

Andrea Fischer · Gernot Patzelt · Martin
AchRAINER · Günther Groß · Gerhard Karl Lieb ·
Andreas Kellerer-Pirklbauer · Gebhard Bandler

Gletscher im Wandel

125 Jahre Gletschermessdienst
des Alpenvereins

EBOOK INSIDE

 **Springer** Spektrum

Gletscher im Wandel

Andrea Fischer · Gernot Patzelt · Martin
AchRAINER · Günther Groß · Gerhard Karl Lieb ·
Andreas Kellerer-Pirklbauer · Gebhard Bendler

Gletscher im Wandel

125 Jahre Gletschermessdienst des
Alpenvereins

Andrea Fischer
Inst. f. Interdisz. Gebirgsforschung
Öst. Akad. d. Wissenschaften
Innsbruck
Österreich

Gernot Patzelt
Universität Innsbruck
Innsbruck
Österreich

Martin Achrainer
Historisches Archiv
Österreichischer Alpenverein
Innsbruck
Österreich

Günther Groß
Thüringerberg
Österreich

Gerhard Karl Lieb
Geographie und Raumforschung
Universität Graz
Graz
Österreich

Andreas Kellerer-Pirklbauer
Geographie und Raumforschung
Universität Graz
Graz
Österreich

Gebhard Bendler
Inst. f. Interdisz. Gebirgsforschung
Öst. Akad. d. Wissenschaften
Innsbruck
Österreich

ISBN 978-3-662-55539-2 ISBN 978-3-662-55540-8 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-55540-8>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung: Sarah Koch

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Geleitwort Michael Zemp, Direktor des World Glacier Monitoring Service



Gletscheränderungen haben sich als Ikone des Klimawandels etabliert. Der Zusammenhang von höheren Temperaturen und schmelzendem Eis ist allgemein verständlich und visuell greifbar. Messreihen von Gletscherlängenänderungen, wie sie auch vom Österreichischen Alpenverein seit 125 Jahren durchgeführt werden, gehören zu den längsten terrestrischen Messprogrammen im Bereich der internationalen Umweltbeobachtung. Sie standen im Fokus bei der Gründung der international koordinierten Gletscher-

beobachtung, welche unter der Leitung des schweizer Naturforschers François-Alphonse Forel im Jahre 1894 ins Leben gerufen wurde. Eduard Richter, Professor für Geographie an der Universität Graz, war Mitbegründer und erster Korrespondent für Österreich.

Damals ging es um das bessere Verständnis der Eiszeiten. Mit der systematischen und langfristigen Beobachtung von Längenänderungen erhoffte man sich Einblicke zu erhalten in die Ursache von abwechselnden Perioden, in denen die Gletscher vorstießen oder zurückschmolzen. Entsprechend erschienen die internationalen Gletscherberichte bis zum Ersten Weltkrieg unter dem Titel *Les variations périodiques des glaciers*. Die Bedeutung der zyklischen Schwankungen der extraterrestrischen Strahlung, wie sie in den astronomischen Theorien von Milutin Milanković um 1920 zusammengefasst wurden, wird bei den Gletschern überlagert durch regionale, klimatische und lokale, topographische Einflüsse. Die resultierende Längenänderung ist ein integratives und verzögertes Klimasignal, das – entgegen der ersten Intuition – nicht mehr allgemein verständlich ist: Während der eine Gletscher mit kontinuierlichem Rückschmelzen seiner Zunge sehr träge auf Klimaänderungen reagiert, kann der Nachbargletscher bereits auf eine kurze Abfolge von schneereichen Wintern und kühlen Sommern mit einem erneutem Vorstoß reagieren.

Ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts fokussierte sich die Forschung zunehmend auf den Energie- und Massenhaushalt an der Gletscheroberfläche und auf die Fernerkundung von Gletscheränderungen. Mit dem Klimawandel steht nun nicht mehr das Gletscherwachstum, sondern die Möglichkeit einer kompletten Gletscherschmelze im Fokus. Damit geht es nicht mehr nur um die Unterscheidung von extraterrestrischen und

terrestrischen, sondern neu auch um natürliche und menschengemachte Ursachen. Gerade in den Alpen hat die Erwärmung seit den 1980er-Jahren vielen Gletscher stark zugesetzt: Sie reagieren mit massivem Eisverlust und viele zerfallen an Ort und Stelle, anstatt dynamisch zurückzuschmelzen, was für die Beobachtung und Interpretation der Längenänderungen eine zusätzliche Herausforderung bedeutet.

