## 4.6 Bestandsaufnahme der österreichischen Gletscher

MICHAEL KUHN, ASTRID LAMBRECHT & JAKOB ABERMANN

Bestandsaufnahme der österreichischen Gletscher: Die Gletscher der österreichischen Alpen werden hier als Repräsentanten alpiner Vergletscherung in einer gemäßigten Klimazone vorgestellt. Nach einer kurzen Statistik der österreichischen Gletscher und ihrer Veränderungen im Klimawandel werden die heute typischen Gletscherformen gezeigt und erklärt. Schließlich folgen Angaben über die Literatur, aus der die Daten dieses Artikels stammen und aus der Details der Gletscherinventare und Auswertemethoden entnommen werden können.

A survey of Austrian glaciers: We present the glaciers of the Austrian Alps here as typical examples of mountain glaciers in a moderate climatic environment. Following short statistics of their present state and their reaction to recent climate changes we explain the characteristic appearance of the prevailing glacier types and refer to the data sources used in this article and to literature suitable for further information.

**D**er Bestand an österreichischen Gletschern lässt sich am besten durch ihre Fläche ausdrücken, die heute (2015) etwa 410 km² beträgt. Für die geneigten Gletscherflächen wird dabei nicht die wirkliche Oberfläche, sondern ihre Projektion auf die Horizontale angegeben, wie sie in Landkarten erscheint.

Ihre Zahl ist heute 921, wobei man beachten muss, dass dabei Gletscher, die in den vergangenen Jahren in mehrere Teile zerschmolzen sind, immer noch als eine Einheit gezählt werden. Wenn man heute nur die zusammenhängenden Eisflächen zählen würde, käme man also auf eine höhere Anzahl, obwohl sich die gesamte Fläche verringert hat.

Ihr Volumen ist weniger genau bekannt, weil man sich bei seiner Berechnung nur auf eine begrenzte Zahl von Radarmessungen oder Bohrungen stützen kann. Es wird heute als 11 km<sup>3</sup> Eis, äquivalent zu 10 km<sup>3</sup> Schmelzwasser angenommen. Diese Zahl gibt uns die Möglichkeit, die gesamte Menge des Gletschereises mit anderen Größen des österreichischen Wasserhaushalts zu vergleichen: würde alles Eis Österreichs schmelzen und das Schmelzwasser gleichmäßig auf die 83.850 km<sup>2</sup> Oberfläche des Landes verteilt, gäbe das eine Wasserschicht von 120 mm, das entspricht etwa einem Zehntel des mittleren Jahresniederschlags. Wenn man den jährlichen Beitrag der Gletscherschmelze zum Abfluss in kleineren Einzugsgebieten, zum Beispiel denen der alpinen Speicherkraftwerke betrachtet, kommt man heute auf Werte in der Größenordnung von 10% pro Jahr, die sich mit der Verringerung der Gletscherflächen durch die fortschreitende Erwärmung in den kommenden Jahrzehnten gegen Null bewegen werden.

Gletscher in Österreich unterscheiden sich in ihrer Bildung und Bewegung, in ihrer Reaktion auf Klimaelemente und Klimaänderungen und auf ihre Topographie nicht wesentlich von den anderen alpinen Gletschern. Sie bilden sich dort, wo im Lauf eines durchschnittlichen Jahres mehr Schnee abgelagert wird, als schmelzen kann, das heißt, wenn die Akkumulation über die Ablation überwiegt. Die Akkumulation wird vor allem von Schneefall, Windverwehung und Lawinen gebil-

det, zur Ablation tragen Schmelzen, Sublimation, Winderosion und der Abbruch von Lawinen bei.

