

Gletscherrückgang im Sulzenautal/Tirol

von Volker Beer

Schlüsselworte: Gletscher, Gletscherrückgang, Klima, Klimaänderung, Klimageschichte
Keywords: Glacier, glacier decrease, climate, climatic change, climatic history

Die Gletscher der Hochgebirge reagieren im Gegensatz zu den großen Eisschilden der Antarktis und Grönlands relativ schnell auf die Klimadynamik. Somit sind sie repräsentative Indikatoren veränderter Energiebilanzen.

Entsprechend den Prognosen aller renommierten, international anerkannten Forschungseinrichtungen wird die globale Durchschnittstemperatur bis zum Ende des laufenden Jahrhunderts um 1,4 bis 6,5 K ansteigen (Temperaturänderungen in K, Temperaturangaben wie beispielsweise eine Monatsmitteltemperatur in °C; Celsiuswert + 273,15 = Kelvinwert). Unvermeidbar ist ein Anstieg der Temperaturen um 2 bis 3 K. In den Hochlagen der Alpen wird der Temperaturanstieg 5 bis 7 K betragen. Den Aussagen der Klimaforschung zufolge werden die Gletscher der Alpen in der zweiten Hälfte des gegenwärtigen Jahrhunderts nahezu verschwinden, der Permafrostboden wird auftauen und die Wasserführung der vom Schmelzwasser der Gletscher gespeisten Flüsse wird zurückgehen. Die Folgen sind eine rasante Zunahme der Murenabgänge und Wassermangel in den Hochtälern, insbesondere im Sommer und Frühherbst. Unwetter und extreme Niederschlagsereignisse andererseits werden zu katastrophalen Überschwemmungen führen. In diesem Bericht werden ein Klimarückblick bis zur kleinen Eiszeit, der Gletscherrückgang des Sulzenaufeners/Stubaital/A der letzten 50 Jahre und weitere, auch für die alpine Klimaentwicklung interessante Aspekte dargelegt.

High mountains glaciers are known to react relatively quickly to climatic dynamics when compared to ice plates found in the Antarctic and in Greenland. Hence, their features serve as representative indicators of changing energy balances.

According to studies of all renowned, internationally accepted research institutes the average global temperature will rise by 1,4 to 6.5 K by the end of the 21st century (changes of temperature in K, temperature specifications as for example a average monthly temperature in °C). The increase of mean temperatures by 2 to 3 K is unavoidable. In the higher regions of the Alps, moreover, temperatures are likely to rise by 5 to 7 K. As stated by modern climate research most glaciers of the Alps will disappear in the second half of this century, permafrost soil will thaw and rivers fed by melting waters of the glaciers will constantly diminish in size. Consequently, the rate of mudflows will grow rapidly and water shortage will occur in the high valleys, especially during summer and early autumn. Severe thunderstorms and extreme precipitation, on the other hand, will result in catastrophic floodings.

This report outlines a climate review up to the little ice age and discusses the glacier decline of Sulzenaufener/Stubaital/A during the last 50 years as well as further interesting aspects of the alpine climate change.

Einführung:

Faszinierend ist die Bergnatur im oberen Sulzenautal/Stubaital/A. Dort liegt auch eine malerische Berg-
hütte, die Sulzenauhütte. Hütteneigentümer ist die DAV – Sektion Leipzig. Als Mitglied eben dieser
Sektion verbringe ich den Sommer oftmals bei der Hütte, beispielsweise auf verschiedenen Arbeitsein-
sätzen zur Gebietsbetreuung. So regte ich in den letzten Jahren die Anlage eines Alpinums an. Es be-
findet sich auf einer artenreichen Bergwiese unmittelbar bei der Hütte. Zur Anlage dieses "In-situ-Pflan-
zengartens" versetzte ich nicht die Pflanzen, sondern brachte die kleinen Schilder mit den Bezeich-
nungen zu den ohnehin auf der Bergwiese gedeihenden Pflanzen. Eine Infotafel zum Alpinum ist bei
der Hütte angebracht. Weiterhin wurde im Juli 2012, entsprechend dem im vorliegenden Artikel zi-
tierten Zahlenmaterial, der Gletscherrückgang des Sulzenaufernes der zurückliegenden letzten 10 Jahre
durch Anbringen von Jahreszahlen im Gelände sichtbar gemacht.

Das Ende der kleinen Eiszeit (s.u.) fällt mit wesentlichen technischen Erfindungen und Entwicklun-
gen zusammen. So wurde die Meteorologie in die Lage versetzt, exakte Messungen auszuführen. Gleich-
zeitig fand von England und Westeuropa ausgehend, die industrielle Revolution statt. Die Erfindung der
Dampfmaschine (1712 durch den englischen Konstrukteur Thomas Newcomen) ermöglichte die Ein-
führung der industriellen Produktion! Damit wurden fossile Bodenschätze (Kohle, Erze) in bisher nie
da gewesener Menge ausgebeutet. Seitdem gewinnen wir über lange Zeiträume mit den fossilen Brenn-

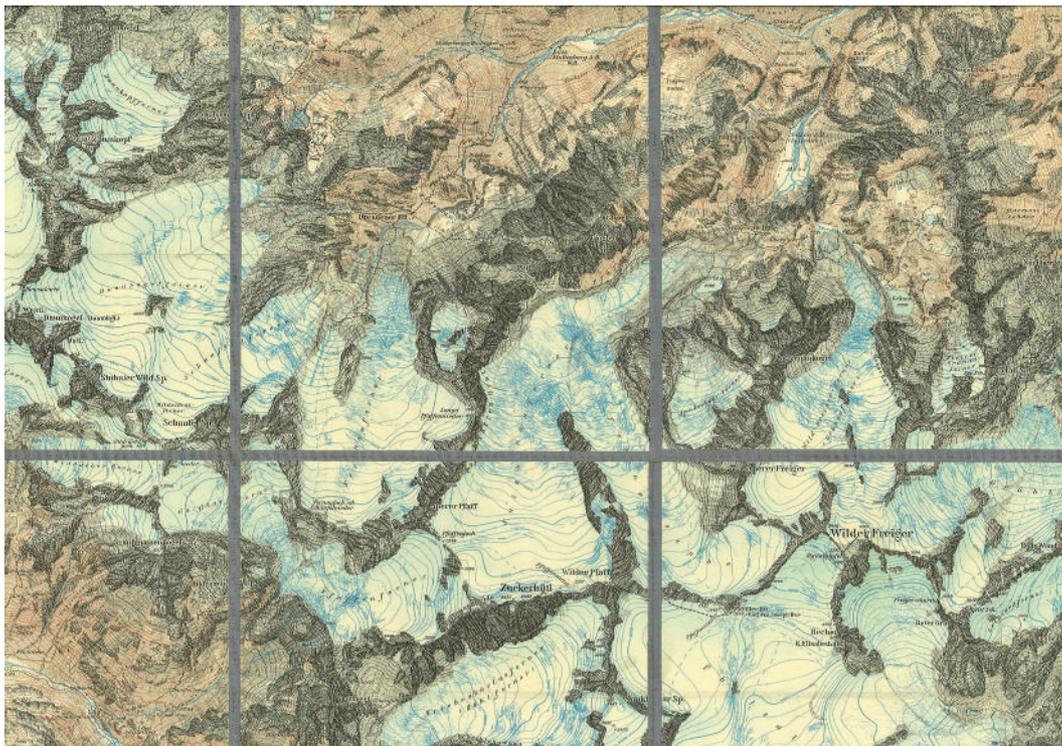


Abb. 1: Kartenausschnitt des Sulzenautales/Stubaieralpen. (Alpenvereinskarte Stubaieralpen Hochstubaier, Blatt 31/1; 1. Ausgabe 1937; 1 : 25.000). (Quelle: Ausschnitt aus der Alpenvereinskarte Stubaieralpen – Hochstubaier. Mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Alpenvereins und des Österreichischen Alpenvereins).

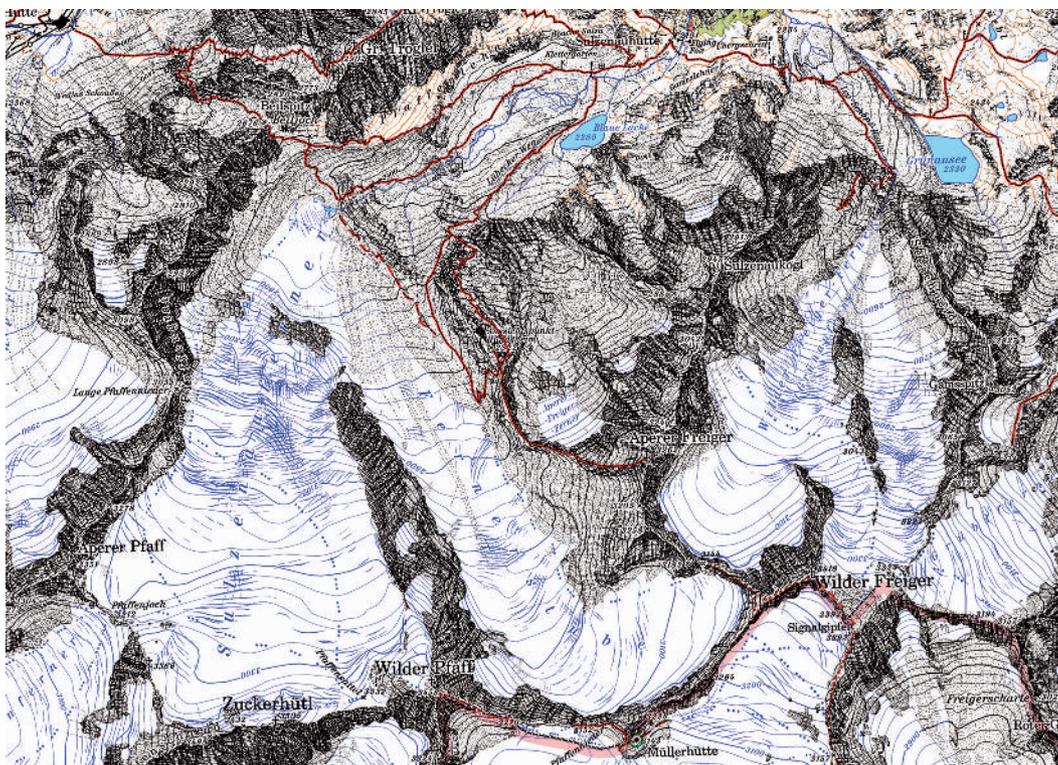


Abb. 2: Im Vergleich zur Abb. 1 aktueller Kartenausschnitt des Sulzenautales/Stubaieralpen. (Alpenvereinskarte Stubaier Alpen Hochstubai, Blatt 31/1; Ausgabe 2011; 1 : 25.000). Man erkennt in der Karte von 2011 gegenüber der Darstellung von 1937, also ca. 75 Jahre später, deutlich den erheblichen Gletscherlängenrückgang und den großen ausgeaperten Felsriegel in der Mitte des Sulzenaufeners. (Quelle: Ausschnitt aus der Alpenvereinskarte Stubaier Alpen – Hochstubai. Mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Alpenvereins und des Österreichischen Alpenvereins).

stoffen Unmengen an Energie. Deren Emissionen, vor allem die klimaschädlichen, erreichten noch nie da gewesene Rekorde, wodurch wir seit längerem unser Klima massiv beeinflussen und damit weltweit auch die Gletscher. Die bereits stattfindenden Veränderungen des Klimas stellen Politik und Wirtschaft, Forschung und Gesellschaft aller Staaten und Bündnisse vor enorm große Herausforderungen.