In der modernen Gletscherbeobachtung sind die Messreihen der Gletscherlängenänderung eine von mehreren Komponenten, welche in einer integrativen und mehrstufigen Strategie sinnvoll kombiniert und regelmässig kritisch reflektiert werden. Was die Längenänderungen betrifft, geht es aktuell darum, an welchen Gletschern die Feldmessungen langfristig weitergeführt werden sollen, und wie diese Messreihen mit Fernerkundungsdaten sinnvoll ergänzt und auf eine grössere Stichprobe erweitert werden können. Die Rekonstruktion von historischen und prähistorischen Längenänderungen mittels Auswertung von Karten-, Bild- und Textdokumenten sowie geomorphologischer, dendrochronologischer und archäologischer Evidenz bildet den entscheidenden Schlüssel zum Vergleich der rezenten und künftigen mit vorindustriellen Gletscherständen. Darüber hinaus nimmt die Vermessung und Dokumentation von Gletscherlängenänderungen eine zentrale didaktische Rolle ein: Involvierte Beobachter machen nationale Institutionen und Alpenvereine zu Akteuren und aufbereitete Resultate machen den Klimawandel für die Öffentlichkeit sichtbar – in der Form eines Gletscherlehrpfades gar begehbar.

Den Herausgebern dieses Buches und dem ganzen Netzwerk von Beobachtern gilt Anerkennung und Dank für ihr langjähriges Engagement bei der Erhebung, Sammlung und der Verbreitung der gewonnenen Daten und Resultate. Sie leisten damit einen wichtigen Beitrag nicht nur auf der nationalen Ebene, sondern auch zur internationalen Klimabeobachtung im Rahmen der Vereinten Nationen.

Geleitwort Dr. Andreas Ermacora, Präsident des Österreichischen Alpenvereins



Jahr für Jahr ist die Veröffentlichung des Gletscherberichts im Frühjahr für den Alpenverein ein Höhepunkt an öffentlichem Interesse. Seit mittlerweile 125 Jahren zeigen die vom Alpenverein durchgeführten Messungen eindrucksvoll die Veränderungen, die in mehr als einem Jahrhundert stattgefunden haben. Die Messreihe zählt zu der längsten und am besten dokumentierten weltweit und ermöglicht Rückschlüsse auf Klimaveränderungen. Durch die drastischen Rückgänge der Gletscher in den letzten Jahrzehnten

und den Diskussionen über den Klimawandel verstärkt sich dieses Interesse immer mehr.

Das vorliegende Buch zeigt, wie intensiv sich schon unsere Vorgänger mit diesen Phänomenen beschäftigt haben. 1846 setzte Friedrich Simony die ersten Gletschermarken zur systematischen Messung der Gletscherbewegungen. 1849 trug sich Franz Senn, damals noch Gymnasiast, ins Venter Gästebuch ein, wohl um, wie so viele andere, den Gletschervorstoß ins Rofental zu betrachten. Auch Carl von Sonklar, Leopold von Pfandner und viele andere widmeten sich den Gletscherphänomenen – alles Namen, die mit der Gründung des Alpenvereins in engstem Zusammenhang stehen.

Es ist daher nicht verwunderlich, dass die Gletscherforschung auch im Alpenverein betrieben wurde. Hier dauerte es allerdings eine ganze Generation, bis jene Systematik in die weitgehend privat betriebenen Forschungen gebracht wurde, die den Gletschermessungen des Alpenvereins ihre Grundlage gaben. Eduard Richter, der dem Alpenverein selbst von 1883 bis 1885 als Präsident vorstand, war es, der mit großer Zielstrebigkeit und weiser Voraussicht daran gearbeitet hatte.

Neben den regelmäßigen Messungen der Gletschervorstöße und –rückgänge widmete sich der Alpenverein auch der Mitarbeit an grundlegenden Forschungen zur Glazialgeologie. Grundlegende Werke hatten hier ihren Ursprung.