Wenn am Ende des Sommers Schnee liegen bleibt, wird er sich in den Folgejahren zu Eis verdichten und so weit aufbauen, dass er sich unter seinem eigenen Gewicht verformt und sich langsam abwärts bewegt. Das Eis wird weiter fließen, bis es in eine Höhe kommt, in der die Temperatur und andere Umweltbedingungen gerade so viel schmelzen lassen, wie von oben nachgeliefert wird. Damit erreicht der Gletscher seinen Gleichgewichtszustand und wird bei konstantem Klima stationär bleiben und seine Größe und Form nicht ändern. Die Prozesse der Akkumulation, der Ablation und der Eisbewegung werden vom Klima und von der Topographie gesteuert und bestimmen Größe und Lage der Gletscher. Sie liegen an den niederschlags- und schneereichen Nord- und Südrändern der Ostalpen tiefer als in den trockenen Zentralalpen und sie liegen in Mulden und Karen, wo Wind und Lawinen mehr Schnee ablagern als dort fällt, tiefer als auf Rücken, Graten und Plateaus. Als Faustregel kann man annehmen, dass Gletscherzungen und Firnbecken etwa doppelt so viel Akkumulation bekommen wie den Durchschnitt ihres Einzugsgebiets.

Diese Bedingungen des Gleichgewichts sind mit der Erwärmung der Alpen nicht mehr gegeben. Heute werden die Gletscher kleiner, dünner, durchlöchert und langsamer, zerfallen und verschwinden. Sie werden dabei immer ein neues Gleichgewicht anstreben, das sie nur unter neuen, konstanten Klimabedingungen erreichen könnten.

Hier soll erklärt werden, welche Änderungen stattgefunden haben, welche Prozesse dabei wichtig waren, und welche Vielfalt an Reaktionen und Gletscherformen qualitativ und quantitativ beobachtet werden. Die Statistik beruht auf drei österreichischen Gletscherinventaren oder Gletscherkatastern: im September 1969 wurden alle österreichischen Gletscher in einer Woche aerophotogrammetrisch aufgenommen, daraus analog das Inventar GI 1 erstellt. Von Aufnahmen 1997 im westlichen Landesteil und 1998 im Osten, mit Ergänzungen 2002, wurde das Inventar GI 2 digital erstellt und das frühere Inventar größtenteils digitalisiert. Diese beiden einheitlichen Geländemodelle bilden die Grundlage für die hier wiedergegebene Statistik. Ein GI 3 wurde von 2006 bis 2012 mit einer anderen Methode, dem airborne laser scanning (ALS) aufgenommen, ist aber noch nicht homogenisiert. Vom Höchststand der Gletscher am Ende der Kleinen Eiszeit, das

vereinfacht als »1850« bezeichnet wird, wurde mit vielen heute noch sichtbaren Moränen die Größe der damaligen Gletscher bestimmt, darauf wird hier auch Bezug genommen. Die Karte des Hintereisferners von 1894, die für *Abb. 4.6-6* verwendet wurde, hat damals den heutigen Standard auf wenige Meter erreicht.

Abb. 4.6-1 zeigt die Verteilung der Gletscher in Österreich. Zusammen mit den Zahlen der Tab. 4.6-1 ist

Tab. 4.6-1: Statistik der Gletscher im ersten und zweiten österreichischen Gletscherinventar, nach Gebirgsgruppen.

Gebirgsgruppe	Fläche 1969	Fläche GI 2	Flächen-	Volumenänderung	Änderung der	Aufnahmejahr
	km²	km²	änderung in %	(1000 m³)	Eisdicke in m	GI 2
Allgäuer Alpen	0.2	0.1	-50			-
Ankogel-Hochalmspitzgruppe	19.9	16.2	-19	-147,398	-9	1998
Dachsteingruppe	6.3	5.7	-9	-53,345	-9	2002
Deferegger Alpen	0.7	0.4	-39			1998
Glocknergruppe	68.9	59.8	-13	-770,334	-13	1998
Granatspitzgruppe	9.8	7.5	-23	-57,929	-8	1998
Karnische Alpen	0.2	0.2	11			-
Lechtaler Alpen	0.7	0.6	-14			1996
Ötztaler Alpen	179.7	151.2	-16	-1,479,542	-10	1997
Rätikon	2.2	1.7	-24	-31,414	-18	1998
Rieserfernergruppe	4.6	3.1	-32			1998
Salzburger Kalkalpen	2.5	1.7	-32	-25,592	-15	2002
Samnaungruppe	0.2	0.1	-57			2002
Schobergruppe	5.6	3.5	-38			1998
Silvrettagruppe	24.2	18.9	-22	-238,563	-13	1996, 2002
Sonnblickgruppe	12.8	9.7	-24	-86,819	-9	1998
Stubaier Alpen	63.1	54	-14	-477,405	-9	1997
Venedigergruppe	93.4	81	-13	-854,890	-11	1998
Verwallgruppe	6.7	4.7	-30			2002
Zillertaler Alpen	65.6	50.6	-23	-604,277	-12	1998, 1999
				-4,826,501		
Gesamt	567.1	470.7	-17	-4,8 km³	-10	

