber:** Land Tirol, Abteilung Wasserwirtschaft, Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie, Nationalpark Hohe Tauern; BML, Abteilung Wasserhaushalt

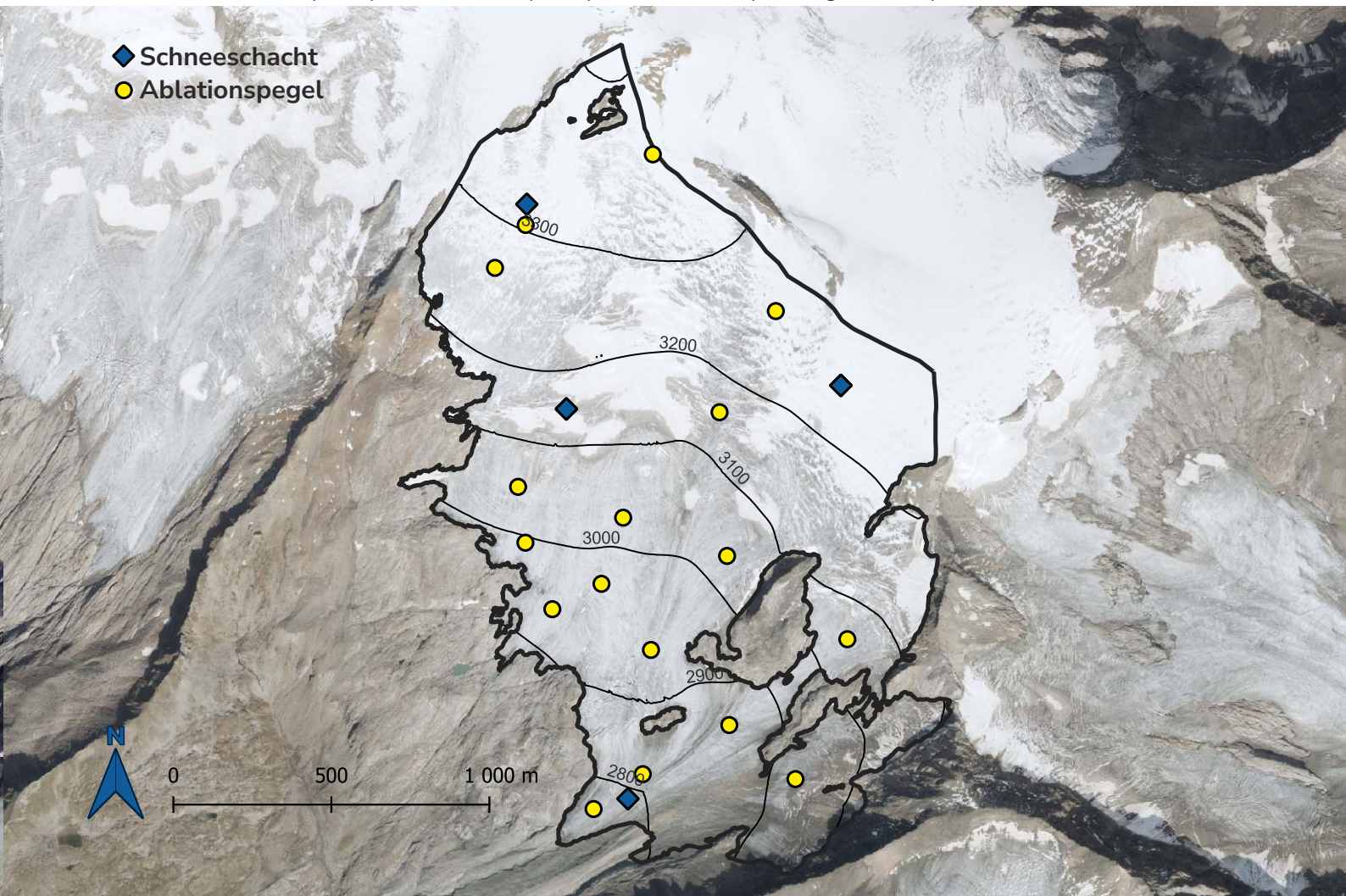
**Massenbilanzdaten:** Stocker-Waldhuber, M., Fischer, A. (2023): Glacier mass balance Mullwitzkees, Hohe Tauern, Austria, 2021/2022. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.955623>,

Stocker-Waldhuber, M., Fischer, A. & Kuhn, M. (2016): Glacier mass balances and elevation zones of Mullwitzkees, Hohe Tauern, Austria, 2006/2007 et seq. Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Innsbruck, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.806662>.

**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland. <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>.



**Abbildung 49:** Oberflächentopografie und Messnetz des Mullwitzkeeses (Umriss (2020): Verein Gletscher und Klima; Höhenlinien (2017) und Orthofoto (2020): Land Tirol - maps.tirol.gv.at TIRIS).





# STUBACHER SONNBLICKKEES

47° 7' 55" N/12° 35' 14" O

Höhenlage: 3000 - 2650 m ü. A.

Exposition: Ost

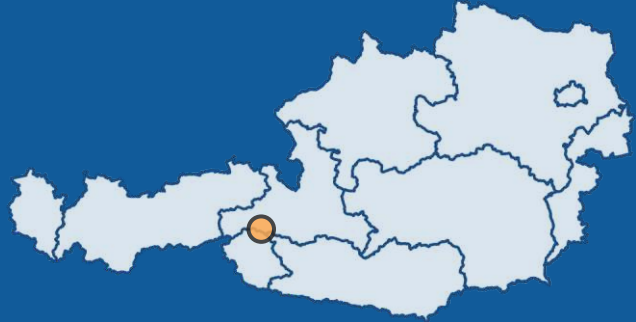


Foto: Stubacher Sonnblickkees, Hans Wiesenegger 2022

# seit 1963/64

Beginn der  
Massenbilanzmessungen am  
Sonnblickkees

## 20

Anzahl der positiven  
Haushaltsjahre seit 1963/64

## 39

Anzahl der negativen  
Haushaltsjahre seit 1963/64

Das Stubacher Sonnblickkees liegt im Nationalpark Hohe Tauern im Gemeindegebiet von Uttendorf im Land Salzburg. Es befindet sich am südwestlichen Ende des Oberen Stubachtales zwischen dem Ostabhang des Stubacher Sonnblicks (3088 m ü. A.) und dem Nordabhang der Granatspitze (3086 m ü. A.) oberhalb des Weißsees. Der ostexponierte Hanggletscher erstreckt sich von 2650 auf 3000 m ü. A. auf einer Fläche von 0,8 km<sup>2</sup>.

Die Gletscherforschung im Stubachtal ist untrennbar mit Heinz Slupetzky verbunden. Der Geograph und Gletscherforscher begann Anfang 1960 mit zahlreichen Messungen im Gebiet und leitete u.a. das Massenbilanzprogramm von 1964 bis 2014. Damit zählt die Messreihe zu den längsten weltweit und wurde als Referenzgletscher des World Glacier Monitoring Systems (WGMS) aufgenommen. Heute wird das Gletscher-Monitoring in der LTER-Site Oberes Stubachtal von der Universität Salzburg koordiniert. Zahlreiche Institutionen und FachkollegInnen setzen die Arbeiten von Heinz Slupetzky kontinuierlich fort. Die Massenbilanz des Stubacher Sonnblickkees wurde zwischen 1964 und 1980 nach der direkten glaziologischen Methode bestimmt. Die Werte ab 1981 basieren auf der semidirekten Bestimmung (Slupetzky 2015). Damit liegt eine 59 Jahre lange Messreihe der Massenbilanz vor, die bis 1946 zurück durch Rekonstruktion auf 70 Jahre ergänzt wurde. Aus den Erkenntnissen und Ergebnissen der 17-jährigen Messreihe nach der direkten Methode konnten mehrere systematische Zusammenhänge zwischen glaziologischen Parametern und der jährlichen Massenbilanz gewonnen

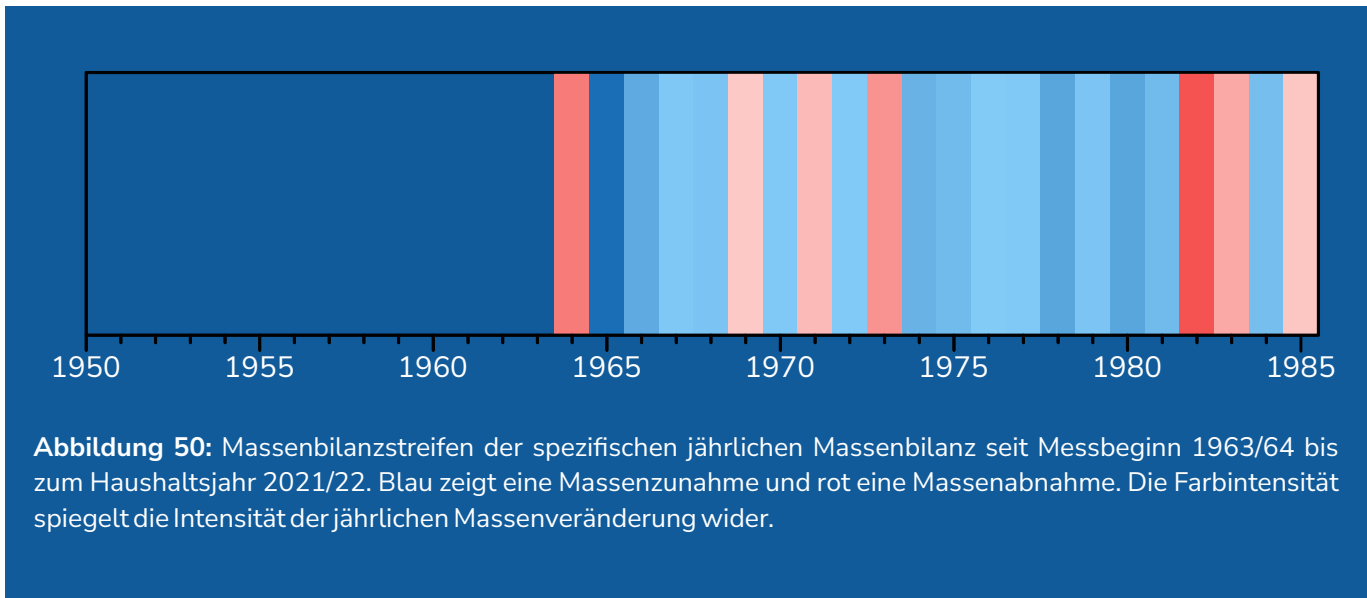
werden. Aus der Korrelation zwischen dem Flächenverhältnis  $S_c/S$  (AAR) und der jährlichen mittleren Massenbilanz  $b$  bzw. aus dem positiven ( $B_c/S$ ) und negativen ( $B_a/S$ ) Anteil zu  $b$  ist es möglich, die Bilanzen zu berechnen. Voraussetzung dazu ist die Kenntnis der Akkumulationsfläche am Ende eines jeweiligen Haushaltsjahres. Seit dem Jahr 1981 werden auf diese Weise die Massenbilanzen semidirekt bestimmt; sie sichern die langfristige Kontinuität. Aus Fotos und Kartierungen der Ausaperungsmuster ( $S_c$ ) wurden auch die Bilanzen für die Jahre vor 1964 ermittelt.

Bei der Anwendung der semidirekten Methode ist die gute Kenntnis der jährlichen maximalen Ausaperung eine wichtige Voraussetzung. Diese wird jährlich mittels der automatischen Kameras des Hydrographischen Dienstes des Landes Salzburg und der laufenden Fotodokumentation bei den Feldarbeiten erfasst. In den 59 Jahren seit Beginn der Reihe 1963/64 waren 20 Haushaltsjahre positiv und 39 negativ (Abbildung 50 und 51), seit 1981 endeten von den 42 Haushaltsjahren 35 negativ und nur sieben positiv.

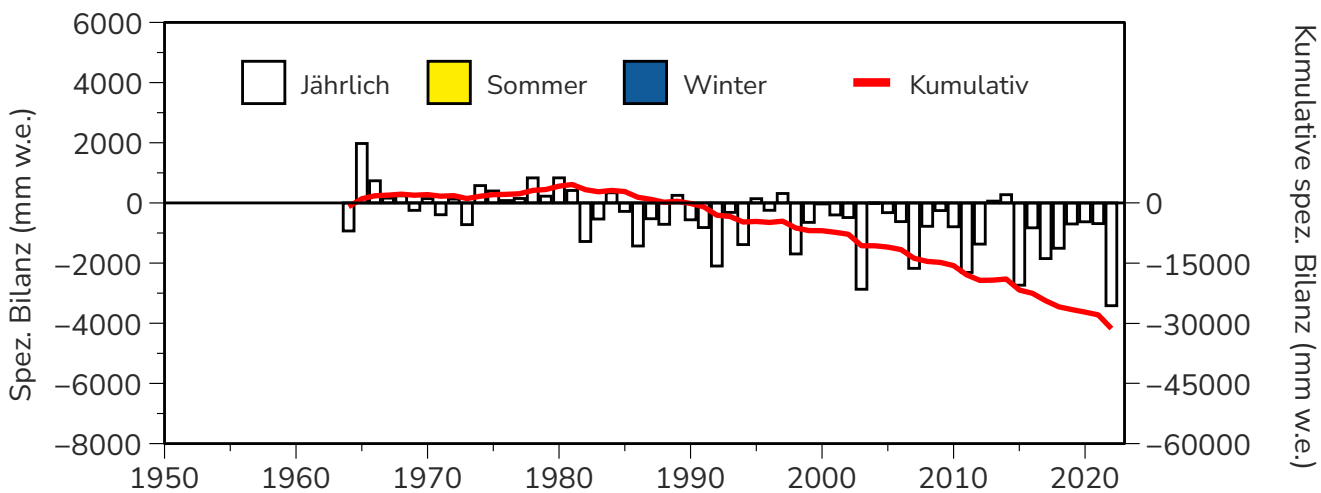


**Autor:** Dr. Bernhard Zagel (Universität Salzburg)

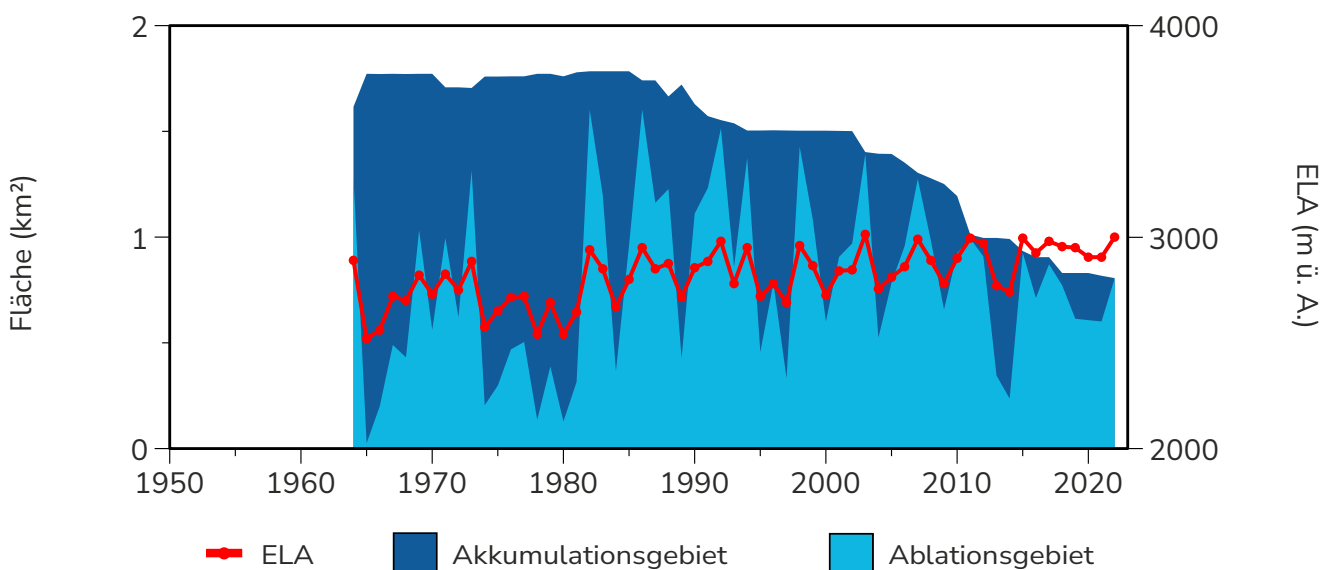




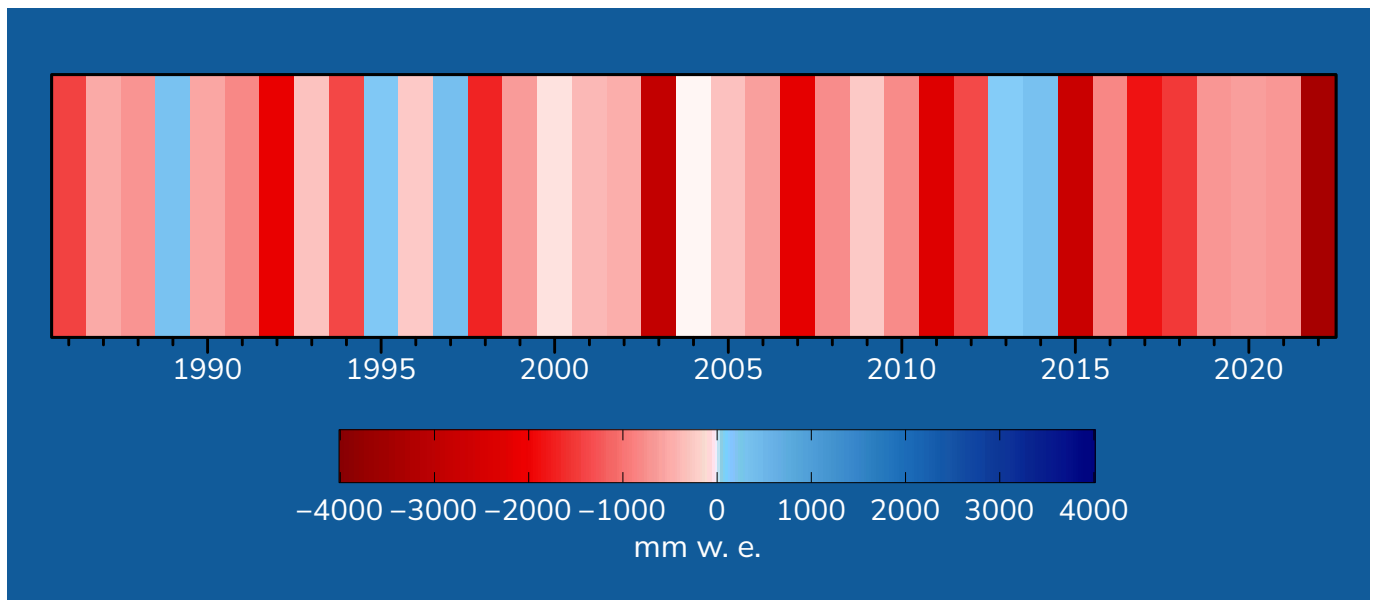
**Abbildung 50:** Massenbilanzstreifen der spezifischen jährlichen Massenbilanz seit Messbeginn 1963/64 bis zum Haushaltsjahr 2021/22. Blau zeigt eine Massenzunahme und rot eine Massenabnahme. Die Farbintensität spiegelt die Intensität der jährlichen Massenveränderung wider.



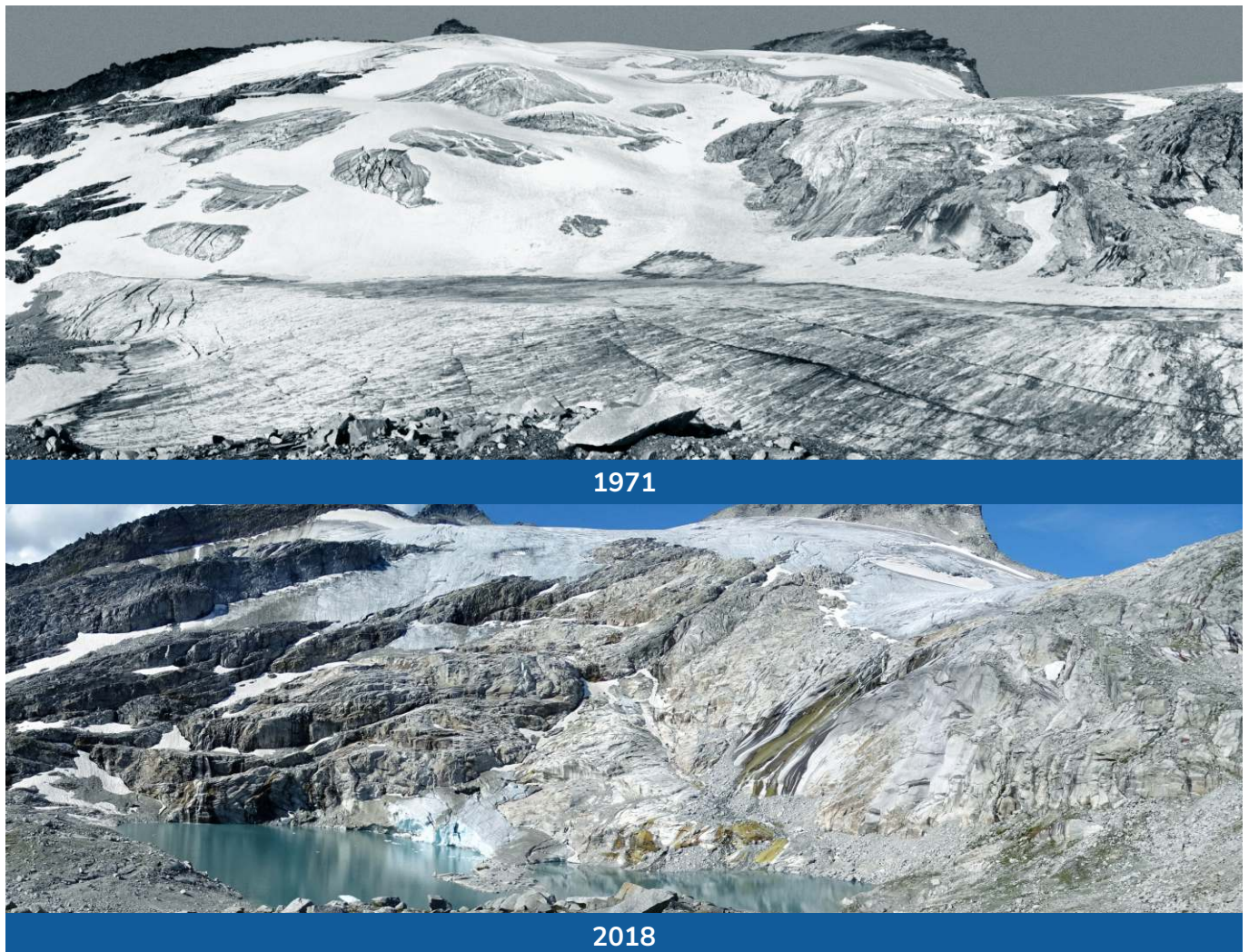
**Abbildung 51:** Jährliche spezifische und kumulierte Massenbilanz seit Messbeginn.



**Abbildung 52:** Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Akkumulations- und Ablationsgebiet an der Gesamtfläche und Schwankungen der ELA seit Messbeginn.



**Abbildung 53:** Bildvergleich: Das Stubacher Sonnblickkees 1971 (oben) und 2018 (unten) (Fotos: oben: Heinz Slupetzky; unten: Bernhard Zagel).



# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**-3417 mm w.e.**  
Jahresbilanz

**-\***  
Winterbilanz

**-\***  
Sommerbilanz

**3000 m ü. A.**  
ELA

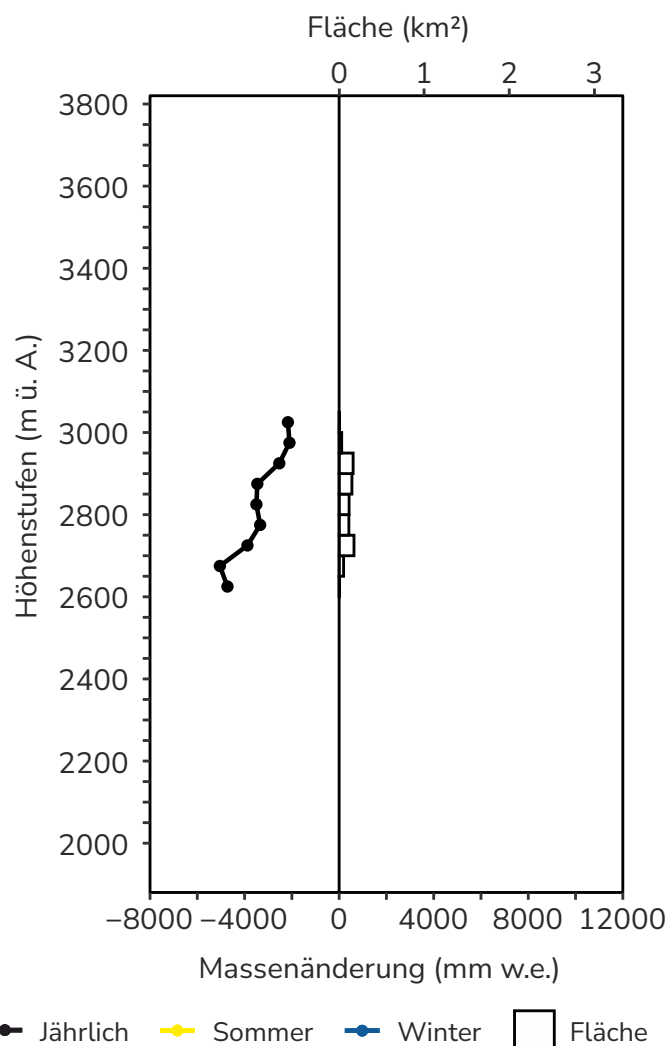
**0,80 km<sup>2</sup>**  
Fläche

**0 %**  
AAR

Im Haushaltsjahr 2021/22 – dem 59. Messjahr seit Beginn der Reihe 1963/64 – hatte das Stubacher Sonnblickkees eine extrem negative Bilanz von -3417 mm w.e. (mittlerer) spezifischer Nettobilanz oder 2 754 Mio. m<sup>3</sup> Netto-Massenverlust (Abbildung 54).

Ein wesentlicher Grund für die negative Bilanz des Stubacher Sonnblickkeeses waren in diesem Jahr die Temperaturverhältnisse, so lag die Jahresmitteltemperatur mit 0,9 °C deutlich über dem Mittelwert von 0,2 °C an der Station Rudolfshütte. Vor allem aber stachen die positiven Abweichungen von Einzelmonaten hervor. So war der Juni mit 3,8 °C extrem, die Monate Mai und Juli mit jeweils ca. 2 °C über dem langjährigen Mittel deutlich zu warm.

Bei den Niederschlägen waren bis auf den September alle Monate mäßig bis stark unter dem langjährigen Mittel, wobei der März mit 10 mm nur ca. 5 % des mittleren Niederschlags erreichte. Festniederschlag gab es in den Monaten Mai, Juni und August kaum bis gar nicht. Zu beobachten war die starke




**Abbildung 54:** Das vertikale Bilanzprofil des Stubacher Sonnblickkeeses (50 m-Intervall) für das Haushaltsjahr 2021/22.

\*Für diesen Gletscher wird die Jahresbilanz erhoben und nicht die Bilanz getrennt nach Sommer und Winter.



Windverfrachtung in den Wintermonaten auf den Gletschern am Alpenhauptkamm. Dies hatte eine unterdurchschnittliche Schneeeauflage auf den Gletschern zur Folge, was die negative Bilanz im Jahr 2021/22 verstärkte. Das Haushaltsjahr endete am 06.09.2022.

Die Gleichgewichtslinie lag (rechnerisch) am 06.09.2022 in einer Höhe von 3000 m ü. A., um 130m höher als die mittlere Höhenlage 1982 bis 2021 von 2870 m ü. A.

 **Autor:** Dr. Bernhard Zagel (Universität Salzburg)

## ► Massenbilanz DATEN Sonnblickkees

**Datengeber:** Fachbereich Geoinformatik, Universität Salzburg

**Fördergeber:** Land Salzburg, Abt 7 - Wasser, Referat 7/04 - Hydrographischer Dienst; BML, Abteilung Wasserhaushalt

**Massenbilanzdaten:** Zagel, B., Slupetzky, H., Ehgartner, G. (2021): <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.930706>.

**IN:** Slupetzky, H., Ehgartner, G., Zagel, B. (2014): Glacier mass balances of Stubacher Sonnblickkees, Hohe Tauern Range, Eastern Alps, Austria, 1958/1959 et seq. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.829950>.

**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland.

<https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>.



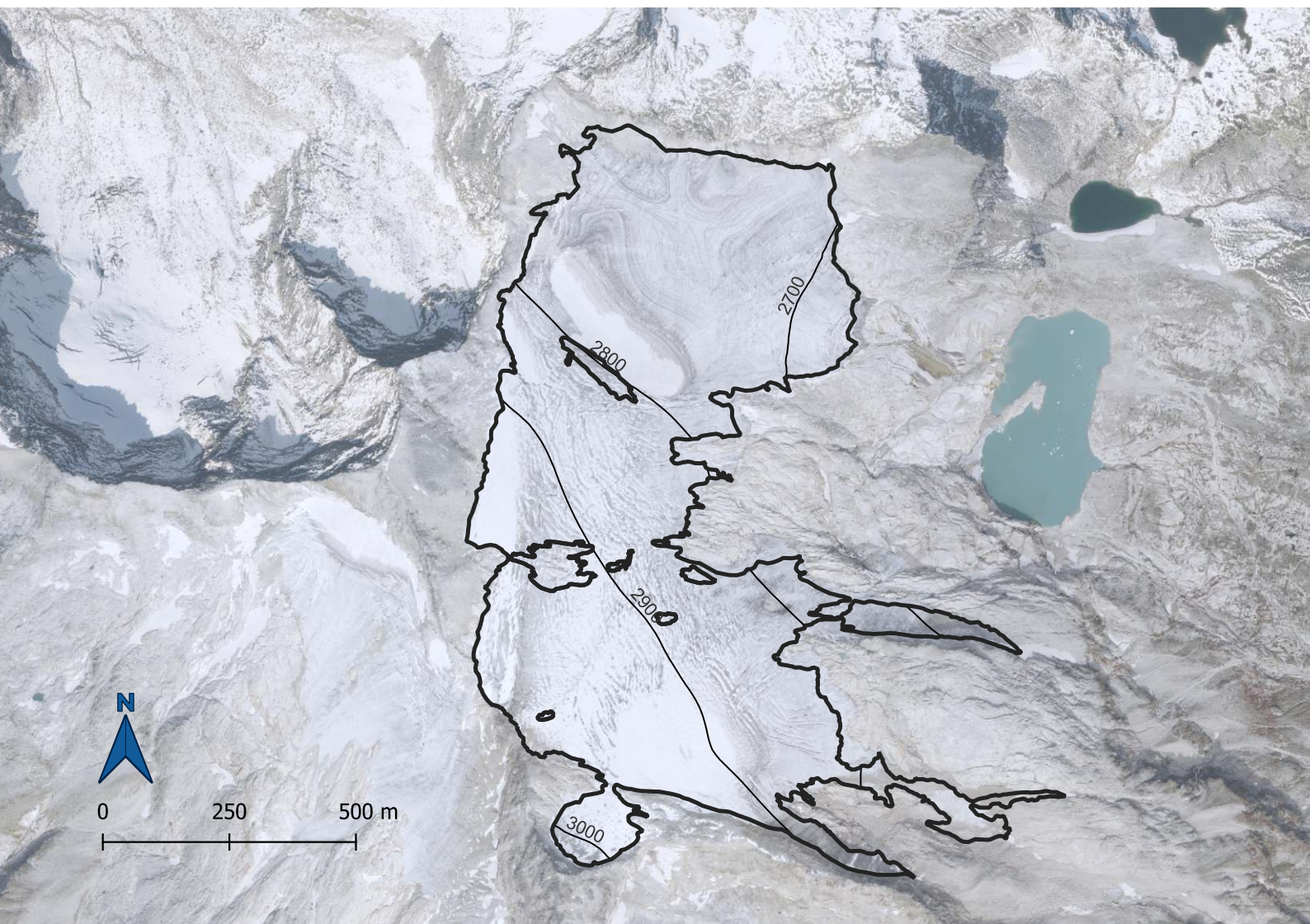
PARIS  
LODRON  
UNIVERSITÄT  
SALZBURG



LAND  
SALZBURG

Bundesministerium  
Land- und Forstwirtschaft,  
Regionen und Wasserwirtschaft

**Abbildung 55:** Oberflächentopografie des Stubacher Sonnblickkeeses (Umriss (2022): Bernhard Zagel; Höhenlinien (2015): [www.geoland.at](http://www.geoland.at); Orthofoto (2018): Land Salzburg - [www.salzburg.gv.at](http://www.salzburg.gv.at) SAGIS).





# PASTERZE

47° 5' 8" N/12° 43' 24" O

Höhenlage: 3500 - 2070 m ü. A.

Exposition: Südost

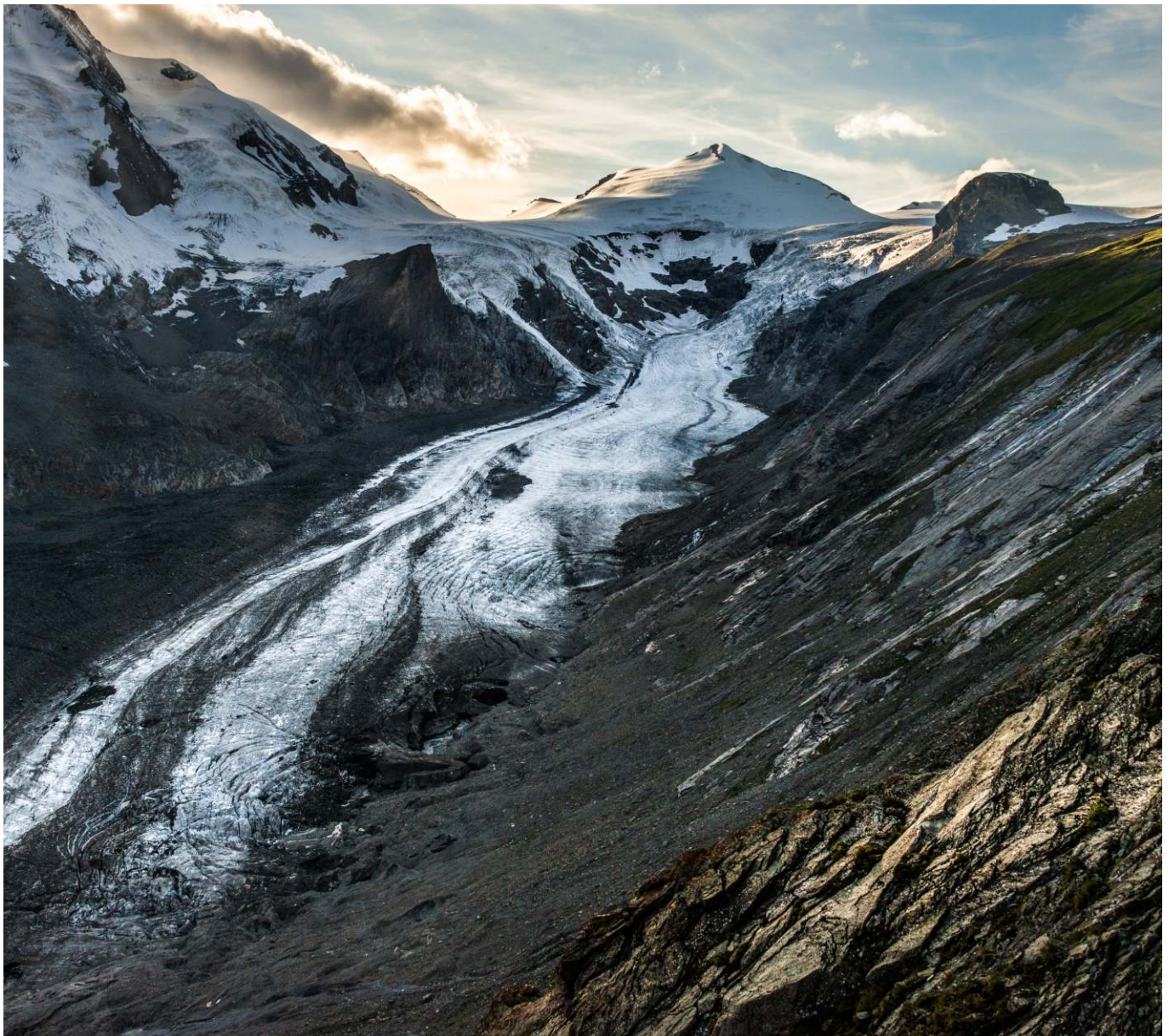
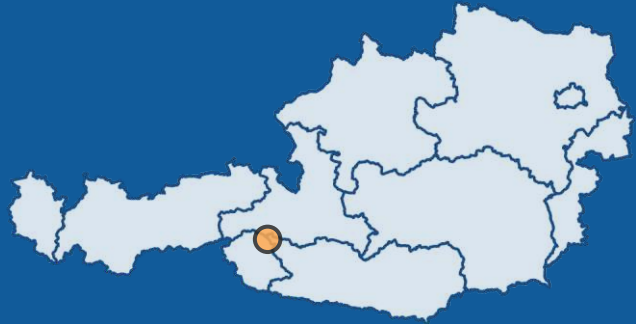


Foto: Pasterze, Bernd Thaller 2014

# seit 1979/80

Beginn der  
Massenbilanzmessungen am  
Pasterze

## 2

Anzahl der positiven  
Haushaltsjahre seit 1979/80

## 34

Anzahl der negativen  
Haushaltsjahre seit 1979/80

Die Pasterze ist ein Vorzeigebild eines alpinen Talgletschers, der zwischen zwei Felsbergen, dem Kleinen und Mittleren Burgstall, über den sogenannten Hufeisenbruch talwärts fließt. Es ist allerdings nur mehr eine Frage der Zeit, bis diese Verbindung zwischen dem oberen Pasterzenboden und der Gletscherzunge abreißt. Der obere Pasterzenboden ist von zwei großen Firnmulden bestimmt die durch den Johannesberg voneinander getrennt werden. Die kleinere der beiden Firnmulden ist der Schneewinkel und liegt südlich des Johannesberg. Nördlich des Johannesberg erstreckt sich die weit größere Firnmulde und somit auch das wichtigste Nährgebiet der Pasterze, der Riffelwinkel.

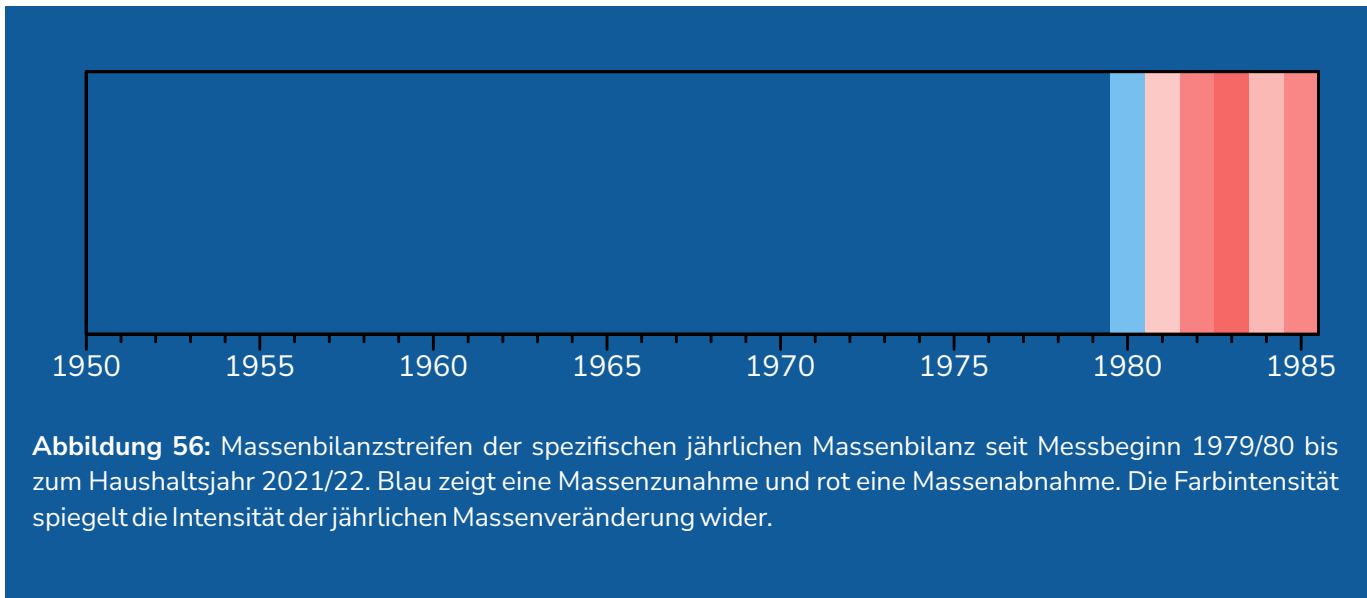
Im Jahr 2018 umfasste die Gletscherfläche 15,3 km<sup>2</sup> und erstreckte sich auf ca. 8 km Länge von 3500 bis 2070 m. ü. A.

Die Pasterze am Fuße des Großglockners in der Glocknergruppe der Hohen Tauern ist der größte Gletscher Österreichs. Erstmals erschienen ist die Pasterze 1612 in der Kärntenkarte von Israel Holzworm mit der Ergänzung „glaciers continua“ (= lat. ewiges Eis). Mitte des 19. Jahrhunderts wurde aufgrund der Arbeiten der Gebrüder Schlagintweit das wissenschaftliche Interesse an der Pasterze geweckt. Seit 1958, als Herbert Paschinger zum Ordinarius für Geographie in Graz berufen wurde, werden regelmäßige Gletschermessungen an der Pasterze vom Institut für Geographie und Raumforschung der Universität Graz organisiert und im Auftrag des Gletschermessdienstes des Österreichischen

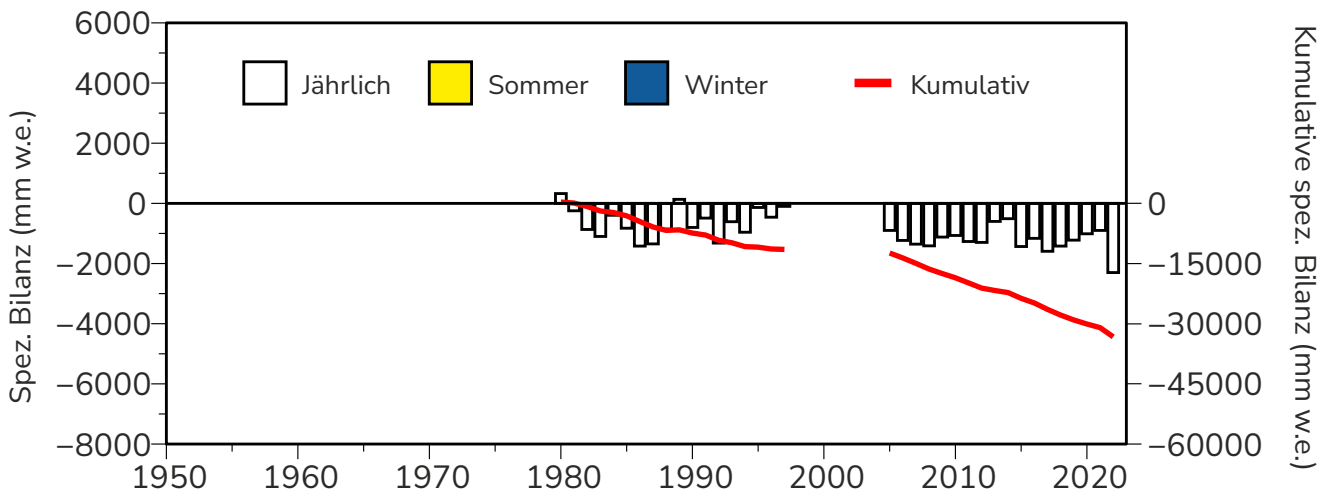
Alpenvereins durchgeführt. Die Messungen der Längenänderungen wurden von Ferdinand Seeland 1879 begonnen und 1928 wurde durch Viktor Paschinger das erste Messprofil, die „Seelandlinie“ zur Messung der Höhenänderung der Gletscheroberfläche, installiert, welche heute immer noch vermessen wird. Messungen zur Fließbewegung der Gletscheroberfläche auf Basis von Holzpflocken entlang eines Querprofils reichen ebenfalls bis Seeland ins Jahr 1882 zurück. 1903 wurde dazu erstmals die sogenannte „Steinlinienmethode“ angewandt, welche bis heute noch in Gebrauch ist. Auch die jährliche Messung der Fließgeschwindigkeit findet im Rahmen der oben genannten Aktivitäten statt. Zusätzlich zu den Messungen der Universität Graz führte die Tauernkraftwerke AG von 1980 bis 1997 Massenbilanzmessungen an der Pasterze durch. Mit dem Übergang in die neu gegründete „Verbund – Austrian Hydro Power AG“ im Jahr 1999 wurden die Messungen jedoch eingestellt. Im Jahr 2004 startete die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ein Langzeit-Forschungsprogramm zur Messung der Jahresmassenbilanz, welches aktuell durch die GeoSphere Austria weitergeführt wird.

Insgesamt hat der Gletscher seit Messbeginn 1980 bis heute über 30000 mm w.e. an Masse verloren (Abbildung 56 und 57), allerdings gibt es von 1998 bis 2004 keine Messungen, wodurch die Zahl sicher zu gering ausfällt. Vergleicht man den summierten spezifischen Massenverlust pro Jahrzehnt, sieht man, dass der Massenverlust in den 2010er Jahren fast doppelt so hoch war wie in den 1980er Jahren. In

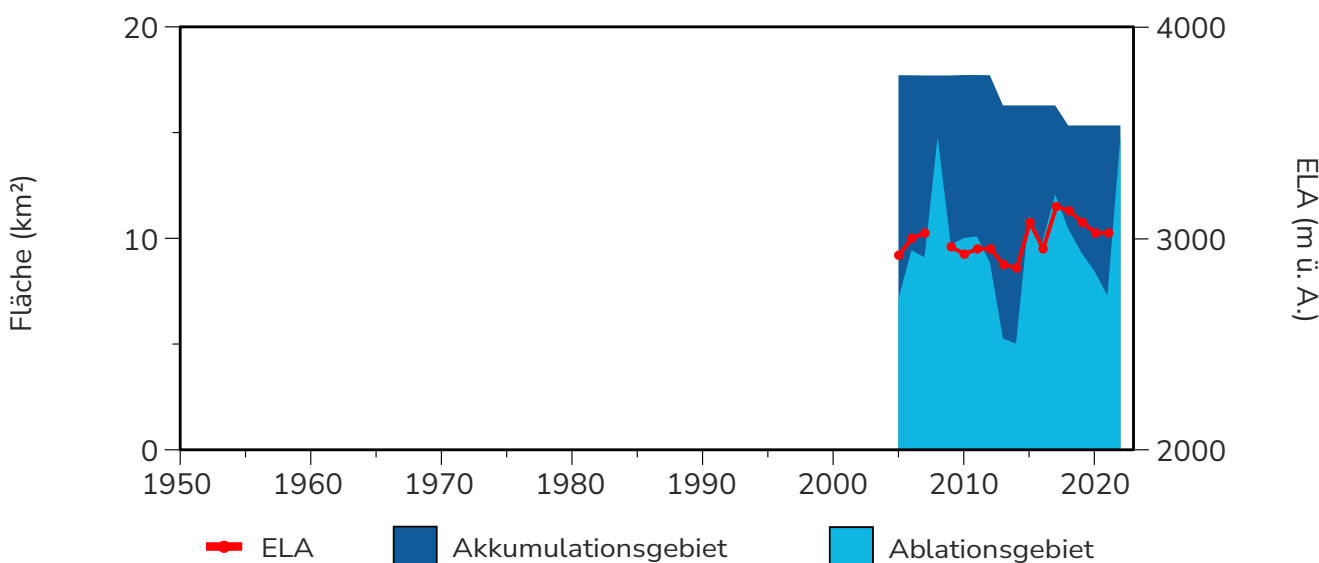




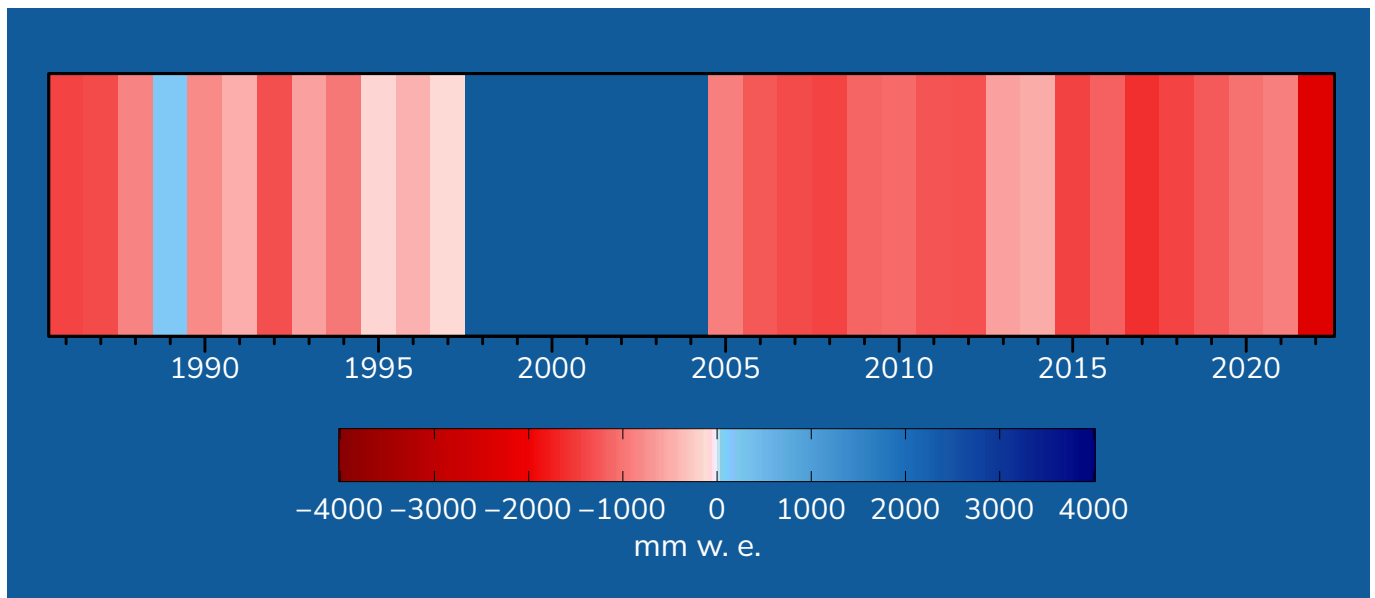
**Abbildung 56:** Massenzunahmestreifen der spezifischen jährlichen Massenbilanz seit Messbeginn 1979/80 bis zum Haushaltsjahr 2021/22. Blau zeigt eine Massenzunahme und rot eine Massenzunahme. Die Farbintensität spiegelt die Intensität der jährlichen Massenveränderung wider.



**Abbildung 57:** Jährliche spezifische und kumulierte Massenbilanz seit Messbeginn.




**Abbildung 58:** Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Akkumulations- und Ablationsgebiet an der Gesamtfläche und Schwankungen der ELA seit Messbeginn. Die Unterbrechung in der Linie bedeutet, dass die ELA in diesem Jahr oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers lag.



der Zeitreihe finden sich nur zwei positive Jahre. Diese sind die Jahre 1979/80 und 1988/89. Die hohen Schmelzbeträge von bis zu 9 Meter pro Jahr in Kombination mit basaler Schmelze führen zum Kollabieren der Gletscherzunge im unteren Bereich über die letzten Jahre. Die Bestimmung der Gleichgewichtslinie und des Flächenanteils des Akkumulationsgebietes an der Gesamtgletscherfläche (AAR) erfolgt erst seit 2005. Die AAR betrug in den 2010er Jahren 44 %, die ELA liegt derzeit bei 3000 m ü. A. Die über Jahre gleichbleibenden Gletscherflächen in Abbildung 58 können dadurch erklärt werden, dass nicht alle Jahre die exakte Gletscherfläche erhoben wird. Diese wurde in den vergangenen Jahren auf Basis der Befliegungen des

Amtes für Eich- und Vermessungswesen alle 4-6 Jahre angepasst. In den letzten Jahren konnte durch hauseigene Drohnenbefliegungen und neue methodische Ansätze eine jährliche Aktualisierung der Gletscherflächen erzielt werden.

 **AutorInnen:** Dr. Marion Greilinger, Anton Neureiter, BSc. (GeoSphere Austria)

**Abbildung 59:** Bildvergleiche: Die Pasterze 1950 (links) (Foto: Sammlung Dornbirn Rhomberg, Vorarlberger Landesbibliothek) und 2022 (rechts) (Foto: foto-webcam.eu).



# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**-2300 mm w.e.**  
Jahresbilanz

**-\***  
Winterbilanz

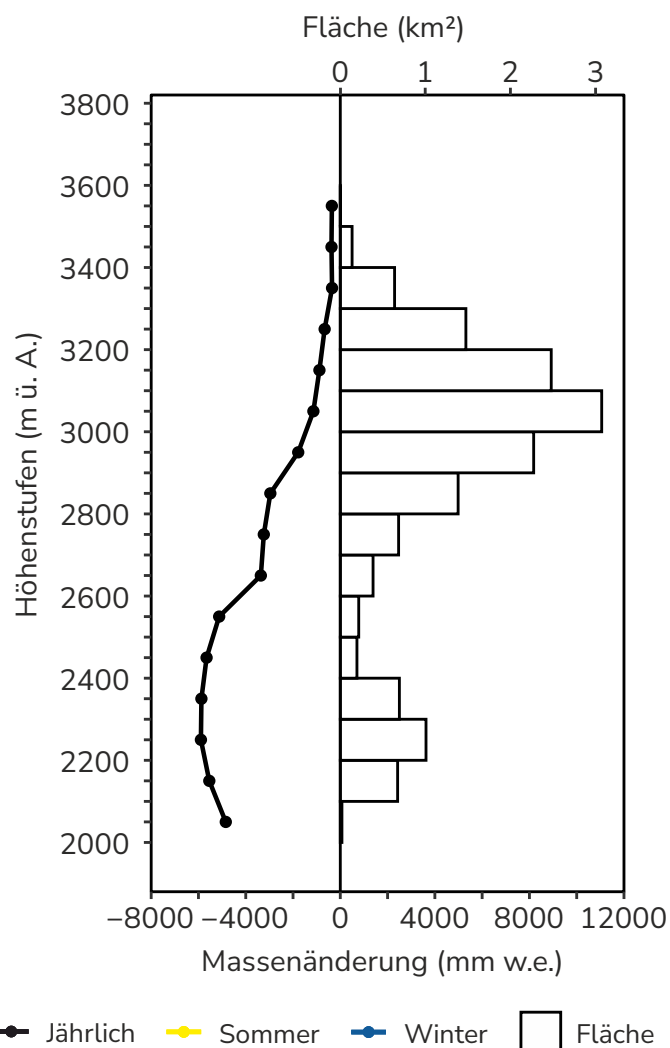
**-\***  
Sommerbilanz

**-\*\***  
ELA

**15,3 km<sup>2</sup>**  
Fläche

**0,5 %**  
AAR

Das Haushaltsjahr war von einer sehr schneearmen Akkumulationsperiode geprägt. Des Weiteren zeigt die HISTALP-Auswertung für die Gipfelregionen in Österreich die höchste jemals gemessene Jahresmitteltemperatur in der 172-jährigen Messreihe. Im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-1990 war die Durchschnittstemperatur um 2,3 °C über dem Mittel. In den Sommermonaten 2022 lag die Temperatur um 3,4 °C über dem Mittel von 1961-1990, was dem 4. Platz der gesamten Zeitreihe gleichkommt. Durch die Verkettung der schneearmen Akkumulationsperiode mit den hohen Temperaturen in der Ablationsperiode kam es zu einer Ausaperung, die fast einen Monat früher einsetzte als in den Jahren zuvor und vor allem die Ablationspegel am oberen Boden betroffen hat. Die Pegel im Zungenbereich zeigen eine höhere Abschmelzrate als im Durchschnitt, da aber auf der Zunge die Schneemächtigkeiten ohnehin geringer sind, ist hier die frühere Ausaperung nicht im dem Maße ausschlaggebend. Die Ablationspegel am oberen Pasterzenboden zeigen dafür eine zwei- bis dreifach höhere Schmelzrate als der langjährige Durchschnitt. Die hier dargestellten Massenbilanzmes-



**Abbildung 60:** Das vertikale Bilanzprofil (100 m-Intervall) der Pasterze für das Haushaltsjahr 2021/22.

\*Für diesen Gletscher wird die Jahresbilanz erhoben und nicht die Bilanz getrennt nach Sommer und Winter.

\*\*ELA befindet sich über dem höchsten Punkt des Gletschers.



sung 2021/22 beruht auf Ablationsmessungen an 21 Ablationspegeln (13 Pegel auf der Zunge, 8 Pegel am oberen Pasterzenboden) (Abbildung 61), einem Schneeschacht im Akkumulationsgebiet, sowie der Auswertung der Ausaperung anhand der Aufnahmen der automatischen Kameras. Die Berechnung der Jahresmassenbilanz ist noch nicht finalisiert, da in die Auswertung üblicherweise auch noch Akkumulationsmessungen mittels Georadar einbezogen werden. Diese Auswertungen sind für das letzte Haushaltsjahr jedoch noch nicht fertiggestellt. Die angegebene Massenbilanz bezieht sich daher nur auf die Punktmessungen und ist als vorläufig anzusehen. Hierfür wurden vorhandenen Punktdaten mit den Daten der vorhandenen Massenbilanzjahre verglichen.

Die Abschätzung der spezifischen Massenbilanz beträgt -2300 mm w.e. (Abbildung 60). Zum Vergleich liegt der 10-jährige Durchschnitt bei -

1200 mm w.e. und der Mittelwert über die komplette Zeitreihe bei -920 mm w.e.

**AutorInnen:** Dr. Marion Greilinger, Anton Neureiter, BSc. (GeoSphere Austria)

### ► Massenbilanz DATEN Pasterze

**Datengeber:** GeoSphere Austria

**Fördergeber:** Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

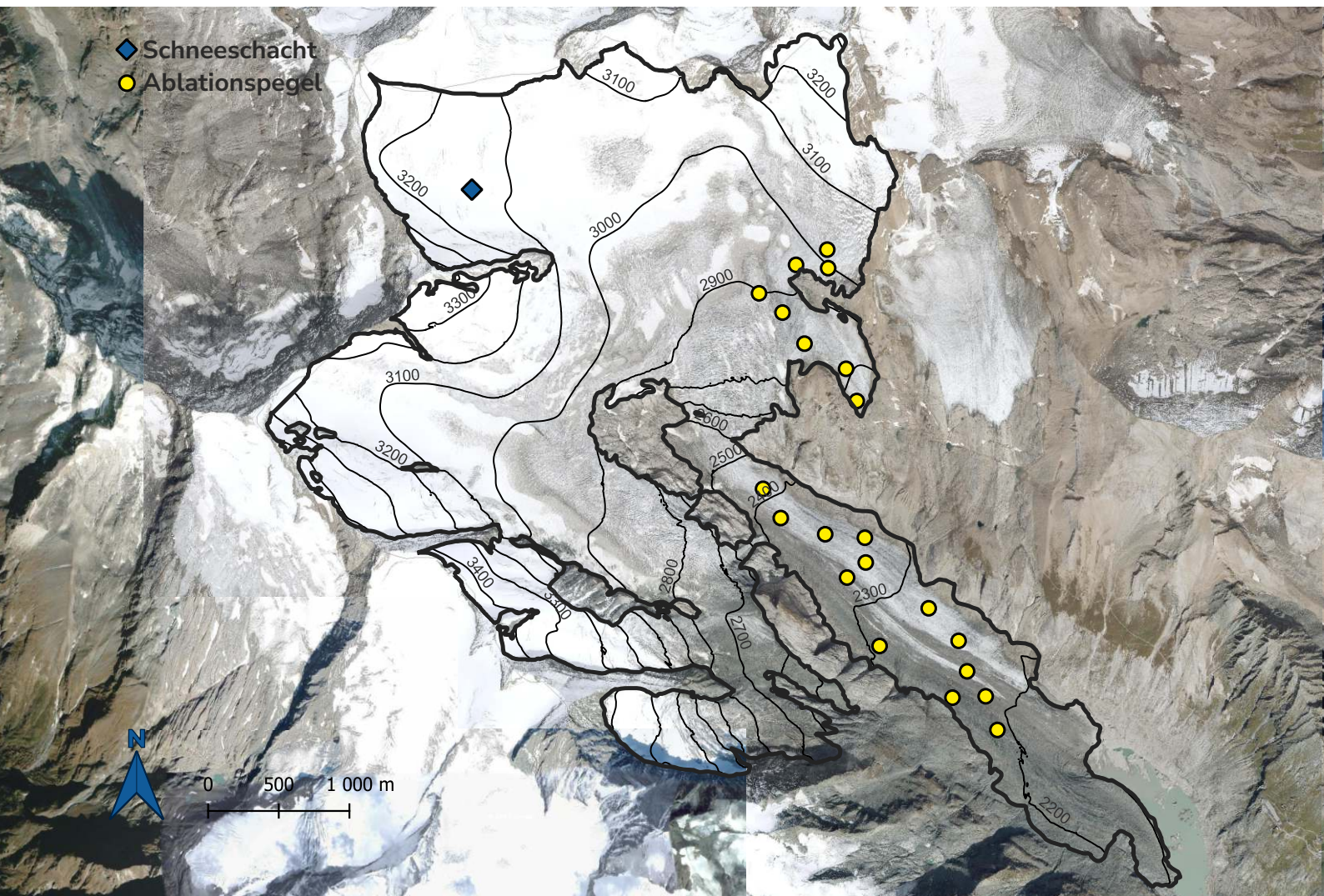
**Massenbilanzdaten:**

**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland. <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>.



**Bundesministerium**  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

**Abbildung 61:** Oberflächentopografie und Messnetz der Pasterze (Umriss (2018): GeoSphere Austria; Höhenlinien (2015): [www.geoland.at](http://www.geoland.at); Orthofoto (2018): Land Kärnten - [data.gv.at/KAGIS](http://data.gv.at/KAGIS)).





# KLEINFLEIßKEES

47° 3' 19" N/12° 56' 78" O

Höhenlage: 3100 - 2715 m ü. A.

Exposition: Südwest

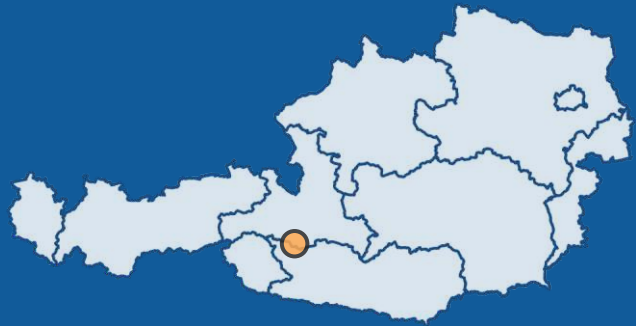


Foto: Kleinfleißkees, GeoSphere Austria 2022

seit **1998/99**

Beginn der  
Massenbilanzmessungen am  
Kleinfleißkees

**2**

Anzahl der positiven  
Haushaltsjahre seit 1998/99

**22**

Anzahl der negativen  
Haushaltsjahre seit 1998/99

Das Kleinfleißkees liegt südlich des Alpenhauptkammes und ist über die Goldbergsscharte am Alpenhauptkamm mit dem Goldbergkees verbunden. Der Gletscher kann als typischer alpiner Kargletscher eingestuft werden. Die Gletscherfläche betrug selbst zum Maximalstand 1850 weniger als 4 km<sup>2</sup> und erstreckte sich grob von 2.500 bis 3.100 m.ü.A. Im Jahr 2022 umfasste die Fläche 0,73 km<sup>2</sup> mit einer Länge von 1,2 km von 2715 bis 3050 m. ü. A. Ein massiver Rückgang in der Länge des Kleinfleißkees konnte im September 2002 verzeichnet werden, als ein Eisabbruch an der Zunge des Kleinfleißkees einen Längenrückgang von ca. 200 m bewirkte.

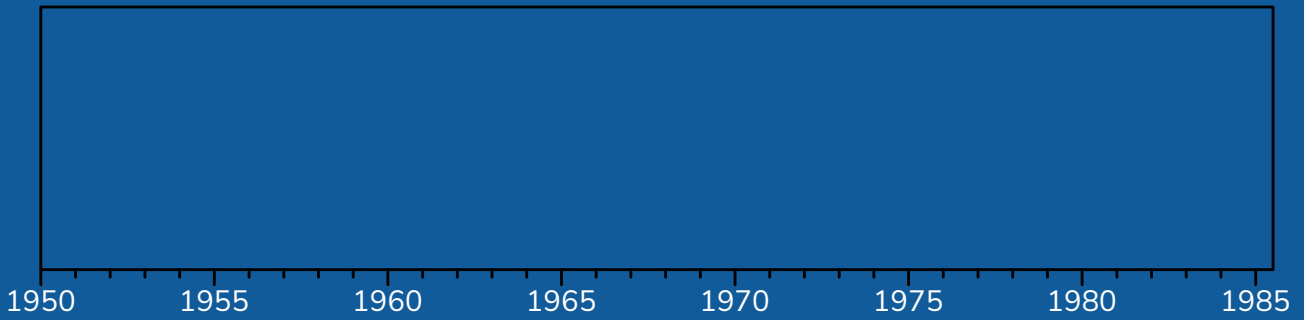
Das Kleinfleißkees ist einer der 3 Gletscher der Goldberggruppe (Abbildung 87), neben dem Wurtenkees und dem Goldbergkees, die ein intensives glaziologisch Messprogramm aufweisen. Aufgrund der Nähe zum Sonnblick-Observatorium, mit meteorologischen Beobachtungen seit 1886, wurde der Schwerpunkt des Gletschermonitorings in diesem Gebiet auf diese drei Gletscher gelegt. Erste Kartengrundlagen wurden bereits Anfang des 19. Jahrhunderts durch das k.u.k. Militärgeographische Institut geschaffen. Erste systematische Gletscheruntersuchungen begannen 1896 durch den Wiener Geografen Albrecht Penck mit Längenfixmarken im Vorfeld der Zunge des Wurtenkees. 1909 erstellte Karl Wollen und seine Mitarbeiter eine erste kartografische Detailaufnahme im Maßstab 1:10.000 auf Basis des neu entwickelten Verfahrens der terrestrisch-photogrammetrischen Vermessung. Diese Karte blieb für Jahrzehnte die

genaueste Grundlage für die Gletscheruntersuchungen im Sonnblickgebiet. In den 1920ern wurde ein Schneepegel- und Totalisatorenmessnetz auf den Gletscherflächen initialisiert, in den 1930er-Jahren wurden die Messungen durch Lichtenecker stark ausgeweitet.

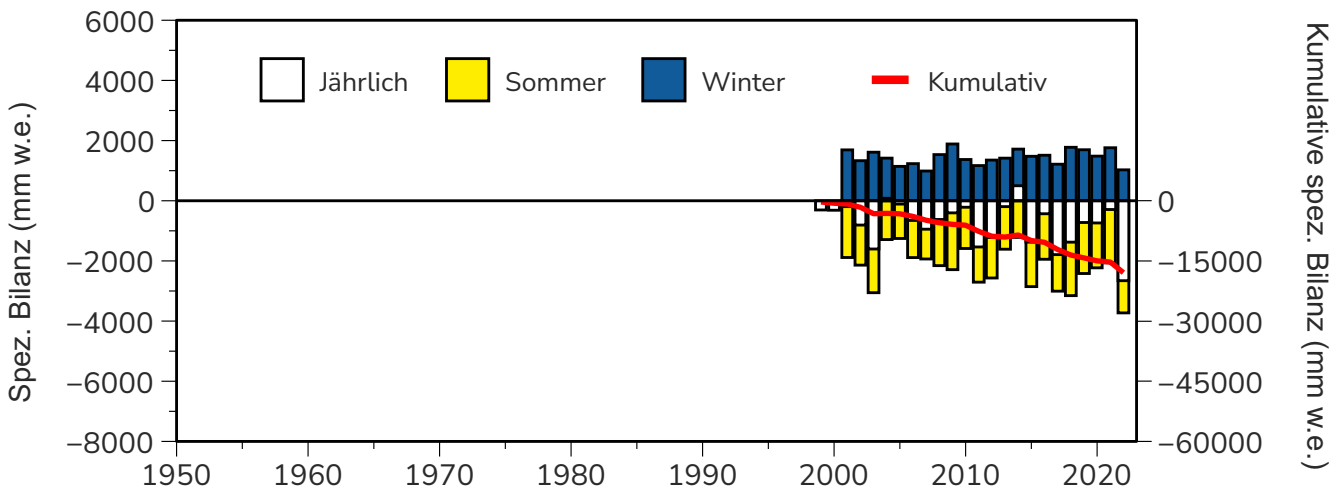
Am Kleinfleißkees werden seit 1998/99 Massenbilanzmessungen mittels der direkten glaziologischen Methode durchgeführt (Abbildung 62 und 63). Dabei wird sowohl die Jahresbilanz als auch die Winterbilanz erhoben. Die Messungen der Massenbilanz, aber auch die Längenmessungen und Fotodokumentationen wurden von der Gruppe um Ingeborg Auer, Reinhard Böhm und Wolfgang Schöner an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik initiiert und über die Jahre durch viele beteiligte Personen und Organisationen durchgeführt. Das Monitoringprogramm wurde über die Jahre stetig ausgebaut und erweitert und wird aktuell von den Nachfolgerinnen und Nachfolgern der genannten Gruppe an der GeoSphere Austria weitergeführt.

Das Kleinfleißkees hat in den 23 Jahren der Messungen summiert einen Massenverlust von -16359 mm w.e. erlitten. Der Flächenanteil des Akkumulationsgebietes an der Gesamtgletscherfläche (AAR) betrug zu Beginn der Messreihe 27 % und hat sich aktuell auf 21 % verringert (Abbildung 64). Die Lage der Gleichgewichtslinie liegt immer öfter oberhalb des Gletschers, wodurch keine Rücklagen gebildet werden und die AAR somit Null ist (Abbildung 64).