Die heutige Form der Veröffentlichung der jährlichen Gletscherberichte geht auf Raimund von Klebelsberg zurück, der über Jahrzehnte hinweg die Gletschermessung betreute, gefolgt von Hans Kinzl, Gernot Patzelt und Andrea Fischer. Ihnen gebührt ein ganz besonderer Dank verbunden mit großer Hochachtung für eine außerordentliche

ehrenamtliche Leistung. Eine ebenso getreue, langjährige Mitarbeit, die für hohe Kontinuität und Verlässlichkeit der Arbeit sorgen, leisten die vielen ebenso ehrenamtlich tätigen Vermesser der einzelnen Gletscher, im Verein als „Gletscherknechte“ bekannt. Ihnen allen gilt der Dank des Alpenvereins, gilt mein Dank als Präsident.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
	Andrea Fischer	
1.1	Wie das Klima die Gletscher beeinflusst	3
2	Die Längenmessungen des Alpenvereins an Ostalpengletschern	7
	Gernot Patzelt	
2.1	Einleitung	7
2.2	Die Gletschermessungen und ihre Auswertung	8
2.3	Ergebnisse	9
2.4	Die Temperaturentwicklung seit 1901	14
2.5	Abschließende Bemerkungen	14
	Literatur	15
3	Der Gletschermessdienst und die wissenschaftliche Forschung als Ziel des Alpenvereins	17
	Martin AchRAINER	
3.1	Frühe Veröffentlichungen des Alpenvereins	18
3.2	Steigendes Interesse	18
3.3	Zwischenspiel: Das Gletscherforschungsprojekt von Richard Issler und Arthur Simony	20
3.4	„Wünsche und Projecte wachsen mir auf wie Unkraut“: Eduard Richters stetiges Mühen	21
3.5	Das Vernagt Ferner-Projekt	23
3.6	Institutionalisierung: Kontinuität durch Gletscherkommission und Wissenschaftlichen Ausschuss	24
3.7	1891 – Gründungsjahr des Gletschermessdienstes	25
3.8	Resultate	28
	Literatur	29

4 Die Pasterze, Österreichs größter Gletscher, und seine lange Messreihe in einer Ära massiven Gletscherschwundes	31
Gerhard Karl Lieb und Andreas Kellerer-Pirklbauer	
4.1 Einige Grundtatsachen zur Pasterze und ihre besondere Wertschätzung...	31
4.2 Die Erforschungsgeschichte der Pasterze	34
4.3 Die Geschichte der Gletschermessungen	34
4.4 Methoden, Messergebnisse und Interpretationen	36
4.5 Auswirkungen des Gletscherschwundes	42
4.6 Fazit und Ausblick in die Zukunft	48
Literatur	49
5 Die Geschichte der Gletscherbeobachtung und -messung in den Österreichischen Alpen	53
Günther Groß	
5.1 Einleitung	53
5.2 Die ersten Gletscherbeobachter	53
5.3 Die Vorläufer des Gletschermessdienstes	58
5.4 Eduard Richter (1847–1905), Sebastian Finsterwalder (1862–1951) und der Alpenverein als Verfechter und Förderer von Gletscheraufnahmen und Gletschermessungen	59
5.5 Gründung des Gletschermessdienstes, Gletscherkommission, Eduard-Richter-Stiftung, Gletscherkurse	62
5.6 Gletschermarkenverzeichnisse, Gletschermessarchiv	65
5.7 125 Jahre Gletschermessdienst	68
5.8 Die Gletschermesser und ihre Messgebiete	75
Literatur	93
6 Die Bedeutung historischer und aktueller Gletscherforschungen des Alpenvereins für die Geowissenschaften	97
Andrea Fischer	
6.1 Anteil der österreichischen Längenmessungen in weltweiten Datenbanken	99
6.2 Beitrag der Längenmessungen zu aktuellen Arbeiten	101
6.3 Historische Messungen und ihr Beitrag zur Entwicklung der Glaziologie	102
6.4 Herausforderungen für die Zukunft	111
Literatur	113
7 Bilder des Klimawandels: Ein Blick ins Archiv	117
Gebhard Bendler und Andrea Fischer	
7.1 Hallstätter Gletscher, Dachsteingebiet	120
7.2 Gosau Gletscher, Dachsteingebiet	122
7.3 Ödenwinkel Kees, Glocknergruppe	123
7.4 Obersulzbach Kees, Venedigergruppe	125

7.5	Mullwitz Kees, Venedigergebiet	127
7.6	Schlaten Kees, Venedigergebiet	127
7.7	Alpeiner Ferner, Stubaier Alpen	132
	Literatur	133
	Sachverzeichnis	135