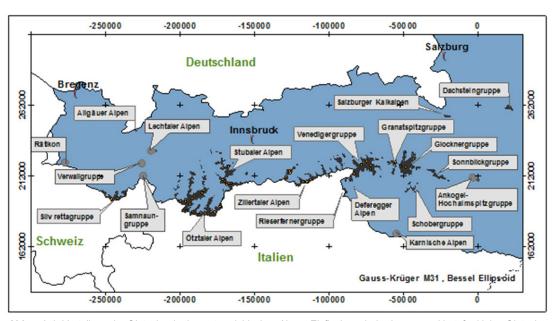


Abb. 4.6-1: Verteilung der Gletscher in den österreichischen Alpen. Eisflächen sind schwarz markiert, für kleine Gletscher ist ein grauer Kreis angegeben. Minigletscher in der Mieminger Kette und im Karwendelgebirge sind hier nicht eingetragen. Die gelben Punkte kennzeichnen die 60 Gletscher, deren Eisdicke mit Radar bestimmt wurde.

es offensichtlich, dass sich die Gletscherflächen auf die Gebirgsgruppen am Alpenhauptkamm konzentrieren, der Höhen bis über 3.700 m erreicht. Von der Advektion feuchter Luftmassen vom Atlantik und vom Mittelmeer treten am Nord- und Südrand der Alpen Niederschlagsmaxima auf (Abb. 4.6-2), die es ermöglichen, dass kleine Gletscher in den nördlichen Kalkalpen oder in den Karnischen Alpen in Höhen von unter 2.700 m existieren, während die Firngrenze in den Ötztaler Alpen oft über 3.100 m liegt. Mit dem geringeren Niederschlag der Zentralalpen gehen geringere Bewölkung, stärkere Sonnenstrahlung und daher höhere Temperaturen, also stärkere Ablation einher. Am Alpennord- und Südrand werden Gletscher nicht nur durch stärkeren Niederschlag sondern auch durch die Topographie der dort häufigen Kare begünstigt, wie es in Abb. 4.6-11 gezeigt wird. Zu den niederschlagsbegünstigten Gletschergebieten zählt wegen ihrer nach NW offenen Lage auch die Silvretta am Alpenhauptkamm. Extreme Werte treten im Friaul im Nordosten Italiens auf, wo kleine Gletscher auch in Höhen um 2.000 m existieren (Abb. 4.6-2).

Wenn man die Gletscher in Größenklassen nach ihrer Fläche aufteilt wie in Abb. 4.6-3, sieht man für ihre Anzahl und ihren Anteil an der Gesamtfläche ganz verschiedene Maxima. Die größte Zahl der Gletscher lag 1969 und 1997 in der Größenklasse 0,1-0,5 km², also bei Kar- und Hanggletschern, den größten Beitrag zur Gesamtfläche lieferte die Klasse 5-10 km², in der vor allem Talgletscher mit ausgeprägten Zungen und großen Firnbecken vertreten sind. Durch die klimabedingte Verkleinerung der Gletscher von 1969 bis 1997 sind beide Verteilungen zum Kleineren verrutscht, ohne dass man dabei eine bestimmte Gesetzmäßigkeit feststellen kann. Deutlich ist sicher die Zunahme der Zahl der Kleinsten, sowie die Verschiebung der Flächenanteile zur Gruppe unter 10 km<sup>2</sup>, was letztlich eine Frage der Klassengrenzen ist.