Lage des Gebiets:

Das Sulzenautal ist ein Seitental des vom malerischen Bergort Neustift dominierten Unterbergtales im Stubai. Westlich wird das Sulzenautal durch den Pfaffenknollen (2478 m), den Kleinen Trögler (2885 m), den Großen Trögler (2902 m), Beiljoch (2676 m), Lange Pfaffenieder (3055 m) und den Aperen Pfaff (3351 m) vom Fernautal mit der Dresdner Hütte und der Stubaier Gletscherbahn getrennt. Die östliche Begrenzung zum Längental mit der Nürnberger Hütte bilden Knollen (2525 m), Mairspitz (2781 m), Niederl (2680 m), Urfallspitz (2808 m) und Seescharte (2762 m). Im Süden bilden Gamspitzl (3052 m), Wilder Freiger (3418 m), Wilder Pfaff (3458 m) und Zuckerhüt (3505 m) den grandiosen Talabschluss, im Talkessel des Sulzaubaches liegt die Sulzenauhütte (2191 m) der DAV – Sektion Leipzig.

Einer der größten Gletscher der Stubai Alpen ist der Sulzenaufener. Er fließt von den Nordflanken des Zuckerrüts in den oberen Bereich des Sulzenautals. Ein eindrucksvoller Eisbruch zwischen 2600 und 2700 m Höhe dominierte den Gletscher. Von weiten Teilen des Stubaitales ist der Gletscher sichtbar und verleiht der Region ihr hochalpines Aussehen. Seit dem Ende der "Kleinen Eiszeit" in welcher der Gletscher seinen letzten Hochstand erreichte, verliert er an Länge und Mächtigkeit. Seit Mitte der 1990er Jahre wird im Eisbruch ein Felsenfenster sichtbar. Dieses verbreiterte sich in den letzten Jahren dramatisch und seit Oktober 2011 ist ein Felsriegel, an dessen östlicher und westlicher Begrenzung einige Eisreste hängen, zu sehen. Im Zungenbereich vereinigte sich der Sulzenaufener mit der Fernerstube, die von der Westseite des Aperen Freigers herabfließt.

Im Grünautal, einem kleinen Hochtal, das im oberen Bereich des Sulzenautals in östlicher Richtung abzweigt, finden sich weitere Gletscher. So der Grünaufener, der von den Nordhängen des Wilden Freigers herab zieht und der kleine Freigerfener, der unterhalb des Aperen Freigers in dessen Nordhängen liegt.

Klimatische Ausgangslage:

Die Gletscher der Hochgebirge reagieren im Gegensatz zu den großen Eisschilden der Antarktis und Grönlands relativ schnell auf die Klimadynamik. Somit sind sie repräsentative Indikatoren veränderter Energiebilanzen. Der fast weltweite Rückzug der Gletscher gehört zu den sichersten Anzeichen, dass sich das Klima der Erde seit dem Ende der "Kleinen Eiszeit" bereits deutlich verändert hat. Neben den Alpengletschern erlitten die Gletscher der Anden und der Rocky Mountains besonders hohe Verluste. Im Gegensatz dazu weisen manche Gletscher Norwegens durch vermehrte Winterniederschläge massive Gewinne auf. Der Gletscherrückgang in den Alpen betrug zwischen etwa 1850 und den 1970er Jahren bereits ein Drittel ihrer Fläche und die Hälfte der Masse. Seit 1980 sind nochmals etwa 10 – 20% der Fläche verlorengegangen. Es kann davon ausgegangen werden, dass es bereits im ersten Drittel des 21. Jahrhunderts zu einem deutlichen Zerfall der Gletscher in den Alpen kommen wird. Insgesamt werden nach Prognosen der Klimaexperten um 2035 über die Hälfte und nach der Mitte des Jahrhunderts bereits nahezu alle heutigen Gletscher geschmolzen sein.

Zum Ende der Kleinen Eiszeit, die um 1750 und zuletzt um 1850 zu massiven Vorstößen der Gletscher führte, erreichten die Gletscher ihren letzten Höchststand. Seit dieser Zeit gehen die Gletscher zurück. Der Gletscherrückgang wurde durch zwei kleinere Vorstöße in den Jahren um 1920 und nach 1970 unterbrochen. Seit den 1980er Jahren ist ein deutlicher Rückgang der Gletscher zu verzeichnen. Dieser Rückgang betrifft die gesamte Alpenregion und kann, abgesehen von wenigen Ausnahmen, weltweit beobachtet werden. Gleichzeitig wird eine weltweite Temperaturerhöhung um 0,8 K, (Temperaturänderungen in K, Temperaturangaben wie beispielsweise eine Monatsmitteltemperatur in °C) im Alpenraum gar um 1,5 K verzeichnet. Damit verbunden ist ein Anstieg der mittleren sommerlichen Frostgrenze von einer Höhenlage um 2800 m NN auf über 3000 m NN.

Die Gletscher wachsen, wenn innerhalb des Jahres mehr Schnee fällt als abschmilzt. Fällt infolge der ansteigenden Frostgrenze mehr und mehr Niederschlag in Form von Regen, liegen die Temperaturen im Bereich der Gletscher immer öfter und länger im positiven Bereich, so schmelzen die Gletscher ab. Aufgrund der komplexen Zusammenhänge zwischen den Reaktionen der Gletscher und dem Klima

sind die beobachtbaren Veränderungen uneinheitlich. Nicht zuletzt sei daran erinnert, dass systematische meteorologische Messungen erst seit etwa 200 Jahren möglich sind.

Historische Entwicklung der Meteorologie:

Die Erfindung der meteorologischen Instrumente erfolgte in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts. Galileo Galilei (1564 – 1642), bedeutendster Physiker und Astronom seiner Zeit, beschäftigte sich auch mit Wasserpumpen und der Frage, ob der Luft ein Gewicht, ein "Luftdruck" zuzuordnen sei. Er erkannte, dass eine Saugpumpe Wasser nur um etwa 10 m heben kann. Er vermutete, dass im Gegensatz zur damals anerkannten Theorie des "Horror vacui", nach der die Natur keinen leeren Raum duldet, das Gewicht der Luft, also der Luftdruck die Ursache der begrenzten Saugleistung sei. Nach seinem Tod führten der italienische Mathematiker Vincenzo Viviani (1622 – 1703) und der Schüler Galileis, Evangelista Torricelli (1608 – 1647) Versuche mit Quecksilber gefüllten Glasrohren durch. Quecksilber ist 13,6 mal schwerer als Wasser und kann daher nur um etwa 75 cm angesaugt werden. Sie tauchten ein mit Quecksilber gefülltes Rohr mit der Öffnung nach unten in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß. Die Quecksilbersäule sinkt im Rohr auf 76 cm, darüber befindet sich im Rohr ein Vakuum. Wird der Stand des Quecksilbers über einige Zeit beobachtet, schwankt dieser. Ursache sind die natürlichen Luftdruckschwankungen unserer Atmosphäre. Das Barometer war erfunden, auch wenn dieser Begriff erst 1666 durch den Physiker Robert Boyle (1627 – 1691) eingeführt wurde. Unabhängig davon führte der Physiker, Ingenieur und Bürgermeister von Magdeburg Otto von Guericke (1602 – 1686) Vakuumversuche durch (Magdeburger Halbkugeln). Er erfand die Luftpumpe und konstruierte ein Wasserbarometer mit dessen Hilfe er die täglichen Luftdruckänderungen beobachtete.

In die gleiche Zeit fällt die Entwicklung des Thermometers. Um 1611 wurde von Galilei ein mit Flüssigkeit (Weingeist) gefülltes, aber nicht skaliertes Thermometer entwickelt. Erst etwa einhundert Jahre später wurden 1714 durch den Physiker Gabriel Daniel Fahrenheit (1686 – 1736) untereinander vergleichbare, mit Weingeist gefüllte, und 10 Jahre später mit Quecksilber gefüllte, skalierte Thermometer hergestellt. Die heute gebräuchliche Temperaturskala (°C) wurde seit etwa 1710 in Schweden angewandt. Um 1740 wurde diese durch den Astronom und Physiker Anders Celsius (1701 – 1744) verbreitet.

Das erste meteorologische Messnetz wurde im Jahr 1780 durch die Pfälzer Meteorologische Gesellschaft geschaffen. Diese Gesellschaft erarbeitete einheitliche Messkriterien, erwarb die für jene Zeit besten Messinstrumente und versandte diese an die Beobachter. Es gab 14 Stationen in Deutschland. Darunter das meteorologische Observatorium auf dem Hohenpeißenberg, der ältesten Bergwetterwarte der Erde mit einer seit 1781 nahezu ununterbrochenen Beobachtungsreihe. 19 Stationen gab es in Österreich-Ungarn, der Schweiz, Italien, Frankreich, Belgien und Skandinavien zusammen. In Russland gab es drei Stationen (Moskau, St. Petersburg und Pyschminsk/Ural). Sogar in Übersee gab es drei Stationen. Eine Station auf Grönland und zwei in Nordamerika (Bradford, Cambridge). Es begann die systematische Aufzeichnung meteorologischer Daten. Aber es gab häufig Rückschläge und Unterbrechungen der Messreihen, oftmals über viele Jahrzehnte. Am 14. August 1872 fand in Leipzig die erste Internationale Meteorologenversammlung statt. Es gelang jedoch noch nicht eine internationale meteorologische Institution zu gründen. Erst 1962 wurde die WMO (World Meteorological Organization) gegründet und ein Jahr später in Genf bestätigt.

Klimarückblick auf Europa der letzten 7000 Jahre:

Die strahlendste Warmzeit erlebte Europa zwischen 5600 v. Chr. und 500 v. Chr. Die Alpen und Skandinavien waren nahezu gletscherfrei, heute tief vergletscherte Alpenpässe dienten als Handelswege (Ötzi lässt grüßen, als er da oben der Jagd nachging, gab es anstelle der Gletscher höchstens ein paar "Schneepfützen"). Die Sommer waren schätzungsweise um 4K wärmer als heute! In Grönland war ein breiter Küstenstreifen grün und fruchtbar. Der Kontinent wurde besiedelt.