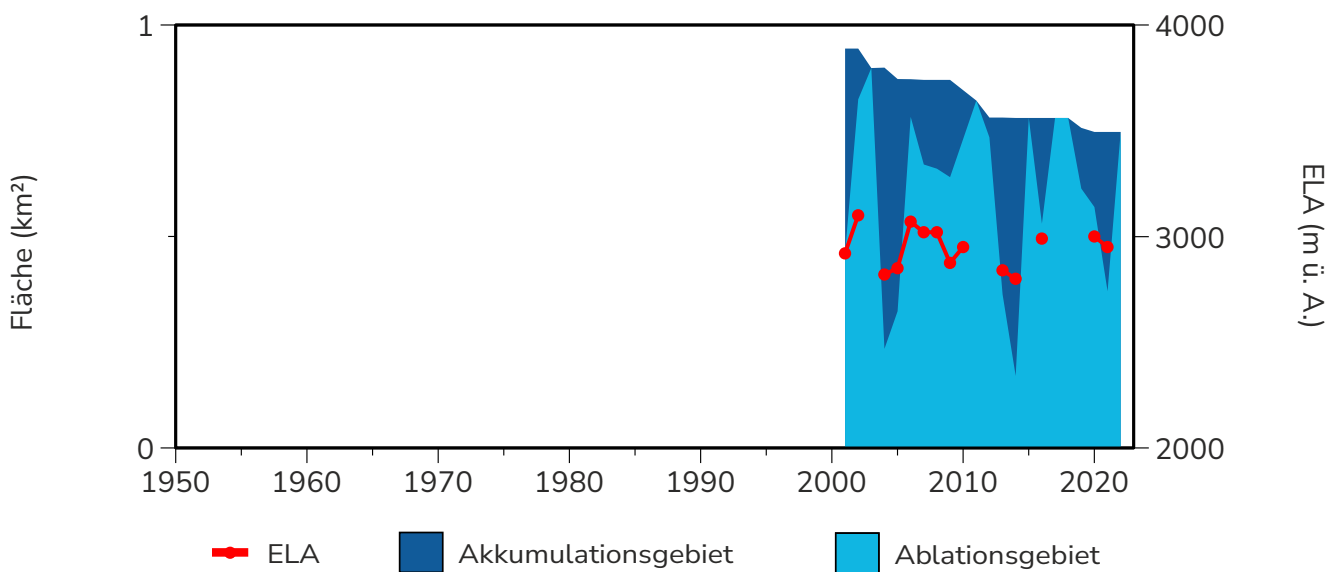




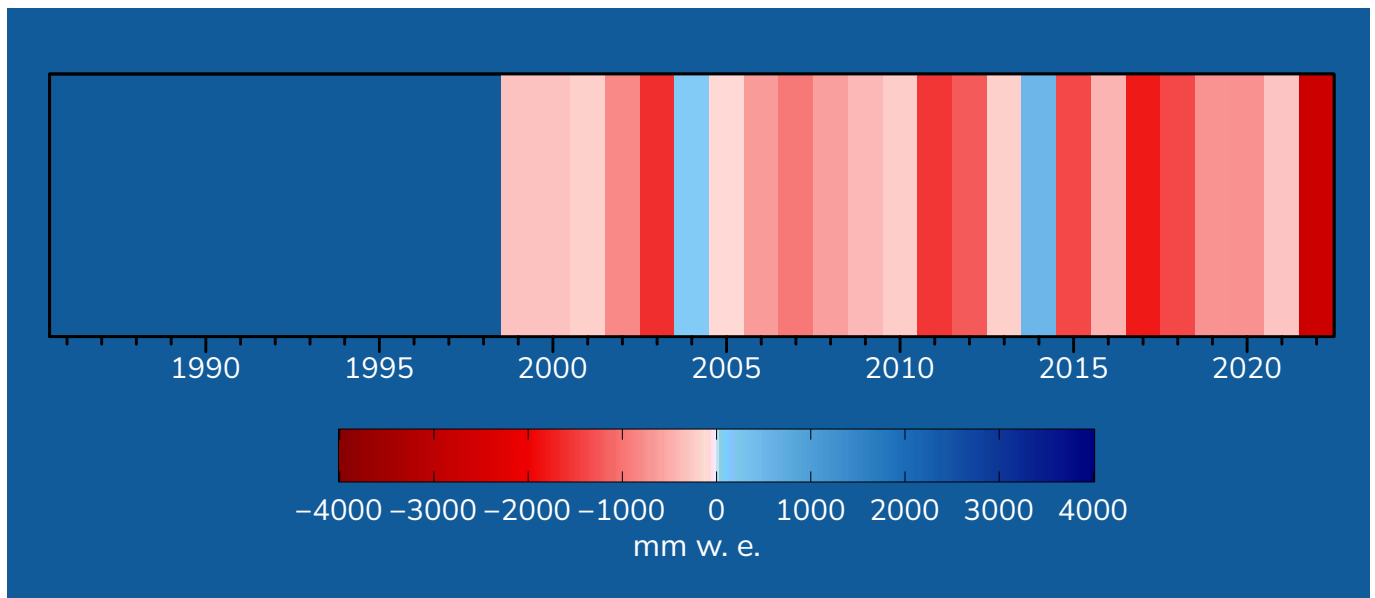
**Abbildung 62:** Massenbilanzstreifen der spezifischen jährlichen Massenbilanz seit Messbeginn 1998/1999 bis zum Haushaltsjahr 2021/22. Blau zeigt eine Massenzunahme und rot eine Massenabnahme. Die Farbintensität spiegelt die Intensität der jährlichen Massenveränderung wider.



**Abbildung 63:** Jährliche spezifische und kumulierte Massenbilanz seit Messbeginn.



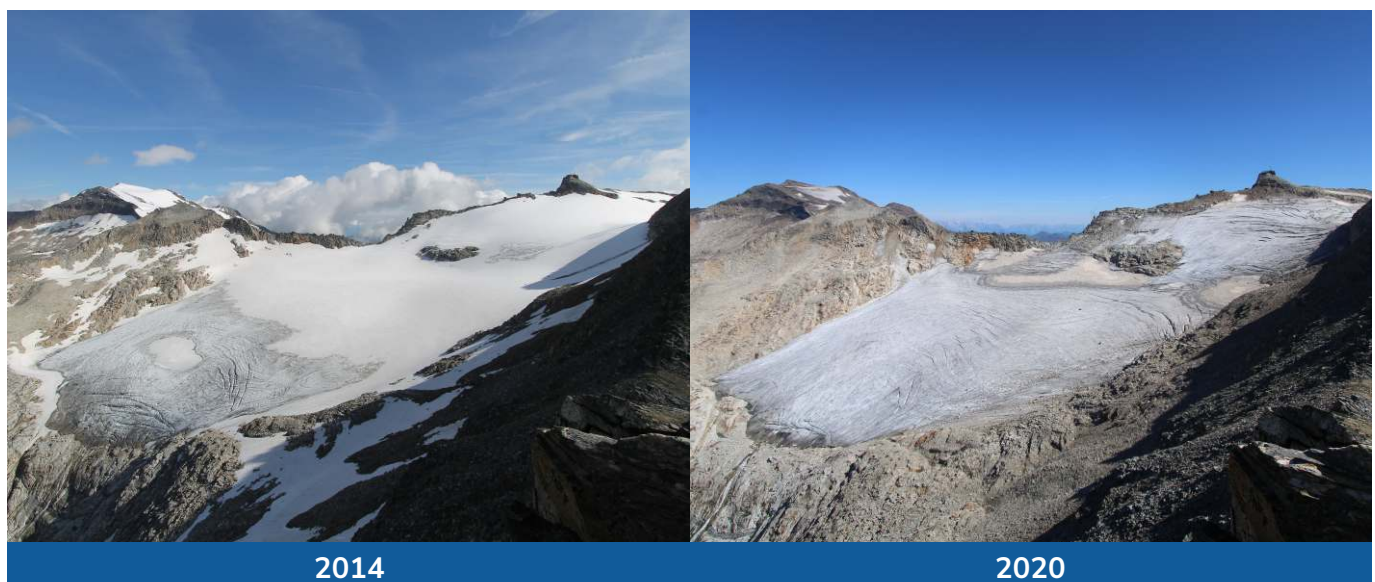
**Abbildung 64:** Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Akkumulations- und Ablationsgebiet an der Gesamtfläche und Schwankungen der ELA seit Messbeginn. Die Unterbrechung in der Linie bedeutet, dass die ELA in diesem Jahr oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers lag.



Die über Jahre gleichbleibenden Gletscherflächen in Abbildung 64 können dadurch erklärt werden, dass nicht alle Jahre die exakte Gletscherfläche vermessen wird. Diese wurde in den vergangenen Jahren auf Basis der Befliegungen des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen alle 4-6 Jahre angepasst. In den letzten Jahren konnte durch hauseigene Drohnenbefliegungen und neue methodische Ansätze eine jährliche Aktualisierung der Gletscherflächen erzielt werden.

**AutorInnen:** Dr. Marion Greiling, Mag. Bernhard Hynek, Anton Neureiter, BSc., Mag. Stefan Reisenhofer (GeoSphere Austria)

**Abbildung 65:** Bildvergleich: Das Kleinfleißkees 2014 (links) und 2020 (rechts) (Fotos: GeoSphere Austria, fotowebcam.eu).



# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**-2700 mm w.e.**  
Jahresbilanz

**1028 mm w.e.**  
Winterbilanz

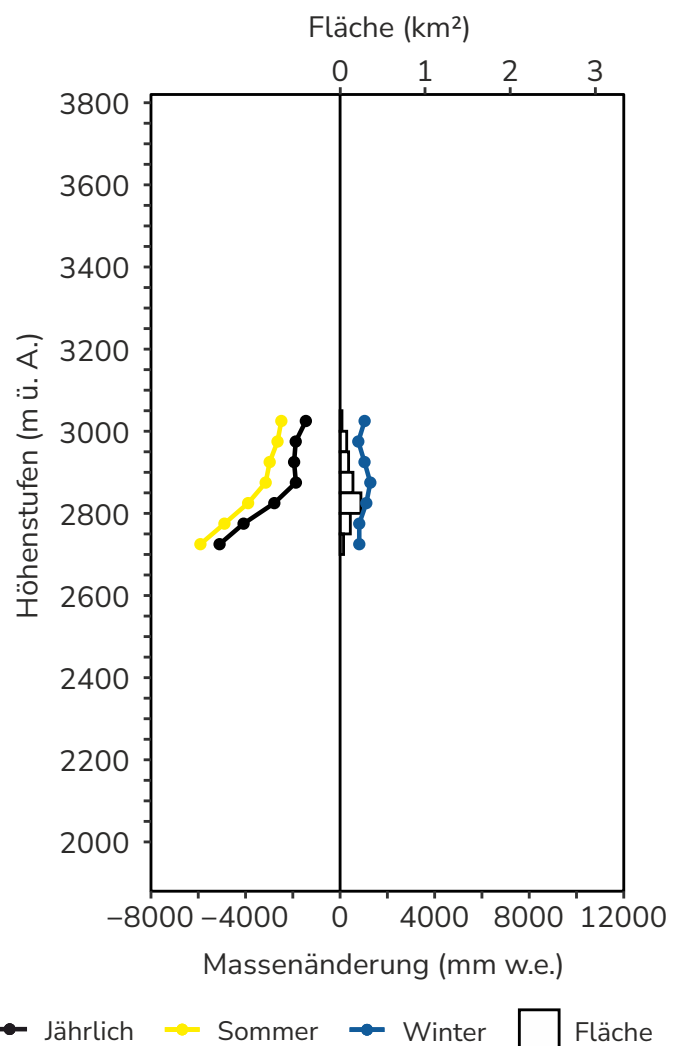
**-3728 mm w.e.**  
Sommerbilanz

**-\***  
ELA

**0,76 km<sup>2</sup>**  
Fläche

**0 %**  
AAR

Der Herbst und der Frühling des Haushaltsjahres 2021/2022 sind im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-1990 zu trocken ausgefallen, der Winter bilanziert hingegen ausgeglichen. Die Ablationsperiode zeichnete sich mit überdurchschnittlichen Temperaturniveau aus. Mai und Juni waren 4 °C zu warm, Juli und Oktober über 3 °C und der August um 2,4 °C (im Vergleich zur Klimanormalperiode 1996-1990). Nur der September war um 0,8 °C kälter als die Klimanormalperiode 1961-1990. Aufgrund der hohen Temperaturen fiel in den Sommermonaten nur sehr wenig Niederschlag als Schnee. Somit gab es fast keinen frischen Schnee, der durch die hohe Albedo den Untergrund vor weiterer Schmelze schützen hätte können. Die sehr hohen Temperaturen zu Beginn der Ablationsperiode und massiver Saharastaubeintrag Mitte März 2022 forcierten das Abschmelzen der Winterschneedecke. Zur Berechnung der Massenbilanz wurden drei Schächte gegraben und die Schneedichte sowie die Schneetemperatur erhoben (Abbildung 67). Die Schneehöhe wurde an rund 300 Punkten mit Sonden gemessen und ergab eine mittlere Schneehöhe von 260 cm. Aus den gemessenen Schneehöhen und



**Abbildung 66:** Das vertikale Bilanzprofil des Kleinfleißkeeses (50 m-Intervall) für das Haushaltsjahr 2021/22.

\*ELA befindet sich über dem höchsten Punkt des Gletschers.



den Schneedichten wurde der Massenzuwachs im Winter mit 1028 mm w.e. berechnet. Dieser Wert liegt 33 % unter dem 10-jährigen Mittel (1538 mm w.e.). Der mittlere Massenzuwachs am Ende der Akkumulationsperiode beträgt über die gesamte Zeitreihe 1454 mm w.e.

Für die genaue Berechnung der Jahresmassenbilanz werden, zusätzlich zu den Punktmessungen an zwölf Ablationspegeln (Abbildung 67), auch Fotos der automatischen Kameras herangezogen. Der Verlust der Massenbilanz lag weit unter dem langjährigen Mittel. Mit -2700 mm w.e. wurde der größte Massenverlust seit Beginn der Messreihe verzeichnet (Abbildung 66). Deutlich macht das auch der Vergleich mit den letzten 10 Jahren, für die der mittlere Massenverlust -760 mm w.e. beträgt, der Wert über die komplette Zeitreihe liegt bei -659 mm w.e. Zurückzuführen ist das auf die stark erhöhten Schmelzraten, die um das 3,5-fache höher waren als die der vorangehenden Jahre.

Da kein Winterschnee die Ablationsperiode überdauerte, liegt die ELA über dem Gipfelniveau. Somit ist die AAR für das Massenbilanzjahr 2021/2022

Null. Der Vergleich mit der durchschnittlichen ELA der letzten zehn Jahre ist insofern schwierig, als in dieser Periode vier Jahre dabei sind, in denen die ELA über dem Gipfelniveau lag. Die mittlere AAR betrug über die letzten zehn Jahre 26 %.

**AutorInnen:** Dr. Marion Greiling, Mag. Bernhard Hynek, Anton Neureiter, Bsc., Mag. Stefan Reisenhofer (GeoSphere Austria)

### ► Massenbilanz DATEN Kleinfleißkees

**Datengeber:** GeoSphere Austria

**Fördergeber:** Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

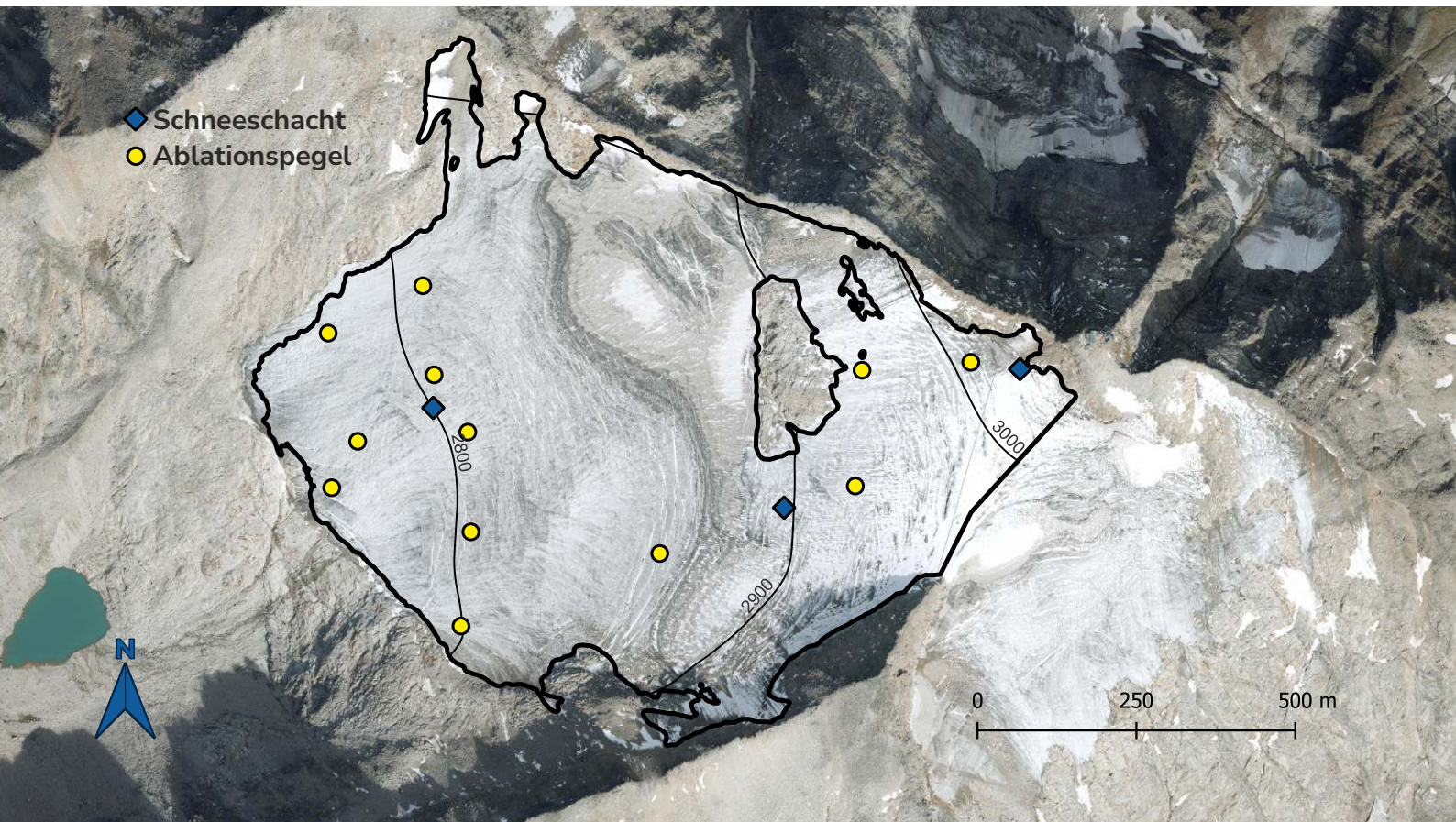
**Massenbilanzdaten:**

**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland. <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>.



**Bundesministerium**  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

**Abbildung 67:** Oberflächentopografie und Messnetz des Kleinfleißkeeses (Umriss (2022): GeoSphere Austria; Höhenlinien (2015): www.geoland.at; Orthofoto (2018): Land Kärnten - data.gv.at KAGIS).





# GOLDBERGKEES

47° 2' 34" N/12° 58' 4" O

Höhenlage: 3100 - 2370 m ü. A.

Exposition: Süd bis Nordost

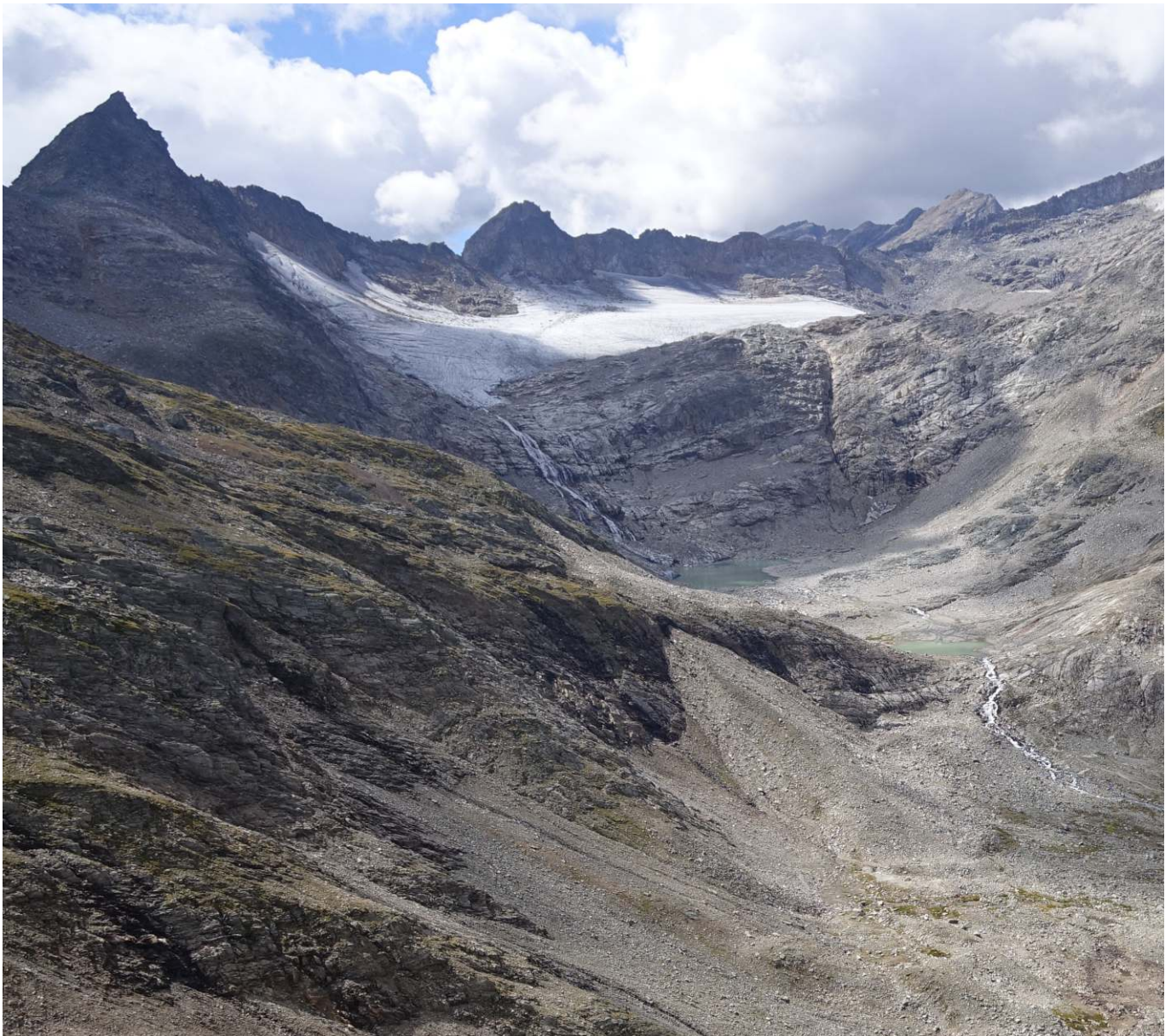
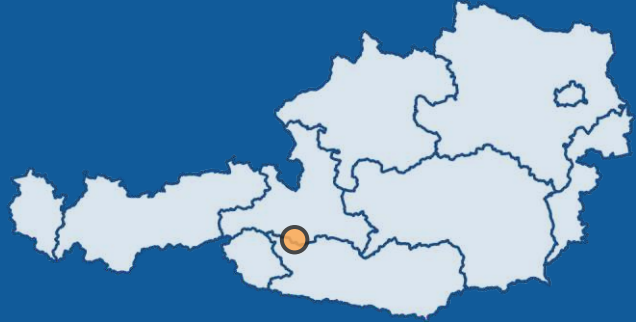


Foto: Goldbergkees, GeoSphere Austria 2022

# seit 1988/89

Beginn der  
Massenbilanzmessungen am  
Goldbergkees

## 7

Anzahl der positiven  
Haushaltsjahre seit 1988/89

## 27

Anzahl der negativen  
Haushaltsjahre seit 1988/89


Das Goldbergkees liegt nördlich des Alpenhauptkammes und ist über die Goldbergsscharte am Alpenhauptkamm mit dem Kleinfleißkees verbunden. Der Gletscher ist mittlerweile in 3 Teile zerfallen, die „oberer“, „mittlerer“ und „unterer Boden“ bezeichnet werden. Die Verbindung zw. oberem und mittlerem Boden ist Ende der 1960er Jahre abgerissen, die zwischen mittlerem und unterem Boden hingegen erst 2010/2011. Die gesamte Gletscherfläche betrug selbst zum Maximalstand 1850 weniger als 4 km<sup>2</sup> und erstreckten sich grob von 2200 bis 3100 m. ü. A. Das Goldbergkees ist mit 0,86 km<sup>2</sup>, im Vergleich zum Kleinfleißkees und Wurtenkees, der flächenmäßig größte der untersuchten Gletscher in der Goldberggruppe und erstreckt sich auf ca. 1,5 km Länge von 2370 bis 3060 m. ü. A.

Das Goldbergkees ist ein weiterer Gletscher der Goldberggruppe, neben dem Wurtenkees und dem Kleinfleißkees, der aufgrund der Nähe zum Sonnblick Observatorium, ein intensives glaziologisches Messprogramm aufweist. Wie schon beim Kleinfleißkees erläutert, reichen die Anfänge des Gletschermonitorings zurück bis ins 19. Jahrhundert. Am Goldbergkees werden seit 1988/89 Massenbilanzmessungen mittels der direkten glaziologischen Methode durchgeführt (Abbildung 68 und 69). Dabei wird sowohl die Jahresbilanz als auch die Winterbilanz erhoben. Die Messungen der Massenbilanz, aber auch die Längenmessungen und Fotodokumentationen wurden von der Gruppe um Ingeborg Auer, Reinhard Böhm und Wolfgang Schöner an der Zentralanstalt für Meteorologie und

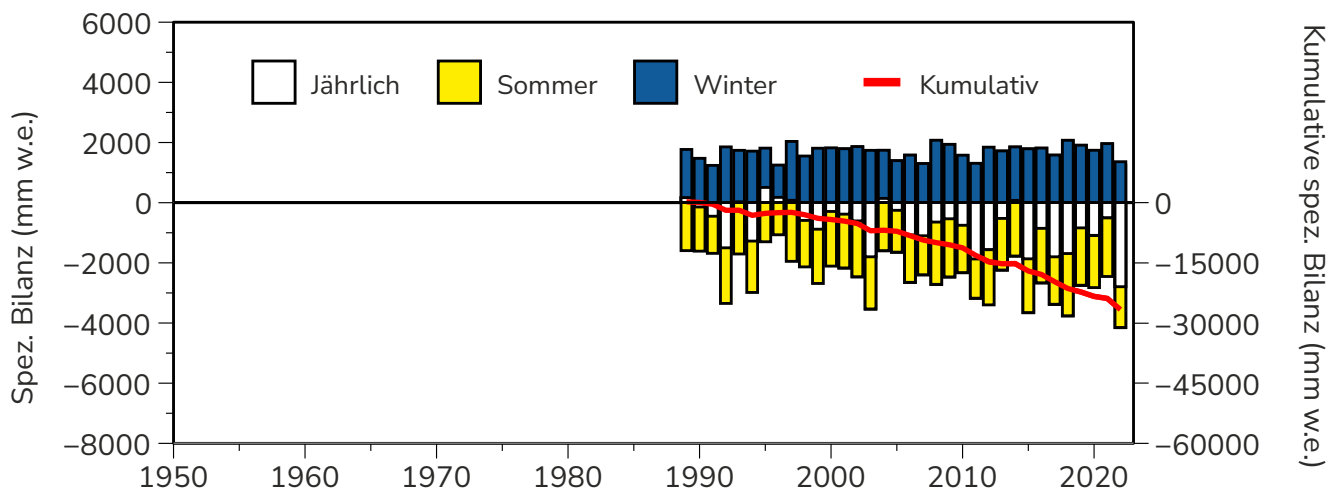
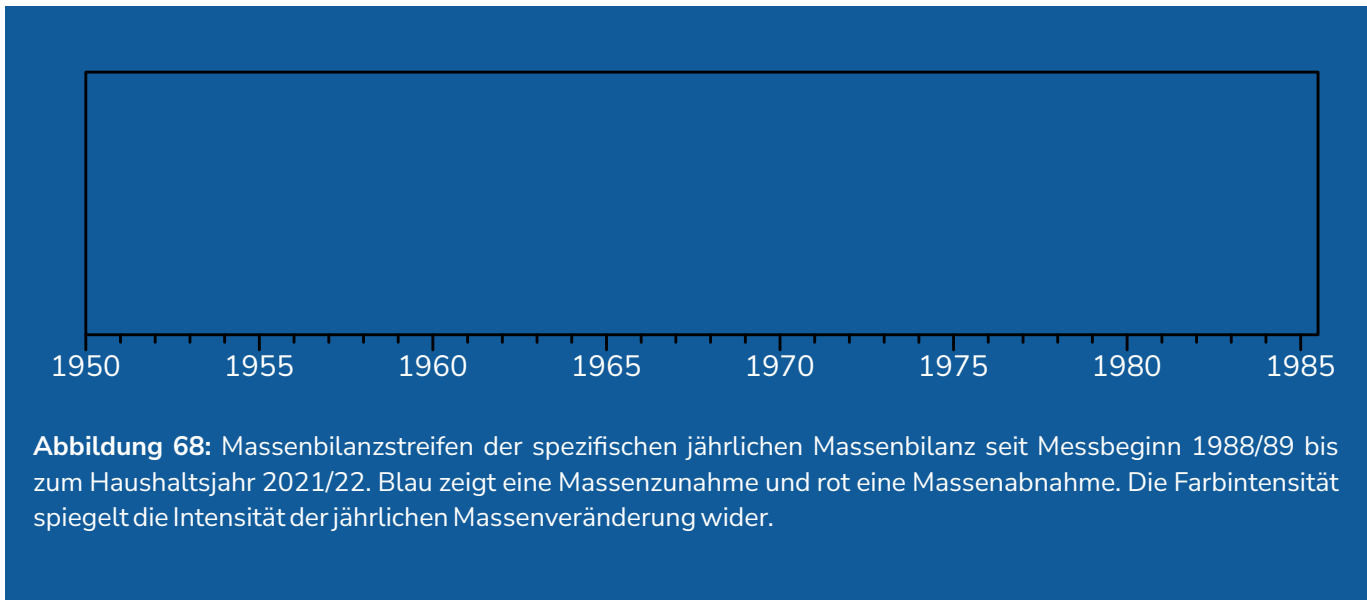
Geodynamik initialisiert und über die Jahre durch viele beteiligte Personen und Organisationen stetig ausgebaut und erweitert. Aktuell wird das Monitoringprogramm von den Nachfolgerinnen und Nachfolgern der Gruppe an der GeoSphere Austria weitergeführt.

Insgesamt hat das Goldbergkees seit Messbeginn 24904 mm w.e. an Masse verloren. Vergleicht man den summierten spezifischen Massenverlust pro Jahrzehnt, sieht man, dass der Massenverlust über die letzten drei Dekaden jeweils um ca. -4000 mm w.e. angestiegen ist. In den 2010er Jahren lag der summierte spezifische Massenverlust bei -12000 mm w.e. Die AAR betrug zu Beginn der Messreihe 43 % und ist aktuell auf 14 % zurückgegangen (Abbildung 70). Die Lage der ELA liegt immer öfter oberhalb des Gletschers, wodurch keine Rücklagen gebildet werden (Abbildung 70).

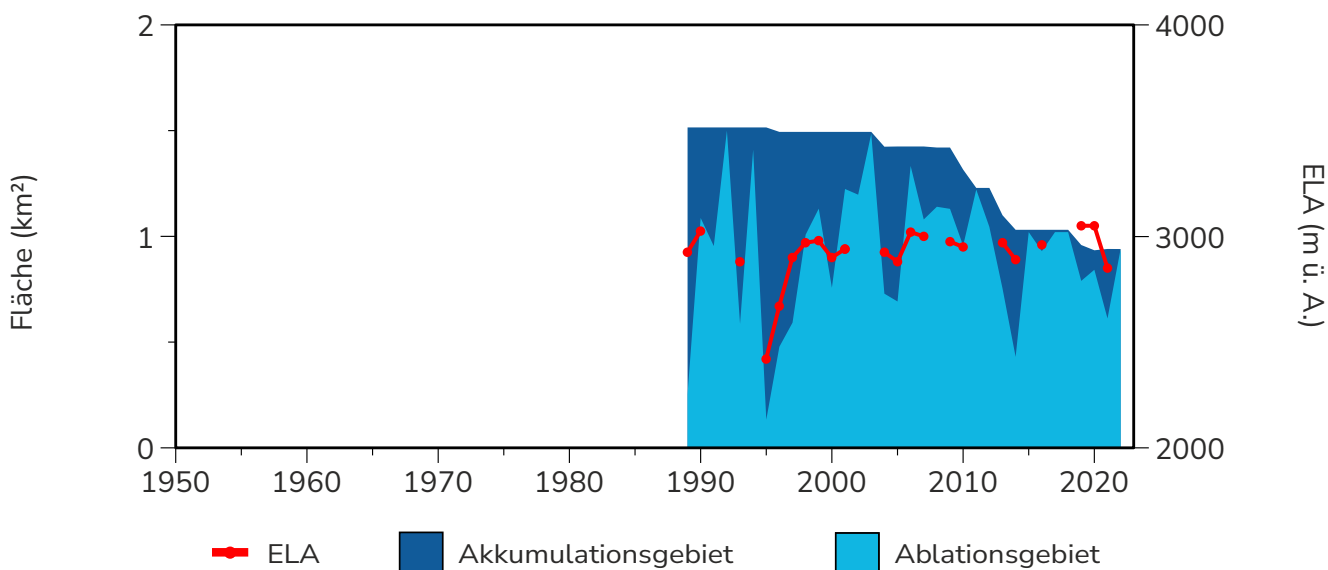
Auch hier sei darauf hingewiesen, dass die über Jahre gleichbleibenden Gletscherflächen in Abbildung 70 dadurch erklärt werden können, dass nicht alle Jahre die exakte Gletscherfläche vermessen wird. Diese wurde in den vergangenen Jahren auf Basis der Befliegungen des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen alle 4-6 Jahre angepasst. In den letzten Jahren konnte durch hauseigene Drohnenbefliegungen und neue methodische Ansätze eine jährliche Aktualisierung der Gletscherflächen erzielt werden.

 **AutorInnen:** Dr. Marion Greiling, Mag. Bernhard Hynek, Anton Neureiter, BSc., Mag. Stefan Reisenhofer (GeoSphere Austria)





**Abbildung 69:** Jährliche spezifische und kumulierte Massenbilanz seit Messbeginn.



**Abbildung 70:** Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Akkumulations- und Ablationsgebiet an der Gesamtfläche und Schwankungen der ELA seit Messbeginn. Die Unterbrechung in der Linie bedeutet, dass die ELA in diesem Jahr oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers lag.

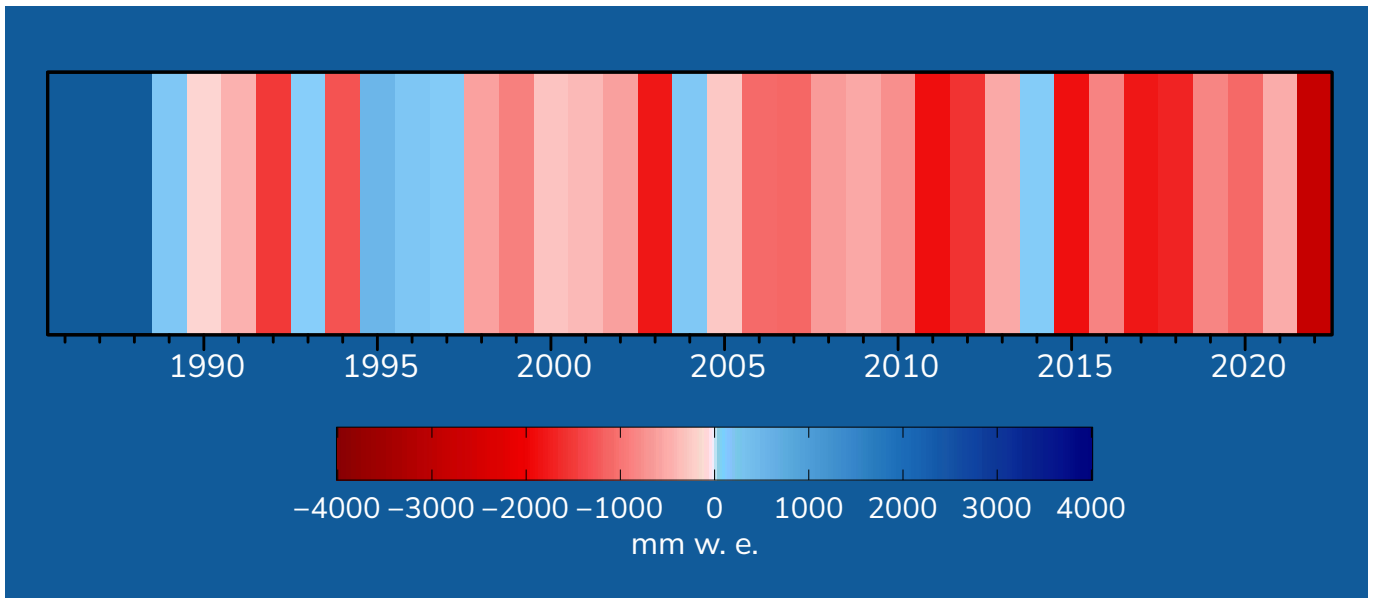
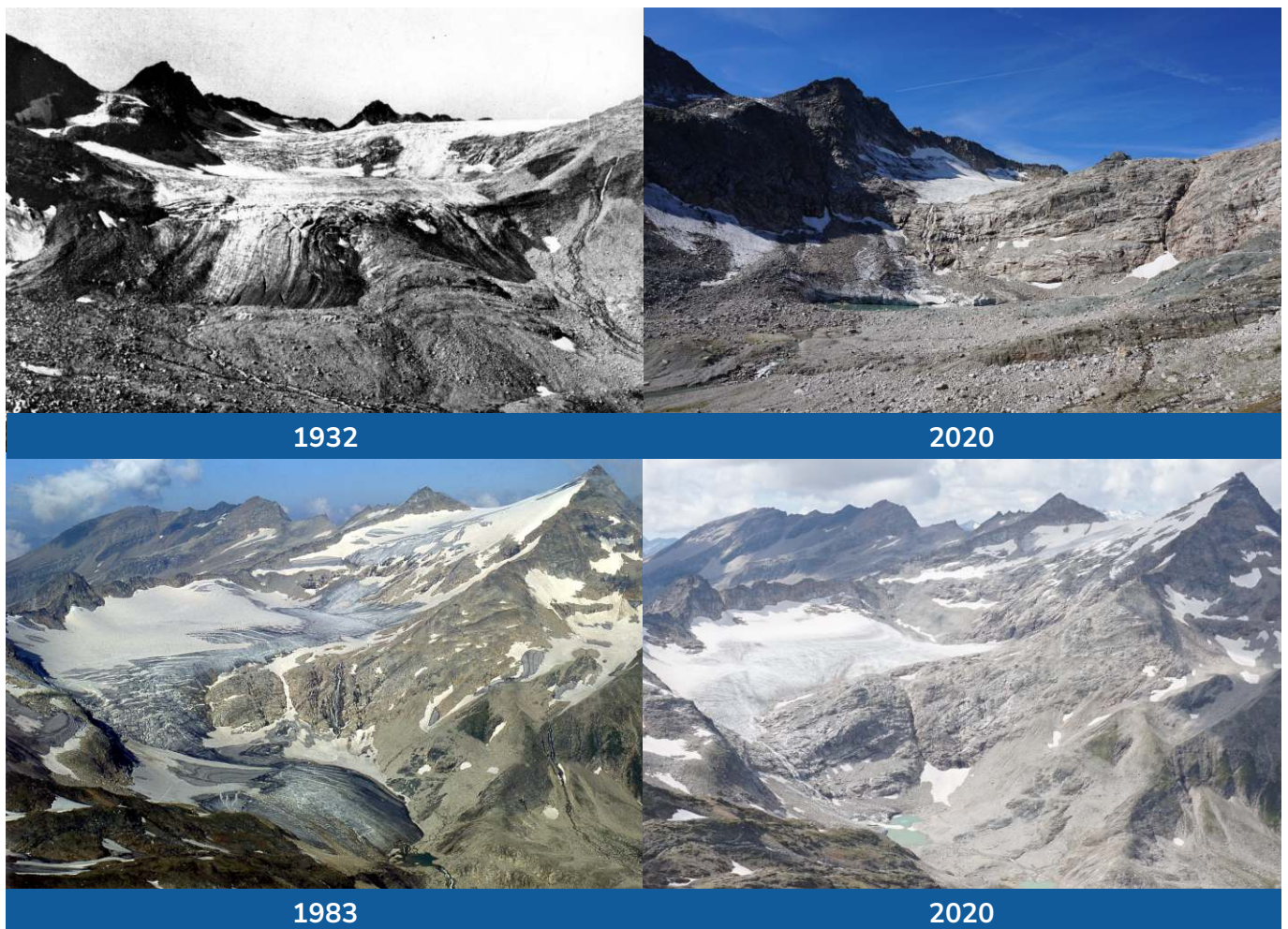


Abbildung 71: Bildvergleich: Der Goldbergkees 1932 und 2020 (oben) und 1983 und 2020 (unten) (Fotos: GeoSphere Austria).



# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**-2800 mm w.e.**  
Jahresbilanz

**1355 mm w.e.**  
Winterbilanz

**-4155 mm w.e.**  
Sommerbilanz

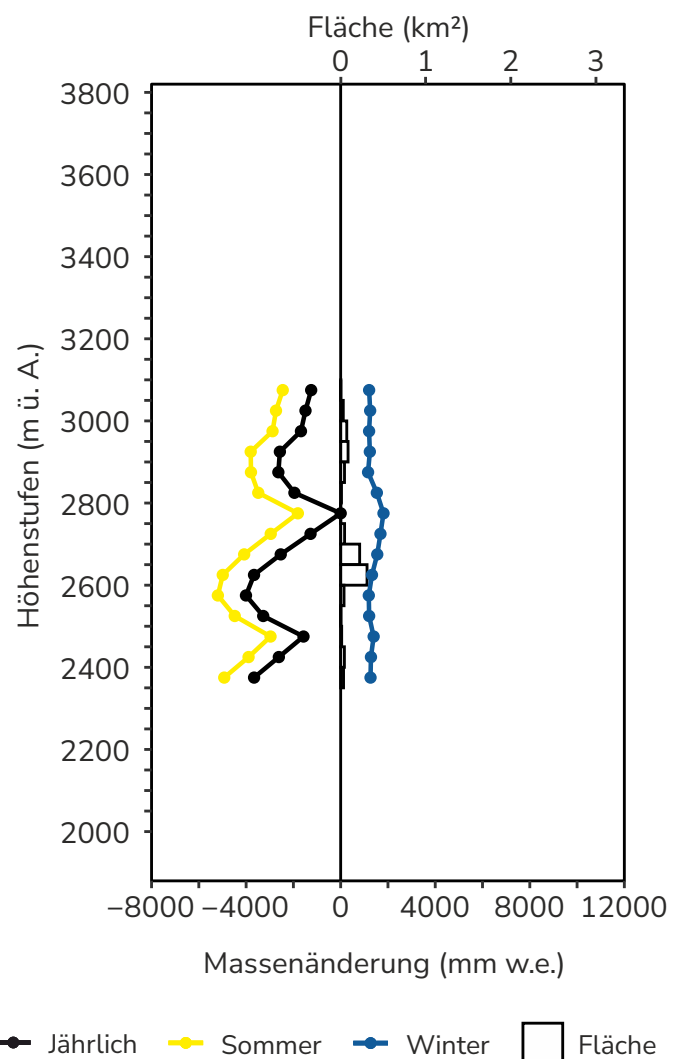
**-\***  
ELA

**0,94 km<sup>2</sup>**  
Fläche

**0 %**  
AAR

Der Witterungsverlauf des Haushaltsjahrs 2021/22 für die Gletscher der Goldberggruppe wurde bereits beim Kleinfleißkees ausführlich beschrieben. Aufgrund des niederschlagsarmen Herbstes und Frühlings fiel der Massenzugewinn im Winter geringer aus als in den Jahren zuvor. Dazu kam eine deutlich zu warme Ablationsperiode mit einem überdurchschnittlich hohen Temperaturniveau im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-1990. Dadurch fiel in den Sommermonaten nur sehr wenig Niederschlag in Form von Schnee, wodurch sich keine strahlungsabschirmende weiße Oberfläche ausbilden konnte. Das, zusammen mit den hohen Temperaturen und einem massiven Saharastaubeintrag Mitte März 2022, forcierte das Abschmelzen der Winterschneedecke. Zur Berechnung der Massenbilanz wurden vier Schächte (Abbildung 73) gegraben und die Schneedichte sowie die Schneetemperatur erhoben. Die Schneehöhe wurde an rund 250 Sondierungspunkten gemessen und ergab eine mittlere Schneehöhe von 330 cm. Aus den gemessenen Schneehöhen und den Schneedichten wurde der Massenzuwachs im Winter mit 1355 mm w.e berechnet. Dieser Wert liegt 25 % unter dem 10-jährigen Mittel (1815 mm w.e.). Der

**Abbildung 72:** Das vertikale Bilanzprofil des Goldbergkeeses (50 m-Intervall) für das Haushaltsjahr 2021/22.



\*ELA befindet sich über dem höchsten Punkt des Gletschers.



mittlere Massenzuwachs am Ende der Akkumulationsperiode beträgt über die gesamte Zeitreihe 1700 mm w.e. Für die genaue Berechnung der Jahresmassenbilanz werden, zusätzlich zu den Punktmessungen an 14 Ablationspegeln (Abbildung 73), auch Fotos der automatischen Kameras herangezogen.

Der Verlust der Massenbilanz lag, wie schon am Kleinfleißkees, weit unter dem langjährigen Mittel und ergab mit -2800 mm w.e. den größten Massenverlust seit Beginn der Messreihe (Abbildung 72). Der mittlere Massenverlust über die letzten 10 Jahren lag hingegen bei -1000 mm w.e., der Wert über die komplette Zeitreihe liegt bei -724 mm w.e. Zurückzuführen ist das auf die stark erhöhten Schmelzraten, die um das 2,6-fache höher waren als in den vorangehenden Jahren. Da auch hier kein Winterschnee die Ablationsperiode überdauerte, liegt die ELA über dem Gipfelniveau. Somit ist die

AAR für das Massenbilanzjahr 2021/2022 Null. Der Vergleich mit der durchschnittlichen ELA der letzten 10 Jahre gestaltet sich auch hier schwierig, da in mehreren Jahren die ELA über dem Gipfelniveau lag.

**AutorInnen:** Dr. Marion Greiling, Mag. Bernhard Hynek, Anton Neureiter, BSc., Mag. Stefan Reisenhofer (GeoSphere Austria)

### ► Massenbilanz DATEN Goldbergkees

**Datengeber:** GeoSphere Austria

**Fördergeber:** Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

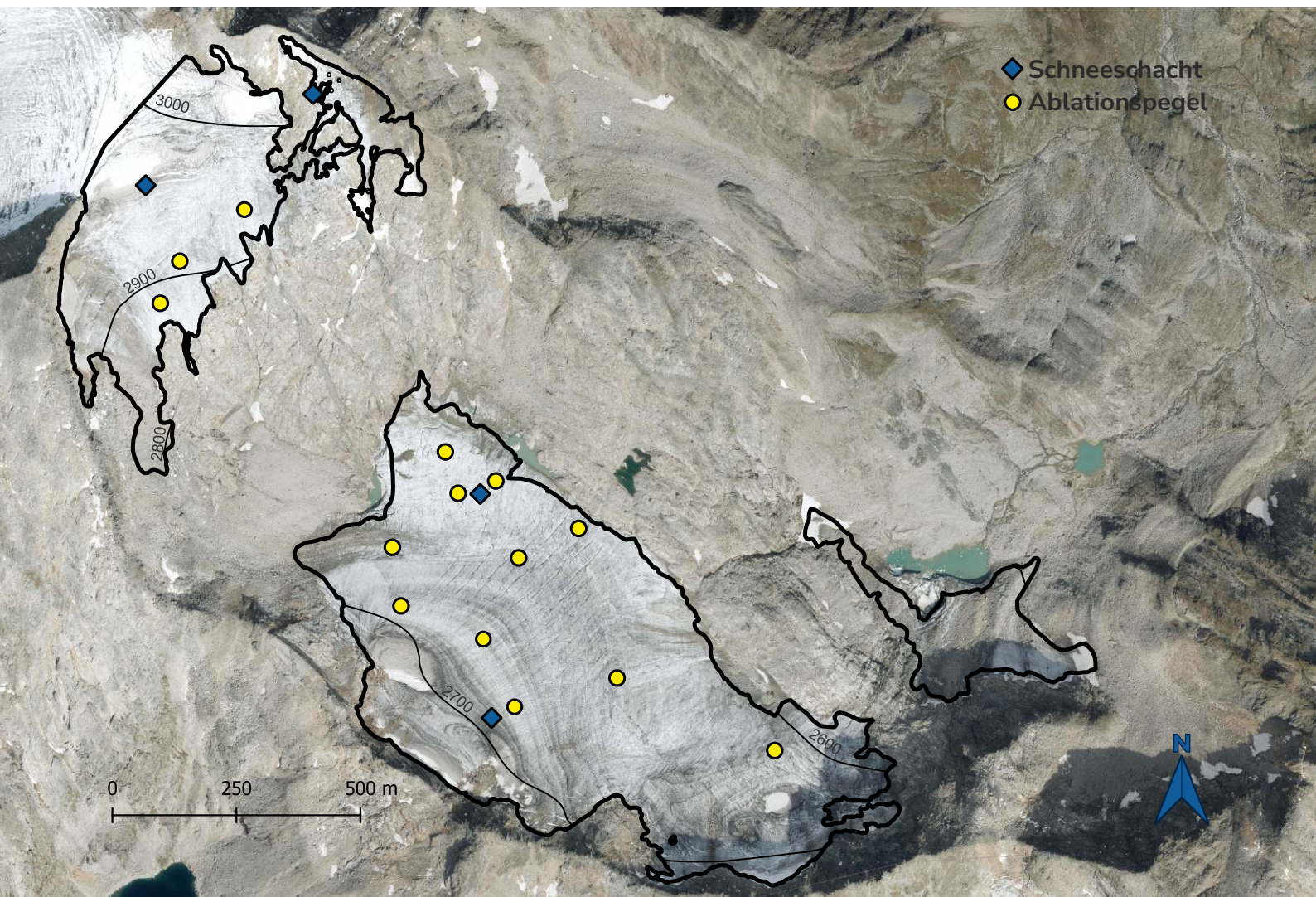
**Massenbilanzdaten:**

**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland. <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>.



**Bundesministerium**  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

**Abbildung 73:** Oberflächentopografie und Messnetz des Goldbergkeeses (Umriss (2022): GeoSphere Austria; Höhenlinien (2015): www.geoland.at; Orthofoto (2018): Land Kärnten - data.gv.at KAGIS).





# WURTENKEES

47° 2' 11" N/13° 1' 42" O

Höhenlage: 3120 - 2550 m ü. A.

Exposition: Südwest bis Süd

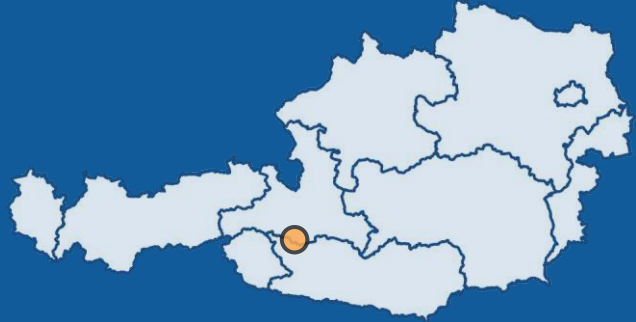


Foto: Wurtenkees, GeoSphere Austria 2022

# seit 1982/83

Beginn der  
Massenbilanzmessungen am  
Wurtenkees

## 1

Anzahl der positiven  
Haushaltsjahre seit 1982/83

## 39

Anzahl der negativen  
Haushaltsjahre seit 1982/83

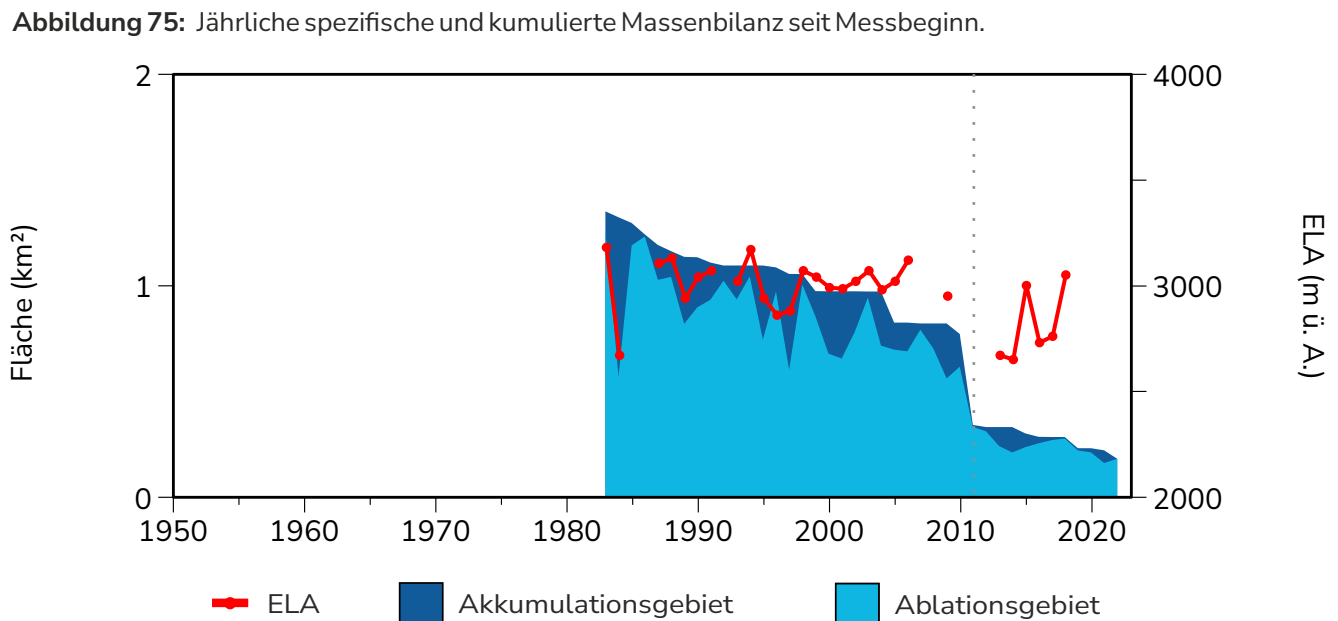
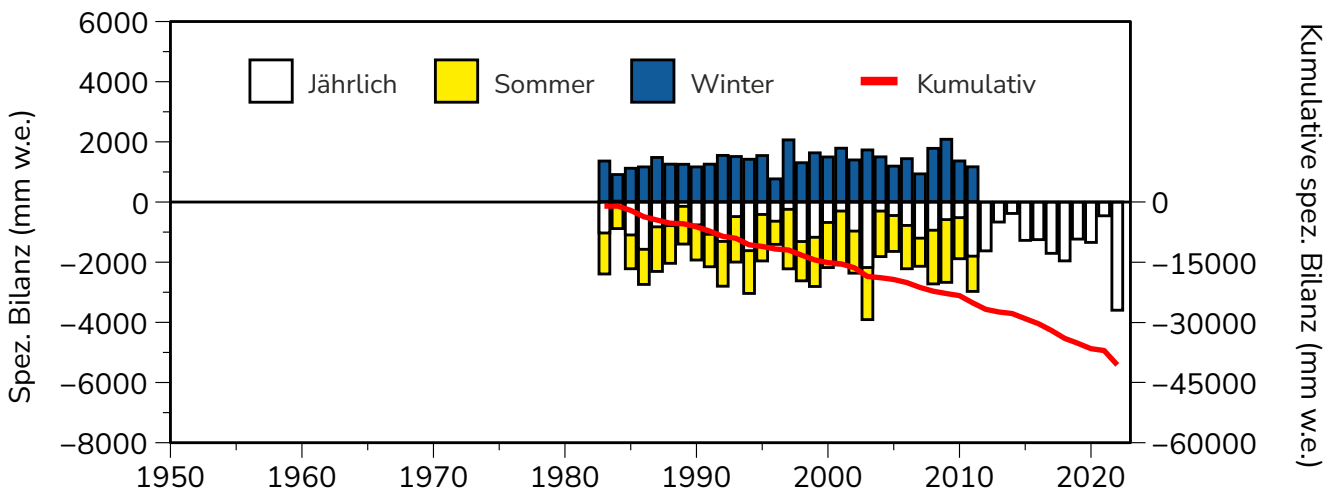
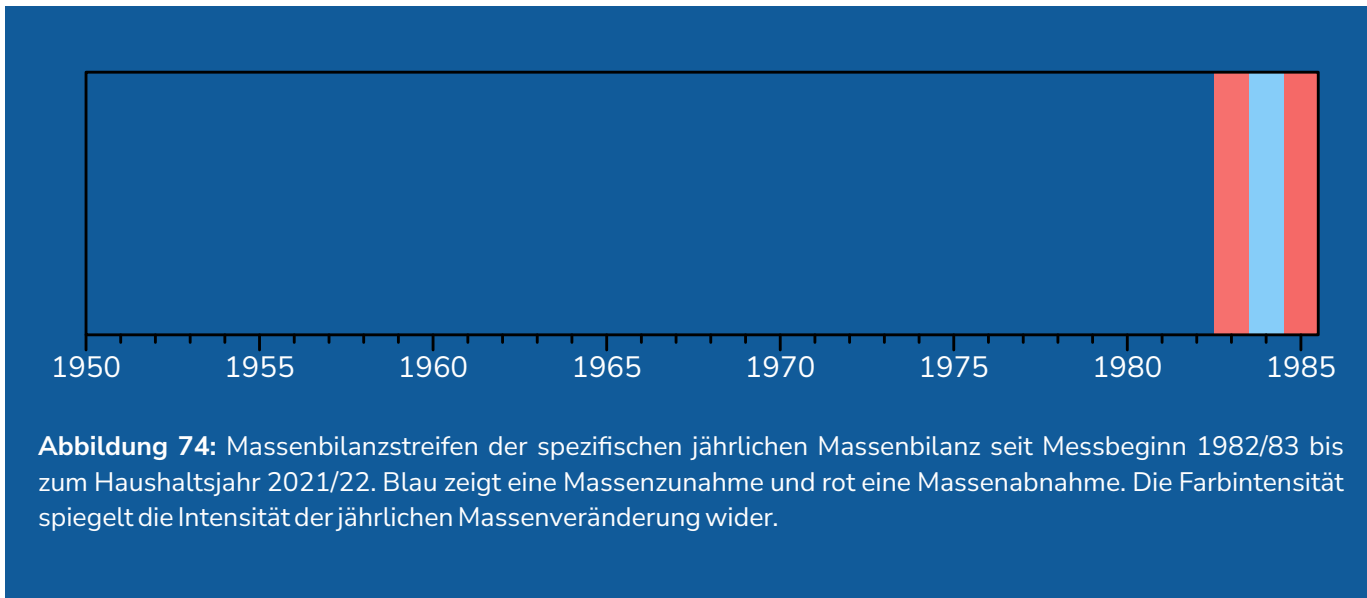
Das Wurtenkees entsprach ursprünglich einem alpinen Talgletscher, der von zwei Firngebieten vom Schareck und Alteck gespeist wurde und eine gut ausgeprägte Gletscherzunge hatte. Aufgrund der starken Abschmelzung über die letzten Jahre und Jahrzehnte ist der Gletscher in einem sehr weit fortgeschrittenen Zerfallsstadium. Bereits 1976 zerfiel das Wurtenkees in zwei Teilgletscher, den Schareck-Teilgletscher oder „östliches Wurtenkees“ und den Alteck-Teilgletscher oder „westliches Wurtenkees“. 1990 zerfiel dann der Schareck-Teilgletscher nochmals in zwei Teile, das „obere“ und „untere Wurtenkees“, getrennt durch eine steile Felspartie zw. 2700 und 2850 m ü. A. Die Gletscherfläche betrug selbst zum Maximalstand 1850 weniger als 4 km<sup>2</sup> und erstreckten sich grob von 2.400 bis 3.100 m. ü. A. Im Jahr 2022 umfasste die Fläche 0,46 km<sup>2</sup> mit einer Gletscherlänge von 1,2 km zwischen 2550 bis 3100 m ü. A.

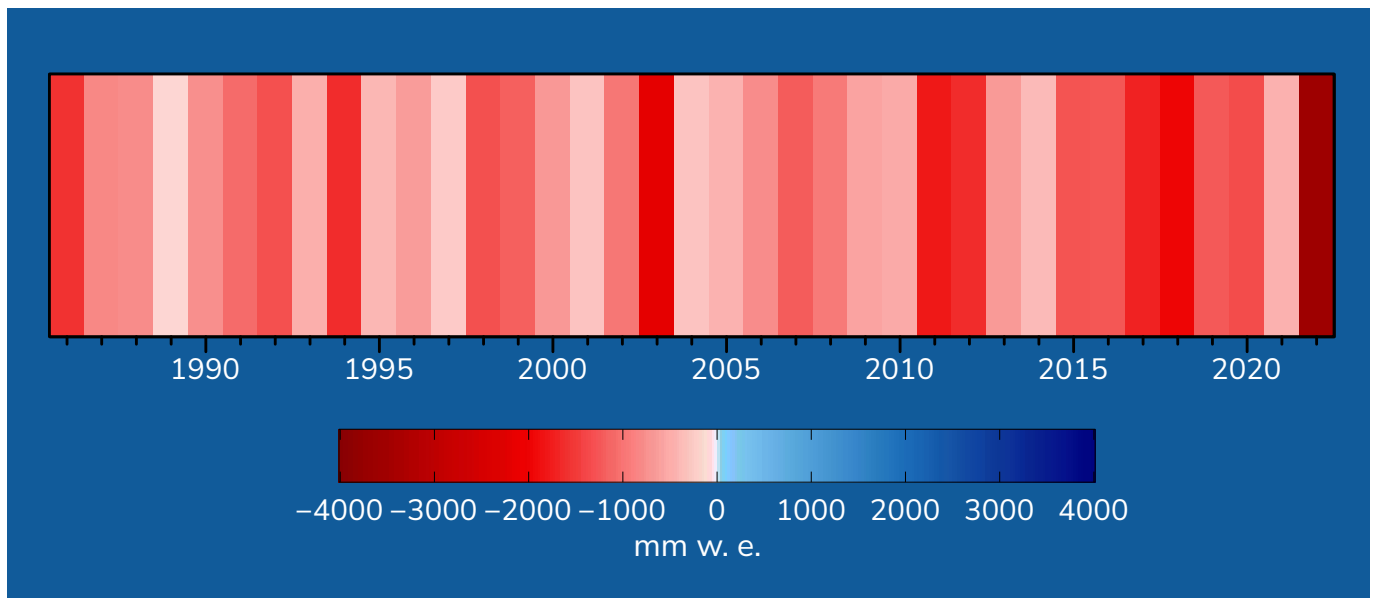
Das Wurtenkees weist neben dem Goldbergkees und dem Kleinfleißkees, aufgrund der Nähe zum Sonnblick-Observatorium, ein intensives glaziologisches Messprogramm auf. Wie schon beim Kleinfleißkees im Detail erläutert, reichen auch hier die Anfänge des Gletschermonitorings zurück bis ins 19. Jahrhundert. Später intensivierte die Gruppe um Ingeborg Auer, Reinhard Böhm, Norbert Hammer und Wolfgang Schöner an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik bereits 1981 die Messtätigkeit am Wurtenkees, mit Fokus auf die Erfassung der Massenbilanz nach der glaziologischen Methode (Abbildung 74 und 75). Somit ist die Massenbilanzzeitreihe des Wurtenkees die längste

der drei „Goldberggletscher“. In den 1980er Jahren wurde nur der Schareck-Teilgletscher vermessen, da der Alteck-Teilgletscher aufgrund der Lawinengefahr für die Winterbilanzmessungen nur schwer zugänglich war und die Ergebnisse zudem nicht nur von natürlichen Faktoren, sondern auch vom Stausee Hochwurten beeinflusst gewesen wären. Nachdem 1990 der Schareck-Teilgletscher in das „obere Wurtenkees“ und „untere Wurtenkees“ zerfallen war, wurde 2011/2012 im oberen Bereich die Messung der Massenbilanz mittels der direkten glaziologischen Methode eingestellt und nur mehr am unteren Teil weitergeführt. Grund war vor allem die Intensivierung der künstlichen Beschneigung im Mölltaler Gletscherschigebiet, die einen Einfluss vor allem im oberen Bereich mit sich brachte. In Anlehnung an die Daten des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen wird jedoch die geodätische Massenbilanz vom oberen Teil regelmäßig ausgewertet. Am „unteren Wurtenkees“ wird die Massenbilanz immer noch durch die direkte glaziologische Methode bestimmt, allerdings seit 2013/14 nur mehr in Form der Jahresmassenbilanz.

Zur Durchführung der zum Teil aufwändigen Messungen haben über die Jahre viele Personen und Organisationen mitgewirkt, unter anderem die Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW), das Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien, die Kärntner Elektrizität AG (KELAG), das Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur, der Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) sowie die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik







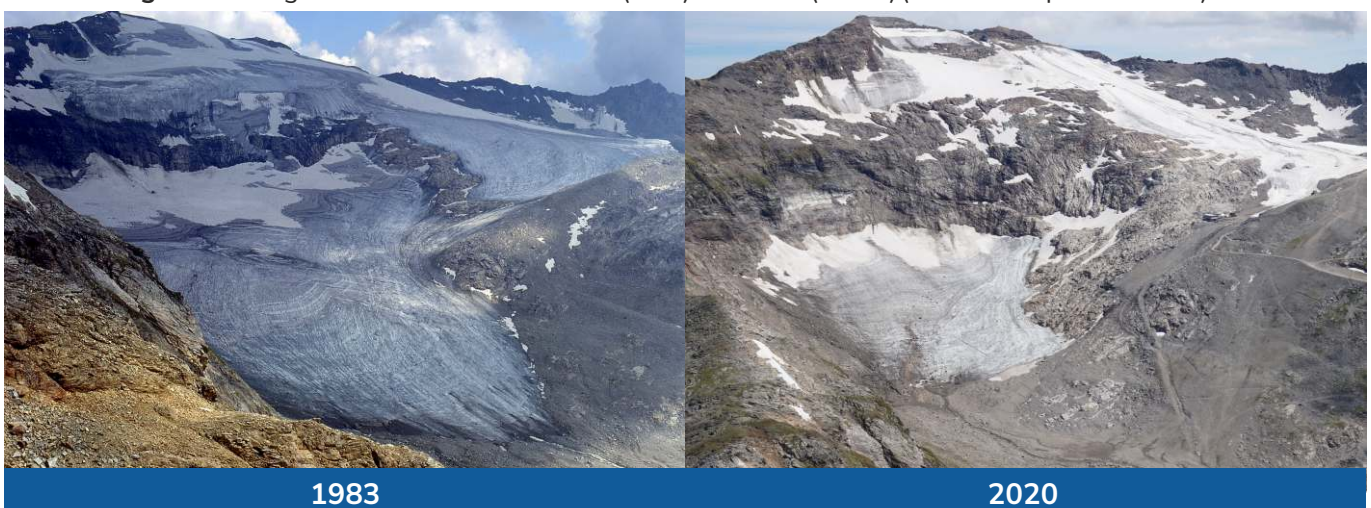
(ZAMG). Aktuell werden die Messungen durch die Nachfolgerinnen und Nachfolger der Gruppe von Ingeborg Auer, Reinhard Böhm und Wolfgang Schöner an der GeoSphere Austria, als Rechtsnachfolge der ZAMG, weitergeführt.

Das Würtenkees, genauer der Scharek-Teilgletscher oder das „östliche Würtenkees“ verlor in der Messperiode 37378 mm w.e. Ein Vergleich über die gesamte Messreihe gestaltet sich jedoch schwierig. Von 1983 bis 2010 wurde der komplette Gletscher in die Messungen mit einbezogen. Ab 2011 wurde, nachdem der Scharek-Teilgletschers 1990 in das „obere“ und „untere Würtenkees“ zerfallen ist, nur mehr der untere Teil vermessen (Abbildung 76, graue strichlierte Linie). Die Massenbilanz des oberen Teils ist durch die Beschneigung vom Gletscherschichtgebiet zu sehr beeinflusst. Zudem wurden ab 2013/14 nur mehr die Jahresmassenbilanz erhoben und keine saisonalen Massenbilanzen. Der Flächenanteil des Akkumulationsgebietes an der

Gesamtgletscherfläche (AAR) betrug zu Beginn der Messreihe 18 % und ist auf 12 % zurückgegangen (Abbildung 76). Die Lage der Gleichgewichtslinie liegt immer öfter oberhalb des Gletschers, was bedeutet, dass keine Rücklagen gebildet werden (Abbildung 76). Wie auch schon beim Kleinfleißkees und Goldbergkees, sei auch hier darauf hingewiesen, dass die über Jahre gleichbleibenden Gletscherflächen in Abbildung 76 dadurch erklärt werden können, dass nicht alle Jahre die exakte Gletscherfläche vermessen wird. Diese wurde in den vergangenen Jahren auf Basis der Befliegungen des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen alle 4-6 Jahre angepasst. In den letzten Jahren konnte durch hauseigene Drohnenbefliegungen und neue methodische Ansätze eine jährliche Aktualisierung der Gletscherflächen erzielt werden.

**AutorInnen:** Dr. Marion Greiling, Mag. Bernhard Hynek, Anton Neureiter, BSc., Mag. Stefan Reisenhofer (GeoSphere Austria)

**Abbildung 77:** Bildvergleich: Der Würtenkees 1983 (links) und 2020 (rechts) (Fotos: GeoSphere Austria).



# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**-3596 mm w.e.**

Jahresbilanz

**-\***  
Winterbilanz

**-\***  
Sommerbilanz

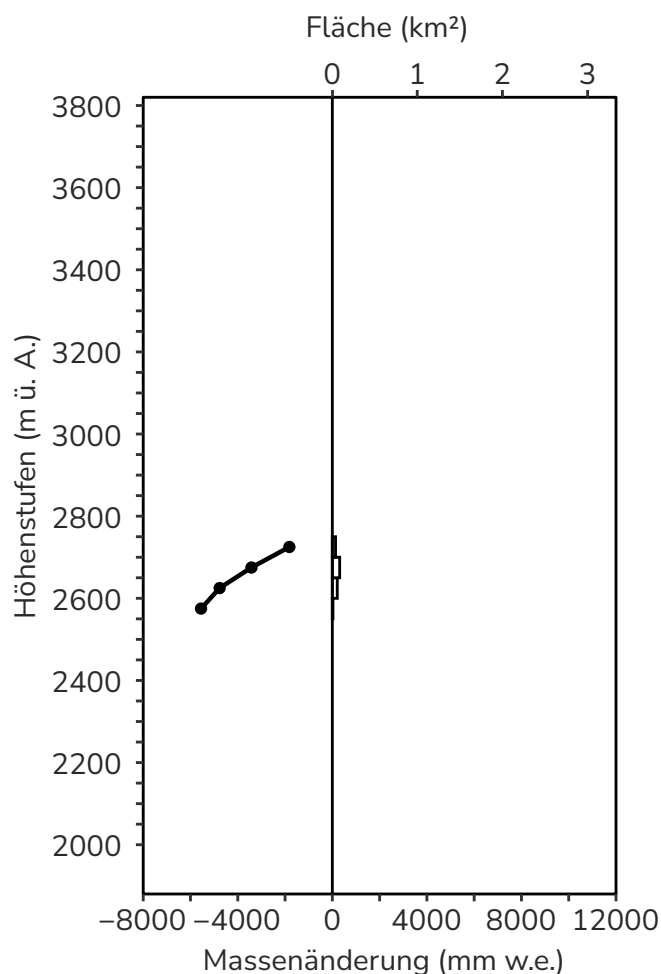
**-\*\***  
ELA

**0,18 km<sup>2</sup>**  
Fläche

**0 %**  
AAR

Der Witterungsverlauf des Haushaltsjahrs 2021/22 für die Gletscher der Goldberggruppe wurde bereits beim Kleinfleißkees ausführlich beschrieben. Auch am Wurtenkees führten die unterdurchschnittlichen Schneemenge am Ende der Akkumulationsperiode und die überdurchschnittlich warmen Temperaturen sowie der zusätzliche Antrieb der Abschmelzung durch den massiven Saharastaubeintrag im März zu den größten Masseverlusten der Messreihe.