Die Änderungen der Gletscher sind von 1969 bis

1997 nicht linear verlaufen. Vom sonnigen Sommer 1964, der südlich des Alpenhauptkamms einen exzellenten Wein reifen ließ, bis zu den sonnigen Sommern 1982 und 1983 gab es viele gletschergünstige Jahre mit kühlen, oben schneereichen Sommern, die schließlich um 1980 etwa 75% der österreichischen Gletscher vorstoßen ließen. Die Reaktion von drei benachbarten, verschieden großen Gletschern im Ötztal ist in *Abb. 4.6-4* dargestellt. Der Kesselwandferner, als der kleinste von ihnen, hat am schnellsten reagieren können und von 1964 bis 1997 seine positive Summe bewahren können, dem größten, reaktionsträgsten Hintereisferner gelang das nur bis 1972 (s. auch ESCHER-VETTER Kap. 4.7 in diesem Band).

Es läge nahe, diese Kurven, die zum Schluss einen Verlust der mittleren Eisdicken von 1 m pro Jahr zeigen, so in die Zukunft zu extrapolieren. Das wäre aber falsch, denn zugleich mit dem Massenverlust verringert sich auch die Gletscherfläche, das bleibende Eis liegt höher und bekommt, bei gegebenem Klima, geringere Verluste.

Ist es nur das Klima, das die Gletscher beeinflusst, reagieren alle Gletscher gleich auf die Zunahme der Temperatur? Die Darstellung in Abb. 4.6-5 ermöglicht eine dreidimensionale Analyse der Situation: die Gletschergröße, ihre relative Änderung von GI 1 zu GI 2 und die Gebirgsgruppe werden gegeneinander aufgetragen. Diese Lage gibt mit Hilfe der Abb. 4.6-2 einen Hinweis auf das Niederschlagsregime. Wenn man, weil im Bild gut sichtbar, sich auf die schwarzen Punkte des Zillertals, die blauen Karos der Ötztaler, den grünen Stern des Glockners und die roten Quadrate des Verwalls konzentriert, sieht man, dass die ganz großen Gletscher die geringsten prozentuellen Flächenverluste hatten. Sie haben große Flächen in großer Höhe, zugleich auch tiefreichende Zungen, die aber so dick sind, dass zwar Volumenverluste, aber wenig Flächenverluste stattfinden. In allen genannten Gebieten gibt es kleine Gletscher. Auf der kleinen Seite des Spektrums sieht man eine breite Streuung zwischen gänzlichem

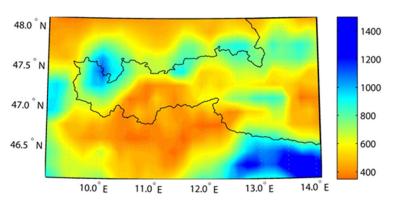


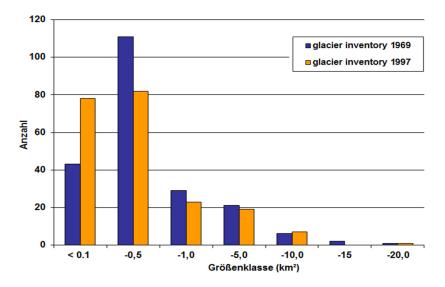
Abb. 4.6-2: Mittlerer Winterniederschlag (Oktober bis Mai) in Westösterreich, 1961-1990 in mm. Diese Daten des HISTALP Projekts (Efthymiadis et al. 2006) sind großflächig geglättet, lokale Unterschiede zwischen Berg und Tal treten hier nicht in Erscheinung. Zwischen den Maxima im Nordwesten (Bregenzer Wald und Lechtal) und im Südosten (Friaul) liegt eine zentralalpine Trockenzone. Im Osten sind die Hohen Tauern gegen Niederschläge vom Atlantik und Mittelmeer weniger gut abgeschirmt und erreichen ein weiteres Maximum.