Im Zeitraum von etwa 900 bis 1300 herrschte in Europa ein wesentlich milderer Klima als heute. Relativ kurze und milde Winter verlängerten die Vegetationsperiode und zwischen 1000 und 1200 dominierte in Europa eine beispiellose Schönwetterperiode. In Schottlands Bergen gedieh der Wein, Grönlands Küste war grün und zwischen Grönland und Island gab es kein Treibeis.

Von 1300 bis 1900 herrschte in Europa ein relativ kaltes Klima. Kennzeichnend waren strenge, lange und schneereiche Winter. Unterbrochen wurde diese Periode durch eine ausgesprochen warme Episode um 1540. Folgendes wird berichtet: " ... Das außergewöhnlichste der letzten 1000 Jahre aber war das "Große Sommerjahr" 1540 mit 10 Monaten Mittelmeerklima in Mitteleuropa. ... Von Februar bis Dezember fiel in Basel nur an 10 Tagen Regen, von Mitte März bis Ende September gab es in 26 Wochen nur an 6 Tagen etwas "Tropfregen". " (GLASER 2001, PFISTER 1985). Der Sommer 1540 war weitaus wärmer und trockener als der sogenannte Jahrtausendsommer 2003.

Es fiel in den Alpen deutlich mehr Schnee als in den kühlen, kurzen Sommern abtauen konnte. Daraus folgte das Vorrücken der Gletscher. Ein Höhepunkt der Gletschervorstöße lag im Zeitraum 1550 bis 1650. Siedlungen wurden im Alpenraum und in weiten Teilen Nordeuropas aufgrund der ungünstigen klimatischen Bedingungen für Jahrhunderte aufgegeben. Der maximale Gletscherstand der Alpengletscher wurde bei einem zweiten Gletschervorstoß im Jahrzehnt zwischen 1750 und 1760 erreicht. Die Baumgrenze der mitteleuropäischen Gebirge sank auf etwa 1000m NN. Höher gelegene Wälder wurden durch die ungünstige Witterung katastrophal vernichtet und verdrängt. Diese "Kleine Eiszeit" endete um 1850 mit letzten Gletschervorstößen. Gegen Ende des 18. Jahrhundert und gegen Mitte des 19. Jahrhundert erreichte die Dauer der völligen Vereisung der isländischen Küste etwa 10 bis 15 Wochen pro Jahr. Um 1930 vereiste die Küste nur noch für etwa 2 Wochen pro Jahr.

Gegenwärtig erleben wir das Ende dieser "Kleinen Eiszeit". Klimaschwankungen gab es in weitaus größerem Umfang als die gegenwärtige, heiß diskutierte Klimaerwärmung. Wie neueste dendrochronologische Untersuchungen, Pollenanalysen und Isotopenuntersuchungen von Eis- und Bohrkernen ergaben, spielten sich bereits in der geologischen Vergangenheit Klimaänderungen von einigen Grad Kelvin auch innerhalb weniger Jahrzehnte ab.

Witterungseinflüsse auf Gletscher:

Gletscher schmelzen nur, wenn sie die erforderliche Schmelzenergie der Umgebung entziehen können. Das geschieht aus der Sonneneinstrahlung und aus der umgebenden Atmosphäre. Die Menge an aufgenommener Sonnenenergie wird durch die Oberflächenfarbe des Gletschers bestimmt. Ist der Gletscher beispielsweise nach Neuschnee makellos weiß, so reflektiert er um die 90% der einfallenden

Sonnenstrahlung. Je dunkler der Gletscher, umso mehr Sonnenenergie wird absorbiert, umso stärker schmilzt er. Ist beispielsweise nach einer langen sommerlichen Schönwetterperiode der Gletscher von einer dunklen, aber dünnen Schluff- und Staubschicht bedeckt, werden über 80 % der einfallenden Sonnenenergie absorbiert. Im Gegensatz dazu schützt eine dicke Schuttdecke das darunter liegende Eis vor der direkten Sonneneinstrahlung. Es schmilzt langsamer. Auch der Stand der Sonne im Tages- als auch Jahresgang hat Einfluss auf das Schmelzverhalten der Gletscher. Je steiler, also je höher die Sonne steht, umso mehr Sonnenenergie erreicht die Gletscheroberfläche. Bewölkung verringert die direkte Sonneneinstrahlung, hemmt aber auch die nächtliche Abstrahlung.

Auch der Umgebungsluft wird Schmelzwärme entzogen. Unmittelbar über dem Eis kühlt die Luft ab und damit verlangsamt sich der Schmelzprozess. Weht ein kräftiger, warmer Wind, wird die dünne abgekühlte Luftschicht ständig durch neue, warme Luft ersetzt und der Gletscher schmilzt schneller.

Regnet es auf den Gletscher, schmilzt er schnell ab, da Wasser eine sehr hohe spezifische Wärmekapazität aufweist, also reichlich Energie für den Schmelzvorgang enthält. Auch der Wasserdampfgehalt der Luft beeinflusst das Schmelzverhalten des Gletschers. Je wärmer die Luft, umso mehr Wasserdampf kann sie aufnehmen. Im Sommer ist das die 10 bis 20fache Menge als im Winter. Kühlt die Luft über dem Gletscher durch Wärmeentzug für den Schmelzvorgang ab, wird der Taupunkt erreicht. Das Wasser kondensiert, gibt Kondensationswärme ab, schlägt sich auf dem Gletscher nieder. Der Gletscher wird gefährlich glatt und schmilzt stärker.

Anders verhält es sich in sehr trockener Luft. Das Eis verdunstet direkt von der Oberfläche. Auch hierfür ist Energie erforderlich. Das Eis verändert seine Oberflächenstruktur. Es wird heller und reflektiert somit mehr Sonnenlicht. Auch wird die Oberfläche rauer. Im Bereich dieser rauen Oberfläche kann sich abgekühlte oberflächennahe Luft besser etablieren, als über glatter Oberfläche. Solche Strukturen ("Büßerschnee") kann man in ariden Hochgebirgen wie dem Pamir und den Anden vorfinden. Das Eis schmilzt langsamer.

Weiterhin wird zwischen Nähr- und Zehrgebieten innerhalb eines Gletschers unterschieden. Im oberen Bereich, wo das Klima am kältesten ist und die Niederschläge nahezu über das ganze Jahr als Schnee fallen, spricht man vom Nährgebiet. Die tieferen Bereiche eines Gletschers sind das Zehrgebiet. Das Gletschereis fließt ständig aus dem Nährgebiet talwärts ab. Steigen die mittleren Temperaturen, fallen im Sommer auch in großen Höhen die Niederschläge vermehrt in flüssiger Form, verringert sich das Nährgebiet, der Gletscher schrumpft.

Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind, Niederschlagsart und -menge sowie die Strahlungsverhältnisse, direkte Sonneneinstrahlung, Bewölkung wirken auf den Gletscher und bestimmen komplex neben geographischen Faktoren wie Lage, Höhe, Größe des Einzugsgebietes, Expositionen und Hangneigungen, Beschaffenheit des Untergrundes und des angrenzenden Geländes das Verhalten des Gletschers. Der Gletscher reagiert seinerzeit zeitlich verzögert mit Zuwachs oder Abnahme auf diese Faktorenmatrix. Daher ist es nicht möglich, aus einem Witterungsereignis (ein schneereicher Winter oder ein heißer, sonniger Sommer) Schlüsse auf das zukünftige Geschehen am Gletscher zu ziehen.

Der Sulzenaugletscher in den zurückliegenden 50 Jahren:

In der Mitte des 19. Jahrhunderts begann die Messung der Längenänderung einiger Gletscher in den Alpen. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts umfasste das Messprogramm schon über 100 Gletscher. Diese jeweils im September und Oktober erfolgten Messungen werden in Österreich größtenteils von Freiwilligen durchgeführt. Der Berichtszeitraum der Gletscherberichte umfasst somit stets den Zeitraum von September/Oktober bis September des Folgejahres. Die Längenänderungen werden jährlich im Gletscherbericht des Österreichischen Alpenvereins (OeAV) dokumentiert. Bis 2009 dokumentierte Prof. Dr. Gernot Patzelt/Universität Innsbruck 29 Jahre lang die Gletschermessungen des OeAV. Veröffentlicht wird der Gletscherbericht im "Bergauf – Magazin des Österreichischen Alpenvereins" und im "Panorama-Magazin des Deutschen Alpenvereins". Diese wurden für die vorliegende Arbeit bis zum Jahr 1953 recherchiert.

Wer in den letzten Jahren über den Wilde – Wasser - Weg zum Sulzenauferner aufstieg, konnte und kann beobachten, das sich der Gletscher – wie andernorts auch – mehr und mehr zurückzieht. Wo sich noch vor einigen Jahren das blauschillernde Eis wölbte, liegt heute von Spalten zerrissenes Toteis. Der prächtige Eisfall an der Felsstufe wich einem sich jährlich vergrößerndem Felsenfenster, das schon 2012 zum den Gletscher begrenzenden Felsriegel werden könnte. Der Einfluss des Klimas ist unbestritten.



Abb. 3: Historische Aufnahme des Sulzenauferner/Stubai Alpen/A vom 23.8.1944. (Bildquelle: Messbild von unbekanntem Autor; zur Verfügung gestellt vom Oesterreichischen Alpenverein/Gletscherbericht 2007/2008, Bergauf 2-2009).

Wie viel Schnee fällt alljährlich im Einzugsgebiet des Sulzenaufeners, an den Oberhängen und leicht geneigten Hochplateaus nördlich von Wildem Pfaff und Zuckerhüt? Auf welcher Höhe pegelt sich die sommerliche Frostgrenze ein? Wie verhält sich die Witterung im Zeitraum von einigen Jahren und Jahrzehnten?

Die Längenänderung ist ein Indikator, wie der Gletscher auf Klimaveränderungen reagiert. Gegenwärtig erleben wir ein Interglazial, eine Warmperiode. Derartige Warmperioden traten und treten immer wieder auf. Seit dem Ende der "Kleinen Eiszeit" mit ihren Gletschervorstößen um 1750 und 1850 ziehen sich die Gletscher zurück. Auch der Sulzenaufener. Dieser Rückgang erfolgt keinesfalls kontinuierlich, schon gar nicht exponentiell beschleunigt (wie manche Klimamodelle postulieren)!