Für die genaue Berechnung der Jahresmassenbilanz werden, zusätzlich zu den Punktmessungen an sieben Ablationspegeln (Abbildung 79), auch Fotos der automatischen Kameras herangezogen. Der Verlust der Massenbilanz lag, wie auch bei den anderen Gletschern der Goldberggruppe, weit unter dem langjährigen Mittel und ergab mit -3596 mm w.e. den größten Massenverlust seit Beginn der Messreihe verzeichnet (Abbildung 78). Der mittlere Massenverlust über die letzten 10 Jahren lag bei -1187 mm w.e., der Wert über die komplette Zeitreihe bei -724 mm w.e. Zurückzufüh-



**Abbildung 78:** Das vertikale Bilanzprofil des Wurtenkeeses (50 m-Intervall) für das Haushaltsjahr 2021/22.

\*Für diesen Gletscher wird die Jahresbilanz erhoben und nicht die Bilanz getrennt nach Sommer und Winter.

\*\*ELA befindet sich über dem höchsten Punkt des Gletschers.



ren ist das auf die stark erhöhten Schmelzraten im Vergleich zu den vorangehenden Jahren.

Da auch am Wurtenkees kein Winterschnee die Ablationsperiode überdauerte, liegt die ELA über dem Gipfelniveau. Somit ist die AAR für das Massenbilanzjahr 2021/2022 Null. Der Vergleich mit der durchschnittlichen ELA der letzten 10 Jahre gestaltet sich auch hier schwierig, da in mehreren Jahren die ELA über dem Gipfelniveau lag. Die mittlere AAR betrug über die letzten 10 Jahre 17 %. Ein Mittelwert über die gesamte Messreihe kann nicht sinnvoll angegeben werden, da ab 2011/12 nur mehr der untere Teil vermessen wurde.

**AutorInnen:** Dr. Marion Greiling, Mag. Bernhard Hynek, Anton Neureiter, Bsc., Mag. Stefan Reisenhofer (GeoSphere Austria)

### ► Massenbilanz DATEN Wurtenkees

**Datengeber:** GeoSphere Austria

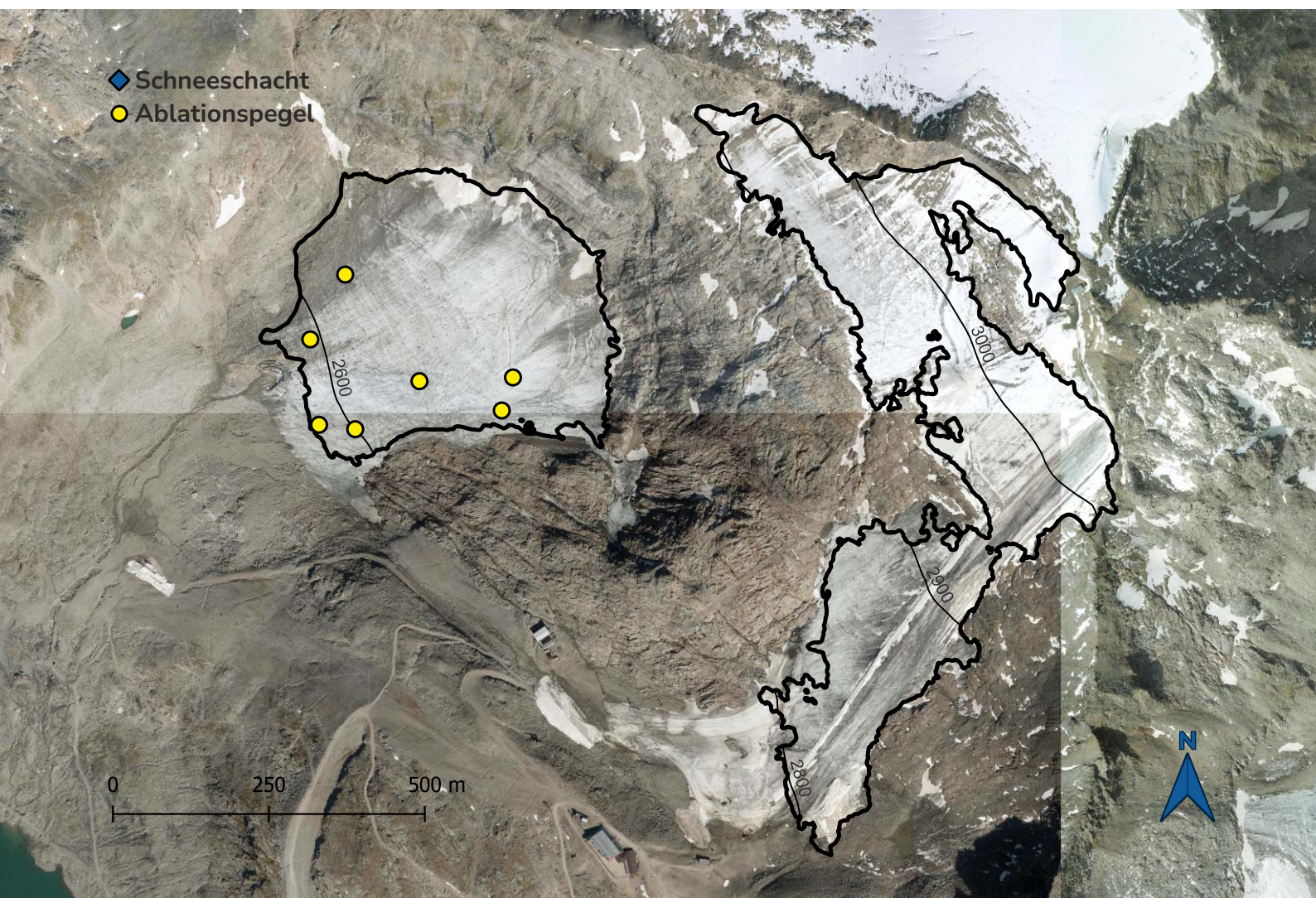
**Fördergeber:** GeoSphere Austria

**Massenbilanzdaten:**

**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland. <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>.



**Abbildung 79:** Oberflächentopografie und Messnetz des Wurtenkeeses (Umriss (2022): GeoSphere Austria; Höhenlinien (2015): [www.geoland.at](http://www.geoland.at); Orthofoto (2018): Land Kärnten - [data.gv.at](http://data.gv.at) KAGIS).





# HALLSTÄTTER GLETSCHER

47° 28' 50" N/13° 36' 50" O

Höhenlage: 2875 - 2270 m ü. A.

Exposition: Nord bis Nordost

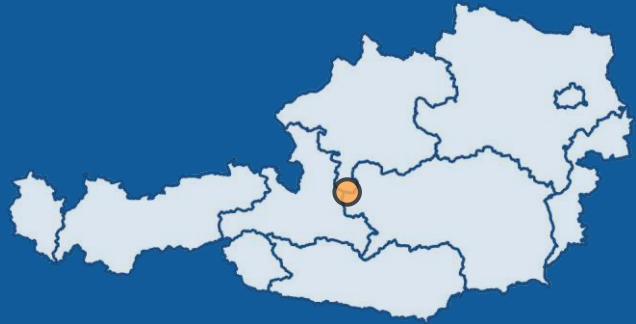


Foto: Hallstätter Gletscher, Blueskywetter.com 2022

seit **2006/07**

Beginn der  
Massenbilanzmessungen am  
Hallstätter Gletscher

**0**

Anzahl der positiven  
Haushaltsjahre seit 2006/07

**16**

Anzahl der negativen  
Haushaltsjahre seit 2006/07

Der Hallstätter Gletscher ist der flächenmäßig größte der noch vorhandenen fünf Dachsteingletscher. Er ist ein für die Nördlichen Kalkalpen typischer Kargletscher mit drei Gletscherzungen im unteren Bereich. Der Gletscher ist nach Nord bis Nordost exponiert und zu einem Großteil von Felswänden umrandet. 2022 beträgt die Gletscherfläche noch 2,45 km<sup>2</sup> bei einer Länge von rund 1,5 Kilometer. Der höchste Punkt des Eisfeldes befindet sich auf 2875 m ü. A. unterhalb der Randkluft zum Gipfelanstieg des Hohen Dachsteins. Der tiefste Punkt liegt im Bereich der mittleren Zunge auf 2270 m ü. A.

Friedrich Simony betrat 1840 erstmals den Hallstätter Gletscher, welcher zu dieser Zeit noch Karls-Eisfeld genannt wurde. Er erstellte erste Skizzen und Zeichnungen der Gletscherregion und des Dachsteingipfels. Ab 1843/44 startete Friedrich Simony mit den ersten wissenschaftlichen Arbeiten wie auch glaziologischen Forschungstätigkeiten. Es waren dies anfänglich karstmorphologische Studien und auch meteorologische Beobachtungen so wie Temperatur- und Luftdruckmessungen, winterlicher Inversionen und Schneedeckenoberflächen. In dieser Zeitspanne von 1844 bis 1890 dokumentierte Simony anfänglich den Gletschervorstoß, das Erreichen des Höchststandes 1840 und den beginnenden Rückzug des Gletschers, dies alles auch schon durch Photographien. Die von Simony begonnene Längenmessung am Hallstätter Gletscher wurde im 20. Jahrhundert vom Alpenverein ausgeweitet und periodisch durchgeführt. Seit

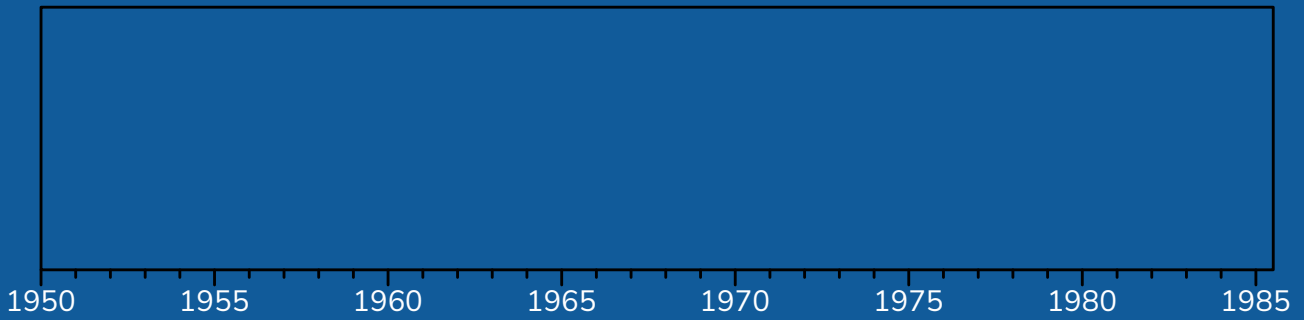
den 1950er Jahren erfolgten diese Messungen jährlich. Seit dem Jahre 2006 wird am Hallstätter Gletscher die Massenbilanz mittels der direkten glaziologischen Methode bestimmt.

Die Reihe umfasst mittlerweile 16 Bilanzjahre und steht im Zeichen eines starken Rückgangs des Gletschers (Abbildung 80 und 81). Alle seit 2006 erstellten Bilanzen sind negativ. Die Massenbilanz des Haushaltsjahres 2021/22 war mit rund 2,6 m Eisdickenverlust gemittelt über die gesamte Gletscherfläche die mit Abstand negativste Bilanz. Sie fiel um das 2,5-fache negativer als das langjährige Mittel und um 27 % negativer als die bisher negativste Bilanz (2014/15) aus. Das Mittel der spezifischen Bilanzen der ersten acht Jahre (2006/07 bis 2013/14) entspricht etwa der Hälfte der mittleren spezifischen Bilanz der Jahre ab 2014/15.

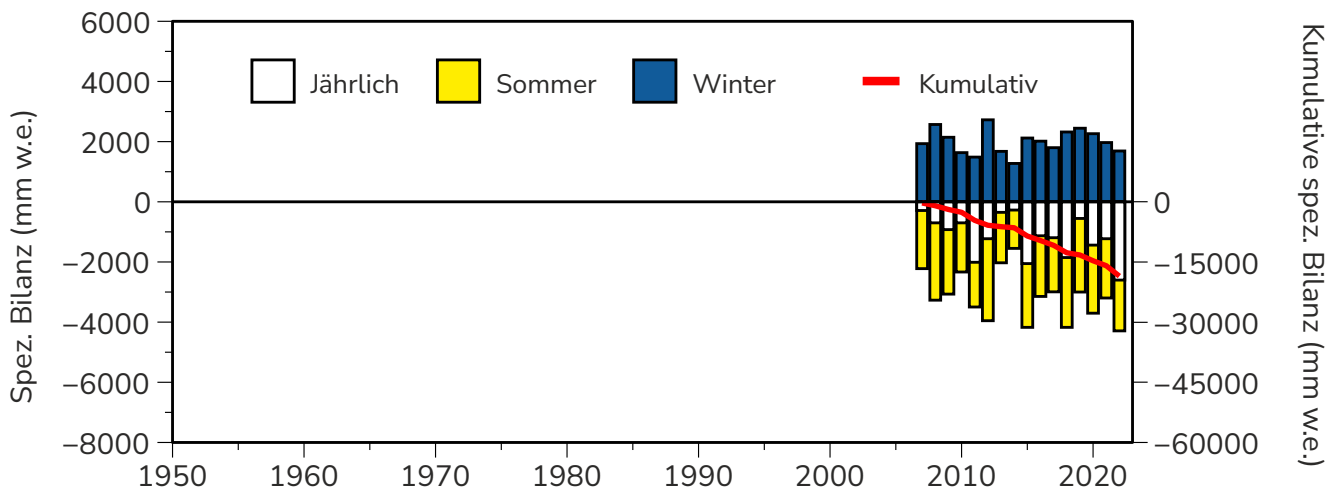
Der Flächenanteil des Akkumulationsgebiets an der Gesamtgletscherfläche (AAR) bewegte sich in der 16-jährigen Messreihe zwischen 56 % (2013/14) und 0 % (2021/22) mit einem Mittelwert von 29 % (Abbildung 82). Die Höhe der ELA liegt seit Messbeginn im Mittel bei 2663 m ü. A. In zwei Jahren lag die ELA über Gletscherniveau (2014/15 und 2021/22).

Das Land Oberösterreich und die Energie AG ermöglichen die Forschungsarbeiten unter der wissenschaftlichen Leitung des Institutes für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der ÖAW in Zusammenarbeit mit BLUE SKY Wetteranalysen als Projektpartner vor Ort.

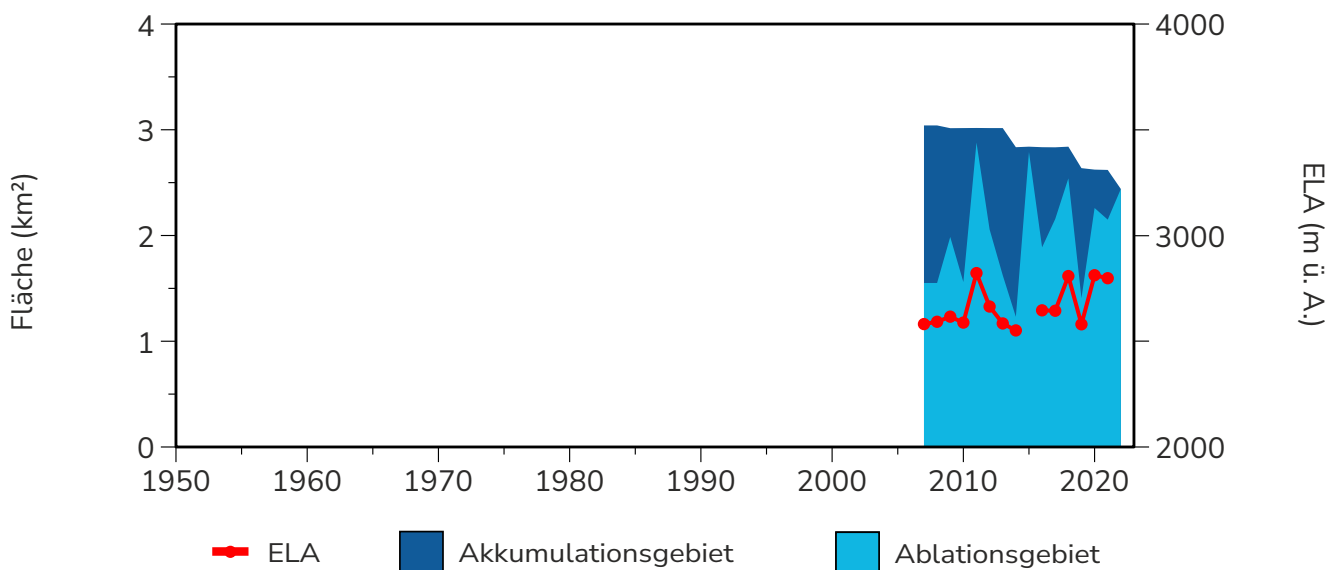




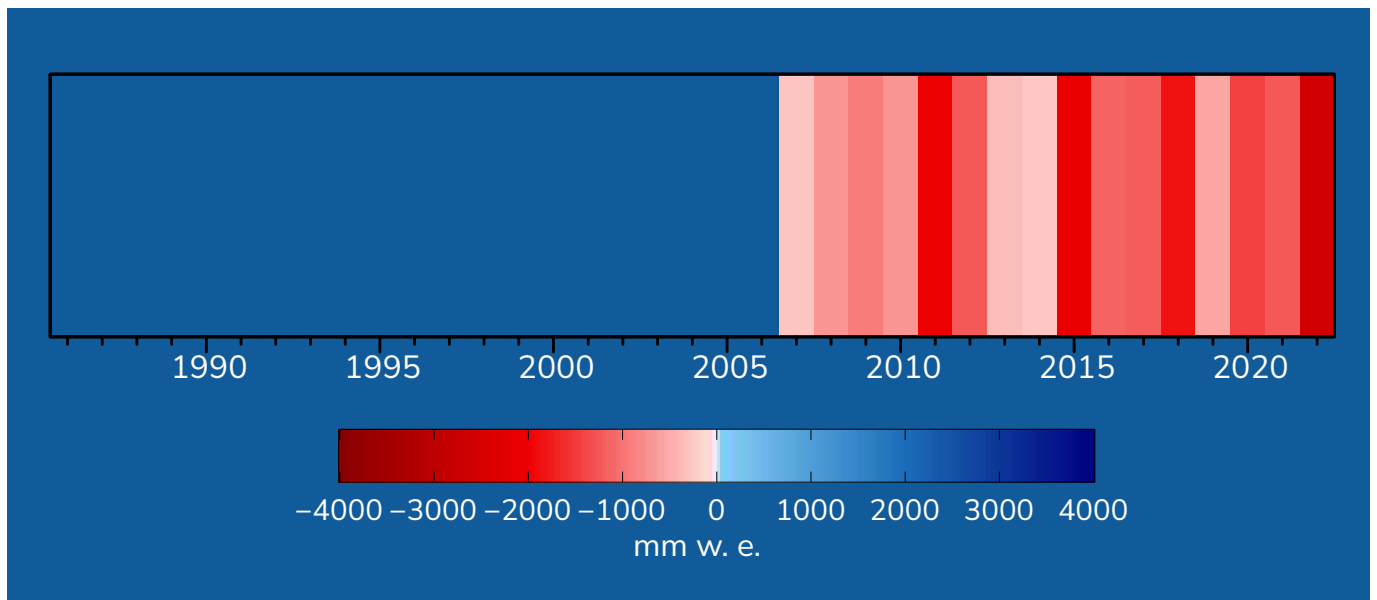
**Abbildung 80:** Massenbilanzstreifen der spezifischen jährlichen Massenbilanz seit Messbeginn 2006/07 bis zum Haushaltsjahr 2021/22. Blau zeigt eine Massenzunahme und rot eine Massenabnahme. Die Farbintensität spiegelt die Intensität der jährlichen Massenveränderung wider.



**Abbildung 81:** Jährliche spezifische und kumulierte Massenbilanz seit Messbeginn.



**Abbildung 82:** Veränderung der flächenmäßigen Anteile von Akkumulations- und Ablationsgebiet an der Gesamtfläche und Schwankungen der ELA seit Messbeginn. Die Unterbrechung in der Linie bedeutet, dass die ELA in diesem Jahr oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers lag.



**Autoren:** Mag. Klaus Reingruber (BLUE SKY Wetteranalysen), Kay Helfricht, PhD (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

**Abbildung 83:** Bildvergleich: Der Hallstätter Gletscher 2006 (oben) und 2022 (unten) (Fotos: oben: Kay Helfricht; unten; Webcam von BLUE SKY Wetteranalysen und der Österreichische Akademie der Wissenschaften).



# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**-2602 mm w.e.**

Jahresbilanz

**1689 mm w.e.**

Winterbilanz

**-4291 mm w.e.**

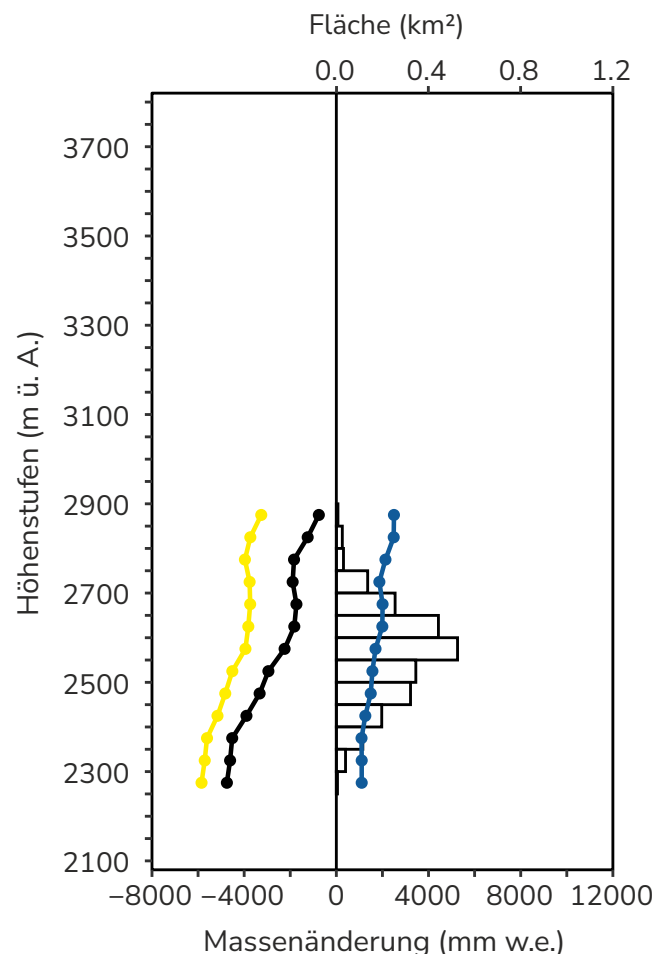
Sommerbilanz

**-\***  
ELA

**2,45 km<sup>2</sup>**  
Fläche

**0 %**  
AAR

Im Massenhaushaltsjahr 2021/22 wurde der größte jährliche Massenverlust und somit die negativste Massenbilanz in der 16-jährigen Messreihe festgestellt. Am Ende des Winterzeitraumes war am Hallstätter Gletscher vor allem im Bereich der Zungen eine Schneemächtigkeit unter dem langjährigen Durchschnitt zu finden, während die Schneedecke an den Positionen der Schneeschächte mit über sechs Meter sogar leicht überdurchschnittlich ausfiel. Die gemessenen Schneedichten waren aufgrund des relativ trockenen Schnees gering. In Summe ergab sich für das Winterhalbjahr eine unterdurchschnittliche Akkumulation. Markante Ablagerungen von Saharastaub im März sowie das Ausbleiben von Schneefällen im Frühjahr in Kombination mit durchwegs überdurchschnittlichen Temperaturen im Mai führten zu einem raschen Schmelzen der Schneedecke. Bereits Anfang Juni, und damit im Vergleich zum Vorjahr um vier Wochen früher, kam es zum ersten Ausapern des Eises. Niederschläge im Juni fielen bei für die Jahreszeit hohen Temperaturen als Regen und die rasche Ausaperung setzte sich über die Sommermonate fort. Trotz wechselhafter Witterung im August kam es zu keinem Neuschneefall. Das Maximum der Ausaperung wurde in der ersten Septemberwoche



**Abbildung 84:** Das vertikale Bilanzprofil des Hallstätter Gletschers (50 m-Intervall) für das Haushaltsjahr 2021/22.

\*ELA befindet sich über dem höchsten Punkt des Gletschers.



erreicht. Zu diesem Zeitpunkt waren auf der gesamten Fläche des Hallstätter Gletschers keine Rücklagen aus dem vorangegangenen Winter mehr anzutreffen. Vielmehr wurde auch der Firn aus früheren Jahren aufgezehrt. In der zweiten Hälfte des Septembers kam es zwar wiederholt zu Schneefällen, diese konnten aber den großen Eisverlust und damit das Ergebnis der Bilanz nicht mehr nennenswert beeinflussen. Die spezifische Massenbilanz des Massenhaushaltsjahres 2020/21 beträgt  $-2602$  mm w.e. (Abbildung 84). Dies entspricht einem Wasservolumen von  $6367 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup> Wasser bzw. einem Eisdickenverlust von rund 3 m gemittelt über die gesamte Gletscherfläche. Damit war die Bilanz um das 2,5-fache negativer als das langjährige Mittel und um 27 % negativer als die bisherig negativste Bilanz. Allein im Massenhaushaltsjahr 2021/22 verlor der Hallstätter Gletscher rund 7 % seiner noch existierenden Masse. Bei den Massenbilanzmessungen am Hallstätter Gletscher wird an drei Schachtpositionen und 15 Ablationspegeln festgestellt (Abbildung 85), welche Menge an

Schnee und Eis am Hallstätter Gletscher pro Jahr dazukommt oder abschmilzt.

**Autoren:** Mag. Klaus Reingruber (BLUE SKY Wetteranalysen), Kay Helfricht, PhD (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

#### ► Massenbilanz DATEN Hallstätter Gletscher

**Datengeber:** Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung, Österreichische Akademie der Wissenschaften und BLUE SKY Wetteranalysen

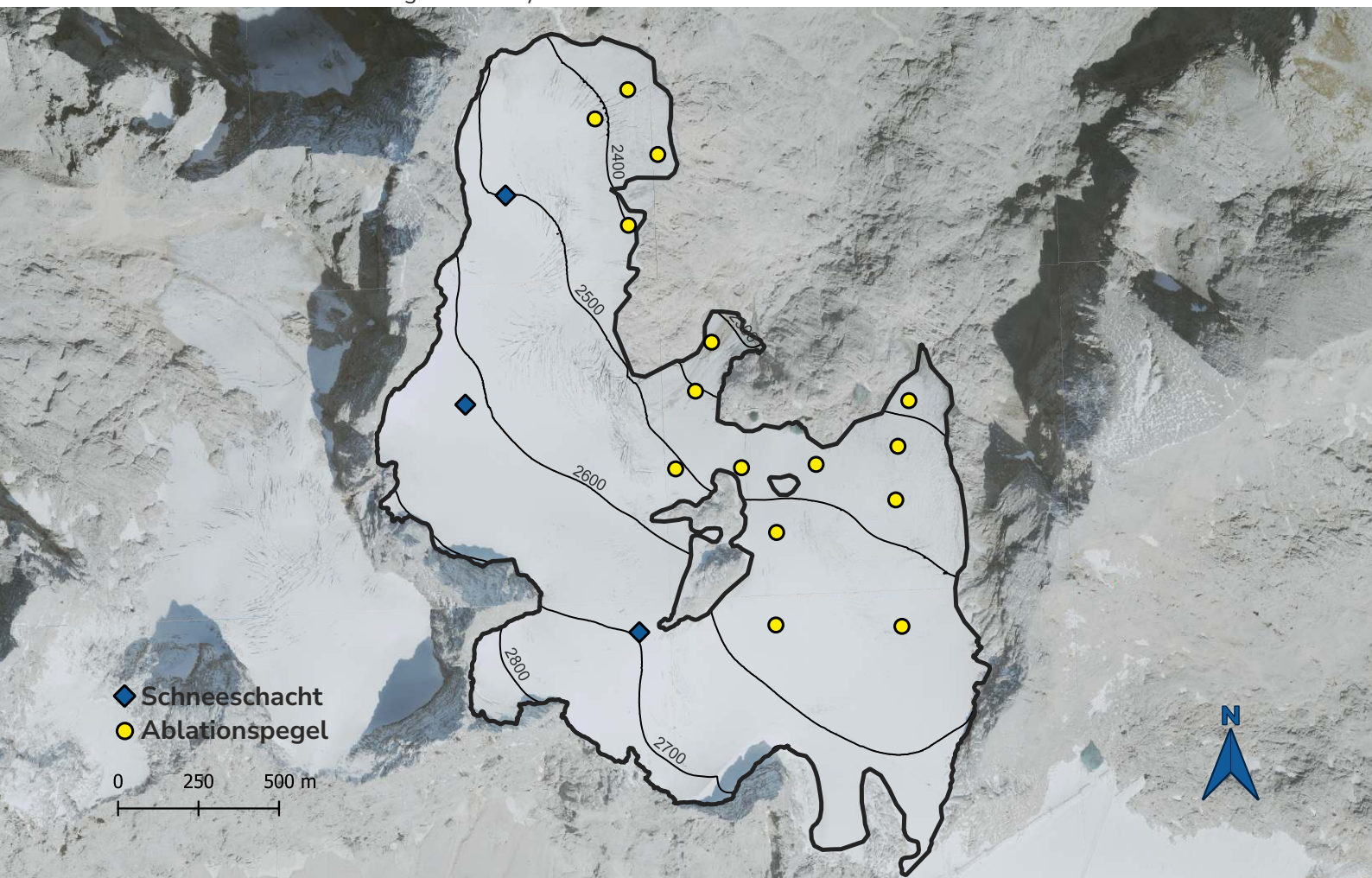
**Fördergeber:** Land Oberösterreich, Energie AG

**Massenbilanzdaten:** Fischer, A., Stocker-Waldhuber, M., Hartl, L., Reingruber, K. & Helfricht, K. (2016): Glacier mass balances and elevation zones of Hallstätter Gletscher, Dachstein, Austria, 2006/2007 et seq. Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Innsbruck, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.806609>

**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland. <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>



**Abbildung 85:** Oberflächentopografie und Messnetz des Hallstätter Gletschers (Umriss (2022): Österreichische Akademie der Wissenschaften; Höhenlinien (2015): [www.geoland.at](http://www.geoland.at); Orthofoto (2021): Land Oberösterreich - [www.land-oberoesterreich.gv.at/DORIS](http://www.land-oberoesterreich.gv.at/DORIS)).







# LÄNGENÄNDERUNG



Foto: Venedigerkees (vorne) und weitere Gletscher im inneren Obersulzbachtal, Gerhard K. Lieb 2012

# 89

Anzahl der im Haushaltsjahr 2021/22  
beobachteten Gletscher

# -28,7 m

Im Durchschnitt haben die  
Gletscher im Haushaltsjahr  
2021/22 28,7 m (n=78) an Länge  
verloren

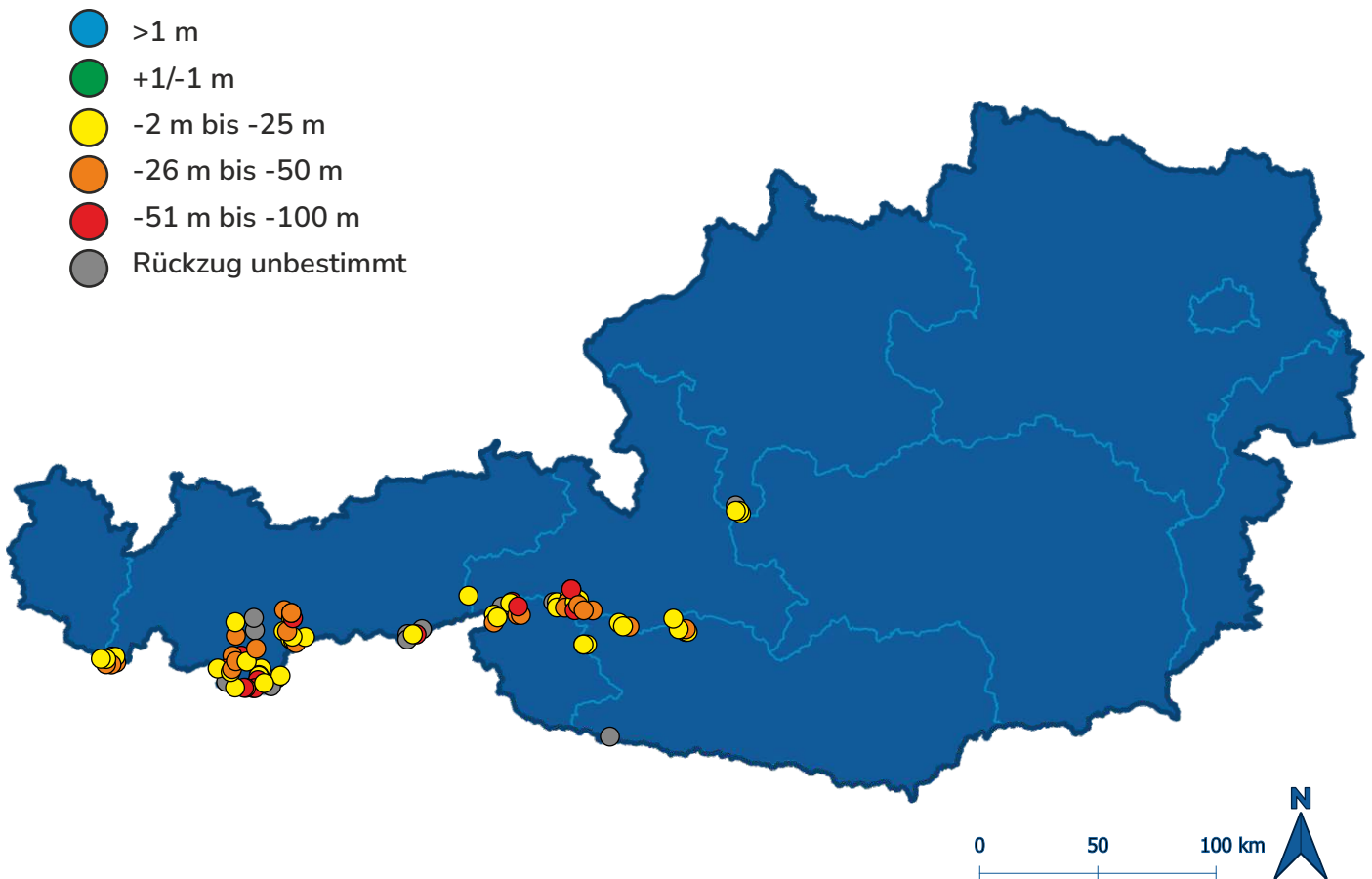


Abbildung 86: Lage und Längenänderung in Meter für das Haushaltsjahr 2021/22 (Datengrundlage: Andreas Kellerer-Pirklbauer, Universität Graz).



# Längenänderung

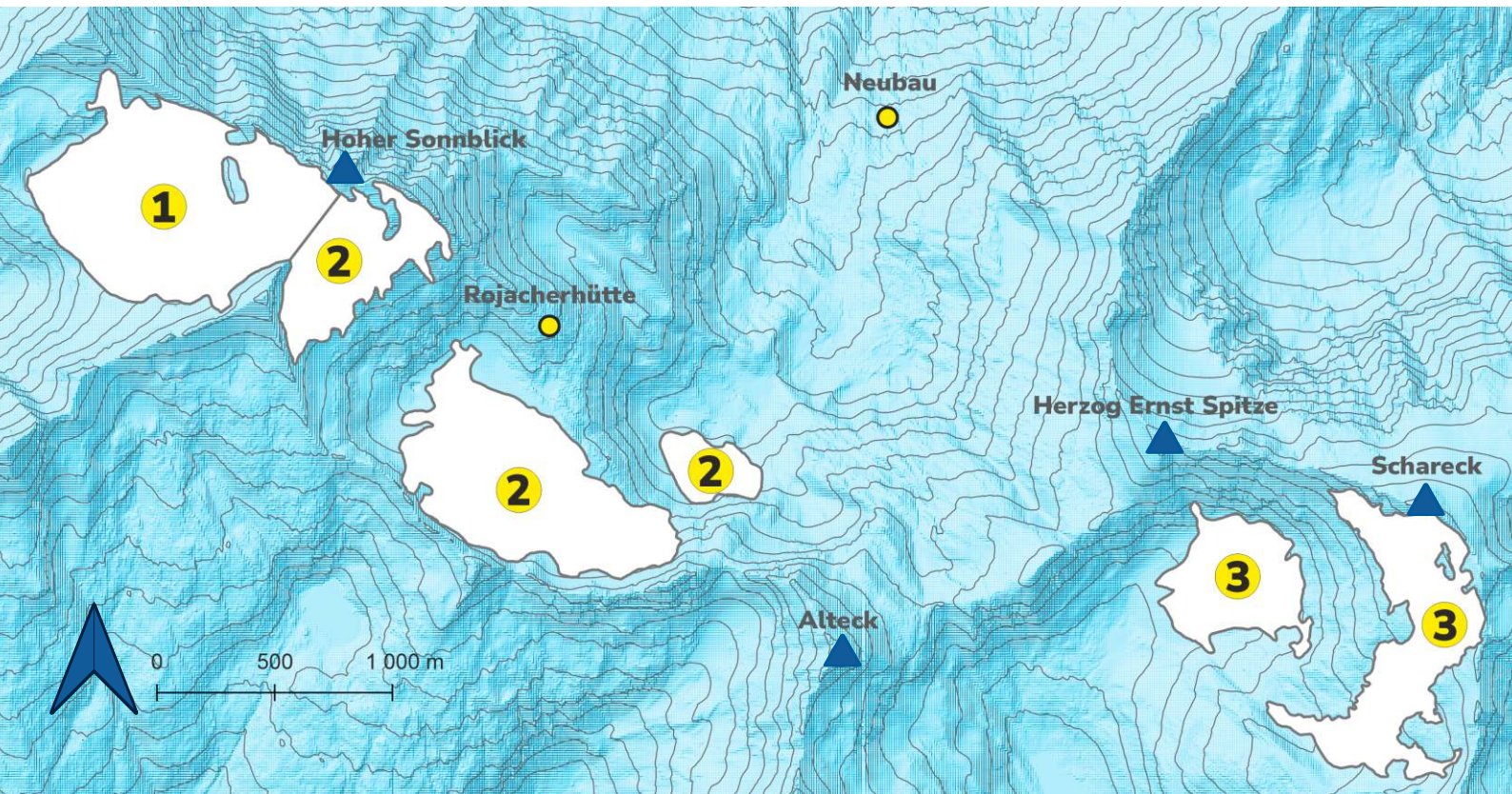
Die Längenänderung eines Gletschers drückt die Positionsänderung der Gletscherstirn aus. Wenn ein Gletscher über mehrere Jahre mehr Masse verliert als er gewinnt (negative Massenbilanz), reagiert die Gletscherstirn verzögert mit einem Rückzug, die Länge des Gletschers nimmt also ab. Ein Gletscher, dessen Massenbilanz über mehrere Jahre hinweg ausgeglichen ist (Massenbilanz nahe 0), ändert seine Länge nicht, die Gletscherstirn bleibt stationär. Bei den offiziellen Messungen der Gletscherlängenänderungen im Rahmen des Gletschermessdienstes des Österreichischen Alpenvereins wird ein Gletscher als „stationär“ bezeichnet, wenn dieser im Mittel sich nur um  $\pm 1$  m verändert. Bei einem mehrjährigen Massengewinn (positive Massenbilanz), stößt die Gletscherstirn vor und der Gletscher gewinnt an Länge.

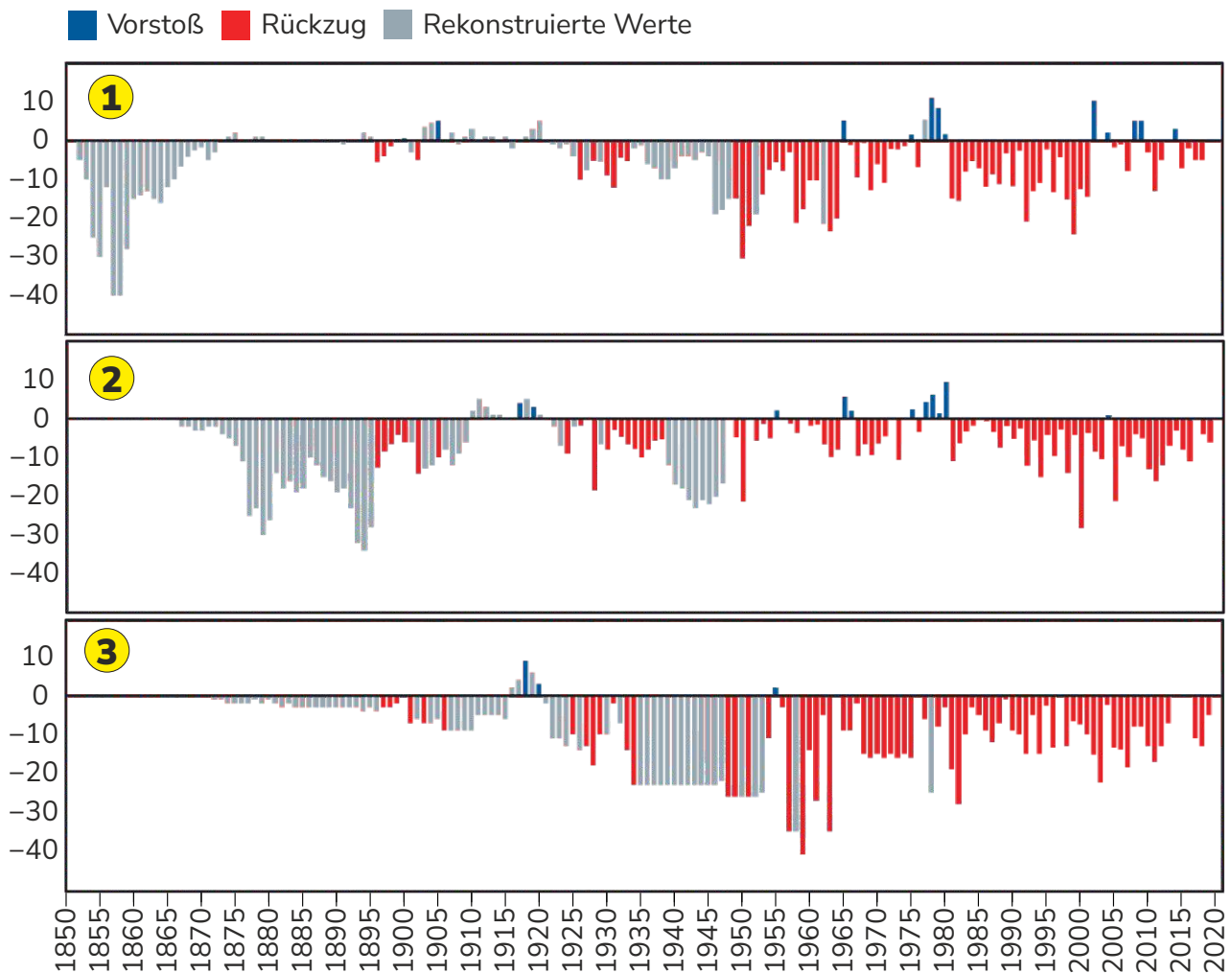
Die Gletscherstirn reagiert verzögert auf die Veränderung der Gletschermasse. Diese Zeitspanne zwischen Massenänderung und Reaktion der Gletscherstirn nennt man „Reaktionszeit“. Die Reaktionszeit variiert von Gletscher zu Gletscher

und hängt von verschiedenen Faktoren, wie Topografie, Gletschergröße oder Fließgeschwindigkeit, ab. Die Längenänderung eines Gletschers wird also auch durch nicht-klimatische Faktoren bestimmt und kann im Gegensatz zur Massenbilanz eines Gletschers nur bedingt durch die Witterungsverhältnisse eines einzelnen Haushaltsjahres erklärt werden. Längere Reihen der Längenänderungen bilden jedoch sehr wohl Klimaänderungen ab. Allgemein gilt, dass die Gletscherstirnen kleinerer Gletscher schneller auf Massenveränderungen reagieren als größere, was sich beispielsweise in der gletschergünstigen Phase der 1970er/1980er Jahre gezeigt hat, als die Pasterze sich bloß langsamer zurückgezogen hat, während viele kleine Gletscher vorgestoßen sind (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2018).

Das wird auch deutlich, wenn wir uns die Längenänderung von drei benachbarten Gletschern (Abbildung 87) im Sonnblickgebiet seit Messbeginn (einschließlich rekonstruierter oder interpolierter Werte in Grau) bis 2018/19 ansehen (Abbildung 88). Ein eindruckliches Beispiel sind die 1970er-

**Abbildung 87:** Lage der drei benachbarten Gletscher im Sonnblickgebiet; 1) Kleinfleißkees, 2) Goldbergkees, 3) Wurtenkees (Glacier Inventory 2015, Höhenlinien (2015): [www.geoland.at](http://www.geoland.at)).





**Abbildung 88:** Längenänderung der drei Gletscher im Sonnblickgebiet, 1) Kleinfleißkees, 2) Goldbergkees und 3) Wurtenkees, seit Messbeginn bis 2018/19 (Daten: WGMS).

Jahre; wie erwähnt, wurde damals bei vielen Gletschern in den Alpen eine Erholung (Phase ausgeglichener oder positiver Massenbilanzen) beobachtet, worauf aber das Wurtenkees nicht mit einem Vorstoß reagierte (Böhm et al. 2011).

Jedoch ist die Längenmessung im Vergleich zur Massenbilanz relativ billig und technisch leicht durchführbar, wenn man mit der klassische Messmethodik (Messung der Distanz in konstanter Richtung von Fixpunkten im Gletschervorfeld zum Eisrand) arbeitet. Da vielerorts – auch in Österreich (Lieb und Kellner-Pirklbauer 2022) - diese Vermessungen mit der klassischen Methode durchgeführt werden, wird die Längenänderung weltweit bei mehr Gletschern erhoben als die Massenbilanz und zählt zu den ältesten glaziologischen Messprogrammen. Durch die hohe Anzahl weltweiter und langer Messreihen können statistische Beziehungen zwischen Längenänderungen und dem Klima hergestellt und Trends festgestellt werden. Längen-

änderungen zählen auch zu den visuell leicht verständlichen und greifbaren Konsequenzen des Klimawandels (Patzelt 2018), auch wenn beim Zusammenhang zwischen Gletscherrückzug und Klimaveränderung auch die oben angesprochene unterschiedliche Reaktionszeit von Gletschern beobachtet werden muss.

## Methode

Die Längenmessungen sollten den Gletscher möglichst zum Zeitpunkt seiner minimalen Ausdehnung am Ende des Gletscherhaushaltsjahres erfassen. Da dieser Zeitpunkt vorab unbekannt ist, meist aber zwischen Mitte September und Mitte Oktober liegt, werden normalerweise die Messungen im Laufe des Septembers durchgeführt.

„Klassische“ Längenänderungsmessung: Die einfachste methodische Variante ist die Maßband-



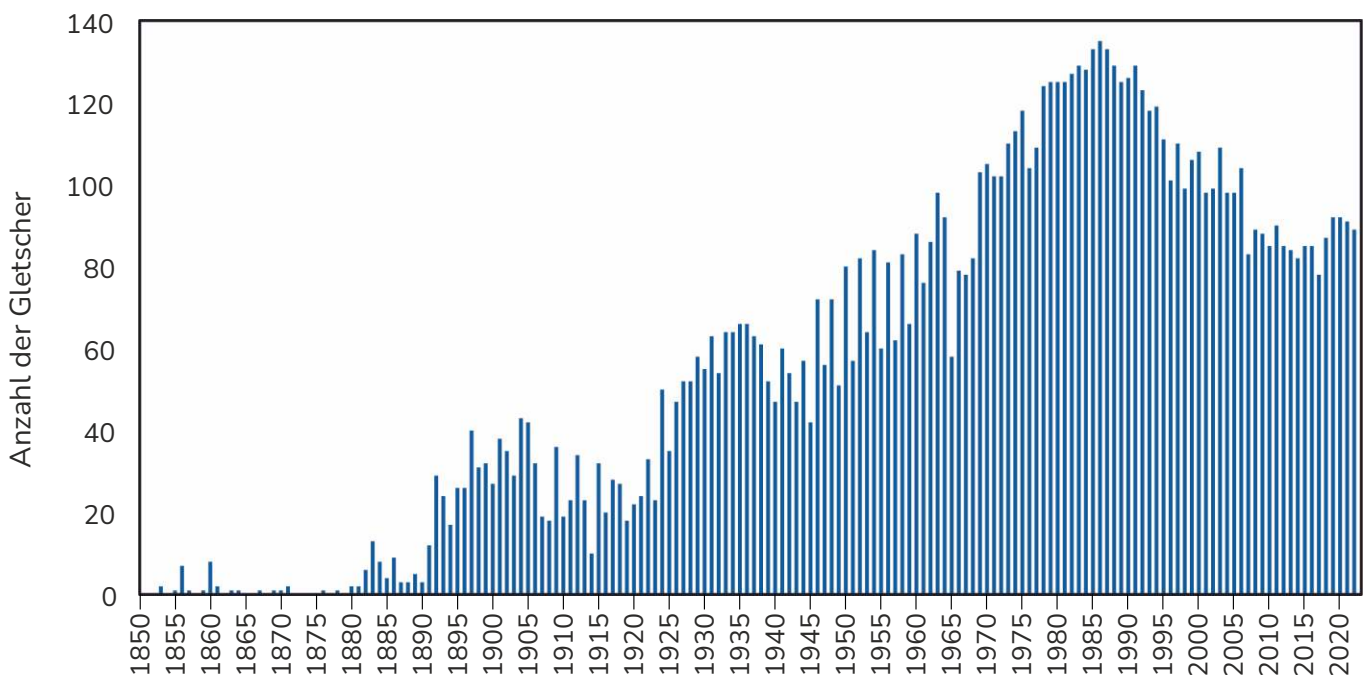


**Abbildung 89:** Gletschermessmarke im Vorfeld des Wasserfallwinkelkeeses (Foto: Gerhard K. Lieb 2015).

messung in konstanter Richtung von definierten Punkten vor der Gletscherstirn. Diese Methode geht auf das 19. Jahrhundert zurück. Anstelle eines Maßbandes können auch Laserdistanzmessgeräte verwendet werden, was vor allem dann Sinn macht, wenn über große Distanzen gemessen werden muss oder der Eisrand unzugänglich ist (z. B. See). Unabhängig davon, ob die Messung mit einem Maßband oder einem digitalen Messgerät durchgeführt wird,

ist bei der klassischen Längenmessung u.a. Folgendes zu beachten: (a) vor der Stirn jedes gemessenen Gletschers sollten zumindest zwei Messmarken liegen (Abbildung 89). Bei der späteren Auswertung wird der Änderungswert als arithmetisches Mittel der einzelnen Änderungsbeträge berechnet. (b) Die Messmarken müssen auf stabilem Untergrund liegen (Fels/ Felsblock). (c) Die Position der Messmarken sollen mit Differential-GPS eingemessen

**Abbildung 90:** Anzahl der in dem jeweiligen Jahr vermessenen Gletscher in Österreich (Daten: 1850-2020 WGMS; 2021-2022 Österreichischer Alpenverein).





werden. (d) Die Messmarken sind mit Farbe zu markieren (Pfeil), wobei der Nullpunkt der Messung exakt kenntlich zu machen ist. (e) Die Messrichtung sollte der vermuteten Bewegungsrichtung des Gletschers entgegen gerichtet sein.

Alternativen zur klassischen Längenänderungsmessung: Außerordentlich starke Rückzüge, vielfach verbunden mit Eiszerfallserscheinungen oder Seenbildung, oder die Lage von Eisrändern in steilen, schwer oder gar nicht zugänglichen Geländeteilen, waren es, die in den vergangenen Jahrzehnten an so manchem Gletscher die „klassische“ Methode an ihre Grenzen gebracht haben. Aus diesem Grund wurden vor allem an einigen der großen Gletscher alternative Methoden entwickelt, wobei die größte methodische Herausforderung darin bestand, die Homogenität der Datenreihen sicherzustellen. Hierbei hat sich die folgende Herangehensweise bewährt: (a) Bestimmung der räumlichen Lage bzw. des Verlaufs des Eisrandes am Unterrand des Gletschers mit einer geeigneten Methode (idealerweise Differential GPS und Drohnenaufnahmen) im ersten Jahr, (b) Wiederholung des Vorganges im zweiten Jahr, (c) GIS-gestützte oder fernerkundliche Auswertung der beiden Eisränder, (d) Bestimmung der vermuteten Bewegungsrichtung des Gletschers auf Basis früherer Markenmessungen, (e) Festlegung von gleichabständigen Strecken (z. B. alle 10 m) zwischen den beiden Eisrändern und Bestimmung der jeweiligen Distanz zwischen den Eisrändern, (f)

## Datenlage in Österreich

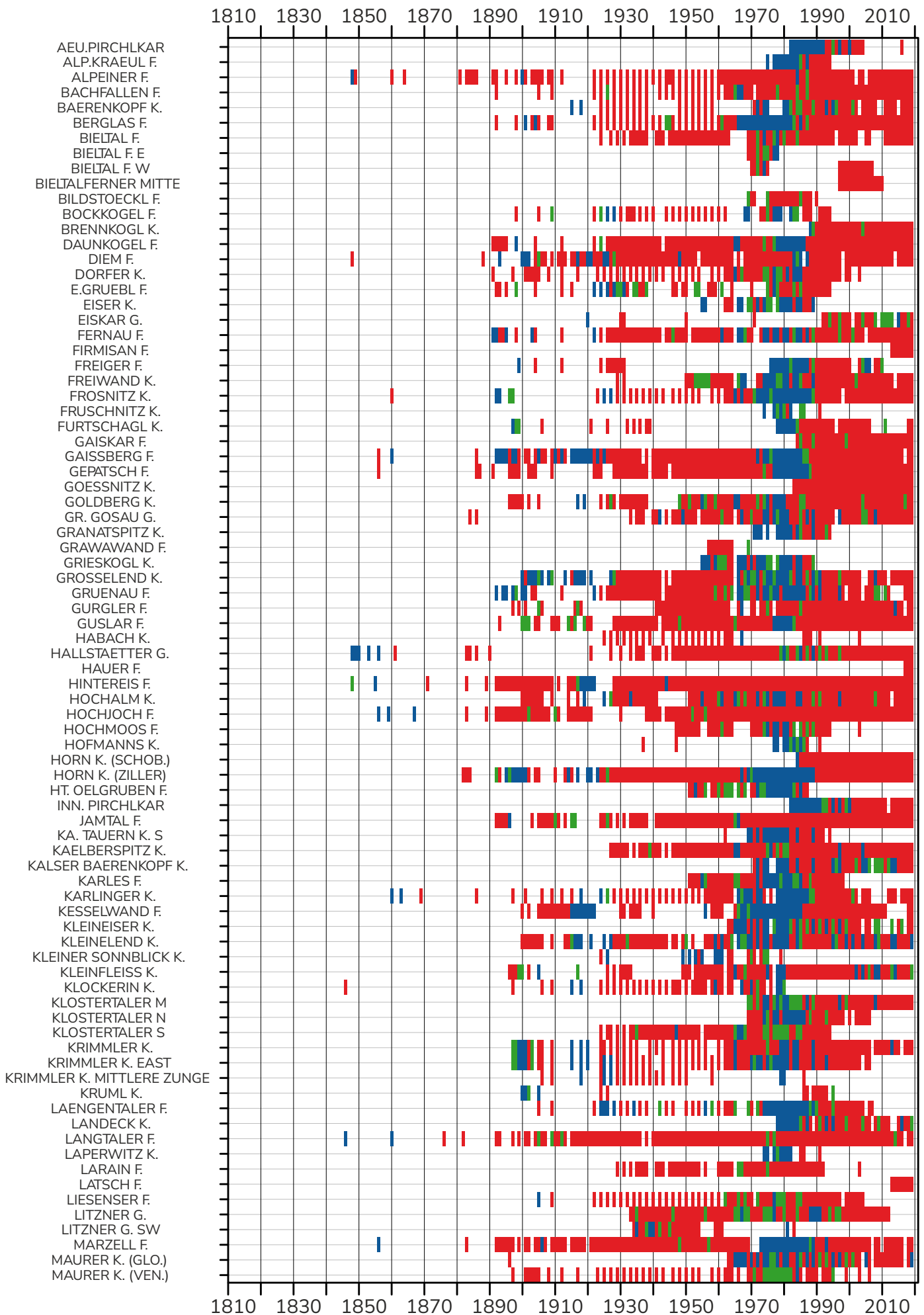
Am 11. Oktober 1846 wurde die erste bekannte Gletschermessmarke vor einem österreichischen Gletscher gesetzt. Es war Friedrich Simony, ein österreichischer Geographieprofessor, der vor dem damals noch mächtigen Hallstätter Gletscher (Dachsteingebiet) (siehe Abschnitt Massenbilanz-Hallstätter Gletscher, Seite 90) „zwei in den Felsboden eingehauene Kreuzzeichen im Abstände von 7,6 m vom untersten Eisrande“ anbrachte (Fritsch 1898; Lehr 1996; Groß 2018). In den folgenden Jahren dokumentierte Simony bis 1890 in unregelmäßigen Abständen die Längenänderungen des Gletschers.

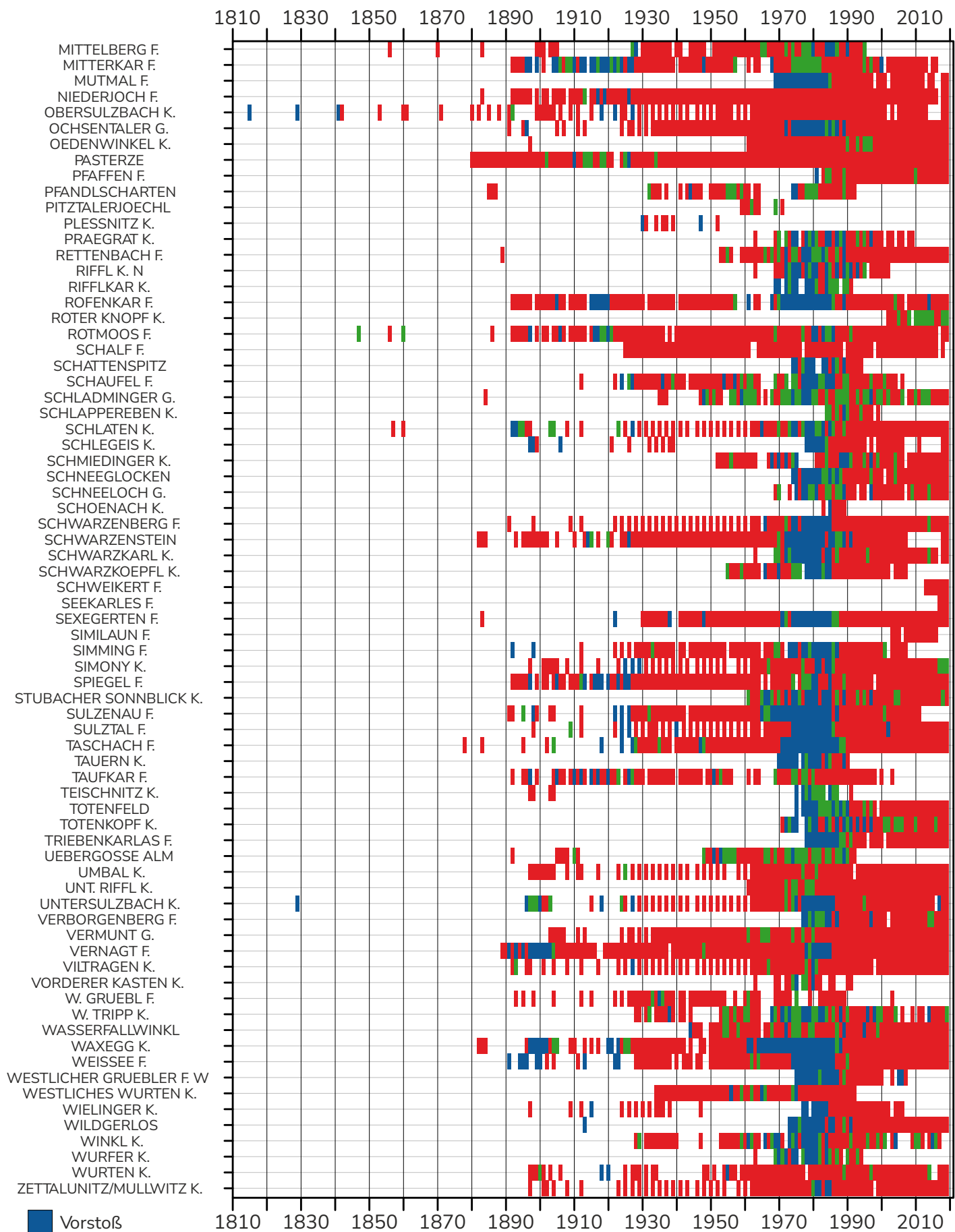
Die systematische und regelmäßige Beobachtung von Gletscherlängenänderungen führte 1891

Eduard Richter u. a. unter der Schirmherrschaft des damaligen Deutschen und Österreichischen Alpenvereins ein. In der zweiten Hälfte des 19. Jh. ging man bereits davon aus, dass leichte Schwankungen des Klimas für die Gletscherlängenänderungen verantwortlich sind und, dass diese Schwankungen mit einer Regelmäßigkeit von 25 bis 40 Jahren auftreten (Groß 2018). Als dann in den 1890er Jahren erste Gletschervorstöße seit den 1850er-Jahren in den Westalpen und Ostalpen beobachtet wurden, nahm man an, dass nun die nächste Vorstoßperiode beginnen würde. Damit diese Periode umfassend verfolgt werden konnte, wandte sich der 1890 gegründete wissenschaftliche Beirat des Zentralausschusses des Alpenvereins in einer Mitteilung am 30. April 1891 an seine Sektionen, Bergführer und Mitglieder. Neben einem Aufruf, sich an den Gletscherbeobachtungen zu beteiligen, umfasste die Mitteilung auch, wie man Gletschermessmarken richtig anlegt und welche Beobachtungen wichtig sind (Groß 2018). Dieser Aufruf stieß auf großen Widerhall.

Diese Entwicklung ist auch gut in der Abbildung 90 nachzuvollziehen, in dieser kann man einen deutlichen Anstieg an vermessenen Gletschern seit 1891 erkennen. Waren es im Jahr vor dem Aufruf drei Gletscher, die vermessen wurden, stieg deren Anzahl im Jahr nach dem Aufruf auf 29. Ein in dieser Abbildung deutlicher Tiefpunkt von nur zehn beobachteten Gletschern war das Jahr 1914, da für die in den Ersten Weltkrieg einberufenen Vermesser nur schwer Ersatz gefunden werden konnte. So waren während der darauffolgenden Kriegsjahre (1916 bis 1918) nur vier Gletschermesser im Einsatz (Groß 2018).

Zu einem weiteren Tiefpunkt in Bezug auf die Anzahl von vermessenen Gletschern führte auch der Zweite Weltkrieg. In dieser Zeit schwankte die Anzahl der beobachteten Gletscher zwischen 42 und 60. Der Rückgang beobachteter Gletscher war dabei aber nicht so groß wie im Ersten Weltkrieg. Nach diesem Tiefpunkt erkennt man einen Anstieg der vermessenen Gletscher mit deutlichen Schwankungen bis in die 1960er-Jahre. In diesem Zeitraum wurden die Gletscherlängenänderungen innerhalb der Venedigergruppe und auch teilweise innerhalb der Stubai-Alpen nur alle zwei Jahre erhoben (Groß 2018). Mit der Zeit erhöhte sich die Anzahl der vermessenen Gletscher, mit dem Höhepunkt im Jahre 1986, in dem 135 Gletscher vermessen wurden. Seither nimmt die Anzahl der vermessenen Gletscher aufgrund der mit dem starken Eisschwund verbun-





**Abbildung 91:** Individuelle Muster der Längenänderung aller beobachteter Gletscher seit Beobachtungsbeginn bis 2018/19. Die Namen der Gletscher wurden aus dem WGMS-Datensatz übernommen (Daten: WGMS).



denen erschwerten Zugänglichkeit vieler Gletscher wieder ab. Dank dieser weitsichtigen Initiative des Alpenvereins verfügt man heute über Daten, die rund 130 Jahre der Gletscherentwicklung abbilden. Bemerkenswert ist, dass damals wie heute diese oft schwere und auch gefährliche Arbeit als ehrenamtliche Vereinstätigkeit durchgeführt wird. Die erhobenen Daten werden von der Leitung des Gletschermessdienstes des Österreichischen Alpenvereins (aktuell Gerhard K. Lieb und Andreas Kellerer-Pirklbauer) zeitnah an das globale Gletschermonitoring-Netzwerk World Glacier Monitoring Service (WGMS) in Zürich übermittelt. Diese Institution hat sich zur Aufgabe gemacht, weltweit standardisierte (vergleichbare) Daten über historische und aktuelle Gletscheränderungen zu sammeln und der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Ebenso werden die Längenänderungsdaten im Datenportal PANGAEA open access gestellt.

## Entwicklung

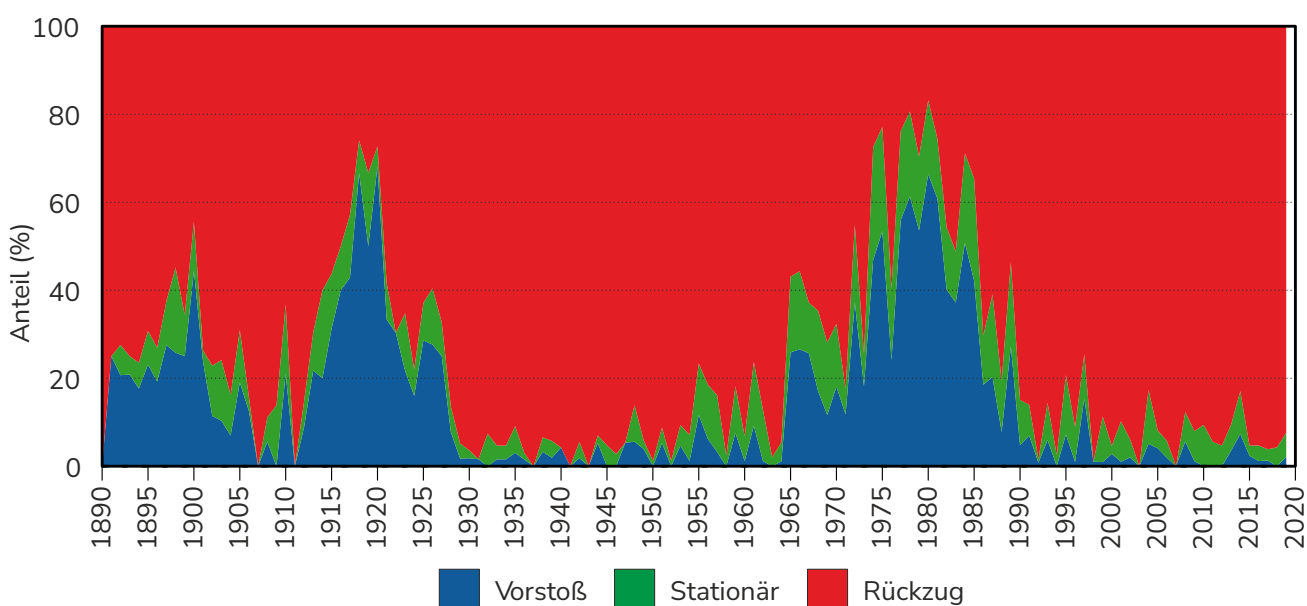
Seit Beginn der Längenmessungen dominiert der Längenverlust. Insgesamt wurden zwischen dem Jahren 1847 und 2019 155 Gletscher vermessen, wobei die Zahl der jährlichen Beobachtungen, wie schon dargelegt, variiert. Während des Beobachtungszeitraumes sind drei Vorstoßphasen deutlich zu erkennen (Abbildung 91 und 92). Die erste dauerte von ca. 1890 bis 1900, worauf ein rascher Rückzug mit einem Tiefstand um 1907 folgt. Das Maximum

erreichte die erste Vorstoßphase im Jahr 1900: In diesem Jahr wurde bei 27 beobachteten Gletschern eine mittlere Längenänderung von +7,2 m gemessen und insgesamt stießen 45 % der beobachteten Gletscher vor.

Der zweite Vorstoß begann 1909, wurde aber 1911 durch einen ungewöhnlich warmen Sommer unterbrochen, setzte sich danach aber wieder fort (Patzelt 1970). Die zweite Vorstoßphase erreichte das Maximum um 1920 mit einer mittleren Längenänderung von +16 m, die bei 22 Gletschern gemessen wurde. 1920 konnte bei 68 % der beobachteten Gletscher ein Vorstoß beobachtet werden. Darauf folgte ein zügiger Rückzug, der lediglich von 1925 bis 1927 kurz unterbrochen wurde.

1965 begann die dritte und bis heute letzte Vorstoßphase, die spätestens mit 1990 endete. Mit einer Dauer von 25 Jahren ist es die längste Vorstoßphase des Beobachtungszeitraumes. Ihren Höhepunkt erreicht diese Phase im Jahre 1980 mit einer mittleren Längenänderung von +5,5 m, die aus der Beobachtung von 125 Gletschern stammt. In diesem Jahr stießen 68 % der beobachteten Gletscher vor. Seither ziehen sich die österreichischen Gletscher überwiegend zurück.

**Autoren:** Dr. Andreas Kellerer-Pirklbauer, Dr. Gerhard K. Lieb (Universität Graz)



**Abbildung 92:** Prozentueller Anteil der jährlich vorstoßenden, stationären und sich zurückziehenden Gletscher im Beobachtungszeitraum 1889/90 bis 2018/19 (Daten: WGMS).

# HAUSHALTSJAHR 2021/22

Die Messungen der Längenänderungen durch den von Gerhard K. Lieb und Andreas Kellerer-Pirklbauer (Graz) geleiteten Gletschermessdienstes des Österreichischen Alpenvereins (ÖAV) wurden zwischen 21.8. und 30.10.2022 von 24 Gebietsverantwortlichen mit insgesamt 50 Helferinnen und Helfern durchgeführt. Jene legten 19 Berichte aus 12 Gebirgsgruppen vor, woraus nach gründlicher Prüfung der Daten von den beiden Leitern des Gletschermessdienstes ein Gesamtbericht erstellt wurde, der im Heft 2/2023 des ÖAV-Mitgliedermagazins „Bergauf“ analog und digital publiziert wurde.


Für das Gletscherhaushaltsjahr 2021/22 konnten konkrete Messwerte von 78 Gletschern, die sowohl 2021 als auch 2022 vermessen wurden, gewonnen werden. Für 8 Gletscher wurde die Tendenz aus Fotovergleichen und für 3 weitere aus Mehrjahreswerten ermittelt. Somit kann für 89 Gletscher die Änderungstendenz angegeben werden und diese war bei allen negativ. Die bisherigen Haushaltsjahre mit 100 % der Gletscher im Rückzug waren 2006/07, 2002/03, 1997/98, 1951/52 und 1942/43.

Die Berechnung der mittleren Längenänderung jener 78 Gletscher, für die eine exakte Längenänderung von 2021 auf 2022 angegeben werden kann, beruht auf auswertbaren Einzelmessungen von 238 Messmarken. An 10 Gletschern wurden statt der traditionellen Markenmessungen alternative Bestimmungsmethoden angewandt, meist durch linienhafte Erfassung der Eisränder mittels GPS-Technologie oder Drohnen-basierten Luftbildern, aus welchen die Eisränder kartiert werden. Aus diesen genauen Abgrenzungen der Gletscherenden in zwei aufeinander folgenden Jahren kann man die Distanzen dazwischen in definierten Richtungen und daraus den mittleren Gletscherrückzug über die Breite des Gletscherendes bestimmen. Somit sind die Ergebnisse mit den anderen gut vergleichbar.

Der mittlere Rückzugsbetrag dieser 78 sowohl 2021 als auch 2022 vermessenen Gletscher betrug -

28,7 m und ist damit nicht nur 2,6-mal größer als der Wert des Vorjahres mit -11,0 m (berechnet für 79 Gletscher), sondern auch um 3,5 m größer als der bisherige Maximalwert (-25,2 m) aus dem Messjahr 2016/17. Im aktuellen Berichtsjahr waren die fünf Gletscher mit den höchsten Rückzugsbeträgen die folgenden: Schlatenkees (Venedigergruppe) mit 89,5 m, Pasterze (Glocknergruppe) mit 87,4 m – womit dieselben beiden Gletscher wie im Vorjahr an der Spitze lagen –, Diemferner mit 84,3 m, Gepatschferner mit 78,0 m und Niederjochferner mit 75,1 m (die drei letzten in den Ötztaler Alpen).