Verschwinden und leichter Vergrößerung, also eine uneinheitliche Reaktion auf das Klima. Hier tritt die Geländeform in den Vordergrund der Gletscherreaktion. Ein Teil der kleinen Gletscher sind Reste von sonnenexponierten Hanggletschern, sie sind auf dem Weg zu -100%, d.h. zum Totalverlust ihres Eises. Ein Teil sind Kargletscher, die im Schatten liegen, und deren Mulden jeden Winter so mit Lawinen gefüllt werden, dass ein Überschuss weiter zu Tal fließt – sie sind von der Temperatur nicht abhängig. Kleine Gletscher sind also als Klimazeugen differenziert zu betrachten.

Die Profile der Eisdicke in *Abb. 4.6-6* zeigen, dass die Reaktion der Gletscher auf den Klimawandel auch von der Höhe abhängt. Über der Höhe von 2.900 m hat sich die Eisdicke nur gering geändert – das ist der Bereich, der überwiegend vom Schneefall abhängt,

nicht nur im sicheren Temperaturbereich des Winters, sondern auch von Sommerschneefällen, die immerhin von der Temperatur mitbestimmt werden. Das Ablationsgebiet ist dagegen stärker von Temperatur und Sonnenstrahlung bestimmt, kann also schneller auf die laufenden Klimaänderungen reagieren.

Abb. 4.6-7 greift in die Vergangenheit zurück und zeigt, dass die Unterlage der heutigen Gletscher in den vergangenen Eiszeiten erodiert wurde. Die sogenannte Kleine Eiszeit, die um 1850 endete, hat ihre Moräne auf einem Talboden abgelagert, der von den postglazialen Sedimenten und der späteren Bodenbildung, die dem Rotmoostal den Namen gab, eingeebnet wurde. Wahrscheinlich würden die Alpengletscher ohne die Vorarbeit der eiszeitlichen Erosion anders aussehen als heute.



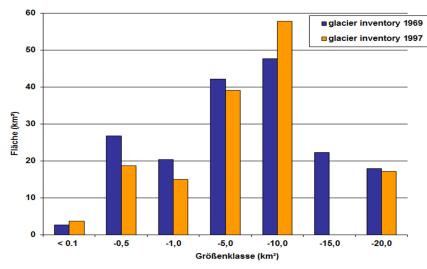


Abb. 4.6-3: Anzahl (oben) und Fläche (unten) der Gletscher Alpen der Ötztaler sortiert nach Größenklassen aus den Gletscherinventaren 1969 (blau) und 1998 (orange). Sie machen etwa ein Drittel der gesamten österreichischen Gletscherfläche aus

Während die meisten Gletscher in der Klasse 0,5-1,0 km² liegen, hat die Klasse 5-10 km² den größten Anteil an der Gletscherfläche. Durch starken Eisverlust von 1969 bis 1997 hat die Zahl in der kleinsten auf Kosten der nächstgroßen stark zugenommen, in der Klasse 10-15 km² waren 1997 keine Gletscher mehr vorhanden und in der Klasse 15-20 sehr wenige.

Moränen sind Ablagerungen und Anhäufungen von Steinen, die von der Felsumrandung der Gletscher auf das Eis gefallen sind, mit der Eisbewegung mitgetragen wurden, am Rand und Ende der Gletscher liegengeblieben sind und dadurch ihre ehemalige größte Ausdehnung dokumentieren (s. auch HAGG Kap. 4.2 in diesem Band). Sie sind damit besonders gute Klimazeugen. So lassen z.B. die Moränen, die in Abb. 4.6-8 auf beiden Seiten des Hintereisferners zu sehen sind, sein früheres Volumen rekonstruieren: im Jahr 1850 rund 1,5 km3, heute weniger als 0,5 km3. Für den heutigen Zustand der ostalpinen Gletscher werden in den Abb. 4.6-9 bis 4.6-11 charakteristische Formen gezeigt und in den jeweiligen Legenden erläutert, Prototypen, zwischen denen es, wie oben erwähnt, einen fließenden Übergang ohne scharfe Abgrenzung gibt.