Andrea Fischer

Gletscher, gelassen, gleißend und erhaben, fast majestätisch in größten Höhen thronend, faszinieren Menschen seit langer Zeit. Das oft fälschlicherweise als „ewiges Eis“ bezeichnete prägende Element der Hochgebirgslandschaft ist in Wirklichkeit einer der veränderlichsten Bestandteile der festen Erde. Nach den Gesetzen der Physik sind die Gletscher täglichen, jährlichen und langfristigen Änderungen unterworfen, die durch die Änderungen der Sonneneinstrahlung, aber auch durch die Änderungen der Zusammensetzung der Atmosphäre verursacht werden. Die aus der Ferne betrachtet scheinbare Unvergänglichkeit und Unveränderbarkeit der Gletscher hängt auch mit der ihnen innewohnenden Bedächtigkeit zusammen, zumindest im Vergleich zur Kürze und Sprunghaftigkeit eines Menschenlebens. Jäger, Hirten, Landwirte, Reisende und Alpinisten kamen als Erste in die Nähe des Unnahbaren, und lernten die lebensfeindlichen Eisriesen aus der Nähe kennen. Heute wissen wir mehr denn je über die Gletscher, die eine der letzten weißen Flecken auf den Karten der Alpen dargestellt hatten – und vieles davon verdanken wir den frühen Forschern, die sich vor mehr als hundert Jahren den Gletschern zugewendet hatten.

Das vorliegende Buch wurde zum Anlass des 125-jährigen Bestehens des Gletschermessdienstes des Alpenvereins zusammengestellt. Es enthält die historischen Hintergründe, die Ergebnisse und die Auswirkungen der wissenschaftlichen Forschungen auf die heutige Gletscher- und Klimaforschung. In der Einleitung werden einige Grundlagen der Gletscherkunde kurz zusammengefasst, die in [Kap. 7](#) mit Dokumenten aus dem Archiv des Alpenvereins illustriert werden. Gernot Patzelt, Geograph und langjähriger Leiter des Gletschermessdienstes, fasst in seinem Beitrag die Ergebnisse der Längenmessungen an österreichischen Gletschern zusammen ([Kap. 2](#)). Martin AchRAINER, Historiker beim Österreichischen Alpenverein, schildert in [Kap. 3](#) die Entwicklung des Alpenvereins

A. Fischer (✉)

Inst. f. Interdisz. Gebirgsforschung, Öst. Akad. d. Wissenschaften,
Innsbruck, Österreich

E-Mail: andrea.fischer@oeaw.ac.at

und seiner wissenschaftlichen Tätigkeit im Licht der damaligen Zeit. Es ist ja aus heutiger Sicht erstaunlich, dass die Beobachtung der Gletscher damals wie heute als ehrenamtliche Vereinstätigkeit durchgeführt wird. Die Erhebung vergleichbarer Messdaten, z. B. des Klimas und des Wasserhaushalts, wird heute ja überwiegend von staatlichen Organisationen durchgeführt. Diese wurden aber größtenteils später als der Alpenverein gegründet. Die heutigen staatlichen Dienste wie etwa die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und die hydrographischen Dienste der Länder übernahmen zum Teil Messreihen, die vom Alpenverein begründet wurden – allerdings nicht den Gletschermessdienst. Dieser widmete sich zu Beginn seiner Tätigkeit schon der heute noch durchgeführten regelmäßigen Beobachtung der Gletscherlängenänderung. Besonders in den ersten Jahrzehnten war aber auch die Entwicklung von Methoden und Theorien ein wichtiger Teil der wissenschaftlichen Tätigkeit des Vereins. Maßgebliche theoretische Beiträge stellen das Konzept der Eiszeiten, die Theorie des Fließens der Gletscher und die Grad-Tag-Methode der Berechnung der Gletscherschmelze dar. Günther Groß, Geograph und langjähriger Mitarbeiter beim Gletschermessdienst, fasst in [Kap. 5](#) die Geschichte des Gletschermessdienstes aus der Sicht der Gletscherforschung zusammen. Er beschreibt die Vorarbeiten und den Beginn des Gletschermessdienstes, dessen Tätigkeiten, die Forschungsgebiete und die handelnden Personen vom Beginn bis heute. Gerhard Karl Lieb und Andreas Kellerer-Pirklbauer langjährige Mitarbeiter des Gletschermessdienstes und Geographen an der Universität Graz, schildern in [Kap. 4](#) exemplarisch die Forschungen in ihrem Untersuchungsgebiet, dem Pasterzen Kees im Glocknergebiet. Die Pasterze ist der größte und auch einer der am besten erforschten Gletscher Österreichs. Andrea Fischer, Glaziologin und Leiterin des Gletschermessdienstes, zeigt in ihrem Beitrag auf, was die durch den Alpenverein geförderten Projekte in der historischen Entwicklung der Gletscher- und Klimaforschung bewirkt haben, und wie groß der Beitrag der heute erhobenen Daten ist ([Kap. 6](#)). Zur Abrundung der vorliegenden Zusammenfassung der Arbeiten des Gletschermessdienstes laden der Historiker Gebhard Bendler und Andrea Fischer zu einer Reise ins Archiv des Alpenvereins ein ([Kap. 7](#)). Beispiele für die begleitende Dokumentation der Längenmessungen, also Beschreibungen, Skizzen und Fotos, zeichnen ein Bild des Wandels der Gletscher. Die Bildvergleiche sind aus Sicht der Gletscherforschung kommentiert.