Dieses Ergebnis erklärt sich aus der Kombination unterdurchschnittlicher Schneemengen im Winter und einer erneut langen und sehr warmen Schmelzperiode, die schon an der Monatswende Mai/Juni einsetzte und bis in den September hinein andauerte. Sie machte die meisten Gletscher vollständig zu Zehrgebieten (siehe Abschnitt Massenbilanz, Seite 12), sodass der hohe Rückzugswert indirekt auch starke Flächen- und Massenverluste repräsentiert.

 **Autoren:** Dr. Andreas Kellerer-Pirklbauer, Dr. Gerhard K. Lieb (Universität Graz)

## ► Längenänderungs DATEN

**Datengeber:** Österreichischer Alpenverein

**Fördergeber:** Österreichischer Alpenverein

**Längenänderungsdaten: Lieb, G. K. & Kellerer-Pirklbauer A. (2023):** Gletscherbericht 2021/2022 - Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2022. Bergauf 02/2023: 10–21.

**Lieb, G. K. & Kellerer-Pirklbauer, A. (2022):** Length changes of Austrian glaciers in 2020/2021. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.947022>.

**WGMS (2022):** Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland. <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>.

alpenverein  
österreich 

 GEO.GRAZ



# FLIEßGESCHWINDIGKEIT



Foto: Venedigerkees, Gerhard K. Lieb 2010



# 5

Anzahl der Gletscher an welchen die Fließgeschwindigkeit im Haushaltsjahr 2021/22 gemessen wurde

seit **1882/83**

Längste Zeitreihe (Pasterze)

\*Aufgrund außergewöhnlich hoher Ablation im vergangenen Sommer, war die Positionsbestimmung am Großteil der Pegel am Kesselwandferner im Jahr 2022 nicht möglich.

\*\* Unter 10 Messjahren

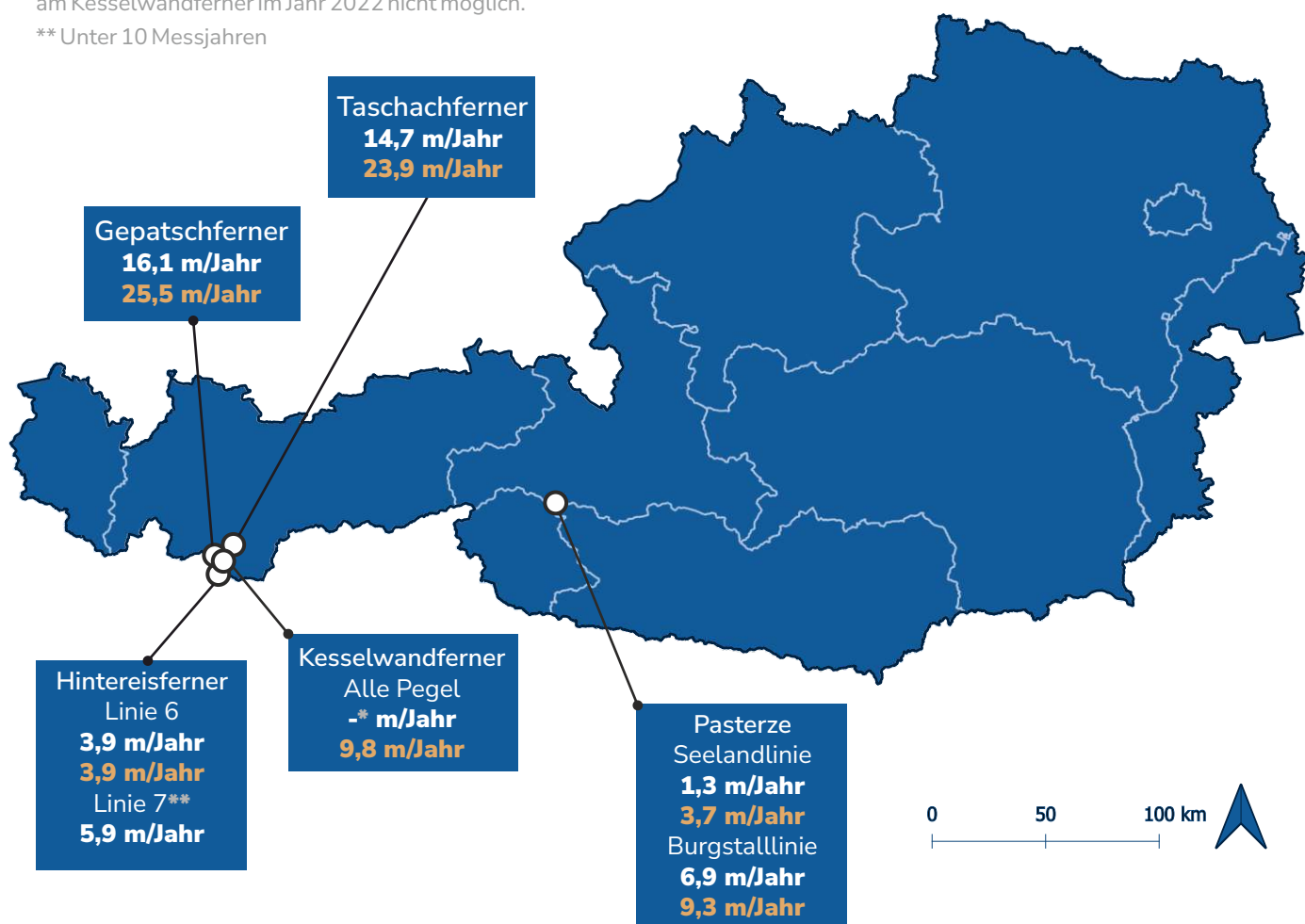


Abbildung 93: Lage und Fließgeschwindigkeit für das Haushaltsjahr 2021/2022 im Vergleich zum 10-jährigen Mittel (2011/12-2021/22, orange) aller fünf Gletscher.

# Fließgeschwindigkeit

Erreichen Gletscher eine bestimmte Eismächtigkeit, dann beginnen sie von der Schwerkraft angetrieben und der Neigung der Eisoberfläche folgend zu fließen. Die Fließbewegung setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, der internen Verformung des Gletschereises und dem Gleiten des Gletschers über den Untergrund, dem sogenannten Gletscherbett (Cuffey & Paterson 2006).

Die interne Verformung von Gletschereis ist auf seine besondere Materialeigenschaft zurückzuführen. Auf den ersten Blick erscheint Gletschereis spröde. Bei einer raschen Belastung (z.B. Schlag mit einem Pickel) bricht oder splittert es. Gänzlich anders verhält es sich bei langsamer Verformung aufgrund des stetigen Drucks, welcher aufgrund des Eigengewichts in der Tiefe des Gletschers herrscht. Unter solchen Bedingungen wird Eis zähflüssig-plastisch und beginnt zu fließen, in gewisser Weise ähnlich wie Honig. Je steiler, mächtiger und näher an 0 °C das Eis eines Gletschers ist, desto schneller wird die Fließbewegung. Die auffälligste Folge der Eisbewegung ist die Bildung von Gletscherspalten (Cuffey & Paterson 2006; Alean 2010; Böhm et al. 2011).

Das Gleiten eines Gletschers über den Untergrund (basales Gleiten) ist der zweite Beitrag zur Gletscherbewegung. Die Gletscher in Österreich befinden sich an ihrer Basis nahe zum Druckschmelzpunkt. Kleine Druckänderungen können daher zum Erreichen des Schmelzpunktes führen. Basales Schmelzen erzeugt einen Wasserfilm, auf dem der Gletscher gleiten kann. Ein Schmelzwasser-

serfilm und wassergefüllte Hohlräume an der Basis des Gletschers sind für das Gleiten über den Untergrund von entscheidender Bedeutung. Im Sommer steht mehr Wasser an der Basis des Gletschers zur Verfügung und die Gletscher bewegen sich daher schneller (Winkler 2009; Alean 2010; Böhm et al. 2011).

Betrachtet man die Bewegungslinien im Längsprofil, so erkennt man im Bereich oberhalb der Gleichgewichtslinie (Akkumulationsgebiet) des Gletschers einen zur Gletscherbasis gerichteten Bewegungsvektor. Diese, als Submergenz bezeichnete Bewegung, wird durch die stetige Akkumulation auf der Gletscheroberfläche und die gletscherabwärts gerichtete Bewegung verursacht. Im Bereich unterhalb der Gleichgewichtslinie (Ablationsgebiet) kehrt sich die Richtung dieser Vertikalbewegung um und ist von der Oberfläche weg gerichtet (Emergenz). Der Richtungswechsel ist durch die Änderung der Massenbilanz von Akkumulation zu Ablation zu begründen. Die horizontale Fließgeschwindigkeit ist im Bereich der Gleichgewichtslinie am höchsten. Die Fließgeschwindigkeiten im Querprofil eines Gletschers nehmen von den Rändern zur Mitte des Gletschers und von der Gletscherbasis zur Gletscheroberfläche hin zu (aufgrund der höheren Reibung am Gletscherrand und der Gletscherbasis) (Cuffey & Paterson 2006; Winkler 2009).

## Methode

Laut dem Physiker Albert Mousson (1805 - 1890) sah die alpenweit erste quantitative Messung des Gletscherfließens wie folgt aus (Abbildung 94):

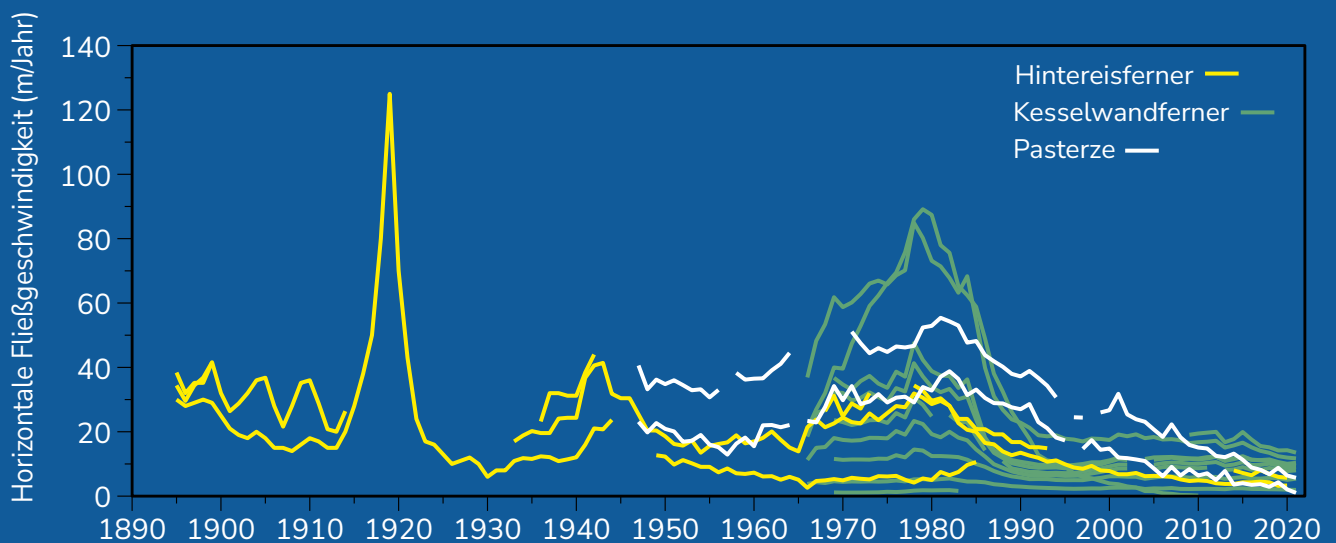
*„Das Verdienst eines quantitativen Nachweises der Gletscherbewegung kommt Hugli zu. Er hatte 1827 auf der Mittelmoraine des Aargletschers am Fusse des Abschwunges eine Steinhütte erbaut und fand sie 1830 gegen 100 Met. tiefer; 1836 lag sie 714 Met. Vom Felsen des Abschwunges entfernt; 1840 nach der Messung von Agassiz 1428 Met., was auf ein sehr rasches Fortrücken hindeutete.“*

(Mousson 1854)

Bald darauf begann man mit systematischen Messungen der Fließgeschwindigkeit der Alpengletscher, etwa durch Steine auf der Gletscheroberfläche oder Ablationspegel, deren Lage durch



**Abbildung 94:** Hugli Hütte, 1839 (Abbildung: Lithographie von Joseph Betanier).



**Abbildung 95:** Mittlere Fließgeschwindigkeit pro Jahre vom Hintereisferner, Kesselwandferner und der Pasterze. Weitere Informationen zu den jeweiligen Daten, Messpunkten, Profillinien und Messflächen sind in den jeweiligen Gletscher-Abschnitt zu finden.

## Datenlage

Fixpunkte am Gletscherrand rekonstruiert und somit die Distanz bestimmt werden konnte. Um homogene Messreihen zu bekommen, wurde die Methode bis heute nicht sehr verändert. Über den Gletscher werden Querprofile definiert, entlang derer Steine in gleichmäßigen Abständen gelegt werden. Die Steine werden zumeist mit roter Farbe, mit der Jahreszahl der Auslegung und einer Nummer versehen. Die Position der Steine wird dann entlang des Querprofils vermessen (Theodolit, GPS). Die Anzahl der Steine hängt von der Gletscherbreite ab und variiert daher mit der Zeit bei jeder Größenänderung des Gletschers. Im darauffolgenden Jahr werden diese Steine wieder aufgesucht und ihre Position bestimmt. Aus den so gemessenen Distanzen je Messpunkt wird ein Mittelwert über das gesamte Profil berechnet, also die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit des Gletschers entlang des Querprofils. Anschließend werden die Steine wieder an ihre ursprüngliche Position zurück gebracht und eingemessen. Zumeist wird die Fließgeschwindigkeit aus mehreren Querprofilen am Gletscher errechnet. Eine Alternative ist die Messung der Fließgeschwindigkeit durch Ablationspegel. Die Fließgeschwindigkeit ergibt sich wie bei den Steinreihen aus der Distanz zwischen der eingemessenen Lagen der Ablationspegel im Vor- und aktuellen Jahr.

Während der Kleinen Eiszeit kam es in den Ostalpen zu katastrophalen Gletschervorstößen (Nicolussi, 2012). Örtliche BeobachterInnen berichteten hier oft von einer hohen Geschwindigkeitszunahme im Bereich der Gletscherzunge. Um die Ursachen für diesen Geschwindigkeitsanstieg besser zu verstehen, wurde mit der Messung der Fließgeschwindigkeit begonnen. (Stocker-Waldhuber et al. 2019).

Eine der ersten Arbeiten in diesem Bereich in Österreich war die Vorstoßmessung am Vernagtferner in Tirol (Walcher 1773; Stotter 1846), einem Gletscher, der aufgrund seiner markanten Vorstöße und damit verbundenen Schäden im Ötztal schon früh Beachtung fand (Nicolussi, 2012).

Gegenwärtig werden an fünf Gletschern in Österreich Daten zur Fließgeschwindigkeit erhoben. Am Hintereisferner, Kesselwandferner, Gepatschferner und Taschachferner in Tirol und der Pasterze in Kärnten. Die Entwicklung der Fließgeschwindigkeit von Hintereisferner, Kesselwandferner und Pasterze seit Beginn der Messungen ist in Abbildung 95 zu sehen. Hier ist gut zu erkennen, dass die Fließgeschwindigkeit aller drei Gletscher seit den 1980er Jahren stetig abnimmt.



# GEPATSCHFERNER

46° 50' 42" N/10° 45' 17" O

Höhenlage: 3510 - 2100 m ü. A.

Exposition: Nordost bis Nord

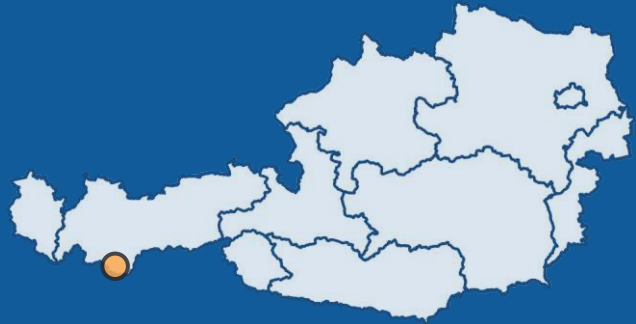


Foto: Gepatschferner, Gerhard K. Lieb 2020

# seit 2009/10


Beginn der regelmäßigen  
Fließgeschwindigkeits-  
messungen am  
Gepatschferner

Der Gepatschferner liegt im Talschluss des Kauner-  
tals im Einzugsgebiet des Speichers Gepatsch und  
bedeckte als zweitgrößter Gletscher der Ostalpen  
(Patzelt 1980; Groß 1987; Lambrecht and Kuhn  
2007; Kuhn et. al. 2012) im Jahr 2006 eine Fläche  
von mehr als 16,4 km<sup>2</sup>. Seine Fläche verringerte sich  
auf 15,6 km<sup>2</sup> im Jahr 2012 (Fischer et. al. 2015) bzw.  
15,3 km<sup>2</sup> im Jahr 2015.

Im Jahr 2009 wurde mit der Messung der Fließge-  
schwindigkeit der Eisoberfläche mittels Differential-  
GPS (DGPS) an drei Ablationspegeln am Gepatsch-  
ferner begonnen. Im Jahr 2012 wurde das Messnetz  
auf 16 Ablationspegel an der Zunge erweitert. Im  
Sommer 2020 wurde die Anzahl der Pegel im  
oberen Querprofil auf 3 Pegel und im Sommer 2021  
auf 2 Pegel im unteren Querprofil reduziert. Damit  
wird derzeit die Fließgeschwindigkeit durch 9  
Ablationspegel bestimmt (Abbildung 97).

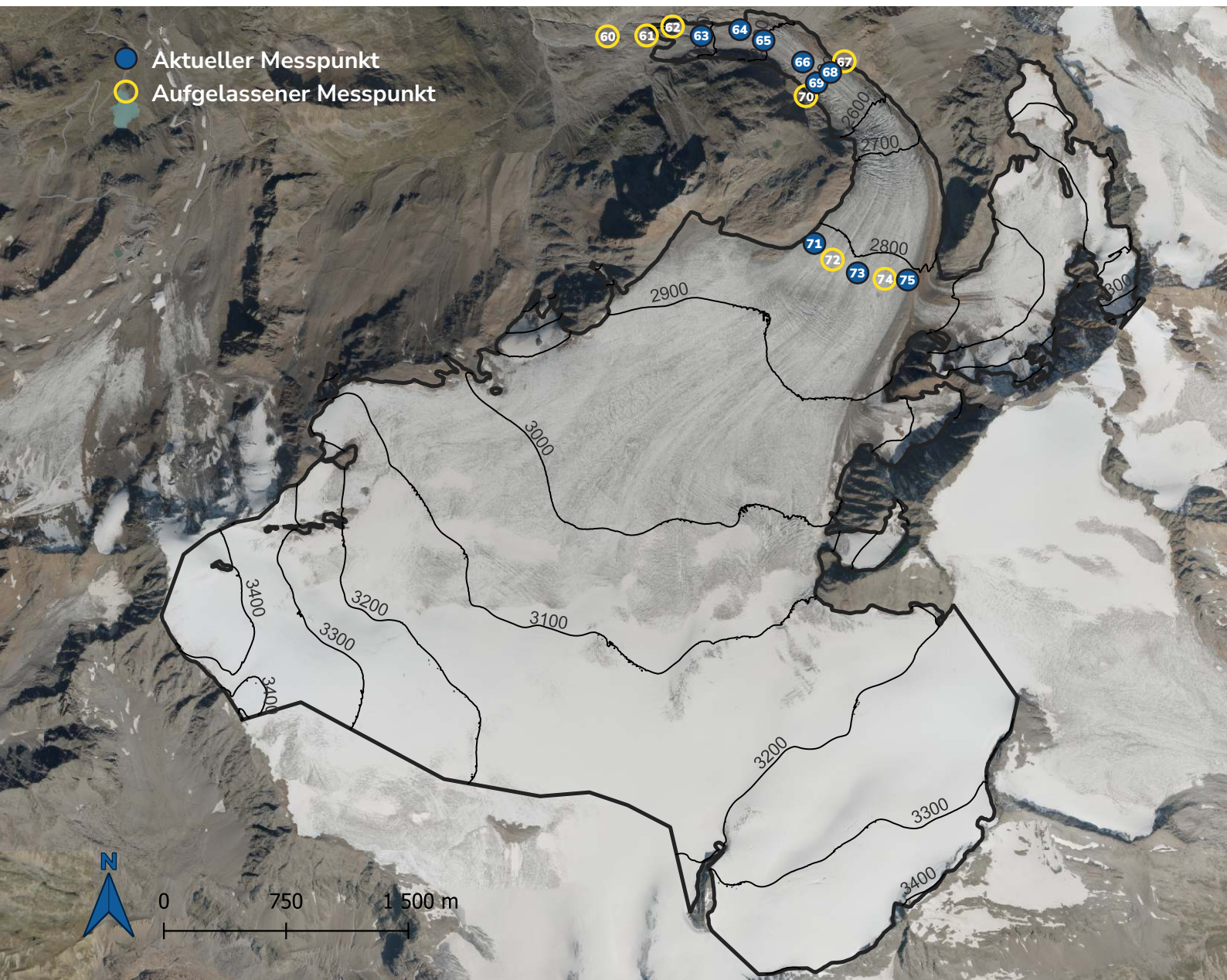
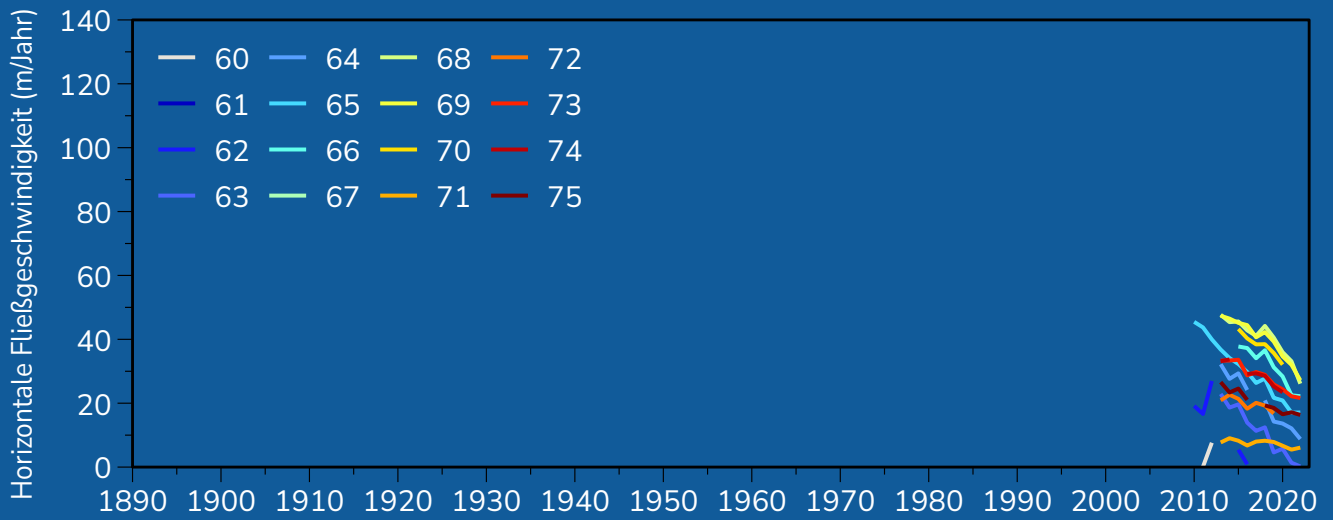
Die höchsten Fließgeschwindigkeiten werden an  
den Pegeln 68 und 69 gemessen (Abbildung 96). Es  
ist aber wahrscheinlich, dass das eigentliche  
Geschwindigkeitsmaximum des Gepatschfernens  
etwas höher liegt. Im oberen Querprofil nehmen die  
Bewegungsgeschwindigkeiten weiterhin leicht ab  
und liegen im Jahr 2022 im Mittel bei knapp 15 m.  
Seit Beginn der Messungen ist eine stetige Abnah-  
me der Fließgeschwindigkeiten an den Ablationspe-  
geln an der Gletscherzunge zu beobachten. An  
Ablationspegel 65, der längsten durchgehenden  
Zeitreihe, betrug die Fließgeschwindigkeit im Jahr  
2009/10 noch ca. 46 m/Jahr, mit stetiger Abnahme

auf aktuell ca. 17 m/Jahr. Unmittelbar am Ende der  
Gletscherzunge gehen die Fließgeschwindigkeiten  
gegen Null, wie dies derzeit am Pegel 63 der Fall ist.  
Dieser Bereich wird voraussichtlich im kommenden  
Jahr vollständig eisfrei werden.

 **Autor:** Dr. Martin Stocker-Waldhuber (Öster-  
reichische Akademie der Wissenschaften)



**Abbildung 96:** Horizontale mittlere jährliche Fließgeschwindigkeit aller Pegel seit Messbeginn (Daten: Verein Gletscher und Klima).





# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**0,2 m/Jahr**  
Pegel 63

**8,7 m/Jahr**  
Pegel 64

**17,1 m/Jahr**  
Pegel 65

**22,2 m/Jahr**  
Pegel 66

**26,1 m/Jahr**  
Pegel 68


**27,1 m/Jahr**  
Pegel 69

**6,1 m/Jahr**  
Pegel 71

**21,6 m/Jahr**  
Pegel 73

**16,3 m/Jahr**  
Pegel 75

Wie in den Vorjahren ist auch in diesem Haushaltsjahr ein Rückgang der Fließgeschwindigkeit am Gepatschferner zu beobachten. Zu Beginn der Messungen im Jahr 2009/10 lagen die Fließgeschwindigkeiten noch bei bis zu 50 m/Jahr. Im Haushaltsjahr 2021/22 betrug die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit nur noch 16,1 m/Jahr.

 **Autor:** Dr. Martin Stocker-Waldhuber (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

## ► Fließgeschwindigkeit DATEN Gepatschferner

**Datengeber:** Verein Gletscher und Klima

**Fördergeber:** Verein Gletscher und Klima

**Fließgeschwindigkeitsdaten:**

**Stocker-Waldhuber, Martin; Fischer, Andrea; Helfricht, Kay; Kuhn, Michael; Schneider, Heralt; Span, Norbert** (2018): Glacier surface velocities in the Ötztal Alps (Austria). PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.896741>,

**Stocker-Waldhuber, M., Fischer, A., Helfricht, K. & Kuhn, M.** (2019): Long-term records of glacier surface velocities in the Ötztal Alps (Austria), Earth Syst. Sci. Data, 11, 705-715, <https://doi.org/10.5194/essd-11-705-2019>.



**Abbildung 97:** Oberflächentopografie und Querprofile des Gepatschferners (Umriss (2020): Gletscherinventar (2015); Höhenlinien (2017) und Orthofoto (2020): Land Tirol - data.tirol.gv.at; Messnetz: Verein Gletscher und Klima).

# HINTEREISFERNER

46° 48' 0" N/10° 46' 12" O

Höhenlage: 3739 - 2550 m ü. M

Exposition: Ost bis Nordost

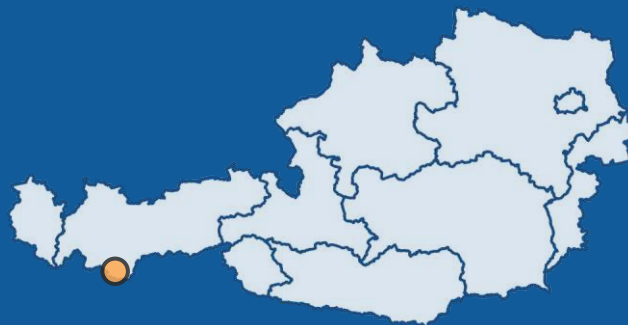


Foto: Hintereisferner, Robbie Shone 2020

# seit 1894/95

Beginn der regelmäßigen  
Fließgeschwindigkeits-  
messungen am  
Hintereisferner

Bereits 1894 wurde auf dem Hintereisferner von Blümcke und Hess das erste Querprofil aus Steinen zur Geschwindigkeitsmessung angelegt (Blümcke & Hess 1899). Hierbei handelt es sich um das Querprofil 3 (Abbildung 99) an dem bis 1985 Daten über die Fließgeschwindigkeit erhoben wurden, bis sie aufgrund des sich immer weiter zurückziehenden Gletschers aufgegeben werden musste (Stocker-Waldhuber et al. 2019).

Im Jahre 1932 wurde Querprofil 6 und 2013 Querprofil 7 angelegt, anhand derer bis heute die Fließgeschwindigkeit des Hintereisferners ermittelt wird. Die Daten von Querprofil 6 (vor 1932/33) und 7 (vor 2013/14) wurden mit Geschwindigkeitsaufzeichnungen von Ablationspegeln ergänzt.

In Abbildung 98 sehen wir die Schwankungen der mittleren jährlichen Fließgeschwindigkeit, die an den drei Steinlinien gemessen wurde.


Es sind drei Phasen mit einer erhöhten Fließgeschwindigkeit zu erkennen. Die erste fand vor 1920 statt, mit einer maximalen mittleren Geschwindigkeit von 125 m/Jahr an Linie 3 im Jahr 1919. Das sind 112 m/Jahr mehr als der langjährige Mittelwert (1895-1985) von 13 m/Jahr an dieser Stelle (Stocker-Waldhuber et al. 2019). In den darauffolgenden Jahren sank die mittlere Geschwindigkeit wieder stark ab (1923: 17 m/Jahr).

Die zweite Phase dauerte von 1935 bis in die frühen 1940er Jahre an und erreichten ihren Höhepunkt bei

Steinlinie 6 im Jahr 1942 mit 44 m/Jahr, bei Steinlinie 6 im Jahr 1943 mit 41,4 m/Jahr und bei der tiefsten Steinlinie 3 im Jahr 1944 mit 23,7 m/Jahr (Stocker-Waldhuber et al. 2019).

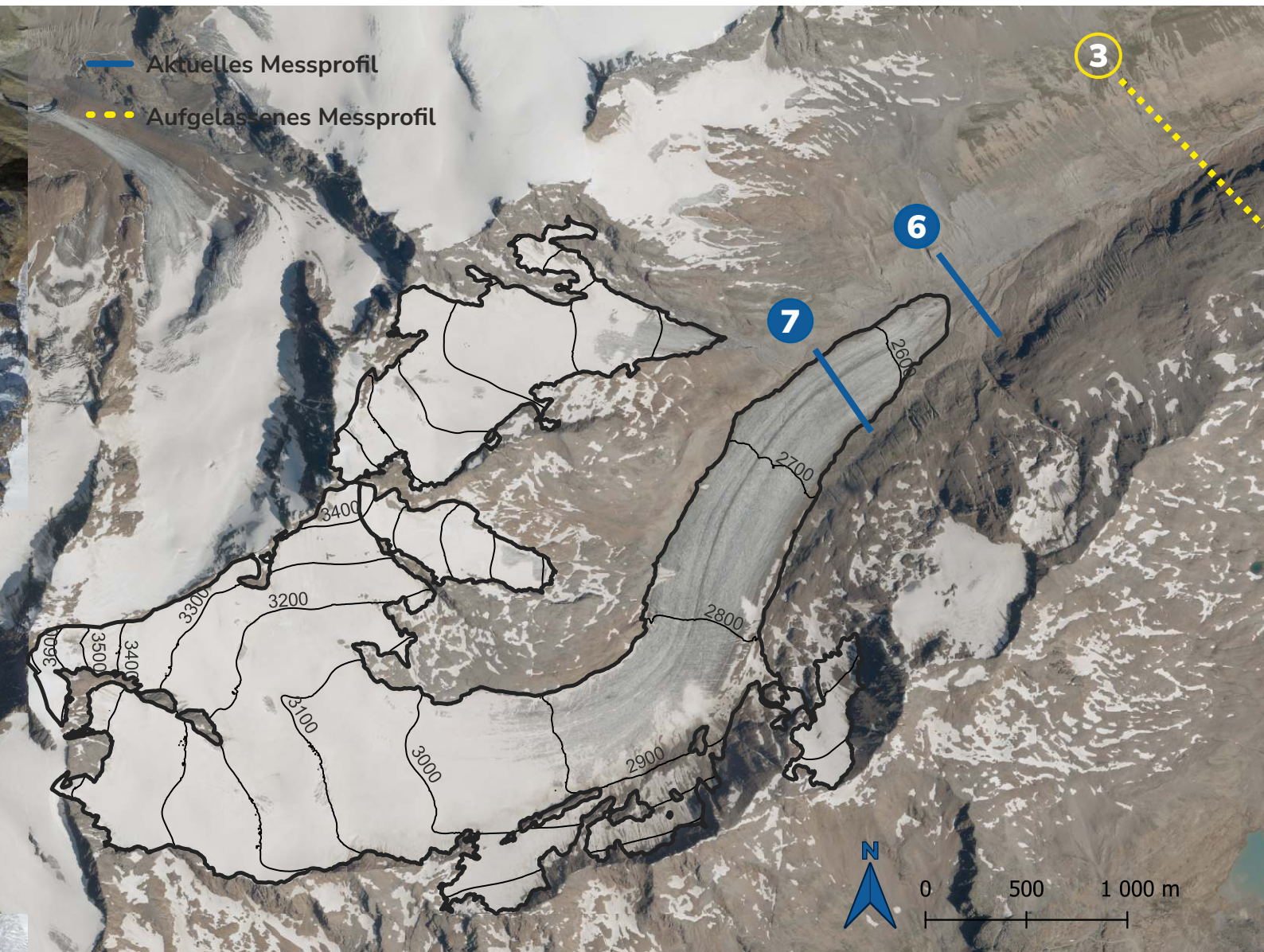
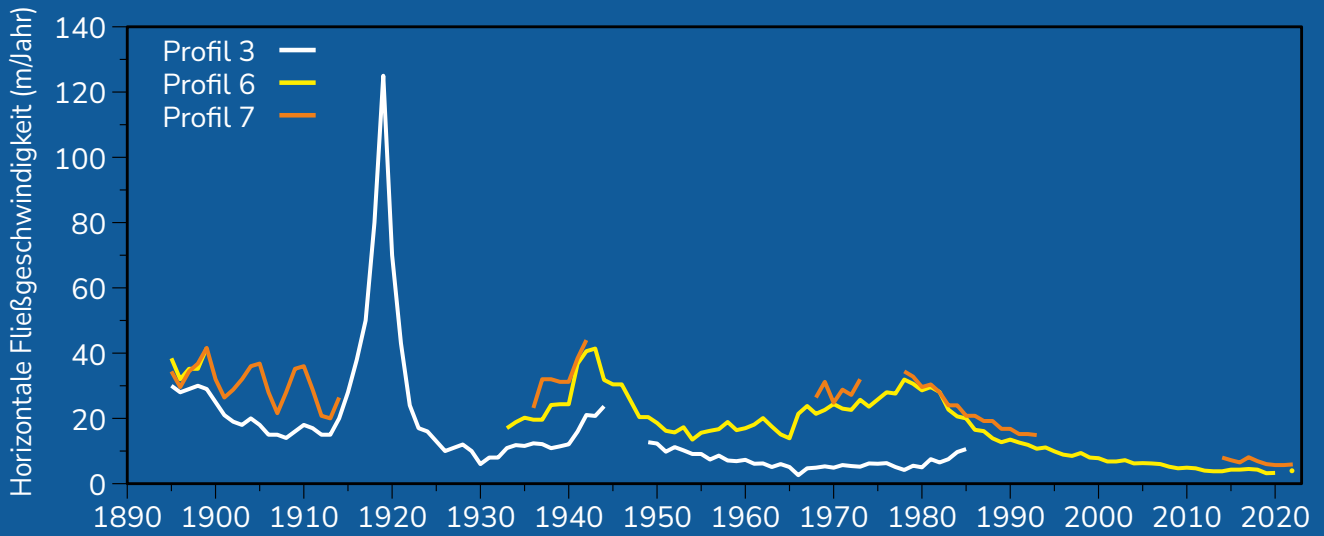
Die letzte und schwächste Periode wurde in den 1970er Jahren gemessen und erreichte ihren Höhepunkt bei Steinlinie 6 im Jahr 1978 mit 31,90 m/Jahr. Bei Steinlinie 3 wird 1985 der höchste Wert erreicht, allerdings endet die Messreihe bei dieser Linie auch im selben Jahr. Von Steinlinie 7 fehlen die Daten zwischen 1974 und 1977. Während dieser Zeit war die Massenbilanz des Gletschers für mehrere Jahre positiv (Span et al. 1997; Stocker-Waldhuber et al. 2019).

Seit dieser Periode haben die gemessenen Oberflächengeschwindigkeiten an den Steinlinien des Hintereisferners kontinuierlich abgenommen. Dieser kontinuierliche Rückgang geht mit stark negativen Massenbilanzen in den letzten Jahrzehnten einher.

 **Autor:** Dr. Martin Stocker-Waldhuber (Österreichische Akademie der Wissenschaften)



**Abbildung 98:** Horizontale mittlere jährliche Fließgeschwindigkeit aller Querprofile seit Messbeginn. Die Daten von Querprofil 6 (vor 1932/33) und 7 (vor 2013/14) wurden mit Geschwindigkeitsaufzeichnungen von Ablationspegeln ergänzt. (Daten: Verein Gletscher und Klima).



# HAUSHALTSJAHR 2021/22


**3,9 m/Jahr**

Mittlere Fließgeschwindigkeit  
Linie 6

**5,9 m/Jahr**

Mittlere Fließgeschwindigkeit  
Linie 7

Im Haushaltsjahr 2021/22 wurde, wie in den Vorjahren, für beide Querprofile eine Abnahme der Fließgeschwindigkeit gemessen. Für die Linie 6 konnte eine mittlere Geschwindigkeit von 3,9 m/Jahr und für die Linie 7 eine mittlere Geschwindigkeit von 5,9 m/Jahr ermittelt werden.

 **Autor:** Dr. Martin Stocker-Waldhuber  
(Österreichische Akademie der Wissenschaften)

## ► Fließgeschwindigkeit DATEN Kesselwandferner

**Datengeber:** Verein Gletscher und Klima

**Fördergeber:** Verein Gletscher und Klima

**Fließgeschwindigkeitsdaten:**

**Stocker-Waldhuber, Martin; Fischer, Andrea; Helfricht, Kay; Kuhn, Michael; Schneider, Heralt; Span, Norbert** (2018): Glacier surface velocities in the Ötztal Alps (Austria). PANGAEA,  
<https://doi.org/10.1594/PANGAEA.896741>,

**Stocker-Waldhuber, M., Fischer, A., Helfricht, K. & Kuhn, M.** (2019): Long-term records of glacier surface velocities in the Ötztal Alps (Austria), Earth Syst. Sci. Data, 11, 705-715, <https://doi.org/10.5194/essd-11-705-2019>.



**Abbildung 99:** Oberflächentopografie und Querprofile des Hintereisferners. Linie 6 liegt vor dem Gletscherumriss (schwarze dicke Linie), da es sich um einen stark mit Schutt bedeckten Teil des Gletschers handelt. (Umriss (2020): Universität Innsbruck; Höhenlinien (2017) und Orthofoto (2020): Land Tirol - [data.tirol.gv.at](http://data.tirol.gv.at); Messnetz: Verein Gletscher und Klima).



# KESSELWANDFERNER

46° 50' 41" N/10° 47' 22" O

Höhenlage: 2900 - 3500 m ü. M

Exposition: Südost bis Ost

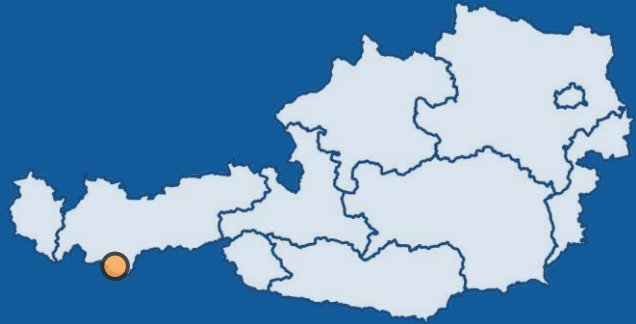


Foto: Kesselwandferner, Rainer Prinz 2020



# seit 1965/66

Beginn der regelmäßigen  
Fließgeschwindigkeits-  
messungen am  
Kesselwandferner

Der Kesselwandferner befindet sich im Rofental, einem Seitental des Ötztals, in Tirol. Er umfasste im Jahr 2018 eine Fläche von ca. 3,55 km<sup>2</sup> und erstreckt sich auf ca. 3 km Länge vom Fluchtkogel auf 3500 bis 2900 m ü. A. in südöstlicher Richtung ins Rofental.

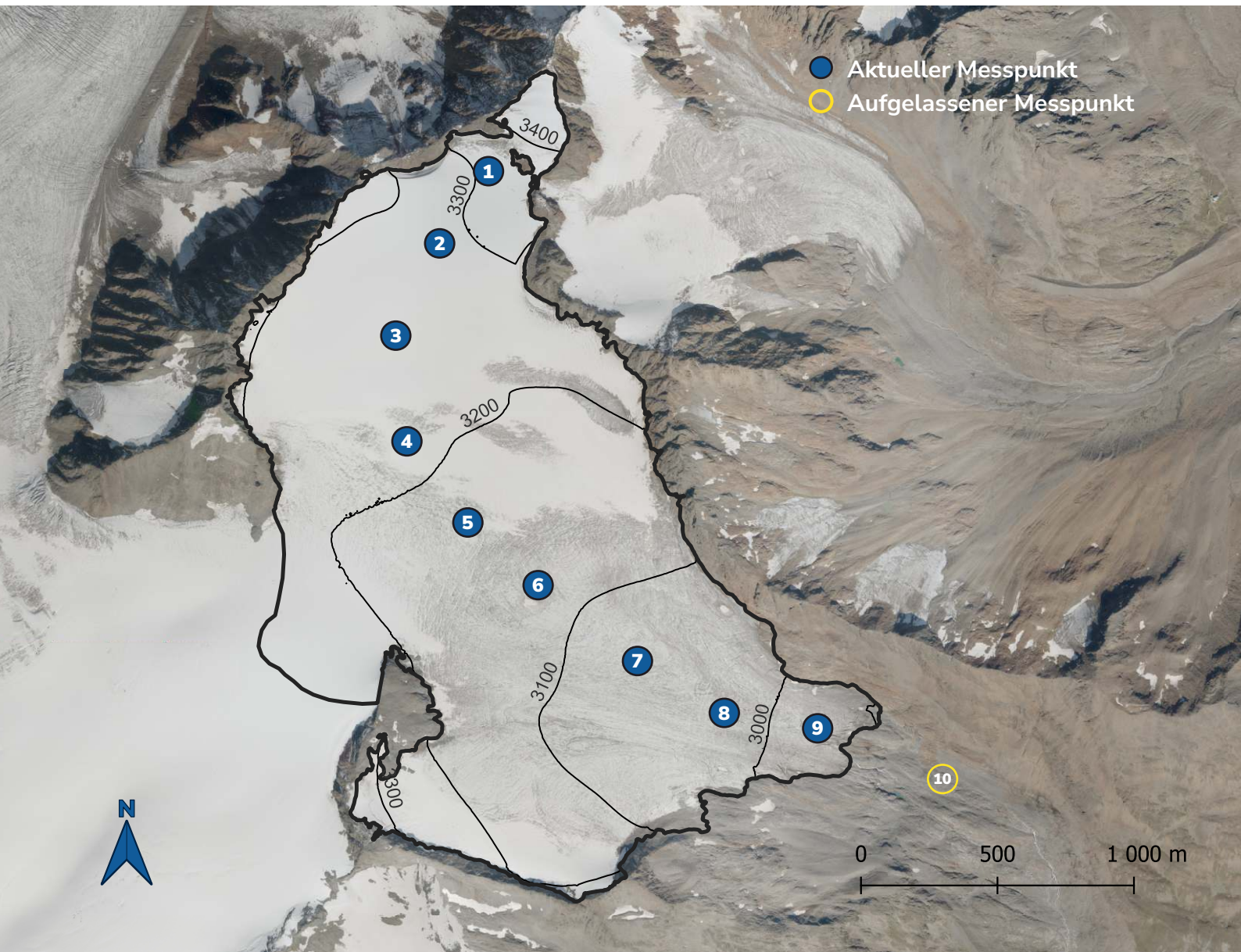
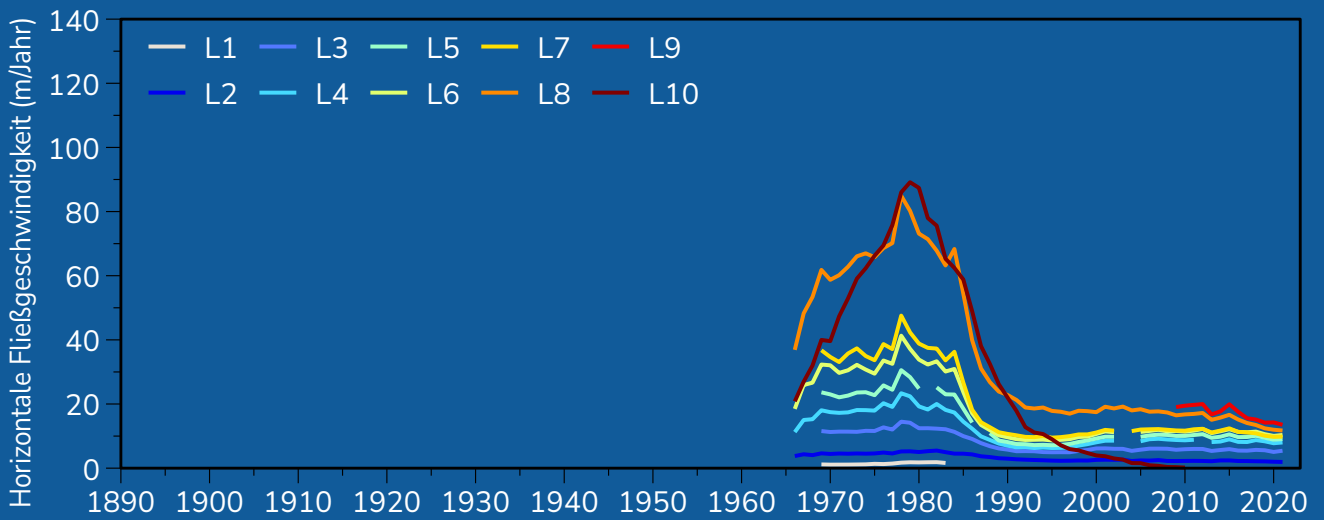
Die Bewegung des Kesselwandfeners wird seit dem Haushaltsjahr 1965/66 jährlich erhoben. Mit geodätischen Methoden (Theodolit/Tachymeter bis 2009, seither dGPS/RTK) werden die Positionen von Ablations- und Akkumulationspegeln bestimmt und die horizontale und vertikale Bewegung des Gletschers berechnet. Die Pegel werden jährlich am jeweiligen Ausgangspunkt neu eingebohrt (Abbildung 101).

In den 1960er Jahren konnte eine Zunahme der Fließgeschwindigkeiten beobachtet werden (Abbildung 100). Die höchsten Fließgeschwindigkeiten wurden in den späten 1970er Jahren mit bis zu 90 m/Jahr gemessen, gingen dann aber bis etwa 1990 stark zurück. Seitdem nehmen die Fließgeschwindigkeiten langsam, aber stetig ab und liegen derzeit bei etwa 9 m/Jahr im Durchschnitt für das Jahr 2021.



**Autor:** Dr. Martin Stocker-Waldhuber (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

**Abbildung 100:** Horizontale mittlere jährliche Fließgeschwindigkeit aller Pegel seit Messbeginn (Daten: Verein Gletscher und Klima).



# HAUSHALTSJAHR 2021/22

## Mittlere Geschwindigkeit aller Pegel

Aufgrund der außergewöhnlich hohen Ablation im letzten Sommer war es nicht möglich, die Position der meisten Ablationspegel auf dem Kesselwandferner im Jahr 2022 zu bestimmen. Eine Rekonstruktion über "alte" Pegel, die z.B. vor einigen Jahren im Firn "versunken" sind und bei weiterhin starker Schmelze wieder auftauchen werden, kann frühestens in 2-3 Jahren erfolgen. Für das Haushaltsjahr 2021/22 muss bis dahin eine Lücke bleiben.

 **Autor:** Dr. Martin Stocker-Waldhuber (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

### ► Fließgeschwindigkeit DATEN Kesselwandferner

**Datengeber:** Verein Gletscher und Klima

**Fördergeber:** Verein Gletscher und Klima

**Fließgeschwindigkeitsdaten:**

**Stocker-Waldhuber, Martin; Fischer, Andrea; Helfricht, Kay; Kuhn, Michael; Schneider, Heralt; Span, Norbert** (2018): Glacier surface velocities in the Ötztal Alps (Austria). PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.896741>,

<https://doi.org/10.1594/PANGAEA.896741>,

**Stocker-Waldhuber, M., Fischer, A., Helfricht, K. & Kuhn, M.** (2019): Long-term records of glacier surface velocities in the Ötztal Alps (Austria), *Earth Syst. Sci. Data*, 11, 705-715, <https://doi.org/10.5194/essd-11-705-2019>.



**Abbildung 101:** Oberflächentopografie und Messnetz des Kesselwandfernens (Umriss (2020): Universität Innsbruck; Höhenlinien (2017) und Orthofoto (2020): Land Tirol - [data.tirol.gv.at](http://data.tirol.gv.at); Messnetz: Verein Gletscher und Klima).



# TASCHACHFERNER

46° 53' 50" N/10° 51' 34" O

Höhenlage: 3770 - 2495 m ü. A.

Exposition: Nord bis Nordwest

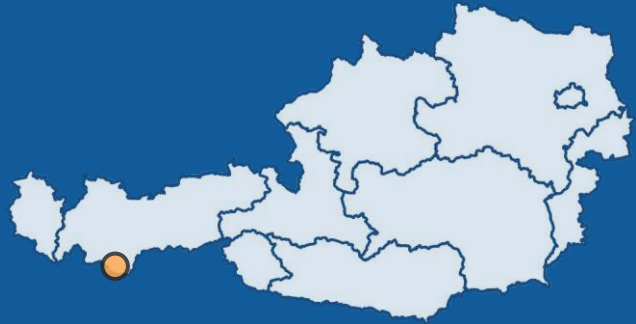


Foto: Taschachferner, Gerhard K. Lieb 2020

# seit 2009/10

Beginn der regelmäßigen  
Fließgeschwindigkeitsmessungen  
am Taschachferner

Der Taschachferner befindet sich in den Öztaler Alpen (Tirol, Österreich) und bildet einen Talschluss des Pitztales. Der Taschachferner besteht aus einem östlichen und einem westlichen Arm, wobei sich diese im Bereich des ehemaligen Zusammenflusses nördlich der Taschachwand bereits getrennt haben (Abbildung 103). Ein großer schuttbedeckter Eiskörper befindet sich in diesem Gebiet.

Der östliche Teil des Taschachfernens entspringt an der Wildspitze (3770 m ü. A.) und erstreckt sich in Form eines Talgletschers. Dieser bedeckte im Jahr 2006 eine Fläche von 5,7 km<sup>2</sup> (Fischer et al. 2015) und im Jahr 2017 eine Fläche von 5,37 km<sup>2</sup>. Seitdem ist ein fortschreitender Längenverlust an der Gletscherzunge ersichtlich.

Der überwiegende Teil des Taschachfernens ist nach Norden ausgerichtet, während die Zunge in westliche Richtungen zeigt. Das derzeitige Ende der Gletscherzunge liegt auf etwa 2495 m ü. A.

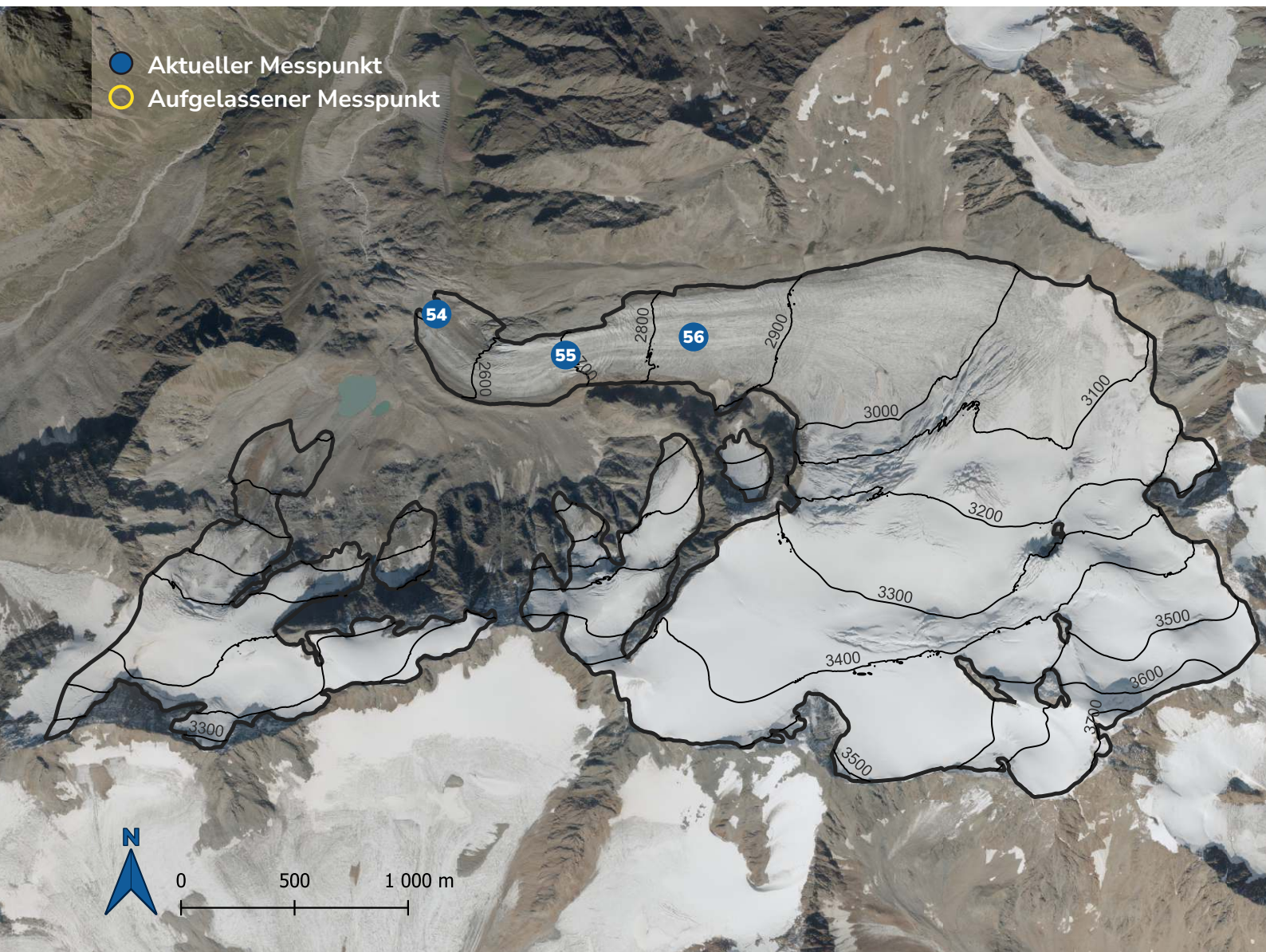
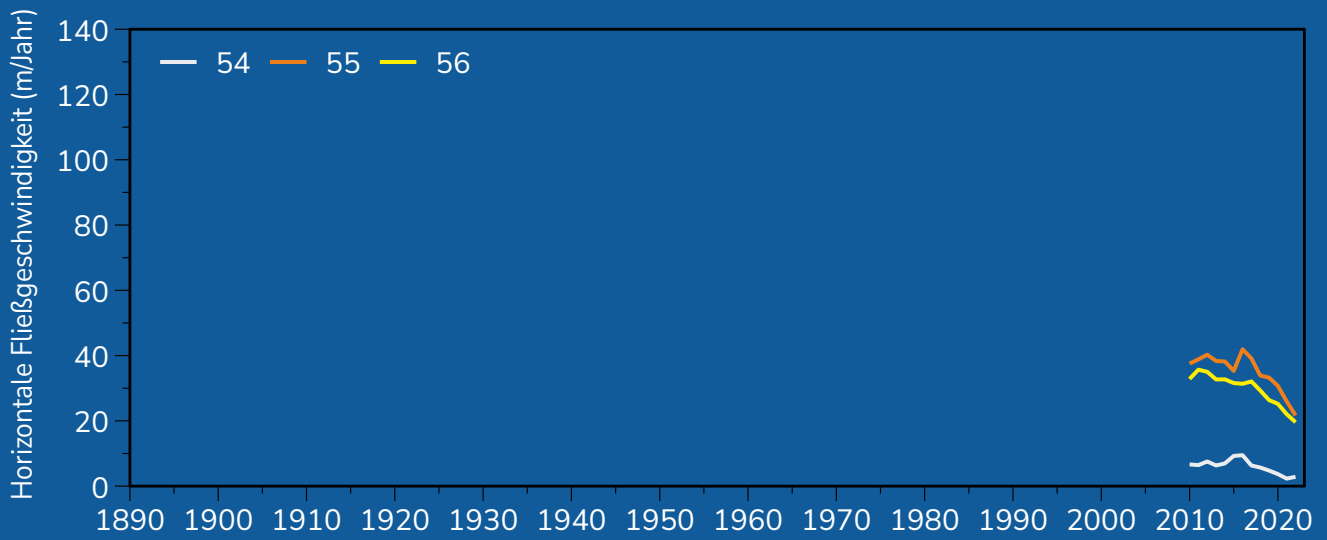
Seit 2009 wird die Bewegung der Eisoberfläche an drei Punkten auf der Zunge des Taschachfernens gemessen (Abbildung 103). Damit liegt nun bereits eine 14-jährige Messreihe vor (Abbildung 102). Die Arbeiten und deren Auswertung werden von der Tiroler Wasserkraft AG finanziert und vom Institut für interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften durchgeführt.



**Autor:** Kay Helfricht (Österreichische Akademie der Wissenschaften)



**Abbildung 102:** Horizontale mittlere jährliche Fließgeschwindigkeit aller Pegel seit Messbeginn (Daten: Verein Gletscher und Klima).






# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**2,8 m/Jahr**  
Pegel 54

**21,6 m/Jahr**  
Pegel 55

**19,6 m/Jahr**  
Pegel 56

Wie bei den anderen Gletschern beobachten wir auch am Taschachferner eine stetige Abnahme der Fließgeschwindigkeit. Während sie zu Beginn der Messungen im Haushaltsjahr 2009/10 noch bei ca. 40 m/Jahr lag, konnte für das aktuelle Haushaltsjahr 2021/22 nur noch eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 14,7 m/Jahr gemessen werden.

 **Autor:** Kay Helfricht (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

## ▶ Fließgeschwindigkeit DATEN Taschachferner

**Datengeber:** Verein Gletscher und Klima

**Fördergeber:** Tiroler Wasserkraft AG

**Fließgeschwindigkeitsdaten:**

**Stocker-Waldhuber, Martin; Fischer, Andrea; Helfricht, Kay; Kuhn, Michael; Schneider, Heralt; Span, Norbert** (2018): Glacier surface velocities in the Ötztal Alps (Austria). PANGAEA,

<https://doi.org/10.1594/PANGAEA.896741>,

**Stocker-Waldhuber, M., Fischer, A., Helfricht, K. & Kuhn, M.** (2019): Long-term records of glacier surface velocities in the Ötztal Alps (Austria), Earth Syst. Sci. Data, 11, 705-715, <https://doi.org/10.5194/essd-11-705-2019>.



**Abbildung 103:** Oberflächentopografie und Querprofile des Taschachferners (Umriss (2020): Gletscherinventar (2015); Höhenlinien (2017) und Orthofoto (2020): Land Tirol - [data.tirol.gv.at](http://data.tirol.gv.at); Messnetz: Verein Gletscher und Klima).

# PASTERZE

47° 5' 8" N/12° 43' 24" O

Höhenlage: 3500 - 2070 m ü. A.

Exposition: Südost

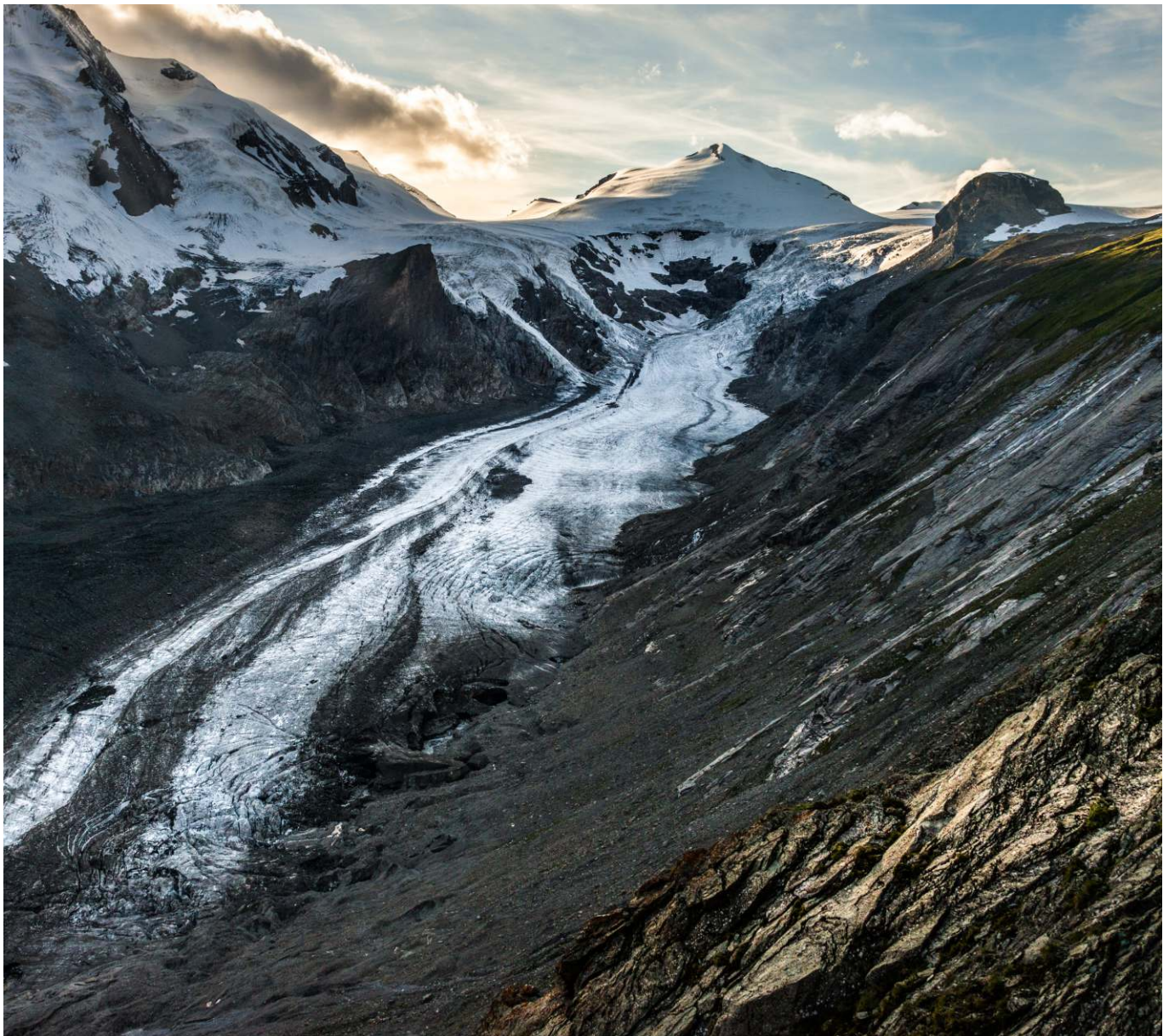
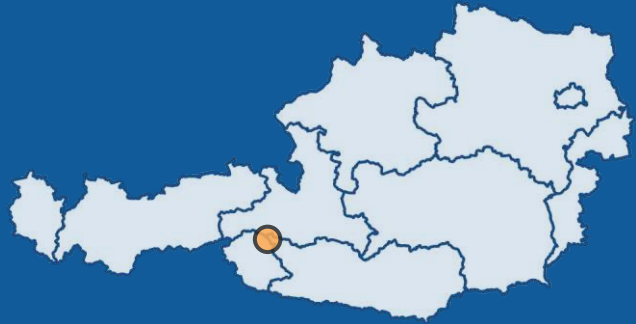


Foto: Pasterze, Bernd Thaller 2014

# seit 1882/83

Beginn der regelmäßigen  
Fließgeschwindigkeitsmessungen  
an der Pasterze

An der Pasterze wurde im Jahr 1882 durch Ferdinand Seeland das erste Querprofil zur Messung der Geschwindigkeit eingerichtet (Wakonigg 1991). Die erste wissenschaftliche Monographie hierzu entstand durch Paschinger (1948), der darin eine erste übersichtliche Karte mit der Lage der damaligen Messprofile präsentierte. Dies waren zu jener Zeit die Sattellinie, die Seelandlinie, die Burgstalllinie und die Linie am Kleinen Burgstall (Abbildung 104). Heute werden die jährlichen Vermessungsarbeiten im Bereich der Gletscherzunge noch an den Profilen Seelandlinie und Burgstalllinie durchgeführt, wobei im Jahr 2018 zusätzlich noch die Wasserfalllinie, unterhalb des Wasserfallkeeses, eingerichtet wurde (Kellerer-Pirklbauer & Bauer 2021).

Im Bereich der heutigen Burgstalllinie haben auch schon die berühmten Pioniere der alpinen Vermessung, die Gebrüder Schlagintweit, im Jahr 1848 die Gletschergeschwindigkeit erstmals gemessen (Paschinger 1969). Aber auch im Bereich der heutigen Seelandlinie wurde bereits im Jahr 1848 durch die Brüder Schlagintweit mittels einer Blockreihe die Geschwindigkeit bestimmt, wobei die gemessene Maximalgeschwindigkeit damals 90 m/Jahr betrug (Paschinger 1969). Im Vergleich dazu, im Gletscherhaushaltsjahr 2019/20 lag dieser Wert bei 8,8 m/Jahr, also nur 10 % des Wertes von vor rund 170 Jahren (Kellerer-Pirklbauer & Bauer 2021). Ein Jahr später reduzierte sich dieser Maximalwert nur mehr 8,0 m/Jahr (Kellerer-Pirklbauer 2021), für das letzte Gletscherhaushaltsjahr 2021/22 lag dieser Wert zum Zeitpunkt der Berichtslegung noch

nicht offiziell vor, wobei auf Basis der gletscherweiten Zerfallerscheinungen (Kellerer-Pirklbauer & Kulmer 2019) von einer weiteren nachlassenden Gletscherdynamik und somit Reduzierung des Maximalwertes ausgegangen werden kann.

Die Anlage der sogenannten „Linie am Hohen Burgstall“ zwischen Hohem und Mittlerem Burgstall fiel in das Jahr 1947, wobei noch heute dort gemessen wird. Im Jahr 2015 konnte an der mittleren der drei ursprünglichen Steinpositionen an der Linie am Hohen Burgstall (Position von „Stein 2“) viele einst dort eingemessene Steine mit Differential GPS bzw. GNSS vermessen werden (siehe Abb. 8C in Kellerer-Pirklbauer & Bauer 2021). Der älteste im Jahr 2015 gefundene Stein war aus dem Jahr 1950, also aus der „Pionierzeit“ dieses Profils. Zwischen 1950 und 2015 bewegte sich dieser Stein mit der Codierung „2.50“ um etwa 220 m gletscherabwärts, also im Mittel um rund 3,4 m/Jahr, was deutlich über den aktuellen Werten (0,6 m/Jahr in 2020/21; Kellerer-Pirklbauer 2021) ist. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist auch, dass schon in den 1950er Jahren Markierfarbe von guter Qualität verwendet wurde. So konnte man 2015 die Markierung von Steinen aus den 1950er und 1960er Jahren einwandfrei erkennen. Zuletzt sei hier noch erwähnt, dass im Jahr 1949 auch die Messreihe am Profil im ursprünglichen Nährgebiet der Pasterze auf ca. 3000 m ü. A. das sogenannten Firnprofil initiiert wurde (Kellerer-Pirklbauer & Bauer 2021).

Im Jahr 2022 wurden an der Seelandlinie, der Wasserfalllinie, der Burgstalllinie und der Linien am

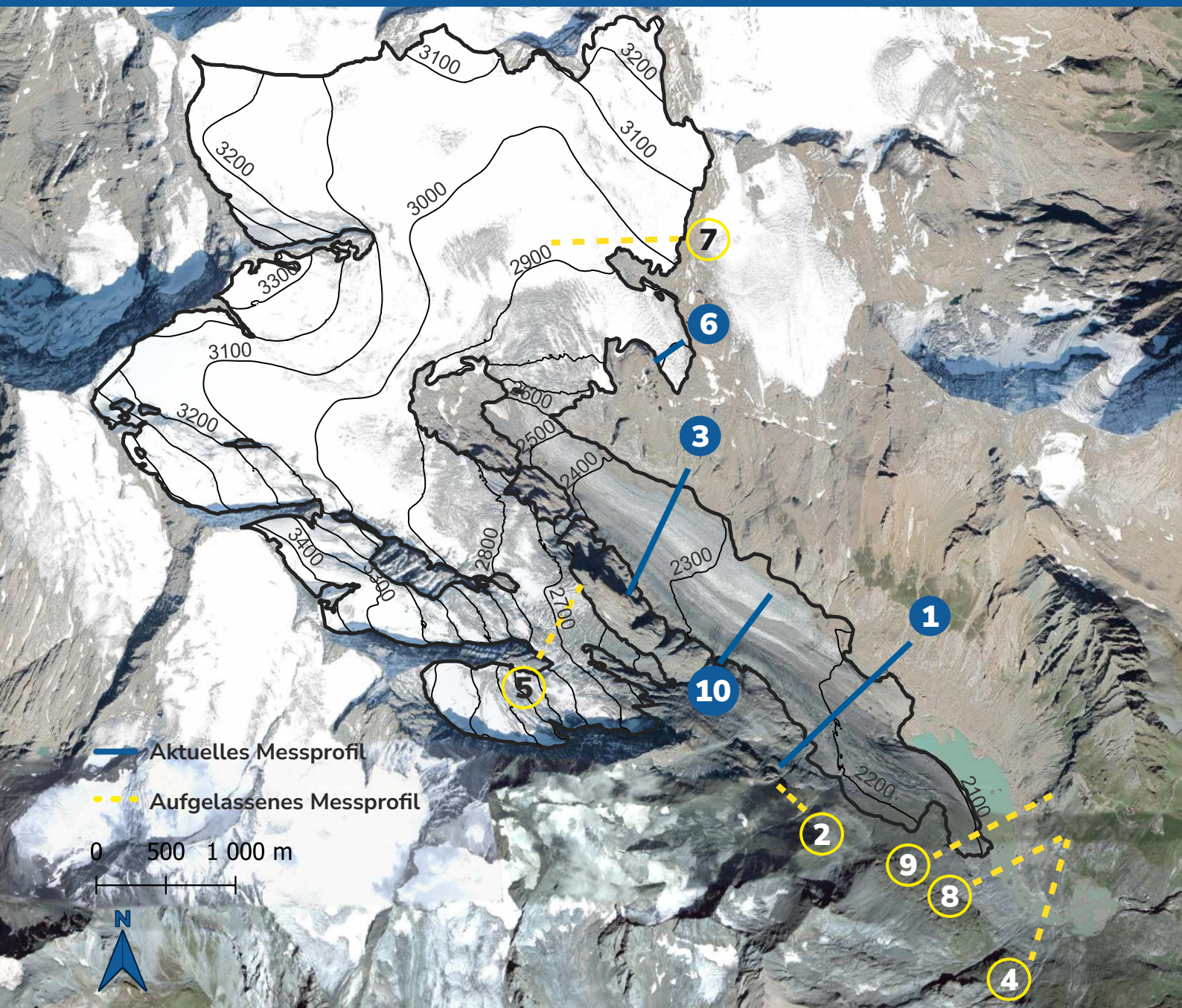


Hohen Burgstall Bewegung und Höhenänderung gemessen. Beim höchsten gelegenen Profil, dem Firnprofil, wurde die Höhenänderung bestimmt.