## **Schlussbetrachtung**

Die österreichischen Gletscher umfassen ein weites Spektrum von Formen und Größen und sind damit typisch für das Eis der Alpen. Sie reagieren vehement auf die derzeitige Erwärmung, die in den Alpen doppelt so rasch fortschreitet wie im globalen Mittel. Ihre über die Fläche gemittelte Eisdicke beträgt heute ca. 27 m, der mittlere jährliche Verlust derzeit ca. 1 m – das bedeutet, dass viele von ihnen in diesem Jahrhundert verschwunden sein werden. Der heutige Beitrag der Gletscherschmelze zum Wasser der Gebirgsbäche wird schwinden, ökologische und ästhetische Änderungen sind zu erwarten: der »Firnglanz« der Alpengipfel wird uns fehlen.

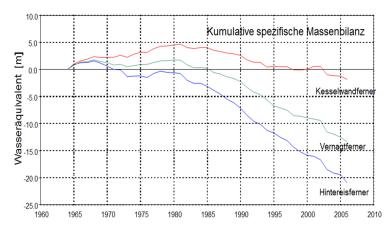


Abb. 4.6-4: Kumulative Massenbilanz von drei benachbarten Gletschern im südlichen Ötztal. Jährliche Messungen sind hier von 1964 bis 2006 addiert worden. Im Mittelwert über seine ganze Fläche hat der Hintereisferner in dieser Zeit 21 m Wasseräguivalent, das entspricht ca. 23 m Eisdicke verloren, der kleine Kesselwandferner hat auf die gletschergünstigen Bedingungen der 1970er Jahre mit einer maximalen Eisgeschwindigkeit von 100 m im Jahr und mit einem deutlichen Vorstoß reagieren können. Seither sind die jährlichen Verluste etwa 1m Wasseräquivalent.

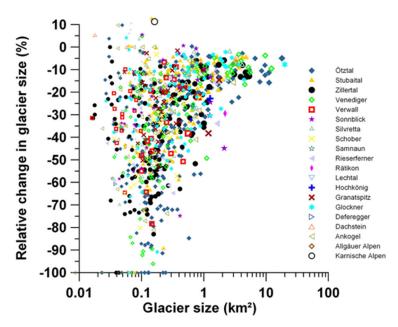


Abb. 4.6-5: Die relative Ändeder Gletscherflächen von 1969 bis 1998, aufgeteilt nach Gebirgsgruppen und Größe. Die größten Gletscher befinden sich im »sicheren« Höhenbereich der Ötztaler, Glockner- und Venedigergruppe. Von den kleineren sind einige ganz verschwunden, viele sind ungefähr gleich geblieben, weil sie mehr auf die Topographie als auf das Klima reagieren. Um den Vergleich mit Abb. 4.6-3 zu erleichtern, wurde hier ein logarithmischer Maßstab für die Gletschergröße gewählt.

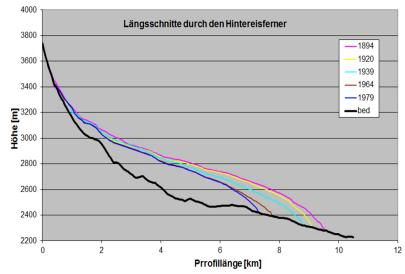


Abb. 4.6-6: Längsschnitte durch den Hintereisferner seit 1894. Der Felsuntergrund wurde 1997 mit Radar bestimmt, die Gletscheroberflächen wurden aus Karten der angegebenen Jahre entnommen. Man sieht hier, dass die Eisdicke im Zungenbereich viel stärker geschwankt hat als im Akkumulationsgebiet und dass das Gletscherende in den beiden Vorstoßperioden 1920 und 1979 steiler war als sonst. Heute erreicht die Eisdicke noch Werte von 200 m, das Eis ist teilweise durch eine Sedimentschicht von einigen Metern Dicke vom Felsuntergrund getrennt. Der Untergrund geht nicht kontinuierlich bergab sondern hat Schwellen und Übertiefungen, in denen sich Seen bilden, wenn das Gletschereis geschmolzen ist.