Warme und auch trockene Sommer leiteten nach 1850 eine Periode des überwiegenden Gletscherrückganges und damit die Periode unseres aktuellen Klimas ein. Über einen Zeitraum von etwa 30 Jahren gingen die Gletscher zurück und hinterließen gut sichtbare End- und Seitenmoränen. Strenge Winter und kühle Sommer im Zeitraum von 1890 bis 1910 ließen die Gletscher bis zum Ende der zwanziger Jahre des letzten Jahrhunderts vorrücken. Historische Aufnahmen dokumentieren, dass der Sulzenaufener im Zeitraum 1930 bis 1950 das obere Sulzenautal ausfüllte (Abb: historische Aufnahmen 1, 3, 5; aktuelle Aufnahmen 2, 4, 6). Danach erfolgte ein verstärkter Rückgang der Gletscher im Sulzenau- und Grünaotal. Eine Serie kalter und schneereicher Winter zwischen 1970 und 1987 führte erneut zum Vorrücken dieser Gletscher. Auf-



Abb. 4: Aktuelle Aufnahme des Sulzenaufeners/Stubai Alpen/A von 2012. (Foto: Volker Beer, 1.7.2012, aufgenommen am östlichen Zustieg zum Kleinen Trögler; identischer Standort wie Abb. 3 von 1944).



Abb. 5: Historische Aufnahme des Sulzenaufeners/Stubaier Alpen/A von 1950. (Abdruck mit freundlicher Genehmigung des DAV-Archivs).



Abb. 6: Aktuelle Aufnahme des Sulzenaufeners/Stubaier Alpen/A von 2012. (Foto: Volker Beer, 1.7.2012, aufgenommen im Gipfelbereich des Kleinen Trögler; identischer Standort wie Abb. 5 von 1950).



Abb. 7: Kommentierte Aufnahme des Sulzenaufeners/Stubaier Alpen/A.
(Foto: Volker Beer, 1. 10.2011, aufgenommen von der Seitenmoräne beim Beiljoch).

fallend kalt waren im betreffenden Zeitraum die Jahre **1978, 1980 und 1985** (Tabelle 1). Besonders niederschlagsreich zeigten sich im gleichen Zeitraum die Jahre **1970, 1979, 1981 und 1987** (Tabelle 2). Von 1974 bis 1987 rückte der Sulzenaufener mit wenigen Ausnahmen der Stagnation oder eines geringen Rückzuges massiv vor. Im Jahr 1979 rückte der Sulzenaufener um 30,9 m und im Jahr 1982 um 24,8 m vor. Während der Jahre 1976 bis einschließlich 1984 rückte der Sulzenaufener jährlich um über 10 m bis knapp 31 m vor. Grünaufener und Freigerfener rückten im gleichen Zeitraum in ähnlichem, jedoch nicht so stark ausgeprägtem Umfang vor. Die Häufung kühler und niederschlagsreicher Jahre führte zu diesen Gletschervorstößen. Bis zur Gegenwart ziehen sich alle drei Gletscher wieder zurück.

Eine der längsten Temperaturmessreihen, die Innsbrucker Reihe (PISCH 2011; STATISTIK UND ZAHLEN DER STADT INNSBRUCK 2011) spiegelt die letzten beiden Gletschervorstöße des Sulzenaufeners wieder. Diese Temperaturmessreihe beginnt 1777 und zeigt bis 1834 extreme Schwankungen zwischen sehr kalten und sehr warmen Jahren. Für die Jahre 1835 bis 1906 liegen keine Daten vor. Jahresniederschlagssummen liegen ab 1856 vor. Wird der Zeitraum ab 1906 betrachtet, zeichnet sich ein schwankender Temperaturanstieg ab. Seit 1990 ist eine deutliche Erwärmung ablesbar. Jedoch verzeichnet diese Reihe für das Jahr 1791 eine Jahresmitteltemperatur von 11,7 °C, für das Jahr 1792 von 11,9 °C und für das Jahr 1793 von 12,6 °C. Derartige Rekordwerte wurden seither nicht mehr erreicht. Das kälteste Jahr der Messreihe ist das Jahr 1785 mit einer Jahresmitteltemperatur von 7,1 °C. Exakt der gleiche niedrige Wert wurde im Jahr 1956 eingestellt. Aus Tabelle 1 ist ersichtlich, dass einschließlich ab dem Jahr 2000 gehäuft warme Jahre auftraten, die Rekordhalter aber im 18. Jahrhundert liegen.

Tabelle 1: Die 20 wärmsten und die 20 kältesten Jahre der Innsbrucker Messreihe.
(PISCH 2011; STATISTIK UND ZAHLEN DER STADT INNSBRUCK 2011).

| Jahr | wärmste Jahresmitteltemperatur °C | Jahr | kälteste Jahresmitteltemperatur °C |
|-------------|--|-------------|---|
| 1793 | 12,6 | 1956 | 7,1 |
| 1792 | 11,9 | 1785 | 7,1 |
| 1791 | 11,7 | 1816 | 7,2 |
| 1810 | 11,1 | 1940 | 7,3 |
| 1822 | 11,0 | 1919 | 7,4 |
| 1994 | 10,8 | 1799 | 7,4 |
| 1811 | 10,8 | 1795 | 7,4 |
| 1790 | 10,7 | 1786 | 7,6 |
| 2002 | 10,6 | 1980 | 7,7 |
| 2007 | 10,5 | 1962 | 7,7 |
| 2000 | 10,5 | 1933 | 7,7 |
| 1809 | 10,5 | 1931 | 7,7 |
| 1806 | 10,4 | 1908 | 7,7 |
| 1804 | 10,3 | 1985 | 7,8 |
| 1778 | 10,3 | 1978 | 7,8 |
| 2008 | 10,2 | 1954 | 7,8 |
| 2003 | 10,2 | 1917 | 7,8 |
| 1801 | 10,2 | 1909 | 7,8 |
| 1777 | 10,2 | 1814 | 7,8 |
| 2009 | 10,1 | 1813 | 7,8 |

Betrachtet man das letzte Jahrzehnt, ist eine eindeutige Erwärmung erkennbar. Im einzelnen ergeben sich der folgende Witterungsverlauf und folgende Veränderungen der Gletscherlänge.

Winter 1999/2000: Am Alpenhauptkamm und nördlich davon fällt reichlich Schnee.

Sommer 2000: Die Temperaturen im Mai und Juni sind um 2 bis 3 K zu warm (Klimareferenzzeitraum 1961 bis 1990), im Juli etwas zu kühl und es fällt Neuschnee, im August ist die Witterung warm und trocken. Der Sulzenauferner schwindet um 7,4 Meter.

Winter 2000/01: Die Witterung zeigt sich ungewöhnlich niederschlagsreich. Es fällt die 4 – fache Menge der mittleren Niederschlagsmenge. Am Alpenhauptkamm werden Schneehöhen gemessen, wie sie seit Aufnahme der Messungen vor 47 Jahren in Obergurgl nicht verzeichnet wurden. Der Winter ist um 1,2 K zu warm.

Tabelle 2: Die 20 niederschlagreichsten und die 20 trockensten Jahre der Innsbrucker Messreihe. (PISCH 2011; STATISTIK UND ZAHLEN DER STADT INNSBRUCK 2011).

| Jahr | Niederschlagreichste Jahresniederschlagssumme (mm) | Jahr | Trockenste Jahresniederschlagssumme (mm) |
|-------------|---|-------------|---|
| 1966 | 1256 | 1857 | 468 |
| 1954 | 1213 | 1865 | 560 |
| 1916 | 1163 | 1887 | 618 |
| 1999 | 1158 | 1938 | 641 |
| 2000 | 1150 | 1947 | 661 |
| 1979 | 1135 | 1984 | 676 |
| 1970 | 1109 | 1895 | 694 |
| 1910 | 1087 | 1911 | 695 |
| 1987 | 1079 | 1932 | 696 |
| 1905 | 1070 | 1881 | 701 |
| 1897 | 1067 | 1963 | 715 |
| 1867 | 1060 | 1871 | 718 |
| 1944 | 1046 | 1908 | 719 |
| 1899 | 1035 | 1883 | 724 |
| 1885 | 1035 | 1994 | 727 |
| 1913 | 1031 | 2006 | 728 |
| 1872 | 1031 | 1892 | 729 |
| 1956 | 1027 | 1879 | 730 |
| 1877 | 1026 | 1959 | 731 |
| 1981 | 1023 | 1953 | 731 |

Sommer 2001: Die Temperaturen sind im Mittel um 0,6 K zu warm, aber es folgt ein um 3,5 bis 4,0 K zu kalter, schneereicher September. Der Sulzenauferner zieht sich nur um einen Meter zurück, eine Folge der ergiebigen Schneefälle.

Winter 2001/02 und Sommer 2002: Insgesamt sind die Temperaturen des Jahres um 1,1 K zu warm, überdurchschnittliche Schneemengen fallen im Frühwinter. Der Sulzenauferner verliert 10,5 Meter. Am Grünauferner wird ein Rekordrückgang von 35,0 Metern verzeichnet.

Winter 2002/03: Die Witterung verläuft durchschnittlich, jedoch im Oktober ist es kühl und schneereich.

Sommer 2003: Ungewöhnlich sonnig und warm verläuft die Witterung, insgesamt ist es um 3,3 K zu warm, im August ist es um 5,0 K zu warm. Trotz des wärmsten Sommers dieser Dekade verliert der Sulzenaugletscher "nur" 6,7 Meter.

Winter 2003/04: Es fallen unterdurchschnittliche Schneemengen.

Sommer 2004: Dieser verläuft relativ niederschlagsarm aber im August fällt reichlich Schnee. Der Sulzenaugletscher verkürzt sich um 2,0 Meter.

Winter 2004/05: Im Nordstau des Alpenhauptkammes fällt reichlich Schnee, im Bereich der Ötztaler und südlich fällt wenig Schnee.

Sommer 2005: Zunächst niederschlagsarm und zu warm, im August und September Neuschnee. Der Sulzenaufener verliert reichlich 7 Meter, der Grünaugletscher 20 Meter.

Winter 2005/06: Im Nordstau reichlich Schnee, Oktober und April zu mild, Dezember um 3,0 K zu kalt, insgesamt um 0,2 K zu kalt.

Sommer 2006: Im Mai und Juni fällt noch reichlich Neuschnee, im Juli ist es sonnig und zu warm. Im August um 2,5 K zu kalt und erneut fällt reichlich Neuschnee, der September ist um 3,5 K zu warm, insgesamt verläuft der Sommer um 1,6 K zu warm. Der Sulzenaufener verliert 7,3 Meter, der Grünaugletscher knapp 21 Meter.

Winter 2006/07: Mit einer Abweichung um 3,2 K vom Klimareferenzwert verläuft dieser deutlich zu warm. Die Temperaturen liegen im April um 5,5 K über dem Referenzwert. Es fielen nur 10% der mittleren Niederschlagsmenge.

Sommer 2007: Die Witterung ist um 0,9 K zu warm. Ab Ende August und im September und Oktober fällt Neuschnee. Der Sulzenaufener verkürzt sich um 10,1 Meter, der Grünaufener um 16,5 Meter.