**Autor:** Dr. Andreas Kellerer-Pirklbauer (Universität Graz)

**Abbildung 104:** Oberflächentopografie und Messnetz der Pasterze (Umriss (2018): GeoSphere Austria; Höhenlinien (2015): Geoland.at; Orthofoto (2018): Land Kärnten - data.gv.at; Messnetz: Kellerer-Pirklbauer & Bauer 2021).

- |                                           |                                         |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1: Seelandlinie (1927-2021)               | 6: Linie am Hohen Burgstall (1947-2021) |
| 2: Linie am Hofmannskees (1935-1953)      | 7: Firnprofil (1949-2021)               |
| 3: Burgstalllinie (1935-2021)             | 8: Viktor-Paschinger Linie (1963-1994)  |
| 4: Sattellinie (1936-1963)                | 9: Freiwandlinie (1994-2013)            |
| 5: Linie am Kleinen Burgstall (1929-1959) | 10: Wasserfalllinie (2018-2021)         |



# HAUSHALTSJAHR 2021/22


**6,9 m/Jahr**

Mittlere Fließgeschwindigkeit  
Burgstalllinie

**1,3 m/Jahr**

Mittlere Fließgeschwindigkeit  
Seelandlinie

Die Bewegungsmessungen an der Pasterzenzunge in 2021/22 zeigten eine wenig veränderte Gletscherdynamik an allen drei gemessenen Profilen bei weiterer Zunahme der Zerfallserscheinungen. Im Vergleich zum Vorjahr lieferten deutlich weniger Messpunkte verwertbare Daten für die Bewegungsanalyse (2021: n=19, 2022: n=10). Entweder konnten Messpunkte wegen Zerfallserscheinungen nicht besucht werden, oder Rutschprozesse verursachten Verfälschungen. Auf Basis der identen 10 Messteine die in 2020, 2021 und 2022 vermessen werden konnten, betrug die mittlere Geschwindigkeit 4,1 m/Jahr für 2020/21 sowie 4,6 m/Jahr für 2021/22.

 **Autor:** Dr. Andreas Kellerer-Pirklbauer  
(Universität Graz)

## ► Fließgeschwindigkeit DATEN Pasterze

**Datengeber:** Institut für Geographie und Raumforschung  
(Universität Graz)

**Fördergeber:** ÖAV-Patenschaftsfonds Nationalpark Hohe Tauern

**Fließgeschwindigkeitsdaten:** Pasterze - mittlere Jahresbewegung an Seeland- und Burgstalllinie von 2017 bis 2022: Lieb, K. G. & Kellerer-Pirklbauer, A.; von 1991 bis 2016 Lieb, K. G.; vor 1947 Wakonigg H. 1991: Die Nachmessungen an der Pasterze von 1879 bis 1990. Arb. Geogr. Inst. Graz 30, 271-307. Aufbereitet: A. Kellerer-Pirklbauer; 2023

UNIVERSITÄT GRAZ



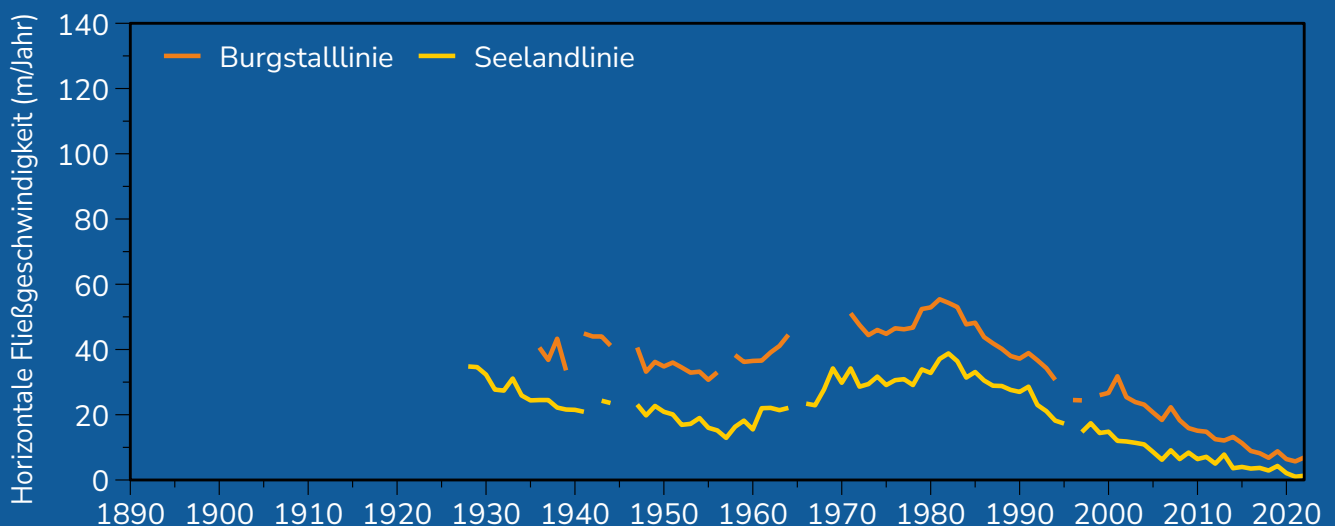
**GEO.GRAZ**

**alpenverein**  
österreich



**Nationalpark**  
Hohe Tauern

**Abbildung 105:** Horizontale mittlere jährliche Fließgeschwindigkeit der Seeland- und Burgstalllinie seit Beginn der Messungen (Daten: Universität Graz).





# PERMAFROST



## Warum ist Permafrost-Monitoring wichtig?

Seit den 1880er Jahren ist die mittlere Jahrestemperatur in Österreich um ungefähr 2 °C gestiegen (APCC 2014). Eine Konsequenz dieser Entwicklung ist die Permafrostdegradation, beginnend mit der Erwärmung des Permafrostes bis zum kompletten Abbau des Permafrostes im Hochgebirge. Die zuvor stabilisierende Wirkung des Permafrostes auf Grate, Schutthalden oder Felswände lässt bereits bei Erwärmung deutlich nach und ist aktuell nur mehr deutlich reduziert gegeben.

Die Folge ist eine Zunahme von Steinschlägen, Felsstürzen und Bodensetzungen. Diese stellen einen erheblichen Risikofaktor dar, der vor allem für den hochalpinen Fremdenverkehr von steigender Relevanz ist (z. B. Bergsturz am Fluchthorn). Um Zustandsänderungen des Permafrostes zu erfassen und das resultierende Gefahrenpotenzial abzuschätzen, ist ein präzises, langfristiges Permafrost-Monitoring unabdingbar.

Das Verschwinden des Permafrostes als Konsequenz des Klimawandels ist im Unterschied zum Verschwinden der Gletscher visuell kaum nachzuvollziehen. Einzig die Veränderungen in der Dynamik der Blockgletscher lassen ein eingeschränktes Bild vom Zustand vom alpinen Permafrost zu.

Seine Bedeutung für die Sicherheit von Mensch und Infrastruktur macht Permafrost jedoch zu einem Schlüsselindikator, dessen engmaschige Beobachtung von hoher Relevanz ist. Permafrost ist – so wie Gletscher – als Essential Climate Variable (ECV) gelistet, was die Bedeutung dieses Klimawandelfolgen-Parameters deutlich hervorstreicht.



# Alpiner Permafrost

Permafrost ist Untergrundmaterial (Lockermaterial inklusive organischem Material, Festgestein sowie Eis), das über mindestens zwei aufeinander folgende Jahre Temperaturen von 0 °C oder weniger aufweist. Diese ganzjährig gefrorene Schicht ist im Sommer von einer saisonalen, im Alpenraum meist mehrere Meter mächtigen Auftauschicht überlagert.

Ungefähr ein Viertel der Erdoberfläche ist von Permafrost beeinflusst (Nötzli & Gruber 2005). Erwartungsgemäß liegen die größten Permafrostflächen in den hohen Breiten, dieser Permafrost wird auch polarer und subpolarer Permafrost genannt. Nur rund ein Zehntel der weltweiten Permafrostfläche finden wir im Hochgebirge, der sogenannte Hochgebirgs- oder alpine Permafrost (Schrott et al. 2012).

Im Gegensatz zu den Gletschern ist alpiner Permafrost an der Erdoberfläche, da ja ein thermisches Phänomen des Untergrundes, nicht sichtbar. Insofern ist es schwierig, Permafrost in seinem Verbreitungsmuster räumlich nachzuweisen und abzugrenzen. Nur durch tiefere Bohrlöcher (Tiefenbohrlöcher), die durch die saisonale Auftauschicht reichen, oder indirekte Messmethoden (z.B. Geoelektrik oder Seismik) können die Existenz von Permafrost und seine Veränderungen festgestellt werden. Eine Ausnahme hiervon sind aktive Blockgletscher, die sichtbare Indikatoren für Permafrost darstellen (Lieb 1996; Schrott et al. 2012).

Die Verbreitung von Permafrost in Österreich wird durch die Seehöhe und Topografie bestimmt. Die für den Permafrost entscheidende Temperatur an der Bodenoberfläche zeigt Bezüge zur Lufttemperatur und hängt von der direkt einfallenden Sonnenstrahlung ab. Die Lufttemperatur wiederum ändert sich mit der Höhe und die Höhe der einfallenden Sonnenstrahlung hängt von der Exposition und Hangneigung ab. Aus diesem Grund findet man in Österreich in Nordhängen ab 2200 m ü. A. und in Südhängen ab etwa 3000 m ü. A. Permafrost (Lieb 1996; Lieb 1998). Ein weiterer wichtiger Faktor sind die physikalischen Eigenschaften des Substrates (Albedo, spezifische Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit), welche wiederum u. a. von Gesteinsart, Korngröße, Porenvolumen oder Wasser- und

Eisgehalt abhängen. So findet sich beispielsweise in den grobblockigen Schutthalden (größere Luftvolumina erschweren den Wärmeeintrag, begünstigen aber die Ansammlung kälterer Luft) der Zentralalpen Permafrost in tieferen Lagen, als es die Lufttemperaturen erwarten lassen würden (Kellerer-Pirklbauer 2019).

Auch die saisonale Schneedecke hat einen wichtigen Einfluss auf die Temperatur im Untergrund und somit auf die Permafrostverbreitung. Findet das erste große Schneefallereignis bereits Ende des Sommers oder im Frühherbst statt, wirkt die Schneeschicht isolierend gegen die Winterkälte und führt zu einem Verbleib der im Boden gespeicherten Wärme. Wenn der erste Schnee aber erst spät im Jahr fällt, kann der Untergrund effizienter auskühlen, was den Erhalt oder sogar Aufbau von Permafrost unterstützt. Ebenso verzögert eine bis in das Frühjahr andauernde Schneedecke die Erwärmung des Untergrundes und erweist sich als den Permafrost fördernd (Nötzli & Gruber 2005; Lieb 1996).

Historisch betrachtet, sind die Permafrost-Gebiete im österreichischen Alpenraum aufgrund des dort herrschenden Klimas und Reliefs unbesiedelt. Aus diesem Grund – aber auch aufgrund seiner größtenteils nicht sichtbaren Existenz – gab es vor dem 19. Jahrhundert kaum direkte Berührungspunkte zwischen Mensch und Permafrost. Dies erklärt auch, warum die Wissenschaft erst spät auf dieses Phänomen aufmerksam wurde. Erst in den 1920er Jahren begann die Erforschung des alpinen Permafrosts in Österreich (Finsterwalder 1928). Bis in die 1980er Jahre lag der Forschungsfokus fast ausschließlich auf den sichtbaren Formen des Permafrosts, den Blockgletschern. Im Jahr 2005 wurden in Österreich erstmalig drei 20 m tiefe Bohrlöcher zur Erforschung des Permafrosts im Gebiet des Sonnblicks installiert (Schöner et al. 2012). Im Jahr 2006 wurden mehrere Messnetze zur Messung der Bodentemperatur und des Permafrosts im Hochgebirge eingerichtet (Lieb et al. 2016), welche seither beispielsweise auch für Fragen der Verwitterung an Felswänden (Kellerer-Pirklbauer 2017) oder der Solifluktion an alpinen Hängen (Kellerer-Pirklbauer 2018) verwendet werden. Im Jahr 2010 folgten fünf Bohrlöcher am Kitzsteinhorn (Hartmeyer et al. 2012).

# TIFFENBOHRLÖCHER



Foto: Tiefenbohrloch am Kitzsteinhorn, Ingo Hartmeyer 2010

# 2

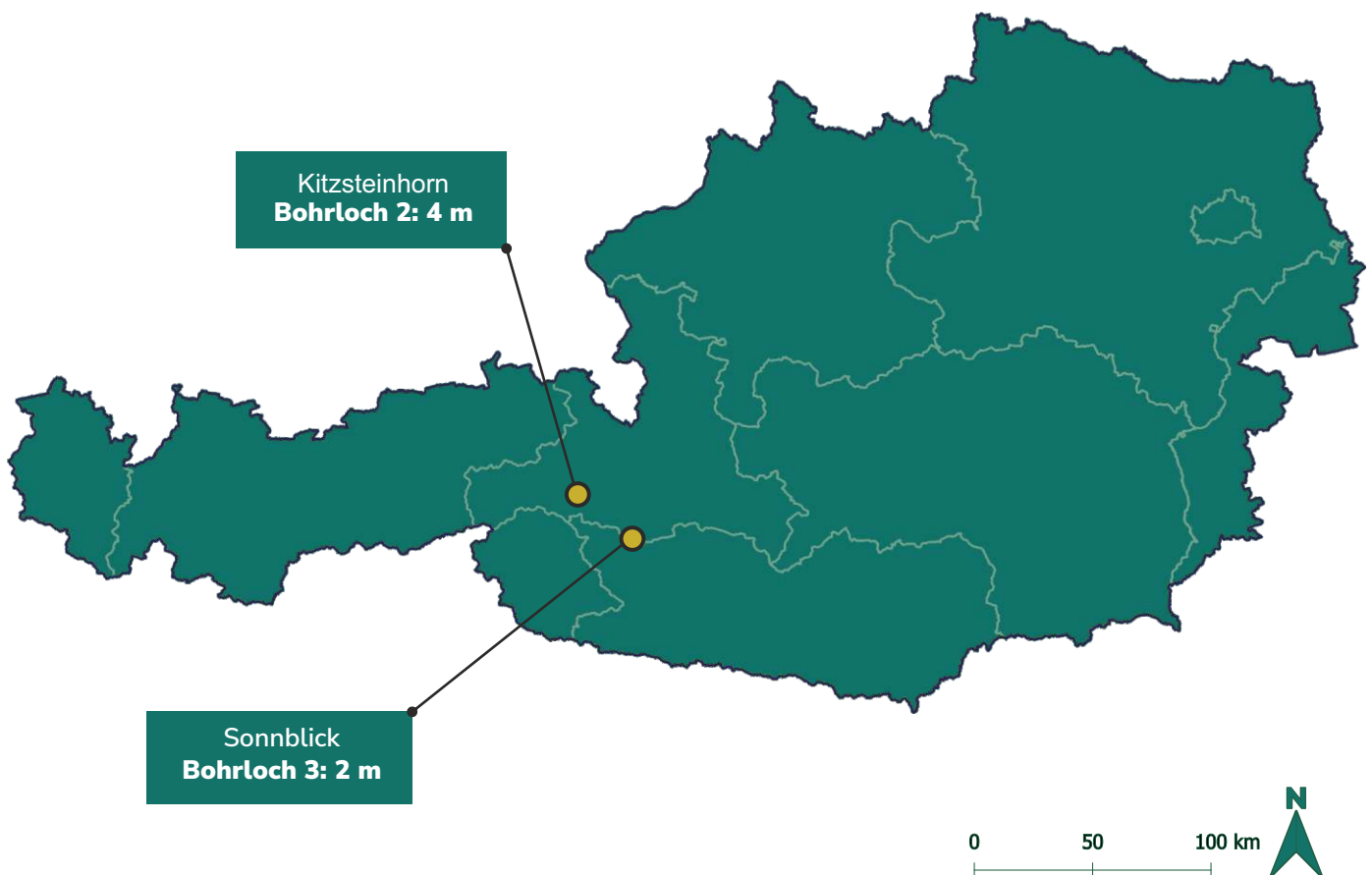
Standorte mit Tiefenbohrlöchern\*  
in Österreich

seit **2008**

Längste fast ununterbrochene  
Zeitreihe (Bohrloch 3; Sonnblick)

**30 m**

Tiefstes Tiefenbohrloch  
(Kitzsteinhorn)



**Abbildung 106:** Lage der Tiefenbohrlöcher in Österreich und ihre maximale Auftauschicht im Kalenderjahr 2022 (Daten: Kitzsteinhorn: GEORESEARCH; Sonnblick: GeoSphere).

\*Hierbei handelt es sich um Bohrlöcher, welche die Auftauschicht durchstoßen.



# Tiefenbohrlöcher

Temperaturänderungen im Permafrostkörper können nur über Tiefenbohrlöcher direkt gemessen werden. Dabei handelt es sich um mehrere Meter tiefe Bohrlöcher, die mit Temperatursensoren ausgestattet sind. Bohrlochtemperaturdaten zeigen den thermischen Jahresverlauf in verschiedenen Tiefen und geben Auskunft über Geschwindigkeit und Ursache von Temperaturänderungen. Werden die Messungen über mehrere Jahre hinweg durchgeführt, können aus den Bohrlochtemperaturen wichtige Aussagen über die Veränderung des Permafrosts (z. B. Erwärmung) und somit über die Stabilität des Untergrundes getroffen werden.

Eine wichtige Kennzahl, die aus den Bohrlochtemperaturdaten abgeleitet werden kann, ist die Mächtigkeit der Auftauschicht. Die Auftauschicht beschreibt jenen oberflächennahen Teil des Untergrundes, der im Sommer auftaut (Temperatur  $> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Erst unter dieser Schicht beginnt der eigentliche Permafrostkörper (Temperatur  $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Die Tiefe der thermischen Nullamplitude ist eine weitere Information, die aus den Bohrlochtemperaturdaten

bestimmt werden kann. Bis zur Tiefe der Nullamplitude sind jahreszeitliche Temperaturschwankungen feststellbar. Darunter bleibt die Untergrundtemperatur im Jahresverlauf konstant und wird ausschließlich durch langfristige Temperaturrends beeinflusst.

Veränderungen der Oberflächentemperatur (hervorgerufen z. B. durch eine höhere Lufttemperatur) manifestieren sich erst mit Verzögerung im Untergrund. Oberflächennahe Bereiche reagieren in der Regel rasch. Die Mächtigkeit der Auftauschicht kann daher als Folge eines einzigen heißen Sommers signifikant steigen. In Tiefen von mehreren Zehnermetern kommt die Erwärmung hingegen erst mit großer zeitlicher Verzögerung an. Klimatische Veränderungen werden in großen Felstiefen daher erst mit erheblicher Verspätung sichtbar (Nötzli & Gruber 2005).

Ein langfristiger Anstieg der Oberflächentemperatur führt als erstes zu einer immer tieferen Auftauschicht und - wenn diese über mehrere Jahre im



Foto: Tiefenbohrloch Sonnblick, Daniel Binder 2015



Winter nicht vollständig durchfrieren - zu einer Verringerung des Permafrostkörpers. Mit einer zeitlichen Verzögerung setzt sich die Veränderung (Erwärmung) in den tieferen Bereichen des Permafrosts fort. Im Stadium der Permafrostdegradation verschwindet die Schicht mit ganzjährig negativen Temperaturen (Nötzli & Gruber 2005).

## Datenlage in Österreich

Die dauerhafte Installation von Tiefenbohrlöchern ist kosten- und wartungsintensiv. Aus diesem Grund gibt es in Österreich aktuell nur zwei Standorte, an denen die Permafrosttemperatur permanent in Bohrlöchern gemessen wird. Die ersten Tiefenbohrlöcher in Österreich wurden im Jahr 2005 im Gipfelbereich des Hohen Sonnblick (3106 m ü. A.) installiert. Insgesamt wurden von der GeoSphere Austria (ehem. ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) im Rahmen der Sanierung des Sonnblickgipfels drei 20 m und ein 10 m tiefes Bohrloch gebohrt und im darauffolgenden Jahr instrumentiert (Kellerer-Pirklbauer et al. 2015; Reisenhofer 2018).

Am Kitzsteinhorn wurden von 2010 bis 2011 im Rahmen des FFG-Forschungsprojekts „MOREXPERT“ fünf 20-30 m tiefe Bohrlöcher im Gipfelbe-

**Abbildung 107:** Abteufung eines neuen Tiefenbohrlochs am Kitzsteinhorn im Oktober 2022 (Foto: Ingo Hartmeyer 2022).

reich des Berges gebohrt. Die Bohrlöcher wurden mit einer innovativen Sensorik ausgestattet, die über in die Verrohrung integrierte Messingringe eine direkte thermische Ankopplung der Sensoren an das Umgebungsgestein gewährleistet. Seit 2017 wird das Monitoring vom Salzburger Forschungsinstitut GEORESEARCH geleitet und von den Gletscherbahnen Kaprun finanziert (Hartmeyer et al. 2012).



# KITZSTEINHORN

47° 11' 28" N/12° 41' 26" O

Höhenlage: 3050 - 2900 m ü. A.

Exposition: Nord

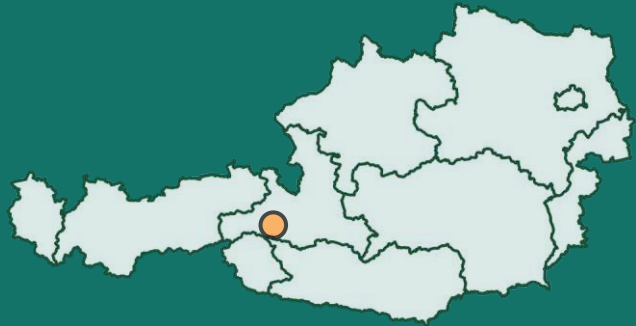


Foto: Kitzsteinhorn, GEORESEARCH 2016



# 2010

## Installation der Tiefenbohrlöcher

# 5

Anzahl der Tiefenbohrlöcher

# 20-30 m

Tiefe der Tiefenbohrlöcher

Zur Untersuchung von Klimawandelfolgen und Felsstabilität wurden in der Gipfelregion des Kitzsteinhorns (Hohe Tauern, Salzburg) in den Jahren 2010-2011 fünf 20-30 m tiefe Bohrlöcher abgeteuft. Zwei der fünf Bohrlöcher wurden in einem Stollen gebohrt, um thermische Veränderungen im Inneren der Kitzsteinhorn-Gipfelpyramide zu messen.

Von 2010-2017 wurde das Bohrloch-Monitoring im Rahmen des FFG-Projekts „MOREXPART“ betrieben. Seit dem Jahr 2017 wird das Monitoring durch das Salzburger Forschungsinstitut GEORESEARCH geleitet und durch die Gletscherbahnen Kaprun finanziert.

Die fünf Bohrlöcher befinden sich in Höhenlagen zwischen 2900 und 3050 m ü. A. Für drei Bohrlöcher (Tiefenbohrloch 3-5) liegen auf Grund von Blitzschäden keine zusammenhängenden Datenreihen vor. Sie werden im Rahmen des vorliegenden Berichts daher ebenso nicht dargestellt wie Daten des Tiefenbohrlochs 1, das durch seine unmittelbare Nähe zur Seilbahn-Gipfelstation einer anthropogenen thermischen Beeinflussung unterliegt. Dieses Kapitel konzentriert sich auf das 30 m tiefe Bohrloch 2, in dem seit 2015 kontinuierliche Temperaturmessungen mittels 12 Temperatursensoren (Tiefen 0,1 m, 0,5 m, 1 m, 2 m, 3 m, 5 m, 7 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m und 30 m) gemessen werden (Abbildung 108). Das Tiefenbohrloch liegt unterhalb der Seilbahn-Gipfelstation in einer nordexponierten Steiflanke. Bis in die 1980er Jahre war der Bohr-

lochstandort firn- bzw. eisbedeckt. Oberflächennah sind saisonale Schwankungen stark ausgeprägt, in der Tiefe nur schwach. Jahreszeitliche Schwankungen der Bohrlochtemperatur sind bis in eine Tiefe von 20 m messbar (= Tiefe der thermischen Nullamplitude). Unter der Nullamplitude verändert sich die Temperatur im jahreszeitlichen Verlauf nicht und liegt aktuell bei  $-1.6^{\circ}\text{C}$ .

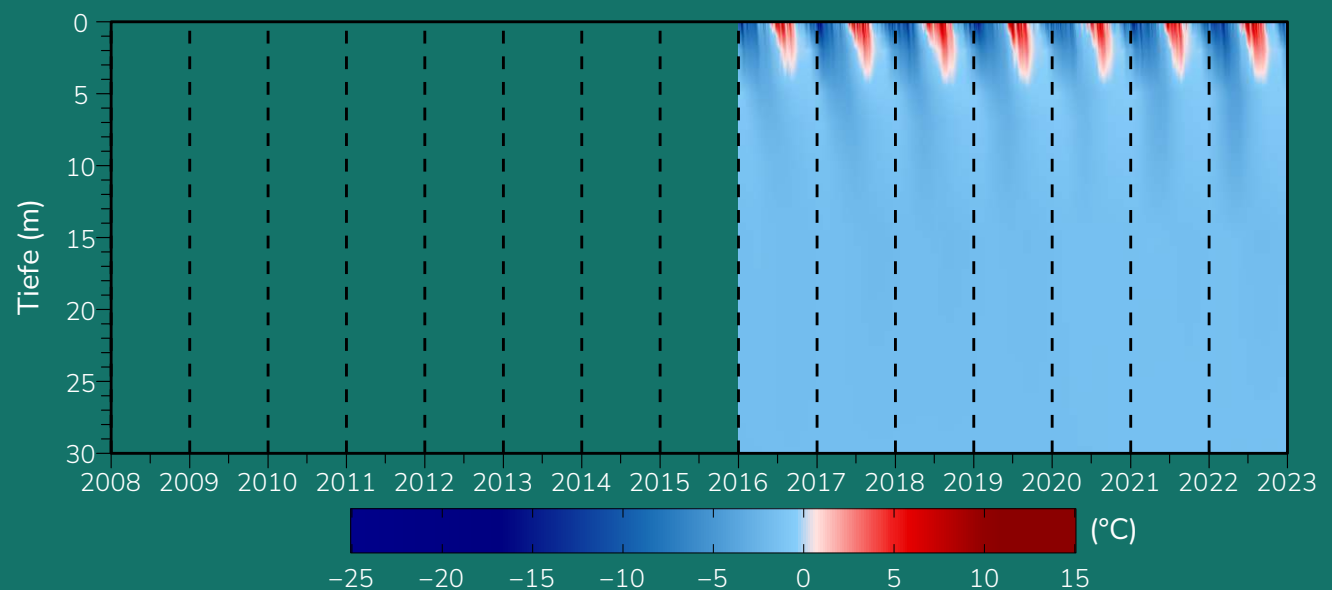
Die Mächtigkeit Auftauschicht schwankte im Messzeitraum (2016-2022) zwischen 3.0 und 4.2 m (Tabelle 1). Je nach Schneelage bzw. saisonalem Witterungsverlauf wird die Bildung der Auftauschicht Ende Mai bzw. im Juni initiiert. Die maximale Auftaumächtigkeit wird in der Regel Anfang September erreicht. Danach erfolgt das erneute Zufrieren der Auftauschicht, welches meist Anfang Oktober abgeschlossen ist. Trendanalysen über den siebenjährigen Beobachtungszeitraum (2016-2022) zeigen für Tiefenbohrloch 2 einen Erwärmungstrend, der oberflächennah ( $+0,1^{\circ}\text{C}$  pro Jahr) wesentlich stärker ausgeprägt ist als in der Tiefe, wo bis jetzt nur eine geringfügige Erwärmung von  $+0,04^{\circ}\text{C}$  pro Jahr festgestellt wurde.

 **Autor:** Dr. Ingo Hartmeyer (GEORESEARCH)

**Tabelle 1:** Entwicklung der Auftauschicht im Zeitraum 2016-2022 (maximale Auftaumächtigkeit durch lineare Interpolation ermittelt) (Daten: GEORESEARCH).

|                    | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2000  | 2021  | 2022  |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Dauer (Tage)       | 127   | 129   | 150   | 131   | 114   | 120   | 131   |
| Beginn             | 02.06 | 27.05 | 20.05 | 04.06 | 23.06 | 05.06 | 01.06 |
| Ende               | 06.10 | 02.10 | 16.10 | 12.10 | 14.10 | 02.10 | 09.10 |
| Maximale Tiefe (m) | 3,0   | 3,6   | 3,9   | 4,2   | 3,7   | 3,6   | 4,0   |

**Abbildung 108:** Interpolierter Jahresverlauf der Temperatur in verschiedenen Tiefen am Tiefenbohrloch 2 seit Messbeginn (Daten: GEORESEARCH).



# KALENDERJAHR 2022

## 4,0 m

Maximale Tiefe der Auftauschicht

## 20 m

Tiefe der Nullamplitude

Das Kalenderjahr 2022 war außergewöhnlich warm. Wetterstationsdaten vom Kitzsteinhorn zeigen das wärmste Jahresmittel der Lufttemperatur seit Beginn der Bohrlochtemperatur-Messungen im Jahr 2016. Das warme Frühjahr und der nachfolgende warme Sommer führten zu einer starken Erwärmung des Untergrunds und damit zur Bildung einer großen Auftaumächtigkeit von 4,0 m, welche Mitte September erreicht wurde (Abbildung 109). Im Vorjahr (2021) lag die maximale Auftaumächtigkeit noch bei 3,6 m. Die anschließende herbstliche Abkühlung führte innerhalb von rund drei Wochen zum erneuten kompletten Durchfrieren der Auftauschicht (9. Oktober 2022). Eine noch größere Auftaumächtigkeit als im Jahr 2022 wurde im Beobachtungszeitraum (2016-2022) nur während des besonders heißen Sommers 2019 gemessen. Die im Jahr 2022 gemessenen Bohrlochtemperaturen bestätigen die langfristigen Erwärmungstrends. Im oberflächennahen Untergrund (z. B. 3 m Tiefe) liegt die Erwärmung bei einem knappen Zehntel Grad Celsius pro Jahr

(konsistent mit der Lufttemperatur). In größeren Tiefen (20-30 m) liegt die jährliche Erwärmung hingegen bei wenigen Hundertstel Grad Celsius.

 **Autor:** Dr. Ingo Hartmeyer (GEORESEARCH)

### ► Tiefenbohrloch DATEN Kitzsteinhorn

**Datengeber:** GEORESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

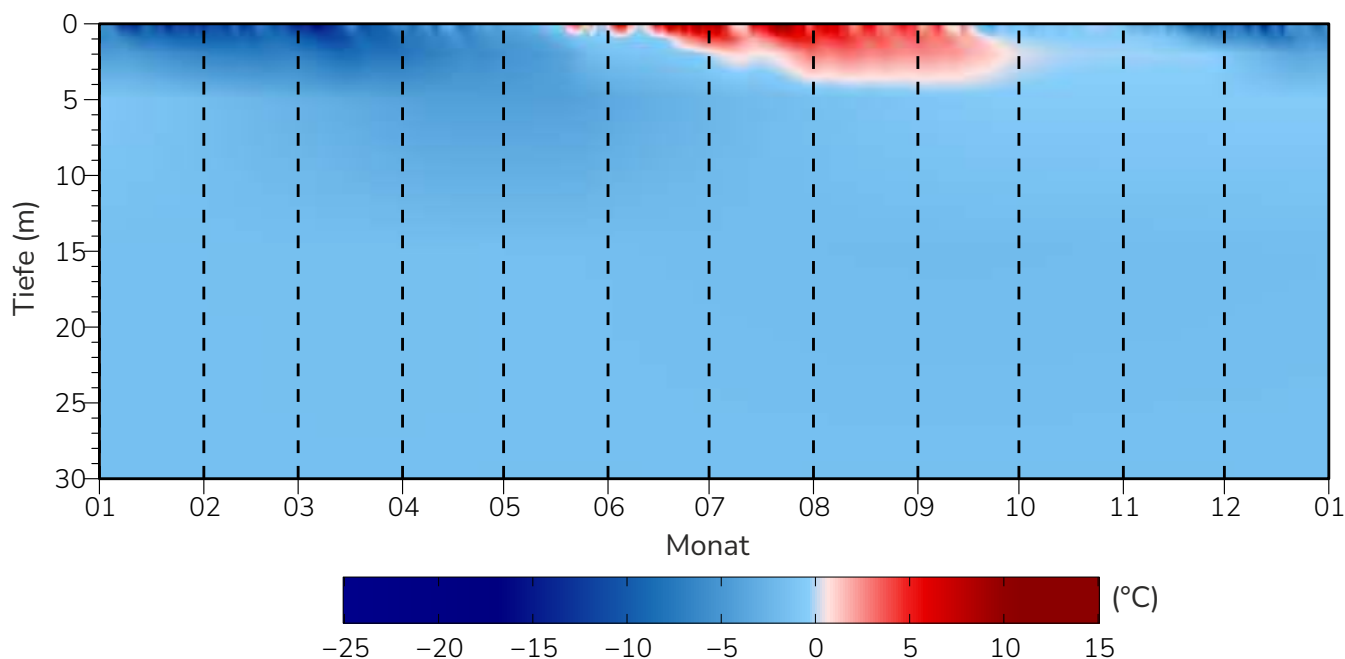
**Fördergeber:** Gletscherbahnen Kaprun

**Tiefenbohrlochdaten:** GTNP: Global Terrestrial Network for Permafrost - Database

[www.gtnpdatabase.org/boreholes/view/1120/](http://www.gtnpdatabase.org/boreholes/view/1120/)



**Abbildung 109:** Interpolierter Jahresverlauf der Temperatur in verschiedenen Tiefen des Tiefenbohrlochs 2 für das Jahr 2022 (Daten: GEORESEARCH).





# HOHER SONNBLICK

47° 3' 24" N/12° 57' 45" O

Höhenlage: 3099 - 3040 m ü. A.

Exposition: Süd

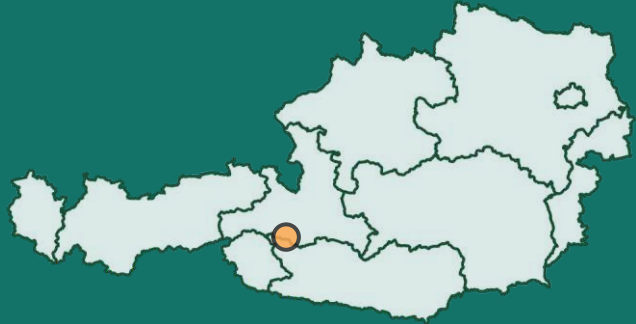


Foto: Hoher Sonnblick, Bernhard Hynek 2010

# 2005

## Installation der Tiefenbohrlöcher

### 3

Anzahl der Tiefenbohrlöcher

### 10-20 m

Tiefe der Tiefenbohrlöcher

Der Startschuss zu einem kontinuierlichen Messstandort erfolgte 2005 mit der Installation von Bohrlöchern an der Südflanke des Hohen Sonnblicks im Rahmen der Sanierung des Sonnblickgipfels.

Es wurden drei 20 m tiefe Bohrlöcher, ausgestattet mit Temperatursensoren und Geophonen, und ein 10 m tiefes Bohrloch, ausgestattet mit Extensometern, gebohrt und im drauf folgenden Jahr entsprechend instrumentiert. Das oberste Bohrloch (Bohrloch 1) wurde in unmittelbarer Nähe des Zittelhauses installiert, um den Einfluss des Gebäudes auf die Verteilung des Permafrosts zu untersuchen. Der Standort von Bohrloch 2 (etwa 50 m unterhalb vom Eingang zum Zittelhaus), an dem sich ein 20 m tiefes und ein 10 m tiefes Bohrloch befinden, hat sich als sehr ungünstig für die Messungen herausgestellt, weil an diesem Punkt laufend Blitzeinschläge stattfanden und so keine längere Messreihe (weder bei den Temperatursensoren noch bei den Extensometern) zustande kam. Aus diesem Grund ist das Bohrloch 2 derzeit nicht in Betrieb. Bohrloch 3 (etwa 40 m unterhalb von Bohrloch 2) befand sich zu Beginn der Messreihe unmittelbar am Rand des Gletschers bzw. langjährigen Schneefeldes, welches sich im Lauf der Jahre jedoch deutlich zurückgezogen hat.

Aktuell liegt eine langjährige und funktionsfähige Messung in Bohrloch 3 vor (ab 2008). Die Messungen finden aktuell mit Sensoren der Firma Geoprecision in folgenden 20 Tiefen statt: 0 m, 0,1 m, 0,25 m, 0,4 m, 0,6 m, 0,8 m, 1 m, 1,2 m, 1,5 m, 2 m, 2,5 m, 3 m,


3,5 m, 4 m, 5 m, 7 m, 9 m, 12 m, 16 m, 20 m. Vor dem Einbau der Geoprecision Logger und Thermistoren wurde mit Sensoren der Firma Sommer in 25 Tiefen gemessen: 0 m, 0,1 m, 0,2 m, 0,3 m, 0,4 m, 0,6 m, 0,8 m, 1 m, 1,2 m, 1,5 m, 2 m, 2,5 m, 3 m, 3,5 m, 4 m, 4,5 m, 5 m, 7 m, 9 m, 10 m, 12 m, 14 m, 16 m, 18 m, 20 m. Die Daten werden laufend überprüft und Ausreißer entfernt. Eine tiefere Qualitätskontrolle oder gar ein Füllen von Lücken ist in Ermangelung von gleichartigen Messungen in der Nähe kaum möglich. Weitere Bohrlöcher in unmittelbarer Nähe wären also wünschenswert.

In den Jahren 2017/2018 wurde im Zuge der Erneuerung der Seilbahn ein 12 m tiefes Seilbahnfundament mit Temperatursensoren ausgestattet. Das aktuelle Monitoring des Permafrosts am Hohen Sonnblick umfasst nicht nur die tiefen Bohrlöcher, sondern auch die Erfassung der Bodenoberflächentemperatur (GST – ground surface temperature) beziehungsweise der Temperatur im oberflächennahen Bereich (NST – near surface temperature) und der Basistemperatur der Schneedecke (BTS).

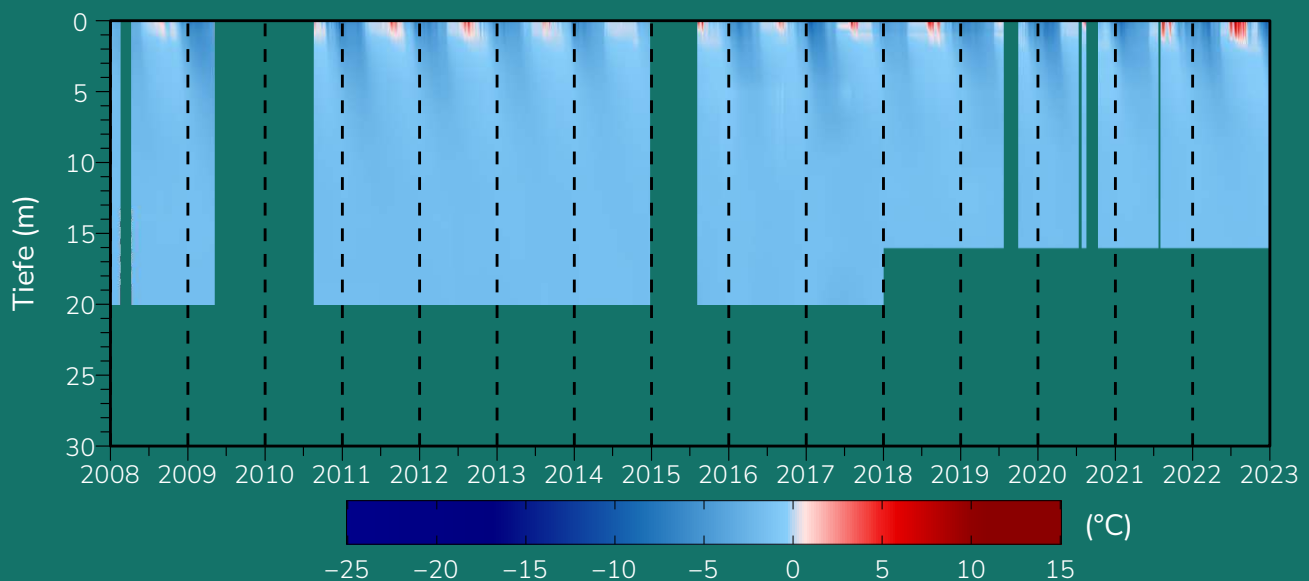
Auch an Standorten in unmittelbarer Nähe zum Sonnblickgipfel wie an der südexponierten Flanke der Goldbergspitze und in der Nord bis Nordwest exponierten Wintergasse finden regelmäßige Messungen statt, um das Vorkommen und die Verbreitung des Permafrostkörpers sowie die Auswirkungen der Permafrostdegradation und die Schneetiefenverteilung zu untersuchen. Speziell das Monitoring der Sonnblick-Nordwand wurde über die

letzten Jahre stetig erweitert und ausgebaut und verfügt aktuell über mehrere oberflächennahe Temperatursensoren (NST), zwei Standorte mit kontinuierlichem Kluftweitenmonitoring (Crackmeter) und über ein seismisches Monitoring wodurch, zusammen mit jährlichen UAV-Befliegungen, die Überwachung der Steinschlag- und Felssturzaktivitäten im Hinblick auf die Standortsicherheit des Sonnblick-Observatoriums möglich ist. Einen wichtigen Beitrag hierfür liefern auch die Beobachter am Sonnblick-Observatorium, wo jede beobachtete Steinschlagaktivität und Hangrutschung dokumentiert wird. Zusätzlich findet seit 2015 in Kooperation mit der TU Wien auch ein geophysikalisches Permafrost-Monitoring (geoelektrische Messungen) statt.

Aktuell wird das Monitoring im Sonnblickgebiet durch Projekte an der GeoSphere Austria (ehem. ZAMG) weitergeführt.

 **AutorInnen:** Dr. Marion Greilinger, Mag. Stefan Reisenhofer, Mag. Claudia Riedl (GeoSphere Austria)

**Abbildung 110:** Interpolierter Jahresverlauf der Temperatur in verschiedenen Tiefen am Tiefenbohrloch 3 seit Messbeginn, Datenlücken werden farblos dargestellt (Daten: GeoSphere Austria).





# KALENDERJAHR 2022

## 2,0 m


Maximale Tiefe der  
Auftauschicht

## 16 m

Tiefe der  
Nullamplitude

Die Auftauschichtdicke im Jahr 2022 betrug am Sonnblick knapp 2 m und wurde im ersten Septemberrdrittel erreicht (Abbildung 111), die Tiefe der thermischen Nullamplitude liegt bei 16 m. Sie war im Sommer 2022 somit so dick wie seit Messbeginn noch nicht. Komplette und längerfristig durchgefroren war es erst ab Anfang November 2022, weil es im Oktober noch einmal sehr warm war. Im Jahr 2021 betrug die Auftauschichtdicke 1,7 m. Im Sommer 2014 erreichte die Auftauschichtdicke mit knapp einem Meter ihren bisher geringsten Wert. Die Auftauschicht korreliert im Übrigen sehr gut mit der Sommermitteltemperatur und mit der Dauer der Schneedecke. Zur klimatologischen Einordnung des Jahres 2022 am Sonnblick: Seit 1887, dem Beginn der meteorologischen Messreihe am Sonnblickobservatorium, war das Jahr 2022 (gemeinsam mit 2020) das wärmste. Bereits der Mai war der wärmste jemals registrierte mit einem Monatsmittel von 0°C. Auch der Oktober 2022 war außergewöhnlich – zum ersten Mal gab es in einem Oktober ein positives Monatsmittel der Lufttemperatur. Diese Wärme

konnte auch in den Boden eindringen und ist in den Bohrlochdaten ersichtlich. Ungünstig für den Permafrost war auch das Fehlen einer schützenden Schneedecke schon bald im Sommer. Nachdem der Winter 2021/22 äußerst schneearm war (der März 2022 verzeichnete den geringsten jemals gemessenen Neuschneezuwachs), erfolgte die Ausaperung bereits am 6. Juli so früh wie noch nie.

 **Autorin:** Mag. Claudia Riedl (GeoSphere Austria)

### ► Tiefenbohrloch DATEN Hoher Sonnblick

Datengeber: GeoSphere Austria

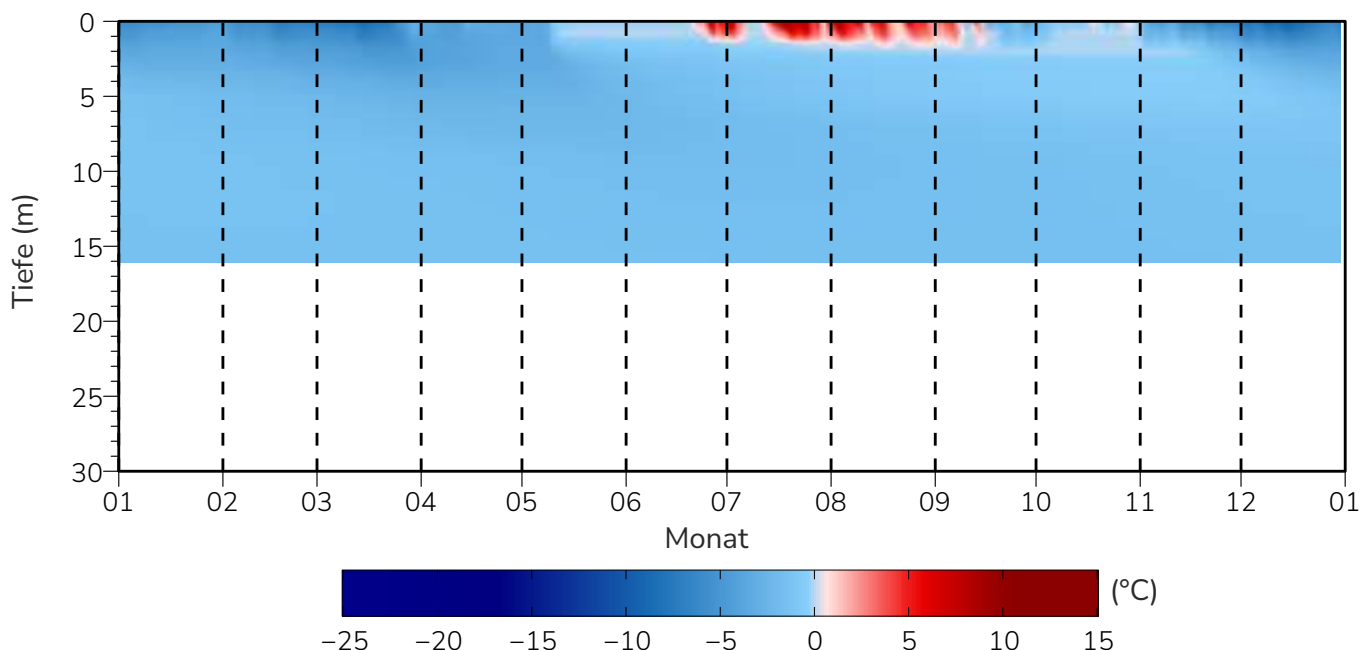
Fördergeber: GeoSphere Austria

Tiefenbohrlochdaten: GTNP: Global Terrestrial Network for Permafrost - Database

<http://gtnpdatabase.org/boreholes/view/855/>



**Abbildung 111:** Interpolierter Jahresverlauf der Temperatur in verschiedenen Tiefen des Tiefenbohrlochs 3 für das Jahr 2022 (Daten: GeoSphere Austria).





# BLOCKGLETSCHER



Foto: Dösener Blockgletscher, Andreas Kellerer-Pirklbauer 2006

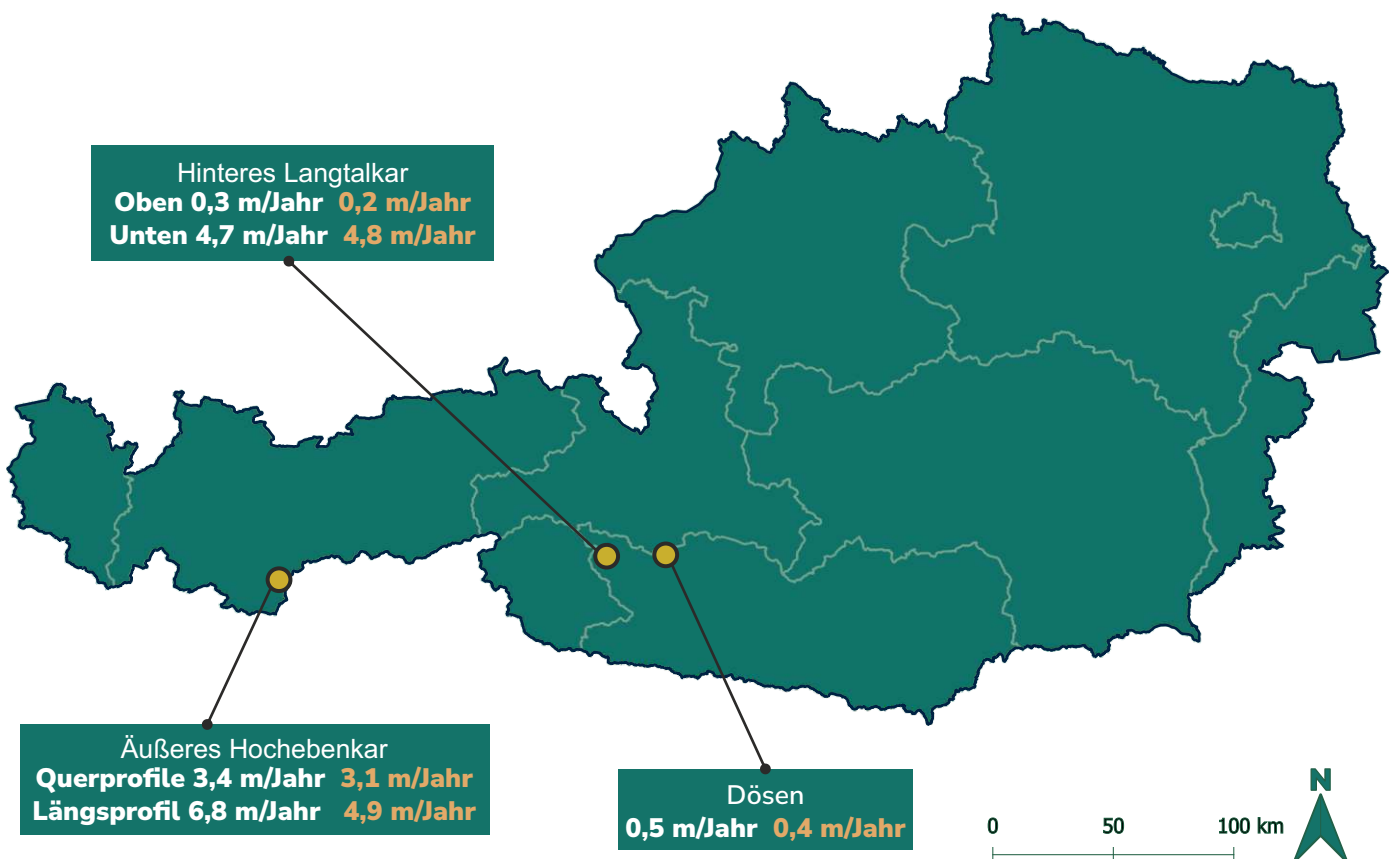


# 3

Anzahl der Blockgletscher, an denen im Haushaltsjahr 2021/22 die Oberflächenbewegung (= Horizontalbewegung) erhoben wurde

seit **1938/39**

Längste Zeitreihe  
(Blockgletscher Äußeres  
Hochebenkar)



**Abbildung 112:** Lage und mittlere jährliche Bewegungsrate aller drei\* Blockgletscher für das Haushaltsjahr 2021/22 (weiß) sowie das 10-jährige Mittel (2011/12-2020/21) in (orange). Die Bewegungsraten vom Blockgletscher Hinteres Langtalkar werden aus zwei Gruppen von Punkten (obere und untere Gruppe) berechnet, da diese jeweils ein homogenes Fließverhalten aufweisen.

\*Anzumerken ist, dass es in Österreich noch weitere Blockgletscher gibt, bei denen Bewegungsmessungen durchgeführt werden. In diesem Bericht werden nur jene Blockgletscher angeführt, die einen langen Untersuchungszeitraum (>20 Jahre) aufweisen.

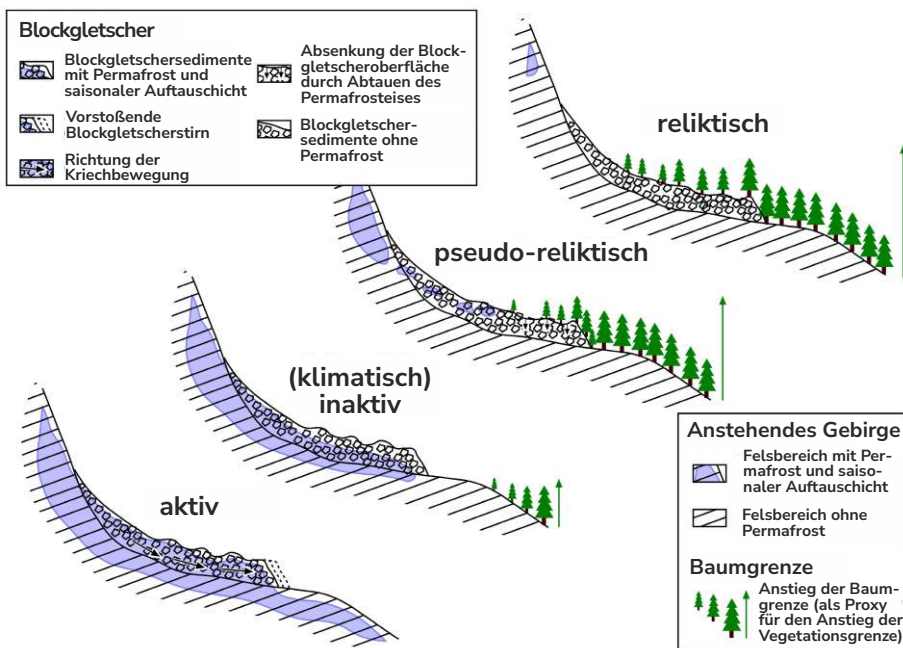


# Blockgletscher

Blockgletscher sind in gebirgigen Regionen wie den Alpen die morphologisch auffälligsten und häufigsten Formen des alpinen Permafrosts. Grund dafür ist die für die meisten Blockgletscher charakteristische loben- oder zungenförmige Gestalt mit einer steilen Rand- und Stirnböschung und einer aus Furchen und Wülsten bestehenden Oberfläche, die einem zähflüssigen Lavastrom ähnelt. Sie entstehen aus mächtigen Sedimentakkumulationen (Hangschutt und/oder Moränenmaterial) in denen Permafrostbedingungen (Temperatur unter 0 °C) über einen längeren Zeitraum herrschen und die in ihrer Aktivphase (aktuell oder früher) zumeist langsam talabwärts kriechen (Barsch 1996).

Blockgletscher können in Bezug auf ihren Eisgehalt, ihr Bewegungsverhalten und ihre morphologischen Eigenschaften in verschiedene Aktivitätstypen unterschieden werden: aktiv, inaktiv, pseudo-reliktisch, reliktisch und destabilisiert (Barsch 1996; Roer et al. 2008; Kellerer-Pirklbauer 2019). Um zwischen aktiven, inaktiven und reliktischen Blockgletschern zu unterscheiden, müssen Messungen zur Kinematik (Bewegung) des jeweiligen Block-

gletschers durchgeführt werden. Bewegungsinformation kann durch Zeitreihenanalyse von geodätisch ermittelten Lagepositionen oder auch Fernerkundungsdaten ermittelt werden (Kaufmann et al. 2021). Der vierte Typ, der pseudo-reliktische Blockgletscher, kann nicht allein durch die vorhin erwähnten Messverfahren vom reliktischen unterschieden werden, stattdessen werden Untergrundinformationen über das Vorkommen von Permafrost basierend auf direkten (Bohrloch) oder indirekten (Geophysik) Methoden benötigt (Kellerer-Pirklbauer 2019). Der fünfte Typ, ein destabilisierter Blockgletscher, ist schließlich eine Sonderform der aktiven Formen und an den zahlreichen Querspaltten, bedingt durch Abschiebungen und Dehnungsprozesse, erkennbar (Roer et al. 2008). Es können sich auch mehrere Landschaftsformen unterschiedlicher Aktivität (z. B. aktiv über reliktisch) überlagern und eine Abfolge unterschiedlicher Blockgletschergenerationen bilden. Die Abbildung 113 gibt einen Eindruck über die thermische – und als Folgewirkung des schwindend Permafrosteises – und dynamische Entwicklungsgeschichte von Blockgletschern.



**Abbildung 113:** Schematische Darstellung der Blockgletscherklassifikation nach Aktivität und Permafrostverbreitung. Die Typen reliktisch, inaktiv und aktiv wurden von Barsch (1996) definiert. Der Typ pseudo-reliktisch ist ein Mischtyp, welcher zwar optisch reliktisch aussieht (mit Kollapsstrukturen; teilweise Vegetationsbewuchs, weitgehend stabile Blöcke), jedoch noch sporadischen oder zumindest inselfhaften Permafrost beinhaltet (nach Kellerer-Pirklbauer 2008 und 2019).

Foto: Kellerer-Pirklbauer 2019

Zu den inaktiven Blockgletschern sei noch erwähnt: Ein inaktiver Blockgletscher enthält zwar noch Permafrost, zeigt aber keine Bewegung mehr. Diesen Zustand erreichen Blockgletscher, wenn entweder der Eisanteil zu gering ist (klimatisch inaktiv), um eine Bewegung auszulösen, oder das Gelände zu flach wird (dynamisch inaktiv; vgl. Barsch 1996). Da sowohl aktive als auch inaktive Blockgletscher weiträumig Permafrost enthalten, werden diese beiden Typen teilweise auch als „intakte“ Blockgletscher zusammengefasst. Der potenzielle Verbreitungsbereich der intakten Blockgletscher wird nach oben hin (Obergrenze) durch die Schneegrenze bestimmt, da nur unterhalb dieser genügend Schutt für die Bildung eines Blockgletschers existiert. Nach unten bildet die Permafrostuntergrenze die Begrenzung, womit jene Seehöhe gemeint ist, oberhalb derer Permafrost wahrscheinlich ist. In Österreich liegt diese im Mittel bei 2500 m ü. A., wobei dies – wie bereits angesprochen – durch Strahlungs-, Substrat- und Schneeeverhältnisse stark variieren kann (Lieb 1996).

Die Bewegung aktiver Blockgletscher beruht wie bei Gletschern auf einerseits der plastischen Deformation des vorhandenen/eingeschlossenen Eises, andererseits auf räumlich relativ eng begrenzten Scherhorizonten (Haeberli et al. 2006). Die Fließ-/Kriechgeschwindigkeit von Blockgletschern ist im Vergleich zu Gletschern (aus Eis) im Allgemeinen wesentlich geringer. Die Bewegungsrate eines Blockgletschers wird neben standortspezifischen Faktoren (z. B. Hangneigung, Topografie des Untergrunds) wesentlich vom herrschenden Klima, vor allem der Temperatur (Lufttemperatur, Bodentemperatur), und hydrogeologischen Bedingungen beeinflusst.

Während Gletscher relativ rasch und sichtbar auf kurzperiodische Klimaschwankungen reagieren (z. B. Massenverlust), spiegeln die im Vergleich geringen Veränderungen der Blockgletscher (z. B. Geschwindigkeit) vornehmlich die langfristigen Klimaschwankungen wider (Kaufmann 1996), wobei das Bewegungsmuster (bei tieferen Temperaturen langsamere Bewegung bzw. bei höheren Temperaturen schnellere Bewegung) häufig relativ schnell (Kellerer-Pirklbauer & Kaufmann 2012) und alpenweit relativ homogen (Delaloye et al. 2008; Kellerer-Pirklbauer et al 2018) sich verändert.

## Gletscher oder nicht Gletscher?

Die Bezeichnung Blockgletscher kann aufgrund der Verwendung des Wortes „Gletscher“ irreführend gedeutet werden. Sie geht auf eine (längst überholte) Theorie aus den Anfängen der Blockgletscher-Forschung zurück.

Diese ging davon aus, dass Blockgletscher nur aus stark schuttbedeckten Gletschern entstehen können. Heute weiß man, dass sich Blockgletscher durch das Ansammeln von Eis in einer Schuttanhäufung entwickeln. Dieses Eis kann sich durch gefrierendem Niederschlag, wieder gefrierendes Schmelzwasser, Lawinenschnee und auch aus Gletschereis bilden (Lieb & Nutz 2009; Höllermann 1983).

## Methode

Die in Österreich angewendeten Beobachtungsmethoden zur Erfassung der Blockgletscherkinematik (vertikale und horizontale Veränderungen des Blockgletschers) sind unterschiedlich. Die bestehenden Messtechniken im Blockgletschermonitoring können in drei Gruppen eingeteilt werden, (1) geodätische Methoden (Totalstation, Global Navigation Satellite System - GNSS)-basiert), (2) bildbasierte Methoden (Photogrammetrie) und (3) aktive Sensoren wie Laserscanning oder Radar mit synthetischer Apertur (Synthetic Aperture Radar SAR). Die jeweiligen Sensoren der beiden letztgenannten können dabei bodengestützt (ground-based), luft-gestützt (airborne) oder weltraumgestützt (spaceborne) sein (Haeberli et al. 2006, Kaufmann & Kellerer-Pirklbauer 2015).



**Abbildung 114:** Links: Aktiver Blockgletscher Innere Ölgrube (Foto: Gerhard K. Lieb 2020). Rechts: Blockgletscherkomplex im Reichartkar; tiefer liegende Einheiten gelten als reliktsch, die höchstgelegene Einheit als pseudoreliktsch (Foto: Andreas Kellerer-Pirklbauer 2004).

## Datenlage in Österreich

Die ersten Blockgletschervermessungen in Österreich führte der Geodät und Gletscherforscher Sebastian Finsterwalder durch. Im Zuge einer genauen Vermessung des Gepatschferners (Ötztaler Alpen, Tirol) und seiner Umgebung im Jahre 1923 „entdeckte“ er zwei Blockgletscher (Finsterwalder 1928; Kaufmann 2012).

Das Wissen über eine mögliche Existenz von Blockgletschern in den österreichischen Alpen kam damals aus der Schweiz, wo man bereits am Anfang des 20. Jahrhunderts mit der Blockgletschervermessung begonnen hatte (Kellerer-Pirklbauer et al. 2022). In Anlehnung an die Schweizer Arbeiten versuchte Finsterwalder die Bewegungsrate des Blockgletschers Innere Ölgrube (Abbildung 114) mittels photogrammetrischer Vergleichsaufnahmen zu erfassen. Das damalige Ergebnis von max. 50 cm/Jahr enttäuschte Finsterwalder, der mit Bewegungsraten von 1 bis 2 m/Jahr gerechnet hatte (Kaufmann 1996).

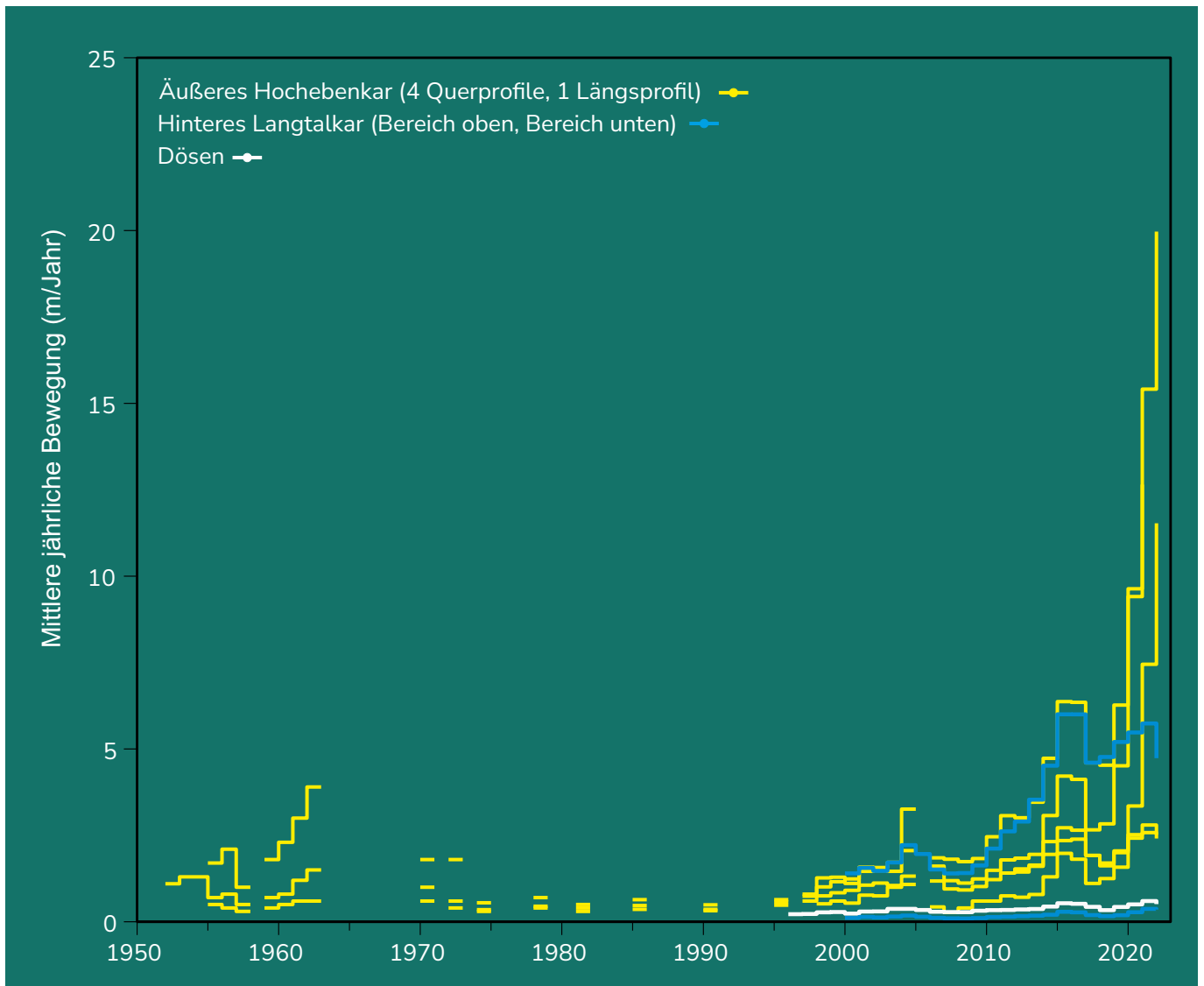
Der erste Wissenschaftler in Österreich, der sich mit der systematischen Blockgletschervermessung beschäftigt hat, war Wolfgang Pillewizer. Im Jahre 1938 legte er bei drei Blockgletschern Bewegungs-

profile an, dem Blockgletscher Ölgrube, Blockgletscher Äußeres Hochebenkar und bei einem Blockgletscher im Rotschliffkar (Taschachtal).

Von diesen drei wird heute nur noch der Blockgletscher Äußeres Hochebenkar (alternative Schreibweisen: Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar, Äußeres Hochebenkar Blockgletscher) vermessen (Kaufmann 1996). Im Zuge eines durch Gerhard K. Lieb (Institut für Geographie und Raumforschung, Universität Graz) und Viktor Kaufmann (Institut für Geodäsie, Technische Universität Graz) initiiertes Projekt namens „Hochgebirgsperrmafrost“ begann man 1995 mit Bewegungsmessungen am Blockgletscher Dösen (alternative Schreibweisen: Dösenener Blockgletscher, Dösen) in der Ankogelgruppe. Diese Aktivitäten wurden 1999 auf den in der Schobergruppe (Hohe Tauern) liegenden Blockgletscher Hinteres Langtalkar (alternative Schreibweisen: Blockgletscher im Hinteren Langtalkar, Hinteres Langtalkar Blockgletscher) ausgedehnt (Kaufmann und Ladstädter 2010). An beiden Blockgletschern werden geodätische Messungen bis heute, im Rahmen eines von Andreas Kellerer-Pirklbauer geleiteten und vom Nationalpark Hohe Tauern Kärnten finanzierten Projekts, fortgesetzt.

Die Entwicklung der mittleren Fließgeschwindigkeiten ausgewählter Blockgletscher ist in Abbildung 115 zu sehen.





**Abbildung 115:** Mittlere Bewegungsraten ausgewählter Blockgletscher seit Messbeginn, dargestellt als Treppenlinie. Weitere Informationen zu den jeweiligen Daten, Messpunkten, Profillinien und Messflächen sind in den jeweiligen Unterabschnitten zu den genannten Blockgletschern zu finden.



Foto: Blockgletscher Hinteres Langtalkar, Andreas Kellerer-Pirklbauer 2019

# ÄUßERES HOCHEBENKAR

46° 49' 56" N/11° 00' 40" O

Höhenlage: 2870 - 2420 m ü. A.