Abb. 4.6-7: Der U-förmige Querschnitt des Rotmoostals bei Obergurgl ist eine Folge der glazialen Erosion. Die Moräne des Gletscherhochstands von 1850 ist deutlich sichtbar, weil sie zufällig im Schatten liegt. Am linken Hang zeigt die Grenze zwischen Grasund Schuttflächen die ehemalige Ausdehnung der Gletscherzunge, weiter oben gehen die runden, vom Eis geschliffenen Hänge in einen zackigen Grat über, der auch in der Eiszeit nicht bedeckt war.



Abb. 4.6-8: Der Hintereisferner im September 2004 vom Gipfel der Weißkugel (3.739 m) bis zu seiner Zunge in ca. 2.500 m Höhe. Diese Abb. zeigt ein typisches Beispiel für einen Talgletscher, man kann an diesem Bild verstehen, dass Gletscher als Eisströme bezeichnet werden. Links und rechts Hanggletscher, die zum Teil noch vor 20 Jahren mit dem Hintereisferner verbunden waren. Am Farbunterschied sind Akkumulationsgebiet (weißer Firn) und Ablationsgebiet (graues Eis) zu erkennen. Der helle Streifen links im Vordergrund ist die Seitenmoräne von 1850, rechts auf halber Höhe sieht man den ehemaligen Gletscherrand immer noch an der Grenze der Vegetation, wie in Abb. 4.6-7. Ein Netz von Talgletschern im südlichen Ötztal kann in Google Earth (46°50'N, 11°00'E) gut untersucht werden, dabei wird klar, dass der Übergang vom Talgletscher Hanggletscher keineswegs scharf ist.



Abb. 4.6-9: Das Plateau des Gepatschferners mit der runden Weißseespitze rechts (3.510 m). Die Spalten, die in diesem relativ flachen Gelände auftreten, bilden zum Teil den Felsuntergrund ab, an den sich das Eis nicht immer anschmiegen kann, zum Teil zeigen sie die Spannung die entsteht, wenn die Fließgeschwindigkeit zum steileren unteren Gletscherbereich zunimmt. In den flacheren Gebieten ist das Eis stellenweise über 200 m dick. Der Gepatschferner ist mit rund 15 km² der zweitgrößte Gletscher Österreichs.



Abb. 4.6-10: Die Nordwand der Weißseespitze im südlichen Kaunertal (ganz rechts in Abb. 4.6-9). In diesem steilen Bereich ist das Eis viel dünner (ca. 10 m) und bewegt sich langsam. Durch Wind und Lawinen können sich aber Polster und Wülste bilden, die rascher über den Hang nach unten laufen. In diesem Bild hatte das Eis noch negative Temperaturen, in der Erwärmung der letzten Jahre hat es Null Grad erreicht und sich vom Untergrund gelöst und ist teilweise abgeglitten, siehe in Abb. 4.6-9 ganz rechts. Foto: Kaunertaler Gletscherbahnen. am 3.5.2001.



Abb. 4.6-11: Vorderseeferner 10°22' E, 47°11' N, 2.600-2.800 m. Windverwehungen über den Grat und Lawinen aus der Wand rechts haben diesem Kargletscher die notwendige Akkumulation verschafft. Dieser 7 ha kleine Ferner hat alles, was ein echter Gletscher braucht: einen etwa 50 m dicken Eiskörper; ein firnbedecktes Akkumulationsgebiet mit einer klaren Abgrenzung zum Ablationsgebiet; auf der Zunge sieht man Spalten, die hier bis zu 15 m tief sind und die zum Teil mit weißem Schnee gefüllt sind; querverlaufende, dunkle Linien, die den Staub vergangener Sommer zeigen und vertikale, helle Linien, die vom abfließenden Schmelzwasser gezeichnet wurden. Die Erosion durch die Gletscherbewegung hat im Lauf der Jahrtausende immer mehr Platz für diesen kleinen Gletscher geschaffen, ein Beispiel für positive Rückkopplung. Foto von Thomas Pichler, 10.8.1994.

## Literatur

(Die folgende Liste gibt die Quellen der hier verwendeten Daten an und ermöglicht einen Blick auf die Gletscher außerhalb Österreichs).