Winter 2007/08: Einem kühlen Frühwinter mit überdurchschnittlichen Schneefällen folgt ein bis zu 3 K zu milder Hochwinter und kalter Spätwinter. Insgesamt verläuft die Witterung im Winter um 0,4 K zu mild.

Sommer 2008: Die Temperaturen in den Monaten Mai, Juni und August weisen deutlich positive Temperaturabweichungen auf. Im September zeigt sich die Witterung um 1,6 K zu kalt. Insgesamt ist der Sommer um 0,9 K zu warm. Der Sulzenaufener verliert 8,0 Meter.

Winter 2008/09: Mit einer positiven Abweichung von nur 0,2 K zeigte sich der Temperaturverlauf im Winter durchschnittlich, gleiches gilt für die Niederschlagsmengen.

Sommer 2009: Die Temperaturen lagen im April um 3,2 K, im Mai um 3,6 K und im August um 3,4 K über den Referenzwerten. Insgesamt lagen die Temperaturen des Sommers um 2,1 K über den Klimareferenzwerten. Im Mai fielen die Niederschläge bis in die Gipfellagen als Regen. Der Sulzenaufener schrumpft um 20,7 Meter, Reaktion auf den sehr warmen Sommer, verbunden mit dem Mairegen?

Winter 2009/10: Die Temperaturen liegen mit 0,6 K positiver Abweichung nur geringfügig über ihren Referenzwerten. Die Niederschlagsmengen entsprechen den Klimareferenzwerten.

Sommer 2010: Bis auf die Temperaturen im September lagen diese über den entsprechenden Klimareferenzwerten. Die Temperaturen lagen im Juni um 2,6 K, im Juli um 3,8 K und im August um 1,3 K über den Referenzwerten. Insgesamt zeigte sich der Sommer bei durchschnittlichen Niederschlagsmengen um 1,6 K zu warm.

Der Sulzenaufener schrumpft um 22,9 Meter.

Winter 2010/11: Der Frühwinter verlief etwas zu trocken und im Winter fielen nur durchschnittliche Niederschlagsmengen. Die Durchschnittstemperaturen lagen um 0,8 K über den Referenzwerten. Der Spätwinter war zu trocken.

Sommer 2011: Die Witterung im April war um 3,6 K zu warm. Damit war eine früh einsetzende Gletscherschmelze verbunden. Die Temperaturen im Sommer lagen um 2 K, die des Spätsommers um 3 K über den entsprechenden Referenzwerten. Ein kühler Juli und kräftige Schneefälle im September konnten den zu warmen Sommer nicht ausgleichen (Gletscherberichte 1953 bis 2011).

Tabelle 3: Längenänderung der Gletscher (m); fett markiert=Längenabnahme. (GLETSCHEBERRICHTE 1953 bis 2011).

| Jahr | Sulzenauferner | Freigerferner | Grünauferner | Jahr | Sulzenauferner | Freigerferner | Grünauferner |
|------|----------------|---------------|--------------|------|----------------|---------------|--------------|
| 2011 | -18,6 | | -1,2 | 1981 | 19,0 | 7,1 | 3,9 |
| 2010 | -22,9 | -1,0 | | 1980 | 18,6 | 10,6 | 10,1 |
| 2009 | -20,7 | -3,3 | -1,0 | 1979 | 30,9 | 7,0 | -5,1 |
| 2008 | -8,0 | -2,8 | -1,0 | 1978 | 24,4 | 2,5 | 4,5 |
| 2007 | -10,1 | -2,4 | -16,5 | 1977 | 28,2 | 22,0 | 10,8 |
| 2006 | -7,3 | 1,9 | -20,8 | 1976 | 11,2 | 4,4 | -0,8 |
| 2005 | -7,3 | 1,9 | -20,8 | 1975 | 1,4 | -0,4 | 2,1 |
| 2004 | -2,0 | -0,7 | | 1974 | 16,2 | | 4,8 |
| 2003 | -6,7 | -3,2 | -8,9 | 1973 | | | -1,5 |
| 2002 | -10,5 | | -35,0 | 1972 | | | 8,0 |
| 2001 | -1,0 | | -5,6 | 1971 | 1,0 | | -6,0 |
| 2000 | -7,4 | -3,7 | | 1970 | | | -8,0 |
| 1999 | -6,3 | -6,2 | | 1969 | | | 0,0 |
| 1998 | -9,1 | -2,2 | | 1968 | | | 0,0 |
| 1997 | -30,4 | -4,1 | 1,3 | 1967 | | | 3,0 |
| 1996 | -44,6 | -6,5 | -12,1 | 1966 | | | 10,0 |
| 1995 | -104,4 | -10,3 | -15,1 | 1965 | 4,6 | | |
| 1994 | -34,2 | -4,2 | -12,7 | 1964 | | | -1,0 |
| 1993 | -29,9 | -6,9 | -17,2 | 1963 | | | |
| 1992 | -20,3 | -7,5 | -6,0 | 1962 | | | |
| 1991 | -4,0 | -2,9 | 6,0 | 1961 | | | |
| 1990 | -14,4 | -12,3 | -3,0 | 1960 | | | |
| 1989 | -4,8 | 0,3 | 5,2 | 1959 | | | |
| 1988 | -5,0 | -5,1 | -0,4 | 1958 | | | |
| 1987 | 2,2 | 10,0 | -3,0 | 1957 | | | -40,0 |
| 1986 | -1,5 | 7,3 | 2,1 | 1956 | -38,5 | | |
| 1985 | 3,4 | 6,8 | 7,3 | 1955 | -24,3 | | |
| 1984 | 17,1 | 4,1 | 2,5 | 1954 | -10,3 | | -6,5 |
| 1983 | 15,2 | 4,8 | 14,5 | 1953 | -10,5 | | -17,1 |
| 1982 | 24,8 | -0,5 | 8,6 | 1952 | -43,7 | | -50,3 |

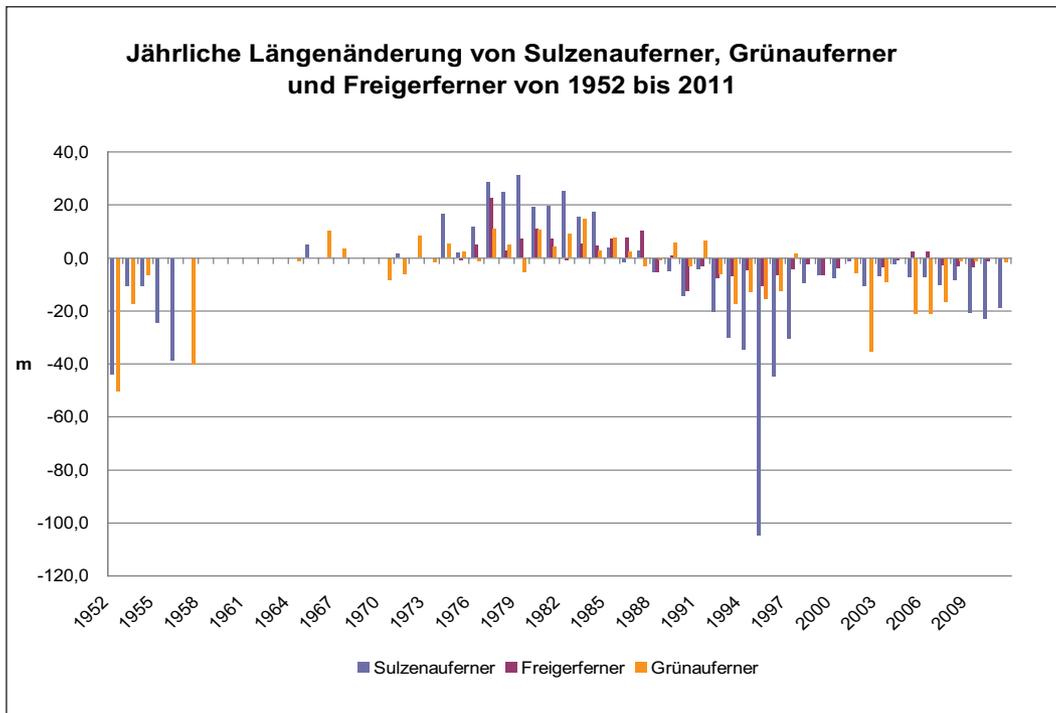


Diagramm 1: Längenänderung der Gletscher (Gletscherberichte 1953 bis 2011).

Aus der Tabelle 3 ist ersichtlich, dass der Sulzenaufener seit seinem letzten Vorstoß bis 1987 abnimmt. Dieser Rückgang erfolgt äußerst diskontinuierlich und der drastische Schwund von 104 Metern im Jahr 1995, der nicht übersehbare Höhepunkt der gegenwärtigen Periode des Rückzuges aller drei Gletscher. Nach dramatischen Rückgängen des Sulzenaufeners während der Jahre 1990 bis 1997 pegelt sich der jährliche Längenverlust in der Gegenwart auf einem niedrigeren Niveau mit einem durchschnittlichen jährlichen Rückgang um die 20 Meter ein. In den Jahren 1990 bis 1997 verhielt sich die Witterung moderat bei durchschnittlichen Niederschlagssummen. Das Jahr 1994 ist mit einer Jahresmitteltemperatur von 10,8 °C der Innsbrucker Messreihe das Wärmste im Zeitraum von 1906 bis 1999. Das kann eine wesentliche Ursache des abrupten Rückgangs des Sulzenaufeners im Jahr 1995 darstellen. Überdurchschnittliche Niederschlagsmengen wurden um die Jahrtausendwende (1999 bis 2001) verzeichnet.

Gut erkennbar ist die Temperaturdepression während der Jahre 1970 bis 1987, in welche der letzte Gletschervorstoß fällt. Danach steigen die Temperaturen, wobei das Jahr **1994** mit seiner Mitteltemperatur von 10,8 °C deutlich herausragt. Seit der Jahrtausendwende fallen 6 Jahre unter die 20 wärmsten Jahre der Messreihe. Es sind die Jahre **2002** mit 10,6 °C, **2007** und **2000** mit je 10,5 °C, **2008** und **2003** mit je 10,2 °C und das Jahr **2009** mit 10,1 °C.

Es zeigt sich, die Längenänderungen des Sulzenaufeners als auch des Grünaufeners erfolgen oszillierend in Schüben. Die Temperaturen pegeln sich auf einem hohem, gegenwärtig leicht steigendem Niveau ein. Dem Besucher erscheint der Rückgang in den letzten Jahren dramatisch. Trotz dieser gegenwärtig dramatischen Situation ist es durchaus realistisch, dass es zukünftig erneute Gletschervorstöße geben kann, auch wenn alle Anzeichen darauf deuten, dass in den kommenden Jahren der Sulzenau-

Diagramm 2: Jahresmitteltemperaturen Innsbruck 1777-2010. (Innsbrucker Messreihe).