Exposition: Nordwest

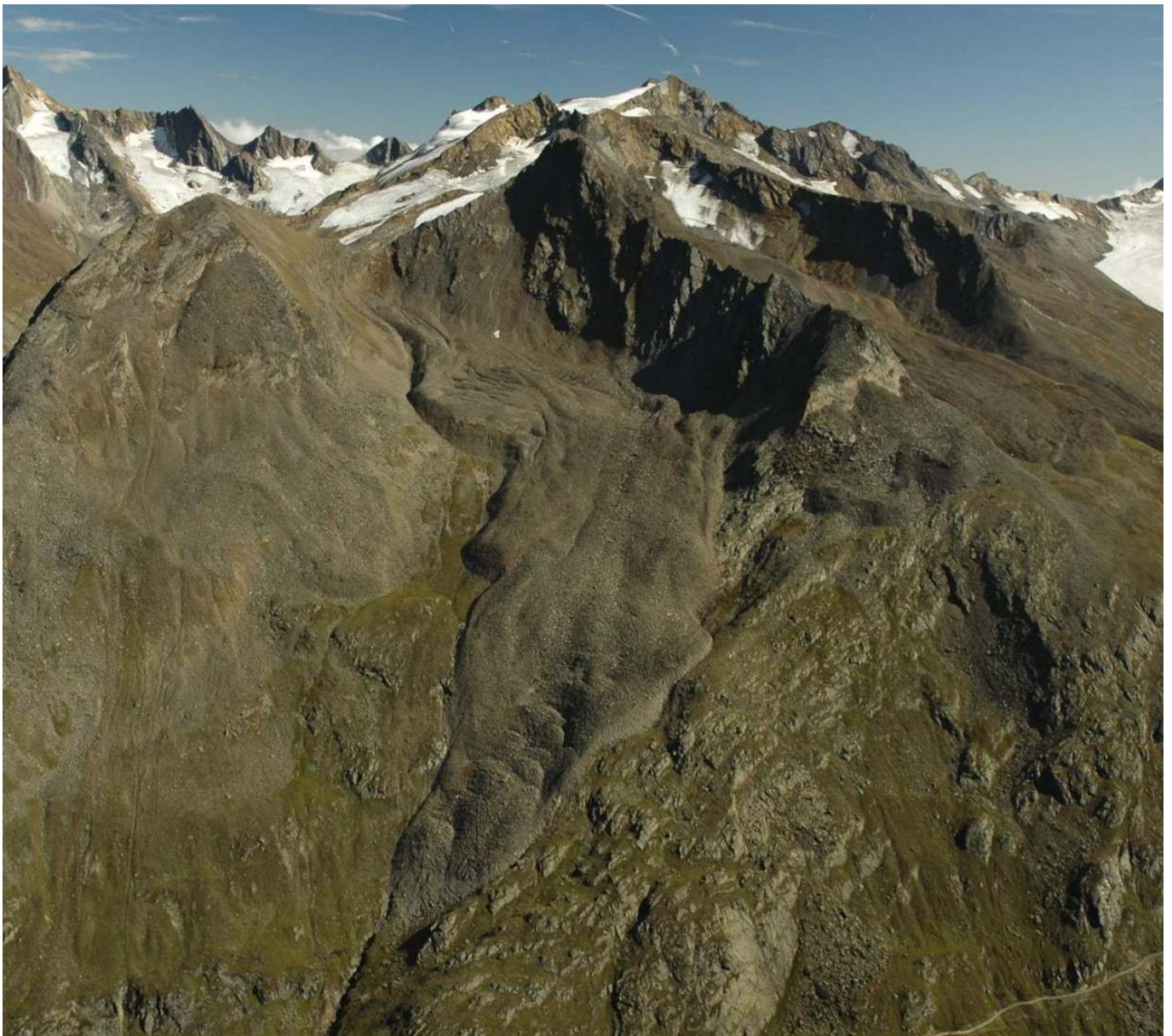
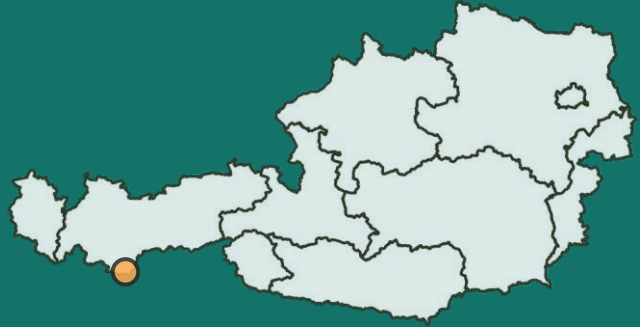


Foto: Äußeres Hochebenkar, Jakob Abermann 2008



# seit 1938/39

Beginn der Bewegungsmessungen  
am Blockgletscher Äußeres  
Hochebenkar

## 3,46 m/Jahr

Mittlere jährliche  
Oberflächenbewegung aller  
Querprofile der letzten 10 Jahre  
(2012/13-2021/22)

## 6,80 m/Jahr

Mittlere jährliche  
Oberflächenbewegung des  
Längsprofil der letzten 10 Jahre  
(2012/13-2021/22)

Der Blockgletscher Äußeres Hochebenkar liegt etwa vier Kilometer südlich von Obergurgl in den Öztaler Alpen (Tirol) in einem nach Nordwesten ausgerichteten Kar. Er erstreckt sich von 2870 m ü. A. bis auf 2420 m ü. A., ist ca. 1,6 km lang und hat eine maximale Breite von ca. 450 m (Hartl et al. 2016). Bereits seit 1938 werden an diesem Blockgletscher mehr oder weniger regelmäßige Bewegungsmessungen durchgeführt. Er ist somit einer der am längsten untersuchten Blockgletscher nicht nur Österreichs, sondern auch weltweit (Krainer 2015, Schneider & Schneider 2001).

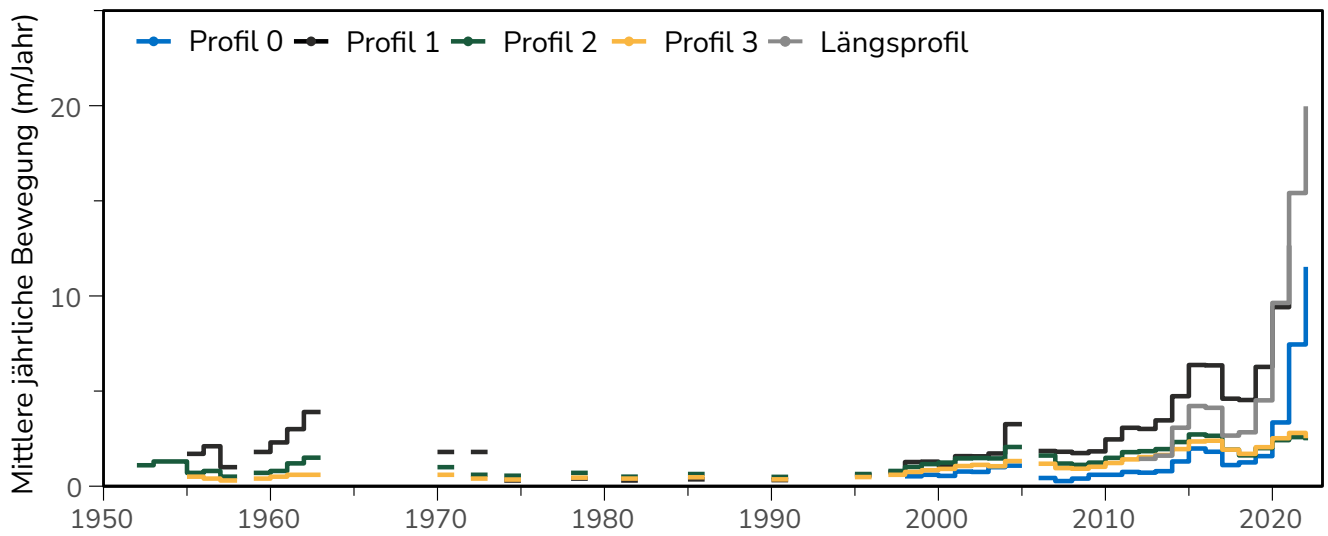
Wolfgang Pillewizer war der erste Wissenschaftler, der am Blockgletscher Äußeres Hochebenkar Geschwindigkeitsmessungen durchführte. Im Zuge von photogrammetrischen Aufnahmen der Öztaler Alpen fiel ihm damals ein „merkwürdiger Blockstrom“ auf. Aufgrund der sichtbaren Bewegungsstrukturen vermutete Pillewizer, dass sich der Blockstrom wie ein Gletscher talwärts bewegen müsse. Um diese Vermutung zu überprüfen, legte er am 26.09.1938 eine photogrammetrische Bewegungslinie (Abbildung 117, Profil 3) über den Blockgletscher an. Die für 1939 geplante Wiederholungsmessung wurde durch den Ausbruch des Zweiten Weltkriegs verhindert. Erst 15 Jahre später, im Jahre 1953, konnte er die Messung wiederholen und stellte fest, dass sich der Blockgletscher innerhalb dieser Zeitspanne 11 m bewegt hatte (Pillewizer 1986). Im selben Jahr legte er noch zwei weitere Querprofile an (Abbildung 117, Profile 1 und 2). Nach einer letzten Nachmessung 1955 beendete

Pillewizer seine Messaktivitäten am Blockgletscher Äußeres Hochebenkar.

Im Jahr 1951 begann der Mathematiker Leopold Vietoris ohne Wissen über Pillewizers frühere Messaktivitäten ebenfalls mit Geschwindigkeitsmessungen am Blockgletscher Äußeres Hochebenkar. Im Unterschied zu Pillewizer bestimmte er die Fließgeschwindigkeit mittels geodätischer Messungen. Vietoris platzierte sein erstes Querprofil an der gleichen Stelle wie das Profil 2 von Pillewizer. Auch die im Jahr 1954 von ihm angelegten Steinlinien entsprachen den von Pillewizer angelegten Profilen 1 und 3. Zwischen 1954 und 1962 wiederholte Vietoris jeden Sommer (mit Ausnahme von 1958) die Nachmessung aller drei Steinlinien (Kaufmann 2012).

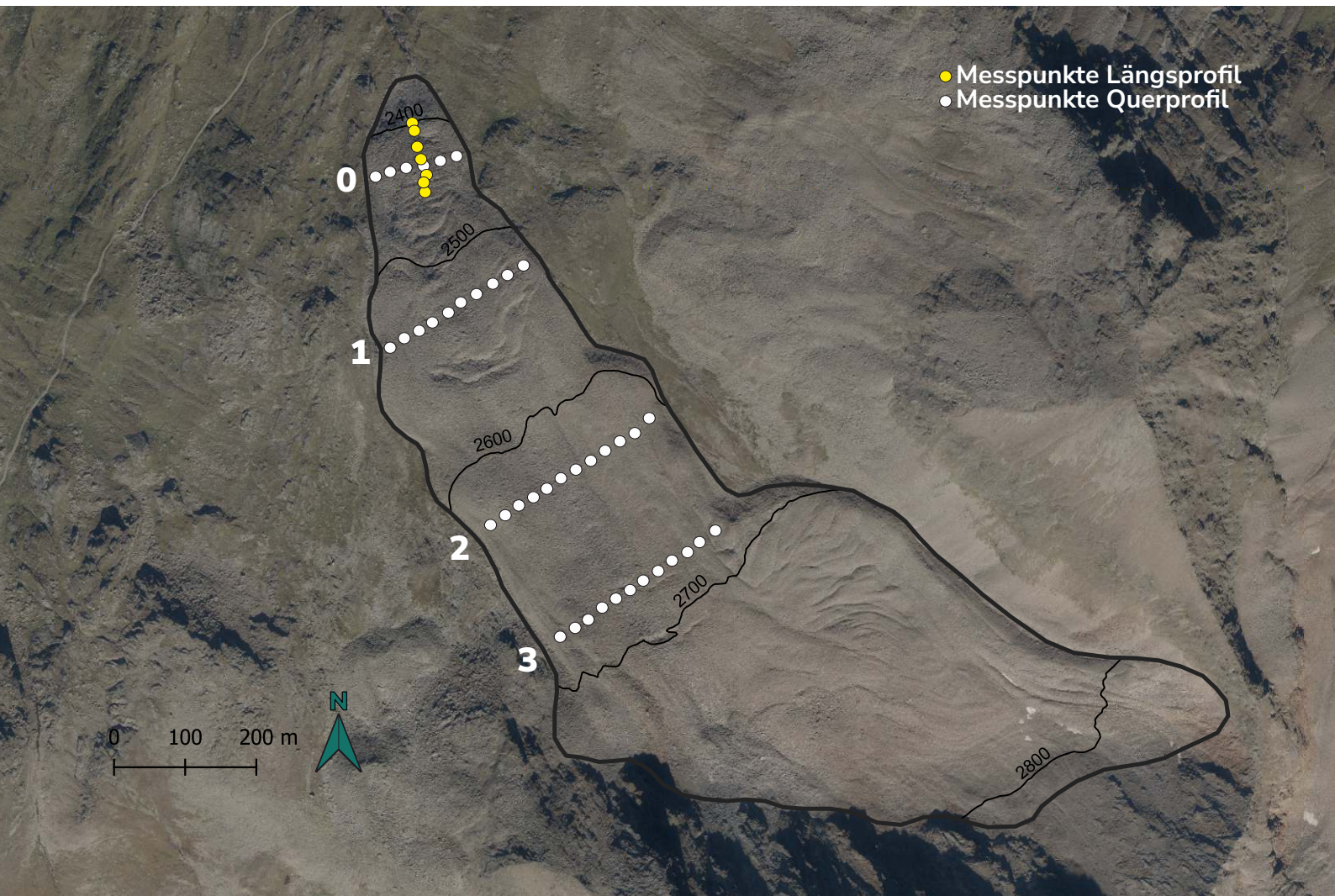
Ab diesem Zeitpunkt bis 1997 wurden die Nachmessungen von dem Mathematiker Heralt Schneider durchgeführt, ab 1997 zusammen mit Jakob Abermann. Seit 2006 führt Martin Stocker-Waldhuber die Messungen durch. Abbildung 116 fasst die zeitliche Änderung des Bewegungsverhaltens des Blockgletschers durch Angabe von Mittelwerten der Bewegungsraten seit Messbeginn zusammen.





**Abbildung 116:** Mittlere jährliche Bewegungsraten des Längsprofils und aller vier Querprofile seit Messbeginn, dargestellt als Treppelinie (Daten: Verein Gletscher und Klima).

**Abbildung 117:** Oberflächentopografie, Längsprofil und Querprofile des Blockgletschers Äußeres Hochebenkar (Daten: Umriss: Wagner et al. 2020; Querprofile: Verein Gletscher und Klima; Höhenlinien (2017) und Orthofoto (2020): Land Tirol - maps.tirol.gv.at TIRIS).



# HAUSHALTSJAHR 2021/22

**11,53 m/Jahr**

Mittlere Oberflächenbewegung  
Querprofil 0

-

Mittlere Oberflächenbewegung  
Querprofil 1

**2,41 m/Jahr**

Mittlere Oberflächenbewegung  
Querprofil 2

**2,52 m/Jahr**

Mittlere Oberflächenbewegung  
Querprofil 3


**19,97 m/Jahr**

Mittlere Oberflächenbewegung  
Längsprofil

Der instabile Bereich des Blockgletschers wies auch in der Saison 2021/22 sehr hohe Geschwindigkeiten auf. Insbesondere die Blöcke in den beiden Querprofilen im unteren Bereich des Blockgletschers sowie jene im Längsprofil sind gegenüber dem Vorjahr nochmals schneller geworden. Die höchste an den Blöcken gemessene Geschwindigkeit betrug 23,6 m/Jahr an einem zentralen Block in Profil 1.

Die hohen Bewegungsraten und morphologische Veränderungen der Blockgletscheroberfläche (Spalten, Risse) erschweren die Messungen an den Blockprofilen, da die markierten Blöcke rotieren und teils nicht mehr aufzufinden sind. 2022 war dies an mehreren Blöcken in den Profilen 0 und 1 der Fall. Betroffen waren vor allem Blöcke, die bereits in den Vorjahren sehr hohe Geschwindigkeiten aufwiesen. Auch ein direkter Vergleich der mittleren Geschwindigkeit von Profil 1 mit den Vorjahren ist aufgrund der fehlenden Blöcke nicht sehr aussagekräftig. Profil 0 hat im Vergleich zu 2020/21 erneut an Geschwindigkeit zugelegt. Die Profillinien 2 und 3 im oberen Bereich des Blockgletschers waren 2021/22 geringfügig langsamer als im Vorjahr. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich der destabilisierte Teil des Blockgletschers nach wie vor

extrem schnell bewegt, während die stabilen Bereiche deutlich langsamer sind.

 **Autorinnen:** Dr. Andrea Fischer, Lea Hartl, PhD (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

## ► Blockgletscher DATEN Äußeres Hochebenkar

**Datengeber:** Verein Gletscher und Klima

**Fördergeber:** Verein Gletscher und Klima

**Blockgletscherdaten: Stocker-Waldhuber, Martin; Fischer, Andrea; Hartl, Lea; Abermann, Jakob; Schneider, Heralt (2021):** Flow velocity records at Rock Glacier Outer Hochebenkar (Äußeres Hochebenkar), Ötztal, Tyrolian Alps, Austria, 1997 et seq. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.928244>





# HINTERES LANGTALKAR

46° 58' 53" N/12° 45' 56" O

Höhenlage: 2720 - 2455 m ü. A.

Exposition: West

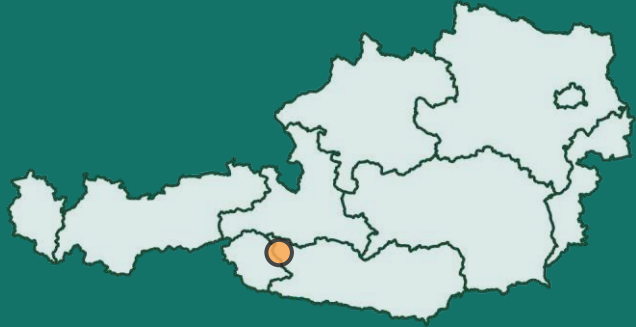


Foto: Hinteres Langtalkar Blockgletscher, Andreas Kellner-Pirklbauer 2002



# seit 1999/2000

Beginn der Bewegungsmessungen  
am Blockgletscher Hinteres  
Langtalkar

## 0,24 m/Jahr

Mittlere jährliche  
Oberflächenbewegung der letzten  
10 Jahre (2012/13-2021/22)  
(Messpunkte „oben“)


## 5,05 m/Jahr

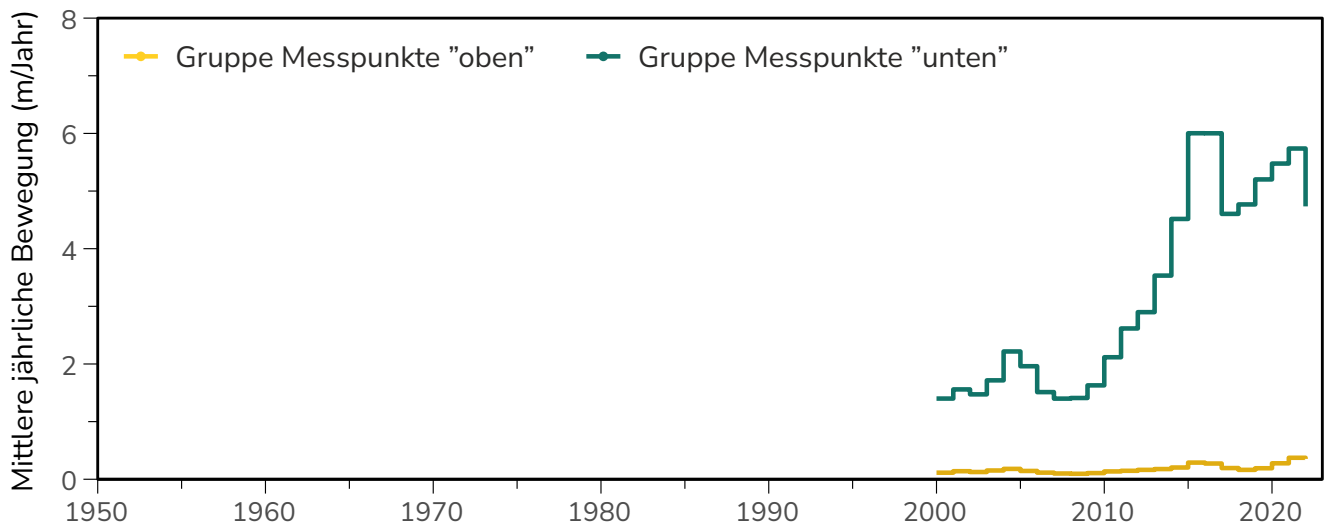
Mittlere jährliche  
Oberflächenbewegung der  
letzten 10 Jahre (2012/13-  
2021/22) (Messpunkte „unten“)

Der Blockgletscher Hinteres Langtalkar ist geomorphologisch sehr interessant, da sich das untere Ende der Blockgletscherzunge in steileres Gelände verlagert hat. Bereits 1992 hat ein Gleitprozess eingesetzt, da die Festigkeit des Schutt-Eis-Gemisches der Schwerkraft nicht mehr standhalten konnte. Dieses Phänomen wurde erstmals im Gelände und in Luftbildern 1997 festgestellt und konnte seither an einigen weiteren Standorten im Alpenraum dokumentiert werden (Kellerer-Pirklbauer und Kaufmann 2018, Roer et al. 2008). Im Jahr 1999 wurde ein geodätisches Monitoringprogramm initiiert. 38 markierte geodätische Beobachtungspunkte an der Blockgletscheroberfläche werden seitdem jedes Jahr im August gemessen (Kaufmann & Ladstädter 2010). Als Referenz werden acht Kontrollpunkte in der Nähe des Blockgletschers verwendet.

Am Blockgletscher Hinteres Langtalkar erfolgte im Jahr 2014 ebenfalls die schon beim Blockgletscher Dösen angesprochene Umstellung von der traditionellen Vermessung auf die moderne Satellitenpositionierung. Das geodätische Datum an diesem Blockgletscher ist durch insgesamt 15 Festpunkte definiert. Abbildung 118 fasst die zeitliche Änderung des Bewegungsverhaltens des Blockgletschers durch Angabe von Mittelwerten der Bewegungsraten für den Zeitraum 1999 bis 2022 zusammen. Die beiden hier mitgeteilten Mittelwerte wurden aus den Bewegungsraten von zwei Gruppen von Punkten gerechnet, da diese jeweils ein homogenes Fließverhalten aufweisen. Einerseits ist dies die obere, „langsame“ Gruppe (Punktgruppe A: 10-

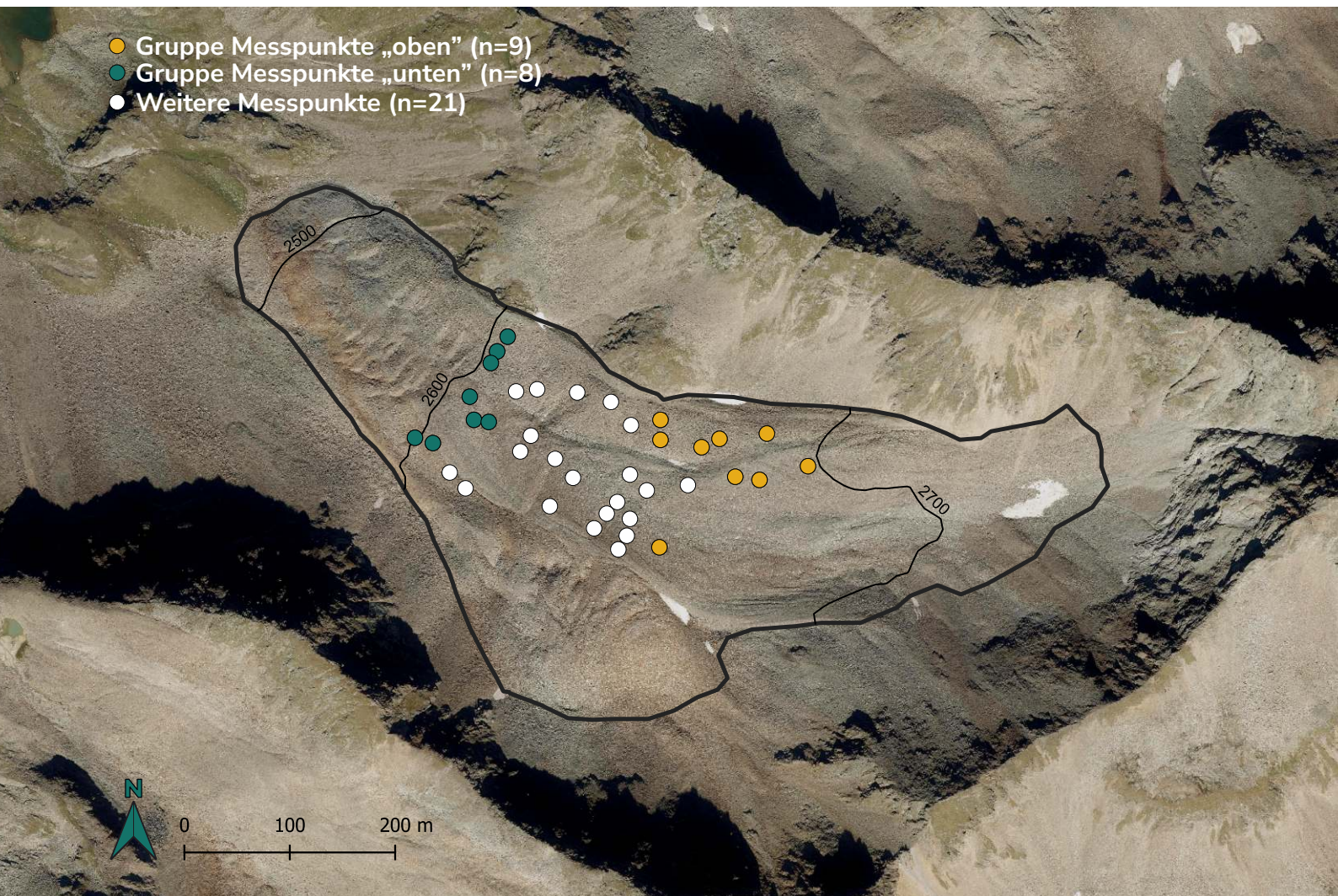
17, 37), welche mittlere Bewegungsbeträge im Dezimeterbereich aufweist, andererseits die untere, „schnelle“ Gruppe (Punktgruppe B: 23-25, 27-31), welche mittlere Bewegungsbeträge im Meterbereich zeigt. Die Bewegungsraten werden dabei auch hier durch Epochenvergleich ermittelt, für 2020/21 beispielsweise 21. 8. 2020 mit 21. 8. 2021. Als Basisstation für den RTK-Einsatz dient der Festpunkt 7. Abbildung 119 zeigt die Verteilung dieser beiden Punktgruppen auf dem Blockgletscher. Bedingt durch das kontinuierliche Vorrücken des Blockgletschers verbunden mit Abschiebungen im Zungenbereich und Aufschiebungen und Scheuerungsprozessen an der Blockgletscherfront, kann der unterste Teil des Blockgletschers Hinteres Langtalkar nicht mit der konventionellen geodätischen Methode vermessen werden. Aus diesem Grund wurde dort im Jahr 2000 ein Monitoring der Blockgletscherstirn mithilfe von zuerst Laserscanning, später drohen-gestützt eingerichtet (Avian et al. 2009).

 **Autor:** Dr. Andreas Kellerer-Pirklbauer (Universität Graz), Dr. Viktor Kaufmann (Technische Universität Graz)



**Abbildung 118:** Mittlere jährliche Bewegungsraten des Blockgletschers Hinteres Langtalkar seit Messbeginn, dargestellt als Treppelinie (Daten: Kaufmann 2022).

**Abbildung 119:** Oberflächentopografie und Messnetz des Blockgletschers Hinteres Langtalkar (Daten: Umriss: Wagner et al. 2020; Messnetz: Kaufmann (2022); Orthofoto (2015) und Höhenlinien (2015): Land Kärnten - data.gv.at).



# HAUSHALTSJAHR 2021/22

## 4,73 m/Jahr


Mittlere Oberflächenbewegung  
der Gruppe Messpunkte „unten“

## 0,35 m/Jahr

Mittlere Oberflächenbewegung  
der Gruppe Messpunkte „oben“

Die aktuelle Oberflächenbewegung am Blockgletscher Hinteres Langtalkar war deutlich reduziert, für den langsamen oberen Bereich um 5,4 % (von 0,37 auf 0,35 m/Jahr), für den schnellen unteren Bereich sogar um 17,5 %, was in diesem Fall eine Abnahme der mittleren Punktgeschwindigkeit um 1 m (von 5,73 auf 4,73 m/Jahr) bedeutet. Der aktuelle Wert für den unteren Bereich ist in etwa gleich jenem von 2017/18 und deutlich unter jenen von 2018/19 bis 2020/21. In den letzten neun Beobachtungsjahren betrug der Mittelwert für den unteren Teil immer zwischen 4,5 m/Jahr und 6,0 m/Jahr.

Die Abnahme der mittleren Geschwindigkeit am Blockgletscher Hinteres Langtalkar stimmt mit der am Blockgletscher Dösen überein und lässt sich wahrscheinlich vor allem durch veränderte hydrologische Bedingungen (geringerer Einfluss von Wasser als „Schmiermittel“) im Schutt-Eis-Gemisch erklären.

 **Autoren:** Dr. Andreas Kellerer-Pirklbauer (Universität Graz), Dr. Viktor Kaufmann (Technische Universität Graz), Dr. Gerhard K. Lieb (Universität Graz)

### ► Blockgletscher DATEN Hinteres Langtalkar

**Datengeber:** Institut für Geographie und Raumforschung (Universität Graz), Institut für Geodäsie (Technische Universität Graz)

**Fördergeber:** ÖAV-Patenschaftsfonds Nationalpark Hohe Tauern

**Blockgletscherdaten:** Kaufmann V. (2022): Unpublizierte Messdaten Hinteres Langtalkar Blockgletscher im Zeitraum 1954 bis 2022.

UNIVERSITÄT GRAZ



alpenverein  
österreich



Nationalpark  
Hohe Tauern



# DÖSEN

46° 59' 12" N/13° 17' 08" O

Höhenlage: 2650 - 2339 m ü. A.

Exposition: West



Foto: Dösen, Andreas Kellerer-Pirklbauer 2008

# seit 1995/96

Beginn der Bewegungsmessungen  
am Blockgletscher Dösen

## 0,46 m/Jahr

Mittlere jährliche  
Oberflächenbewegung der  
letzten 10 Jahre (2012/13-  
2021/22)

Der Blockgletscher Dösen liegt im hintersten Talschluss des Mallnitzer Dösentales in der Anko-gelgruppe (Kärnten). Er ist ungefähr 950 m lang, an der breitesten Stelle 300 m breit und erstreckt sich von 2650 bis 2339 m ü. A. (Kaufmann 2016).


Im Jahr 1993 startete Gerhard K. Lieb vom Institut für Geographie und Raumforschung der Universität Graz eine Forschungsinitiative zum Gebirgsspermafrost in Österreich mit besonderem geografischem Fokus auf die östlichen österreichischen Alpen. Im Rahmen dieser damaligen Initiative wurden die geodätischen Bewegungsmessungen am Blockgletscher Dösen initiiert. Die dortigen Bewegungsmessungen beziehen sich auf ein geodätisches Datum, das durch 12 markierte, stabile Punkte im Nahbereich des Blockgletschers definiert ist.

Im Jahr 2014 erfolgte die Umstellung der geodätischen Messung von der konventionellen Messung mittels Totalstation auf RTK-GNSS-Technologie, d.h. Positionsbestimmung in Echtzeit. Im Rahmen der alljährlichen Vermessung werden ab 2014 nur mehr die Bewegungsraten der 34 am Blockgletscher mit Messingbolzen stabilisierten Messpunkte bestimmt. Die Bewegungsraten für die einzelnen Beobachtungszeiträume oder Monitoringjahre werden durch Epochenvergleich (z. B. 18. 8. 2020 bis 17. 8. 2021) ermittelt (Kaufmann 1996; Kaufmann 2016).

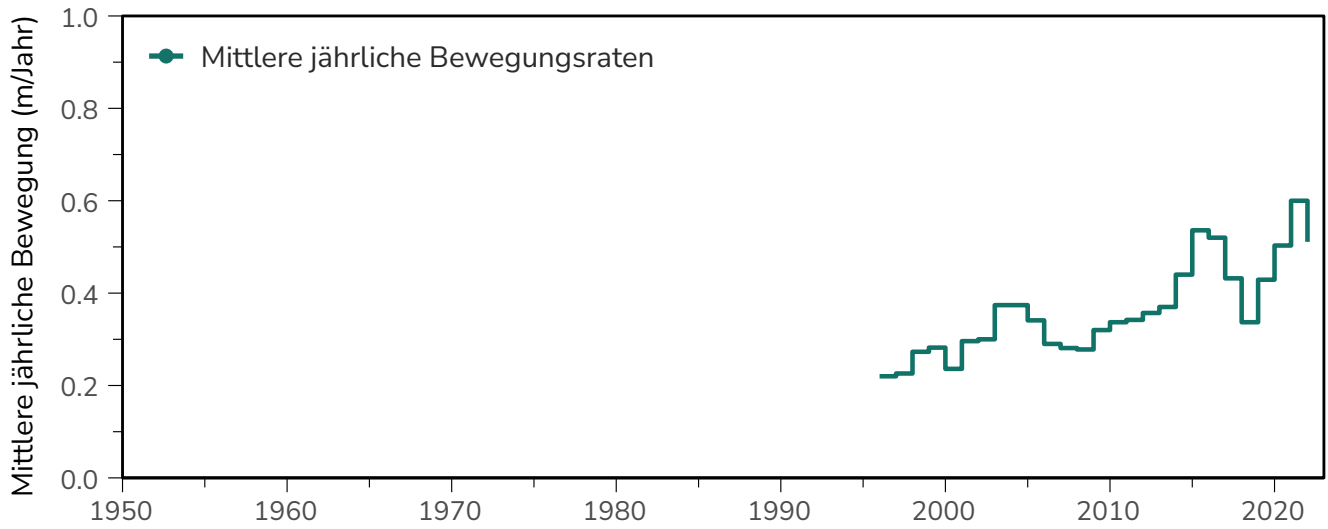
Als Basisstation (= Referenzpunkt) für die RTK-GNSS-Messung wurde der Triangulationspunkt

(interne Bezeichnung AVS) in der Nähe des Arthur-von-Schmidhauses gewählt. Abbildung 120 fasst die zeitliche Änderung des Bewegungsverhaltens des Blockgletschers durch Angabe von Mittelwerten der Bewegungsraten für den Zeitraum 1995 bis 2022 zusammen.

Die Mittelwerte wurden aus den Bewegungsraten der zentralen Punkte am Blockgletscher (10-17, 21-23) gerechnet, da diese ein homogenes Bewegungsverhalten aufweisen (Abbildung 121).

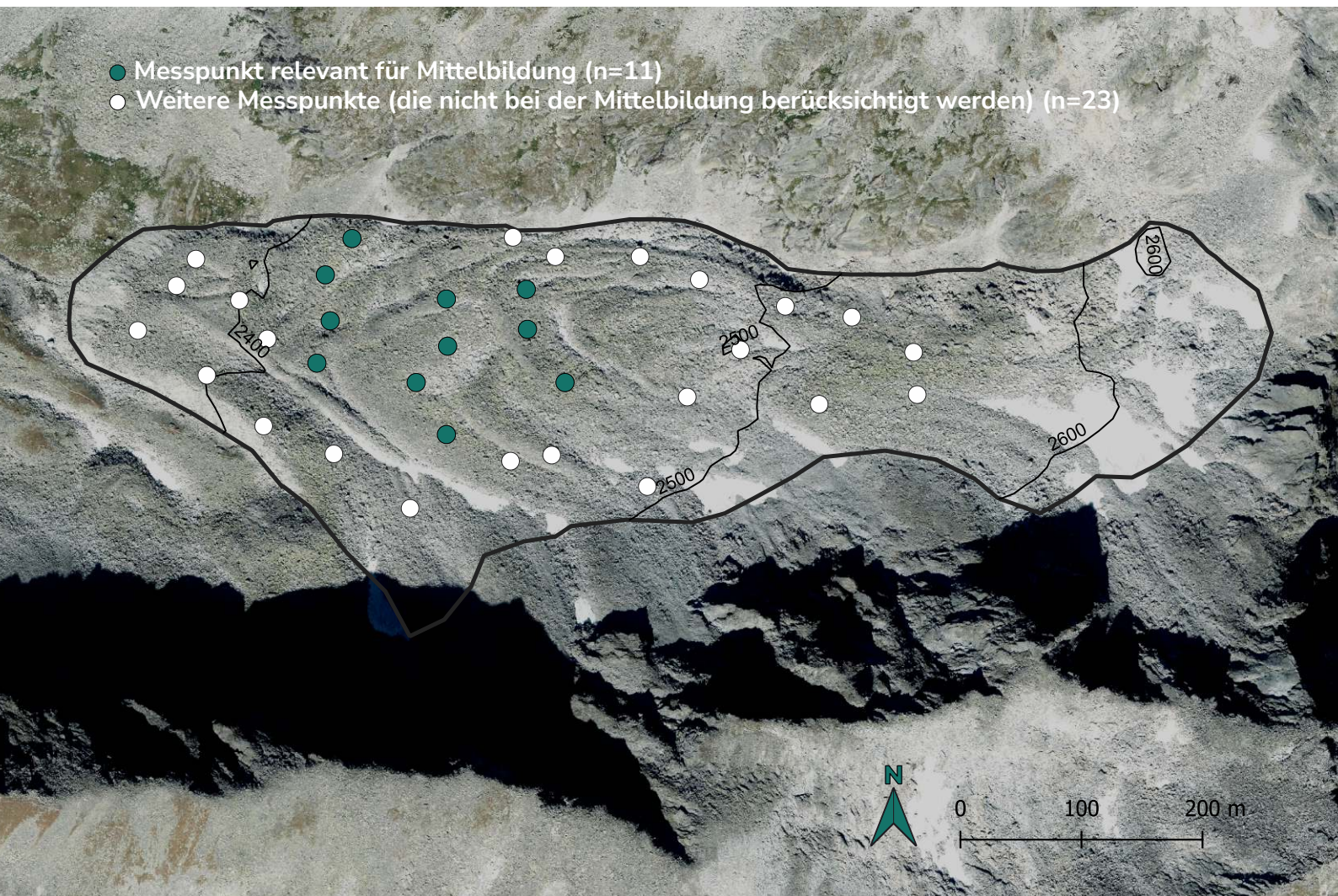
 **Autor:** Dr. Andreas Kellerer-Pirklbauer  
(Universität Graz)





**Abbildung 120:** Mittlere jährliche Bewegungsraten des Blockgletschers Dösen seit Messbeginn, dargestellt als Treppenlinie (Daten: Kaufmann 2022).

**Abbildung 121:** Oberflächentopografie und Messnetz des Blockgletschers Dösen (Daten: Umriss: Wagner et al. 2020; Messnetz: Kaufmann (2022); Orthofoto (2015) und Höhenlinien (2015): Land Kärnten - data.gv.at).






# HAUSHALTSJAHR 2021/22

## 0,51 m/Jahr

Mittlere Oberflächenbewegung  
der 11 zentralen Punkte

Die aktuelle Oberflächenbewegung am Blockgletscher Dösen hat sich im Vergleich zum Vorjahr, als mit 0,60 m/Jahr ein Rekordwert für die gesamte bisherige Messperiode erreicht wurde, signifikant um 14,8% (im zentralen Bereich) reduziert. Die aktuellen Bewegungsraten sind somit ähnlich jenen von 2019/20, gehören aber dennoch zu den höchsten seit Beginn der Messungen 1995.

Die Abnahme der mittleren Geschwindigkeit am Blockgletscher Dösen stimmt mit der am Blockgletscher Hinteres Langtalkar überein und lässt sich wahrscheinlich vor allem durch veränderte hydrologische Bedingungen (geringerer Einfluss von Wasser als „Schmiermittel“) im Schutt-Eis-Gemisch erklären.

 **Autoren:** Dr. Andreas Kellerer-Pirklbauer (Universität Graz), Dr. Viktor Kaufmann (Technische Universität Graz), Dr. Gerhard K. Lieb (Universität Graz)

### ► Blockgletscher DATEN Dösen

**Datengeber:** Institut für Geographie und Raumforschung (Universität Graz), Institut für Geodäsie (Technische Universität Graz)

**Fördergeber:** ÖAV-Patenschaftsfonds Nationalpark Hohe Tauern

**Blockgletscherdaten:** Kaufmann V. (2022): Unpublizierte Messdaten Blockgletscher Dösen im Zeitraum 1969 bis 2022.

UNIVERSITÄT GRAZ 

alpenverein  
österreich 

 TU  
Graz

 Nationalpark  
Hohe Tauern

# SEEEIS



Foto: Bernhard Jank, 2018

## Warum ist Seeeis-Monitoring wichtig?

Eine der ersten beobachteten Auswirkungen der Klimaerwärmung war der Anstieg der Seetemperaturen und die zeitliche Verkürzung oder der Verlust der Eisdecke von Seen (Sharma et al. 2019). Diese Veränderungen haben tiefgreifende ökologische und gesellschaftliche Folgen.

Infolge dieser Entwicklung können nur noch wenige Seen in Österreich für den Wintersport oder Wintertourismus genutzt werden, und kulturelle Veranstaltungen im Zusammenhang mit der saisonalen Eisbedeckung finden seltener oder gar nicht mehr statt.

Mit der Abnahme oder dem Verlust der winterlichen Eisdecke gelangen mehr Energie in Form von Wärme und Wind, aber auch mehr Stoffe aus der

Atmosphäre und der umliegenden Landschaft in den See. Diese Veränderungen können sich wiederum auf die Lebenszyklen von Pflanzen und Tieren sowie auf die Verfügbarkeit von geeigneten Lebensräumen und die Wasserqualität auswirken. Die Folgen dieser Veränderungen auf Ökosystemprozesse und Nahrungsketten sind zum Teil noch unbekannt (Cavaliere et al. 2021).

Die Wissenschaft versucht durch die kontinuierliche und standardisierte Beobachtung der Eisdecke und Wassertemperaturen, diese Folgen besser verstehen und abschätzen zu können.

# Seeeis

Wenn die Temperaturen im Herbst abnehmen, kühlt das Wasser an der Oberfläche eines Sees ab und sinkt aufgrund seiner höheren Dichte nach unten. Dieser Wasseraustausch ist meist windgetrieben, führt mit der Zeit zu einer Durchmischung (kaltes dichtes Wasser sinkt ab, wärmeres leichteres Wasser steigt auf) und folglich zu einer homothermen Wasserverteilung im gesamten Sees. Warum der See aber von oben und nicht von unten zufriert, hat mit der Anomalie des Wassers zu tun. Im Unterschied zu den meisten anderen Stoffen, die mit abnehmender Temperatur immer dichter und somit schwerer werden, erreicht Wasser seine höchste Dichte bei 4 °C.

Erreicht das Seewasser 4 °C, kann das weiter abgekühlte Oberflächenwasser aufgrund seiner geringeren Dichte also nicht mehr absinken. Kühlt es an der Oberfläche, verbunden mit Lufttemperaturen unter 0 °C, weiter ab, kommt es zur Oberflächeneisbildung. Eine weitere Besonderheit von Wasser ist, dass wenn es vom Aggregatzustand „Wasser“ zum Aggregatzustand „Eis“ wechselt, die Dichte nochmals abnimmt. Aus diesem Grund „schwimmt“ das leichtere Eis auf dem schwereren flüssigen Wasser.

Das Gefrieren eines Sees beginnt in den Uferbereichen, weil der See dort die geringste Tiefe erreicht und somit schneller auskühlt. Wie schnell ein See zufriert, hängt von seiner Größe und Tiefe ab. Ein flacher und kleiner See kühlt schneller aus als ein tiefer und großer See.

Die Bedeutung der saisonale Seeisbedeckung war und ist für uns Menschen vielfältig. Ob als Transportmittel für Menschen und Güter zwischen am See liegenden Siedlungen, als wichtiger Wirtschaftsfaktor (z. B. Tourismus), für Erholung und Freizeit (z. B. Eisstockschießen, Eislaufen) oder auch kulturell (z. B. Eisfeste, Prozessionen).

Die Eisbedeckung ist auch für die Ökosystemprozesse im See von großer Bedeutung, da das Eis den See von der umliegenden Landschaft und Atmosphäre isoliert. Die Dauer, Dicke und die optische Beschaffenheit der Eisdecke regulieren die Menge der in den See eindringenden Sonnenstrahlung. Gleichzeitig wird der See vor dem Einfluss des

Windes abgeschirmt. Beides hat eine Auswirkung auf die Durchmischung und Temperatur des Wassers und die Strukturierung vertikaler thermischer und chemischer Gradienten. Die Organismen (z. B. Bakterien, Plankton, Fische), die in Seen mit saisonaler Eisdecke leben, haben sich an diese winterlichen Bedingungen angepasst (Cavaliere et al. 2021).

Aufgrund der zuvor beschriebenen Bedeutungen des Seeises für uns Menschen wurden bereits lange vor der Verwendung von meteorologischen Stationen Daten über die Beschaffenheit und Veränderung der Eisdecke verschiedener Seen gesammelt (Sharma et al. 2019). Die ersten Dokumentationen sind zumeist in Chroniken zu finden und beziehen sich auf außergewöhnliche Ereignisse, wie etwa das gänzliche oder überwiegende Zufrieren großer Seen mit einer dicken begehbaren Eisschicht. Ein Beispiel hierfür wäre die „Seegfröris“ (Zufrieren) des Bodensees, die erstmals 875 dokumentiert wurde (Tagblatt 2012).

Für Österreich gibt es seit dem Ende des 19. Jahrhunderts fast kontinuierliche (jährliche) Zeitreihen über die Eisbedeckung weniger Seen. Mit der Zeit schwand mit der Zahl der Seen, welche eine geschlossene Eisdecke ausbilden, das Interesse an der Seeisbedeckung (Müller 1924). Heute liegen fast vollständige Aufzeichnungen über die Eisbedeckung (Dauer) und Wassertemperatur von drei Seen vor: dem Lunzer See in Niederösterreich, dem Weißensee in Kärnten und dem Neusiedler See im Burgenland.





# SEE EISDECKE



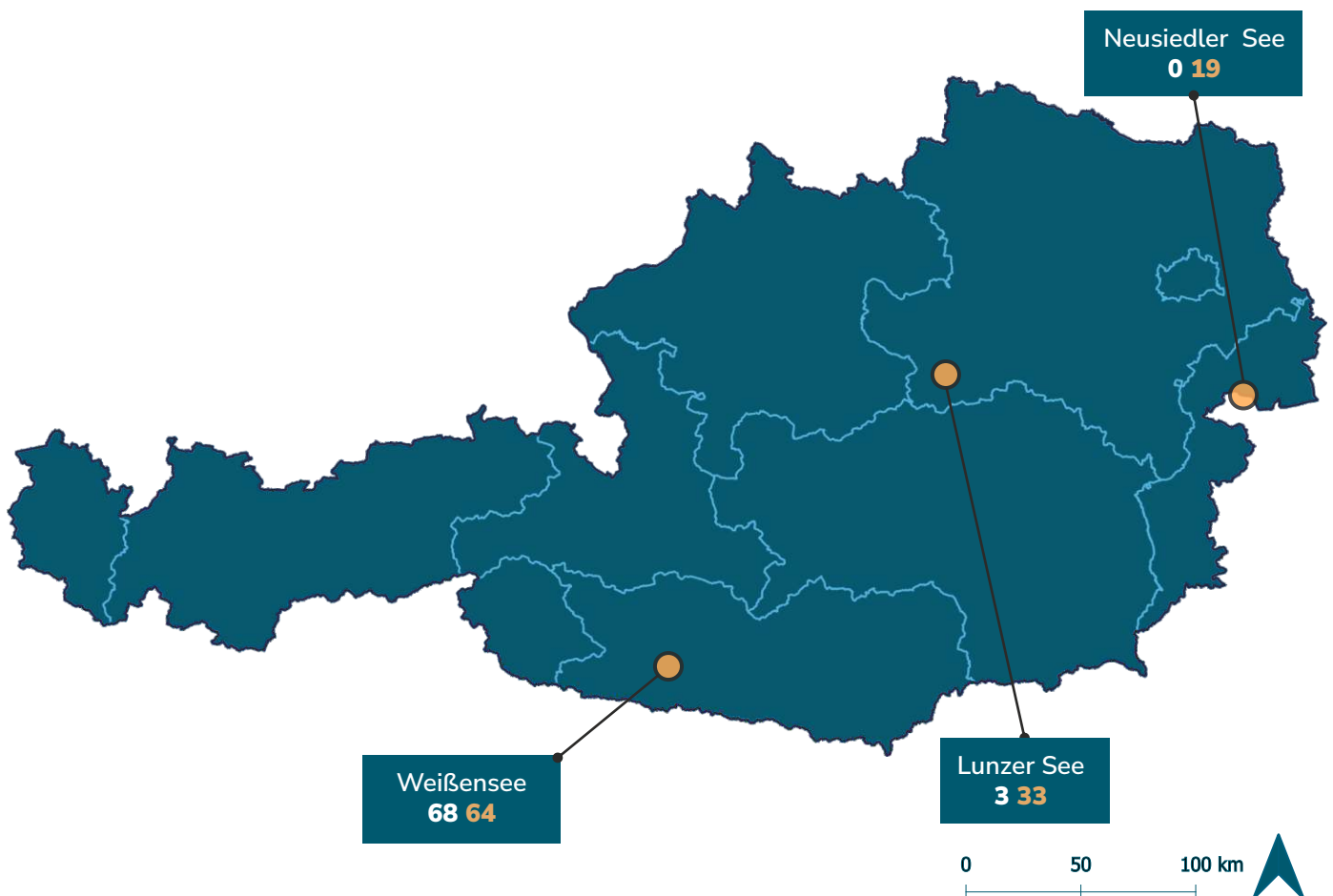
Foto: Neusiedler See, Carina Suchentrunk, 2022

# 3

Anzahl der Seen, für die im Winterhalbjahr 2021/22 Daten zur Eisbedeckung erhoben wurden

seit **1905/06**

Längste Zeitreihe  
(Lunzer See)



**Abbildung 122:** Lage aller drei Seen, für welche die Eisbedeckungsdauer in Österreich für das Winterhalbjahr 2021/2022 erhoben wurde, sowie die Summe aller Tage mit geschlossener Eisdecke für das Winterhalbjahr 2021/2022 (in weiß). In orange ist das 10-Jahresmittel (2011/12-2020/21) der Tage mit geschlossener Eisdecke pro Jahr dargestellt.

# WEIßENSEE

47° 51' 10" N/15° 2' 50" O

Höhenlage: 930 m ü. A.

Fläche: 6,4 km<sup>2</sup>

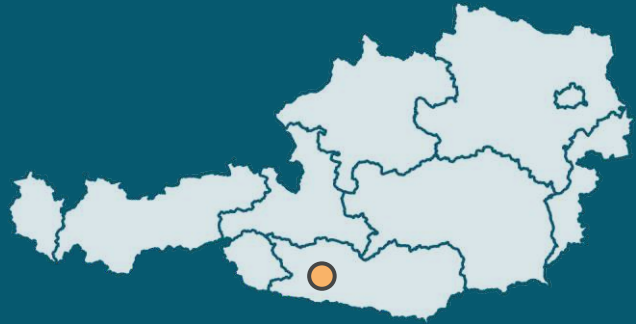


Foto: Weißensee, Gerhard K. Lieb 2014



# 1973/74

Messbeginn der saisonalen  
Seeisdecke

# 81

Mittlere Anzahl von Tagen pro Jahr  
mit geschlossener Eisdecke seit  
Beginn der Messungen

# 1968

Beginn der Messung der  
Oberflächenwassertemperatur

# 15,0 °C

Mittlere  
Oberflächenwassertemperatur  
pro Jahr (April - November) seit  
Beginn der Messungen

Auf 930 m Seehöhe liegt, eingebettet in die Gailtaler Alpen, der fjordähnliche Weißensee. Der See verdankt seinen Namen dem mit weißlichem Kalkschlamm bedeckten, flachen (ca. 2 m tief und 80 m breit) Uferbereich. Der Weißensee ist von Westen nach Osten 11,4 km lang, bei einer Breite von bis zu 900 m. Die tiefste Stelle von offiziell 99 m liegt gut 1,5 km vor dem östlichen Ende des Sees. Die Hohlform, in der sich das Gewässer befindet, ist natürlichen Ursprungs und wurde in der letzten Kaltzeit (Würmkaltzeit) durch die erosive Wirkung des Draugletschers gebildet. Der Seeboden fällt von Westen nach Osten stark ab, weswegen der See grob in zwei Becken gegliedert werden kann (Abbildung 124). Das westliche Becken ist eine flache Mulde von etwa 5 m Tiefe, während das östliche Becken eine maximale Tiefe von 99 m erreicht. Es gibt keine Durchzugsstraße und damit sind zwei Drittel des Sees unverbaut (Schulz et al. 2007).

Im Winter verwandelt sich der Weissensee zur größten präparierten Natureisfläche Kärntens. Eissicherheit und Infrastruktur liefern schon seit über 30 Jahren die „Hardware“ für das größte Eisschnelllaufevent, die alternative hölländische Elfstättetour, bei der in knapp zwei Wochen an die 6.000 aktive TeilnehmerInnen an Eisschnellaufrennen bis zu 200 km an den Start gehen. Die Beobachtungen der Eisverhältnisse am Weißensee werden seit über 50 Jahren von Norbert Jank durchgeführt, der seit 1987 der offizielle Eismeister ist. Ins Jahr 1973 reichen seine persönlichen Aufzeichnungen über die Eisbedeckung des östlichen Teils vom Weißensee

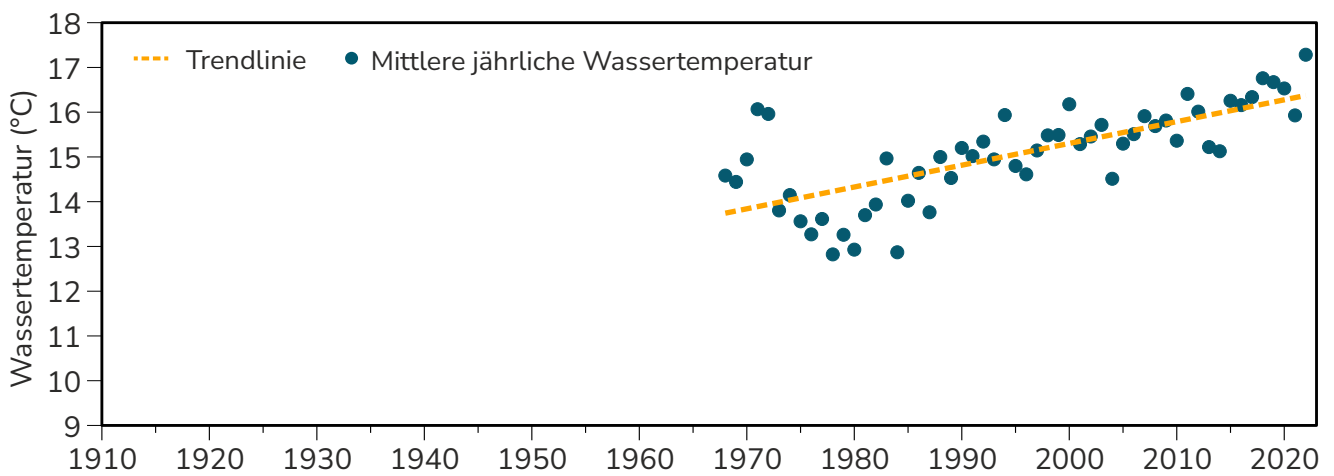
zurück. Westlich der Seebrücke ist der See nur bis zu 5 m tief und meist schon Anfang bis Mitte Dezember zugefroren. Für den Beginn der Eisbedeckung wird der Tag herangenommen, an dem der Ostteil als vollflächig gefroren gilt, und als letzter Tag der Eisbedeckung gilt der Tag an dem der See beginnt aufzugehen.

Aus den Aufzeichnungen geht hervor, dass die Dauer der Eisbedeckung und die maximale Eisstärke am Ostteil des Weissensees in den 1970er und 1980er Jahren deutliche höhere Werte als in den 1990er und frühen 2000er Jahren aufweist (Abbildung 125 und Tabelle 2). 2004 bis 2013 zeichnete sich eine Verbesserung ab. Seit 2013 relativiert sich das wieder.

 **Autor:** Norbert Jank (Natureislauf)

**Tabelle 2:** Mittlere jährliche oberflächennahe Wassertemperatur und mittlere Eisbedeckungsdauer des Weißensees der Jahrzehnte 1980 bis 2019 (Daten: Wassertemperatur: Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 12 – Wasserwirtschaft Unterabteilung Hydrographie; Eisbedeckungsdauer: Norbert Jank).

|                           | 1970<br>1979 | 1980<br>1989 | 1990<br>1999 | 2000<br>2009 | 2010<br>2019 |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Mittelwert Wassertemp. °C | 14,1         | 14,0         | 15,1         | 15,5         | 16,0         |
| Mittelwert Eisdeckendauer |              | 99           | 70           | 74           | 65           |



**Abbildung 123:** Mittlere jährliche (April bis November) oberflächennahe Wassertemperatur (Daten: Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 12 – Wasserwirtschaft Unterabteilung Hydrographie),

**Abbildung 124:** Der Ost- und Westteil des Weißensees (Orthofoto (2018): Land Kärnten - data.gv.at; Umriss: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen).



# WINTERHALBJAHR 2021/22

## 68

Summe der Tage mit geschlossener Eisdecke im Winterhalbjahr 2021/22

## 17,2 °C

Mittlere Oberflächenwassertemperatur für das Jahr 2022 (April - November)

Die Seeeisdauer im Winterhalbjahr 2021/22 betrug 68 Tage und lag damit um 13 Tage unter dem langjährigen Durchschnitt von 81 Tagen pro Winterhalbjahr (seit Beginn der Beobachtungen 1973/74). Die Seeeisdecke im östlichen Teil des Weißensees war bis zum 16.01.2022 nicht vollständig geschlossen. Es wurde eine maximale Eisdicke von 25 cm erreicht. Bereits am 29.03.2022 begann die Seeeisdecke im östlichen Teil aufzugehen.

Die mittlere Oberflächenwassertemperatur für April bis November 2022 betrug 17,2 °C und lag damit 5,6 °C über dem langjährigen Durchschnitt von 11,6 °C (für April bis November).

 **Autor:** Norbert Jank (Natureislauf)

### ► Seeis DATEN Weißensee

**Datengeber:** Norbert Jank

**Fördergeber:** Finanziert von Norbert Jank

**Seeisdaten:**

<https://www.natureislauf.at/downloads/>

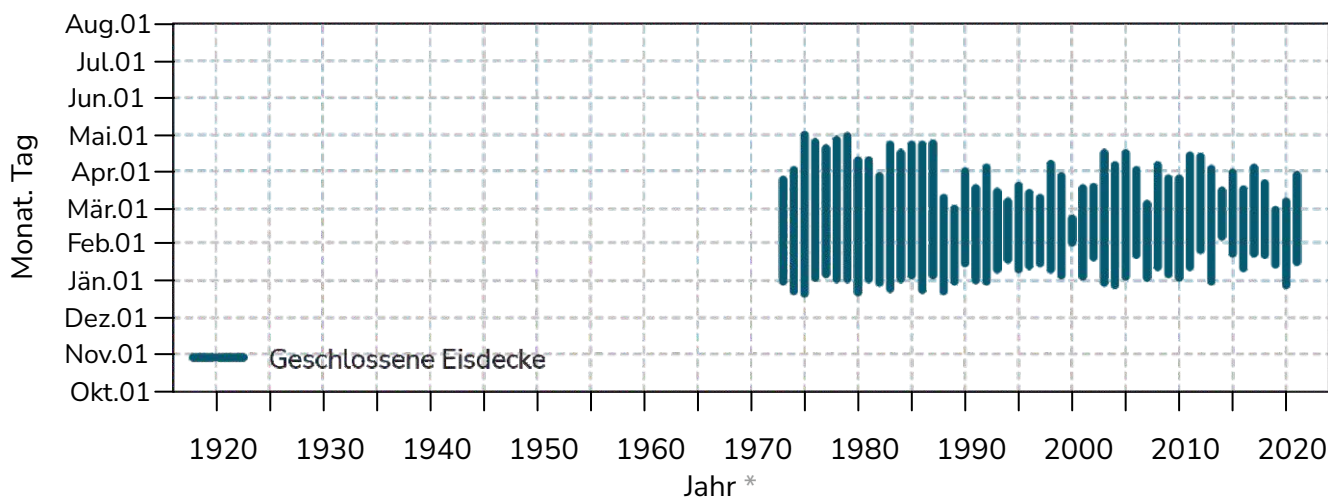
**Wassertemperaturdaten:**

<https://ehyd.gv.at/>

<https://hydrographie.ktn.gv.at>

**www.natureislauf.at**  
phänomenal - einzigartig

**Abbildung 125:** Beginn und Ende der geschlossenen Eisdecke seit Messbeginn (Daten: Norbert Jank).



\*Jahr, in dem das Winterhalbjahr beginnt (z. B. 2021 bedeutet das Winterhalbjahr 2021/2022).



# LUNZER SEE

47° 51' 10" N/15° 2' 50" O

Höhenlage: 608 m ü. A.

Fläche: 0,68 km<sup>2</sup>

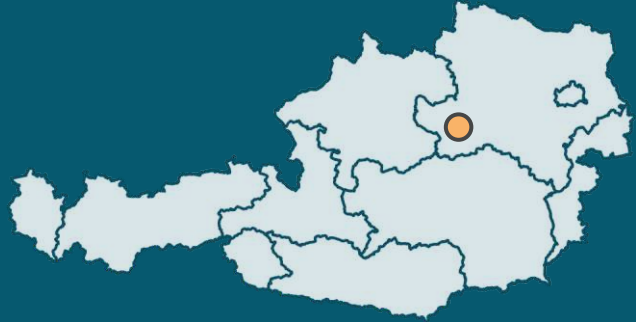


Foto: Lunzer See, WasserCluster Lunz

seit **1905/06**

Messbeginn der  
saisonalen Seeeisdecke

**77**

Mittlere jährliche Anzahl von Tagen  
mit geschlossener Seeeisdecke seit  
Messbeginn

seit **1913**

Beginn der Messung der  
Oberflächenwassertemperatur

**11,6 °C**

Mittlere jährliche  
Oberflächenwassertemperatur  
(April - November) seit  
Messbeginn

Der Lunzer See befindet sich auf einer Seehöhe von 608 m ü. A. im südwestlichen Niederösterreich in der Gemeinde Lunz am See. Er besitzt eine Breite von ca. 500 m, eine Länge von 1,7 km, ist ca. 34 m tief und bedeckt eine Fläche von 68 ha (Abbildung 127). Die Hohlform, in der sich das Gewässer befindet, ist natürlichen Ursprungs und wurde in der letzten Kaltzeit (Würmkaltzeit) durch die erosive Wirkung der Gletscher gebildet (AGES 2019; Kainz et al 2017).

Nicht unweit vom See wurde 1905 die Biologische Station Lunz gegründet, das weltweit zweitälteste limnologische Institut. Im Rahmen der dort durchgeführten Seenforschung begann man noch im Jahr der Gründung mit der Aufzeichnung der Eisdeckendauer des Lunzer Sees (Schiemer 2014).

Unter der Dauer der Eisbedeckung des Sees pro Jahr versteht man die Tage, an denen der See vollständig mit Eis bedeckt ist. Im Jahr 1920/1921 begann man, neben der Dauer auch das Datum des Beginns und des Endes der Seeisbedeckung zu erfassen.

Seit 1913 wird auch täglich sieben Meter vom Seeufer entfernt die Oberflächentemperatur des Sees in 0,5 m Seetiefe während der eisfreien Zeit (immer zur gleichen Zeit) gemessen (Abbildung 126). Für den Zeitraum 1916 bis 1919 liegen aufgrund des Ersten Weltkriegs und seiner Folgen keine Daten über die Oberflächenwassertemperatur des Sees und seiner Eisbedeckung vor, ansonsten gibt es keine Lücken in den Zeitreihen. Abbildung

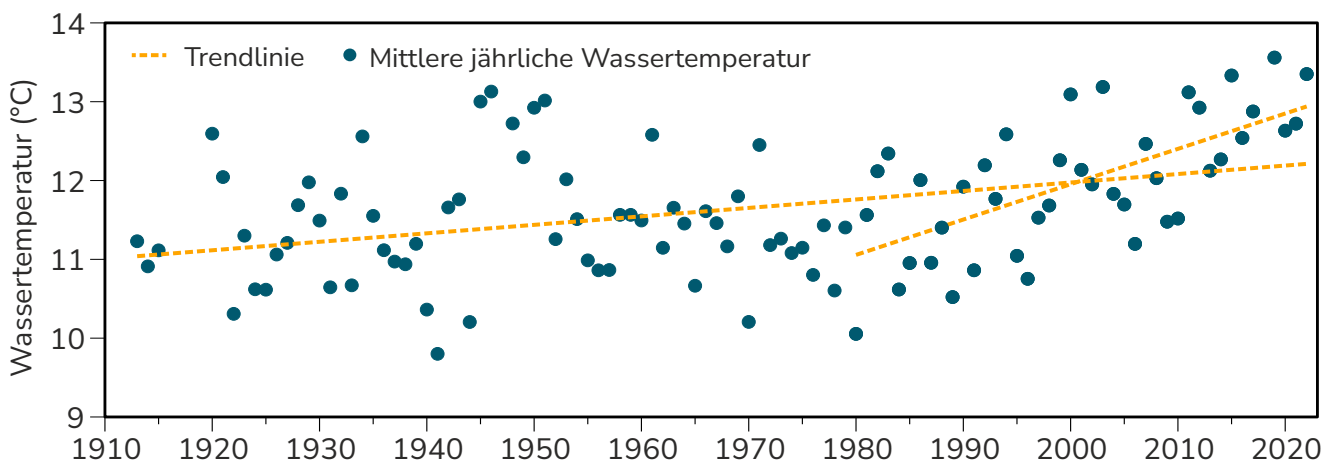
128 zeigt den Beginn und das Ende und somit die Dauer der geschlossenen Seeisdecke seit 1921. Hier und in Tabelle 3 wird deutlich, dass die Eisdeckendauer insbesondere seit der Mitte der 1980er-Jahre zurückgeht. In den 1920er Jahren war der See im Durchschnitt noch 85 Tage pro Winterhalbjahr vollständig zugefroren, in den 2010er Jahren sind es nur noch 35 Tage. Ein ähnlicher Trend ist in Abbildung 126 und Tabelle 3 für die Wassertemperatur zu erkennen.



**Autor:** Dr. Martin Kainz (WasserCluster Lunz)

**Tabelle 3:** Mittlere jährliche oberflächennahe Wassertemperatur und mittlere Dauer der Seeisdecke des Lunzer Sees der Jahrzehnte 1930 bis 2010 (Daten: Wassertemperatur und Seeisdecke: WasserCluster Lunz).

|                                    | 1930<br>1939 | 1940<br>1949 | 1950<br>1959 | 1960<br>1969 | 1970<br>1979 | 1980<br>1989 | 1990<br>1999 | 2000<br>2009 | 2010<br>2019 |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Mittelwert Wassertemp. °C          | 11,2         | 11,9         | 11,6         | 11,5         | 11,1         | 11,2         | 11,6         | 12,1         | 12,9         |
| Mittelwert Eisdeckendauer in Tagen | 86           | 79           | 79           | 90           | 88           | 79           | 73           | 71           | 35           |



**Abbildung 126:** Mittlere jährliche (April bis November) oberflächennahe Wassertemperatur (Daten: Wasser-Cluster Lunz),

**Abbildung 127:** Lunzer See (Basemap: Google Basemap).





# WINTERHALBJAHR 2021/22

## 3

Summe der Tage mit geschlossener Seeisdecke im Winterhalbjahr 2021/22

## 13,3 °C

Mittlere Oberflächenwassertemperatur für das Jahr 2022 (April - November)

Im Haushaltsjahr 2021/2022 kam es am Lunzer See zu einer bi-phasischen Eisdeckenbildung. Die erste geschlossene Eisdecke dauerte einen Tag (16. – 17. 1.) und die zweite zwei Tage (15. – 17. 2.). Damit war die Seeisdauer die drittkürzeste der Messgeschichte (Abbildung 128). Verglichen mit dem 10-jährigen Mittel vom Beginn der Messgeschichte (1905-1915 mit durchschnittlich 93 Tagen geschlossener Seeisdecke pro Jahr) hatte der Lunzer See in den letzten 10 Jahren (2012-2022) nur mehr durchschnittlich 26 Tage eine geschlossene Eisdecke pro Jahr. Auffallend ist, dass seit 1980 eine stets kürzere Dauer der geschlossenen Seeisdecke zu verzeichnen ist, wobei nach noch 100 Tagen geschlossener Seeisdecke 2008/2009 seither eine rapide Verkürzung der Eisdecke festzustellen ist. Parallel dazu werden höhere Oberflächenwassertemperaturen im November und Dezember registriert, die in den letzten 10 Jahren (2012-2022) mit durchschnittlich

8 °C (November) und 5,4 °C (Dezember) höher als in allen Vergleichszeiträumen seit Beginn der Messgeschichte waren.

 **Autor:** Dr. Martin Kainz (WasserCluster Lunz)

### ▶ Seeis DATEN Lunzer See

**Datengeber:** WasserCluster Lunz

**Fördergeber:** Land Niederösterreich

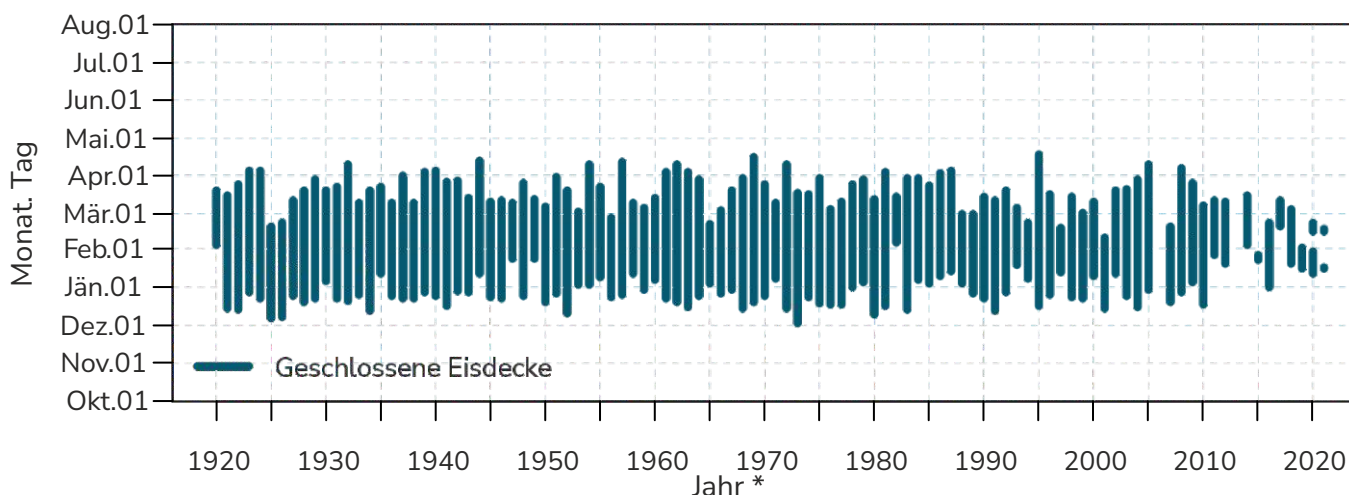
**Seeisdaten:** Alle Daten liegen am WasserCluster und sind auf Anfrage verfügbar.

**DEIMS-SDR:**

<https://deims.org/dataset/929ac511-792e-42d4-af15-69370f4e01af>



**Abbildung 128:** Beginn und Ende der geschlossenen Seeisdecke seit Messbeginn (Daten: WasserCluster Lunz).



\*Jahr, in dem das Winterhalbjahr beginnt (z. B. 2021 bedeutet das Winterhalbjahr 2021/2022).

# NEUSIEDLER SEE

47° 51' 10" N/16° 45' 55" O

Höhenlage: 115 m ü. A.

Fläche: 315 km<sup>2</sup>



Foto: Neusiedler See, byc.at

# seit 1972/73

Messbeginn der saisonalen  
Seeeisdecke

## 45

Mittlere Anzahl von Tagen pro Jahr  
mit geschlossener Eisdecke seit  
Beginn der Messungen

Der Neusiedler See liegt in der Übergangszone zwischen den östlichen Ausläufern der Alpen und der pannonischen Tiefebene. Der See liegt überwiegend auf österreichischem, ein kleiner Teil auf ungarischem Staatsgebiet. Der österreichische Teil bildet somit die größte Seefläche Österreichs, aber mit einer durchschnittlichen Wassertiefe von 1,5 m auch die seichteste. Der Seespiegel liegt im Durchschnitt bei 115,48 m ü. A., die Seefläche beträgt je nach aktuellem Wasserstand durchschnittlich 320 km<sup>2</sup>, etwa die Hälfte davon bildet der Schilfgürtel. Das Einzugsgebiet des Sees beträgt heute nach umfangreichen Regulierungen der letzten 2 Jahrhunderte nur 1120 km<sup>2</sup> (Abbildung 129).