Gletschernamen

Die Benennung und Abgrenzung der Ostalpengletscher ist nicht immer eindeutig, und hat sich auch im Lauf der Zeit verändert. Innerhalb der deutschsprachigen Ostalpen gibt es unterschiedliche Bezeichnungen für Gletscher an sich (Von Ost nach West: Kees, Ferner und Gletscher), vor dem der Name des Gletschers in Zusammen- oder Getrennschreibung gesetzt ist. In den Grenzgebieten der unterschiedlichen Bezeichnungen des Gletschers kann der Name im Lauf der Zeit oder

in verschiedenen Quellen auch wechseln und die Schreibweise ändern (z. B. Jamtalferner oder Jamthal er Gletscher). Es gibt Gletscher mit mehreren Bezeichnungen, die sich entweder im Lauf der Zeit ändern (Karls-Eisfeld/Hallstätter Gletscher) oder auch gleichzeitig verwendet werden (Tuxer Ferner/Gefrorene Wand Kees). Als Sonderform können auch noch Teile eines Gletschers (unterschiedliche Zungen) eigene Bezeichnungen haben, wie etwa die östliche Zunge (Zettalunitzkees) des Äußeren Mullwitzkeeses. Das benachbarte Innere Mullwitzkees wird auch Rainerkees genannt, so haben wir hier für zwei Gletscher insgesamt vier Namen. Nicht alle dieser Namen sind in den heutigen Kartenwerken verzeichnet: der Eisjochferner in den Stubaiern Alpen, der ein Zufluss des Daunferners zum Schaufelferner ist und die westliche Zunge des Schaufelferners bildet, findet sich heute nur mehr als lokale Ortsbezeichnung unter Einheimischen und in der älteren Literatur. Eine eindeutige Zuordnung eines Gletschernamens zu einer Fläche findet sich nur im Österreichischen Gletscherinventar, dessen Bezeichnungen (in Getrennt-Schreibung) auch in den Berichten über die Längenmessungen nach 1970 verwendet wurden. Um das Suchen nach einzelnen Gletschern in diesem Buch zu erleichtern und konsistent zu den laufenden Veröffentlichungen der Längenänderungsdaten zu sein, wird auch in diesem Buch die Getrennt-Schreibung der Gletschernamen verwendet.

1.1 Wie das Klima die Gletscher beeinflusst

Gletscher sind bewegte Massen von Schnee, Firn und aus Schnee entstandenem Gletschereis. Es gibt sie an Stellen, an denen der im Winter gefallene Schnee im Sommer nicht schmilzt, sondern durch Schmelz- und Gefrierzyklen und der dabei erfolgten Verdichtung zu Firn und nach einigen Jahrzehnten zu Eis wird. Das Eis ist verformbar und fließt unter dem Einfluss der Schwerkraft talwärts. Wie weit der Gletscher ins Tal reicht, hängt vom Gelände und vom Klima ab. Ändert sich das Klima, ändert sich auch der Gletscher: Er besteht aus einem Nährgebiet, in dem er Masse gewinnt, und einem Zehrgebiet, in dem er Masse verliert ([Abb. 1.1](#)). Entspricht die Größe des Gletschers dem derzeitigen Klima, haben Nährgebiet und Zehrgebiet etwa das Verhältnis 2:1. Ändert sich das Klima, so ändert sich auch das Verhältnis zwischen Nähr- und Zehrgebiet, und in Folge die Gesamtfläche und Länge des Gletschers.