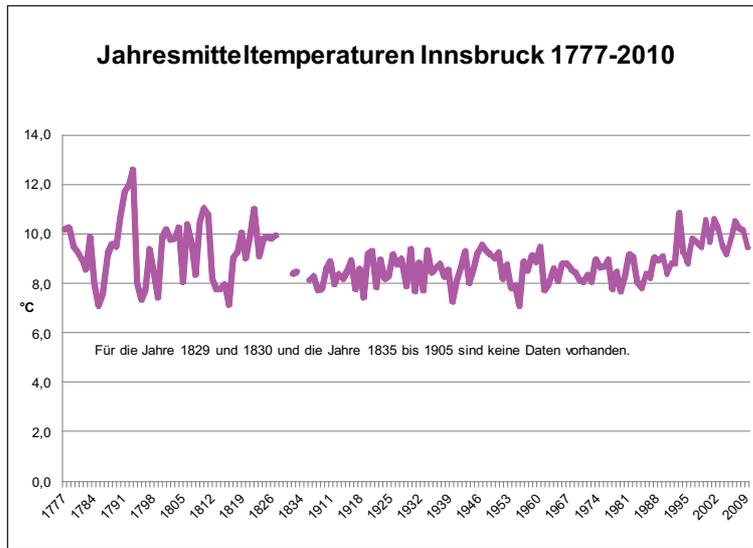
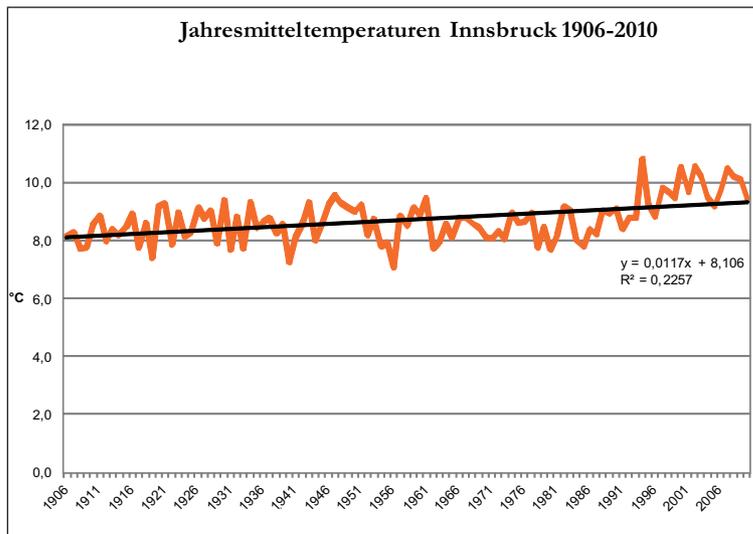
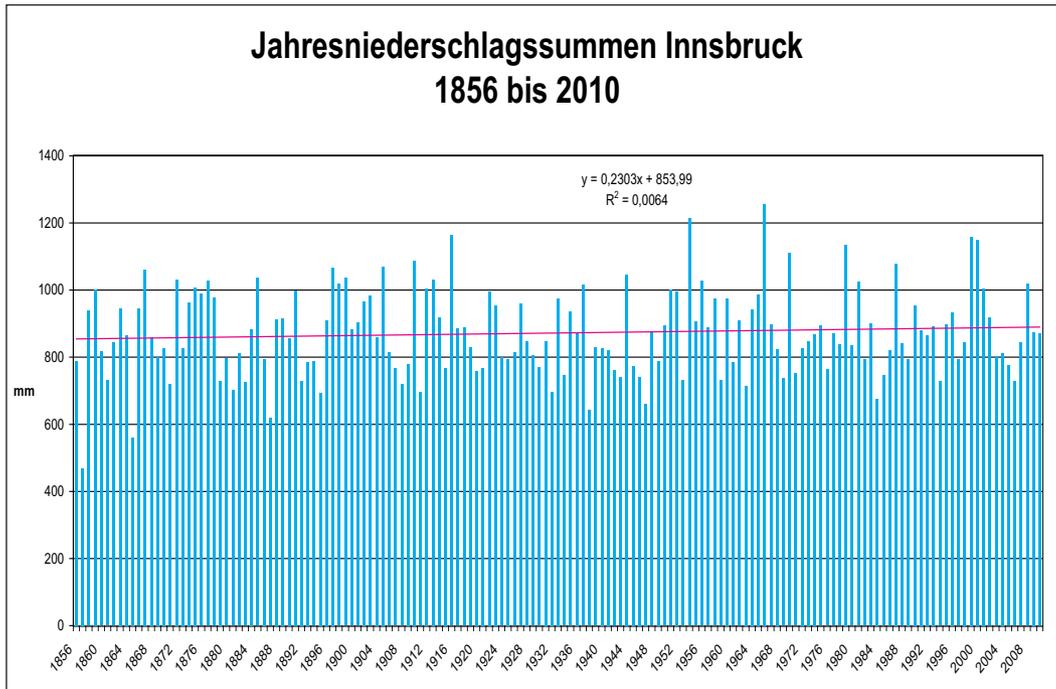


Diagramm 3: Jahresmitteltemperaturen Innsbruck 1906-2010. (Innsbrucker Messreihe). (PISCH 2011; STATISTIK UND ZAHLEN DER STADT INNSBRUCK 2011).



ferner zunächst weiter schrumpfen wird. Dramatisch sind die Bilder aus dem oberen Sulzenautal. So erhält die Gletscherzunge unter der Felsstufe derzeit so gut wie keinen Nachschub vom Gletscher. Noch 1998 war anstelle des Felsenfensters ein Eisfall zu beobachten. Dieser Teil der Gletscherzunge wird Toteis und wird abschmelzen. Betrachtet man den gesamten Gletscher, zeigt sich, dass sich oberhalb der Felsstufe ein gewaltiges Gletscherfeld erstreckt und somit keinesfalls zu erwarten ist, der Sulzenaubach könnte in den nächsten Jahren jeweils im Hoch- und Spätsommer mangels Eisvorrat trocken fallen. Er wird, auch wenn der Gletscherrückgang im gegenwärtigen Umfang andauern sollte, noch über Jahrzehnte ausreichend Wasser führen. Aus der Froschperspektive des Sulzenautals, ja auch aus der Perspektive vom Beiljoch und dem Gipfel des Großen Tröglers ist das Einzugsgebiet des Sulzenaufeners nur stark verkürzt einsehbar und erweckt den Eindruck, der Eisvorrat sei sehr gering. Der Vergleich der Kartenausschnitte (siehe Abb. 1 und Abb. 2) zeigt den wahren Umfang des Gletschers. Der im Verhältnis zum gesamten Gletscher kleine Teil der Eiszunge unterhalb des im Kartenbild der Abb. 2

Diagramm 4: Innsbrucker Messreihe, Jahresniederschlagssummen 1856-2010. (PISCH 2011; STATISTIK UND ZAHLEN DER STADT INNSBRUCK 2011). Y = Variable Größe, hier die Jahresniederschlagssummen; R^2 = Bestimmtheitsmaß.



gut erkennbaren Felsenfensters wird abschmelzen. Die warmen Sommer haben zur Folge, dass der Permafrostboden an den Seiten des Gletschers als auch an den Hängen des Zuckerhütl auftauft, der Gletscher mehr und mehr Spalten aufweist und im Zehrbereich stark ausapert. Damit werden vermutlich insbesondere im Hoch- und Spätsommer die Eistouren über den Sulzenaufener zum Zuckerhütl und zum Wilden Pfaff durch breite, offene Spalten, Steinschlag, Murenabgänge und Eisschlag unpassierbar. Trotz allen Rückgangs werden vermutlich weder der Sulzenaufener noch der Grünaufener wegen ihrer relativ hoch gelegenen Nährgebiete in den nächsten Jahren verschwinden, denn auch das Klima unterliegt kurz- mittel- und langfristigen Schwankungen. Wenn die anthropogene Ursache des derzeitigen globalen Klimawandels aber deutlich anhält, werden auch die Stubai Gletscher vermutlich einen beschleunigenden Schwund hinnehmen müssen. Die Klimamodellierungen und -prognosen schließen nicht definitiv aus, das es auch zukünftig kühle, niederschlagsreiche, die Gletscher mehrende Jahre und Jahrzehnte geben könnte. Der Blick in die Klimageschichte zeigt, es gab in zurückliegenden geologischen Epochen schon deutlich wärmere und gletscherärmere Klimaepisoden.

Analog verhalten sich auch andere Gletscher im Ostalpenraum. Als Beispiel sei an dieser Stelle die Pasterze (Mölltal) am Fuße des Großglockners/Hohe Tauern genannt, der größte, bedeutendste und einer der am besten untersuchten Gletscher Österreichs. Neben Langzeituntersuchungen erfolgten und erfolgen an der Pasterze viele Forschungsprojekte, die Klimaänderungen und damit verbundene Einflüsse auf den Gletscher zum Forschungsziel hatten und haben.

Zum Ende der letzten kleinen Eiszeit erreichte auch diese im Jahr 1852 ihren Höchststand. Seither wird, abgesehen von einigen Erholungsphasen, ein Schwund des Gletschers beobachtet:

Tabelle 4: Länge, Fläche, Eisvolumen der Pasterze/Mölltal/A ausgewählter Jahren seit 1852. (LIEB, SLUPETZKY 2004; SLUPETZKY, LIEB 2011).

| Jahr | 1851 | 1924 | 1969 | 1985 | 2002 |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Länge (km) | 11,0 | 10,3 | 9,5 | 9,0 | 8,4 |
| Fläche (km ²) | 26,5 | 22,6 | 19,8 | 18,9 | 18,5 |
| Volumen (km ³) | 3,5 | 2,9 | 2,2 | 2,0 | 1,8 |

Gegenwärtig hat sich die Pasterze so weit zurückgezogen, wie bisher noch nie seit dem Ende der kleinen Eiszeit. Es gibt jedoch ausgeaperte, ca. 9000 Jahre alte Nachweise in Form fossiler Hölzer, dass die Pasterze während des Holozän, also seit Ende der letzten Eiszeit vor fast 12000 Jahren, über längere Zeiträume noch kleiner als in der Gegenwart war.

Seit etwa 1850 zog sich die Pasterze um etwa 2,6 km zurück. Dieser Rückgang war von kurzen Erholungsphasen unterbrochen. So wurde zwischen 1910 und 1930 ein Zuwachs beobachtet. Zwischen 1980 und 1987 wurde zwar keine Zunahme der Gletscherlänge, aber eine geringe Zunahme der Gletscherdicke beobachtet (FRITSCHLE 2006). So korrespondieren die Erholungsphasen mit denen am Sulzenaufenerner.