Die Hauptausdehnung (Nord-Süd-Erstreckung) beträgt 34 Kilometer, die Breite (Ost-West-Erstreckung) zwischen 4,5 und 8 Kilometer - ohne Berücksichtigung des Schilfgürtel. Das Alter des Neusiedler Sees wird mit rund 12000 bis 15000 Jahren angegeben, das flache Becken entstand durch Absenkungsvorgänge, die noch immer andauern. Die geologischen Brüche unter dem See bewirken Wasseraustritte am Seegrund, die eine hohe Konzentration an Salzen aufweisen – es handelt sich somit um einen subsalinen See. Von Natur aus hat der Neusiedler See keinen Abfluss, dies hat die Salzanreicherung im Wasserkörper verstärkt. Der Wasserhaushalt ist hauptsächlich von Niederschlägen und Verdunstung beeinflusst, ober- und unterirdische Zuflüsse machen nur rund 15% der Wasserbilanz aus. Die Niederschläge lagen in den letzten 20 Jahren zwischen 362 und 760 mm. In den letzten Jahren ist die Verdunstungsrate auf-

grund der aktuellen globalen Erwärmung angestiegen, während die Niederschlagsmengen immer weniger werden (2022: 400 mm, Messstelle Biologische Station, Illmitz). Je nach klimatischem Trend unterlag und unterliegt der Wasserstand einer starken Dynamik – vom Hochwasser bis hin zur Austrocknung. In „normalen“ Jahren liegt der Frühjahrspegel ca. zwei bis drei Dezimeter über dem Herbstniveau. Episodisch auftretende Trockenereignisse in den letzten Jahrhunderten wurden durch Hochwasserereignisse des Donau-Raab-Rabnitz-Systems innerhalb kurzer Zeiträume wieder umgekehrt.

Durch die Errichtung des sogenannten Einserkanaals, einem künstlichen Abflusssystem an der heutigen österreichisch-ungarischen Grenze, und vieler anderer Regulierungssysteme wurden große Teile des östlichen Neusiedler Sees (Gebiet des Hansag und Waasen) im 18. und 19. Jahrhundert trockengelegt, somit ist eine natürliche Dotierung des Sees bei Hochwasserereignissen nicht mehr gegeben. Der aktuelle Trend einer Wasserknappheit durch stetig sinkende Pegel seit 2015 ist am See evident.

Die Aufzeichnungen und Messungen des Pegels, der Wassertemperatur und der Seeeisdauer wurden seit den 1970er Jahren seitens der Biologischen Station Neusiedler See - dem Forschungsinstitut des Landes Burgenland - sowie vom Hydrographischen Dienst des Landes durchgeführt (siehe Wasserportal Burgenland [bgl.d.gv.at](http://bgl.d.gv.at)). Ältere Daten bis in die 1890er Jahren finden sich im Hydrographischen



**Tabelle 4:** Mittlere jährliche Eisbedeckungsdauer des Neusiedler Sees der Jahrzehnte 1980 bis 2019 (Daten: Eisbedeckungsdauer: Biologische Station Neusiedler See).

|                                           | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 |
|-------------------------------------------|------|------|------|------|
|                                           | 1989 | 1999 | 2009 | 2019 |
| <b>Mittelwert Eisdeckendauer in Tagen</b> | 62   | 63   | 48   | 25   |

Jahrbuch. Diese jahrzehntelangen Untersuchungen stellen wesentliche Datenreihen im Rahmen von LTER (Long Term Ecological Research) dar. Da der lokale Seepiegel vom Wind stark beeinflusst wird – es kommt häufig zu einer Kippung der Seefläche um mehrere Dezimeter-, befinden sich am Neusiedler See sieben Messstationen, aus deren Messwerten der mittlere Seepiegel bzw. die mittlere Wassertemperatur bestimmt werden.

Der Terminus Seeeisdauer bezieht sich am Neusiedler See auf eine visuell von den sieben Strandbädern beobachtete komplette Eisbedeckung. In den letzten beiden Jahrzehnten ist die Seeeisdauer und Eisdicke am Neusiedler See stark rückläufig (Abbildung 130 und Tabelle 4). Die Dauer der Eisbedeckung korreliert direkt mit den Veränderungen der Lufttemperatur. Wegen der geringen Tiefe und der stetigen Winde ist der See stetig durchmischt, im Freiwasser gibt es keine Schichtungen, im Winterhalbjahr entspricht die durchschnittliche Wassertemperatur annähernd der Lufttemperatur. Der stetige Anstieg der Lufttemperatur hat in den letzten Jahrzehnten zu einem Anstieg der durchschnittlichen Seetemperatur um 1,8 °C geführt, wodurch eine komplette Eisbildung immer seltener erfolgt.

 **Autor:** Dr. Thomas Zechmeister (Biologische Station Neusiedler See)



**Abbildung 129:** Satellitenfoto des Neusiedler Sees, 6. Mai 2020 (Foto: wikimedia.org).

# WINTERHALBJAHR 2021/22

# 0

Summe der Tage mit geschlossener Eisdecke im Winterhalbjahr 2021/22

Im Haushaltsjahr 2021/2022 blieb jegliche ansatzweise Eisbildung komplett aus. Dies war zum ersten Mal seit Beginn der Aufzeichnungen an der Biologischen Station 1972 der Fall. Betrug die vollständige Eisbedeckung am Beginn der 2000er Jahren noch im Schnitt zwischen vier und acht Wochen, so liegt die Eisdauer in den letzten Jahren immer unter einer Woche.

Auch der Niederschlag lag 2021 bei nur 450 mm und ging 2022 auf 400 mm zurück, der Durchschnitt der letzten 5 Jahre lag unter 500 mm, wodurch es zu keiner vollständigen Kompensation der örtlichen Verdunstung mehr kommt.

 **Autor:** Dr. Thomas Zechmeister (Biologische Station Neusiedler See)

## ► Seeis DATEN Neusiedler See

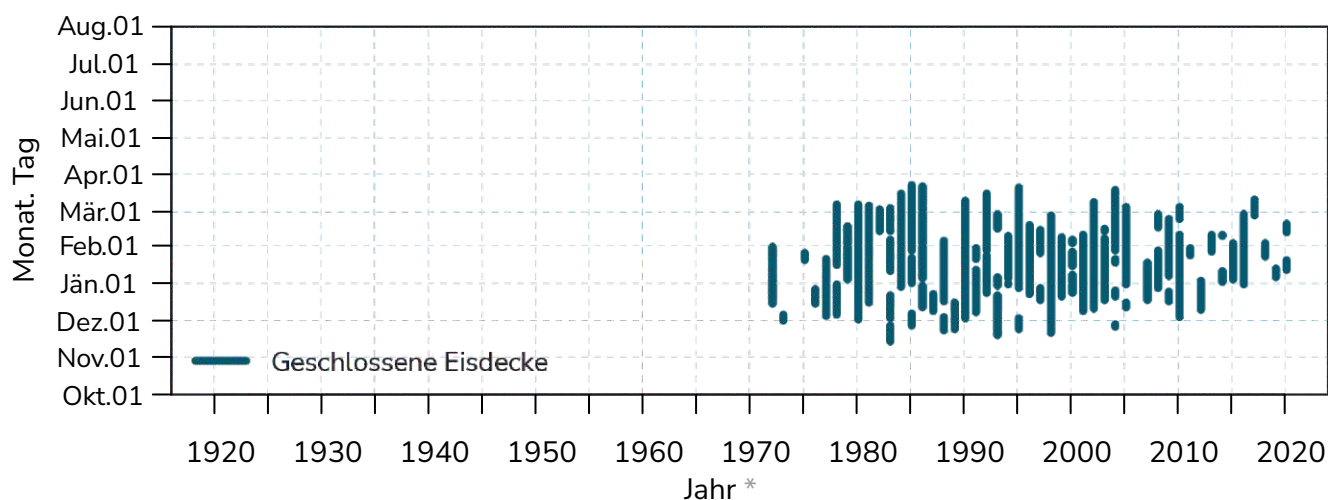
**Datengeber:** Biologische Station Neusiedler See, Abt. 4, Land Burgenland

**Fördergeber:** Land Burgenland

**Seeisdaten:** Alle Daten liegen am WasserCluster und sind auf Anfrage verfügbar.



**Abbildung 130:** Beginn und Ende der geschlossenen Eisdecke seit Messbeginn (Daten: Biologische Station Neusiedler See).



\*Jahr, in dem das Winterhalbjahr beginnt (z. B. 2021 bedeutet das Winterhalbjahr 2021/2022).

# SCHNEEDECKE



Foto: Sonnblick mit Observatorium, Bernhard Hynek

## Warum ist Schnee-Monitoring wichtig?

Schnee ist in Österreich eine wesentliche Ursache für Naturgefahren in Form der Lawinen oder Hochwasserereignisse durch extreme Schneeschmelze. Andererseits ist der Schnee auch ökonomische Grundlage für den Wintertourismus, Lebensgrundlage in Form der Wasserversorgung großer Städte wie Wien oder eine wesentliche Einflussgröße auf die Ökologie der Pflanzen und Tiere.

In Gebirgsländern wie Österreich ist die Veränderung des Schnees daher eine besonders relevante Größe des Klimawandels. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Schwankungen der Schneefallmengen oder der Schneehöhe am Boden von Jahr zu Jahr besonders groß sind und langfristige Veränderungen schwerer zu erkennen sind als für andere Klimakenngrößen (z.B. die Lufttemperatur).

Die Relevanz des Schnees für den Wasserkreislauf wurde in der Hydrographie früh erkannt und daher

liegen durch die Messnetze der hydrographischen Dienste in Österreich lange Zeitreihen der Neuschneehöhen und der Gesamtschneehöhe vor, die bis ins 19te Jahrhundert zurückreichen. Das erlaubt die Untersuchung und Identifikation langfristiger Veränderungen und Trends die das „statistische Rauschen“ der Jahr-zu-Jahr Veränderung übersteigen. Der Blick auf die Zeitreihen zeigt jedoch, dass die Herausforderungen solche Messungen über 50 oder mehr Jahre durchgehende aufrechtzuerhalten groß sind.

Da sowohl Lufttemperatur als auch Niederschlag über Schneefall und Schneemenge entscheiden, weisen Kenngrößen wie die Gesamtschneehöhe oder Neuschneehöhe eine klare Höhenabhängigkeit auf, da auch die Lufttemperatur und der Niederschlag (letzterer deutlich schwächer) von der Seehöhe abhängen. Diese Höhenabhängigkeit und andere regionale Effekte zumindest in täglicher Auflösung zu erfassen, ist eine wesentliche Aufgabe eines Schneemonitorings.



# 1016

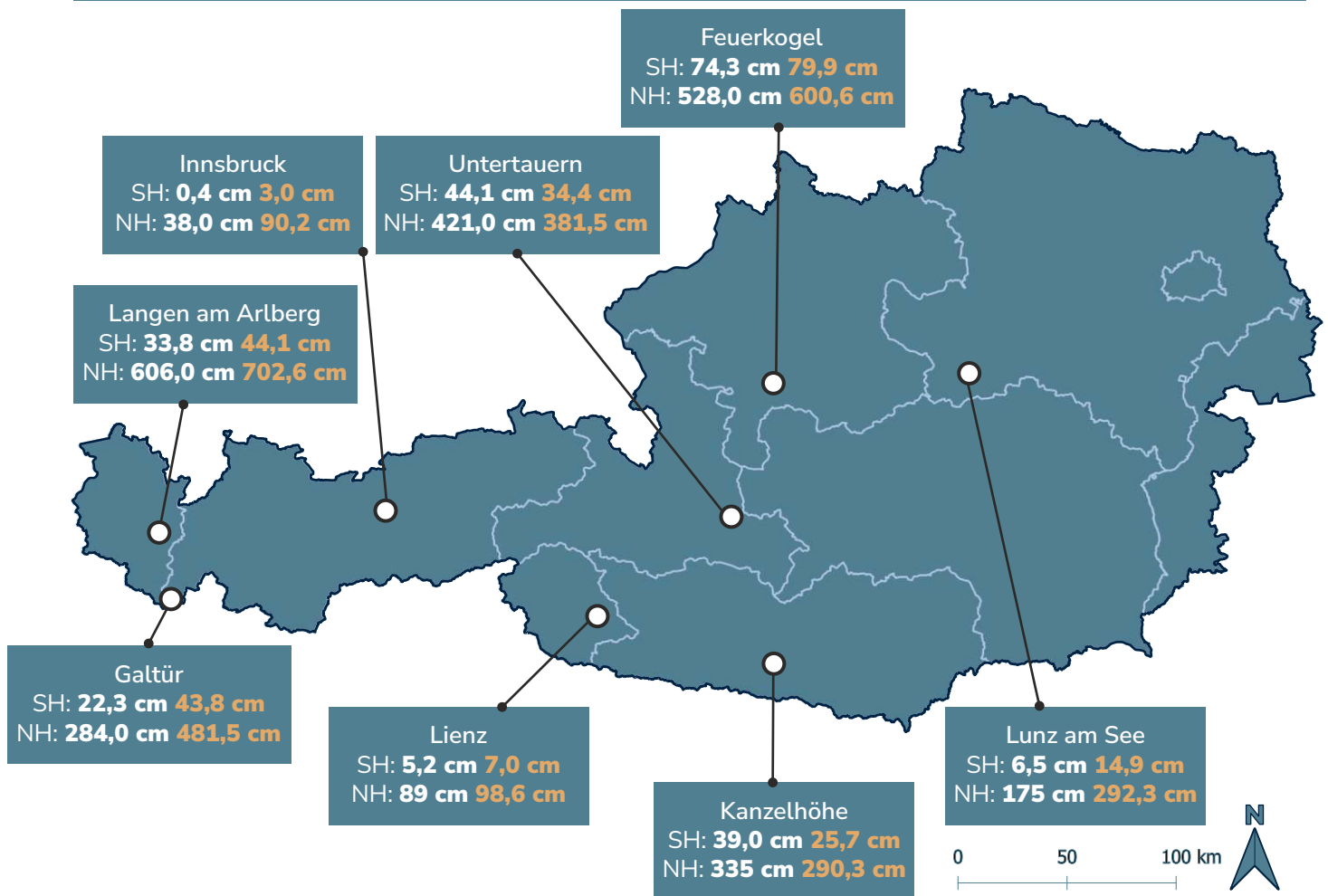
Anzahl der Messstationen mit  
Schneehöhenmessung in  
Österreich (Haberkorn et al. 2019)

## 11,9 m

Am 9. Mai 1944 wurde auf dem  
Sonnblick die höchste jemals in  
Österreich gemessene Schneehöhe  
registriert

## seit 1763

Längste Zeitreihe (Zahl der Tage  
mit Schneefall/Schneereggen)  
(Kremsmünster)



**Abbildung 131:** Lage und mittlere Schneehöhe (SH) und Neuschneesumme (NH) für den Winter (November, Dezember, Januar, Februar, März und April ) 2021/2022 (weiß), sowie das 30-jährige Mittel (1991 bis 2020, außer Untertauern: 1991 bis 2009) von Schneehöhe und Neuschneesumme (orange) für ausgewählte Schneemesstationen in Österreich.

# Datenlage in Österreich

Langjährige Messungen der Schneehöhe liegen in Österreich für die Größen Gesamtschneehöhe und Neuschneehöhe vor (in deutlich geringerer Anzahl und Länge für die Schneedichte). Aus der gemessenen Schneehöhe und der Schneedichte kann die in der Schneedecke enthaltene Wassermenge, das sogenannte Schneewasseräquivalent der Schneedecke SWE, berechnet werden. In Österreich gibt es mehrere Messnetzbetreiber, welche Kenngrößen der Schneedecke regelmäßig erfassen (Abbildung 132), nämlich die Hydrographischen Dienste der Bundesländer (zentral organisiert durch die Abteilung Wasserhaushalt, Hydrographisches Zentralbüro im für die Wasserwirtschaft zuständigen Ministerium), der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG (jetzt Geosphere Austria) und die Lawinenwarndienste der Bundesländer.

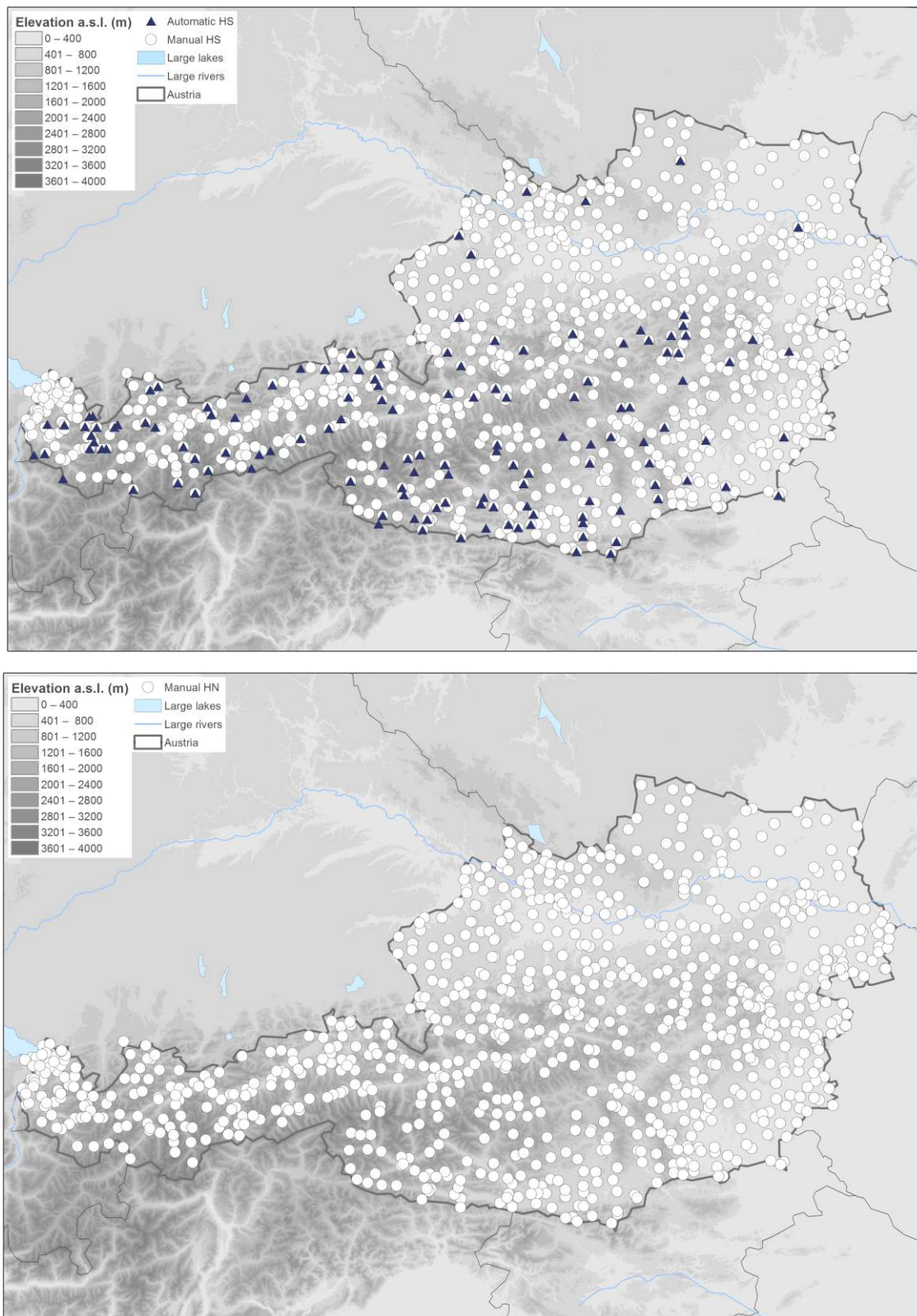
Obwohl die Messung der Gesamtschneehöhe prinzipiell einfach ist, wurde sie im Messnetz der ZAMG lange Zeit vernachlässigt und erst ca. 75 Jahre nach der Gründung des Instituts (mit wenigen Ausnahmen, z.B. am Sonnblick) eingeführt. Die Messung der Neuschneehöhe wird überhaupt erst seit 1984 durch die ZAMG gemessen. Deutlich länger sind die Messreihen der Abteilung Wasserhaushalt, die fast bis zum Gründungsjahr 1893 zurückgehen und sowohl die Gesamtschneehöhe und die Neuschneehöhe beinhalten. Am kürzesten sind die Schneemessungen der Lawinenwarndienste, die erst deutlich später gegründet wurden und weniger Wert auf die Erfassung klimabedingter Veränderungen legen.

Aus den oben genannten Messungen der täglichen Schneehöhe und Neuschneehöhe können eine Vielzahl an praxisrelevanten Schneeindikatoren abgeleitet werden. Von großer Bedeutung in der Praxis sind etwa die Neuschneesumme (das sind die über eine vorgegebene Periode, z.B. ein Jahr, aufsummierten Neuschneewerte) und die Schneedeckendauer (für die alle Tage eines Jahres mit einer Gesamtschneehöhe von mindestens 1 cm gezählt werden). Eine weniger häufig verwendeter, aber auch sehr aussagekräftiger Schneeindikator ist Winterdeckendauer. Diese bezeichnet die längste Andauer einer geschlossenen Schneedecke von zumindest 1 cm Gesamtschneehöhe. Die Messungen der Gesamtschneehöhe und der Neuschneehöhe sind in Österreich folgendermaßen festgelegt. Jeden Tag wird um 7 Uhr (Morgenbeobachtung) sowohl die Gesamt-

schneehöhe als auch der Schneedeckenzuwachs in den letzten 24 Stunden erfasst. Die Messung der Gesamtschneehöhe erfolgt bei manueller Ablesung mit einer Messlatte, die der Neuschneehöhe mit einem auf der Schneeoberfläche aufgelegten Schneebrett. Sowohl der Wert der Gesamtschneehöhe als auch jener der Neuschneehöhe werden dem Tag der Beobachtung zugeordnet. Durch die Automatisierung der Schneemessungen mittels Ultraschall- oder Lasersensor liegen mittlerweile Stundenwerte der Messgrößen vor und nicht nur eine Beobachtung pro Tag. Die Messung der Schneedichte erfolgt mittels Wägung eines definierten Schneevolumens, das meist mit einem zylinderförmigen Stechrohr der Schneedecke entnommen wird.

Generell zeigen die Veränderungen der Schneedecke in Österreich eine starke Abhängigkeit von der Seehöhe und Region. Für fast alle dargestellten Schneekenngrößen ist eine teilweise sehr deutliche Abnahme seit ca. 1970 festzustellen. Das deckt sich mit den neuesten vorliegenden Studien zur Schneeänderung in Österreich (Schöner et al., 2019, Olefs et al., 2020) die einen Trend von -7 Tagen/Dekade für die Schneedeckendauer bzw. einer Abnahme der mittleren Schneehöhe um 0,15 m gemittelt über Österreich für die Periode 1961/62-2019/20 angeben (siehe z.B. Olefs et al., 2020).


Die mittleren Schneehöhen und Neuschneesummen im Winter 2021/22 waren im Westen Österreichs (Vorarlberg, Tirol) im Allgemeinen deutlich unter dem Mittel 1991-2020, im Süden Österreichs durch große Neuschneemengen im Jänner 2022, regional deutlich über dem Mittel. Im Norden und Osten Österreichs waren Schneehöhe und Neuschneesumme eher unterdurchschnittlich in höheren Lagen auch durchschnittlich. In höheren Lagen über 1500 m wies zumindest der Kernwinter (Dezember bis Februar) vorwiegend durchschnittliche Neuschneesummen und Schneehöhen in Österreich auf. Klimatologisch auffällig war dann besonders der März 2022, der besonders sonnenscheinreich und trocken war. Es gab in diesem Monat kaum einen Neuschneezuwachs (z.B. nur 7 cm am Sonnblick) und dagegen bereits Ablation der Schneedecke bis in hohe Lagen. Der Schneeverlust wurde auch noch durch einen massiven Saharastaubfall zwischen 17. und 19. März angetrieben. Auch der April konnte dieses Defizit der Schneemengen nicht mehr ausgleichen und ein besonders warmer



**Abbildung 132:** Standorte der Stationen in Österreich, an denen die (Grafik oben) Schneehöhe (HS) und (Grafik unten) Neuschneehöhe (HN) gemessen wird (Haberhorn et al. 2019).

Mai führte zu deutlich geringen Schneehöhen im Hochgebirge (z.B. am Sonnblick nur 63 % des Normalwerts von 1991-2020). Diese extrem geringen Schneerücklagen waren eine sehr ungünstige Ausgangsposition für die österreichischen Gletscher zu Beginn des Sommerhalbjahres und führten in

weitere Folge zu einem besonders frühen Ausapern auf den Gletschern und frühen Verschwinden der Schneedecke.

 **Autor:** Dr. Wolfgang Schöner (Universität Graz)

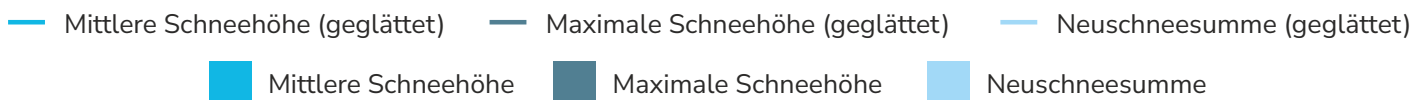
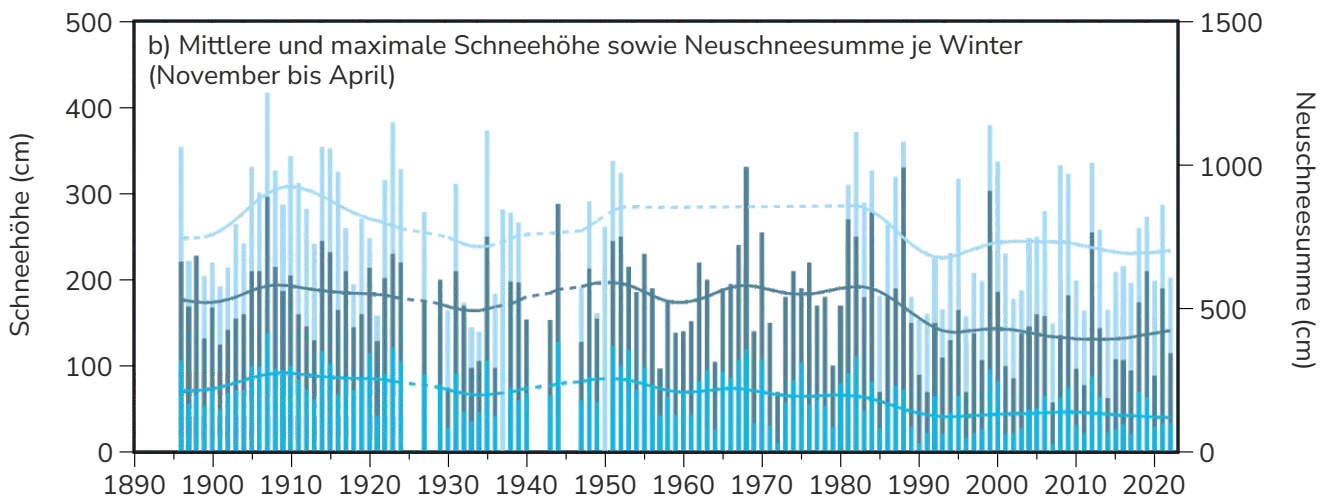
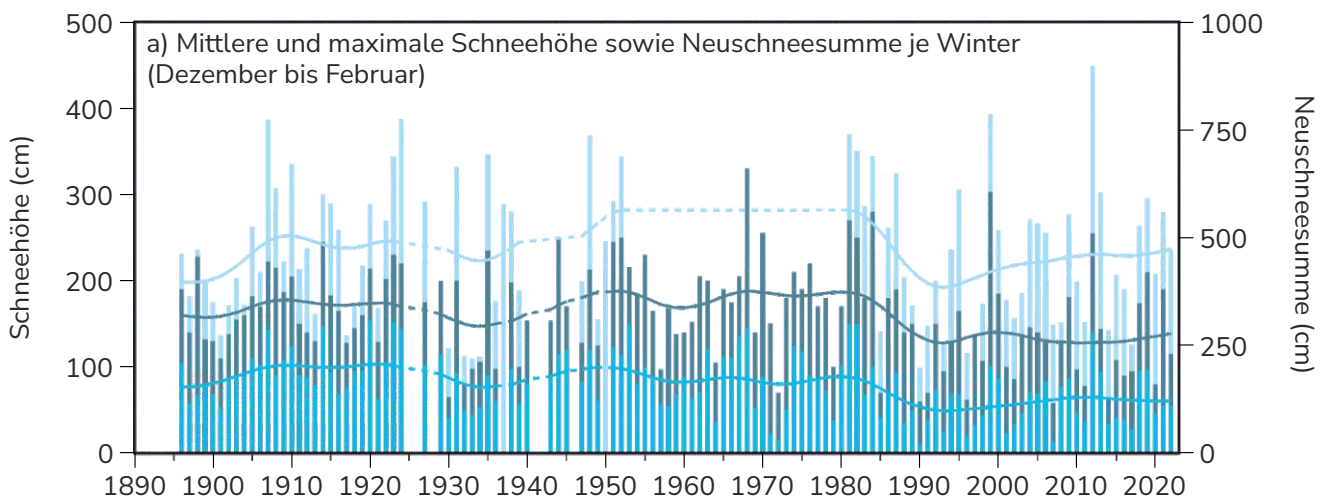
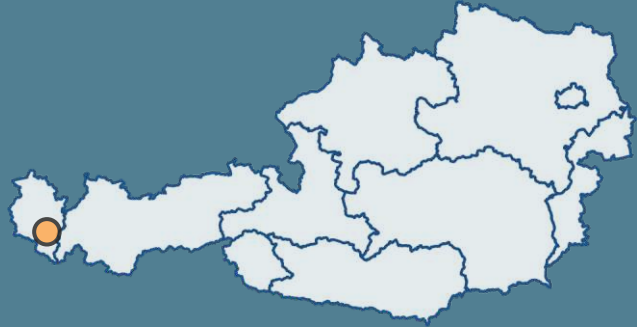


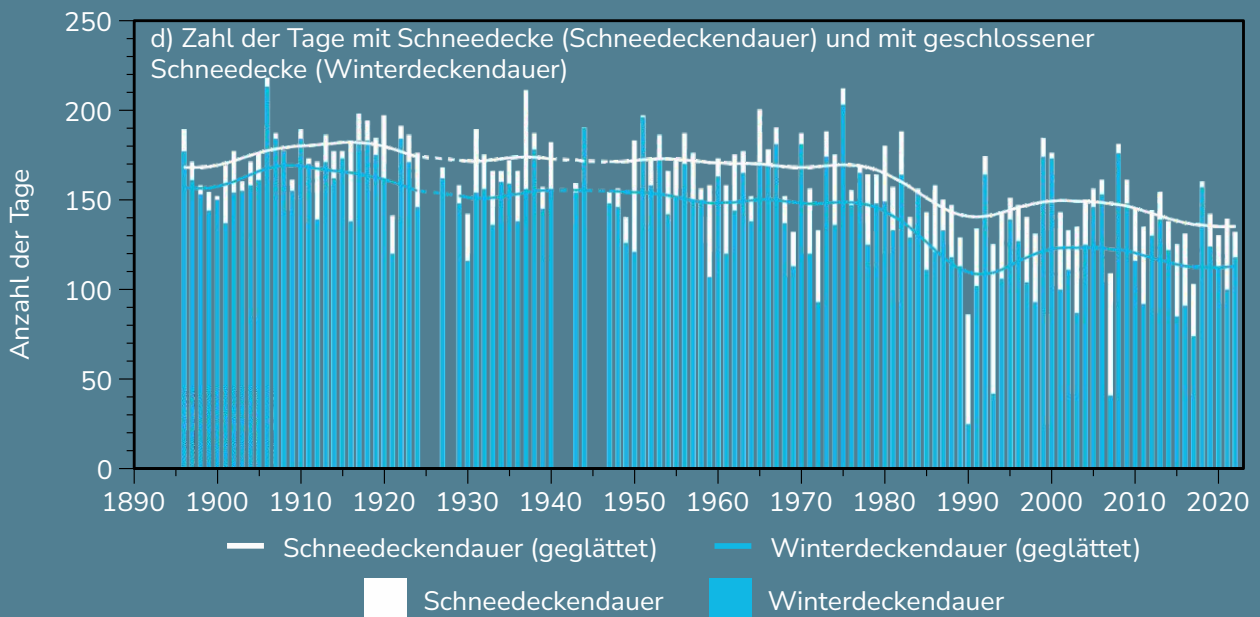
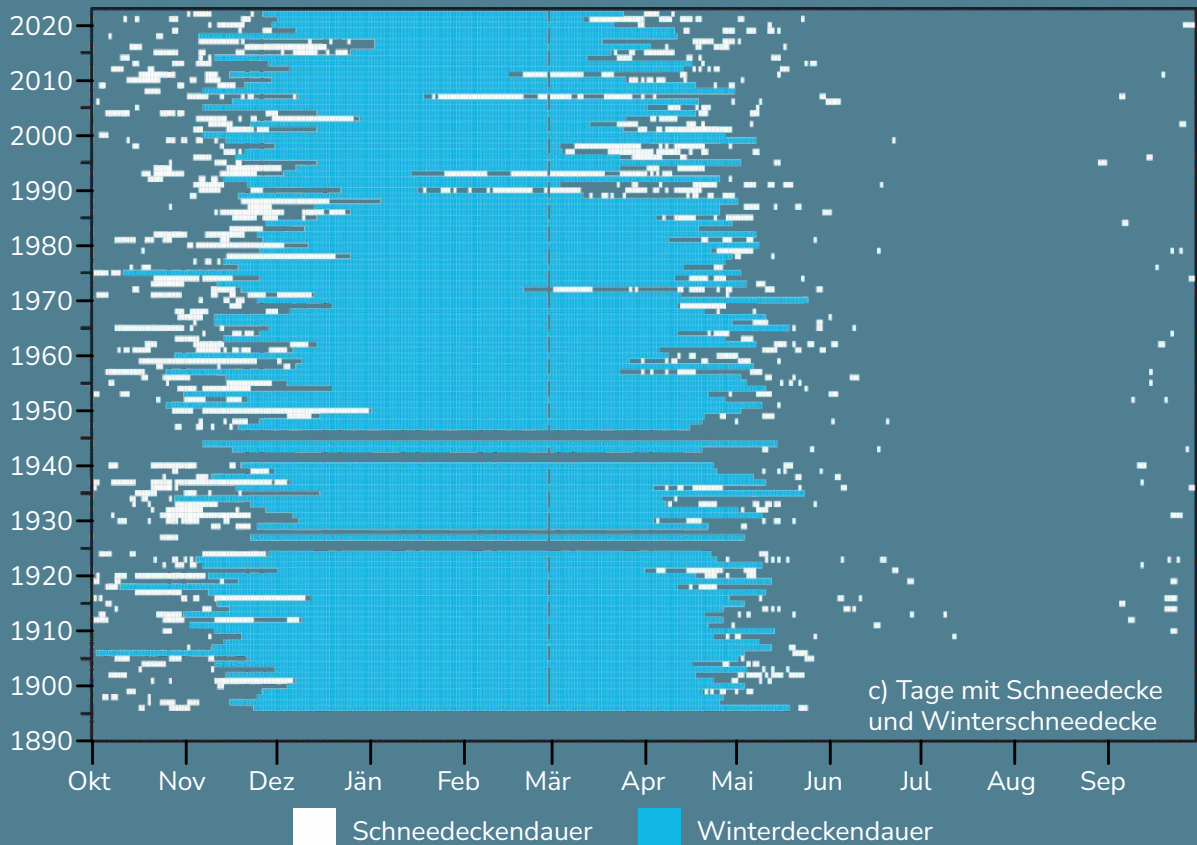
# Langen am Arlberg

47° 7' 54" N/10° 7' 23" O

HÖHENLAGE: 1221 m ü. A.

MESSBEGINN: seit 1895





**Abbildung 133:** Mittlere und maximale Schneehöhe sowie Neuschneesumme je Jahr, bezogen auf a) Dezember, Januar und Februar (DJF) und b) November, Dezember, Januar, Februar, März und April (NDJFMA). c) Tage mit Schneedecke (Tage mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) und Winterschneedecke (längster Zeitraum mit durchgehender Schneedecke mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) pro Jahr. d) Zahl der Tage mit Schneedecke und Winterschneedecke je Jahr (Jahr = Ende des Winterhalbjahres).

### ► Schnee DATEN Langen/Arlberg

Datengeber: GeoSphere Austria

Fördergeber: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Daten:

GeoSphere Austria Data Hub: <https://data.hub.geosphere.at/>



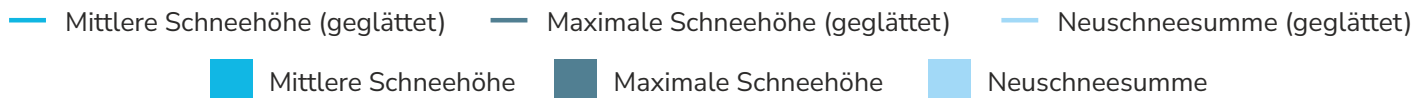
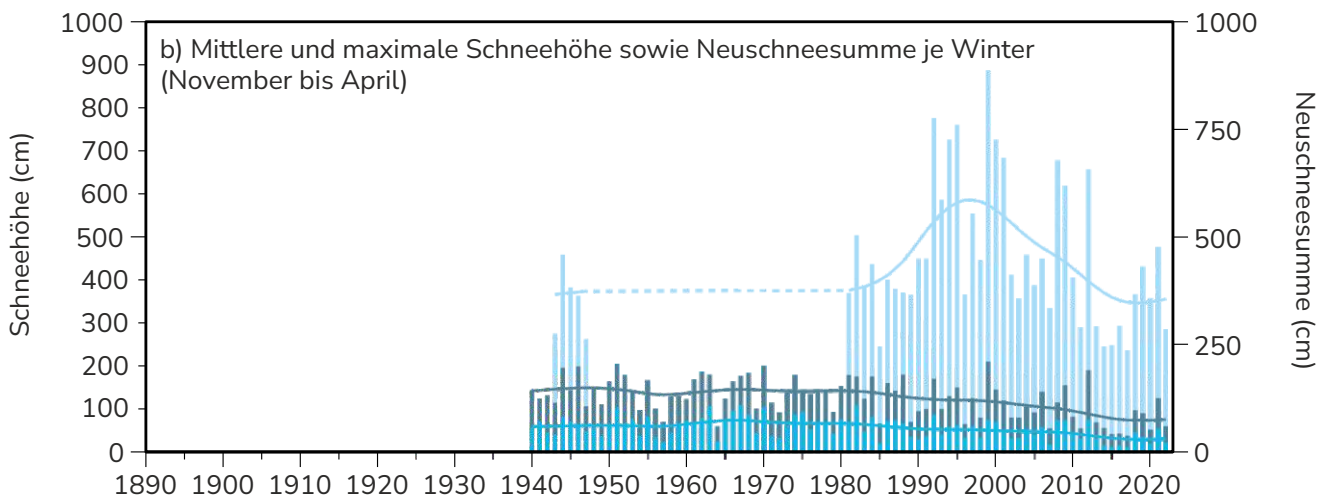
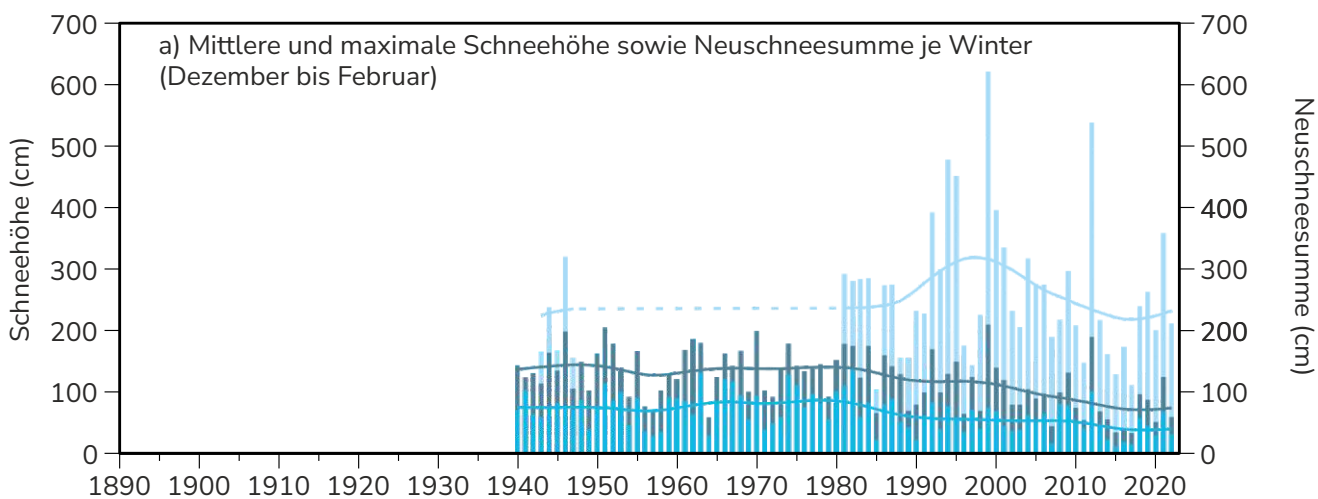
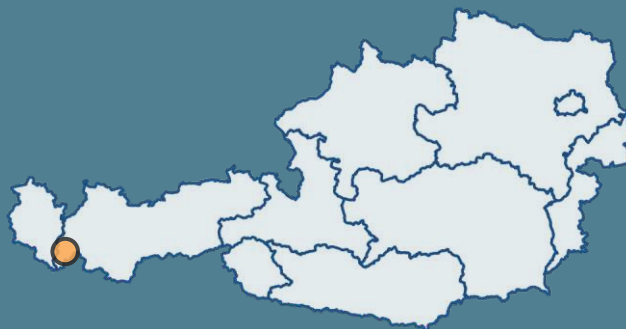
Bundesministerium  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

# Galtür

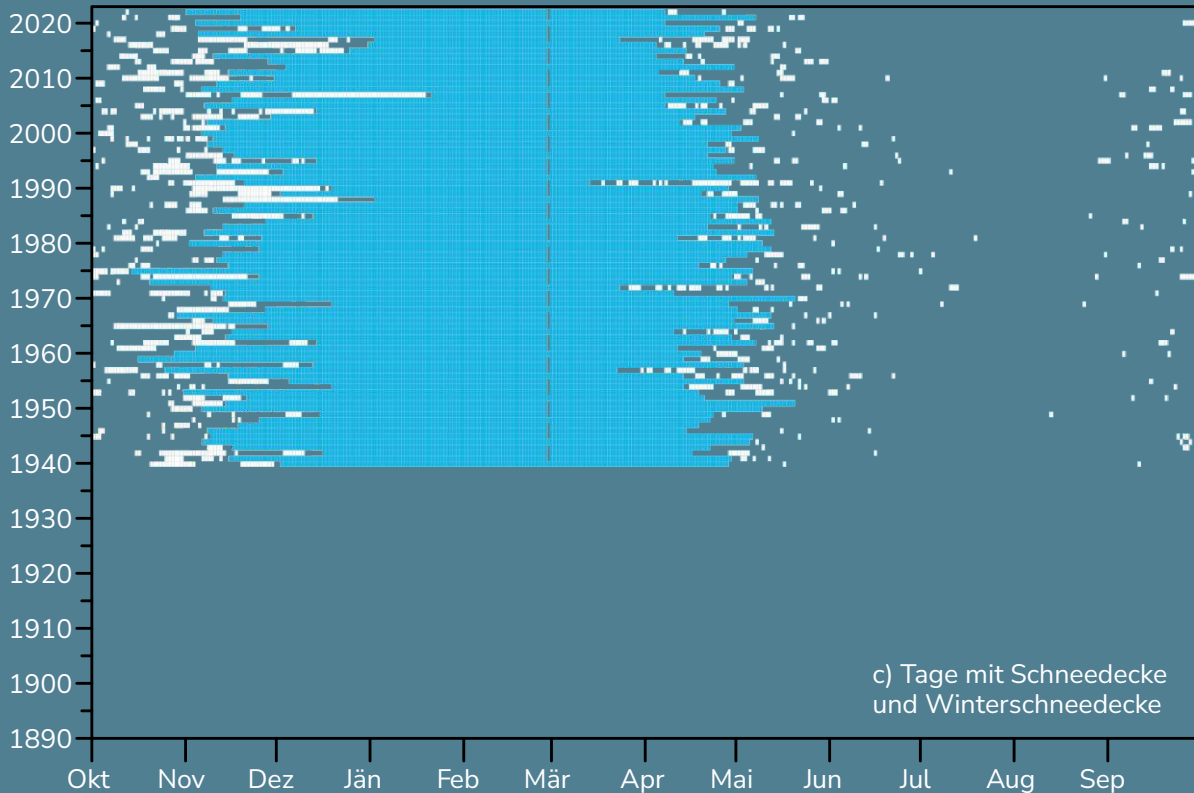
46° 58' 5" N/10° 11' 7" O

HÖHENLAGE: 1648 m ü. A.

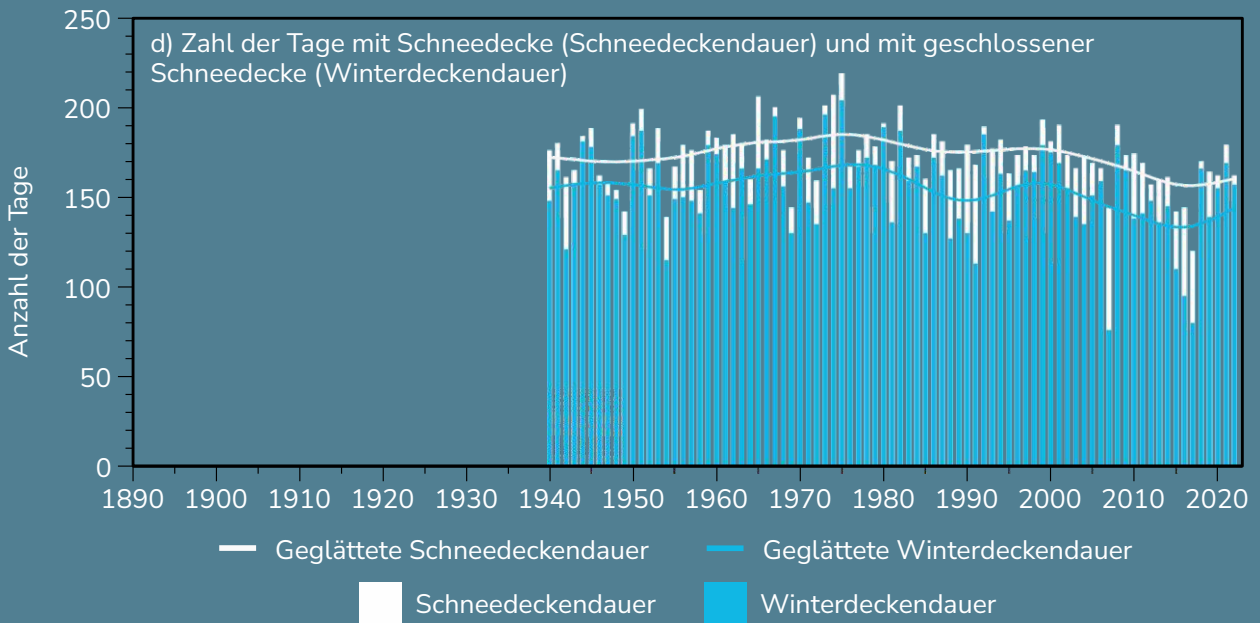
MESSBEGINN: seit 1939







Schneedeckendauer
  Winterdeckendauer



Geglättete Schneedeckendauer
  Geglättete Winterdeckendauer  
 Schneedeckendauer
  Winterdeckendauer

**Abbildung 134:** Mittlere und maximale Schneehöhe sowie Neuschneesumme je Jahr, bezogen auf a) Dezember, Januar und Februar (DJF) und b) November, Dezember, Januar, Februar, März und April (NDJFMA). c) Tage mit Schneedecke (Tage mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) und Winterschneedecke (längster Zeitraum mit durchgehender Schneedecke mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) pro Jahr. d) Zahl der Tage mit Schneedecke und Winterschneedecke je Jahr (Jahr = Ende des Winterhalbjahres).

### ► Schnee DATEN Galtür

**Datengeber:** GeoSphere Austria

**Fördergeber:** Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

**Daten:**

GeoSphere Austria Data Hub: <https://data.hub.geosphere.at/>



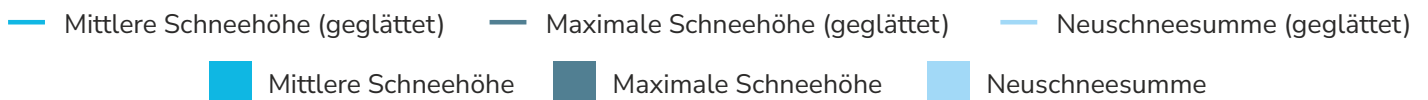
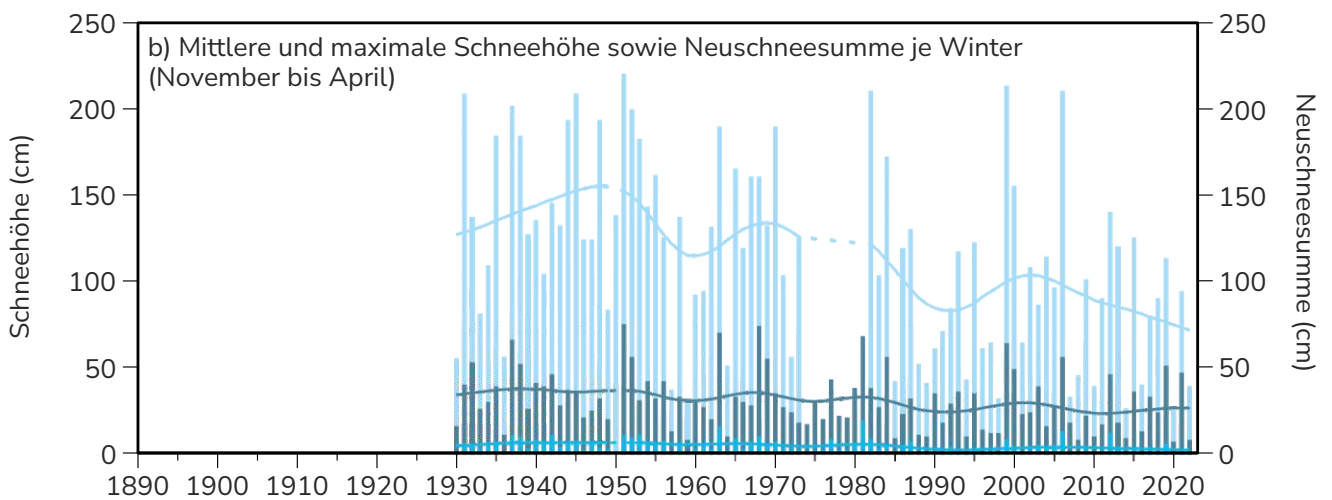
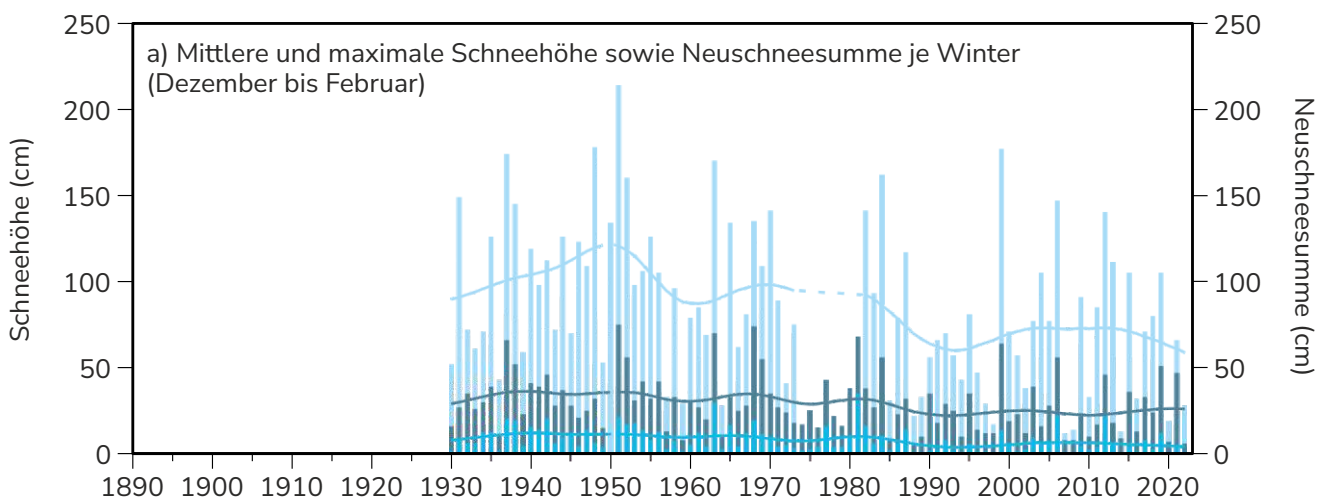
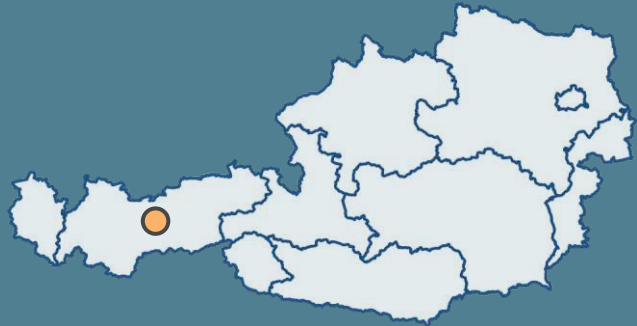
■ Bundesministerium  
 Klimaschutz, Umwelt,  
 Energie, Mobilität,  
 Innovation und Technologie

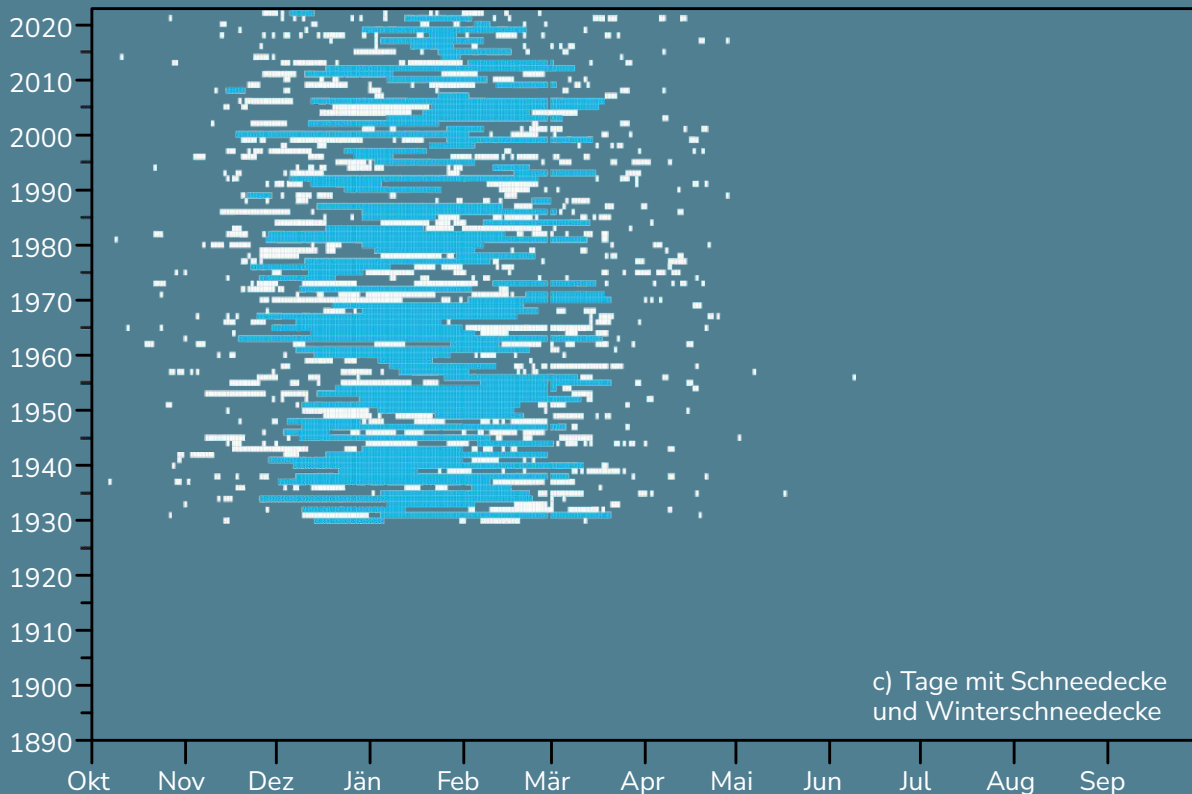
# Innsbruck

47° 15' 36" N/11° 23' 30" O

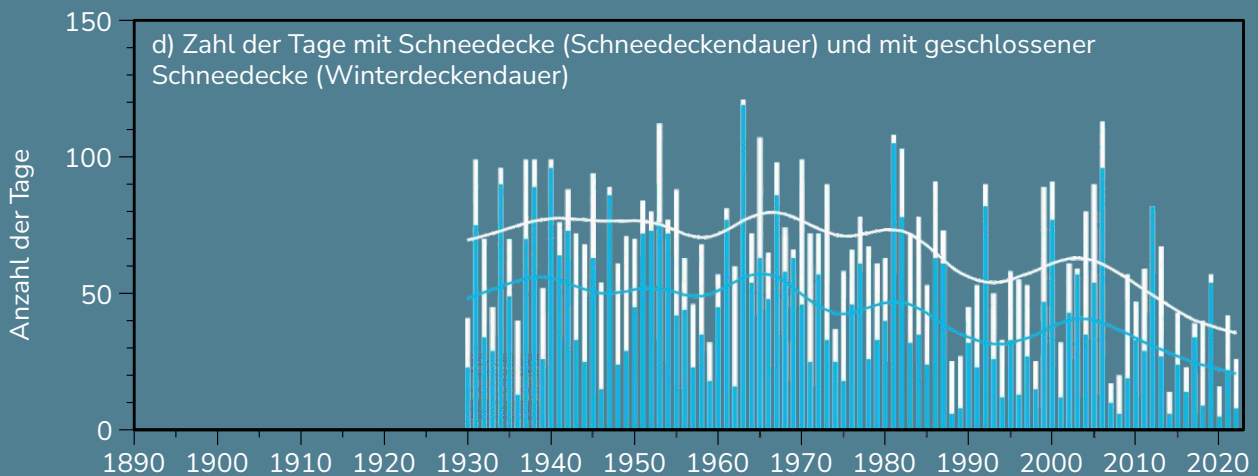
HÖHENLAGE: 577 m ü. A.

MESSBEGINN: seit 1930





Schneedeckendauer
  Winterdeckendauer



Geglättete Schneedeckendauer
  Geglättete Winterdeckendauer  
 Schneedeckendauer
  Winterdeckendauer

**Abbildung 135:** Mittlere und maximale Schneehöhe sowie Neuschneesumme je Jahr, bezogen auf a) Dezember, Januar und Februar (DJF) und b) November, Dezember, Januar, Februar, März und April (NDJFMA). c) Tage mit Schneedecke (Tage mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) und Winterschneedecke (längster Zeitraum mit durchgehender Schneedecke mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) pro Jahr. d) Zahl der Tage mit Schneedecke und Winterschneedecke je Jahr (Jahr = Ende des Winterhalbjahres).

### ► Schnee DATEN Innsbruck

**Datengeber:** GeoSphere Austria

**Fördergeber:** Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

**Daten:**

GeoSphere Austria Data Hub: <https://data.hub.geosphere.at/>



Bundesministerium  
 Klimaschutz, Umwelt,  
 Energie, Mobilität,  
 Innovation und Technologie

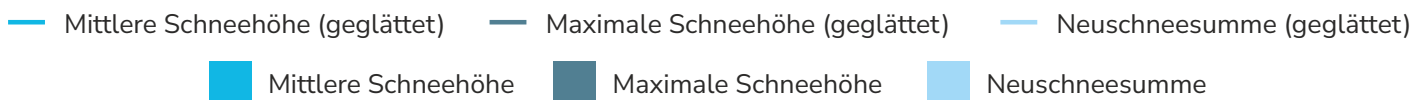
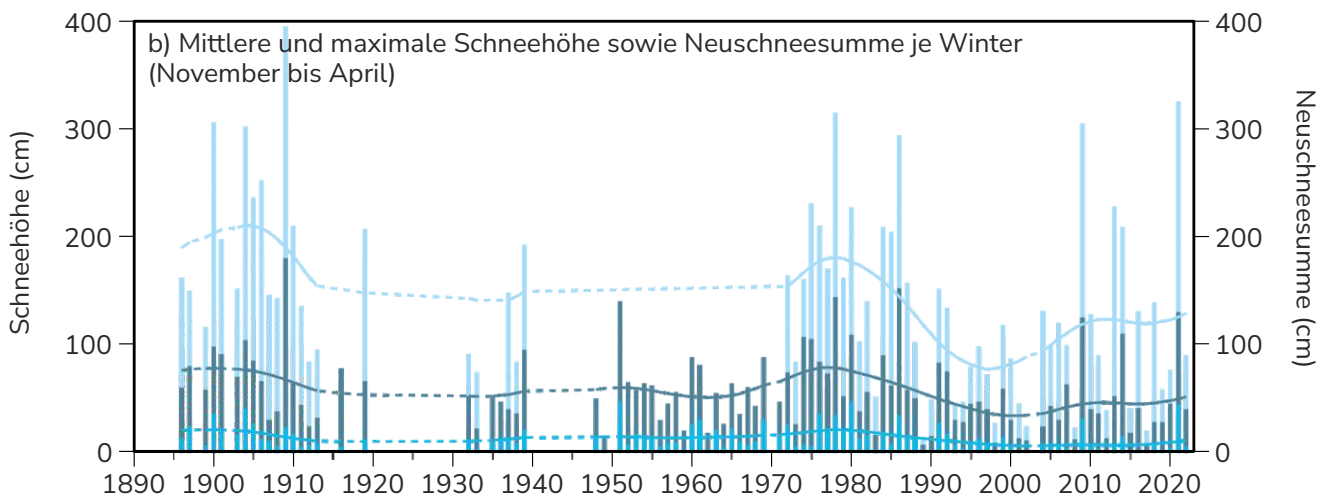
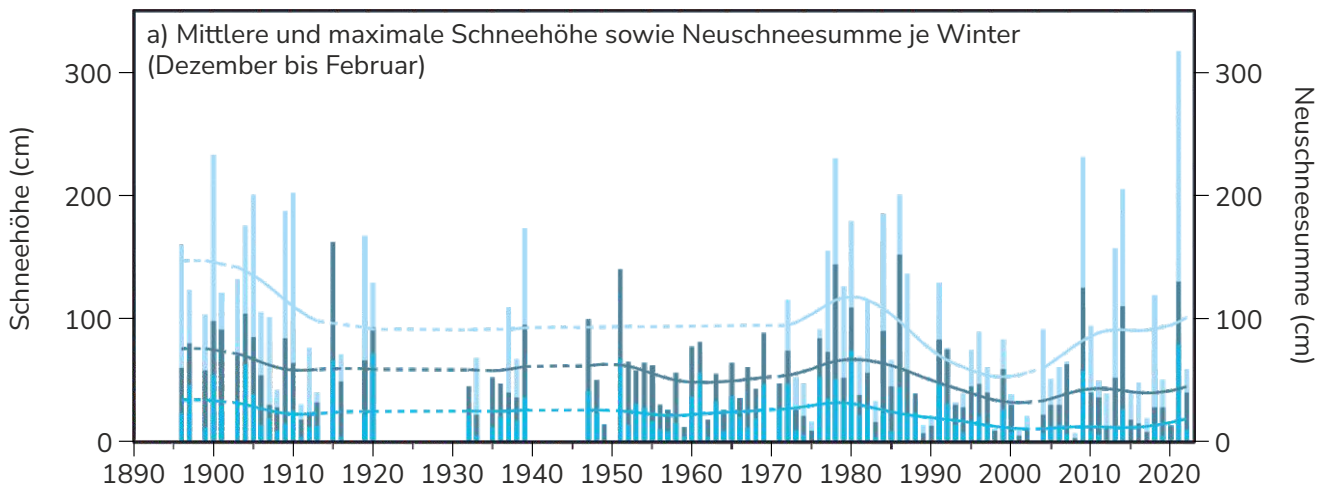
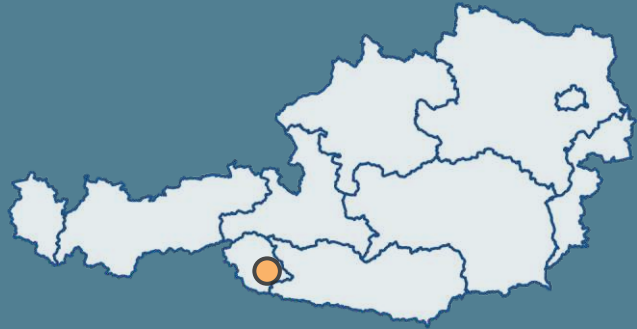


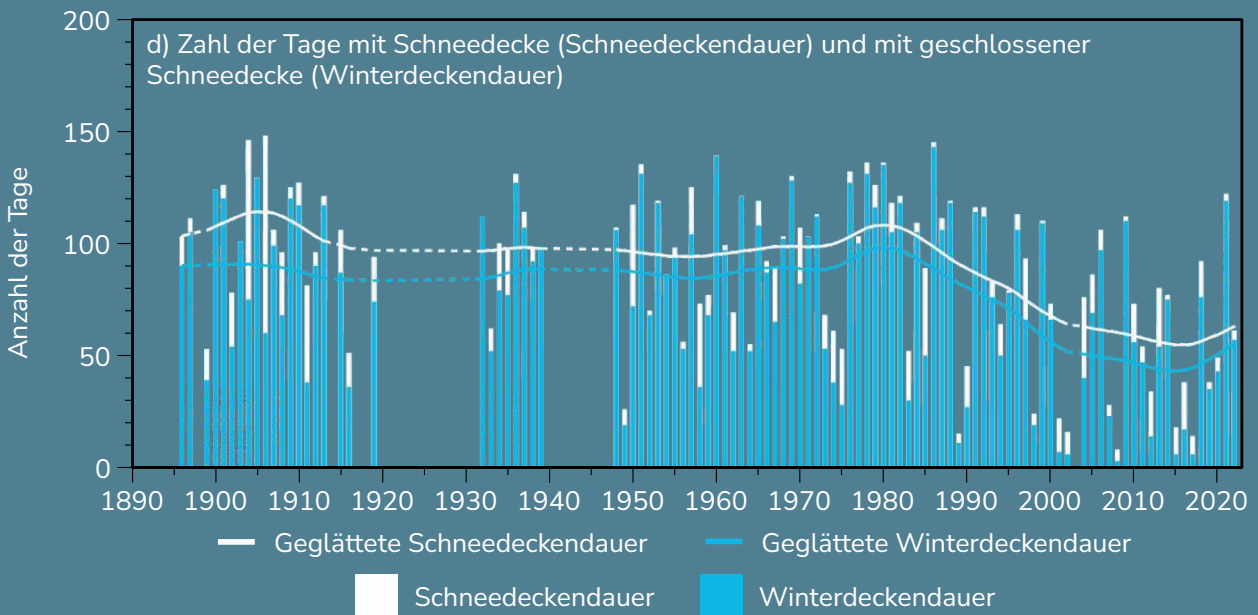
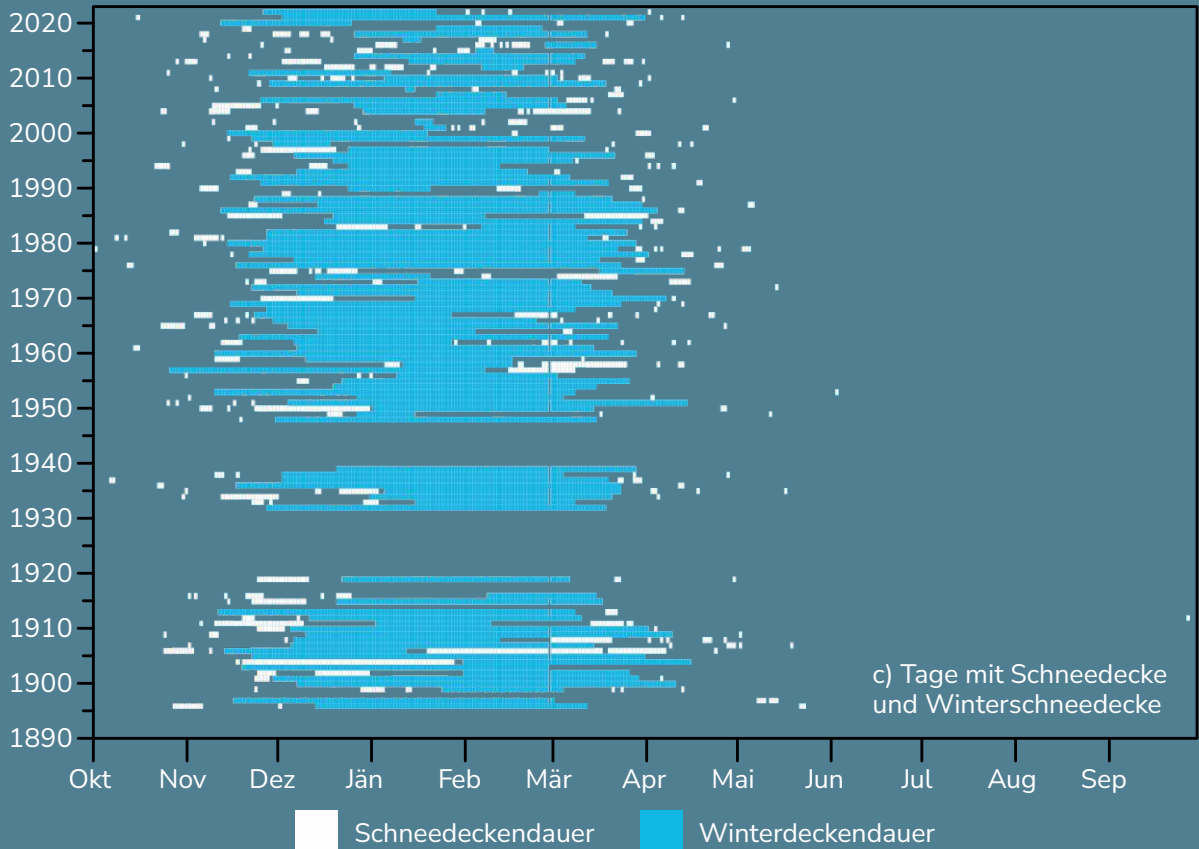
# Lienz

46° 49' 31" N/12° 48' 23" O

HÖHENLAGE: 661 m ü. A.

MESSBEGINN: seit 1895





**Abbildung 136:** Mittlere und maximale Schneehöhe sowie Neuschneesumme je Jahr, bezogen auf a) Dezember, Januar und Februar (DJF) und b) November, Dezember, Januar, Februar, März und April (NDJFMA). c) Tage mit Schneedecke (Tage mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) und Winterschneedecke (längster Zeitraum mit durchgehender Schneedecke mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) pro Jahr. d) Zahl der Tage mit Schneedecke und Winterschneedecke je Jahr (Jahr = Ende des Winterhalbjahres).