ABERMANN, J., A. LAMBRECHT, A. FISCHER & M. KUHN (2009): Quantifying changes and trends in glacier area and volume in the Austrian Ötztal Alps (1969 – 1997 – 2006), The Cryosphere, 3, 205-215.

ARENDT, A. & 79 Mitautoren (2012): Randolph Glacier Inventory – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 3.2, Global Land Ice Measurements from Space, http://www.glims.org/RGI/rgi-dl.html2012.

BRAUN, L. N. & H. ESCHER-VETTER (Hrsg.) (2013): Glet-scherforschung am Vernagtferner. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 45/46 (2011/2012), 381 S.

EFTHYMIADIS, D., P. D. JONES, K. R. BRIFFA, I. AUER, R. BÖHM, W. SCHÖNER, C. FREI & J. SCHMIDLI (2006): Construction of a 10-min-gridded precipitation data set for the Greater Alpine Region for 1800-2003. Journal of Geophysical Research, 111 D01105: 1-22, doi: 10.1029/2005JD006120.

FISCHER, A., N. SPAN, M. KUHN & M. BUTSCHEK (2007): Radarmessungen der Eisdicke österreichischer Gletscher. Band II Messungen 1999 bis 2006. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Heft39, 142 S.

FISCHER, A., B. SEISER, M. STOCKER-WALDHUBER, C. MITTERER & J. ABERMANN (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, 753-766.

GROB, G. (1987): Der Flächenverlust der Gletscher in Osterreich 1850 – 1920 – 1969, Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 23, 131-141.

KUHN, M., A. LAMBRECHT, J. ABERMANN, G. PATZELT & G. GROß (2008): Die österreichischen Gletscher 1998 und 1969, Flächen und Volumenänderungen, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften Wien 125 S.

ichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, 125 S. KUHN, M., A. LAMBRECHT & J. ABERMANN (2013): Austrian Glacier Inventory 1998, Alfred Wegener Institut, Bremerhafen, doi:10.1594/PANGEA.809196.

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

MAISCH, M., A. WIPF, B. DENNELER, J. BATTAGLIA & C. BENZ (1999): Die Gletscher der Schweizer Alpen, Gletscherhochstand 1850 – Aktuelle Vergletscherung – Gletscherschwund-Szenarien 21. Jahrhundert, Schlussbericht NFP31, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich.

PATZELT, G. (1980): The Austrian glacier inventory 1969: Status and first results, IAHS Publication 126, 181-183.

PATZELT, G. (2013): Austrian Glacier Inventory 1969, Alfred Wegener Institut, Bremerhafen, doi: 10.1594/PAN-GEA.807098.

PAUL, F., H. FREY & R. LE BRIS (2011): A new glacier inventory for the European Alps from Landsat TM scenes of 2003: Challenges and results, Annals of Glaciology 52, 144-152.

PFEFFER, W. T. & RANDOLPH CONSORTIUM (2014): The Randolph Glacier Inventory: A globally complete inventory of glaciers, Journal of Glaciology 60, 537-551.

ROTT, H. (1977): Analyse der Schneeflächen auf Gletschern der Tiroler Zentralalpen aus Landsat-Bildern. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 12, 1-28.

SPAN, N., A. FISCHER, M. KUHN, M. MASSIMO & M. BUTSCHEK (2005): Radarmessungen der Eisdicke österreichischer Gletscher. Band I: Messungen 1995 bis 1998. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Heft 33, 145 S.

WÜRLÄNDER, R. & K. EDER (1998): Leistungsfähigkeit aktueller photogrammetrischer Auswertemethoden zum Aufbau eines digitalen Gletscherkatasters. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 34(2), 167-185.

## Kontakt:

Prof. Dr. Michael Kuhn Universität Innsbruck Institut für Atmosphären- und Kryosp

Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften Michael.Kuhn@uibk.ac.at

Kuhn, M., A. Lambrecht & J. Abermann (2015): Bestandsaufnahme der österreichischen Gletscher. In: Lozán, J. L., H. Grassl, D. Kasang, D. Notz & H. Escher-Vetter (Hrsg.). Warnsignal Klima: Das Eis der Erde. pp. 138-145. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.eis-der-erde.21