Diese Aussagen werden durch Forschungsarbeiten der Universität Mainz (FRITSCHLE 2006), der Universität Würzburg (ELLENRIEDER 2002) als auch der Kommission für Erdmessung und Glazeologie, Abteilung Glazeologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (Leitung Dr. Ludwig Braun) (Internetauftritt 2012) eindrucksvoll bestätigt. Die Arbeiten der hier genannten Forschungseinrichtungen erfolgen und erfolgten am Vernagtferner, der in gleicher Höhenlage in den Ötztaler Alpen liegt. Die Autoren bestätigen, dass auch der Vernagtferner seit seinem letzten Höchststand um 1850 deutlich an Masse verloren hat. Kurze Erholungsphasen gab es um 1920 und 1980, analog wie am Sulzenaufenerner.

Weitere Beispiele für vergleichbare Gletschermessergebnisse aus den Westalpen: die Messungen seit 1830 am Mer de glace/Mt. Blanc/F ergaben einen Gletscherrückgang von 2,3 km und z.B. im Bereich der Station Montenvers einen Rückgang der Gletscherdicke von 160 m (LA MONTAGNE & ALPINISME 2012).

Anhaltende Gletscherschwundergebnisse liefern auch Schweizer Gletschermessungen. Die Messungen von 2010 ergaben, dass von 91 ausgewerteten Gletschern 82 weiter an Länge und damit an Masse eingebüßt haben (<http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/glaciers/untgrindelwald.html>).

Klimaänderung und Gesellschaft

Wie bereits ausgeführt, erleben wir seit dem Ende der kleinen Eiszeit eine Warmzeit. Mit dem Ende der kleinen Eiszeit fallen entscheidende Fortschritte in Wissenschaft und Technik zusammen. Die Meteorologie wurde in die Lage versetzt, exakte Messungen auszuführen. Die Produktivität nahm infolge wegweisender Entdeckungen und der Industrialisierung rasant zu. Damit verbunden war und ist ein explosives Anwachsen der Weltbevölkerung, insbesondere in den Städten, massive Ausbeutung von Kohle- und Erzlagerstätten. Fossile Kohlenstoffträger wurden und werden in steigendem Umfang genutzt. Die Folgen waren und sind die anthropogenen CO₂-Emissionen. Im Klimareport des IPCC

kann dazu nachgelesen werden: *"Die weltweiten Treibhausgasemissionen (THG) sind aufgrund menschlicher Aktivitäten seit der vorindustriellen Zeit angestiegen. Dabei beträgt die Zunahme zwischen 1970 und 2004 70%. ... CO₂ ist das wichtigste anthropogene THG. Seine jährlichen Emissionen stiegen von 1970 bis 2004 um etwa 80%, von 21 auf 38 Gt, und entsprachen 77% der gesamten anthropogenen THG-Emissionen im Jahr 2004."* (AUTORENKOLLEKTIV IPCC 2008, S. 40). SCHRADER (2012) beziffert den gegenwärtigen anthropogenen Anteil der Erderwärmung mit 74 %.

Daneben wurden und werden weitere Klima- und/oder Schadgase in die Atmosphäre freigesetzt. Eine Folge waren und sind Emissionen bisher ungekannten Ausmaßes. Bereits in der Mitte des 19. Jahrhunderts (STÖCKHARDT 1850, 1871 und WISLICENUS 1898) erschienen erste wissenschaftliche Untersuchungen zu Waldschäden, die durch Luftverunreinigungen aus Industrieanlagen verursacht wurden. 1922 schrieb der Forstrat C. GERLACH in der Zeitschrift *Silva*, dass er zwischen Sayda und Ullersdorf im Erzgebirge Industrieabgase, deren Ursprung in dem Industrie- und Braunkohlengebiet um Brüx (Most) in Böhmen zu finden ist, wahrnehmen konnte. Er sprach damals die Vermutung aus, dass diese Abgase das Tannensterben in Sachsen maßgeblich verursachten (C. GERLACH 1922 und R. GERLACH 1922).

Schlussbetrachtung

Wie schon in der Einführung formuliert reagieren die Gletscher der Hochgebirge im Gegensatz zu den großen Eisschilden der Antarktis und Grönlands relativ schnell auf die Klimadynamik. Somit sind sie repräsentative Indikatoren veränderter Energiebilanzen. Bei HAEBERLI und MAISCH (2007) ist diesbezüglich nachzulesen: *"... Im 20. Jahrhundert haben die Gletscher aller Gebirge der Erde – mit wenigen Ausnahmen – an Fläche, Länge und Volumen verloren. Dieser Gletscherschwund ist das deutlichste und für alle erkennbare Zeichen, dass sich das Klima im globalen Maßstab und mit großer Geschwindigkeit ändert. In den europäischen Alpen ist beispielsweise zwischen 1850 und 1975 rund die Hälfte des Gletschervolumens geschwunden. Zwischen 1975 und 2000 ist im Schnitt jährlich rund 1% des verbleibenden Eisvolumens verloren gegangen. Seither sind die durchschnittlichen jährlichen Verluste auf ca. 2 – 3% gestiegen. Das Extremjahr 2003 allein hat geschätzte 8 % des restlichen Eises eliminiert. Szenarien für die Zukunft zeigen, dass selbst bei einem günstigen Klimaszenario – einer Stabilisierung der globalen Temperaturzunahme bei etwa 2 °C und einem um rund den Faktor 2 verstärkten Effekt im Hochgebirge – die Alpengletscher innerhalb weniger Jahrzehnte bis auf kümmerliche Reste verschwinden dürften. ..."*

Neueste Prognosen des Hamburger Klimarechenzentrums weisen auf deutliche Änderungen des Klimas in den nächsten 50 Jahren hin. In den westlichen und nördlichen Bundesländern wird mit einer steigenden Niederschlagsmenge, verteilt über das ganze Jahr, gerechnet. Das Klima wird sich dort ozeanischer gestalten.

Im Gegensatz dazu wird eine Niederschlagsabnahme und für das Sommerhalbjahr eine zunehmende Kontinentalität der Witterung für die östlichen Teile Bayerns, für Teile Thüringens sowie für Sachsen und Brandenburg erwartet. Die winterliche Frostgrenze wird in den bayerischen Alpen auf 1000 m bis 1500 m ansteigen. Als schneesicher im Sinne des Wintersports werden nur noch Gebiete in Höhenlagen oberhalb von 1500 m sein. Wie der CIPRA Bericht "Kompakt Nr. 01/2012, Waldwirtschaft im Klimawandel" berichtet, ist im Alpenraum pro Jahrzehnt mit einem Temperaturanstieg von 0,5 bis 0,7 K zu rechnen. Auf das Jahrhundert bezogen wäre das eine Erwärmung um 5 bis 7 K!

Sollte die Politik nicht schnellstmöglich nachhaltige Maßnahmen ergreifen (und sollten die Verbraucher eine Änderung ihres Lebensstils nicht herbeiführen) und beispielsweise den Klimaschutz vor das Wirtschaftswachstum stellen und damit die anthropogenen Ursachen des Klimawandels nicht auf ein vertretbares Maß senken, dann werden nach den Prognosen aller renommierten, international anerkannten Aussagen der Klimaforschung die Gletscher der Alpen in der zweiten Hälfte des gegenwärtigen Jahrhunderts nahezu verschwinden; der Permafrostboden wird auftauen und die Wasserführung der vom Schmelzwasser gespeisten Flüsse wird zurückgehen. Die Folgen sind eine rasante Zunahme der Murenabgänge und Wassermangel in den Hochtälern, insbesondere im Sommer und Frühherbst. Unwetter und extreme Niederschlagsereignisse andererseits werden zu katastrophalen Überschwemmungen führen.

Dies wird beispielsweise auch die uns lieb gewordene Großartigkeit der hochalpinen Landschaft und damit auch den Hochgebirgstourismus grundlegend verändern und weniger erlebbar machen.



Abb. 8: Auf der Skiroute aus dem Sulzenautal/Stubaier Alpen zum Beiljoch mit Blick zum Sulzenaufener, v.l.n.r.: Wilder Pfaff (3458 m), Zuckerhütl (3505 m), Aperer Pfaff (3351 m). Rechts im Bild Gletscher-Skispuren von Richtung Zuckerhütl, Pfaffenjoch und Wildem Pfaff kommend.

Das Bild von 2011 zeigt die grandiose Gletscherlandschaft zur Hauptzeit des hochalpinen Frühjahrstourenskilaufs. Vor dem Hintergrund des globalen und immer noch anthropogen forcierten Klimawandels verdrängt man dennoch zu leicht die drohende Gefahr u.a. der Gletscherverluste, dass man schon in wenigen Jahrzehnten derartige alpine Erlebnisse nicht mehr in dieser Großartigkeit realisieren kann, wenn die Menschheit und damit die Politik nicht schnellstmöglich nachhaltige Maßnahmen ergreifen, die anthropogene Ursache des Klimawandels auf ein vertretbares Maß zu senken. (Foto: Volker Beer, 25.3.2011).

Literaturverzeichnis:

- ALPENVEREINSKARTE (2005): Stubaier Alpen Hochstubai, Blatt 31/1. Herausgegeben im Rahmen der Alpenvereinskartographie vom Österreichischen Alpenverein.
- AUTORENKOLLEKTIV (1953 bis 2011): Gletscherberichte im Bergauf-Magazin des Österreichischen Alpenvereins, Innsbruck.
- AUTORENKOLLEKTIV (1953 bis 2011): Gletscherberichte im Panorama-Magazin des Deutschen Alpenvereins, München.
- AUTORENKOLLEKTIV (2008): Climate Change 2007, Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Deutschsprachige Ausgabe: Klimaänderung 2007 Synthesebericht. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle (Universität Stuttgart). ISBN 978-3-00-025397-3.
- BALZER, K. (1982): Weitere Aussichten: wechselhaft. Verlag Neues Leben Berlin.
- BROWN, L. R.; DURNING, A.; FLAVIN, CH.; HEISE, L.; JACOBSON, J.; SHEA, C. P.; POSTEL, S.; RENNER, M.; STARKE, L. (1989): State of the World 1989. A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. New York: W. W. Norton & Company.
- BROWN, L. R.; DURNING, A.; FLAVIN, CH.; FRENCH, H.; JACOBSON, J.; LOWE, M.; POSTEL, S.; RENNER, M.; STARKE, L.; YOUNG, J. (1990): State of the World 1990. A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. New York: W. W. Norton & Company.
- BROWN, L. R.; DURNING, A.; FLAVIN, CH.; FRENCH, H.; JACOBSON, J.; LENSSEN, N.; LOWE, M.; POSTEL, S.; RENNER, M.; RYAN, J.; STARKE, L.; YOUNG, J. (1991): State of the World 1991. A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. New York: W. W. Norton & Company.
- DEUTSCHES KLIMARECHENZENTRUM (2012): Internetauftritt. Frei verfügbare Informationen zum Klimawandel und zu Klimamodellen. <http://www.dkrz.de>.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2012): Internetauftritt. Frei verfügbare Informationen zum Klimawandel und zu Klimamodellen. <http://www.dwd.de>.
- ELLENRIEDER, T. (2002): Abfluss- und Gletschermassenbilanz im Einzugsgebiet des Vernagtferners. Diplomarbeit. Julius Maximilians Universität Würzburg, Geographisches Institut.
- FLEMMING, G. (1982): Wald, Wetter, Klima. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- FRITSCHLE, J. (2006): Gletscherrückgänge in den Alpen in jüngerer Zeit. Johannes Gutenberg – Universität Mainz, Geographisches Institut, Projektstudie. <http://www.staff.uni-mainz.de/hjfuchs/Wallis-Homepage/referate/05%20Gletscherrueckgang%20in%20den%20Alpen%20in%20juengster%20Zeit%20-%20Julia%20Fritschle.pdf>.
- GERLACH, C. (1922): Ein Beitrag zur Rauchschaadensfrage. Forstliche Wochenschrift Silva, Tübingen (1922): 61.
- GERLACH, R. (1922): Naturverjüngung und Rauchschaaden. Forstliche Wochenschrift Silva, Tübingen 161 – 164.
- GLASER, R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropas. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt.
- HAGEDORN, H. (2004): Eiszeit, Klimaänderung und Menschheit. Gletscherforschung als Beispiel langfristiger interdisziplinärer Arbeiten an der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. In: Akademie Aktuell 12/2004 (02): 8-13.
- HAEBERLI, W., Maisch, M. (2007): Klimawandel im Hochgebirge. Zitiert aus: Endlicher, W., Gerstengarbe, F. W. (2007): Der Klimawandel. Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam.
- HEYER, E. (1988): Witterung und Klima – Eine allgemeine Klimatologie. Leipzig: BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft.
- HUPFER, P. (1989): Klima im mesoräumigen Bereich. Abh. Meteorol. Dienst DDR, Nr. 141: 181 – 192.
- HUPFER, P. (1996): Unsere Umwelt: Das Klima. Stuttgart, Leipzig: B. G. Teubner Verlagsgesellschaft.

- HUPFER, P.; KUTTNER, W. (1998): Witterung und Klima. Stuttgart, Leipzig: B. G. Teubner Verlagsgesellschaft.
- KUHN, M. (2005): Gletscher im Klimawandel. In: Fachbeiträge des Österreichischen Alpenvereins – Serie: Alpine Raumordnung 2005 (27): 35-40.
- LA MONTAGNE & ALPINISME (Revue de Club Alpin Français) (2012): La mer de glace, et demain? Publikation der Federation française des clubs alpins et de montagne: Heft 2/2012: 24-25.
- LATIF, M. (2004): Der Globale Klimawandel. In: Zängl, W.; Hamberger, S. (2004): Gletscher im Treibhaus: Eine fotografische Zeitreise in die alpine Eiswelt: 220-225.
- LEXER, M. J. (2012): Waldwirtschaft im Klimawandel, ein Hintergrundbericht der CIPRA. CIPRA International, Download unter: www.cipra.org/pdfs/1049_de/at_download/file.
- LIEB, G. K.; SLUPETZKY, H. (2004): Gletscherweg Pasterze. – Naturkundlicher Führer zum Nationalpark Hohe Tauern. Bd. 2. 2. völlig neu bearbeiteten Auflage, Innsbruck.
- MAISCH, M. (2004): Gletscher im Brennpunkt des Klimawandels. In: Zängl, W.; Hamberger, S. (2004): Gletscher im Treibhaus: Eine fotografische Zeitreise in die alpine Eiswelt: 204 – 214.
- MAISCH, M.; HAEBERLI, W. (2003): Die rezente Erwärmung der Atmosphäre – Folgen für die Schweizer Gletscher. In: Geographische Rundschau 55/2003 (2): 4 – 12.
- MULLER, RICHARD A. (Süddeutsche Zeitung 1.8.2012): Die Wandlung eines Zweiflers. Wer die globale Erwärmung und ihre Gründe skeptisch sieht, sollte die harten Daten prüfen. Eine Forschergruppe hat alte Wetteraufzeichnungen neu analysiert. Demnach ist der Mensch eindeutig Ursache des Klimawandels. Bericht des Autors zu seiner 2012 erschienenen Publikation: "Energy for Future Presidents: The Science Behind the Headlines"; Bezug über www.amazon.com.
- NICOLUSSI, K. (2005): Gletscher der Alpen – vom Anwachsen und Abschmelzen. In: Fachbeiträge des Österreichischen Alpenvereins – Serie: Alpine Raumordnung 2005 (27): 47 – 49.
- ORLEMANS, J. (2005): Extracting a climate signal from 169 glacier records. Science 308 / 5722, S. 675 – 677.
- PFISTER, Ch. (1985): Klimageschichte der Schweiz 1525 bis 1860. Bern – Stuttgart, Haupt.
- PISCH, E. (2011): Dorfbuch der Gemeinde Inzing, Klimadaten von Innsbruck. <http://www.pisch.at/ernst/wissen/Dorfbuch/node165.html>.
- RAHMSTORF, S. (1999): Die Welt fährt Achterbahn. Süddeutsche Zeitung, Nummer 150, 3./4. Juli 1999.
- ROTH, G. D. (1995): Wetterkunde für alle. BLV Verlagsgesellschaft München, Wien, Zürich.
- SCHRADER, Ch. (2011): Treibhausgase zu 74 Prozent für Erderwärmung verantwortlich, Süddeutsche Zeitung Ausgabe vom 06. 12. 2011. Internetausgabe: <http://www.sueddeutsche.de/wissen/klimawandel-treibhausgase-zu-prozent-fuer-erderwaermung-verantwortlich-1.1227815>.
- SLUPETZKY, H; LIEB, G. H.: (2011): Die Pasterze. Der Gletscher am Großglockner. Verlag Anton Pustet. ISBN 978-3-7025-0652-0.
- STATISTIK UND ZAHLEN DER STADT INNSBRUCK (2011): Meteorologische Beobachtungen, pdf-Datei "Monats- und Jahrestemperaturmittel seit 1906" und pdf-Datei "Maxima und Minima des Niederschlags seit 1906". <http://www.innsbruck.at/io30/browse/Webseiten/Content/Statistik/MeteorologischeBeobachtungen>.
- STÖCKHARDT, J. A. (1871): Untersuchungen über die schädliche Einwirkung des Hütten- und Steinkohlenrauchs auf das Wachstum der Pflanzen, insbesondere Fichte und Tanne. Thar. Forstl. Jahrb. Bd. 21: 218 – 254.
- STÖCKHARDT, J. A. (1850): Über einige durch den Bergbau und Hüttenbetrieb für die Landeskultur entstehende Benachteiligungen. Z. f. deutsche Landwirte NF 1: 35 – 38; 129 – 137.
- WALCH, D. (1989): Wie wird das Wetter? München: Gräfe und Unzer.
- WISLICENUS, H. (1898): Nachweis der schwefeligen Säure in der Waldluft des Tharandter Waldes.

Thar. Forstl. Jahrb. Bd. 48: 173ff.

WEBER M.; BRAUN, L. (2004): Gletscherschmelze ohne Ende? – Hat der Klimawandel bereits begonnen? Mitteilungen des Österreichischen Alpenvereins Heft 2004 (1): 16 – 20.

Webseiten zum Thema:

| | |
|--|---|
| AGU Homepage – American Geophysical Union | http://www.agu.org/ |
| Alfred Wegener Institut Bremerhaven | http://www.awi-bremerhaven.de/ |
| AMS – American Meteorological Society | http://www.ametsoc.org/ |
| British Atmospheric Data Centre | http://www.badc.rl.ac.uk/ |
| Centre for Atmospheric Science, Cambridge Univ. | http://www.atm.ch.cam.ac.uk/ |
| Centre f. Atmosphere Ocean Science USA | http://caos.cims.nyu.edu/page/home |
| Open Universiteit in the Netherlands | http://www.ouh.nl/nw/CLIM.html |
| Danmarks Meteorologiske Institut | http://www.dmi.dk/ |
| Department of Meteorology, Univ. of Reading | http://www.met.rdg.ac.uk/ |
| Deutsches Klimarechenzentrum | http://www.dkrz.de/ |
| Deutscher Wetterdienst | http://www.dwd.de/ |
| DLR – Inst. f. Physik d. Atmosphäre | http://www.op.dlr.de/NE-PA/index.html |
| European Centre f. Medium Range Weather Forecast | http://www.ecmwf.int/ |
| FU – Berlin, Inst. f. Meteorologie | http://www.met.fu-berlin.de/ |
| Forschungszentrum Jülich | http://www.fz-juelich.de/portal/DE/Home/home_node.html |
| Glaziologie Österreich – Institute mit Gletscherforschung in Österreich | http://www.glaziologie.at |
| Institut für Gebirgsforschung: Mensch und Umwelt (IGF)/Innsbruck | http://www.mountainresearch.at |
| Institut für Meteorologie and Geophysik, Universität Innsbruck | http://www.imgi.uibk.ac.at |
| Klimadiagramme weltweit | http://www.klimadiagramme.de |
| Kommission für Erdmessung und Glazeologie, Abteilung Glazeologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften | http://www.glaziologie.de/ |
| Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut | http://www.knmi.nl/ |
| Max-Planck-Inst. f. Chemie Mainz | http://www.mpch-mainz.mpg.de/ |
| Max-Planck-Inst. f. Meteorologie Hamburg | http://www.mpimet.mpg.de/ |
| Meteo France | http://www.meteo.fr/ |
| National Centre for Atmospheric Research | http://www.ncar.ucar.edu/ |
| National Oceanic and Atmospheric Administration | http://www.noaa.gov/ |
| Royal Meteorological Society | http://www.rmets.org/index.php |
| Schweizerisches Gletschermessnetz | http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/glaciers/untgrindelwald.html |
| Stratospheric Processes and their Role in Climate | http://www.sparc-climate.org/ |
| UK Met. Office | http://www.metoffice.gov.uk/ |
| Univ. Frankfurt, Inst. f. Meteorol. u. Geophysik | http://www.geo.uni-frankfurt.de/iau/index.html |
| Univ. Karlsruhe, Wetterzentrale | http://www.wetterzentrale.de/doc/esys/sw_karl.html |
| Univ. Köln, Inst. f. Geophysik u. Meteorologie | http://www.uni-koeln.de/math-nat-fak/geomet/index.html |
| US National Weather Service | http://weather.gov/ |
| Wissen Online | http://www.rp-online.de |
| World Meteorological Organization | http://www.wmo.ch/ |
| Zentralanstalt für Meteorologie u. Geodynamik/Wien | http://www.zamg.at |

Anschrift des Verfassers

Dr. Volker Beer
Straße des 18. Oktober 18
04103 Leipzig
info@vdrbeer.de