### ► Schnee DATEN Lienz

Datengeber: GeoSphere Austria

Fördergeber: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Daten:

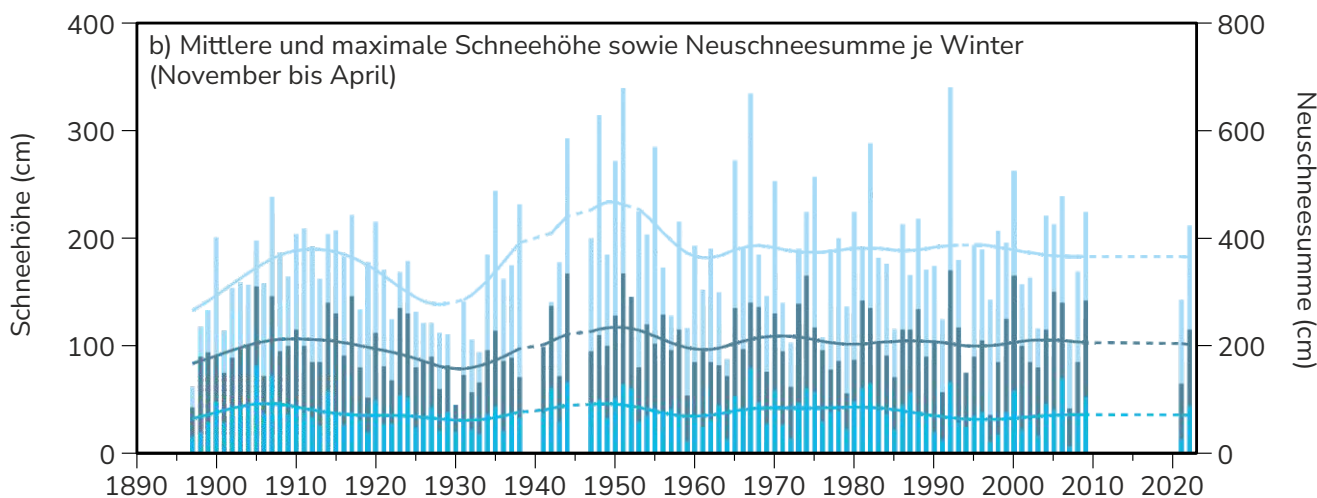
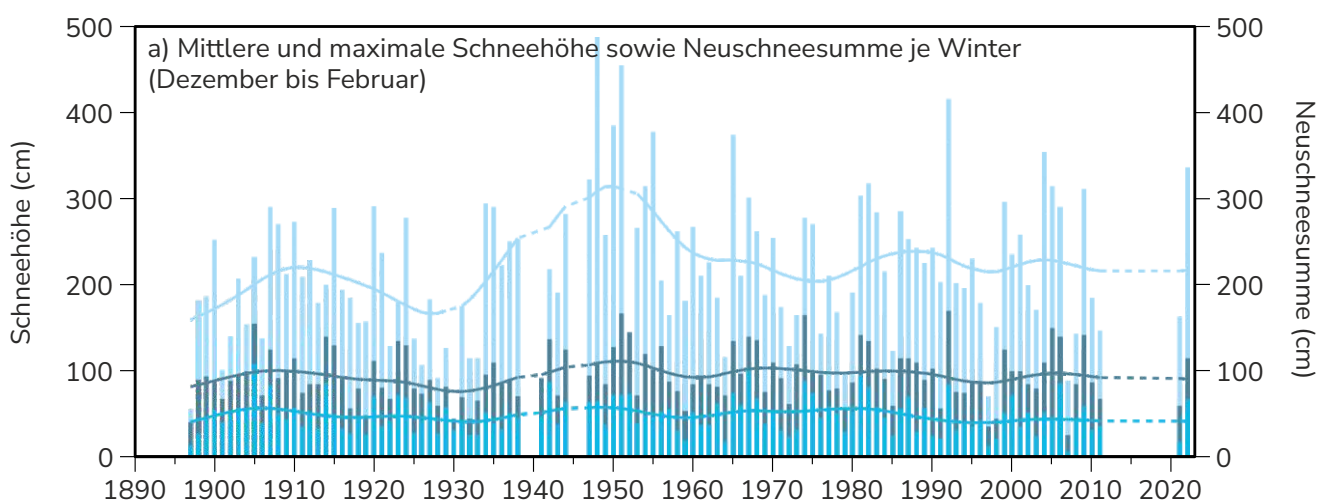
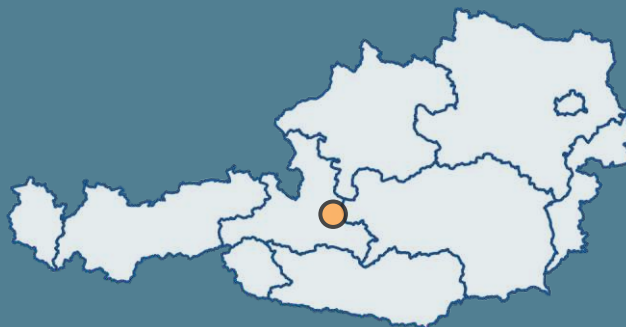
GeoSphere Austria Data Hub: <https://data.hub.geosphere.at/>



Bundesministerium  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

# Untertauern

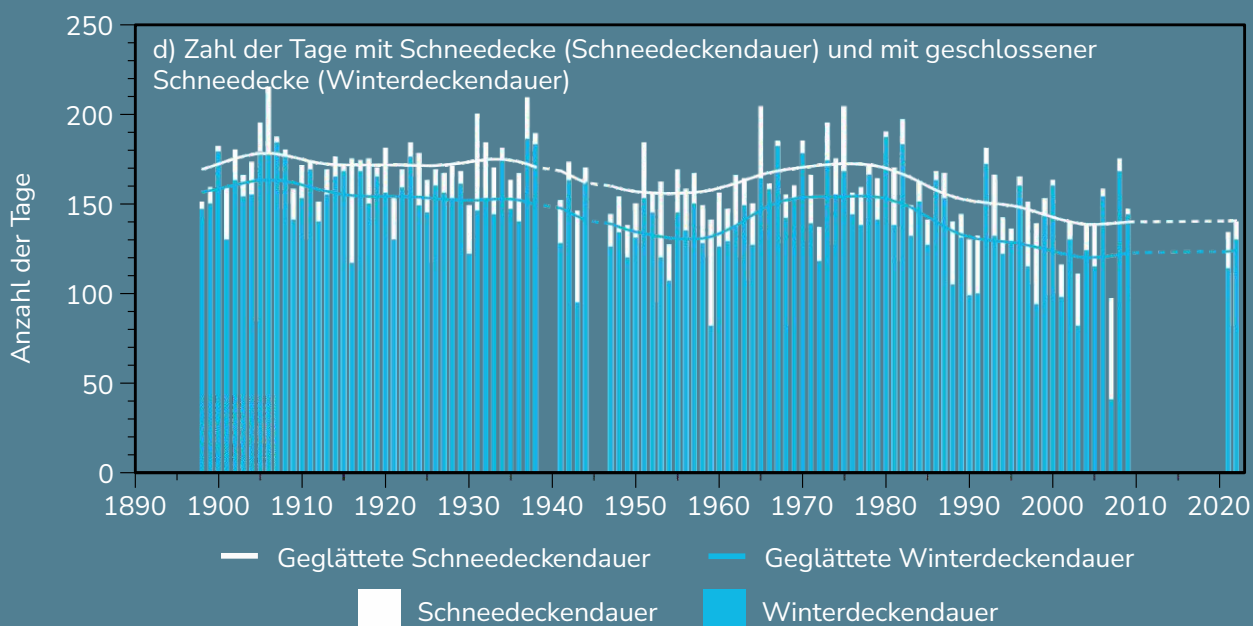
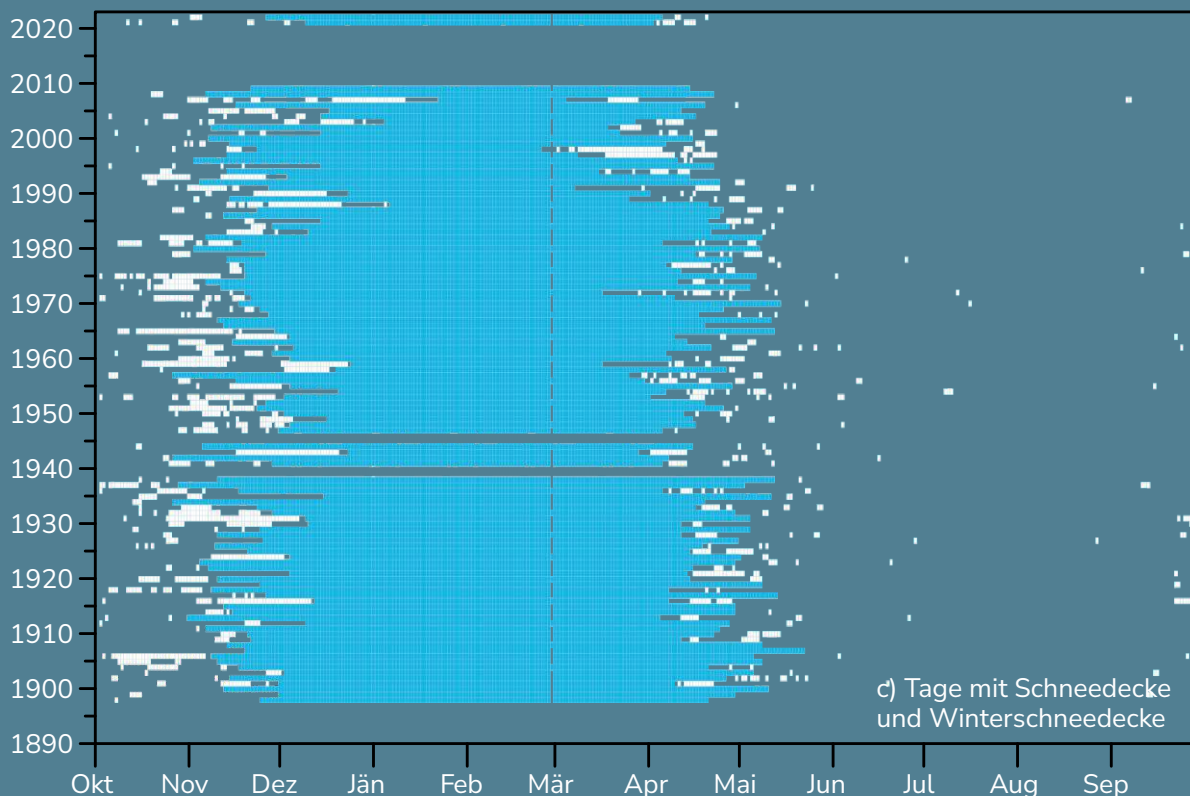
47° 18' 20" N/13° 30' 32" O  
 HÖHENLAGE: 1000 m ü. A.  
 MESSBEGINN: seit 1897



— Mittlere Schneehöhe (geglättet)    — Maximale Schneehöhe (geglättet)    - - - Neuschneesumme (geglättet)  
■ Mittlere Schneehöhe    ■ Maximale Schneehöhe    ■ Neuschneesumme

\*Die Daten ab 2021 befinden sich in der Bearbeitung, weshalb sich im Laufe der Bearbeitung und Kontrolle noch Änderungen ergeben können.





**Abbildung 137:** Mittlere und maximale Schneehöhe sowie Neuschneesumme je Jahr, bezogen auf a) Dezember, Januar und Februar (DJF) und b) November, Dezember, Januar, Februar, März und April (NDJFMA). c) Tage mit Schneedecke (Tage mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) und Winterschneedecke (längster Zeitraum mit durchgehender Schneedecke mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) pro Jahr. d) Zahl der Tage mit Schneedecke und Winterschneedecke je Jahr (Jahr = Ende des Winterhalbjahres).

### ► Schnee DATEN Untertauern

Datengeber: Land Salzburg Hydrographischer Dienst

Fördergeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)

Daten:

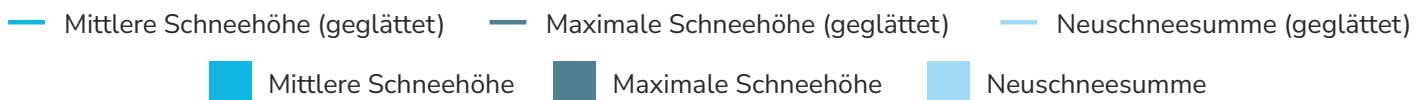
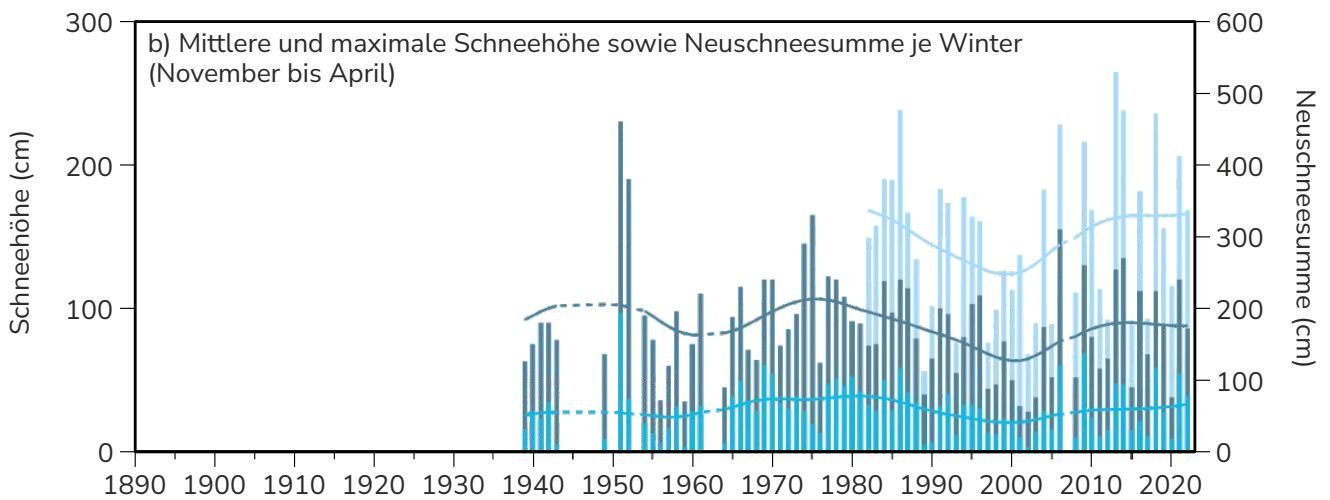
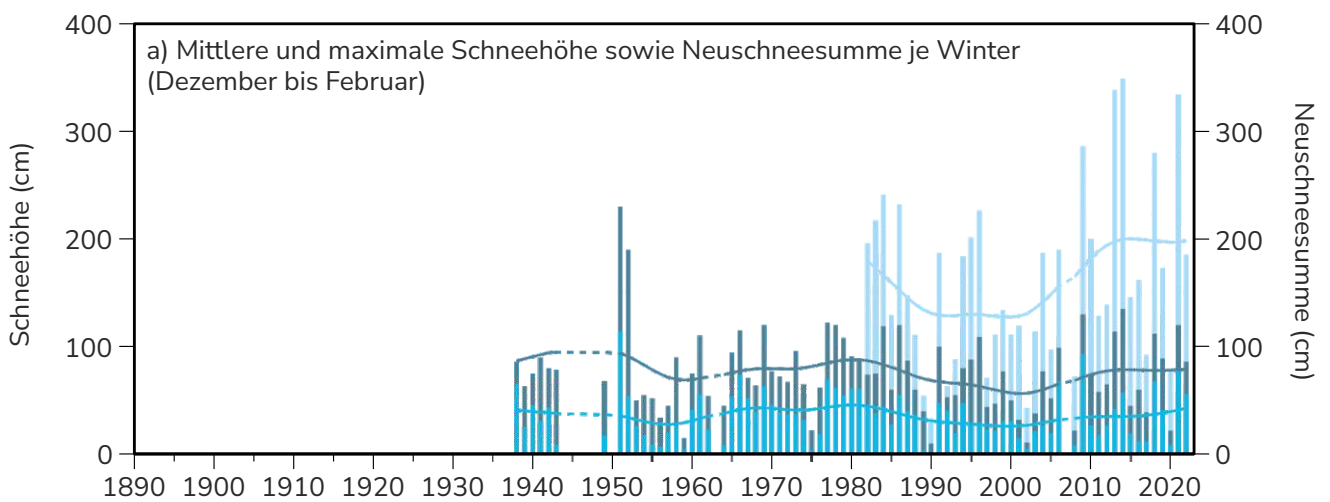
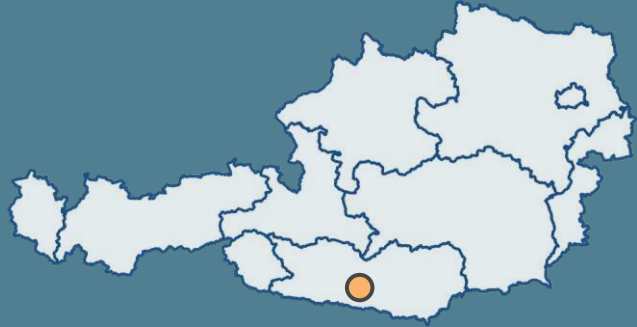
eHYD: <https://ehyd.gv.at/>

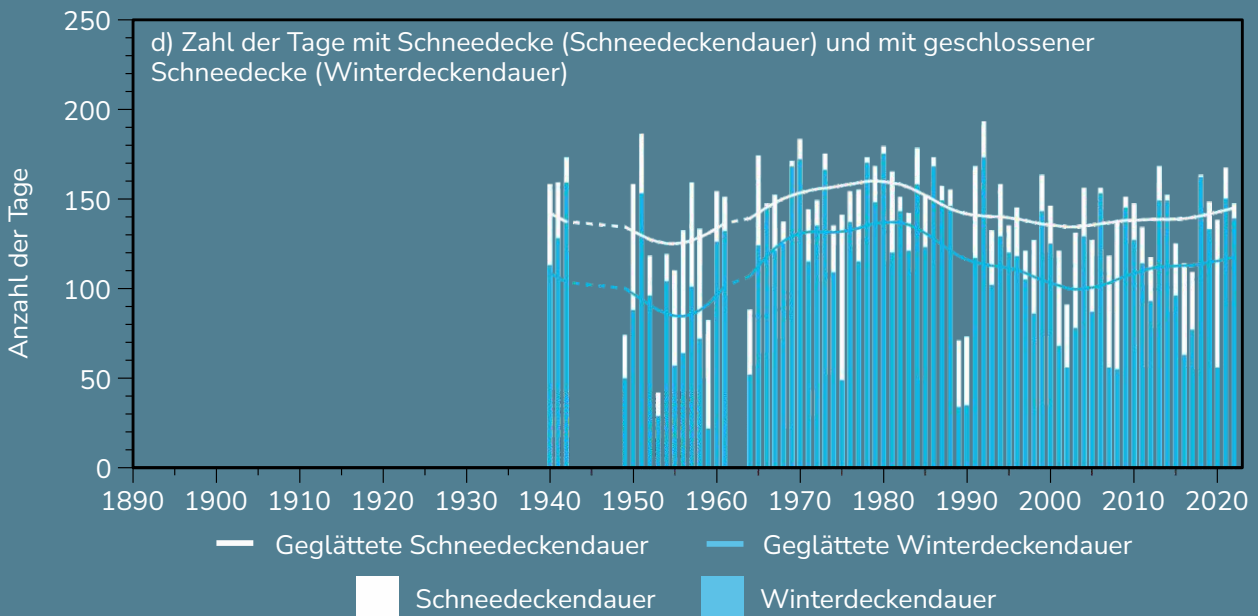
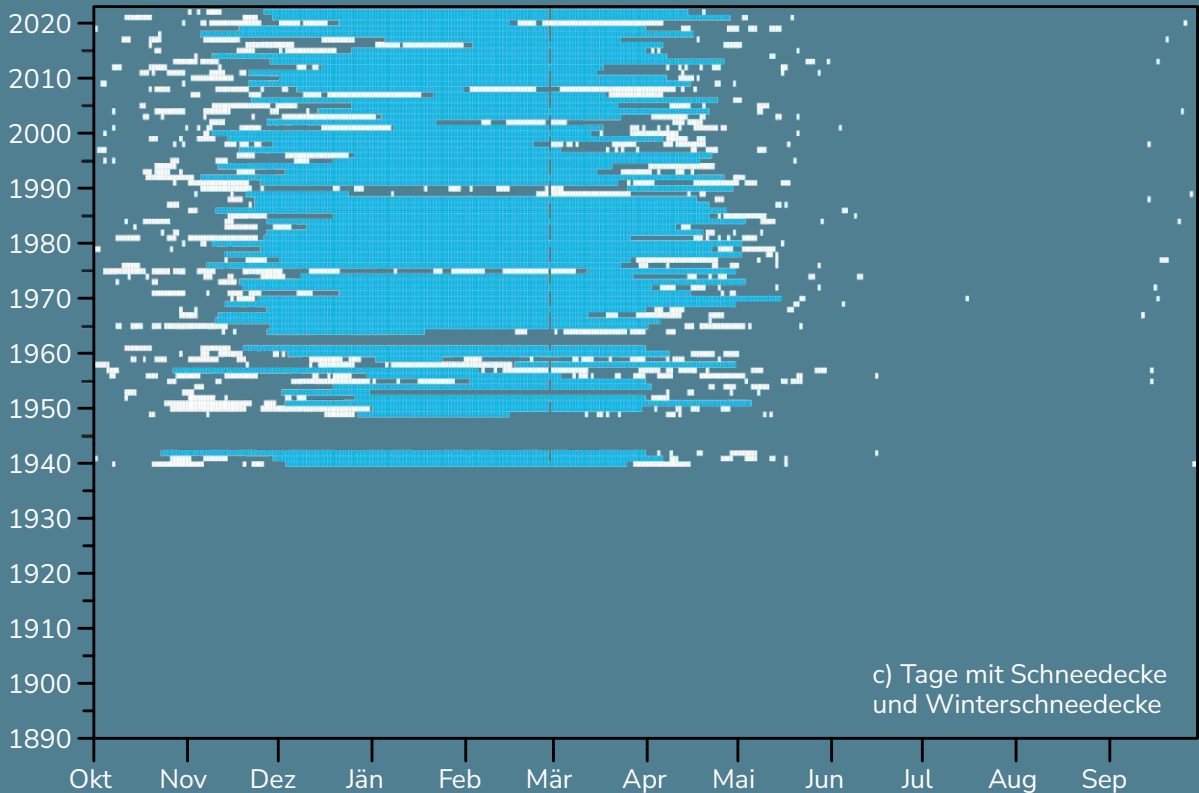


Bundesministerium  
Land- und Forstwirtschaft,  
Regionen und Wasserwirtschaft

# Kanzelhöhe

46° 40' 37" N / 13° 54' 69" O  
 HÖHENLAGE: 1520 m ü. A.  
 MESSBEGINN: seit 1939





**Abbildung 138:** Mittlere und maximale Schneehöhe sowie Neuschneesumme je Jahr, bezogen auf a) Dezember, Januar und Februar (DJF) und b) November, Dezember, Januar, Februar, März und April (NDJFMA). c) Tage mit Schneedecke (Tage mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) und Winterschneedecke (längster Zeitraum mit durchgehender Schneedecke mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) pro Jahr. d) Zahl der Tage mit Schneedecke und Winterschneedecke je Jahr (Jahr = Ende des Winterhalbjahres).

### ► Schnee DATEN Kanzelhöhe


Datengeber: GeoSphere Austria

Fördergeber: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Daten:

GeoSphere Austria Data Hub: <https://data.hub.geosphere.at/>



 Bundesministerium  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

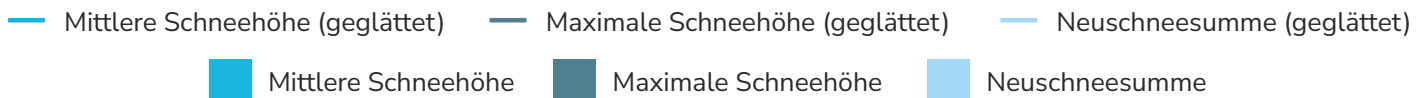
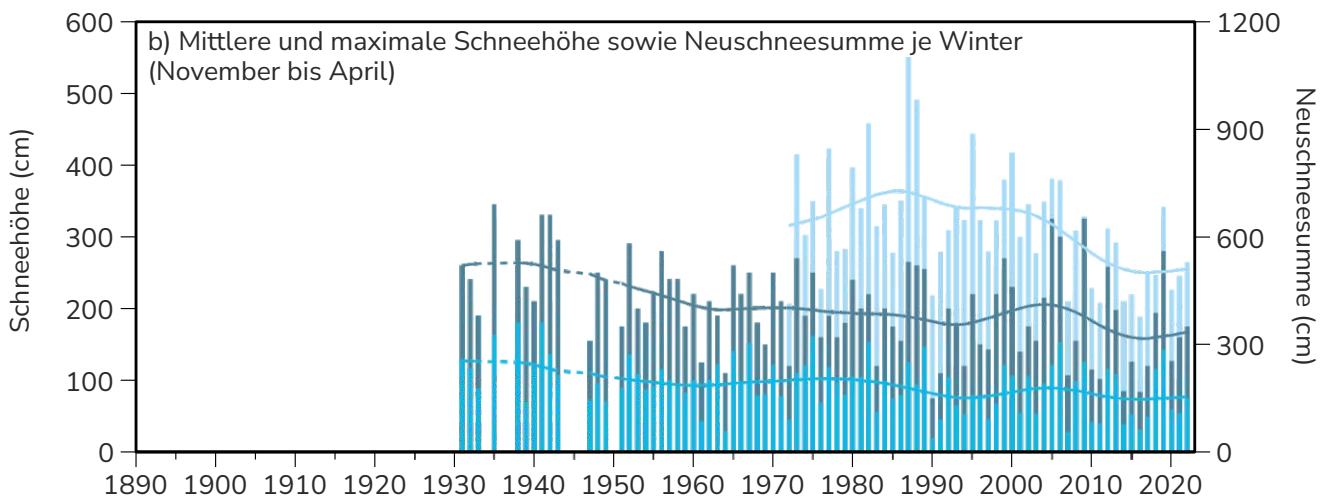
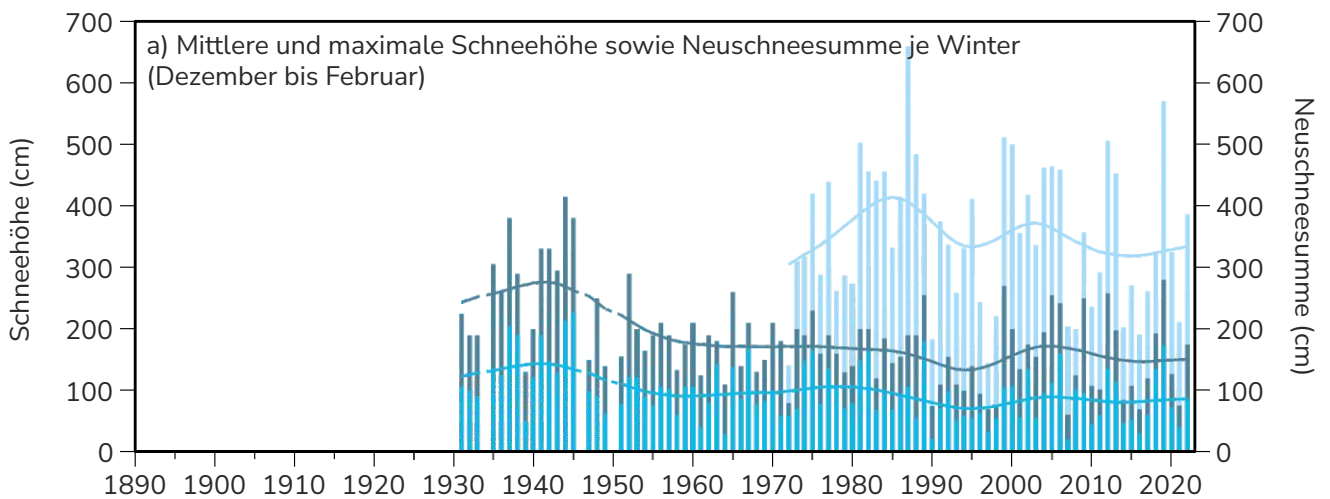
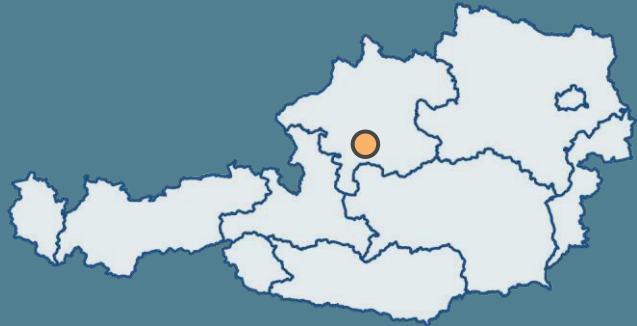


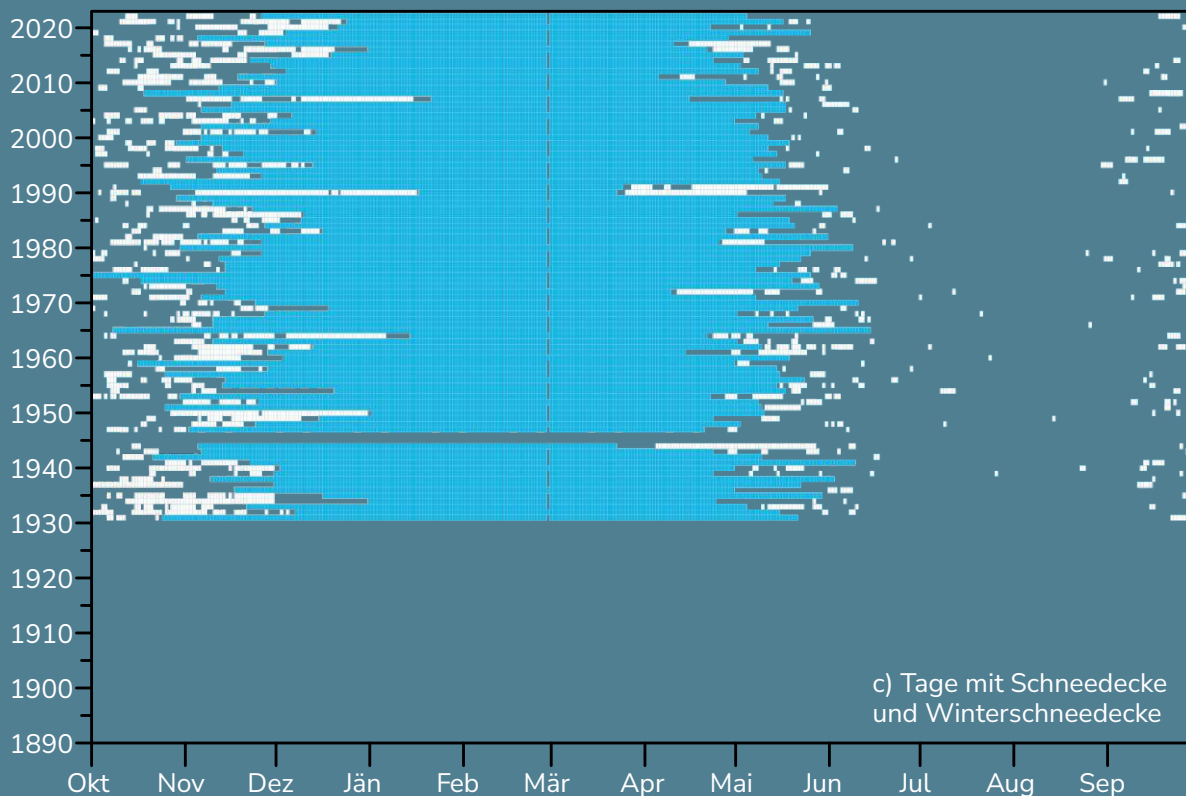
# Feuerkogel

47° 49' 40" N/13° 43' 59" O

HÖHENLAGE: 1618 m ü. A.

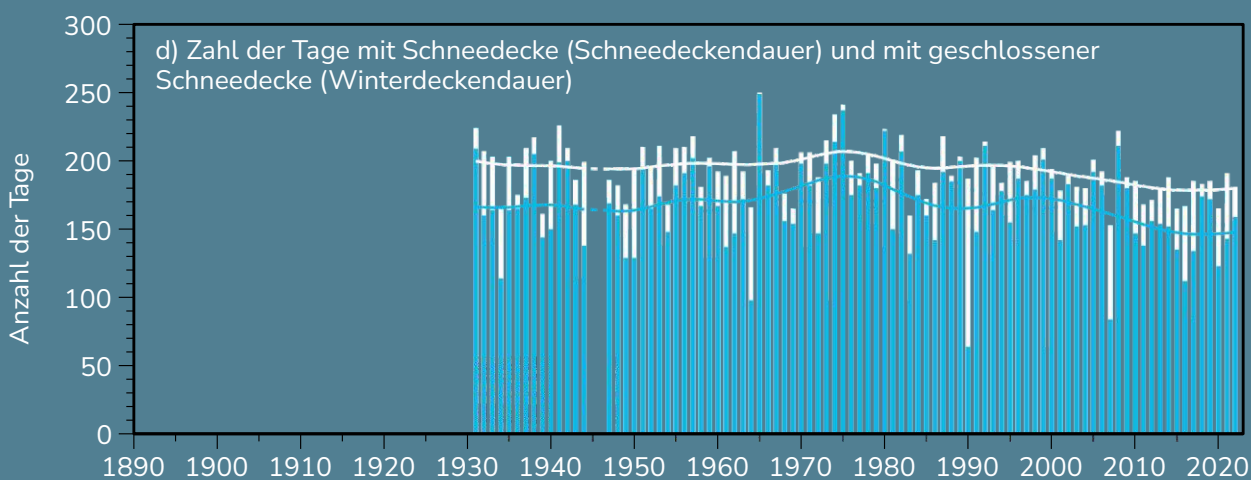
MESSBEGINN: seit 1930





c) Tage mit Schneedecke und Winterschneedecke

Schneedeckendauer
  Winterdeckendauer



d) Zahl der Tage mit Schneedecke (Schneedeckendauer) und mit geschlossener Schneedecke (Winterdeckendauer)

Geglättete Schneedeckendauer
  Geglättete Winterdeckendauer  
 Schneedeckendauer
  Winterdeckendauer

**Abbildung 139:** Mittlere und maximale Schneehöhe sowie Neuschneesumme je Jahr, bezogen auf a) Dezember, Januar und Februar (DJF) und b) November, Dezember, Januar, Februar, März und April (NDJFMA). c) Tage mit Schneedecke (Tage mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) und Winterschneedecke (längster Zeitraum mit durchgehender Schneedecke mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) pro Jahr. d) Zahl der Tage mit Schneedecke und Winterschneedecke je Jahr (Jahr = Ende des Winterhalbjahres).

### ► Schnee DATEN IFeuerkogel

**Datengeber:** GeoSphere Austria

**Fördergeber:** Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

**Daten:**

GeoSphere Austria Data Hub: <https://data.hub.geosphere.at/>



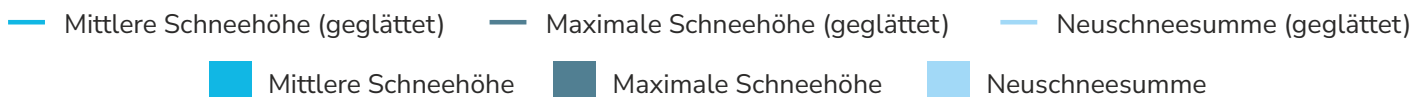
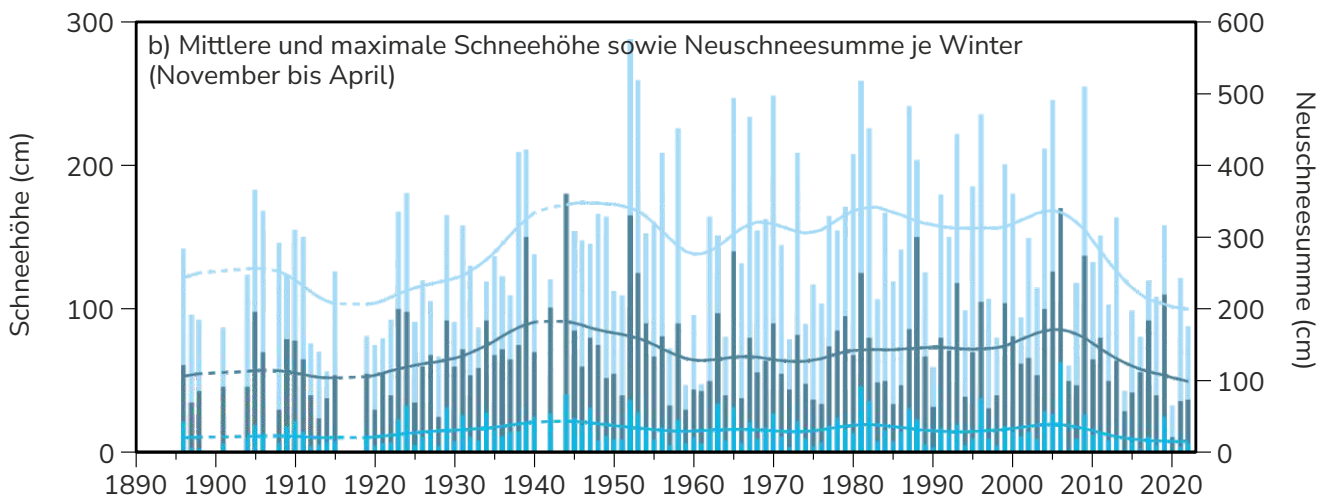
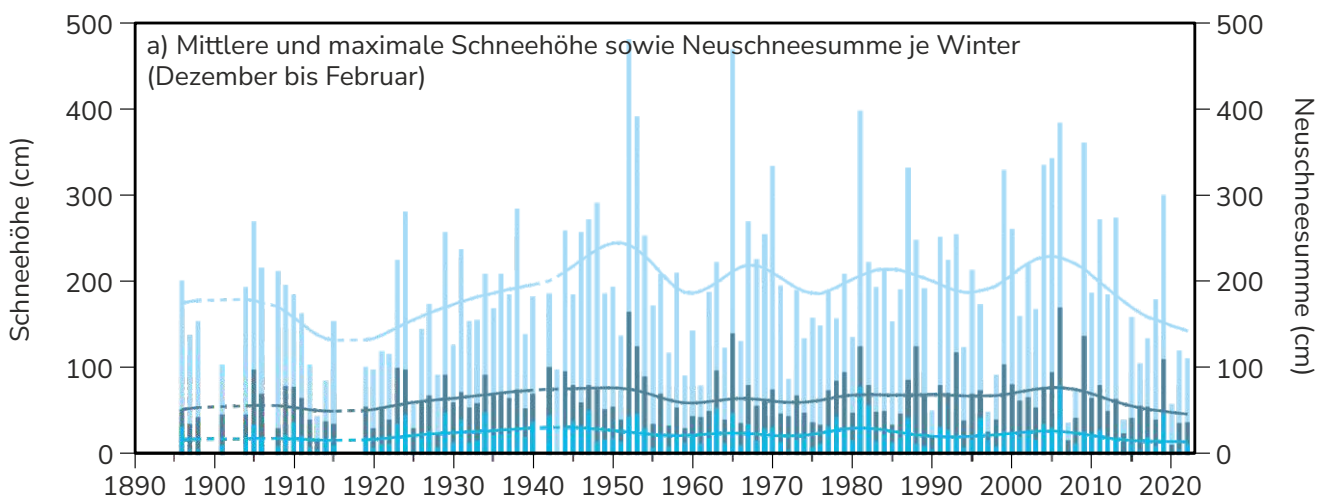
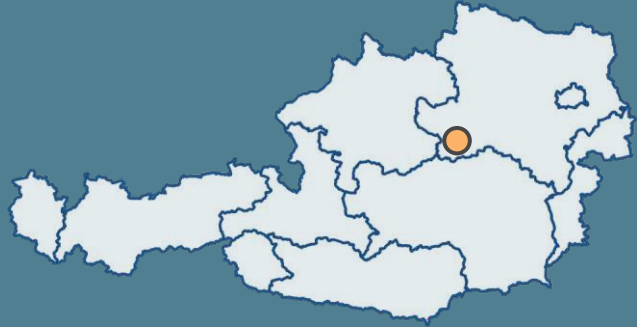
■ Bundesministerium  
 Klimaschutz, Umwelt,  
 Energie, Mobilität,  
 Innovation und Technologie

# Lunz am See

47° 51' 15" N/15° 4' 3" O

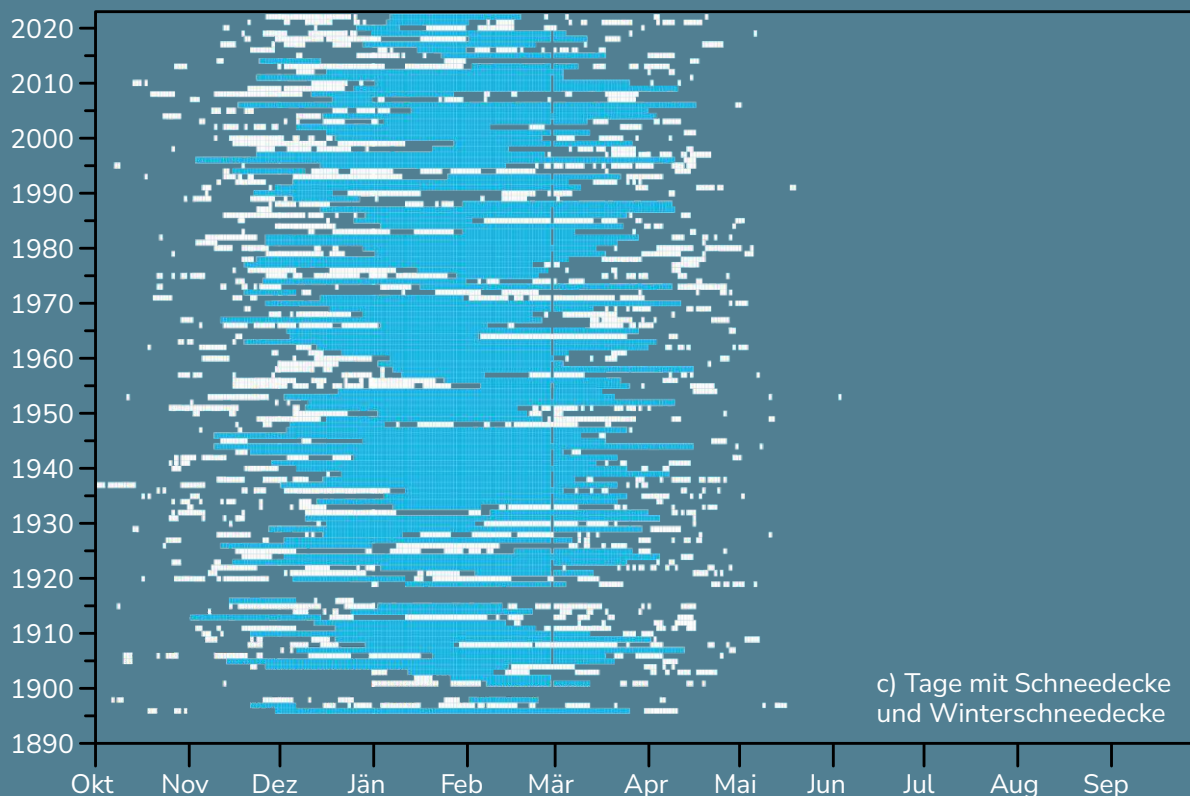
HÖHENLAGE: 611 m ü. A.

MESSBEGINN: seit 1895

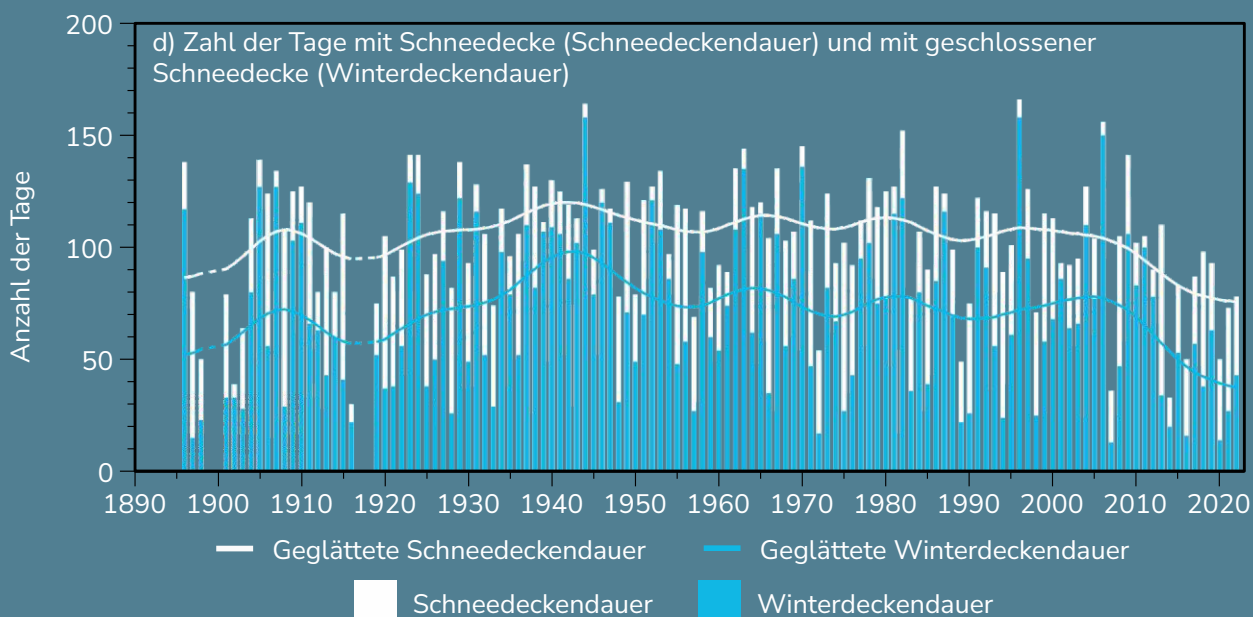


\*Die Daten ab 2021 befinden sich in der Bearbeitung, weshalb sich im Laufe der Bearbeitung und Kontrolle noch Änderungen ergeben können.





Schneedeckendauer
  Winterdeckendauer



Schneedeckendauer
  Winterdeckendauer  
 Geglättete Schneedeckendauer
  Geglättete Winterdeckendauer

**Abbildung 140:** Mittlere und maximale Schneehöhe sowie Neuschneesumme je Jahr, bezogen auf a) Dezember, Januar und Februar (DJF) und b) November, Dezember, Januar, Februar, März und April (NDJFMA). c) Tage mit Schneedecke (Tage mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) und Winterschneedecke (längster Zeitraum mit durchgehender Schneedecke mit Schneehöhe  $\geq 1$  cm) pro Jahr. d) Zahl der Tage mit Schneedecke und Winterschneedecke je Jahr (Jahr = Ende des Winterhalbjahres).

#### ► Schnee DATEN Lunz am See

**Datengeber:** Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Gruppe Wasser – Abt. Wasserwirtschaft

**Fördergeber:** Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)

**Daten:** eHYD: <https://ehyd.gv.at/>



= Bundesministerium  
 Land- und Forstwirtschaft,  
 Regionen und Wasserwirtschaft

# Literatur

## Gletscher

Alean, J. (2010): Gletscher der Alpen. Haupt. S. 267.

Blümcke, A., & Hess, H. (1899): Untersuchungen am Hintereisferner. Verlag d. Dt. u. Österr. Alpenvereins.

Böhm, R.; Auer, I. & Schöner, W. (2011): Labor über den Wolken: Die Geschichte des Sonnblick-Observatoriums. Böhlau Wien. S. 381.

Braun, L.; Reinwarth, O. & Weber, M. (2011/12) Der Vernagtferner als Objekt der Gletscherforschung. Z. Gletscherkd. Glazialgeol., 45. Jg., Nr. 46. S. 85-104.

Cogley, J. G.; Arendt, A. A.; Bauder, A.; Braithwaite, R. J.; Hock, R.; Jansson, P.; Kaser, G.; Möller, M.; Nicholson, L. & Zemp, M. (2010). Glossary of glacier mass balance and related terms. S. 114.

Cuffey, K. M., & Paterson, W. S. B. (2006). The physics of glaciers. Academic Press. S. 704.

Finsterwalder, S. (1897): Der Vernagtferner, seine Geschichte und seine Vermessung in den Jahren 1888 und 1889, Wissenschaftliche Ergänzungshefte zur Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins, 1 (1), Verlag des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins, Graz. S. 96.

Fischer, A. & Hartl, L. (2013): Langzeitmonitoring von Gletschermassenbilanzen und -längenänderungen in Tirol. In: Klima, Wetter, Gletscher im Wandel, Innsbruck University Press. S. 31-48.

Fischer, A.; Seiser, B.; Stocker Waldhuber, M.; Mitterer, C., & Abermann, J. (2015): Tracing glacier changes in Austria from the Little Ice Age to the present using a lidar-based high-resolution glacier inventory in Austria. The Cryosphere, 9(2). S. 753-766.

Fischer, A.; Hartl, L.; Markl, G. & Kuhn, M. (2016): Glacier mass balances and elevation zones of Jamtalferner, Silvretta, Austria, 1988/1989 et seq. Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Innsbruck, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.818772>

Fischer, A. (2018): Die Bedeutung historischer und aktueller Gletscherforschungen des Alpenvereins für die Geowissenschaften. In: Gletscher im Wandel; 125 Jahre Gletschermessdienst des Alpenvereins, Gletscher im Wandel - 125 Jahre Gletschermessdienst des Alpenvereins: Fischer A., Patzelt G., Achraimer M., Groß G., Lieb G. K., Kellerer-Pirklbauer A., Bendler G. (Hrsg.), Springer, Springer Spektrum. S. 97-116.

Fritzschn, M. (1898): Verzeichniss der bis zum Sommer 1896 in den Ostalpen gesetzten Gletschermarken. Adolf Holzhausen. S. 131.

Goldberger, S. (2013): Beilage zur Berliner Wetterkarte; Herausgegeben vom Verein BERLINER WETTERKARTE e.V zur Förderung der meteorologischen Wissenschaft. S. 6.

Groß, G. (1987): Der Flächenverlust der Gletscher in Österreich 1850–1920–1969, Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 23/2. S. 131–141.

Groß, G. (2018): Die Geschichte der Gletscherbeobachtung und -messung in den Österreichischen Alpen. In: Gletscher im Wandel; 125 Jahre Gletschermessdienst des Alpenvereins, Gletscher im Wandel - 125 Jahre Gletschermessdienst des Alpenvereins: Fischer A., Patzelt G., Achraimer M., Groß G., Lieb G. K., Kellerer-Pirklbauer A., Bendler G. (Hrsg.), Springer, Springer Spektrum. S. 53-93.

Hugonnet, R.; McNabb, R.; Berthier, E.; Menounos, B.; Nuth, C.; Girod, L.; Farinotti, D.; Huss, M.; Dussailant, I.; Brun, F. & Käab, A. (2021): Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. Nature, 592(7856). S. 726-731.

Kaser, G.; Fountain, A.; Jansson, P.; Heucke, E. & Knaus, M. (2003): A manual for monitoring the mass balance of mountain glaciers (Vol. 137). Paris: Unesco. S. 137.

Kellerer-Pirklbauer, A. & Kulmer, B. (2019): The evolution of brittle and ductile structures at the surface of a partly debris-covered, rapidly thinning and slowly moving glacier in 1998–2012 (Pasterze Glacier, Austria), Earth Surf Processes, 44. S. 1034–1049. <https://doi.org/10.1002/esp.4552>.

Kellerer-Pirklbauer A. (2021): Gletschermessungen an der Pasterze und in deren Umgebung (Glocknergruppe) im Jahr 2021. Unpublizierter Messbericht für den ÖAV-Gletschermessdienst. S. 28.

Kellerer-Pirklbauer A. & Bauer C. (2021): Von Bergspitzen zu Wüstenregionen: Ein Überblick über geomorphologische Forschungen an der Geographie der Universität Graz im Zeitraum 1886 bis 2021. In: Cede P., Fleck D., Lieb G.K. (eds), Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung. 51, 133 – 154. [unipub.uni-graz.at/download/pdf/6887351](https://www.unipub.uni-graz.at/download/pdf/6887351).

Kuhn, M.; Markl, G.; Kaser, G.; Nickus, U.; Obleitner, F. & Schneider, H. (1985): Fluctuations of climate and mass balance: different responses of two adjacent glaciers. Z. Gletscherk. Glazialgeol., 21. Jg., S. 409-416.

Kuhn, M.; Lambrecht, A.; Abermann, J.; Patzelt, G., & Gross, G. (2012): The Austrian glaciers 1998 and 1969, area and volume changes. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 43(44). S. 3-107.

Lambrecht, A., & Kuhn, M. (2007). Glacier changes in the Austrian Alps during the last three decades, derived from the new Austrian glacier inventory. *Annals of Glaciology*, 46. S. 177-184.

Lehr, R. (1996). Friedrich Simony (1813–1896). Ein Leben für den Dachstein. *Stapfia*, 43. S. 9-41.

Lieb G. K., & Kellerer-Pirklbauer, A. (2018): Die Pasterze, Österreichs größter Gletscher und seine lange Messreihe in einer Ära massiven Gletscherschwundes. In: *Gletscher im Wandel; 125 Jahre Gletschermessdienst des Alpenvereins*, Gletscher im Wandel - 125 Jahre Gletschermessdienst des Alpenvereins: Fischer A., Patzelt G., Achraimer M., Groß G. K., Lieb G. K., Kellerer-Pirklbauer A., Bendler G. (Hrsg.), Springer, Springer Spektrum. S. 31–51.

Lieb G. K. & Kellerer-Pirklbauer, A. (2022): Gletscherbericht 2020/2021 - Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2021. Innsbruck. ÖAV. 2022. S. 10-21.

Lieb, G. K. & Kellerer-Pirklbauer, A. (2023): Gletscherbericht 2021/2022 - Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2022. *Bergauf 02/2023*: 10–21.

Mousson, A. (1854): Die Gletscher der Jetztzeit. Eine Zusammenstellung und Prüfung ihrer Erscheinungen und Gesetze. S. 218.

Nicolussi, K. (2011): Die historischen Vorstöße und Hochstände des Vernagtferners 1600-1850 AD, *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, Band 45/46 (2011/12). S. 9-23.

Paschinger, H. (1969): Die Pasterze in den Jahren 1924-1968. *Wiss. AV-Heft*. 21. S. 201–217.

Patzelt, G. (1970): Die Längenmessungen an den Gletschern der österreichischen Ostalpen 1890-1969. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 6(1-2). S.151-159.

Patzelt, G. (1980): The Austrian glacier inventory: status and first results. *IAHS Publ.* 126. S. 181-183.

Patzelt, G. (2018): Die Längenmessungen des Alpenvereins an Ostalpengletschern. In: *Gletscher im Wandel; 125 Jahre Gletschermessdienst des Alpenvereins*, Gletscher im Wandel - 125 Jahre Gletschermessdienst des Alpenvereins: Fischer A., Patzelt G., Achraimer M., Groß G., Lieb G. K., Kellerer-Pirklbauer A., Bendler G. (Hrsg.), Springer, Springer Spektrum. S. 31-51.

RGI Consortium (2017): Randolph Glacier Inventory - A Dataset of Global Glacier Outlines, Version 6. [Indicate subset used]. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. doi: <https://doi.org/10.7265/4m1f-gd79>

Schimpp, O. (1960): Der Haushalt des Hintereisferners (Ötztal)-Akkumulation, Ablation und Gletscherbewegung in den Jahren 1952/53 und 1953/54.

Slupetzky, H. (2015): Die Massenbilanzreihe vom Stubacher Sonnblickkees 1946 bis 2014 und die semidirekte Berechnung des Massenhaushalts von Gletschern. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, S. 167-200.

Span, N.; Kuhn, M. H. & Schneider, H. (1997): 100 years of ice dynamics of Hintereisferner, Central Alps, Austria, 1894–1994. *Annals of Glaciology*, 24. S. 297-302.

Stocker-Waldhuber, M.; Fischer, A. & Kuhn, M. (2016): Glacier mass balances and elevation zones of Mullwitzkees, Hohe Tauern, Austria, 2006/2007 et seq. Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Innsbruck, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.806662>.

Stocker-Waldhuber, M.; Fischer, A.; Helfricht, K. & Kuhn, M. (2019): Long-term records of glacier surface velocities in the Ötztal Alps (Austria), *Earth Syst. Sci. Data*, 11. S. 705-715.

Stotter, M. (1846): Die Gletscher des Vernagtthales in Tirol und ihre Geschichte. Wagner, Innsbruck. S. 75.

Wakonigg H. (1991): Die Nachmessungen an der Pasterze von 1879 bis 1990. *Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Universität Graz 30* (Festschrift für H. Paschinger). S. 271–307.

Walcher, J. (1773): Nachrichten von den Eisbergen in Tyrol. Frankfurt and Leipzig, Kurzböcken. S. 98.

Winkler, S. (2009): Gletscher und ihre Landschaften: Eine illustrierte Einführung. Primus in Wissenschaftliche Buchgesellschaft, S. 189.

Wutte M. (1905): Eduard Richter †. In: *Carinthia I*, 95. S. 64–72.

## Permafrost

APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich. S. 1096. ISBN 978-3-7001-7699-2.

Avian, M.; Kellerer-Pirklbauer, A. & Bauer, A. (2009): LiDAR for monitoring mass movements in permafrost environments at the cirque Hinteres Langtal, Austria, between 2000 and 2008. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(4). S. 1087-1094.

Barsch, D. R. (1996): Indicators for the present and former geocology in high mountain environments. S. 331.

Delaloye, R.; Perruchoud, E.; Avian M.; Kaufmann V.; Bodin X.; Hausmann H.; Ikeda A.; Käab A.; Kellerer-Pirklbauer A.; Krainer K.; Lambiel C.; Mihajlovic D.; Staub B.; Roer I. & Thibert E. (2008): Recent



interannual variations of rock glacier creep in the European Alps. In: Proceedings of the 9th International Conference on Permafrost, Fairbanks, Alaska. S. 343–348

Finsterwalder S. (1928) Begleitworte zur Karte des Gepatschferners. *Z Gletscherkunde* 16. S. 20–41.

Haeblerli, W.; Hallet, B.; Arenson, .; Elconin, R.; Humlum, O.; Kääh, A.; Kaufmann, V.; Ladanyi, B.; Matsuoka, N.; Springman, S. & Vonder Mühll, D. (2006): Permafrost creep and rock glacier dynamics. *Permafrost Periglacial Process* 17. S. 189–214.

Hartmeyer, I.; Keuschnig, M., & Schrott, L. (2012): A scale-oriented approach for the long-term monitoring of ground thermal conditions in permafrost-affected rock faces, Kitzsteinhorn, Hohe Tauern Range, Austria. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 105(2). S. 128–139.

Höllermann, P. (1983): Blockgletscher als Mesoformen der Periglazialstufe: Studien aus europäischen und nordamerikanischen Hochgebirgen. Bonn: Dümmler, 1983. In: *Bonner Geographische Abhandlungen*, 67. S. 87.

Krainer, K.; Ausserer, P.; Bressan, D.; Lang, K.; Mair, V.; Mussner, L.; Nickus, U.; Schmidt, V.; Schiestl, E.M.; Tessadri, R.; Thies, H. & Tonidandel, T. (2015): Aufbau und Dynamik ausgewählter Blockgletscher in Nord- und Südtirol. *Geo.Alp.* 12. S. 75–134.

Kaufmann, V. (1996): Der Dösen Blockgletscher - Studienkarten und Bewegungsmessungen. In: Beiträge zur Permafrostforschung in Österreich, Arbeiten aus dem Institut für Geographie, Karl-Franzens-Universität Graz, Band 33. S. 141–162.

Kaufmann, V. & Ladstädter, R. (2010): Documentation and visualization of the morphodynamics of Hinteres Langtalar rock glacier (Hohe Tauern range, Austrian Alps) based on aerial photographs (1954–2006) and geodetic measurements (1999–2007). *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung. Proceedings of the 10th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography (HMRSC-X), Kathmandu, Nepal, September 2008* Vol. 45. S. 103–116.

Kaufmann V. (2012): The evolution of rock glacier monitoring using terrestrial photogrammetry: the example of Äußeres Hochebenkar rock glacier (Austria). *Austrian J Earth Sci* 105/2. S. 63–77.

Kaufmann, V. & Kellner-Pirklbauer, A. (2015): Active Rock Glaciers in a Changing Environment - Geomorphometric Quantification and Cartographic Presentation of Rock Glacier Surface Change with Examples from the Hohe Tauern Range, Austria. *Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie*, Volume 21, Vienna 2015. S. 179–190.

Kaufmann, V. (2016): 20 years of geodetic monitoring of Dösen rock glacier (Ankogel Group, Austria): A short review. *Joannea - Geologie und Paläontologie*, 12. S. 37–44.

Kellner-Pirklbauer, A. (2008): Aspects of glacial, paraglacial and periglacial processes and landforms of the Tauern Range, Austria. Unpublizierte Doktorarbeit, Universität Graz. S. 200.

Kellner-Pirklbauer, A. & Kaufmann, V. (2012): About the relationship between rock glacier velocity and climate parameters in central Austria. *Austrian J Earth Sci* 105(2). S. 94–112.

Kellner-Pirklbauer, A.; Bartsch, A.; Gitschthaler, C.; & Reisenhofer, S.; Weyss, G.; Riedl, C.; & Avian, M. (2015): permAT – Long-term monitoring of permafrost and periglacial processes and its role for natural hazard prevention: Possible strategies for Austria (in German). S. 49.

Kellner-Pirklbauer, A. (2017): Potential weathering by freeze-thaw action in alpine rocks in the European Alps during a nine-year monitoring period. *Geomorphology* 296. S. 113–131.

Kellner-Pirklbauer, A.; Delaloye, R.; Lambiel, C.; Gärtner-Roer, I.; Kaufmann, V.; Scapozza, C.; Krainer, K.; Staub, B.; Thibert, E.; Bodin, X.; Fischer, A.; Hartl, L.; Morra di Cella, U.; Mair, V.; Marcer, M. & Schoeneich, P. (2018): Interannual variability of rock glacier flow velocities in the European Alps. In: 5th European Conference on Permafrost – Book of Abstracts, Chamonix, France. S. 396–397.

Kellner-Pirklbauer, A. (2018): Solifluction rates and environmental controls at local and regional scales in central Austria. *Norsk Geogr Tidsskr* 72. S. 37–56.

Kellner-Pirklbauer, A. & Kaufmann, V. (2018): Deglaciation and its impact on permafrost and rock glacier evolution: New insight from two adjacent cirques in Austria. *Sci Total Environ* 621. S. 1397–1414.

Kellner-Pirklbauer, A. (2019): Long-term monitoring of sporadic permafrost at the eastern margin of the European Alps (Hochreichart, Seckauer Tauern range, Austria). *Permafrost Periglacial Process* 30/4. S. 260–277, <https://doi.org/10.1002/ppp.2021>.

Kellner-Pirklbauer, A.; Gärtner-Roer, I.; Bodin, X. & Paro, L. (2022): European Alps. In: Oliva, M., Nývlt, D., Fernández-Fernández, J.M. (eds) *Periglacial Landscapes of Europe*. Springer, Cham. S. 147–224, [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14895-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14895-8_9).

Lieb, G. K. (1996): Permafrost und Blockgletscher in den östlichen österreichischen Alpen. *Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz*, 33. S. 9–125.

Lieb, G. K. (1998): High-mountain permafrost in the Austrian Alps (Europe). In *Proceedings of the 7th International Permafrost Conference*, Yellowknife, Canada. S. 663–668.

Lieb, G. K. & Nutz, M. (2009): Naturkundlicher Führer Blockgletscherweg Dösental. *Ankogelgruppe* 2. Aufl.- In: *Oesterreichischer Alpenverein* (Hrsg.). *Naturkundliche Führer zum Nationalpark Hohe Tauern*. Band 21. S. 1–119.

Gerhard K. L.; Kellerer-Pirklbauer, A.; Kaufmann, V. & Avian, M. (2016): The Graz permafrost monitoring network in the Hohe Tauern National Park (Austria). Das Grazer Permafrost-Monitoring-Netzwerk im Nationalpark Hohe Tauern (Österreich) – Joannea - Geologie und Paläontologie – 12.: S.9 - 16.

Nötzli, J., & Gruber, S. (2005): Alpiner Permafrost – ein Überblick. Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt, 70. S. 111-121.

Reisenhofer, S. (2018): Endbericht 2014-2018 Projekt PERSON-GCW. Etablierung des Sonnblicks (Hohe Tauern) als Global Cryosphere Watch Supersite. Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus, Abteilung IV/1, Abteilung Koordinierung Klimapolitik. ZAMG. S. 55.

Roer, I.; Haeberli, W.; Avian, M.; Kaufmann, V.; Delaloye, R.; Lambiel, C. & Kääh, A. (2008): Observations and considerations on destabilizing active rock glaciers in the European Alps. In: Proceedings of the 9th International Conference on Permafrost, Fairbanks, Alaska. S. 1505–1510

Schneider, B. & Schneider, H. (2001): ABHANDLUNGEN-Zur 60jährigen Messreihe der kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen am Blockgletscher im Äusseren Hochebenkar, Otztaler Alpen, Tirol. Mit 11 Abbildungen und 8 Tabellen. Zeitschrift Für Gletscherkunde Und Glazialgeologie, 37(1). S. 1-34.

Schöner, W.; Boeckli, L.; Hausmann, H.; Otto, J. C.; Reisenhofer, S.; Riedl, C. & Seren, S. (2012): Spatial patterns of permafrost at Hoher Sonnblick (Austrian Alps) – extensive field-measurements and modelling approaches. S. 154-168.

Schrott, L.; Otto, J. C.; Keller, F. & Rosner, L. M. (2012): Abschlussbericht; Permafrost in den Hohen Tauern (permalp.at). Universität Salzburg Arbeitsgruppe für Geomorphologie und Umweltforschung. S. 34.

## Seeis

AGES (Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH) (2019): Badegewässerprofil Lunzer See, Lunz. S.18.

Cavaliere, E.; Fournier, I. B.; Hazuková, V.; Rue, G. P.; Sadro, S.; Berger, S. A. et al. (2021): The Lake Ice Continuum Concept: Influence of winter conditions on energy and ecosystem dynamics. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 126, e2020JG006165. S. 19.

Kainz, M.; Ptacnik, R.; Rasconi, S. & Hager, H. (2017): Irregular changes in lake surface water temperature and ice cover in subalpine Lake Lunz, Austria. Inland Waters. 7. S. 27-33.

Müllner, J. (1924): Zur Vereisung der Seen der Ostalpen. Geografiska Annaler, 6(2). S. 131-179.

Schiemer, F. (2014): Eine kurze Geschichte der Limnologie in Österreich. Denissia, 33. S. 33-59.

Sharma, S.; Blagrove, K.; Magnuson, J.J. et al. (2019): Widespread loss of lake ice around the Northern Hemisphere in a warming world. Nat. Clim. Chang. 9. S. 227–231.

Schulz, L.; Rauter, A.; Fresner, R.; Ambros, M.; Mildner, J.; Reichmann, M. & Santner, G. (2007): Der Weißensee Limnologische Langzeitentwicklung 1972 - 2003. – Publikationen des Kärntner Instituts für Seenforschung – 48. S. 64.

Tagblatt (2012): Seegfrörni. URL: <https://www.tagblatt.ch/ostschweiz/thurgau/arbon/Seegfroerniart120104,2854281>. K. S.

## Schnee

Haberkorn, A.; Helmert, J.; Leppänen, L.; López-Moreno, J.I. & Pirazzini, R. (2019): European Snow Booklet - an Inventory of Snow Measurements in Europe. <https://doi.org/10.16904/envidat.59>. S. 1417-1420.

Olefs, M.; Koch, R.; Schöner, W., & Marke, T. (2020): Changes in snow depth, snow cover duration, and potential snowmaking conditions in Austria, 1961–2020 - a model based approach. Atmosphere, 11(12), 1330.

Schöner, W.; Koch, R.; Matulla, C.; Marty, C. & Tilg, A. M. (2019): Spatiotemporal patterns of snow depth within the Swiss-Austrian Alps for the past half century (1961 to 2012) and linkages to climate change. International Journal of Climatology, 39(3), S. 1589-1603.

# Liste der AutorInnen



**Dr. Fischer Andrea**

Wissenschaftlerin am Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

Email: [andrea.fischer@oeaw.ac.at](mailto:andrea.fischer@oeaw.ac.at)



**Dr. Greilinger Marion**

Leiterin der Kompetenzeinheit Klimamonitoring und Kryosphäre an der GeoSphere Austria

Email: [marion.greilinger@geosphere.at](mailto:marion.greilinger@geosphere.at)



**Hansche Iris, MSc.**

Wissenschaftlerin am Institut für Geographie und Raumforschung, Universität Graz

Email: [iris.hansche@uni-graz.at](mailto:iris.hansche@uni-graz.at)



**Hartl Lea, PhD**

Wissenschaftlerin am Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

Email: [lea.hartl@oeaw.ac.at](mailto:lea.hartl@oeaw.ac.at)



**Dr. Hartmeyer Ingo**

Permafrostforscher und Geschäftsführer bei der GEORESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

Email: [ingo.hartmeyer@georesearch.ac.at](mailto:ingo.hartmeyer@georesearch.ac.at)



**Helfricht Kay, PhD**

Wissenschaftler am Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

Email: [kay.helfricht@oeaw.ac.at](mailto:kay.helfricht@oeaw.ac.at)



**Mag. Hynek Bernhard**

Wissenschaftler im Bereich Klimamonitoring und Kryosphäre an der GeoSphere Austria

Email: [bernhard.hynek@geosphere.at](mailto:bernhard.hynek@geosphere.at)



**Jank Norbert**

Eismeister des Weißensees

Email: [info@natureislauf.at](mailto:info@natureislauf.at)



**Dr. Kainz Martin**

Universitätsprofessor für Ökosystemforschung und -gesundheit, Research Lab for Aquatic Ecosystem Research and -Health

Email: [martin.kainz@donau-uni.ac.at](mailto:martin.kainz@donau-uni.ac.at)



**Dr. Kaufmann Viktor**

Außerordentlicher Professor an der TU Graz, Institut für Geodäsie - Arbeitsgruppe Fernerkundung und Photogrammetrie

Email: [viktor.kaufmann@tugraz.at](mailto:viktor.kaufmann@tugraz.at)



**Dr. Kellerer-Pirklbauer Andreas**

Wissenschaftler an der Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung; Leiter des nationalen Gletschermessprogramms des Österreichischen Alpenvereins; Österreichischer Vertreter bei der International Permafrost Association (IPA)

Email: [andreas.kellerer@uni-graz.at](mailto:andreas.kellerer@uni-graz.at)



**Dr. Lieb Gerhard K.**

Außerordentlicher Professor an der Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung; Leiter des nationalen Gletschermessprogramms des Österreichischen Alpenvereins





**Dr. Mayer Christoph**

Wissenschaftler an der Bayerische Akademie der Wissenschaften im Bereich Erdmessung und Glaziologie

Email: christoph.mayer@lrz.badw-muenchen.de



**Neureiter Anton, BSc.**

Wissenschaftler im Bereich Klimamonitoring und Kryosphäre an der GeoSphere Austria

Email: anton.neureiter@geosphere.at



**Prinz Rainer, PhD**

Senior Scientist am Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften der Universität Innsbruck

Email: rainer.prinz@uibk.ac.at



**Mag. Reingruber Klaus**

Geschäftsführer von Blue Sky Wetteranalysen

Email: klaus.reingruber@blueskywetter.at



**Mag. Reisenhofer Stefan**

Wissenschaftler im Bereich Klimamonitoring und Kryosphäre an der GeoSphere Austria

Email: stefan.reisenhofer@geosphere.at



**Mag. Riedl Claudia**

Wissenschaftlerin im Bereich Klimamonitoring und Kryosphäre, Meteorologin und Lawinenprognostikerin an der GeoSphere Austria

Email: claudia.riedl@geosphere.at



**Dr. Schöner Wolfgang**

Professor an der Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung

Email: wolfgang.schoener@uni-graz.at



**Mag. Seiser Bernd**

Wissenschaftler am Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

Email: bernd.seiser@oeaw.ac.at



**Dr. Stocker-Waldhuber Martin**

Wissenschaftler am Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

Email: martin.stocker-waldhuber@oeaw.ac.at



**Strudl Markus, Msc.**

Ehrenamtlicher Wissenschaftler im Bereich Kryosphäre und Mitarbeiter des Gletschermessdienstes des Österreichischen Alpenvereins

Email: markus.strudl@gmail.com



**Dr. Zigel Bernhard**

Wissenschaftler an der Universität Salzburg, Fachbereich Geoinformatik

Email: bernhard.zigel@plus.ac.at



**Dr. Zechmeister Thomas**

Leiter der Biologischen Station Neusiedler See

Email: thomas.zechmeister@bgld.gv.at

KRYOMON.AT  
Kryosphären Monitoring Österreich

November 2023