Bei hohen Temperaturen im Sommer und geringen Winterschneemengen schmilzt mehr Eis, als Schnee den Sommer überdauert. Die Gletscher gehen unter diesen Verhältnissen zurück. Niedrige Temperaturen während des Sommers, Sommerschneefälle und hohe Schneemengen während des Winters führen zu Vorstößen. Wie schnell die Gletscherzunge reagiert, hängt unter anderem von der Größe, Form und Oberflächenneigung des Gletschers ab. Große und flache Gletscher reagieren tendenziell weniger rasch als kleine und steile Gletscher.

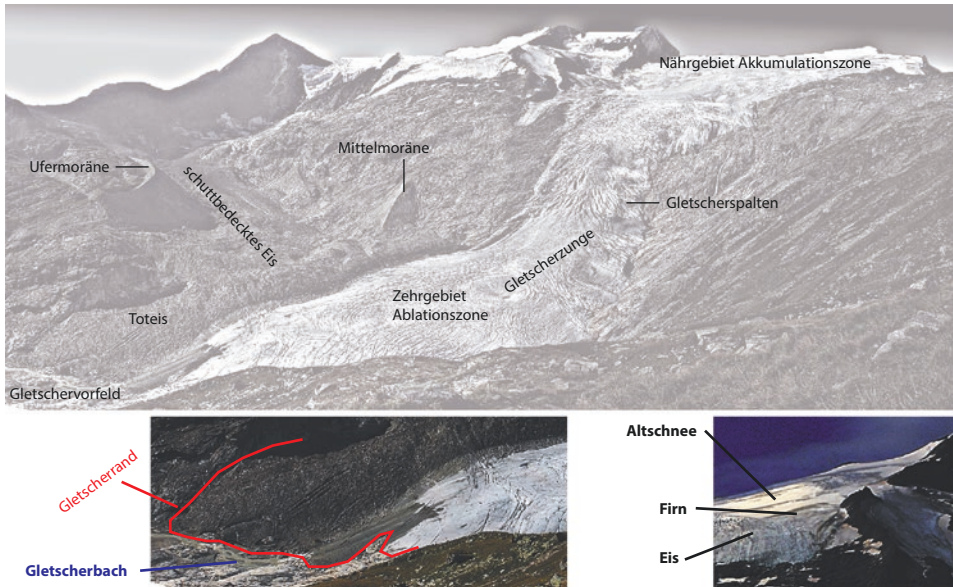


Abb. 1.1 Schematische Darstellung eines Gletschers am Beispiel des Schlaten Keeses im Venedigergebiet (siehe auch [Abbildungen 7.15](#) bis [7.18](#))

Der Einfluss der Witterung während eines Jahres auf den Gletscher wird durch die Massenbilanz beschrieben. Die Massenbilanz ([Abb. 1.2](#)) eines Gebirgsgletschers der Alpen ist die Summe des Gewinnes durch Schnee (Akkumulation), der binnen weniger Jahre zu Firn und binnen weniger Jahrzehnte zu Eis wird, und des Verlustes durch Schmelze (Ablation). Wenn im hydrologischen Jahr, also zwischen 1. Oktober und 30. September mehr Eis schmilzt als Winterschnee den Sommer überdauert, spricht man von einer negativen Massenbilanz. Ist die Massenbilanz eines Gletschers über mehrere Jahre negativ, verliert der Gletscher auch an Fläche. Der Gletscher befindet sich im Rückzug, die Länge des Gletschers nimmt ab und ebenso das Eisvolumen. Im Unterschied dazu ändert ein stationärer Gletscher seine Länge nicht (in der Definition des Gletschermessdienstes ändert sich die Länge um weniger als einen Meter). Dazu muss auch die Massenbilanz nahezu null sein. Um vorzustoßen, muss die Masse des Gletschers zunehmen (positive Massenbilanz). An der Zunge schmilzt dann weniger Eis, als von oben nachfließt – die Länge des Gletschers nimmt zu. Dieser Vorgang kann durch eine Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten und damit des Eisnachschubes zur Zunge verstärkt werden.

Beim Vorstoß des Eises werden Schutt und Felsen mittransportiert und wallförmig am Gletscherrand aufgeschoben. Es bilden sich sogenannte Moränenwälle, die nach dem Abschmelzen des Eises an der Position der größten Ausdehnung des Eisrandes liegen bleiben. Neben diesen Moränen sind auch Felsen, die mit dem Eis transportiert wurden (Findlinge), und Schleifspuren der Gletscher am Untergrund (Gletscherschliff) Zeiger früherer Gletscherausdehnungen ([Abb. 1.3](#)).